5. Патент на полезную модель № 216972 U1 Российская Федерация, МПК A01K 5/02, A01K 29/00. робот-пододвигатель: № 2023100828: заявл. 17.01.2023: опубл. 13.03.2023 / М.А. Керимов, В.А. Смелик, К.В. Горецкий, Ф.М. Михайлов; заявитель ФГБОУ ВО СПбГАУ.

6. Керимов М.А. Системное описание и схемотехническое решение роботапододвигателя кормов на животноводческих фермах / М.А. Керимов, К.В. Горецкий // Развитие отраслей АПК на основе формирования эффективного механизма хозяйствования: сборник научных трудов IV Международной научно- практической конференции, Киров, 16 ноября 2022 г. – Киров: ФГБОУ ВО «Вятский государственный агротехнологический университет», 2022. – С. 100-104.

7. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025691388 РФ. Сельскохозяйственный ровер: системы технического зрения: заявл. 14.11.2025: опубл. 14.11.2025 / В.А. Ружьев, А.В. Антипов, А.И. Фомичев, К.С. Титов; заявитель ФГБОУ ВО СПбГАУ.

8. Патент на полезную модель № 235112 U1 РФ, МПК A01K 5/02. Роботпододвигатель : заявл. 14.04.2025: опубл. 20.06.2025 / М.А. Керимов, К.В. Горецкий; заявитель ФГБОУ ВО СПбГАУ.

9. Керимов М.А. Оптимизация многосвязных систем с учетом неопределенности исходной информации // Известия Международной академии аграрного образования. – 2020. – № 48. – С. 10-13.

10. Керимов М.А. Разработка и использование моделей биотехнологических систем в прикладных научных исследованиях / М.А. Керимов // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2023. – Т. 17, № 4. – С. 19–25. – DOI 10.22314/2073-7599-2023-17-4-19-25.

УДК 631.363

АНАЗИЗ МЕТОДОВ СНИЖЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ГЛЮКОЗИНОЛАТОВ В РАПСОВОМ ЖМЫХЕ

С.А. Дрозд, канд. техн. наук, доцент,
Д.С. Кочев, Д.А. Лазаренко
Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет»,
г. Минск, Республика Беларусь
drozd.s.a.sm@bsatu.by

Аннотация. Проанализированы современные методы снижения содержания глюкозинолатов в рапсовом жмыхе как белковом компоненте комбикормов.

Abstract. Analyses modern methods for reducing glucosinolate content in rapeseed cake used as a protein component of compound feeds.

Ключевые слова: рапсовый жмых, глюкозинолаты, детоксикация, комбикорма, питательная ценность.

Keywords: rapeseed cake, glucosinolates, detoxification, compound feeds, nutritional value.

Введение

Обеспечение животноводства сбалансированными кормами - стратегическая задача АПК Беларуси. Из-за роста цен на импортные белковые компоненты особенно важно использовать собственные ресурсы – в частности, рапсовый жмых, поскольку валовой сбор семян рапса в стране стабильно превышает 800 тысяч тонн [1]. Однако в жмыхе сохраняются глюкозинолаты, которые при взаимодействии с ферментом мирозиназой образуют токсичные соединения, угнетающие щитовидную железу, снижающие потребление и переваримость корма, вызывающие поражения печени и почек [2]. Поэтому разработка экономически обоснованных методов снижения содержания глюкозинолатов в рапсовом жмыхе - важная научно-практическая задача, решение которой позволит шире использовать это белковое сырьё в рационах сельскохозяйственных животных без ущерба для их здоровья и продуктивности [3].

Основная часть

Проблема снижения содержания антипитательных веществ в рапсовом жмыхе является ключевым условием расширения его использования в комбикормовой промышленности. Существующие методы детоксикации рапсовых кормов можно классифицировать на селекционные, физические, химические, биологические и комбинированные.

Селекционный метод предусматривает создание сортов с генетически обусловленным низким содержанием глюкозинолатов и эруковой кислоты. В Государственный реестр сортов Республики Беларусь включены отечественные сорта озимого и ярового рапса типа «00», обеспечивающие содержание глюкозинолатов в семенах на уровне 15…20 мкмоль/г. Однако даже при использовании таких сортов остаточное содержание глюкозинолатов в жмыхе (20–40 мкмоль/г) в 4…8 раз превышает допустимые нормы для моногастричных животных, что делает селекционный подход необходимым, но недостаточным условием безопасного использования жмыха [4].

Физические методы основаны на воздействии на рапсовый жмых высокой температуры, давления, излучения или их комбинации. Среди них наибольший интерес представляют микронизация, СВЧ-обработка, экструзия, паровой взрыв и пропаривание.

Микронизация – обработка инфракрасным излучением при 195 ºС в течение 90 с – позволяет снизить содержание глюкозинолатов до 70 %. Метод инактивирует мирозиназу, улучшает переваримость и снижает гидролиз глюкозинолатов в желудочно-кишечном тракте, однако его эффективность зависит от исходной влажности сырья.

СВЧ-обработка (с частотой 2450 МГц, 800 Вт) при предварительном кондиционировании снижает содержание глюкозинолатов на 38…67% за 2…6 мин.

Экструзия подразделяется на сухую и влажную. Сухая экструзия снижает содержание глюкозинолатов на 19…42%, влажная (при 150 °С с добавлением 2% аммиака) – на 67%. Сухая экструзия повышает растворимость полисахаридов и доступность ферментов, но мало влияет на глюкозинолаты и активность мирозиназы. Влажная экструзия с аммиаком значительно эффективнее.

Паровой взрыв – обработка перегретым паром под давлением с резким сбросом давления – при давлении ≥1,6 МПа и времени 180 с удаляет до 99% глюкозинолатов, а также токсичные продукты их распада (изотиоцианаты, оксазолидинтионы, нитрилы) на 93…97%. Это один из наиболее эффективных физических методов [5].

Химические методы включают обработку аммиаком или гидроксидом аммония, солями (сульфат меди, сульфат железа) и экстракцию растворителями.

Обработка аммиаком или гидроксидом аммония приводит к реакции с глюкозинолатами с образованием нетоксичных тиомочевин. В комбинации с экструзией эффективность достигает 80 %. Метод более мягкий по сравнению с кислотной/щелочной обработкой, уменьшает горький вкус.

Обработка солями, например замачивание в растворе $CuSO_4$ (6,25 г на 2 л воды на 1 кг жмыха) с последующей сушкой при 60 °С, снижает содержание глюкозинолатов на 36 %…90 %. Механизм основан на хелатировании свободных катионов с гидролизатами антинутриентов. Однако метод может ухудшать питательность и вкусовые качества.

Экстракция растворителями (вода, 75 % этанол, ацетон, метанол/ацетон с 0,2 % хлорной кислоты) обеспечивает снижение глюкозинолатов на 30 %...50 % при этанольной экстракции и до 96 % при

использовании гексана с 10 % аммиака в метаноле. Метод требует больших объёмов растворителя и длительного времени (до 6 ч), а также может денатурировать белки (NaOH в этаноле). Водная экстракция считается наиболее эффективным растворителем для извлечения глюкозинолатов.

Биологические методы представлены ферментативной обработкой, микробной ферментацией.

Ферментативная обработка обеспечивает снижение глюкозинолатов до 80 % и заключается в добавлении мультиэнзимных препаратов (целлюлазы, ксиланазы, фитазы) при 40 °С в течение 4 ч или мирозиназы из ростков рапса (2200 ед/г, 4 ч с аскорбиновой кислотой). Ферментативный гидролиз расщепляет глюкозинолаты; комбинация с щелочной экстракцией (4 % NaOH) усиливает эффект.

Микробная ферментация – наиболее широко исследуемый биологический метод. Твёрдофазная ферментация с использованием дрожжей (Saccharomyces cerevisiae, S. boulardii), бактерий (Bacillus subtilis, Lactobacillus plantarum) или грибов (Rhizopus oligosporus) снижает содержание глюкозинолатов на 47 %…99 % в зависимости от штамма и условий. Одновременно снижается содержание фитатов, танинов, сырой клетчатки и повышается содержание сырого протеина. Совместная ферментация с целлюлазой снижает глюкозинолаты на 77 % и повышает переваримость аминокислот; применение трёх штаммов (*Bacillus subtilis, Saccharomyces cerevisiae и Bacillus amyloliquefaciens*) обеспечивает снижение на 99 %.

Комбинированные методы сочетают термическое воздействие с химической нейтрализацией или ферментативной обработкой. Экструзия с добавлением 5 % щёлочи и 1 % сульфата железа снижает содержание глюкозинолатов на 80 %.

Заключение

Анализ методов показывает, что наибольшей эффективностью обладают паровой взрыв (до 99 %), комбинированные методы (до 80 %) и микробная ферментация (до 99 %). Селекционный метод остаётся необходимым, но недостаточным.

Список использованной литературы

1. Сельское хозяйство Республики Беларусь: статистический буклет / И. В. Медведева [и др.]. – Минск : Национальный статистический комитет Республики Беларусь, 2025 – 36 с.

2. Дрозд, С. А. Применение рапсового жмыха в комбикормовом производстве / С. А. Дрозд, Д. С. Кочев // Техническое обеспечение инновационных технологий

в АПК : сборник научных статей Международной научно-практической конференции, Минск, 30-31 октября 2025 г. - Минск : БГАТУ, 2025. – С. 464–466.

3. Байбатыров, Т.А. Оптимизация параметров процесса экструдирования рапсового жмыха / Т. А. Байбатыров, С. А. Дрозд // Агропанорама. – 2024. – № 4. – С. 15–19.

4. Нормы скармливания жмыха и шрота из семян новых сортов рапса молодняку крупного рогатого скота : моногр. / В. Ф. Радчиков [и др.] ; РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по животноводству». – Жодино, 2019. – 132 с.

5. Gu, X. Detoxification of Rapeseed Meals by Steam Explosion / X. Gu, W. Dong, Y. He // Journal of the American Oil Chemists' Society. – 2011. – Vol. 88. – P. 1831–1838. – DOI: 10.1007/s11746-011-1849-4.

УДК 631.363

ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНО-РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ СПИРАЛЬНОГО ТРАНСПОРТЁРА ДЛЯ ПОДАЧИ КОМБИКОРМОВ

В.Н. Гутман[1], канд. техн. наук, доцент
С.А. Дрозд[2], канд. техн. наук, доцент,
[1]Учреждение образования
«Барановичский государственный университет»,
г. Барановичи, Республика Беларусь
[2]Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет»,
г. Минск, Республика Беларусь
drozd.s.a.sm@bsatu.by

Аннотация. Обоснованы параметры спирального транспортёра для автоматизированной подачи комбикормов. Получена математическая модель производительности, учитывающая диаметр кожуха, шаг и диаметр спирали, частоту вращения и угол наклона транспортёра. Расчёты для трёх вариантов показали, что вариант с $D_{ТР}$ = 75 мм при 275…350 об/мин обеспечивает 0,958…1,220 т/ч, что соответствует техническому заданию 0,9–1,2 т/ч. Результаты согласуются с экспериментальными данными.

Abstract. The parameters of a spiral conveyor for automated compound feed supply have been substantiated. A mathematical model of productivity has been obtained, taking into account the casing diameter, the pitch and diameter of the spiral, the rotational speed, and the conveyor inclination angle. Calculations for three variants showed that the variant with $D_{ТР}$ = 75 mm at 275…350 rpm provides 0,958…1,220 t/h, which meets the design specification of 0,9–1,2 t/h. The results are consistent with experimental data.

Ключевые слова: спиральный транспортёр, комбикорм, производительность, математическая модель, автоматизация кормления.

Keywords: spiral conveyor, compound feed, productivity, mathematical model, feeding automation.