

УДК 636.2.084

DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.135.1.19>

АМІНОКИСЛОТНЕ ЖИВЛЕННЯ У СИСТЕМАХ NRC І CNCPS: ОГЛЯД

Бернацький А.О. – аспірант кафедри годівлі, розведення тварин та збереження біорізноманіття,

Поліський національний університет

Борщенко В.В. – д.с.-г.н.,

професор кафедри годівлі, розведення тварин та збереження біорізноманіття,

Поліський національний університет

Лавринюк О.О. – к.с.-г.н.,

доцент кафедри годівлі, розведення тварин та збереження біорізноманіття,

Поліський національний університет

У статті розглянуто основні аспекти протеїнового живлення дійних корів. Оптимізація раціонів молочних корів потребує як точного розрахунку потреб, так і точного визначення вмісту обмінного протеїну в кормах. Для того, щоб підвищити ефективність його використання, знизити потреби в азоті та кількість невикористаного азоту, що виводиться з організму, необхідно також знати його амінокислотний профіль. Зазвичай потреби великої рогатої худоби в протеїні виражалися у відсотках від добового раціону. Проаналізовані зміни, які були внесені в оновлені версії потреб в поживних речовин молочної худоби Національною науково-дослідною радою США (National Research Council, NRC) та Корнельською системою чистих вуглеводів і протеїну (Cornell Net Carbohydrate and Protein System, CNCPS). Редакція NRC вийшла в 2001 році, в яку була включена модель процесів розщеплення кормового протеїну для обчислення доступних, потенційно доступних і недоступних білкових фракцій. Корнельська система чистих вуглеводів і протеїну вперше була представлена у 1992–1993 рр., в яку протягом наступних 15 років вносилися зміни та доповнення. Ціллю процесу моделювання CNCPS було включення в систему великого масиву знань для пояснення відмінностей у фактичній продуктивності великої рогатої худоби порівняно з прогнозованою, а також підвищення точності прогнозування потреб та нормування кількості обмінної енергії (Metabolizable Energy, ME) та обмінного протеїну (Metabolizable Protein, MP). Краща точність нормування азоту і амінокислот є важливим елементом сучасної годівлі лактуючих корів та покращення рекомендацій щодо встановлення концентрації сирого протеїну (CP) у їх раціонах. Для досягнення продуктивності, яку прогнозує та чи інша система балансування раціонів, необхідно згодувати молочній худобі ту кількість поживних речовин, яку рекомендує система, що використовується. Всі системи нормування містять рекомендації щодо головних амінокислот, що лімітують (лізину і метіоніну), дотримуючись цих рекомендацій, можна скоротити розрив між прогнозованими і фактичними надоями.

Ключові слова: сирий протеїн, обмінний протеїн, амінокислоти, молочна продуктивність, азот.

Bernatskyi A.O., Borshchenko V.V., Lavryniuk O.O. Amino acid nutrition in NRC and CNCPS systems: a review

The article discusses the main aspects of protein nutrition for dairy cows. Optimization of dairy cow rations requires both accurate calculation of needs and precise determination of the content of metabolizable protein in feed. In order to increase the efficiency of its use, reduce nitrogen requirements and the amount of unused nitrogen excreted from the body, it is also necessary to know its amino acid profile. Usually, cattle protein requirements were expressed as a percentage of the daily ration. The changes made to the updated versions of the nutrient requirements for dairy cattle by the National Research Council (NRC) and the Cornell Net Carbohydrate and Protein System (CNCPS) were analyzed. The NRC version was released in 2001, which included a model of feed protein breakdown processes to calculate available, potentially available and unavailable protein fractions. The Cornell Net Carbohydrate and Protein System was first introduced in 1992-1993, and was modified and supplemented over the next 15 years. The goal of the CNCPS modeling process was to incorporate a large body of knowledge into the system to explain differences in actual cattle performance compared to predicted performance, and to

improve the accuracy of predicting and rationing Metabolizable Energy (ME) and Metabolizable Protein (MP) requirements. Improved accuracy of nitrogen and amino acid rationing is an important element of modern lactating cow nutrition and improved recommendations for crude protein (CP) concentrations in their diets. To achieve the performance predicted by a particular rationing system, it is necessary to feed dairy cattle the amount of nutrients recommended by the system in use. All rationing systems contain recommendations for the main limiting amino acids (lysine and methionine), and by following these recommendations, the gap between predicted and actual milk yields can be reduced.

Key words: *crude protein, metabolizable protein, amino acids, milk production, nitrogen.*

Актуальність досліджень. Традиційно потреби великої рогатої худоби в протеїні, рекомендовані Національною науково-дослідною радою США (National Research Council, NRC), виражалися у відсотках від добового раціону, оскільки більшість досліджень з годівлі представляла собою визначення відповідної реакції тварин на той чи інший відсоток протеїну в кормі. Сьома, остання редакція NRC, вийшла 2001 року [1]. У цю версію системи була включена модель процесів розщеплення кормового протеїну для обчислення доступних, потенційно доступних і недоступних білкових фракцій.

Корнельська система чистих вуглеводів і протеїну (Cornell Net Carbohydrate and Protein System, CNCPS) вперше побачила світ у 1992–1993 рр., протягом наступних 15 років у неї вносилися зміни та доповнення [10; 11]. Як було заявлено, «одною з цілей процесу моделювання CNCPS було включення в систему великого масиву знань для пояснення відмінностей у фактичній продуктивності великої рогатої худоби порівняно з прогнозованою, а також підвищення точності прогнозування потреб та нормування кількості обмінної енергії (Metabolizable Energy, ME) та обмінного протеїну (Metabolizable Protein, MP)» [11, с. 6362].

В цьому зв'язку метою нашої роботи було аналіз літературних першоджерел у напрямку нормування амінокислот і азоту, а також для з'ясування їх потреб корів при складанні раціонів.

Аналіз літературних джерел

Протеїнове живлення. Основні завдання протеїнового живлення молочних корів – це, по-перше, забезпечення достатньої кількості протеїну, що розщеплюється в рубці (РП, Rumen Degradable Protein, RDP) і небілкових азотовмісних сполук (НАС, Non-Protein Nitrogen, NPN) спільно з ферментованими вуглеводами для максимального синтезу мікробного сирого протеїну та оптимізація роботи рубця. По-друге, забезпечення належної кількості та якості нерозщеплюваного або транзитного протеїну (НРП, Rumen Undegradable Protein, RUP) для задоволення потреб тварини у незамінних амінокислотах.

У NRC 2001 для визначення РП і НРП використовується змінне значення протеїну, що розщеплюється в рубці, засноване на даних про ферментацію протеїну, отриманих методом *in situ* (інкубування в рубці). Розрахунок проводиться на підставі наведених нижче формул:

$$[\text{РП} = a + b * (\text{kd}/(\text{kd} + \text{kp}))]$$

$$[\text{НРП} = b * (\text{kp}/(\text{kd} + \text{kp})) + c]$$

де *kd* – швидкість перетравлення, *kp* – швидкість проходження через рубець, *a* – розчинний протеїн, *b* – потенційний РП і *c* – неперетравний протеїн.

Було розроблено три формули з метою оцінки швидкості проходження кормів через рубець (%/ч); корми при цьому поділяються на три категорії: концентрати, сухі корми та вологі корми.

Для НРП всіх кормів було використано константа значення перетравності, що дорівнює 80%. Вихід мікробного сирого протеїну був визначений у розмірі 130 грамів на кг загальної суми поживних речовин, що перетравлюються (TDN, Total Digestible Nutrient) при значенні перетравності в 80% (тобто 64% ефективності).

У CNCPS версії 6.5.5 прогнозований ступінь проходження грубих кормів розраховується за формулою для грубих кормів та клітковини з NorFor, а для концентратів та рідких кормів використовується формула Seo et al., яка була виведена на основі тієї ж бази даних, за якою складалася формули NRC 2001 для молочної худоби [9, с. 74; 12, с. 180].

Останні версії програмного забезпечення для розрахунку раціонів AMTS BPH (Agricultural Modeling and Training Systems – Системи моделювання та навчання у сільському господарстві, США) та NDS (Nutritional Dynamic System – Динамічна система годівлі, Італія) використовують оновлені дані CNCPS версії 6.5.5.

Обмінний протеїн та молочна продуктивність

Обмінний протеїн (ОП) NRC 2001 визначається як сума мікробного, нерозщеплюваного в рубці і ендogenous сирого протеїну. У CNCPS ОП є сумою мікробного та нерозщеплюваного протеїну. По суті, саме обмінний протеїн, отриманий з амінокислот, що перетравлюються в тонкому кишечнику, і є джерелом поживних речовин для покриття потреб для лактації, підтримки життя, росту і вагітності. Однак для розрахунку обмінних амінокислот у раціоні молочної корови необхідно, по-перше, визначити амінокислотний профіль протеїну, що використовується в раціоні, і, по-друге, оцінити ефективність його використання коровою.

В обох системах потреби в обмінному протеїні для лактації (ОПЛ або MP1, Metabolizable Protein for Lactation) розраховуються виходячи з фіксованого значення ефективності конверсії ОП в чистий протеїн, що дорівнює 67%:

1. NRC 2001: ОПЛ = Чистий протеїн / 0,67.
2. CNCPS вер. 6.5: ОПЛ = Істинний протеїн / 0,67.

Використання фіксованого значення ефективності конверсії обмінного протеїну для лактації може призвести до завищення або заниження оцінки потенційної молочної продуктивності ОП.

NRC 2001: на малюнок 1 показані відмінності між фактичним та прогнозованим виробництвом молока, про що йшлося вище. Крім енергії, виробництво молока може більшою мірою бути обмежене концентрацією обмінного лізину та метіоніну в ОП (малюнок 2 та 3).

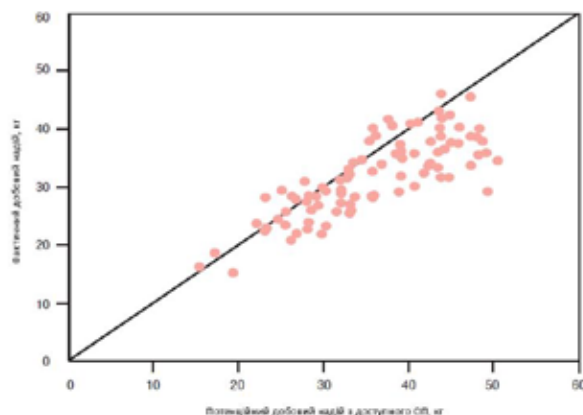


Рис. 1. Фактичне виробництво молока у порівнянні з прогнозом на підставі кількості обмінного протеїну (ОП). Дані 25 досліджень, 100 раціонів годівлі [1]

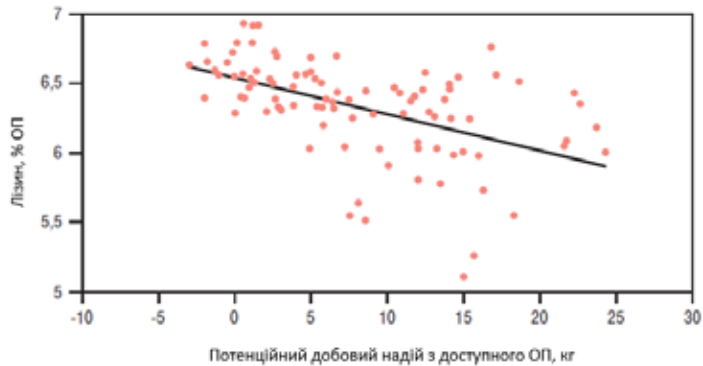


Рис. 2. Різниця між фактичним та потенційним виробництвом молока з обмінного протеїну (ОП), залежно від прогнозу концентрації лізину в ОП. Дані 25 досліджень, 100 раціонів годівлі [1]. Лінія регресії: $y = 6.54 - 0.026x$

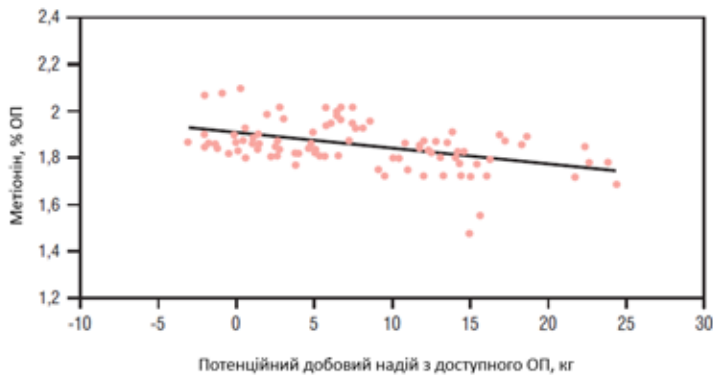


Рис. 3. Різниця між фактичним та потенційним виробництвом молока з обмінного протеїну (ОП), залежно від прогнозу концентрації метіоніну в ОП. Дані 25 досліджень, 100 раціонів годівлі [1]. Лінія регресії: $y = 1.90 - 0.0067x$

Для підвищення точності прогнозування потреб в енергії, протеїні та амінокислотах випускалися оновлені версії CNCPS. В останню версію CNCPS 6.5.5 змін щодо сумарної ефективності використання обмінного протеїну не вносилося через припущення про те, що молочна продуктивність більше залежить від рівня обмінної енергії (ОЕ), ніж від кількості ОП. При цьому були введені нові рекомендації щодо вмісту лізину та метіоніну в ОП, 7% та 2,6% відповідно Van Amburgh et al. [11, с. 6369].

Незамінні амінокислоти

Для оцінки оптимальних кількостей незамінних амінокислот в обмінному протеїні NRC (2001) застосовувався непрямий підхід «доза-відповідь», який був запропонований Rulquin et al. [6, с. 70]. За результатами цього дослідження NRC (2001) розробив рекомендації щодо вмісту лізину та метіоніну в ОП для максимального виходу та концентрації молочного білка. Whitehouse et al. оновили ці значення для NRC, AMTS та CPM (див. таблицю 1) [13; 14].

Таблиця 1

**Порівняння старих та нових значень профілів амінокислот деяких
кормових інгредієнтів у бібліотеці кормів CNCPS.
Старі значення виражені у % нерозчинного залишку буферного розчину.
Нові значення виражені у % СП**

Амінокислоти, % СП		Метіонин	Лізин	Аргінін	Треонінін	Лейцин	Ізолейцин	Валін	Гістидин	Фенілаланін	Триптофан
Сіно люцерни, 17% СП	Старе	0.7	6.0	6.4	5.0	9.3	6.0	7.1	2.6	6.3	1.8
	Нове	1.3	4.8	4.2	4.0	6.7	3.9	5.0	1.9	4.6	1.4
Кукурузний силос	Старе	0.8	2.1	1.9	2.1	6.4	2.4	3.2	1.1	2.9	0.1
	Нове	1.6	2.8	2.3	3.4	8.5	3.4	4.5	1.7	3.9	0.7
Кров'яна мука	Старе	1.1	9.3	5.0	4.7	13.4	0.9	9.1	6.5	7.9	1.9
	Нове	1.2	8.7	4.3	4.6	12.3	1.1	8.2	5.9	6.8	1.4
Сосний шрот, 47.5% СП	Старе	1.3	6.5	7.7	4.8	8.7	4.0	4.4	2.7	5.2	1.4
	Нове	1.3	6.1	7.3	3.9	7.6	4.5	4.7	2.6	5.1	1.3
Рапсова макуха	Старе	1.4	6.7	6.8	4.9	8.0	4.9	6.4	4.0	4.7	1.2
	Нове	2.1	5.7	6.1	4.4	7.0	4.2	5.3	2.6	4.0	1.5

У CNCPS версії 6.5.5 в базу даних по кормах були внесені нові значення амінокислотних профілів (таблиця 1) (Higgs et al., 2015), а також значення сукупної ефективності використання незамінних амінокислот на підтримку життя та лактацію (таблиця 2) [5, с. 6350; 11, с. 6369].

Таблиця 2

**Значення ефективності використання амінокислот (у %) згідно
O'Connor et al. і сукупна ефективність використання амінокислот (в %)
на підтримання життя та лактацію за розрахунками Doepel et al.
і Lapierre et al. [2; 4, с. 1281; 7, с. 1309]**

Амінокислота	CNCPS версія 6.0		CNCPS версія 6.5
	Підтримання життя	Лактація	Сукупна ефективність
Метіонин	85	100	66
Лізин	85	82	69
Аргінін	85	35	58
Треонін	85	78	66
Лейцин	85	72	61
Ізолейцин	85	66	67
Валін	85	62	66
Гістидин	85	96	76
Фенілаланін	85	98	57
Триптофан	85	85	65
Van Amburgh et al., (2015). O'Connor et al. (1993) Doepel et al. (2004) і Lapierre et al. (2007)			

Найбільш правильну оцінку ефективності амінокислот можна отримати при нейтральному балансі енергії (без надлишку чи нестачі). Крім того, в моделі не враховуються зміни ефективності через переогодовування або недоогодовування амінокислотами, оскільки передбачається, що користувач балансуватиме раціон виключно за розрахованими нормами.

Потреби та ефективність використання лізину та метіоніну засновані на оцінці потреб та кількості, що надходять з кормами амінокислот, а також на співвідношенні концентрації лізину та метіоніну (2,69:1). Були встановлені деякі взаємозв'язки, які дозволяють балансувати раціон найбільш лімітуючими амінокислотами виходячи з кількості доступної енергії. Van Amburgh запропонував

розраховувати метіонін на основі обмінної енергії. Було встановлено, що на 1 Мкал (4,187 МДж) ОЕ лактуючим коровам потрібно 1,12–1,15 г метіоніну [11].

На малюнку 4 видно, що молочна продуктивність корови може залишатися постійною при нижчому споживанні СП, єдина відмінність – це кількість виділеного азоту (вища ефективність його використання).

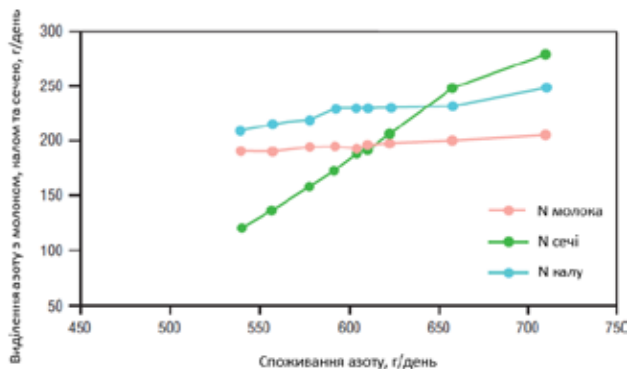


Рис. 4. Виділення азоту з молоком, калом та сечею в залежності від кількості спожитого азоту у лактуючих корів за контрольованих умов енергії як першого лімітуючого фактора. Продуктивність піддослідних корів становила близько 40 кг молока за споживання приблизно 25 кг СВ щодня з раціонами, що містять від 14 до 19% СП [11, с. 6374]

Практичний приклад: припустимо, що потреби корови в енергії становлять 60 Мкал/день, тоді кількість обмінного метіоніну на підтримку синтезу молочного білка становитиме $1,12 * 60 = 67,2$ г. У такому разі потреби в лізині можна обчислити за співвідношенням лізину та метіоніну, що становить 2,69 до 1: $67,2 * 2,69 = 181$ г обмінного лізину.

Висновки. Для отримання продуктивності, яку прогнозує та чи інша система балансування раціонів, необхідно згодувати молочній худобі ту кількість поживних речовин, яку рекомендує система, що використовується. Всі системи нормування містять рекомендації щодо головних амінокислот, що лімітують (лізину і метіоніну), дотримуючись цих рекомендацій, можна скоротити розрив між прогнозованими і фактичними надоями.

Ефективність використання обмінного протеїну впливає не тільки на молочну продуктивність або вихід молочного білка, але також і на стан здоров'я, репродуктивні функції та рентабельність.

Збільшення кількості сирого протеїну в раціоні для задоволення потреб у незамінних амінокислотах – широко застосовувана практика багато років. Така практика призводить до зниження ефективності використання обмінного протеїну і збільшення кількості невикористаного азоту, що виводиться з сечею, калом і молоком. Включення до раціону амінокислот, захищених від руйнування в рубці, є найбільш ефективним рішенням для задоволення потреб тварин у незамінних амінокислотах без збільшення кількості сирого протеїну в раціоні.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. NRC – National Research Council. Nutrient requirements of dairy cattle. 7th ed. Nutrient requirements of domestic animals. *National Academy Press, Washington, DC*, 2001.
 2. Lapierre, H., Lobley, G. E., Quillet, D. R., Doepel, L., and Pacheco, D. A. Amino acid requirements for lactating dairy cows: Reconciling predictive models and biology. 2007, Pages 39–60 in Proc. *Cornell Nutr. Conf., Dept. Anim. Sci., Cornell Univ., Ithaca, NY*.
 3. Van Amburgh, M. E., Foskolos, A., and Higgs, R. J. Balancing diets for growing and lactating dairy cattle using the CNCPS v6.5: What's changed and implications of use. *October 2015, Conference: 77th Cornell Nutrition Conference For Feed Manufacturers, At Syracuse, NY*
 4. Doepel, L., Pacheco, D., Kennelly, J. J., Hanigan, M. D., Lopez, I. F., and Lapierre, H. Milk protein synthesis as a function of amino acid supply. *J. Dairy Sci.* 8. 2004. pp. 1279–1297.
 5. Higgs, R. J., Chase, L. E., Ross, D. A., and Van Amburgh, M. E. Updating the CNCPS feed library and analyzing model sensitivity to feed inputs. *J. Dairy Sci.* 98. 2015. pp. 6340–6360. <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2015-9379>.
 6. Rulquin, H., and Verite, R. Amino acid nutrition of dairy cows: Productive effects and animal requirements. In *Recent Advances in Animal Nutrition*. 1993. pp 55–77. Edited by *Garnsworthy, P. C. and Cole, D. J. A. Nottingham University Press, Nottingham*.
 7. O'Connor, J. D., Sniffen, C. J., Fox, D. G., and Chalupa, W. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: IV. Predicting amino acid adequacy. *J. Anim. Sci.* 71. 1993. pp. 1298–1311.
 8. Offner, A., and Sauvant, D. Comparative evaluation of the Molly, CNCPS, and LES rumen models. *Anim. Feed Sci. Technol.* 112. 2004. pp. 107–130.
 9. Seo, S., Tedeschi, L. O., Lanzas, C., Schwab, C. G., and Fox, D. G. Development and evaluation of empirical equations to predict feed passage rate in cattle. *Anim. Feed Sci. Technol.* 128. 2006. pp. 67–83.
 10. Tylutki, T. P., Fox, D. G., Durbal, V. M., Tedeschi, L. O., Russell, J. B., Van Amburgh, M. E., Overton, T. R., Chase, L. E., and Pell, A. N. Cornell Net Carbohydrate and Protein System: A model for precision feeding of dairy cattle. *Anim. Feed Sci. Technol.* 143. 2008. pp.174–202.
 11. Van Amburgh, M. E., Collao-Saenz, E. A., Higgs, R. J., Ross, D. A., Recktenwald, E. B., Raffrenato, E. L., Chase, E., Overton, T. R., Mills, J. K., and Foskolos, A. The Cornell Net Carbohydrate and Protein System: Updates to the model and evaluation of version 6.5. *J. Dairy Sci.* 98. 2015. pp. 6361–6380. <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2015-9378>
 12. Volden, H. NorFor – The Nordic feed evaluation system. *EAAP Publications No 130, Wageningen Academic Publishers, The Netherlands*. 2011. p. 180.
 13. Whitehouse, N., Schwab, C., Luchini, D., Tylutki, T., and Sloan, B. K. Comparison of optimal lysine and methionine concentrations in metabolizable protein estimated by the NRC (2001), CPM-Dairy (v.3.0.10) and AMTS. Cattle (v.2.1.1) models. *J. Dairy Sci.* 92 (Suppl. 1): 103. (Abstr.). 2009.
 14. Whitehouse, N. L., Schwab, C. G., Tylutki, T., and Sloan, B. K. Optimal lysine and methionine concentrations for milk protein production as determined with the latest versions of Dairy NRC 2001 and AMTS. Cattle. *J. Dairy Sci.* 93 (Suppl. 1): 253. (Abstr.). 2013.
-