

ПРОДУКТИВНОСТЬ И КАЧЕСТВО КАПУСТЫ КИТАЙСКОЙ В УСЛОВИЯХ, ИМИТИРУЮЩИХ РАДИАЦИОННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ПРИ ПОЛЕТЕ К МАРСУ



Старцев В.И. – доктор с.-х. наук, зав. лабораторией селекции и семеноводства капустных культур
Бондарева Л.Л. – кандидат с.-х. наук, с.н.с лаборатории селекции и семеноводства капустных культур
Синяк Ю.Е.* – доктор техн. наук, профессор, зав. отделом систем жизнеобеспечения
Беркович Ю.А.* – доктор техн. наук, ведущий н.с отдела систем жизнеобеспечения
Кривобок Н.М.* – кандидат техн. наук, ведущий н.с отдела систем жизнеобеспечения
Смолянина С.О.* – кандидат биол. наук, с.н.с. отдела систем жизнеобеспечения
Гуськова Е.И.* – кандидат техн. наук, н.с отдела систем жизнеобеспечения

ГНУ «Всероссийский НИИ селекции и семеноводства овощных культур» Россельхозакадемии
 Россия, 143080, Московская область,
 п. ВНИИССОК, тел.+7(495)780-91-78
 E-mail: vniissok@mail.ru

*ГНЦ РФ – Институт медико-биологических проблем РАН,
 Москва, Хорошевское шоссе, 76А
 E-mail: Q666666@yandex.ru

Растения капусты китайской сорта Веснянка выращивали при естественном радиационном фоне и в условиях периодического γ -облучения источником ГАММА-БРИЗ. Облучение растений проводили каждые 7 суток в течение 4 ч с мощностью дозы 5 МЗв/ч, суммарная доза, полученная растениями за вегетацию, составила 80 МЗв. Увлажнение корнеобитаемой зоны проводили водой с различным содержанием дейтерия. Радиационное воздействие не повлияло на продуктивность и содержание аскорбиновой кислоты в листьях растений исследуемого сорта. Уменьшение содержания дейтерия в поливной воде увеличило в 2 раза продуктивность посевов, но привело к значительному накоплению нитратов в листьях.

Ключевые слова: космическая конвейерная оранжерея, системы жизнеобеспечения, капуста китайская, естественный радиационный фон, γ -облучение, содержание аскорбиновой кислоты



В настоящее время большинство сценариев планируемого полета к Марсу предусматривают включение витаминной оранжереи в состав системы жизнеобеспечения марсианского корабля (Беркович Ю.А., 2002, Сычев В.Н., 2003, Сычев В.Н., 2008). В частности, российский сценарий пилотируемой марсианской экспедиции на корабле «Клипер», разработанный в рамках проектов № 1172 и №2120 Международного научно-технического центра в Москве, предусматривает использование овощной оранжереи с мощностью энергопотребления 10 кВт (Berkovich Yu.A., 2009). В Институте медико-биологических проблем (ИМБП) предложена концепция 4-модульной конвейерной оранжереи, предназначенной для обогащения диеты космонавтов в полёте свежими овощами (Berkovich Yu.A., 2009). Видовой состав овощных культур представлен листовыми культурами, имеющими наибольшую удельную продуктивность на затраченные бортовые ресурсы, а также рекомендуемыми диетологами морковь, томаты и перцы.

В последние годы в ИМБП активно разрабатывается технология культивирования капусты китайской сорта Веснянка в условиях космического полета. Данный сорт, созданный в лаборато-

рии селекции капусты ВНИИССОК, успешно прошел биотехнические испытания на наземном макете космической конвейерной оранжереи «Фитоцикл-СД», в ходе которых были получены хорошие производственные и биохимические показатели (Беркович, 2005). Очередным этапом разработки технологии выращивания овощных культур в условиях космического полета явилась экспериментальная оценка роста и состояния растений в условиях повышенного радиационного фона, имитирующего радиационную нагрузку на борту во время марсианской экспедиции. Несмотря на то, что высшие растения обладают на порядок более высокой радиационной устойчивостью по сравнению с животными и человеком, радиационное воздействие в малых дозах, не вызывающих патологических или летальных эффектов, может оказывать существенное влияние на показатели растений, важные с хозяйственной точки зрения. В частности, хроническое γ -облучение вегетирующих растений гороха (суммарная доза составила 10 сЗв) привело к уменьшению содержания каротиноидов и активности ферментов глутатион-аскорбинового цикла в листьях (Polovinkina E. Et al., 2006), что указывает на возможность изменения биохимического состава листовых зеленых культур, включая содержание витамина С, при выращивании в условиях космического полета. Выращивание пшеницы и ржи в условиях хронического облучения в диапазоне доз от 3 до 80 сЗв понизило устойчивость растений к фитопатогенным микроорганизмам вследствие уменьшения активности ингибиторов определенных групп протеолитических ферментов (Дмитриев А.П., 2004). Поскольку формирование белкового комплекса зерна у злаковых культур протекает при обязательном участии протеолитических ферментов, нельзя исключить изменение химического состава зерна при выращивании на борту зерновых культур. Особого внимания заслуживают данные о противоположных эффектах, вызываемых одной и той же дозой на рас-

тения, в зависимости от фазы развития (Гродзинский Д.М., 2004; Березина Н.М, Печников И.В., 1967).

Для предотвращения нежелательного воздействия повышенного радиационного фона на хозяйственно ценные показатели растений представлялось целесообразным оценить их рост и биохимический состав при увлажнении корнеобитаемой зоны водой с измененным изотопным составом по сравнению со стандартной средней океанической водой, SMOW, являющейся общепринятым международным стандартом изотопного состава кислорода и водорода. В экспериментах с животными были продемонстрированы радиопротекторные свойства воды с пониженным содержанием тяжелого изотопа водорода (дейтерия), однако данные о возможности стабилизации состояния растений при радиационном воздействии путем уменьшения содержания дейтерия в поливной воде практически отсутствуют (Синяк Ю.А., 2003).

Целью данной работы явилось изучение продуктивности и биохимического состава растений капусты китайской при увлажнении корнеобитаемой зоны водой с различным содержанием тяжелых изотопов водорода и кислорода в условиях естественного и повышенного радиационного фона.

Методика

Объектом опытов явились капуста китайская *Brassica chinensis* L. сорта Веснянка селекции ВНИИССОК. Растения выращивали на экспериментальных стендах, оснащенных люминесцентными лампами и вегетационными сосудами (корневыми модулями) размерами 20x5x2 см (рис. 1, 2). Корневые модули были оборудованы гидрофильными мембранами из мелкопористого титана, ограничивающими зону обитания корней, поверх которых находился химически инертный почвозаместитель (перлит). Корневые модули были соединены с резервуарами, представляющими собой сосуды Мариотта, позволяющими стабилизировать водный

потенциал на поверхности мембран на уровне (-1,0) кПа в течение всей вегетации (Беркович, 2005).

Для увлажнения корнеобитаемой зоны использовали воду, в которой содержание тяжелых изотопов водорода и кислорода было снижено по сравнению со SMOW в 7 и 10 раз, соответственно. Далее в тексте эта вода, вследствие значительного уменьшения содержания тяжелых изотопов, называется легкой изотопной (Berkovich Yu.A., 2009). Перед использованием легкую изотопную воду пропускали дополнительно через блок очистки, состоящий из двух колонок, в первой из которых (угольной) из воды удаляли органические примеси, а во второй (доломитовой) проводили минерализацию воды. Показатели качества воды находились в диапазоне установленных значений ГОСТа P50804-95 «Среда обитания космонавта в пилотируемом космическом аппарате. Общие медико-технические требования» (табл. 1). В другом варианте для увлажнения корнеобитаемой зоны использовали дистиллированную воду. Согласно проведенным анализам, содержание тяжелого изотопа водорода в дистиллированной воде было ниже стандартного не более чем на 20% (обычно на 10% – 12%); для тяжелого изотопа кислорода эта величина составила примерно 88%. Изотопный состав воды определяли масс-спектрометрическим методом на масс-спектрометрах GD-150 (ФРГ) и МИ-1201В (Украина) для тяжелых изотопов водорода и кислорода, соответственно.

Минеральное питание растений обеспечивали добавлением к воде концентрированных растворов солей так, чтобы содержание ионов в растворе соответствовало 0,5 нормы питательного раствора Чеснокова. Растения выращивали при температуре 22±3 °С, относительной влажности воздуха 55±5% и 24-часовом фотопериоде.

Контрольные посевы выращивали при естественном радиационном фоне, опытные – при радиационном γ -облучении источником ГАММА-

1. Протокол результатов анализа качества питьевой воды

Показатели	Результаты анализа
Водородный показатель, pH	7,2
Жесткость общая, мг-экв/дм ³	0,4
Содержание кальция, мг/дм ³	6,4
Содержание магния, мг/дм ³	1,9
Содержание азота аммиака, мг/дм ³	0,020
Содержание нитритов, мг/дм ³	0,015
Содержание нитратов, мг/дм ³	0,000
Содержание органического углерода, мг/дм ³	0,718
Окисляемость перманганатная, O ₂ /дм ³	0,8
Электропроводность, мкСм/см	41

БРИЗ (4-часовое облучение каждые 7 суток) с мощностью дозы 5 мЗв/ч. Суммарная доза за вегетацию составила 80 мЗв.

Растения срезали в возрасте 28 суток. У срезанных растений определяли сырую и сухую массу побегов и корней, площадь листовой поверхности, а также содержание аскорбиновой кислоты и нитратов в листьях. Массу растений определяли весовым методом с точностью до 0,01 г. Площадь листьев побега находили по формуле: $S=0,667(l_1 d_1+l_2 d_2+...+l_n d_n)$, где l и d – длина и ширина листовой пластинки 1-го, 2-го...n-го листа, соответственно. Содержание

Рис. 2. Общий вид корневого модуля



Рис. 1. Общий вид вегетационного стенда с посевом китайской капусты, сорт Веснянка. Слева – посев, увлажняемый водой с пониженным содержанием дейтерия. Справа – посев, увлажняемый водой со стандартным содержанием дейтерия

аскорбиновой кислоты и нитратов в побегах определяли по общепринятым методикам.

Результаты и обсуждение

В проведенных экспериментах растения капусты китайской исследуемого сорта не отличались по продуктивнос-

ти при выращивании в условиях естественного и повышенного радиационного фона (табл. 2). Сырая масса побегов в корневом модуле при увлажнении корнеобитаемой зоны дистиллированной водой составила в среднем 40 г. Не было выявлено также достоверных различий по структуре растений, выра-

щенных при естественном и повышенном радиационном фоне: в обоих вариантах удельная поверхностная плотность листьев (отношение массы листьев к их площади) была практически одинакова, а доля корня составила 6 – 8% от массы целого растения.

При увлажнении корнеобитаемой зоны легкой изотопной водой продуктивность посевов возросла более чем в 2 раза как при естественном, так и при повышенном радиационном фоне. Уменьшение содержания тяжелых изотопов в поливной воде повлияло на структуру побегов, в частности, несколько увеличилась удельная поверхностная плотность листьев, а доля корня в массе растения уменьшилась до 3%. Однако отмеченные изменения были аналогичны как при естественном, так и при повышенном радиационном фоне (табл. 2)

К моменту уборки листья растений имели нормальную зеленую окраску и хороший тургор, что является показателем хорошего качества для листовых культур с точки зрения хозяйственного использования. Содержание сухих веществ в побегах во всех вариантах составило 5 – 7%, что для данной культуры является показателем нормального

2. Морфометрические показатели растений капусты китайской сорта Веснянка в возрасте 28 суток в зависимости от радиационного фона и содержания дейтерия в поливной воде

Поливная вода	Радиационный фон	Сырая масса посева, г/КМ	Отношение сырых масс побега и корня	УППЛ, мг/см ²
Дистиллированная	Естественный	37,8±13,1	11,7±1,2	43±6
	Повышенный	41,1±11,7	14,4±3,9	44±7
Легкая изотопная	Естественный	88,3±17,2	30,3±9,8	48±5
	Повышенный	94,1±14,6	43,4±9,1	53±7

3. Биохимические показатели растений капусты китайской сорта Веснянка в возрасте 28 суток в зависимости от радиационного фона и содержания дейтерия в поливной воде

Поливная вода	Радиационный фон	Содержание сухих веществ в побегах, %	Содержание аскорбиновой кислоты в побегах, мг%	Содержание нитратов в побегах, мг/кг сырой массы
Дистиллированная	Естественный	6,9±1,5	55,4	747
	Повышенный	7,4±1,5	48,2	1456
Легкая изотопная	Естественный	5,3±0,1	36,1	7299
	Повышенный	5,6±0,6	37,0	5933

роста растений (табл. 3).

При увлажнении корнеобитаемой зоны дистиллированной водой содержание аскорбиновой кислоты в побегах составило порядка 50 мг%, а при увлажнении легкой изотопной водой уменьшилось примерно на 30%. Однако количество аскорбиновой кислоты, полученной с корневого модуля, при увлажнении легкой изотопной водой было в 1,5 – 1,8 раза больше за счет более высокой продуктивности посевов. Изменение радиационного фона практически не повлияло на содержание аскорбиновой кислоты в побегах (табл. 3).

При увлажнении корнеобитаемой зоны дистиллированной водой содержание нитратов в побегах на естественном радиационном фоне составило 747 мг/кг сырой массы, что значительно ниже уровня ПДК как для открытого, так и для защищенного грунта. На повышенном радиационном фоне содержание нитратов возросло почти вдвое, но не превысило ПДК, составив всего 73% от ПДК для открытого грунта и 49% – от ПДК для защищенного грунта. При увлажнении корнеобитаемой зоны легкой изотопной водой содержание

нитратов в побегах значительно превысило уровень ПДК для защищенного грунта как на естественном, так и на повышенном радиационном фоне (табл. 3). Полученные данные свидетельствуют, что вода с уменьшенным содержанием дейтерия и тяжелого изотопа кислорода при определенных условиях может обладать высокой биологической активностью в отношении листовых культур, оказывая значительное влияние на процессы фотосинтеза и азотного обмена растений. Использование легкой изотопной воды при выращивании растений в космической оранжерее потребует корректировки условий минерального питания и/или освещения растений.

Заключение

Проведенные эксперименты не выявили негативного влияния повышенного радиационного фона на продуктивность и содержание аскорбиновой кислоты в листьях растений капусты китайской сорта Веснянка. Как на естественном, так и на повышенном радиационном фоне содержание нитратов в листьях не превышало уровень ПДК, если

для увлажнения корнеобитаемой зоны использовали дистиллированную воду, содержание дейтерия в которой незначительно отличается от стандарта. Результаты экспериментов продемонстрировали возможность значительного, более чем в 2 раза, увеличения продуктивности данной культуры при увлажнении корнеобитаемой зоны водой с содержанием дейтерия и тяжелого изотопа кислорода, уменьшенными в 7 и 10 раз, соответственно, по сравнению со стандартом. Однако уменьшение концентрации тяжелых изотопов в поливной воде привело к значительному увеличению содержания нитратов в растениях, что свидетельствует о нарушении баланса между процессами поглощения и восстановления нитратного азота растениями. Представляется целесообразным проведение дополнительных исследований по изучению причин этого феномена с последующей корректировкой условий выращивания. В целом полученные данные подтвердили ранее сделанный вывод о перспективности данного сорта для культивирования в оранжерее в условиях космического полета (Беркович, 2005).

Литература

1. Березина Н.М., Печников Н.В. Радиочувствительность кукурузы и ячменя в различные периоды развития при хроническом γ -облучении. // Радиобиология. – Т.VII. – 1967. – С. 932-934.
2. Беркович Ю.А., Кривобок Н.М., Синяк Ю.Е., Смолянина С.О., Григорьев Ю.И., Романов С.Ю., Гузенберг А.С. Проблема создания салатной оранжереи для международной космической станции и последующих межпланетных полетов. //Авиакосмическая и экологическая медицина. – 2002. – Т.36. – №5. – С.8-12.
3. Беркович Ю.А., Кривобок Н.М., Смолянина С.О., Ерохин А.Н. Космические оранжереи: настоящее и будущее. /М.: Фирма «Слово». – 2005. – 368 с.
4. Гродзинський Д.М., Коломисць О.Д., Фалінська Т.П. Віддалені генетичні ефекти гострого та хронічного γ -опромінення. // Парадигми сучасної радіобіології. Радіаційний захист персоналу об'єктів атомної енергетики. – Чорнобиль, 2004. – С.11.
5. Дмитриев А.П. Малые дозы облучения и иммунитет растений. // Парадигми сучасної радіобіології. Радіаційний захист персоналу об'єктів атомної енергетики. – Чорнобиль, 2004. – С.19.
6. Синяк Ю.Е., Турусов В.С., Григорьев А.И., Заридзе Д.Г.,

- Гайдадымов В.Б., Гуськова Е.И., Антошина Е.Е., Горькова Т.Г., Труханова Л.С. «Бездейтериевая» вода в качестве противоопухолевого средства применительно к условиям марсианской экспедиции. Организм и окружающая среда: адаптация к экстремальным условиям. /Материалы конференции. Москва, 3 – 5 ноября, 2003. – С317-318.
7. Сычев В.Н., Левинских М.А., Шепелев Е.Я., Подольский И.Г. Биологические процессы регенерации среды обитания в системе жизнеобеспечения экипажа марсианской экспедиции. Авиакосмическая и экологическая медицина. 2003. Т. 37, N 5. – С. 64 – 70.
8. Сычев В.Н., Левинских М.А., Гурьева Т.С., Подольский И.Г. Биологические системы жизнеобеспечения человека для космических экипажей, некоторые итоги и перспективы. //Авиакосмическая и экологическая медицина. – 2008. – Т. . – N 6. – С. 92 – 97.
9. Berkovich Yu.A., Smolyanina S.O., Krivobok N.M., Erokhin A.N., Agureev A.N., Shanturin N.A. Vegetable production facility as a part of a closed life support system in a Russian Martian space flight scenario. //J. Adv. Space Res. (2009), doi:10.1016/j.asr.2009.03.002
10. Polovinkina E., Kurganova L., Sinitsina J., Veselov A., Chernishova M., Sinelschikov D. Effect of low dose irradiation on prooxidant-antioxidant balance in Pisum sativum chloroplasts. // European Radiation Research, Kyiv. – 2006. – P.220.