УДК 636.087.8:636.033

ВИВІЛЬНЕННЯ ОСНОВНИХ ПОЖИВНИХ РЕЧОВИН ПІД ВПЛИВОМ ЕНЗИМІВ В УМОВАХ IN VITRO

А.В. Гуцол, В.Ю. Новаковська, Н.В. Гуцол, В.В. Гончарук

DOI: 10.31073/kormovyrobnytstvo202191-12

Мета. Дослідити активну дію α -амілази, целюлази, протеази нейтральної на вивільнення основних поживних речовин корму in vitro в інкубаційному середовищі. Завдання – визначити вплив ферментних препаратів на розщеплюваність in vitro поживних речовин корму. **Методи.** У процесі дослідження використано загальнонаукові методи: дедукції, наукової гіпотези та абстрагування. Для визначення хімічного складу кормів використані методики зоотехнічного аналізу та активної дії кормових ензимів. **Результати.** Вирішення питання підвищення ефективності розщеплення та засвоєння поживних і біологічно активних речовин корму, з'ясування умов, суті процесів та механізмів, які визначають інтенсивність перетравлення корму у травному тракті, є визначальним у підвищенні ефективності виробництва. Дослідження показали, що інкубація комбікорму із різними ферментними композиціями мала позитивні наслідки. Внаслідок дії ензимних композицій, укомпонованих з α -амілази, целюлази, протеази нейтральної в різних пропорційних співвідношеннях, отримано позитивний ефект інкубації субстрату комбікорму за вмістом сирого протеїну, сирого жиру, сирій клітковини, сирій золи, безазотистих екстрактивних речовин. Розрахунковим методом визначено поживність комбікорму (перетравний протеїн, обмінну енергію) після введення ензимних композицій. **Висновки.** Наведені дані свідчать про позитивну дію різних композицій ензимів целюлази, α -амілази і нейтральної протеази на рівень розщеплення основних поживних речовин у комбікормі в умовах in vitro. Найефективніший результат виявлено у поєднанні комбікорму з композицією ензимів у кількості 5 г целюлази, 1 г α -амілази, 1 г протеази нейтральної, що призводить до зниження, порівняно з контролем, вмісту сирій клітковини на 3,1%. Натомість підвищується вміст сирого протеїну на 2,0%, сирого жиру – на 0,4%, сирій золи – на 0,5%, БЕР – на 0,2% порівняно з контролем. Відбуваються позитивні зміни показників поживності, підвищуються перетравний протеїн на 9,4%, обмінна енергія – на 2,9% порівняно з контролем.

Ключові слова: ензими, α -амілаза, протеаза, целюлаза, комбікорм, поживність кормів.

Гуцол Анатолій Васильович, доктор с.-г. наук, професор, провідний науковий співробітник відділу польових кормових культур, сіножатей та пасовищ, Інститут кормів та сільського господарства Поділля НААН, пр-кт Юності, 16, м. Вінниця, Україна, 21100, e-mail: Gutsolka@i.ua, ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-1241-182X>

Новаковська Вікторія Юріївна, кандидат с.-г. наук, молодший науковий співробітник Інституту кормів та сільського господарства Поділля НААН, пр-кт Юності, 16, м. Вінниця, Україна, 21100, e-mail: novavy27@gmail.com, ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-8234-7507>

Гуцол Наталія Василівна, кандидат с.-г. наук, доцент, старший науковий співробітник лабораторії моніторингу якості, безпеки кормів та сировини, Інститут кормів та сільського господарства Поділля НААН, пр-кт Юності, 16, м. Вінниця, Україна, 21100, e-mail: Gutsolka@i.ua, ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-1251-619X>

Гончарук Віктор Васильович, кандидат с.-г. наук, старший науковий співробітник, Інститут кормів та сільського господарства Поділля НААН, пр-кт Юності, 16, м. Вінниця, Україна, 21100, ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-3085-3824>

Вступ. Постановка проблеми. Раціон свиней у більшості складається з зернових (пшениця, жито, ячмінь, овес, просо, сорго, пшеничні і рисові висівки та ін.), зернобобових (горох, люпин, вика та ін.), олійних (соняшник, соя, ріпак та ін. у вигляді макух та шротів) культур. Поживні речовини використовуються організмом для формування тканин, органів й систем, створюючи енергетичний

запас, для синтезу продуктів регулювання обмінних процесів [2, 3].

Враховуючи тенденцію щодо максимального підвищення продуктивності тварин і отримання максимального прибутку за рахунок впровадження у систему виробництва тваринництва нових ензимних комплексів, можна викликати метаболічну переорієнтацію організму, зумовлюючи порушення обміну речовин. Тому потрібно досліджувати основні показники метаболізму в умовах хімічної лабораторії задля своєчасної корекції або попередження порушень обміну у тварин. У зв'язку з цим виникла необхідність дослідження основних поживних речовин до і після внесення основних ензимів, що містяться у мультиензимних комплексах [4, 5, 12].

Ензими виконують роль біологічних каталізаторів хімічних реакцій, які відбуваються у всіх живих організмах. Вони також є регуляторами швидкості хімічних реакцій, контролюючи процеси синтезу і розкладу клітин, тканин, органів і всього організму в цілому. Ензими підвищують поживну цінність різних кормів при попаданні у кишково-шлунковий тракт і при цьому знижують витрати. Вони мають профілактичні і лікувальні властивості при різних, особливо шлунково-кишкових захворюваннях [9, 10, 11].

Ензими умовно поділяються на дві категорії: ті, що посилюють ефект дії вироблених організмом тварини (протеази, α -амілази, ліпази) та ті, які організмом не виробляються, не розчиняючи субстрати (целюлозу, β -глюкани, ксилолу, лігнін). Тому у мультиензимні комплекси рекомендують додавати мікробні амілази та протеази, які доповнюють дію ендогенних ензимів шлунково-кишкового тракту, посилюючи травні функції [1, 5].

Загальновідомо, що полісахариди клітинних стінок є комплексом різноманітних сполук, тож для їх розщеплення використовують відповідний комплекс ензимів. Застосування мультиензимних композицій (МЕК) не тільки підвищує засвоєння енергії, а й загальну поживність кормів. Ферменти руйнують стінку клітин рослинних кормів, вивільняючи додаткову кількість білків, а також жирів та крохмалю. В цьому проявляється одна із головних функцій кормових ферментів [10].

Як свідчать експериментальні дослідження Є. Літус, Л. Чорнолатої та В. Новаковської, під дією ензимів в організмі свиней підвищується ефективність перетравності і засвоєння поживних речовин, що суттєво впливає на збільшення енергетичного потенціалу і пластичного матеріалу для підтримання основного обміну та інтенсифікації синтетичних процесів в організмі тварин [8, 15]. Відповідно, використання ферментних препаратів та інших кормових добавок дає можливість цілеспрямовано впливати на продуктивність свиней, якість свинини і ефективніше використання кормів. Тому дослідження у даному напрямку є актуальними.

Мета і завдання досліджень Мета – дослідити активну дію α -амілази, целюлази, протеази нейтральної на вивільнення основних поживних речовин корму *in vitro* в інкубаційному середовищі. Завдання – визначити вплив ферментних препаратів на розщеплюваність *in vitro* поживних речовин корму.

Матеріали і методи. Для отримання композицій ензимів використовувались сухі препаративні форми α -амілази, целюлази, нейтральної протеази. А-амілаза отримана у результаті спрямованої глибинної ферментації *Aspergillus oryzae* з ферментативною активністю 9340 од/г, з робочим температурним діапазоном препарату 30-45°C та оптимальної дії рН 6,0-6,5. Целюлаза продукована системою аеробних грибів *Trichoderma viride* з активністю 540 од/г, за температурним діапазоном роботи 40-60°C, оптимальною рН дією 5,6-6,5. Протеаза нейтральна одержана культивуванням *Bacillus subtilis* з активністю 50 од/г, температурним оптимумом роботи препарату 55-65°C, дії рН 6,0-8,0.

Специфічна целюлаза компенсує відсутність у тваринному моногастричному організмі ензимів, що здатні гідролізувати рослинні некрохмальні полісахариди (целюлозу, лігнін, геміцелюлозу), розрихлює міжклітинну структуру рослинної сировини, сприяє вивільненню поживних речовин із клітин рослинного корму. Вона каталізує розрив α -1,4-глікозидного зв'язку в пектинових речовинах і геміцелюлозах, що приводить до розрихлення цементуючих речовин рослинних кормів і руйнування структур клітинних стінок, тим самим забезпечуючи вивільнення резервних внутрішніх поживних речовин для розщеплення їх ферментними системами організму тварин. А-амілаза прискорює засвоєння легкогідролізованих вуглеводів (крохмалю, цукрів) організмом тварин, розщеплюючи цукри, що містять підряд три або більше залишків глюкози. Протеаза нейтральна – це ензим протеолітичної дії для розщеплення білка з утворенням пептидів і амінокислот [10].

Комбікорм для проведення досліджень складався з зернових інгредієнтів з підвищеним умістом клітковини: 63,0% дерті ячмінної, 27,5% дерті пшеничної, 9,0% макухи соєвої і 0,5% мінерального преміксу. Комбікорм виготовлений за затвердженим рецептом і технічними умовами, в залежності від виду і віку тварин з урахуванням їхнього фізіологічного стану та призначення використовується для свиней м'ясної відгодівлі живою вагою 30-100 кг [6].

Визначення активної дії кормових ензимів здійснювалось згідно ДСТУ 8025:2015. Для створення ідеальних умов рН було підготовлено фосфатний буферний розчин з рН 6,5. Під час проведення дослідження за допомогою термостату підтримувалась постійна температура – 38°C. Після закінчення процесу ферментації вміст колб відфільтровували та проводили висушування корму за температури 105°C до постійної маси впродовж 4-5 годин [7].

Результати досліджень і обговорення. Змінюючи властивості кормів за допомогою ензимів, можна впливати на живлення – посилювати чи уповільнювати перетворення певних речовин у процесі обміну й забезпечувати таким чином утворення тваринами відповідної продукції – молока, м'яса, вовни, яєць запрограмованої якості. Ензими окремо та у композиціях, були введені у відповідних кількостях до складу комбікорму (табл. 1).

Контрольний комбікорм визначали у трьох паралельних вимірюваннях, він відзначався умістом сирого протеїну – 19,5%; сирій клітковини – 9,5%, сирого

жиру – 2,8%, сирової золи – 4,7%, безазотистих екстрактивних речовин – 63,6%.

По-перше, досліджували дію ензимів на комбікорм окремо. При додаванні ензиму целюлази у комбікорм відзначено підвищення сирого протеїну на 2,8% ($P<0,05$), сирого жиру – на 0,5% ($P<0,01$), сирової золи – на 0,2% ($P<0,05$). Також встановлено зменшення вмісту сирової клітковини на 2,8%, БЕР – на 0,7% порівняно з контролем. Ензим α -амілаза у комбікормі сприяв підвищенню вмісту сирого протеїну на 3,4% ($P<0,05$), сирого жиру – на 0,5% ($P<0,05$), проте вміст сирової клітковини зменшувався на 2,4%, БЕР – на 1,6% ($P<0,05$) порівняно з контролем. Нейтральна протеаза у комбікормі сприяла підвищенню сирого протеїну на 0,9%, сирого жиру – на 0,3% ($P<0,05$), проте зменшувався вміст сирової клітковини на 2,6%, БЕР – на 1,9% ($P<0,05$) порівняно з контролем.

Таблиця 1

Вивільнення поживних речовин під впливом ензимів *in vitro* з комбікорму у перерахунку на абсолютно суху речовину, %, $M \pm m$, $n=3$

№	Назва зразка	Протеїн	Жир	Клітковина	Зола	БЕР
1.	Контрольний комбікорм	19,45	2,77	9,49	4,71	63,57
		$\pm 0,48$	$\pm 0,04$	$\pm 0,07$	$\pm 0,24$	$\pm 0,28$
2.	К+2,5 г целюлази	22,24	3,28	6,69	4,89	62,91
		$\pm 0,40^*$	$\pm 0,03^{**}$	$\pm 0,18$	$\pm 0,10$	$\pm 0,63$
3.	К+2,5 г α -амілази	22,84	3,31	7,09	4,75	62,01
		$\pm 0,42^*$	$\pm 0,06^*$	$\pm 0,15$	$\pm 0,06$	$\pm 0,47^*$
4.	К+2,5 г протеази нейтральної	20,31	3,02	6,91	4,31	65,45
		$\pm 0,52$	$\pm 0,03^*$	$\pm 0,17$	$\pm 0,44$	$\pm 0,29$
5.	К+5 г целюлази, 2,5 г α -амілази	21,98	3,25	6,37	4,55	63,85
		$\pm 0,58$	$\pm 0,11$	$\pm 0,29$	$\pm 0,05$	$\pm 0,79$
6.	К+5 г целюлази, 2,5 г α -амілази, 2,5 г протеази нейтральної	19,60	3,00	6,28	5,03	66,09
		$\pm 0,05$	$\pm 0,02$	$\pm 0,20$	$\pm 0,26$	$\pm 0,39^*$
7.	К+5 г целюлази, 1 г α -амілази	20,36	3,03	6,45	5,16	65,00
		$\pm 0,94$	$\pm 0,17$	$\pm 0,22$	$\pm 0,14$	$\pm 1,11$
8.	К+5 г целюлази, 1 г α -амілази, 1 г протеази нейтральної	21,46	3,19	6,40	5,19	63,76
		$\pm 1,60$	$\pm 0,25$	$\pm 0,19$	$\pm 0,40$	$\pm 1,59$

Примітка: * – $P<0,05$; ** – $P<0,01$

Композиція ензимів у кількості 5 г целюлази і 2,5 г α -амілази підвищувала вміст сирого протеїну на 2,5%, сирого жиру – на 0,5%, БЕР – на 0,3%, сирової золи – на 0,2%, проте вміст сирової клітковини зменшився на 3,1% порівняно з контролем. При збагаченні даної композиції додаванням протеази нейтральної у кількості 2,5 г, збільшувався вміст протеїну на 0,2%, сирого жиру – на 0,2%, сирової золи – на 0,3%, БЕР – на 2,5% ($P<0,05$), натомість вміст сирової клітковини зменшувався на 3,2% порівняно з контролем.

Композиція ензимів у кількості 5 г целюлази і 1 г α -амілази сприяла вивільненню вмісту сирого протеїну на 0,9%, сирого жиру – на 0,3%, БЕР – на 1,4%, сирової золи – на 0,5%, проте вміст сирової клітковини зменшився на 3,1% порівняно з контролем. З додаванням протеази нейтральної у кількості 1 г до попередньої композиції збільшувався вміст сирого протеїну на 2,0%, сирого

жиру – на 0,42%, сирій золи – на 0,47%, БЕР – на 0,19%, натомість уміст сирій клітковини зменшувався на 3,1% порівняно з контролем.

Хімічний склад говорить лише про валовий вміст поживних речовин (білків, жирів і вуглеводів). Корм потребує механічної, хімічної та біологічної обробки в шлунково-кишковому відділах кишечника.

Поживність кормів та енергетична потреба визначається у обмінній енергії та у кількості грамів перетравного протеїну. Обмінну енергію визначали розрахунковим шляхом, використовуючи дані вивчення перетравності поживних речовин кормів та раціонів (табл. 2).

Таблиця 2

**Зміни показників поживності 1 кг комбікорму під впливом ензимів *in vitro*,
M±m, n=3**

№	Назва	Натурального		Абсолютно сухого	
		перетравний протеїн, г	ОЕ, МДж	перетравний протеїн, г	ОЕ, МДж
1.	Контрольний комбікорм	128,27	10,18	143,91	11,41
		±1,87	±0,06	±3,58	±0,05
2.	К+2,5 г целюлази	151,55	10,87	164,57	11,80
		±1,41	±0,14*	±2,97*	±0,02*
3.	К+2,5 г α-амілази	152,93	10,69	169,00	11,81
		±2,55**	±0,04*	±3,11*	±0,02*
4.	К+2,5 г протеази нейтральної	139,83	10,93	150,32	11,75
		±1,16*	±0,12*	±3,81	±0,08
5.	К+5 г целюлази, 2,5 г α-амілази	150,31	10,96	162,65	11,86
		±5,09	±0,12*	±4,28	±0,05*
6.	К+5 г целюлази, 2,5 г α-амілази, 2,5 г протеази нейтральної	138,60	11,17	145,08	11,69
		±0,96*	±0,11*	±0,38	±0,05
7.	К+5 г целюлази, 1 г α-амілази	140,14	10,87	150,63	11,69
		±7,90	±0,16	±6,96	±0,06
8.	К+5 г целюлази, 1 г α-амілази, 1 г протеази нейтральної	147,69	10,93	158,78	11,75
		±11,61	±0,16*	±11,86	±0,13

Примітка: * – P<0,05; ** – P<0,01

Відзначено позитивні зміни показників поживності при введенні окремо ензимів целюлази, α-амілази, нейтральної протеази у кількості 2,5 г до 1 кг абсолютно сухого комбікорму. Підвищувався перетравний протеїн – на 12,6%, 14,9% (P<0,01), 4,3% (P<0,05); обмінна енергія – на 3,3%, 3,4% (P<0,05), 2,8% (P<0,05) порівняно з контролем.

Внесення до композицій ензимів 2,5 г целюлази і 2,5 г α-амілази, та з додаванням до аналогічної 2,5 г протеази нейтральної підвищувало перетравний протеїн на 11,53% та 0,81%, обмінну енергію – на 3,73% та 2,33% (P<0,05).

Внесення до композицій ензимів 5 г целюлази і 1 г α-амілази, та з додаванням до аналогічної 1 г протеази нейтральної підвищувало перетравний протеїн на 6,7% та 9,4%, обмінну енергію – на 0,3% та 2,9%.

Висновки. Наведені дані свідчать про позитивну дію різних композицій

ензимів целюлази, α -амілази і нейтральної протеази на рівень розщеплення основних поживних речовин у комбікормі в умовах *in vitro*. Найефективніший результат виявлено у поєднанні комбікорму з композицією ензимів у кількості 5 г целюлази, 1 г α -амілази, 1 г протеази нейтральної, що призводить до зниження, порівняно з контролем, вмісту сирової клітковини на 3,1%. Натомість підвищується вміст сирого протеїну на 2,0%, сирого жиру – на 0,4 %, сирової золи – на 0,5%, БЕР – на 0,2% порівняно з контролем. Відбуваються позитивні зміни показників поживності, підвищується перетравний протеїн на 9,4 %, обмінна енергія – на 2,9% порівняно з контролем. Щоб дослідити та практично обґрунтувати позитивний вплив ензимних добавок на здоров'я та показники продуктивності свиней, необхідно провести численні експерименти.

Список бібліографічних посилань

1. Abella L.B., Agbisit Jr.E.M., Sulabo R.C. Effect of multi-enzyme supplementation on energy concentration, nutrient and fiber digestibilities and growth performance of nursery pigs fed diets with cassava meal. *Philippine Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 2020. 46 (1), p. 42-53.
2. Rho Y., Patterson R., Joye I., Martinez M., Squires E J., Kiarie E.G. Fiber degrading enzymes increased monosaccharides release and fermentation in corn distillers dried grains with solubles and wheat middlings steeped without or with protease. *Translational Animal Science*. 2020. 4(3), p. 153. <https://doi.org/10.1093/tas/txaa153>.
3. Tiwari U.P., Fleming S.A., Rasheed M.S.A., Jha R., Dilger R.N. The role of oligosaccharides and polysaccharides of xylan and mannan in gut health of monogastric animals. *Journal of Nutritional Science*, 2020, V.9, e 21, <https://doi.org/10.1017/jns.2020.14>.
4. Yang J.C., Wang L., Huang Y.K., Zhang L., Gao S., Sun L.H. Effect of a Multi-Carbohydrase and Phytase Complex on the Ileal and Total Tract Digestibility of Nutrients in Cannulated Growing Pigs. *Animals*. 2020, 10(8), p. 1434. <https://doi.org/10.3390/ani10081434>.
5. Гибадуллина Ф.С., Быкова М.Ю. Влияние структурных углеводов кормов на продуктивность бычков. *Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук*. 2012. № 5. С. 68- 70.
6. Довідник з повноцінної годівлі сільськогосподарських тварин. За наук. ред. І.І. Ібатулліна, О.М. Жукорського, М.І. Башенко, В.М. Кандиби, Є.В. Руденко, І.А. Іонова, С.В. Боярчука. 2016. 336 с.
7. ДСТУ 8025:2015 Корми для тварин, сировина для виготовлення повнораціонних композицій. Метод визначення активної дії кормових ферментів. К.: Держспоживстандарт України. 2017. 15 с.
8. Літус Є. Низькопротеїнові раціони. Про аргументи на користь застосування раціонів із мінімальним умістом білка в годівлі свиней. *The Ukrainian FARMER*, 2014. №10. С. 31-32.
9. Марченков Ф., Коптєв В. Кормові ферменти для кращого травлення. *Наше птахівництво*, 2009. № 11. С. 32-33.
10. Гуцол А.В., Кирилів Я.І., Мазуренко М.О., Болоховська В.А. та ін. Нові ферментні препарати у годівлі сільськогосподарських тварин: монографія. Вінниця, 2013. 315 с.
11. Петриченко В., Корнійчук О., Векленко Ю. Наукові основи інтенсифікації виробництва кормів на луках та пасовищах України. *Корми і кормовиробництво*. 2020. № 89. 10-22. <https://doi.org/10.31073/kormovyrobnytstvo202089-01>.
12. Самсонович В.А., Мотузко Н.С., Кудрявцева Е.Н. Особенности активности протеазы и показателей белкового обмена у свиней при интенсивных технологиях выращивания. *Ученые записки учреждения образования «Витебская ордена «Знак Почета» государственная академия ветеринарной медицины: научно-практический журнал»*. 2017. С. 153-158. URL: <http://repo.vsavm.by/handle/123456789/3308>.
13. Феоктистова Н.В., Марданова А.М., Лутфуллин М.Т., Богомольная Л.М. и др. Биопрепараты микробного происхождения в птицеводстве. *Ученые записки Казанского университета. Серия «Естественные науки»*. 2018. № 3(160). С. 395-418.

14. Чорнолата Л.П., Лухач С.М., Найдіна Т.В. Вплив складу клітковини в раціоні свиней на їх продуктивність. *Корми і кормовиробництво*. 2020. № 90. С. 117-124. <https://doi.org/10.31073/kormovyrobnytstvo202090-10>.

15. Чорнолата Л., Новаковська В. Перетравність поживних речовин, конверсія корму та прирости живої маси за додавання до комбікорму ензимних композицій на основі целюлази й амілази свиням на відгодівлі. *Корми і кормовиробництво*. 2020. № 89. С. 194-204. <https://doi.org/10.31073/kormovyrobnytstvo202089-19>.

References

1. Abella L.B., Agbisit Jr.E.M., Sulabo R.C. Effect of multi-enzyme supplementation on energy concentration, nutrient and fiber digestibilities and growth performance of nursery pigs fed diets with cassava meal. *Philippine Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 2020. 46 (1), p. 42-53.

2. Rho Y., Patterson R., Joye I., Martinez M., Squires E J., Kiarie E.G. Fiber degrading enzymes increased monosaccharides release and fermentation in corn distillers dried grains with solubles and wheat middlings steeped without or with protease. *Translational Animal Science*. 2020. 4(3), p. 153. <https://doi.org/10.1093/tas/txaa153>.

3. Tiwari U.P., Fleming S.A., Rasheed M.S.A., Jha R., Dilger R.N. The role of oligosaccharides and polysaccharides of xylan and mannan in gut health of monogastric animals. *Journal of Nutritional Science*, 2020, V.9, P. 21. <https://doi.org/10.1017/jns.2020.14>.

4. Yang J.C., Wang L., Huang Y.K., Zhang L., Gao S., Sun L.H. Effect of a Multi-Carbohydrase and Phytase Complex on the Ileal and Total Tract Digestibility of Nutrients in Cannulated Growing Pigs. *Animals*. 2020, 10(8), p. 1434. <https://doi.org/10.3390/ani10081434>.

5. Gibadullina F.S., Bykova M.Iu. Vliyanie strukturnykh uglevodov kormov na produktivnost bychkov [Influence of structural feed carbohydrates on the productivity of bulls]. *Vestnik Rossiyskoi akademii selskokhoziaistvennykh nauk [Bulletin of the Russian Academy of Agricultural Sciences]*, 2012, no. 5, pp. 68-70 [in Russian].

6. I.I. Ibatullin, O.M. Zhukorskyi, M.I. Bashchenko et al. (2016). Dovidnyk z povnotsinnoi hodivli silskohospodarskykh tvaryn [Handbook of complete feeding of farm animals], 336 p. [in Ukrainian].

7. DSTU 8025:2015 Kormy dlia tvaryn, syrovyna dlia vyhotovlennia povnoratsionnykh kompozytsii. Metod vyznachennia aktyvnoi dii kormovykh fermentiv [State Standard of Ukrain 8025: 2015 Animal feed, raw materials for the manufacture of complete feed compositions. Method for determining the active action of feed enzymes]. Kyiv, Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2017, 15 p. [in Ukrainian].

8. Litus Ye. Nyzkoproteinovi ratsiony. Pro arhumenty na koryst zastosuvannia ratsioniv iz minimalnym umistom bilka v hodivli svynei [Low-protein diets. On the arguments in favor of the use of diets with a minimum protein content in pig feeding]. *The Ukrainian FARMER*, 2014, no. 10, pp. 31-32 [in Ukrainian].

9. Marchenkov F., Koptiev V. Kormovi fermenty dlia krashchoho travlennia [Feed enzymes for better digestion]. *Nashe ptakhivnytstvo [Our poultry farming]*, 2009, no. 11, pp. 32-33 [in Ukrainian].

10. Hutsol A.V., Kyryliv Ya.I., Mazurenko M.O., Bolokhovska V.A. et al. (2013). Novi fermentni preparaty u hodivli silskohospodarskykh tvaryn: monohrafiia [New enzyme preparations in feeding farm animals: monograph]. Vinnytsia, 315 p. [in Ukrainian].

11. Petrychenko V., Korniychuk O., Veklenko Yu. Naukovi osnovy intensyfikatsii vyrobnytstva kormiv na lukakh ta pasovyshchakh Ukrainy [Scientific bases of intensification of fodder production on meadows and pastures of Ukraine]. *Kormy i kormovyrobnytstvo [Feed and feed production]*, 2020, no. 89, pp. 10-22. Available at: <https://doi.org/10.31073/kormovyrobnytstvo202089-01> [in Ukrainian].

12. Samsonovich V.A., Motuzko N.S., Kudriavtseva E.N. Osobennosti aktivnosti proteazy i pokazatelei belkovogo obmena u sviney pri intensivnykh tekhnologiyakh vyrashchivaniya [Features of protease activity and protein metabolism in pigs with intensive breeding technologies]. *Uchenye zapiski uchrezhdeniya obrazovaniya "Vitebskaya ordena "Znak Pocheta" gosudarstvennaya akademiya veterinarnoi meditsyny: nauchno-prakticheskiy zhurnal" [Scientific notes of the educational institution "Vitebsk "Order of Honor" State Academy of Veterinary Medicine: scientific and practical journal]*, 2017, pp. 153-158. Available at: <http://repo.vsavm.by/handle/123456789/3308> [in Russian].

13. Feoktistova N.V., Mardanova A.M., Lutfullin M.T., Bohomolnaia L.M. et al. Biopreparaty mikrobnogo proiskhozhdeniya v pitsevodstve [Biologicals of microbial origin in poultry farming]. *Uchenye*

zapiski Kazanskogo universiteta. Seriya "Yestestvennyie nauki" [Scientific notes of Kazan University. Series "Natural Sciences"], 2018, no. 3(160), pp. 395-418 [in Russian].

14. Chornolata L.P., Lykhach S.M., Naidina T.V. Vplyv skladu klitkovyny v ratsioni svynei na yikh produktyvnist [The influence of fiber composition in the diet of pigs on their productivity]. Kormy i kormovyrobnytstvo [Feed and feed production], 2020, no. 90, pp. 117-124. Available at: <https://doi.org/10.31073/kormovyrobnytstvo202090-10> [in Ukrainian].

15. Chornolata L., Novakovska V. Peretravnist pozhyvnykh rechovyn, konversiiia kormu ta pryrosty zhyvoi masy za dodavannia do kombikormu enzymnykh kompozytsii na osnovi tseliulazy y amilazy svyniam na vidhodivli [Digestibility of nutrients, feed conversion and live weight gain by adding to the feed enzyme compositions based on cellulase and amylase for fattening pigs]. Kormy i kormovyrobnytstvo [Feed and feed production], 2020, no. 89, pp. 194-204. Available at: <https://doi.org/10.31073/kormovyrobnytstvo202089-19> [in Ukrainian].

Hutsol A.V., Novakovska V.Yu., Hutsol N.V., Honcharuk V.V. Release of main nutrients under the influence of enzymes in vitro conditions

Purpose. To investigate the active effect of α -amylase, cellulase, neutral protease on the release of essential nutrients in vitro in the incubation medium. The task is to determine the effect of enzyme preparations on the in vitro decomposition of feed nutrients. **Methods.** In the process of the research general scientific methods were used: deduction, scientific hypothesis and abstraction. Methods of zootechnical analysis and active action of feed enzymes were used to determine the chemical composition of feed. **Results.** Solving the problem of improving the efficiency of digestion and assimilation of nutrients and biologically active substances of feed, clarifying the conditions, nature of processes and mechanisms that determine the intensity of digestion of feed in the digestive tract, is crucial in improving production efficiency. Studies have shown that the incubation of feed with different enzyme compositions had positive results. Due to the action of enzyme compositions including α -amylase, cellulase, neutral protease in different proportions, a positive effect of incubation of feed substrate on the content of crude protein, crude fat, crude fiber, crude ash, nitrogen-free extractives has been achieved. The nutritional value of compound feed (digestible protein, metabolic energy) after the introduction of enzyme compositions was determined by the calculation method. **Conclusions.** These data indicate a positive effect of different compositions of enzymes of cellulase, α -amylase and neutral protease on the level of the breakdown of essential nutrients in feed in vitro. The most effective result was found in the combination of feed with an enzyme composition in the amount of 5 g of cellulase, 1 g of α -amylase, 1 g of neutral protease, which leads to a decrease of crude fiber content by 3.1% compared to the control. Instead, the content of crude protein increased by 2.0%, crude fat – by 0.4%, crude ash – by 0.5%, BER – by 0.2% compared to the control. There are positive changes in nutritional value, digestible protein – by 9.4%, metabolic energy – by 2.9% compared to the control.

Key words: *enzymes, α -amylase, protease, cellulase, compound feed, nutritional value of feed.*

Hutsol Anatoliy V., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Leading Researcher of the Department of Field Forage Crops, Hayfields and Pastures, Institute of Feed Research and Agriculture of Podillya of NAAS, 16 Yunosti Ave., Vinnytsia, Ukraine, 21100, e-mail: Gutsolka@i.ua, ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-1241-182X>

Novakovska Victoria Yu., Candidate of Agricultural Sciences, Junior Researcher of the Institute of Feed Research and Agriculture of Podillya of NAAS, 16 Yunosti Ave., Vinnytsia, Ukraine, 21100, e-mail: novavy27@gmail.com, ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-8234-7507>

Hutsol Natalia V., Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Senior Researcher of the Laboratory for Quality Monitoring, Feed Safety and Raw Materials, Institute of Feed Research and Agriculture of Podillya of NAAS, 16 Yunosti Ave., Vinnytsia, Ukraine, 21100, e-mail: Gutsolka@i.ua, ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-1251-619X>

Honcharuk Viktor V., Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher, Institute of Feed Research and Agriculture of Podillya of NAAS, 16 Yunosti Ave., Vinnytsia, Ukraine, 21100, ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-3085-3824>

Гуцол А.В., Новаковская В.Ю., Гуцол Н.В., Гончарук В.В. Высвобождение основных питательных веществ под воздействием энзимов в условиях in vitro

Цель. Исследовать активное действие α -амилазы, целлюлазы, протеазы нейтральной на высвобождение основных питательных веществ корма in vitro в инкубационной среде. Задача – определить влияние ферментных препаратов на расщепляемость in vitro питательных веществ корма. **Методы.** В процессе исследования использованы общенаучные методы: дедукции, научной гипотезы и абстрагирования. Для определения химического состава кормов использованы методики зоотехнического анализа и активного действия кормовых ферментов. **Результаты.** Решение вопроса повышения эффективности расщепления и усвоения питательных и биологически активных веществ корма, выяснение условий, сути процессов и механизмов, которые определяют интенсивность переваривания корма в пищеварительном тракте, является определяющим в повышении эффективности производства. Исследования показали, что инкубация комбикорма с различными ферментными композициями имела положительные последствия. В результате действия энзимных композиций, скомпонованных из α -амилазы, целлюлазы, протеазы нейтральной в различных пропорциональных соотношениях, получен положительный эффект инкубации субстрата комбикорма с содержанием сырого протеина, сырого жира, сырой клетчатки, сырой золы, безазотистых экстрактивных веществ. Расчетным методом определены питательность комбикорма (переваримый протеин, обменная энергия) после введения энзимных композиций. **Выводы.** Приведенные данные свидетельствуют о положительном действии различных композиций энзимов целлюлазы, α -амилазы и нейтральной протеазы на уровень расщепления основных питательных веществ в комбикорме в условиях in vitro. Самый эффективный результат обнаружен в сочетании комбикорма с композицией энзимов в количестве 5 г целлюлазы, 1 г α -амилазы, 1 г протеазы нейтральной, что приводит к снижению, по сравнению с контролем, содержания сырой клетчатки на 3,1%. Зато повышается содержание сырого протеина на 2,0%, сырого жира – на 0,4%, сырой золы – на 0,5%, МАР – на 0,2% по сравнению с контролем. Происходят позитивные изменения показателей питательности, повышаются переваримый протеин на 9,4%, обменная энергия – на 2,9% по сравнению с контролем.

Ключевые слова: энзимы, α -амилаза, протеаза, целлюлаза, комбикорм, питательность кормов.

Гуцол Анатолий Васильевич, доктор с.-х. наук, профессор, ведущий научный сотрудник отдела полевых кормовых культур, сенокосов и пастбищ, Институт кормов и сельского хозяйства Подолья НААН, пр-кт Юности, 16, г. Винница, Украина, 21100, e-mail: Gutsolka@i.ua, ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-1241-182X>

Новаковская Виктория Юрьевна, кандидат с.-х. наук, младший научный сотрудник Института кормов и сельского хозяйства Подолья НААН, пр-кт Юности, 16, г. Винница, Украина, 21100, e-mail: novavy27@gmail.com, ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-8234-7507>

Гуцол Наталья Васильевна, кандидат с.-х. наук, доцент, старший научный сотрудник лаборатории мониторинга качества, безопасности кормов и сырья, Институт кормов и сельского хозяйства Подолья НААН, пр-кт Юности, 16, г. Винница, Украина, 21100, e-mail: Gutsolka@i.ua, ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-1251-619X>

Гончарук Виктор Васильевич, кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник, Институт кормов и сельского хозяйства Подолья НААН, пр-кт Юности, 16, г. Винница, Украина, 21100, ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-3085-3824>

Стаття надійшла до редакції: 14.05.2021

Фахове рецензування: 24.05.2021

Бібліографічний опис для цитування:

Гуцол А.В., Новаковська В.Ю., Гуцол Н.В., Гончарук В.В. Вивільнення основних поживних речовин під впливом ензимів в умовах in vitro. Корми і кормовиробництво. 2021. № 91. С. 137-145. <https://doi.org/10.31073/kormovyrobnytstvo202191-12>