

УДК 635.21+631.82(572.66)

Ряховская Н.И., д-р с.-х. наук;
Гайнатулина В.В., канд. с.-х. наук,
ФГБНУ Камчатский НИИ сельского хозяйства,
с. Сосновка, Камчатский край
E-mail: kniish@mail.kamchatka.ru

ПОЛУЧЕНИЕ НАНОДИСПЕРСНОГО КРЕМНЕЗЁМА ИЗ ПРИРОДНЫХ КАМЧАТСКИХ ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ РАСТВОРОВ И ПРИМЕНЕНИЕ ЕГО НА КАРТОФЕЛЕ

*В статье представлены результаты исследований эффективности использования кремнийсодержащего препарата мивал-агро и нанодисперсного кремнезёма в виде порошка и геля на картофеле в условиях Камчатского края. Установлено, что мивал-агро и нанодисперсный кремнезём способствовали снижению заболеваемости *Rhizoctonia solani*, повышению урожайности картофеля и улучшению фосфорно-калийного питания растений.*

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: МИВАЛ-АГРО, НАНОДИСПЕРСНЫЙ КРЕМНЕЗЁМ, ГЕЛЬ, ПОРОШОК, ДОЗЫ, СПОСОБЫ ПРИМЕНЕНИЯ, РИЗОКТОНИОЗ, УРОЖАЙНОСТЬ, КАРТОФЕЛЬ

UDC 635.21+631.82(572.66)

Ryakhovskaya N.I., Doct.Agr.Sci.;
Gaynatulina VV, Cand.Agr.Sci.,
FGBNU Kamchatka Research Institute of Agriculture
Sosnovka, Kamchatskiy territory
E-mail: kniish@mail.kamchatka.ru

FOR NANOPOWDER SILICA KAMCHATSKY FROM NATURAL HYDROTHERMAL SOLUTIONS AND ITS APPLICATION ON POTATO

*The article presents the results of studies on the effectiveness of using silicon-containing medicines Miwa agro and nanosized silica in the form of powder and gel on potato under the Kamchatka region. It was established that Miwa agro and nanosized silica helped reduce the incidence of *Rhizoctonia solani*, higher yields of potatoes and improve phosphorus-potassium nutrition of plants.*

KEY WORDS: MIWA-AGRO, NANODISPERSE SILICA, GEL, POWDER, THE DOSE, ROUTE OF ADMINISTRATION, RHIZOCTONIA, PRODUCTIVITY, POTATOES

Кремний – обязательный элемент тканей растений и животных, вследствие чего он присутствует во всех пищевых продуктах растительного происхождения. Для поддержания баланса этого элемента в растениях, особенно на почвах с невысокой обеспеченностью его усвояемыми формами, рекомендуется вносить кремнесодержащие материалы. Перспективы широкого использования кремнийсодержащих препаратов и удобрений связаны, в первую

очередь, с изучением особенностей влияния их на минеральное питание и развитие растений [2,5]. В связи с этим перспективным представляется поиск химических соединений, обладающих определёнными свойствами, способными прямо или косвенно влиять на продуктивность сельскохозяйственных культур и их устойчивость к болезням, сохраняя при этом экологическую безопасность.

Географически Камчатский регион расположен в зоне активного вулканизма,

где существуют крупные запасы аморфного кремнезёма высокотемпературных геотермальных источников. По данным В.В.Потапова и соавторов, запасы нанодисперсного аморфного кремнезёма, получаемого после фильтрования жидкой фазы гидротермальных теплоносителей из скважин ГеоЭС, составляет более 5 тысяч тонн в год [4]. Гидротермальные растворы представляют собой нетрадиционный источник минерального сырья, в том числе аморфных кремнезёмов. Кремнезём образуется в природном растворе из молекул ортокремниевой кислоты в результате ее химического взаимодействия с алюмосиликатными минералами пород в недрах гидротермальных месторождений. При подъеме раствора на поверхность по продуктивным скважинам и снижения температуры, раствор становится пересыщенным и в нем проходят поликонденсация и нуклеация молекул ортокремниевой кислоты, приводящие к формированию сферических наночастиц кремнезёма с радиусами от 3 до

60 нм.

Для получения нанодисперсного порошка кремнезёма, гидротермальные растворы концентрируют баромембранным фильтрованием с применением ультрафильтрационных мембран. Ультрафильтрация обеспечивает достаточно низкое содержание примесей и стабильность водных золь кремнезёма вплоть до самых высоких содержаний SiO_2 . Оставшийся в золях растворитель – воду удаляют с использованием криохимической технологии путем криокристаллизации капель золя в жидком азоте с последующей сублимацией под вакуумом твердого льда. Способ позволяет получить порошки с размерами частиц в диапазоне 10-100 нм, удельной поверхностью до $400 \text{ м}^2/\text{г}$, средними диаметрами пор 3-10 нм. Кроме кремнезёма, в растворе находятся и другие компоненты, концентрации которых приведены в таблице 1.

Таблица 1

Концентрация основных компонентов исходного гидротермального раствора

Компонент	Na^+	K^+	Li^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$\text{Fe}^{2+, 3+}$	Al^{3+}	Cl^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-	CO_3^{2-}	H_3BO_3	SiO_2 общ
Концентрация, мг/л	282	48,1	1,5	2,8	4,7	0,1	0,1	251,8	220,9	45,2	61,8	91,8	780

Камчатский край расположен в зоне рискованного земледелия с коротким вегетационным периодом развития растений. В связи с положительным влиянием кремнезёма на растения, его использование в сельскохозяйственном производстве Камчатского края вызывает практический интерес и является актуальным. В Камчатском НИИ сельского хозяйства были проведены исследования по применению кремнезёма порошка и геля, полученных на основе природных гидротермальных растворов.

Материалы и методы. Исследования эффективности применения кремнийсодержащих препаратов проводились в Кам-

чатском научно-исследовательском институте сельского хозяйства в 2013-2014 гг. Изучали кремнийсодержащий препарат мивал-агро, кремнезём в виде порошка и геля для обработки клубней в дозах 2,0 г/т, 20,0 и 200 г/т клубней, опрыскивания растений - 10,0; 100,0 и 1000 г/га соответственно. За контроль принят вариант без обработки, за хозяйственный контроль - обработка клубней препаратом максим в дозе 400 мл/т препарата. Кремнезём гель и порошок применяли для внесения в почву в дозе 25 и 50 кг/га на двух фонах минерального питания $(\text{NPK})_{120}$ и $(\text{NPK})_{60}$. Вариант без удобрений принят за контроль.

Исследования проводили в полевом опыте. Размещение делянок рендомизированное, повторность четырехкратная.

Клубни картофеля сорта Фреско высаживали в первой декаде июня по схеме 70х30 см.

Полевые опыты закладывались на охристо-вулканической почве со следующими агрохимическими показателями: содержание гумуса – 4,6%, NH₄-6,8; P₂O₅-8,1; K₂O-11 мг на 100 г почвы; гидролитическая кислотность 3,82; обменная – 0,075; Ca – 6,0 мг/экв на 100 г почвы; Al и Mg отсутствует; с низкой обеспеченностью кобальтом – 0,6; молибденом – 0,1; средней обеспеченностью марганцем – 59,5; цинком – 2,6; железом – 16,00; высокой обеспеченностью медью – 6,0 мг/кг почвы.

Технология возделывания картофеля общепринятая для Камчатского края. Метеорологические условия летне-осеннего периода в годы проведения исследований характеризовались повышенным температурным режимом и недостаточным количеством

осадков по сравнению со среднемноголетними показателями.

Учеты и наблюдения проводили по методике исследований культуры картофеля ВНИИКХ и защиты картофеля от болезней, вредителей, сорняков и иммунитета [4]. Результаты исследований статистически обрабатывали методом дисперсионного анализа по Б.А. Доспехову [1].

Результаты и обсуждения. При анализе данных по развитию ризоктониоза установлено, что применение кремнийсодержащего препарата мивал-агро для обработки клубней и опрыскивания растений способствовало снижению поражения ростков ризоктониозом на 4,2%, степени развития ризоктониоза на стеблях перед уборкой - на 22,3%, поражения клубней нового урожая - на 11,5% по отношению к контролю (7,5%, 23,2%, 24,4%) соответственно (табл. 2).

Таблица 2

Развитие ризоктониоза в зависимости от кремний содержащих препаратов, %

Варианты опыта	Поражение ростков	Степень развития на стеблях		Поражение клубней
		1 учёт	2 учёт	
Контроль - (без обработки)	7,5	26,7	23,2	24,4
Мивал-агро 2 г/т обработка клубней	5,0	13,1	10,6	12,2
Мивал-агро 10 г/га обработка растений в фазу массовых всходов	4,2	19,1	13,8	13,8
Мивал-агро 2 г/т обработка клубней+10 г/га обработка растений в фазу массовых всходов	3,3	10,2	2,9	12,9
Мивал-агро 10 г/га обработка растений в фазу массовых всходов и бутонизации	4,2	10,9	6,9	18,5
Кремнезём 200 г/т (гель) обработка клубней	4,2	12,9	5,5	13,4
Кремнезём 1000 г/га (гель) обработка растений в фазу массовых всходов	5,0	14,4	5,1	20,0
Кремнезём 200 г/т (гель) обработка клубней+обработка растений 1000 г/га в фазу массовых всходов	3,3	7,6	5,3	12,9
Кремнезём 1000 г/га (гель) обработка растений в фазу массовых всходов и бутонизации	5,0	11,5	6,1	18,6
Кремнезём 20 г/т (порошок) обработка клубней	2,5	9,8	4,6	17,7
Кремнезём 100 г/га (порошок) обработка растений в фазу массовых всходов	7,5	11,8	6,4	18,6
Кремнезём 20 г/т (порошок) обработка клубней+обработка растений 100 г/га в фазу массовых всходов	2,5	9,2	4,6	10,5
Кремнезём 100 г/га (порошок) обработка растений в фазу всходов и бутонизации	7,5	12,3	7,6	17,7

При обработке клубней и однократном опрыскивании растений нано- дисперсным

кремнезёмом в виде порошка и геля получен лучший результат по снижению заболеваемости ризоктониозом; поражение

ростков снизилось на 5,0 и 4,2%, степень развития ризоктониоза на стеблях в период бутонизации – на 17,5 и 16,5%, перед уборкой – на 18,6 и 20,3%, поражение клубней нового урожая – на 13,9 и 11,5% соответственно.

Снижение заболеваемости ризоктониозом связано с тем, что при использовании кремнийсодержащих препаратов растения поглощают кремний в форме монокремниевой кислоты, которая аккумулируется и полимеризуется в эпидермальных тканях (листьях, столонах), в них образуется двойной кутикулярный слой, защищающий и механически укрепляющий растения. Именно этот фактор в первую очередь влияет на устойчивость растений к заболеваемости ризоктониозом.

Урожайность на всех изучаемых вариантах варьировала в пределах 15,7-19,0 т/га, достоверная прибавка урожая по отношению к контролю составила 1,3-4,2 т/га (табл. 3). При использовании кремнийсодержащего препарата мивал-агро максимальная урожайность картофеля сформировалась при двукратной обработке растений в фазу массовых всходов и бутонизации, которая составила 17,5 т/га и была выше контроля на 2,7 т/га (на 18,2%). При использовании кремнегеля получена достоверная прибавка урожая 2,5-4,2 т/га (16,9-28,4%), кремнезёма (порошка) – 1,5-2,1 т/га (10,1-14,2%).

Таблица 3

Урожайность, товарные и биохимические качества клубней

Варианты опыта	Урожайность, т/га	+ к контролю	Содержание в клубнях	
			сухого вещества, %	витамина С, мг%
Контроль - (без обработки)	14,8	-	17,32	4,56
Мивал-агро 2 г/т обработка клубней	16,1	+1,3	18,68	4,34
Мивал-агро 10 г/га обработка растений в фазу массовых всходов	16,2	+1,4	19,40	4,56
Мивал-агро 2 г/т обработка клубней +10 г/га обработка растений в фазу массовых всходов	16,2	+1,4	17,91	4,34
Мивал-агро 10 г/га обработка растений в фазу массовых всходов и бутонизации	17,5	+2,7	19,50	6,05
Кремнезём 200 г/т (гель) обработка клубней	18,3	+3,5	18,28	3,88
Кремнезём 1000 г/га (гель) обработка растений в фазу массовых всходов	17,3	+2,5	20,54	4,34
Кремнезём 200 г/т (гель) обработка клубней+обработка растений 1000 г/га в фазу массовых всходов	17,7	+2,9	18,36	6,85
Кремнезём 1000 г/га (гель) обработка растений в фазу массовых всходов и бутонизации	19,0	+4,2	19,76	5,93
Кремнезём 20 г/т (порошок) обработка клубней	15,7	+0,9	18,50	4,22
Кремнезём 100 г/га (порошок) обработка растений в фазу массовых всходов	15,7	+0,9	18,83	4,56
Кремнезём 20 г/т (порошок) обработка клубней+обработка растений 100 г/га в фазу массовых всходов	16,3	+1,5	19,37	3,19
Кремнезём 100 г/га (порошок) обработка растений в фазу всходов и бутонизации	16,9	+2,1	18,47	4,56
НСР ₀₅	0,9			

Повышенное содержание витамина С и сухого вещества в клубнях получено при двукратной обработке растений мивал-агро, которое составило 6,05 мг% и 19,50%, при 4,56 мг% и 17,32% в контроле соответственно.

Применение кремнегеля способствовало увеличению сухого вещества в клубнях на 1,0-3,2%, кремнезёма - порошка на 1,2-2,1% против 17,3% в контроле. При использовании кремнезёма геля получено высокое содержание витамина С в клубнях - 6,85 и 5,93 мг%, что выше контроля на 2,29 и 1,37 мг%.

Использование различных доз кремнезёма при внесении в почву оказало положительное влияние на фосфорно-калийное питание растений картофеля. Динамика подвижного фосфора зависела от дозы кремнезёма и минеральных удобрений. В период массовых всходов на фоне (NPK)₁₂₀ отмечаем незначительное накопление фосфора, в период бутонизации оно составило

242,0-280,5 мг/кг и было выше фона на 45-68%, на фоне (NPK)₆₀ этот показатель увеличился на 21-60% (табл. 4). Перед уборкой содержание в почве подвижного фосфора снижается, что связано с поглощением его растениями и интенсивным использованием на формирование клубней. К концу вегетации на фоне (NPK)₁₂₀ увеличение в почве подвижного фосфора по отношению к фону отмечается только при внесении повышенной дозы кремнезёма порошка на 36%, на фоне (NPK)₆₀ повышение составило 72% при использовании кремнегеля. По содержанию обменного калия в почве, отмечаем ту же закономерность, что и по подвижному фосфору, повышенное содержание K₂O в почве в период бутонизации картофеля, увеличение к фону (NPK)₁₂₀ составило 46-58%; на фоне (NPK)₆₀ содержание обменного калия ниже фона на 30,6-44,5%, так как растения выносят в этот период больше калия, используя его из почвы.

Таблица 4

Динамика подвижного фосфора и обменного калия в период вегетации картофеля, мг/кг

Варианты опыта	Фаза вегетации картофеля					
	всходы		бутонизация		перед уборкой	
	P ₂ O ₅	K ₂ O	P ₂ O ₅	K ₂ O	P ₂ O ₅	K ₂ O
1	2	3	4	5	6	7
Контроль-без удобрений	85,0	190,0	88,0	151,0	73,0	132,0
(NPK) ₁₂₀ - фон ₁	102,0	183,0	167,0	474,0	107,0	259,0
Фон ₁ + кремнезём в дозе 50 кг/га (порошок)	102,0	197,0	280,5	698,0	145,0	287,0
Фон ₁ + кремнезём в дозе 25 кг/га (порошок)	88,0	212,0	242,0	690,0	105,0	197,0
Фон ₁ + кремнезём в дозе 50 кг/га (гель)	97,5	241,5	252,0	750,0	112,0	312,0
Фон ₁ + кремнезём в дозе 25 кг/га (гель)	90,0	220,0	280,0	750,0	96,0	198,5
(NPK) ₆₀ -фон ₂	97,0	159,0	133,5	382,0	102,0	173,0
Фон ₂ + кремнезём в дозе 50 кг/га (порошок)	102,0	161,0	197,0	246,0	107,0	189,0
Фон ₂ + кремнезём в дозе 25 кг/га (порошок)	99,5	177,0	162,0	212,0	119,0	190,0
Фон ₂ + кремнезём в дозе 50 кг/га (гель)	102,0	159,0	212,0	265,0	176,0	222,0
Фон ₂ + кремнезём в дозе 25 кг/га (гель)	105,0	144,0	214,0	250,0	-	-

К концу вегетации количество обменного калия в почве снижается, однако в почве, обогащенной кремнезёмом содержание его выше на 9,0-28,0% по отношению к фону (NPK)₆₀, а к фону (NPK)₁₂₀ только при внесении повышенных доз кремнезёма порошка и геля соответ-

ственно на 11,0-20,0%. Анализируя агрохимические показатели почвы в отношении динамики обменного калия и подвижного фосфора, можно сделать вывод о поступлении этих элементов в почвенный раствор путем ионного обмена калия, содержащегося в кремнезёме, а фосфора – из труднодоступных соединений почвы.

Внесение в почву кремнезёма неоднозначно влияло на развитие ризоктониоза. Поражение ростков ризоктониозом было минимальным при использовании кремнезёма порошка и геля на фоне (НРК)₁₂₀ и составило 4,2-6,9%, что ниже фона₁ на 1,6-4,3%. На фоне (НРК)₆₀ этот показатель был выше и варьировал в пределах 7,7-9,6% против 10,0 на фоне₂ (табл. 5).

Наиболее эффективно против ризоктониоза внесение кремнезёма в почву в дозе 25 кг/га на фоне (НРК)₁₂₀ (порошок), а на фоне (НРК)₆₀ (гель), поражение ростков

составило 4,2; 7,7%, степень развития ризоктониоза перед уборкой не превышала 3,2%; 5,7% поражение клубней нового урожая – 12,6%; 10,5% в контроле 9,2; 29,2; 18,7% соответственно.

Урожайность картофеля при внесении кремнезёма в почву колебалась в пределах 11,4-17,8 т/га (табл. 6).

Достоверная прибавка урожая при внесении кремнезёма порошка и геля на фоне (НРК)₁₂₀ составила 3,6-5,4 т/га (фон₁ – 12,4 т/га), на фоне (НРК)₆₀ – 2,8-4,0 т/га (фон₂ -8,6 т/га).

Таблица 5

Влияние различных доз кремнезема на развитие ризоктониоза, %

Варианты опыта	Поражение ростков	Степень развития на стеблях		Поражение клубней
		1 учёт	2 учёт	
Контроль - (без удобрений)	9,2	20,8	29,2	18,7
(НРК) ₁₂₀ –фон ₁	8,5	12,1	19,2	15,7
Фон ₁ +кремнезём в дозе 50 кг/га (порошок)	5,5	7,5	4,0	11,8
Фон ₁ + кремнезём в дозе 25 кг/га (порошок)	4,2	8,2	3,2	12,6
Фон ₁ + кремнезём в дозе 50 кг/га (гель)	6,9	14,6	4,1	11,6
Фон ₁ + кремнезём в дозе 25 кг/га (гель)	6,7	14,1	6,9	12,5
(НРК) ₆₀ –фон ₂	10,0	20,4	17,2	15,8
Фон ₂ + кремнезём в дозе 50 кг/га (порошок)	8,3	12,8	4,9	12,5
Фон ₂ + кремнезём в дозе 25 кг/га (порошок)	9,6	15,6	6,1	15,0
Фон ₂ + кремнезём в дозе 50 кг/га (гель)	8,0	13,8	5,2	9,5
Фон ₂ + кремнезём в дозе 25 кг/га (гель)	7,7	19,4	5,7	10,5

Примечание: 1 учёт-12.08; 2 учёт-02.09.

Таблица 6

Урожайность и биохимические качества клубней картофеля

Варианты опыта	Урожайность, т/га	+ к контролю	+ к фону	Содержание в клубнях		
				крахмала, %	сухого вещества, %	витамина С, мг%
Контроль - (без удобрений)	6,2	-	-6,2	10,2	19,05	5,19
(НРК) ₁₂₀ –фон ₁	12,4	+6,2	-	10,7	17,57	5,66
Фон ₁ +кремнезём в дозе 50 кг/га (порошок)	17,8	+11,6	+5,4	9,7	16,84	5,90
Фон ₁ +кремнезём в дозе 25 кг/га (порошок)	16,6	+10,4	+4,2	11,1	18,95	4,96
Фон ₁ +кремнезём в дозе 50 кг/га (гель)	16,4	+10,2	+4,0	9,7	16,61	5,19
Фон ₁ + кремнезём в дозе 25 кг/га (гель)	16,0	+10,8	+3,6	11,3	18,77	5,43
(НРК) ₆₀ –фон ₂	8,6	+2,4	-	10,7	18,36	6,08
Фон ₂ +кремнезём в дозе 50 кг/га (порошок)	12,6	+6,4	+4,0	10,6	18,71	7,55
Фон ₂ +кремнезём в дозе 25 кг/га (порошок)	1,7	+8,2	+3,1	11,7	18,52	6,61
Фон ₂ + кремнезём в дозе 50 кг/га (гель)	11,4	+5,2	+2,8	10,2	18,77	6,84
Фон ₂ + кремнезём в дозе 25 кг/га (гель)	11,5	+5,3	+2,9	11,2	18,08	6,61
НСР ₀₅ общая	1,1					
Фактор А (фон)	0,5					
Фактор Б(варианты)	0,8					

Заключение. В результате проведенных исследований установлено положительное влияние нанодисперсного кремнезёма на повышение урожайности картофеля и улучшение фосфорно-калийного питания растений, снижение заболеваемости картофеля *Rhizoctonia solani*, как при внесении кремнезёма в почву, так и при использовании кремнийсодержащих препаратов для обработки клубней и опрыскивания растений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта: (с основами статистической обработки результатов исследований)/ Б.А. Доспехов. – 5-е изд., перераб. и доп.- М.: Колос, -1985. - 416 с.

2. Матыченков В.В., Бочарникова Е.А., Аммосова Я.М. Влияние кремниевых удобрений на

растения и почву / В.В. Матыченков, Е.А. Бочарникова, Я.М. Аммосова // Агрохимия. М- 2002.- №2. - С.86-93.

3. Методика исследований по защите картофеля от болезней, вредителей, сорняков и иммунитету / [сост. А.С. Воловик, Л.Н. Трофимец, А.Б. Долягин. В.М. Глез]; ВНИИКХ, Россельхозакадемия. – М., 1995. – 106 с.

4. Потапов, В.В. Получение водных золь кремнезема мембранным концентрированием гидротермальных растворов /В.В. Потапов, Г.Р. Аллахвердов, А.А.(мл.) Сердан, Г.М. Мин, И.А. Кашутина // Химическая технология. -2008.-№ 6.- С. 14-22.

5. Рочев В.А. Влияние кремнегельсодержащего удобрения на содержание подвижных форм кремния и фосфора в почве и накопление их в растениях / В.А. Рочев, Г.А. Барсукова // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки, 1984.- № 3.-С.1-6.