

## ВЛИЯНИЕ КРЕМНИЙСОДЕРЖАЩИХ УДОБРЕНИЙ НА УРОЖАЙ ТОМАТА И ОГУРЦА ПРИ МАЛООБЪЕМНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ВЫРАЩИВАНИЯ

В.М. ЛАПУШКИН<sup>1,2</sup>, П.В. ДОБРИН<sup>1</sup><sup>(1</sup> Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева;<sup>2</sup> ФГБНУ ВНИИ агрохимии имени Д.Н. Прянишникова)

*Действие кремнийсодержащих препаратов: НаноКремния, Силипланта, Биостимулятора «Вона Forte» и силиката натрия – на рост, развитие и урожайность гибридов огурца Бьерн F1 и томата Мерлис F1 изучали в условиях малообъемной гидропоники. Исследования показали, что проведение некорневых подкормок томата обеспечивало получение более ранней продукции и формирование достоверной прибавки урожая 6,5–8,0 кг/м<sup>2</sup> за счет увеличения количества плодов на 10–12% и средней массы плода на 18–23%. Применение кремнийсодержащих удобрений при выращивании огурца в зимне-весеннем обороте способствовало увеличению площади ассимиляционного аппарата растений, количества сформированных плодов, их средней массы. Качество полученной продукции возросло за счет увеличения содержания сухих веществ и снижения содержания в плодах нитратного азота с 382 до 181–230 мг/кг. Максимальная прибавка урожайности огурца 5,3–6,5 кг/м<sup>2</sup> была достигнута при применении силипланта и кремнийсодержащего биостимулятора.*

**Ключевые слова:** кремний, огурец, томат, малообъемная гидропоника, кремнийсодержащие удобрения, биостимуляторы, силиплант, НаноКремний, силикат натрия

### Введение

Важнейшая задача отечественного овощеводства – это круглогодичное обеспечение населения свежей овощной продукцией. Она может быть решена только путем расширения площадей защищенного грунта и повышения продуктивности возделываемых сельскохозяйственных культур.

По данным Росстата, за период с 2010 по 2020 гг. площадь защищенного грунта в России увеличилась на 47% и достигла 4,3 тыс. га, уровень самообеспечения овощами в РФ возрос с 76,9 до 86,3%. При этом валовый сбор овощей защищенного грунта увеличился с 0,5 до 1,4 млн т, что составляет 35,9% общего производства овощной продукции в сельскохозяйственных организациях, или 10% сбора овощей по всем категориям хозяйств [4, 10].

Расчеты показывают, что по объемам производства 1 га современных теплиц заменяет собой 20–30 га открытого грунта [11]. Получение высоких урожаев надлежащего качества невозможно без комплексного применения средств химизации, что особенно касается столь интенсивной технологии выращивания сельхозкультур, как малообъемная гидропоника. Если при разработке системы применения удобрений большое внимание уделяют основным макроэлементам: азоту, фосфору и калию, железу и микроэлементам (Mn, Zn, B, Cu, Mo, Co), в условиях защищенного грунта учитывается потребность растений в мезоэлементах (сере, кальции и магнии), то такой макроэлемент,

как кремний, практически полностью игнорируется и считается условно необходимым. При этом его содержание в растениях может достигать 10% сухой массы.

Между тем в отечественной и зарубежной литературе опубликовано большое количество научных исследований, показывающих положительное влияние кремния на формирование урожая различных сельхозкультур, и в первую очередь – зерновых [1, 14]. Небольшое количество работ показывает эффективность кремнийсодержащих удобрений и при возделывании овощных культур [2, 9, 12]. Однако механизмы действия этого элемента на растения до настоящего времени изучены недостаточно. Есть мнение о том, что особую роль кремний играет в повышении устойчивости растений к неблагоприятным внешним факторам, биогенным и абиогенным стрессам [1, 6, 7, 12]. Отдельные авторы указывают на усиление использования растениями основных элементов питания (NPK) при применении кремнийсодержащих препаратов [13, 16].

Несмотря на распространенность этого элемента в природе и высокое содержание его в почве, доступность его растениям является крайне низкой, а применение различных кремнийсодержащих препаратов способно как увеличить урожай, так и улучшить его качество.

В широком ассортименте минеральных удобрений, в зависимости от состава и способа применения, выделяют: кремнийсодержащие мелиоранты (например, цеолиты, диатомиты и др.), которые используются для внесения в почву в больших количествах; кремниевые удобрения для внесения в почву, предпосевной обработки семян и подкормок (к ним относятся силикаты натрия и калия, аморфный  $\text{SiO}_2$  и др.); кремнийсодержащие биостимуляторы для обработки растений в течение вегетации [5, 6]. Действие препаратов двух последних групп изучалось нами при выращивании двух наиболее распространенных в защищенном грунте овощных культур: томата и огурца, на долю которых, по данным ассоциации «Теплицы России», в сумме приходится 94% всей получаемой в теплицах продукции.

### **Материал и методика исследований**

Влияние кремнийсодержащих препаратов на урожай огурца и томата проводили в тепличном комбинате АО Агрокомбинат «Южный» ОП Новгородское, г. Великий Новгород. Объектом исследования являлись партенокарпический гибрид огурца Бьерн F1 и гибрид томата Мерлис F1.

Растения выращивали в условиях гидропоники на минеральной вате. Размер мата составлял  $15 \times 100$  см, на каждом мате располагали по 5 растений, густота стояния растений огурца – 2,4 шт/м<sup>2</sup>, томата – 3,6 шт/м<sup>2</sup>. Повторность опыта 4-кратная. Составы используемых питательных растворов, которые являлись единым фоном для всех вариантов опыта, приведены в таблице 1. Содержание микроэлементов в растворах составляло, мкмоль/л: Fe – 15; Mn – 10; Zn – 5; B – 30; Cu – 0,75; Mo – 0,5.

Посев томата был произведен 13 мая, пикировка – 26 мая, расстановка рассады на маты – 9 июня; посев огурца произвели 20 октября, расстановку – 17 ноября. В течение вегетации проводили 4 некорневые обработки кремнийсодержащими препаратами: НаноКремний (ООО «НаноКремний», 20% Si + Fe, Cu, Zn), Силиплант (ООО «НЭСТ М», 7% Si + K, Mg, Fe, B, Cu, Zn, Mn, Co), Биостимулятор роста «Vona Forte» (АО «Русинхим» 7,5% Si + экстракт хвои пихты сибирской (*Abies sibirica* Ledeb.)). В качестве одностороннего кремниевого удобрения использовали метасиликат натрия ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ ). Дозы препаратов устанавливали в соответствии с рекомендациями производителя и применяли в эквивалентных по кремнию количествах (300 мг Si/л). Первую обработку проводили в фазу 2–3 настоящих листьев, далее, после расстановки кубиков, – с интервалом 2 недели.

## Составы питательных растворов

Фаза развития	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	P	S	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K	Ca	Mg	ЕС
	ммоль/л							mSm/cm
Томат								
Полив рассады	13,75	1,45	3,90	1,25	8,75	4,15	2,00	1,8–3,0
Напитка матов	13,75	1,50	4,00	1,00	5,25	5,15	3,00	2,8
До 1 кисти	13,75	1,45	3,90	1,25	8,75	4,15	2,00	2,8
1–3 кисть	14,75	1,45	3,36	0,60	7,75	4,05	2,50	2,8
3–5 кисть	14,20	2,25	4,28	1,50	9,00	4,30	2,05	3,0
5–10 кисть	14,00	2,05	4,13	1,00	9,00	4,50	1,75	2,9
Огурец								
Полив рассады	16,00	1,45	1,53	1,25	8,00	3,90	1,38	1,8–2,7
Напитка матов	16,00	1,45	1,53	0,85	5,50	4,60	2,13	2,5
4–6 недель	16,00	1,45	1,53	1,25	7,00	4,40	1,38	2,5
Массовое плодоношение	18,70	1,82	1,95	0,94	9,90	4,85	1,84	3,0

Основные микроклиматические условия в теплице за период проведения исследований приведены в таблице 2. Важнейшим фактором, влияющим на продукционный процесс растений, является освещенность. Из представленных данных следует, что количество поступающей солнечной энергии превышало среднегодовые значения в отдельные месяцы на 3–29%. В период выращивания огурца наблюдалось отклонение фактической влажности воздуха и периодическое снижение температуры ниже оптимального уровня. Содержание CO<sub>2</sub> в воздухе поддерживали на уровне 800–900 ppm.

Анализ химического состава растительных образцов проводили по общепринятым методикам: содержание сухого вещества – термogravиметрически (ГОСТ 31640–2012); нитратного азота – потенциометрически (ГОСТ 34570–2019); общее содержание растворимых сухих веществ (сахаров) – рефрактометрически (ГОСТ ISO 2173–2013). Определение элементного состава проводили после мокрого озоления: азот – микрометодом Кьельдаля (ГОСТ 13496.4–2019); фосфор – фотометрически (ГОСТ Р 51420–99); калий – пламенно-фотометрически (ГОСТ 30504–97). Статистическую обработку результатов опытов проводили методом однофакторного дисперсионного анализа с применением MS Excel.

**Микроклиматические условия теплицы в период проведения исследований  
(среднемесячные значения)**

Месяц	Температура воздуха, °С	Влажность воздуха, %	Количество солнечной энергии, Дж/см <sup>2</sup>
Томат			
Июль	21,3	76	1982
Август	22,2	75	1808
Сентябрь	20,3	75	866
Октябрь	21,3	67	474
Огурец			
Ноябрь	21,4	60	152
Декабрь	20,6	71	109
Январь	20,2	70	130
Февраль	21,2	73	381

**Результаты и их обсуждение**

*Влияние кремнийсодержащих препаратов на урожай томата.* Учет морфобиометрических параметров показал, что применение кремнийсодержащих препаратов способствовало усилению роста растений томата на ранних этапах развития. Наибольшим действием обладал биостимулятор Vona Forte, что объясняется содержанием в составе препарата тритерпеновых кислот. В период от высадки рассады до вступления в плодоношение растения, выращенные в варианте с применением биостимулятора, превышали контроль по росту в среднем на 10%. При этом в течение месяца наблюдений, к началу формирования плодов разница в длине растений уменьшалась с 22 до 6%. Полученные данные согласуются с результатами исследований, проведенными в открытом грунте при обработке томата аналогичным препаратом на основе экстракта хвои пихты сибирской, содержащим тритерпеновые кислоты [8].

Применение кремния способствовало более раннему созреванию урожая. В среднем по опыту на контрольном варианте первый сбор плодов был произведен на 5 дней позже. Таким образом, в первую неделю прибавка урожая в вариантах с обработкой растений кремнием варьировалась в диапазоне от 1,2 до 1,6 кг/м<sup>2</sup> по сравнению с контролем.

Статистическая обработка результатов опыта показала, что применение кремния обеспечило получение достоверных прибавок урожая во все три месяца наблюдений. При этом наиболее выраженное действие кремнийсодержащих препаратов наблюдалось в первый месяц плодоношения, что, как сказано выше, связано с более ранним созреванием плодов (табл. 3).

В августе урожайность томата в вариантах с обработками кремнием была на 65–79% выше контроля, при этом действие биостимулятора существенно превосходило действие других препаратов. В сентябре влияние всех кремнийсодержащих препаратов на урожай плодов томата было одинаковым и обеспечивало получение достоверной

прибавки на уровне 30–35% относительно контрольного варианта. В октябре прибавки урожая снизились до 10–16%, но оставались статистически достоверными.

Как следует из данных таблицы 3, если в августе прирост урожайности во многом обуславливался бóльшим количеством убранных плодов, что подтверждается коэффициентом корреляции  $r=0,97$ , то на более поздних фазах развития растений основное влияние на урожайность оказывало увеличение средней массы плода  $r=0,82–0,92$ .

Таким образом, все изучаемые препараты оказали существенное воздействие на урожай плодов томата, увеличивая его с 22,1 кг/м<sup>2</sup> в контрольном варианте до 28,6–30,1 кг/м<sup>2</sup> (рис. 1). При этом следует отметить, что все удобрения оказали влияние, равное действию силиката натрия. Из этого можно сделать вывод о том, что прибавка урожая была обеспечена применением кремния, а не дополнительных компонентов, входящих в состав препаратов.

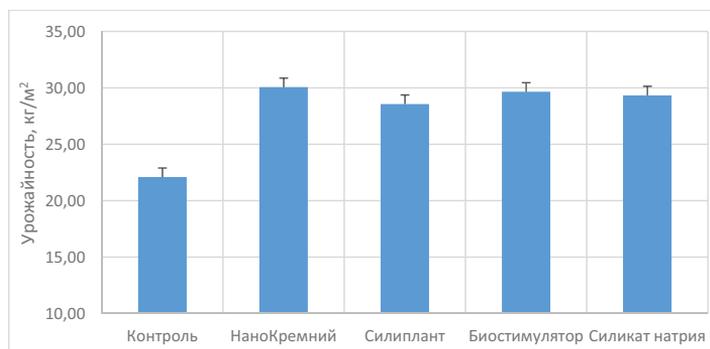
Таблица 3

**Динамика формирования урожая томата  
при применении кремнийсодержащих препаратов**

Вариант	Урожай, кг/м <sup>2</sup>			Количество плодов, шт/м <sup>2</sup>			Средняя масса плода, г		
	1*	2	3	1	2	3	1	2	3
Контроль	4,7	8,1	9,3	38	61	60	123	132	155
НаноКремний	8,4	10,9	10,8	50	66	63	168	166	170
Силиплант	7,8	10,5	10,2	49	65	62	159	163	164
Биостимулятор	8,5	10,7	10,4	50	63	64	169	170	162
Силикат натрия	8,1	10,8	10,5	49	65	63	166	165	167
НСП <sub>05</sub>	0,5	0,5	0,4	3	4	3	2	3	2
$r^{**}$	-	-	-	0,97	0,69	0,84	0,98	0,92	0,82

\*1 – август; 2 – сентябрь; 3 – октябрь.

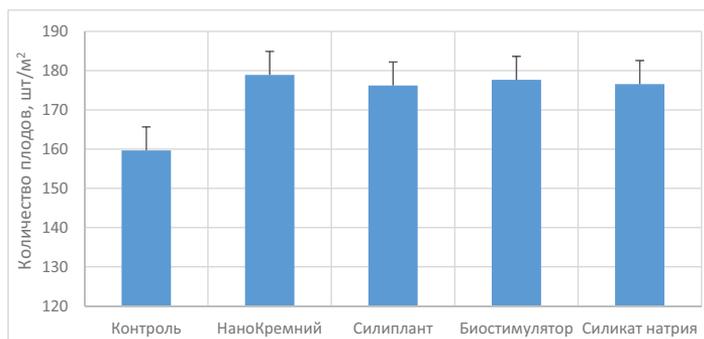
\*\*Коэффициент линейной корреляции между величиной урожая и количеством плодов/средней массой плода.



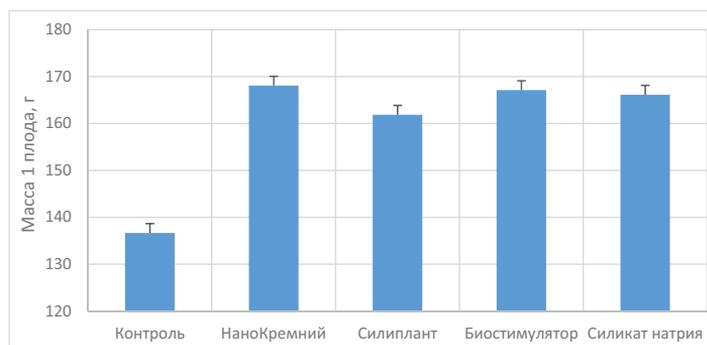
**Рис. 1.** Урожайность томата при применении кремнийсодержащих препаратов

Обработка растений томата кремнием способствовала увеличению количества убранных плодов на 10–12% вне зависимости от формы препарата (рис. 2). Между количеством плодов и общей урожайностью наблюдалась тесная корреляционная связь:  $r=0,96$ . Также общий урожай сильно зависел ( $r=0,98$ ) от средней массы одного плода, которая увеличивалась при применении кремния на 18–23% (рис. 3).

За время проведения опыта суммарный расход действующего вещества удобрений составил: N – 80; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>–78; K<sub>2</sub>O – 203 г/м<sup>2</sup>. Расчет затрат питательных веществ на формирование единицы продукции показал, что применение всех изучаемых препаратов обеспечивало более эффективное использование удобрений (табл. 4).



**Рис. 2.** Количество убранных плодов томата при применении кремнийсодержащих препаратов



**Рис. 3.** Средняя масса одного плода томата при применении кремнийсодержащих препаратов

Таблица 4

**Затраты д.в. удобрений на формирование 1 кг плодов томата**

№	Вариант	Затраты д.в. удобрений, г/кг плодов		
		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
1	Контроль	3,6	3,5	9,2
2	НаноКремний	2,7	2,6	6,8
3	Силиплант	2,8	2,7	7,1
4	Биостимулятор	2,7	2,6	6,8
5	Силикат натрия	2,7	2,7	6,9

В среднем по опыту затраты азота, фосфора и калия под действием некорневых обработок снижались на 25% вне зависимости от вида используемого препарата.

*Влияние кремнийсодержащих препаратов на урожай огурца.* Учет морфобиометрических параметров показал, что применение кремнийсодержащих удобрений оказало положительное влияние на рост и развитие растений огурца (табл. 5). По сравнению с контрольным вариантом общее количество междоузлий на растении увеличивалось на 32–49%. При этом наибольшее количество междоузлий отмечалось в варианте с применением препаратов силиплант (79 шт.), НаноКремний (76 шт.) и биостимулятора (75 шт.).

Все изучаемые удобрения увеличивали облиственность растений на 20–25% по сравнению с контролем. Положительное действие кремния на формирование фотосинтетического аппарата растений огурца отмечается и другими исследователями [9].

Как известно, особую роль кремний играет в водном обмене растений. Установлено, что этот элемент принимает участие в формировании двойного кутикулярного слоя листовых пластин и, как следствие, повышает механическую прочность растительных тканей, снижает испарение влаги, а также способствует увеличению устойчивости растений к поражению болезнями и вредителями [3, 6, 15]. Анализ химического состава листьев огурца показал, что под действием кремнийсодержащих препаратов содержание сухого вещества в листьях возрастало с 8,2 до 9,5% (табл. 6).

В среднем по опыту наблюдался некоторый дефицит азота, причем его содержание в листьях увеличивалось с 3,1% на контроле до 3,2–4,6% при применении кремнийсодержащих препаратов. Опрыскивание растений биостимулятором способствовало поддержанию обеспеченности азотом на оптимальном уровне. Содержание в листьях фосфора во всех вариантах соответствовало средним значениям (1,7–2,2%), а концентрация калия была несколько выше оптимальных значений (4,2–4,7%). Также наблюдалась тенденция усиления потребления фосфора и калия под действием НаноКремния, Силипланта и Биостимулятора.

Учет полученного урожая показал, что все изучаемые удобрения оказали положительное влияние на продуктивность растений огурца, но максимальная прибавка урожая наблюдалась в вариантах с применением силипланта и биостимулятора Вона Forte (табл. 7).

Таблица 5

**Влияние кремнийсодержащих препаратов на морфобиометрические показатели растений огурца**

Вариант	Высота растения, см	Количество междоузлий, шт.	Количество листьев, шт.	Количество листьев от макушки до 1-го цветущего плода, шт.	Длина листа, см	Ширина листа, см
Контроль	570	53	20	3	22	30
НаноКремний	578	76	25	9	23	32
Силиплант	581	79	25	9	22	29
Биостимулятор	598	75	25	7	22	30
Силикат натрия	550	70	24	6	23	30,5

**Влияние кремнийсодержащих препаратов на содержание элементов питания  
в листьях огурца, % на сухую массу**

Вариант	Месяц	Сухое в-во, %	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Контроль	Декабрь	8,2	2,28	2,40	5,74
	Январь	8,3	3,86	2,01	5,41
	Февраль	8,1	3,18	2,14	4,43
	$\bar{x}$	8,2	3,11	2,18	5,19
НаноКремний	Декабрь	8,9	2,14	2,59	5,96
	Январь	9,2	5,42	2,08	5,23
	Февраль	8,5	4,45	2,47	5,13
	$\bar{x}$	8,9	4,00	2,38	5,44
Силиплант	Декабрь	8,7	2,51	2,18	7,00
	Январь	8,8	2,79	1,79	5,42
	Февраль	8,5	4,25	2,79	5,03
	$\bar{x}$	8,7	3,18	2,25	5,82
Биостимулятор	Декабрь	9,5	4,77	2,13	5,54
	Январь	10,3	4,32	1,99	5,06
	Февраль	8,6	4,60	2,38	5,15
	$\bar{x}$	9,5	4,56	2,17	5,25
Силикат натрия	Декабрь	9,0	3,67	2,15	5,70
	Январь	9,4	4,05	1,81	4,95
	Февраль	8,6	3,56	2,10	4,80
	$\bar{x}$	9,0	3,76	2,02	5,15

В течение всех трех месяцев плодоношения применение кремнийсодержащих препаратов силиплант и биостимулятор обеспечивало получение существенных прибавок урожая, что подтверждается результатами математической обработки результатов. Действие НаноКремния и силиката натрия было менее выраженным и не всегда достоверно значимым.

**Урожайность огурца при применении кремнийсодержащих препаратов**

Вариант	Урожай, кг/м <sup>2</sup>				Количество плодов, шт/м <sup>2</sup>				Средняя масса плода, г			
	1*	2	3	Σ	1	2	3	Σ	1	2	3	$\bar{x}$
Контроль	5,4	5,0	5,5	15,9	55	43	46	144	98	117	120	112
НаноКремний	6,4	5,4	5,7	17,4	61	45	47	154	104	118	120	114
Силиплант	7,2	7,3	7,8	22,4	62	59	60	181	116	124	129	123
Биостимулятор	7,0	7,0	7,2	21,2	64	58	59	181	110	121	122	118
Силикат натрия	6,2	5,0	5,9	17,2	59	42	48	149	106	119	124	116
НСР <sub>05</sub>	0,4	0,4	0,3	0,8	3	3	2	6	3	2	2	1
r**	-	-	-	-	0,90	1,00	0,99	0,99	0,87	0,84	0,77	0,89

\*1 – декабрь; 2 – январь; 3 – февраль.

\*\*Коэффициент линейной корреляции между величиной урожая и количеством плодов/средней массой плода.

Прирост урожайности был обусловлен влиянием препаратов на формирование двух основных компонентов структуры урожая: количества плодов и их едней массы. При этом наиболее тесная связь отмечалась между количеством плодов и урожайностью ( $r = 0,90-1,00$ ).

В сумме за три месяца урожай в вариантах с применением кремнийсодержащих препаратов был достоверно выше по сравнению с контролем. Применение НаноКремния и силиката натрия обеспечивало получение прибавки урожая 1,3–1,5 кг/м<sup>2</sup>. Наиболее выраженное действие на урожай оказали препараты силиплант и биостимулятор, которые способствовали формированию прибавки 5,3–6,5 кг/м<sup>2</sup>, что, по-видимому, связано с влиянием входящих в их состав микроэлементов и биологически активных веществ.

Обработка растений огурца кремнием способствовала увеличению количества убранных плодов на 3–6% при использовании НаноКремния и силиката натрия и на 25–26% – от силипланта и биостимулятора. Между количеством плодов и общей урожайностью наблюдалась тесная корреляционная связь:  $r=0,99$ . В меньшей степени общий урожай зависел от средней массы одного плода ( $r=0,89$ ), которая увеличивалась при применении кремния на 2–11%.

Все изучаемые кремнийсодержащие препараты оказали влияние на формирование химического состава плодов огурца, что согласуется с данными литературы [9]. Так, под влиянием некорневых обработок кремнием содержание сухого вещества в плодах возрастало с 3,3 до 3,7% (табл. 8).

Содержание нитратного азота ( $N-NO_3^-$ ) в плодах огурца, выращенного в контрольном варианте, было в пределах ПДК, но на довольно высоком уровне, что объясняется неблагоприятными условиями зимнего периода, и в основном – дефицитом света. Применение кремния в свою очередь способствовало повышению качества полученной продукции за счет снижения содержания в плодах нитратов с 382 мг/кг на контроле до 181–230 мг/кг. Также следует отметить, что наиболее высокое содержание нитратного азота в плодах отмечалось в первый месяц плодоношения (в декабре) и снижалось с течением времени.

Таблица 8

**Влияние кремнийсодержащих препаратов на химический состав плодов огурца и вынос элементов питания (в пересчете на естественную влажность)**

Вариант	Месяц	Сухое в-во, %	Сахара, %	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/кг	Сырой белок, %	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Контроль	Декабрь	2,78	1,89	340	0,84	0,13	0,04	0,12
	Январь	3,52	2,53	408	0,89	0,14	0,06	0,21
	Февраль	3,57	2,14	397	0,85	0,14	0,05	0,22
	$\bar{x}$	3,29	2,19	382	0,86	0,14	0,05	0,18
НаноКремний	Декабрь	3,67	2,50	282	0,51	0,08	0,04	0,16
	Январь	3,91	2,82	234	0,81	0,13	0,05	0,19
	Февраль	3,47	2,43	174	0,79	0,13	0,05	0,18
	$\bar{x}$	3,68	2,58	230	0,70	0,11	0,05	0,18
Силиплант	Декабрь	3,23	2,26	255	0,60	0,10	0,04	0,13
	Январь	3,78	2,72	225	0,82	0,13	0,06	0,19
	Февраль	3,57	2,43	187	0,68	0,11	0,05	0,18
	$\bar{x}$	3,53	2,47	222	0,70	0,11	0,05	0,17
Биостимулятор	Декабрь	2,78	1,78	199	0,67	0,11	0,05	0,17
	Январь	3,63	2,54	204	0,91	0,15	0,06	0,20
	Февраль	3,62	2,75	139	0,71	0,11	0,05	0,18
	$\bar{x}$	3,34	2,34	181	0,76	0,12	0,05	0,18
Силикат натрия	Декабрь	3,27	2,16	261	0,50	0,08	0,04	0,14
	Январь	3,72	2,68	153	0,94	0,15	0,06	0,20
	Февраль	3,67	2,35	178	0,64	0,10	0,05	0,23
	$\bar{x}$	3,55	2,39	197	0,69	0,11	0,05	0,19
НСР <sub>05</sub>	Декабрь	0,32	0,25	107	-			
	Январь	0,34	0,29	123				
	Февраль	0,23	0,22	93				

Применение всех кремнийсодержащих препаратов положительно сказалось на содержании в плодах огурца сахаров. В целом по опыту прослеживалась четкая тенденция увеличения сахаристости с 2,2% в контрольном варианте до 2,3–2,6% при проведении некорневых обработок.

Исходя из того, что за период проведения опыта израсходованное количество элементов питания составило: N – 103; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 44; K<sub>2</sub>O – 160 г/м<sup>2</sup>, – затраты действующего вещества удобрений на формирование 1 кг продукции варьировались в диапазоне N=4,6–6,5; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>=2,0–2,8; K<sub>2</sub>O=7,2–10,1 г/кг (табл. 9).

Расчеты показали, что применение всех изучаемых препаратов способствовало повышению коэффициентов использования элементов питания и снижению затрат на формирование товарной части урожая. При этом наиболее эффективное использование питательных веществ отмечалось в вариантах с применением силипланта и биостимулятора.

Таблица 9

**Вынос и нормативы затрат д.в. удобрений на формирование 1 кг плодов огурца в зависимости от применения кремнийсодержащих препаратов**

№	Вариант	Вынос элементов питания плодами, г/м <sup>2</sup>			Вынос элементов питания г/кг плодов			Затраты д.в. удобрений, г/кг плодов		
		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
1	Контроль	21,9	7,8	29,1	1,38	0,49	1,83	6,5	2,8	10,1
2	НаноКремний	19,6	8,3	30,8	1,13	0,48	1,77	5,9	2,5	9,2
3	Силиплант	25,0	11,5	37,1	1,12	0,52	1,66	4,6	2,0	7,2
4	Биостимулятор	25,9	10,9	39,0	1,22	0,51	1,84	4,9	2,1	7,6
5	Силикат натрия	19,0	8,4	32,5	1,11	0,49	1,89	6,0	2,6	9,3

**Выводы**

Исследования показали, что применение кремнийсодержащих препаратов оказывает положительное влияние на рост, развитие, продуктивность и использование питательных веществ растениями томата и огурца при выращивании в защищенном грунте в условиях гидропоники. Некорневые подкормки растений томата кремнием обеспечивали получение достоверной прибавки урожая на 6,5–8,0 кг/м<sup>2</sup> за счет увеличения количества плодов на 10–12% и средней массы плода на 18–23%. Также применение кремнийсодержащих препаратов способствовало ускорению созревания урожая на 5 дней. Затраты питательных веществ на формирование урожая при этом снижались на 25%.

Некорневые обработки огурца кремнием усиливали усвоение растениями элементов питания и оказали положительное влияние на формирование ассимиляционного аппарата растений. Количество междоузлий увеличивалось на 32–49%, а число листьев – на 20–25%. Наиболее выраженное воздействие на урожай оказали препараты силиплант и биостимулятор Vona Forte, которые способствовали формированию прибавки 5,3–6,5 кг/м<sup>2</sup>, что, по-видимому, связано с влиянием входящих в их состав

микроэлементов и биологически активных веществ. Все изучаемые препараты положительно повлияли на формирование качества урожая, снижая содержание нитратного азота в плодах и повышая содержание сухого вещества и сахаров. Снижение затрат элементов питания на формирование единицы урожая снижалось при применении силиката натрия и НаноКремния на 8 и 10%, а при обработке растений биостимулятором Vona Forte и силиплантом – на 25 и 29% соответственно.

### Библиографический список

1. *Верниченко И.В.* Влияние селена и кремния на азотное питание растений ячменя и их устойчивость к засухе и алюминию (опыты с изотопом  $^{15}\text{N}$ ) / И.В. Верниченко, Л.В. Осипова, Т.Л. Курносова, А.А. Лапушкина, И.А. Быковская // *Агрохимический вестник*. – 2021. – № 6. – С. 38–44. DOI: 10.24412/1029–2551–2021–6–008. EDN AVAMAX.
2. *Дудникова С.А., Лапина В.В., Дорожкина Л.А.* Пути совершенствования защиты огурца при выращивании по малообъемной технологии // *Агрохимический вестник*. – 2022. – № 6. – С. 74–77. DOI: 10.24412/1029–2551–2022–6–014. EDN ZJDSTQ.
3. *Ефимова Г.В.* Докучан, С.А. Анатомо-морфологическое строение эпидермиса листьев риса и повышение его защитной функции под влиянием кремния // *Сельскохозяйственная биология*. – 1986. – № 3. – С. 57–61.
4. *Королькова А.П.* Экономические аспекты развития овощеводства России: Научное издание / А.П. Королькова, Н.А. Кузнецова, М.И. Иванова, М.В. Шатилов, И.И. Ирков, А.В. Ильина, В.Н. Кузьмин, Т.Е. Маринченко. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2021. – 204 с.
5. *Малявин А.С., Миносьянец С.В., Аксенчик К.В., Лапушкин В.М.* Производство минеральных удобрений // *Энциклопедия технологий 2.0: Химический комплекс*. – Москва; Санкт-Петербург: Научно-исследовательский институт «Центр экологической промышленной политики», 2022. – С. 11–88. EDN GOVKBI.
6. *Матыченков В.В., Бочарникова Е.А., Пироговская Г.В., Ермолович И.Е.* Перспективы использования кремниевых препаратов в сельском хозяйстве (обзор научной литературы) // *Почвоведение и агрохимия*. – 2022. – № 1 (68). – С. 219–234. DOI: 10.47612/0130–8475–2022–1(68)–219–234. EDN RMUZPG.
7. *Осипова Л.В.* Влияние кремния на онтогенетическую адаптацию ярового ячменя при действии оксидативного стресса / Л.В. Осипова, И.В. Верниченко, Л.В. Ромодина, Т.Л. Курносова, А.А. Лапушкина, И.А. Быковская // *Плодородие*. – 2020. – № 1 (112). – С. 18–21. DOI: 10.25680/S19948603.2020.112.06. EDN SYMWXI.
8. *Полякова Е.В., Ш.Б. Байрамбеков, О.Г. Корнева, Г.Ф. Соколова.* Выращивание безрассадного томата с применением биостимуляторов // *Вестник КрасГАУ*. – 2021. – № 6 (171). – С. 3–10. DOI: 10.36718/1819–4036–2021–6–3–10. EDN DJDXMV.
9. *Селиванова М.В.* Эффективность применения кремнийсодержащих удобрений при малообъемной технологии выращивания огурца Киборг F1 / М.В. Селиванова, Е.С. Романенко, Т.С. Айсанов, Е.А. Миронова, Н.А. Есаулко, М.С. Герман // *Овощи России*. – 2020. – № 6. – С. 25–30. DOI: 10.18619/2072–9146–2020–6–25–30. EDN AWSCLP.
10. *Сельское хозяйство в России. 2021: Статистический сборник / Росстат-С 29*. – М., 2021. – 100 с.
11. *Солдатенко А.В.* Тепличное хозяйство – обзор текущего состояния отрасли АПК России / А.В. Солдатенко, В.Ф. Пивоваров, А.Ф. Разин, Р.А. Мещерякова, О.А. Разин, Т.Н. Сурихина, Г.А. Телегина // *Овощи России*. – 2020. – № 2. – С. 3–11.

12. Хорошилов А.А., Фролова С.А. Использование удобрения минерального с микроэлементами «НаноКремний» в технологии возделывания огурца закрытого грунта // Научный журнал молодых ученых. – 2017. – № 2 (9). – С. 10–13. EDN XTDLVJ.

13. Combined silicon-phosphorus fertilization affects the biomass and phytolith stock of rice plants / Z. Li et al. // *Frontiers in plant science*. – 2020. – Vol. 11. – P. 67.

14. Effect of seed treatment by selenium and silicon on the absorption of heavy metals by barley plants under soil drought / Y.I. Enakiev, A.A. Lapushkina, V.M. Lapushkin, I.V. Vernichenko // *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. – 2021. – Vol. 27, № 2. – Pp. 328–332. EDN WKMDSF.

15. Epstein E. Silicon // *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* – 1999. – № 50. – Pp. 641–664.

16. Silicon promotes agronomic performance in Brassica napus cultivated under field conditions with two nitrogen fertilizer inputs / P. Laine et al. // *Plants*. – 2019. – Vol. 8, № 5. – P. 137.

## EFFECT OF SILICON-CONTAINING FERTILIZERS ON TOMATO AND CUCUMBER YIELDS UNDER CONDITIONS OF LOW-VOLUME HYDROPONICS

V.M. LAPUSHKIN<sup>1,2</sup>, P.V. DOBRIN<sup>1</sup>

(Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy)

*The effect of different silicon-containing fertilizers (NanoKremniy, Siliplant, biostimulant “Bona Forte” and sodium silicate) on the growth, development and yield of hybrids of cucumber Byorn F1 and tomato Merlis F1 was studied under conditions of low-volume hydroponics. The studies showed that carrying out foliar feeding of tomato resulted in earlier production and reliable yield increase of 6.5–8.0 kg/m<sup>2</sup> by increasing the number of fruits by 10–12% and the average fruit weight by 18–23%. Using of silicon-containing fertilizers in the cultivation of cucumber in the winter-spring turnover increased the area of the assimilation apparatus of plants, the number of formed fruits, and their average weight. The quality of the yield improved by increasing the dry matter content and by decreasing the content of nitrate nitrogen in fruits from 382 to 181–230 mg/kg. The maximum increase in cucumber yield of 5.3–6.5 kg/m<sup>2</sup> was achieved with the use of a siliplant and a silicon-containing biostimulant.*

**Key words:** silicon, cucumber, tomato, low-volume hydroponics, silicon-containing fertilizers, biostimulants, siliplant, NanoKremniy, sodium silicate.

### References

1. Vernichenko I.V., Osipova L.V., Kurnosova T.L., Lapushkina A.A., Bykovskaya I.A. Vliyaniye seleniya i kremniya na azotnoye pitaniye rasteniy yachmenya i ikh ustoychivost' k zasuhke i alyuminiyu (opyty s izotopom <sup>15</sup>N) [Effect of selenium and silicon on nitrogen nutrition of barley and their resistance to drought and aluminum (experiments with <sup>15</sup>N isotope)]. *Agrokhimicheskiy vestnik*. 2021; 6: 38–44. DOI: 10.24412/1029–2551–2021–6–008 – EDN AVAMAX (In Rus.)

2. Dudnikova S.A., Lapina V.V., Dorozhkina L.A. Puti sovershenstvovaniya zashchity ogurtsa pri vyrashchivaniy po maloob’emnoy tekhnologii [Ways to improve cucumber protection in low-volume hydroponics]. *Agrokhimicheskiy vestnik*. 2022; 6: 74–77. DOI: 10.24412/1029–2551–2022–6–014 – EDN ZJDSTQ (In Rus.)

3. *Efimova G.V., Dokuchan S.A.* Anatomico-morfologicheskoe stroenie epidermisa list'ev risa i povyschenie ego zashchitnoy funktsii pod vliyaniem kremniya [Anatomico-morphological structure of rice leaf epidermis and enhancement of its protective function under the influence of silicon]. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya*. 1986; 3: 57–61. (In Rus.)

4. *Korol'kova A.P., Kuznetsova N.A., Ivanova M.I., Shatilov M.V., Irkov I.I., Il'ina A.V., Kuz'min V.N., Marinchenko T.E.* Ekonomicheskie aspekty razvitiya ovoshchevodstva Rossii: nauch. izd. [Economic aspects of the development of vegetable growing in Russia: a scientific publication.]. M.: FGBNU "Rosinformagrotekh", 2021: 204. (In Rus.)

5. *Malyavin A.S., Minos'yants S.V., Aksenichik K.V., Lapushkin V.M.* Proizvodstvo mineral'nykh udobreniy [Mineral fertilizer production]. *Entsiklopediya tekhnologii 2.0: Khimicheskii kompleks*. Moskva, Sankt-Peterburg: Nauchno-issledovatel'skii institut "Tsentri ekologicheskoy promyshlennoy politiki". 2022: 11–88. EDN GOVKBI (In Rus.)

6. *Matyuchenkov V.V., Bocharnikova E.A., Pirogovskaya G.V., Ermolovich I.E.* Perspektivy ispol'zovaniya kremnievykh preparatov v sel'skom khozyaystve (obzor nauchnoy literatury) [Prospects for the use of silicon preparations in agriculture (scientific literature review)]. *Pochvovedenie i agrokhimiya*. 2022; 1(68): 219–234. DOI: 10.47612/0130–8475–2022–1(68)–219–234 – EDN RMUZPG (In Rus.)

7. *Osipova L.V., Vernichenko I.V., Romodina L.V., Kurnosova T.L., Lapushkina A.A., Bykovskaya I.A.* Vliyanie kremniya na ontogeneticheskuyu adaptatsiyu yarovogo yachmenya pri deystvii oksidativnogo stressa [Effect of silicon on ontogenetic adaptation of spring barley under oxidative stress]. *Plodorodie*. 2020; 1(112):18–21. DOI: 10.25680/S19948603.2020.112.06 – EDN SYMWXI (In Rus.)

8. *Polyakova E.V., Bayrambekov Sh.B., Korneva O.G., Sokolova G.F.* Vy-rashchivanie bezrassadnogo tomata s primeneniem biostimulyatorov [Cultivating a seedless tomato using biostimulants] *Vestnik KrasGAU*. 2021; 6(171): 3–10. DOI: 10.36718/1819–4036–2021–6–3–10 – EDN DJDXMV (In Rus.)

9. *Selivanova M.V., Romanenko E.S., Aysanov T.S., Mironova E.A., Esaulko N.A., German M.S.* Effektivnost' primeneniya kremniysoderzhashchikh udobreniy pri malo-ob'emnoy tekhnologii vyrashchivaniya ogurtsa Kiborg F1 [Efficiency of silicon-containing fertilisers in low-volume hydroponics technology of Kiborg F1 cucumber]. *Ovoshchi Rossii*. 2020; 6: 25–30. DOI: 10.18619/2072–9146–2020–6–25–30 – EDN AWSCLP (In Rus.)

10. *Sel'skoe khozyaystvo v Rossii. 2021* [Agriculture in Russia. 2021]. *Stat. sb./Rosstat – S29, M., 2021: 100.* (In Rus.)

11. *Soldatenko A.V., Pivovarov V.F., Razin A.F., Meshcheryakova R.A., Razin O.A., Surihina T.N., Telegina G.A.* Teplichnoe khozyaystvo – obzor tekushchego sostoyaniya otrasli APK Rossii [Greenhouse farming – an overview of the current state of the agribusiness sector in Russia]. *Ovoshchi Rossii*. 2020; 2: 3–11. (In Rus.)

12. *Khoroshilov A.A., Frolova S.A.* Ispol'zovanie udobreniya mineral'nogo s mikroelementami "NanoKremniy" v tekhnologii vzdelyvaniya ogurtsa zakrytogo grunta [Use of mineral fertilizer with microelements "NanoKremniy" in indoor cucumber cultivation technology]. *Nauchnyy zhurnal molodykh uchenykh*. 2017; 2(9): 10–13. EDN XTDLVJ (In Rus.)

13. *Li Z. et al.* Combined silicon-phosphorus fertilization affects the biomass and phytolith stock of rice plants. *Frontiers in plant science*. 2020; 11: 67.

14. *Enakiev Y.I., Lapushkina A.A., Lapushkin V.M., Vernichenko I.V.* Effect of seed treatment by selenium and silicon on the absorption of heavy metals by barley plants

under soil drought. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 2021; 27; 2: 328–332. EDN WKMDSF

15. *Epstein E.* Silicon. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 1999; 50: 641–664.

16. *Lainé P. et al.* Silicon promotes agronomic performance in *Brassica napus* cultivated under field conditions with two nitrogen fertilizer inputs. *Plants*. 2019; 8; 5: 137.

**Лапушкин Всеволод Михайлович**, канд. биол. наук, доцент ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, старший научный сотрудник ФГБНУ ВНИИ агрохимии имени Д.Н. Прянишникова; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: lapushkin@rgau-msha.ru; тел.: (916) 583–57–36

**Добрин Петр Владиславович**, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: dobrinpeterrp@yandex.ru; тел.: (921) 190–66–06

**Vsevolod M. Lapushkin**, CSc (Bio), Senior Research Associate, All-Russian Scientific Research Institute of Agrochemistry named after D.N. Pryanishnikov, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation; phone: (916) 583–57–36; E-mail: lapushkin@rgau-msha.ru)

**Petr V. Dobryn**, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation; phone: (921) 190–66–06; E-mail: dobrinpeterrp@yandex.ru)