

НАНОКОМПОЗИТНЫЕ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ КРЕМНЕЗЕМОВ ДЛЯ ПРОРАЩИВАНИЯ НЕКОТОРЫХ ТИПОВ ОВОЩНЫХ КУЛЬТУР

Юле Янкаускаене¹, Витаутас Залаторюс¹, Рома Старкуте¹, Она Бундинене¹, Т.В. Крупская², А.П. Головань², В.В. Туров², Paulius Jovaisas³, Ruta Bieliauskiene³

¹Институт плодовоовощеводства, филиал центра аграрных и лесных наук Литвы
Каунасский р-н, Бабтай, ул. Каунас 30, LT-54333.

²Институт химии поверхности им. А.А. Чуйко, НАН Украины,
Киев, 03064, ул. Генерала Наумова, 17, krupska@ukr.net

³UAB Silicio Biotechnologijos, Antakalnis, 17, Vilnius, Lithuania

Кремнеземы и композитные системы, созданные на их основе, способны оказывать положительное влияние на энергию прорастания и всхожесть семян овощей. Однако для томатов величина эффекта зависит от вида и гибрида. Самым эффективным препаратом для обработки семян гибрида белокочанной капусты “Gallican” оказался гидрофобный кремнезем с иммобилизованной на его поверхности сбалансированной смесью микро- и макроэлементов без бора. Самые длинные корни ростков моркови получены после обработки семян гидрофильным кремнеземом с препаратом Delfan Plus. Несмотря на присутствие гидрофобной компоненты в нанокompозитных системах, они остаются проницаемыми для воды. Слабоассоциированные формы воды формируются на границе раздела фаз с гидрофобными веществами.

Введение

Почва служит главным источником продуктов питания, благодаря чему является основным средством сельскохозяйственного производства. Проблемы ее загрязнения в результате использования интенсивных методов хозяйствования хорошо известны [1, 2]. В практике земледелия бесполезно теряется от 30 до 50 % всех вносимых минеральных удобрений. Например, в полевых условиях растениями усваивается лишь около 40% от общего объема вносимого азота. При этом часть азота остается в почве и может служить базой для следующего урожая. В то же время 10–30 % его улетучивается в виде различных газообразных соединений, что влечет за собой не только экономические потери, но и способствует разрушению озонового слоя. Большое количество фосфатов ежегодно поступает в природные воды вследствие смыва фосфорных удобрений с полей под воздействием орошения и эрозионных процессов. В результате вредные вещества по биологическим цепочкам попадают в организм человека и могут отрицательно влиять на его здоровье.

Таким образом, минеральные удобрения и пестициды загрязняют почву несвойственными для неё соединениями, понижают её биологическую активность, порождают опасность нарушения состава популяций биоценозов и угнетения полезной фауны почв. Поэтому имеющиеся технологии сельскохозяйственного производства нуждаются в существенной модернизации и использовании современных методов, в частности нанотехнологий [3–5], главным приложением использования которых может стать комплексная предпосевная обработка семян сельскохозяйственных культур,

способствующая созданию условий для наиболее быстрого прорастания семян, их защиты от болезней и неблагоприятных условий на протяжении всего срока вегетации.

Основой создания нанокompозитных систем для предпосевной обработки семян послужили систематические исследования, выполненные в Институте химии поверхности им. А.А. Чуйко НАН Украины [6–8]. В результате на основе гидрофобного кремнезема, минеральных удобрений и микроэлементов были созданы защитно-стимулирующие составы, зарегистрированные под торговой маркой «Экостим» [8], способные оказывать положительное влияние на прорастание разных типов семян, что приводит к приросту урожая на 10–30 %. Измерения, выполненные преимущественно методом низкотемпературной ЯМР-спектроскопии [9, 10], позволили установить, что нанокompозит формирует на поверхности семян пленку, толщиной несколько микрон, активно влияющую на процесс прорастания семян. Механизм такого воздействия состоит в длительном удерживании частицами гидрофобного кремнезема вносимых вместе с ним удобрений и микроэлементов вблизи поверхности семян, не давая им диффундировать в окружающую среду, что существенно повышает процент усвоения вносимых питательных веществ. Кроме того, в зоне прорастания наночастицы создают условия для формирования слабоструктурированных слоев воды [7], которые, благодаря низкому значению диэлектрической проницаемости, способны растворять не только полярные, но и слабополярные вещества, способствуя их массообмену между зоной роста и окружающей средой. Это улучшает усвоение растениями гуминовых кислот и необходимых для быстрого роста продуктов метаболизма присутствующей в грунте микрофлоры.

Одним из направлений создания новых типов защитно-стимулирующих нанокompозитов на основе кремнезема является разработка комплексных наносистем, в состав которых входят преимущественно органические удобрения, природные стимуляторы роста, микроэлементы и средства борьбы с заболеваниями растений. Такими природными нутриентами могут служить органические удобрения, бактериальные культуры, полифенолы, аминокислоты и некоторые другие органические вещества. Целью настоящей работы являлось изучение воздействия некоторых из перечисленных веществ на процесс прорастания семян томата, белокочанной капусты и морковки.

Экспериментальная часть

Объектами исследований служили гибриды томата “Mamoru”, “Evolution”, “Monika”, гибрид белокочанной капусты “Gallican” и гибрид моркови “Soprano”. Семена гибрида томата “Evolution” обрабатывали кремнеземными препаратами, содержащими гидрофобный или гидрофильный кремнезема, а также сбалансированные по составу минеральные вещества и (или) органические нутриенты. Семена высевались в торфяном субстрате в небольших полимерных коробках, потом сеянцы с одним-двумя листочками пересаживались в полимерные горшочки. Семена гибрида белокочанной капусты “Gallican”, гибрида моркови “Soprano”, гибридов томата “Monika” и “Mamoru” проращивали в чашках Петри, которые выдерживались в термостате при температуре 27 °С.

В период исследований измеряли следующие параметры: энергию прорастания семян томата и моркови определяли после 7 дней проращивания, всхожесть – после 14 дней. Энергию прорастания семян капусты – после 3 дней, всхожесть – после 10 дней. Биометрические наблюдения пророщенных ростков состояли в измерении длины корня и стебля. При этом для рассады гибрида томата измерения проводили перед посадкой на

постоянное место. Измеряли высоту рассады, длину подсемядольного колена, диаметр стебля, подсчитывали число листьев, взвешивали сырую массу корней рассады, площадь листовой поверхности определяли прибором CI-202 (CIDInc., USA), индекс хлорофилла в листьях рассады – прибором Dualex® 4 (Scientific, USA).

Для приготовления нанокompозитных систем использовали гидрофильный пирогенный кремнезем марки А-300 и гидрофобный – АМ1-300 (удельные поверхности по азоту равны 285 и 265 м²/г, соответственно) (Калушский опытно-экспериментальный завод ИХП им. А.А. Чуйко НАНУ). Композитные системы получали в фарфоровой шаровой мельнице, где ингредиенты подвергались механохимической обработке в течение 1–5 ч в зависимости от типа материалов и скорости их превращения в мелкодисперсное состояние. В результате получали однородную смесь, в которой минеральные или органические вещества формировали композитную систему, связанную молекулярными взаимодействиями.

Нанокompозиты наносили на поверхность семян путем опудривания. При этом расход композита не превышал 0,5 % от массы семян. В опытах с гибридами томата “Mamoru”, “Evolution” готовили следующие варианты нанокompозитных систем:

1. Контроль – семена необработаны (Contr).
2. Семена обработаны гидрофобным кремнеземом (MeSiO₂).
3. Семена обработаны композитом на основе MeSiO₂, содержащего на поверхности биоактивный комплекс из гуминовых кислот с фитогормонами с добавкой микроэлементов – Cu; Mo; Mn; Na (MeSiO₂Gum).
4. Семена обработаны композитом, содержащим в поверхностном слое MeSiO₂ бактериальный препарат «Биоспорин» (MeSiO₂ BSPOR).
5. Семена обработаны композитом на основе MeSiO₂ и смеси микро- и макроэлементов: Cu; Mo; Mn; Zn; K; Ca; Mg; N; P (MeSiO₂ Compl).
6. Семена обработаны композитом на основе MeSiO₂ и смеси микро- и макроэлементов: В⁺; Mo; Mn; Zn; K; Ca; Mg; N; P (MeSiO₂ Comp2).

Опыты с гибридом белокочанной капусты “Gallican”, гибридом моркови “Soprano”, гибридом томата “Monika”:

1. Контроль – семена необработаны (Contr).
2. Семена обработаны гидрофобным кремнеземом (MeSiO₂).
3. Семена обработаны композитом на основе MeSiO₂ и смеси микро- и макроэлементов: В⁺; Mo; Mn; Zn; K; Ca; Mg; N; P (MeSiO₂ Comp2).
4. Семена обработаны гидрофильным кремнеземом (SiO₂).
5. Семена обработаны SiO₂ с добавкой биостимулятора со свободными L-α аминокислотами Delfan Plus (SiO₂ DelPlus).
6. Семена обработаны кремнием (Si) hydrophilic + hydrophobic + биостимулятор со свободными L-α аминокислотами Delfan Plus (SiO₂+MeSiO₂ DelPlus).
7. Семена обработаны композитом на основе MeSiO₂ и смеси микро- и макроэлементов: Cu; Mo; Mn; Zn; K; Ca; Mg; N; P (MeSiO₂ Compl).
8. Семена обработаны композитом, содержащим в поверхностном слое MeSiO₂ бактериальный препарат «Биоспорин» (MeSiO₂ BSPOR).
9. Семена обработаны композитом на основе MeSiO₂, содержащего на поверхности биоактивный комплекс из гуминовых кислот с фитогормонами, добавкой микроэлементов - Cu; Mo; Mn; Na (MeSiO₂Gum).

Для одного из композитов, содержащего бактериальные культуры, методом низкотемпературной ^1H ЯМР-спектроскопии измеряли характеристики связанной воды. Спектры ЯМР снимали на ЯМР-спектрометре высокого разрешения (Varian “Mercury”) с рабочей частотой 400 МГц. Использовали восемь 60° зондирующих импульсов, длительностью 1 мкс при ширине полосы 20 кГц. Температура в датчике регулировалась термоприставкой Bruker VT-1000 с точностью ± 1 град. Интенсивности сигналов определялись путем измерения площади пиков с использованием процедуры разложения сигнала на его составляющие в предположении гауссовской формы сигнала и оптимизации нулевой линии и фазы с точностью, которая для хорошо разрешенных сигналов была не ниже 5 %, а для перекрывающихся сигналов ± 10 %. Для предотвращения переохлаждения воды в исследуемых объектах, измерения концентрации незамерзающей воды проводили при нагревании образцов, предварительно охлажденных до температуры 210 К. Температурные зависимости интенсивности сигналов ЯМР проводили в автоматизированном цикле, когда время выдерживания образца при постоянной температуре составляло 9 мин, а время измерения 1 мин.

Результаты и обсуждение.

Энергия прорастания и всхожесть семян гибрида томата “Мамогу” после обработки гидрофобным кремнеземом и композитными системами на его основе была лучше по сравнению с энергией прорастания и всхожестью необработанных семян (рис. 1а). Всхожесть семян, обработанных нанокompозитом, созданным на основе гидрофобного кремнезема, содержащего на поверхности смесь макро- и микроэлементов или бактериальным препаратом Биоспорин, была одинакова. Несколько меньшие значения параметров прорастания получены в случае обработки семян чистым гидрофобным кремнеземом.

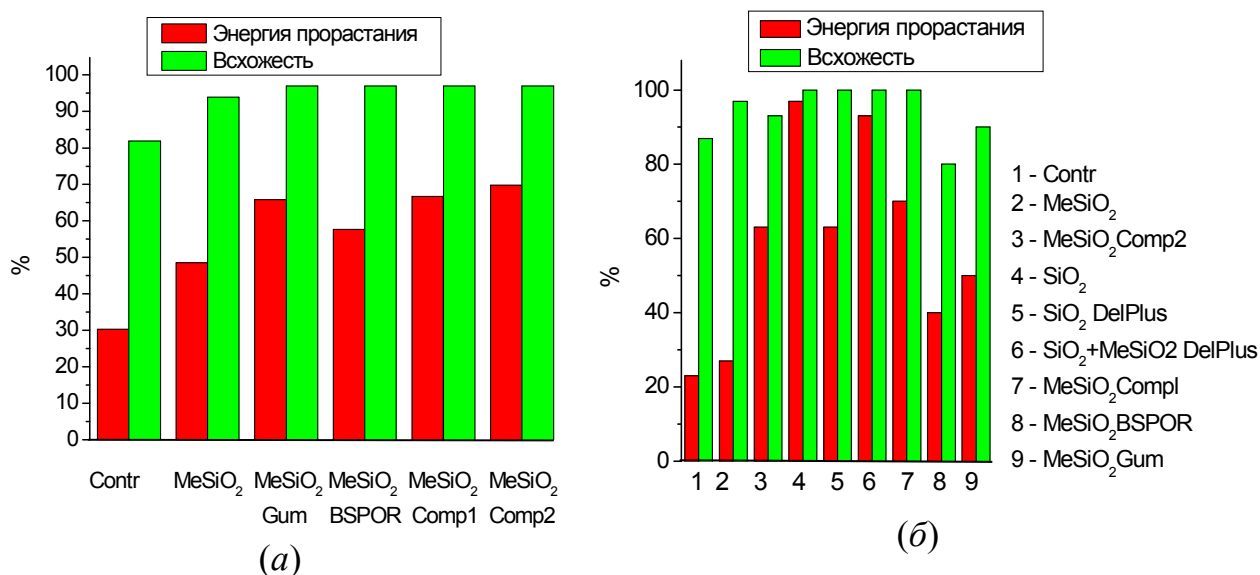


Рис. 1. Влияние кремния и препаратов с кремнеземом на энергию прорастания и всхожесть семян: *а* – томата гибрида “Мамогу”; *б* – томата гибрида “Monika”.

Обработка семян гибрида томата “Monika” нанокompозитными системами на основе кремнезёмов имела выраженное положительное влияние как на энергию прорастания, так и на всхожесть семян (рис. 1б). Наилучшая энергия прорастания наблюдалась для семян, обработанных нанокompозитными системами на основе гидрофильного кремнезёма (или смеси гидрофильного и гидрофобного кремнезёмов, содержащих препарат Delfan Plus). При этом всхожесть семян составила 100 %. Такая же всхожесть наблюдалась для семян, обработанных нанокompозитной системой на основе гидрофобного кремнезёма и комплекса сбалансированных по ионному составу минеральных веществ MeSiO₂Compl.

На рис. 2 приведены результаты изучения влияния обработки нанокompозитными системами семян белокочанной капусты (гибрид “Gallican”) и моркови (гибрид “Soprano”) на их параметры прорастания (энергия прорастания и всхожесть). Как видно из этого, энергия прорастания была в среднем на 17,2 % выше (кроме варианта, в котором семена обработаны SiO₂DelPlus) по сравнению с энергией прорастания и всхожестью необработанных семян. Семена капусты, обработанные композитом SiO₂+MeSiO₂DelPlus не взошли. Максимальная энергия прорастания и всхожесть семян капусты наблюдалась после их обработки наносистемами MeSiO₂ и MeSiO₂Compl. Для моркови наилучшая энергия прорастания была в случае использования чистого гидрофильного кремнезёма (рис. 2а). Лучшие значения всхожести семян моркови получены при их обработке композитом MeSiO₂Gum, содержащим гуминовые кислоты и фитогормоны.

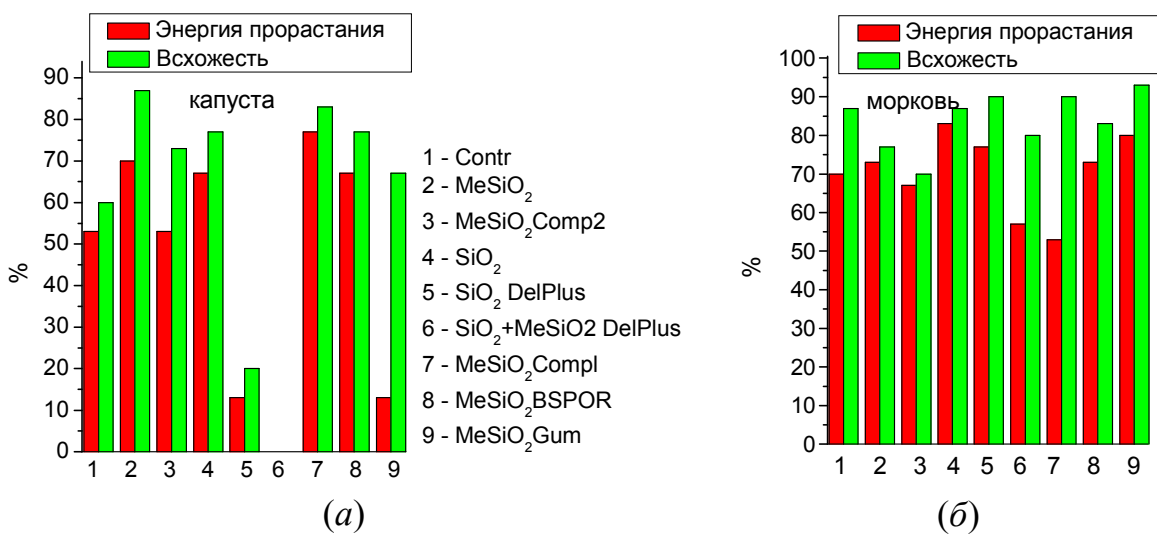


Рис. 2. Влияние нанокремнезёмов и композитов на их основе на энергию прорастания и всхожесть семян белокочанной капусты (гибрид “Gallican”) (а) и моркови (гибрид “Soprano”) (б).

В таблицах 1, 2 приведены результаты измерения биометрических показателей ростков томата. Самые длинные корни и стебли были у ростков томата, семена которых обработаны кремнезёмом с макро- и микроэлементами и с бором, несколько хуже результаты для аналогичного композита без бора (табл. 1). Однако для остальных композитных систем наблюдалось торможение роста стеблей и корней гибрида томата “Матогу”, т.е. они были короче по сравнению с контрольными растениями.

Таблица 1. Биометрические данные рассады томата (гибрид “Мамонт”), семена которых обработаны гидрофобным нанокремнеземом и композитами на его основе

Варианты	Длина корня, мм	Длина стебля, мм
Contr	16,9	52,1
MeSiO ₂	6,0	27,8
MeSiO ₂ Gum	12,9	39,5
MeSiO ₂ BSPOR	10,2	34,5
MeSiO ₂ Compl	27,7	45,7
MeSiO ₂ Comp2	50,5	61,3

Тем не менее, гидрофильный кремнезем имел положительное влияние на длину корня и стебля ростков гибрида томата “Моника” (табл. 2). Они были самыми длинными по сравнению с ростками, полученными при обработке семян другими композитными системами. После обработки семян композитом MeSiO₂Comp2 на основе гидрофобного кремнезема с макро- и микроэлементами без бора корни и стебли ростков томата оказались самыми короткими.

Таблица 2. Биометрические данные ростков томата (гибрид “Моника”), семена которых обработаны кремнеземами и композитными системами, приготовленными на их основе

Варианты	Длина корня, мм	Длина стебля, мм
Contr	51,9	64,3
MeSiO ₂	59,0	62,6
MeSiO ₂ Comp2	73,9	55,6
SiO ₂	92,2	83,3
SiO ₂ DelPlus	71,9	60,2
SiO ₂ +MeSiO ₂ DelPlus	80,1	65,2
MeSiO ₂ Compl	56,4	50,4
MeSiO ₂ BSPOR	60,6	67,5
MeSiO ₂ Gum	64,4	75,6

Самое большое положительное влияние на длину корня и стебля ростков капусты имела обработка семян композитом MeSiO₂Compl с макро и микроэлементами без бора (табл. 3). После обработки семян композитами SiO₂DelPlus и MeSiO₂Gum корни и стебли ростков капусты были короче по сравнению с ростками необработанных семян.

Кремний и препараты с кремнием имели положительное влияние на рост корней и стеблей ростков моркови. Во всех вариантах, где семена обрабатывались кремнеземами и композитами на их основе, стебли и корни ростков были длиннее по сравнению с ростками необработанных семян.

Ростки гибрида томата “Evolution”, семена которого обработаны кремнеземом с макро- и микроэлементами и кремнеземом содержащим бактериальный препарат Биоспорин, были значительно выше, ассимиляционная поверхность листьев - больше по сравнению с рассадой, выращенной из необработанных семян (табл. 4). Наивысший

индекс хлорофилла зафиксирован в листьях рассады, выращенной из семян, обработанных кремнием с микроэлементами без бора (MeSiO₂Compl).

Таблица 3. Биометрические данные ростков гибрида белокочанной капусты “Gallican”, гибрида моркови “Soprano”, семена которых обработаны кремнеземами и композитами на их основе

Варианты	Ростки капусты		Ростки моркови	
	Длина корня, мм	Длина стебля, мм	Длина корня, мм	Длина стебля, мм
Contr	74,3	55,1	41,7	25,8
MeSiO ₂	81,3	58,7	56,7	36,7
MeSiO ₂ Comp2	80,4	72,5	64,9	45,7
SiO ₂	78,2	82,9	66,3	33,0
SiO ₂ DelPlus	27,7	18,3	58,7	50,5
SiO ₂ +MeSiO ₂ DelPlus	0	0	51,7	38,3
MeSiO ₂ Compl	82,0	87,5	41,7	43,0
MeSiO ₂ BSPOR	69,9	69,5	65,7	41,7
MeSiO ₂ Gum	40,5	34,7	62,3	32,0

Таблица 4. Биометрические данные рассады гибрида томата “Evolution”, семена которых обработаны гидрофобным кремнеземом и композитами на его основе

Варианты	Высота растений, см	Длина подсемядольного колена, см	Диаметр стебля, мм	Число листьев, шт.	Повехность листьев, см ²	Сырая масса корней, г	Индекс хлорофилла
Contr	37,6	3,4	5,3	8,1	544,5	14,7	33,7
MeSiO ₂	38,9	3,0	5,0	8,2	633,4	13,0	35,8
MeSiO ₂ Gum	46,8	3,2	5,4	8,5	669,7	21,3	34,6
MeSiO ₂ BSPOR	42,9	2,7	5,6	8,3	659,4	17,5	34,5
MeSiO ₂ Compl	41,1	3,3	5,8	8,3	594,9	13,3	35,2
MeSiO ₂ Comp2	37,2	3,5	5,2	8,3	630,0	22,0	33,2

С целью определения особенностей удерживания воды композитными системами на основе нанокремнезёмов методом низкотемпературной ¹H ЯМР-спектроскопии изучено состояние воды в композитной системе, приготовленной на основе гидрофобного кремнезёма и препарата Биоспорина. Измерения проводились в воздушной среде, среде слабополярного органического растворителя – дейтерохлороформа и хлороформа с добавкой дейтеротрифторуксусной кислоты (ТФУК). Дейтерированные аналоги растворителей использовали для предотвращения появления в спектрах дополнительных сигналов среды, интенсивность которых может быть больше интенсивности сигнала воды. Слабополярная среда служила моделью гидрофобных участков поверхности семян, обладающих высоким сродством к частицам гидрофобного кремнезёма. В свою очередь, присутствие кислоты позволяло определить, как изменяется строение водных агрегатов

внутри нанокompозитных систем под влиянием кислотных агентов (например, гуминовых кислот), поступающих в ростовую зону из почвы.

Метод ЯМР-спектроскопии является одним из немногих методов, позволяющих судить о строении воды и водных агрегатов. Одним из главных параметров спектра ЯМР является величина химического сдвига (δ), определяемая как средняя величина магнитного экранирования ядра (в нашем случае протона). Чем выше степень экранирования, тем меньше величина химического сдвига [11]. Поскольку вода относится к сильно ассоциированным веществам, ее молекулы могут участвовать в формировании нескольких водородных связей (двух за счет протонов и двух за счет неподеленных электронных пар атома кислорода). Максимальная ассоциированность воды реализуется для льда, в котором каждая молекула принимает участие в образовании четырех водородных связей. Для льда химический сдвиг протонов составляет $\delta_H = 7$ м.д. [12]. С другой стороны, химический сдвиг протонов воды, не участвующей в формировании водородных связей (реализуется для растворов в неполярных растворителях) составляет 1–1,5 м.д. [13]. Жидкая вода характеризуется частично разрушенной сеткой водородных связей, благодаря чему для нее характерны химические сдвиги протонов в диапазоне $\delta_H = 4,5–6$ м.д.

На рис. 3 приведены снятые при разных температурах спектры ^1H ЯМР воды в композите, содержащем 100 мг/г воды.

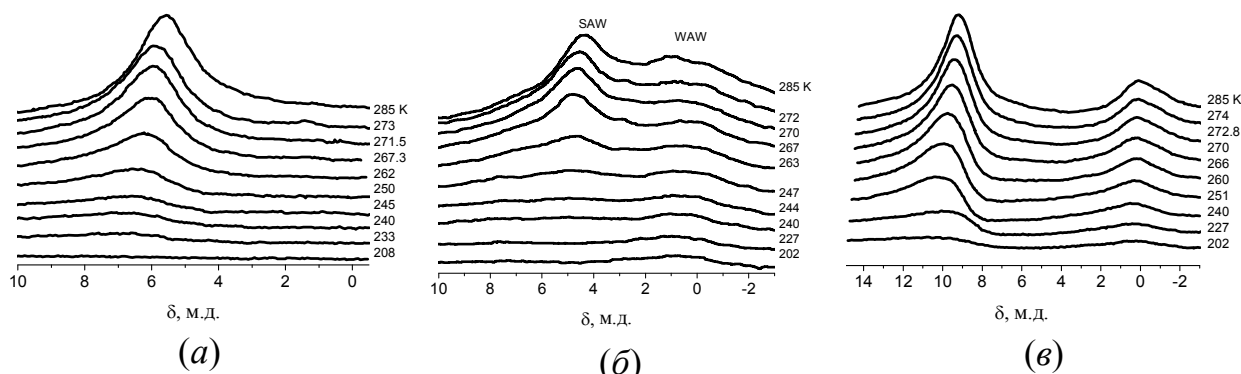


Рис. 3. Снятые при разных температурах спектры ^1H ЯМР воды в композите на основе смеси нанокремнезёмов и бактериального препарата, содержащем 100 мг/г воды: а – на воздухе; б – в среде CDCl_3 ; в – в среде $5\text{CDCl}_3 + 1\text{TФУК}$.

В соответствии с данными рис. 3а, в воздушной среде в спектрах присутствует один сигнал адсорбированной воды, химический сдвиг которого в зависимости от температуры составляет $\delta_H = 5,5–6$ м.д., что свидетельствует о несколько большей упорядоченности сетки водородных связей по сравнению с жидкой водой. С понижением температуры интенсивность сигнала уменьшается ввиду частичного замерзания воды в адсорбционном слое. Тот факт, что вода в композите находится в связанном состоянии (замерзает при температурах ниже 273 К) свидетельствует о хорошей способности композита поглощать воду из окружающей среды, несмотря на присутствие в нем значительного количества гидрофобного кремнезёма. Принимая, что интенсивность сигнала воды при $T = 285$ К составляет $C_{\text{H}_2\text{O}} = 100$ мг/г можно рассчитать количество незамерзающей воды (C_{uw}) при температурах $T < 273$ К (рис. 4а).

В слабополярной среде сигнал адсорбированной композитом воды распадается на два сигнала с разными значениями химического сдвига (рис. 3б). Кроме сигнала сильноассоциированной воды (SAW) с химическим сдвигом $\delta_H = 4,5-6$ м.д., в спектрах появляется примерно равный ему по интенсивности сигнал слабоассоциированной воды (WAW) ($\delta_H = 1-2$ м.д.). Этот тип межфазной воды относится к двумерной пленке концентрированного раствора воды в слабополярной среде, стабилизированном поверхностными взаимодействиями [13]. В присутствии кислоты (рис. 3в) сигнал SAW смещается в область больших величин δ_H , что вызвано присутствием «кислых» протонов, химический сдвиг которых достигает $\delta_H = 12$ м.д. Одновременно происходит перераспределение интенсивностей сигналов, относящихся к разным типам воды в сторону стабилизации SAW (рис. 3в и рис 4а).

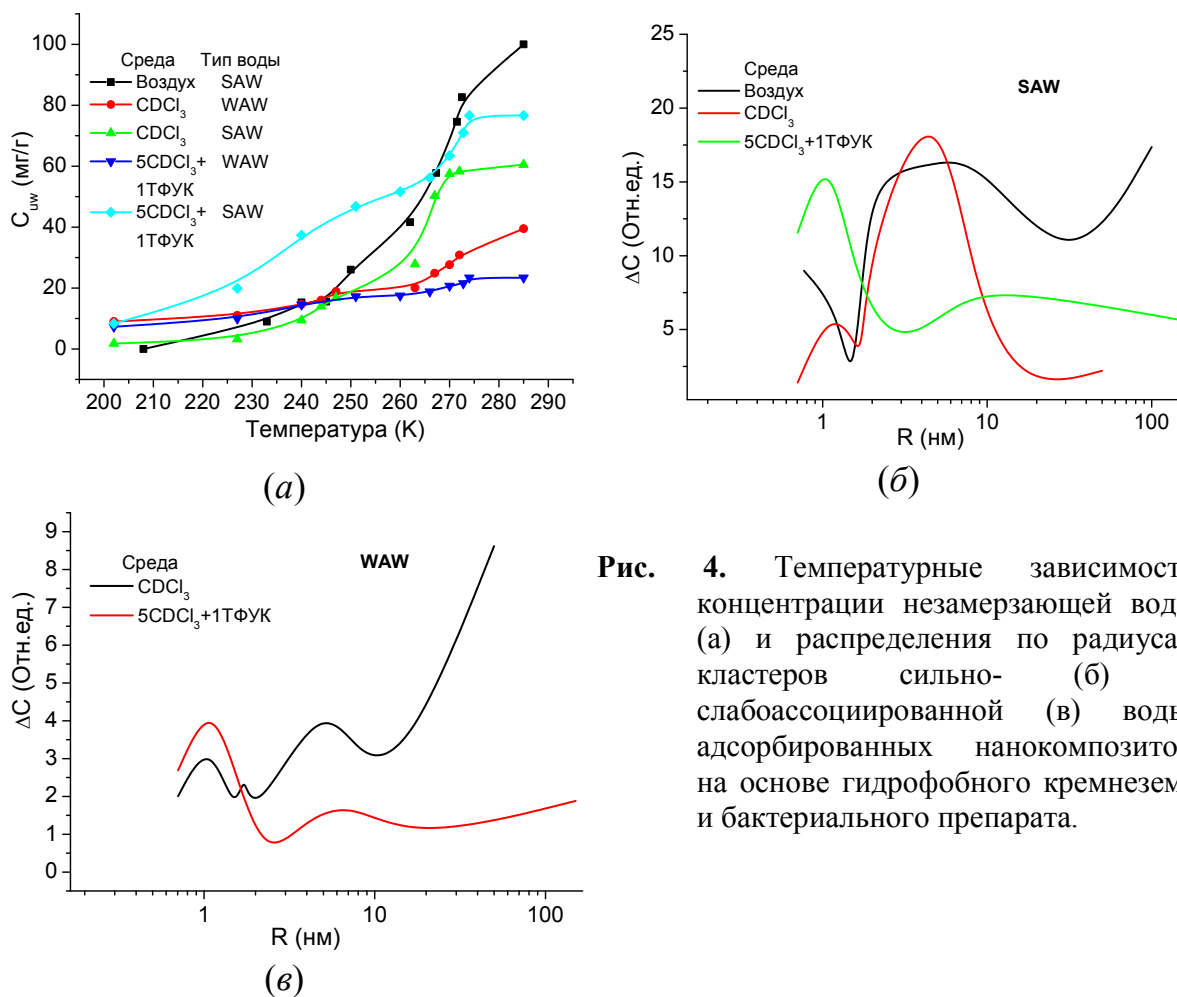


Рис. 4. Температурные зависимости концентрации незамерзающей воды (а) и распределения по радиусам кластеров сильно- (б) и слабоассоциированной (в) воды, адсорбированных нанокompозитом на основе гидрофобного кремнезема и бактериального препарата.

По изменениям концентрации незамерзающей воды от температуры, в соответствии с формулой Гиббса–Томсона, связывающим депрессию температуры замерзания и радиус кластеров (нанокapель) воды $R = k(\Delta C)$ (где $k = 50$ град·нм [14]), могут быть рассчитаны распределения по радиусам кластеров воды в адсорбционном слое нанокompозита (рис. 4б и 4в). В воздушной среде значительная часть сильноассоциированной воды входит в

состав кластеров, радиус которых находится в диапазоне $1 < R < 10$ нм и $R > 20$ нм. В среде $CDCl_3$ большие кластеры исчезают, вероятно, трансформируясь в слабоассоциированную воду (рис. 4в). В присутствии кислоты на распределениях по радиусам кластеров обоих типов воды регистрируются два максимума при $R = 1$ и 10 нм.

Выводы

1. Кремнеземы и композитные системы, созданные на их основе, способны оказывать положительное влияние на энергию прорастания и всхожесть семян, однако величина эффекта зависит от вида и гибрида овощей.
2. Энергия прорастания и всхожесть семян гибрида томата “Monika” была максимальной после их обработки гидрофильным кремнеземом и препаратами содержащими смесь гидрофобного и гидрофильного кремнеземов с препаратом Delfan Plus; при этом стебли и корни ростков были самыми длинными. Композит на основе гидрофобного кремнезема с макро- и микроэлементами (включая бор) лучше всего влиял на энергию прорастания, всхожесть семян, длину стебля и корней ростков гибрида томата “Mamogru”. Обработка семян гибрида томата “Evolution” кремнеземом и композитными системами на его основе имела положительное влияние на биометрические данные рассады.
3. Обработка семян гибрида белокочанной капусты “Gallican” кремнеземом и композитами на его основе стимулировала прорастание семян и увеличила их всхожесть (кроме варианта, где семена были обработаны гидрофильным (или смесью гидрофильного и гидрофобного кремнеземов) с препаратом Delfan Plus. Самым эффективным препаратом для обработки семян гибрида белокочанной капусты “Gallican” был гидрофобный кремнезем с иммобилизованной на его поверхности сбалансированной смесью микро- и макроэлементов без бора.
4. Препараты, содержащие кремнезем, имели положительное влияние на энергию прорастания, всхожесть семян моркови, рост и развитие ее проростков. Наилучшая энергия прорастания и всхожесть семян гибрида моркови “Soprano” была после их обработки гидрофильным кремнеземом и гидрофобным кремнеземом, содержащим на поверхности микроэлементы, гуминовые кислоты и фитогормоны. Самые длинные корни ростков были после обработки семян гидрофильным кремнеземом с препаратом Delfan Plus.
5. Несмотря на присутствие гидрофобной компоненты в нанокompозитных системах, они остаются проницаемыми для воды. Связанная композитами вода присутствует в виде кластеров сильно- и слабоассоциированной воды, радиус которых может составлять от единиц до десятков нанометров. Слабоассоциированные формы воды формируются на границе раздела фаз с гидрофобными веществами. В реальных системах, содержащих нанокompозиты на поверхности семян, они могут формироваться вблизи гидрофобных участков поверхности семян и отвечать за улучшение массообмена между ростком и окружающей средой.

Публикация содержит результаты исследований, проведенных при грантовой поддержке Министерства образования и науки Украины по конкурсному украинно-молдавском проекту (№ M/51)

Литература

1. Sorme L, Lagerkvist R. Sources of heavy metals in urban wastewater in Stockholm //Sci Tot Environ. – 2002. – V. 298. – P. 131-145.
2. Williford C, Bricka R.M. Physical separation of metal-contaminated soils Environmental Restoration of Metals-Contaminated Soils // 1st edn., CRC Press LLC, Boca Raton, FL. – 2000. – P. 121-165.
3. Шабанова И.В., Цокур М.Н., Долотова М.С. Наноматериалы в сельском хозяйстве: получение и применение // Науч. журнал КубГАУ. – 2007. – №27(3). – С.1-11.
4. Егоров М.А. Биорегуляторы с наноконпонентами как перспективные биопрепараты // Нанотехника. – 2006. – № 4. – С. 74-76.
5. Егоров Н.П., Шафронов О.Д., Егоров Д.Н., Сулейманов Е.В. Разработка и проведение экспериментальной оценки эффективности применения в растениеводстве новых видов удобрений, полученных с использованием нанотехнологий // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. – 2008. – № 6. – С. 94–99.
6. Богомаз В.И. Синтез, свойства и применение новых видов модифицированных пирогенных кремнеземов: Автореф. дис. ... канд. хим. наук. 02.00.02. // ИФХ им. Л.В. Писаржевского НАНУ. – Киев, 1982. – 21с.
7. Юхименко Е.В., Юхименко В.Д., Богатырев В.М., Туров В.В. Нанокремнеземы как активные агенты в защитно-стимулирующих составах для предпосевной обработки семян сельскохозяйственных культур // Наноматериалы и нанокompозиты в медицине, биологии, экологии /Под ред. А.П. Шпака, В.Ф. Чехуна. – Киев: Наукова Думка, 2011. – С. 402-421.
8. Turov V.V., Krupskaya T.V., Barvinchenko V.M., Lipkovskaya N.O., Yukhymenko O.V., Kartel M.T., Suvorova L.A., Morozova I. The mechanism of protective effect of nanocomposite system «Ekostim» for seed pre-treatment // European Science Review Scientific journal. – 2015. – N. 2. – С.34-41.
9. Turov V.V., Krupskaya T.V., Barvinchenko V.M., Lipkovska N.O., Kartel M.T., Suvorova L.A. Peculiarities of watercluster formation on the surface of dispersed KCl: The influence of hydrophobic silica and organic media // Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. – 2016. – V. 499. – P. 97-102.
10. Gun'ko V.M., Turov V.V., Bogatyrev V.M., Zarko V.I., Leboda R., Goncharuk E.V., Novza A.A., Turov A.V., Chuiko A.A. Unusual properties of water at hydrophilic/hydrophobic Interfaces //Adv. Coll. Interf. Sci. – 2005. – V.118. – P. 125-172.
11. Abragam A. The Principles of Nuclear Magnetism. – Oxford University Press, Oxford, UK, 1961. – 599 p.
12. Kinney D.R., Chaung I-S., Maciel G.E. Water and the Silica Surface As Studied by Variable Temperature High Resolution ¹H NMR. // J. Am. Chem Soc. – 1993. – Vol. 115. – P. 6786- 6794.
13. Gun'ko V.M., Turov V.V. Nuclear Magnetic Resonance Studies of Interfacial Phenomena. – New York: Taylor & Francis, 2013. – 1070 p.
14. Petrov O.V., Furo I. NMR cryoporometry: Principles, application and potential // Progr. NMR. – 2009. – V.54. – P. 97- 122.

НАНОКОМПОЗИТНІ СИСТЕМИ НА ОСНОВІ КРЕМНЕЗЕМІВ ДЛЯ ПРОРОЩУВАННЯ ДЕЯКИХ ТИПІВ ОВОЧЕВИХ КУЛЬТУР

Юле Янкаускене¹, Вітаутас Залаторіус¹, Рома Старкуте¹, Она Бундінене¹, Т.В. Крупська², А.П. Головань², В.В. Туров², Паулюс Джоваісас³, Рута Біліаускіене³

¹Інститут плодоовочівництва, філіал центру аграрних та лісових наук Литви
Каунаський р-н, Бабтай, вул. Каунас 30, LT-54333.

²Інститут хімії поверхності ім.А.А.Чуйко Національної академії наук України, ул.
Генерала. Наумова, 17, Київ., 03164, Україна, krupska@ukr.net

³ОАБ Силіціо Біотехнології, Антакалніо, 17, Вільнюс, Литва.

Кремнезemi та композитні системи, створені на їх основі, здатні позитивно впливати на енергію проростання та схожість насіння овочів. Але для томатів величина ефекту залежить від виду та гібриду. Самим ефективним препаратом для обробки насіння гібриду білокачанної капусти "Gallican" виявився гідрофобний кремнезем з імобілізованою на його поверхні збалансованою сумішшю мікро- та макроелементів без бору. Найбільші довгі корінці ростків моркви були отримані після обробки насіння гідрофільним кремнеземом з препаратом Delfan Plus. Не дивлячись на присутність гідрофобної компоненти в нанокompозитних системах, вони залишаються проникними для води. Слабоасоційовані форми води формуються на межі розділу фаз з гідрофобними речовинами.

NANOCOMPOSITE SYSTEMS ON THE BASIS OF NANOSILICAS FOR GERMINATION SOME TYPES OF VEGETABLE CROPS

Yule Jankauskiene¹, Vytautas Zalatorius¹, Roma Starkute¹, Ona Bundineene¹,
T.V. Krupskaya², A.P. Golovan², V.V. Turov², Paulius Jovaisas³, Ruta Bieliauskiene³

¹Institute of fruit and vegetable growing, branch of the Agricultural and Forestry Sciences Center
of Lithuania Kaunas st. 30, Babtai, LT-54333, Kaunas dist.

²Chuiko Institute of Surface Chemistry of National Academy of Sciences of Ukraine,
17 General Naumov Str. Kyiv, 03164, Ukraine krupska@ukr.net

³UAB Silicio Biotechnologijos, Antakalnio, 17, Vilnius, Lithuania.

The composite systems basis on silicas and initial silicas are able to exert a positive effect on the germination energy and the germination of vegetable seeds. However, for tomatoes, the value of the effect depends on the species and the hybrid. The most effective preparation for treatment of the white cabbage hybrid "Gallican" seeds was hydrophobic silica with a balanced mixture of micro- and macronutrients without boron immobilized on its surface. The longest roots of the carrot sprouts were obtained after the seeds treatment with hydrophilic silica with Delfan Plus. Although the presence of a hydrophobic component in nanocomposite systems, its stay permeable to water. Weakly associated forms of water create itself at the interface between phases with hydrophobic substances.