

УДК 663.911.1:613.2

**РАСШИРЕНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ НЕТРАДИЦИОННОГО
ВТОРИЧНОГО РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ
ПРЕБИОТИЧЕСКИХ ПИЩЕВЫХ ИНГРЕДИЕНТОВ***

Вера Федоровна Винницкая¹

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

vera.winn@gmail.com

Дмитрий Васильевич Акишин¹

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

akishin@mgau.ru

Кристина Вячеславовна Брыксина¹

кандидат технических наук, старший преподаватель

kristina.bryksina91@mail.ru

Рафаил Львович Исьемин²

кандидат технических наук, доцент

renergy@list.ru

Олег Юрьевич Милованов²

кандидат технических наук, доцент

¹ Мичуринский государственный аграрный университет

г. Мичуринск, Россия

² Тамбовский государственный технический университет

г. Тамбов, Россия

Аннотация. Проведены исследования вторичного сырья - стеблей полученных при производстве семян подсолнечника и зерен кукурузы.

Стебли подсолнечника исследовали повторно для получения показателей АОЦ частиц внутренней части стебля, напоминающих вату, которые легко отделяются от частиц оболочки стебля при автогидролизе биомассы водяным

паром. Стебли кукурузы исследовали впервые до и после автогидролиза биомассы водяным паром.

Стебли растения кукурузы, также как и подсолнечник, состоят из клетчатки, гемицеллюлоз и других аналогичных соединений, которые являются потенциальными предшественниками ксило олигосахаридов и (арабино)ксилан-олигосахаридов ((A)XOS), ранее определенных как новые пребиотики, полезные для здоровья человека.

Стебли кукурузы после удаления початков с зернами, были высушены до остаточной влажности 10% и исследованы по общей антиоксидантной ценности. Затем измельченные сушеные образцы были подвергнуты гидролизу гемицеллюлоз влажной торрефикацией в кипящем слое в среде перегретого водяного пара, в реакторе, работающем под избыточным давлением не выше 0,01 МПа. Была применена мягкая торрефикация – процесс «мягкого» пиролиза биомассы, нагрева без доступа воздуха, который протекает при температурах 150-160 °С и атмосферном давлении в течении 5-10-15 минут. При этом были получены и исследованы три образца биомассы с различным временем процесса торрефикации.

Исследования показали, что стебли растения кукурузы также как и подсолнечника являются ценным вторичным растительным сырьем для получения пищевых ингредиентов и продуктов.

Ключевые слова: вторичное сырье, подсолнечник, кукуруза, стебли, сушка, влажная торрефикация, технология, антиоксидантная ценность (АОЦ), пищевая ценность

Введение

Кукуруза (*Zea mays*) – одна из важнейших зерновых культур.

На продовольственные цели используется около 20% зерен кукурузы, на технические цели - 15-20% и примерно две трети на корм. Из кукурузных зерен получают более 250 продуктов (мука, крупа, хлопья, палочки, крахмал, декстрин, патока глюкоза, сироп, спирт, пиво, масло, витамин Е, глютаминовая кислота и др.). Из стеблей и листьев делают бумагу, стройматериалы и др. Зеленая масса кукурузы и кукурузный силос - важный компонент корма для коров [1,2,5].

Кукуруза - это однолетнее растение, из семейства Мятликовые. У кукурузы мощная корневая, мочковатая многоярусная система, сильно разветвленная, на рыхлых почвах проникает на глубину до 3 метров и в радиусе более 1 метра. У корневой системы кукурузы есть особенность, это наличие воздушных полостей, которые показывают о повышенной чувствительности корней к кислороду. В высоту кукуруза достигает 1–5 метров. У кукурузы стебель достигает толщины 2-7 см. Стебель кукурузы прямостоячий, округлый, гладкий, состоит из заполненных сердцевинной междуузлий, которые разделены стеблевыми узлами, внутри заполнен паренхимой. Фотосинтетическая деятельность стебля, играет большую роль в формировании урожая зерна. Листья кукурузы крупные, сверху опускаются в чередующемся порядке. Листья расположены по двум сторонам стебля и плотно его облегают. В среднем число листьев кукурузы составляет 8 – 45 шт. Наиболее урожайными считаются стебли с узкими листьями, которые отходят под острым углом к стеблю. В листьях кукурузы содержится намного больше питательных веществ, чем в стебле. Листья кукурузы рекомендуется использовать на силос и зеленый корм.

Существует несколько ботанических групп кукурузы: кремнистая, лопающаяся, крахмалистая, сахарная и др. Сахарная кукуруза хорошо растет не только на юге страны, но и в более северных регионах. Количество початков на растении кукурузы, зависит от сорта. Початки выламывают в стадии молочно – восковой спелости, этот период длится не долго. Для того, чтобы увеличить

время сбора початков, можно высевать кукурузы в несколько сроков. Существует много сортов и гибридов кукурузы [3,4,7].

Уборку сахарной кукурузы проводят выборочно, в течение каждого дня в стадии молочной и начальной молочно-восковой спелости, которая наступает через 20-25 дней после цветения культуры. Количество крахмала возрастает по мере созревания зерен, а количества сахара убывает. Снятые початки необходимо сразу использовать в нужном направлении, кулинария, консервирование, производство Восковая (физиологическая) спелость зерна кукурузы наступает при влажности 40%. В полную зрелость зерно затвердевает. Кормовое зерно кукурузы убирают комбайнами с обмолотом початков, а семенное без обмолота початков.

После уборки растений кукурузы и удаления початков стебли утилизируют различными способами. Возможно использование стеблей как вторичного сырья для получения ингредиентов в пищевой кормовой промышленности [6].

Цель исследований – исследования вторичного сырья - стеблей, полученных при производстве семян подсолнечника и зерен кукурузы и частиц внутренней части стебля, напоминающих вату, которые легко отделяются от частиц оболочки стебля при автогидролизе биомассы водяным паром для применения их в получении пищевых ингредиентов с пребиотическими и антиоксидантными свойствами.

Задачи исследований:

- исследовать стебли кукурузы до торрефикации по антиоксидантной ценности;

- исследовать образцы сухих образцов биомассы стеблей подсолнечника и кукурузы и частиц внутренней части стебля, напоминающих вату, которые легко отделяются от частиц оболочки стебля при автогидролизе биомассы водяным паром по антиоксидантной ценности.

Объекты и методы исследований

Объектами исследований являются стебли растения кукурузы, после удаления початков с зернами и сушеный биоматериал стеблей кукурузы и подсолнечника после обработки водяным паром и сушки.

Объекты и методы исследований

Объектами исследований являются стебли кукурузы и подсолнечника и технология автогидролиза.

Растительное сырьё было получено с опытных участков Мичуринского ГАУ.

Процесс автогидролиза осуществляли в реакторе, схема которого представлена на рисунке 1.

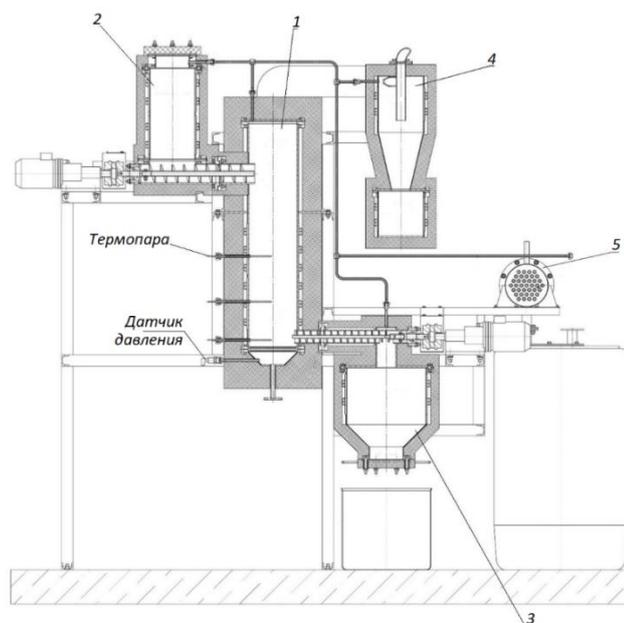


Рисунок 1 - Схема пилотной установки для автогидролиза биомассы в кипящем слое в среде перегретого водяного пара: 1 – бункер для исходной биомассы; 2 – реактор для автогидролиза в кипящем слое; 3 – циклон для отделения парогазового потока от частиц биоугля, выносимых из реактора; 4 – конденсатор парогазовой смеси; 5 – бункер для биоугля; 6 – датчик давления; 7 – термопары

В работе использовали общепринятые и специальные методики. Определение влажности - массу долю влаги определяли методом высушивания до постоянного веса при температуре 105 °С по ГОСТ 13340.3-77, ГОСТ 28561-90.

Антиоксидантную ценность определяли с использованием жидкостного хроматографа Цвет Яуза-01-АА по методике ОАО «Химавтоматика», 2007, по градуировочному графику, в качестве стандарта выступила галловая кислота. Подготовку проб образцов проводили измельчением, получением экстракта в 70% водно-спиртовом растворе, либо воде, фильтрованием. Исследование экстракта проводили для каждой из трех параллельных проб по 3 последовательных измерения выходного сигнала. по методике Яшина А.Я. [9].

Результаты исследований и их обсуждение

В Тамбовском государственном техническом университете ведется разработка технологии непрерывной влажной торрефикации отходов растениеводства и пищевых отходов в кипящем слое в среде перегретого водяного пара, которую можно осуществлять в реакторе, работающем под избыточным давлением не выше 0,01 Мпа и температуре не выше 160⁰С.

На первом этапе исследований полученные сушеные ингредиенты вторичного сырья: стеблей кукурузы до торрефикации исследовали по влажности и общей антиоксидантной ценности (табл. 1).

Таблица 1

Результаты исследований образцов биоматериала стеблей кукурузы по влажности и общей антиоксидантной ценности

Наименование сырья	Массовая доля влаги до сушки, %	Массовая доля влаги сушеной биомассы, %	Антиоксидантная ценность (АОЦ мг 100г)
Стебли кукурузы	71,0%	10%	316,0

Показатель антиоксидантной ценности образца показал, что вторичное сырье является источником антиоксидантов.

Было установлено, что частицы внутренней части стеблей подсолнечника и кукурузы, напоминающие вату, легко отделяются от частиц оболочки стебля. В дальнейшем исследовались характеристики оболочки стеблей и «ваты».

Исходные характеристики представлены в таблице 2.

Таблица 1

Исходные характеристики оболочки стеблей подсолнечника и «ваты»

Наименование сырья	Массовая доля влаги после сушки, %	Массовая доля влаги сушеной биомассы, %	Антиоксидантная ценность (мг/100г)
Оболочка стеблей подсолнечника	10,2	-	259,31
«Вата»	11,5	-	337,16

Характеристики оболочки стебля подсолнечника и «ваты» после автогидролиза представлены в таблице 3.

Таблица 3

Характеристики оболочки стебля подсолнечника и «ваты» после автогидролиза

Наименование образца биомассы	Температура обработки, °С	Время обработки, мин	Антиоксидантная ценность (мг /100г)
Оболочка стебля подсолнечника	160	5	276,82
Оболочка стебля подсолнечника	160	10	232,99
Оболочка стебля подсолнечника	160	15	155,0
«Вата»	160	5	292,50
«Вата»	160	10	343,72
«Вата»	160	15	510,60

Характеристики оболочки стеблей кукурузы и «ваты» по АОЦ после автогидролиза представлены в таблице 4.

Таблица 4

Характеристики оболочки стеблей кукурузы и «ваты» по АОЦ после автогидролиза

Наименование	ССА, мг/100 г, по галловой кислоте	ССА, мг/100 г, по кверцетину
Стебли кукурузы, исх.	255,88	383,82
Опыт №1, 5 мин	551,17	826,75
Опыт №2, 10 мин	501,44	752,16

Опыт №3, 15 мин	337,16	505,73
-----------------	--------	--------

Анализ данных, представленных в таблицах 1,2 и 3, показывает, что в стеблях подсолнечника и кукурузы содержится значительное количество жирорастворимых антиоксидантов. Для сравнения в шоколаде различных производителей содержится от 11 до 135 мг/100 г жирорастворимых антиоксидантов.

При автогидролизе внутренней части стебля подсолнечника содержание антиоксидантов резко увеличивается с ростом времени обработки.

Заключение

1. Проведенные исследования показали, что такие виды побочных продуктов агропищевой цепочки, как стебли подсолнечника, содержат значительное количество антиоксидантов.

2. Сушка, измельчение и воздушная сепарация стебля полученной из стебля подсолнечника биомассы позволяет легко отделить внутреннюю часть стебля («вату») от жесткой оболочки стебля.

3. Автогидролиз оболочки стебля подсолнечника не приводит к увеличению содержания в нем антиоксидантов. Наоборот, с увеличением продолжительности автогидролиза содержание антиоксидантов в оболочке подсолнечника снижается.

4. Автогидролиз «ваты» в 1,5 раза увеличивает содержание антиоксидантов с увеличением времени обработки с 5 до 15 мин.

5. Метод автогидролиза кипящем слое в среде перегретого водяного пара может рассматриваться как эффективный метод увеличения содержания антиоксидантов в некоторых видах побочных продуктов агропищевой цепочки, но данный метод требует дальнейших исследований как в плане изучения причин и механизма увеличения содержания антиоксидантов, так и в плане применимости к переработке различных побочных продуктов.

** Работа выполнена с использованием научного оборудования ЦКП Мичуринского ГАУ «Селекция сельскохозяйственных культур и технологии производства, хранения и переработки продуктов питания функционального и лечебно-профилактического назначения».*

Список литературы:

1. Ветров М. Ю., Акишин Д. В., Винницкая В. Ф. Расширение ассортимента функциональных продуктов из нетрадиционного растительного сырья // Инновационные пищевые технологии в области хранения и переработки сельскохозяйственного сырья: фундаментальные и прикладные аспекты : Материалы VI Международной научно-практической конференции , Анапа, 26–28 мая 2016 года. / Анапа: Ассоциация «Технологическая платформа «Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания». 2016. С. 101-104.

2. Исследования плодоовощного сырья и ржано-пшеничного хлеба по антиоксидантной активности / К. В. Парусова и др. // Основы повышения продуктивности агроценозов: материалы Международной научно-практической конференции, посвященной памяти известных ученых И.А. Муромцева и А.С. Татаринцева, Мичуринск, 24–26 ноября 2015 года. / Мичуринск: Общество с ограниченной ответственностью "БИС". 2015. С. 265-268.

3. Перспективы развития функциональных продуктов питания / К.В. Парусова и др. // Сборник научных трудов, посвященный 85-летию Мичуринского государственного аграрного университета: Сборник научных трудов. В 4-х томах. Под редакцией В.А. Бабушкина. Том IV. / Мичуринск: Мичуринский государственный аграрный университет. 2016. С. 249-252.

4. Применение функциональных добавок с высокой антиоксидантной активностью в технологии хлеба / К.В. Парусова и др. // Перспективы развития интенсивного садоводства: материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвященной памяти ученого-садовода, доктора сельскохозяйственных наук, профессора, лауреата Государственной премии

РФ, заслуженного деятеля науки РСФСР В.И. Будаговского, Мичуринск, 21–22 декабря 2016 года. / Мичуринск: Общество с ограниченной ответственностью "БИС". 2016. С. 70-73.

5. Теоретические и практические аспекты разработки пищевых продуктов, обогащенных эссенциальными нутриентами / Е.А. Смирнова и др. // Пищевая промышленность. 2012. № 11. С. 8-12.

6. Torrefaction and combustion of pellets made of a mixture of coal sludge and straw / R. Isemin et al. // Fuel. 2017. Vol. 210. P. 859-865.

7. Федотов В.А., Кадыров С.В., Сафронов А.В. Технология производства продукции растениеводства: учебник / М.: КолоС. 2010. 487с.

8. Шванская И.А. Перспективные направления создания продуктов функционального назначения на основе растительного сырья: науч. аналит. обзор / М.: ФГБНУ «Росинформагротех». 2012. 144 с.

9. Яшин А.Я., Черноусова Н.И. Определение содержание природных антиоксидантов в пищевых продуктах // Пищевая промышленность. №5, 2007. с. 28-32.

UDC 663.911.1:613.2

**RESEARCH OF NON-TRADITIONAL SECONDARY PLANT RAW
MATERIALS FOR PRODUCING PREBIOTIC FOOD INGREDIENTS***

Vera F. Vinnitskaya¹

candidate of agricultural sciences, associate professor
vera.winn@gmail.com

Dmitry V. Akishin¹

candidate of agricultural sciences, associate professor
akishin@mgau.ru

Kristina V. Bryksina¹

candidate of technical sciences, senior lecturer

kristina.bryksina91@mail.ru

Rafail L. Isyemin²

candidate of technical sciences, associate professor

penergy@list.ru

Oleg Yu. Milovanov²

candidate of technical sciences, associate professor

¹Michurinsk State Agrarian University

Michurinsk, Russia

² Tambov State technical university

Tambov, Russia

Abstract. The secondary raw materials - stalks obtained during the production of sunflower seeds and corn kernels - were studied.

Sunflower stalks were re-examined to obtain the AOV indices of the particles of the inner part of the stalk, resembling cotton wool, which are easily separated from the particles of the stalk shell during autohydrolysis of the biomass with water vapor. Corn stalks were studied for the first time before and after autohydrolysis of the biomass with water vapor.

Stalks of the corn plant, as well as sunflower, consist of fiber, hemicelluloses and other similar compounds, which are potential precursors of xylo-oligosaccharides and (arabino)xylan-oligosaccharides ((A)XOS), previously identified as new prebiotics beneficial to human health.

After removing the cobs with kernels, corn stalks were dried to a residual moisture content of 10% and studied for total antioxidant value. Then the crushed dried samples were subjected to hydrolysis of hemicelluloses by wet torrefaction in a fluidized bed in a superheated water vapor environment, in a reactor operating under excess pressure of no more than 0.01 MPa. Soft torrefaction was used - a process of "soft" pyrolysis of biomass, heating without air access, which occurs at temperatures of 150-160 °C and atmospheric pressure for 5-10-15 minutes. In this case, three

samples of biomass with different torrefaction process times were obtained and studied.

Studies have shown that corn stalks, as well as sunflower stalks, are valuable secondary plant raw materials for obtaining food ingredients and products.

Key words: secondary raw materials, sunflower, corn, stalks, drying, wet torrefaction, technology, antioxidant value (AOV), nutritional value.

Статья поступила в редакцию 03.05.2024; одобрена после рецензирования 13.06.2024; принята к публикации 27.06.2024.

The article was submitted 03.05.2024; approved after reviewing 13.06.2024; accepted for publication 27.06.2024.