

ЧАСТНАЯ ЗООТЕХНИЯ, КОРМЛЕНИЕ, ТЕХНОЛОГИИ ПРИГОТОВЛЕНИЯ КОРМОВ И ПРОИЗВОДСТВА ПРОДУКЦИИ ЖИВОТНОВОДСТВА/PRIVATE ANIMAL HUSBANDRY, FEEDING, FEED PREPARATION TECHNOLOGIES AND PRODUCTION OF LIVESTOCK PRODUCTS

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.158.24>

ИЗМЕНЕНИЕ КАЧЕСТВА ФУРАЖНОГО ЗЕРНА ПШЕНИЦЫ ПРИ ФЕРМЕНТАЦИИ

Научная статья

Янкина О.Л.^{1,*}, Ким Н.А.², Приходько А.Н.³

¹ORCID : 0000-0001-7482-2697;

²ORCID : 0000-0001-5077-9612;

³ORCID : 0000-0001-5702-4976;

^{1, 2, 3} Приморский государственный аграрно-технологический университет, Уссурийск, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (olgayanleon[at]rambler.ru)

Аннотация

Взрослые животные переваривают около 60–70% питательных веществ кормов. При этом, целлюлоза, гемицеллюлоза, и другие полисахариды частично перевариваются только у взрослых животных ферментами, вырабатываемыми микрофлорой желудочно-кишечного тракта. Фитазы — это питательные ферменты, которые гидролизуют фитат и делают биодоступными связанные питательные вещества, такие как фосфор, железо и цинк. Животные с однокамерным желудком зависят от фитазы, поступающей с кормом. Злаковые, в том числе и пшеница, являются исключительно хорошими природными источниками фитазы, которая начинает проявлять активность при проращивании и появлении фитиновой кислоты, являющейся антиутриентом.

Ферментация зерна пшеницы является сложным биохимическим процессом, который происходит и при прорастании зерна. На процесс ферментации влияют различные факторы, которые могут как тормозить процесс, так его и ускорять. Наличие молочнокислых бактерий ускоряет ферментацию, при этом они благотворно влияют на усвояемость кормов.

В данной работе были проведены исследования по изучению изменения активности фитазы, содержания гемицеллюлозы и молочнокислых бактерий в зернах пшеницы в зависимости от способа их ферментации. Результаты исследований показали, что на активность фитазы, содержания гемицеллюлозы и молочнокислых бактерий влияет способ ферментации. Снижение активности фитазы после лактоферментации пшеницы составило 317 ед/кг, а уменьшение гемицеллюлозы на 5,1%, при проращивании увеличилось на 10 ед/кг и 3,7%, соответственно. Содержание молочнокислых бактерий при проращивании составило $3,0 \times 10^6$, а при лактоферментации $2,4 \times 10^4$ КОЕ/г.

Ключевые слова: пшеница, проращивание, лактоферментация, активность фитазы, молочнокислые бактерии, гемицеллюлоза.

CHANGES IN THE QUALITY OF FODDER WHEAT GRAIN DURING FERMENTATION

Research article

Yankina O.L.^{1,*}, Kim N.A.², Prikhodko A.N.³

¹ORCID : 0000-0001-7482-2697;

²ORCID : 0000-0001-5077-9612;

³ORCID : 0000-0001-5702-4976;

^{1, 2, 3} Primorsky State Agrarian-Technological University, Ussuriysk, Russian Federation

* Corresponding author (olgayanleon[at]rambler.ru)

Abstract

Adult animals digest about 60–70% of fodder nutrients. Cellulose, hemicellulose, and other polysaccharides are only partially digested in adult animals by enzymes produced by the microflora of the gastrointestinal tract. Phytases are nutritional enzymes that hydrolyse phytate and make bioavailable linked nutrients such as phosphorus, iron and zinc. Animals with single-chambered stomachs depend on phytase from the diet. Grains, including wheat, are exceptionally good natural sources of phytase, which becomes active when germinated and produces phytic acid, an anti-nutrient.

Fermentation of wheat grain is a complex biochemical process that also occurs during grain germination. The fermentation process is influenced by various factors that can both inhibit and accelerate the process. The presence of lactic acid bacteria accelerates fermentation, while they have a beneficial effect on feed digestibility.

In this paper, research was carried out to study the changes in phytase activity, hemicellulose content and lactic acid bacteria in wheat grains depending on the method of fermentation. The results showed that phytase activity, hemicellulose and lactic acid bacteria content were influenced by the method of fermentation. The decrease in phytase activity after lactofermentation of wheat was 317 units/kg, and the reduction of hemicellulose was 5.1%, while germination increased by 10 units/kg and 3.7%, respectively. The content of lactic acid bacteria in germination was 3.0×10^6 , and in lactofermentation 2.4×10^4 CFU/g.

Keywords: wheat, germination, lactofermentation, phytase activity, lactic acid bacteria, hemicellulose.

Введение

В настоящее время животноводам требуется более эффективное использование кормов, так как стоимость комбикормов растет. Сельскохозяйственные животные и птица усваивают примерно четверть рациона, так как в зерновых кормах содержатся сложные полисахариды, фитаты и другие вещества, которые их организмы не способны переваривать. Это приводит к снижению производства мяса или яиц и снижению эффективности корма, а также могут вызвать болезни животных.

Кормовые ферменты повышают эффективность производства мяса и яиц за счет улучшения переваримости питательных веществ и улучшения здоровья животных. Но в рамках кормопроизводства такое решение довольно дорогостоящее.

В последние 20 лет фитаза стала самой изучаемой среди кормовых ферментов. Из множества публикаций на долю фитазы приходится более половины. Это обусловлено тем, что её применение в практическом животноводстве чаще других ферментов сопровождалось положительным действием, в результате она оказалась наиболее востребованным ферментом [4]. Целлюлоза, гемицеллюлоза, и другие полисахариды частично перевариваются только у взрослых животных ферментами, вырабатываемыми микрофлорой желудочно-кишечного тракта. Таким образом, чем больше в зерне фитазы и меньше гемицеллюлозы, тем больше увеличивается пищевая ценность зерна.

В связи с этим была поставлена цель — исследование динамики активности фитазы, содержания гемицеллюлозы и молочнокислых бактерий в зернах пшеницы в зависимости от способа их ферментации.

Методы и принципы исследования

Исследования проводились в течение 2023 г. сотрудниками Института животноводства и ветеринарной медицины ФГБОУ ВО Приморский ГАТУ. Для исследования были отобраны и подготовлены три образца пшеницы:

- 1) без ферментации;
- 2) проращивание в течение 24 часов;
- 3) лактоферментация (естественное брожение) — ферментация в течение 48 часов при температуре 25–27°C.

Подготовка образцов к ферментации заключалась в очищении зерна от примесей и промывании водой. Первый способ ферментации зерна — это проращивание зерен. Чтобы пшеница начала прорастать, в зерне необходим минимальный уровень влажности 35–45%. Для достижения необходимого уровня влажности зерна пшеницы замачивали водой на 8 часов. При этом вода проходит через микропиле в зерне пшеницы, где она достигает щитка зародыша, чтобы начать прорастать, и продолжает двигаться по зерну, накапливаясь среди семенной кожуры и околоплодника [9].

Второй способ ферментации заключался в том, что зерно замачивали водой при температуре 25–27°C в течение 48 часов до появления приятного запаха хлебного кваса. Для сохранения питательных веществ и ферментов по окончании ферментации как при проращивании, так и при лактоферментации, зерно высушивалось при температуре 38–40°C до нативного содержания влаги — 12–14%.

Показатели активность фитазы, содержание гемицеллюлозы и молочнокислых бактерий определяли в лабораториях ЛИЦ «Агроплем», г. Москва.

Результаты и обсуждение

Ферментация зерна злаковых культур может происходить под действием ферментов, содержащихся в клетках самого зерна, или под действием бактерий — лактобактерий, дрожжей и т.д. При смешивании с водой молочнокислые бактерии и дрожжи, естественным образом встречающиеся в различных кормовых ингредиентах, размножаются и производят молочную кислоту, уксусную кислоту и этиanol, что снижает pH смеси. Это снижение подавляет развитие патогенных организмов в корме. Кроме того, когда скармливается эта смесь с низким pH, она предотвращает распространение патогенов, таких как колиформы и сальмонелла в желудочно-кишечном тракте [8], [11].

Проращивание зерна — сложный биохимический процесс и очень важно управлять процессом проращивания. Когда зерно попадает во влажные условия и идет в рост, в нем вырабатывается специальный фермент — фитаза — который расщепляет фитиновую кислоту, высвобождая фосфор. Большая часть этого вещества содержится в оболочках зерна. Фитиновая кислота является антинутриентом, будучи устойчивой к пищеварительным ферментам и сокам, она препятствует усвоению важнейших элементов: фосфора, кальция, магния, железа, меди, цинка. Гемицеллюлоза также является антипитательным веществом в кормах для птицы [13].

Как известно, фитазы широко распространены у микроорганизмов, растений и в определенных тканях животных. Где есть фитиновая кислота, есть обязательно и фитаза — фермент, который расщепляет ее. Единица активности фитазы — это количество фермента, который выделяет в свободном состоянии 1 мкМ неорганического фосфора за 1 мин из 5,1 мМ раствора фитата натрия при 37°C и pH 5,5. Действие фитазы позволяет улучшить доступность фосфора, кальция, аминокислот, а также микроэлементов из солей фитиновой кислоты (фитата) [5], [6]. Фитазная активность пшеницы по данным литературных источников в среднем составляет 1193 ед/кг (915–1581) [1], некоторые авторы сообщают о более низких значениях 508 (от 206 до 775) (Barrier-Guillot, 1994) и 700 ед/кг (Ponitillart, 1994) [7], [12]. При этом значимым фактором, влияющим на этот показатель был сорт пшеницы [7].

Результаты наших лабораторных исследований представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Результаты исследований

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.158.24.1>

Показатель	Способ ферментации		
	без ферментации	проращивание	лактоферментация
Активность фитазы, ед/кг	481	491	164
Гемицеллюлоза, %	12,9	16,6	7,8
Молочнокислые бактерии, КОЕ/г	-	$3,0 \cdot 10^6$	$2,4 \cdot 10^4$

Примечание: результаты представлены на натуральную влажность

Наибольшая активность фитазы оказалась в зерне после проращивания — 491 ед/кг, наименьшая — в зерне после лактоферментации — 164 ед/кг. Можно предположить, что такое снижение активности фитазы вызвано действием лактобактерий. Это согласуется и с рекомендациями исследователей, что один из лучших способов нейтрализовать действие фитиновой кислоты — это ферментация. Доказано, что в цельнозерновом хлебе на закваске, тесто для которого ферментировалось около 8 часов, практически не остается фитиновой кислоты, в то время как в дрожжевом ее остается от 40 до 80% [2], [10].

При этом, несмотря на более высокое содержание молочнокислых бактерий в пророщенном зерне по сравнению с зерном, прошедшим лактоферментацию, активность фитазы повысилась. Это согласуется с результатами исследований рядом авторов. Так, в сухом состоянии зерна злаковых культур имеют относительно низкие уровни активности фитазы, но активность фитазы существенно повышается во время проращивания. Установлено, что уровни активности ферментов варьируются в зависимости от условий проращивания. Повышение активности фитазы в 3–10 раз было обнаружено в пшенице при проращивании в течение 4–5 дней при температуре от 15 до 25°C. Однако после достижения максимума активность фитазы снижается относительно быстро. Такое же действие наблюдается и с содержанием гемицеллюлозы при проращивании. Результат наших исследований показал, что необходимо откорректировать условия проращивания пшеницы для активации фитазы и снижения гемицеллюлозы, так как контролируемое проращивание пшеницы (повышение/понижение температуры замачивания и/или проращивания, продолжительность проращивания) позволяет создать оптимальные условия для действия фитазы [3].

Заключение

По результатам проведенных исследований установлено, что на активность фитазы, содержания гемицеллюлозы и молочнокислых бактерий влияет способ ферментации. Учитывая, что активность фитазы проявляется при наличии фитиновой кислоты, наилучший результат оказался в зерне после лактоферментации, так как снижение активности фитазы составило 317 ед/кг, а уменьшение гемицеллюлозы на 5,1%, а при проращивании в течение 24 ч, наоборот, произошло увеличение на 10 ед/кг и 3,7%, соответственно. Повышение содержание гемицеллюлозы и активности фитазы в пророщенном зерне связано с естественным процессом прорастания зерна и в связи с этим необходимо откорректировать условия процесса проращивания для инактивации фитиновой кислоты и активизации фитазы в проростках пшеницы. Как при проращивании, так и при лактоферментации проявилось развитие молочнокислых бактерий, и их содержание составило $3,0 \cdot 10^6$ и $2,4 \cdot 10^4$ КОЕ/г, соответственно.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Димов И., Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет имени академика И. П. Павлова, Санкт-Петербург Российская Федерация

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.158.24.2>

Conflict of Interest

None declared.

Review

Dimov I., First Pavlov State Medical University of St. Petersburg, Saint-Petersburg Russian Federation
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.158.24.2>

Список литературы / References

1. Анчиков Э.В. Использование фитазы в комбикормах для свиней и птицы (обзор иностранной литературы). / Э.В. Анчиков // Сельскохозяйственная биология. — 2008. — 4. — С. 3–14.
2. Железняк Е. Про фитиновую кислоту / Е. Железняк // Хлебомолы. Технология правильного питания. — 2015. — URL: <https://www.hlebomoli.ru/blog/pro-fitinovuyu> (дата обращения: 17.07.24).
3. Зенькова М.Л. Влияние процесса проращивания зерен злаковых культур на их пищевую ценность. / М.Л. Зенькова, А.В. Акулич // Хранение и переработка сельхозсырья. — 2021. — 3. — С. 26–52.
4. Крюков В.С. Новые аспекты в трактовке роли фитазы в процессах пищеварения у продуктивных животных. / В.С. Крюков, С.В. Зиновьев // Проблемы биологии продуктивных животных. — 2021. — 3. — С. 5–19.

5. Лобанок А. Роль ферментов в оптимизации питательной ценности кормов: некоторые ориентиры и перспективы. / А. Лобанок // Наука и инновации. — 2011. — 12 (106). — С. 61–64.
6. Римарева Л.В. Конверсия полимеров зерна пшеницы и кукурузы под влиянием фитолитических и протеолитических ферментов / Л.В. Римарева, М.Б. Оверченко, Е.М. Серба [и др.] // Сельскохозяйственная биология. — 2021. — Т. 56. — 2. — С. 374–383. DOI: 10.15389/agrobiology.2021.2.374rus
7. Barrier-Guillot B. Wheat phosphorus availability. In vitro study: factors affecting endogenous phytase activity and phytic phosphorus content / B. Barrier-Guillot, P. Casado, P. Maupetit [et al.] // Journal of the Science of Food and Agriculture. — 1996. — 70. — P. 62–68.
8. Canibe N. Fermented and nonfermented liquid feed to growing pigs: effect on aspects of gastrointestinal ecology and growth performance / N. Canibe, B.B. Jensen // Journal of Animal Science Journal of Animal Science. — 2003. — 81 (8). DOI: 10.2527/2003.8182019x
9. Ikram A. Nutritional and end-use perspectives of sprouted grains: A comprehensive review / A. Ikram, F. Saeed, M. Afzaal [et al.] // Food Science & Nutrition. — 2021. — 9. — P. 4617–4628.
10. McCance R.A. Mineral metabolism of healthy adults on white and brown bread dietaries / R.A. McCance, E.M. Widdowson // The Journal of Physiology. — 101 (1). — P. 44–85.
11. Missotten J. Fermented liquid feed for pigs. Archives of animal nutrition / J. Missotten, J. Michiels, A. Ovyn [et al.] // Archives of animal nutrition. — 2010. — 64 (6). — P. 37–66.
12. Pointillart A. Phytates, Phytase: leur importance dans l'alimentation des monogastriques / A. Pointillart // INRAE Productions Animales. — 1994. — Vol. 7. — 1. — P. 29–39.
13. Saeed M. The Role of β -Mannanase (Hemicell) in Improving Poultry Productivity / M. Saeed, T. Ayaşan, M.I. Alagawany [et al.] // Health and Environment Brazilian Journal of Poultry Science. — 2019. — Vol. 21. — 3. — P. 1–8.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Anchikov E.V. Ispol'zovanie fitazy' v kombikormax dlya svinej i pticy' (obzor inostrannoj literatury') [Use of phytase in compound feeds for pigs and poultry (review of foreign literature)]. / E.V. Anchikov // Agricultural biology. — 2008. — 4. — P. 3–14. [in Russian]
2. Zheleznyak Ye. Pro fitinovuyu kislotu [About phytic acid] / Ye. Zheleznyak // Hlebomoly. Tehnologija pravil'nogo pitanija [Bread-grinders. Technology of proper nutrition]. — 2015. — URL: <https://www.hlebomoli.ru/blog/pro-fitinovuyu> (accessed: 17.07.24). [in Russian]
3. Zen'kova M.L. Vliyanie processa prorashhivaniya zeren zlakovy'x kul'tur na ix pishhevuyu cennost' [The influence of the germination process of cereal grains on their nutritional value]. / M.L. Zen'kova, A.V. Akulich // Storage and processing of agricultural raw materials. — 2021. — 3. — P. 26–52. [in Russian]
4. Kryukov V.S. Novy'e aspekty' v traktovke roli fitazy' v processakh pishhevareniya u produktivny'x zhivotny'x [New aspects in the interpretation of the role of phytase in digestion processes in productive animals]. / V.S. Kryukov, S.V. Zinov'ev // Problems of biology of productive animals. — 2021. — 3. — P. 5–19. [in Russian]
5. Lobanok A. Rol' fermentov v optimizacii pitatel'noj cennosti kormov: nekotory'e orientiry' i perspektivy' [The role of enzymes in optimizing the nutritional value of feed: some guidelines and prospects]. / A. Lobanok // Science and innovation. — 2011. — 12 (106). — P. 61–64. [in Russian]
6. Rimareva L.V. Konversiya polimerov zerna pshenitsi i kukuruzi pod vliyaniem fitoliticheskikh i proteoliticheskikh fermentov [Conversion of wheat and corn grain polymers under the influence of phytolytic and proteolytic enzymes] / L.V. Rimareva, M.B. Overchenko, Ye.M. Serba [et al.] // Sel'skokhozajstvennaja biologija [Agricultural biology]. — 2021. — Vol. 56. — 2. — P. 374–383. DOI: 10.15389/agrobiology.2021.2.374rus [in Russian]
7. Barrier-Guillot B. Wheat phosphorus availability. In vitro study: factors affecting endogenous phytase activity and phytic phosphorus content / B. Barrier-Guillot, P. Casado, P. Maupetit [et al.] // Journal of the Science of Food and Agriculture. — 1996. — 70. — P. 62–68.
8. Canibe N. Fermented and nonfermented liquid feed to growing pigs: effect on aspects of gastrointestinal ecology and growth performance / N. Canibe, B.B. Jensen // Journal of Animal Science Journal of Animal Science. — 2003. — 81 (8). DOI: 10.2527/2003.8182019x
9. Ikram A. Nutritional and end-use perspectives of sprouted grains: A comprehensive review / A. Ikram, F. Saeed, M. Afzaal [et al.] // Food Science & Nutrition. — 2021. — 9. — P. 4617–4628.
10. McCance R.A. Mineral metabolism of healthy adults on white and brown bread dietaries / R.A. McCance, E.M. Widdowson // The Journal of Physiology. — 101 (1). — P. 44–85.
11. Missotten J. Fermented liquid feed for pigs. Archives of animal nutrition / J. Missotten, J. Michiels, A. Ovyn [et al.] // Archives of animal nutrition. — 2010. — 64 (6). — P. 37–66.
12. Pointillart A. Phytates, Phytase: leur importance dans l'alimentation des monogastriques [Phytates, Phytase: their importance in monogastric feed] / A. Pointillart // INRAE Productions Animales. — 1994. — Vol. 7. — 1. — P. 29–39. [in French]
13. Saeed M. The Role of β -Mannanase (Hemicell) in Improving Poultry Productivity / M. Saeed, T. Ayaşan, M.I. Alagawany [et al.] // Health and Environment Brazilian Journal of Poultry Science. — 2019. — Vol. 21. — 3. — P. 1–8.