

Анализ динамики среднего содержания тяжелых металлов не выявил превышения ПДК в почвах на сети фонового мониторинга в разрезе областей за 2006–2022 гг. Среднее содержание по Республике Беларусь ТМ на фоновых территориях сократилось хрома на 14,73 %, меди на 5,5 %, цинка на 27,23 %, кадмия на 60 % и свинца на 11,66 % в почве от 2006 года. Марганец имеет тенденцию к увеличению концентрации в почве и темп прироста в 2013 году составил 14,8 % по отношению к 2006 году. А темп прироста содержания никеля в 2022 году – 45,8 % по отношению к 2006 году. Концентрация мышьяка и ртути снизилась в 2022 году на 24,27 % и 75 % по сравнению с 2018 и 2017 годами соответственно.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вальков, В.Ф., Экология почв: учеб. Пособие : в 3 ч. / В.Ф. Вальков, К.Ш. Казеев, С.И. Колесников. – Ростов-на-Дону: УПЛ РГУ, 2004. – Ч. 3. – 54 с.
2. Результаты наблюдений НСМОС, 2006 г. [Электронный ресурс] // Главный информационно-аналитический центр Национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь. – Режим доступа: https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=https%3A%2F%2Fwww.nsmos.by%2Ftmp%2Ffckimages%2F01_Zemli.doc&wdOrigin=BROWSELINK – Дата доступа: 27.01.2024.
3. Abundance_of_elements_in_Earth [Electronic resource] / Wikipedia. – Режим доступа: https://en.wikipedia.org/wiki/Abundance_of_elements_in_Earth%27s_crust. – Дата доступа: 01.02.2024.
4. Chibuike, G. U. Heavy Metal Polluted Soils: Effect on Plants and Bioremediation Methods / G. U. Chibuike, S. C. Obiora // Applied and Environmental Soil Science. – 2014. – V. 2014. – P. 12.
5. Водяницкий, Ю. Н. Тяжелые металлы и металлоиды в почвах / Ю.Н. Водяницкий. – М.: ГНУ Почвенный институт им. В.В. Докучаева РАСХН, 2008. – 86 с.

АМАРАНТ ОВОЩНОЙ *AMARANTHUS HYPOCHONDRIACUS* L. КАК УНИВЕРСАЛЬНАЯ КУЛЬТУРА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПИЩИ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВЫ

VEGETABLE *AMARANTHUS HYPOCHONDRIACUS* L. AS A UNIVERSAL CULTURE FOR FOOD PRODUCTION AND SOIL FERTILITY RESTORATION

А. Э. Юницкий, Н. С. Зыль, И. В. Налётов
A. E. Unitsky, N. S. Zyl, I. V. Naletov

ЗАО «Струнные технологии», г. Минск, Республика Беларусь
n.zil@unitsky.com
Unitsky String Technologies Inc., Minsk, Republic of Belarus

В статье описаны основные преимущества использования амаранта в качестве источника высококачественного пищевого зерна и зелёного удобрения перед использованием наиболее широко распространённых зерновых, крупяных и сидеральных культур. Проведён сравнительный анализ содержания ценных нутриентов в зёрнах амаранта и других культур, приведены данные по восстановлению загрязнённых нефтью и тяжёлыми металлами почв при применении амаранта в качестве сидерата.

The article describes the main advantages of using amaranth as a source of high-quality food grain and green manure crops over the usage of the most widespread grains, cereals and other green manure crops. A comparative analysis of the content of valuable nutrients in amaranth grains and other crops was carried out, and data on the restoration of soils contaminated with oil and heavy metals when using amaranth as green manure was provided.

Ключевые слова: амарант, зерновые культуры, безглютеновая диета, восстановление почв, сидеральные культуры.

Keywords: amaranth, grain crops, gluten-free diet, soil restoration, green manure crops.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2024-2-75-79>

История амаранта овощного (*Amaranthus hypochondriacus* L.) насчитывает тысячелетия выращивания и использования в пищу. Растение *A. hypochondriacus* L. было известно древним цивилизациям в Центральной и Южной Америке, таким как индейцы Ацтеки и Майя («пшеница ацтеков», «хлеб инков»), наряду с бобовыми культурами и кукурузой. Индейцы выращивали его для пищи и использовали для религиозных обрядов. Примерно в 16–17 веках испанские завоеватели запретили выращивание *A. hypochondriacus* L., так как связали его с языческими обрядами. Это привело к тому, что амарант был забыт в течение нескольких столетий.

В Азии *A. hypochondriacus* L. популярен среди горных племён Индии, Пакистана, Непала и Китая как зерновая и овощная культура.

Возрождение интереса к амаранту овощному (*Amaranthus hypochondriacus* L.) произошло в 20 веке благодаря его питательным свойствам и способности произрастать в различных климатических условиях. В настоящее время амарант выращивается во многих странах мира, включая США, Китай, Индию, Мексику, Россию, Украину, Беларусь и несколько других европейских стран.

Согласно данным Продовольственной и сельскохозяйственной организации Объединённых Наций, количество выращиваемого амаранта составляет около 28 тыс. тонн в год. При этом, для сравнения, пшеница (*Triticum* Spp. L.) выращивается в количестве около 800 млн. тонн в год, рис (*Zizania aquatica* L.) 500 млн. тонн, гречиха посевная (*Fagopyrum esculentum* Moench) 1 млн. тонн, а мировое производство всех зерновых (*Poaceae* Sp. L.) составляет около 3 млрд. тонн в год.

Рассматриваемое в статье сельскохозяйственное растение уникально тем, что в каждой его части содержится большое количество биологически активных веществ. Семена содержат высококачественный белок (13,1–21,5 %), в состав которого входят следующие аминокислоты: глютаминовая – 15,04 %, аспарагиновая – 8,02 %, аргининовая – 7,87 %, лизиновая – 6,17 % [1] и другие. В тоже время содержание белка в листьях амаранта составляет около 15 % (проценты белка приведены на сухую массу).

В амаранте содержатся витамины группы В (в частности, витамин В6), витамин Е и фолиевая кислота. Амарант богат кальцием, железом, магнием, фосфором, калием и микроэлементами (минеральных веществ около 2,2 г/100 грамм). Данная культура содержит здоровые ненасыщенные жиры, такие как омега-3 и омега-6, жирные кислоты, антиоксиданты, такие как флавоноиды и полифенолы, сквален и др.



а) Житница

б) Крепыш

в) Микрозелень

Рисунок 1 – Сорта амаранта овощного (*Amaranthus hypochondriacus* L.), выращиваемых на КФХ «Юницкого»

Урожайность, выход зелёной массы и другие важные характеристики распространённых крупяных культур приведены в таблице 1.

Таблица 1

Сравнительная таблица характеристик крупяных культур [2]

№ п/п	Показатель	Амарант	Пшеница	Рис	Гречиха	Овёс
1.	Урожайность т/га	2–5	2–7,5	2–10	1–2	5–7
2.	Зелёная масса, т/га	60–250	10–30	15–35	20–40	20–30
3.	Количество семян в 1 растении, шт.	100 000–500 000	45–50	50–150	100–200	25–33
4.	Норма посева, кг на 1 га	1–2	130–300	75–100	80–100	80–90
5.	Количество семян в 1 г	900–1500	25–30	25–60	24–27	20–28

Урожайность зерна амаранта считается средней, что является следствием ограниченных работ по селекции и развитию агротехнологии культивирования и сбора из-за относительной непопулярности этой культуры.

Однако из таблицы 1 видно, что растения амаранта могут обеспечить значительное количество зелёной массы, применяемой в качестве корма для животных или сидерата для повышения содержания гумуса в почве путём заделки растений в фазе цветения. Несмотря на средние, на данный момент, показатели по урожайности зерна, *A. hypochondriacus* L. является ценным растением благодаря своей способности производить большое количество зелени и семян на единицу площади. Внедрение более широкомасштабных работ по селекции, повышение популярности амаранта могут привести к повышению его урожайности и большему раскрытию потенциала культуры.

Из приведённых в таблице 1 данных следует, что с одного гектара посевов можно собрать до 7,5 млрд семян амаранта. Если из этих семян выращивать микрозелень, например, в вертикальных фермах, до массы в 1 г на одно растение (с учётом массы корня и съедобной части почвенного субстрата), то это даст в течение года урожай до 7 500 т микрозелени. Это позволит кормить до 500 голов крупного рогатого скота, если в их рационе будет преимущественно микрозелень в количестве до 15 т/год (более 40 кг/сутки на одну голову). При этом такое питание будет более сбалансированным (питательными веществами, витаминами, минералами, аминокислотами, антиоксидантами, клетчаткой, хлорофиллом и др.) и значительно более продуктивным, особенно в зимний период времени, чем традиционный фураж – зерно, силос или сено. Для обеспечения полноценного круглогодичного питания одной коровы может понадобиться эффективная площадь сельхозугодий в размере до 20 м², то есть примерно в 500 раз меньше, чем при традиционном питании, т. к. при выращивании традиционного фуража и для пастбищ на одну корову необходимо иметь кормовую базу около 10 000 м².

В таблице 2 представлено сравнение составов муки, полученной из различных культур.

Таблица 2

Питательные вещества в муке различных видов крупяных культур

№ п/п	Компонент	Амарантовая цельносмолотая	Амаран- товая	Пшеничная высшего сорта	Рисовая	Гречневая	Овсяная
		Массовая доля в %					
1.	Белок	13,8	12,3	10,3	6,4	13,6	13,0
2.	Жиры	7,0	3,0	2,0	1,4	1,2	6,8
3.	Углеводы	62,4	71,1	68,7	80,6	72,1	64,9
4.	Пищевые волокна	6,0	4,2	3,5	2,4	2,8	4,5
5.	Минеральные вещества	2,2	1,8	0,5	0,5	1,5	1,8
6.	Влага	8,6	7,6	15,0	8,7	8,8	9,0
7.	Энергетическая ценность ккал/100 г	368,0	354,2	349,2	335,1	336,0	369

Из таблицы 2 видно, что амарантовая мука обладает более высоким, чем другие крупяные культуры, количеством важных нутриентов, таких как белки, жиры, минеральные вещества.

Качество белка амаранта выше, чем у других зерновых культур, он богат аминокислотой лизином (6,2 % лизина в белке амаранта против 2,7 % в белке пшеницы), которая ускоряет рост мышечной ткани и улучшает азотистый обмен.

Масло амаранта содержит высокое количество качественных полиненасыщенных жиров (линолевую, линоленовую кислоты) и порядка 8 % сквалена, ненасыщенного углеводорода, который является промежуточным соединением в биосинтезе стероидов, а также проявляет свойства антиоксиданта, антигипоксанта, антиканцерогена. Сквален обнаружен в печени акул, оливковом масле, зародышах пшеницы и некоторых микроорганизмах. Помимо ценных пищевых свойств это соединение, благодаря его наличию в секрете слюнных желёз человека, легко проникает в кожу и может эффективно доставлять жирорастворимые вещества.

Мука из амаранта богата полифенолами и флавоноидами, которые являются мощными антиоксидантами и имеют противовоспалительные свойства. Также она имеет высокое содержание пектинов. Пектины являются растворимыми в воде полисахаридами, которые способствуют улучшению пищеварения, снижению уровня холестерина в крови и поддержанию здоровой микрофлоры в кишечнике. Пектины амаранта обладают гепатопротекторными свойствами.

Амарант не содержит глютен, что особенно важно для людей, страдающих целикией. Из-за высокого содержания амилопектина, крахмал амаранта переваривается организмом быстрее, чем амилоза, что объясняет его высокую скорость переваривания. Небольшой размер крахмальных зёрен (1,5 до 3,0 мкм у амаранта против 5–26 мкм у пшеницы) также способствует более эффективному расщеплению ферментом амилазой. Эти свойства делают крахмал амаранта гликемически низкоустойчивым, легко перевариваемым и малоподверженным ретроградации. Поэтому важно учитывать эти особенности при разработке продуктов и рецептов, а также при организации питания детей с целикией для обеспечения адекватного гликемического контроля. [4]. Сравнение гликемических индексов безглютеновых продуктов приведён в таблице 3.

Таблица 3

Гликемический индекс безглютеновых крупяных продуктов (за эталон принят ГИ глюкозы)

Наименование	Гликемический индекс
Амарант зерно (нативное)	87
Амарант зерно (взорванное)	101
Амарант зерно «крупчатка»	97
Кукуруза	54
Кукурузная мука	70
Рис белый (нативный)	64
Рисовая мука	95
Рис белый (пропаренный)	70
Гречневая крупа (нативная)	45
Гречневая крупа (пропаренная)	54
Гречневая мука (нативная)	50

Исходя из приведённых выше данных по нутриентному составу данной культуры можно сделать вывод, что по пищевым свойствам амарант обладает рядом преимуществ перед традиционными зерновыми культурами. Высокое содержание качественного белка, ненасыщенных жиров, минералов (магния, кальция, железа, цинка, селена и йода) и ценных нутриентов позволяет рекомендовать данную культуру для ежедневного употребления в качестве основной зерновой культуры.

A. hypochondriacus L. имеет важное экологическое значение не только как источник диетических и экологически чистых продуктов, но также потому, что его можно использовать для очистки и улучшения качества почв. Благодаря высокому выходу зелёной массы с одного гектара, амарант является эффективной сидератной культурой – зелёным органическим удобрением. Исследования показывают, что амарант может быть использован для очистки почв, загрязнённых нефтью и тяжёлыми металлами.

Результаты исследований, проводившихся на экспериментальных участках в полевых условиях, подтверждают эффективность амаранта в очистке загрязнённых почв. Исследуемые почвы были выщелоченными чернозёмами средней степени глинистости и pH 5,9.

A. hypochondriacus L. обладает способностью аккумулировать загрязняющие вещества в своей зелёной массе, что позволяет извлечь их из почвы. Растение также способствует улучшению структуры почвы и её плодородности благодаря корневой системе, которая способна проникать глубоко в почву и улучшать её дренажную и водоудерживающую способность.

Амарант помогает ускорить процесс очистки и восстановления почвенной экосистемы, снижая содержание загрязняющих веществ и увеличивая содержание органического вещества и питательных компонентов для растений.

Таблица 4

Содержание загрязняющих веществ в почве при использовании амаранта [5]

Варианты опытов	Концентрация нефти в почве %	Содержание веществ в мг/кг почвы		
		Нефтепродуктов	Свинца, Pb	Кобальта, Co
Первый год после загрязнения почвы				
Участок, загрязнённый нефтью – контроль без посева трав	8,6	3200	12,08	5,86
Посев амаранта	3,2	1400	5,24	2,82
Посев амаранта с аланитом 0,3–0,5 т/га	2,6	600	1,82	1,64
Посев амаранта с аланитом 0,8–1,0 т/га с за- пашкой в фазе цветения	1,5	300	1,82	1,64
Посев амаранта и многолетних трав на второй год после загрязнения почвы				
Посев амаранта с аланитом 0,8–1,0 т/га с за- пашкой в фазе начала созревания семян + по- сев многолетних трав с преобладанием бобо- вых до 50–60 %	0,6	200	0,92	1,26
Посев многолетних трав с преобладанием бо- бовых до 50–60 %	2,4	800	2,16	1,47

Из представленных данных можно сделать вывод, что использование амаранта в процессе рекультивации почвы с применением аланита занимает около 2 лет и приводит к значительному снижению содержания нефтепродуктов и тяжёлых металлов (кобальта и свинца). Однако эффективность очистки почвы от тяжёлых металлов

не увеличивается при повышении количества аланита с 0,3–0,5 до 0,8–1,0 т/га. Это может указывать на то, что эффективность применения аланита для очистки от тяжёлых металлов достигает максимума в первый год. Поэтому для более эффективной очистки почв от тяжёлых металлов в последующих исследованиях могут быть рассмотрены альтернативные материалы, обладающие сорбционными свойствами, например бурый уголь, торф.

На второй год рекультивации использование амаранта позволяет достичь более высокой степени очистки почвы (в среднем в 2–3 раза) по сравнению с классическим использованием многолетних трав, где преобладают бобовые растения. Таким образом, результаты исследования указывают на потенциал амаранта в качестве растения для рекультивации загрязнённых почв. Он способен эффективно снижать содержание нефтепродуктов и тяжёлых металлов в почве за двухлетний период. В дополнение, амарант превосходит многолетние травы с бобовыми растениями по степени очистки почвы.

Из представленной информации можно сделать следующие выводы:

A. hypochondriacus L. обладает высокими пищевыми и хозяйственными качествами. Амарантовая мука содержит в 1,2–1,4 раза больше белка, в 3 раза больше жиров, в 4 раза больше минеральных веществ, чем пшеничная и превосходит по этим показателям многие другие крупяные культуры. В составе амаранта присутствуют такие ценные нутриенты как сквален, пектины, в большом количестве аминокислота лизин и отсутствует глютен.

Амарант имеет большие перспективы как в качестве пищевого сырья, так и в качестве зелёного корма (в 2 и более раз превышает овёс и другие зелёные корма по выходу зелёной массы с га) и сидерата для ускоренного в 1,5–2 раза восстановления почв при совместном применении с аланитом и/или другими минералами. Кроме того, амарант, благодаря большому количеству семян в одном растении, не имеет себе равных по возможному приросту биомассы в виде микрозелени, используемой круглогодично для корма скота, – площадь кормовых сельхозугодий при этом может быть уменьшена примерно в 500 раз – до 20 м² на одну корову.

Массовая культивация амаранта может быть вызовом из-за некоторых трудностей, связанных с эффективной механизацией и автоматизацией сбора мелких семян амаранта, обладающих максимальной пищевой ценностью. Из-за отсутствия высокой популярности амаранта, работы в данном направлении ведутся не так активно, как отработка сбора более распространённых сельскохозяйственных культур.

Таким образом, совершенствование агротехнологии и селекция новых сортов амаранта являются перспективным сельскохозяйственным направлением, которое позволит производить высококачественную, полезную пищу, богатую нутриентами, зелёные корма и восстанавливать истощённые почвы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Joshi, D.C. From zero to hero: the past, present and future of grain amaranth breeding / D.C. Joshi [et al.] // Theor. Appl. Genet. – 2018. – Vol. 131, n. 9. – P. 1807–1823.
2. Асташов, А. Н. Эффективность выращивания амаранта для производства кормов в условиях Нижнего Поволжья / А. Н. Асташов, Т. В. Родина, А. З. Бадалова // Таврический вестник аграрной науки. – 2017. – № 2. – С. 39–44.
3. Звягин, А. А. Потенциальные возможности амарантовой муки как безглютенового продукта / А. А. Звягин [и др.] // Вопросы детской диетологии. – 2015. – Т. 13. – № 2. – С. 46–51.
4. Урубков, С. А. Сравнительный анализ гликемического индекса амаранта и других продуктов без глютена / С. А. Урубков, С. С. Хованская, С. О. Смирнов // Техника и технология пищевых производств. – 2019. – Т. 49. – № 4. – С. 629–634.
5. Бекузарова, С. А. Сорбционные свойства амаранта на токсических почвах / С. А. Бекузарова, М. В. Дзампаева // Материалы международной научно-практической конференции 100-летие кафедры растениеводства, кормопроизводства и агротехнологий: итоги и перспективы инновационного развития. – 2019. – С. 112–119.

АУКСЕТИКИ: ИННОВАЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ВИБРОЗАЩИТЫ И ЗВУКОИЗОЛЯЦИИ В ЭКОДОМАХ

AUXETICS: INNOVATIVE MATERIALS FOR VIBRATION PROTECTION AND SOUND PROOFING IN ECOCOSMOHOUSE

А. Э. Юницкий, Д. А. Конёк, А. М. Павлюченко, Н. С. Зыль
A. E. Unitsky, D. A. Konyok, A. M. Pavljuchenko, N. S. Zyl

ЗАО «Струнные технологии», г. Минск, Беларусь
d.konek@unitsky.com
Unitsky String Technologies Inc., Minsk, Republic of Belarus

Рассмотрены инновационные ауксетичные материалы (ауксетики), расширяющиеся/сужающиеся в направлении, перпендикулярном направлению растяжения/сжатия соответственно. Указанные особенности