

Оригинальные статьи / Original articles

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2022-6-59-65>
УДК 635.345:631.589.2.032

И.Т. Балашова¹, Л.Л. Бондарева¹,
Е.В. Пинчук¹, А.В. Молчанова¹,
Т.Е. Шевченко¹, Н.Е. Машченко²

¹ Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Федеральный научный центр овощеводства" (ФГБНУ ФНЦО), 143072, Россия, Московская область, Одинцовский район, п. ВНИИССОК, ул. Селекционная, д. 14

² Институт генетики, физиологии и защиты растений Академии наук Республики Молдова Республика Молдова, г. Кишинев, Страда Пэдурий, 20

*Автор для переписки: balashova56@mail.ru

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов. Балашова И.Т. и Бондарева Л.Л. – соавторы эксперимента, Балашова И.Т., Пинчук Е.В., Шевченко Т.Е. и Молчанова А.В. провели исследование, обработали и проанализировали данные. Бондарева Л.Л. и Машченко Н.Е. предоставили материал для изучения и консультационную помощь. Все авторы рассмотрели и одобрили это представление. Все авторы участвовали в написании статьи, прочитали и согласились с опубликованной версией рукописи.

Для цитирования: Балашова И.Т., Бондарева Л.Л., Пинчук Е.В., Молчанова А.В., Шевченко Т.Е., Машченко Н.Е. Выращивание растений капусты японской на многоярусной гидропонной конструкции с использованием природных иммуномодуляторов. *Овощи России*. 2022;(6):59-65. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2022-6-59-65>

Поступила в редакцию: 03.10.2022

Принята к печати: 30.10.2022

Опубликована: 02.12.2022

Irina T. Balashova¹, Lyudmila L. Bondareva¹,
Elena V. Pinchuk¹, Anna V. Molchanova¹,
Tatiana E. Shevchenko¹, Natalia E. Mashchenko²

¹ Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Vegetable Center" (FSBSI FSVC), 14, Selektionnaya str., VNISSOK, Odintsovo district, Moscow region, Russia, 143072

² Institute Of Genetics, Physiology and Plant Protection 20, Strada Padurii, Chişinău, Republic of Moldova

*Correspondence: balashova56@mail.ru

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Author contributions. Irina T. Balashova and Lyudmila L. Bondareva – conceived the experiment, Irina T. Balashova, Elena V. Pinchuk, Tatiana E. Shevchenko and Anna V. Molchanova performed the research, did the data management and analyzed the data. Lyudmila L. Bondareva provided breeding material and consulting assistance, Natalia E. Maschenko provided glycosides for the study and consulting assistance. Irina T. Balashova wrote the paper. All authors confirm that they participated in the writing of this article. All authors reviewed and approved this submission.

For citations: Balashova I.T., Bondareva L.L., Pinchuk E.V., Molchanova A.V., Shevchenko T.E., Mashchenko N.E. Cultivation of *Brassica rapa* L. subsp. *nipposinica* plants at the multi circle hydroponic installation with help of natural immunomodulators. *Vegetable crops of Russia*. 2022;(6):59-65. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2022-6-59-65>

Received: 03.10.2022

Accepted for publication: 30.10.2022

Published: 02.12.2022

Выращивание растений капусты японской на многоярусной гидропонной конструкции с использованием природных иммуномодуляторов



Резюме

Актуальность. Современное овощеводство защищённого грунта базируется на применении в теплицах высоких технологий таких, как технологии вертикального овощеводства. Рост рынка вертикальной гидроponики обусловлен и новыми задачами обеспечения продовольственной безопасности государств в условиях нестабильности поставок продовольствия из-за нарушения традиционных логистических связей. В ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства» в 2010-2020 годах разработана и внедрена программа по вертикальному овощеводству для культуры томата. В связи с расширением потребительского спроса на свежесрезанную зелень и «жёлто-зелёные» овощи исследован потенциал продуктивности и питательной ценности капусты японской в условиях вертикального овощеводства.

Цель исследования: характеристика продуктивности и биохимического состава листовой массы растений капусты японской в условиях вертикального овощеводства с использованием природных иммуномодуляторов.

Материалы исследований: семена и листья (розетка листьев) 2-х сортов капусты японской: Салат Мизуна (традиционный сорт из Японии, форма «мизуна») и Салют Юбилею (новый сорт селекции ФГБНУ ФНЦО, форма «мизуна»); природные иммуномодуляторы: флавоноидный гликозид линарозид и стероидные гликозиды молдстим и тригонеллозид. Методы исследований: обработка семян 0,005% водными растворами иммуномодуляторов; культивирование растений на пятиярусной гидропонной установке; аналитические методы: определение содержания сухого вещества и суммарного содержания антиоксидантов; биометрические методы; статистические методы: однофакторный дисперсионный анализ; двухфакторный дисперсионный анализ.

Результаты исследований. Установлена возможность выращивания растений капусты японской на многоярусных гидропонных конструкциях. Обработка семян иммуномодуляторами не оказывала влияния на всхожесть семян: она исходно была очень высокой (99-100%). Обработка гликозидами оказала влияние на биометрические показатели растений. У сорта Салат Мизуна увеличилась высота растений, однако общая масса растений не изменялась. Сорт Салют Юбилею положительно отреагировал на обработку иммуномодуляторами, существенно повысив общую массу растений за счёт увеличения числа листьев на растении. Содержание сухого вещества сохранялось, а суммарное содержание антиоксидантов возрастало при обработке вторичными метаболитами. Таким образом, использование иммуномодуляторов класса гликозидов позволяет повышать продуктивность капусты японской, ее витаминную ценность и безопасность при возделывании в условиях гидроponики.

Ключевые слова: вертикальное овощеводство, *Brassica rapa* L. subsp. *nipposinica*, листовая масса, биохимический состав, иммуномодуляторы

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Cultivation of *Brassica rapa* L. subsp. *nipposinica* plants at the multi circle hydroponic installation with help of natural immunomodulators

Abstract

Relevance. Modern vegetable production in greenhouses is based on high tech-advantageous, such as vertical hydroponic technology. Increasing of vertical hydroponic market is conditioned with ensuring the food security of states in conditions instability of food deliveries due to violations of traditional logistic connections. The program of vertical tomato hydroponics was developed and used in practice at the FSBSI FSVC in 2010-2020. Productivity potential of *Brassica rapa* L. subsp. *nipposinica* cultivated at vertical hydroponic installation have been studied in connection with the spread of consumption of fresh greens and "yellow-green" vegetables.

The goal of the study was: the productivity characteristics and analysis of biochemical composition *Brassica rapa* L. subsp. *nipposinica* cultivated at the five-circle vertical hydroponic installation with help of natural immunomodulators.

Materials and methods. Materials of study: seeds and leaves (rosette of leaves) from 2 varieties of *Brassica rapa* L. subsp. *nipposinica* – Japanese variety Salad Mizuna and new variety Salut Jubileu (originated from FSBSI FSVC); immune modulators – flavonoid glycoside linarozide and steroid glycosides moldstim and trigonellozide.

Methods. Seed treatment with 0,005%-water solutions of immune modulators; cultivation plants *Brassica rapa* L. subsp. *nipposinica* at the five-circle vertical hydroponic construction; analytical methods: determination of dry matter; determination the sum of antioxidants in leaves of *Brassica rapa* L. subsp. *nipposinica*; biometry; statistical methods: one-factorial dispersion analysis and two-factorial dispersion analysis.

Results. Possibility of *Brassica rapa* L. subsp. *nipposinica* plants cultivation at multi circle hydroponic installations was established by authors. Seed treatment with water solutions of immune modulators wasn't influence on seedlings appearing (the quality of seeds was very high -99-100%). Height of plant (of rosette) the variety Mizuna was increased as the reaction on the seed treatment, but the weight of plants wasn't change. Salut Jubileu variety reacted with increasing the common weight of plants. Number of leaves was increased. The content of dry matter in leaves didn't change, but the sum content of antioxidants is rise significantly after seed treatment of immune modulators. The conclusion has been made: applying of immune modulators from glycosides class could to increase the productivity, vitamin value and safety cultivation of *Brassica rapa* L. subsp. *nipposinica* plants at multi circle hydroponics installation.

Keywords: vertical vegetable hydroponics, *Brassica rapa* L. subsp. *nipposinica*, leaves, seed treatment, immune modulators, biochemical composition

Введение

Мировым трендом современного тепличного овощеводства является применение высокотехнологичных теплиц, обеспечивающих экономию материальных средств, электроэнергии и воды для питательных растворов. Наиболее поразительные результаты достигнуты при использовании технологий вертикального овощеводства: урожаи зеленных культур и трав с м² в 530 раз превышают урожаи с м², получаемые в полевых условиях [1]. В целом же к 2019 году рынок вертикальных гидропонных технологий оценивается в 8,1 млрд долларов, с прогнозом роста 12,1% в год и ожидаемым объёмом 16 млрд долларов к 2025 году [2]. Рост рынка вертикальной гидропоники обусловлен новыми задачами обеспечения продовольственной безопасности государств в условиях нарушения логистических цепочек при поставках продовольствия, связанных с неоднозначной политической ситуацией. Страны арабского мира, основную часть территорий которых составляют пустыни, ведут строительство вертикальных тепличных ферм. Голландская компания GrowGroup и арабская Rain Makers Capital Investment анонсировали строительство в Абу-Даби (ОАЭ) вертикальной фермы общей площадью 17,5 га для производства салатов и трав Green Factory Emirates. В год ферма будет производить 10 тыс. т листовых овощей: салата, шпината, листовой капусты [3].

В ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства» в 2010-2021 годах реализована программа по вертикальному овощеводству: разработана технология выращивания овощей на многоярусной гидропонной конструкции, запатентована линейка сортов томата для этой цели, произведён необходимый запас оригинальных семян [4]. Технология апробирована в Республике Дагестан (фермерское хозяйство «ИП Умалатов», 2018 год) и за Северным Полярным кругом в посёлке нефтяников «Новый порт» на полуострове Ямал (2019-2020 годы). Но в настоящее время у потребителей нашей продукции, особенно из регионов Крайнего Севера, возник запрос на свежесрезанную зелень. Поэтому мы расширяем спектр культур для вертикального овощеводства, в том числе и за счёт так называемых «жёлто-зелёных» овощей, среди которых особая роль принадлежит японской капусте. Капуста японская – *Brassica rapa* L. subsp. *nipposinica* (L.H. Bailey) Hanelt) – относится к восточно-азиатским подвидам, которые известны своими диетическими свойствами. Во-первых, это низкая калорийность с высоким содержанием воды и малым содержанием жиров. Во-вторых, данные подвиды капусты содержат все незаменимые аминокислоты, большое количество аскорбиновой кислоты (40-48 мг%), β-каротина (2,5-4,0 мг%), а также витамины В₁, В₂, РР, фолиевую кислоту, хлорофиллы, минеральные элементы – калий, кальций, фосфор, железо и около 130 мг/кг селена [5,6]. В-третьих, уровень накопления в зелени нитратов и тяжёлых металлов крайне низок (в пределах ПДК) [6]. Кроме того, капуста японская является неприхотливой и скороспелой культурой, отдающей урожай зелени через 35-40 дней после посадки. Может выращиваться в открытом и защищённом грунте, а также в домашних условиях [7]. К сожалению, данная ценная питательная и витаминная культура мало распространена в Российской Федерации. Но в настоящее время в связи с

обогащением пищевого рациона россиян спрос на «жёлто-зелёные» овощи значительно вырос. И в ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства» создан новый сорт японской капусты – Салют Юбилею, который пользуется повышенным спросом у любителей-овощеводов [8].

Вторичные метаболиты растений класса гликозидов известны своими антистрессовыми свойствами [9]. Их иммуномодуляторная активность была показана на овощных культурах семейств *Solanaceae*, *Cucurbitaceae*, *Apiaceae* [10-12]. Антистрессовая активность данных природных соединений в условиях многоярусной гидропоники могла бы стать прецедентом для использования их в беспестицидном цикле выращивания «жёлто-зелёных» овощей.

Цель исследования: охарактеризовать потенциал продуктивности и питательной ценности капусты японской в условиях вертикального овощеводства с использованием природных иммуномодуляторов.

Материалы исследований

Объектами исследований являлись:

2 сорта капусты японской сортогруппы Мизуна:

- Салат Мизуна – традиционный сорт из Японии,
 - Салют Юбилею – новый сорт селекции ФГБНУ ФНЦО.
- Материалом исследований служили семена и листья растений.

Иммуномодуляторы:

- флавоноидный гликозид линарозид, полученный методом экстракции 70% этанолом с последующей адсорбционно-распределительной хроматографией из растений *Linaria vulgaris* Mill. L. [13];
 - стероидный гликозид молдстим, полученный аналогичным методом из семян *Capsicum annuum* L.;
 - стероидный гликозид тригонеллозид, полученный аналогичным методом из растений *Trigonella officinalis* L.
- Материалом исследований служили 0,005% водные растворы данных соединений, в которых замачивали семена исследуемых сортов.

Методы исследований

1. Обработка семян. Семена капусты японской замачивали в 0,005%-ных водных растворах иммуномодуляторов и сразу же высевали в заранее подготовленные горшки ёмкостью 1 л, заполненные торфом с перлитом в соотношении 1:1. Число семян в горшке – 20 шт., число семян в повторности – 100 шт., число семян в повторении – 160 шт., в эксперименте – 800 шт. В качестве стандарта использовали замачивание семян в дистиллированной воде. Через 5 суток визуально оценили всхожесть семян, после чего в горшке оставили по 10 сеянцев (рис.1). Опыт провели в пятикратной повторности по Б.А. Доспехову [14], размещая горшки на каждом ярусе установки. Число растений в горшке – 10 шт., в повторности – 50 шт., в повторении – 80 шт., в эксперименте – 400 шт.

2. Культивирование растений капусты японской на пятиярусной узкостеллажной гидропонной установке. Подготовленную рассаду (растения высотой до 10 см, рис. 2) размещали на установке в соответствии со схемой эксперимента. Для выращивания растений использовали питательный раствор, который был разработан ранее [15], и подавался на ярусы установки автоматиче-

ски с помощью распределительного узла подачи питательного раствора фирмы НПО «ФИТО». Растения выращивали при искусственном освещении. Источниками света служили лампы Дна 3-400 (ООО «Рефлекс»). При выращивании растений поддерживали температуру воздуха в пределах +22...+24° С днём и +18+20° С ночью, относительную влажность воздуха в пределах 50-60%. Продолжительность светового периода – 16 час/сутки.

3. Аналитические методы

- Определение содержания сухого вещества проводили гравиметрическим методом - путём высушивания зелени до постоянной массы при 70°С [16].

- Содержание суммы антиоксидантов определяли титрованием 1 мл 0,05 N раствора KMnO_4 в среде 0,24 M H_2SO_4 анализируемым раствором (экстрактом высушенных надземных частей растений в 70% спирте) до обесцвечивания раствора перманганата калия [17]. Результаты исследований выражали в мг-экв. галловой кислоты/г сухой массы.

4. Биометрические методы исследований.

Биометрию проводили по следующим параметрам: высота растений, общая масса образца, средняя масса 1 растения, длина листа, число долей листа, среднее число листьев.

5. Статистические методы исследований.

Статистическую обработку данных экспериментов проводили с помощью двухфакторного дисперсионного анализа по Б.А. Доспехову [14], а также используя пакет прикладных программ Microsoft Excel, 2010.



Рис.2. Рассада капусты японской, ФГБНУ ФНЦО, 29.04.2021
Fig.2. Young plants of *Brassica rapa* L. subsp. *nipposinica*, FSBSI FSVC, 2021.04.29.



Рис. 1. Всходы капусты японской. ФГБНУ ФНЦО. 23.04.2021
Fig.1. Seedlings of *Brassica rapa* L. subsp. *nipposinica*. FSBSI FSVC.23.04.2021



Рис.3. Растения капусты японской на пятиярусной гидропонной конструкции, ФГБНУ ФНЦО, 2021 год
Fig.3. *Brassica rapa* L. subsp. *nipposinica* cultivated at the fifth-circle hydroponic installation, FSBSI FSVC, 2021

Результаты исследований**Фазы развития капусты японской**

Фенологические наблюдения провели в период с 18.04.2021 по 23.05.2021. За этот период были отмечены следующие фазы развития растений: всходы – 23.04.2021, сеянцы (высота растения 10 см) – установка растений на многоярусную гидропонную конструкцию – 29.04.2021. Взрослые растения – срезка растений на зелень (уборка растений) – 23.05.2021.

Определение всхожести семян капусты японской

Посев семян капусты, предварительно обработанных водными растворами гликозидов, провели 18.04.2021. На 5 сутки 23.04.2021 визуально определили всхожесть семян. Результаты, обработанные статистически в 2022 году, представлены в таблицах 1 и 2.

Поскольку $F_{05} > F_{факт.}$, различия между вариантами опыта несущественны, т.е. гликозиды не оказали существенного влияния на изменение всхожести семян у капусты японской. Это можно объяснить ещё и тем, что семена были

свежими (2017 и 2020 года) и хорошего качества. Они начали прорастать сразу же после замачивания.

Анализ морфологических параметров капусты японской

Полный биометрический анализ растений по всем морфологическим показателям, перечисленным в разделе «Материалы и методы», провели одновременно – 23.05.2021. Результаты исследований, обработанные статистически с помощью программы Microsoft Excel 2010 в 2022 году, и дополненные вычислением НСР₀₅ по Б.А. Доспехову [14], представлены в таблице 3. Анализ данных таблицы 3 показывает, что гликозиды оказали положительное влияние на изменение высоты розетки у сорта японской капусты Салат Мизуна: под действием молдстима и линарозида она существенно возросла. Сорт Салют Юбилею положительно отреагировал на обработку гликозидами и существенно повысил массу растений за счёт увеличения средней массы растения и числа листьев на растении. У сорта Салат Мизуна такого эффекта не наблюдалось.

Таблица 1. Всхожесть семян капусты японской после обработки гликозидами, ФГБНУ ФНЦО, 2021-2022 годы
Table 1. Seedlings appearing after seed treatment with water solutions of glycosides, FSBSI FSVС, 2021-2022

Фактор А – сорта капусты	Фактор В – варианты обработок	Всхожесть семян, %					Σv	X ср.
		I	II	III	IV	V		
Салат Мизуна	Дистиллированная вода	95	100	100	95	90	480	96
	0,005% молдстим	100	100	85	100	100	485	97
	0,005% линарозид	95	85	90	100	90	460	92
	0,005% тригонеллозид	80	85	90	95	100	450	90
Салют Юбилею	Дистиллированная вода	100	95	100	100	100	495	99
	0,005% молдстим	100	95	100	100	100	495	99
	0,005% линарозид	100	100	100	100	60	460	92
	0,005% тригонеллозид	100	95	100	100	100	495	99
Σ _p		770	755	765	790	740	3820	-

Таблица 2. Результаты двухфакторного дисперсионного анализа
Table 2. Results of two-factorial dispersion analysis

Дисперсии	Суммы квадратов	Степени свободы	Средний квадрат	F факт.	F ₀₅
Общая	9 665	39	-	-	-
Повторений	171	4	-	-	-
Фактора А	123	1	123	0,38	4,20
Фактора В	235	3	78,33	0,24	2,95
Взаимодействия АВ	112	3	37,33	0,12	2,95
Остаток (ошибки)	9 024	28	322	-	-

Таблица 3. Морфологические параметры растений капусты японской после обработки семян гликозидами.
ФГБНУ ФНЦО, 2021-2022 годы

Table 3. Morphologic parameters of plants *Brassica rapa* L. subsp. *nipposinica* after seed treatment with glycosides, FSBSI FSVC, 2021-2022

Фактор А – сорта капусты	Фактор В – варианты обработок	Высота розетки, см		Общая масса растений, г/горшок		Средняя масса растения, г		Длина листа, см		Число долей листа, шт.		Число листьев, шт.	
		Х ср.	+/- к St	Х ср.	+/- к St	Х ср.	+/- к St	Х ср.	+/- к St	Х ср.	+/- к St	Х ср.	+/- к St
Салат Мизуна	Дистиллированная вода	33,4	St ₁	93	St ₁	9,3	St ₁	16,4	St ₁	3,6	St ₁	31	St ₁
	0,005% молдстим	36,4	+ 3,0	88,6	- 4,4	8,86	-0,44	13,6	- 2,8	2,8	- 0,8	39,6	+ 8,6
	0,005% линарозид	36,6	+ 3,2	96,4	+3,4	9,82	+0,53	14,8	- 1,6	2,8	- 0,8	40,4	+ 9,4
	0,005% тригонеллозид	34,8	+ 1,4	78,8	-14,2	7,88	-1,42	13,4	- 3,0	2,6	- 1,0	41,2	+10,2
Салют Юбилею	Дистиллированная вода	33,6	St ₂	96,8	St ₂	9,68	St ₂	14,8	St ₂	3,8	St ₂	32,6	St ₂
	0,005% молдстим	32,0	- 1,6	165	+ 68,2	16,5	+6,82	13,8	- 1,0	3,4	- 0,4	44,4	+11,8
	0,005% линарозид	32,6	- 1,0	134	+ 37,2	13,4	+3,72	15,6	+ 0,8	4,0	+ 0,2	44,4	+11,8
	0,005% тригонеллозид	31,6	- 2,0	134	+ 37,2	13,4	+3,72	14,6	- 0,2	4,0	+ 0,2	44,8	+12,2
НСР ₀₅			2,5		36,4		3,64		4,5		0,65		11,63

Таким образом, нам удалось показать общую положительную тенденцию использования гликозидов для обработки семян: сорт Салат Мизуна отреагировал повышением высоты растений, сорт Салют Юбилею – повышением общей массы растений за счёт повышения средней массы одного растения и числа листьев на растении.

В аналитическом эксперименте оценили, как влияет обработка гликозидами на биохимические показатели растений (табл. 4).

Анализ таблицы 4 показывает, что обработка гликозидами не влияет на содержание сухого вещества у сорта Салют Юбилею, но по-разному действует на сорт Салат Мизуна. Обработка молдстимом и линарозидом существенно снижает данный показатель. Обработка тригонел-

лозидом существенно повышает содержание сухого вещества у сорта Салат Мизуна. Что же касается суммарного содержания антиоксидантов, то оно существенно повышается у сорта Салат Мизуна после обработок линарозидом и тригонеллозидом. Сорт Салют Юбилею положительно реагирует на обработки всеми гликозидами – и содержание антиоксидантов повышается почти в 2 раза по сравнению с сортом Салат Мизуна.

Таким образом, показано, что гликозиды существенно повышают содержание антиоксидантов в листьях капусты японской – за исключением молдстима у сорта Салат Мизуна. Так что можно сделать вывод о положительном влиянии вторичных метаболитов класса гликозидов на витаминную ценность листьев капусты японской.

Таблица 4. Влияние обработки гликозидами на содержание сухого вещества и суммарное содержание антиоксидантов в листьях капусты японской, ФГБНУ ФНЦО, 2021-2022 годы

Table 4. Effect of seed treatment with glycosides on the content of dry matter and the sum of antioxidants in leaves of *Brassica rapa* L. subsp. *nipposinica*, FSBSI FSVC, 2021-2022

Фактор А – сорта капусты	Фактор В – варианты обработок	Содержание сухого вещества, %		Суммарное содержание антиоксидантов в листьях, мг-экв. галловой кислоты	
		Х ср.	+/- к St	Х ср.	+/- к St
Салат Мизуна	Дистиллированная вода	6,54	St ₁	1,38	St ₁
	0,005% молдстим	5,73	- 0,81	1,35	- 0,03
	0,005% линарозид	6,11	- 0,43	1,72	+0,36
	0,005% тригонеллозид	7,32	+0,78	1,79	+0,41
Салют Юбилею	Дистиллированная вода	6,69	St ₂	1,84	St ₂
	0,005% молдстим	6,22	- 0,45	2,13	+0,29
	0,005% линарозид	6,72	+0,03	2,06	+0,22
	0,005% тригонеллозид	6,64	- 0,05	2,32	+0,48
НСР ₀₅			0,39		0,21

Обсуждение результатов

Приведенные выше материалы исследований свидетельствуют о том, что ценная зеленная культура – капуста японская – исходно хорошо адаптирована к выращиванию на вертикальных гидропонных конструкциях. Сорт Салат Мизуна повысил высоту растений в ответ на обработку природными иммуномодуляторами. Сорт Салют Юбилею положительно отреагировал на обработку вторичными метаболитами, существенно повысив вес общей массы растений – за счёт увеличения числа листьев на растении и средней массы одного растения. Содержание сухого вещества сохранялось, а суммарное содержание антиоксидантов возрастало при обработке вторичными метаболитами. Таким образом, использование вторичных метаболитов класса гликозидов может повышать продуктивность, витаминную ценность и безопасность возделывания японской капусты в условиях гидропоники. В последнее время вторичные метаболиты растений фенольной природы всё больше привлекают к себе внимание исследователей. Растения, вырабатывающие большое количество вторичных метаболитов, известны как медицинские [18], причём многие из них используются для лечения онкологических заболеваний [19]. Антиоксидантные свойства вторичных метаболитов обуславливают их участие в формировании стрессоустойчивости у растений. Показано, что они могут вовлекаться в процесс формирования устойчивости моркови к *Alternaria dauci* [20], томата к вирусу табачной мозаики [21] и *Phytophthora infestans* DB [22], сливы к вирусу шарки [23], бобовых и злаковых культур к грибным патогенам [24, 25]. Причём «механизмы действия» данных соединений на грибы и вирусы различаются. На чистых культурах грибов – возбудителей болезней растений семейства Solanaceae – установлено: вторичные метаболиты класса стероидных гликозидов являются биорегуляторами (преимущественно, ингибиторами) роста и развития этих грибов, действуя на уровне мембранного комплекса [22]. Один из механизмов контроля проницаемости плазмалеммы с помощью стероидных гликозидов при фузариозной инфекции злаков реализуется посредством поддержания на прежнем уровне или повышения содержания гидроксипролина, который подвергается деструкции под влиянием патогена [24]. Антивирусная активность стероидных гликозидов обуслов-

лена высокой подвижностью атома водорода гемикетальной гидроксильной группы при C₂₂агликона и образованием стабильного промежуточного радикала-ингибитора [25]. Наиболее высокая антивирусная активность отмечена для двух фураностаноловых соединений – павстима и молдстима, которые содержат дополнительную гидроксильную группу при C₂₂агликона [26]. Таким образом, вторичные метаболиты растений фенольной природы являются природными иммуномодуляторами. А это – главный момент для поддержания иммунного статуса растений при культивации на гидропонной конструкции, т.к. данная технология подразумевает беспестицидный цикл выращивания растений.

Нами установлено, что природные иммуномодуляторы класса гликозидов могут не только повышать продуктивность капусты японской (табл. 3), но и вызывать повышенное накопление антиоксидантов в листьях (табл. 4), что свидетельствует об укреплении иммунитета растений. Причём, повышенное накопление антиоксидантов происходит не зависимо от того, изменяются ли биометрические параметры растений, или нет (табл. 3,4). Наиболее эффективными иммуномодуляторами для капусты японской являются линарозид и тригонеллозид в концентрации 0,005%.

Заключение

Ценная овощная культура – капуста японская (*Brassica rapa* L. subsp. *nipposinica* (L.H.Bailey) Hanelt) – может выращиваться на многоярусных гидропонных конструкциях с сохранением её продуктивности, питательных и витаминных свойств. Обработка семян 0,005%-ными растворами природных иммуномодуляторов линарозида и тригонеллозида способствует повышению продуктивности нового сорта капусты японской Салют Юбилею. Кроме того, исследуемые сорта реагируют на обработку иммуномодуляторами повышенным накоплением антиоксидантов в листьях растений, что может свидетельствовать об укреплении иммунитета растений. Поскольку линарозид и тригонеллозид являются природными соединениями и применяются в физиологических концентрациях, они могут использоваться в технологии культивирования растений на многоярусных гидропонных конструкциях при беспестицидном цикле выращивания.

Об авторах:

Ирина Тимофеевна Балашова – доктор биологических наук, главный научный сотрудник лаборатории зеленных, пряновкусовых и цветочных культур, <https://orcid.org/0000-0001-7986-2241>, автор для переписки, balashova56@mail.ru

Людмила Леонидовна Бондарева – доктор сельскохозяйственных наук, заведующая лабораторией селекции и семеноводства капустных культур, <https://orcid.org/0000-0002-0912-5913>, lyuda_bondareva@mail.ru

Елена Владимировна Пинчук – кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства луковых культур, <https://orcid.org/0000-0003-0824-8863>, techh620@yandex.ru

Анна Владимировна Молчанова – кандидат с.-х. наук, ст.н.с. лабораторно-аналитического отдела, <https://orcid.org/0000-0002-7795-7463>, vovka_ks@rambler.ru

Татьяна Егоровна Шевченко – научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства луковых культур

Наталья Евгеньевна Машенко – кандидат химических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории биологически активных веществ, <https://orcid.org/0000-0003-1869-4357>, mne4747@mail.ru

About the Authors:

Irina T. Balashova – Doc. Sci. (Biology), Leader Researcher of Green, Aromatic and Decorative Breeding Laboratory, <https://orcid.org/0000-0001-7986-2241>, Correspondence Author, balashova56@mail.ru

Lyudmila L. Bondareva – Doc. Sci. (Agriculture), Head of Brassicaceae breeding laboratory, <https://orcid.org/0000-0002-0912-5913>, lyuda_bondareva@mail.ru

Elena V. Pinchuk – Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher, <https://orcid.org/0000-0003-0824-8863>, techh620@yandex.ru

Anna V. Molchanova – Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher of Analytical department, <https://orcid.org/0000-0002-7795-7463>, vovka_ks@rambler.ru

Tatiana E. Shevchenko – researcher of Alliaceae breeding laboratory

Natalia E. Mashenco – Cand. Sci. (Chemistry), Leader Researcher of Biologically Active Compounds Laboratory, <https://orcid.org/0000-0003-1869-4357>, mne4747@mail.ru

• Литература

1. *Global Industry Report*, 2014-2025. April, 2017. Report ID: IVR 1-68038-797-1.
2. URL: <https://toeplitz.ru/hydro/prognoz-razvitiya-rynka-gidroponiki.html> (дата обращения 17.11.2021)
3. Balashova I., Sirota S., Pinchuk Ye. Vertical vegetable growing: creating tomato

varieties for multi-tiered hydroponic installations. *International Conference on Sustainable Development for Cross-Border Regions. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2019;395(2019)012079:1-8. <https://doi.org/10.1088/1755-1315-395-1-012079>

4. Балашова И.Т., Сирота С.М., Пинчук Е.В., Вершинина Н.П. Новая ресурсосберегающая технология в ФГБНУ «Федеральный научный центр ово-

- щеводства». *Аграрная наука-сельскому хозяйству. Сборник материалов XVII Международной научно-практической конференции.* Барнаул, 2022. С.180-182.
5. Артемьева А.М., Соловьева А.Е. Генетическое разнообразие и биохимическая ценность капустных овощных растений рода *Brassica* L. *Вестник Новосибирского государственного аграрного университета.* 2018;(4):50-61.
 6. Пивоваров В.Ф., Тареева М.М., Мухортов В.Ю., Голубкина Н.А., Замана С.П., Кошелева О.В. Капуста японская – высокоценная овощная культура. *Картофель и овощи.* 2009;(9):13.
 7. Артемьева А.М. Новые поступления капустных культур вида *Brassica rapa* L. в коллекцию ВИР. *Овощи России.* 2017;(2):14-19. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2017-2-14-19>
 8. Бондарева Л.Л., Минейкина А.И., Паслова Т.О., Молчанова А.В., Паслова Н.О. Капуста японская: особенности морфологических и биохимических показателей селекционного сортаобразца. *Овощи России.* 2020;(6):62-66. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2020-6-62-66>
 9. Балашова Н.Н., Жученко А.А., Пивоваров В.Ф., Балашова И.Т., Козарь Е.Г., Беспалько А.В., Пышная О.Н., Кинтя П.К., Лупашку Г.А., Машченко Н.Е., Швеи С.А., Бобейка В.А. Регуляция устойчивости фитопатосистем с помощью вторичных метаболитов растений. *Сельскохозяйственная биология.* 2004;(1):3-16.
 10. Кинтя П.К., Лазурьевский Г.В., Балашова Н.Н., Балашова И.Т., Суружю А.И., Лях В.А. *Строение и биологическая активность стероидных гликозидов ряда фурустана и спиранта.* Кишинёв: Штиинца. 1987. 141 с.
 11. Луценко Э.К., Дорошенко И.В. Влияние биологически активных веществ на физиологические показатели растений огурца и их восприимчивость к ВЗКМ// *Индукционная устойчивость сельскохозяйственных культур к фитопатогенам.* Ростов-на-Дону. 1989. С.25-27.
 12. Машченко Н.Е., Боровская А.Д., Гуманик А.В., Балашова И.Т., Козарь Е.Г. Эффективность действия регуляторов природного происхождения при выращивании моркови. *Овощи России.* 2018;(1):74-78. <https://doi.org/10.18916/2072-9146-2018-1-74-78>
 13. Доспехов Б.А. *Методика полевого опыта.* Москва: Агропромиздат, 1985. 351 с.
 14. Сирота С.М., Балашова И.Т., Козарь Е.Г., Митрофанова О.А., Аутко А.А., Долбик М.А. Первые результаты селекции сортов и гибридов томата для многоярусной узкостеллажной гидропоники. *Теплицы России.* 2014;(3):58-62.
 15. Кидин В.В. *Практикум по агрохимии.* Москва: Колос. 2008. 215 с.
 16. Голубкина Н.А., Кекина Е.Г., Молчанова А.В., Антошкина М.С., Надежкин С.М., Солдатенко А.В. *Антиоксиданты растений и методы их определения.* Москва: ФГБУ ФНЦО, 2018. 66 с.
 17. Федотов С.В. Эфирные масла и их влияние на высшую нервную деятельность человека// *Сборник научных трудов ГНБС.* Ялта, Крым. 2015;(141):131-147.
 18. Novak J. Optimizing plant secondary metabolite production. *Plant Breeding: the Art of Brining Science to Life. Abstracts of the 20th EUCARPIA General Congress. Zurich, Switzerland.* 2016. P.77. ISBN 978-3-906804-22-4.
 19. Koutouan C., Yovanopoulos C., Piquet M., Hugueney P., Halter D., Claudel P., Baltenweck R., Hamama L., Suel A., Huet S., Peltier D., Briard M., Le Clerc V. Can the variation of secondary metabolite contents be part of carrot resistance to *Alternaria dauci*? *Plant Breeding: the Art of Brining Science to Life. Abstracts of the 20th EUCARPIA General Congress. Zurich, Switzerland.* 2016. P.71. ISBN 978-3-906804-22-4.
 20. Балашова И.Т., Вердерева Т.Д., Кинтя П.К. Антивирусная активность стероидных гликозидов на модели вируса табачной мозаики. *Сельскохозяйственная биология.* 1984;(4):64-68.
 21. Жученко А.А., Кинтя П.К., Балашова Н.Н. Способ оценки фитопатогенной устойчивости сортов томатов. *Авторское свидетельство СССР №895365. Бюллетень изобретений и открытий.* 1982, №1.
 22. Lahmatova I.T., Kintia P.K., Verderevskaya T.D., Juravel A.M., Ostapenko A.B. One Biochemical Marker of Plum Resistance to PPV. *Proceedings of the Middle European Meeting'96 on Plum Pox.* Budapest. 1997. P.33-36.
 23. Козарь Е.Г., Енгальчева И.А., Антошкин А.А., Машченко Н.Е. Скрининг биологической активности фитопрепаратов на основе вторичных метаболитов растений на культуре *Phaseolus vulgaris* L. *Овощи России.* 2021;(5):89-97. <https://doi.org/10.18916/2072-9146-2021-5-89-97>
 24. Лупашку Г.А. Иммунологические основы устойчивости культуры тритикале к фузариозу. Дисс. доктора биол. наук. Кишинёв. 1999. С.249-266.
 25. Балашова И.Т. Using of Steroid Glycosides (Saponins) in Agriculture. *New Trends in Saponins. Book of Abstracts International Conference on Saponins. France. Nancy Université.* 2009. P.14.
 26. Balashova I.T., Balashova N.N., Kintia P.K. Steroidal Glycosides as Plant Resistance Inductors. *Acta Agronomica Hungarica.* 1990;39(1-2):183-191.
 27. Balashova I.T., Sirota S.M., Pinchuk E.V., Vershinina N.P. New energy saved technology of Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Vegetable Center". *Agrarian Science for Agriculture. Proceedings of XVII International Scientific-Practical Conference.* Barnaul. 2022. P.180-182. (In Russ.)
 28. Artemieva A.M., Soloviova A.E. Genetic diversity and biochemical value of cabbage vegetable plants of the genus *Brassica* L. *Bulletin of Novosibirsk State Agrarian University.* 2018;(4):50-61. (In Russ.)
 29. Pivovarov V.F., Tareeva M.M., Mukhortov V.Yu., Golubkina N.A., Zamana S.P., Kosheleva O.V. Japanese cabbage is high-value vegetable culture. *Potato and vegetables.* 2009;(9):13. (In Russ.)
 30. Artemieva A.M. New incoming accessions of *Brassica rapa* L. into the VIR plant collection. *Vegetable crops of Russia.* 2017;(2):14-19. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2017-2-14-19>
 31. Bondareva L.L., Mineykina A.I., Paslova T.O., Molchanova A.V., Paslova N.O. Japanese cabbage: features of morphological and biochemical parameters of a promising sample. *Vegetable crops of Russia.* 2020;(6):62-66. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2020-6-62-66>
 32. Balashova N.N., Zhuchenko A.A., Pivovarov V.F., Balashova I.T., Kozari E.G., Bespal'ko A.V., Pishnaya O.N., Kintya P.K., Lupashku G.A., Maschenko N.E., Shvets S.A., Bobeikā V.A. Regulation of Phytopathosystem Stability With Help of Plant Secondary Metabolites. *Agricultural Biology.* 2004;(1):3-16. (In Russ.)
 33. Kintya P.K., Lazurievskiy G.V., Balashova N.N., Balashova I.T., Surudgiu A.I., Liakh V.A. *Structure and biological activity steroid glycosides of furostane and spirostane- rows.* Chişinău: ştiinţa. 1987. 141 p. (In Russ.)
 34. Lutsenko A.K., Doroshenko I.V. Influence of biologically active compounds on physiological characteristics of cucumber plants and their sensitivity to CMV. *Inductive resistance of agricultural crops to pathogens.* Rostov-on-Don. 1989. P.25-27. (In Russ.)
 35. Maschenko N.E., Boroyskaya A.D., Gumanik A.V., Balashova I.T., Cozar E.G. Efficiency of natural growth regulators in carrot production. *Vegetable crops of Russia.* 2018;(1):74-78. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2018-1-74-78>
 36. Dospekhov B.A. *Methods for field experiments.* Moscow: Agropromizdat, 1985. 351 p. (In Russ.)
 37. Sirota S.M., Balashova I.T., Kozar E.G., Mitrofanova O.A., Autko A.A., Dolbik M.A. First Results of Breeding Tomato Varieties and Hybrids For Multi-circle Hydroponic. *Greenhouses of Russia.* 2014;(3):58-62. (In Russ.)
 38. Kidin V.V. *Workshop on Agricultural Chemistry.* Moscow:Kolos. 2008. 215 p. (In Russ.)
 39. Golubkina N.A., Keкина E.G., Molchanova A.V., Antoshkina M.S., Nadezhkin S.M., Soldatenko A.V. *Plant antioxidants and methods for their determination.* Moscow: FSBSI FSVC; 2018. 66 p. (In Russ.)
 40. Fedotov S.V. Essential oils and their influence on the higher nervous activity of a man. *Proceedings of the Great Nikitskiy Botanical Garden. Jalta, Crimea.* 2015;(141):131-147. (In Russ.)
 41. Novak J. Optimizing plant secondary metabolite production. *Plant Breeding: the Art of Brining Science to Life. Abstracts of the 20th EUCARPIA General Congress. Zurich, Switzerland.* 2016:77. ISBN 978-3-906804-22-4.
 42. Koutouan C., Yovanopoulos C., Piquet M., Hugueney P., Halter D., Claudel P., Baltenweck R., Hamama L., Suel A., Huet S., Peltier D., Briard M., Le Clerc V. Can the variation of secondary metabolite contents be part of carrot resistance to *Alternaria dauci*? *Plant Breeding: the Art of Brining Science to Life. Abstracts of the 20th EUCARPIA General Congress. Zurich, Switzerland.* 2016. C.71. ISBN 978-3-906804-22-4.
 43. Balashova I.T., Verderevskaya T.D., Kintia P.K. Antiviral activity of steroid glycosides at the TMV-model. *Agricultural biology.* 1984;(4):64-68. (In Russ.)
 44. Zhuchenko A.A., Kintya P.K., Balashova N.N. Method of tomato resistance evaluation to *Phytophthora infestans* DB. *Author patent №895365. USSR Bulletin of inventions and discoveries.* 1982, №1. (In Russ.)
 45. Lahmatova I.T., Kintia P.K., Verderevskaya T.D., Juravel A.M., Ostapenko A.B. One Biochemical Marker of Plum Resistance to PPV. *Proceedings of the Middle European Meeting'96 on Plum Pox.* Budapest. 1997. P.33-36.
 46. Kozar E.G., Engalycheva I.A., Antoshkin A.A., Mashcenco N.E. Screening of biological activity of phytopreparations based on secondary metabolites of plants on the culture of *Phaseolus vulgaris*. *Vegetable crops of Russia.* 2021;(5):89-97. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2021-5-89-97>
 47. Lupashku G.A. Immunological bases of triticale resistance to *Fusarium graminearum* Link. *Doctor habilitate in plant biology thesis.* Chişinău. 1999. P.249-266. (In Russ.)
 48. Balashova I.T. Using of Steroid Glycosides (Saponins) in Agriculture. *New Trends in Saponins. Book of Abstracts International Conference on Saponins. France. Nancy Université.* 2009. P.14.
 49. Balashova I.T., Balashova N.N., Kintia P.K. Steroidal Glycosides as Plant Resistance Inductors. *Acta Agronomica Hungarica.* 1990;39(1-2):183-191.

References

1. *Global Industry Report*, 2014-2025. April, 2017. Report ID: IVR 1-68038-797-1.
2. URL: <https://toeplitz.ru/hydro/prognoz-razvitiya-rynka-gidroponiki.html> (дата обращения 17.11.2021)
3. Balashova I., Sirota S., Pinchuk Ye. Vertical vegetable growing: creating