

Жаратылыстану және техникалық ғылымдар
Естественные и технические науки
Natural and Technical Sciences

МРНТИ: 89.27.21

<https://doi.org/10.65247/3105-3432-2025-1.01>

ВЫРАЩИВАНИЕ МИКРОЗЕЛЕНИ НА КОСМИЧЕСКИХ СТАНЦИЯХ

*¹Р.Қ.ОНГАРОВ^{ORCID}, ¹Е.Е.САНДЫБАЕВ^{ORCID}

¹Назарбаев Интеллектуальная школа химико-биологического направления
(Алматы, Казахстан)

*ongarov.r17@gmail.com, sandybaev58@gmail.com

Аннотация

Есть различные виды питания человека, но самый незаменимый и важный вид питания человека как в земных условиях, так и в условиях космической станций - растения. Выращивание растительной пищи в условиях космоса стало возможным благодаря современным достижениям агротехнологий. Данная исследование направлена на изучение создания оптимальных условий для выращивания растений, которые используются в питание человека на космических станциях. В ходе работы произведен подбор растений и типов почвы для условий космической станций. С этой целью проведен двухэтапный эксперимент. В первом эксперименте, опытным путем отобраны растения, наиболее подходящие для выращивания в условиях космической станций. Затем экспериментальным образом определены типы почв, которые использованы во втором эксперименте. Исследование показали, что почвы, которые используются в гидропонной системе, могут заменить традиционную почву в экстремальных условиях космоса. После, во второй стадии, сравнивались эффективности выбранных почв, выращивая определенные растения в гидрогеле, перлите и в смеси двух почв.

Ключевые слова: микрозелень, выращивание микрозелени, перлит, гидрогель, гидропонная система.

Введение

Разработка экономичного метода выращивания растений на космических станциях имеет первостепенное значение из-за высокой стоимости питания космонавтов на орбите, которая может составлять от 200 до 300 долларов. Финансовое бремя еще больше усугубляется дорогой доставкой еды в космос, стоимость которой составляет примерно от 5000 до 7000 долларов за килограмм [Mammarella M., 2019; Seedhouse E., 2012]. Кроме того, ограниченный объем доставки усложняет процесс. Для решения этой проблемы наиболее жизнеспособным решением считается выращивание продуктов питания непосредственно на космических станциях. Для здорового питания космонавтов необходима сбалансированное поступления необходимых питательных веществ, в том числе микроэлементов, макроэлементов и витаминов. Органическая растительная пища является лучшим источником этих веществ. Однако, выращивание растений в контролируемых условиях на Земле сопряжено с трудностями, требующими правильной почвы, достаточного освещения и надлежащего орошения. Такие проблемы как нехватка или избыток воды и неподходящая почва, могут привести к гибели растений. В космической невесомости вода теряет текучесть и имеет тенденцию распространяться по всей установке, потенциально вызывая повреждение оборудования [Japashov N., 2021: С.66]. Космическим фермам придется использовать предполагаемые наиболее эффективные земные концепции для выполнения своих элементарных функций, и гидропоника является одной из них, которая подразумевает удаление почвы и замену корневой среды только водой. Известно, что гидропонная и аэропонная выращивания значительно сводит к минимуму воздействие сельского хозяйства [Mai T.P., 2023]. Чтобы смягчить вышеуказанные проблемы, предлагается использовать гидрогель - полимерный материал и перлит - вулканическую породу. Способность гидрогеля впитывать и удерживать влагу делает его идеальным выбором для выращивания растений.

Кроме того, он помогает регулировать уровень влажности почвы для обеспечения оптимальных условий. С другой стороны, перлит плотностью всего 0.1 г/см^3 представляет собой легкий материал, способный удерживать значительное количество воды, в четыре раза превышающее его собственный вес, благодаря своим водоудерживающим свойствам внутри своих внутренних пор.

В XXI веке Роскосмос, NASA и ЕКА установили амбициозную цель - осуществить полет на Марс, планируя достичь этой задачи к 2045 или 2050 году. В свою очередь, SpaceX выходит вперед, намереваясь отправить первый экипаж к Красной планете с использованием ракеты Starship уже в 2029 году. В рамках освоения космоса ученые и инженеры со всего мира перестали сконцентрироваться исключительно на разработке концепций долгосрочных космических миссий и создании постоянных планетарных баз. Вместо этого они активно решают сложные технические задачи, направляя свои усилия на создание идеальных условий для выращивания разнообразных видов растений. По оценкам NASA, экипажу из четырех человек в трехлетней марсианской миссии потребуется около 11 кг еды в день (~2.75 кг на астронавта в день) [Meggs, 2010; Zhonming, 2019]. Это означает примерно одну тонну на космонавта в год или три тонны на весь экипаж. Это выше, чем типичные рекомендации для здорового человека на Земле (~2 кг в день), но любой базовый уровень потребует высокоэффективной продукции космического садоводства. Например, при среднем весе салата ~300 г ежедневное потребление (11 кг) экипажа будет эквивалентно примерно 300 г - 25-35 головок салата. Оценки, основанные на оптимизированном производстве садового салата на Земле [Jin, 2022; Mai T.P., 2023].

Ключевым направлением стало развитие Биорегенеративной системы жизнеобеспечения (BLSS), где высшие растения играют важную роль, с тем, чтобы обеспечить устойчивость наших будущих космических путешествий. Растения, выращенные в (BLSS) на космических станциях, имеют несколько важных преимуществ и выполняют ряд функций. Прежде всего, они позволяют обеспечить астронавтов свежей и питательной пищей, что важно для их здоровья и физической выносливости во время долгих космических миссий. Более того, космонавты-первопроходцы доказали то, что свежие цветы и сады на Международной космической станции создают удивительную атмосферу и дают возможность взять с собой небольшой уголок Земли в путешествия. Поэтому растения выполняют функцию очистки воздуха, удаляя из него вредные вещества и добавляя кислород. Это особенно важно в условиях замкнутого пространства, где доступ к свежему воздуху ограничен. Кроме этого, присутствие зелени и природы может оказывать положительное влияние на психическое состояние астронавтов, помогая снизить стресс и повысить общее настроение. По этой причине, исследования сосредоточились на выращивании микрозелени в почве на основе гидрогеля и перлита в условиях космической станции. В связи с ослабленным иммунитетом и нехваткой необходимых минералов и витаминов, таких как С, D, Е, К, у космонавтов важно обеспечить надежный источник необходимых питательных веществ. Потребление зеленых листьев может легко восполнить суточную норму витамина С, учитывая, что он содержится почти во всех культурах, включая кресс салат, базилик и брокколи. Кроме того, каждое растение содержит целый комплекс витаминов и минералов, таких как В, Е, РР и D, а ростки гороха - хороший источник витаминов С, РР, Е и К.

Основная часть

Почему микрозелень является лучшим выбором?

Одной из основных проблем, с которыми сталкиваются астронавты в космосе, является пагубное воздействие высоких уровней космической радиации и микрогравитации на их общее состояние здоровья, особенно на их иммунную систему. Чтобы смягчить пагубное воздействие этих стрессовых факторов, исследователи изучили потенциал витамина С в качестве смягчителя радиации и исследовали использование антиоксидантов для поддержания здоровья астронавтов [Mortazavi S., 2015; Alireza M., 2023]. Кроме этого, эти растения должны

иметь быстрые циклы роста, требуют при этом минимального пространства для роста и потребление воды. Идеальным видом культуры, соответствующим этому критерию, являются салатные культуры. Салатные культуры подходят для модульных камер из-за небольших требований к пространству и высокой урожайности. Одна из этих интересных новых салатных культур - микрозелень [Gil C., 2021].

Микрозелень - растения, выращенные в космосе, требуют минимального внимания экипажа и времени на подготовку, обеспечивая при этом богатыми питательными веществами. Это небольшие, быстрорастущие культуры, которые ценятся за цвет и вкус, свойства и богатое содержание фитонутриентов [Alireza M., 2023]. Более того, если сравнивать обычные ростки и микрозелень, то с микро-экологической точки зрения производства ростки и микрозелень различаются по ряду технологических этапов: микрозелень подвергается короткому периоду замачивания семян, обычно выращивается на субстрате и потребляется после срезки, без корневой системы. С другой стороны, ростки едят сырыми вместе с корнями. Таким образом, многие продовольственные агентства классифицируют ростки как продукты "высокого риска", тогда как микрозелень считается гораздо более безопасной [Galieni, 2020]. Благодаря всем вышесказанным причинам микрозелень может стать важным компонентом внеземной биорегенерации.

Гидрогель и его преимущества

Гидрогель - это полимер, который представляет способность поглощать воду и обычно встречается в форме порошка или гранул. При соединении с водой гель расширяется и эффективно поглощает воду. Более того, гидрогели представляют собой спитые гидрофильные водорастворимые полимеры, способные поглощать без растворения большое количества воды, в сто раз превышающее сухую массу полимер, и десорбировать эту воду при воздействии механического напряжения [Enas M.A., 2015; Yusuff O., 2022].

Гидрогели получили название «умные материал» из-за их способности адаптироваться к различным условиям окружающей среды, таким как осмотическое давление, температура и pH. Эти внешние факторы влияют на системы контролируемого высвобождения, которые могут принести пользу секторам здравоохранения и сельского хозяйства [Na N., 2017]. Один из самых главных преимуществ гидрогеля - это то, что он обладает инертными свойствами, то есть ему очень трудно войти в какие-либо химические связи с другими веществами при комнатной температуре. Он не токсичен, а также сохраняет свои свойства около пяти лет, что делает очень удобным в использовании и хранения [Japashov N., 2021: С.67].

Объем гидрогеля может резко меняться в ответ на определенные внешние раздражители, например, электрическое поле, изменено pH, качество растворителя, температуру [Neethu T.M., 2018]. Но все же средняя доза садового гидрогеля составляет примерно равно соотношению 1 г на 1 л воды.

Перлит и его преимущества

Перлит - это аморфное вулканическое стекло, встречающееся в природе и в изобилии [Badr S.V., 2020]. Поверхность каждой частицы покрыта мельчайшими полостями, которые обеспечивают чрезвычайно большую площадь поверхности [Aurosikha S., 2021]. Это его природа обеспечивает легкую и воздушную структуру, которая идеально подходит для удержания воды, питательных веществ и кислорода в гидропонных системах [Brock I., 2023]. Кроме того, из-за физической формы каждой частицы образуются воздушные проходы, которые обеспечит оптимальную аэрацию и дренаж. Перлит - стерильный, свободный от болезней, семян и насекомых [Aurosikha S., 2021].

Помимо этого, перлит инертен, т.е. он не разрушается со временем и не вымывает питательные вещества или соль в резервуаре и не истощает воду [Brock I., 2023]. Кроме этого, перлит имеет несколько привлекательных физических свойств для коммерческого применения, включая

низкую звукопередачу, большую площадь поверхности и химическую инертность [Ennis, 2011; Perlite, 2003; Maxim LD, 2014].

Как Хэйден [Hayden, 2006] утверждает, что из гидропонных систем, протестированных в их исследовании, наиболее многообещающей оказалась перлитовая система с воздушным зазором [Atherton, 2023]. Ввиду этого, на основании вышеизложенного нами были проведены эксперименты по выращиванию растений в бортовых условиях (с контролируемой температурой, влажностью, источником света и т.д.). Главная цель - определить подходящие виды растений и субстраты для условий космических станций.

Результаты и дискуссия

Первый эксперимент. Сравнение различных сортов растений

Наш первый эксперимент включал сравнение различных сортов растений, чтобы определить, какие из них лучше всего подходят для выращивания на космических станциях. Мы использовали перлит в качестве посадочной основы и вырастили водяной кресс салат, базилик, горох динга и микрозелень гороха. Каждое семя было посажено в чашку с перлитом и помещено в теплую комнату с фитолампой в качестве источника света (рисунки 1, 2).

Чтобы оценить рост растений измерялась длина и скорость роста ростков каждые три дня и заносили данные в таблицу 1. На основании наблюдений обнаружилось, что горох продемонстрировал самую высокую скорость роста и длину стебля, что позволяет предположить, что он может быть наиболее подходящим выбором для выращивания на космических станциях.



Рисунок 1. Различные ростки микрозелени в чашке с перлитом (фитолампа в качестве источника света)



Рисунок 2. Росток гороха, выращенный в перлите

Для подбора оптимальных почвенных условий для прорастания семян мы провели следующий опыт, посадив семена гороха в три типа субстрата: гидрогель, перлит и перлит в смеси с гидрогелем. Для обеспечения растений водой гидрогель растворяли в воде пропорции 10 г гидрогеля на 1 л воды. В ходе эксперимента растения в гидрогеле и в смеси перлита гидрогеля не были снабжены дополнительным поливом. Перлит был снабжен дополнительным поливом каждые 2-3 дня. Опыт начался 7 марта 2023 г. Контрольные замечания длины проростков брали каждые 3 дня (рисунок 3, таблица 2).

Таблица 1

Длина проростков различных растений, выращенных в условиях, аналогичных условиям космической станции, см

Имена растений	10.02	13.02	16.02	19.02	22.02	25.02	28.02
Кресс Салат	2 см	7 см	7.5 см	7.5 см	8 см	8.5 см	9 см
Базилик	0 см	1 см	2 см	4 см	4.5 см	4.7 см	5 см
Горох (микрорезель)	0 см	0.9 см	3.8 см	4.5 см	13 см	16 см	19 см
Горох Динга	0 см	1 см	4 см	8.5 см	12 см	13 см	13 см

Второй эксперимент. Сравнение эффективности гидрогеля и перлита



Рисунок 3. Различные ростки микрорезели выращенных в перлите, гидрогеле и в смеси перлита и гидрогеля

Таблица 2

Длина ростков гороха на разных средах выращивания, в среде аналогичной космической станции, см

Дата	Гидрогель	Перлит	Перлит в смеси с гидрогелем
07.03	0 см	0 см	0 см
10.03	0 см	0.8 см	0 см
13.03	0 см	3.8 см	0 см
16.03	0 см	4.7 см	0 см
19.03	1 см	13 см	1 см
22.03	1.5 см	16 см	1.5 см
25.03	1.5 см	19 см	1.8 см

Как следует из таблицы из таблицы 2, наибольшую всхожесть семян гороха показал перлит. Однако, через месяц растений погибло. Растение в гидрогеле показала наименьшую скорость прорастания. Смесь почвы и гидрогеля показал среднюю всхожесть семян и не требовало регулярного полива.

Заключение

По итогам долгих исследований, результаты показали то, что микрорезель можно использовать как еду для космонавтов, так как она является эффективной и удобной для

использования на космических станциях. Более того, по технике гидропоники мы заменили земляную почву на перлит и гидрогель и эксперименты показали, что гидропонная почва как перлит является лучшей альтернативой. Кроме этого, авторам удалось доказать, что обе почвы не вызывают загрязнения (грязь от земли и глины), что делает их безопасным вариантом для космических станций.

Горох Динга и микрозелень гороха показали наилучшие результаты урожайности и оказались более невосприимчивыми к внезапным и экстренным изменениям условий окружающей среды.

По исследованиям проведенных из различных источников [Ahmed E.M., 2015; Japashov N., 2021], можно свидетельствовать о том, что условия для культиваций питательных растений на космических станциях успешно разработались. Авторам удалось достигнуть этого, используя комбинацию перлита, гидрогеля и наиболее подходящих сортов растений. Помимо этого, для воссоздания бортовых условия авторы проводили наши эксперименты в контролируемой температуре, влажности и в темной комнате с фитолампой в качестве источника света. Таким образом, мы максимально воспроизвели космические условия на борте.

Однако, несмотря на то, что исследовательская работа требует дальнейшего совершенствования, можно с уверенностью утверждать, что результаты могут послужить основой для будущих исследований в области науки и техники. Авторы настоятельно рекомендуют включить в дальнейшее изучение растения, такие как горох Динга и микрозелень гороха, поскольку они обладают высокой устойчивостью в экстремальных условиях и одновременно содержат необходимые витамины, такие как калий, фосфор, магний и кальций, которые могут значительно обогатить человеческий рацион на борте.

Список используемых источников

- Ahmed E.M. (2015) Hydrogel: Preparation, characterization, and applications: A review. *Journal of Advances Research*, 6, 105-121 [Электронный ресурс]: URL: <https://doi.org/10.1016/j.jare.2013.07.006> (дата обращения: 13.01.2024).
- Mortazavi A., Yarbakh H., Zarandi B.B.B., Yarbakh R., Ghadimi-Moghaddam F., Mortazavi S., Haghani M., Firoozi D., Sihver L. (2023) *Cultivation of Vitamin C-Rich Vegetables for Space Radiation Mitigation* [Электронный ресурс]: URL: <https://doi.org/10.20944/preprints202312.0546.v1> (дата обращения: 25.12.2023).
- Atherton, Hallam R., Pomin Li. (2023) Hydroponic Cultivation of Medicinal Plants-Plant Organs and Hydroponic Systems: Techniques and Trends, *Horticulturae*, 9, 349 [Электронный ресурс]: URL: <https://doi.org/10.3390/horticulturae9030349> (дата обращения: 12.01.2024).
- Aurosikha S., Subhraiivoti C., Viswanath M., Anindita R., Amit B. (2021) *Hydroponics in vegetable crops: A review*, The Pharma Innovation Journal, 10(6), 629-634 (дата обращения: 12.01.2024).
- Badr S.B., Abdulrauf R.A., Jaber A.J., Shirish P. (2020) *Effect of perlite particles on the filtration properties of high-density barite weighted water-based drilling fluid*, Powder Technology, 360, 1157-1166 [Электронный ресурс]: URL: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2019.11.030> (дата обращения: 12.01.2024).
- Brock Ingham. (2023) *Using Perlite In Hydroponics: A Complete Growing Guide By Brock Ingham*. [Электронный ресурс]: URL: <https://biggertgarden.com/perlite-in-hydroponics/> (дата обращения: 11.01.2024).
- Enas M.A. (2015) *Hydrogel: Preparation, characterization, and applications: A review*, Journal of Advanced Research, 6, 2, 105-121 [Электронный ресурс]: URL: <https://doi.org/10.1016/j.jare.2013.07.006>. (дата обращения: 12.01.2024).
- Ennis, David J., P.G. (2011) *Perlite mining and reclamation in the No Agua Peaks*, Taos County, New Mexico, Geology of the Tusas Mountains and Ojo Caliente, Author Koning, Daniel J.,

- Karlstrom, Karl E., Kelley, Shari A., Lueth, Virgil W., Aby, Scott B., New Mexico Geological Society 62nd Annual Fall Field Conference Guidebook, 418.
- Galieni, Angelica, Beatrice F., Fabio S., Alessandro D., Paolo B. (2020) Sprouts and Microgreens: Trends, Opportunities, and Horizons for Novel Research. *Agronomy*, 10 [Электронный ресурс]: URL: <https://doi.org/10.3390/agronomy10091424> (дата обращения: 13.01.2024).
- Gil Cauthorn. (2021) *Microgreens in Space* [Электронный ресурс]: URL: <https://astrobotany.com/microgreens-in-space/#:~:text=One%20of%20these%20exciting%20new%20salad%20crops%20is%20microgreens!&text=What%20are%20Microgreens%3F,neutral%2C%20bitter%2C%20and%20spicy> (дата обращения: 11.01.2024).
- Hayden A.L. (2006) Aeroponic and Hydroponic Systems for Medicinal Herb, Rhizome, and Root Crops, *Horticultural Science*, 536-538 [Электронный ресурс]: URL: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.41.3.536> (дата обращения: 11.01.2024).
- Japashov N.M., Mansurova A.A., Balta N. (2021) Creating a microgreens growing environment at the space station. *Space Science and Technology*, 65-73 [Электронный ресурс]: URL: <https://doi.org/10.15407/knit2021.04.065> (дата обращения: 12.12.2022).
- Mai T.P.N., Matthew K., Nam N.T., Alexandra B., Ian F., Michelle W., Marc E.-G., Herve T., John C., Volker H. (2023) Space farming: Horticulture systems on spacecraft and outlook to planetary space exploration. *Plant Physiology and Biochemistry*, 194, 708-721 [Электронный ресурс]: URL: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2022.12.017>. (дата обращения: 12.01.2024).
- Mammarella M., Vecnicari P.M., Paisonni C.A., Viola N. (2019) How the Lunar Space Tug can support the cislunar station. *Acta astronaut*, 181-194 [Электронный ресурс]: URL: <https://dx.doi.org/10.1016/j.actaastro.2018.04.032> (дата обращения: 13.01.2024).
- Maxim L.D, Niebo R., McConnell E.E. (2014) Perlite toxicology and epidemiology - a review. *Inhal Toxicol*, April, 26(5), 259-70 [Электронный ресурс]: URL: <https://doi.org/10.3109/08958378.2014.881940> (дата обращения: 10.01.2024).
- Mortazavi S., Foadi M., Mozdarani H., Haghani M., Mosleh S.M., Abolghasemi P. (2015) *Future role of vitamin C in radiation and its possible applications in manned deep space missions: survival study and the measurement of cell viability* [Электронный ресурс]: URL: <http://ijrr.com/article-1-1419-en.html> (дата обращения: 09.01.2024).
- Ni N., Dumont M.J. (2017) Protein-Based Hydrogels Derived from Industrial Byproducts Containing Collagen, Keratin, Zein and Soy. *Waste Biomass Valor*, 8, 285-300 [Электронный ресурс]: URL: <https://doi.org/10.1007/s12649-016-9684-0> (дата обращения: 10.01.2024).
- Neethu T.M., P.K. Dubey and Kaswala A.R. (2018) Prospects and Applications of Hydrogel Technology in Agriculture. *Int.J.Curr.Microbiol.App.Sci.* 7(5), 3155-3162 [Электронный ресурс]: URL: <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.705.369> (дата обращения: 05.01.2024).
- Seedhouse E. (2012) *The Birth of the World's First Commercial Astronaut Agency*, Astronauts for Hire, Boston, MA: Springer [Электронный ресурс]: URL: https://doi.org/10.1007/978-1-4614-0520-7_1 (дата обращения: 06.01.2024).
- Yusuff O., Mohd Y.R., Fatai A., Samuel C.C., Monsuru A.S., Ifeoluwa K.F., Taoheed K.M., Senesie S., Bello S.H. (2022) Superabsorbent Polymer Hydrogels for Sustainable Agriculture: A review. *Horticulturae*, 605 [Электронный ресурс]: URL: <https://doi.org/10.3390/horticulturae8070605> (дата обращения: 05.01.2024).
- Perlite, Health-based Reassessment of Administrative Occupational Exposure Limits (2003) Health Council of the Netherlands, Committee on Updating of Occupational Exposure Limits, 2000/15OSH/086, The Hague, 22 October [Электронный ресурс]: URL: <https://www.gezondheidsraad.nl/documenten/adviezen/2003/10/22/perlite> (дата обращения: 03.01.2024).

References

- Ahmed E.M. (2015) Hydrogel: Preparation, characterization, and applications: A review. *Journal of*

- Advances Research*, 6, 105-121 [Elektronnyj resurs]: URL: <https://doi.org/10.1016/j.jare.2013.07.006> (data obrashcheniya: 13.01.2024).
- Mortazavi A., Yarbakh H., Zarandi B.B.B., Yarbakh, R., Ghadimi-Moghaddam F., Mortazavi S., Haghani M., Firoozi D., Sihver L. (2023) *Cultivation of Vitamin C-Rich Vegetables for Space Radiation Mitigation* [Elektronnyj resurs]: URL: <https://doi.org/10.20944/preprints202312.0546.v1> (data obrashcheniya: 25.12.2023).
- Atherton, Hallam R., Pomin Li. (2023) Hydroponic Cultivation of Medicinal Plants-Plant Organs and Hydroponic Systems: Techniques and Trends, *Horticulturae*, 9, 349 [Elektronnyj resurs]: URL: <https://doi.org/10.3390/horticulturae9030349> (data obrashcheniya: 12.01.2024).
- Aurosikha S., Subhraivoti C., Viswanath M., Anindita R., Amit B. (2021) *Hydroponics in vegetable crops: A review*, The Pharma Innovation Journal, 10(6), 629-634 (data obrashcheniya: 12.01.2024).
- Badr S.B., Abdulrauf R.A., Jaber A.J., Shirish P. (2020) *Effect of perlite particles on the filtration properties of high-density barite weighted water-based drilling fluid*, Powder Technology, Volume 360, 1157-1166 [Elektronnyj resurs]: URL: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2019.11.030> (data obrashcheniya: 12.01.2024).
- Brock Ingham. (2023) *Using Perlite In Hydroponics: A Complete Growing Guide By Brock Ingham* [Elektronnyj resurs]: URL: <https://biggergarden.com/perlite-in-hydroponics/> (data obrashcheniya: 11.01.2024).
- Enas M.A. (2015) *Hydrogel: Preparation, characterization, and applications: A review*, Journal of Advanced Research, 6, 2, 105-121 [Elektronnyj resurs]: URL: <https://doi.org/10.1016/j.jare.2013.07.006>. (data obrashcheniya: 12.01.2024).
- Ennis, David J., P.G. (2011) *Perlite mining and reclamation in the No Agua Peaks*, Taos County, New Mexico, Geology of the Tusas Mountains and Ojo Caliente, Author Koning, Daniel J., Karlstrom, Karl E., Kelley, Shari A., Lueth, Virgil W., Aby, Scott B., New Mexico Geological Society 62nd Annual Fall Field Conference Guidebook, 418.
- Galieni, Angelica, Beatrice F., Fabio S., Alessandro D., Paolo B. (2020) Sprouts and Microgreens: Trends, Opportunities, and Horizons for Novel Research. *Agronomy*, 10 [Elektronnyj resurs]: URL: <https://doi.org/10.3390/agronomy10091424> (data obrashcheniya: 13.01.2024).
- Gil Cauthorn. (2021) *Microgreens in Space* [Elektronnyj resurs]: URL: <https://astrobotany.com/microgreens-in-space/#:~:text=One%20of%20these%20exciting%20new%20salad%20crops%20is%20microgreens!&text=What%20are%20Microgreens%3F,neutral%2C%20bitter%2C%20and%20spicy> (data obrashcheniya: 11.01.2024).
- Hayden A.L. (2006) Aeroponic and Hydroponic Systems for Medicinal Herb, Rhizome, and Root Crops, *Horticultural Science*, 536-538 [Elektronnyj resurs]: URL: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.41.3.536> (data obrashcheniya: 11.01.2024).
- Japashov N.M., Mansurova A.A., Balta N. (2021) Creating a microgreens growing environment at the space station. *Space Science and Technology*, 65-73 [Elektronnyj resurs]: URL: <https://doi.org/10.15407/knit2021.04.065> (data obrashcheniya: 12.12.2022).
- Mai T.P.N., Matthew K., Nam N.T., Alexandra B., Ian F., Michelle W., Marc E.-G., Herve T., John C., Volker H. (2023) Space farming: Horticulture systems on spacecraft and outlook to planetary space exploration. *Plant Physiology and Biochemistry*, 194, 708-721 [Elektronnyj resurs]: URL: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2022.12.017> (data obrashcheniya: 12.01.2024).
- Mammarella M., Vecnicari P.M., Paisonni C.A., Viola N. (2019) How the Lunar Space Tug can support the cislunar station. *Acta astronaut*, 181-194 [Elektronnyj resurs]: URL: <https://dx.doi.org/10.1016/j.actaastro.2018.04.032> (data obrashcheniya: 13.01.2024).
- Maxim L.D, Niebo R., McConnell E.E. (2014) Perlite toxicology and epidemiology - a review. *Inhal Toxicol*, April, 26(5), 259-70 [Elektronnyj resurs]: URL: <https://doi.org/10.3109/08958378.2014.881940> (data obrashcheniya: 10.01.2024).
- Mortazavi S., Foadi M., Mozdarani H., Haghani M., Mosleh S.M., Abolghasemi P. (2015) *Future*

- role of vitamin C in radiation and its possible applications in manned deep space missions: survival study and the measurement of cell viability [Elektronnyj resurs]: URL: <http://ijrr.com/article-1-1419-en.html> (data obrashcheniya: 09.01.2024).
- Ni N., Dumont M.J. (2017) Protein-Based Hydrogels Derived from Industrial Byproducts Containing Collagen, Keratin, Zein and Soy. *Waste Biomass Valor*, 8, 285-300 [Elektronnyj resurs]: URL: <https://doi.org/10.1007/s12649-016-9684-0> (data obrashcheniya: 10.01.2024).
- Neethu T.M., P.K. Dubey and Kaswala A.R. (2018) Prospects and Applications of Hydrogel Technology in Agriculture. *Int.J.Curr.Microbiol.App.Sci.* 7(5), 3155-3162 [Elektronnyj resurs]: URL: <https://doi.org/10.20546/ijemas.2018.705.369> (data obrashcheniya: 05.01.2024).
- Seedhouse E. (2012) *The Birth of the World's First Commercial Astronaut Agency*, Astronauts for Hire, Boston, MA: Springer [Elektronnyj resurs]: URL: https://doi.org/10.1007/978-1-4614-0520-7_1 (data obrashcheniya: 06.01.2024).
- Yusuff O., Mohd Y.R., Fatai A., Samuel C.C., Monsuru A.S., Ifeoluwa K.F., Taoheed K.M., Senesie S., Bello S.H. (2022) Superabsorbent Polymer Hydrogels for Sustainable Agriculture: A review. *Horticulturae*, 605 [Elektronnyj resurs]: URL: <https://doi.org/10.3390/horticulturae8070605> (data obrashcheniya: 05.01.2024).
- Perlite, Health-based Reassessment of Administrative Occupational Exposure Limits (2003) Health Council of the Netherlands, Committee on Updating of Occupational Exposure Limits, 2000/15OSH/086, The Hague, 22 October [Elektronnyj resurs]: URL: <https://www.gezondheidsraad.nl/documenten/adviezen/2003/10/22/perlite> (data obrashcheniya: 03.01.2024).

Ғарыш станцияларында микрожасылдарды өсіру

*¹Р.Қ.Онгаров, ¹Е.Е.Сандыбаев

¹Химиялық-биологиялық бағыттағы Назарбаев Зияткерлік мектебі (Алматы, Қазақстан)

Аңдатпа

Адамның қоректенуінің әртүрлі түрлері бар, бірақ жердегі де, ғарыш станцияларында да адам тамақтануының ең алмастырылмайтын және маңызды түрі-өсімдіктер. Ғарышта өсімдік тағамдарын өсіру агротехнологиясының замануи жетістіктерінің арқасында мүмкін болды. Бұл ғылыми жұмыс ғарыш станцияларында адамның қоректенуіне пайдалананылатын өсімдіктерді өсіруге оңтайлы жағдай жасауды зерттеуге бағытталған. Жұмыс барысында ғарыш станциясының жағдайына байланысты өсімдіктер мен топырақ түрлері таңдалды. Осы мақсатта екі кезеңді эксперимент жүргізілді. Бірінші тәжірибеде ғарыш станциясы жағдайында өсіруге ең қолайлы өсімдіктер эксперименталды түрде таңдалды. Екінші тәжірибеде қолданылған субстрат түрлері тәжірибе арқылы аңқалды. Біздің зерттеулеріміз гидропоникалық жүйеде қолданылған субстраттың ғарыштың экстремалды жағдайында дәстүрлі топырақты алмастыра алатынын көрсетті. Содан кейін, екінші кезеңде кейбір өсімдіктерді гидрогельде, перлитте және екі субстраттың қоспасында өсіру арқылы таңдалған субстраттың тиімділігі салыстырылды.

Кілтті сөздер: микрожасыл, микрожасылды өсіру, перлит, гидрогель, гидропондық жүйе.

Growing microgreens on space stations

*¹R.K.Ongarov, ¹E.E.Sandybaev

¹Nazarbayev Intellectual School of Chemical and Biological Directions (Almaty, Kazakhstan)

Abstract

There are various types of human nutrition, but the most irreplaceable and important type of human nutrition both on earth and in space stations is plants. Growing plant foods in space has become possible thanks to modern advances in agricultural technology. This scientific work is aimed at studying the creation of optimal conditions for growing plants that are used for human nutrition on space stations. During the work, plants and soils types were selected for space station conditions. For this purpose, a two-stage experiment was conducted. In the first experiment, plants that were most suitable for growing in space station conditions were

experimentally selected. The soil types that were used in the second experiment were determined empirically. Our research has shown that soils that have been used in a hydroponic system can replace traditional soil in the extreme conditions of space. Then, in the second stage, the effectiveness of the selected soils was compared by growing certain plants in hydrogel, perlite and in a mixture of the two soils.

Keywords: microgreens, growing microgreens, perlite, hydrogel, hydroponic system.

Поступила в редакцию: 19.01.2024

Одобрена: 11.03.2024

Первая публикация на сайте: 05.01.2025

MPHTI: 31.15.33

<https://doi.org/10.65247/3105-3432-2025-1.02>

ELECTROCHEMICAL PRODUCTION OF METALS FROM ITS SALTS AQUEOUS SOLUTION

*¹A.A.KANAFIN^{id}, ¹K.V.MANASHEVA^{id}

¹Nazarbayev Intellectual School of Chemistry and Biology direction in Almaty
(Almaty, Kazakhstan)

*kanafin_a0611@hbalm.nis.edu.kz, manasheva_v@hbalm.nis.edu.kz

Abstract

The electrolyzer, at its core, involves applying an electric current through an aqueous solution containing ionic forms of metals. This intricate process orchestrates the oxidation of metal atoms at the anode and the concurrent reduction of identical metal atoms at the cathode. This controlled electrochemical interplay leads to the disintegration of solution components into their elemental constituents. The potential applications of metal production in aqueous solutions using electrolyzers extend to the realms of manufacturing metal materials, batteries, solar cells, and other technologies. Electrolyzers are a promising field of research for metal production in aqueous solutions, offering the efficient utilization of renewable energy sources and a reduced environmental footprint. This comprehensive article delves into the array of existing electrolyzer technologies designed to produce metals within a solution and its pivotal role within the contemporary landscape of metal material fabrication. This article provides an overview of the current state and future prospects of lead electrorefining in China, focusing on diaphragm and bipolar membrane technologies. Theoretical modeling, process simulation, and economic analysis Statistical analysis, cost-benefit analysis Investigated the research progress and application potential of electrolysis technology, including energy efficiency and environmental impact. Moreover, research endeavors pivot towards the development of efficient, eco-friendly electrolysis systems leveraging renewable energy resources like solar or wind power. The potential applications of metal production using electrolysis extend to the realms of manufacturing metal materials, batteries, solar cells, and other technologies. This research sheds light on the potential of BPMs for a more sustainable future.

Keywords: electrolysis, electrochemistry, chemical production, hydrometallurgy, ecology.

Introduction

The quest for more efficient methodologies in metal production has been a central focus for engineers and scientists in recent years. One of the promising methods that have garnered attention is the utilization of electrolyzers for synthesizing metals within aqueous solutions. This process relies on the fundamental principle of electrochemical water decomposition, aiming to separate diverse metallic elements.

The electrolyzer, at its core, involves applying an electric current through an aqueous solution containing ionic forms of metals. This intricate process orchestrates the oxidation of metal atoms at the anode and the concurrent reduction of identical metal atoms at the cathode. This controlled electrochemical interplay leads to the disintegration of solution components into their elemental constituents.