

УДК 663.5:664.784 (045)

**А.Н. Крикунова, Н.М. Кузьменкова, М.В. Гернет****ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРЕДОБРАБОТКИ ЗЕРНА КУКУРУЗЫ  
НА ОСНОВЕ МЕТОДА ГИДРОТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ**

Созданы режимы предобработки зерна кукурузы на основе метода гидротермической обработки (ГТО), допускающие при дроблении контролировать распределение крахмала по фракциям эндосперма и зародыша. Это позволит перевести технологию производства этанола на перспективную многопродуктовую схему. Исследования были проведены на основе сравнения двух проб сырья, выращенных при различных климатических условиях, доказывающих универсальность данного режима.

Кукуруза, этанол, ГТО, зародыш.

**Введение**

Основным сырьем для получения пищевого этилового спирта на отечественных заводах являются разные виды зерновых культур. Среди них в настоящее время в количественном отношении преобладают пшеница и рожь. Кукуруза также относится к традиционному крахмалосодержащему сырью спиртовой отрасли. В связи с существенными преимуществами кукурузы перед другими культурами, в первую очередь, по содержанию основного ценного компонента – крахмала, переработка данного вида сырья из-за особенностей его биохимического состава, а именно из-за повышенного содержания жира, сопряжена с рядом трудностей. Этот компонент является потенциальным источником образования акролеина – примеси, которая даже в незначительных количествах резко ухудшает показатели качества спирта, снижая его сортность. Кроме того, следует отметить, что крахмал кукурузы, в отличие например, от пшеничного и ржаного, труднее поддается водно-тепловой и ферментативной обработке. Поэтому традиционно кукурузу на спиртовых заводах перерабатывают по жестким режимам, предусматривающим разваривание замеса при повышенных температурах, что позволяет перевести крахмал в растворимое состояние. Однако при этом одновременно разрушается и содержащийся в сырье жир.

Решением существующих проблем может быть вариант, предусматривающий разделение кукурузы на дифференцированные фракции: фракцию, содержащую эндосперм, и фракцию зародыша. В последней, по научным сведениям [5], концентрируется имеющийся в сырье жир. Данная фракция с успехом может быть использована для выработки ценного пищевого продукта, к примеру, кукурузного масла. Кроме того, такой технологический подход позволит более рационально использовать основное сырье отрасли, что приведет к повышению рентабельности производства в целом. Также это даст возможность значительно улучшить качественные показатели конечного продукта.

Цель настоящей работы заключалась в проведении исследований по выявлению влияния режимов гидротермической обработки кукурузы на процесс разделения сырья на дифференцированные фракции с использованием метода ситового анализа.

**Объекты и методы исследований**

Объектом исследования являлись два образца фуражного зерна кукурузы, поступившего на переработку на спиртовые предприятия РФ в 2009–2010 гг. (природно-климатические условия выращивания и сбора зерна в эти года существенно отличались друг от друга).

При изучении биохимического состава кукурузы и дифференцированных фракций определяли влажность по ГОСТ 29143–91, содержание крахмала по ГОСТ 10845–98.

**Результаты и их обсуждение**

Сравнительный анализ имеющихся научных данных [1, 2, 6] по биохимическому составу различных видов сырья и распределению отдельных компонентов по анатомическим частям зерновки показывает, что кукуруза имеет существенные отличия от пшеницы, ржи и ячменя.

Основной компонент зерна – крахмал. Он содержится в виде крахмальных зерен (гранул) определенного размера и формы, окруженных белковой оболочкой. Гранулы имеют преимущественно простые концентрические слои с полостью, от которых в разные стороны расходятся звездообразные трещины. Количественное содержание крахмала следующее (%): для пшеницы – 48–57, для ржи – 46–53, для ячменя – 43–55, для кукурузы – 65–75.

С точки зрения специалистов спиртовой отрасли, большой интерес представляют реологические свойства крахмала и явление клейстеризации. В процессе клейстеризации крахмала способность зерен к двойному лучепреломлению в поляризованном свете, характерная для нативных гранул, исчезает. Поэтому в качестве критерия окончания клейстеризации используют температуру, при которой полностью исчезает двойное лучепреломление. Эта температура является отличительным признаком зерновых крахмалов. Зерно кукурузы разваривают по более жесткому режиму, так как оно, по сравнению с зерном ржи и пшеницы, значительно медленнее поглощает воду и набухает. Клейстеризация кукурузного крахмала начинается при более высокой температуре (65–75°C), структура эндосперма кукурузного зерна более прочная, чем у других зерновых культур.

В настоящее время в мукомольно-крупяном и крахмалопаточном производствах используют технологические схемы, предусматривающие выделение зародыша из кукурузы. Известно, что кукурузный зародыш составляет около 10% от веса кукурузного зерна. Кроме того, он содержит около 18% белка, 8% крахмала, 10% минеральных веществ. В кукурузных зародышах сконцентрировано более 80% жира, содержащегося в кукурузном зерне. В связи с биохимическим составом его целесообразно выделять из основного спиртового производства и использовать для выработки ценных пищевых продуктов. К примеру, кукурузное масло получают из зародышей по существующим технологиям их выделения в мукомольно-крупяном, пищекопцентратном и крахмалопаточном производствах.

Однако данные технологии, к сожалению, не могут быть использованы в спиртовом производстве в виду специфики и аппаратурного оформления процесса. Кукурузные зародыши отделяют от зерна двумя способами: сухим, применяемым на мельнично-крупяных и пищекопцентратных предприятиях, и мокрым, распространенным на крахмалопаточных заводах.

Сухой способ заключается в последовательной обработке кукурузного зерна (предварительно замоченного и доведенного до 18–20%-й влажности) на рифленых вальцах. Затем на сортирующих и очистительных устройствах из массы отделенного зародыша удаляют крахмалсодержащие частицы эндосперма, при этом образующаяся фракция зародыша обогащается жиром, но содержит в тоже время существенное количество крахмала, что для спиртовой отрасли сопряжено с потерями данного ценного компонента [3, 4].

Мокрый способ заключается в длительном замачивании зерна в теплом водном растворе сернистой кислоты с последующей его обработкой на дисковых дробилках и разделении полученного продукта на сепараторах флотационного типа. Зародыш, отделенный от основной массы крахмалистого эндосперма, подвергают трехкратной отмывке от крахмала и затем освобождают от влаги сначала механическим способом, а затем с помощью тепловой сушки.

Недостатком мокрого способа является более низкое качество масла, содержащегося в зародышах, по сравнению с маслом зародышей, полученных сухим способом [3, 4].

Если в целом рассматривать названные технологии относительно спиртовой отрасли, то в данном виде они не применяются, поскольку требуют установки большого количества дополнительного оборудования, а также среды, получаемые при предобработке мокрым способом являются нетехнологичными (сильно разбавлены).

В спиртовом производстве при переработке зерна в этанол традиционно используют схемы, предусматривающие сухое дробление зерна с использованием молотковых дробилок либо вальцовых станков. В ряде случаев, к примеру, при получении мелкого помола на предприятиях имеются рассевы, позволяющие внедрить метод ситового разделения сырья на фракции.

Поэтому в настоящей работе был рассмотрен вариант разделения кукурузы на фракции с использо-

вание имеющегося на заводах оборудования. Из научной литературы известно, что фракция зародыша легче отделяется от зерна, прошедшего ранее стадию ГТО, однако такая обработка с учетом специфики спиртовой отрасли требовала корректировки технологических режимов.

В целом при внедрении метода ГТО использовались способы холодного (увлажнение и отволаживание) и горячего (пропаривание) воздействия на сырье, интервалы варьирования которых приведены в табл. 1.

Таблица 1

Способы обработки кукурузы и варьируемые факторы

№ п/п	Способ обработки	Варьируемые факторы	Интервал варьирования факторов
1	Увлажнение и отволаживание	1.1. Степень увлажнения. 1.2. Время отволаживания	1.1. W= 14,0-20,0% 1.2. τ=1–10 ч
2	Пропаривание	2.1. Время пропаривания	2.1. τ=1–10 мин

Исследования включали эксперименты по выявлению оптимальной длительности обработки, предполагающей последующее дробление на вальцовом станке, выделение фракции и анализ крахмала, содержащегося в них. В работе использовался вальцовый станок Nagema. Диаметр вальцов – 220 мм, длина вальцов – 185 мм, скорость вращения – 3 м/с, плотность нарезки рифлей – 6 риф/см, расположение к острию, углы рифлей – 20 и 70°.

В работе использовалось зерно следующих видов:

2009г (образец 1) с исходной влажностью 12,0% и крахмалистостью 56,9%, что составляет на абсолютно сухое вещество 64,7%;

2010г (образец 2) с исходной влажностью 12,5%, крахмалистостью 55,4%, на абсолютно сухое вещество 62,9%.

Для выделения дифференцированной фракции из помола применяли набор сит с диаметрами: 6,0 мм; 4,5 мм; 4,0 мм; 3,2 мм. Выявлено, что минимальное количество крахмала содержится во фракции – сход с сита d = 4,5 мм, в связи с чем он был условно принят за фракцию зародыша. У проб зерна с массой 300г, повышали влажность до: 14,0%; 16,0%; 18,0%; 20,0%. Расчет количества вносимой воды в навеску осуществляли в соответствии с формулой:

$$V_{в} = [(W_{з} - W_{исх}) / (100 - W_{з})] \times m_{\text{зерна}}, \text{ мл},$$

где:

$V_{в}$  – объем воды, требуемый для увлажнения, мл;

$W_{з}$  – требуемая влажность зерна, %;

$W_{исх}$  – исходная влажность зерна, %;

$m_{\text{зерна}}$  – масса увлажняемого зерна, г.

Длительность отволаживания в данной серии составляла 10 часов. В качестве контроля использовали исходное неувлажненное зерно. Данные, приведенные в табл. 2, показывают, что с повышением влажности кукурузы увеличивается массовая доля самой крупной фракции и одновременно снижается сход с сита d=4,5мм (фракция зародыша).

Так, варьируя степень увлажнения зерна, можно изменить структурно-механические свойства зернов-

ки и, как следствие, контролировать процесс дифференцированного разделения.

Таблица 2

Влияние степени увлажнения зерна на гранулометрический состав помолов зерна

Сход с сит d, мм	Степень увлажнения, %									
	12,0*		14,0		16,0		18,0		20,0	
	Обр. 1	Обр. 2	Обр. 1	Обр. 2	Обр. 1	Обр. 2	Обр. 1	Обр. 2	Обр. 1	Обр. 2
6,0	19,6	17,4	55,0	47,8	131,3	113,5	167,4	158,5	201,1	209,9
4,5	183,0	188,4	154,7	164,2	102,4	115,4	72,8	80,5	21,7	9,3
4,0	28,8	29,7	22,3	21,4	11,0	15,7	7,7	5,9	3,3	4,8
3,2	30,1	25,4	17,8	18,2	13,0	13,5	30,6	32,8	10,9	13,9
3,2	38,5	39,1	50,2	48,4	42,3	41,9	21,5	22,3	63,0	62,1

\* контроль (без увлажнения).

В работе было принято считать, что крупная, средняя и мелкая фракции представляют собой соответственно сходы с сит d=6,0мм; d=4,5мм; d=4,0мм и d=3,2мм и проход через сито d=3,2мм. В данных фракциях далее было определено содержание крахмала.

Установлено, что измельчение сухого зерна кукурузы практически не влияет на содержание крахмала в выделенных фракциях, переувлажнение зерна (влажность 20 %), также не позволяет существенно

перераспределить крахмал по фракциям. Вместе с тем увлажнение зерна до 16,0 % характеризуется снижением крахмала в средней фракции и повышением его в мелкой. При расчете процента крахмала во фракции с учетом массовой доли конкретной фракции выявлено, что увлажнение зерна повышает долю крахмала в крупной фракции. Таким образом, предварительно можно рекомендовать степень увлажнения до 16,0%.

Таблица 3

Содержание крахмала во фракциях кукурузы в зависимости от степени увлажнения

Фракции	Процент крахмала во фракции от исходного в зерне, %					
	12,0		16,0		20,0	
	Обр. 1	Обр. 2	Обр. 1	Обр. 2	Обр. 1	Обр. 2
Крупная	2,4	2,0	47,1	46,7	65,0	66,8
Средняя	59,8	61,3	24,8	22,9	9,4	8,3
Мелкая	34,0	33,5	27,1	28,7	24,7	22,9

После выбора степени увлажнения были проведены эксперименты по определению влияния времени отволаживания зерна на гранулометрический состав помола кукурузы, которое составляло от 1 до 10 часов.

При непродолжительном времени отволаживания (1 час) зрительно было установлено, что не вся расчетная влага адсорбируется зерном (поверхность емкости для отволаживания была мокрой). При более длительном отволаживании в течение 3–10 часов вся влага поглощалась зерном, а также снижалось коли-

чество крупной фракции, что позволило отнести длительность отволаживания к значимому параметру, влияющему на изменение структурно-механических свойств кукурузы.

Определение содержания крахмала в укрупненных фракциях в зависимости от времени отволаживания показало, что минимальные потери крахмала, переходящие в среднюю фракцию, соответствуют пробе, подвергнутой увлажнению до 16,0% и отволаживанию в течение 3 часов (табл. 4).

Таблица 4

Содержание крахмала во фракциях кукурузы в зависимости от времени отволаживания зерна

Фракции	Процент крахмала во фракции от исходного в зерне, %					
	T=3 часа		T=5 часов		T=10 часов	
	Обр. 1	Обр. 2	Обр. 1	Обр. 2	Обр. 1	Обр. 2
Крупная	54,9	52,1	50,1	48,7	47,1	45,1
Средняя	9,3	10,9	12,2	13,4	24,8	26,9
Мелкая	35,0	38,7	35,4	37,6	27,1	26,9

Следующим способом изменения структурно-механических свойств зерна кукурузы в работе был рассмотрен способ с пропариванием сырья. Данный вид обработки, несмотря на повышение энергозатрат, связанных с получением влажного пара, может быть перспективным для спиртовой отрасли. Во-первых, он существенно ускоряет процесс увлажнения. Во-вторых, этот способ может снижать содержание поверхностной микрофлоры.

Время пропаривания в экспериментах варьировалось от 1 до 10 минут. Выявлено (табл. 5), что с увеличением длительности пропаривания растет доля самой крупной фракции, а также идет перераспределение доли средней и мелкой фракций.

Для выбора длительности пропаривания кукурузы была определена влажность целого зерна, эндосперма и зародыша. Из данных табл. 6 видно, что с повышением времени пропаривания закономерно

увеличивается влажность зерна. Образец 2 ввиду особых климатических условий 2010г (засушливое лето) набирал меньшее количество влаги по сравнению с образцом 1. Также установлено, что меняется и влажность отдельных фракций.

Данные по содержанию крахмала в зерне кукурузы и его дифференцированных фракций, позволившие выявить зависимость от времени пропаривания (табл. 7), показали, что с увеличением продолжительности процесса и, как следствие, повышением влажности анализируемых проб снижается содержание крахмала в ней.

Четкой зависимости влияния времени пропаривания на содержание крахмала во фракции эндосперма не установлено. Вместе с тем выявлено, что при времени пропаривания, равном 5 минутам, содержание крахмала во фракции зародыша снижается в 2 раза: с 37,0 до 19,2 % для образца 1 и с 36,5 до 19,5 % для образца 2.

Таблица 5

Влияние времени пропаривания зерна на гранулометрический состав помолов кукурузы

Сход с сит d, мм	Время пропаривания, мин							
	1		3		5		10	
	Обр. 1	Обр. 2	Обр. 1	Обр. 2	Обр. 1	Обр. 2	Обр. 1	Обр. 2
6,0	109,5	105,6	160,3	140,8	169,5	153,9	194,6	182,1
4,5	54,0	58,3	55,3	73,1	61,7	63,5	75,6	78,9
4,0	24,6	22,5	14,6	16,3	12,0	15,3	9,7	11,3
3,2	56,1	58,1	32,8	30,7	8,7	12,4	6,9	12,3
3,2	55,8	55,5	37,0	39,1	48,1	54,9	13,2	15,4

Таблица 6

Влажность зерна кукурузы и его дифференцированных фракций в зависимости от времени пропаривания

Анализируемая проба	Содержание влаги, %							
	Время пропаривания, мин							
	1		3		5		10	
	Обр. 1	Обр. 2	Обр. 1	Обр. 2	Обр. 1	Обр. 2	Обр. 1	Обр. 2
Целое зерно	13,9	13,6	14,3	13,9	15,5	15,2	20,5	19,8
Фракция эндосперма	13,0	12,9	14,5	13,8	15,8	15,0	19,3	19,1
Фракция зародыша	12,6	12,4	13,3	13,5	13,9	13,9	24,1	21,8

Таблица 7

Содержание крахмала в зерне кукурузы и его дифференцированных фракциях в зависимости от времени пропаривания

Анализируемая проба	Содержание крахмала, %							
	Время пропаривания, мин							
	1		3		5		10	
	Обр. 1	Обр. 2	Обр. 1	Обр. 2	Обр. 1	Обр. 2	Обр. 1	Обр. 2
Целое зерно	54,2	53,9	54,0	53,1	53,8	52,5	50,3	50,0
Фракция эндосперма	57,8	56,1	59,4	58,3	61,5	60,7	58,0	56,4
Фракция зародыша	37,0	36,5	25,1	25,8	19,2	19,5	30,2	30,9

В целом выполненные исследования показали, что метод ГТО может быть рекомендован для предобработки зерна кукурузы – основного сырья спиртовой отрасли – в случае его переработки по перспективным многопродуктовым схемам. Выбранные

оптимальные режимы холодного либо горячего кондиционирования зерна позволяют целенаправленно изменять его технологические свойства, что в свою очередь дает возможность выделить фракцию зародыша в более чистом виде.

## Список литературы

1. Андреев, Н.Р. Структура, химический состав и технологические признаки основных видов крахмалсодержащего сырья / Н.Р. Андреев, В.Г. Карпов // Хранение и переработка сельхозсырья. – 1999. – № 7. – С. 30–33.
2. Козьмина, Н.П. Биохимия зерна и продуктов его переработки / Н.П. Козьмина. – М.: Колос, 1976. – 375 с.
3. Лукин, Н.Д. Некоторые свойства нетрадиционных видов крахмала / Н.Д. Лукин, Н.И. Филиппова, Л.П. Носовская, В.И. Орлова // Хранение и переработка сельхозсырья. – 1997. – № 2. – С. 19–21.
4. Максимова, Е.М. Механические и биотехнологические способы выделения фракции некрахмальных полисахаридов зерна, перерабатываемого в этанол / Е.М. Максимова, Л.Н. Крикунова, Е.М. Мельников // Известия вузов. Пищевая технология. – 2001. – № 1. – С. 34–36.
5. Нечаев, А.П. Липиды зерна / А.П. Нечаев, Ж.Я. Сандлер. – М.: Колос, 1975.
6. Посыпанов, Г.С. Растениеводство / Г.С. Посыпанов, В.Е. Долгодворов, Г.Е. Коренев и др. – М.: Колос, 1997.

ФГБОУ ВПО «Московский государственный  
университет пищевых производств»  
125080, Россия, г. Москва, Волоколамское шоссе, 11.  
Тел: (499) 158-72-68

## SUMMARY

**L.N. Krikunova, N.M. Kuzmenkova, M.V. Gernet**

**RESEARCH ON THE PROCESS OF CORN GRAIN PREPROCESSING ON THE BASIS OF A METHOD  
OF HYDROTHERMAL PROCESSING**

Modes of corn grain preprocessing on the basis of a method of hydrothermal processing are developed which allow to control starch distribution among endosperm and germ fractions at the process of crushing. This will allow transferring the ethanol production technology to the perspective multiproduct scheme. Researches have been carried out to compare the two raw material samples cultivated at various environmental conditions proving versatility of the given mode.

Corn, ethanol, the HTP method, a germ.

Moscow State University of Food Production  
11, Volokolamsk, Moscow, 125080, Russia  
Phone: +7(499) 158-72-68

