

УДК 663.911.1:613.2

**ИССЛЕДОВАНИЯ 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

¹Мичуринский государственный аграрный университет

г. Мичуринск, Россия

²Тамбовский государственный технический университет

г. Тамбов, Россия

Аннотация. В работе представлены результаты исследования возможности применения автогидролиза для получения антиоксидантов из побочных продуктов агропищевой цепочки (стеблей и корзинок подсолнечника). Подсолнечник - однолетнее травянистое растение семейства сложноцветных с плотным прямостоячим стеблем высотой до 2,5 м. Стебель

неразветвленный, с губчатой сердцевиной. Губчатое содержимое заполняет также и внутреннюю часть корзинки подсолнуха, на которой располагаются семена, богатые маслом и белками. Стебель и корзинка подсолнечника состоят из клетчатки, гемицеллюлозы и других аналогичных соединений, которые являются потенциальными предшественниками ксило олигосахаридов и (арабино)ксилан-олигосахаридов ((А)XOS), ранее определенных как новые пребиотики, полезные для здоровья человека.

Стебли и корзинки подсолнечника после удаления из корзинки семян, были высушены до остаточной влажности 9,5% и исследованы по общей антиоксидантной ценности. Затем измельченные высушенные образцы были подвергнуты автогидролизу в кипящем слое в среде перегретого водяного пара, в реакторе, работающем под избыточным давлением не выше 0,01 МПа. Температура автогидролиза составила 150-160 °С, длительность обработки составляла 5, 10 и 15 минут. После автогидролиза (торрефикации) полученные образцы также были исследованы на общую антиоксидантную ценность.

Исследования показали, что вторичное сырье: стебли и корзинки подсолнечника по показателям антиоксидантной ценности (АОЦ) являются ценным вторичным растительным сырьем для получения пищевых ингредиентов и продуктов функционального назначения. Технология торрефикации - автогидролиза в кипящем слое в среде перегретого водяного пара в течение 10 мин позволяет увеличить АОЦ биомассы стеблей и корзинок подсолнечника.

Ключевые слова: отходы производства семян подсолнечника, автогидролиз, технология, антиоксиданты, пищевая ценность.

Введение

Подсолнечник (*Helianthus annuus* L.) – основная масличная культура в РФ, занимающая 7-0% площади посева всех масличных культур и дающая до 80% растительного масла. В семянках подсолнечника содержится 50-56% пищевого масла и 14-16% протеина.

Родина подсолнечника – юг Северной Америки. В Россию попал при Петре 1 из Голландии. Посевная площадь подсолнечника в России более 7 млн. га в ЦФО, урожайность подсолнечника в Тамбовской и Воронежской областях составляет до 21,5 ц/га.

При производстве масла из подсолнечника образуются побочные продукты агропищевой цепочки, в том числе стебли и корзинки [1,2,6].

Подсолнечник - однолетнее высокое (50-250 см) травянистое растение семейства Астровых со стержневым, сильно разветвленным корнем. Стебель прямостоячий, большей частью простой, толстый, покрытый жесткими оттопыренными волосками высотой от 0,6 до 2,5 м, толщиной 2,5-4 см. Все листья очередные, крупные, сердцевидные или широкояйцевидные, с тремя главными жилками, шероховатые от покрывающих их коротких прижатых щетинок, на черешках, по длине почти равных пластинке, как и стебель, покрытых жесткими волосками. Цветки собраны в соцветие-корзинку; краевые - язычковые, ярко-желтые, язычки крупные, продолговато-эллиптические, с двумя маленькими зубчиками на верхушке; срединные - трубчатые, желтые или буроватые; трубка венчика внизу расширенная, пушистая, отгиб ее пятизубчатый; корзинки крупные (до 30-50 см в поперечнике), на утолщенных ножках, поникающие, сидят по одной на верхушке стебля и в течение дня поворачиваются по направлению к солнцу; иногда имеется несколько еще более мелких боковых корзинок; обертки многорядные, листочки их зеленые, кверху длинно заостренные и отогнутые, наружные - волосистые и реснитчатые по краю, средние - голые, внутренние - пленчатые. Плоды - продолговатые, слегка сплюснутые, белые, серые, черные или полосатые семянки. Цветет с июля до октября. Разводится как масличная

культура на полях, огородах, в садах. В промышленных масштабах подсолнечник выращивают по инновационным технологиям как масличную культуру, также для кондитерских целей и на силос.

Уборка подсолнечника для получения масла и пищевых целей производится, когда засыхают большинство листьев и затвердевает зерно семян. Уборку производят зерноуборочными комбайнами. Обмолот семян производится, когда корзинки побуреют у 85-90% растений.

После уборки подсолнечника и обмолота корзинок образуются отходы в виде стеблей и пустых корзинок, которые в настоящее время утилизируются различными способами. Эти отходы могут быть использованы как вторичное сырье для получения пищевых и кормовых ингредиентов после соответствующей переработки [3,4,7].

Подсолнечник - замечательное растение и очень полезное в лечении многих недугов, если его разумно использовать. В подсолнухе полезно всё, начиная от цветка и до корней. Для лечения мочеполовой системы и почек, щитовидной железы в народной медицине используют стебель и внутреннюю часть корзинки подсолнечника.

Большинство побочных продуктов агропищевой цепочки содержат соединения, обладающие высокой функциональностью и/или биологической активностью. Их использование представляет собой возобновляемый источник для получения функциональных соединений, которые будут использоваться в различных областях, таких как кормление животных, пищевая, фармацевтическая и косметическая промышленность. Кроме того, эти побочные продукты можно использовать как сырье для получения пищевых ингредиентов для разработки новых продуктов с высокой пищевой ценностью.

Недавние исследования показали, что гемицеллюлоза отходов растениеводства и побочных продуктов агропищевой цепочки (стебли и початки кукурузы, пшеничная солома, ячменная солома, стебли и корзинки подсолнечника, скорлупа фундука и др.) богата соединениями, которые являются потенциальными предшественниками ксило олигосахаридов и

(арабино)ксилан-олигосахаридов ((A)XOS), ранее определенных как новые пребиотики, полезные для здоровья человека. Производство этих соединений в промышленных масштабах может быть актуальным для рынка функциональных продуктов питания.

Первым шагом в создании пребиотических функциональных продуктов питания является экстракция (A)XOS. Для этого осуществляется гидролиз гемицеллюлозы, содержащейся в отходах растениеводства и пищевых отходах. В настоящее время применяют различные методы предварительной обработки, в которых используются химические вещества (кислоты, основания, ионные жидкости или органические растворители). Однако, в промышленных масштабах наиболее предпочтительными методами являются физико-химические, преимущественно паровой взрыв и гидротермальная предварительная обработка.

Паровой взрыв осуществляется в реакторе периодического действия, в который загружается биомасса для обработки перегретым паром при температуре 190 – 200 °С и давлении свыше 4 МПа в течении 4 – 8 мин., после чего давление практически мгновенно сбрасывается до атмосферного. Обычно влажная торрефикация – это также периодический процесс, на осуществление которого требуется 5 – 12 часов и который протекает при давлении порядка 2 МПа.

Периодичность процесса и использование реакторов, работающих под высоким давлением, являются серьезными недостатками известных физико-химических методов обработки биосырья.

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 160 °С.

Для процесса влажной торрефикации сочетание времени и температуры является фундаментальным и должно изучаться в каждом конкретном случае.

Более того, время выдержки не оказывает одинакового влияния на выход (А)XOS при всех температурах. Кроме этого, предварительная обработка отходов растениеводства и пищевых отходов методом влажной торрефикации имеет предел, т.к. в реакционной среде в более или менее больших количествах появляются многочисленные другие соединения: моносахариды, фурфурол или гидроксиметилфурфурол, уксусная кислота, белок и другие продукты, полученные из лигнина сырья.

Выделение кислот ускоряет процесс торрефикации, поскольку кислоты, в том числе уксусная кислота, являются катализаторами процесса влажной торрефикации, что позволяет говорить об автогидролизе биомассы.

Применение технологии автогидролиза биомассы в кипящем слое в среде перегретого водяного пара применительно к получению продуктов с высокой антиоксидантной ценностью не исследовано.

Цель – исследования вторичного сырья, полученного при производстве семян подсолнечника: стеблей и корзинок подсолнечника для применения их в получении пищевых ингредиентов с пребиотическими и антиоксидантными свойствами.

Задачи исследования:

- исследовать стебли и корзинки подсолнечника по антиоксидантной активности;
- исследовать образцы сухих образцов биомассы стволов и корзинок подсолнечника по антиоксидантной активности после автогидролиза, т.е. обработки без доступа воздуха в кипящем слое в среде перегретого водяного пара при температурах 150-160⁰ С и атмосферном давлении 0,01 Мпа в течении 5, 10, 15.

Объекты и методы исследований

Объектами исследований являются стебли и корзинки подсолнечника и технология автогидролиза.

Растительное сырьё было получено с опытных участков Мичуринского ГАУ.

В работе использовали общепринятые и специальные методики. Определение влажности - массовую долю влаги определяли методом высушивания до постоянного веса при температуре 105 °С.

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

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

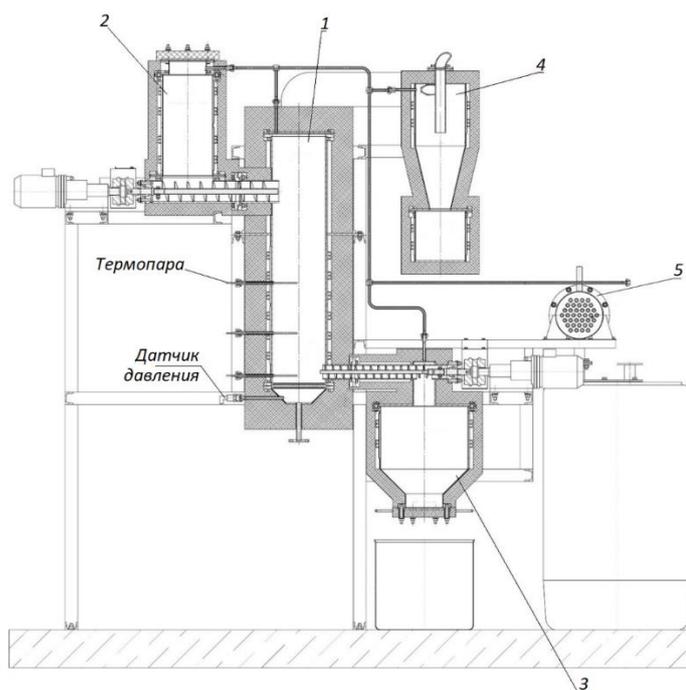


Рисунок 1 - Схема пилотной установки для автогидролиза биомассы в кипящем слое в среде перегретого водяного пара: 1 – бункер для исходной биомассы; 2 – реактор для автогидролиза в кипящем слое; 3 – циклон для отделения парогазового потока от частиц биоугля, выносимых из реактора; 4 – конденсатор парогазовой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

Перед началом эксперимента в реактор засыпали примерно 6 дм³ предварительно полученного биоугля из того вида сырья, автогидролиз

которого исследовался в эксперименте. Затем в бункер 2 засыпали 2 кг сырья, подлежащего автогидролизу.

С помощью электронагревателей установка выводилась на рабочий режим. После выхода на него подавался насыщенный водяной пар, который, пройдя через пароперегреватель, поступал под решетку реактора. Температура под решеткой фиксировалась и составляла 160 °С. Загрузка материала проводилась в течение 15–17 мин. С началом подачи исходного материала с помощью газоанализатора Vario Plus Industrial Syngas, находившегося за конденсатором, непрерывно осуществлялся отбор неконденсирующихся газов (диоксида углерода, оксида углерода, водорода и метана). После того как концентрация указанных веществ уменьшалась до значений, которые были до начала подачи биомассы в реактор, эксперимент прекращался и биоуголь выгружался в бункер. Затем вся установка продувалась холодным азотом и охлажденный биоуголь выгружался из бункера для проведения химического анализа.

После сушки и измельчения стеблей подсолнечника биомасса была загружена в стеклянную реторту и продута воздухом. На первом этапе исследований полученные сушеные ингредиенты вторичного сырья до торрефикации исследовали по влажности и общей антиоксидантной ценности (таблица 1).

Таблица 1

Результаты исследований образцов биоматериала стеблей и корзинок подсолнечника по влажности и общей антиоксидантной ценности

Наименование сырья	Массовая доля влаги до сушки, %	Массовая доля влаги сушеной биомассы, %	АОЦ сушеной биомассы до торрефикации мг /100г
Смесь ствол и корзинок подсолнечника	77,0%	9,5%	277,0

Показатель антиоксидантной ценности образца показал, что вторичное сырье: стебли и корзинки подсолнечника является источником антиоксидантов.

В результате эксперимента применения торрефикации биомассы измельченных и высушенных стеблей и корзинок подсолнечника в кипящем слое в среде перегретого водяного пара в реакторе при температуре 160⁰С в течение 5-10-15 мин были получены и исследованы по общей антиоксидантной ценности 3 образца биомассы (таблица 2).

Таблица 2

Результаты исследований образцов биомассы стеблей и корзинок подсолнечника по антиоксидантной ценности после обработки водяным паром

Наименование образца биомассы	Температура обработки, ⁰ С	Время обработки, мин	Антиоксидантная ценность – АОЦ мг /100г
Образец биомассы стеблей и корзинок подсолнечника №1	160	5	276
Образец биомассы стеблей и корзинок подсолнечника №2	160	10	289
Образец биомассы стеблей и корзинок подсолнечника №3	160	15	253

Сравнение показателей антиоксидантной ценности образцов биомассы вторичного сырья: стеблей и корзинок подсолнечника после различных периодов времени обработки водяным паром, табл.2 показало, что применение автогидролиза в кипящем слое в среде перегретого водяного пара оболочки стебля подсолнечника 5 и 15 мин не приводит к увеличению содержания в нем антиоксидантов. Применение процесса автогидролиза в кипящем слое в среде перегретого водяного пара оболочки стебля подсолнечника в течение 10 мин позволяет увеличить АОЦ биомассы стеблей подсолнечника.

Заключение

1. Исследование вторичного сырья: стеблей и корзинок подсолнечника до торрефикации по общей антиоксидантной ценности показало, что вторичное сырье является источником антиоксидантов: АОЦ - 217мг/100г.

2. Сравнение показателей антиоксидантной ценности образцов биомассы вторичного сырья: стеблей и корзинок подсолнечника после различных

периодов времени обработки водяным паром, табл.2 показало, что применение автогидролиза в кипящем слое в среде перегретого водяного пара оболочки стебля подсолнечника в течение 5 и 15 мин не приводит к увеличению содержания в нем антиоксидантов.

3. Применение процесса автогидролиза в кипящем слое в среде перегретого водяного пара оболочки стебля подсолнечника в течение 10 мин позволяет увеличить АОЦ биомассы стеблей подсолнечника до 289 мг/100г.

4. Полученные результаты эксперимента позволяют рекомендовать дальнейшее исследования технологии обработки вторичного сырья автогидролизом для получения пищевых ингредиентов и продуктов функционального назначения.

** 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. анализ. 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 paper presents the results of a study on the possibility of using autohydrolysis to obtain antioxidants from by-products of the agro-food chain (sunflower stems and heads). Sunflower is an annual herbaceous plant of the Asteraceae family with a dense erect stem up to 2.5 m high. The stem is unbranched, with a spongy core. The spongy content also fills the inner part of the sunflower head, on which the seeds rich in oil and proteins are located. The stem and head of the

sunflower consist of fiber, hemicellulose 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.

Sunflower stalks and heads after removal of seeds from the head were dried to a residual moisture content of 9.5% and analyzed for total antioxidant value. Then, the crushed dried samples were subjected to autohydrolysis in a fluidized bed in a superheated water vapor environment, in a reactor operating under excess pressure of no more than 0.01 MPa. The autohydrolysis temperature was 150-160 °C, the treatment duration was 5, 10 and 15 minutes. After autohydrolysis (torrefaction), the obtained samples were also analyzed for total antioxidant value. The studies showed that secondary raw materials: sunflower stalks and heads, according to antioxidant value (AOV), are valuable secondary plant raw materials for obtaining food ingredients and functional products. The technology of torrefaction - autohydrolysis in a fluidized bed in a superheated water vapor environment for 10 minutes allows to increase the AOC of the biomass of sunflower stems and heads.

Keywords: sunflower seed production waste, autohydrolysis, technology, antioxidants, 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.