

УДК 637.072

ВИВЧЕННЯ ВПЛИВУ ЕКСТРУЗІЙНОЇ ОБРОБКИ НА АМІНОКИСЛОТНИЙ СКЛАД СУХИХ ТА РІДКИХ КОРМОВИХ СУМІШЕЙ

Радченко Н. Л.¹, к.т.н., с.н.с.<https://orcid.org/0000-0002-5315-1609>Іваницький Г. К.^{1,2}, д.т.н., пр.н.с.<https://orcid.org/0000-0002-0486-2359>Целень Б. Я.¹, к.т.н., пр.н.с.<https://orcid.org/0000-0001-5213-0219>Шейко Т. В.³ к.т.н., учена секретарка,<https://orcid.org/0000-0002-0559-1335>Недбайло А. Є.¹, к.т.н., с.н.с.<https://orcid.org/0000-0002-8590-5823>Гоженко Л. П.¹, к.т.н., с.н.с.<https://orcid.org/0000-0002-8999-1917>¹Інститут технічної теплофізики НАН України, Київ, Україна²Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут ім. І. Сікорського, Київ, Україна

³Інститут продовольчих ресурсів НААН, Київ, Україна<https://doi.org/10.31073/foodresources2024-22-15>

Предмет. Підвищення ефективності роботи екструзійного обладнання за рахунок розширення сфери його застосування, зокрема, виробництва рідких та пастоподібних кормових сумішей. Проаналізувавши сучасні тенденції переходу на технології рідкого відгодовування, наявне обладнання і його недоліки, було запропоновано на базі екструдера проводити змішування і стерилізацію усіх компонентів суміші, використовуючи теплоту екструзії, яка акумулюючись в частиках екструдату під час обробки вивільняється на виході з екструдера. **Мета.** Вивчення механізму впливу теплоти, використаної для змішування і стерилізації на якість отримуваної пастоподібної суміші, зокрема, амінокислотний склад, мікробіологічний показник та активність уреаз. **Методи.** Кількісне порівняння амінокислотного складу зразків отриманої пастки та сипучого екструдату з визначенням у них мікробіологічних показників і рівня уреаз. **Результати.** Показано ефективність пропонованого способу змішування, яка підтверджена кількісним зростанням незамінних амінокислот у пастці порівняно з сипучим екструдатом та соєю до обробки. Зокрема, найбільш суттєво зросла кількість гістидину на 10,3%, треоніну на 10,0%, лізину на 8,2%, метіоніну на 7,3% і ізолейцину на 6,2%. Встановлено також кількісне збільшення аспарагінової кислоти на 9%. Разом з цим в обох дослідних зразках в однаковій мірі спостерігалось зниження кількості проліну на 8,9% та глютамінової кислоти на 10,5% в пастці і на 8,9% в зразках екструдату. Ефективність пропонованого способу доведена інактивацією уреаз в пастці – 0,15ΔрН та мікробіологічним показником, який показав незначне зростання з 2 КУО до 14 КУО протягом 30 діб. Відсутність в досліджуваних зразках ентеропатогенних штампів кишкової палички, токсиноутворюючих анаеробів і сальмонел свідчить про досягнення стерилізації усіх компонентів суміші. **Сфера застосування результатів.** Одержані результати можуть використовуватись в технологіях виробництва пастоподібних та рідких кормів.

Ключові слова: екструдер, екструдат, соя, пастоподібна суміш, амінокислоти.

STUDY OF THE INFLUENCE OF EXTRUSION PROCESSING ON THE AMINO ACID COMPOSITION OF DRY AND LIQUID FEED MIXTURES

Nataliya Radchenko¹ PhD, Senior researcher<https://orcid.org/0000-0002-5315-1609>Georgiy Ivanitsky^{1,2} D.Sc., Leading researcher<https://orcid.org/0000-0002-0486-2359>Bogdan Tselen¹, PhD, Leading researcher<https://orcid.org/0000-0001-5213-0219>Tamila Sheiko³, PhD, Engineering, Scientific Secretary<https://orcid.org/0000-0002-0559-1335>Anna Nedbailo¹, PhD, Senior researcher<https://orcid.org/0000-0002-8590-5823>

Liubov Gozhenko¹, PhD, Senior researcher<https://orcid.org/0000-0002-8999-1917>¹Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine²National Technical University of Ukraine

“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine

³Institute of Food Resources of NAAS, Kyiv, Ukraine

Subject. The issue of the possibility of increasing the efficiency of the extrusion equipment due to expanding the scope of its application, in particular, the production of liquid and pasty feed mixtures, was considered. To do this, after analyzing the current trends of transition to liquid feeding technologies, the available equipment and its shortcomings, it was proposed to mix and sterilize all the components of the mixture based on extruder using the heat of extrusion, which accumulates in the extrudate particles during processing and is released at the exit from the extruder. **Purpose.** To ensure the effectiveness of the proposed method, a mechanism for injecting the heat of vicoric acid for mixing and sterilizing the washed paste-like mixture, juice, amino acid storage, Microbiological indicator and urease activity. **Methods.** When performing the research, a quantitative comparison of the amino acid composition of the samples of the obtained paste and loose extrudate was carried out with microbiological indicators and the level of urease determined by them. **Results.** The effectiveness of the proposed mixing method has been shown, which is confirmed by the large increase in essential amino acids in the paste mixed with effervescent extrudate and soybean before processing. In particular, the amount of histidine increased most significantly by 10.3%, threonine by 10.0%, lysine by 8.2%, methionine by 7.3%, and isoleucine by 6.2%. A quantitative increase of aspartic acid by 9% was also established. At the same time, both experimental samples showed a decrease for proline by 8.9% and glutamic acid by 10.5% in the paste and by 8.9% in the extrudate samples. The effectiveness of the proposed method was also confirmed by the urease inactivation index in the paste – 0.15ΔpH and the microbiological index, which showed a slight increase from 2 CFU to 14 CFU after 30 days of storage. The absence of enteropathogenic strains of *E. coli*, toxin-producing anaerobes and *Salmonella* in the studied samples indicates the sterilization of the mixture. **Scope of results.** Obtained can be used in the agricultural sector, in technologies for the production of pasty mixture and liquid feed.

Key words: extruder, extrudate, soy, pasty mixture, amino acids.

Постановка проблеми. Впровадження раціональних технологій виробництва нових кормових продуктів поліпшеної якості та енергетичної цінності, які за нинішніх умов відповідають вимогам щодо енергозбереження є одним з актуальних завдань галузі виробництва кормів. У даному напрямку одним із найбільш затребуваних вважається використання високотемпературної екструзії, яка дозволяє створювати умови обробки, що не можуть бути реалізовані в іншому переробному обладнанні. До них належать в першу чергу регульовані тиск, механічні навантаження (деформації зсуву), температурний режим переробки, відсутність контакту з навколишнім середовищем, високий рівень стерилізації. Управляючи цими параметрами, можна обробляти широкий спектр сировини та впливати на глибину структурних і фізико-хімічних перетворень у ній, отримуючи різноманітні екструдати або багатокомпонентні гранульовані кормові суміші.

Попри усі перелічені переваги екструзійної обробки актуальним завданням залишається наступний етап виробництва – організація процесу змішування екструдату з іншими компонентами, оскільки найчастіше корми є багатокомпонентною сумішшю, яка може включати одночасно рослинну сировину, рідкі продукти переробки молока, різноманітні тваринні жири, рослинні олії, вітаміни і т. д. У зв'язку з цим, виникає ряд труднощів пов'язаних з природою, консистенцією і властивостями кожного з компонентів та, як наслідок, виникненням проблеми при виборі способу їх змішування та дотримання умов стерильності процесу виробництва. У підсумку ці фактори можуть суттєво впливати на загальну енергетичну цінність корму, його консистенцію, мікробіологічний показник та на термін зберігання. Тому важливим є не лише вибір сировини, параметрів її термічної обробки, а і умови змішування для подальшого стабільного зберігання продукту.

При невеликій кількості вологи та жирів (до 40%) у кормі, проблема вирішується шляхом напilenня компонентів на екструдат в умовах вакууму. Процес вважається

ефективним завдяки пористій структурі екструдату, яка добре утримує рідину. За даними деяких авторів [1] існує суттєва залежність від впливу температури екструдованих гранул і величини розрідження у вакуумному напілювальному обладнанні на коефіцієнт витікання жирів. З урахуванням цих особливостей в технологічні схеми включають наступні етапи: підготовку зернових компонентів, дозування та подрібнення для наступного змішування і кондиціонування, екструзію, сушіння (за потреби), безпосередньо процес вакуумного напilenня з наступним охолодженням та пакування. При цьому деякі операції та їх послідовність можуть дещо змінюватись. Наприклад, за технологією “Buhler AG” спочатку проводиться змішування компонентів з наступним їх подрібненням. Розробники іншої технологічної лінії “Amandus Kahl” віддають перевагу комбінуванню процесів змішування в потоці з плавним регулюванням кондиціонування, а також іншій модифікації екструдерів, відмінність яких полягає в гідравлічно рухомій матриці. На принципі вакуумного напilenня побудована лінії “Pegasus Vacuum Coater”, “Rotospray”, “Amandus Kahl”, а також обладнання “Ottevanger”, за допомогою якого можна вводити не лише жири, а й вітаміни і ензими [2]. Вітчизняні підприємці переважно використовують для змішування горизонтальні чи вертикальні змішувачі періодичної чи безперервної дії, де основним є стрічково-шнековий робочий орган.

Для отримання сумішей з більшою концентрацією рідких компонентів (пастоподібні, рідкі) використовується додатково обладнання типу мішалок. Їх основний недолік полягає у появі застійних зон в процесі змішування. Частково він усувається заміною традиційної конструкції мішалки (якірної) на модифіковані, наприклад, гвинтові з додаванням радіальних пальців чи інших елементів. При цьому проблема вирішується лише частково. Інша складність полягає у необхідності використання системи нагрівальних елементів та складних трубопроводів для подачі кожного з компонентів, що також суттєво ускладнює процес виробництва, особливо у зимовий період. Причина, яка нині гальмує впровадження нових технологій полягає у необхідності значних первинних інвестицій та у потребі кваліфікованого персоналу для управління процесами, оскільки при порушенні технології на одному з етапів ризик збитків може бути високим [3].

Попри усі складнощі останні дані свідчать про те, що все частіше господарства віддають перевагу технологіям виробництва саме рідких кормів, так як рідкий корм більшою мірою відповідає фізіологічним потребам тварин, ніж сухий та дає вищі показники приросту маси [4]. Іншим недоліком сухих кормів є те, що до їхнього складу входять тільки сухі інгредієнти і найменше порушення режиму виробництва, змішування чи зберігання може зменшити вміст поживних речовин у кормі і його перетравність [5].

Проаналізувавши основні проблеми та врахувавши складнощі, які гальмують подальший успішний розвиток даного напрямку, авторами розглянуто можливість використання екструзійної обробки для отримання не лише гранульованих, а й пастоподібних і рідких багатокомпонентних сумішей з концентрацією рідких компонентів більше 50%. Особливість пропонованого способу полягає у реалізації процесу змішування відразу на виході з екструдера з використанням теплоти, яка акумулюється в частинках екструдату для змішування і стерилізації всієї суміші. Це дозволить зменшити обслуговуючий персонал, інвестиції та застосування дорого вартісного обладнання, оскільки конструкція екструдера не потребує додаткової модернізації.

Як основну складову кормових сумішей обрано найбільш затребувану на сьогоднішній день сировину – повножирову сою, яка вважається основним джерелом білка в кормах і наближена за амінокислотним складом до тваринного [6]. Для знешкодження шкідливих ферментів, які присутні в бобах сої, найбільш ефективним є режим обробки при температурі 135...140°C та кількості вологи в сої 12...14% [7]. Одночасно згідно з даними інших досліджень [8] вплив високих температур, хоч і короткотривалий, може призводити до втрати лізину (до 40%), який є найбільш термолабільною амінокислотою та призводити до зниження загальної біологічної цінності

продуктів екструзії. Можливі втрати і інших амінокислот, які пов'язуються переважно з утворенням складних комплексів між різними компонентами сировини під впливом високої температури, зокрема, можливою взаємодією амінокислот і цукрів. Тому параметром оцінювання якості отриманої пастоподібної суміші за пропонуваним способом змішування був амінокислотний склад. Додатково ефективність змішування контролювалась за мікробіологічним показником та активністю уреазу у готовій пастоподібній суміші. Для порівняння аналогічні дослідження проводились для зразків екструдованої та необробленої сої.

Мета та постановка завдання. Об'єкт досліджень – пастоподібна суміш на основі екструдованої сої. Для визначення ефективності пропонуваного способу змішування завданням досліджень поставлено вивчення механізму впливу теплоти, яка вивільняється з екструдатом на виході з екструдера та використовується для змішування і стерилізації компонентів пастоподібної суміші на амінокислотний склад, мікробіологічний показник та активність уреазу в зразках отриманої суміші. Для контрольного порівняння аналогічні дослідження проводились для зразків повножирової екструдованої сої та необробленої.

Матеріали та методи. Для експериментів брали соєві боби, які оброблялись в режимі “м'якої” екструзії, якому відповідає температура екструдованої сої на виході з екструдера – 135...140°C та початкова кількість вологи в бобах – 13...14%.

Експерименти проводили на лабораторному стенді основа якого – екструдер 2, пристрій 3 для змішування та зволожувач зерновий 1 (рис. 1). Згідно методики попередньо зволожені боби сої у зволожувачі 1 надходили для обробки в екструдер 2, де піддавались термічній обробці. Змішування потоку гарячих частинок екструдату з рідкими компонентами відбувалось миттєво на виході з екструдера без контакту з навколишнім середовищем у спеціально розробленому пристрої для змішування 3. При цьому теплота, що вивільнялась разом з екструдатом і використовувалась при змішуванні повинна була забезпечити знешкодження шкідливої мікрофлори досягаючи знезараження компонентів всієї пастоподібної суміші і не створюючи негативної дії на її амінокислотний склад.

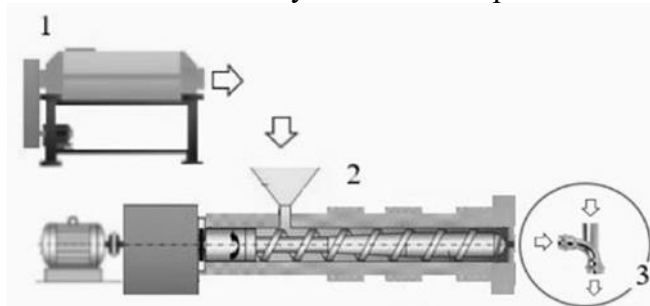


Рис. 1. Схема експериментального стенда, де:

- 1 – зволожувач зерна; 2 – екструдер з електродвигуном для обробки зерна;
- 3 – пристрій для змішування екструдату з рідкими компонентами

ДСТУ 8365:2015 «Макуха та шрот. Метод визначення активності уреазу». Оцінку амінокислотного складу пастоподібної суміші на основі екструдованої сої, соєвого екструдату і неекструдованої механічно подрібненої сої проводили за методом іонообмінної рідинно-колонної хроматографії з використанням автоматичного аналізатора амінокислот. Оцінювання мікробіологічних показників проводили за ДСТУ EN 12824:2004 «Мікробіологія харчових продуктів і кормів для тварин».

Результати досліджень. Оцінювання активності уреазу в зразках екструдованої сої та в зразках пастоподібної суміші показало зниження показника до норми (допустима межа до 0,3 од. рН) [9] (табл.1). Тобто це свідчить про те, що режими обробки в екструдері забезпечують інактивацію антипоживних речовин до безпечного рівня, а

Під час експериментів відібрано наступні зразки: повножировий соєвий екструдат; пастоподібна суміш з концентрацією сухих речовин 50% на основі повножирової екструдованої сої, води, рідкого фосфатидного концентрату; контрольний зразок неекструдованої механічно подрібненої сої.

Оцінювання якості обробки сої в екструдері проводили шляхом визначення активності ферменту уреазу в зразках соєвого екструдату та в зразках пастоподібної суміші відповідно до

пропонований спосіб змішування не створює негативного впливу та не погіршує даного показника.

Таблиця 1

Найменування показника	Результат досліджень	
	Пастоподібна суміш	Соєвий екструдат
Масова частка вологи, %	50,87	8,5
Активність уреаз, Δ рН	0,15	0,12

гістидин) (рис.2) та 8 замінних амінокислот (аспарагінова кислота, цистин, серин, тирозин, глютамінова кислота, гліцин, пролін та аланін) (рис.3), а також порівняти отримані результати зі зразками необробленої сої.

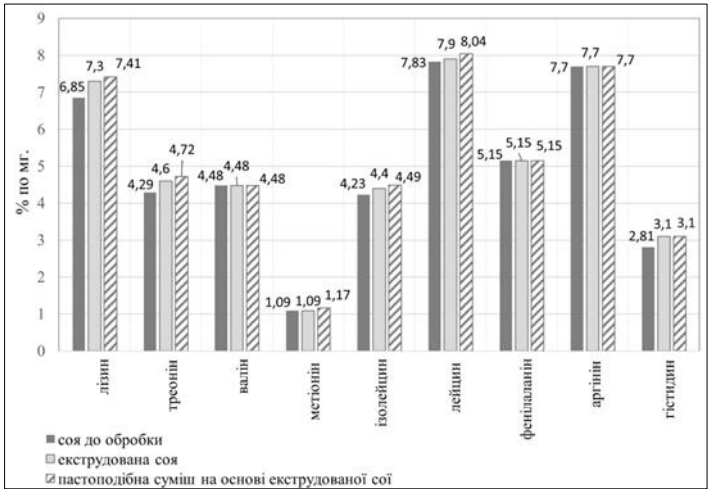


Рис. 2. Вміст незамінних амінокислот у сої та продуктах її переробки, %

7,3%, яке для екструдату залишилось без змін. Менш суттєво зросла частка ізолейцину на 6,2% в пасті та на 4,0% в екструдаті і лейцину на 2,7% в пасті та майже без змін на 0,9% в екструдаті. Одержані результати свідчать, що комплексна дія високої температури під час екструзії та умови змішування не створюють помітного впливу на кількість аргініну, валіну та фенілаланіну концентрація яких у зразках пасту та екструдату не змінилась.

Порівняння складу замінних амінокислот зразків сої до обробки зі зразками екструдованої сої і пасту (рис. 3) показало зростання кількості аспарагінової кислоти на 9% в пасті та на 7,9% в екструдаті. При цьому незмінною залишилась кількість серину в зразках пасту, однак його кількість зросла на 7,6% в зразках екструдату. Порівняння кількості цистину показало зростання на 4,0% в пасті та на 1,6% в екструдаті, при цьому кількість гліцину збільшилась на 2,5% в пасті і не змінилась в екструдаті. Результати досліджень також показали, що в усіх зразках кількість аланіну та тирозину не змінилась, проте, в однаковій мірі і в пасті, і в екструдаті спостерігались втрати проліну на 8,9% та глютамінової кислоти на 10,5% в пасті і на 8,8% в зразках екструдату.

Вивчення механізму впливу теплоти, що вивільняється з екструдатом та використовується при змішуванні на ступінь знешкодження шкідливої мікрофлори в досліджуваних зразках суміші показало, що протягом першої доби загальний мікробіологічний показник для пасту зріс з 2 КУО до 5 КУО та до 14 КУО через 30 діб зберігання. Порівняння даних результатів зі зразками екструдованої сої показало також незначне зростання протягом першої доби – 2 КУО і протягом 30 діб зберігання менше 10 КУО. Результати також показали відсутність ентеропатогенних штамів кишкової палички, токсиноутворюючих анаеробів та сальмонел в усіх досліджуваних зразках [10]. Отже,

Дослідження амінокислотного складу екструдованої сої та пастоподібної суміші на її основі дозволили ідентифікувати і кількісно визначити склад 9 незамінних амінокислот (лізін, треонін, валін, метіонін, лейцин, ізолейцин, фенілаланін, аргінін,

Порівняння зразків екструдату та пастоподібної суміші на основі сої зі зразками сої перед обробкою показало, що склад незамінних амінокислот зберігається у повній мірі, а за деякими амінокислотами навіть зростає. Зокрема, найбільш суттєво зросла кількість: гістидину в зразках пасту та екструдату на 10,3%; треоніну в пасті на 10,0% та на 7,2% в екструдаті; лізину на 8,2% в зразках пасту та на 6,6% в екструдаті, який є найбільш термолабільною амінокислотою. Для пасту спостерігалось також підвищення кількості метіоніну на

отримані результати вказують на ефективність застосування пропонованого способу змішування, а кількість вивільненої з екструдатом теплоти дозволяє пригнічувати розвиток шкідливої мікрофлори і забезпечувати тривале зберігання пастоподібної суміші протягом 30 діб.

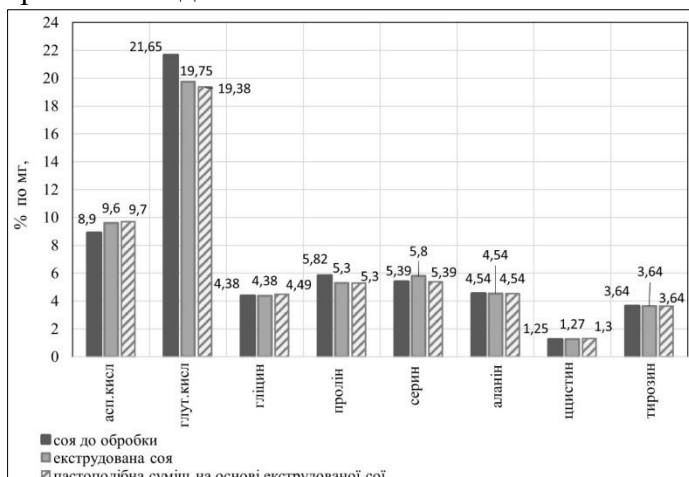


Рис. 3. Вміст заміennих амінокислот у сої та продуктах її переробки, %

в зразках пасти та на 6,6% в екструдаті. Для пасти спостерігалось також підвищення кількості метіоніну на 7,3%, яке для екструдату залишилось без змін. Менш суттєво зросла частка ізолейцину на 6,2% в пасті і на 4,0% в екструдаті та не змінилась для аргініну, валіну, фенілаланіну в зразках пасти та екструдату.

Одержані дані свідчать, що дія високої температури під час екструзії та створювані умови змішування дозволяють зберігати та поліпшувати за деякими показниками склад незамінних амінокислот в усіх дослідних зразках та не створюють негативного впливу на них. Порівняння складу заміennих амінокислот показало найбільш суттєве зростання кількості аспарагінової кислоти на 9% в пасті та на 7,9% в екструдаті, серину на 7,6% в екструдаті і без змін в зразках пасти, незначні зміни кількості цистину (до 4% в пасті), гліцину (до 2,5%) та відсутність втрат аланіну і тирозину. Результати також показали, що в обох дослідних зразках пасти і екструдату в однаковій мірі знизилась кількість проліну на 8,9% та глутамінової кислоти на 10,5% в пасті і на 8,8% зразках екструдату. Таким чином, порівняння одержаних даних показало, що пропонований спосіб змішування не створює негативного впливу на амінокислотний склад пасти у порівнянні з екструдатом.

Результати досліджень уреазної активності в зразках пастоподібної суміші показали зниження показника до 0,15ΔрН, що в межах норми. Для порівняння також визначено даний показник в екструдаті – 0,12ΔрН, що також підтверджує ефективність пропонованого способу змішування.

Порівняння результатів мікробіологічних досліджень зразків пастоподібної суміші зі зразками екструдату показало незначне зростання показників з 2 КУО до 5 КУО за 1 добу та до 14 КУО через 30 діб зберігання. Крім цього експериментально підтверджено відсутність ентеропатогенних штамів кишкової палички, токсиноутворюючих анаеробів та сальмонел в усіх досліджуваних зразках.

На основі одержаних результатів обґрунтовано доцільність використання запропонованого способу використання теплоти екструзії для змішування і стерилізації всієї суміші в екструзійних технологіях виробництва пастоподібних та рідких кормів.

Бібліографія

1. Афанасьєв В., Богомолів І., Старцева, С. Особливості вакуумного наплення жиру на екструдовані гранули корми для цінних порід риб. Комбікорми. 2022. Вип. 12, С. 26–28 <https://doi.org/10.25741/2413-287X-2022-12-2-188>.

Висновки.

Досліджено механізм впливу теплоти екструзії, яка використовується для змішування і стерилізації компонентів пастоподібної суміші на її амінокислотний склад. Зокрема, в дослідних зразках ідентифіковано і кількісно оцінено 9 незамінних амінокислот та 8 заміennих амінокислот. Їх порівняльний аналіз показав найбільш суттєве зростання кількості гістидину в зразках пасти та екструдату на 10,3%, треоніну в пасті на 10,0% та на 7,2% в екструдаті, а також лізину на 8,2%

2. Петриченко В. Ф., Кулик М. Ф., Ібатуллін І. І. та ін. Виробництво, зберігання і використання кормів. Навчальний посібник; за ред. В. Ф. Петриченка. Вінниця: Діло, 2005. 472 с.
3. Рідка годівля: переваги і на що звертати увагу? URL:<https://pigua.info/uk/post/ridka-godivla-perevagi-i-na-so-zvertati-uvagu-uk> (дата звернення 24.02.2024).
4. Кравченко О., Голов В. Порівняльна характеристика сухого та рідкого способів годівлі свиней. Вісник аграрної науки Причорномор'я. 2013. Вип. 4, т. 2, ч. 1 С. 116–120.
5. Переваги та недоліки сухих, напівсухих і консервованих кормів. <https://www.zootovary.com/uk/dostojinstva-nedoliki-suhih-napivsuchih-konservovanih-kormiv-a-51.html> (дата звернення 23.02.2024).
6. Січка В. Використання екструдованої та повножирової сої в годівлі сільськогосподарських тварин і птиці. Пропозиція. 2008. <https://propozitsiya.com/ua/vikoristannya-ekstrudovanoi-ta-povnozhirovoi-soyi-v-godivli-silskogospodarskih-tvarin-i-ptici> (дата звернення 20.02.2024).
7. Іваницький Г., Целень Б., Недбайло А., Радченко Н. Вплив екструзійної обробки на стан жирів кормових сумішей. Наукові праці. 2023 Вип. 1, Т. 87, С. 28–35 <https://doi.org/10.15673/swonaft.v87i1.2687>.
8. Ковбаса В., Дорохович А., Хіврич Б. Застосування екструзії у виробництві нових харчових продуктів. <https://dspace.nuft.edu.ua/server/api/core/bitstreams/396046db-8ec0-478a-b53a-6c266b6c8974/content> (дата звернення 24.02.2024).
9. Nalesnik Catherine A., Onwulata Charles I., Tunick Michael H., Phillips John C, Tomasula Peggy M. The effects of drying on the properties of extruded whey protein concentrates and isolates. Food Eng. 2007. № 2. P. 688–694.
10. Гирка О. І. Вплив екструзійної обробки та використання харчових добавок на амінокислотний склад нових видів сухих сніданків. Вісник ЛТЕУ. Технічні науки. 2009. № 10. с. 12–16.

References

1. Afanasiev, V., Bohomolov, I., Startseva, S. (2022). Osoblyvosti vakuumnoho napyleniia zhyru na ekstrudovani hranuly kormy dlia tsinnykh porid ryb. [Features of vacuum spraying of fat on extruded feed granules for valuable fish species]. Kombikormy [Mixed fodder]. 12. P. 26–28. <https://doi.org/10.25741/2413-287X-2022-12-2-188> [In russian].
2. Petrychenko, V. F., Kulyk, M. F., Ibatullin, I. I. ta in. Vyrobnystvo, zberihannia i vykorystannia kormiv. Navchalnyi posibnyk; za red. V. F. Petrychenka. Vinnytsia: Dilo, 2005. 472 p. [In Ukrainian].
3. Ridka hodyvli: perevahy i na shcho zvertaty uvahu? [Liquid feeding: advantages and what to pay attention to?] <https://pigua.info/uk/post/ridka-godivla-perevagi-i-na-so-zvertati-uvagu-uk> [In Ukrainian].
4. Kravchenko, O., Holov, V. (2013). Porivnialna kharakterystyka sukhoho ta ridkoho sposobiv hodyvli svynei [Comparative characteristics of dry and liquid feeding methods for pigs]. Visnyk ahrarnoi nauky Prychornomoria. [Bulletin of Agricultural Science of the Black Sea Region]. 4 (2). P. 116–120. [in Ukrainian].
5. Perevahy ta nedoliky sukhyykh, napivsukhykh i konservovanykh kormiv. [Advantages and disadvantages of dry, semi-dry and canned feed]. <https://www.zootovary.com/uk/dostojinstva-nedoliki-suhih-napivsuchih-konservovanih-kormiv-a-51.html> [In Ukrainian].
6. Sichkar, V. (2008). Vykorystannia ekstrudovanoi ta povnozhyrovoi soi v hodyvli silskohospodarskykh tvaryn i ptytsi [The use of extruded and full-fat soybeans in feeding farm animals and poultry]. Propozytsiia [Suggestion.] <https://propozitsiya.com/ua/vikoristannya-ekstrudovanoi-ta-povnozhirovoi-soyi-v-godivli-silskogospodarskih-tvarin-i-ptici> [In Ukrainian].
7. Ivanytskyi, H., Tselen, B., Nedbailo, A., Radchenko, N. (2023). Vplyv ekstruziinoi obrobky na stan zhyriv kormovykh sumishei [Effect of extrusion processing on the state of fats in feed mixtures]. Naukovi pratsi. [Scientific works]. 1 (87). P. 28–35. <https://doi.org/10.15673/swonaft.v87i1.2687> [In Ukrainian].
8. Kovbasa, V., Dorokhovych, A., Khivrych, B. Zastosuvannia ekstruzii u vyrobnytstvi novykh kharchovykh produktiv [Application of extrusion in the production of new food products] <https://dspace.nuft.edu.ua/server/api/core/bitstreams/396046db-8ec0-478a-b53a-6c266b6c8974/content> [In Ukrainian].
9. Nalesnik Catherine, A., Onwulata Charles, I., Tunick Michael, H., Phillips John, C, Tomasula Peggy, M. The effects of drying on the properties of extruded whey protein concentrates and isolates. Food Eng. 2007. № 2. P. 688–694.
10. Hyrka O. I. Vplyv ekstruziinoi obrobky ta vykorystannia kharchovykh dobavok na aminokyslotnyi sklad novykh vydiv sukhyykh snidankiv. Visnyk LTEU. Tekhnichni nauky. 2009. № 10. P. 12–16. [In Ukrainian].