

**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.2025.158.111>

**ВЛИЯНИЕ ФЛОКИРОВАНИЯ ЗЕРЕН КУКУРУЗЫ НА ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ И СТЕПЕНЬ КЛЕЙСТЕРИЗАЦИИ КРАХМАЛА КУКУРУЗЫ**

Научная статья

**Юй Ф.<sup>1</sup>, Янкина О.Л.<sup>2,\*</sup>**

<sup>1</sup> ORCID : 0000-0003-4809-6948;

<sup>2</sup> ORCID : 0000-0001-7482-2697;

<sup>1</sup> Шэньянский технологический институт, Фушунь, Китай

<sup>1,2</sup> Приморский государственный аграрно-технологический университет, Уссурийск, Российская Федерация

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

**Аннотация**

В последние годы с ростом цен на зерно в интенсивной производственной и комбикормовой промышленности большое значение придается совершенствованию способов приготовления зерна и повышению коэффициента его использования. Зерновой корм является важным энергетическим веществом для жвачных животных, обеспечивая от 70 до 80% их энергетических потребностей. К таким кормам относится и кукуруза. По сравнению с такими методами обработки как гранулирование или экструдирование, стоимость технологии флокирования зерен в условиях Китая относительно низка, при этом эффективно удаляются антипитательные вещества в зерне, устраняется неблагоприятное воздействие вредных микроорганизмов в корме. Обработка паром с последующим плющением — флокирование, может разрушить пространственную структуру крахмала и белка в зерне кукурузы и улучшить показатели усвоения крахмала, позволяя повысить продуктивность животных. В животноводстве европейских стран технология флокирования зерен кукурузы и сорго получила распространение при кормлении сельскохозяйственных животных. В Китае, по сравнению с зарубежными странами, применение и исследования в данной области мало изучены. В данном эксперименте изучалось влияние обработки зерен кукурузы флокированием на их химический состав и степень клейстеризации кукурузного крахмала. Результаты показали, что флокирование не оказало существенного влияния на химический состав кукурузы, но после обработки зерна кукурузы изменилась степень клейстеризации крахмала и содержание амилозы в крахмале. Так, степень клейстеризации кукурузного крахмала увеличилась с 25,36% до 75,51%, а содержание амилозы увеличилось с 7,43 до 8,11% от сухого вещества.

**Ключевые слова:** флокирование, зерно кукурузы, химический состав, крахмал, степень клейстеризации, амилоза.

**INFLUENCE OF MAIZE GRAIN FLOCKING ON CHEMICAL COMPOSITION AND DEGREE OF MAIZE STARCH GELATINISATION**

Research article

**Yu F.<sup>1</sup>, Yankina O.L.<sup>2,\*</sup>**

<sup>1</sup> ORCID : 0000-0003-4809-6948;

<sup>2</sup> ORCID : 0000-0001-7482-2697;

<sup>1</sup> Shenyang Institute of Technology, Fushun, China

<sup>1,2</sup> Primorsky State Agrarian-Technological University, Ussuriysk, Russian Federation

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

**Abstract**

In recent years, with the rise in grain prices, the intensive production and feed industry has attached great importance to improving the methods of grain preparation and increasing its utilisation rate. Grain fodder is an important energy substance for ruminants, providing from 70 to 80% of their energy requirements. Maize is one of these fodders. Compared with processing methods such as pelleting or extruding, the cost of grain flocking technology under Chinese conditions is relatively low, while effectively removing anti-nutritional substances in the grain and eliminating the adverse effects of harmful microorganisms in the fodder. Steam treatment followed by flocking can destroy the spatial structure of starch and protein in maize grain and improve the starch digestion, thus improving animal productivity. In animal husbandry in European countries, the flocking technology of corn and sorghum grains has been deployed in farm animal feeding. In China, compared with foreign countries, the application and research in this field have been understudied. In this experiment, the effects of flocking treatment of corn grains on their chemical composition and the degree of corn starch gelatinisation were examined. The results showed that flocking had no significant effect on the chemical composition of maize, but after treatment of maize grain, the degree of starch gelatinisation and amylose content in starch changed. Thus, the degree of corn starch gelatinisation increased from 25,36% to 75,51%, and the amylose content increased from 7,43 to 8,11% of dry matter.

**Keywords:** flocking, maize grain, chemical composition, starch, degree of gelatinisation, amylose.

**Введение**

Кукуруза является высококалорийным кормом для крупного рогатого скота и имеет высокую энергетическую ценность. Зерно кукурузы используется в качестве важного источника энергии корма для лактирующих коров.

Крахмал, содержащийся в зерне кукурузы, медленно расщепляется в рубце, вследствие чего не образуется большого количества молочной кислоты и снижается риск возникновения ацидоза, чему подвержены высокоудойные коровы, так как в их рационе присутствует большая доля концентрированных кормов [1]. В химическом составе кукурузы содержание крахмала составляет 64–69%, а содержание сырого протеина составляет 7–9% [2]. Кормление цельным или дробленным зерном кукурузы приводит к низкой степени использования питательных веществ кукурузы. При включении в рацион измельченной кукурузы жвачным животным, около 68% кукурузного крахмала расщепляется в рубце, но эффективность расщепления и всасывания в рубце намного ниже, чем переваривание и всасывание крахмала в тонком кишечнике. При слишком мелком измельчении кукурузы при скормливания высококонцентрированных комбикормов или неравномерном перемешивании измельченной кукурузы и грубого корма, крахмал будет быстро разлагаться в рубце, что приводит к снижению значения pH рубца. Если значение pH жидкости рубца становится слишком низким, активность рубцовой микрофлоры подавляется, что может вызвать ацидоз и снизить переваримость корма [2], [3], [4].

Практика доказала, что технология флюкирования зерен кукурузы — парового плющения — позволяет в значительной степени повысить биологическую ценность кукурузы и эффективно улучшить ее усвояемость организмом животных. Методы обработки зерна в комбикормовой промышленности в основном включают дробление, плющение, в том числе и мокрого зерна, экструдирование и т. д.

Флюкирование — это метод физической обработки влажного зерна — плющения после термической обработки зерна. В сырье после удаления примесей добавляют воду и замачивают, а затем подают в вертикальный паровой шкаф из нержавеющей стали и обрабатывают паром при температуре около 100 °C в течение 30–60 минут. Когда содержание влаги в сырье достигает 18%–21%, сырье прессуется в листы определенной толщины с помощью предварительно нагретого валика через вращающийся барабан. Толщина зернового листа регулируется в зависимости от расстояния между двумя валиками валика. Затем сырье сушат на воздухе или сушильных шкафах для предотвращения плесени и хранят в сухом проветриваемом помещении. При плющении зерна обнажаются крахмальные гранулы и изменяется пространственная структура белка. Этот эффект увеличивает площадь контакта между микроорганизмами и ферментами рубца и плющенным зерном, тем самым улучшая усвояемость кукурузного крахмала, белка и других питательных веществ [4], [5], [6], [7].

Цель исследования — изучить влияние флюкирования зерен кукурузы на химический состав, состав и степень клейстеризации крахмала кукурузы.

Задачи: изучить изменения химического состава, состава и степени клейстеризации крахмала в процессе флюкирования зерен кукурузы.

### Материал и методы

Объектом исследования являлись зерна кукурузы.

Исследуемая кукуруза была выращена и обработана в городе Динчжоу, провинции Хэбэй компанией Hebei Kairuida Feed Co., Ltd. Кукуруза измельчалась на зернодробилке. Флюкирование проводилось на оборудовании FX 1600-36 (Roscamp Champion, Ватерлоо, Айова, США). Температура пара при обработке зерна составляла 105°C, продолжительность обработки паром 60 минут. Затем зерно прессовали, сушили и охлаждали. Толщина полученных хлопьев 1,0 мм. На рисунке 1 показаны зерна кукурузы в зависимости от способа обработки.



Рисунок 1 - Зерна кукурузы в зависимости от способа обработки

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.158.111.1>

*Примечание: а) – измельченные, б) – флюкированные*

В ходе исследований был проведен сравнительный анализ химического состава зерен кукурузы в зависимости от способа обработки: измельченные и флюкированные зерна.

Химические исследования проводились в условиях Шэньянского технологического института (г. Фушунь, Китай). Содержание сырого протеина определяли по методу Кьельдаля, содержание сырого жира определяли методом экстракции по Сокслету. Показатели содержания сухого вещества, нейтральной детергентной клетчатки, кислотнo-детергентной клетчатки, и сырой золы измеряли в соответствии с «Технологией анализа и проверки качества кормов» [8]. Крахмал и степень клейстеризации крахмала определяли по методу Xiong Yiqiang и др. (2000) с использованием кислотного гидролизного метода, а определение степени клейстеризации крахмала — с использованием ферментного

гидролизного метода [9]. Содержание амилозы и амилопектина измеряли с использованием набора для амилозы и амилопектина (Solarbio LIFE SCIENCES).

### Основные результаты и их обсуждение

При разработке технологий обработки зерна для скормливания его сельскохозяйственным животным, необходимо учитывать изменение химического состава и питательной ценности получаемого корма. В таблице 1 представлен химический состав зерна в зависимости от способа обработки.

Таблица 1 - Химический состав зерна в зависимости от способа обработки

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.158.111.2>

| Показатель                            | Способ обработки зерна |               |
|---------------------------------------|------------------------|---------------|
|                                       | измельченные           | флокированные |
| Сухое вещество, %                     | 86,4±0,36              | 86,1±0,26     |
| Сырой белок, %                        | 7,42±0,08              | 7,48±0,06     |
| Сырой жир, %                          | 3,84±0,07              | 3,82±0,08     |
| Сырая зола, %                         | 1,27±0,02              | 1,26±0,01     |
| Клетчатка средней промывки (NDF), %   | 13,19±0,16             | 13,35±0,16    |
| Клетчатка кислотной промывки (ADF), % | 3,08±0,06              | 3,11±0,05     |
| Лигнин, %                             | 1,29±0,03              | 1,32±0,05     |
| Кальций, %                            | 0,03±0,002             | 0,03±0,003    |
| Фосфор, %                             | 0,27±0,009             | 0,26±0,007    |

Сравнивая применяемые методы обработки, можно сделать вывод, что на химический состав зерна кукурузы способ обработки не повлиял ( $p < 0,95$ ).

Крахмал — высокомолекулярный углевод, полимеризующийся из молекул глюкозы, состоящий из амилозы и амилопектина [10]. Молекулы как амилозы, так и амилопектина представляют собой линейные полимеры, связанные гликозидными связями, и они взаимодействуют друг с другом, образуя кристаллическую структуру крахмала [11]. Клейстеризация крахмала — это необратимый процесс.

При повышении температуры водных крахмальных суспензий более 30 °С происходит частичный разрыв водородных связей молекул амилозы и амилопектина в грануле крахмала, ведущий к изменению его микроструктуры. Кристаллическая структура гранул крахмала разрушается и молекулы воды атакуют уязвимые гидроксильные группы амилозы и амилопектина и соединяются с ними водородными связями. Интенсивно возрастает гидратация амилозы и амилопектина и, соответственно, увеличиваются размеры гранул крахмала, происходит так называемое «набухание» крахмала и повышается его растворимость. При повышении температуры амилоза частично диффундирует из аморфной части гранул крахмала и переходит в раствор, а амилопектин остается в основном в нерастворенном состоянии. При разрушении гранул крахмала происходит деструкция их кристаллической части, полисахариды переходят в раствор, и начинается процесс клейстеризации.

Нагревание до 100 °С при избыточном количестве воды приводит к полной утрате упорядоченности, что подтверждают результаты измерения двойного лучепреломления. Изменения, происходящие в крахмале после исчезновения двойного лучепреломления, называются клейстеризацией [10], [12]. Результаты наших исследований показывают, что обработка кукурузы паром способствует увеличению степени клейстеризации крахмала и увеличению содержания амилозы.

Цяо Фуцян (2010) [13] сообщил, что показатель степени клейстеризации кукурузы, обработанной паром, было значительно выше, чем не подвергавшейся обработке, при этом не было значительной разницы в содержании крахмала между двумя группами. Гуо Лян и др. (2015) [14] сообщили, что флокированная кукуруза значительно увеличивает степень клейстеризации кукурузного крахмала по сравнению с необработанной кукурузой, что согласуется с результатами нашего эксперимента. Обработка паром зерен кукурузы приводит к тому, что разрушается кристаллическая структура крахмала, в результате чего гранулы крахмала поглощают воду и набухают, что облегчает их контакт с пищеварительными ферментами и бактериями в пищеварительном тракте.

Содержание крахмала и степень клейстеризации в зависимости от способа обработки зерна представлено в таблице 2.

Таблица 2 - Содержание крахмала и степень клейстеризации в зависимости от способа обработки зерна

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.158.111.3>

| Показатель                                 | Способ обработки зерна |               |
|--|------------------------|---------------|
|  | измельченные           | флокированные |
| Содержание крахмала, % от с.в              | 72,92±1,33             | 72,33±1,15    |
| Степень клейстеризации крахмала, % от с.в. | 25,36±0,49             | 75,51±0,56**  |
| Амилоза, % от с.в                          | 7,43±0,18              | 8,11±0,23***  |
| Амилопектин, % от с.в                      | 33,10±0,85             | 32,52±0,94    |

Примечание: \*\*  $P > 0,99$ ; \*\*\*  $P > 0,95$ 

Результаты проведенных исследований показали, что способ обработки зерна не оказал существенного влияния ( $P < 0,95$ ) на содержание крахмала и амилопектина, но значительно оказал на степень клейстеризации кукурузного крахмала ( $P > 0,99$ ), и содержание амилозы ( $P > 0,95$ ). После флокирования степень клейстеризации кукурузного крахмала увеличилась с 25, 36% до 75,51%, а содержание амилозы — на 9,19% по сравнению с дробленой кукурузой.

### Закключение

Флокирование зерен кукурузы не влияет на химический состав, но способствует увеличению в 3 раза степени клейстеризации крахмала вследствие разрушения его кристаллической структуры. Это показывает эффективность данной обработки зерен кукурузы для применения в кормлении жвачных животных, так как повышенная клейстеризация способствует высвобождению глюкозы из крахмала, что свидетельствует о том, что флокирование может улучшить усвояемость зерна у жвачных животных и повысить их продуктивность.

### Конфликт интересов

Не указан.

### Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

### Conflict of Interest

None declared.

### Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

### Список литературы / References

- Пушкарев И.А. Влажное дробленое зерно кукурузы в кормлении дойных коров и его влияние на физико-химический состав молока / И.А. Пушкарев, А.П. Косарев, К.В. Киреева // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. — 2018. — № 6 (164). — С. 138–143.
- 张亚伟. 蒸汽压片技术及其在畜禽生产中的应用 / 张亚伟, 孟庆翔, 李德勇, 等 // 中国畜牧兽医. — 2015. — № 42 (4). — 页 929–935.
- 万发春. 玉米不同加工方式对肉牛育肥性能的影响 / 万发春, 王文娟, 刘晓牧, 等 // 中国畜牧兽医. — 2012. — № 39 (6). — 页 113–116.
- 信丽凤. 蒸汽压片玉米淀粉糊化度快速检测方法的研究 / 信丽凤, 郭玉琴, 郭亮, 等 // 饲料研究. — 2016. — № 12. — 页 50–52.
- 袁廷杰. 蒸汽压片玉米加工工艺及质量评价方法的研究进展 / 袁廷杰, 刘巧香, 邓露芳, 等 // 中国畜牧兽医. — 2014. — № 41 (07). — 页 112–117.
- 辛杭书. 蒸汽压片技术对玉米营养价值及奶牛饲用效果的影响 / 辛杭书, 许曾曾, 张跃文, 等 // 中国畜牧杂志. — 2006. — № 10. — 页 57–60.
- 王瑜. 蒸汽压片玉米替代不同比例粉碎玉米对奶牛生产性能的影响 / 王瑜, 巫亮, 洪龙, 等 // 畜牧与兽医. — 2016. — № 48 (03). — 页 47–50.
- 张丽英. 饲料分析及饲料质量检测技术 / 张丽英. — 北京: 中国农业大学出版社, 2007. — 342 页.
- 熊易强. 饲料淀粉糊化度(熟化度)的测定 / 熊易强 // 饲料工业. — 2000. — № 3. — 页 30–31.
- 赵冰. 不同直链淀粉含量米淀粉结构性质的研究 / 赵冰, 陈佩, 张晓, 等 // 食品研究与开发. — 2015. — № 36 (5). — 页 5–8.
- Kozlov S.S. Structural and thermodynamic properties of starches extracted from GBSS and GWD suppressed potato lines / S.S. Kozlov, A. Blennow, A.V. Krivandin [et al.] // International Journal of Biological Macromolecules. — 2007. — № 40 (5). — P. 449–460.

12. Ягофаров Д.Ш. Физико-химические свойства картофельного крахмала / Д.Ш. Ягофаров, А.В. Канарский, Ю.Д. Сидоров [и др.] // Вестник Казанского технологического университета. — 2012. — № 12. — С. 212–216.
13. 乔富强. 不同方法处理玉米的化学成分和淀粉糊化度及活体外发酵特性比较 / 乔富强, 姚华, 鲁琳等 // 北京农学院学报. — 2010. — № 25 (02). — 页 37–39.
14. 郭亮. 不同厚度蒸汽压片处理对玉米活体外瘤胃发酵的影响 / 郭亮, 乔绿, 张敏红, 等 // 中国畜牧兽医. — 2015. — № 42 (04). — 页 908–914.

### Список литературы на английском языке / References in English

1. Pushkarev I.A. Vlazhnoe droblennoe zerno kukuruzy v kormlenii doinikh korov i yego vliyaniye na fiziko-khimicheskii sostav moloka [Wet crushed maize grain in dairy cow nutrition and its effect on physical. And chemical composition of milk] / I.A. Pushkarev, A.P. Kosarev, K.V. Kireeva // Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Bulletin of the Altai State Agrarian University]. — 2018. — № 6 (164). — P. 138–143. [in Russian]
2. Zhang Yawei. Zhēngqì yāpiàn jìshù jí qí zài chùqín shēngchǎn zhōng de yìngyòng [Steam flaking technology and its application in livestock and poultry production] / Zhang Yawei, Meng Qingxiang, Li Deyong [et al.] // Zhōngguó xù mù shòu yī [China Animal Husbandry & Veterinary Medicine]. — 2015. — № 42 (4). — P. 929–935. [in Chinese]
3. Wan Fachun. Yù mǐ bù tóng jiā gōng fāng shì duì ròu niú yù féi xìng néng de yǐng xiǎng [Effects of different processing methods of corn on fattening performance of beef cattle] / Wan Fachun, Wang Wenjuan, Liu Xiaomu [et al.] // Zhōngguó xù mù shòu yī [China Animal Husbandry & Veterinary Medicine]. — 2012. — № 39 (06). — P. 113–116. [in Chinese]
4. Xin Lifeng. Zhēngqì yāpiàn yù mǐ diǎn fēn hú huà dù kuài sù jiǎncè fāng fǎ de yán jiū [Study on rapid detection method for starch gelatinization degree of steam-flaked corn] / Xin Lifeng, Guo Yuqin, Guo Liang [et al.] // Sī liào yán jiū [Feed Research]. — 2016. — № 12. — P. 50–52. [in Chinese]
5. Yuan Tingjie. Zhēngqì yāpiàn yù mǐ jiā gōng gōng yì jí zhì liàng píng jià fāng fǎ de yán jiū jìn zhǎn [Research progress on processing technology and quality evaluation methods of steam-flaked corn] / Yuan Tingjie, Liu Qiaoxiang, Deng Lufang [et al.] // Zhōngguó xù mù shòu yī [China Animal Husbandry & Veterinary Medicine]. — 2014. — № 41 (07). — P. 112–117. [in Chinese]
6. Xin Hangshu. Zhēngqì yāpiàn jìshù duì yù mǐ yíng yǎng jià zhí jí nǎi niú sì yòng xiào guǒ de yǐng xiǎng [Effects of steam-flaking technology on the nutritional value of corn and feeding efficiency in dairy cows] / Xin Hangshu, Xu Zengzeng, Zhang Yuewen [et al.] // Zhōngguó xù mù zá zhì [Chinese Journal of Animal Science]. — 2006. — № 10. — P. 57–60. [in Chinese]
7. Wang Yu. Zhēngqì yāpiàn yù mǐ tǐ dài bù tóng bǐ lì fēn suì yù mǐ duì nǎi niú shēng chǎn xìng néng de yǐng xiǎng [Effects of replacing ground corn with steam-flaked corn at different ratios on the production performance of dairy cows] / Wang Yu, Wu Liang, Hong Long [et al.] // Xù mù yǔ shòu yī [Animal Husbandry & Veterinary Medicine]. — 2016. — № 48 (03). — P. 47–50. [in Chinese]
8. Zhang Liying. Sī liào fēn xī jí sī liào zhì liàng jiǎncè jìshù [Feed Analysis and Feed Quality Testing Technology] / Zhang Liying. — Beijing: China Agricultural University Press, 2007. — 342 p. [in Chinese]
9. Xiong Yiqiang. Sī liào diǎn fēn hú huà dù (shú huà dù) de cè dìng [Determination of starch gelatinization degree (cooking degree) in feeds] / Xiong Yiqiang // Sī liào gōng yè [Feed Industry]. — 2000. — № 3. — P. 30–31. [in Chinese]
10. Zhao Bing. Bù tóng zhì liàn diǎn fēn hán liàng mǐ diǎn fēn jiégòu xìng zhì de yán jiū [Study on structural properties of rice starch with different amylose contents] / Zhao Bing, Chen Pei, Zhang Xiao [et al.] // Shí pǐn yán jiū yǔ kāi fā [Food Research and Development]. — 2015. — № 36 (5). — P. 5–8. [in Chinese]
11. Kozlov S.S. Structural and thermodynamic properties of starches extracted from GBSS and GWD suppressed potato lines / S.S. Kozlov, A. Blennow, A.V. Krivandin [et al.] // International Journal of Biological Macromolecules. — 2007. — № 40 (5). — P. 449–460.
12. Yagofarov D.Sh. Fiziko-khimicheskie svoistva kartofelnogo krakhmala [Physicochemical properties of potato starch] / D.Sh. Yagofarov, A.V. Kanarskii, Yu.D. Sidorov [et al.] // Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta [Bulletin of Kazan Technological University]. — 2012. — № 12. — P. 212–216. [in Russian]
13. Qiao Fuqiang. Bù tóng fāng fǎ chǔ lǐ yù mǐ de huà xué chéng fēn hé diǎn fēn hú huà dù jí huó tǐ wài fā jiào tè xìng bǐ jiào [Effects of Steam — Flaking with Different Thicknesses on in vitro Rumen Fermentation of Corn] / Qiao Fuqiang, Yao Hua, Lu Lin [et al.] // Běi jīng Nóng xué yuàn xué bào [China Animal Husbandry & Veterinary Medicine]. — 2010. — № 25 (02). — P. 37–39. [in Chinese]
14. Guo Liang. Bù tóng hòu dù zhēngqì yāpiàn chǔ lǐ duì yù mǐ huó tǐ wài liú wèi fā jiào de yǐng xiǎng [Effects of steam-flaking treatment with different thicknesses on in vitro rumen fermentation of corn] / Guo Liang, Qiao Lü, Zhang Minhong [et al.] // Zhōngguó Xù mù Shòu yī [China Animal Husbandry & Veterinary Medicine]. — 2015. — № 42 (04). — P. 908–914. [in Chinese]