

## ВЛИЯНИЕ ВНЕСЕНИЯ НЕСЪЕДОБНОЙ РАСТИТЕЛЬНОЙ БИОМАССЫ В ПОЧВОПОДОБНЫЙ СУБСТРАТ НА РОСТ РАСТЕНИЙ

С целью повышения степени замкнутости массообменных процессов в биолого-технических системах жизнеобеспечения исследована реакция растений на внесение несъедобной растительной биомассы в почвоподобный субстрат.

**Ключевые слова:** биолого-технические системы жизнеобеспечения, почвоподобный субстрат, несъедобная растительная биомасса.

S.A. Ushakova, A.A. Tikhomirov, V.V. Velichko, V.V. Klevets

## THE INFLUENCE OF THE INEDIBLE PLANT BIOMASS INTRODUCTION INTO THE SOIL-LIKE SUBSTRATE ON THE PLANT GROWTH

The plant response to the inedible plant biomass introduction into the soil-like substrate is researched in order to increase the degree of mass exchange process closure in the biological-technical life support systems.

**Key words:** biological-technical life support system, soil-like substrate, inedible plant biomass.

Создание систем жизнеобеспечения человека, основанных на биолого-техническом принципе регенерации воздуха, воды и пищи для стационарных станций при длительных космических миссиях или в труднодоступных местах на Земле, признано наиболее приемлемым как с точки зрения поддержания качества жизни человека, так и для сохранения окружающей среды [1].

Один из способов повышения замкнутости массообменных процессов был предложен Н.С. Мануковским с соавторами [4]. В основе этого метода лежит использование почвоподобного субстрата (ППС) как корнеобитаемой среды для выращивания растений и одновременно как биореактора для «биологической» минерализации растительных отходов [4, 5].

В длительных экспериментах по экспериментальному моделированию длительно действующих биолого-технических систем жизнеобеспечения (БТСЖО) была показана принципиальная возможность длительного многократного внесения растительных отходов в ППС [6, 7]. Но проблемы, связанные с реакцией растений на качество и количество вносимой растительной биомассы, требуют дополнительных исследований.

**Цель работы.** Исследование влияния количества и качества вносимой в ППС несъедобной биомассы овощных растений на последующий рост и развитие овощных растений, возможных представителей звена высших растений в БТСЖО.

Было проведено несколько серий экспериментов, в которых в качестве объектов исследования были взяты растения редиса, моркови, свеклы.

### Влияние внесения в ППС несъедобной биомассы овощных растений на продуктивность растений редиса

При проведении экспериментов по изучению влияния внесения несъедобной биомассы овощных культур в ППС на рост растений в качестве тестовой культуры был взят редис (*Raphanus sativus* L., сорт Вировский белый). Технология выращивания растений на ППС в условиях интенсивной светокультуры подробно описана в статьях [4, 5]. Опираясь на многочисленные эксперименты по выращиванию растений в условиях интенсивной светокультуры, проводимые в Институте биофизики СО РАН, нами за основу расчетов количества вносимой несъедобной биомассы овощных растений была взята продуктивность растений редиса, моркови и свеклы при выращивании на нейтральном субстрате при оптимальных условиях внешней среды (табл. 1) [2]. Исходя из массы несъедобных надземных органов овощных культур (табл. 2), в зависимости от варианта опыта, перед посевом растений в ППС была внесена сухая надземная масса редиса из расчета 0,8 кг/м<sup>2</sup> посева (1-й вариант), сухая надземная масса моркови 3,1 кг/м<sup>2</sup> (2-й вариант) и сухая надземная масса свеклы 2,5 кг/м<sup>2</sup> (3-й вариант). Общее количество макроэлементов, содержащихся в ППС и внесенных с соответствующей несъедобной биомассой в субстрат, представлено в таблице 2.

Таблица 1

**Урожай растений, выращенных на нейтральном субстрате при оптимальных условиях среды  
(Лисовский и Шиленко, 1975)**

Анализируемая часть растения	Редис, кг/м <sup>2</sup>		Морковь, кг /м <sup>2</sup>		Свекла, кг /м <sup>2</sup>	
	Сырая масса	Сухая масса	Сырая масса	Сухая масса	Сырая масса	Сухая масса
Надземная	11,5	0,8	11,7	3,1	18,6	2,5
Корнеплоды	10,1	0,8	24,2	4,4	35,5	3,8
Корни	0,8	0,1	6,0	0,4	1,9	0,3
Общая	26,5	1,4	41,9	8,1	56,0	6,6

Таблица 2

**Количество минеральных элементов, внесенных с несъедобной биомассой в ППС и содержащихся в исходном субстрате, г/м<sup>2</sup>**

Надземная биомасса растений	Внесено сухих отходов, кг/м <sup>2</sup>	Na	K	Ca	Mg	P	S	N
Редис (1-й вариант опыта)	0,8	1,6	34,4	29,7	4,7	1,6	4,7	26,6
Морковь (2-й вариант опыта)	3,1	28,1	75,0	59,4	15,6	6,3	12,5	98,0
Свекла (3-й вариант опыта)	2,5	40,0	105,0	30,0	30,0	7,5	12,5	74,3
ППС исходный, 20,3 кг/м <sup>2</sup>		20,3	182,8	589,1	121,9	60,9	101,6	595,2

В подготовленный вышеописанным способом субстрат [4] были посеяны семена редиса *Raphanus sativus* L. сорта Вировский белый. В 30-суточном возрасте растения достигли состояния технической зрелости, были убраны и проведена сравнительная оценка полученного урожая.

Периодическое измерение в процессе роста растений pH ирригационных растворов показало, что во всех вариантах ирригационный раствор имел слабощелочную реакцию. Самый низкий pH, около 8, был у раствора для полива растений в 1-м варианте опыта, а самый высокий (8,6–9,0) был у раствора для полива растений в 3-м варианте (табл. 3).

Таблица 3

**Содержание различных форм азота и pH ирригационных растворов в зависимости от вида внесенных в ППС растительных отходов**

Возраст растений, сутки от всходов	Растительные отходы	Форма азота, мг/л			pH раствора
		Нитратный	Аммиачный	Азот общий	
10	Редис	164,2	1,9	203,0	8,1
	Морковь	7,1	5,7	70,8	8,6
	Свекла	15,0	5,3	61,0	8,6
16	Редис	135,4	1,4	164,1	8,3
	Морковь	11,2	3,4	53,5	8,6
	Свекла	13,8	1,9	63,1	9,0
19	Редис	116,3	2,1	163,6	8,2
	Морковь	16,0	3,7	78,7	8,6
	Свекла	23,3	3,9	99,3	8,8
24	Редис	49,9	1,0	73,2	7,9
	Морковь	12,0	1,9	54,0	8,5
	Свекла	10,0	2,1	58,0	8,7
30	Редис	8,0	0,8	23,3	7,9
	Морковь	8,6	0,9	37,3	8,5
	Свекла	10,5	2,4	78,2	8,8

Внесение 3,1 кг/м<sup>2</sup> ботвы моркови и 2,5 кг/м<sup>2</sup> ботвы свеклы в ППС привело через 10 суток вегетации растений редиса к резкому уменьшению в ирригационных растворах (по сравнению с внесением 0,8 кг/м<sup>2</sup> ботвы редиса) содержания нитратных форм азота. Только к моменту уборки растений содержание нитратных форм азота в растворах почти выровнялось. При этом на протяжении всего периода роста растений содержание восстановленных форм азота в ирригационных растворах вариантов 2 и 3 было выше, чем в растворе варианта 1 (табл. 4).

Таблица 4

**Надземная масса и масса корнеплодов растений редиса, выращенных на ППС с добавлением ботвы разных видов растений**

Вариант	Надземная масса, г/м <sup>2</sup>		Процент сухого вещества	Масса корнеплодов, г/м <sup>2</sup>		Процент сухого вещества
	сырая	сухая		сырая	сухая	
1-й	5803±1760	752±228	13,0	11039±2737	684±170	6,2
2-й	2247±362	252±41	11,2	3349±711	231±49	6,9
3-й	1411±309	204±45	14,4	2695±608	210±47	7,8

Примечание. Вариант 1 – в ППС добавлено 0,8 кг/м<sup>2</sup> сухой ботвы редиса. Вариант 2 – в ППС добавлено 3,1 кг/м<sup>2</sup> сухой ботвы моркови. Вариант 3 – в ППС добавлено 2,5 кг/м<sup>2</sup> сухой ботвы свеклы.

Сравнительная оценка структуры урожая редиса показала, что сырая и сухая надземная масса растений варианта 1 оказалась в 2,6 и 3 раза соответственно выше, чем у растений варианта 2, и в 4,1 и 3,7 раза соответственно выше, чем у растений варианта 3. Надземная биомасса растений варианта 3 оказалась несколько меньше, чем надземная масса растений варианта 2. Примерно такое же соотношение наблюдалось при оценке массы корнеплодов исследуемых вариантов: сырая и сухая масса корнеплодов растений варианта 1 была в 2,6 и 3,1 раза соответственно выше, чем таковая у растений вариантов 2 и 3. В результате суммарная масса растений варианта 1 была значительно выше суммарной массы растений вариантов 2 и 3.

Несмотря на различия в биомассе растений, доля хозяйственно-полезной биомассы в общей биомассе (Кхоз.) фактически не зависела от вида вносимых в ППС растительных отходов.

Таким образом, внесение в ППС несъедобной биомассы растений моркови и свеклы в количествах, примерно равных их урожаю при выращивании на такой же площади, приводит к значительному падению продуктивности редиса. Урожай растений редиса, выращенного на ППС с добавлением ботвы редиса, фактически не отличался от урожая редиса, выращенного на нейтральном субстрате при аналогичных условиях внешней среды.

**Влияние внесения в ППС несъедобной биомассы выращиваемых растений на рост следующего поколения этих культур в течение нескольких генераций растительного конвейера**

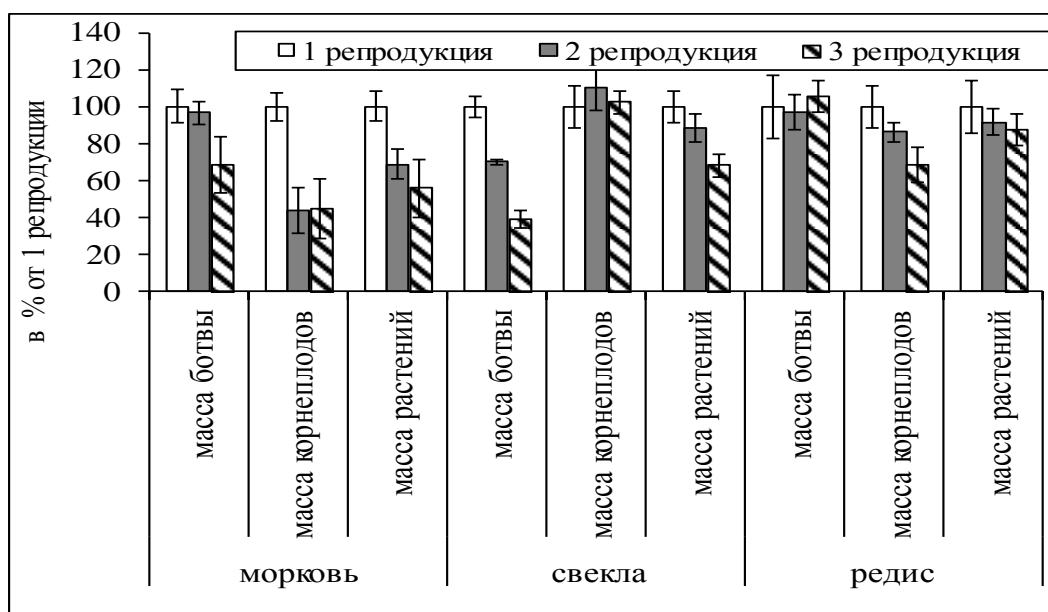
При оценке влияния внесения несъедобной биомассы овощных культур в ППС для последующего выращивания редиса было выявлено угнетение процессов роста и формирования корнеплодов редиса, выращенных на растительных остатках моркови и свеклы. Но какой будет реакция растений, если вносить отходы по одноименной культуре, причем выращенных в конвейерном режиме при многократном внесении в ППС несъедобной биомассы? Для ответа на этот вопрос была проведена оценка влияния внесения в ППС несъедобной биомассы овощных растений на рост следующего поколения этих же культур в течение нескольких генераций овощных растений. С этой целью был сформирован разновозрастной 3-видовой конвейер овощных растений, в состав которого входили 3 возраста растений моркови (*Daucus carota* L.) сорта Витаминная 6, свеклы (*Beta vulgaris* L.) сорта Египетская и 2 возраста растений редиса (*Raphanus sativus* L.) сорта Вировский белый. Длительность вегетации одного поколения моркови и свеклы составляла 78 суток, редиса – 26 суток. После каждой уборки растений, перед последующим посевом несъедобная биомасса была внесена в субстрат для выращивания растений этого же вида. Взамен съедобной биомассы, изымаемой при уборке урожая из системы «растительный ценоз – ППС», в качестве компенсации в ирригационный раствор добавляли минерализованный раствор, полученный при физико-химической переработке соломы пшеницы перекисью водорода при температуре 90°С в переменном электромагнитном поле по методу, разработанному Ю.А. Куденко с соавт. [3]. Минерализованный раствор в процессе вегетации равномерно добавляли в ирри-

гационный раствор для полива растений. Количество вносимого минерализованного раствора рассчитывали исходя из содержания азота в съедобной биомассе растений. Ирригационный раствор для полива растений был общим для всех растений, вошедших в состав разновозрастного растительного конвейера. В таком конвейере плотность посева растений моркови составляла 150 растений на 1 м<sup>2</sup> посева, растений свеклы – 100 растений на 1 м<sup>2</sup> посева, растений редиса – 250 растений на 1 м<sup>2</sup> посева.

Первая генерация растений была выращена на свежеприготовленном ППС без внесения ботвы исследуемых овощных растений и служила контролем.

Несмотря на то, что ирригационный раствор был общим для овощных культур, реакция растений несколько отличалась (рис.). Внесение ботвы моркови, свеклы и редиса приводило от генерации к генерации к постепенному уменьшению сухой массы листьев свеклы и не оказало влияния на массу корнеплодов свеклы. У растений моркови уже во второй генерации наблюдалось значительное уменьшение массы корнеплодов. В результате третьей генерации происходило уменьшение не только массы корнеплодов, но и листьев. В меньшей степени на внесение несъедобной биомассы овощей прореагировали растения редиса: масса листьев от генерации к генерации фактически не изменилась, масса корнеплодов во второй и третьей генерации была меньше, чем в первой, но эти отличия по сравнению с растениями моркови были не столь значительны (рис.). Причина снижения массы корнеплодов редиса связана, видимо, с опосредованным через ирригационный раствор влиянием внесения в ППС несъедобной биомассы моркови и свеклы.

Причин отрицательного влияния внесения несъедобной биомассы растений в ППС может быть несколько. Но основная причина, по нашему мнению, следующая: внесение 2,5–3,1 кг/м<sup>2</sup> сухого органического вещества могло привести к активизации процессов роста микроорганизмов, что должно привести к уменьшению содержания доступных для растений форм азота.



*Относительная сухая масса растений свеклы, моркови и редиса, выращенных в конвейерном режиме на ППС с внесением несъедобной биомассы растений в субстрат (за 100 % принята масса растений, выращенных на свежеприготовленном ППС, – репродукция 1)*

Скорость же освобождения, связанного в органическом веществе растительных отходов азота, не компенсировала скорости связывания азота микроорганизмами. Недостаток доступных форм азота может быть одной из основных причин падения продуктивности растений. Кроме того, в несъедобной биомассе растений или в продуктах ее разложения могут находиться вещества, приводящие к угнетению процессов роста растений. При внесении значительных количеств растительных отходов в ППС содержание этих веществ может стать достаточным, чтобы оказывать отрицательное влияние на процессы роста и развития растений.

Следовательно, непосредственное внесение несъедобной растительной биомассы овощных растений в ППС нецелесообразно и необходимо использовать технологии предварительной обработки вносимой в субстрат растительной биомассы.

### Литература

1. Медико-технологические аспекты создания систем жизнеобеспечения для освоения дальнего космоса / А.И. Григорьев, В.М. Баранов, В.В. Богомолов [и др.] // *Авиакосмическая и экологическая медицина*. – 2008. – Т. 42. – № 6/1. – С. 5–9.
2. Лисовский Г.М., Шиленко М.П. Выбор структуры и условий функционирования звена “высшие растения” // *Замкнутая система: человек – высшие растения* / под ред. Г.М. Лисовского. – Новосибирск: Наука, 1979. – С. 38–53.
3. Kudenko Yu. A., Gribovskaya I.A., Zolotukhin I.G. Physical-Chemical treatment of wastes: a way to close turnover of elements in LSS // *Acta Astronautica*. – 2000. – V. 46. – P. 585–589.
4. Waste Bioregeneration in life support CES: development of soil organic substrate / N.S. Manukovsky, V.S. Kovalev, V.Ye. Rygalov [et al.] // *Adv. Space Res.* – 1997. – V. 10. – P. 1827–1832.
5. Synthesis of biomass and utilization of plants wastes in a physical model of biological life-support system / A.A. Tikhomirov, S.A. Ushakova, N.S. Manukovsky [et al.] // *Acta Astronautica*. – 2003. – V. 53. – P. 249–257.
6. Mass exchange in an experimental new-generation life support system model based on biological regeneration of environment / A.A. Tikhomirov, S.A. Ushakova, N.S. Manukovsky [et al.] // *Adv. Space Res.* – 2003. – V. 31. – P. 1711–1720.
7. Assessment of the possibility of establishing material cycling in an experimental model of the bio-technical life support system with plant and human wastes included in mass exchange / A.A. Tikhomirov, S.A. Ushakova, V.V. Velichko [et al.] // *Acta Astronautica* – 2011. – V. 68. – P. 1548–1554.

