

МІНІСТЕРСТВО АГРАРНОЇ ПОЛІТИКИ ТА ПРОДОВОЛЬСТВА  
УКРАЇНИ  
МИКОЛАЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

## **ГОДІВЛЯ ТВАРИН І ТЕХНОЛОГІЯ КОРМІВ**

Курс лекцій

для студентів денної форми навчання  
напряму підготовки 6.090102 “ТВППТ”

Миколаїв

2014

УДК 636.084  
ББК 45.451  
Д395

Автор: Ю. Ф. Дехтяр

Рекомендовано до друку рішенням науково-методичної комісії факультету  
ТВППТСБ Миколаївського національного аграрного університету від  
26.05.2014 р., протокол № 9

Рецензенти:

- О. Л. Гіржева – канд. с.-г. наук, доцент, доцент кафедри екологічної безпеки, Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова.
- В. М. Нечмілов – канд. с.-г. наук, доцент, доцент кафедри годівлі тварин, Херсонський державний аграрний університет.

**Дехтяр Ю. Ф.**

Д395 Годівля тварин і технологія кормів : курс лекцій / Ю. Ф. Дехтяр. – Миколаїв : МНАУ, 2014. – 129 с.

У курсі лекцій викладено роль поживних речовин в годівлі тварин, їх фізіологічні та біологічні функції, дані останні досягнення науки в цій області.

**УДК 636.084**  
**ББК 45.451**

© Миколаївський національний аграрний  
університет, 2014

© Дехтяр Ю. Ф., 2014

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП.....</b>	<b>4</b>
<b>Лекція 1. Історія розвитку, предмет і задачі науки про годовлю сільськогосподарських тварин.....</b>	<b>5</b>
<b>Лекція 2. Основи живлення тварин і оцінка кормів за хімічним складом.....</b>	<b>14</b>
<b>Лекція 3. Оцінка поживності кормів за перетравними поживними речовинами.....</b>	<b>27</b>
<b>Лекція 4. Обмін речовин і енергії в організмі тварин.....</b>	<b>36</b>
<b>Лекція 5. Оцінка енергетичної поживності кормів.....</b>	<b>44</b>
<b>Лекція 6. Протеїнове живлення с.-г. тварин та шляхи вирішення проблеми нестачі протеїну в тваринництві.....</b>	<b>52</b>
<b>Лекція 7. Вуглеводна поживність кормів.....</b>	<b>65</b>
<b>Лекція 8. Жирова поживність кормів.....</b>	<b>77</b>
<b>Лекція 9. Мінеральна поживність кормів.....</b>	<b>86</b>
<b>Лекція 10. Вітамінна поживність кормів.....</b>	<b>107</b>
<b>ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРИ.....</b>	<b>128</b>

## ВСТУП

Незамінна, а мабуть і вирішальна роль в еволюції життя на землі належить рослині. Вона і тільки вона накопичила основну органічну масу за рахунок фіксації сонячної енергії в зелених листях та розчинених в воді мінеральних речовин. Рослина є основою живлення тварин і людей. Тобто рослина є творець, а всі останні – споживачі. Не дивлячись на це, все живе складає єдиний ланцюг еволюції, кожному відведена своя особлива роль. На певному етапі домашні тварини і людина є наче конкурентами за рослинну їжу. Це стосується, в першу чергу, зерна злакових, бобових та масляних культур. Але декілька разів більша частина органічної маси цих культур не придатна для споживання людиною. Це солома, полова, стебла кукурудзи, гичка буряків, залишки переробки зерна – висівки, макуха, шроти. А якщо сюди додати сіно, то тільки порівняно мала частина того, що створює рослина, придатне в незмінному вигляді для споживання людиною, а всі вище названі відходи – ця величезна маса продуктів є прекрасним кормом для домашніх тварин. За рахунок споживання цих кормів тварини дають кращі продукти для людини. Правда, ця робота домашніх тварин проходить із значними втратами у вигляді кала та сечі, але краще втратити частину при виробництві молока, м'яса і жиру, ніж втратити всю ту величезну масу рослинної продукції. Якщо подивитися ширше, то і втрата невелика. Оскільки сеча і кал переробляються мікроорганізмами, поповнюють родючий пар землі і знову поступають до рослин.

На даному етапі розвитку цивілізації не можливо собі уявити існування людства, його здоров'я, без продуктів тваринництва. Завдяки збільшенню виробництва продукції сільського господарства і, особливо, продуктів тваринного походження стало можливим збільшення населення планети.

Повноцінна годівля сільськогосподарських тварин і птиці є основою для значного підвищення продуктивності і забезпечення населення України високоякісною продукцією тваринництва.

В теперішній час, необхідно сконцентрувати увагу на основних напрямках розвитку тваринництва – зміцнити кормову базу, підвищити чисельність поголів'я і його продуктивність, впровадити прогресивні технології утримання тварин і виробництва продукції, які будуть сприяти високій рентабельності галузі і забезпечать в найближчі роки споживання продукції сільського господарства на душу населення до таких науково-обґрунтованих норм.

## **Лекція 1**

### **Історія розвитку, предмет і задачі науки про годівлю сільськогосподарських тварин**

1. Предмет і задачі науки.
2. Рекомендована література.
3. Історія розвитку науки про годівлю сільськогосподарських тварин.
4. Вплив годівлі тварин на виробництво продуктів харчування для людей.
5. Значення годівлі тварин в інтенсифікації галузі тваринництва.
6. Вплив годівлі на організм тварин.

#### **1. Предмет та задачі науки**

Що ж складає предмет “Годівля тварин і технологія кормів”. Це перш за все оцінка поживності кормів і потреби тварин в поживних речовинах, тобто більш теоретичний розділ. Де потрібно буде згадати, або поновити знання з біохімії, фізіології, морфології, частково анатомії різних тварин, різного віку і фізіологічного стану. Далі іде розділ корми, їх поживність, використання, підготовка до згодовування в різних технологічних умовах. І нарешті великий розділ нормування годівлі тварин різних видів і статеві-вікових груп.

Завданням предмету “Годівля тварин і технологія кормів” являється надання спеціалісту знань по біології, годівлі домашніх тварин різних видів, організації науково-обґрунтованої годівлі; прогресивних методах заготівлі кормів; марках і типах машин та механізмів, які використовуються в кормо виробництві; поживності основних кормових засобів.

Спеціаліст повинен знати рецепти комбикормів, які використовуються для тварин різних видів, різного віку і продуктивності; властивості і якості кормів; зміни, які проходять в процесі заготівлі, зберіганні і підготовці до згодовування, державні стандарти на корми, норми годівлі тварин, прогресивні технології, особливості годівлі при промисловій технології, основні заходи інтенсивного вирощування ремонтного молодняка і відгодівлі, особливості годівлі виробників і маток.

Крім того, спеціаліст повинен вміти розраховувати потребу в кормах в цілому для господарства, визначати кормові норми, розраховувати рецепти гранул, брикетів, визначати їх поживність, складати раціони, визначати їх біологічну повноцінність, розробляти рецепти комбикормів для тварин різного віку і продуктивності, складати базу даних для роботи на персональних комп'ютерах.

До завдань даного курсу відноситься також навчання майбутніх спеціалістів методів розрахунку виходу поживних речовин з одиниці кормових площ, взяття середніх проб кормів, визначення їх хімічного складу, розрахунку їх поживності, розрахунку і приготування кормових добавок, методів постановки науково-господарських дослідів на тваринах різних видів.

## 2. Історія розвитку науки про годівлю тварин

За даними американського вченого Л.Брауна одомашнення рослин і тварин почалося всього 10000 років тому, тоді ж і почалося накопичення досвіду в розведенні і годівлі тварин. Історія науки про годівлю тварин налічує зовсім малий проміжок – лише близько 200 років. В 1809 році Альбрехт Теєр – агроном і ґрунтознавець опублікував 1-й том “Основи раціональної годівлі”, що і поклало початок розвитку науки про годівлю. Ідея, яку висловлював Теєр, діє і сьогодні. Він зробив спробу привести оцінку різних кормів до єдиного показника. На той час, за його пропозицією, таким показником став 1 кг лугового сіна середньої якості. Він вирахував, що для корови потреба в кормах складає 2500 кг сіна на рік. За його даними, на основі господарських дослідів, а також деяких наукових лабораторних дослідів, можна встановити “поживну силу” різних кормів. Якщо 100 кг згодованого сіна дають в господарстві певний результат, то необхідно знайти кількість кожного нового корму, яка дала б той же результат. Так було знайдено, що 100 кг лугового сіна рівноцінно за своєю дією 90 кг сіна конюшини або 200 кг картоплі, чи 525 кг кормового буряку, 266 кг моркви і т.д. Все це для дійних корів. Пізніше його учні, назвали цей показник “сінним еквівалентом”. Не довгий час проіснувала “сінна теорія” – всього 50 років, але вона дала можливість більш впевнено вести і розвивати господарювання. Швидко стало ясно, що сіно одного складу не відповідає сину іншого складу, корми залежать від місцевих і кліматичних умов, тому продуктивна дія їх різна.

В цей час іде інтенсивний розвиток органічної хімії. З появою робіт Лібіха та його учнів стало можливим визначення хімічного складу кормів та окремі групи поживних речовин. Особливо широко такі аналізи були проведені на першій німецькій дослідній станції в Лейпцізі-Маккерні, директором якої був Еміль Вольф. Він звів дані тих аналізів в таблиці, які одержали велику популярність. З цього часу, на зміну “сінним еквівалентам” прийшла сума сирих поживних речовин. В послідуючі роки, завдяки роботам хіміків-фізіологів, особливо Генненберга і Штомана, була внесена ясність відносно тих процесів, які протікають в організмі с.-г. тварин при перетравленні кормів. Було встановлено, що вирішальне значення має не хімічний склад кормів, тобто вміст сирих поживних речовин, а та частина корму, яка всмоктується організмом тварин. Вольф в останніх своїх роботах багато уваги приділив перетравленні кормів і ці дані також звів в таблиці. В них наведені дані про вміст перетравних поживних речовин, тобто перетравних жирів, вуглеводів та білків.

Визначення потреби в кормах за перетравними речовинами мало значний прогрес в порівнянні з розрахунком за сирими речовинами тому, що за основу бралось не те, що тварина одержувала з кормом, а те що вона використовувала. Але і в даному випадку не була досягнута основна мета – провести оцінку кормів до єдиного показника. Метод розрахунку за перетравними поживними речовинами базувався не на єдиному показнику, а на різних поживних речовинах, що значно ускладнювало роботу. Але більш важливим залишалось те, що не ясно було, що ж далі було після перетравлювання. Як тварина

використовувала поживні речовини для побудови свого організму, різних фізіологічних процесів.

Генрі Армсбі розробив схему енергетичного балансу в тваринному організмі, в яку було введено такі поняття як валова (брутто), перетравна, фізіологічно корисна чиста (нетто) енергія корму. Він запропонував проводити оцінку енергетичної поживності кормів в одиницях чистої енергії – термах 1 терм відповідав 1000 ккал відкладених в організмі тварин білку вуглеводів і жиру. Цей принцип став основою для подальшого розвитку оцінки поживності кормів по їх продуктивній дії на організм тварин.

Але найбільший вклад в розвиток науки про годівлю тварин в другій половині 19 і на початку 20 сторіччя були здійснені роботами Оскара Кельнера. В респераційних дослідах на волах він вивчив продуктивну дію чистих перетравних органічних речовин: білків, жирів, клітковини, цукру, крохмалю і визначив константи відкладення жиру за рахунок цих речовин. На відміну від Армсбі він запропонував оцінювати продуктивну дію кормів не в калоріях чистої енергії, а в жировідкладанні. Жировідкладання за рахунок 1 кг перетравного крохмалю одержало назву крохмальний еквівалент.

Взагалі можна відмітити, що наука про годівлю тварин інтенсивний розвиток одержала, починаючи з другої половини 19 сторіччя. В цей час були проведені класичні досліди по годівлі тварин і в Росії. Слід відмітити роботи Миколи Петровича Чирвинського (1848–1920). Цей видатний вчений, вчитель багатьох поколінь агрономів і зоотехніків (по тодішній термінології) провів дослідження на поросятах і довів, що жир у тварин може відкладатися не обов'язково із жиру (теорія Фойта), а із вуглеводів. Це було підтверджено іншими дослідниками на тваринах інших видів в багатьох країнах. Чирвинський все своє життя присвятив дослідженню процесів росту тварин в залежності від умов годівлі. Він вперше показав, що наші аборигенні породи можливо значно покращити за рахунок гарної годівлі в молодому віці. Чирвинський був професором колишньої Петровської сільськогосподарської академії, а потім Київського політехнічного інституту. Він організував першу в Росії кафедру загальної зоотехнії, де вивчали годівлю і розведення тварин.

Великий вклад в розвиток науки про годівлю внесли вчені-зоотехніки Михайло Іванович Придорогін (1862–1929), Михайло Федорович Іванов (1871–1935), Юхим Федотович Ліскун (1873–1958). Підручник Ліскуна “Годівля с.-г. тварин” витримав три видання, написаний легкою мовою з економічним аналізом.

Велика заслуга в розвитку науки про годівлю тварин Єлія Анатолійовича Богданова (1872–1931). Свою наукову роботу він почав з розв'язання питання можливості утворення жиру тварин з білків корму, що було на той час проблемою в теорії жирутворення. Оригінальними дослідженнями на поросятах Богданов доказав, що жирутворення з білків корму звичайний процес, як із вуглеводів, що встановив Чирвинський. Богдановим встановлено, що поряд з енергетичним живленням корму необхідно враховувати білкове і вітамінне.

Під його керівництвом ішов розвиток вчення про нормовану годівлю тварин в залежності від фізіологічного стану, особливо племінних тварин, а

також розроблений проект радянської (вівсяної) кормової одиниці (в 1922–23 рр.), який був прийнятий в 1933 році.

Михайло Дьяков (1878–1952) провів широкі досліді по вивченню обміну речовин і енергії в лактуючих тварин, на основі яких були прийняті норми годівлі дійних корів, овець і кіз; зробив значний вклад в розвиток теорії про мінеральне живлення с.-г. тварин. Він автор робіт, які вияснили роль інфузорій в травленні жуйних тварин, а також доказав, що продуктивна дія окремого корму значно нижча, ніж суміші кормів. Ці роботи лягли в основу розвитку комбікормової промисловості.

Особлива заслуга в розвитку науки про годівлю тварин належить Івану Семеновичу Попову (1888–1964). У 1915 році він провів досліді по перевірці Кельнеровської системи оцінки кормів. В цій роботі він доказав, що поживність зернових кормів неоднакова для тварин різних видів. В 1921 році ним були видані “Кормові норми для відгодівельних волів, племінних і відгодівельних свиней”. З 1921 по 1929 роки він працював в Московському вищому зоотехнічному інституті, де вперше в СРСР створив кафедру годівлі. В 1930–1933 роки працював у Всесоюзному науково-дослідному інституті тваринництва, де організував роботу по оцінці поживності вітчизняних кормів. В результаті якої в 1933 році була видана книга “Корми СРСР, склад і поживність”. Значну увагу він приділяв годівлі і роздою високопродуктивних корів. На основі експериментальних даних ним була двічі видана книга “Годівля високопродуктивних корів”. Він вважав, що при визначенні вуглеводів в кормах, необхідно визначати вуглеводи клітини і клітинної стінки, а далі по білку доповнювати вмістом необхідних тваринам амінокислот. В СРСР ним вперше були складені таблиці по вмісту амінокислот в кормах. З його ініціативи, а також інших вчених в Союзі було налагоджено промислове виробництво окремих амінокислот. Під його керівництвом були виконані досліді, в яких встановлено, що в раціонах корів 20–25% протеїну можна заміняти сечовиною. Його підручник по годівлі с.-г. тварин витримав 9 видань, перекладений на багато мов світу.

Попов вважав, що білкову проблему в тваринництві слід вирішувати за рахунок збільшення виробництва рослинних білкових кормів в господарствах, що актуально і сьогодні.

Вже в 20 сторіччі багато доповнили науку про годівлю с.-г. тварин такі вчені, як О. П. Дмитроченко, М. Ф. Томме, Й. М. Кузнецов, П. Д. Пшеничний, Є. А. Соколов, А. С. Солум, Н. І. Денисов та інші.

Зі створенням республіканських і зональних науково-дослідних інститутів, а їх в колишньому Союзі було більше 25, була розпочата велика робота по розробці деталізованих норм годівлі всіх вікових і виробничих груп сільськогосподарських тварин за енергією, протеїном, амінокислотами, вітамінами, макро- та мікроелементами, яка закінчилася виданням книги “Деталізовані норми годівлі, корми, раціони для с.-г. тварин”. В розробці цих норм прийняли участь цілі творчі колективи інститутів, всіх перелічити неможливо. Можна тільки відзначити, що в Україні над цими питаннями працювали Український інститут свинарства (м. Полтава), Український інститут



тваринництва (м. Харків), Інститут тваринництва Лісостепу і Полісся (м. Львів), Інститут тваринництва Степних районів (Асканія-Нова). З виданням деталізованих норм стало можливим контролювати раціони за 28–30 показниками. Дійні стада провідних господарств, таких як Головний селекційний центр України агрофірма “Наукова”, державні племінні заводи “Чумаки”, “Плоснівський”, “Бортничі” та ін. вже застосовують на практиці годівлю тварин за такими показниками і одержують високу продуктивність тварин. Хоча на сьогодні, на жаль, в більшості випадків годівлю тварин нормують лише за енергією, протеїном, кальцієм, фосфором і каротином, що й забезпечує низький рівень продуктивності. Так, наприклад, в 1999 році по Україні надій молока на корову склав лише 1200–1500 кг проти майже 3000 кг в 1988 році, у 2008 році – 3793 кг, а у 2009 році – 4049 кг молока.

### **3. Вплив годівлі тварин на виробництво продуктів харчування для людей**

Чисельність населення на земній кулі має тенденцію до швидкого зростання, що в свою чергу і стимулює, і вимагає різкого збільшення виробництва продуктів харчування і особливо продуктів тваринництва. За даними ООН в 1960 році на Землі проживало 3 млрд. чоловік, четвертий мільярд добавився за 15 років, п'ятий і шостий – за 25 років, або в середньому вже за 12,5 років, у 2009 році – 6,8 млрд., а до 2025 року за прогнозом чисельності населення складе більше 8 млрд., що складе велику напруженість в світі через нестачу продуктів харчування. На сьогодні (2009 р.) сільське господарство планети виробляє біля 2,5 млрд. т зернових, з них пшениця – 585 млн. т, рис – 562 млн. т, кукурудза – 577 млн. т. В середньому в 2000 році на душу населення виробляли лише 330 кг зернових, що майже в три рази менше необхідної кількості, щоб вдосталь забезпечити потребу людини і годівлю тварин для виробництва молока, м'яса, яєць, а у 2009 році – 376 кг.

Як відмічає американський вчений Л.Браун, білок – головний компонент їжі, необхідної людині, а основа білкового живлення – зерно, яке споживається безпосередньо у вигляді хлібу або через тварин у вигляді м'яса, молока, яєць. Хлібні злаки, які займають більше 70% земель в обробітку дають 52% енергії, яку споживає людина, 11% додають продукти тваринництва (м'ясо, молоко, яйця), картопля і інші бульбоплоди дають 10%, фрукти і овочі – 10%, тваринні жири і рослинні масла – 9%, цукор – 7%, риба – 1%.

Білок має вирішальне значення як для фізичного, так і розумового розвитку людей, особливо дітей. Досліди, які були проведені в Мексиці показали, що білкове голодування дітей протягом декількох років викликає зниження коефіцієнта інтелектуальності на 13 балів, причому таке відставання не може бути відновлене ні освітою, ні кращим живленням в старшому віці.

Для задоволення потреби дорослої “середньої” людини в енергії в умовах помірного клімату, потрібно на добу споживати продукти харчування, які б містили 3200-3500 ккал обмінної енергії. Така кількість енергії міститься в 1 кг пшеничного борошна. Але важливо саме те, що така кількість енергії повинна бути доставлена в організм за рахунок вуглеводів – 440–460 г (або 65%), білків

100–140 г (17,5%) і жирів 115–120 г (17,5%). В передових країнах світу 35% за поживністю добового раціону людей складають продукти тваринництва, при цьому 50 г білків повинно припадати на білки тваринного походження: м'ясо, молоко, риба. Це має виключно важливе фізіологічне значення для людей. За даними ФАО (продовольча і сільськогосподарська організація) ООН (дані “на середню людину”) споживання мінімальної кількості білків тваринного походження має тісний зв'язок з ростом, живою масою і тривалістю життя людей (табл. 1, 2)

Таблиця 1

**Зв'язок споживання білків з ростом, живою масою і тривалістю життя людей**

Країни	Споживання білків тваринного походження	Зріст, см	Жива маса, кг	Тривалість життя, років
США	57	170	70	64
Китай	18	158	54	30

Гірше харчування призвело до розповсюдження захворювань, скорочення життя людей. Населення в Україні склало 48 млн. 157 тис. на 5 грудня 2001 року, а на 01.01.2011 року – 45,598 млн осіб.

Таблиця 2

**Споживання продуктів харчування в Україні (на душу населення / рік), кг**

Найменування продукту	Раціональна норма	1990р.	2000р.	2005р.	2009р.	2010р.	2010 р. у % до	
							норми	1990р.
М'ясо і м'ясо-продукти	80	68,2	32,8	39,1	49,7	52,0	65,0	76,2
Молоко і молокопродукти	380	373,2	199,1	225,6	212,4	206,4	54,3	55,3
Яйця, шт	290	272	166	238	272	290	100	106,6
Хліб і хлібо-продукти	101	141,0	124,9	123,5	111,7	111,3	110,2	78,9
Картопля	124	131,0	135,4	135,6	133,0	128,9	104,0	98,4
Овочі та баштанні	161	102,5	101,7	120,2	137,1	143,5	89,1	140,0
Олія рослинна всіх видів	13	11,6	9,4	13,5	15,4	14,8	113,8	127,6
Цукор	38	50,0	36,8	38,1	37,9	37,1	97,6	74,2
Риба	20	17,5	8,4	14,4	15,1	14,5	72,5	82,6

Як вважають академіки В.Сайко і В.Круть, Україна має виробляти 60 млн. т зерна, тобто майже в 2 рази більше, ніж в даний час. Наші родючі ґрунти, кліматичні умови з таким потенціалом, як наш роботящий народ, зумовлюють

виконання такої програми. При цій умові ми всі разом збережемо здоров'я нації, її інтелектуальний творчий дар.

#### 4. Значення годівлі тварин в інтенсифікація галузі тваринництва

Виробництво тваринницької продукції може здійснюватися екстенсивним або інтенсивним шляхом. Екстенсивне ведення тваринництва пов'язане з використанням в зимовий період кормів-відходів рослинництва: соломи, полови, жому, влітку зелених кормів і пасовищ.

Годівля тварин, як правило, незбалансована, через це продуктивність тварин низька при високій витраті кормів. При екстенсивному веденні тваринництва не витримуються зоогігієнічні вимоги утримання тварин, використовуються аборигенні породи тварин. Інтенсивний шлях розвитку тваринництва вимагає створення стабільної, повноцінної кормової бази, високопродуктивних стад тварин, впровадження інтенсивних промислових технологій виробництва продукції, що гарантує високу продуктивність тварин при економній витраті кормів (табл. 3).

Ці дані свідчать про те, що центральним фактором інтенсифікації є кормова база. Раціони з достатньою концентрацією поживних речовин в 1 кг сухої речовини перетравлюються і використовуються на 15–20% краще. Внаслідок чого період відгодівлі, наприклад, свиней може скоротитися втричі (від 30 до 120 кг при добовому приросту в 200 г – 450 днів, а при 600 г – 150 днів). За рахунок повноцінної годівлі в три рази скорочуються витрати на підтримку життя.

Таблиця 3

#### Взаємозв'язок рівня годівлі тварин та їх продуктивності

Продуктивність	Витрати кормів на 1 кг продукції, ц		Виробництво продукції на 1000 ц к.од.	
	к.од.	%	ц	%
Молочне стадо				
3000 кг молока	1,36	100	735	100
6000 кг молока	0,95	69,9	1053	143
Відгодівля великої рогатої худоби (ВРХ)				
360 г/добу	10,65	100	94	100 %
1000 г/добу	7,00	65,7	143	152
Відгодівля свиней				
200 г/добу	9,23	100	108	100
600 г/добу	4,50	46,7	222	206
Кури-несучки				
150 яєць	3,6 на 100 штук	100	278 тис. шт..	100
250 яєць	2,2	61,1	455 тис. шт.	164

Тому в основу науково-обґрунтованого ведення господарства повинен бути покладений принцип відповідності двох галузей: тваринництва і

рослинництва. Цей принцип був сформований майже два сторіччя тому російським вченим А.Т.Болотовим: “Соблюдение должной пропорции между скотоводством и хлебопашеством – есть главнейший пункт внимания сельского хозяйства. Сие две вещи так между собой связаны, что если одна упущена будет, то неминуемо будет нанесён вред другой”.

Як з накопиченням знань підвищувалась продуктивність тварин свідчать дані К.Гранта.

Таблиця 4

#### Динаміка продуктивності тварин у США

Показник	1956 р.	1967 р.	1980 р.	Біологічний ліміт
Велика рогата худоба м'ясних порід				
Середньодобовий приріст, г	908	1000	1180	1816
Вік досягнення живої маси 454 кг (міс.)	17	15	13	8
Витрати сухої речовини на 1 кг приросту (кг)	8,1	7,2	6,1	5,0
Вихід телят від 100 корів	81	85	90	100
Свині				
Середньодобовий приріст, г	590	731	771	1462
Вік досягнення живої маси 90 кг (дн.)	174	158	138	100
Витрати сухої речовини на 1 кг приросту (кг)	3,7	3,3	2,9	2
Кількість вирощених поросят одного гнізда	7	8	9	20

Прикладом рекордної продуктивності в молочному скотарстві може бути корова Убре Бланка на Кубі, яка в 1982 році за рік дала 27674 кг молока. Вона з'їдала за добу 26 кг сіна і 30 кг комбікорму при витраті на 1 кг молока лише 0,65 корм.од. Всі ці дані, які приведені вище, говорять про те, що для одержання все вищої і вищої продуктивності необхідна повноцінна нормована годівля, бездефіцитна за поживних речовин, хоча для кожної групи тварин є також свої біологічні ліміти, які можуть бути досягнуті мабуть в дуже далекому майбутньому.

#### 5. Вплив годівлі на організм тварин

Із умов годівлі сільськогосподарських тварин живлення є найважливішим фактором функціональної і морфологічної мінливості. Його характер, діючи безпосередньо на системи, пов'язані з споживанням і використанням поживних речовин, у кінцевому підсумку спрямовано впливає на здоров'я, рівень продуктивності і якість продукції у тварин. Так, у ягнят, яких вирощували на об'ємистих кормах (трава, сіно, солома) по закінченні росту довжина кишечника перевищувала довжину тіла у 44–51 раз, тоді як у ягнят, вирощених на раціонах з великою кількістю концентрованих кормів – тільки 33–38 разів.

Тип годівлі тварин позначається також на розвитку та функціях органів дихання і кровообігу: у бичків, вирощених на легкоперетравних кормах, органи дихання і кровообігу внаслідок меншого травного навантаження мають меншу відносну масу.

Під впливом умов годівлі змінюється і будова тіла тварин. У молодняку великої рогатої худоби, вирощеному на об'ємистих кормах, порівняно з тим, що одержував значну кількість концентрованих кормів, спостерігалася більша глибина і обхват грудей, обхват черева, довжина тулуба та ширина в маклаках.

Від характеру годівлі корів значною мірою залежить діяльність їх молочної залози, а також функція залоз внутрішньої секреції. Наприклад, нестача протеїну у раціоні спричиняє спершу зниження вмісту жиру в молоці, а потім – і зменшення надою.

За нестачі мінеральних речовин у раціоні або при невідрегульованому їх співвідношенні, корова спочатку використовує на утворення молока мінеральні речовини з власного тіла, а вже потім в її організмі порушується кислотно-лужна рівновага, погіршується склад молока і зменшуються надої.

Незбалансована за кальцієм годівля курок-несучок, як правило, супроводжується зниженням міцності шкаралупи яєць аж до повної її відсутності, внаслідок чого яйця відносять до некатегорійних.

Сало, одержане від свиней, відгодованих на кукурудзі і висівках, через високу кількість ненасичених жирних кислот стає м'яким і швидко гіркне, тоді як у відгодованих на ячмені воно щільне і придатне для тривалого зберігання.

Про роль і значення умов годівлі у формуванні продуктивності та реалізації генетичного потенціалу сільськогосподарських тварин свідчать і такі дані. Якщо для вирощування одного курчати-бройлера живою масою 1,5 кг до 1960 року потрібно було не менше 60-ти днів за витрати корму на один кілограм приросту 4,5–6 кг, то сьогодні для цього потрібно лише 38–43 дні і 1,8–2,2 кг корму.

На перших етапах приручення й одомашнення молочної худоби людина одержувала від корови за рік 400–600 кг молока. Нині річні надої на одну корову (заводської породи) сягають у 10–15 разів більше. Звичайно, тут важливу роль відіграла селекція тварин, але не менш важливе значення у цьому належить створенню оптимальних умов годівлі.

Умови годівлі можуть сприяти виліковуванню або, навпаки, стати причиною специфічних захворювань, послаблення опору організму проти збудників різних хвороб. До специфічних порушень стану здоров'я тварин, причиною яких є незадовільна годівля, відносять хвороби недостатнього живлення, що викликаються незабезпеченістю тварин життєво-необхідними поживними і біологічно активними речовинами і часто супроводжуються порушеннями обміну речовин та відтворної здатності тварин, а також кормові отруєння. При інфекційних та інвазійних захворюваннях годівля відіграє роль потужного фактора, що забезпечує резистентність організму.

У кінцевому підсумку годівля тварин значною мірою зумовлює рівень рентабельності виробництва продукції тваринництва, оскільки в її собівартості на корми припадає 55–70%.

## Лекція 2

### Основи живлення тварин і оцінка кормів за хімічним складом

1. Основи живлення тварин
2. Схема зоотехнічного аналізу кормів
3. Валова енергія корму
4. Вода і суха речовина
5. Мінеральні речовини (сира зола)
6. Сирий протеїн
7. Сирий жир
8. Вуглеводи
9. Вітаміни та інші біологічно активні речовини

#### 1. Основи живлення тварин

Тварини – гетеротрофи і у процесі своєї життєдіяльності для задоволення фізіологічних потреб постійно потребують надходження до організму пластичних і енергетичних речовин, мінеральних елементів та вітамінів, які складають основу їх живлення.

Живлення тварин – це процес надходження в організм та засвоєння поживних речовин і являє собою одну з основних ланок обміну речовин. Живлення охоплює такі процеси, як споживання й перетравлення корму, всмоктування перетравлених поживних речовин та використання їх для життєво необхідних процесів і утворення продукції. Робота серцево-судинної системи, процеси травлення, діяльність нервової системи організму пов'язані з постійною витратою енергії, білків, мінеральних речовин, вітамінів та інших речовин. У процесі обміну енергія корму переходить в інші види енергії – потенційну енергію приросту живої маси, молока, яєць, механічну енергію при виконанні твариною певної роботи. При цьому частина енергії в процесі окислення речовин переходить у теплову і використовується на підтримання температури тіла, необхідної для нормальної життєдіяльності організму.

Хімічні реакції, що відбуваються в організмі, здійснюються за допомогою біологічних каталізаторів – ферментів. Це речовини білкової природи. До їхнього складу входять деякі вітаміни та мінеральні елементи як активатори. Функціонують ферменти за умови певної концентрації водневих йонів та йонів ряду мінеральних елементів, що зумовлюють відповідну величину рН. У процесі обміну речовин витрачається частина ферментів, вітамінів, мінеральних солей. Джерелом їх поповнення в організмі є корми. Продукція тварин (м'ясо, молоко, яйця, вовна), механічна робота тощо являють собою видозмінені в організмі поживні речовини кормів.

Поживні речовини – це хімічні сполуки, які використовуються організмом тварин для забезпечення і підтримання метаболічної активності усіх його тканин, органів і систем.

Поживні речовини слугують для тварин джерелом енергії для підтримання відповідної температури тіла, роботи всіх систем органів, а також – структурним матеріалом, з якого утворюються нові клітини і тканини, що забезпечують ріст

організму чи плоду, створення запасів поживних речовин, синтез продукції, та джерелом речовин, які беруть участь у регулюванні обмінних процесів.

Отже, поживність корму – це здатність його задовольняти природні потреби тварин у поживних речовинах.

Недостатня годівля тварин призводить до порушення функцій окремих органів і систем, до виснаження організму, зниження стійкості до різних захворювань, а надлишок поживних речовин також спричинює порушення обміну речовин, ожиріння, зниження продуктивності та відтворної здатності.

Поживність корму можна визначити передусім за його хімічним складом, а також в процесі взаємодії корму і організму тварин, за зміною їх фізіологічного стану, обміну речовин та продуктивністю.

У природі не існує жодного корму, який би повністю забезпечував потреби тварин в усіх поживних речовинах. Розрізняють енергетичну, протеїнову, амінокислотну, вуглеводну, ліпідну, мінеральну та вітамінну поживність кормів, яка залежить не тільки від вмісту в них поживних речовин, а й від їх доступності для перетравлювання і засвоєння та співвідношення між ними. Поживність одного й того ж корму не може бути однаковою (постійною) для тварин різних видів і напрямів продуктивності, оскільки потреби у поживних речовинах у тварин залежать від їх функціональних та морфологічних особливостей.

Для оцінювання поживності корму й визначення причин і меж її мінливості під впливом різних умов треба знати вміст у кормах органічних і мінеральних речовин, які беруть участь в обміні і можуть бути використані тваринами, а також характер процесів взаємодії між речовинами, спожитими з кормом, і організмом тварини на різних стадіях її живлення.

## **2. Схема зоотехнічного аналізу кормів**

Корми, які використовують для годівлі сільськогосподарських тварин, є переважно продуктами рослинництва. Близько 85 хімічних елементів знаходиться як у рослинах, так і в організмі тварин. Понад 50 із них належать до постійних їх складових, що визначаються кількісно.

Вуглець, водень, кисень і азот є основними елементами, з яких утворюються органічні сполуки – білки, жири, вуглеводи. Їх умовно називають органогенними. На ці чотири елементи припадає майже 95% елементного складу рослин і тіла тварин. Частка кальцію і фосфору в ньому становить 3,5%, а решти елементів – 1,5%.

Мінеральні елементи залежно від їх вмісту в тілі тварин поділяють на макро- і мікроелементи. Елементи, вміст яких в організмі сягає 0,01%, відносять до макроелементів, кількість яких не перевищує 0,001% – до мікроелементів.

Середній елементний склад сухої речовини рослин і тіла тварин характеризується даними, які свідчать про певну аналогію у вмісті органогенних і мінеральних елементів у рослинах та тілі тварин (табл. 5).

Серед хімічних елементів найбільша частка припадає на вуглець, дещо менше міститься кисню, водню й азоту. Проте суха речовина рослин порівняно з такою тіла тварин містить на 28% більше кисню і на 18% менше вуглецю, на 3,3 азоту, на 3,0 водню та 3,5% мінеральних елементів.

Таблиця 5

**Елементний склад сухої речовини рослин  
та тіла тварин, %**

Об'єкт	Вуглець	Кисень	Водень	Азот	Мінеральні елементи
Рослина	45	42	6,5	1,5	5,0
Тіло тварини	63	14	9,5	5,0	8,5

Хімічні елементи входять до складу різних сполук, які для зручності при агрозоотехнічному аналізі об'єднують у певні групи речовин, подібних за хімічним складом або фізіологічною дією в організмі. Це – вода, мінеральні (сира зола), органічні та біологічно активні речовини. Аналіз кормів і хімічного складу тіла тварин проводять за такою схемою (рис. 1)

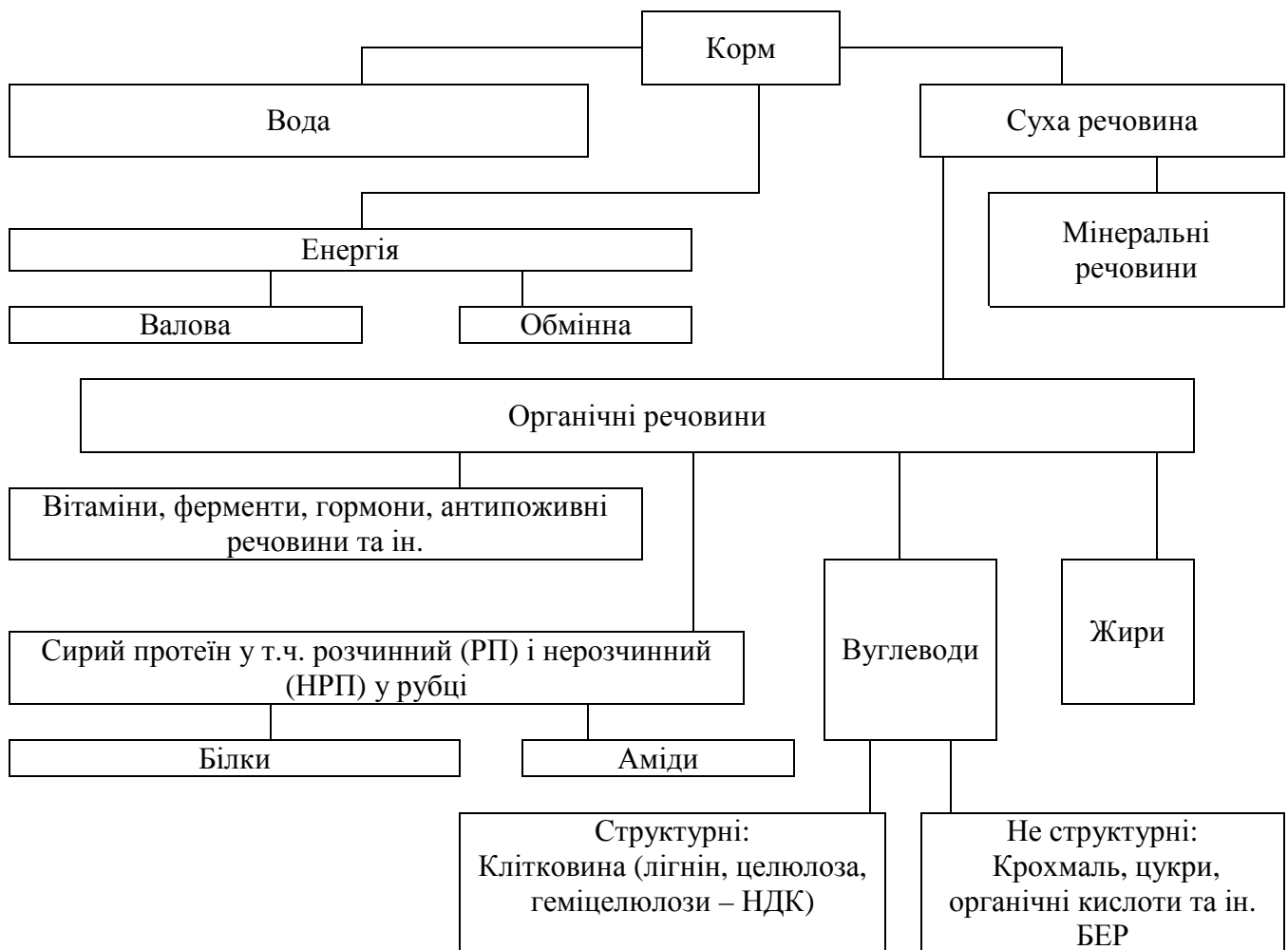


Рис. 1. Схема зоотехнічного аналізу корму

Схема аналізу кормів запропонована у середині XIX ст. німецькими вченими Геннебергом і Штоманом, а пізніше була доповнена визначенням вітамінів, ферментів, а також детальним аналізом складових золи, протеїну, жиру, клітковини та безазотистих екстрактивних речовин (БЕР).



Аналізуючи корми тваринного походження, із схеми виключають визначення сирової клітковини, оскільки в тілі тварин вона відсутня.

Першим етапом аналізу корму є визначення вмісту у ньому води і сухої речовини. У сухій речовині визначають органічні й неорганічні (зола) компоненти. Органічна речовина складається з азотистих і безазотистих речовин. Азотовмісні речовини об'єднані в групу під загальною назвою “сирий протеїн”, який містить білки та інші азотисті речовини, що називаються амідами. До цієї групи сполук належать вільні амінокислоти, солі амонію, нітрати, нітрити тощо. Частина амідів представлена проміжними продуктами синтезу білка, а інша їх частина може утворюватись при розщепленні білків під дією ферментів.

Методом зоотехнічного аналізу речовини визначають разом з деякими домішками. Так, після спалювання корму в золі залишається певна частина органічної речовини та карбонати; при визначенні сирого жиру в органічний розчинник (ефір, бензин тощо) переходить нейтральний жир та жирні кислоти, а також фосфатиди, смоли, віск, пігменти, жиророзчинні вітаміни (А, D, Е, К); із клітковиною залишається частина зольних елементів, геміцелюлози, пектинових речовин, лігніну. Тому вказані сполуки у зоотехнічному аналізі називають сирими (не чистими).

У зв'язку з підвищенням вимог до якості й повноцінності живлення тварин істотно збільшилась кількість показників, що характеризують хімічний склад кормів. Зокрема, у фракції сирого протеїну визначають вміст білків, у тому числі й легкокорозчинних, амінокислот, нітратів тощо; у вуглеводному комплексі крім сирової клітковини визначають геміцелюлози, крохмаль, декстрини, різні цукри, лігнін та ін.; фракцію жиру аналізують за вмістом жирних кислот. У складі сирової золи визначають макро- та мікроелементи. Із інших біологічно активних речовин досліджують вміст каротину, вітамінів: А, D, Е, К, С і групи В та інших речовин.

Органічні речовини, що входять до складу рослин і організму тварин, надзвичайно різноманітні і, у більшості, є складними сполуками. За способом живлення рослини (аутотрофи) кардинально відрізняються від тварин (гетеротрофів). Саме це й зумовлює суттєві відмінності у хімічному складі рослин і тіла тварин (табл.6).

Таблиця 6

**Хімічний склад сухої речовини рослинних кормів та тіла тварин, %**

Показник	Корм			Тварина		
	трава конюшини	зерно кукурудзи	сіно лучне	бугай	свиня	курка
Суха речовина	22,2	87,0	85,7	46,0	42,0	44,0
Зола	8,6	1,6	7,2	10,0	6,6	9,8
Протеїн	16,6	10,1	13,3	32,6	35,7	47,7
Жир	4,0	4,5	2,9	55,2	55,2	40,9
Клітковина	22,5	2,2	30,7	-	-	-
БЕР	47,9	81,6	47,9	2,2	2,5	1,6

Якщо хімічний склад тіла тварин відносно постійний: органічна речовина складається в основному з білка, жиру та незначної кількості вуглеводів (1–2%), то вміст поживних і біологічно активних речовин у кормах рослинного походження значно коливається залежно від їх виду, складу ґрунту, кліматичних умов, добрив, агротехніки і способу підготовки до згодовування. Основу органічної речовини кормів рослинного походження складають вуглеводи, тваринного – білки та жири. Тваринний жир за консистенцією – твердий (крім риб'ячого); рослинний – рідкий.

### 3. Валова енергія корму

Валова енергія корму визначається:

1) Прямим спалюванням в калориметрі.

Калорія (кал) – кількість тепла, яка необхідна для нагрівання 1 г води від температури 14,5°C до 15,5°C, тобто це найменша одиниця виміру енергії.

1 ккал – 1000 кал

1 Мкал – 1000000 кал або 1000 ккал

В системі СІ застосовується одиниця виміру енергії – джоуль:

1 Дж  $\approx$  4,184 кал; 1 кал  $\approx$  0,239 Дж.

1000 Дж – 1 кДж

1000 кДж – 1 мДж

2) За хімічним складом і відповідними коефіцієнтами валової енергії в 1 г речовини (табл. 7).

Таблиця 7

**Вміст енергії в 1 г поживних речовин**

Поживна речовина	Вміст енергії в 1 г речовини	
	Ккал	КДж
<b>Сирий протеїн</b>		
Рослинного походження	5,636	23,60
Тваринного походження	5,700	23,86
<b>Сирий жир</b>		
Грубих кормів	7,962	33,33
Зерновий корм, буряк	9,470	39,65
Тваринного походження	9,500	39,77
Олійних культур	9,540	39,34
<b>Сира клітковина</b>	4,200	17,58
<b>БЕР</b>	4,050	16,96

### 4. Вода і суха речовина

Вода. Серед неорганічних сполук живих організмів воді належить надзвичайна роль. Вона є середовищем, в якому відбуваються процеси обміну. Вміст її у складі більшості живих організмів становить 60–70%, а у деяких (медузи) – до 98%. Втрата тваринами (ссавці) до 10% води призводить до суттєвих порушень обміну речовин, а 20-25% – до загибелі.

Вода бере участь у багатьох життєвих функціях: прийманні та перетравленні корму (гідролізі), всмоктуванні перетравлених поживних речовин, перенесенні їх до клітин, транспортуванні в організмі ферментів, гормонів, вітамінів, розчиненні й винесенні продуктів життєдіяльності клітин, у реакціях обміну речовин, які відбуваються у водному середовищі, регуляції осмотичного тиску. Завдяки високій теплопровідності, захованій теплоті випаровування вода відіграє важливу роль у підтриманні сталої температури тіла та розподілі в ньому тепла.

У разі нестачі води втрачається апетит, погіршуються перетравність і використання поживних речовин, зменшується жива маса, знижується продуктивність. За тривалої нестачі її спостерігаються блювання, пронос, розлад нервової системи, настає інтоксикація, внаслідок чого організм гине.

Вода в організмі міститься в основному у двох фракціях: внутрішньоклітинна й позаклітинна. Перша входить до складу клітин і перебуває у зв'язаному стані з білками, жирами, вуглеводами, утворюючи різні колоїди, гелі, тобто бере участь у побудові різних структур живих клітин. Її частка становить 45% загальної маси води в організмі. Решта води в організмі – біля 20%, позаклітинна (лабільна). Вона циркулює в організмі (кров, лімфа), міститься між клітинами у вільному стані (запасна).

Вільна вода є універсальним розчинником, бере участь у біохімічних процесах, регулює тепловий режим, забезпечує транспорт речовин крізь мембрани, а також сталість фізико-хімічних властивостей цитоплазми клітин та позаклітинних рідин.

Кількість води в кормах або продуктах тваринництва визначають висушуванням наважки корму за температури 100–105°C до постійної маси. Різниця наважки корму до і після висушування складає кількість випаруваної води.

Вміст води у кормах коливається в межах від 5 до 95%. Чим менше в ньому води і більше сухої речовини, тим вища поживність корму. Наприклад, найбільшу протеїнову поживність мають корми тваринного походження (м'ясне, м'ясо-кісткове і рибне борошно), що містять близько 10–12% води. Вміст води в зернових кормах та продуктах їх переробки становить 10–15%, грубих (солома, сіно) – 15–17%, силосованих – 60–80%, зелених – 70–85%. Найбільшу кількість води містять коренебульбоплоди (75–90%) і такі водянисті корми, як жом, барда, м'язга (90–95%).

Високий вміст води в кормах часто погіршує їх якість через розвиток небажаної мікрофлори і активізації ферментів самого корму, що призводить до швидкого його псування (особливо у літній період).

Тварини одержують воду з трьох джерел: питна та вода корму забезпечують 85–90% потреби, а решту – 10–15% складає метаболічна вода, що утворюється в організмі в результаті обмінних реакцій. Встановлено, що при окисленні 100 г вуглеводів, білків і жирів утворюється відповідно: 55,6; 41,3; 107,1 г води.

З організму вода виділяється при диханні, з секретами – сечею, потом і калом. Співвідношення між кількістю спожитої і виділеної води називається водним балансом.

Вміст води в тілі тварин змінюється з віком (орієнтовно): від 80% у молодняку до 50% у дорослих тварин. При відгодівлі дорослих тварин кількість води в їх організмі швидко зменшується – від 60 до 45–40%. У тілі великої рогатої худоби міститься більше води, ніж у тілі овець і свиней однакової кондиції.

Найбільше води в організмі ссавців і птахів міститься у слині – до 99,5%, шлунковому та кишковому соках – близько 97%, у сечі – більше 95%, крові – майже 90%. Вміст води у нирках становить приблизно – 82%, легенях – 79%, хрящах – 55%, м'язах – 51%, кістковій тканині – 46%.

Потреба у питній воді залежить від виду, віку, вгодованості, способу утримання сільськогосподарських тварин, сезону року, температури і вологості повітря, кількості атмосферних опадів, температури води, способу водопостачання.

Середньодобова потреба у воді з розрахунку на 1 кг сухої речовини корму за температури повітря 15–20°C становить, л:

- телята – 7;
- коні – 2–3;
- велика рогата худоба – 4–6;
- птиця – 2–3;
- вівці – 2–3;
- лактуючі тварини – на 1 л молока – 0,87;
- свині – 6–8.

При збільшенні температури повітря вище 30°C потреба в питній воді у тварин може зростати майже вдвічі.

Суха речовина. Після висушування за температури 100–105°C до повного випаровування води із наважки корму чи тканини тварини одержують суху речовину, в якій розрізняють мінеральну (сира зола) і органічну частини. Остання складається з протеїну, жиру, клітковини і БЕР.

## **5. Мінеральні речовини (сира зола)**

Вміст неорганічних компонентів у кормі визначають спалюванням його наважки в муфельній печі за температури 500–550°C. При цьому згорають органічні речовини, а залишок (неорганічні компоненти) називають сирою золою. Розрізняють сиру і чисту золу, яку визначають відокремленням від першої мікрочастинок вугілля, домішок піску та кремнієвої кислоти.

До складу золи корму рослинного походження і тіла тварини входять мінеральні елементи. Залежно від кількісного вмісту в кормах вони поділяються на макро- та мікроелементи.

У кормах мінеральні елементи знаходяться у вигляді окремих сполук. Лужні елементи (натрій, калій, кальцій, магній), переважно є солями органічних і мінеральних кислот, а значна частина фосфору, сірки, кремнію, заліза, магнію

та інших елементів входять до складу комплексних сполук з амінокислотами, білками, ліпідами, вуглеводами.

Мінеральні елементи, хоча й не слугують джерелом енергії для організму тварин, вважаються незамінними речовинами, оскільки беруть участь в усіх фізіологічних процесах. Залежно від значення в живленні мінеральні речовини умовно поділяються на три групи: життєво необхідні для організму (біогенні); ймовірно необхідні та елементи з невизначеним значенням.

До складу тіла тварин входять ті ж зольні елементи, що й до складу рослин, але в інших співвідношеннях. Відомо близько 40 мінеральних елементів, які постійно наявні в тканинах тварин.

Корми з бобових культур відзначаються вищим вмістом кальцію, ніж корми із злакових. Багата на калій, але бідна на кальцій і фосфор зола коренеплодів; порівняно багато фосфору і мало кальцію в золі насіння, зерен і продуктів їх переробки, зокрема, в золі висівок, макухи.

Вміст сирової золи у зелених кормах та коренебульбоплодах знаходиться у межах від 1 до 3%, у зернових – від 1,5 до 5%, сіні, соломі й трав'яному борошні – від 5 до 10%.

Мінеральний склад кормів залежить від багатьох чинників: виду рослин, природно-географічних умов вирощування культур, складу ґрунтів, агротехніки, технології заготівлі, зберігання та підготовки до згодовування.

Встановлено, що перетравність і рівень засвоєння усіх поживних речовин корму в організмі тварин найвищі за вмісту в сухій речовині корму 5–8% сирової золи.

## **6. Сирий протеїн**

Азотовмісні речовини, які ще називають сирим протеїном представлені в кормах білками і амідами.

Вміст сирого протеїну можна розрахувати множенням кількості азоту в речовині на коефіцієнт 6,25, оскільки білок містить в середньому 16% азоту. Зазначений коефіцієнт може змінюватись залежно від складу білка певного корму (вміст азоту в протеїні різних кормів коливається від 15 до 18,4%).

Протеїни (білки) являють собою складні високомолекулярні органічні сполуки, що виконують певні функції в організмі, зокрема:

структурну – вони є основною складовою частиною усіх клітин, тканин та продукції тварин;

каталітичну – майже всі білки діють як ферменти, або входять до їх складу;

скорочувальну – білки трансформують біологічну енергію, сконцентровану в аденозинтрифосфорній кислоті, в механічну;

захисну – вони є складовими імунних тіл;

відтворну – входять до складу статевих гормонів тварин;

транспортну – беруть участь у перенесенні кисню до тканин, видаленні продуктів життєдіяльності із організму, чим забезпечується його діяльність;

регуляторну – регулюють процеси енергетичного, білкового, мінерального обміну, кислотно-лужну рівновагу, осмотичний тиск.

За хімічною будовою білки бувають прості (протеїни) – альбуміни, глобуліни, глютеліни, проламіни та складні (протеїди) – нуклеопротеїди, фосфопротеїни, хромопротеїни, глікопротеїди тощо.

Елементний склад більшості протеїнів такий, %: вуглець – 51–53, водень – 6,5–7,3, азот – 15,5–18,0, кисень – 21,5–23,5; сірка – 0,5–2,0 і фосфор – до 1,55. Деякі білки містять кальцій, залізо, йод, мідь, бром, марганець та інші елементи (гемоглобін, лужна фосфатаза, тироксин тощо).

Структурними одиницями білкової молекули є амінокислоти. Відомо понад 80 амінокислот, з яких найдетальніше вивчені 26. Амінокислоти поділяють на незамінні – ті, що не синтезуються, та замінні – такі, що синтезуються в організмі. До незамінних амінокислот відносяться: лізин, триптофан, метіонін, валін, гістидин, фенілаланін, лейцин, ізолейцин, треонін, аргінін і селенметіонін. Вони надходять до організму з кормом.

Протеїни складають близько половини сухої речовини тіла тварин, а в сухій речовині деяких органів їх частка сягає 85%.

Вміст білків у кормах коливається у широких межах (від 0 до 80%). Особливо багате на білок м'ясне і кров'яне борошно (до 70–80%), з рослинних кормів – макуха і шрот (від 30 до 45%), зернобобові (близько 25–30%); з грубих кормів – сіно бобове (до 12–15%). Небагато білка в зерні злаків (8–12%), мало в злаковому сіні (6–8%), соломі (4–6%), коренеплодах (0,5–1,0%).

Протеїн кормів використовується тваринами як субстрат для синтезу білків тіла і продукції. Ступінь перетворення рослинного кормового протеїну у продукцію тваринництва залежить від виду тварин, рівня продуктивності, техніки годівлі, строків використання та інших умов.

Аміди – це група азотистих сполук, що не відносяться до білків, але містять азот: амінокислоти, аміди амінокислот, сечовина, солі амонію, нітрати й нітрити та ін. Вони розчинні у теплій воді, а при аналізі їх кількість визначають за різницею між вмістом сирого протеїну і білка. Вміст азоту в амідах коливається від 7 до 21%.

Значна частина амідів є або проміжним продуктом при синтезі білка в рослині з неорганічних речовин, або утворюється під дією ферментів і бактерій.

До найбільш поширених амідів належать сполуки з властивостями основ. Це алкалоїди рослин, а також гексонові основи, а в їх числі амінокислоти – аргінін, лізин, гістидин, холін, бетаїн, гуанідін та деякі інші. Частина азотистих речовин знаходиться в рослинах у вигляді сполук з вуглеводами, зокрема глікозиди капустияних та соланін картоплі, віцин вики.

Вміст небілкових азотистих сполук в насінні становить не більше 12% сирого протеїну, в коренеплодах і бульбоплодах їх значно більше, в траві бобових – 20–25%. На аміди багаті рослини, зібрані в період посиленого росту (зелені корми), а також ті, що зазнали бродіння (силос).

Поживна цінність окремих небілкових форм азотистих сполук для сільськогосподарських тварин різних видів неоднакова. Так, у жуйних аміди кормів використовуються мікрофлорою передшлунків для синтезу білків власних клітин. Вони використовуються тваринами як і білки кормів. Для свиней, птиці та інших тварин з простим шлунком аміачні солі, нітрати й нітрити

не можуть слугувати джерелом азотного живлення і, надходячи в надлишку в кров, можуть викликати отруєння.

Безазотисті речовини становлять переважну частину сухої речовини більшості рослинних кормів. Фізіологічна роль безазотистих речовин корму полягає в забезпеченні обмінних процесів організму тварини енергією і пластичним матеріалом. Безазотисті речовини поділяють на дві групи: жири і вуглеводи.

## 7. Сирий жир

Жири належать до групи ліпідів – високомолекулярних сполук, що не розчиняються у воді, але розчиняються в органічних розчинниках (ацетон, бензин, ефір).

Вони є основною складовою жирових включень клітин. Вміст їх у клітині становить від 5–15% її сухої маси, а у клітині жирової тканини – до 90%.

За своєю хімічною природою жири являють собою тригліцериди насичених і ненасичених жирних кислот.

Жир – основне джерело енергії в організмі тварини. Енергетична цінність одиниці маси жиру в 2,25 раза вища, ніж вуглеводів. 1 г жиру при повному згорянні виділяє в середньому 39,7 кДж енергії.

Жир входить до складу протоплазми клітин рослин і тварин як структурний матеріал. Він необхідний для нормальної роботи деяких залоз, що забезпечують травлення. У ньому розчиняються вітаміни А, D, E, K. Жир бере участь у терморегуляції та обміні речовин, надає еластичності шкірі, захищає внутрішні органи від механічних пошкоджень.

На відміну від інших поживних речовин, жир в організмі тварин може нагромаджуватися в значній кількості. Саме на цьому базується відгодівля тварин, особливо свиней.

Консистенція натурального жиру визначається кількісним вмістом олеїнової кислоти. У складі тваринного жиру переважають стеаринова і пальмітинова кислоти, тому його консистенція має вигляд густого жиру або сала.

Рослинні жири через високий вміст олеїнової, лінолевої і ліноленової жирних кислот характеризуються високим йодним числом та рідкою консистенцією (у вигляді олії).

Найбільше жиру містять: насіння олійних культур – 30–50%, макуха – 7–10, зерно вівса і кукурудзи – 5–8, жита і пшениці – 1–2, найменше – коренеплоди – 0,1–0,2, зелені корми – 0,2–0,8, сіно – 2–2,5, солома – 1,5–2%. За тривалого зберігання жири окислюються й гіркнуть. Щоб запобігти цьому, до них додають антиоксиданти.

Поряд з власне жирами важливе значення в годівлі тварин мають інші ліпіди – фосфатиди (лецитин), фітостерини – в рослинних і холестерин – в тваринних жирах. На лецитин в ефірній витяжці із зерна бобових припадає близько 25%, ячменю – 4% та картоплі – майже 3%.

Жири корму у травному каналі гідролізуються до стану, за якого здатні проникати через мембрану клітин кишкового епітелію. Потрапивши у лімфатичний протік, вони, минаючи печінку, кров'ю розносяться по всьому

організму. Поряд із жиром, що всмоктався у травному каналі, значна його частина синтезується в організмі з вуглеводів, жирних кислот і амінокислот.

У випадку надлишкового надходження поживних речовин до організму тварин, вони використовуються на синтез резервного жиру. При цьому енергія спожитого жиру трансформується в енергію резервного на 91%, безазотистих екстрактивних речовин – на 81%, протеїну – на 54%.

Якість жиру, який відкладається про запас, залежить від якості жиру корму. Якщо жир корму містить мало жирних кислот, з яких синтезується жир тварини певного виду, а переважають інші, то при синтезі його в процесі всмоктування у кишечнику у тілі можуть утворюватися й відкладатися жири, що за складом відрізняються від жиру, характерного для тварин цього виду. Однак цього не відбувається у клітинах тіла, де жир, що надійшов, спершу розщеплюється за допомогою ферментів до гліцерину і жирних кислот, а потім з них синтезується жир, специфічний для даної клітини й органу.

У тілі тварин вміст жиру знаходиться у межах від 3–4 до 45–50%, залежно від виду, віку і ступеня вгодованості. Наприклад, тіло теляти при народженні містить 3–4% жиру, відгодованого дорослого вола – близько 40%, жирної вівці – до 45%, худой – близько 19%.

В організмі тварин жир синтезується, передусім, із вуглеводів, а також із жирів і білків кормів. Тому під час відгодівлі тварин до жирних кондицій, до складу їх раціону вводять корми, багаті на вуглеводи.

## 8. Вуглеводи

Вуглеводи є основною складовою частиною органічної речовини кормів рослинного походження. У сухій речовині вегетативних частин рослин їх вміст може досягати 70–80%. Вони входять до складу рослинних клітин: оболонки, соку, пластид, нуклеопротейдів протоплазми та ядра. У тілі тварин вуглеводи знаходяться у вигляді глюкози і глікогену у невеликій кількості – до 1–2%.

У зоотехнічному аналізі кормів серед вуглеводів визначають сиру клітковину, безазотисті екстрактивні речовини, цукор і крохмаль.

Сира клітковина – це частина рослинного корму, що залишається після послідовного кип'ятіння його наважки в слабких розчинах кислот і лугів з наступним промиванням водою, спиртом і ефіром та висушуванням.

В організмі тварини клітковина, як структурний елемент тканин і органів, відсутня.

Клітковина – головний полісахарид рослинних кормів. З неї побудовані клітинні оболонки стебла і листя рослин, що зумовлюють їхню міцність, вона є основною складовою частиною грубих кормів. До складу сирої клітковини входить власне клітковина (целюлоза) та інкрустуючі речовини (лігнін, кутин, суберін), а також частина геміцелюлоз, пектинових речовин тощо.

Значення клітковини у живленні тварин полягає у тому, що:

вона є енергетичним матеріалом для жуйних і коней;

нормалізує процес травлення, оскільки стимулює розвиток і моторику травного каналу, інтенсивність виділення травних соків та їх активність.



Вміст сирової клітковини в кормі та її склад суттєво змінюється залежно від фази вегетації та виду рослин. У ранні фази вегетації клітинні стінки тонкі й складаються переважно з целюлози, в пізніші – у них збільшується вміст лігніну, тобто відбувається інкрустування (здереж'яніння). Така клітковина важко перетравлюється і чим більше її в кормі, тим нижча його енергетична поживність.

Клітини різних частин рослин лігніфікуються неоднаково. Швидше цей процес відбувається в стеблах і меншою мірою у листі. Склад клітковини змінюється в залежності від фази вегетації (табл. 8).

Таблиця 8

**Вміст окремих фракцій сирової клітковини у сухій речовині  
сіна конюшини, %**

Стадія розвитку	Целюлоза	Лігнін	Пентозани
Кущіння	12,4	5,6	5,3
Початок цвітіння	18,0	7,5	8,3
Утворення насіння	23,4	10,6	13,0

Найбільше клітковини міститься в соломі – 35–45%, полові – 30–35, сіні – 22–30, сінажі та силосі – 6–20%. Небагато її у зеленій траві – 5–10%, зерні злаків – 1–4% (у вівсі 10–12%), ще менше у корене- та бульбоплодах, баштаних і водянистих кормах – 0,4–2%.

Безазотисті екстрактивні речовини.

До цієї групи поживних речовин входять усі безазотисті речовини корму, крім ліпідів та клітковини, а також органічні кислоти. Вміст БЕР визначають за різницею:

$$\text{БЕР} = 100\% - \% \text{ води} - \% \text{ протеїну} - \% \text{ жиру} - \% \text{ клітковини} - \% \text{ золи}.$$

Основними складовими їх є цукри, крохмаль, інулін, глікоген, частина пектинових речовин і геміцелюлоз, камеді (рослинний клей) та органічні кислоти.

Корми мають різний вміст БЕР: зерно злаків – 57–75%, бобових – 26–53, сіно – 30–46, борошно трав'яне – 27–48, солома – 28–42, макуха – 22–35, сінаж – 15–26, силос – 10–13, трава злаків – 5–19, бобових – 7–14, коренеплоди – 6–20%.

Крохмаль у рослинах (зерні, бульбах) може нагромаджуватися у значних кількостях (до 70–80% від сухої речовини). Мало його в стеблах і листі – до 2%.

У тілі тварин аналогом крохмалю є глікоген (тваринний крохмаль), що відіграє роль запасної речовини. У печінці вміст досягає до 4% її маси.

З цукрів у рослинних кормах найпоширеніші моно- (фруктоза, глюкоза) і дисахариди (мальтоза і тростинний цукор). Виноградний і плодовий цукри у високих концентраціях входять до складу органічної речовини плодів і коренеплодів. Мальтоза і тростинний цукор у значних кількостях містяться в цукрових буряках (до 20%), моркві, сорго та сіні (від 4 до 8%). Єдиний представник цукрів тваринного походження – лактоза (молочний цукор) знаходиться лише у молоці тварин від 4 до 7%.

Значна частину БЕР у грубих кормах представлена пентозанами (до 25–30%). Вони є проміжними продуктами синтезу клітковини в рослинах.

### **9. Вітаміни та інші біологічно активні речовини**

**Вітаміни.** До органічної речовини кормів поряд з азотистими і безазотистими речовинами входять вітаміни, ферменти, гормоноподібні та антипоживні речовини, які відіграють значну роль в оцінці поживності кормів.

Відомо, що вітаміни А і D у рослинах відсутні, а містяться лише в молозиві, молоці, жовтках яєць, тваринному жирі. Натомість у рослинах, особливо зелених, виявлено провітаміни вітамінів А–каротин і D–ергостерин. Останній у скошеній траві в процесі її висушування під дією ультрафіолетових променів сонця перетворюється у вітамін D. Порівняно багато в рослинних кормах вітамінів групи В.

**Фітогормони.** У хімічному складі кормів особливе місце належить стероїдним гормоноподібним речовинам, вплив яких на організм тварин подібний до дії статевих гормонів (естрогенів). Їх називають фітоестрогенами, оскільки вони синтезуються тільки в рослинах: люцерні, конюшині, цукрових буряках, картоплі тощо.

Частина фітоестрогенів (формонетин, прунетин, куместрол) за своєю хімічною природою близькі до жіночих статевих гормонів – естрону і естрадіолу.

Найбільше їх міститься у зелених бобових рослинах. Тому тривале згодовування люцерни і конюшини у значних кількостях може викликати порушення відтворної функції самок

**Ферменти** виконують функції каталізаторів у живій клітині. У зоотехнічних і клінічних дослідженнях визначають активність окремих ферментів для оцінки дії різних факторів на організм тварин. Ферменти кормів інколи сприяють процесам живлення тварин.

**Антипоживні речовини.** До антипоживних та токсичних відносять речовини (алкалоїди, глікозиди), які знаходяться у деяких кормах. Зокрема, у цукрових буряках міститься сапонін, який гальмує обмін окремих мінеральних елементів в організмі тварин; у бобах сої – інгібітор трипсину, сапонін, ліпоксидаза; у дозрілому насінні льону – антипіридоксиний, у недозрілому–зобогенний фактор. Вказані речовини інактивуються переважно у процесі підготовки кормів до згодовування (нагрівання, запарювання, тостування тощо).

Таким чином, вивчення хімічного складу кормів у практиці тваринництва є одним із найважливіших елементів оцінки їхньої поживної цінності. Знаючи його, можна судити про те, які з поживних речовин і в якій кількості містяться у кормі та в якій мірі вони задовольнятимуть потребу тварин у тих чи інших елементах живлення. Причому, вміст мінеральних речовин, амінокислот, жирних кислот, вітамінів, ферментів та інших біологічно активних речовин визначається тільки за хімічним аналізом.

### Лекція 3

#### Оцінка поживності кормів за перетравними поживними речовинами

1. Перетравлювання і абсорбція поживних речовин.
2. Методи визначення перетравності поживних речовин кормів. Коефіцієнти перетравності.
3. Фактори, які впливають на перетравність поживних речовин.

Хімічний аналіз вважається необхідною умовою оцінки їх поживності кормів, хоча його результати розглядають як перший ступінь такої оцінки. Це викликано тим, що показники хімічного складу корму свідчать лише про його потенційні можливості задовольняти потребу тварин у енергетичних і структурних поживних речовинах. Вважається, що чим більше протеїну, вуглеводів, жирів тощо міститься у кормі, тим він поживніший, і навпаки.

Однак, хімічний склад кормів не дає уявлення про ступінь використання поживних речовин для потреб обміну та формування продукції в організмі тварин.

#### 1. Перетравлювання і абсорбція поживних речовин

Складні органічні речовини кормів у травному каналі тварин гідролізуються до простих сполук, здатних проникати через стінку кишечника і, таким чином, використовуються як енергетичний і пластичний матеріал для організму.

Процеси, що відбуваються в травному каналі тварин, різнобічні і складаються із дії травних соків тварини, які містять різні ферменти; дії мікроорганізмів, що знаходяться у порожнині травного каналу, ферментні системи яких, здатні здійснювати розщеплення поживних речовин кормів; дії ферментів, які входять до складу кормів, завдяки чому поживні речовини кормів перетворюються у засвоювану форму.

За анатомічною будовою травних органів сільськогосподарські тварини поділяються на дві основні групи. До першої з них відносять полігастричних (жуйних), які мають чотирикамерний шлунок: три передшлунки (рубець, книжка і сітка) та власне шлунок (сичуг).

Друга група тварин має простий шлунок (моногастричні): свиней, коней, собак хутрових звірів. Птахів також відносять до цієї групи.

Перетворення речовин кормів у легкодоступні форми починається в травному каналі тварин, у слизових оболонках якого є спеціальні залози, які виділяють травні соки. У ротовій порожнині, корми подрібнюються, розтираються і звожуються слиною, а потім надходять у шлунок, звідти у кишечник.

Фізіологічні особливості травлення жуйних тварин характеризуються потужною, безперервно діючою мікробіологічною системою передшлунків, яка здатна за допомогою ферментів розщеплювати клітковину, трансформувати аміачний азот у бактеріальний білок та синтезувати комплекс водорозчинних вітамінів.

У моногастричних тварин така здатність обмежена, оскільки вони перетравлюють поживні речовини корму за допомогою власних ферментів і ферментів, що надійшли з кормом.

Хімічна обробка кормів травними соками у тварин (як жуйних, так і моногастричних) має послідовний характер. Вона розпочинається у ротовій порожнині під дією ферментів слини, та у шлунку – шлункового соку, у дванадцятипалій кишці – секретів підшлункової залози, печінки та закінчується у тонкому відділі кишечника під дією кишкового соку.

Процес перетворення складних органічних сполук у прості відбувається у певній послідовності.

Перетравлювання вуглеводів. Головним місцем перетравлювання крохмалю та цукрів у тварин з однокамерним шлунком є тонкий відділ кишечника, де на них діють соки підшлункової залози та кишковий. Наявні у них ферменти – амілаза, мальтаза, інвертаза, лактаза – перетворюють ди- та полісахариди на моносахариди. У такій формі вуглеводи всмоктуються через стінку кишечника в кров. У жуйних цукри і крохмаль амілолітичними ферментами мікроорганізмів у рубці гідролізуються до моносахаридів, які у клітинах бактерій зброджуються до летких жирних кислот – оцтової, пропіонової, масляної та ін.

Травні соки шлунку та тонкого кишечника не мають ферментів, здатних розщеплювати клітковину. Вона може розщеплюватися під дією ферментів мікроорганізмів у передшлунках жуйних, товстому кишечнику коней, свиней та птахів. Целюлаза целюлозолітичних бактерій розщеплює клітковину до целобіози, а целобіаза – останню до глюкози, яку мікроорганізми зброджують до летких жирних кислот.

Перетравлювання жирів. Жири не зазнають у ротовій порожнині суттєвих змін, оскільки слина не має ліполітичних ферментів (за винятком телят). Не змінюються вони також і в шлунку, за винятком тонкоемультгованих жирів, зокрема жиру молока. Останній ліпазою, невелика кількість якої є в шлунку, частково розщеплюється на жирні кислоти і гліцерин.

Перетравлювання жирів відбувається переважно у тонкому відділі кишечника, де вони під впливом ліпази соків підшлункової залози та кишечника за участю жовчі розщеплюються до гліцерину та жирних кислот. Останні у реакції з солями жовчних кислот утворюють розчинні у воді комплекси.

У рубці жуйних ліпіди корму розщеплюються під дією ліполітичних ферментів мікроорганізмів з утворенням жирних кислот. Ненасичені жирні кислоти (олеїнова, лінолева, ліноленова) гідрогенізуються. При гідролізі ліпідів вивільняється гліцерин, який зброджується мікроорганізмами до летких жирних кислот.

Перетравлювання протеїну. Хімічна структура протеїну у ротовій порожнині тварин не змінюється, оскільки в слині відсутні протеолітичні ферменти. У рубці жуйних всі аміди і значна частина білків (75–40%) піддаються дії мікрофлори, у результаті чого вони розщеплюються до амінокислот і аміаку, з яких бактерії синтезують білок власного тіла. При цьому рівень перетворення азотистих речовин корму у рубці залежить від умов діяльності для бактерій рН

середовища, наявність цукру, розчинність білків та фізична форма корму – тонина подрібнення, спеціальна обробка тощо. Синтезований мікробний білок разом з нерозщепленою частиною білка корму у сичузі під впливом пепсину за наявності соляної кислоти частково розпадається до пептидів. Із сичуга суміш незміненого білка та пептидів надходить у тонкий відділ кишечника, де під дією ферментів підшлункової залози та тонкого кишечника розщеплюються до амінокислот.

У тварин з однокамерним шлунком протеїн корму під дією ферментів шлункового і кишкового соків перетравлюється до амінокислот, які всмоктуються у тонкому кишечнику.

Неперетравлена частина корму разом із рештками травних соків, слизом, кишковим епітелієм і різними продуктами обміну виводиться з організму тварини у вигляді калу.

## **2. Методи визначення перетравності поживних речовин кормів. Коефіцієнти перетравності**

Під перетравністю розуміють властивість поживних речовин корму розщеплюватися під дією ферментів травних соків і мікроорганізмів до простих сполук, здатних всмоктуватися у травному каналі тварини. Перетравлені поживні речовини (ППР) визначають як різницю між кількістю спожитих поживних речовин корму (ПР корму) та виділених з калом (ПР калу).

$$\text{ППР} = \text{ПР}_{\text{корму}} - \text{ПР}_{\text{калу}},$$

Оскільки перетравність вважається узагальненою характеристикою корму, який можна згодовувати у різній кількості, то її виражають не в абсолютних, а у відносних величинах. Кількість перетравленої речовини, вираженої у відсотках до спожитої, називається коефіцієнтом перетравності. Його визначають за формулою:

$$\text{КП} = \frac{\text{ППР} \times 100}{\text{ПР}_{\text{корму}}},$$

Найчастіше визначають коефіцієнти перетравності органічної речовини, протеїну, жиру, клітковини і БЕР корму. З цією метою проводять спеціальні досліди, для яких підбирають не менше трьох тварин однієї породи і статі, подібних за віком, живою масою, вгодованістю і продуктивністю. Для годівлі використовують корми з відомим хімічним складом.

Дрібних тварин (свині, вівці, кролі, птиця та інші) розміщують в індивідуальних клітках; іншим (велика рогата худоба, коні) для збору калу підвішують спеціально зшиті мішки.

Тривалість досліду поділяють на два періоди: підготовчий і обліковий. У підготовчий період тварин привчають до поїдання досліджуваного корму. Тривалість його, залежно від виду тварин, становить 6–15 діб. У обліковий період, що триває 5–10 діб, збирають кал, визначають його масу і відбирають 3–

10% для аналізу. Кал і вологий корм консервують кислотою і антистатиком. Облік спожитого тваринами корму здійснюють протягом усього досліду. Зразки корму і зібраного за час досліду калу аналізують у лабораторії.

Методики досліду з визначення перетравності поживних речовин залежать від поставленої мети. Якщо потрібно визначити перетравність поживних речовин раціону або окремого корму, який повністю може задовольнити потребу тварини без додавання інших кормів (трава або сіно для жуйних і коней, комбікорм – для свиней і птиці), то дослід ставиться за простим способом. При визначенні перетравності корму, який входить до складу багатокомпонентного раціону, користуються диференційованою схемою дослідження. У такому разі дослід складається з двох частин. У першій частині визначають перетравність поживних речовин основного раціону, до якого входить 5–10% досліджуваного корму; у другій – перетравність раціону, в якому досліджуваний корм у невеликій кількості додається до основного раціону або цим кормом замінюється частина інших кормів у ньому. Кількість перетравних речовин у досліджуваному кормі обчислюють за різницею між кількістю додатково спожитих речовин у раціоні другої частини досліду та додатково виділеної з калом. Далі перетравність визначають за прийнятими формулами.

При застосуванні наведеного способу визначення коефіцієнтів перетравності поживних речовин для окремих кормів передбачається, що перетравність раціону у другій частині досліду залишається такою ж, якою вона була у першій.

Заслуговує на увагу і метод визначення перетравності кормів із застосуванням інертних речовин (кремнієва кислота, лігнін, оксид заліза, оксид хрому). Метод заснований на визначенні співвідношення між поживними та інертними речовинами в кормі і калі. Перетравність визначають за такою формулою:

$$КП = 100 \left( \frac{(\% ПР_{калу} \times \% ІР_{корму})}{\% ПР_{корму} \times \% ІР_{калу}} \times 100 \right),$$

де ПР – вміст поживної речовини у сухій речовині корму і калу, %; ІР – вміст інертної речовини у кормі і калі, %.

Перетравність органічної речовини можна виразити за рівнянням регресії:

для великої рогатої худоби –  $y = 90,1 - 0,88X$ ,

для свиней –  $y = 92,1 - 1,68X$ ,

для коней –  $y = 97,0 - 1,26X$ ,

для птиці –  $y = 88,1 - 2,33X$ ,

де  $y$  – коефіцієнт перетравності;  $X$  – вміст клітковини у сухій речовині корму, %.

### 3. Фактори, які впливають на перетравність поживних речовин.

На перетравність поживних речовин кормів впливає багато факторів, найважливішими серед яких є вид і вік тварин, умови годівлі при її вирощуванні, фізичне навантаження, об'єм раціону і його склад, режим годівлі та підготовки корму до згодовування.

Вид і вік тварин. Залежно від будови і розвитку травного каналу здатність перетравлювати поживні речовини із однойменних кормів у сільськогосподарських тварин різних видів і вікових груп неоднакова. Найбільша подібність у перетравності окремих поживних речовин спостерігається у жуйних тварин: великої рогатої худоби, овець і кіз. Але поживні речовини соломи, багаті на клітковину, краще перетравлює велика рогата худоба, ніж вівці.

Зовсім низька перетравність клітковини у свиней і птиці.

Порівняно з жуйними, коні перетравлюють корм гірше; різниця тим більша, чим більше клітковини він містить.

Свині значно поступаються перед жуйними у здатності перетравлювати грубі корми, але подібні до них за перетравністю концентрованих і коренебульбоплодів.

Через швидке просування корму по травному каналу перетравність поживних речовин у птиці нижча порівняно з іншими тваринами.

Міжвидова різниця в перетравленні кормів дуже чітка, особливо у жуйних і тварин із простим шлунком в першу чергу в перетравленні кормів багатих на клітковину. Погано перетравлюють клітковину свині і особливо птиця (табл. 9).

*Таблиця 9*

**Коефіцієнти перетравності кормів свинями та вівцями**

Тварини	Полова пшенична		Конюшина червона		Зерно ячменю		Буряки
	орг.реч.	клітк.	орг.реч.	клітк.	орг.реч.	клітк.	орг.реч.
Свині	23	10	40	46	82	26	90
Вівці	38	39	68	53	86	50	87

Вид та хімічний склад кормів. Найбільший вплив на перетравність кормів у одного і того ж виду тварин має хімічний склад кормів і особливо рівень клітковини і протеїну. Чим більше клітковини в раціоні, яка закриває доступ ферментів і мікроорганізмів до поживних речовин корму, тим нижча перетравність всіх його поживних речовин. За даними Попова перетравність високогірного сіна у овець знижується по мірі збільшення клітковини в ньому (табл. 10)

*Таблиця 10*

**Вплив вмісту клітковини в сіні на перетравність органічної речовини вівцями**

Вміст клітковини в сіні в СР, в %	25,1	28,4	29,8	30,0
Перетравність органічної речовини, в %	75	67	61	54

При збільшенні вмісту сирової клітковини на 1% понад прийняту норму перетравність органічної речовини раціону знижується у ВРХ на 0,88%, кролів – 1,26%, свиней – 1,68% і курей – 2,33%.

Різниця в перетравленні кормів різними видами тварин пов'язана перед усім з їх неоднаковою здатністю перетравлювати клітковину. У меншій мірі наявність клітковини в кормі впливає на коефіцієнти перетравності у жуйних тварин, більший – у свиней, що підтверджується даними Ж. Аксельсона (табл. 11)

*Таблиця 11*

**Коефіцієнти перетравності органічної речовини кормів тваринами  
різних видів у залежності від вмісту клітковини**

Вміст сирової клітковини у сухій речовині корму, %	Коефіцієнти перетравності, %		
	ВРХ	свині	коні
0	90,1	92,2	-
0,1-5,0	89,1	86,9	-
5,1-10,0	86,9	80,6	-
10,1-15,0	76,3	68,9	81,2
15,1-20,0	73,3	65,8	74,9
20,1-25,0	72,4	56,0	68,6
25,1-30,0	66,1	44,5	62,3
30,1-35,0	61,0	37,3	56,0

Вік тварин. Перетравність поживних речовин залежить також від вікових, морфологічних і функціональних змін органів травлення. Якщо, наприклад, телята, ягнята, поросята у молочний період перетравлюють органічну речовину молока на 96–98%, то при переході на рослинні корми – лише на 40–50%.

Телята-молочники майже не перетравлюють грубі корми. Із розвитком травного каналу перетравність поживних речовин рослинних кормів значно зростає і досягає рівня дорослих тварин у 4–6-місячному віці, коли закінчується формування травної системи.

У старих тварин за втрати зубів і послаблення активності травних ферментів перетравність кормів знижується.

Кондиція і фізичне навантаження тварин також впливають на перетравність кормів. Давно помічено, що у тварин з вгодованістю нижче середньої перетравність кормів нижча, ніж нормально вгодованих. Нижча вона і у коней за важкої роботи, хоча за помірного фізичного навантаження перетравність поживних речовин раціону у них дещо вища, ніж у тих, що без роботи.

Порода та індивідуальність. Значної різниці у перетравності поживних речовин одних і тих же кормів тваринами одного і того ж виду, але різних порід, якщо вони знаходяться у подібних умовах годівлі і утримання, не спостерігається. Інколи, особливо у коней, у перетравності грубих кормів проявляються незначні породні відмінності.



Індивідуальність тварин теж позначається на перетравності, що пояснюється їх темпераментом, набутими рефлексами на кормові подразники та відхиленнями у діяльності і будові органів травлення.

Характер годівлі у період росту. Тип годівлі молодняку в період вирощування адекватно впливає на здатність тварин перетравлювати корми у наступні вікові періоди, тобто дорослі тварини краще пристосовані до того характеру годівлі, який домінував у молодому віці (привчання телят до 6-місячного віку до кормів).

Об'єм і склад раціону. На перетравність впливає розмір кормової даванки, навіть якщо вона однакова за складом. Так, у великої рогатої худоби при зменшенні об'єму раціону наполовину перетравність органічної речовини зростає на 4%, протеїну – на 8%. Навпаки, за умови збільшення об'єму раціону в 2–3 рази порівняно з підтримуючою годівлею перетравність органічної речовини зменшується на 6%, протеїну – на 10%. Ці зміни викликані, в основному, тривалістю перебування корму у травному каналі, оскільки у разі перенавантаження останнього час перебування корму там скорочується. Як наслідок, перетравність поживних речовин знижується.

Рівень перетравності поживних речовин значною мірою залежить від складу раціону. Проведені наукові дослідження показали, що корми з підвищеним вмістом клітковини погано перетравлюються тваринами (табл. 12).

*Таблиця 12*

**Засвоєння і перетравність сухої речовини ряду кормів великою рогатою худобою (Інститут ім. Бабкока, США)**

Корми	Засвоєння, %	Швидкість перетравлення, год
Солома зернових	40	45-55 і довше
Сінаж середньої якості	55	30-40
Доброякісна конюшина	70	12-18
Доброякісна трава	70	18-24
Кормові буряки	85	2-6
Меляса	95	0,5
Зернові корми	80	12-14

Також доведено, що порушення оптимальних співвідношень між окремими групами сполук, викликані надлишком чи нестачею однієї або кількох з них негативно впливає на перетравність органічної речовини. Так, надлишок легкоперетравних вуглеводів (насамперед цукрів) у раціоні жуйних є причиною зниження перетравності інших поживних речовин. За цих умов мікроорганізми передшлунків насамперед використовують розчинні вуглеводи як основне джерело енергії. Тому клітковина частково залишається поза межами їх життєдіяльності. Як результат, погіршується перетравність як самої клітковини, так і інших органічних речовин корму. Інтенсивне утворення летких жирних кислот (ЛЖК) (оцтової, пропіонової і масляної) стає причиною підвищення кислотності кормової маси, посилення перистальтики кишечника та скорочення

терміну перебування її в травному каналі. Наслідком таких явищ є “депресія” травлення. Підвищення у раціонах рівня протеїну сприяє усуненню порушень у функціях травлення, викликаних зазначеними вуглеводами, та підвищенню коефіцієнта перетравності власне протеїну.

У зв'язку з цим важливо підтримувати певне протеїнове відношення, яке показує, скільки частин за масою перетравних безазотистих речовин припадає на одну частину маси перетравного протеїну.

Багатьма дослідженнями доказано, що у жуйних тварин нормальна перетравність можлива, якщо на 8-10 частин перетравних БЕР, включаючи і жир, помножений на 2,25, припадає не менше 1 частини протеїну. Співвідношення між БЕР і азотистими речовинами називають протеїновим відношенням (ПВ):

$$\text{ПВ} = \frac{\text{перетравна клітковина, г} + (\text{перетравний жир, г} \times 2,25) + \text{перетравні БЕР, г}}{\text{перетравний протеїн, г}},$$

Протеїнове відношення менше 6 вважають вузьким, 6-8 – середнім і більше 8 – широким.

Більш широке, ніж 10:1 протеїнове відношення у жуйних веде до зниження перетравності вуглеводів і протеїну, у свиней це спостерігається при більш широкому відношенні 12:1.

У молодих тварин всіх видів це співвідношення повинне бути вузьким 5:1–6:1.

Доведено, що у дорослої великої рогатої худоби оптимальний рівень перетравності поживних речовин забезпечується за протеїнового відношення у раціоні – 8–10:1, свиней та птиці – 3,5–4,5:1.

Для кращого засвоєння поживних речовин і використання в рубці азотовмісних сполук у раціонах ВРХ слід контролювати цукрово-протеїнове відношення (0,8–1,5 г цукру на 1 г перетравного протеїну) та співвідношення крохмалю до цукру (1,5:1).

Для жуйних у раціонах також контролюють амідо-білкове співвідношення яке у нормі повинно становити 1:2-3.

Важлива роль у перетравлюванні і всмоктуванні поживних речовин кормів належить вітамінам і мінеральним речовинам, за нестачі яких може статися розлад моторних і секреторних функцій травного каналу.

Режим годівлі та підготовка кормів до згодовування. Діяльність органів травлення залежить від режиму годівлі: своєчасності, кратності і черговості згодовування кормів та інших факторів, з якими пов'язуються набуття тваринами умовних рефлексів на кормові подразники, що сприяє вищій перетравності поживних речовин.

Для перетравності поживних речовин мають значення і специфічні властивості кормів (фізична форма, смак, запах, чистота тощо), оскільки впливають на апетит та інтенсивність виділення травних соків. Це враховують під час заготівлі кормів, добиваючись їх високої якості.

Разом із тим, на перетравність поживних речовин істотно впливає підготовка їх до згодовування: подрібнення, запарювання, екструдювання тощо (табл. 13).

Встановлено, що перетравність органічної речовини запареної картоплі у свиней на 12% вища, ніж сирій, а протеїн, жир, клітковина і БЕР зерна дрібного помелу (1,5 мм) вони на 4; 14; 5 і 3% відповідно перетравлюють краще, ніж з величиною часток 2,5 мм.

Таблиця 13

**Вплив ступеня подрібнення зерна ячменю на перетравність поживних речовин свинями і їхня інтенсивність росту**

Ступінь подрібнення	Перетравність, %					Приріст маси тіла, г/добу
	органічної речовини	протеїну	жиру	клітковини	БЕР	
Ячмінь – зерно	67,1	60,3	36,7	11,8	75,0	490
Середній помел (1,5–2 мм)	81,8	80,6	54,6	13,3	87,7	599
Дрібний помел (до 1 мм)	84,6	84,4	75,5	30,0	89,7	631

Ефективною вважається і хімічна обробка соломи для жуйних, у результаті якої перетравність органічної речовини зростає на 20–25%, а загальна поживність корму – у 2–2,5 рази.

Отже, визначення перетравності кормів істотно доповнює оцінку їх за хімічним складом, оскільки ґрунтується на вивченні взаємодії поживних речовин корму та організму тварини. Проте воно має певні недоліки: не береться до уваги продуктивність тварин, допускається неточність, яка є наслідком неврахування втрат поживних речовин з кишковими газами.

## Лекція 4

### Обмін речовин і енергії в організмі тварин

1. Основи обміну речовин.
2. Методи вивчення матеріальних змін в організмі тварин.
3. Розподіл енергії в організмі тварин. Баланс енергії.
4. Методи визначення енергії продукції.
5. Визначення балансу мінеральних речовин.

#### 1. Основи обміну речовин

Метаболізм (від грец. *Metabole* - перетворення) – це сукупність всіх хімічних змін і всіх видів перетворень речовин і енергії в організмі, які забезпечують життєдіяльність організмів, їх зв'язок з навколишнім середовищем. Основу обміну речовин складають взаємопов'язані процеси анаболізму і катаболізму за участю ферментів.

Анаболізм (від грец. *Anabole* - підйом), або асиміляція - представляє процес синтезу складних органічних речовин з простіших, з накопиченням енергії.

Катаболізм (від грец. *Katabole* - руйнування), або дисиміляція - сукупність реакцій розщеплення складних органічних сполук (у тому числі харчових) із звільненням енергії. Основні кінцеві продукти катаболізму - вода, вуглекислий газ, аміак, сечовина.

Серед зовнішніх умов, що впливають на обмінні процеси, першорядна роль належить годівлі. У процесі обміну речовин з кормами доставляється пластичний матеріал для органів і тканин організму, синтезу продукції.

#### 2. Методи вивчення матеріальних змін в організмі тварин

Для вивчення матеріальних змін у тілі тварин під впливом годівлі з кінця позаминулого століття почали широко застосовувати спеціальні методи дослідження, серед яких найбільшого поширення набули метод контрольних тварин і балансу речовин та енергії.

- 1) контрольних тварин;
- 2) балансовий (шляхом визначення балансу речовин і енергії).

Метод контрольних тварин. Сутність цього методу полягає в тому, що матеріальні зміни, які відбулися під впливом годівлі, судять за різницею у складі тіла тварин, забитих на початку і в кінці досліду. Для досліду підбирають дві групи тварин однакових за походженням, віком, статтю, масою тіла та станом здоров'я. Перед початком досліду із кожної групи безкровно забивають по 3 голови тварин і аналізують усі продукти забою на вміст білка і жиру (туші дрібних тварин омилують і визначають їх хімічний склад. Під час омилання обліковують виділення аміаку).

Тварин, які залишились у групах, протягом досліду утримують в однакових умовах і годують однаковими сумішками кормів, але аналогам дослідної групи до раціону додають більше того корму, продуктивну дію якого вивчають. По закінченню досліду знову забивають таку ж кількість тварин для

аналізу тіла. Різниця за вмістом білка і жиру між тваринами дослідної і контрольної груп і буде характеризувати продуктивну дію досліджуваного корму. За використання монокорму дослід проводиться на одній групі тварин.

Переваги цього методу в його точності. Даний метод не потребує складного обладнання, але він громіздкий і дорогий та майже не придатний для роботи з великими тваринами.

Балансовий дослід. Найдосконалішим вважається балансовий метод, в основу якого покладено закон збереження речовин і енергії. Суть його полягає в обліку надходження і виділення із організму азоту, вуглецю та енергії.

Знайти баланс можна для кожної з речовин, які надходять до організму тварин. Для цього необхідно взяти на облік джерела надходження та всі форми виділення речовин, елементів і енергії з організму.

Простіше скласти баланс азоту та мінеральних елементів, оскільки тварини для живлення не використовують азот повітря і не виділяють його в газоподібній формі. Це ж відноситься і до мінеральних елементів, за винятком йоду.

Важче скласти баланс води, вуглецю і енергії, бо виділення їх з організму відбувається у газо- і пароподібному стані та у формі тепла. Для складання балансу води, вуглецю й енергії необхідні спеціальні апарати з дослідження газообміну, що робить такі досліді трудомісткими і затратними.

Баланс азоту служить індикатором обміну протеїну в організмі і за його балансом визначають ефективність використання азотистих речовин корму.

Для того, щоб скласти баланс азоту необхідно знати його кількість, яка спожита з кормом, та виділилась з калом, сечею та продукцією:

$$N_{\text{корму}} = N_{\text{калу}} + N_{\text{сечі}} + N_{\text{приросту}} + N_{\text{продукції}}$$

$$\text{Звідси: } N_{\text{приросту}} = N_{\text{корму}} - N_{\text{калу}} - N_{\text{сечі}} - N_{\text{продукції}}$$

Для визначення балансу азоту дослід з перетравності кормів доповнюють обліком виділеної твариною сечі, у лактуючої – молока, у птиці – яєць.

Баланс азоту в організмі тварин залежить від фізіологічного стану і характеру годівлі. Він може бути позитивним, від'ємним і нульовим.

Позитивним балансом азоту характеризуються передусім ростучі та відгодівельні тварини за достатнього забезпечення їх протеїном.

У разі нульового балансу азоту білок у тілі не відкладається, а весь протеїн корму використовується тільки для підтримання життя тварин, поновлення зношених тканин і утворення продукції.

Негативний баланс азоту спостерігається за нестачі протеїну в раціоні та у високопродуктивних корів після отелення, коли азоту виділяється більше, ніж надходить з кормом. У цьому випадку руйнуються білки власного тіла і втрачається маса.

Баланс вуглецю. Індикатором обміну органічних речовин поряд з азотом вважається вуглець, за балансом якого визначають рівень використання твариною органічних речовин корму та резервування жиру. Він входить до складу білків, жирів і вуглеводів та тісно пов'язаний з їх обміном.

Надходить цей елемент із кормом у складі білків, жирів та вуглеводів, а виділяється з організму, крім тих шляхів, що й азот, ще і в процесі дихання та з кишковими газами.

Для обліку газоподібних виділень вуглецю потрібно визначення газообміну.

Баланс вуглецю у тварин визначають в спеціальних герметичних камерах (респіраційних апаратах) для обліку видалення газів.

$$C_{\text{корму}} = C_{\text{калу}} + C_{\text{сечі}} + C_{\text{газів}} + C_{\text{виділеної продукції}} + C_{\text{приросту}};$$

$$C_{\text{приросту}} = C_{\text{корму}} - C_{\text{калу}} - C_{\text{сечі}} - C_{\text{газів}} - C_{\text{виділеної продукції}}.$$

У ВРХ за добу може утворитися до 1000 л газу –  $\text{CH}_4$  та  $\text{CO}_2$  у співвідношенні 1:3.

Залежно від надходження в організм і виділення з нього баланс вуглецю буває позитивним, негативним та нульовим.

На відміну від азоту, при визначенні балансу вуглецю необхідно вести облік вуглецю, що виділяється з організму у газоподібній формі. З цією метою тварин поміщають у спеціальні дихальні установки.

Сутність дослідів полягає в наступному. Через камеру, де знаходиться тварина, пропускають повітря. З камери повітря проходить через газові годинник, за допомогою яких визначається його кількість в літрах. Одночасно визначається зміст вуглекислого газу в повітрі, що надійшов з камери. Якщо відомий склад зовнішнього повітря, склад і об'єм повітря, що вийшов з камери, то можна визначити кількість вуглекислого газу, виділеного твариною, і вміст вуглецю.

Більш простим і дешевим є масковий метод визначення газообміну. На голову тварини надягають маску з гумовою манжетою, усередині якої розташовані гумові кільця. При надування їх повітрям манжета щільно прилягає до голови, не пропускаючи повітря. У масці передбачені клапани для вдихуваного і видихається. Вдихаємо повітря через нижній клапан потрапляє в легені тварини, а після видиху через верхні клапани по гофрованим трубкам повітря надходить в газові годинник з лічильником. Визначається також кількість виділеного з повітрям, що видихається вуглекислого газу.

Таким чином, за величиною утриманого в тілі вуглецю можна обчислити кількість жиру, а з урахуванням балансу азоту – і кількість білка, що утворюється в організмі.

### **3. Розподіл енергії в організмі тварин. Баланс енергії**

Біохімічні перетворення поживних речовин, які відбуваються в організмі тварин, тісно пов'язані з обміном енергії, оскільки обмін речовин і енергії є різними формами одного і того ж процесу життєдіяльності.

З погляду термодинаміки, організм тварини є гетеротрофною відкритою системою, оскільки обмінюється з середовищем речовинами і енергією. Вивільняється енергія поживних речовин при перетравлюванні високомолекулярних сполук до мономерів у травному каналі. Головним чином, вона вивільняється поетапно у проміжному обміні у клітинах при розпаді білків, жирів і вуглеводів. Частина її переходить в енергію інших речовин (макроергів – нуклеозидтрифосфати, нуклеозиддифосфати, креатинфосфат, ацетил-КоА...), що являють собою біологічні акумулятори енергії та енергію синтезованої

продукції, а друга частина підтримує тепловий баланс організму та розсіюється у навколишнє середовище.

Отже, енергія, зарезервована в органічних речовинах і виділена при їх розпаді в організмі, витрачається на синтез специфічних сполук і процеси життєдіяльності. Тому рівень матеріальних змін в організмі можна оцінити за балансом енергії:

$$BE_{\text{корму}} = E_{\text{калу}} + E_{\text{сечі}} + E_{\text{метану}} + E_{\text{теплоти}} + E_{\text{продукції}}.$$

При використанні організмом тварин енергії корму (валової енергії) відбуваються її втрати як при перетравленні, так і в процесі обміну речовин. Величина цих втрат залежить від складу кормів, виду тварини і його продуктивності. Тому можна використовувати єдину схему енергетичного обміну для всіх видів тварин (рис. 2).

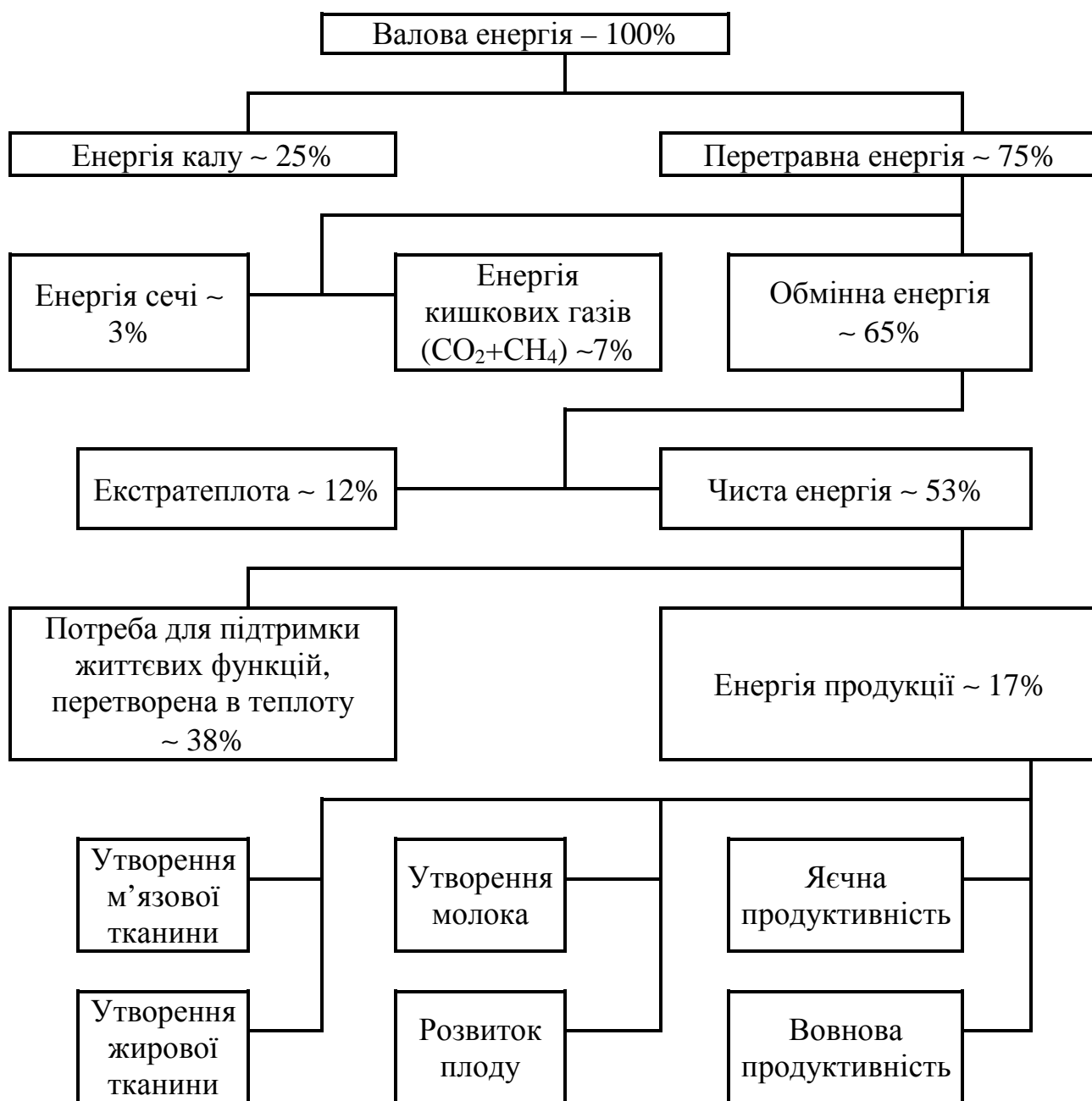


Рис. 2. Схема обміну енергії

Валова енергія (BE або GE).

Під валовий енергією корму увазі всю хімічну енергію його поживних речовин. Рівень надходження енергії до організму тварини (валова енергія, BE) визначається кількістю спожитого корму та концентрацією у ньому енергії. Останню визначають у калориметрі, спалюючи наважку корму в атмосфері кисню або обчислюють за наявністю в одиниці корму окремих органічних поживних речовин – протеїну, жиру, вуглеводів та їхнім калориметричним (тепловим) коефіцієнтом.

Перетравна енергія (ПЕ або DE).

Частина валової енергії корму втрачається тваринам з калом. Вміст перетравної енергії (ПЕ) визначають у прямих дослідках на тваринах за різницею між валовою енергією корму та енергією калу, а непрямим методом – за кількістю перетравлених поживних речовин та їхнім тепловим коефіцієнтом.

Енергія перетравлених поживних речовин частково в організмі втрачається із сечею, а у жуйних – із кишковими газами. Сеча тварин містить недоокислені продукти обміну речовин – сечовину, сечову й гіпурову кислоти, креатинін та інші речовини, які виносять з організму частину енергії. У жуйних при бродінні утворюється метан, з яким витрачається також значна кількість енергії корму. Істотно зменшити втрати енергії з калом, сечею і кишковими газами у тварин можна за рахунок старанного балансування раціонів за поживними і біологічно активними речовинами.

Обмінна енергія (OE або ME).

Поряд з втратами енергії з калом відбувається виділення енергії з сечею і кишковими газами (метаном). Віднімаючи з перетравності енергії втрати енергії з сечею (E сечі) і кишковими газами (E метану і CO<sub>2</sub>), отримуємо обмінну енергію. Обмінна енергія у тварин з однокамерним шлунком – це енергія, яка використовується для підтримки їх життєдіяльності та утворення продукції.

OE врх, овець = BE – E калу – E сечі – E метану і CO<sub>2</sub> (прямий спосіб визначення обмінної енергії)

У жуйних ще спостерігаються і незначні втрати енергії з утворенням теплопродукції, які неможливо окремо врахувати.

Співвідношення між перетравною енергією (ПЕ) і обмінною енергією (OE) у ВРХ – 82%, овець – 87%, коней – 92%, свиней – 94%, птиці – 96%.

Енергія теплопродукції.

При перетвореннях енергії в ході обміну речовин відбуваються її втрати у вигляді теплопродукції, яка має дві складові.

Перша складова (екстратеплота) – це енергія, що витрачається на пережовування і перетравлення корму, транспортування поживних і біологічно активних речовин в організмі, скорочення м'язів, а також прямі втрати енергії на синтез різноманітних речовин. У жуйних у складі теплопродукції додатково враховується енергія ферментації.

Друга складова, власне тепло, являє собою енергію, що вивільняється у вигляді теплоти з організму для підтримки життєвих функцій при повному позбавленні тварини їжею (витрати енергії, пов'язані з процесами



життєдіяльності організму, основний обмін речовин, роботою серцево-судинної, дихальної, сечовидільної, нервової та інших систем, обмінна енергія плоду, підтримка температури тіла).

Чиста енергія (ЧЕ або NE).

Під чистою енергією мається на увазі енергія корму, яка залишається після вирахування із значення обмінної енергії екстратеплоти (витрат енергії на засвоєння поживних речовин). Чиста енергія витрачається на підтримку життєвих функцій організму і безпосередньо на продуктивність. Втрати енергії у вигляді екстратеплоти залежать від виду продукції: при жировідкладенні вони складають 5–25%, при тільності (поросності) – до 80%.

$\text{ЧЕ корму} = \text{ВЕ} - \text{Е калу} - \text{Е сечі} - \text{Е метану} - \text{Е екстратеплоти}.$

Продуктивна енергія.

Продуктивна енергія – це енергія, яка відкладається або виділяється з органічними речовинами продукції тварин. Якщо енергії корму недостатньо для даного рівня продуктивності, то покриття дефіциту енергії відбувається з резервів організму.

#### **4. Методи визначення енергії продукції**

Для визначення продуктивної енергії корму застосовують методи прямої калориметрії, вивчення газообміну, балансів азоту та вуглецю.

Метод прямої калориметрії. Метод прямої калориметрії передбачає облік тепла, яке виділяє тварина за певний проміжок часу. Для цього її поміщають у біологічний калориметр – герметичну камеру з подвійними стінами, між якими знаходиться вода. Камера ізолювана від проникнення повітря і тепла, але забезпечує годівлю, напування тварин, збір калу, сечі та облік кишкових газів. За температурою нагрівання води в калориметрі визначають загальну теплопродукцію, а за вмістом енергії в калі, сечі й метані – втрати енергії корму.

Вивчення газообміну. Метод прямої калориметрії дорогий і потребує складного обладнання. Тому при визначенні теплопродукції вивчають газообмін, враховуючи кількість спожитого твариною кисню і виділеного вуглекислого газу. На основі їх установлюють дихальний коефіцієнт через відношення виділеного  $\text{CO}_2$  до спожитого  $\text{O}_2$ . за допомогою спеціальних таблиць визначають кількість тепла, яке утворилося в процесі окислення вуглеводів і жирів. Про кількість тепла, що утворилося при окисленні білків, дізнаються за вмістом азоту в сечі.

Баланс азоту та вуглецю. Для визначення чистої енергії продукції найчастіше застосовують метод балансів азоту і вуглецю.

За балансом азоту і вуглецю визначають кількість синтезованого в організмі білка й жиру (у білку м'яса 16,67% азоту і 52,5% – вуглецю, а в жирі 76,5% вуглецю), а на їхній основі – кількість чистої енергії приросту. В 1 г білка у середньому міститься 23,86 кДж енергії, в 1 г жиру – 39,77 кДж. При визначенні синтезу білка і жиру в організмі виходять: за кількістю відкладеного азоту розраховують кількість білка, а потім вміст у ньому вуглецю, а за залишком вуглецю між відкладеним у тілі й вмістом його в синтезованому білку – кількість

жиру. Розрахунок балансу азоту, вуглецю і енергії в організмі корови наведено нижче:

Показник	Азот, г	Вуглець, г	Енергія, МДж
Надійшло в організм	257	6323	280,0
Виділено:			
з калом	88	2351	98,1
сечею	97	346	8,0
вуглекислим газом	-	2448	-
метаном	-	328	23,8
молоком	67	825	35,1
теплом	-	-	113,8
Баланс:			
відклалося у тілі	5	25	1,2

Наприклад, за наведеними даними синтез білка становить:

100 г білка містить 16,67 г азоту  
 x 5 г

$$x = \frac{100 \times 5}{16,67} = 30 \text{ г.}$$

У 30 г білка міститься вуглецю:

100 г білка містить 52,5 г вуглецю  
 30 г x

$$x = \frac{30 \times 52,5}{100} = 15,75 \text{ г.}$$

Залишилося вуглецю на синтез жиру:

25 г – 15,75 г = 9,25 г.

Синтезувалося жиру:

100 г жиру містить 76,5 г вуглецю  
 x 9,25 г

$$x = \frac{100 \times 9,25}{76,5} = 12,09 \text{ г.}$$

Отже, при балансі 5 г азоту і 25 г вуглецю в організмі синтезувалося 30 г білка й 12,09 г жиру. Звідси кількість чистої енергії становить:

$$30 \text{ г} \times 23,86 \text{ кДж} + 12,09 \text{ г} \times 39,77 \text{ кДж} = 1196,6 \text{ кДж.}$$

Оскільки енергія вважається одним з основних показників поживності раціонів і потреби тварин, за її дефіциту знижується продуктивність та порушується життєдіяльність тварин.

Інколи з продукцією (молоко, яйця) виділяється енергії більше, ніж надходить з раціоном. У такому разі для синтезу продукції залучаються резервні речовини тіла, внаслідок чого тварини втрачають живу масу. У зв'язку з цим збільшується ланцюг перетворень енергії, які зв'язані з її втратами.

## 5. Визначення балансу мінеральних речовин

Баланс мінеральних елементів визначають таким же методом, що й баланс азоту. Оскільки мінеральні речовини надходять до організму тварин з кормом і водою, а виділяються з калом, сечею і продукцією, то для складання балансу потрібно визначити кількість певного елемента в названих джерелах

надходження і виділення. Незначна кількість мінеральних елементів втрачається з потом, випаденим волосом тощо, тому цих втрат не враховують.

Баланс мінеральних елементів складають з метою визначення задоволення у них потреби тварин. Від'ємний баланс, як правило, свідчить про недостатнє надходження їх до організму або про порушення їх обміну. Проте і позитивний баланс мінерального елемента не є остаточним свідченням мінерального комфорту організму, оскільки у тілі може затримуватися недостатня кількість мінерального елемента. Тому дані про баланс мінеральних елементів слід доповнювати дослідженнями (крові, волосу, продукції тощо).

На відміну від органічних речовин, мінеральні солі кормів у травному каналі тварин всмоктуються одночасно з виділенням їх з організму в травну систему. Тому перетравність мінеральних елементів не визначають.

Мінеральні елементи, що надходять з травними соками у травний канал за нормальних умов певною мірою там же й всмоктуються. У випадку проносів вони виносяться з організму, що призводить до швидкої втрати мінеральних солей і може стати причиною загибелі тварини.

Метод мічених атомів. Сучасні досягнення біофізики дозволяють застосовувати нові методи у вивченні перетворень поживних речовин в тварин організмах. Одним з них є метод мічених атомів. Метод заснований на введенні в організм з кормом, повітрям або водою досліджуваних елементів у певному співвідношенні з їх радіоактивними ізотопами. Наприкінці досвіду спеціальними приладами визначають концентрацію ізотопів в органах, тканинах, виділених та інших біологічних об'єктах залежно від мети досвіду. У розрахунках беруть до уваги, що засвоєння організмом досліджуваних елементів відбувається пропорційно засвоєнню їх ізотопів. Однак даних метод вимагає найсуворішого дотримання правил техніки безпеки по роботі з радіоактивними матеріалами.

## Лекція 5

### Оцінка енергетичної поживності кормів

1. Значення енергії для організму тварин.
2. Історія оцінки енергетичної поживності кормів.
3. Оцінка поживності кормів у вівсяних кормових одиницях.
4. Оцінка поживності кормів за обмінною енергією.
5. Оцінка енергетичної поживності кормів у інших країнах.

#### 1. Значення енергії для організму тварин

Для підтримки життєдіяльності організму, утворення продукції тваринам потрібна енергія. Єдиним джерелом енергії є корми, точніше – органічні речовини кормів. Значить, енергетичну поживність корму можна розглядати як його здатність задовольняти потребу тварини в органічній речовині – джерелі доступної енергії. Концентрація енергії в раціоні має суттєвий вплив на продуктивність тварин (табл. 14).

*Таблиця 14*

**Вплив концентрації обмінної енергії в сухій речовині раціонів на величину середньодобових приростів тварин живою масою 150–600 кг**

Співвідношення кормів у раціоні, %		Концентрація ОЕ в 1 кг СР, МДж	Середньодобовий приріст, г						
об'ємисті	концентровані		500–600	700–800	900–1000	1100–1200	1300–1400	1500–1600	1700–1800
30–23	70–77	12					+	+	+
51–44	49–56	11			+	+	+	+	
65–57	37–43	10		+	+	+	+		
86–79	14–21	9	+	+	+				
100–93	0–7	8	+	+					

За низької концентрації енергії у сухій речовині раціонів тварин ми не зможемо отримати від них високої продуктивності.

#### 2. Історія оцінки енергетичної поживності кормів

Способи оцінки поживності кормів постійно удосконалюються в міру накопичення знань про їхній склад, про фізіології харчування тварин.

Вперше оцінка поживності кормів у порівняльних одиницях запропонована німецьким дослідником А. Теєром в 1809 р. Він висловив річну потребу в кормах корів в перерахунку на сіно: 1 кг картоплі, на думку Теєра, був еквівалентний 0,5 кг сіна; 1 кг вівса – 2 кг сіна, 10 кг кормового буряка – 2 кг сіна; 5 кг трави конюшини – 1,0 кг сіна. Всього на голову великої рогатої худоби було потрібно 2500 кг умовного сіна на рік.

Пізніше учнями Теєра введено поняття сінний еквівалент.

У середині XIX ст. німецькі вчені Лібіх і Вольф запропонували оцінювати поживність кормів за валовим вмістом у них сирих поживних речовин. Потім Вольф опублікував таблиці поживності кормів, де вказувалося вміст у них не сирих, а перетравних поживних речовин. Оцінка поживності за перетравними речовинами була запозичена й іншими країнами, включаючи Росію.

Перший науково-обґрунтований спосіб оцінки поживності кормів за продуктивною дією в крохмальних еквівалентах запропонував німецький учений О. Кельнер в 1907 р. Крохмальні еквіваленти знаходяться в основі і вівсяної кормової одиниці, яка застосовується в нашій країні, тому зупинимося докладніше на суті запропонованої Кельнером одиниці поживності кормів.

У балансових дослідах на волах Кельнер вивчав відкладення білка і жиру (жировідкладення) від чистих перетравних поживних речовин, тобто визначав продуктивну дію протеїну, жирів і вуглеводів. В якості протеїну він згодовував пшеничну клейковину, в якості вуглеводів – крохмаль, цукор, целюлозу; жирів – емульсію масла земляного горіха (арахісу). На початку вивчалася жировідкладення основного раціону. Потім (понад основний раціон, додатково) згодовували чисті поживні речовини. І за різницею визначалося жировідкладення за рахунок речовин (показники їх продуктивної дії), наведених у табл. 15.

Таблиця 15

**Показники продуктивної дії 1 г чистих поживних речовин**

Перетравність поживних речовин	Кількість жиру і білка в перерахунку на жир, відкладені в організмі, г
Протеїн	0,235
Жир грубих кормів	0,474
Жир зернових та продуктів їх переробки	0,526
Жир насіння олійних та макух	0,598
Крохмаль і клітковина	0,248

Пізніше показники продуктивної дії називали константами Кельнера. Таким чином, якщо відомо, скільки в кормі міститься перетравних поживних речовин і показники їх продуктивної дії, можна визначити жировідкладення, тобто поживність любого корму. Приклад визначення продуктивної дії вівса наведений в табл. 16.

З даних табл. 16 випливає, що при згодовуванні 1 кг вівса повинно відкластися 158,8 жиру і білка в перерахунку на жир – розраховане жировідкладення. Якщо згодувати 1 кг вівса тварині, чи відкладеться така ж кількість жиру? Чи збігається фактичне жировідкладення з розрахунковим? Кельнер провів серію дослідів, в яких визначав фактичне жировідкладення кормів і порівнював його з розрахунковим одержаним за допомогою коефіцієнтів. Він вивчив продуктивну дію 51 виду корму. Виявилося, що для картоплі, зерна кукурудзи фактичне жировідкладення збігалося з розрахунковим.

Розрахунок продуктивної дії 1 кг вівса

Перетравна речовина	Вміст в 1 кг перетравних поживних речовин, г	Константи Кельнера	Жировідкладення, г (стовпець 2 × стовпець 3)
1	2	3	4
Протеїн	80	0,235	18,8
Жир	40	0,526	21,0
Клітковина	30	0,248	7,4
БЕР	450	0,248	111,6
Сума	600	x	158,8

У інших концентратів, коренеплодів фактичне жировідкладення було трохи нижче. Для цих кормів Кельнер запропонував коефіцієнт відносної цінності (повноцінності) – відношення фактичного жировідкладення до розрахункового (К).

В даному випадку,  $K \text{ вівса} = 150 : 158,9 = 0,95$ , де 150 г – фактичне, а 158,8 г розрахункове жировідкладення.

Однак для грубих кормів різниця між фактичним і розрахунковим жировідкладенням була значною: для сіна – 37%, а для соломи – 80%. Низьке жировідкладення від цих кормів Кельнер пояснив високим вмістом клітковини, яка вимагає значних витрат енергії при перетравленні. Кельнер розраховував, що кожні 100 г сирової клітковини в грубих кормах знижують жировідкладення на 14,3 г.

За одиницю поживності Кельнер запропонував взяти продуктивну дію 1 кг крохмалю, рівне 248 г жиру. Таким чином, крохмальний еквівалент вівса складе 0,6:

$$\begin{aligned} 248 \text{ г жиру} &= 1 \\ 150 \text{ г жиру} &= x \\ x &= 150 : 248 = 0,6. \end{aligned}$$

Отже, 0,6 кг крохмалю і 1 кг вівса дають однакове жировідкладення, рівне 150 г, а 1 кг зерна кукурудзи дає жировідкладення – 198 г, звідси крохмальний еквівалент зерна кукурудзи – 0,80 ( $198 : 248$ ).

Крохмальний еквівалент – це кількість кілограмів крохмалю, рівна (еквівалентна) по жировідкладенню 1 кг корму.

Недоліки крохмальних еквівалентів базуються на помилковому уявленні про сталість продуктивної дії поживних речовин незалежно від їх складу, виду тварин, пряму продуктивності. Різні види тварин перетравлюють одні і ті ж корми неоднаково. Жуйні краще перетравлюють грубі корми, ніж моногастричні.

Оцінка поживності за жировідкладенням мало підходить для лактуючих тварин. Результати, отримані на волах, Кельнер механічно переніс на всі види тварин.

Оцінка поживності кормів за методом Кельнера є досить складною. Вчені шукали більш прості способи оцінки.

Так, датський дослідник Фіорд і шведський – Гансон розробили спосіб оцінки поживності в кормових одиницях. Кожна кормова одиниця еквівалентна за продуктивною дією 1 кг концентратів. При цьому поживність визначали в звичайних дослідах по годівлі, не вивчаючи обмін речовин і енергії.

У 1915 р. в Копенгагені була прийнята загальноскандинавська кормова одиниця, еквівалентна 1 кг ячменю або 1,1 кг сухої речовини коренеплодів, або такої кількості всякого корму, яке дорівнює за поживністю 1 кг ячменю (0,7 крохмального еквівалента).

Американський вчений Г. Армсбі в 1915 р., запропонував оцінювати поживність кормів за чистою енергією в термах.

Один терм (від грец. Therme – Тепло) дорівнює 4,187 МДж або 1000 ккал чистої енергії, яка визначалася в прирості маси бичків.

### **3. Оцінка поживності кормів у вівсяних кормових одиницях**

У 1922–1923 р. питання про оцінку поживності кормів в СРСР розглядала комісія на чолі з професором Є. А. Богдановим. Основою для запропонованої одиниці поживності було вирішено взяти Крохмальні еквіваленти, так як вони мали наукове обґрунтування. Щоб спростити, їх дещо видозмінили, взявши за одиницю поживну цінність не 1 кг крохмалю, а 1 кг вівса, тому її назвали вівсяною. Офіційно вівсяна кормова одиниця була затверджена 24 грудня 1933 р.

За продуктивною дією вівсяна кормова одиниця дорівнює 150 г жиру, відкладеного в тілі дорослої великої рогатої худоби при згодовуванні 1 кг вівса понад підтримуючий раціон. Поживність інших кормів була перерахована по співвідношенню з крохмальним еквівалентом, враховуючи, що 1 вівсяна кормова одиниця дорівнює 0,6 крохмальних еквівалента. Наприклад, в 1 кг сіна 0,3 крохмальних еквівалента, отже, поживність сіна у вівсяних кормових одиницях складе 0,5 корм. од. (0,3:0,6). В 1 кг картоплі 0,18 крохмальних еквівалентів, вівсяних кормових одиниць – 0,3; (0,18:0,6). Слово «вівсяна», як правило, опускають і називають просто кормова одиниця, скорочено – корм. од.

Таким чином, за одну кормову одиницю (1 корм. од.) прийнята поживна цінність 1 кг вівса середньої якості згодованого понад підтримуючий раціон, рівна за жировідкладенням у вола на відгодовлі 150 г жиру, що відповідає 5,92 МДж чистої енергії або 0,6 крохмального еквіваленту.

Останнім часом оцінка поживності кормів у кормових одиницях проводиться на основі фактичних даних їх хімічного складу (див. табл. 16), тобто в кормах визначають вміст протеїну, жиру, клітковини, безазотистих екстрактивних речовин (БЕР), множать на коефіцієнти перетравності цих речовин (КП) і отримують кількість перетравних поживних речовин (ППР). Перетравні речовини множать на показники їх продуктивної дії (константи Кельнера) і визначають очікуване жировідкладення. Щоб знайти фактичне жировідкладення, віднімають поправку на клітковину, або множать на коефіцієнт повноцінності. На 1 г сирової клітковини, що міститься в кормі зменшують жировідкладення: в сіні, соломі – на 0,143 г, в полові – на 0,072 г, в

зелених, силосованих кормах при 12,0–14,0% клітковини – на 0,131 г, при 10,0–11,9 – на 0,119; при 8–9,9 – на 0,107, при 6–7,9 – на 0,094, при 4–5,9% – на 0,082 г.

Для концентрованих кормів і коренебульбоплодів коефіцієнти повноцінності складають, %: картопля – 100, кукурудза – 100, морква – 87, соя – 98, буряк кормова – 72, висівки пшеничні – 79, буряк цукровий – 76, висівки житні – 76, жито, пшениця, овес – 95, макуха соняшникова – 95, ячмінь, горох, боби – 97, молоко – 100.

Приклад розрахунку поживності в вівсяних кормових одиницях наведений в табл. 17.

Таблиця 17

**Приклад розрахунку поживності 1 кг конюшинового сіна в вівсяних кормових одиницях**

Речовина	Вміст в 1 кг сіна, г	КП, %	ППР, г (стовпець 2 * стовпець 3)	Константи Кельнера	Розрахункове жировідкладення (стовпець 4 * стовпчик 5)
1	2	3	4	5	6
Протеїн	101	53	53,5	0,235	12,6
Жир	12	57	6,8	0,474	3,2
Клітковина	289	48	138,7	0,248	34,4
БЕР	387	67	259,3	0,248	64,3
Всього					114,5

Понижуюча дія 289 г сирої клітковини: 41,3 г ( $0,143 \cdot 289$ ).

Фактичне жировідкладення: 73,2 г ( $114,5 - 41,3$ ).

Так як 1 корм. од. за жировідкладенням дорівнює 150 г жиру, то поживність 1 кг сіна складе 0,49 корм. од. ( $73,2:150$ ).

Недоліки вівсяних кормових одиниць ті ж, що і у крохмальних еквівалентів. Ця одиниця базується на продуктивній дії перетравних поживних речовин, але різні види тварин, по-перше, неоднаково переварюють корми, по-друге, по-різному використовують перетравні речовини.

Жуйні, як уже зазначалося, краще перетравлюють корми з більшим вмістом клітковини (грубі). Зате свині краще перетравлюють корму багаті крохмалем, цукрами (концентрати, картопля, цукровий буряк). У жуйних з сечею і кишковими газами втрачається близько 18% перетравних речовин, а у свиней – близько 6%. Ці відмінності вівсяна кормова одиниця не враховує і поживність одного і того ж корму в цих одиницях однакова для всіх видів тварин, що не відповідає дійсності.

#### 4. Оцінка поживності кормів за обмінною енергією

Враховуючи недоліки вівсяних кормових одиниць, на пленумі відділення тваринництва Всесоюзної академії сільськогосподарських наук у 1963 р. було запропоновано оцінювати поживність кормів за обмінною енергією – в енергетичних кормових одиницях (ЕКО). Щоб зрозуміти сутність даної одиниці поживності, пригадаємо схему балансу енергії у тілі тварини (див. рис. 2).



Обмінна енергія являє собою енергію корму або раціону, яку тварина використовує для забезпечення своєї життєдіяльності (підтримання життя) і утворення продукції. З цієї причини оцінка за обмінною енергією більш об'єктивно характеризує енергетичну поживність корму для тварини, ніж оцінка у вівсяних кормових одиницях за продуктивною дією (за чистою енергією), оскільки чиста енергія – це тільки частина енергії корму, затраченої на виробництво продукції. Тварини ж витрачають доступну енергію не лише на утворення продукції, але і на підтримку життя.

Вміст обмінної енергії (ОЕ) в кормах і раціонах визначають для кожного виду тварин прямим методом у балансових (обмінних) дослідях за наступними формулами (де Е – енергія).

Для великої рогатої худоби та овець:

$$ОЕ_{врх, о} = E \text{ валова} - (E \text{ калу} + E \text{ сечі} + E \text{ газів}),$$

Для свиней:

$$ОЕ_c = E \text{ валова} - (E \text{ калу} + E \text{ сечі}),$$

Для птиці:

$$ОЕ_{п} = E \text{ валова} - E \text{ посліду},$$

Втрати енергії з газами для жуйних тварин і коней встановлюють у дихальній дослідях або використовують поправки на метан (у % від валової енергії). Наприклад, для концентратів і коренебульбоплодів – 5, для зелених кормів і силосу – 10, для грубих кормів – 15.

Обмінну енергію можна також визначити і розрахунковим методом за наступними рівняннями, де ОЕ – обмінна енергія в МДж, ПП – перетравний протеїн, кг, ПЖ – перетравний жир, кг, ПК – перетравна клітковина, кг, ПБЕР – перетравні безазотисті екстрактивні речовини, кг.

Для великої рогатої худоби:

$$ОЕ_{врх} = 17,46 \text{ ПП} + 31,23 \text{ ПЖ} + 13,65 \text{ ПК} + 14,78 \text{ ПБЕР}.$$

Для овець:

$$ОЕ_o = 17,71 \text{ ПП} + 37,89 \text{ ПЖ} + 13,44 \text{ ПК} + 14,78 \text{ ПБЕР}.$$

Для коней:

$$ОЕ_k = 19,46 \text{ ПП} + 35,43 \text{ ПЖ} + 15,95 \text{ ПК} + 15,95 \text{ ПБЕР}.$$

Для свиней:

$$ОЕ_c = 20,85 \text{ ПП} + 36,63 \text{ ПЖ} + 14,27 \text{ ПК} + 16,95 \text{ ПБЕР}.$$

Для птиці:

$$ОЕ_{п} = 17,84 \text{ ПП} + 39,78 \text{ ПЖ} + 17,71 \text{ ПК} + 17,71 \text{ ПБЕР}.$$

Розділивши кількість мегаджоулів обмінної енергії на 10, отримаємо поживність корму в ЕКО.

За 1 енергетичну кормову одиницю (ЕКО) прийнято вважати вміст в кормі 10000 кДж або 10 МДж обмінної енергії.

Для різних видів тварин запропоновані індекси, в яких до позначення ЕКО приєднується буква, наприклад: ЕКО<sub>врх</sub> – для великої рогатої худоби, ЕКО<sub>о</sub> – для овець, ЕКО<sub>с</sub> – для свиней, ЕКО<sub>к</sub> – для коней, ЕКО<sub>п</sub> – для птиці.

Поживність кормів у ЕКО можна визначити також за сумою перетравних живильних речовин (СППР) за формулами:

$$ЕКО_{\text{врх}} = \frac{\text{СППР г/кг} * 18,43 \text{ кДж} * 0,82}{10000 \text{ кДж}}$$

$$ЕКО_{\text{с}} = \frac{\text{СППР г/кг} * 18,43 \text{ кДж} * 0,94}{10000 \text{ кДж}}$$

В 1 г СППР для жуйних і свиней міститься 18,43 кДж перетравної енергії, а співвідношення між обмінної і перетравною енергією для великої рогатої худоби становить 0,82, свиней – 0,94, овець – 0,87, коней – 0,92. Між оцінкою поживності кормів у вівсяних і енергетичних кормових одиницях є суттєві відмінності (табл. 18).

Таблиця 18

**Показники поживності кормів в енергетичних і вівсяних кормових одиницях**

Корм	У 1 кг корму			
	вівсяних корм. од.	ЕКО для		
		великої рогатої худоби	свиней	овець
Трава конюшини	0,21	0,24	0,26	0,24
Сіно конюшина– тимофіївка	0,52	0,60	0,57	0,58
Силос кукурудзяний	0,20	0,23	0,26	0,25
Сінаж з конюшини	0,38	0,43	0,43	0,43
Картопля	0,29	0,28	0,34	0,28
Буряк кормовий	0,11	0,14	0,16	0,14
Овес	1,0	0,96	1,24	0,98
Горox	1,17	1,13	1,28	1,14

Дані табл. 4 свідчать про те, що поживність об'ємистих кормів для жуйних тварин в ЕКО за обмінною енергією вище, ніж у вівсяних кормових одиницях, а концентрованих кормів і коренебульбоплодів – вище для свиней.

Оцінка поживності кормів за обмінної енергії успішно застосовується на птахофабриках, свинарських комплексах, що дозволило розробити повноцінні кормові суміші та значно скоротити витрати кормів на одиницю продукції.

### **5. Оцінка енергетичної поживності кормів у інших країнах**

У США енергетичну поживність кормів виражають за сумою перетравних поживних речовин (СППР) і чистою енергією (ЧЕ). Сучасні дослідження в США показали, що оцінка поживності кормів за чистою енергією в розрахунках продуктивної дії корму є більш точною в порівнянні з системою СППР.

В Англії К. Л. Блекстером запропонована система оцінки кормів, яка об'єднує переваги оцінок поживності як за обмінною, так і за чистою енергією.

У Німеччині розроблена оцінка поживності кормів, заснована на визначенні чистої енергії, яка виражається в енергетичних кормових одиницях

(ЕКО), які розраховуються окремо для різних видів тварин. При цьому одна ЕКО для великої рогатої худоби прирівнюється до 2,5 ккал НЕЖ (нетто-енергії за жировідкладенням).

Оцінка енергетичної та протеїнової поживності кормів в системі NEL. Визначення потреби дійних корів в енергії та протеїні за системою NEL. Однією з сучасних систем енергетичної і білкової оцінки якості корму, а також потреб дійних корів в енергії та протеїні є система NEL (у перекладі з німецької Netto Energie Lactation – продуктивна енергія молоко-продукції).

Дана система визначає ту частину валової енергії (ВЕ) корму, яку корови використовують на продукцію молока і яка може бути відкладена у вигляді запасу жиру як енергетичний резерв.

Концентрація в кормах продуктивної енергії необхідної для утворення молока (NEL) і потреба в ній молочних корів вимірюється в МДж. Кількість NEL в кормі залежить від вмісту в ньому обмінної енергії, а також від ступеня її використання.

В системі NEL передбачається, що 57–60% обмінної енергії використовується для продукції молока. Знаючи кількість обмінної енергії, можна розрахувати кількість продуктивної енергії молокопродукції, яка визначається за формулою:

$$NEL \text{ (МДж)} = 0,6 * OE \text{ (МДж)}.$$

Дана формула використовується, якщо кількість обмінної енергії (ОЕ) становить 57% від валової енергії, тобто коефіцієнт  $q = 57\%$ . Якщо коефіцієнт  $q$  більше або менше, то ступінь використання обмінної енергії на продукцію молока збільшується або зменшується на 0,4. У цьому випадку для розрахунку продуктивної енергії молоко-продукції NEL застосовують іншу формулу:

$$NEL \text{ (МДж)} = 0,6 * [1 + 0,004(q - 57)] * OE \text{ (МДж)}.$$

Коефіцієнт використання обмінної енергії  $q$  можна обчислювати за формулою:

$$q = OE / VE * 100$$

де ОЕ – обмінна енергія, МДж; ВЕ – валова енергія, МДж.

Кількість обмінної і валової енергії (МДж) розраховуються за формулами Л. Хоффмана (L. Hoffman, 1971):

$VE = 0,0239СП + 0,0398СЖ + 0,0201СК + 0,0175БЕР$ , де СП – сирий протеїн, г/кг корму; СЖ – сирий жир; СК – сира клітковина, г/кг корму; БЕР – безазотистих екстрактивні речовини, г/кг корму;

$$OE = 0,0312ПЖ + 0,0136ПК + 0,0147 * (ПОР - ПЖ - ПК) + 0,0234СП,$$

де ПЖ – перетравний жир, г/кг корму; ПК – перетравна клітковина, г / кг корму; ПОР – перетравного органічна речовина, г/кг корму; СП – сирий протеїн, г/кг корму.

Коефіцієнти розрахунку валової енергії та обмінної енергії використовуються для всіх кормів і виражаються в МДж NEL.

## Лекція 6

### Протеїнове живлення с.-г. тварин та шляхи вирішення проблеми нестачі протеїну в тваринництві

1. Поняття про протеїн.
2. Значення протеїну для тварин.
3. Протеїнова поживність кормів. Якість протеїну.
4. Поживна цінність протеїну для жуйних і моногастричних тварин.
5. Доступність і засвоєння амінокислот.
6. Поживна цінність амідів для жуйних.
7. Основні шляхи вирішення протеїнової проблеми у тваринництві.

#### 1. Поняття про протеїн

Як відомо, поживність корму не можна виразити одним показником, вона повинна бути комплексною. В системі комплексної оцінки поживності кормів особлива роль належить протеїну. Слово «протеїн» походить від грецького *protos* – перший. І дійсно, ця речовина займає першорядне значення в годівлі тварин, так як його не можна замінити іншими. У біохімії протеїном називають прості білки, що складаються тільки з амінокислот. У годівлі тварин під сирим протеїном розуміють всі азотовмісні речовини корму: білки та аміді. Білки – високомолекулярні органічні сполуки, побудовані з амінокислот. Аміді – азотисті сполуки небілкового характеру.

На відміну від інших органічних речовин протеїн містить азот. Середній вміст азоту в протеїні – 16%.

Залежно від складу всі білки поділяють на дві групи: прості і складні.

До простих білків відносяться альбуміни, глобуліни, які зустрічаються в рослинах і тваринах, глютеліни, проламіни – тільки в рослинах, гістони та протаміни – тільки в тканинах тварин.

Складні білки складаються з амінокислот і небілкової частини: ліпопротеїди – сполуки білків з ліпідами, нуклеопроїтеїни – з нуклеїновими кислотами, фосфопроїтеїди – із залишками фосфорної кислоти, глюкопроїтеїди – з вуглеводами, хромопроїтеїди – з барвниками, металопротеїди – з металами (Fe, Cu, Mg, Zn та ін.)

У зернових кормах переважають прості білки, в зеленій траві – складні. Нуклеопроїтеїди містяться в ядрах рослинних і тваринних клітин. Фосфопроїтеїди, хромопроїтеїди, глюкопроїтеїди та ліпопроїтеїди зустрічаються в рослинних і тваринних організмах. До фосфопроїтеїдів відноситься казеїн молока, до хромопроїтеїдів – гемоглобін крові.

Аміді визначають по різниці між сирим протеїном і білком. До амідів відносяться вільні амінокислоти, аміді амінокислот, нуклеїнові кислоти, органічні основи, нітрати, нітрити, солі амонію, алкалоїди. Крім того, азот входить до складу багатьох вітамінів групи В. Аміді частіше представляють собою продукти незавершеного синтезу білка з неорганічних речовин. Однак аміді утворюються також і при розпаді білка під дією ферментів. Тому багато

амідів міститься в рослинах, які не закінчили ріст, в кормах, що піддалися бродінню.

Найбільш багаті амідами зелені корми, силос, коренебульбоплоди, де на їхню частку припадає 25–30% і більше від загальної кількості протеїну, мало амідів – в зернах, насінні, де протеїн представлений в основному білком.

## **2. Значення протеїну для тварин**

Протеїн грає першорядну роль в побудові тіла та життєдіяльності тваринного організму.

Умовно можна виділити три основні функції протеїну: будівельну, біологічну та енергетичну.

Будівельна, або пластична, функція полягає в тому, що протеїн є будівельним матеріалом для синтезу білків організму, входять до складу всіх органів і тканин, які є складовою частиною продукції: молока, м'яса, яєць, вовни.

Біологічна, або регуляторна, функція полягає в тому, що білки є складовою частиною багатьох біологічно активних речовин (БАР): ферментів, що визначають швидкість процесів синтезу і розпаду, що відбуваються на клітинному рівні; гормонів, що беруть участь у регуляції процесів життєдіяльності. Білки входять до складу імунних тіл, що визначають захисні функції організму, до складу антибіотиків.

Енергетична функція протеїну не є основною, так як головним джерелом енергії для тварин є вуглеводи, жири.

Дефіцит протеїну в раціонах тварин веде до важких наслідків: знижується продуктивність, погіршується якість продукції (наприклад, зменшується в молоці вміст білка і жиру), сповільнюється ріст молодняку, зростає тривалість вирощування і відгодівлі; збільшуються витрати кормів на одиницю продукції - при нестачі протеїну на 1 %, витрати кормових одиниць зростають на 2%, погіршується перетравність і використання поживних речовин кормів. Нестача протеїну також негативно позначається на відтворювальних функціях тварин, стані їх здоров'я, знижуються захисні властивості організму, виникають захворювання, в тому числі дистрофія.

Небажаний і надлишок протеїну. По-перше, перевитрата протеїну невиправдана економічно, по-друге, надлишок протеїну також негативно позначається на стані здоров'я, відтворення, довголіття, веде до зниження засвоєння вітамінів А, С, групи В. Надлишок протеїну сприяє виникненню таких захворювань, як кетози у високопродуктивних корів при концентратному типі годівлі, подагра (у птахівництві) – накопичення сечової кислоти в крові, органах і тканинах, особливо при надходженні з кормами надмірної кількості тваринних білків. Велику небезпеку для тварин являє надлишок нітратів, нітритів, що входять до складу амідів.

Забезпеченість тварин протеїном визначається кількістю в раціоні сирого і перетравного протеїну, тільки сирого – у птиці, кількістю білка – у м'ясоїдних. Сирий протеїн – це всі азотовмісні речовини корму перемножені на коефіцієнт 6,25, перетравний – визначається за різницею між тим, що надійшов з кормом і виділеним з калом. Перетравність протеїну залежить від багатьох факторів,

наприклад, від забезпечення енергією, легкозасвоюваними вуглеводами, іншими елементами живлення, тому за кордоном враховують, як правило, сирий, а не перетравний протеїн. За сирим протеїном балансують раціон для птиці, так як перетравність у неї визначати складно і вміст амінокислот простіше враховувати в сирому, а не в перетравного протеїну.

Рівень протеїнового живлення тварин визначається кількістю перетравного протеїну на 1 корм. од., а в птахівництві – вмістом сирого протеїну у відсотках від сухої кормової суміші. Наприклад, коровам на 1 корм. од. раціону потрібно 100–110 г перетравного протеїну, свиням – 100–120 г, в комбікормах курей-несучок 16–17% сирого протеїну.

### **3. Протеїнова поживність кормів. Якість протеїну**

Протеїнова поживність кормів оцінюється кількісними, якісними і відносними показниками.

Кількісні показники – це вміст сирого і перетравного протеїну в 1 кг корму, або відсоток протеїну в сухій речовині, а також кількість перетравного протеїну в розрахунку на 1 корм. од. Виділяють корми з високим вмістом перетравного протеїну – більше 110 г на 1 корм. од., з середнім 86–110 г і з низьким – 85 г і менше.

Найбільш високими за вмістом протеїну є корми виготовлені з бобових і хрестоцвітих культур, відходи маслоекстракційного виробництва – шрот. Багато в кормах тваринного походження, кормових дріжджах. До середніх за вмістом протеїну відносяться в основному злаково-бобові суміші. Більшість злакових культур у вигляді зеленої маси, силосу, зерна, соломи, а також коренебульбоплоди відрізняються низьким вмістом протеїну.

Якість протеїну оцінюється за його амінокислотним складом. Тваринам протеїн потрібен, насамперед, як джерело амінокислот для побудови власних білків. Тому протеїнову поживність розглядають і як властивість корму задовольняти потребу тварин в амінокислотах. В даний час відомо більше 150 амінокислот. Але тільки 20 з них є складовою частиною білків, до складу яких вони входять у різних кількостях, поєднаннях, що й обумовлює різні їх властивості. Деякі амінокислоти тварини здатні синтезувати з інших азотистих сполук, що надходять з кормом. До них відносяться аланін, аспарагінова кислота, глутамінова кислота, гліцин, пролін, серин, тирозин, цитрулін, цистин, цистеїн. Інші амінокислоти, що отримали назву незамінних, не можуть синтезуватися в організмі взагалі, або швидкість їх синтезу недостатня для повного забезпечення ними потреб тварини. До незамінних відносять 10 амінокислот: лізин, метіонін, триптофан, аргінін, валін, гістидин, ізолейцин, лейцин, треонін, фенілаланін. Для курчат незамінною амінокислотою є і гліцин. Цистин є частково замінною сірковмісною амінокислотою, так як вона може замінити на 30–50% в обміні білків організму незамінну сірковмісну амінокислоту – метіонін, тому в раціонах визначають сумарну потребу в цих амінокислотах.

Лізин, метіонін, триптофан названі першими не випадково, так як вони є найбільш дефіцитними в харчуванні тварин, тому їх називають критичними (лімітуючими), або особливо незамінними.

Лізин – найбільш дефіцитна амінокислота. Входить до складу складних білків ядра – нуклеопротейдів, необхідний для синтезу гемоглобіну, поряд з аргініном входить до складу сперматозоїдів.

Метіонін – сірковмісна амінокислота, так само, як і лізин, сприяє швидкому росту тварин. Метіонін необхідний для синтезу гемоглобіну, холіну, для нормального росту волосяного покриву, оперення у птиці.

Триптофан грає важливу роль в обміні речовин, з нього синтезується вітамін РР – нікотинова кислота.

Негативні наслідки для організму викликає не тільки нестача, але і надлишок амінокислот. Так, при надлишку лізину (150–200% від норми) у тварин спостерігається інтоксикація і депресія росту, різко зростає потреба в аргініні. При надлишку метіоніну погіршується використання азоту корму, збільшується його виділення з сечею, спостерігаються дегенеративні зміни в підшлунковій залозі, нирках, печінці, порушення обміну і депресія росту, підвищується потреба в аргініні і гліцині.

Протеїн, в якому кількість незамінних амінокислот і їх співвідношення відповідають потребам тваринного організму, називають повноцінним.

Найбільшою концентрацією критичних амінокислот, а значить, і повноцінністю відрізняється протеїн кормів тваринного походження таких, як незбиране молоко, відвійки, рибне борошно. Однак м'ясне борошно дефіцитне за вмістом метіоніну і цистину. Наближається за повноцінністю до тваринних кормів протеїн кормових дріжджів.

У законсервованих трав'яних кормах повноцінність протеїну трохи нижча, ніж у вихідній масі: в кукурудзяному силосі мало лізину, триптофану. Найнижча повноцінність протеїну зернових кормів: в зернах злаків вміст лізину становить 50–74% від потреби ростучих свиней, в зернах гороху вміст метіоніну і цистину на 17% менше норми, але зерна бобових багатші на лізин – більш ніж у 1,5 рази від норми для молодняку свиней.

Використання кормосумішей дає можливість заповнити дефіцит амінокислот в окремих кормах, наприклад, лізину в зернах злакових, за рахунок інших (зерен бобових, тваринних кормів). В даному випадку позначається ефект доповнює дії, що дозволяє з меншими витратами кормів отримувати більше продукції.

Для балансування кормосумішей за амінокислотним складом, економії дорогих тваринних кормів з успіхом використовують синтетичні амінокислоти. Однак добавка синтетичних амінокислот повинна проводитися з урахуванням вмісту амінокислотного складу в кормах раціону і потреби в них тваринного організму. Раціон повинен бути також збалансований за всіма основними елементами живлення, особливо за енергією, макро-і мікроелементами, вітамінами.

Для нормального перебігу синтетичних процесів в організмі треба, щоб усі необхідні амінокислоти надходили одночасно. Дефіцит, а також відсутність однієї або декількох амінокислот обмежує біосинтез в організмі і веде до порушення обміну речовин. Невикористані амінокислоти в організмі не накопичуються, а використовуються для інших цілей або дезамінується.

Допустимий розрив у часі надходження необхідних організму амінокислот не повинен перевищувати 2 годин.

Таким чином, амінокислотний склад протеїну – один з найважливіших показників його якості. Але тварини різних видів висувають різні вимоги до складу протеїну, тому біологічна цінність протеїну буде для них різною. Термін «біологічна цінність» протеїну введений в 1909 році Томасом. Професор М. І. Дьяков запропонував визначати біологічну цінність (БЦ) протеїну для ростучих тварин як коефіцієнт використання (КВ) перетравного азоту на підтримку життя та утворення продукції.

$$\text{БЦ (КВ)} = 100 \times \frac{N_{\text{корма}} - N_{\text{кала}} - N_{\text{сечі}}}{N_{\text{корма}} - N_{\text{кала}}},$$

Коефіцієнт використання протеїну показує, який відсоток азоту від перетравленого відкладається у тілі тварини. Чим вище використання перетравного азоту, тим повноцінніше протеїн корму.

Академік І. С. Попов в досліджах на свинях встановив, що найбільш висока біологічна цінність протеїну кормів тваринного походження: молока – 84–95%, рибного борошна – 74, трохи нижче – картоплі – 73%, ще нижче – у зернових кормів – ячменю – 71, люпину – 55, кукурудзи – 61%.

Протеїнова поживність визначається і фізичними властивостями протеїну – наявністю фракцій різної розчинності, а також відносними показниками, такими, як протеїнове, цукрово-протеїнове, амідно-білкове відношення. Визначення цих показників має особливе значення в організації протеїнового живлення жуйних тварин, а енергопротеїнового відношення – моногастричних тварин.

#### **4. Поживна цінність протеїну для жуйних і моногастричних тварин**

У засвоєнні протеїну корму у жуйних тварин головна роль належить бактеріям і інфузоріям, що населяють рубець. З їх допомогою розщеплюється більше 40% протеїну. Білки корму розщеплюються протеолітичними ферментами мікробіологічного походження до амінокислот, які потім дезамінується з утворенням аміаку, вуглекислоти, летких жирних кислот і метану. Утворений аміак служить матеріалом для синтезу білка мікроорганізмами. Таким чином, в рубці жуйних паралельно йдуть два процеси: розщеплення кормового білка до аміаку і біосинтез мікробного білка, придатного для синтезу білка тіла тварини (табл. 19).

*Таблиця 19*

#### **Вміст критичних незамінних амінокислот і цистину у кормі і рубці корів, % від протеїну**

Продукт	Лізін	Метіонін	Цистин
Корм	5,1	1,7	1,1
Вміст рубця	5,2	3,7	3,5
Бактерії	6,7	4,4	3,2
Інфузорії	8,9	1,1	2,0



Отримані дані показують, що у високопродуктивних корів за добу може утворюватися до 2,5 кг мікробіального білка.

Відмерлі бактерії, що надходять в сичуг і тонкий кишечник, перетравлюються поряд з нерозщепленим кормовим протеїном. Проте певну частину аміаку бактерії не встигають засвоїти, він усмоктується в кров і в печінці перетворюється на сечовину, яка потім виділяється з сечею і частково зі слиною. Але якщо аміак надходить у кров у великих кількостях, порушується функція печінки, виникає отруєння. До того ж, збільшення всмоктування аміаку в кров веде до зниження використання азоту корму.

Щоб не допускати дисбаланс між розпадом кормового білка і синтезом бактеріального білка, запобігти надмірному всмоктуванню аміаку в кров, необхідно створити оптимальні умови для життєдіяльності мікрофлори. Основними з цих умов є: співвідношення між розчинними і нерозчинними протеїном, забезпеченість легкозасвоюваними вуглеводами.

Результати експериментальних даних свідчать, що повільний гідроліз азотистих речовин у рубці і оптимальний при цьому синтез мікробіального білка відбувається тоді, коли протеїн раціону містить 40–50% водосолерозчинних фракцій та на 50–60% складається з важкорозчинних фракцій. Багато таких фракцій у кукурудзяному силосі, коренеплодах, менше – в сіні, сінажі, кукурудзяній дерті.

Зазвичай протеїн з високою розчинністю має і більш високу перетравність і навпаки. Нестача розчинних фракцій протеїну в раціонах жуйних зменшує ферментацію у рубці, надлишок, навпаки, її посилює, що призводить до втрати азоту, що всмоктався в кров, у вигляді аміаку як такого, що мікроорганізми не встигли використати для синтезу білка свого тіла. Тому висока розчинність протеїну в рубці небажана.

Таким чином, потреба жуйних в амінокислотах задовольняється за рахунок мікробного білка і нерозщеплених в рубці протеїнів. Чим вище продуктивність, тим менше задовольняється потреба корів у амінокислотах за рахунок мікробіального білка. При надої до 15 кг за рахунок бактеріального синтезу потреба корів у амінокислотах забезпечується на 75–80%, а у високопродуктивних – з надоем 25–40 кг – тільки на 45–60%. Відсутню кількість амінокислот вони повинні отримувати з протеїном, що нерозщеплюється в рубці. Іноді цей протеїн називають транзитним. Дефіцит нерозчинного або нерозщеплюваного протеїну веде до нестачі амінокислот, а значить, до зниження продуктивності.

Отже, якщо корови з невисокою продуктивністю в основному забезпечують свою потребу в незамінних амінокислотах за рахунок мікробіального білка, біологічна цінність якого майже в 2 рази вище рослинного, то для високопродуктивних тварин важливо, щоб в нерозчинному протеїні, який розщеплюється в сичузі і кишечнику, містилася необхідна кількість незамінних амінокислот.

Якість нерозщепленого протеїну за амінокислотним складом має бути достатньо високою. Це досягається включенням в раціон захищених від розпаду

в рубці високобілкових кормових засобів: шротів, зернобобових, гранул і брикетів з бобових трав.

Для захисту протеїну від розпаду в рубці застосовують обробку хімічними речовинами, використовують технологічні прийоми. З хімічних речовин частіше застосовують обробку формальдегідом, танінами, органічними кислотами (оцтовою, мурашиною та ін.) Технологічні прийоми – це сушка, нагрівання, гранулювання, брикетування, екструдкування та інші.

Треба мати на увазі, що хімічні способи, хоча і забезпечують добрий захист протеїну, але не завжди безпечні для здоров'я тварин та якості продукції. Тому при їх використанні слід суворо виконувати всі вимоги технології обробки, не допускаючи передозування реагентів.

Біосинтез мікробного білка в організмі – процес енергоємний і призупиняється при нестачі енергії, невикористаний аміак виводиться з організму, що веде до непродуктивних втрат протеїну корму. Найбільш мобільним джерелом енергії для біосинтезу мікробного білка є цукри, кількість яких має бути в певному співвідношенні з перетравним протеїном. Оптимальне цукрово-протеїнове відношення для лактуючих корів 0,8–1,1: 1, тобто коли на 1 г перетравного протеїну припадає 0,8–1,1 г цукру.

Лімітуючими факторами біосинтезу білка в рубці, крім цукру, є сірка, фосфор, так як на одиницю азоту в бактеріальному білку цих елементів в 1,5–2 рази більше, ніж в рослинному.

Протеїнова поживність визначається і такими відносними показниками як протеїнове, амідо-білкове відношення.

При занадто широкому протеїновому відношенні погіршується використання протеїну та інших поживних речовин.

Амідо-білкове відношення визначають діленням кількості амідів на вміст білків. У раціоні воно має бути в межах від 1:2, до 1:3, тобто на одну частину амідів має припадати 2–3 частини білка.

Таким чином, поживна цінність протеїну для жуйних визначається не тільки кількістю сирого і перетравного протеїну, а й наявністю розчинних і нерозчинних фракцій, амінокислотним складом бактеріального білка і нерозщепленого в рубці протеїну.

На відміну від жуйних тварин, моногастричні – свині, птиця – позбавлені можливості синтезу біологічно повноцінного бактеріального білка. Разом з тим високий рівень синтетичних процесів у цих тварин вимагають колосальної напруги всього обміну і в першу чергу білкового. Ось чому склад, перетравність і доступність амінокислот для свиней і птиці є важливими показниками протеїнової поживності.

У деталізованих нормах годівлі свиней враховують потребу в сирому і перетравного протеїну, а також у критичних амінокислотах: лізині, метіоніні+цистин. У раціонах птиці нормують вміст сирого протеїну і 13 амінокислот, включаючи гліцин. Раціони для свиней і птиці, необхідно балансувати не лише за кількістю протеїну, а й за амінокислотним складом (табл. 20).

Таблиця 20

**Ефективність відгодівлі свиней та вирощування курчат-бройлерів в залежності від збалансованості кормосумішок амінокислотами**

Вид тварин	Кормосуміш незбалансована амінокислотами	за збалансована амінокислотами
<b>Відгодівля свиней (20–90 кг)</b>		
Затрати на 1 кг приросту:		
корму, кг	5,0	3,5
протеїну, г	800	490
<b>Вирощування курчат-бройлерів</b>		
Затрати на 1 кг приросту:		
корму, кг	4,9	2,0–2,5
протеїну, г	980	500–600

Біологічна цінність протеїну в кормі залежить від його амінокислотного складу, доступності і засвоюваності амінокислот. М. І. Дьяков зазначав, що потребу тваринного організму в білках слід розглядати як потребу в амінокислотах у відповідній кількості і в співвідношенні, яке в значній мірі відповідає кількісному складу білку в різних тканинах тваринного організму (табл. 21).

Таблиця 21

**Амінокислотний склад збалансованого протеїну**

Амінокислоти	Свині		Яєчні кури		Бройлери	
	г/100 г білка	співвідно- шення (лизин= 100)	г/100 г білка	співвідноше- ння (лизин= 100)	г/100 г білка	співвідноше- ння (лизин= 100)
Лізин	7,1	100	7,0	100	7,2	100
Метіонін	2,3	32	3,2	46	2,5	35
Метіонін + цистин	4,2	59	5,7	82	5,0	70
Триптофан	1,3	18	1,5	22	1,4	19
Треонін	4,6	65	4,9	70	5,4	75
Ізолейцин	4,0	57	6,3	90	5,4	75
Лейцин	7,1	100	8,3	118	8,9	114
Аргінін	2,8	40	6,8	97	7,6	105
Гістидин	2,2	31	1,9	27	2,4	34
Валін	4,8	68	7,0	100	6,3	87
Фенілаланін	3,9	55	4,7	67	4,5	63
Фенілал. + тирозин	6,9	97	8,7	125	9,0	125
Гліцин + серин	-	-	8,4	120	9,7	135

Найбільш ефективне використання протеїну і амінокислот для утворення продукції можливо лише в тому випадку, якщо раціон збалансований за вмістом енергії, органічними, мінеральними речовинами і вітамінами.

При нестачі енергії протеїн витрачається непродуктивно на енергетичні цілі, при надлишку енергії відбувається ожиріння. Отже, протеїн повинен знаходитися в оптимальному співвідношенні з обмінною енергією. З цією метою визначають енерго-протеїнове відношення (ЕПВ). У птахівництві під ЕПВ розуміють кількість обмінної енергії, яка припадає на 1% сирого протеїну в 1 кг корму.

### **5. Доступність і засвоєння амінокислот**

Доступність і засвоєння амінокислот для тварин залежить від багатьох факторів.

Наявність амінокислот в кормах ще не дає уявлення про їх доступність для організму. Будучи біологічно активними речовинами, амінокислоти під впливом термічних, хімічних та інших факторів можуть переходити в незасвоювану форму.

Причинами зниження доступності та засвоєння амінокислот для тварин, особливо моногастричних, можуть бути: низька розчинність і перетравність протеїну, наявність в кормах інгібіторів протеолітичних ферментів, антагонізм між окремими амінокислотами і різниця в швидкості їх всмоктування, надлишок клітковини в раціонах, порушення технології заготівлі кормів і незадовільне їх зберігання, термічна обробка (меланоїдна реакція) та ін. Так, тривалі строки силосування, сінажування, погане втрамбовування, укриття сховищ призводять до перегріву маси, різкого зниження перетравності протеїну, доступності та засвоєння амінокислот. Тривале зберігання кормів у несприятливих умовах також знижує перетравність і використання окремих амінокислот.

Засвоєнню протеїну з окремих кормів перешкоджають так звані інгібітори (лат. *Inhibere* – стримувати, зупиняти) – речовини, які гальмують дію протеолітичних ферментів. Особливо багато таких інгібіторів міститься в зернах бобових: сої, горосі та ін. Термічна обробка руйнує ці речовини і підвищує доступність, а значить, і біологічну цінність протеїну зерен бобових. Однак термічна обробка зерен злаків знижує доступність амінокислот, особливо лізину.

Високий ступінь подрібнення кормів сприяє поліпшенню перетравності і засвоєнню окремих амінокислот у свиней, а у жуйних і зерноїдної птиці, навпаки, при занадто тонкому подрібненні перетравність і засвоєння протеїну погіршується.

Швидкість всмоктування амінокислот у шлунково-кишковому тракті залежить від кислотності середовища, співвідношення амінокислот та інших показників. Максимальне всмоктування амінокислот відзначається при рН хімусу рівному 6,5. При відхиленні в ту або іншу сторону інтенсивність всмоктування знижується на 10–15%. Чим краще раціон збалансований за амінокислотним складом, тим повніше всмоктується лізин та інші амінокислоти.

Незбалансованість раціонів за амінокислотами порушує всмоктування окремих з них. Так, надлишок метіоніну може гальмувати всмоктування лізину і фенілаланіну і навпаки.

Багато мінеральних речовини (сірка, фосфор, кобальт, йод, бром та ін.) беруть участь у регуляції амінокислотного обміну. Існує залежність

використання лізину свинями від вмісту в раціоні калію. У біосинтезі білка беруть участь багато вітамінів групи В, серед яких особлива роль належить вітаміну В<sub>12</sub>. Додавання цього вітаміну до раціону підвищує ефективність використання рослинного білка, знижує потреби тварин в метіоніні.

Є тісний взаємозв'язок в організмі між амінокислотами та іншими біологічно активними сполуками: нуклеїновими кислотами, вітамінами, мікроелементами. Від рівня амінокислот у раціоні залежить функція ендокринних залоз. Ось чому амінокислотам належить найважливіша роль в обміні речовин і в підвищенні резистентності організму до різних захворювань. Тому синтетичні амінокислоти, що використовуються для балансування раціонів свиней і птиці, мають не тільки кормове значення, а й лікувальне – для профілактики і лікування аліментарних захворювань, викликаних дефіцитом протеїну і амінокислот.

## **6. Поживна цінність амідів для тварин**

Значення окремих небілкових форм азотистих сполук для різних видів тварин неоднакове. Вільні амінокислоти, на частку яких припадає близько 2/3 амідів, за поживністю не поступаються білкам і добре використовуються усіма тваринами. Солі амонію, нітрати, нітроти моногастричні тварини використовувати не можуть, і при надмірному їх вмісті в раціонах можуть виникнути отруєння. Небезпека впливу цих небілкових сполук азоту на жуйних тварин значно менше, так як мікрофлора їх передшлунків здатна відновлювати нітрати до нітритів і далі до аміаку, який використовується для синтезу бактеріального білка. Проте у ряді випадків, особливо при нестачі цукрів процес відновлення нітратів призупиняється на стадії нітритів. У травному тракті нітроти порушують перетворення каротину в вітамін А, а потрапляючи в кров, змінюють валентність заліза: двовалентне залізо в оксигемоглобіном крові перетворюють в тривалентне – в метгемоглобін. Метгемоглобін, приєднавши вуглекислий газ, не здатний замінити його на кисень в альвеолах легень і в гострій формі отруєння тварини можуть загинути від задухи. Характерна ознака отруєння – «чорна» венозна кров.

Але частіше тварини страждають від хронічної інтоксикації: знижуються продуктивність, запліднюваність, імунітет, частішають аборти, у самців з'являється некроспермія. Нітроти в кормах руйнують вільні аміногрупи білків та амінокислот, перетворюючи зв'язаний азот білків в незасвоюваний молекулярний азот (N<sub>2</sub>), знижуючи тим самим протеїнову поживність кормів.

Для профілактики отруєнь не можна використовувати корми, у яких вміст нітратів вище гранично допустимих концентрацій (ГДК). Для коренеплодів, картоплі, ГДК нітратів складають 2000 мг/кг, сіна – 1000, зеленої маси, силосу, сінажу, комбікормів для великої рогатої худоби – 500, комбікормів для свиней – 300 мг/кг.

Загальна кількість нітратів калію не повинна перевищувати 0,5% від сухої речовини раціону. При високому вмісті нітратів у зелених кормах їх можна висушити на сіно або засилосувати. При силосуванні нітрати в анаеробному середовищі відновлюються до аміаку, який зв'язується з органічними кислотами

і нейтралізується. Однак при порушенні технології силосування, коли переважає масляно-кисле бродіння, процес відновлення нітратів і нітритів порушується. Основною причиною накопичення в кормах нітратів і нітритів є внесення під кормові культури високих доз азотних добрив по 200–300 кг діючої речовини на 1 га, особливо коли рослини відчують стрес, викликаний посухою, холодом і т.д.

У складі амідів зустрічаються і отруйні для тварин глюкозиди, алкалоїди, які є в деяких рослинах, кормах. Наприклад, у складі амідів картоплі міститься глюкозид соланін, якого особливо багато в паростках, тому паростки треба обов'язково обламувати. У бавовниковому шроті маєтся отруйний глюкозид госсіпол, вміст якого не повинен перевищувати 0,01%.

Небезпечний для тварин також і надлишок нуклеїнових кислот. Вони містяться в кормах, як у вільному стані, так і в зв'язку з білками, утворюючи нуклеопротеїди. За даними М. Т. Таранова, А. Х. Сабирова, вміст нуклеїнових кислот на 1 кг сухої речовини раціону не повинен перевищувати 9 г. Більш високі дози негативно впливають на ріст і розвиток тварин. Багато нуклеїнових кислот містять дріжджі. Тому в комбікорми їх вводять не більше 7–10%. Деякі дослідники вважають, що селекцію кормових культур слід вести на зниження вмісту в них нуклеїнових кислот, особливо ДНК.

## **7. Основні шляхи вирішення протеїнової проблеми у тваринництві.**

Щорічний дефіцит перетравного протеїну для потреб тваринництва країни становить 20–25%, а в окремі роки і більше відсотків. Через нестачу протеїну близько однієї третини кормів, що були використані не дали продукції. Це загострювало і проблему білкового харчування людей через недостатнє споживання тваринних білків високої біологічної цінності.

Можна виділити основні шляхи вирішення протеїнової проблеми:

- розширення посівів культур, багатих на протеїн та підвищення їх урожайності (багаторічні бобові трави: люцерна, конюшина, еспарцет; однорічні – соя, горох, люпин, боби та ін.);
- ефективне використання переважно для моногастричних тварин відходів переробки тваринницької продукції;
- введення до раціону жуйних синтетичних азотистих речовин (сечовина, біурет, амонійні солі) для забезпечення їх потреби в протеїні;
- використання у годівлі моногастричних тварин синтетичних амінокислот (лізин, метіонін, триптофан) для балансування раціонів за амінокислотним складом;
- балансування раціонів за енергією, мінеральними речовинами та вітамінами, які поліпшують використання азотистих речовин;
- підвищення доступності амінокислот шляхом правильної підготовки кормів до згодовування.

Для виконання цих завдань планується удосконалити структуру зернофуражних культур, і насамперед, за рахунок збільшення зернобобових культур до 21% у групі зернових, забезпечити врожайність цих культур не менше 25 ц/га.

Важлива роль відводиться хрестоцвітим культурам, які за вмістом протеїну не поступаються бобовим. Розширюються посіви таких високобілкових кормових культур, як люцерна, амарант, галега східна, буркун, серадела, вика волохата.

Зернофураж власного виробництва планується згодовувати тільки в збалансованому вигляді за рахунок білка зернобобових, трав'яного борошна, білково-вітамінних добавок. Зростає виробництво і вдосконалюється рецептура комбікормів, БВМД.

Важливе місце приділяється вдосконаленню технологій заготівлі трав'яних кормів. Буде збільшено виробництво силосу, обробленого азотовмісними добавками і консервантами, зерносінажу, зневоднених зелених кормів. Питома вага кормів вищого і першого класів повинен становити не менше 75%.

Для компенсації відсутніх ресурсів білкової сировини належить більш широко використовувати вторинні ресурси переробної, харчової, мікробіологічної та хімічної промисловості. Йдеться про збільшення виробництва шротів, особливо ріпакової, раціональному використанні залишків бродильних виробництв (барди, пивної дробини та ін.), молочної та м'ясної промисловості. Більш широко планується використовувати досягнення біотехнології, зокрема, продукції мікробіального синтезу: амінокислот, кормових дріжджів.

Для застосування в годівлі тварин мікробіологічна і хімічна промисловість випускає кілька препаратів амінокислот: кормовий концентрат лізину (ККЛ) в рідкому і сухому вигляді, сухий кормовий концентрат лізину, L-лізин, метіонін кормовий, триптофан кристалічний, кормовий концентрат триптофану та інші. Синтетичні препарати амінокислот частіше використовують для збагачення преміксів, білково-вітамінно-мінеральних добавок (БВМД), комбікормів відповідно до рецептури цих сумішей та рекомендованих норм годівлі тварин.

Ефективним способом біосинтезу кормового білка є виробництво кормових дріжджів. Мікробіологічний синтез відрізняється винятковою інтенсивністю. Якщо для отримання 1 т перетравного протеїну з гороху необхідно близько 2 га ріллі і не менше трьох місяців для вирощування, то одну тонну білка кормових дріжджів можна отримати за одну добу в ферментаторі ємністю 300 м<sup>3</sup>.

Використання небілкових азотистих добавок в годівлі жуйних тварин. В протеїновому харчуванні жуйних важливу роль відіграють аміди – азотовмісні речовини небілкового характеру. Більшість з них, так само, як і білки корму, мікрофлора розщеплює до аміаку, який потім використовує для синтезу амінокислот, а потім і свого бактеріального білка. Це положення має велике практичне значення, так як з'явилася можливість використовувати небілкові азотисті сполуки в годівлі великої рогатої худоби, овець при нестачі протеїну в раціонах. В якості небілкових азотистих добавок використовують карбамід (сечовину), біурет, фосфат сечовини, амонійні солі сірчаної, фосфорної кислот та інші.

Карбамід під дією ферменту мікрофлори уреази гідролізується в рубці до аміаку і вуглекислого газу, на біурет діє фермент біуретаза. Більшість амонійних

солей, в тому числі сульфат і фосфат амонію, розщеплюються до іонів  $\text{NH}_3$ , у вигляді яких і використовуються мікрофлорою.

Встановлено, що за рахунок синтетичних азотвмісних добавок можна замінити жуйним в середньому до 25% потреби азоту в протеїні без погіршення якості продукції і шкоди для їхнього здоров'я.

Найбільш поширеною синтетичної азотної добавкою для жуйних є карбамід. У ньому міститься близько 46% азоту. Це означає, що 100 г карбаміду еквівалентні 287 г сирого ( $46 \times 6,25$ ) або 260 г перетравного протеїну. При використанні азотистих небілкових добавок враховують, що 1 г карбаміду еквівалентний по азоту 2,6 г, біурета – 2,2, сульфату амонію та діамонійфосфат – 1,2; фосфату сечовини – 1, бікарбонату амонію – 0,95 г перетравного протеїну.

Неодмінною умовою для успішного використання синтетичних азотистих речовин є достатній вміст в раціоні легкозасвоюваних вуглеводів, необхідних для розмноження в рубці бактерій. При нестачі цукрів у кормах можна використовувати кормову патоку по 0,5–1 кг на корову на добу. Раціони повинні бути збалансовані і за іншими елементами живлення, крім протеїну, особливо за фосфором, сіркою, кобальтом, міддю, каротином, вітаміном D. Відношення азоту до сірки в раціонах великої рогатої худоби має бути 12–15:1, в раціонах овець 10:1.



## **Лекція 7**

### **Вуглеводна поживність кормів**

1. Функції вуглеводів.
2. Загальна характеристика вуглеводів.
3. Обмін вуглеводів.
4. Показники оцінки вуглеводної поживності кормів.
5. Модифікована система аналізу вуглеводів кормів.
6. Некрохмалисті полісахариди.

#### **1. Функції вуглеводів**

Вуглеводам у живленні тварин належить виняткова роль. Вони є основним джерелом енергії, необхідної для життєдіяльності усіх клітин тканин та органів, особливо мозку, серця, м'язів. При окисненні 1 г вуглеводів в організмі утворюється 17,6 кДж енергії.

Роль вуглеводів в організмі тварин не обмежується лише їх значенням як джерела енергії. Ця група речовин та їх похідні входять до складу тканин і рідин, тобто є пластичними матеріалами. Так, сполучна тканина містить мукополісахариди, у яких значна частка припадає на вуглеводи та їх похідні.

Регуляторна функція вуглеводів різнобічна. Вони протидіють нагромадженню кетонів при окисненні жирів. За порушення обміну вуглеводів в організмі тварин виникає ацидоз. Деякі вуглеводи та їх похідні вважаються біологічно активними, оскільки виконують в організмі специфічні функції. Наприклад, гепарин запобігає зсіданню крові у судинах, гіалурінова кислота – проникненню бактерій через клітинну оболонку.

Важливе значення вуглеводи відіграють у захисних реакціях організму, зокрема у печінці. Так, глюкуронова кислота взаємодіє з деякими токсичними речовинами, утворюючи нетоксичні складні ефіри, які завдяки розчинності у воді виводяться із організму з сечею.

#### **2. Загальна характеристика вуглеводів**

Основну частину поживних речовин у рослинних кормах займають вуглеводи. Вони у вигляді цукрів знаходяться в солодких плодах, у вигляді крохмалю відкладаються як запасні поживні речовини, або у вигляді целюлози являються структурною речовиною рослинних клітин. Залежно від виду рослин їх вміст коливається від 40 до 80% від вмісту всіх поживних речовин. У тваринних організмах на них припадає близько 2% сухої речовини.

У кормах є велика різноманітність вуглеводів. Рослинна клітина складається з клітинної стінки і розчинного вмістимого. Вмістиме клітини складається з органічних кислот, цукрів, крохмалю, ліпідів, білка, небілкового азоту, нуклеїнових кислот, тощо. Ці компоненти легко перетравлюються твариною. Клітинна стінка складається з повільно перетравної клітковини, що включає геміцелюлозу, целюлозу і лігнін. Проміжок між рослинними клітинами заповнюється пектином, якого в бобових травах більше ніж у злакових. Вуглеводи які входять до складу клітинної стінки називаються структурними, а вуглеводи

вмістимого клітини – неструктурними. У клітинному соку вуглеводи представлені цукрами, в пластидах – крохмалем, в клітинній оболонці целюлозою (клітковиною), геміцелюлозами і пектиновими речовинами.

Фізіологічна дія вуглеводів зумовлюється їх якістю та кількістю. До складу кормів входять три групи вуглеводів:

Моносахариди (глюкоза, фруктоза) і олігосахариди (дисахариди, трисахариди (рафіноза, меліцитоза, мальтотріоза)) – розчинні вуглеводи або цукри, вони легко ферментуються у передшлунках жуйних. Дисахариди мають просту структуру, що зумовлює їх легке розщеплення ферментами травного каналу. Всі вони розчинні у воді й швидко засвоюються.

Цукри накопичуються у великих кількостях (до 22%) у вигляді резервних речовин в коренях цукрових буряків, моркви і в рослинах сорго. До 14% цукру міститься в сухій речовині молодих злакових трав. Під впливом таких окиснювачів, як нітрати і нітроти (від внесення азотних добрив понад 200 кг/га азоту), відбувається інтенсифікація синтезу протеїну у злаків і призводить до зниження вмісту цукрів в сухій речовині до 5–7%.

Єдиний представник цукрів тваринного походження – лактоза (молочний цукор). Вона міститься до 4–5% у молоці корів та інших тварин, кількість її різна. Незважаючи на значний вміст лактози в молоці, воно не має помітної солодощі. Пояснюється це тим, що лактоза в 4–5 разів менш солодка, ніж сахароза. Зброджується лактоза лише особливими (лактозними) дріжджами, що знаходяться в кисломолочних продуктах.

Полісахариди (крохмаль, глікоген, клітковина, пектинові речовини, хітин), мукополісахариди, основу яких становлять аміносахариди і галактуронова кислота.

Значна частина полісахаридів нерозчинна у воді, але розщеплюється бактеріальними ферментами до більш простих сполук. Такі полісахариди як декстрин і крохмаль, легко розщеплюються ферментами і відносяться до легкоферментованих вуглеводів. Крохмаль являє собою резервний матеріал у рослині і відкладається у великій кількості в насінні, плодах та бульбах, становлячи 60–70% сухої речовини; мало крохмалю у стеблах і листі (близько 2%). У тілі тварин аналогом крохмалю є глікоген (тваринний крохмаль), який вважається запасною речовиною, багато його у печінці (до 4% її маси) (табл. 22).

Таблиця 22

**Вміст вуглеводів в деяких кормах, % від СР**

Корм	Сума легкоперетравних вуглеводів	в тому числі	
		цукор	крохмаль
1	2	3	4
Зерно: кукурудзи	71,75	2,77	61,21
вівса	52,16	2,71	39,98
пшениці	75,54	5,23	51,74
жита	55,67	6,08	41,61
ячменю	69,85	3,59	51,03
гороху	58,07	5,12	36,75

1	2	3	4
Трава пшениці	30,55	14,15	2,47
люцерни	19,10	4,68	3,19
Силос кукурудзяний	33,83	1,34	8,48
Буряк кормовий	-	56,29	2,94
Картопля	72,70	7,25	53,23

Особлива форма крохмалю – інулін у великих кількостях виявляється в бульбах топінамбура – земляній груші. Інулін добре засвоюється тваринами.

Крохмаль безпосередньо не засвоюється у кишечнику і попередньо підлягає дії  $\alpha$ -амілази. Мальтоза, що утворюється при цьому, розщеплюється до глюкози, яка всмоктується стінками тонкого кишечника і надходить у кров.

На швидкість і ступінь рубцевого травлення крохмалю, крім його кількості, можуть мати специфічні особливості корму. Швидкість ферментації крохмалю в рубці розрізняється помітно залежно від виду зерна: овес > пшениця > ячмінь > кукурудза > сорго.

Основним джерелом вуглеводів для жуйних тварин є полісахариди, зокрема клітковина. Вона міститься у рослинах, утворює оболонки клітин і слугує опорною речовиною. Клітковина – це частина корму, яка залишається після кип'ятіння наважки корму спочатку в розведеній кислоті, потім у лузі. По суті це суміш різних речовин, але однієї природи, тобто полісахаридів: власне клітковини (целюлози), пентозанів, гексозанів, інкрустуючих речовин – лігніну, кутину, суберину.

Вміст і хімічний склад сирої клітковини залежить від виду рослин, фази вегетації. В оболонці клітин молодих рослин більше целюлози, по мірі дозрівання збільшується вміст лігніну, пентозанів (табл. 23).

Таблиця 23

**Вміст окремих фракцій сирої клітковини в сіні конюшини в залежності від фази вегетації**

Фаза вегетації	Вміст у сухій речовині, %			
	целюлози	лігніну	пентозанів	сирої клітковини
Кущіння	12,4	5,6	5,3	23,3
Початок цвітіння	18,0	7,5	8,3	33,8
Утворення насіння	23,4	10,0	13,0	46,4

Клітини різних частин рослини дерев'яніють (лігніфікуються) в неоднаковій мірі. Лігніфікація рослинного матеріалу є фізичним бар'єром, що перешкоджає впливу мікрофлори на потенційно перетравну целюлозу. Найбільш швидко і глибоко протікають процеси лігніфікації в клітинах стебел, у меншій мірі – в клітках листів, найменше здерев'яніння клітковини відбувається в столових і кормових сортах коренебульбоплодів – кормовому і столовому буряку, турнепсі, моркві, картоплі.

Найбільша кількість сирової клітковини міститься в соломі озимих зернових злаків – 40–45%, менше в соломі ярових злаків і сіна – 20–35%, ще менше в зерні ячменя і вівса – 5 і 10%, в зерні кукурудзи і пшениці до 5%, в коренеплодах – 0,4–2%.

Чим більший вміст сирової клітковини, тим нижча перетравність її в тварин і особливо низька перетравність клітковини у свиней, порівнюючи із іншими видами тварин (табл. 24).

Таблиця 24

**Коефіцієнти перетравності кормів свинями і вівцями**

Тварини	Полова пшенична		Конюшина зелена		Зерно ячменю		Буряк	
	органічна речовина	клітковина	органічна речовина	клітковина	органічна речовина	клітковина	органічна речовина	клітковина
Свині	23	10	40	16	82	6	90	-
Вівці	38	39	68	53	86	50	87	-

Птиця взагалі погано перетравлює клітковину. На основі багатьох дослідів вдалося вивести рівняння регресії щодо впливу рівня клітковини на перетравність органічних речовин ( $r = -0,9$ ) у різних видів тварин.

ВРХ:  $y = 90,1 - 0,88x$ ;

Свині:  $y = 92,1 - 1,68x$ ;

Коні:  $y = 97,0 - 1,26x$ ;

Кури:  $y = 88,1 - 2,33x$ .

де  $y$  – коефіцієнт перетравності органічної речовини;

$x$  – вміст клітковини в СР корму, в %.

Окрім того, надлишок клітковини погіршує апетит у тварин. Недостатня кількість також погіршує травлення, пригнічує перистальтику кишечника, викликає розлад травлення (запори), кератінізацію слизової оболонки кишечника, спричиняє язви.

Целюлоза, геміцелюлоза важко розчинні навіть у розчинах лугів і кислот і лише під дією бактеріальних ферментів розщеплюються на прості вуглеводи, зокрема глюкозу. Частина глюкози всмоктується в кров, а решта є джерелом живлення для мікроорганізмів і підлягає збродженню у їх клітинах утворенням низькомолекулярних летких жирних кислот: оцтової, пропіонової, масляної та ін. За добу у рубці ВРХ може утворюватися до 4 л ЛЖК.

Пектинові речовини – полісахариди рослинного походження. До їх складу входять залишки галактуронової кислоти. Вони становлять основу фруктових гелів. Розрізняють два вида пектинових речовин: пектини і протопектини. Пектини розчинні у воді, утворюють колоїдні розчини. Протопектини нерозчинні у воді, бо у своєму складі, крім пектинів, містять клітковину. Під

впливом ферменту протопектинази протопектин переходить у розчинні сполуки і целюлозу.

До похідних вуглеводів відносять сорбіт і ксиліт, що містяться у невеликих кількостях у тканинах тварин. Калорійність сорбіту становить 14,80 кДж/г (3,53 ккал/г), ксиліту – 15,35 кДж/г (3,67 ккал/г), тобто близька до енергетичної цінності вуглеводів.

В організмі ксиліт та сорбіт не викликають підвищення рівня глюкози в крові, оскільки розщеплюються до  $\text{CO}_2$  і  $\text{H}_2\text{O}$ .

### **3. Обмін вуглеводів**

З усіх вуглеводів найбільше значення в харчуванні тварин має крохмаль, а для жуйних клітковина і цукор. У сільськогосподарських тварин різних видів процес вуглеводного харчування здійснюється неоднаково, що пов'язано з будовою травного тракту і характером одержуваних кормів.

У свиней вуглеводисті корми надходять у шлунок, слабкі скорочення стінок якого не викликають інтенсивного перемішування хімусу. Хімічні перетворення кормів зводяться в основному до гідролізу вуглеводів під впливом рослинних ферментів і ферментів шлунково-кишкового тракту.

У коней процес розщеплення і всмоктування вуглеводів у шлунку і тонких кишках схожий з таким у свиней. Однак у коней, на відміну від свині, більш об'ємистий товстий відділ кишечника, де під впливом ферментів мікроорганізмів клітковина перетравлюється, утворюючи органічні кислоти, які після всмоктування беруть участь в обміні речовин.

У жуйних перетравлювання вуглеводів під впливом ферментів травних залоз має другорядне значення. Перш ніж надійти у сичуг, вуглеводи в передшлунках піддаються інтенсивному зброджуванню під впливом мікрофлори. При цьому утворюються леткі жирні кислоти і тільки одна з них – пропіонова – знову перетворюється на глюкозу. Завдяки мікробній ферментації жуйні найбільш ефективно перетравлюють клітковину. Остання має значення для них не лише як поживний субстрат, але і як об'ємиста частину корму, що повільно перетравлюється і необхідна для забезпечення нормальної моторики шлунково-кишкового тракту. Вважають, що найбільш сприятливий рівень клітковини в раціонах жуйних – 20–22%.

Згодовування жуйним малих кількостей грубого корму з великим вмістом клітковини призводить до порушень моторики передшлунків і сортуючої ролі сітки.

Рівень клітковини в кормі впливає на перетравність інших поживних речовин раціону. Як нестача, так і надлишок клітковини веде до порушення травлення і зниження перетравності поживних речовин. У корів, які отримують раціони з недостатньою кількістю грубих кормів, знижуються молочна продуктивність і вміст жиру в молоці через зменшення частки оцтової кислоти в рубці.

У раціонах жуйних корми, багаті на легкоперетравні вуглеводи, служать не тільки джерелами поживних речовин, але і забезпечують нормальну

перетравність і засвоєння кормів з високим вмістом клітковини, білкових та інших азотистих речовин.

Ступінь використання азотистих речовин в раціонах залежить від забезпечення мікроорганізмів рубця енергетичним матеріалом (в першу чергу цукром). При введенні в раціон кормів, багатих на крохмаль і цукор, у жуйних знижується рівень аміаку в рубці і підвищується синтез бактеріального білка. Ступінь використання поживних речовин та оптимальні рівні легкоперетравних вуглеводів визначаються також і співвідношенням у раціоні цукру і протеїну.

Сприятливий вплив легкоперетравних вуглеводів здійснюється лише тоді, коли тварини отримують їх в оптимальних кількостях. Надмірне надходження цукру в травний тракт жуйних може призвести до важкого розладу обміну речовин, а часто і до загибелі тварин.

Більшість вуглеводів, що всмокталися в кров, через ворітну вену надходять до печінки, де синтезуються в глікоген. Частина глюкози із печінки переміщується з кров'ю до органів і тканин, де окислюється й використовується для енергетичних потреб організму. Невикористана її частина перетворюється у жирових депо в тригліцериди. У жуйних основним джерелом глюкози є її синтез у печінці з пропіонової кислоти. Надмірна кількість молочної кислоти у рубці жуйних викликає підвищення вмісту кетонів і зниження концентрації цукру в крові. Пропіонова кислота при всмоктуванні підвищує рівень цукру у крові.

Вміст глюкози в крові жуйних нижчий, ніж у тварин з однокамерним шлунком, оскільки вуглеводи корму (клітковина, крохмаль) зброджуються в рубці до летких жирних кислот (оцтової, масляної, пропіонової). Оцтова кислота є одним з основних джерел енергії у жуйних. Вона компенсує (замість глюкози) потребу організму в енергії. Оцтова та масляна кислоти у жуйних використовуються для синтезу жиру молока і тіла.

#### **4. Показники оцінки вуглеводної поживності кормів**

Вуглеводну поживність кормів оцінюють за вмістом клітковини, БЕР (цукру, крохмалю), НДК і КДК в одиниці корму або його сухій речовині, а також за співвідношенням, як між сполуками окремих груп вуглеводів, так і між ними та іншими поживними речовинами.

У годівлі жуйних прийнято визначати співвідношення крохмалю до цукру, яке має знаходитись у межах 1,5:1 та цукро-протеїнове співвідношення, яке у нормі ставить 0,8–1,5:1. Вміст сирої клітковини у сухій речовині для ВРХ у нормі повинен становити 16–28%, для свиней – 5–12% і для птиці – 3–10%.

Для одержання продуктивності на нормальному рівні необхідно, щоб корови одержували в раціоні легкокорозчинні вуглеводи на рівні до 4 г/кг живої маси, в тому числі коренеплодів – 2 г/кг, а свині – 5–8 г/кг живої маси. Вважається також, що при вмісті глюкози в крові на рівні 40–60 мг% для ВРХ і овець, у свиней, коней і птиці 80–140 мг% можна стверджувати про нормальне (достатнє) забезпечення тварин вуглеводами.

## 5. Модифікована система аналізу вуглеводів кормів

Традиційний метод визначення вмісту клітковини за Генебергом-Штоманом є одним із найстаріших, який все ще використовується сьогодні завдяки своїй простоті. Даним методом визначається сира клітковина (СК) шляхом кип'ятіння зразка в слабкому розчині кислоти та лугу, фільтруванні та визначенні ваги сухого залишку. При цьому втрачаються структурні компоненти: геміцелюлоза і частина лігніну. Так виникає парадокс важкоперетравних безазотистих екстрактивних речовин (БЕР), наприклад, пшенична солома містить 34,4% сирової клітковини і 37,9% БЕР, тоді як перетравність клітковини становить 50%, а БЕР – 37%. У даному випадку БЕР не складається з легкорозчинних і легкодоступних для тварини речовин. Тобто, даним методом неможливо визначити важкоперетравні (структурні) та легкоперетравні (неструктурні) компоненти корму.

Новий “детергентний” метод оцінки вмісту структурних вуглеводів у фуражі був розроблений Пітером Ваном Соєстом у 60-ті роки минулого століття. За цим методом зразок кип'ятять у нейтральному детергенті (натрій лаурилсульфаті і етилендіамінотетраоцтовій кислоті), відфільтровують та визначають вагу сухого залишку. В результаті екстракції з розчином видаляється вміст клітини (білки, розчинні цукри, крохмаль, жири, пектини, органічні кислоти), а залишок, названий НДК (нейтрально-детергентна клітковина) складається з лігніну, целюлози і геміцелюлози.

На жаль, за цим методом, відбувається втрата пектинів, які є компонентами клітинних стінок. Вміст НДК може бути завищеним, якщо корм термічно оброблявся, що пов'язано із зростанням частки нерозчинних білків. Залишок після визначення НДК кип'ятять у кислому детергенті, відфільтровують та визначають вагу сухого залишку – кисло-детергентної клітковини (КДК). До складу КДК входить целюлоза і лігнін. Далі проводять визначення кисло-детергентного лігніну (КДЛ) шляхом гідролізу целюлози концентрованою сірчаною кислотою (рис. 3).

Метод призначений для грубих кормів, але може так само використовуватися для зернових, з яких попередньо видаляють крохмаль, шляхом обробки ферментом амілазою.

НДК в кількісному відношенні приблизно в 2 рази перевищує кількість СК в кормах. НДК відноситься до структурних вуглеводів. Вона створює міцну структуру клітинних стінок (табл. 25).

Таблиця 25

**Склад кормів за традиційною і модифікованою (за Ван Соєстом) схемою зоотехнічного аналізу кормів**

Корма	Вода, %	СР, %	СК, г	БЕР, г	НДК, г	КДК, г	НСВ, г
Сіно суданської трави	15	85	221	439	490	313	170
Сінаж люцерновий	55	45	103	221	207	135	117
Силос кукурудзяний	70	30	70	179	150	84	98
Зерно ячменю	12	88	47	679	183	63	544
Буряк кормовий	87	13	15	83	43	18	42

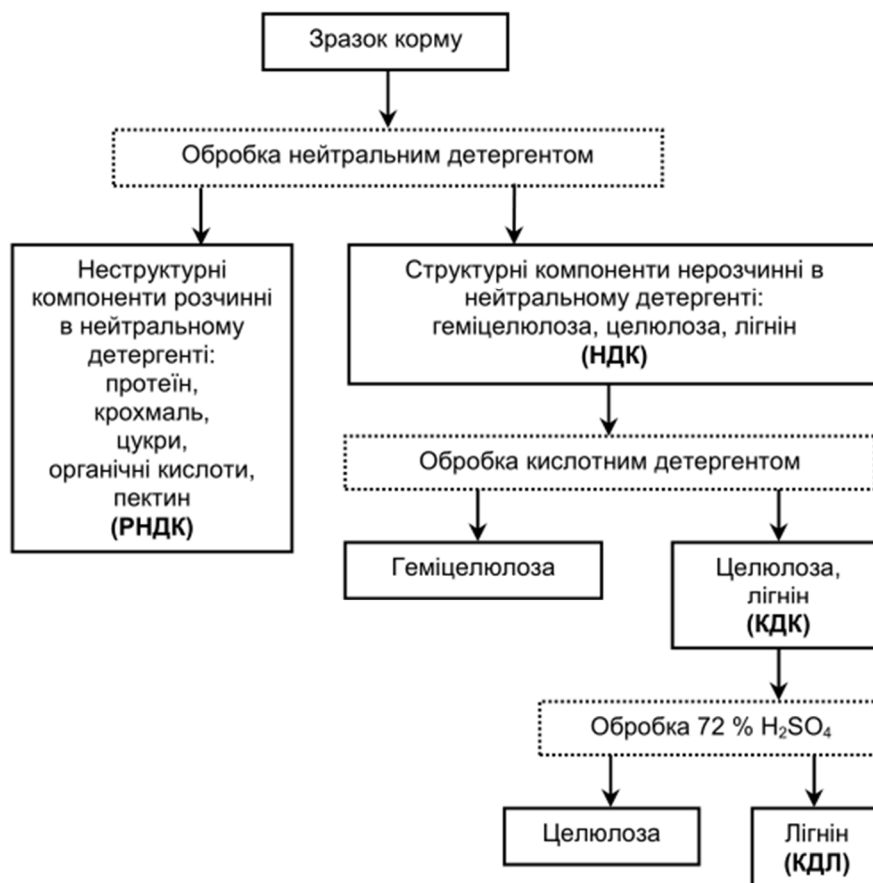


Рис. 3. Схема детергентного методу аналізу корму

Між вмістом НДК у кормі і його споживанням жуйними тваринами існує залежність, а підвищення перетравності НДК збільшує продуктивність тварин.

Перетравність цієї фракції залежить від її хімічного складу (співвідношення целюлози, геміцелюлози та лігніну). Тому корми або раціони з однаковим вмістом НДК не обов'язково мають однакову енергетичну цінність, більш того, певні корми або раціони з високою концентрацією НДК можуть мати більш високу енергетичну цінність, ніж корми та раціони з більш низькою концентрацією НДК.

Оптимальний рівень НДК у сухій речовині раціону визначається збалансованістю його за енергією і знаходиться в межах 27–32%, частка об'ємистих кормів повинна становити 70–75% від загального вмісту НДК. Надмірна кількість НДК негативно діє на споживання сухої речовини (СР), однак НДК не погіршує споживання СР, якщо раціон збалансований за обмінною енергією в СР відповідно до потреби норм. Для корів з надоем 40 кг молока в день споживання СР не погіршується при 32% НДК. Для корів з надоем молока 20 кг/день споживання СР не знижується поки рівень НДК в раціоні не досягне 40%.

Зміна вмісту НДК для люцерни на 3% призводить до зміни продукції 4% молока на 453,6 г.



Підвищення перетравності НДК на 1% збільшує споживання корму на 167,8 г/день, що підвищує надій 4% молока на 249,5 г. Споживання сухої речовини (ССР), як процент від маси тіла великої рогатої худоби, можна розрахувати за формулою:

$$\text{ССР} (\%) = 120 / \text{НДК} (\%).$$

Перетравну суху речовину (ПСР) можна визначити за формулою:

$$\text{ПСР} (\%) = 88,9 - 0,779 \times \text{КДК} (\%).$$

Між вмістом сирової клітковини і кислотно-детергентної клітковини в кормі існує наступна залежність:

$$\text{СК} = 0,8 \times \text{КДК}.$$

Для позначення властивостей НДК в живленні жуйних застосовують терміни: «ефективна НДК (еНДК)» та «фізично ефективна НДК» (феНДК). Перша – це загальна кількість НДК в раціоні, здатна підтримувати вміст жиру в молоці. Друга – це НДК з грубих кормів (сіно, силос, сінаж, солома) з певним розміром часток, які сприяють активізації жуйки і підтримці нормального рН рубця.

Для вимірювання феНДК запропоновано поділ її на класи, засновані на стимулюванні жуйки. Для грубостебельного трав'яного сіна – феНДК прийнята за одиницю – 1, грубо подрібненого кукурудзяного силосу і сінажу – від 0,9 до 0,95, дрібно подрібнених грубих кормів від 0,7 до 0,85. Раціон з 22% феНДК в СР підтримує рубцевий рН на рівні 6, з 20% феНДК – жир молока на рівні 3,4% у корів в ранній лактації.

Оцінка корму на вміст феНДК проводиться шляхом просіювання корму на трьохярусному ситі і розподілом співвідношення часток розміром  $> 19\text{мм}$ , від 8 до  $19\text{мм}$  і  $< 8\text{мм}$ . Було встановлено, що потреба феНДК становить 19% СР силосу, що утримувався на ситі з розміром вічок 8–19мм.

Кислотно-детергентна клітковина (КДК). При оцінці кормів по Ван Соесту використовується й інша фракція – кислотно-детергентна клітковина. Це залишок після багаторазової промивки наважки НДК кислотно-детергентним розчином  $0,5\text{М H}_2\text{SO}_4$  і цетилтриметиламоніумброміда. При цьому з НДК видаляється геміцелюлоза, залишок КДК включає лігнін, целюлозу, кутин і кремній. Визначення КДК вельми корисно для грубих кормів, тому що в ряді дослідів виявлена достовірна негативна кореляція між її вмістом і перетравністю корму.

Після обробки КДК 72% сірчаною кислотою, яка розчиняє целюлозу, в залишку отримують лігнін + кутин. Кількість геміцелюлози розраховують:  $\text{ГЦ} = \text{НДК} - \text{КДК}$ ; целюлози:  $\text{Ц} = \text{КДК} - \text{лігнін}$ .

Існує тісна кореляція між вмістом НДК і КДК. У зв'язку з цим запропоновані рівняння регресії для розрахунку КДК на основі знання вмісту НДК.

$$\text{Для кукурудзяного силосу: КДК, \%} = -1,15 + 0,62 \times \text{НДК, \%}$$

$$\text{Для сіна і зеленої маси трав: КДК, \%} = 6,89 + 0,50 \times \text{НДК, \%}$$

$$\text{Для сіна, сінажу з бобових трав: КДК, \%} = -0,73 + 0,82 \times \text{НДК, \%}$$

Розрахунок розчинних у нейтральному детергенті компонентів (РНДК) або як їх ще називають неструктурних вуглеводів (НСВ), які складаються з цукрів, крохмалю, органічних кислот, білка, пектину та ін. проводять за формулами:

$$\text{РНДК, (\%)} = 100 - (\text{НДК, (\%)} + \text{СП, (\%)} + \text{СЖ, (\%)} + \text{СЗ, (\%)}) \text{ або } 100 - ((\text{НДК, (\%)} - \text{НДСП, (\%)}) + \text{СП, (\%)} + \text{СЖ, (\%)} + \text{СЗ, (\%)})$$

де НДК – нейтрально детергентна клітковина;

СП – сирий протеїн;

СЖ – сирий жир;

СЗ – сира зола;

НДСП – сирий протеїн нерозчинний у нейтральному детергенті.

У фракцію НСВ входять речовини, що вимиваються при екстракції НДК.

Переважає частина білка розчинна у нейтральному детергенті, однак при нагріванні корму збільшується нерозчинна фракція протеїну – НДСП, яка може бути доступна для тварин. Фракція протеїну нерозчинна у кислотному детергенті (КДСП) для тварин недоступна.

Показник НСВ істотно нижче за показник БЕР і краще відображає склад фракції неструктурних вуглеводів (див. табл. 25).

Кількість НСВ в кормах залежить від типу корму і методів їх переробки. Відмінності найбільше обумовлені вмістом пектину і жирних кислот (табл. 26).

Таблиця 26

**Вміст неструктурних вуглеводів та їх склад**

Корма	НСВ, %	У т. ч.			
		Цукор	Крохмаль	Пектин	ЛЖК
Сінаж люцерновий	18,4	0	4,5	6,1	7,8
Сіно злаково-бобове	16,6	5,9	2,5	8,2	0
Силос кукурудзяний	41,0	0	29,2	0	11,8
Зерно ячменю	60,7	5,5	49,6	5,6	0
Зерно кукурудзи	68,7	14,4	54,0	0	0
Жом буряковий	36,2	12,7	0,7	23,3	0
Соевий шрот	34,4	9,7	9,7	15,0	0

Неструктурні вуглеводи швидко зброджуються в рубці з утворенням ЛЖК. Тому важливо знати оптимальні концентрації НСВ в раціонах корів, щоб виключити ацидоз і інші метаболічні проблеми. За нормами NRC-2001 максимальна кількість НСВ в раціонах лактуючих корів становить 36–44% СР, сухостійних 20–35% СР (табл. 27). Оптимальний вміст РНДК для корів повинен становити 35% (30–40%) від сухої речовини раціону. Підвищення споживання РНДК коровами на 1 кг збільшує надій молока на 2,4 кг.

Таблиця 27

**Рекомендовані мінімальні концентрації загальної НДК і КДК об'ємистих кормів, максимум НСВ в раціонах лактуючих корів при годівлі повнораціонною кормосумішшю**

Мінімум НДК об'ємистих кормів	Мінімум НДК в раціоні	Максимум НСВ в раціоні	Мінімум в раціоні КДК
19	25	44	17
18	27	42	18
17	29	40	19
16	31	38	20
15	33	36	21

Раціони, які містять менше НДК і КДК, ніж ці мінімуми і більше ніж 44% НСВ, не слід згодовувати.

## 6. Некрохмалісті полісахариди

У харчуванні моногастричних тварин групу вуглеводів називають «дієтична клітковина» або некрохмальні полісахариди (НКП). НКП представляють собою нейтрально-детергентну клітковину, в якій крім лігніну, целюлози, геміцелюлози міститься пектин, тобто НДК + пектин (табл. 28). Ця група не перетравлюється в шлунково-кишковому тракті, так як власних ферментів целюлази, геміцелюлази, пектинази у ссавців немає. Ці ферменти виробляються бактеріями, грибами, населяють рубець жуйних. У жуйних НКП є важливим джерелом енергетичних речовин.

Таблиця 28

### Вміст некрохмалістих полісахаридів у кормах

Кормові культури	Вміст у сухій речовині, %			
	Клітковина	$\beta$ -глюкани	Пентозани	Некрохмалісті полісахариди
Кукурудза	1,9-3,0	0,1-0,2	4,0-4,3	5,5-11,7
Пшениця	2,0-3,4	0,2-1,5	5,5-9,5	7,5-10,5
Ячмінь	4,2-9,3	1,5-10,7	5,7-7,0	13,5-17,2
Овес	8,0-12,0	3,1-6,6	5,5-6,9	12,0-29,6
Жито	2,2-3,2	0,5-3,0	7,5-9,1	10,6-12,8

Ступінь розщеплення (перетравлення) НКП залежить від структури (конформації) полісахаридних полімерів і їх структурного зв'язку з неуглеводними компонентами, такими як лігнін. Крім того, фізичні властивості НКП, такі як водоутримуюча здатність і іонообмінні властивості можуть впливати на ступінь ферментації. Гельутворюючі НКП, такі як  $\beta$ -глюкан,

знижують перетравність і всмоктування поживних речовин в результаті утворення в'язкого середовища в тонкій кишці, погіршуючи тим самим контакти з ферментами, при цьому консистенція фекалій у поросят і курчат більш в'язка і мазка. Про позитивні властивості: водоутримуюча здатність НКП призводить до корисної дії в обмеженні споживання корму супоросними матками через збільшення часу, який вона витрачає на їжу, і більш тривалого заповнювання шлунку їжею, а також через зниження несприятливого жування перегородок. У зерні жита, тритикале, ячменю, вівса міститься значна кількість НКП, які погіршують перетравність і ріст поросят, курчат.

Для зниження несприятливої дії застосовують добавки в корм ферментних препаратів – ксиланази, пектинази,  $\beta$ -глюканази, які розщеплюють їх до моносахаридів і знижують їх гелюутворюючу дію.

## Лекція 8

### Жирова поживність кормів

1. Склад сирого жиру.
2. Значення жирів.
3. Вміст жиру в кормах.
4. Обмін ліпідів в організмі тварин.

#### 1. Склад сирого жиру

Жири відносяться до групи ліпідів. Вони містяться у складі більшості кормів і тіла тварин, дуже поширені в природі. Мають різноманітну структуру, склад і властивості та не розчиняються у воді.

Веgetативна частина рослин нагромаджує близько 5% ліпідів, насіння олійних – до 50% і більше. В організмі тварин міститься 10–20% жиру, але при деяких порушеннях жирового обміну його кількість може зростати до 50%.

Усім ліпідам притаманна здатність розчинятися в органічних розчинниках: спирті, етиловому ефірі, хлороформі, бензолі.

До сирого жиру входять ліпіди, фарбуючі речовини та стерини (рис. 4).

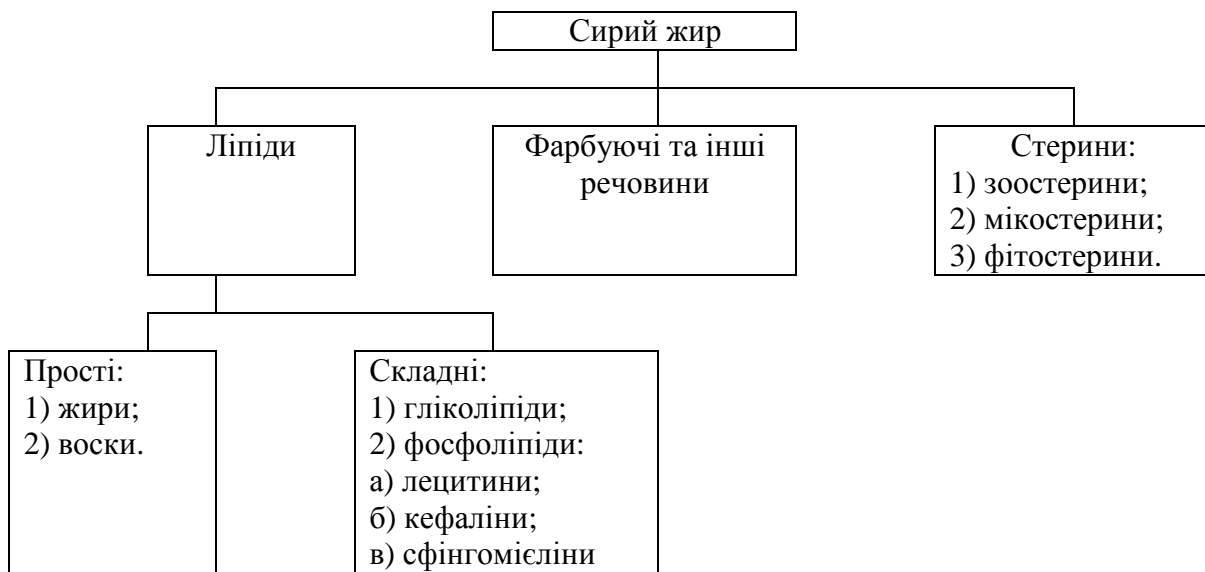


Рис. 4. Склад сирого жиру

До складних ліпідів відносять групу речовин – фосфоліпіди (фосфатиди) – ліпіди, до складу яких входять гліцерин, жирні високомолекулярні кислоти, а також фосфорна кислота і азотовмісні сполуки – серин, етаноламін і холін.

Фосфоліпіди містяться у всіх природних кормах, особливо багато їх у відходах від переробки насіння олійних і бобових культурах. Середній вміст фосфоліпідів в сухій речовині зернових кормів злакових культур (кукурудза, жито, пшениця) коливається від 0,2 до 0,6%, в кормах з насіння бобових (соя, люпин, горох) – від 1 до 2,2%, в насінні соняшнику – від 0,7 до 0,8%, а в насінні бавовнику – від 1,7 до 1,8%.

Залежно від речовин (головним чином азотовмісних), що входять в молекулу фосфоліпідів, вони діляться на холінфосфатиди (лецитини), які містять холін і коламінфосфотиди (кефаліни), що включають коламін (етаноламін) та ін.

Гліколіпіди – це жироподібні речовини, що містять вуглеводи. Головні представники — цереброзиди (характерні для нервової тканини) і гангліозиди (виявлені в нервових вузлах, характерні для клітинних мембран, зокрема мембран еритроцитів).

Воски – це жироподібні речовини, але на відміну від жирів і фосфатидів, які є складними ефірами трьохатомного спирту гліцерину і вищих жирних кислот, складаються головним чином з складних ефірів високомолекулярних одноатомних спиртів. До їх складу входять вуглеводи, різні фарбуючі, ароматичні речовини, вільні органічні кислоти, спирти і т. п.

Воски покривають тонким шаром листя, стебла, плоди всіх зелених кормових культур, оберігаючи їх від змочування водою, висихання і ураження мікроорганізмами, що має значення у збереженні рослинних кормів. Корми з сильно пошкодженим восковим нальотом швидко загнивають (відкривається доступ для життєдіяльності епіфітної мікрофлори). Воски, як правило, містяться в кормах рослинного походження. Їх вкрай мало і навіть майже немає в кормах тваринного і мікробіологічного походження.

Стерини – це жироподібні речовини, які містяться у всіх кормах тваринного, рослинного і мікробіологічного походження. Вони грають важливу роль в клітинному обміні. Серед них розрізняють стероли і стерини. Основний представник стеролів у кормах – ергостерол. При ультрафіолетовому опроміненні кормів із ергостеролу утворюються вітаміни групи D.

Вміст стеролів у сухій речовині кормових дріжджів становить близько 2%, в зерні пшениці коливається від 0,03 до 0,07%, зерні кукурудзи – від 1 до 1,3%, в зелених кормах – от 0,05 до 0,18%.

Стерини, що містяться в кормах тваринного походження, називаються зоостеринами, а в рослинних кормах – фітостеринами. До фітостеринів відноситься  $\beta$ -сітостерол, який запобігає всмоктуванню холестерину у кишечнику, що має важливе значення для профілактики атеросклерозу. Міцеліальні гриби і дріжджі містять мікостерини, зокрема ергостерин. Основним представником тваринних стеринів є холестерин, з якого в організмі тварин утворюється ряд важливих в біохімічному відношенні речовин.

Каротиноїди – речовини, які також входять до групи ліпоїдів. Найчастіше мають жовтий або помаранчевий колір. У зелених кормах, найбільш поширеними каротиноїдами є каротини і лютеїн. Група каротиноїдів включає в себе близько 70 природних пігментів, вміст яких в сухій речовині, наприклад зелених кормів, досягає приблизно 0,07–0,2%.

Хлорофіли – це ліпоїди, що додають зелене забарвлення рослинам. Мають велике значення в процесах фотосинтезу.

Ліпіди (жири) за своїм походженням можна розподілити на тваринні жири, до складу яких входять в основному високомолекулярні жирні кислоти з точкою плавлення вище  $+16^{\circ}\text{C}$ , і олії рослинного походження з низькомолекулярними насиченими і ненасиченими жирними кислотами (табл. 29).

Таблиця 29

**Фізико-хімічні характеристики деяких жирів, %**

Показник	Олія			Жир		
	кукурудзяна	соняшникова	лляна	яловичий	баранячий	свинячий
Вміст кислоти:						
пальмітинової	8-11	3.5-6,4	-	27-29	25-27	25-32
стеаринової	2,5-4,5	1,5-4,6	9-11	24-29	25-31	8-16
міристинової	немає	до 0,1	-	2-2,5	2-4,6	до 1
арахідонової	0,3-0,4	0,7-0,4	-	-	-	-
олеїнової	37-40	25-42	13-29	43-44	36-13	34-44
лінолевої	43-47	46-60	15-30	2-5	3-4,5	3-8
ліноленової	1,2-1,8	-	41-60	0,2-0,6	-	до 0,8
Щільність	0,925	0,925	0,930	0,940	0,950	0,920
Температура, °C: застигання; плавлення;	-10 ... -20	-16 .. -18	-18 ... -27	+30 ... +38 +40 ... +50	+32 ... +45 +44 ... +45	+28 ... +32 +28 ... +40
Йодне число	111-133	119-144	170-210	32-47	31-46	46-66

Завдяки високому вмісту олеїнової, лінолевої та ліноленової жирних кислот рослинні олії характеризуються високим йодним числом і коефіцієнтами рефракції. У тваринних жирах переважають гліцериди стеаринової, пальмітинової і олеїнової кислот, які при кімнатній температурі і температурі тіла тварин перебувають у твердому стані. Найбільш легкоплавкими жирами є молочний, кінський і пташиний жири.

Жирні кислоти поділяють на дві групи: насичені та ненасичені (табл. 30).

Таблиця 30

**Найважливіші жирні кислоти рослин та тварин**

Назва жирних кислот		Кількість атомів вуглецю в ланцюгу	Коротке позначення	Температура плавлення, °C
офіційна	загальноприйнята			
1	2	3	4	5
Насичені				
етанова	оцтова	2	2:0	
пропанова	пропіонова	3	3:0	
бутанова	масляна	4	4:0	-8
гексанова	капронова	6	6:0	-2
октанова	капрілова	8	8:0	16
деканова	капрінова	10	10:0	31
додеканова	лаурова	12	12:0	44
тетрадеканова	міристинова	14	14:0	54
гексадеканова	пальмітинова	16	16:0	63
октадеканова	стеаринова	18	18:0	70
ейкозанова	арахінова	20	20:0	75
докозанова	бегенова	22	22:0	80
тетракозанова	ліаноцеринова	24	24:0	

1	2	3	4	5
Ненасичені з одним подвійним зв'язком (моноєни)				
$\Delta^9$ - тетрадекенова	миристолеїнова	14	9-14:1	
$\Delta^9$ - гексодекенова	пальмітолеїнова	16	9-16:1	0
$\Delta^9$ - октодекенова	олеїнова	18	9-18:1	13,4
$\Delta^{9t}$ - октодекенова	елаїдинова	18	9t-18:1	
$\Delta^{11t}$ -октодекенова	вакценова	18	11t-18:1	39,0
$\Delta^{11}$ - ейкозенова	гондоїнова	20	11-20:1	
$\Delta^{11}$ - докозенова	цетолеїнова	22	11-22:1	
$\Delta^{13}$ - докозенова	ерукова	22	13-22:1	33,5
Ненасичені з двома подвійними зв'язками (цієни)				
$\Delta^{9,12}$ - октодекадієнова	$\alpha$ -лінолева	18	6,12-18:2	-5,0
Ненасичені з трьома подвійними зв'язками (трієни)				
$\Delta^{6,9,12}$ -октодекатрієнова	$\gamma$ -ліноленова	18	6,9,12-18:3	
$\Delta^{9,12,15}$ - октодекатрієнова	$\alpha$ -ліноленова	18	9,12,15-18:3	-11,0
$\Delta^{8,11,14}$ - ейкозатрієнова	дигомо- $\gamma$ -ліноленова	20	8,11,14-20:3	
Ненасичені з чотирма подвійними зв'язками (тетраєни)				
$\Delta^{5,8,11,14}$ -ейкозатетраєнова	арахідонова	20	5,8,11,14-20:4	-49,5

Крім вище описаних сполук до групи жирів, що містяться в кормах, відносяться й інші речовини з аналогічними властивостями, у тому числі і сульфоліпіди. Слід мати на увазі, що до жироподібних речовин можна віднести і жиророзчинні вітаміни А, D, Е, К.

## 2. Значення жирів

Ліпідам властиві різнобічні функції, основною з яких є висока енергетичність. У результаті окислення в організмі 1 г жиру виділяється 39,7 кДж енергії. Енергетична цінність жиру забезпечується вуглеводним ланцюгом високомолекулярних жирних кислот. При гідролізі нейтрального жиру утворюється приблизно 90% жирних кислот і 10% гліцерину. Гліцерин відноситься до вуглеводів і містить у 1 г 4,3 ккал, а жирні кислоти – 9,4 ккал/г.

Ненасичені жирні кислоти за призначенням у живленні тварин класифікуються на замінні й незамінні. Незамінні жирні кислоти – це поліненасичені жирні кислоти, необхідні для підтримання нормальної життєдіяльності тварин. Вони необхідні для трьох біологічних функцій: 1) транспортування ліпідів, зокрема з печінки; 2) утворення сполучної тканини, структурних компонентів клітин і мітохондріальних мембран; 3) як компоненти ферментних систем і захисних “змазок” зовнішнього покриву тварин.

У 1 кг кормового тваринного жиру для свиней і птиці міститься в середньому 3,6 корм. од., або 8700 ккал обмінної енергії, а в 1 кг рослинного і рибного жиру – 3,5 корм. од., або 8560 ккал. Жир містить у 2,25 рази енергії більше, ніж вуглеводи. Для жуйних кормова цінність 1 кг кормового тваринного жиру становить 3,3 корм. од.



Ліпіди виконують структурно-пластичну функцію – входять до складу клітинних і позаклітинних мембран усіх тканин. Мембранні структури клітин, утворені двома шарами фосфоліпідів і білкового прошарку, містять ферменти, за участю яких забезпечується потік метаболітів у клітини та з них.

Жири є розчинниками вітамінів А, D, Е, К та сприяють їх засвоєнню. З жирами в організм надходять інші біологічно активні речовини: фосфатиди, поліненасичені жирні кислоти, стерини та ін.

Ліпіди входять до складу нервових клітин, забезпечують передачу нервових імпульсів генетичної інформації, зв'язують ферменти з внутрішньоклітинними структурами. Із ліпідів утворюються деякі гормони (статеві, кори наднирників), а також вітамін D. Жири шкіри і внутрішніх органів виконують захисну функцію – захищають організм від переохолодження, а оскільки підшкірна жирова клітковина як поганий провідник тепла захищає тіло від надмірної втрати тепла, а також надають шкірі еластичності, запобігають висиханню та розтріскуванню останньої.

В організмі тварин, крім нейтральних жирів, важливу роль відіграють фосфоліпіди (фосфатиди) та стерини. Найбільшою біологічною активністю відзначаються такі фосфатиди, як лецитин, кефалін, сфінгомієлін.

Завдяки вмісту гідрофобних і гідрофільних груп фосфатиди взаємодіють з жирами і водорозчинними сполуками. У комплексі з білками вони входять до складу нервової тканини, печінки, серцевого м'яза, статевих залоз, беруть участь у побудові мембран клітин, визначають ступінь їх проникності для жиророзчинних речовин, а також в активному транспорті складних речовин і деяких іонів у клітини. Фосфоліпіди беруть участь у процесі зсідання крові, сприяють кращому використанню білка і жиру в тканинах, запобігають жировій інфільтрації печінки. Фосфатиди, головним чином лецитин, відіграють важливу роль у профілактиці атеросклерозу, оскільки запобігають нагромадженню надлишкової кількості холестерину у стінках судин, сприяють його розщепленню і виведенню з організму.

Введення жиру до раціону жуйних тварин прискорює їх ріст, запобігає тимпанії та кетозам у високопродуктивних корів, підвищує рівень засвоєння поживних речовин корму та жиророзчинних вітамінів, поліпшує якість і смак м'яса після відгодівлі. Раціони для жуйних і свиней, збагачені ліпідами, доцільні в економічному та біологічному відношеннях, оскільки хімічні перетворення всмоктаного жиру супроводжуються меншими витратами енергії, ніж при хімічних перетвореннях вуглеводів. Величина приросту відгодовуваних жуйних тварин і свиней корелює з вмістом жиру в раціоні.

### **3. Вміст жиру в кормах**

Жирову поживність кормів оцінюють за вмістом жиру в одиниці корму або його сухої речовини.

Якщо розглядати вміст ліпідів у кормах (табл. 31), то в листі трав'янистих кормів він становить 5–10% від сухої речовини. У траві культурних злакових пасовищ кількість жиру (жиру, а не загальних ліпідів) становить 5–6% в розрахунку на суху речовину, а в бобово-злакових пасовищних травах – 4–5%.

**Вміст ліпідів та їх фракцій в деяких кормах**

Корм	Загальні ліпіди, %	Фракції, % від загальних ліпідів				
		фосфоліпіди	стерини	стероїди	тригліцериди	вільні жирні кислоти
Сіно люцернові	2,60	46	6	14	13	10
Солома ячмінна	1,91	23	48	10	7	-
Дерть ячмінна	2,82	22	9	17	35	8
Комбікорми	2,80	31	16	10	21	10
Кукурудза зелена	0,57	21	9	10	27	14
Овес зелений	0,44	22	12	8	19	22
Люцерна зелена	0,59	11	6	13	24	30

Як правило, їх вміст менше в травах, вирощених без мінеральних добрив. У ліпідах пасовищних трав виявляються неетерифіковані жирні кислоти (НЕЖК), стероїди, фосфоліпіди та інші ліпіди.

Ліпіди в процесі приготування сіна із зелених трав значно втрачають свою біологічну цінність. У середньому в травах їх міститься близько 2–3%, а в сіні, приготованому з них, – тільки 1,3–1,5%.

Передбачається, що в силосах ліпіди зберігаються краще, ніж у сіні, приготованому з тих же трав. У зелених кормових рослинах переважають гліцериди і вільні жирні кислоти, які відносяться до легкозасвоюваних липидів. Кількість ліпідів в концентрованих зернових кормах коливається в широких межах. Відомо, що заміна макухи в раціонах тварин шротом знижує надої молока до 18% і збільшує витрати кормів на 20–23%. Це пояснюється тим, що природних ліпідів у макухи міститься близько 8%, а в шротах – в 10 разів менше (близько 0,8%).

Вміст ліпідів у кормах рослинного і тваринного походження різний. Так, на ліпіди у вегетативній частині рослини припадає 5–10% у сухій речовині. На злакових пасовищах, де не вносять органічних добрив, вміст жиру у траві не перевищує 3–4%. Основу жирів у зелених кормах становлять моно- і дигалактозилпохідні гліцеридів.

У сінажі і силосі доброї якості ліпіди зберігаються краще, ніж у штучно висушеному сіні.

Жирні кислоти становлять майже 50% загальної кількості ліпідів трав, а на частку ненасичених жирних кислот (лінолева, ліноленова, олеїнова) припадає близько 80%. У ліпідах раціонів великої рогатої худоби ненасичені жирні кислоти становлять 2/3–3/4 усіх кислот.

Серед ліпідів листя рослин переважає ліноленова, а у ліпідах зерна – лінолева кислота. Домінуюча серед насичених кислот у ліпідах кормів – пальмітинова кислоти (80–85%).

Вміст ліпідів, їх жирнокислотний склад залежать від стадії розвитку рослин, методів висушування, способів зберігання кормів. Наприклад, кількість загальних ліпідів у люцерновому сіні, скошеному до цвітіння, становить 2,47–2,71%, після цвітіння – до 5%.

Сирий жир макухи представлений майже чистим жиром (тригліцеридами). Сирий жир сіна містить лише 1/3–1/5 омилених речовин. Сирий жир силосу у 2–3 рази менш калорійний, ніж жир трави і зернових кормів. У коренеплодах сирий жир в основному представлений воскоподібними речовинами.

Зерно кукурудзи, пшениці, ячменю, жита, вівса та інших культур є основою концентрованих кормів у раціонах тварин. Кількість ліпідів у них коливається у широких межах. В якісному відношенні вони складаються в основному з тригліцеридів, в яких переважають ненасичені жирні кислоти групи С18 (лінолева, ліноленова, олеїнова).

Загалом, вміст ліпідів у раціонах сіно-концентратного типу становить 1,5–2%, концентратного – 2–2,5% у сухій речовині.

Необхідно враховувати, що ліпіди кормів, особливо жирових кормових добавок та сумішей, під впливом кисню повітря, світла, води, а також за участю ряду рослинних ферментів (ліпоксигенази), в процесі зберігання набувають гіркового смаку. Жири псуються (прогіркають) і набувають неприємного запаху, а корма стають майже неїстівними, в деяких випадках навіть шкідливими. При цьому відбувається вивільнення масляної кислоти, запах якої дуже неприємний (особливо це стосується тих кормів, які в своєму складі містять жирні кислоти з невеликою молекулярною масою – коров'яче масло, замінники незбираного молока – ЗНМ).

Під час зберігання зернових кормів у подрібненому вигляді, особливо в умовах підвищеної температури і вологості повітря, у них швидко зростає кількість продуктів прогіркання – перекисів, альдегідів і кетонів, що в кінцевому рахунку стає причиною не лише зниження продуктивності, але й погіршення функцій відтворення тварин. Наприклад, після 10-добового зберігання комбікорму при підвищеній вологості і температурі повітря вміст у ньому окислених продуктів підвищується порівняно з контролем: перекисів у 6 разів, альдегідів – у 70 разів і більше. Кислотне число зростає більше ніж у два рази. Вміст окислених продуктів у зимово-весняних раціонах корів значно підвищується порівняно з літнім. Так, до кінця стійлового періоду порівняно з пасовищним вміст перекисів у кормах зростає у 90 разів, кислотне число – майже у два рази.

Шкідливий вплив окислених продуктів на здоров'я і продуктивність тварин у зимово-весняний період, пояснюється інактивацією до цього часу більшості вітамінів.

У зв'язку з цим для тривалого зберігання кормових жирів і кормів з підвищеним їх вмістом необхідно створювати герметичні умови, а також вводити до їх складу антиоксиданти (антиокислювачі), які навіть у малих кількостях оберігають кормові жири від прогіркання. Як антиокислювач найбільш ефективний токоферол (вітамін Е) і його похідні (сантохін, дилудин).

Значною мірою на жирно-кислотний склад кормів впливає і технологія їх заготівлі – гранулювання та брикетування. Висока температура і тиск, які створюються в процесі гранулювання, викликають суттєві зміни у жирно-кислотному складі ліпідів корму – знижується вміст ненасичених, особливо поліненасичених жирних кислот.

#### **4. Обмін ліпідів в організмі тварин**

Ліпідний обмін – це сукупність безперервно протікаючих хімічних перетворень жирів і жироподібних речовин в організмі.

Ліпіди в організмі тварин синтезуються не тільки з жиру корму, а більшою мірою з глюкози та летких жирних кислот, що утворюються в процесі перетравлювання вуглеводів у передшлунках жуйних та товстих кишках моногастричних тварин.

В організмі тварин вони знаходяться у двох формах: структурній (протоплазматичній) і резервній (у жирових депо).

Структурний жир у клітинах входить до складу складних сполук з білками, які називаються ліпопротеїновими комплексами. Вони знаходяться в крові, беруть участь у побудові клітинних органел (ядра, рибосом, мітохондрій). Кількість протоплазматичного жиру підтримується в органах і тканинах на постійному рівні, який не змінюється навіть при голодуванні.

Резервний (запасний) жир накопичується у жирових депо: під шкірою (підшкірний жировий шар), у черевній порожнині (сальник), біля нирок (навколонирковий жир). Відкладання резервного жиру залежить від багатьох факторів: характеру годівлі, рівня енерговитрат, віку, статі, конституційних особливостей організму, діяльності залоз внутрішньої секреції. Так, у випадку важкої фізичної роботи, різних захворювань, недостатній годівлі кількість запасного жиру зменшується. Надлишкова годівля, гіподинамія, зниження функції статевих залоз, щитовидної залози призводять до збільшення кількості резервного жиру. У резервному жирі постійно відбувається синтез й розпад; він є джерелом поновлення внутрішньоклітинного структурного жиру.

Жири корму повністю не можна замінити вуглеводами і білками, бо такі незамінні жирні кислоти, як ліолева, ліоленова й арахідонова, в організмі не синтезуються. За їх нестачі у тварин порушується статева функція, знижується еластичність стінок кровоносних судин, порушується обмін жирів.

У жуйних тварин порушення жирового обміну може виникнути при недостатньому розщепленні клітковини мікроорганізмами до летких жирних кислот (оцтова, масляна, пропіонова та ін.) Порушення процесу всмоктування негативно впливає на обмін речовин не тільки тому, що зменшується кількість речовин багатих енергією, а головним чином внаслідок обмеженого або повного припинення надходження в організм фізіологічно необхідних жирних кислот, що особливо позначається на процесах росту і розвитку молодняку.

На жировий обмін істотно впливає нестача в раціоні вітамінів, які беруть участь при ендогенному перетворенні насичених жирних кислот у фізіологічно активні жирні кислоти. Всмоктування жирів відбувається в нерозщепленому вигляді (у вигляді емульсії) або, коли вони попередньо розщеплюються на

гліцерин і жирні кислоти. У першому випадку вони надходять в лімфатичну, а в другому – в кровоносну систему. Часто, одночасно зі збільшенням вмісту жиру в крові спостерігається підвищення вмісту ліпідів (фосфатидів, холестерину). Сумарне збільшення речовин в крові, що входять до групи ліпідів, називають ліпідемія.

У високопродуктивних корів при інтенсивній годівлі концентратами, а також недокормі відбувається неповне окислення жирів. І в крові виявляється підвищена кількість кетонових або ацетонових тіл. У здорових тварин можна виявити тільки сліди ацетонів тїл. Підвищений вміст кетонових тіл у крові називається гіперкетонемією. Їх надлишок виділяється з сечею (кетонурія), у лактуючих тварин – з молоком, а при вираженому кетозі – легенями (запах фруктів). Гіперкетонемія вказує на те, що проміжні продукти жирних кислот не встигають повністю окислюватися в печінці та інших тканинах і викликають отруєння. При високому вмісті кетонових тіл в крові виникає ацидоз, порушується діяльність ферментативних систем, змінюється білковий обмін і т. д. Оскільки оцтова кислота і ацетон є вихідним матеріалом для синтезу холестерину, то при гіперкетонемії спостерігається підвищений вміст холестерину в крові. Крім того, кетонів тіла надають різко гальмівну дію на центральну нервову систему і дихання. До кетозу особливо схильні велика рогата худоба, вівці.

## Лекція 9

### Мінеральна поживність кормів

1. Класифікація мінеральних елементів.
2. Значення окремих мінеральних елементів у живленні тварин.
3. Контроль повноцінності мінерального живлення тварин.

#### 1. Класифікація мінеральних елементів

В організмі тварин і в складі рослин виявлено понад 80 хімічних елементів, які виконують різноманітні функції.

Хімічні елементи періодичної системи Д.І. Менделєєва містяться в організмі у неоднаковій кількості. Більше 50% маси тіла тварин припадає на кисень, 20 – на вуглець, близько 10 – на водень і до 3% – на азот. Названі елементи (кисень, вуглець, водень та азот) є основними елементами органічних речовин (білків, жирів, вуглеводів), тому їх часто називають органічними, а всі інші – неорганічними, або мінеральними елементами.

Поряд з органічними речовинами, що становлять, не враховуючи воду, основну частину тіла тварин, організм містить також певну кількість, хоча і невелику, мінеральних речовин. Згідно даних Гілберта і Лоза вміст мінеральних речовин у різних видів тварин наступний (табл 32).

Таблиця 32

#### Вміст мінеральних речовин в організмі тварин

Вид тварин	Кожні 100 кг містять							
	води, кг	чистої золи, кг	K (г)	Na (г)	Ca (г)	Mg (г)	P (г)	cl (г)
Жирне теля	63,0	3,78	171	109	1176	44	670	63
Напівжирний вів	51,5	4,61	170	108	1509	52	830	59
Доросла вівця	57,3	3,06	144	89	945	35	518	72
Доросла свиня	55,1	2,65	163	82	772	33	465	57

В складі мінеральних речовин в окремих видів тварин наявні значні відмінності. Найбільш високий вміст мінеральних речовин спостерігається у ВРХ, в якій сильно розвинений кістяк, у свиней їх майже на половину менше. В добре вгодованих тварин відносна кількість мінеральних речовин менша. Особливо велика різниця по вмісту мінеральних речовин в різних тканинах, про що говорять наступні дані (табл. 33).

Таблиця 33

#### Вміст мінеральних речовин в тканинах ВРХ (г на кг)

Тканини	Вода	Na	K	Ca	Mg	Fe	P	Cl	CO <sub>2</sub>
Кров	809	2,69	0,34	0,05	0,02	0,38	0,18	3,08	-
Кістки (1 кг золи)	-	8,06	1,50	366,0	6,52	-	163,0	0,4	50,6
М'язи	758	0,65	3,66	0,02	0,24	-	2,70	0,57	-
Молоко	904	0,69	1,54	1,24	0,11	-	0,92	0,91	-

Кістки найбільш багаті на мінеральні речовини, в яких вони представлені фосфорнокислим кальцієм. В крові переважає натрій і хлор, або інакше кухонна

сіль, досить високий вміст заліза, що пов'язано з гемоглобіном. В м'язах відносно багато калію і мало кальцію. Молоко містить поряд із значною кількістю хлору і калію досить багато Ca і P.

Систематизація мінеральних елементів за певними ознаками дозволяє визначити важливість певних елементів для живлення та наслідки їхньої нестачі чи надлишку для організму тварин.

Існуючі системи класифікації мінеральних елементів базуються на кількісному їх вмісті та локалізації в органах і тканинах, біологічній ролі та впливу на системи організму тварин.

Відповідно до класифікації, заснованої на кількісному вмісті в організмі, мінеральні елементи поділяють на три групи: макроелементи, мікроелементи та ультрамікроелементи (табл. 34). У практиці останні дві групи часто називають одним словом – мікроелементи.

Таблиця 34

**Вміст мінеральних елементів в організмі тварин**

Група	Елемент	Вміст у тілі, %
Макроелементи	Ca	1–9
	P, K, Na, S, Cl	0,1–0,9
	Mg	0,01–0,09
Мікроелементи	Fe, Zn, F, Sr, Mo, Cu	0,001–0,009
	Br, Si, Cs, I, Mn	0,0001–0,0009
	Al, Pb, Cd, B, Rb	0,00001–0,00009
Ультрамікроелементи	Se, Co, V, Cr, As, Ni, Ba,	Менше 0,000001
	Be, Ag, Sn, Hg, Li	

Макроелементи містяться в тілі тварин у цілих, десятих та сотих частках відсотків. Вони знаходяться в організмі в різному стані: у кістках – у вигляді мінеральних солей, м'яких тканинах – у поєднанні з білками або є складовими частинами білків, жирів та вуглеводів. В організмі макроелементи можуть переходити із сполук з органічними речовинами до неорганічних.

Макроелементи виконують роль пластичного матеріалу в побудові тканин, підтримують осмотичний тиск, рН середовища, іонну та кислотно-лужну рівновагу, стан колоїдів тощо.

Якщо прийняти кількість усіх мінеральних елементів за 100, то з них на макроелементи припадає 99,6%, на мікроелементи – тільки 0,4%.

Мікроелементи належать до групи біологічно активних речовин, оскільки є важливими компонентами металоферментів, які беруть участь у підтриманні клітинних функцій. У зв'язку з низькою концентрацією мікроелементів у кормах і тілі тварин кількість їх прийнято виражати у міліграмах або мікрограмах.

Всмоктування й перетравлювання корму у травному каналі, окислення вуглеводів, жирів та білків і вилучення із сполук енергії відбувається у реакціях за участю мікроелементів. Двовалентні катіони відіграють важливу роль у підтриманні електричного потенціалу.

Багато різних сполук містять у своєму складі мікроелементи. Такі елементи як залізо, цинк та селен здійснюють виражений вплив на організм завдяки їх участі у підтриманні його природної резистентності. Часто мікроелементи входять до складу простетичної групи, з якою утворюють стійкий комплекс, наприклад, цитохромоксидаза, каталаза, пероксидази. У інших випадках мікроелемент входить до складу розчинного ферментного комплексу, звідки він може бути обернено вилучений у стані іону. До ферментів, які містять метали такого типу, відносяться, наприклад, вугільна ангідраза (марганець), пептидази (марганець, залізо, магній), фосфатази (магній), аргіназа (марганець). Усі ці ферменти втрачають свою активність при вилученні мікроелементів та реактивуються у разі оберненої його фіксації. Роль металу у ферментній системі часто пов'язана з утворенням комплексу між ферментом та його субстратом. Так, магній необхідний для фіксації АТФ на ферментах, цинк – для зв'язування НАД на алкогольдегідрогеназах, марганець зв'язує пептид з амінополіпептидазою.

В окремих випадках мікроелемент бере участь у реакції, являючись транспортером електронів (як, наприклад, залізо у складі цитохромної системи або пероксидаз).

Класифікація, заснована на кількісному вмісті мінеральних елементів, є досить поширеною, але певною мірою умовною, оскільки не відображує значення їх в організмі тварин. Сучасна класифікація мінеральних елементів (табл. 35) враховує їх біологічне значення для організму та вплив на імунну систему.

Таблиця 35

### Сучасна класифікація мінеральних елементів

<i>За життєвою необхідністю</i>	
Життєво необхідні (есенціальні, біогенні)	Ca, P, K, Na, S, Cl, Mg, Fe, Zn, Mo, Cu, I, Mn, Se, Co, Cr
Ймовірно необхідні (умовно есенціальні)	As, B, Br, F, Li, Ni, V, Si
Токсичні	Al, Cd, Pb, Hg, Be, Ba, Vi, Tl
Потенційно токсичні	Ge, Au, In, Rb, Ag, Ti, Te, U, W, Sn, Zr та ін.
<i>За імуномодуючим ефектом</i>	
Необхідні для імунної системи	Fe, I, Cu, Zn, Co, Cr, Mo, Se, Mn, Li
Імунотоксичні	Al, As, B, Ni, Cd, Pb, Hg, Be, Vi, Tl, Ge, Au, Sn та ін.

Головними критеріями, за якими елемент відносять до групи життєво необхідних, є такі:

- раціон, який не містить елемента, викликає у тварин характерні патологоанатомічні і біохімічні симптоми недостатності;
- ці симптоми можуть запобігатися або усуватися (якщо зміни не стали незворотними) додаванням даного елемента до дефіцитного раціону;



- виявлення конкретної біохімічної функції, яка не може бути замінена іншим елементом;
- наявність певної закономірності у розподілі елемента між органами і тканинами та постійне виявлення його в організмі.

Незамінність деяких елементів можливо не вдається довести через незначну (у кількісному виразі) потребу тварин у них та відсутності методів очищення кормів і кормових добавок від їх слідів. Ймовірно, необхідні елементи беруть участь в обміні речовин в організмі, але їх роль обмежена окремими тканинами і в більшості випадків потребує підтвердження. Встановлено, що всі метали з перемінною валентністю (мідь, хром, залізо та ін.), при необґрунтованих нормах введення до раціонів можуть сприяти мутагенезу та канцерогенезу.

У класифікації, яка ґрунтується на локалізації елементів в органах та тканинах організму, всі мінеральні елементи поділяються на три групи:

- ті, що локалізуються переважно в кістковій тканині (остеотропні);
- ті, що локалізуються у ретикулоендотеліальній системі;
- ті, що не мають тканинної специфіки.

До першої групи відносять кальцій, магній, стронцій, берилій, фтор, ванадій, барій, титан, радій, свинець; до другої – залізо, мідь, марганець, срібло, хром, нікель, кобальт; до третьої – натрій, калій, сірку, хлор, літій, рубідій, цезій.

Переважна локалізація елемента в певних органах і тканинах часто пов'язана з виконанням тієї чи іншої функції, тому цей показник можна використовувати для добору тестів і діагностики порушень обміну мінеральних речовин. Однак нагромадження елемента у кістках, печінці, нирках, селезінці ще не може слугувати доказом необхідності його для забезпечення функції певного органу і впливу на обмін речовин.

## **2. Значення окремих мінеральних елементів у живленні тварин.**

**Кальцій.** В організмі кальцій є незамінним компонентом скелета та зубів (гідроксиапатит); необхідний для нормального функціонування нервової тканини; для перетворення протромбіну в тромбін крові; впливає на ефективність гормонів; від кальцію залежить нормальна функція скелетної та серцевої мускулатури, а також гладенької мускулатури, хоча тут він може бути замінений стронцієм; забезпечує нормальні умови для створення біоелектричного потенціалу на клітинній поверхні; вірогідно, необхідний для протеолітичної дії трипсину.

Дія кальцію опосередкована спеціальними  $\text{Ca}^{2+}$ -зв'язуючими білками ("кальцієвими сенсорами"), до яких належать анексин, кальмодулін і тропонін. Кальмодулін порівняно невеликий білок, наявний у всіх тваринних клітинах. При зв'язуванні чотирьох іонів  $\text{Ca}^{2+}$  кальмодулін переходить в активну форму, яка може взаємодіяти з багатьма білками. За рахунок активації кальмодуліну іони  $\text{Ca}^{2+}$  впливають на активність ферментів, іонних насосів і компонентів цитоскелета.  $\text{Ca}^{2+}$ -зв'язуючий білок здійснює транспорт кальцію у кишечнику, стимулює дифузію як внутрішньоклітинний переносник і нагромаджує кальцій в мікроворсинках.

Кальцій активує такі важливі ферменти, як протромбіназу, лецитиназу, аптерокиназу, актомиозин, аденозинтрифосфатазу, ліпазу підшлункової залози, фосфатазу, та стабілізує трипсин. Іони кальцію викликають зниження константи седиментації трипсину внаслідок дезагрегації його молекули, гальмують дію енолази та дипептидази, підвищують тонус парасимпатичної нервової системи, діючи подібно до адреналіну. Регуляція всмоктування та обміну кальцію здійснюється біологічно активними похідними вітаміну D, гормонами паращитовидних залоз та гіпофіза.

За недостатнього надходження кальцію з кормами або за порушень його засвоєння у кишечнику регуляторні механізми для підтримання необхідної концентрації даного елемента в крові викликають вилучення його з кісток, тобто спостерігається демінералізація кісток.

У разі нестачі кальцію в кормах молоді тварини хворіють на рахіт, для якого характерні деформація скелета, викривлення трубчастих кісток, хребта та грудної клітки. Одночасно змінюється склад крові – у ній помітно знижується вміст неорганічного фосфору (до 20% від норми) за невеликих змін рівня кальцію – за цим показником рахіт відрізняють від тетанії, коли відбувається різке зниження вмісту кальцію в крові.

Нестача кальцію в кормах для дорослих тварин виявляється через остеомаліцію, остеопороз чи остеопіброз. Остеомаліція – розм'якшення кісток у результаті демінералізації та заміни кісткової тканини остеоїдною. Частіше спостерігається у вагітних та лактуючих тварин. Остеопороз – атрофія кісткової тканини, що призводить до потоншення, пористості та крихкості кісток. Остеопіброз характеризується розрастанням кісток із частковим заміщенням кісткової тканини фіброзною, а також збільшенням лицевих та щелепних кісток.

Великі дози кальцію при парентеральному введенні токсичні. Пероральне його введення не супроводжується гострими отруєннями. Тривалий надлишок цього елемента завжди небажаний, хоча стійкість різних видів тварин проти нього неоднакова. Найстійкіші щодо надходження надлишкової кількості кальцію жуйні тварини. Проте у будь-якому випадку надмірна його кількість спричиняє зниження перетравності жирів та зменшення поїдання кормів, порушує обмін магнію, фосфору, заліза, марганцю та йоду.

Вміст кальцію у кормах змінюється, проте багаті на даний елемент бобові рослини та сіно, деякі корми тваринного походження, мінеральні добавки.

Для балансування раціонів за вмістом кальцію можна використати такі його джерела: крейда, вапняки, травертини, доломітові вапняки, черепашки, стеарат кальцію, фосфорити, фільтрат цитрату кальцію, яєчна шкаралупа, деревинна зола, кісткове борошно та зола, трикальційфосфат, преципітат, монокальційфосфат, гляканат кальцію та ін.

**Фосфор.** Одним з найважливіших біогенних елементів є фосфор, який необхідний для життєдіяльності всіх організмів. Фосфор являє собою ключовий елемент майже всіх життєвих процесів. Він бере участь у трьох найважливіших біологічних перетвореннях:

- перенесенні енергії в усіх живих системах;
- збереженні й передачі генетичної інформації;

- обміні речовин.

Він відіграє важливу роль в обміні білків, жирів і вуглеводів, синтезі ферментів, гормонів, вітамінів, входить до складу білкових і небілкових органічних сполук, міститься в усіх клітинах та рідинах тіла тварин. На фосфорну кислоту багатий мозок і речовини нервових клітин, тобто тканини з найбільш досконалою функцією.

Сполуки, які містять фосфор, активують ферментативні процеси, беруть участь в окисному фосфорилуванні, входять до складу простетичних груп ряду ферментів (тіамінпірофосфату, декарбоксилази, кодегідрогенази, флавінових ферментів, ліпотіамінпірофосфату) і речовин, які є переносниками енергії (АДФ, АТФ, фосфоген). Усі синтетичні процеси, пов'язані з ростом і утворенням продукції (формування скелета, збільшення маси м'язів, синтез складових частин молока, яєць, ріст вовни), здійснюються за участі сполук фосфорної кислоти.

Фосфор сприяє всмоктуванню у кишечнику глюкози і жирних кислот; є складовою частиною буфера крові, що підтримує кислотно-лужну рівновагу, а також складовою кодегідраз; здійснює процеси тканинного дихання, потрібний для ниркової екскреції та нормального засвоєння кальцію і формування жовтка яєць, входить до складу всіх тканин організму.

За наявності солей фосфорної кислоти помітно прискорюється всмоктування амінокислот із кишечника. Виявлено, що за участю її солей в організмі тварин перетворюються і використовуються азотисті речовини корму. Органічний фосфор входить до складу РНК і ДНК, бере участь у переамінуванні, карбоксилюванні, декарбоксилюванні, а також у макроергічних сполуках (АТФ, АДФ, КФ та ін.). Фосфорна кислота входить до складу багатьох коензимів: кофактора ацетилювання – коензиму А; коензимів переамінування, карбоксилювання, окислювально-відновних ферментів тощо.

У рослинах і тілі тварин фосфор знаходиться як у вигляді неорганічних, так і органічних сполук. Більше його міститься в генеративній частині рослин, мало – у коренеплодах. Джерелом фосфору для тварин є зерно (3,2–4 г в 1 кг сухої речовини) та висівки, де його у 2–3 рази більше.

У зерні злаків та бобових близько 30–70% загального фосфору знаходиться у формі фітату, в картоплі й моркві – 20, а в зеленому кормі – 2–8%. Фітатний фосфор у свиней та птиці має низький рівень засвоєння, оскільки необхідний фермент (фітаза) виробляється мікроорганізмами.

Згодовування бідних на фосфор раціонів призводить до помітного зниження поїдаємості корму і, внаслідок цього, до зниження показників продуктивності. Також спостерігається зниження показників відтворення поголів'я.

Тривала нестача фосфору в кормах стає причиною зниження концентрації неорганічного фосфору в сироватці крові. Симптомами нестачі даного елемента слід вважати рахіт, остеомаліцію або остеопороз. Жодне із вказаних захворювань не є специфічним для фосфорної нестачі.

За джерела для поповнення нестачі фосфору у раціонах служать фосфорити, моно- та диамонійфосфати (для жуйних), моно- та динатрійфосфат кормовий, поліфосфат натрію.

**Калій.** Відноситься до найпоширеніших елементів у природі. Від загальної кількості калію в організмі 98,3% міститься у клітинах і лише 1,7% – у позаклітинній рідині. Калій є основним катіоном клітинного середовища.

Біологічна роль калію досить різноманітна. Він бере активну участь у підтриманні осмотичного тиску, кислотно-лужної рівноваги, а також у всіх процесах обміну речовин.

Ферменти, що активуються калієм можна віднести до однієї з двох великих груп:

- каталізатори реакцій за участю фосфорних груп;
- каталізатори реакцій гідролізу чи елімінування.

Один із найбільш вивчених ферментів першої групи – піруваткіназа. Піруваткіназа каталізує реакцію переносу фосфатної групи з фосфоенолпірувату на АДФ. Також до цієї групи відносять: аспартаткіназу, фосфофруктокіназу, фруктокіназу, ацетат-тіокіназу, піруват та інші карбоксилази, формілтетрагідрофолат-синтетазу. До ферментів, що каталізують реакції гідролізу і елімінування, відносять фосфатази, піридоксальфосфатзалежні ферменти, каталізуючі  $\alpha$ -,  $\beta$ -елімінування і реакції приєднання, також деякі  $B_{12}$ -кофермент залежні ферменти, каталізуючі розрив зв'язків C–O і C–N.

Іони калію посилюють ефективність реакцій окислення і фосфорилування в мітохондріях.

Внутрішньоклітинний калій віграє важливу роль в стабілізації РНК і РНК/ДНК синтетичних систем, у процесі перенесення кисню гемоглобіном.

Іони калію використовуються при передачі збудження з нерва на орган, який іннервується, а також між нейронами. При цьому іони  $K^+$  беруть участь як в утворенні медіаторів (ацетилхолін) на нервових закінченнях, так і у формуванні відповідної реакції іннервуємої тканини на дію медіатора.

У жуйних тварин калій необхідний для підтримання буферності й вологості вмісту передшлунків, тобто для створення оптимальних умов перебігу бактеріальної ферментації.

Калій у рослинах міститься у вигляді вуглекислих, хлористих солей, а також у вигляді солей органічних кислот, які потрапляючи до травного каналу легко всмоктуються. Вміст калію у рослинних кормах у кілька разів перевищує потребу тварин у ньому. Всі зелені рослини містять понад 15 г калію в 1 кг сухої речовини. Це відноситься і до зернових культур, і до коренебульбоплодів.

Калій є в усіх частинах рослини, але більше його у вегетативних органах. Вміст його в рослинах залежить від фази вегетації, типу ґрунтів, дози калійних і органічних добрив.

У тваринному організмі найбільша кількість калію знаходиться у м'язах, менше його в мозку, селезінці, серці, еритроцитах, протоплазмі і зовсім він відсутній у ядрах клітин.

За нестачі калію в організмі затримується ріст, погіршується апетит, спостерігається атаксія, порушення серцевої діяльності, загальна слабкість,

судоми і параліч. У випадку згодовування тваринам (телятам, поросят, курчатам) синтетичних раціонів з дефіцитом калію ці явища виявлялися вже за кілька днів.

Для балансування раціонів за вказаним елементом використовують хлористий калій, у складі якого близько 52% становить калій і 48% хлор.

**Натрій.** В організмі тварин натрій бере участь у побудові нових клітин і тканин, у складних фізико-хімічних процесах обміну речовин. Він є комплексним компонентом буферних систем, що підтримує кислотно-лужну рівновагу в організмі. Стимулює також імунобіологічні процеси, підсилює лейкоцитоз, збільшує кількість аглютининів і тромбоцитів. Солі натрію й хлору тісно пов'язані з білковим, жировим, вуглеводним та водним обмінами, впливають на сенсibiлізацію організму, викликають реактивність кісткового мозку.

Натрій є основним катіоном позаклітинного середовища. Він становить понад 90% всіх катіонів плазми.

Рух іонів натрію і калію через мембрани клітин – це не проста дифузія, а активний транспорт, який здійснюється за допомогою ферменту Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>-АТФ-ази. Останній постійно видаляє з клітин натрій і переносить у середину клітини калій.

В основі цього процесу знаходиться механізм, за яким на внутрішній поверхні клітинної мембрани фермент утворює комплекс з іонами натрію, а потім змінює свою конфігурацію так, що його фрагмент, зв'язаний з натрієм, переміщується на зовнішню сторону клітинної мембрани. Тут цей комплекс дисоціює, катіони натрію переходять у міжклітинну речовину, а іони калію утворюють комплекс з активними центрами ферменту. Після цього фермент знову переорієнтовується і переносить катіон калію до цитоплазми, де знову відбувається дисоціація і утворення комплексу із іонами натрію. Наведений механізм підтримує в клітинах різних типів концентрацію калію в 2–10 разів вищою від концентрації натрію. Позаклітинна рідина містить відповідно більше натрію і менше калію. Завдяки такій різниці градієнтів концентрацій створюється різниця потенціалів – 35 мВ.

Транспорт і секрецію більшості речовин слід рахувати вторинним активним транспортом субстратів, зв'язаних із транспортом натрію і калію.

Іони натрію активують дію ферментів амілази та фруктокінази й гальмують дію фосфорилази, стимулюють транспорт амінокислот. Натрій у взаємодії з калієм бере участь у процесах передачі імпульсів у нервову тканину, впливає на серцево-судинну систему. Він незамінний у підтриманні рН вмісту рубця, нормалізує діяльність мікрофлори в передшлунках, входить до складу травних соків.

Корми рослинного походження містять незначну кількість натрію, тому порушення натрієвого обміну у тварин досить часте. Його дефіцит призводить до зниження буферності крові і сприяє окислювальним процесам. У тварин при цьому погіршується апетит, гальмується ріст, знижуються надої і жирність молока, порушуються процеси рубцевого метаболізму у жуйних та відтворні функції. У курей-несучок та індиків нестача натрію призводить до зниження несучості, погіршення використання поживних речовин кормів і канібалізму.

Шкідливо впливає на організм і надлишок натрію. Вважають, що доза кухонної солі, яка становить 0,5–1,0% живої маси, токсична. У практиці хронічний надлишок в раціонах кухонної солі, як основного джерела натрію, відносно рідкісний. Проте бувають випадки гострого отруєння тварин. У корів і свиней в такому випадку спостерігається сильна спрага, часте сечовиділення, блювання, ціаноз слизових оболонок, порушення дихання. Вважається, що великі дози натрію не становлять небезпеки для дійних корів та овець, якщо при цьому не обмежена кількість питної води. Чутливість тварин до кухонної солі залежить від таких факторів: виду тварин, віку та стадії лактації, температури, вмісту води в кормах, кількості інших іонів у воді. Нелактуючі вівці та велика рогата худоба витримують у питній воді до 1,2% кухонної солі, свині – до 1% кухонної солі. Для коней концентрація її у воді не повинна перевищувати 0,6%.

Традиційними джерелами натрію у раціонах є сіль кухонна, глауберова (сульфат натрію), бікарбонат натрію, моно- або динатрійфосфат.

**Хлор.** Біологічна роль хлору в організмі тварин полягає в підтриманні осмотичного тиску і кислотно-лужної рівноваги. Особливо велика його роль як складової соляної кислоти шлунка, що забезпечує оптимальну величину рН для активності пепсину. На утворення соляної кислоти може бути використано до 20% запасу хлору. Іони хлору активують фермент амілазу слини.

У зелених кормах знаходиться 4–18 г хлору на 1 кг сухої речовини. Багато хлору є в гичці і коренях буряків, достатньо – в лучних і пасовищних кормах. Злакові корми містять близько 1 г хлору на 1 кг сухої речовини.

Вміст хлору в рослинах цілком задовольняє потреби тварин. У кормах його в 3–3,5 рази більше, ніж натрію, тому дефіциту даного елемента у раціонах молочних корів не відмічається.

Вважають, що нестача хлору в звичайних умовах неможлива, оскільки тварини одержують його у достатній кількості з кухонною сіллю.

Явища хлорної нестачі спостерігали в дослідах на курчатах при згодовуванні їм синтетичного, майже позбавленого хлору, раціону. Нестача хлору спричиняла затримку росту, зниження вмісту електролітів у плазмі, дегідратацію крові та параліч. За його нестачі у кормах у тварин також погіршується апетит та знижується продуктивність.

Найпоширеніші хлорвмісні мінерали: кухонна сіль –  $\text{NaCl}$ , сильвініт –  $\text{KCl} \cdot \text{NaCl}$ , карноліт –  $\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ .

**Магній.** Належить до числа елементів, які виконують найрізноманітніші функції в організмі тварин.

Відомо, що магній активує майже всі з 50 відомих ферментів, які переносять фосфатні групи, каталізуючи реакції синтезу, пов'язані з розпадом аденозин- і гуанозинтрифосфатів.

Іони магнію беруть активну участь в окислювальному фосфорилуванні, активуючи включення фосфору в його органічні сполуки і стимулюючи утворення АТФ. Магній сприяє підтриманню кислотно-лужної рівноваги і осмотичного тиску в рідинах і тканинах, забезпечує функціональну здатність

нервової та м'язової систем, бере участь у терморегуляції, відіграє значну роль у рубцевому травленні.

Роль магнію в обміні речовин зводиться до участі в обміні саме фосфатів, які необхідні для обміну вуглеводів, жирів і білків. У рослинах він входить до складу хлорофілу листків (2,7% за масою) і фітину зерна. Частина його міститься у складі протеїнатів, карбонатів і фосфатів. У рослинах вміст магнію, а також кальцію й натрію, знижується за великих доз калійних добрив.

Багаті на магній висівки, макуха і шроти, гичка буряків (4–8 мг на 1 кг сухої речовини). У сіні міститься у середньому 2–3 мг/кг, у траві – 2 мг/кг сухої речовини корму.

У тілі тварин його близько 0,05% живої маси, у скелеті – до 70% загального вмісту цього елемента в організмі. Як і калій, магній є основним внутрішньоклітинним катіоном. Концентрація його в клітинах у 3–15 разів вища, ніж у позаклітинному середовищі. Запаси магнію в організмі досить обмежені, тому слід контролювати його надходження з кормами.

Магній, що міститься у кормах і надходить у травний канал, під дією шлункового соку іонізується і в такому стані всмоктується. Рівень засвоєння магнію в цілому досить низький. У середньому дорослі жуйні тварини засвоюють із сіна – 25–30%, із трави і концентрованих кормів – 16–20, із змішаного раціону – 20–25%, кури-несучки із раціону – лише 7–10% спожитого магнію.

Ознаки нестачі магнію можна дуже швидко викликати експериментально, згодовуючи корми, бідні на цей елемент. Ранні стадії нестачі виявляються в розширенні периферичних судин, гіперемії та підвищеній частоті пульсу. Для подальшого перебігу хвороби типовим є ураження шкіри та помітне зниження вмісту магнію у сироватці крові. Наприкінці розвиваються надмірна рухливість та судоми.

Нестача магнію у тварин малоймовірна. Типові симптоми іноді спостерігаються за тривалої годівлі телят та ягнят молочними кормами за порушення співвідношення між кальцієм і магнієм. Явище нестачі магнію у молочних корів вперше описав австрійський учений Ондершеп. Вміст магнію в кістках та легенях був знижений. Тварини відзначались низькою вгодованістю, молочне дзеркало мало жовто-коричнєве забарвлення, вони кульгали та важко вставали.

Пасовищна або трав'яна тетанія є синдромом, а не ознакою істотної нестачі магнію. Прояв хвороби пов'язаний зі зниженням вмісту останнього у сироватці крові нижче 1,5 мг/100 мл.

Пасовищна тетанія, пов'язана з гіпомагнемією, найчастіше є наслідком утримання худоби на пасовищах, особливо у весняний період. До факторів, які зумовлюють прояв хвороби, належать:

- погане поїдання кормів на пасовищі;
- низький вміст магнію в соковитих кормах;
- погане всмоктування магнію;
- високий вміст небілкових азотистих сполук у пасовищній траві;

- високий вміст калію та специфічних речовин (гістаміни, лимонна та трансаконітова кислоти) у травах;
- знижена температура (похолодання);
- стрес-фактори.

Відомо, що магній входить до складу більше ніж 200 різних мінералів. Найпоширенішими його добавками є: сульфат магнію –  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , окис магнію (палена магнезія –  $\text{MgO}$ ), карбонат магнію (вуглекисла магнезія, основний вуглекислий магній –  $\text{MgCO}_3(\text{OH})_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ), фосфат магнію, хлорид магнію, доломіт –  $\text{MgCaO}_3$ , кізерит ( $\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ), сапоніт –  $(\text{OH})_2\text{Mg}_2\text{Si}_4\text{O}_{10}$ .

**Сірка.** В організмі тварин сірка бере участь у низці обмінних процесів: окисно-відновних реакціях, утворенні тканин, синтезі сполук, є необхідною частиною повноцінного білка.

Сірковмісні сполуки нейтралізують багато шкідливих і отруйних продуктів обміну. Сірка у вигляді сульфату натрію сприяє розщепленню целюлози, нітратів і зв'язування аміаку в рубці, а також синтезу сірковмісних амінокислот і вітамінів групи В.

Неорганічна сірка в організмі свійських тварин безпосередньо не утилізується, а перетворюється в активний сульфат, який або етерифікується, або включається в хондроїтинсульфат та мукополісахариди.

Вміст органічної сірки змінюється від 0,11 до 3,45 г/кг натурального корму. Відомо, що неорганічні сполуки сірки здатні використовувати деякі види мікроорганізмів рубця для синтезу сірковмісних амінокислот.

У тілі тварин сірка міститься в кількості 0,16–0,23% живої маси переважно у вигляді складних органічних сполук і входить до складу білків, що мають сірковмісні амінокислоти (метіонін, цистин, цистеїн). Багато сірки виявлено у таких білках, як муцин, кератин, овомукоїди тощо. Вона міститься і у вітамінах (тіамін, біотин, ліпоєва кислота), деяких гормонах (інсулін, пітуїтрин) та інших сполуках. Ефіро-сірчані сполуки, що утворюються в печінці внаслідок нейтралізації деяких отруйних речовин, потрапляють у кров і сечу у вигляді неорганічних сульфатів.

Основним депо для відкладання сірки прийнято вважати шкіру та її похідні, багато її міститься у хрящовій тканині.

Симптоми дефіциту сірки у жуйних спостерігаються тільки при згодовуванні синтетичних раціонів без сірки.

Джерела надходження сірки до організму тварин: сульфат натрію (сірчаноокислий натрій, сірчано-натрієва сіль, глауберова сіль –  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ), сірчаний цвіт та осаджена сірка, тіосульфат натрію, сірка елементарна, фосфогіпс, метіонін, МСМ – метилсульфонілметан.

**Залізо.** Біологічні функції заліза, порівняно з іншими мікроелементами, нині вивчені досить повно. Воно виконує різноманітні фізіологічні функції в організмі, здійснюючи вплив як на активність лімфоїдно-макрофагальної системи, так і на процеси метаболізму, головним чином білків. Тому нестача або надлишок заліза у раціонах можуть викликати різні порушення на рівні організму або окремих клітин.



Залізо як структурний компонент входить до складу гемоглобіну, міоглобіну, каталази, пероксидаз, цитохромів, кісткової тканини, шкаралупи яєць. Трансферини є основним лабільним джерелом заліза в організмі та беруть участь в синтезі життєво необхідних білків – гемопротейдів.

Участь іонів заліза у механізмах захисту організму ґрунтується на взаємозв'язку кількох факторів:

- здатність іонів заліза стимулювати ріст деяких видів мікроорганізмів;
- бактеріостатичний ефект залізовмісних білків (трансферин);
- прямий вплив на перебіг імунологічних реакцій, включаючи гуморальний, фагоцитарний механізми, а також на неспецифічні механізми, такі як підтримання у нормі епітеліальних бар'єрів та активності залізовмісних ферментів.

Вивчення структури деяких ферментів ссавців, таких як триптофан- та тирозингідроксилаза, рибонуклеотидредуктаза показало, що всі вони є залізовмісними ферментами. Це свідчить про необхідність заліза для синтезу нервових медіаторів тваринного організму (серотонін, дофамін) та ДНК.

Кількість заліза в кормах суттєво коливається і становить від 40 до 300 мг на 1 кг сухої речовини. Багато заліза в молодій зеленій траві, особливо у листі (до 280 мг/кг), менше – у стеблах (40) і зерні (30 мг/кг).

Засвоюваність заліза з рослинних кормів становить близько 3–4%: із рису – 1%, соєвих бобів – 7, кукурудзи – 4, пшениці – 5%. Рівень засвоєння заліза з кормів тваринного походження вищий (до 10%).

У тілі тварин його міститься близько 0,005%. Від 60 до 70% заліза зосереджено у гемоглобіні.

Нестачу заліза в раціонах дорослих тварин відзначають дуже рідко в зв'язку із достатнім надходженням його з кормами. У разі дефіциту заліза в кормах може розвиватися анемія, симптомами якої є: блідість шкіри, схуднення, затримка росту і зниження імунологічної реактивності, відсутність апетиту, проноси, зниження вмісту гемоглобіну в крові та активності ферментів.

Залізо належить до елементів з мінливою валентністю і тому його сполуки здатні брати участь в окисно-відновних реакціях. Відомі сполуки двовалентного, тривалентного і шестивалентного заліза. Найстійкішими є дво- і тривалентні сполуки.

Як джерела заліза можуть бути використані: сульфат заліза, залізо відновлене, лактат заліза, гліцерофосфат заліза, фумарат заліза, феродекстрини, залізо біоплекс.

**Мідь.** Хімічні властивості, завдяки яким мідь відіграє важливу роль у процесах обміну речовин, виражені у неї більшою мірою, ніж в інших мікроелементах. Іони міді порівняно з іонами інших металів активніше взаємодіють з білками, утворюючи стійкі (хелатні) комплекси. Мідь являє собою виключно ефективний каталізатор і легко переходить із одного валентного стану в інший, може бути як донором, так і акцептором електронів.

Участь міді у метаболічних процесах організму пов'язано головним чином з функціональною активністю мідьмісних ферментів:

- цитохромоксидаза (окислення субстратів циклу Кребса),

- церулоплазмін (окислення  $\text{Fe}^{2+}$  у  $\text{Fe}^{3+}$  та передача їх на сидерофілін),
- поліфенолоксидаза (синтез меланіну),
- серамідгалактозилтрансфераза (синтез цереброзидів та мієліну),
- амінооксидаза (окислення амінів та лізину).

Досить добре вивчений мідьумісний білок церулоплазмін, значна кількість якого зосереджена у печінці. Церулоплазмін, як депо міді, маючи ферментативну активність, може брати участь у синтезі гемоглобіну та трансферину.

Іони міді використовуються у захисних механізмах клітини, зокрема, для запобігання токсичній дії похідних кисню. Cu-Zn-супероксиддисмутаза – білок з молекулярною масою близько 1000 складається з двох субодиниць, кожна з яких містить один атом цинку та один атом міді. Активність ферменту може бути використана як індекс статусу міді в організмі.

Мідь прискорює процеси окислення глюкози, стримує розпад глікогену, сприяє нагромадженню його в печінці. Вона необхідна для нормального розвитку кісток, стимулює утворення осейну і нормалізує відкладання солей кальцію і фосфору.

Вміст у кормах міді визначається в основному її запасами в ґрунті та змінюється в широких межах (1–100 мг/кг корму). Бобові рослини і різнотрав'я багатіші на мідь, ніж злакові. Багато цього елемента в зелених бобових травах, мелясі, сухому жомі і буряковій гичці, мало – в зерні кукурудзи. Найбагатіші на мідь червоноземи і жовтоземи, а також чорноземи. Бідні – торфові і болотисті ґрунти (нижче 10 мг/кг корму).

За нестачі міді в раціоні (до 1/5 норми) у тварин погіршується апетит, зменшується тривалість життя еритроцитів, затримується ріст, відбувається депігментація волосяного покриву (особливо у жуйних), ослаблюється кістяк, знижується рухомість суглобів, спостерігаються проноси, що в окремих випадках призводить до анемії.

Мідь входить до складу більш як 200 мінералів, але основним її джерелом є сульфідні руди. Для забезпечення потреб тварин у міді використовують сульфат міді (мідний купорос, мідь сірчанокисла –  $\text{CuSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), мідьвуглекислу основну –  $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$ , оксид міді, мідь біоплекс.

**Цинк.** Біологічна роль цинку для організму тварин різноманітна, оскільки понад 160 ферментів усіх шести класів містять у своєму складі цей мікроелемент. За деякими даними, цинк виконує передусім структурні функції. Він здатний стабілізувати структуру макромолекул, наприклад, структуру ДНК. Існує припущення, що цинк поряд з вітаміном Е виконує певну роль у функціонуванні мембран клітин та підтриманні їх цілісності, що очевидно вказує на широкий спектр біологічної дії цього елемента в організмі тварин.

Як компонент різних ферментів, цинк бере участь у таких функціях організму:

- ДНК- та РНК-полімерази – активація нуклеїнових кислот у м'язовій тканині;
- вугільна ангідраза – гідратація вуглекислого газу до вугільної кислоти в еритроцитах;

- карбоксипептидаза – гідроліз пептидів до вільних амінокислот у кишечнику;
- оксидоредуктаза – тканинне дихання, вивільнення енергії в печінці;
- лужна фосфатаза – формування кісткової тканини;
- каталаза – руйнування перекису водню у печінці та нирках;
- дипептидаза – гідроліз дипептидів до вільних амінокислот в кишечнику.

Цинк є обов'язковим мікроелементом для нормальної функції тимусного гормону тимуліну, входить до складу гормонів – інсуліну та глюкогену. Встановлено, що він підвищує активність статевих гормонів, таких як фолікулін та проланін. Відзначена висока його концентрація в сперматозоонах і в секреті передміхурової залози, а також у тканинах, в яких відбувається інтенсивний обмін речовин.

Отже, будучи тісно зв'язаним з ферментами, гормонами і вітамінами, цинк значно впливає на основні життєві процеси: кровотворення, ріст і розвиток організму, обмін вуглеводів, білків та жирів, енергетичний обмін, резистентність.

Вміст цинку в кормах коливається в межах 30–230 мг у 1 кг сухої речовини і залежить значною мірою від складу ґрунту. Кислі ґрунти містять його більше, ніж лужні. Мало цинку в коренеплодах. У багатих на фітин кормах він сполучений з фітиною кислотою. Інтенсивність всмоктування в травному каналі залежить від віку тварин і вмісту цинку в раціоні. У бобових рослинах є речовини, що сповільнюють його всмоктування.

Нестача цинку призводить до паракератозу. У тварин спостерігаються дерматити, відсутність апетиту, скреготіння зубів, блювання, пронос, затримка росту, кульгання, дефекти кінцівок, порушення відтворної функції, особливо у самців. Дефіцит елемента є причиною глибоких анатомічних порушень лімфоїдних тканин тварин, викликає гіпоплазію тимуса, селезінки, кишечниклімфоїдних утворень. Такі зміни надалі можуть супроводжуватись атрофією вказаних органів та тканин, а також сальних і потових залоз. Тривалий дефіцит цинку в раціоні викликає депресуючий вплив на тимус, а отже, на систему Т-лімфоцитів.

Для поповнення нестачі цинку можна використати неорганічні сполуки: сульфат, карбонат, хлорид або оксид цинку, комплексні сполуки.

**Кобальт.** За реакційною здатністю кобальт належить до металів середньої активності. Особливістю метаболізму кобальту є невисокий його вміст у тканинах тварини в нормальних умовах, через низький рівень всмоктування в кишечнику та незадовільну здатність до утримання в організмі. Тому кількість акумульованого в організмі кобальту незначна порівняно з вмістом його у кормах.

Необхідність забезпечення тварин кобальтом загальновідома. Проте він не входить до структури ферментів, а лише є їх необхідним активатором, зв'язуючи каталітично активний кофермент із субстратом. При цьому характерно, що зв'язаний з ферментом іон кобальту не є суворо специфічним. Він може бути

замінений іншим двовалентним металом, розміщеним поряд у періодичній системі елементів, наприклад, цинком та марганцем.

Результати досліджень вказують на наявність іонів кобальту у структурі нуклеїнових кислот.

Кобальт здійснює свій вплив через посередництво вітаміну  $B_{12}$ . За рахунок добавок солей кобальту до раціону тварин можна посилити біосинтез молекул вітаміну  $B_{12}$ .

Активізація факторів неспецифічного захисту організму тварин під впливом кобальту, таких як білки сироватки, що адсорбуються на зимозані, активність  $\beta$ -лізину, бактерицидна активність сироватки крові, лізосомально-катіонні білки гранулоцитів крові, створює ймовірність швидкого становлення специфічних реакцій імунітету.

Участь кобальту в процесах кровотворення є одним з відомих напрямів біологічної дії цього мікроелемента. Кобальт блокує сульфгідрильні групи цистеїну, викликаючи тим самим порушення тканевого дихання з наступним утворенням еритропоетичних факторів, які у кінцевому результаті забезпечують нормальний синтез гемоглобіну та пришвидшення дозрівання еритроцитів у кістковому мозку.

Кобальт надходить до організму тварин з кормами і добавками найчастіше в складі вітаміну  $B_{12}$ , різних протеїнових комплексів і неорганічних солей. На вітамін  $B_{12}$  багаті всі корми тваринного походження. Багато кобальту в бобових рослинах (люцерна, конюшина), але мало в злакових травах.

Вміст кобальту в 1 кг сухої речовини такий: у траві, сіні й коренеплодах – від 0,08 до 0,15 мг, зернових – 0,15–0,30 мг, силосі – 0,20–0,30 мг.

За нестачі кобальту в кормах раціону виникає хвороба – анемія-акобальтоз, що характеризується помітним порушенням обміну речовин, загальним виснаженням тварин. Дефіцит кобальту виявляється у втраті апетиту, зниженні молочної продуктивності, огрубінні волосяного покриву, уповільненні синтезу вітаміну  $B_{12}$ . В Україні цю хворобу зафіксовано в районах Прикарпаття і Полісся.

Ефективними джерелами кобальту для збагачення раціонів тварин є карбонат, хлорид, сульфат і нітрат кобальту, а також його комплексні сполуки.

**Марганець.** Входить до складу всіх рослин і тіла тварин, вважається важливим елементом живлення. Впливає на процеси обміну речовин, активує багато ферментів, у тому числі лужну фосфатазу, карбоксилазу, пролідазу тощо, впливає на обмін азотистих сполук, кальцію і фосфору. Сприяє посиленню росту тварин, впливає на кровотворення, бере участь в окислювально-відновних процесах, тканинному диханні, впливає на обмін вуглеводів, посилює дію вітамінів С,  $B_1$  і  $B_{12}$ , тісно пов'язаний із відтворними функціями тварин.

У рослин марганець прискорює утворення хлорофілу, стимулює дихання, посилює синтез аскорбінової кислоти, бере участь в обміні жирів. Згодовування свиням кормів, дефіцитних за марганцем, призводить до жирової інфільтрації печінки й підвищеного відкладання жиру в туші.

Вміст марганцю в кормах коливається у значних межах. Так, у злакових травах його міститься дещо більше, ніж у бобових та різнотрав'ї, зернових культурах й коренеплодах – дуже мало.

До складу картоплі, зерна кукурудзи, гороху, кормових бобах входить незначна кількість марганцю, яка не забезпечує потреби тварин. У 1 кг сухої речовини картоплі знаходиться 7–10 мг цього елемента, у картопляному бадиллі – в десятки разів більше – 297 мг/кг сухої речовини.

Нестача в кормах марганцю призводить до затримки формування (окостеніння) кістяка, викривлення кісток, деформації суглобів. Спостерігається порушення статевих циклів у самок, резорбція плоду, аборти, агалактія, порушення розвитку скелета народженого приплоду.

Як джерела його поповнення можуть бути використані природні руди, що містять марганець ( $Mn_2O_3$ ,  $MnO_2$ ,  $Mn_3O_4$ ), а також сульфат, карбонат та хлорид марганцю, оксид марганцю.

**Йод.** Роль йоду в організмі пов'язана, передусім, із синтезом і обміном тиреоїдних гормонів, які здійснюють гуморальну регуляцію багатьох фізіологічних функцій та містять цей мікроелемент. Гормони щитоподібної залози контролюють функціонування всіх систем організму, ріст і диференціювання тканин, стан центральної нервової системи, впливають на швидкість обмінних процесів в організмі, обмін вітамінів, води і багатьох електролітів, терморегуляцію.

На обмін йоду в організмі впливають функціональний стан щитоподібної залози, гіпофізу, гормони статевих залоз та інсулін, вміст вітамінів і мікроелементів. Йод сприяє підвищенню продуктивності, поліпшує стан здоров'я, стимулює ріст і розвиток молодняку. Він необхідний для нормальної життєдіяльності багатьох мікрорганізмів травного каналу тварин, стимулює активність целюлозолітичної мікрофлори передшлунків. Встановлено його вплив на активність цитохромоксидази, аргінази, оксидази, амінокислот. Участь йоду в утворенні білкових сполук пов'язують з його каталітичною роллю в синтезі гемоглобіну, гемоціаміну, кобаламіну. Мікроелемент помітно впливає на фагоцитарну активність лейкоцитів, плазмоцитарну реакцію в лімфовузлах.

У рослинних кормах йод міститься в невеликих кількостях: у зеленій траві – 0,02–0,04 мг/кг сухої речовини, зерні – 0,03–0,25, коренебульбоплодах – 0,1–0,7 мг/кг. значно вищий його рівень відзначається у кормах тваринного походження, особливо у рибному борошні.

У ґрунтах показники йоду коливається від 0,1 до 50 мг/кг, у середньому – становить близько 5 мг на 1 кг ґрунту. Багаті на гумус ґрунти містять його більше, ніж легкі піщані і супіщані. Кислі ґрунти також бідні на йод.

Кількість йоду в організмі тварин не перевищує 0,6 мг/кг. Більша його частина (70–80%) міститься у щитоподібній залозі у вигляді йодопротейну. На відміну від інших елементів, йод до організму може надходити не лише з кормами і водою, але й з повітрям із навколишнього середовища.

За нестачі йоду відбувається різке збільшення маси залозистої тканини щитоподібної залози (утворення зобу), за рахунок якого компенсується продукція тироксину. Особливо чутливі до нестачі йоду свині – у них народжуються слабкі поросята, часто без волосяного покриву. У свиноматок через нестачу йоду в кормах стаються викидні або народжуються мертві

поросята, у корів зростає яловість, у курей-несучок зменшується вміст йоду в яйцях, знижується маса ембріонів.

Для поповнення нестачі йоду використовують йодид або йодат калію. Дийодсаліцилова кислота, яка є високостабільною, добре засвоюється у жуйних. Проте у дослідженнях, проведених на молочних коровах, встановлено, що майже 90% цієї сполуки, введеної перорально, міститься у плазмі крові в зв'язаній з білком формі.

Органічну сполуку йоду – етилендіаміндігідройодил застосовували з ветеринарною метою – для запобігання й терапії загнивання суглобів у м'ясної худоби в заключний період відгодівлі.

**Селен.** Селен є обов'язковим мікроелементом для ссавців, птиці, риби, амфібій та деяких бактерій і має виключне біологічне значення. Він необхідний в різних метаболічних процесах типу антиоксидантних систем захисту, для гормонів, що регулюють біосинтез, як складова м'язевої тканини та анаеробного редокс-каталізу. Біологічне значення селену пов'язане з унікальними функціями різних селенопротеїнів (понад 20 видів), які містять селеноцистеїновий залишок як невід'ємну частину їх активного центру.

Найдетальніше вивчено функції двох селенопротеїнів: родини глутатіонпероксидази (руйнування гідропероксидів у клітинах, травному каналі, плазмі крові, тканинах) та трийодотиронін-5'-дейодиназа (перетворення гормону щитоподібної залози тироксину Т4 в активну форму трийодотиронін Т3).

Надходячи до організму тварин у вигляді активних сполук, селен здатний виконувати роль потужного метаболічного регулятора – він знижує утворення нових і нейтралізацію активних продуктів перекисного окислення ліпідів, нормалізує функціонування клітинних мембран та обмін речовин, впливає на біосинтез білків, активує ферменти антиоксидантної системи організму, клітинну, гуморальну і фагоцитарну ланку імунітету, підвищує неспецифічну резистентність, продуктивність та відтворні функції тварин.

Хвороби тварин, які запобігаються та виліковуються добавками селену, є важливими для підтримання фундаментальних біологічних процесів відтворення та росту (табл. 36).

Таблиця 36

**Селенозалежна патологія у сільськогосподарських тварин**

Хвороба	Вид тварин	Тканина (орган), що залучається
1	2	3
Міопатія (білий м'яз, хвороба “жорсткого ягняти”)	Велика рогата худоба, вівці, кози, свині, коні, курчата, качки, індики, кролі, норки	Скелетні м'язи, серцевий м'яз, м'язи черева
Некроз печінки	Свині	Печінка
Некроз підшлункової залози	Курчата	Підшлункова залоза
Народження мертвого потомства, ембріональне розсмоктування	Вівці	Ембріони

1	2	3
Виразки шлунку та дванадцятипалої кишки	Свині	Шлунок, кишечник
Ексудативний діатез	Курчата, качки, індики	Капіляри
Втрата рухливості сперматозоїдів	Вівці	Сперма

Нестача селену в організмі може спричиняти виникнення понад 20 хвороб, серед яких найпоширеніші білом'язова хвороба телят, ягнят і поросят, токсична дистрофія печінки, серцева міопатія, резорбція плодів і безпліддя, порушення відтворних функцій у маточного поголів'я, зниження резистентності організму та інтенсивності росту молодняку.

Особлива роль селену для жуйних тварин зумовлюється високою потребою в згаданому елементі рубцевої мікрофлори. Вміст у ній селену перевищує його показник у раціонах в кілька разів. Достатня забезпеченість бактерій рубця селеном є обов'язковою умовою їх активного розмноження та життєдіяльності. Тобто, використання селенових добавок стало необхідністю при виробництві продукції тваринництва практично в усьому світі.

Питання про вміст селену в кормах у різних природно-кліматичних зонах України залишається надзвичайно актуальним і вивчено недостатньо. Як показав, аналіз кормів вміст селену в них коливається у межах 0,04–0,25 мг/кг сухої речовини. Середній вміст селену у грубих кормах становить 0,057–0,062; соковитих – 0,058–0,064 і концентрованих – 0,069–0,095 мг/кг сухої речовини, що значно нижче за рекомендовані норми – 0,1–0,5 мг/кг.

Прикладом дефіциту селену в кормах у певному регіоні можуть слугувати випадки білом'язевої хвороби, що і донині трапляються серед новонароджених телят і ягнят у лісостеповій зоні Чернівецької області.

Одночасно слід вказати на існування досить вузького діапазону між біотичною та токсичною дозами селену (приблизно 50-кратна доза). Основними ознаками селенового отруєння є: виснаження тварин та огрубіння вовнового покриву; атрофія серця; атрофія та цироз печінки; анемія; ерозія довгих кісток, особливо суглобів, які спричиняють їх нерухомість; втрата довгого волосу від гриви та хвосту коней, втрата щетини у кабанів; чутливість та сповзання копит.

Як джерело для поповнення дефіциту селену використовують селенометіонін, сел-плекс, селенопіран, селеніт натрію, селенат барію.

### **3. Контроль повноцінності мінерального живлення тварин**

Ефективність використання мінеральних елементів в процесі обміну речовин в організмі тварин визначається численними факторами екзо- та ендогенного походження.

Контроль повноцінності мінерального живлення тварин передбачає дослідження показників за такими основними напрямками:

- аналіз вмісту мінеральних елементів та золи в кормах;
- оцінка ефективності використання мінеральних елементів в організмі.

Вчення про геохімічну екологію розглядає природу як одне ціле і дає змогу вивчити пристосування організму до нестачі або надлишку елементів в окремих біогеохімічних зонах. За характером ґрунтів, природно-кліматичними особливостями в Україні виділяють сім зон, а саме: Полісся, Лісостеп, Північний і Центральний Степ, Південний Степ, Гірський Крим, Гірська і Передгірська зона Карпат, Низинна зона Карпат.

У лісовій нечорноземній зоні з кислими ґрунтами спостерігається нестача кальцію, фосфору, калію, кобальту, міді, йоду, бору; оптимальний вміст марганцю і цинку. Лісостепова і Степова чорноземна зони із нейтральними або слабокислими ґрунтами відзначаються достатніми рівнями йоду, кобальту, міді, кальцію, іноді спостерігається нестача марганцю, калію, часто фосфору. Для гірських районів характерна нестача йоду, кобальту, міді.

Слід враховувати біогеохімічну активність мінеральних елементів при аналізі глобальних і регіональних змін екологічної ситуації, пов'язаної з техногенезом. У регіонах інтенсивного техногенного надходження хімічних елементів досить ймовірно як посилення природних аномалій, так і виникнення нових, техногенних. І навпаки, у регіонах, де в наш час виявляють захворювання людей і тварин, пов'язані з нестачею мінеральних елементів, його техногенне надходження може спричинити позитивний оздоровчий ефект. У зв'язку з цим необхідний постійний моніторинг вмісту мінеральних елементів у кормах, воді та повітрі.

Зола (попіл) характеризує загальний вміст мінеральних речовин рослин або тіла тварин. Останніми роками з'ясовано значення для фізіологічних функцій вмісту золи в кормах. Встановлено, що за вмісту у сухій речовині корму 5–8% чистої золи (за винятком кремнію й вугілля) перетравність і засвоєння поживних речовин найвищі.

Важливим показником є реакція золи, яка визначається у грам-еквівалентах за співвідношенням кислотних і лужних елементів. Для розрахунку сум кислотних (P, S, Cl) і лужних (Na, K, Mg, Ca) елементів у грам-еквівалентах застосовують перехідні коефіцієнти і користуються формулою:

$$P_z = \frac{28Cl + 62S + 97P}{44Na + 25,6K + 82Mg + 50Ca},$$

де:  $P_z$  – реакція золи;

Cl, S, P, Na, K, Mg, Ca – вміст елементів у 1 кг корму у грамах, а числа при них – коефіцієнти переводу у грам-еквіваленти.

У раціоні це відношення рекомендується підтримувати в межах 0,80–0,95.

Практика годівлі показує, що систематичне згодовування великої кількості кормів, у золі яких переважають елементи кислотного характеру (концкорми), викликає у тварин захворювання з ознаками ацидозу. У цьому випадку в крові знижується резервна лужність, підвищується концентрація водневих іонів, збільшується вміст хлору в плазмі крові та амонійних солей у сечі. Переважання в раціоні кормів зола яких містить значну кількість лужних елементів (зелені корми, сіно), може призводити до протилежного захворювання – алкалозу. Поява



згаданого захворювання призводить до значного зниження використання протеїну, жирів і вуглеводів корму, вгодованості, продуктивності та погіршення стану здоров'я.

Визначення вмісту мінеральних елементів ще не дає уяви про значення кормів і добавок як джерел макро- і мікроелементів, оскільки лише певна їх частина може всмоктатись та перетворитись в організмі в метаболічно активну форму.

Для оцінки ефективності використання мінеральних речовин в організмі застосовують такі методичні підходи:

- вивчення інтенсивності росту молодих тварин;
- профілактика захворювань;
- визначення концентрації елементів в органах і тканинах, металопротеїдів (гемоглобін, тироксин), активності металоензимів (церулоплазмін, глутатіонпероксидаза, лужна фосфатаза);
- включення ізотопу в тканини;
- рентгенофотометричні дослідження;
- встановлення засвоюваності (ретенції) елементу за даними балансових дослідів.

Біологічна доступність, або ступінь засвоюваності мінеральних речовин в організмі тварин, визначається інтенсивністю їх всмоктування і залежить від багатьох причин: хімічної та фізичної форми елементу (табл. 37), розміру часток корму, збалансованості раціону за поживними, мінеральними та іншими речовинами, наявності хелатних агентів.

Таблиця 37

### Класифікація мінераловмісних препаратів

Покоління препаратів	Характеристика	Назва препарату
I	Неорганічні сполуки	Окис магнію, сульфат цинку, хлорид калію, селеніт натрію та ін.
II	Органічні композиції	Лактат магнію, аспарагінат цинку, піколінат хрому
III	Мінерали у комплексі з біологічними лігандами* екзогенного природного походження	Вітаміни, амінокислоти, алкалоїди, біофлавоноїди, пігменти в комплексі з мінеральним елементом
IV	Мінерали у комплексі з екзолігандами, повними аналогами ендогенних лігандів, у тому числі рекомбінантні форми. Комплекси мінералів з нейропептидами, амінокислотами, ферментами, полісахаридами, ліпідами	Карнозин (Zn), креатинкіназа (Mg), церулоплазмін (Cu), супероксиддисмутаза (Mn)

\* – ліганд – нейтральні молекули, іони або радикали, що пов'язані з центральним атомом комплексної сполуки.

Використання мінеральних речовин в організмі тварин зумовлюється не лише їх надходженням з кормами, а й співвідношенням та взаємодією елементів

у процесі обміну (синергізм, антагонізм, сенсibiliзація). Вивчення особливостей взаємодії між речовинами дає можливість спрямувати обмін речовин у бажаному напрямі, забезпечуючи ефективне використання кормів.

Враховуючи важливе значення взаємодії мінеральних елементів у організмі слід розраховувати та правильно оцінювати пропорції між ними. Головними співвідношеннями вважаються такі як: Na/Mg, Na/K, K/Mg, Ca/Mg, Ca/K, Ca/P, Fe/Cu, P/Mn, Al/Si, Zn/Cu.

Якщо в кормах раціону спостерігається надлишок токсичних елементів, то слід розрахувати й токсичні пропорції: Ca/Pb, Co/Cd, Cu/Cd, Cu/Pb, Fe/Cd, Fe/Hg, Fe/Pb, K/Ti, Mg/Pb, P/Pb, S/Cd, S/Hg, S/Pb, Se/As, Se/Ba, Se/Hg, Se/Ti, V/Mn, Zn/Cd, Zn/Hg. Вибір препарату, який базується на оцінці вмісту елемента в організмі тварин та аналізі взаємного їх впливу, дозволяє витиснути токсичні метали за принципами біологічного антагонізму. За введення добавок мікроелементів до раціонів бажано розрахувати їх співвідношення (Al/F, Cr/V, Cu/Ag, Cu/Mo, Cu/Ni, Cu/Se, Fe/Co, Fe/I, I/Co, I/Se, K/Co, Zn/Cr) для більш точного коригування раціонів.

Рентгенографічний контроль дозволяє оцінити за станом кістяка порушення мінерального обміну. Наприклад, за нестачі кальцію в організмі останній хвостовий хребець спочатку є гострим і надалі повністю розсмоктується. Проте застосування даного методу практично не має значення при незначній нестачі мінеральних елементів (до 50%).

Метод мічених атомів найчастіше застосовують для визначення динаміки обміну і нагромадження мінеральних елементів в організмі тварин. Застосовують переважно ізотопи кальцію й фосфору, магнію, йоду, рідше – заліза, міді, цинку, марганцю і кобальту. При цьому визначають істинну засвоюваність цих елементів, ведуть спостереження за місцем їх розподілу і враховують величину ендогенних втрат. Цей метод потребує спеціальних установок для дослідів з урахуванням захисту від радіоактивних елементів, тому широкого застосування не одержав.

Доцільність вивчення нагромадження мінеральних елементів у різних біосубстратах (кров, м'язова тканина, печінка, нирки, мозок, кістки, вовновий покрив тощо), активності ферментних систем, а також балансу елементів повинна визначатися, передусім, специфікою обміну певного елемента та надійністю вибраного тесту.

## **Лекція 10**

### **Вітамінна поживність кормів**

1. Загальна характеристика вітамінів.
2. Жиророзчинні вітаміни.
3. Водорозчинні вітаміни.
4. Вітаміноподібні речовини.
5. Причини виникнення дефіциту вітамінів та оцінка вітамінної забезпеченості тварин.

Вітаміни – це органічні речовини різноманітної хімічної природи, які необхідні для нормальної життєдіяльності тварин у невеликих кількостях.

Перші експериментальні дослідження з біохімії вітамінів провів російський вчений Ю.І. Лунін (1880 р.). Термін “вітаміни” було запропоновано К. Функом у 1911 р. для позначення виділеної ним сполуки органічної природи, що запобігає розвитку зумовленої неповноцінною годівлею хвороби бері-бері, поширеної у країнах, населення яких споживає переважно добре очищений рис. Ця сполука містила аміногрупу. Термін “вітамін” у перекладі означає “необхідний для життя амін”. Відкриті пізніше вітаміни далеко не завжди мали аміногрупи.

Нині відомо близько 20 різних вітамінів, які разом з основними поживними речовинами – білками, вуглеводами та ліпідами – повинні забезпечувати нормальний ріст і життєдіяльність організмів. Але не всі ці вітаміни мають обов’язково входити до кормів раціону всіх видів тварин. Так, більшість тварин, крім людей, мавп, мурчаків та індійських криланів, забезпечують синтез вітаміну С з глюкози. У жуйних значна частина потреби у вітамінах групи В може бути забезпечена за рахунок мікробного синтезу їх у травному каналі.

Вітаміни мають унікальну дію на фізіолого-біохімічні процеси тваринного організму.

Активація синтезу ряду гормонів, інших вітамінів, контролювання структурної цілісності клітини та внутрішньоклітинних органел, участь у процесах репродукції, необхідність наявності вітамінів у імунокомпетентних клітинах та підтримання на потрібному рівні захисних механізмів – це далеко неповний перелік участі вітамінів у метаболічних перетвореннях і фізіологічних функціях організму.

Коли хімічна будова та механізм дії вітамінів були ще невідомі, їх позначали літерами латинського алфавіту, наприклад, А, В, С, D. Нині використовують раціональні хімічні назви (табл. 37).

### **2. Жиророзчинні вітаміни**

Жиророзчинні вітаміни – це олієподібні речовини, які добре взаємодіють з гідрофобними розчинниками.

**Сучасна класифікація вітамінів**

Літерна назва	Тривіальна назва	Найменування, запропоноване Міжнародною спільною чистою і прикладної хімії
<b>Жиророзчинні вітаміни</b>		
A <sub>1</sub>	Аксерофтол-1, антиксерофтальмічний, антиінфекційний, вітамін росту	Ретинол
A <sub>2</sub>	Аксерофтол-2	Дегідроретінол
D <sub>2</sub>	Антирахічний	Ергокальциферол
D <sub>3</sub>	Антирахічний	Холекальциферол
E	Антистерильний, вітамін розмноження	Токоферол
K <sub>1</sub>	Антигеморагічний	Філлохінон
K <sub>2</sub>	Антигеморагічний	Менахінон
F	—	—
<b>Водорозчинні вітаміни</b>		
B <sub>1</sub>	Антиневричний, аневрин	Тіамін
B <sub>2</sub>	Вітамін G, лактофлавін, вітамін росту	Рибофлавін
B <sub>4</sub>	—	Холін
PP, B <sub>5</sub>	Ніацин, антипелагричний	Нікотинова кислота, нікотинамід
B <sub>3</sub> , B <sub>x</sub>	Антидерматитний, пантотен	Пантотенова кислота
B <sub>6</sub>	Адермін, фактор Y	Піридоксин
B <sub>12</sub>	Протианемічний, цианкобаламін	Кориноїд
B <sub>c</sub> , B <sub>10</sub> , B <sub>11</sub>	Фолієва кислота	Фолієва кислота, птероїлглутамінова кислота
C	Протицинготний	Аскорбінова кислота
H, B <sub>7</sub>	Біотин	Біотин
<b>Вітаміноподібні речовини*</b>		
B <sub>15</sub>	—	Пангамова кислота
U	—	Метилметіонін
P	Флавоноїди, вітамін проникності	Біофлавоноїди, поліфеноли
B <sub>13</sub>	—	Оротова кислота
B <sub>8</sub>	—	Інозитол
B <sub>т</sub> , T	—	Карнітин
N	—	Ліпоева кислота
H1	—	Параамінобензойна кислота
Q	Коензим Q, Кофермент Q	Убіхінон

\* – група органічних сполук, що подібні вітамінам але не володіють усіма їх властивостями. На відміну від істинних вітамінів більшість з них може синтезуватися в організмі у процесі нормального метаболізму.

Особливістю жиророзчинних вітамінів є їх здатність до депонування у значних кількостях та широкий спектр біологічної дії в організмі тварин.

Відсутність або нестача в кормі може не виявлятися протягом багатьох місяців. Надлишкове щодо фізіологічних потреб надходження жиророзчинних вітамінів (особливо А, D, К) небезпечне для організму тварин, оскільки спричиняє токсичну дію.

Вітамін А та каротиноїди. Під назвою вітамін А об'єднана група сполук з біологічною активністю ретинолу. Найважливішими серед них є ретинол (вітамін А-спирт) та його етери з оцтовою (ретинілацетат) і пальмітиновою кислотами (ретинілпальмітат), ретиналь (вітамін А-альдегід) та ретиноева кислота (вітамін А-кислота). Всі ці сполуки – похідні бета-іону з ізопреноїдним бічним ланцюгом та різними термінальними функціональними групами.

Природні форми вітаміну: А<sub>1</sub> (ретинол) виділяють з печінки морських риб та вітамін А<sub>2</sub> (дегідроретинол), який одержують з печінки прісноводних риб.

Вітамін А виконує різноманітні функції у організмі тварин, включаючи процеси зору, диференціації та проліферації епітеліальних клітин, регуляції проникності мембран, транспорту моносахаридів, обміну білків, ліпідів, вуглеводів; відіграє важливу роль у підтриманні цілісності анатомічних бар'єрів, таких як епітеліальні й слизові поверхні та їх секрети, які становлять первинний неспецифічний захист організму. Вітамін А бере участь в окислювально-відновних реакціях за рахунок наявності в його молекулі подвійних зв'язків, здатних утворювати перокси, які підвищують швидкість окиснення різних субстратів.

Ретинол-етери, що надходять з кормом, спочатку повинні гідролізуватися у тонкому кишечнику до вільного ретинолу, який всмоктується за участі жовчних кислот. У клітинах слизової оболонки ретинол знову етерифікується за рахунок високомолекулярних жирних кислот. Етери, що утворилися, залучаються до току лімфи і потім циркулюють у крові. Депонована у печінці етерна форма вітаміну А за необхідності розщеплюється з вивільненням ретинолу, який зв'язується із синтезованим у паренхіматозних клітинах печінки специфічним ретинолзв'язуючим білком (РЗБ). Саме у вигляді комплексу ретинол-РЗБ вітамін А надходить із печінки у кровотік, де до цього комплексу приєднується третій його компонент – преальбумін. Такий потрійний комплекс є транспортною формою вітаміну А і в такому вигляді доставляється до тканин-мішенів.

Власне вітамін А міститься лише в кормах тваринного походження, проте його синтез в організмі тварин може бути забезпечений із каротиноїдів.

Каротиноїди являють собою найбільш численнішу та поширену у природі групу пігментів. Вони входять до складу клітин мікроорганізмів, водоростей, вищих рослин, а також клітин тварин. Найбільшого успіху досягнуто в напрямі дослідження структури та хімії каротиноїдів. Слід зазначити, що за останні десятиріччя кількість видів каротиноїдів зросла з 50 до понад 600 найменувань, однак біологічна роль більшості з них невідома.

Тривалий період при характеристиці біологічної ролі каротиноїдів домінувала так звана провітамінна концепція, згідно з якою функції каротиноїдів у рослинах та організмі тварин зводилися до того, що деякі їх представники є

попередниками вітаміну А (найбільш вивчені дотепер і залишаються важливими  $\alpha$ -,  $\beta$ - та  $\gamma$ -каротини). Синтез вітаміну А із  $\beta$ -каротину відбувається у тонкому відділі кишечника та в печінці, при цьому рівень синтезу залежить від виду тварин. Міжнародні стандарти для вітаміну А базуються на використанні вітаміну А та  $\beta$ -каротину щурами. У зв'язку з тим, що інші тварини не перетворюють каротин у вітамін А у такому ж співвідношенні, як щури, було запропоновано використовувати коефіцієнти перерахунку, наведені у табл. 38.

Таблиця 38

**Перерахунок бета-каротину у вітамін А для різних видів тварин**

Вид тварини	Коефіцієнт перерахунку 1 мг бета-каротину в МО вітаміну А	Активність МО вітаміну А (розрахованого за каротином), %
Стандарт	1667	100,0
М'ясна худоба	400	24,0
Молочна худоба	400	24,0
Вівці	400–500	24,0–30,0
Свині	500	30,0
Коні:		
молодняк	555	33,3
жеребні кобили	333	20,0
Птиця	1667	100,0
Собаки	883	16,7
Щури	1667	100,0
Лисиці	278	16,7
Кішки	Каротин не засвоюється	
Норки	Каротин не засвоюється	

Останнім часом з'явилися переконливі наукові дані, які засвідчують, що каротиноїди здійснюють антиоксидантну та антирадикальну дію, беруть участь у рецепції світла, в тому числі фотосинтезі, перенесенні електронів, протонів та кисню через мембрани клітин та їх органел, в окисному метаболізмі клітин, стабілізації білків через формування каротинопротеїдів та утворенні захисного забарвлення організму. Незаперечна участь каротиноїдів у процесах репродукції.

Не зважаючи на всю складність вивчення каротиноїдів, нині визнають, що єдиною, загальною для всіх них особливістю є унікальні фізико-хімічні властивості основної частини їх молекулярної структури – ланцюга сполучених ненасичених зв'язків. Правильніше ставити питання навіть не про біологічні функції самих каротиноїдів, а про біологічні функції полімолекулярних комплексів каротиноїдів певних типів з білками, ліпідами та іншими сполуками.

Враховуючи широкий спектр біологічної дії вітаміну А та каротиноїдів, нестача та надлишок їх в організмі може супроводжуватися структурними та функціональними порушеннями. Характерними ознаками нестачі вітаміну А є запалення рогівки та ороговіння епітелію слізних каналів, що супроводжуються закриттям і висиханням очей – ксерофтальмія. У важких випадках відбувається

розм'якшення рогівки – кератомаліяція, спричинене надлишком утворення кератину у шкірі та рогівці ока. Поряд із цим, зростає ороговіння та злущення епітелію дихальних шляхів, травного каналу і сечовивідних шляхів, послаблюється імунітет проти інфекційних захворювань, затримується ріст, виникає стерильність самців.

Джерелами вітаміну А є корми тваринного походження (молоко, печінка, риб'ячий жир, жовтки курячих яєць), масляні та сухі стабілізовані препарати вітаміну А. Багато каротиноїдів міститься у зелених кормах, якісному сіні, силосі, сінажі, трав'яному борошні, моркві, кавунах, гарбузах, жовтій кукурудзі. Промисловістю виробляються кормові препарати бактеріального каротину (вітатон, вітадепс) шляхом культивування біомаси грибів *Blakeslea trispora*.

У 1950 р. експерти з біологічної стандартизації при Всесвітній організації з охорони здоров'я (ВООЗ) за міжнародний стандарт вітаміну А визначили повний транс-вітамін А-ацетат і розмір інтернаціональної одиниці в 0,344 мкг. Для практичного використання 1 МО вітаміну А прирівняна до 0,00034 мг повного транс-вітаміну А<sub>1</sub>-ацетата, або 0,0006 мг повного транс-β-каротину.

Вітамін D. Це загальна назва групи похідних стеролів рослинного та тваринного походження, які характеризуються антирахітичною дією. Нині відомі дві природні форми вітаміну D: ергокальциферол (вітамін D<sub>2</sub>) та холекальциферол (вітамін D<sub>3</sub>). Завдяки наявності в їх молекулах подвійних зв'язків вони можуть бути подані різними ізомерами. Вітаміни D<sub>2</sub> і D<sub>3</sub> містяться у природному стані в риб'ячому жирі, рослинних кормах, які зазнали впливу ультрафіолетових променів, печінці, жовтку яєць, молоці.

Рослина: ергостерин → ергокальциферол (D<sub>2</sub>);

Тварина: 7-дегідрохолестерол → холекальциферол (D<sub>3</sub>)

Значна кількість вітаміну D<sub>3</sub> утворюється підшкірно під дією УФ-опромінення. Вітамін D<sub>3</sub> найактивніший для всіх видів тварин і птиці. Причому для птиці він у 30–40 разів активніше за вітамін D<sub>2</sub>. Введення метильної групи у C<sub>24</sub> в бета-положенні (вітамін D<sub>4</sub>) призводить до деякого зниження біологічної активності (у 1,5–2 раза для шурів і в 5 разів для курчат). Зміна бета-конфігурації метильної групи на альфа (вітамін D<sub>7</sub>) у 10 разів знижує активність вітаміну, визначену на щурах, і спричинює повну її втрату стосовно птиці.

Вітаміни D кормів, потрапляючи у кишечник, за участю солей жовчних кислот та лецитину всмоктуються у кров. Печінка є місцем первинної активації молекули вітаміну D<sub>3</sub>, що призводить до синтезу похідного вітаміну – 25-гідроксихолекальциферолу (транспортна форма вітаміну в організмі). У даній трансформації бере участь мітохондріальна гідролаза, НАД, НАДФН<sub>2</sub>, молекулярний кисень та цитохром Р-450. Далі під дією мітохондріальних гідролаз нирок утворюється 1,25-дигідрохолекальциферол, найбільш активна форма вітаміну D. Дана сполука за механізмом дії виступає як типовий стероїдний гормон, індукуючи синтез РНК, необхідної для синтезу Са-зв'язуючого білка, переносника кальцію через слизову оболонку кишечника. Усі біологічні ефекти вітаміну D рецепторозалежні.

Згідно із сучасними уявленнями за нестачі вітаміну D в організмі відбуваються такі зміни:

- порушення всмоктування кальцію та фосфору у тонкому кишечнику;
- порушення здатності до мобілізації кальцію із кісткової тканини;
- аномальне зниження концентрації кальцію та фосфору у плазмі крові;
- порушення мінералізації кісткової тканини;
- зменшення реабсорбції неорганічного фосфату в ниркових каналцях.

Останнім часом нагромаджуються дані щодо ролі вітаміну D в імунних реакціях, як елементу цитолітичної активності макрофагів, затримки розвитку Т-хелперних лімфоцитів тощо).

Симптоми надлишку вітаміну D полягають в аномальній демінералізації кісткової тканини, різкому збільшенні концентрації кальцію в крові (гіперкальцемія), кальцинозі внутрішніх органів і тканин (нирок, серця, легенів, кровоносних судин), що призводить до глибокого та стійкого порушення функцій цих органів, а у найважчих випадках – до смерті.

Препарати вітаміну D – безбарвні кристали. Джерелами вітаміну D<sub>3</sub> можуть слугувати натуральний або опромінений жир риб та морських тварин. Сухий препарат вітаміну D<sub>3</sub> – відеїн, є комплексом вітаміну з казеїном. Вітамін D<sub>2</sub> звичайно одержують опроміненням дріжджів. Його доцільніше використати в годівлі худоби і свиней.

У 1957 р. з лучних трав, капусти та інших рослин виділені речовини, які відзначаються активністю антивітаміну D. Соевий білок містить антивітамін D – термолабільний фактор. За 1 МО вітаміну D прийнято вважати 0,025 мкг чистого кристалічного, опроміненого 7-дегідрохолестеролу (вітаміну D<sub>3</sub>).

Вітамін E. Термін “вітамін E” являє собою узагальнюючу назву подібних за хімічною будовою сполук, що є похідними хроману (токолу). До групи вітаміну E відносяться метильні похідні токолу та токотриєнолу, що мають біологічну активність  $\alpha$ -токоферолу. Назва “токоферолі” відноситься лише до метилтоколів і, таким чином, не ідентична більш широкому терміну “вітамін E”.

Серед одинадцяти відомих на даний момент вітамерів вітаміну E сім належить до групи токоферолів і за міжнародною номенклатурою позначаються  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$ ,  $\sigma$ ,  $\xi_2$ ,  $\eta$  та чотири – до групи токотриєнолів.

За хімічного синтезу  $\alpha$ -токоферолу одержують суміш усіх можливих стереоізомерів  $\alpha$ -токоферолу, а саме 2'-dl, 4'-dl, 8'-dl токоферол, який прийнято позначати dl-(або DL)- $\alpha$ -токоферол. Згідно із сучасним підходом до класифікації хімічних сполук природний вітамін E називають RRR- $\alpha$ -токоферол, а синтетичний – повністю рацемічний  $\alpha$ -токоферол.

Токотриєноли ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$ -) виявлені в деяких рослинах та часто супутні токоферолам, є аналогами відповідних токоферолів та відрізняються від них структурою бічного поліізопреноїдного ланцюга. Якщо у токоферолів цей ланцюг повністю гідрований, то у токотриєнолів він містить три подвійні зв'язки. З похідних токолу з ненасиченим бічним ланцюгом найповніше вивчено 5,8-диметилтокотриєнол ( $\epsilon$ -токоферол, або  $\beta$ -токотриєнол) та 5,7,8-триметилтокотриєнол ( $\xi_1$ -токоферол або  $\alpha$ -токотриєнол).



Вітамін Е, що синтезується тільки в рослинах, дуже поширений в природі: від одноклітинних організмів, дріжджів та водоростей до вищих рослин та тварин і міститься практично в усіх живих тканинах організму. Особливо багаті на нього рослинні олії, в яких вміст токоферолів може сягати 500–5200 мг/кг, зародки злакових (150–300 мг/кг), трав'яне борошно (150–250 мг/кг) та зелені корми (36–132 мг/кг). При висушуванні зелених рослин до 50% всіх токоферолів перетворюється в неактивні форми (відбувається самоокислення). Зернові корми, макуха та шрот порівняно бідні на токоферол, проте, залежно від виду рослин, вміст вітаміну Е в них може суттєво відрізнятись. Серед зернових кормів найменшим вмістом вітаміну Е відзначається зерно гороху та проса (3,4 і 5,3 мг/кг відповідно), середній вміст виявлено в зерні пшениці, кукурудзи, жита (15,0; 17,4 та 21,4 мг/кг відповідно) та високий рівень характерний для зерна вівса, ячменю та сої (31,9; 37,6; 50,1 мг/кг відповідно).

Всмоктування вітаміну Е відбувається в тонкому відділі кишечника за наявності жирів корму та участю жовчних кислот. Після емульгування токоферолі транспортуються в складі міцел. Ефірні форми вітаміну Е перед всмоктуванням повинні гідролізуватись ферментами панкреатичної залози. В дослідях із перев'язаним відрізком тонких кишок щурів було показано, що всмоктування окремих ізомерів токоферолу, введених у кишечник, через 6 год не перевищує 32%. При цьому  $\alpha$ -токоферол абсорбується на 32%,  $\gamma$ -токоферол – на 30%,  $\beta$ -токоферол – на 18%,  $\delta$ -токоферол – на 1,8%. Якщо ізомери знаходились у суміші, то за інтенсивністю всмоктування вони розміщувались таким чином:  $\alpha > \beta > \gamma > \delta$ . L-форма токоферолу всмоктується та екскретується швидше, ніж D-форма, тоді як в суміші обидві форми всмоктуються швидше. Важливе значення має шлях та форма надходження вітаміну Е до організму. При інтрамускулярному введенні токоферілацетату курчатам вміст токоферолу в плазмі крові досягає найвищого значення через 6 год, тоді як при оральному введенні – лише через 24 год. Інтенсивніше абсорбується водна емульсія токоферілацетату, повільніше – масляна.

Основним переносником вітаміну Е в плазмі крові є  $\beta$ -ліпопротеїди, які синтезуються в печінці. У здійсненні внутрішньоклітинного транспорту вітаміну Е бере участь токоферолзв'язуючий білок.

Не зважаючи на достатньо поглиблене вивчення функцій вітаміну Е в організмі тварин, єдиної теорії біологічної дії вітаміну Е поки не створено.

Нині поширена антиоксидантна теорія Теппеля. Згідно з нею, дефіцит вітаміну Е викликає розпад ненасичених жирних кислот, що входять до складу мембран клітин та субклітинних органел, з утворенням перекисів та вільних радикалів. У свою чергу останні атакують тонкі клітинні структури, особливо мітохондрії та лізосоми, сірковмісні ферменти, спричиняючи різні метаболічні порушення. Відповідно до антиоксидантної гіпотези, токоферол виконує в тканинах роль біологічного антиоксиданту, що інактивує вільні радикали і тим самим перешкоджає розвитку вільнорадикальних процесів перекисного окислення ліпідів молекулярним киснем.

Вважається, що токоферол в організмі може функціонувати як молекулярний засіб стабілізації біомембран, екстреного вилучення токсичних речовин, утворення тимчасового резерву у вигляді димерів та інертних сполук; сигнальний засіб, що запускає механізм синтезу специфічних антиокислюючих ферментів на рівні геному клітини; антимураген та антиканцероген; необхідний для синтезу ДНК та пов'язаний з метаболізмом ферментів і гормонів; відіграє роль регулятора енергетичного метаболізму; впливає на стан імунної системи (біосинтез простагландинів, хелперна активність Т-лімфоцитів та ін.).

Відсутність або нестача в раціонах вітаміну Е призводить до відхилень у хімічному складі, фізико-хімічних властивостях, структурі та функціональній активності органів і систем організму, викликає порушення всіх видів обміну речовин.

За нестачі токоферолу передусім спостерігаються порушення функції відтворення тварин. Встановлено, що нестача вітаміну Е впливає на морфологічний та функціональний стан ендокринної системи, зокрема гіпофізу, наднирників та щитоподібної залози. За таких умов спостерігається зниження гормональної активності надниркових та статевих залоз. За тривалої нестачі вітаміну Е у тварин з'являються дегенеративні зміни в поперечно-смугастих м'язах та в тканинах печінки з причини порушення ліпідного обміну. В курчат та каченят на вітамін Е-дефіцитних раціонах розвивається енцефаломалія. Найбільш поширеним симптомом Е-гіповітамінозу є посилення гемолізу еритроцитів та ексудативний діатез внаслідок порушення стабільності мембран.

Структурний аналог  $\alpha$ -токоферолу –  $\alpha$ -токохінон – антагоніст вітаміну Е. Із неструктурних аналогів токоферолів антивітамінні властивості мають ненасичені жирні кислоти, нітрати, чотирихлористий вуглець та інші хлорпохідні, піридин, сульфаніламідні препарати, бісульфіт натрію. Визначені антагоністи вітаміну Е у фракції ліпідного екстракту люцерни.

Міжнародним стандартом вітаміну Е є DL- $\alpha$ -токоферілацетат – 1 мг цього препарату, розчинений в 0,1 г оливкової олії, прийнятий за 1 МО. Активність ізомерів вітаміну Е в МО визначена таким чином: 1 мг dl- $\alpha$ -токоферолу – 1,1 МО; 1 мг d- $\alpha$ -токоферілацетату – 1,36 МО; 1 мг d- $\alpha$ -токоферолу – 1,49 МО.

Вітамін К. Філохінон було відкрито під час експериментів на тваринах, яких утримували на спеціальній дієті. Як показали дослідження існує окремий антигеморагічний фактор, який назвали вітаміном К – вітаміном коагуляції.

Під час вивчення вітаміну К виявилось, що в живих організмах він представлений у вигляді похідних 2-метил-1,4-нафтохінону. Відомі дві основні його форми – вітамін К<sub>1</sub> (2-метил-3-фітил-1,4-нафтохінон), що має бічний ланцюг із чотирьох ізопренових одиниць, виділений із люцерни; вітамін К<sub>2</sub> (менахінон), який синтезується мікроорганізмами, виділений з гнилого рисового борошна.

Всмоктування вітаміну К відбувається переважно в проксимальному відділі кишечника. Для засвоєння природних форм цього вітаміну необхідна наявність жовчних кислот та панкреатичної ліпази; засвоєння водорозчинних аналогів (препарат вікасол) не потребує таких умов. У крові вітамін К зв'язується

з білками альбумінової фракції та надходить у органи та тканини організму, де відбувається трансформація значної його частки у біологічно активну форму – менахінон. В мікросомах печінки відбувається взаємоперетворення трьох форм вітаміну К – хінону, гідрохінону та 2,3-епоксиду.

Точні механізми біологічної дії вітаміну К повністю не розшифровані. Однією з найважливіших його функцій є участь вітаміну К<sub>1</sub> в механізмі зсідання крові. Він необхідний для нормального утворення білка плазми крові – протромбіну, що є неактивним попередником тромбіну. Останній перетворює фібриноген на фібрин, який формує кров'яний згусток. Для перетворення протромбіну на тромбін він має зв'язати іони кальцію. У разі нестачі вітаміну К в організмі тварин синтезуються молекули протромбіну, неспроможні правильно зв'язувати іони кальцію.

Останнім часом активно розробляються питання позакоагулюючої дії вітаміну К. Зокрема, досліджується його участь у процесах окисного фосфорилювання та інших реакціях, пов'язаних з енергозабезпеченням клітин. Вказують на наявність у вітаміну К мембранних властивостей.

Дефіцит вітаміну К у тварин – явище рідкісне, враховуючи, що частина потреби у ньому може забезпечуватися за рахунок мікробного синтезу у товстому кишечнику. Препарати вітаміну К (філохінон, вікасол), вводять до складу раціону або до організму з лікувально-профілактичною метою в тих випадках, коли має місце велика крововтрата, до та після операції, у разі захворювань печінки та жовчовивідних шляхів.

З антивітамінів К у практиці частіше зустрічаються дикумарін, неокумарін, саліцилати, варфарин, кокцидіостатики. Дикумарин може утворюватися в конюшиновому сіні або силосі при зберіганні їх у вологих і теплих приміщеннях, де створюються умови для розвитку плісневих грибів, які викликають утворення дикумарину.

Вітамін F. У науковій та спеціальній літературі під “вітаміном F” розуміють комплекс незамінних поліненасичених жирних кислот. Найбільш важливими для організму тварин серед них вважається альфа-ліноленова, ейкозапентаєнова, докозагексаєнова (клас омега-3), гама-ліноленова, лінолева та арахідонова (клас омега-6) жирні кислоти.

Ненасичені жирні кислоти є активною частиною клітинних мембран; впливають на синтез гормоноподібних речовин (простагландини, лейкотриєни, простацикліни, тромбосани), які регулюють важливі функції організму, такі як артеріальний тиск, скорочення окремих м'язів, температура тіла, агрегація тромбоцитів та запалення; регулюють внутрішньоклітинний обмін кальцію; стимулюють вивільнення гормонів.

Незамінні жирні кислоти мають гепатопротекторну, антиалергенну та репаративну дію, забезпечують термогенний ефект. Вони також поліпшують структуру шкіри та вовнового покриву, сприяють профілактиці артрити, зниженню артеріального тиску та рівнів холестерину, зменшують ризик тромбоутворення; позитивно впливають при захворюваннях серцево-судинної системи; сприяють передачі нервових імпульсів, підвищенню порогу

електричної стабільності серця, зниженню мозаїчності мозкового кровообігу, активації функцій імунокомпетентних клітин.

Залишаючи за поліненасиченими жирними кислотами (ПНЖК) традиційну назву “вітамін”, з біохімічної та фармакологічної точок зору деякі спеціалісти пропонують віднести їх в особливу групу біологічно активних речовин, які мають як паравітамінну, так і парагормональну дію.

Слід врахувати, що ПНЖК класу омега-3 та омега-6 утворюють в організмі різні біологічно активні речовини “тканинні гормони”, які по різному впливають на обмін речовин та функції окремих органів.

Джерелами жирних кислот класу омега-3 є лляна та конопляна олії, меншою мірою соєва, гірчична та ріпакова олії, морська риба (скумбрія, оселедець, сардини, тунець, лосось, кефаль, палтус, анчоуси), кальмари, насіння гарбузів, соєві боби, грецькі горіхи, олія із зародків пшениці.

За нестачі вказаних жирних кислот спостерігаються захворювання очей, затримка росту, м'язова слабкість, оніміння кінцівок, зміна поведінки, захворювання серця та кінцівок.

Жирні кислоти класу омега-6 містяться в соняшниковій, кукурудзяній, соєвій, оливковій, дещо менше – в сафлоровій, конопляній, ріпаковій та лляній олії, а також рибі глибоководних видів та риб'ячому жиру, грецьких горіхах і насінні гарбузів.

Ознаками нестачі цих незамінних жирних кислот є захворювання шкіри, випадіння волоссяного покриву, захворювання печінки, розлад нервової системи, безпліддя, захворювання серця, затримка росту.

Провідні фармацевтичні фірми світу, враховуючи високу лабільність ПНЖК та їх здатність до деструкції у процесі технологічної обробки сировини, при створенні промислових технологій виробництва речовин такого характеру використовують методи біологічного синтезу, відомі під назвою біотехнологія.

Необхідно враховувати, що дозування ПНЖК за місцевого та внутрішнього застосування в терапії алергічних захворювань, для стимуляції репаративних процесів (загоювання ран, виразок, опікових ран) та коригування ліпідного обміну попередників простагландинів повинно бути особливо ретельним, оскільки передозування може викликати обернений ефект – прискорення патологічного процесу, одержання прямо протилежних реакцій. Важливого значення слід надавати співвідношенню між жирними кислотами класів омега-6 та омега-3.

### **3. Водорозчинні вітаміни**

Особливістю вітамінів цієї групи є те, що вони не депонуються в тканинах тваринного організму і їх надходження з кормами повинно бути постійним. Багато з них є складовими компонентами молекул складних ферментів, виконуючи таким чином коферментні функції.

Вітамін В<sub>1</sub> (тіамін). Це один з перших вітамінів, хімічна будова та властивості якого добре вивчено. Вітамін В<sub>1</sub> є простетичною групою складних ферментів. Біологічно активна форма вітаміну – тіамінпірофосфат (ТПФ), який є компонентом таких важливих ферментів, як  $\alpha$ -піруватдекарбоксилаза,  $\alpha$ -

оксоглутаратдегідрогеназа, транскетолаза. Фосфорилування тіаміну відбувається у слизовій оболонці кишок, у печінці та інших органів.

Особливістю ферментативних реакцій, що перебігають за участі ТПФ, є перенесення альдегідного активованого фрагмента. Одночасно ТПФ зумовлює активність транскетолази – фермента, який у двох реакціях перетворення пентоз здійснює перенесення альдегідного фрагмента ксилулоза-5-фосфату на рибозо-5-фосфат або еритрозо-4-фосфат. Пригнічення транскетолазної реакції викликає нестачу рибозо-5-фосфату, що в кінцевому результаті призводить до порушення обміну амінокислот, нуклеїнових кислот, синтезу жирних кислот, холестерину, деяких стероїдних гормонів.

Нестача тіаміну виявляється у затримці росту, зниженні маси тіла, опірності організму проти збудників хвороб. Вітамін В<sub>1</sub> у комплексі з іншими вітамінами використовується у профілактиці стресів, які негативно впливають на розвиток імунної відповіді, особливо за застосування живих вакцин.

Вітамін В<sub>1</sub> дуже поширений, його звичайно більше в рослинах і мікроорганізмах, ніж у тканинах тварин. У першому випадку вітамін представлений в основному вільною, у другому – фосфорильованою формою. Багато його в дріжджах. Консервування корму бісульфітом руйнує вітамін В<sub>1</sub>. Частково потребу у ньому можна забезпечити за рахунок мікробного синтезу в кишечнику.

Природний вітамін В<sub>1</sub> розкладається тіаміназою – ферментом, що продукується нормальною мікрофлорою кишечника і міститься у значних кількостях у рибних кормах, хвощах, папоротях. Вираженою антивітамінною активністю відзначаються кокцидіостатики.

Міжнародним стандартом вітаміну В<sub>1</sub> є чистий синтетичний гідрохлорид тіаміну. Міжнародна одиниця відповідає активності 3 мкг цього препарату.

Вітамін В<sub>2</sub> (рибофлавін). Уперше вітамін В<sub>2</sub> було виділено з молока. У 1935 р. встановлено будову цієї сполуки та здійснено її хімічний синтез. Виявлено, що біологічна активність вітаміну вища в тих субстратах, які мають жовті пігменти – флавіни.

Рибофлавін міститься в багатьох продуктах рослинного та особливо тваринного походження. Всмоктується в кишечнику у вигляді фосфорних естерів, частково може засвоюватися й у вільному стані, депонується у печінці, нирках та інших органах.

Вітамін В<sub>2</sub> є акцептором водню у формі флавінаденіндинуклеотиду (ФАД) та флавінмононуклеотиду (ФМН), бере участь у ланцюгу реакцій біологічного окислення. Відомо про участь вітаміну в підтриманні загальної резистентності організму, а нестача його в організмі спричиняє зниження маси тимусу, демієлінізацію нервових волокон та периферичну нейропатію у молодих тварин.

У зв'язку з складністю виділення рибофлавіну з природних джерел його одержують синтетичним шляхом з оксилідину, D-рибози та алоксану. Синтезовані похідні вітаміну В<sub>2</sub>, які володіють антивітамінною активністю. Це ж характерно і для похідних акридину (акрихін, риванол) та іншим препаратам.

Потребу в даному вітаміні звичайно виражають у мікрограмах за добу. В одиницях Буркена-Шермана 400000 одиниць відповідає 1 г рибофлавіну.

Вітамін РР (В<sub>5</sub>, ніацин). Вітамін РР існує у двох активних формах (нікотинова кислота та нікотинамід), досить поширений у кормах рослинного та тваринного походження. Особливо багаті на цей вітамін дріжджі. У молочних і м'ясних продуктах міститься багато незамінної амінокислоти триптофану, з якої в організмі тварин синтезується нікотинова кислота.

У 1937–1939 рр. було остаточно встановлено, що біологічна дія препаратів нікотинової кислоти, виділених з печінки і одержаних синтетичним шляхом однакова.

Ніацин – умовна назва нікотинової кислоти, яку використовують, щоб не плутати її з нікотинном, який міститься в тютюні.

Біологічна роль вітаміну РР визначається, передусім, тим, що нікотинамід являє собою компонент двох подібних за будовою коферментів оксидоредуктаз – нікотинамідаденіндинуклеотиду (НАД<sup>+</sup>) і нікотинамідаденіндинуклеотидфосфату (НАДФ<sup>+</sup>). Зазначені сполуки – коферменти багатьох (понад 100) окислювально-відновних ферментів, вони універсальні за поширенням та біологічною роллю. Зокрема, НАД – головний акцептор електронів при окисленні енергонесучих молекул. Одночасно вітамін бере участь у процесах метилювання білків та РНК, регуляції синтезу та реплікації молекул ДНК.

У багатьох зернових кормах, особливо у кукурудзі, вітамін РР на 95–98% знаходиться у важко засвоюваній формі (ніацитин). Лужний гідроліз зернових кормів поліпшує засвоєння вітаміну. Одночасно у кукурудзі міститься структурний аналог нікотинової кислоти – 3-ацетилпіридин, який є конкурентним інгібітором вітаміну РР, тобто його антивітаміном. Тому згодовування кукурудзяних раціонів тваринам потребує додаткового введення вітаміну РР.

Нестача в кормах нікотинової кислоти викликає захворювання, яке називається пелагрою (у перекладі з італійської – “шершава шкіра”). Воно супроводжується хворобливими змінами шкіри – дерматитами. Порушується її пігментний обмін, а іноді з'являються навіть виразки. Надалі спостерігаються зміни слизової оболонки рота, змінюється функція травного каналу, мають місце проноси.

Вплив дефіциту або надлишку вітаміну РР може здійснюватися на функціональну активність лімфоїдних клітин за рахунок порушення у них окислювально-відновних та енергетичних процесів. Останні є основою не лише для процесів протеосинтезу, але й перетравної активності лізосом макрофагів.

Вітамін В<sub>3</sub> (пантотенова кислота). Назва цього вітаміну (префікс пан означає всюди, скрізь) свідчить про його поширення у природі. Пантотенова кислота необхідна для життєдіяльності дріжджів і молочнокислих бактерій, комах, тварин, людини та рослин. У кормах ця кислота міститься в основному у вигляді коферменту, у формі якого вона проявляє вітамінні властивості.

Біологічну роль пантотенової кислоти було встановлено в 1950 р. Ф.Ліпманом і Н.Капланом. Пантотенова кислота входить до складу коферменту

А (коферменту, коензиму ацилювання). Кофермент А посідає центральне місце у метаболізмі організму тварин, бере участь у багатьох реакціях, до яких залучені не лише ацетильні, а й будь-які ацильні групи. Перетворення вуглеводів, жирів і значною мірою амінокислот пов'язано з коферментом А.

Для потреб тваринництва застосовують рацемічний пантотенат кальцію, хоча фізіологічною дією характеризується лише D(+)-ізомер. Подвійна сіль D(+)-пантотенату кальцію і хлористого кальцію порівняно з пантотенатом кальцію менш гігроскопічна, більш сипуча і стійка при зберіганні. Вітамін B<sub>3</sub> пом'якшує токсикологічну дію стрептоміцину.

Піридоксин (вітамін B<sub>6</sub>, адермін). Терміном “вітамін B<sub>6</sub>” об'єднано три споріднені сполуки: піридоксин, піридоксаль та піридоксамін. Вони є похідними піридину й у біологічних системах легко перетворюються один на один.

Вітамін B<sub>6</sub> бере участь в утворенні коферментних ділянок молекул ферментів різних класів. Він необхідний в процесах синтезу білків, нуклеїнових кислот, у процесах поділу клітин. Зокрема, важлива роль належить піридоксину в обміні амінокислот в реакціях переамінування та декарбоксілювання. Не випадково дефіцит вітаміну B<sub>6</sub> викликає в організмі тварин більш глибокі порушення імунної відповіді, ніж інших вітамінів групи В. Фізіологічні та імунологічні функції піридоксину в процесах метаболізму тварин вивчені досить широко. Так, нестача піридоксину призводить до пригнічення як гуморальних, так і клітинних факторів імунітету у відповідь на введення різних антигенів.

За нестачі піридоксину в раціоні тварин розвиваються симптоми ушкодження нервової системи, що включають аномальне збудження, неконтрольовані рухи та конвульсії.

Біотин (вітамін Н). Біотин було одержано в 1935 р. Ф.Кеглем із сухого яєчного жовтка у кристалічному вигляді. Цю сполуку назвали фактором росту клітин дріжджів. З'ясувалося, що вона зменшує патологічні зміни шкіри щурів, які одержують з кормом велику кількість сирого яєчного білка. Сполуку було названо біотином. У яєчному білку міститься білок авідин, який щільно зв'язує біотин, що перешкоджає всмоктуванню вітаміну в кишечнику. Під час варіння яєць авідин руйнується.

Біотин є коферментом у реакціях приєднання CO<sub>2</sub> (карбоксілювання); бере участь у біосинтезі жирних кислот, пуринових основ та в інших реакціях перенесення карбоксильних груп; необхідний в процесі імунізації тварин для нормального функціонування лімфоїдних тканин; опосередковано впливає на енергетичний статус печінки та запобігає її жировому переродженню.

Нестача біотину у тварин супроводжується розвитком дерматитів, подібних до дерматитів за нестачі пантотенової кислоти.

Фолієва кислота (вітамін B<sub>9</sub>, B<sub>10</sub>, B<sub>11</sub>, птероїлглутамінова кислота). Уперше фолієву кислоту (від лат. folium – листок) було виділено з листків шпинату, а потім з печінки. Цей вітамін поширений у біологічних системах.

Молекула фолієвої кислоти складається з таких компонентів: глутамінової кислоти, п-амінобензойної кислоти та гетероциклічної сполуки – заміщеного птеридину.

Фолієва кислота не має коферментних властивостей, у тканинах вона відновлюється і перетворюється на тетрагідрофолієву кислоту (ТГФК), яка і є коферментом. ТГФК слугує переносником одновуглецевих радикалів: метил-, оксиметил-, метилен-, метеніл-, форміл-, форміміно-. Ця кислота бере участь у біосинтезі пуринових та піримідинових основ, креатину, метіоніну, в утворенні серину з гліцину тощо. Фолієва кислота біохімічно пов'язана з обміном та функціями вітаміну  $B_{12}$ .

Нестача чи відсутність в організмі фолієвої кислоти викликає анемію та лейкопенію (порушення синтезу еритроцитів і лейкоцитів), порушення процесу антитілоутворення, а також інші зміни обміну речовин.

Вітамін  $B_c$  синтезується більшістю мікроорганізмів, вищими та нижчими рослинами. Багаті на нього листя зелених рослин. У організмі ссавців і птиці вітамін не утворюється, але в продуктах тваринного походження він знаходиться у стабільнішій формі.

Відома велика кількість антагоністів фолієвої кислоти. Дія одних (аміноптерин) ґрунтується на заміщенні птеридинової частини, інших (сульфаніламідні препарати) параамінобензойної кислоти, третіх (аметоптерин) – глутамінової кислоти у вітаміні  $B_c$ .

Фолієва кислота нестійка в присутності тіамінхлориду, рибофлавіну, аскорбінової кислоти. Стійкість фолієвої кислоти підвищується за наявності вітамінів  $B_{12}$ ,  $B_6$ , нікотинамідну.

Вітамін  $B_{12}$ . Це загальна назва, яка об'єднує кілька сполук, подібних за своєю будовою їх ще називають кориноїдами. Це такі сполуки, як ціанкобаламін, оксикобаламін, нітрокобаламін, аквокобаламін та ін. Вітамін синтезується мікроорганізмами (бактеріями, актиноміцетами, синьозеленими водоростями) та грибами. У великій кількості вітамін  $B_{12}$  міститься у мулові стічних вод, сапропелі (озерному мулові). Для синтезу вітаміну необхідний кобальт, який входить до його складу. Мікрофлора кишечника жуйних тварин продукує вітамін  $B_{12}$ .

За участю білкового компонента шлункового соку, так званого внутрішнього фактора – апоеретрину, вітамін  $B_{12}$  всмоктується з кишківника у кров. З крові він надходить у тканини, де поєднується з білками та іншими азотистими сполуками, утворюючи комплекси. Тканинним депо вітаміну є печінка.

Вітамін  $B_{12}$  за рахунок своїх рухливих метильних груп бере участь у синтезі пуринових та піримідинових основ, холіну, метіоніну, перенесенні одновуглецевих радикалів, необхідних для синтезу нуклеїнових кислот.

Нестача вітаміну викликає мегалобластичні зміни у більшості репродуктивних органів та кістковому мозку, які характеризуються зниженням здатності тканини синтезувати ДНК. Злоякісна або перніціозна анемія може розвиватися унаслідок порушення всмоктування вітаміну  $B_{12}$  у травному каналі.

Вітамін С (аскорбінова кислота). Про цей вітамін знали давно. Ще наприкінці XVIII ст. було відомо, що у плодах цитрусових, настоях шипшини, шпинату, різних фруктах і ягодах міститься фактор, який запобігає розвитку цинги (скорбуту).



Аскорбінова кислота міститься у тканинах всіх тварин та вищих рослин і за своєю будовою подібна до гексоз. У людей, мавп, мурчаків та деяких інших хребетних аскорбінова кислота не синтезується. Більшість тварин і всі рослини можуть синтезувати цей вітамін з глюкози. У мікроорганізмів даний вітамін відсутній і вони його не потребують.

Аскорбінова кислота добре всмоктується у кишечнику. Найбільше її в печінці та корковій частині надниркових залоз. Часто вона утворює комплекси з різними сполуками – аскорбігени. Слід зазначити, що концентрація аскорбінової кислоти в лейкоцитах в 10–90 разів вища, ніж у плазмі крові. Тому рівень її в лейкоцитах може бути використаний як індикатор забезпеченості організму вітаміном.

У тканинах організму вітамін існує в двох формах: окисленої – у вигляді аскорбінової кислоти, та дегідроаскорбінової кислоти (відновлена форма). Внаслідок розщеплення лактонного містка частина дегідроаскорбінової кислоти необоротно перетворюється на дикетогулонову кислоту, яка не має вітамінних властивостей.

Біологічна роль вітаміну С пов'язується з його участю в окислювально-відновних процесах, через властивість віддавати та приєднувати атоми водню. Основна кількість вітаміну С у організмах перебуває в енольній формі. Роль вітаміну полягає у підтриманні сульфгідрильних груп ферментативних білків у відновному стані, що забезпечує активність ряду ферментів.

Коферментну роль вітаміну С виявлено в реакціях гідроксильовання біомолекул. За участю аскорбінової кислоти відбувається біосинтез колагену, дофаміну, норадреналіну та адреналіну, стероїдів; гідроксильовання триптофану при утворенні серотоніну; катаболізм тирозину. У більшості каталітичних процесів разом з аскорбіновою кислотою беруть участь іони заліза ( $\text{Fe}^{2+}$ – $\text{Fe}^{3+}$ ), які виступають у ролі зворотних донорів електронів.

Вітамін С відіграє важливу роль в активності фагоцитарних клітин та бере участь в регуляції фізіологічних функцій імунної системи, знижує імуносупресивний ефект таких стресорів як тепло, підвищує резистентність організму тварин проти різних інфекційних захворювань.

1 МО вітаміну С відповідає 0,05 мг чистої аскорбінової кислоти.

Холін (вітамін B<sub>4</sub>). У організмі тварин холін представлений у вільній формі, у вигляді ацетил-холіну та комплексів фосфоліпідів. Холін є медіатором багатьох біохімічних реакцій та бере участь у регуляції функцій печінки. Одночасно опосередковано він впливає на структуру та активність імунокомпетентних клітин організму.

Ендогенний синтез метильних радикалів, необхідних для утворення холіну, здійснюється в організмі тварин у недостатній кількості. Основним джерелом метильних груп є метіонін; його нестача викликає метаболічні порушення, серед яких більш виражено акумулювання ліпідів у печінці та інших органах і тканинах. Тому за дефіциту метіоніну в організмі тварин обов'язково слід вводити добавку холіну, який слугує ліпотропним фактором, необхідним для використання ліпідів печінки.

Холін – це структурний компонент фосфоровмісної сполуки – фосфатидилхоліну, який наявний практично у будь-якій мембрані клітин. Він є незамінним компонентом плазматичних ліпопротеїдів, які у свою чергу використовуються у процесах мобілізації гліцеридів печінки.

Одна з важливих функцій холіну в організмі тварин – залучення його метильних груп у різні реакції синтезу метіоніну, пуринових і піримідинових основ, необхідних для структур нуклеїнових кислот та білків.

У вигляді ацетилхоліну холін виступає активним медіатором нервової системи. Акумулявання парасимпатичних речовин, серед яких є й ацетилхолін, призводить до стимуляції макрофагальної системи організму.

#### **4. Вітаміноподібні речовини**

Під цією назвою розуміють різноманітні хімічні сполуки, які мають вітаміноподібні властивості, але частково синтезуються в організмі тварин та іноді входять до складу тканин.

До таких сполук належить інозитол (мезоінозитол, міоінозитол). Це шестиатомний циклічний спирт, похідне циклогексану, дуже поширений у тваринному та рослинному світі. Він входить до складу рослин переважно у вигляді фосфорних етерів, зокрема фітину, який утворюється внаслідок циклізації молекули глюкози. Фітин є сумішшю кальцієвих і магнієвих солей гексозофосфорного етеру інозитулу.

З дев'яти можливих стереоізомерів інозитулу біологічною активністю відзначається мезоінозитол (міоінозитол) – препарат, який вперше виділено з м'язів.

Інозитол необхідний для росту мікроорганізмів, нормального розвитку та життєдіяльності тварин. У мишей нестача інозитулу виявляється в затримці росту, випадінні волосу, зниженні тонуусу шлунка, частковій жировій інфільтрації печінки. Останнім часом доведено, що інозитол-1,4,5-трифосфат є вторинним посередником, який активує  $\text{Ca}^{2+}$ -транспортуючі канали плазматичних мембран і мембран внутрішньоклітинних кальцієвих депо.

Джерелом інозитулу слугують зернові корми, м'ясні продукти, яєчні жовтки, картопля, гриби.

Вітамін Р, або біофлавоноїди (поліфеноли). Сюди відноситься численна група речовин, які містять дифенілпропановий вуглецевий скелет. Особливістю їх будови вважається наявність подвійного зв'язку, кето- та гідроксигруп у циклах і залишків цукрів.

Представниками цих сполук є гесперидин (цитрин), який міститься в цедрі цитрусових, рутин (одержують з листків гречки) та катехін (з листків чаю), а також пікногенол, еріодиктиол, катехіни, ціанідин та ін. Для синтезу біофлавоноїдів використовують шикімову кислоту.

Основна біологічна властивість зазначених сполук – здатність підтримувати еластичність і стійкість капілярів, зменшуючи їх проникність. Недостатнє надходження вітаміну Р до організму тварин призводить до ламкості стінок кровоносних судин, підвищення проникності капілярів, крововиливів.

Сполуки з Р-вітамінною активністю поширені у природі (понад 400 видів) й містяться в тих же самих продуктах, що й вітамін С.

Механізм дії біофлавоноїдів різноманітний. Один із шляхів їх впливу на судинну систему – через ендокринні залози. Поліфеноли можуть запобігати окисненню адреналіну, який стимулює роботу гіпофізу, що в свою чергу збуджує секрецію кортикостероїдів. Інший шлях капіляророзміцнюючої дії вітаміну Р полягає в його здатності гальмувати активність гіалуронідази. При цьому нагромаджується гіалуронова кислота, яка необхідна для з'єднання сполучної тканини та зміцнення стінок судин.

Зібрано багато відомостей про функціональний зв'язок між вітамінами С та Р – останній запобігає окисненню аскорбінової кислоти. Антиоксидантні властивості біофлавоноїдів полягають також у блокуванні каталітичної дії важких металів створенням стабільних комплексів, деякі з представників вітаміну Р мають високу антирадикальну активність та можуть бути використані для синтезу важливих біологічно активних сполук клітини, зокрема убіхінону.

Вітамін U (S-метилметіонін-сульфат-хлорид). Це активна форма метіоніну, міститься у великих кількостях в соках сирих овочів, особливо в капустяному. Вітамін U виявляє стимулюючу дію під час пошкодження травного каналу, сприяючи регенерації слизової оболонки. Він також бере участь у синтезі холіну та креатину.

Вітамін B<sub>13</sub> (оротова кислота). Вітамін B<sub>13</sub> – похідне піримідину. Ця сполука підсилює ріст мікроорганізмів і вищих тварин. У птахів і ссавців оротова кислота утворюється з аспарагінової кислоти та карбамоїлфосфату під час синтезу азотистих основ нуклеїнових кислот.

У разі введення ззовні оротова кислота посилює анаболічні процеси і, завдяки цьому стимулює ріст рослин і тварин. Оротат калію використовують для лікування захворювань печінки, серця, деяких видів анемії.

Вітамін B<sub>15</sub> (пангамова кислота). Являє собою складний етер  $\alpha$ -глюконової кислоти та диметилгліцину. У результаті наявності двох рухливих метильних груп пангамова кислота поліпшує ліпідний обмін, запобігаючи жировій інфільтрації печінки. Вона також поліпшує синтез креатинфосфату, активує окисні процеси в організмі, сприяє детоксикації під час отруєння хлорорганічними сполуками, антибіотиками тетрациклінового ряду, наркотичними речовинами. Пангамова кислота міститься в дріжджах, висівках, печінці, нирках, менше її в м'язах.

Ліпоєва кислота ( $\alpha$ -ліпоєва кислота, тіоктанова кислота). Ліпоєва кислота є кофактором, який бере участь в окисному декарбоксилюванні піровиноградної кислоти та  $\alpha$ -кетокислот, відіграє важливу роль у процесі утворення енергії в організмі. За характером біохімічної дії ліпоєва кислота наближається до вітамінів групи В. Вона бере участь у регулюванні ліпідного та вуглеводного обмінів; здійснює ліпотропний ефект; впливає на обмін холестерину; поліпшує функцію печінки, виявляє детоксикаційну дію за отруєння солями важких металів, інших отруєннях; усуває симптоми діабетичної нейропатії; відновлює температурну, тактильну та больову чутливість; позитивно впливає на нервову систему. Альфа-ліпоєва кислота входить до ряду транспортних систем креатину,

значною мірою впливає на метаболізм інсуліну, сприяє збільшенню використання тканинами глюкози та вироблення природного потужного антиоксиданту глутатіону. В організмі міститься в різних органах, особливо багато її в печінці, нирках, серці. Застосовують з профілактичною та лікувальною метою у комплексній терапії коронарного атеросклерозу, захворюваннях печінки, діабетичного поліневриту, інтоксикацій.

Карнітин (L-карнітин, вітамін В<sub>т</sub>). Був відкритий російським вченим В.Г. Гулєвічем, який вперше виявив його у м'язовій тканині і відніс до групи екстрактивних речовин (небілкові речовини). За біогенною природою карнітин подібний до карнозину – речовини, яка бере участь у біохімічній динаміці м'язової тканини.

Карнітин – органічна азотовмісна кислота, не є амінокислотою. Його основна функція в організмі тварин – транспорт довголанцюгових жирних кислот, в процесі окислення яких у мітохондріях виділяється енергія. Таким чином, карнітин посилює перетворення жиру в енергію та запобігає його відкладанню в організмі, передусім у серці, печінці, скелетних м'язах. Він знижує ймовірність розвитку ускладнень цукрового діабету, пов'язаних з порушеннями жирового обміну; має здатність знижувати рівень тригліцеридів у крові; сприяє зменшенню маси тіла; посилює антиоксидантну дію вітамінів С та Е.

Надходить карнітин до організму, насамперед, з м'ясом та іншими кормами тваринного походження. У білках рослинного походження він відсутній. Може синтезуватися в організмі тварин за наявності заліза, тіаміну, піридоксину, лізину і метіоніну. Його синтез здійснюється за достатньої кількості вітаміну С.

Параамінобензойна кислота (вітамін Н<sub>1</sub>, p-амінобензойна кислота). Цю кислоту ще називають “вітамін у вітаміні”, оскільки вона є складовою частиною фолієвої кислоти (вітамін В<sub>10</sub>). Параамінобензойна кислота бере участь у процесі засвоєння білка, продукуванні еритроцитів, підтриманні здорового стану шкіри, регуляції синтезу та секреції гормонів статевих залоз, щитоподібної залози та наднирників; є фактором росту для деяких мікроорганізмів, які синтезують з неї фолієву кислоту.

Як і фолієва кислота вітамін Н<sub>1</sub> міститься в печінці, нирках, молочних продуктах, яєчних жовтках, пивних дріжджах, картоплі, моркві, насінні олійних культур.

У тварин за нестачі параамінобензойної кислоти виникають порушення пігментоутворення, хвороби шкіри, затримка росту, порушення гормональних функцій тощо.

## **5. Причини виникнення дефіциту вітамінів та оцінка вітамінної забезпеченості тварин**

Під вітамінною недостатністю розуміють групу патологічних станів, зумовлених дефіцитом в організмі одного або кількох вітамінів.

Залежно від глибини та важкості вітамінної недостатності виділяють три її форми: авітаміноз, гіповітаміноз та субнормальну забезпеченість вітамінами.

Авітаміноз характеризується станом практично повної відсутності певного вітаміну в організмі, що супроводжується виникненням характерного та специфічного за його нестачі симптомокомплексу.

Гіповітамінозом вважають знижений порівняно з потребою вміст вітамінів в організмі, який проявляється лише окремими та невираженими симптомами, характерними для дефіциту певного вітаміну, а також малоспецифічними ознаками хворобливого стану, загальними для різних видів гіповітамінозів. Нестачу одночасно кількох вітамінів називають полігіповітамінозом.

Субнормальна забезпеченість вітамінами, яку ще називають у спеціальній літературі маргінальною, або біохімічною формою вітамінної недостатності, являє собою доклінічну стадію дефіциту вітамінів, який визначається за порушеннями метаболічних та фізіологічних реакцій, що перебігають за участю певного вітаміну, та не має клінічних ознак або проявляється лише окремими неспецифічними мікросимптомами.

Класичні авітамінози явище дуже рідкісне, яке можна спостерігати лише в умовах тривалого голодування, надходження до організму у великих кількостях антивітамінів, а також за деяких спадкових патологіях метаболізму та важких захворюваннях травного каналу, що супроводжуються синдромом мальабсорбції.

Більш поширені гіповітамінози, причинами яких можуть бути:

- кількісна нестача вітамінів в кормах раціону внаслідок недооцінки потреб тварин, пов'язаних з віком, статтю, рівнем продуктивності, фізіологічним станом, інтенсивністю використання, наявністю стресових факторів, умовами утримання тощо;
- наявність антивітамінів;
- незбалансованість та неповноцінність раціону;
- взаємодія вітамінів між собою та іншими біологічно активними речовинами;
- неправильне зберігання та підготовка кормів до згодовування;
- порушення всмоктування вітамінів у кишечнику за гострих та хронічних захворюваннях травної системи;
- тривале парентеральне живлення;
- гемодіаліз;
- нераціональна хіміотерапія;
- хронічні інтоксикації, у тому числі за інфекційних хвороб.

Не маючи явних клінічних ознак, субнормальна забезпеченість вітамінами зменшує адаптаційні можливості організму тварин, що супроводжується зниженням продуктивності, стійкості проти дії інфекційних та токсичних факторів, фізичної роботоздатності, затриманням видужування за гострих хвороб, підвищенням вірогідності загострення хронічних захворювань.

Для оцінки вітамінної забезпеченості тварин застосовують такі методи діагностування:

1. Розрахункові (оцінка надходження вітамінів до організму за даними хімічного складу кормів раціону).

2. Фізіологічні дослідження функцій організму, у яких беруть участь вітаміни.
3. Визначення вмісту вітамінів та продуктів їх обміну у біологічних субстратах (кров, сеча, тканини) та виділеній продукції (молоко, яйця).
4. Функціональні методи, засновані на оцінці метаболічних процесів, у яких безпосередньо беруть участь вітаміни.

Розрахункові методи мають орієнтовне значення для оцінки вітамінної забезпеченості. Вони передбачають використання довідкових таблиць хімічного складу кормів і добавок, що дозволяє оцінювати надходження до організму вітамінів з кормами порівняно з рекомендованими нормами годівлі тварин. Вірогідність розрахунків буде вищою, якщо є дані прямих хіміко-аналітичних методів визначення вмісту вітамінів у кормах та добавках. Слід зазначити, що більшість даних про кількість вітаміну Е та каротиноїдів у кормах вказують на сумарний вміст відповідно токоферолів та каротиноїдів. Досліджень, спрямованих на визначення наявності в кормах окремих форм (ізомерів) цих вітамінів проведено недостатньо, а наявні дані часто суттєво відрізняються та ускладнюють оцінку А- та Е-вітамінної поживності кормів та забезпечення потреби тварин у вітамінах А та Е.

Із методів фізіологічного дослідження функцій, які застосовуються у діагностиці, найвідоміші дослідження сутінкової адаптації як показника забезпеченості організму вітаміном А, оцінка проникності стінок судин для визначення забезпеченості вітаміном С та визначення ступеня гемолізу еритроцитів як одного з показників забезпеченості організму вітаміном Е, а також оцінка репродуктивних якостей.

Лабораторні методи оцінки більш доступні і точніші. Вміст вітамінів досліджують у крові, сечі, тканинах організму та продукції. Наприклад, вміст тіаміну визначають у еритроцитах та сечі; рибофлавіну й аскорбінової кислоти – лейкоцитах, сироватці крові та сечі; жиророзчинних вітамінів – у сироватці, печінці, жовтку яєць, тканинах ембріонів, молоці; досліджують вміст у крові коферментних та інших біологічно активних форм вітамінів (тіаміндифосфату, НАД, НАДФ в еритроцитах, 25-оксихолекальциферолу – в плазмі крові); вивчають екскрецію із сечею продуктів катаболізму вітамінів (В<sub>6</sub> – 4-піридоксильної кислоти, РР – N-метилнікотинамід у та ін.). За дослідження сечі визначають добову екскрецію вітамінів або їх виділення вранці натще у суворо визначений термін (звичайно за 60 хв) після випорожнення сечового міхура.

Серед функціональних методів найпоширенішими дослідження активності вітамінзалежних ферментів в еритроцитах (або гемолізатах крові) до і після внесення у середовище інкубації коферментної форми досліджуваного вітаміну. За недостатньої забезпеченості вітаміном ступінь активації ферменту за додавання екзогенного коферменту виявляється вищою, ніж у випадках з адекватною його забезпеченістю. Подібні ферментні тести знайшли широке застосування за оцінки забезпеченості організму тіаміном (дослідження активності транскетолази в еритроцитах та її стимуляції додаванням тіаміндифосфату, ТДФ-ефект), рибофлавіном (дослідження активності глутатіонредуктази та її стимуляції під впливом ФАД, ФАД-ефект), вітаміном В<sub>6</sub>

(активність амінотрансфераз та її стимуляція піридоксальфосфатом, ПАЛФ-ефект).

Поряд із прямим визначенням активності вітамінзалежних ферментів вивчають також вміст у сечі субстратів або продуктів реакцій, що каталізуються цими ферментами. Так, за екскрецією із сечею метилмалонової кислоти оцінюють забезпеченість організму вітаміном В<sub>12</sub>. Екскреція із сечею ксантуренової кислоти відображає метаболізм триптофану, який порушується за дефіциту вітаміну В<sub>6</sub>.

Антиокислювальну активність вітамінів можна встановити за кількістю поглиненого кисню, нагромадженням переокисів, зміною концентрації антирадикалів. Методи, що базуються на визначенні швидкості взаємодії вільних радикалів з антиокислювачами (різновиди хемілюмінісценції, фотоокислення, реакції з  $\alpha, \alpha'$ -дифеніл- $\beta$ -пікрилгідрaziном) допомагають визначити антирадикальну активність сполук.

Ферментні та субстратні тести дозволяють виявити найбільш ранні, доклінічні стадії недостатньої забезпеченості організму тварин вітамінами, для яких характерно виникнення лише метаболічних порушень.

Лікування вітамінної недостатності включає використання специфічних та неспецифічних методів.

Специфічна замісна терапія здійснюється препаратами вітамінів у дозах, які у десятки разів перевищують добову фізіологічну потребу в них. Після поповнення вітамінних запасів організму та усунення найбільш важких симптомів дозу знижують до рівня, який у 3–5 разів перевищує потребу, а лікування продовжують до зникнення всіх клінічних симптомів вітамінної недостатності. Парентеральне введення вітамінів абсолютно необхідне у випадках, якщо нестача вітамінів обумовлена порушенням всмоктування вітамінів у травному каналі. В інших випадках вибір шляхів введення вітамінів залежить від важкості вітамінної нестачі, причин її виникнення, вікових, статевих та індивідуальних особливостей тварин. Важливою умовою ефективності специфічного лікування є раціональна дієтотерапія, яка забезпечує надходження до організму оптимальної кількості енергії, інших поживних речовин, зокрема протеїну високої біологічної цінності, а також всіх інших незамінних елементів живлення.

Неспецифічна терапія включає загальнооздоровчі заходи (перебування тварин на свіжому повітрі під сонцем, санацію осередків інфекції тощо), лікування основного захворювання з коригуванням функціональних порушень, що призвели до вітамінної недостатності (усунення дисбактеріозу, відновлення жовчовиділення та ін.), а також симптоматичне лікування розладів, зумовлених гіповітамінозом (порушення функцій центральної нервової системи, серцево-судинної системи, травного каналу тощо). Після усунення важких проявів вітамінної недостатності доцільно здійснювати комплекс реабілітаційних заходів, спрямованих на поступове повне відновлення функцій постраждалих органів та систем організму тварин.

## ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРИ

### Основна література

1. Баканов В. Н. Кормление сельскохозяйственных животных / В. Н. Баканов, В. К. Мельник. – М. : Промиздат, 1989. – 511 с.
2. Богданов Г. А. Кормление сельскохозяйственных животных / Г. А. Богданов. – М. : Агропромиздат, 1990. – 620 с.
3. Герасимов В. І. Свинарство і технологія виробництва свинини / В. І. Герасимов. – Харків : Еспада, 2003. – 446 с.
4. Ібатуллін І. І. Практикум з годівлі сільськогосподарських тварин / І. І. Ібатуллін. – К. : Вища освіта, 2003. – 432 с.
5. Калашников А. П. Нормы и рационы кормления сельскохозяйственных животных / А. П. Калашников. – М. : Агропромиздат, 1985. – 352 с.
6. Карпусь М. М. Довідник поживності кормів / М. М. Карпусь. – К. : Урожай, 1988. – 400 с.
7. Кліценко Г. Т. Практикум з годівлі сільськогосподарських тварин / Г. Т. Кліценко. – К. : Світ, 2001. – 576 с.
8. Максаков В. Я. Годівля сільськогосподарських тварин / В. Я. Максаков. – К. : Урожай, 1987. – 168 с.
9. Ноздрін М. Т. Деталізовані норми годівлі сільськогосподарських тварин / М. Т. Ноздрін. – К. : Урожай, 1991. – 344 с.
10. Проваторов Г. В. Годівля сільськогосподарських тварин / Г. В. Проваторов, В. О. Проваторова – Суми : Університетська книга, 2004. – 510 с.
11. Свеженцев А. И. Нормированное кормление сельскохозяйственных животных / А. И. Свеженцев. – Днепропетровск : Наука и образование, 1998. – 294 с.

### Додаткова література

12. Георгиевский В. И. Минеральное питание животных / В. И. Георгиевский. – М. : Колос, 1979. – 471 с.
13. Градусов Ю. Н. Усвояемость аминокислот / Ю. Н. Градусов. – М. : Колос, 1979. – 400 с.
14. Куна Т. Д. Кормление лошадей / Т. Д. Куна. – М. : Колос, 1983. – 352 с.
15. Степанов В. И. Свиноводство и технология производства свинины / В. И. Степанов, Н. В. Михайлов. – М : Агропромиздат, 1991. – 336 с.
16. Ступак І. І. Прогресивні технології виробництва свинини : навч. посіб. / І. І. Ступак. – Суми : Університетська книга, 2004. – 270 с.
17. Царенко О. М. Ресурсозберігаючі технології виробництва свинини : навч. посіб. / О. М. Царенко. – Суми : Університетська книга, 2004. – 270 с.
18. Цюпко В. В. Физиологические основы питания молочного скота / В. В. Цюпко. – К. : Урожай, 1984. – 152 с.



Навчальне видання

Дехтяр Юрій Франкович

# ГОДІВЛЯ ТВАРИН І ТЕХНОЛОГІЯ КОРМІВ

*курс лекцій*

Відповідальний за випуск: М. І. Гиль

Технічний редактор: Ю. Ф. Дехтяр

Формат 60x84 1/16. Ум. друк. арк. 8.

Тираж 20 прим. Зам. № \_\_\_\_

Надруковано у видавничому відділі  
Миколаївського національного аграрного університету  
54020, м. Миколаїв, вул. Паризької Комуни, 9  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 4490 від 20.02.2013 р.