

Биоактивные препараты

УДК 633.511:581.1:631.811.98

doi: 10.15389/agrobiology.2022.5.1010rus

**ВСХОЖЕСТЬ СЕМЯН, РОСТ, РАЗВИТИЕ И УРОЖАЙНОСТЬ
ХЛОПЧАТНИКА (*Gossypium hirsutum* L.) ПОД ВЛИЯНИЕМ
НАНОПОЛИМЕРНЫХ ПРЕПАРАТОВ НА ОСНОВЕ ХИТОЗАНА****Д.К. РАШИДОВА¹ ✉, Ш.Б. АМАНТУРДИЕВ¹, Ш.Т. ШАРИПОВ¹,
Н.М. МАМЕДОВ¹, М.М. ЯКУБОВ²**

Нанополимерные препараты на основе хитозана, полученные из отходов куколок тутового шелкопряда (*Bombyx mori* Linnaeus, 1758), — естественный биологически активный материал, обладающий фунгицидными и бактерицидными свойствами. Такие препараты целесообразно использовать для предпосевной обработки семян сельскохозяйственных культур. В настоящей работе впервые выявлено, что при обработке семян хлопчатника сорта Андижан 36 препаратами из нанополимеров куколки тутового шелкопряда, содержащих ионы меди и серебра, ускоряются процессы роста и развития проростков, а также увеличивается урожайность хлопчатника. Цель работы — оценить действие биологически активных нанополимерных комплексов на основе хитозана и его производных на морфологические и посевные показатели семян, хозяйственно ценные качества хлопка-сырца и урожайность хлопчатника. Исследования проводили в лабораторных и полевых условиях в 2018-2020 годах в НИИ селекции, семеноводства и агротехнологии выращивания хлопка (НИИССАВХ). В опытах использовали нанополимерные препараты ПМК (полимер металлокомплекс) $\text{Cu}^{2+}:\text{Ag}$ 7:3, ПМК $\text{Cu}^{2+}:\text{Ag}$ 8:2, Нанохитозан (НаноХЗ, 0,5 %, 90 кДа), Наноаскорбатхитозан (НаноАХЗ, 0,5 %, соотношение хитозана и аскорбиновой кислоты 4:1) и полимерные препараты Хитозан исходный 0,5 %, Купримхит 0,5 %, Аскорбатхитозан (АХЗ). Препараты УЗХИТАН (Институт химии и физики полимеров АН РУз, Узбекистан) и Далброн («Dalston associated SA», Панама) служили эталонами; контроль — семена без обработки. Использовали семена хлопчатника (*Gossypium hirsutum* L.) сорта Андижан 36. Семян замачивали в препаратах (норма расхода из расчета 20 л/т семян) минимум за 3-4 сут до посева. В каждом варианте опыта было обработано по 6 кг семян хлопчатника. В лабораторном опыте семена проращивали в песке при температуре 25 °С и влажности воздуха 60-65 %. Энергию прорастания определяли на 4-е сут, всхожесть — на 12-е сут. Длину надземной и подземной частей проростков измеряли на 3-и, 5-е, 7-е, 9-е и 10-е сут. Полевые опыты проводили в экспериментальном хозяйстве НИИССАВХ (Ташкентская обл., Кибрайский р-н, пос. Салар). На посевах учитывали появление всходов, определяли полевую всхожесть, а также с 1 июня по 1 сентября вели фенологические наблюдения за ростом и развитием растений. Для оценки хозяйственно ценных признаков хлопка-сырца (выход волокна, масса одной коробочки, длина волокна) перед началом сбора урожая отбирали пробные образцы. Учет урожайности проводили 15 сентября, 1 октября, 15 октября и 1 ноября. В лабораторных опытах наилучшую всхожесть имели семена, обработанные ПМК $\text{Cu}^{2+}:\text{Ag}$ 8:2 (96,0 %), НаноАХЗ 0,5 %, 4:1 (96,0 %), ПМК $\text{Cu}^{2+}:\text{Ag}$ 7:3 (97,0 %), что было выше показателей в контроле на 4,0-5,0 % и при использовании эталона Далброн — на 2,0-3,0 %. При проведении промеров во все сроки длина надземной части проростков в варианте с НаноАХЗ оказалась на 0,6-4,6 мм больше, чем в варианте с АХЗ, длина подземной части — на 0,1-2,1 мм больше. При сравнении НаноХЗ с Хитозаном различия составляли соответственно 0,3-2,1 мм и 0,8-2,3 мм; при сравнении ПМК $\text{Cu}^{2+}:\text{Ag}$ 8:2 и Купримхита — 0,3-4,1 мм и 0,1-2,7 мм. По всем промерам на 3-и, 5-е, 7-е, 9-е и 10-е сут растения из семян, обработанных нанополимерными препаратами, превосходили варианты, где были использованы полимерные препараты. ПМК $\text{Cu}^{2+}:\text{Ag}$ 8:2, НаноАХЗ и НаноХЗ оказывали более эффективное воздействие на всхожесть и длину надземной и подземной частей проростков, чем их полимерные аналоги. В полевых опытах наилучшие показатели по росту и развитию были зафиксированы при обработке ПМК $\text{Cu}^{2+}:\text{Ag}$ 8:2, ПМК $\text{Cu}^{2+}:\text{Ag}$ 7:3 и НаноАХЗ 0,5 %: высота растений на 1 сентября превышала контроль на 7,4; 8,0; 7,7 см, число симподиальных ветвей — на 1,5; 1,2; 0,6 шт., число коробочек — на 2,4; 1,8; 2,5 шт. Также растения из семян, обработанных нанопрепаратами ПМК $\text{Cu}^{2+}:\text{Ag}$ 8:2 и ПМК $\text{Cu}^{2+}:\text{Ag}$ 7:3, превосходили по урожайности контрольный вариант соответственно на 4,0 и 3,7 ц/га, а эталон Далброн — на 3,3 и 3,0 ц/га. При этом тенденция к более высокой урожайности наблюдалась с первого учета урожая. Следовательно, для капсулирования семян хлопчатника можно использовать нанополимерные препараты ПМК $\text{Cu}^{2+}:\text{Ag}$ 7:3, ПМК $\text{Cu}^{2+}:\text{Ag}$ 8:2.

Ключевые слова: *Gossypium hirsutum* L., хлопчатник, семена, сорт, нанопрепараты, всхожесть, длина проростков, фенологические наблюдения, рост, развитие, хлопок-сырец, урожайность.

Нанотехнологии — перспективная область междисциплинарных исследований, которая открывает широкие возможности в медицине, фарма-

цветнике, электронике и сельском хозяйстве. Достижения нанотехнологии могут быть использованы для борьбы с насекомыми-вредителями с помощью пестицидов и инсектицидов на основе наноматериалов, для повышения продуктивности сельскохозяйственных культур за счет применения биоконъюгированных наночастиц (инкапсуляция) с целью медленного высвобождения питательных веществ и воды, для опосредованного наночастицами переноса генов или ДНК в растения при создании сортов, устойчивых к вредителям (1, 2).

Во многих странах (в России, Японии, Индии, Китае, США, Вьетнаме, Германии, Узбекистане) изучается влияние нанополимерных препаратов на посевные качества семян, рост, развитие и урожайность сельскохозяйственных культур, метаболические процессы в растениях. Разрабатываются методы, позволяющие получать эту информацию. В Республике Узбекистан также проводятся работы по использованию отечественных наноматериалов. Исследуются нанополимерные препараты на основе хитозана и его производных. Показано, что наночастицы могут оказывать как положительное, так и отрицательное влияние на растения в зависимости от их размера, концентрации, химического состава, стабильности и формы (3). Кроме того, благодаря наноматериалам можно повысить эффективность восстановления загрязненной металлами и металлоидами почвы (4). Инженерные наноматериалы с размерами частиц примерно 100 нм, где неизбежны биологические взаимодействия, внесли вклад во многие революционные разработки в разных областях, в том числе в сельском хозяйстве (5-10).

Капсулирование семян препаратами хитозана и его производных положительно влияет на процесс фотосинтеза у растений хлопчатника даже на виловом фоне (11). Наночастицы хитозана — естественный материал с превосходными физико-химическими, антибактериальными и биологическими особенностями. Наночастицы хитозана благоприятно влияют на окружающую среду, обладают биологической активностью и не оказывают отрицательного воздействия на организм человека (12-15). Они широко используются в сельском хозяйстве, особенно для защиты растений, чему способствует их размер, высокое соотношение площади поверхности к объему и уникальные оптические свойства (16, 17). Применение наночастиц хитозана увеличивает содержание хлорофилла и улучшает усвоение питательных веществ растениями, влияет на всхожесть, рост проростков и урожайность пшеницы (18, 19). Наночастицы хитозана оказывают эффект в более низких концентрациях, чем хитозан, в частности, они могут усиливать рост пшеницы, что сокращает применение удобрений (20).

С конца XX века в НИИ селекции, семеноводства и агротехнологии выращивания хлопка (Республика Узбекистан) ведутся работы по изучению физико-химических и биологически активных свойств хитина и хитозана, выделяемых из отходов шелкомотального производства — куколок тутового шелкопряда (*Bombyx mori* Linnaeus, 1758) (21). Разработана технология и налажено производство хитозана *Bombyx mori* и его различных производных для применения в сельском хозяйстве (21).

В настоящей работе впервые выявлено, что при обработке семян хлопчатника сорта Андижан 36 содержащими ионы меди и серебра препаратами на основе нанополимеров хитозана из куколок тутового шелкопряда ускоряются процессы роста и развития проростков, а также увеличивается урожайность хлопчатника.

Цель работы — оценить действие биологически активных нанополимерных комплексов на основе хитозана и его производных на морфофизиологические и посевные показатели семян, хозяйственно ценные каче-

ства хлопка-сырца и урожайность хлопчатника.

Методика. Исследования проводили в лабораторных и полевых условиях в 2018–2020 годах в НИИ селекции, семеноводства и агротехнологии выращивания хлопка (НИИССАВХ). Экологически безопасные биологически активные нанополимерные препараты на основе хитозана и его производных были синтезированы в Институте химии и физики полимеров АН РУз (Узбекистан). В опытах использовали нанополимерные препараты ПМК (полимер металлокомплекс) $\text{Cu}^{2+}:\text{Ag}$ 7:3, ПМК $\text{Cu}^{2+}:\text{Ag}$ 8:2, Нанохитозан (НаноХЗ, 0,5 %; 90 кДа), Наноаскорбатхитозан (НаноАХЗ, 0,5 %, соотношение хитозана и аскорбиновой кислоты 4:1) и полимерные препараты Хитозан исходный 0,5 %, Купримхит 0,5 %, Аскорбатхитозан (АХЗ). Препараты УЗХИТАН (Институт химии и физики полимеров АН РУз, Узбекистан) и Далброн («Dalston associated SA», Панама) служили эталонами. Контроль — семена без обработки.

Использовали семена хлопчатника (*Gossypium hirsutum* L.) сорта Андиган 36, который внесен в Государственный реестр сельскохозяйственных культур, рекомендованных к посеву на территории Республики Узбекистан.

Семена обрабатывали замачиванием в препаратах (норма расхода из расчета 20 л/т семян) минимум за 3–4 сут до посева. В каждом варианте опыта было обработано по 6 кг семян хлопчатника. В лабораторном опыте семена проращивали в песке в термостате при температуре 25 °С и влажности 60–65 % воздуха. Энергию прорастания определяли на 4-е сут, всхожесть — на 12-е сут. Длину надземной и подземной частей проростков измеряли на 3-и, 5-е, 7-е, 9-е и 10-е сут.

Полевые опыты проводили в экспериментальном хозяйстве НИИССАВХ (Ташкентская обл., Кибрайский р-н, пос. Салар) по общепринятой методике (22), 50-луночными делянками, посев осуществляли вручную, по 5 семян в лунку.

На посевах проводили учет появления всходов, определяли полевую всхожесть, а также с 1 июня по 1 сентября вели фенологические наблюдения за ростом и развитием растений. Для оценки хозяйственно ценных признаков хлопка-сырца (выход волокна, масса одной коробочки, длина волокна) перед началом сбора урожая были отобраны пробные образцы. Учет урожайности проводили 15 сентября, 1 октября, 15 октября и 1 ноября в соответствии с действующими инструкциями. Посевные и сортовые качества определяли на основании существующих стандартов (23–25).

Математическую обработку полученных результатов проводили по Б.А. Доспехову (26). Вычисляли средние (M) и ошибки средних ($\pm\text{SEM}$), рассчитывали наименьшую существенную разность для 5 % уровня значимости (НСР_{05}). Для анализа также применяли метод наименьших квадратов (27).

Результаты. В получении высоких и гарантированных урожаев хлопка-сырца важное место отводится перспективным технологиям подготовки посевных семян, которые предусматривают применение широкого ассортимента экологических чистых средств защиты растений. Нанопорошки и наночастицы металлов достаточно легко проникают в клетки и активно влияют на ферменты и физиолого-биохимические реакции, повышают лабораторную и полевую всхожесть (28, 29). Дисперсионный анализ показал, что предпосевная обработка семян нанопрепаратами оказывает существенное влияние на большинство признаков растений: длину проростков, корней и ростка, их сырую и сухую массу, устойчивость к возбудителям заболеваний и вредителям, а также на показатели структуры урожая и урожайность (30).

1. Лабораторная всхожесть и длина проростков хлопчатника (*Gossypium hirsutum* L.) сорта Андижан 36 при обработке семян нанополимерными и полимерными препаратами (лабораторный опыт, $N = 4$, 2018-2020 годы)

Вариант	Энергия прорастания/всхожесть, %			Длина, мм									
				3-и сут		5-е сут		7-е сут		9-е сут		10-е сут	
	на 4-е сут	на 12-е сут	к контролю	НЧ	ПЧ	НЧ	ПЧ	НЧ	ПЧ	НЧ	ПЧ	НЧ	ПЧ
Контроль (без обработки)	90,0±0,95	92,0±0,6	0	1,4±0,06	3,0±0,05	14,6±0,11	39,4±0,25	31,7±0,22	76,8±0,21	40,6±0,30	90,2±0,51	49,7±0,32	101,5±0,31
Далброн (эталон)	92,0±0,2	94,0±0,9	+2,0	1,5±0,04	3,1±0,05	15,1±0,09	42,1±0,37	32,1±0,25	77,2±0,29	42,3±0,31	91,9±0,37	50,3±0,31	103,7±0,35
УЗХИТАН (эталон)	94,3±0,4	95,0±0,2	+3,0	1,7±0,05	3,4±0,04	14,8±0,12	42,8±0,29	31,9±0,33	78,4±0,19	43,4±0,25	94,2±0,39	54,1±0,32	105,2±0,38
Хитозан исходный 0,5 %	94,2±0,7	95,0±0,2	+3,0	1,9±0,04	3,8±0,06	16,9±0,13	46,4±0,41	33,7±0,30	82,3±0,28	47,4±0,26	101,7±0,56	59,1±0,38	109,4±0,39
НаноХЗ 0,5 %	94,8±0,6	95,0±0,2	+3,0	2,4±0,06	4,6±0,07	17,2±0,14	48,7±0,23	35,8±0,25	84,6±0,31	48,9±0,34	102,9±0,41	60,3±0,47	111,3±0,52
ПМК Cu ²⁺ : Ag 7:3	94,9±0,1	97,0±0,3	+5,0	1,6±0,05	3,5±0,04	16,1±0,09	43,2±0,33	33,1±0,23	79,8±0,28	43,1±0,33	98,8±0,54	56,8±0,41	107,9±0,45
ПМК Cu ²⁺ : Ag 8:2	95,1±0,2	96,0±0,4	+4,0	1,9±0,03	3,4±0,05	16,7±0,10	43,1±0,27	33,3±0,28	80,7±0,30	47,1±0,18	99,4±0,37	58,4±0,47	108,4±0,42
Купрумхит	93,6±0,3	95,0±0,2	+3,0	1,6±0,04	3,3±0,03	15,7±0,13	42,8±0,36	32,3±0,19	78,7±0,23	43,0±0,21	96,7±0,38	55,6±0,39	106,0±0,42
АХЗ	93,7±0,8	95,0±0,2	+3,0	1,8±0,06	3,3±0,03	15,0±0,08	43,0±0,28	32,4±0,29	78,7±0,33	42,1±0,32	97,8±0,42	55,7±0,37	106,3±0,38
НаноАХЗ 0,5 %, 4:1	94,5±0,5	96,0±0,4	+4,0	2,4±0,04	3,4±0,04	17,2±0,17	43,1±0,42	35,8±0,31	80,7±0,25	48,9±0,27	99,4±0,45	60,3±0,35	108,4±0,43

НСР₀₅ = 2,21 %

Примечание. Описание препаратов и схему опыта см. в разделе «Методика». НЧ — надземная часть, ПЧ — подземная часть.

В проведенных нами лабораторных опытах наилучшую всхожесть имели семена, обработанные ПМК $\text{Cu}^{2+}:\text{Ag}$ 8:2 (96,0 %), НаноАХЗ 0,5 %, 4:1 (96,0 %) и ПМК $\text{Cu}^{2+}:\text{Ag}$ 7:3 (97,0 %), что было на 4,0-5,0 % выше показателей в контроле и на 2,0-3,0 % выше, чем при использовании эталона Далброн (табл. 1).

Ранее мы установили, что нанополимерные препараты Наноаскорбатхитазан, ПМК $\text{Cu}^{2+}:\text{Ag}$ 7:3 и ПМК $\text{Cu}^{2+}:\text{Ag}$ 8:2 положительно влияют на лабораторную всхожесть семян сои. Кроме того, урожайность сортов Селекта 302 и Барака при обработке этими препаратами была выше, чем при использовании эталона Гаучо WS 70 (смачивающий порошок, «Bayer Crop Science», Германия) соответственно на 6,1-4,5 и 5,1-3,3 ц/га (31). Также доказана эффективность действия нанополимерных препаратов на активность ферментов пероксидазы, полифенолоксидазы и содержание белка у 7-суточных проростков сои (31).

В работе V. Saharan с соавт. (32) более высокие значения всхожести, длины побегов и корней, числа корней, длины проростков, сырой и сухой массы кукурузы были получены при обработке проростков наночастицами (НЧ) Cu -хитозана в концентрациях 0,04-0,12 % по сравнению с водой, CuSO_4 и сыпучим хитозаном. НЧ Cu -хитозана в тех же концентрациях ингибировали активность ферментов α -амилазы и протеазы. НЧ Cu -хитозана в концентрации 0,16 % оказывали ингибирующее действие на рост проростков, что можно объяснить токсичностью избытка меди (32).

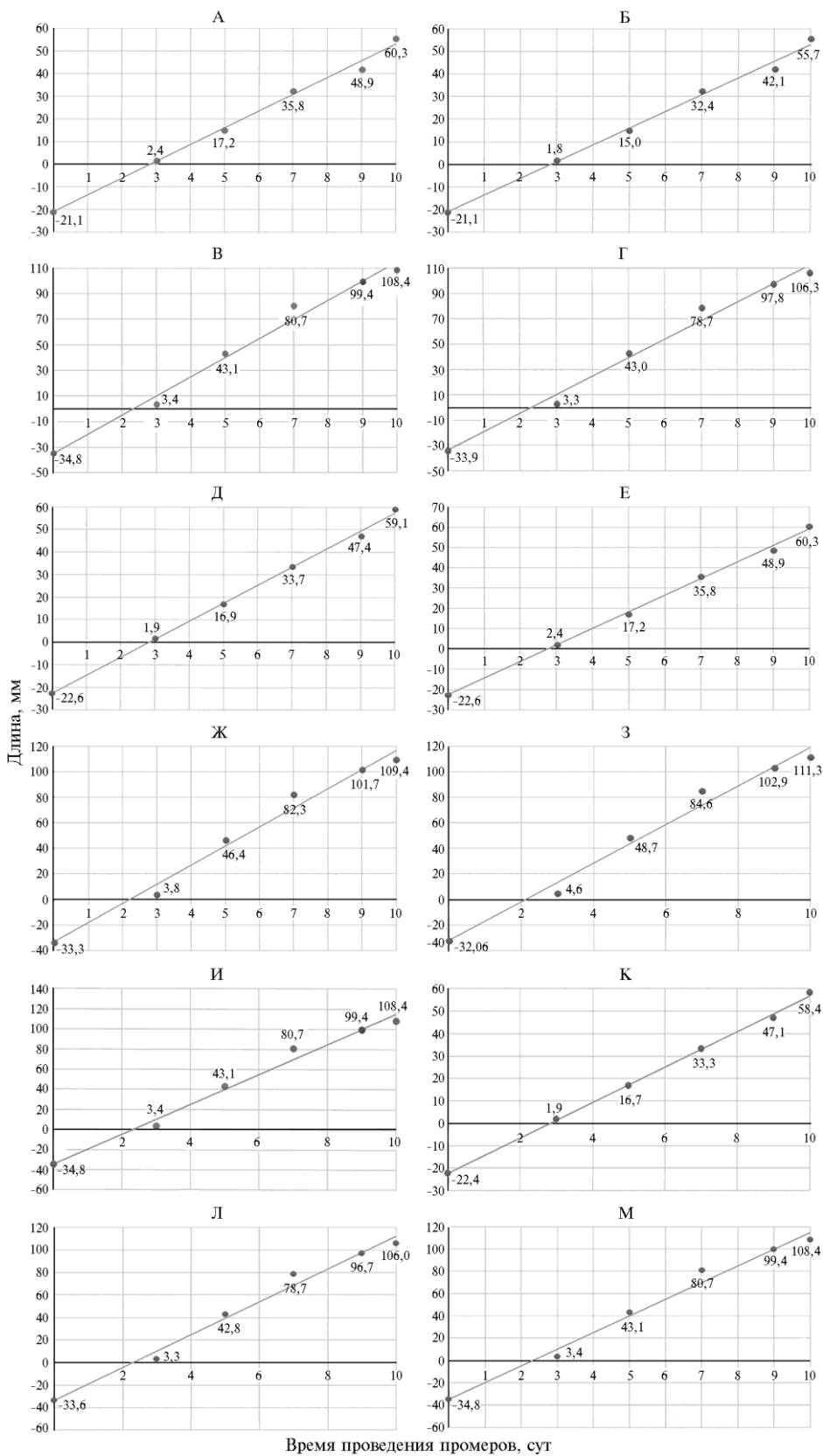
В настоящей работе мы сравнили эффективность применения нанопрепаратов с полимерными препаратами на хлопчатнике. При проведении промеров во все сроки длина надземной части проростков в варианте с НаноАХЗ оказалась больше, чем в варианте с АХЗ, на 0,6-4,6 мм, а длина подземной части — на 0,1-2,1 мм. При сравнении НаноАХЗ с Хитозаном различия составляли соответственно 0,3-2,1 мм и 0,8-2,3 мм; при сравнении ПМК $\text{Cu}^{2+}:\text{Ag}$ 8:2 и Купрумхита — на 0,3-4,1 мм и 0,1-2,7 мм (см. табл. 1, рис.). По всем промерам на 3-и, 5-е, 7-е, 9-е, 10-е сут растения из семян, обработанных нанополимерными препаратами, превосходили варианты, где были использованы полимерные препараты. ПМК $\text{Cu}^{2+}:\text{Ag}$ 8:2, НаноАХЗ и НаноАХЗ оказывали более эффективное воздействие на всхожесть и длину надземной и подземной частей проростков, чем их полимерные аналоги.

Анализ результатов, полученных с помощью метода наименьших квадратов (27) и суммирующих влияние различных композитных составов, приведен в виде динамики биологических эффектов во времени (пять точек наблюдения — 3-и, 5-е, 7-е, 9-е и 10-е сут). Представляется, что наиболее реальным сравнительным показателем этих зависимостей может быть линейная:

$$y = kx + b,$$

где y — показатель, характеризующий рост объекта, x — сроки наблюдения, k и b — внутренние параметры изучаемого явления. Как видно из рисунка, при использовании нанопрепаратов величина коэффициента k , который рассматривали в качестве собирательного показателя влияния препаратов на эффективность роста растений, была выше, чем в вариантах с полимерными препаратами.

В 2018-2020 годах в экспериментальном хозяйстве НИИССАВХ нами были заложены опыты по изучению действия нанополимерных препаратов на посевные качества семян, рост и развитие растений, а также урожайность хлопчатника.



Время проведения промеров, сут

Длина корневых корешков и проростков хлопчатника (*Gossypium hirsutum* L.) сорта Андижан 36

при обработке семян нанополимерными и полимерными препаратами на 3-и-10-е сут прорастивания: А — обработка НаноАХЗ, проростки ($k = 7,68$), Б — АХЗ, проростки ($k = 7,42$), В — НаноАХЗ, корни ($k = 14,74$), Г — АХЗ, корни ($k = 14,66$), Д — Хитозан исходный, проростки ($k = 8,00$), Е — НаноХЗ, проростки ($k = 8,16$), Ж — Хитозан исходный, корни ($k = 15,01$), З — НаноХЗ, корни ($k = 15,07$), И — Купрумхит, проростки ($k = 7,46$), К — ПМК $\text{Cu}^{2+}:\text{Ag}$ 8:2, проростки ($k = 7,92$), Л — Купрумхит, корни ($k = 14,58$), М — ПМК $\text{Cu}^{2+}:\text{Ag}$ 8:2, корни ($k = 14,98$) (лабораторный опыт, 2018-2020 годы). Описание препаратов и схему опыта см. в разделе «Методика».

Всхожесть семян хлопчатника сорта Андижан- 36, обработанных препаратами НаноХЗ, ПМК $\text{Cu}^{2+}:\text{Ag}$ 8:2, ПМК $\text{Cu}^{2+}:\text{Ag}$ 7:3, Хитозан исходный оказалась выше контроля соответственно на 15,3; 15,1; 13,6 и 13,0 % и превышала значения, полученные в варианте с эталоном УЗХИТАН, на 11,9; 11,7; 10,2 и 9,6 %. Наилучшие показатели по росту и развитию были зафиксированы при обработке ПМК $\text{Cu}^{2+}:\text{Ag}$ 8:2, ПМК $\text{Cu}^{2+}:\text{Ag}$ 7:3 и НаноАХЗ 0,5 %: высота растений на 1 сентября превышала контроль на 7,4; 8,0; 7,7 см, число симподиальных ветвей — на 1,5; 1,2; 0,6 шт., число коробочек — на 2,4; 1,8; 2,5 шт.

Прогноз урожайности, проведенный 1 сентября, показал, что препараты ПМК $\text{Cu}^{2+}:\text{Ag}$ 8:2 и ПМК $\text{Cu}^{2+}:\text{Ag}$ 7:3 имели преимущество по сравнению с контролем: урожайность в этих вариантах была выше соответственно на 4,8 и 5,2 ц/га. Также установлено, что на урожайность хлопко-сырца большее влияние оказывает обработка семян нанополимерными препаратами, чем полимерными (табл. 2). Практически во всех варианты, где семена были обработаны нанополимерными препаратами, урожайность оказалась выше, чем в контроле и при обработке эталоном. Например, в варианте с ПМК $\text{Cu}^{2+}:\text{Ag}$ 8:2 урожайность превышала контроль на 4,0 ц/га, эталон Далброн — на 3,3 ц/га, эталон УЗХИТАН — на 1,6 ц/га. При этом следует отметить, что тенденция к более высокой урожайности наблюдалась с первого учета, что указывает на более раннее созревание хлопко-сырца при обработке семян нанополимерными препаратами.

По пробным образцам были определены хозяйственно ценные признаки хлопко-сырца. Выход волокна, масса хлопко-сырца одной коробочки и длина волокна соответствовали авторскому описанию сортов. Широкого разброса в показателях между вариантами опыта мы не наблюдали (данные не представлены), то есть нанополимерные препараты не влияли на хозяйственно ценные качества растений, но оказывали положительное действие на общий урожай.

Наши результаты согласуются с данными, полученными зарубежными авторами.

Так, M. Wang с соавт. (33) применяли протравливание семян четырех сортов пшеницы (орошаемых и богарных) олигосахаридами хитозана (COS) и внекорневое опрыскивание ими на разных стадиях роста растений. У сортов орошаемой пшеницы число зерен в колосе значительно увеличилось при протравливании семян, а число колосков — при опрыскивании на стадии кущения и колошения. COS существенно повлиял на урожай зерна у всех орошаемых сортов, в то время как значительного влияния олигосахаридов хитозана на богарные сорта не наблюдали (33).

D.-F. Zeng с соавт. (34) использовали новый препарат на основе хитозана для обработки семян сои на основе карбоксиметилхитозана в качестве основного компонента, дополненного микроэлементами и регуляторами роста. Показано, что урожайность семян сои, обработанных этим препаратом, увеличилась на 17,95 %. Препарат обладал превосходным антифидантным эффектом.

2. Урожайность и хозяйственно ценные признаки хлопка-сырца сорта Андижан-36 при обработке семян нанополимерными и полимерными препаратами ($N = 4$, экспериментальное хозяйство НИИССАВХ, Республика Узбекистан, 2018-2020 годы)

Вариант	Число сохранившихся растений на 1 га	Урожайность, ц/га					Хозяйственно ценные признаки					
		01.10	15.10	01.11	общая	± к контролю	выход волокна, %	± к контролю	масса 1 ко-робочки, г	± к контролю	длина волокна, мм	± к контролю
Контроль (без обработки)	66,7±0,2	27,3±0,4	6,4±0,2	3,4±0,2	37,1±0,4	0	38,5±0,4	0	5,65±0,06	0	34,8	0
Далброн (эталон)	71,2±0,3	28,1±0,5	6,2±0,2	3,5±0,3	37,8±0,3	+0,7	38,6±0,5	+0,1	5,76±0,06	+0,11	34,7±0,3	-0,1
УЗХИТАН (эталон)	73,4±0,3	29,4±0,4	6,5±0,3	2,7±0,2	38,6±0,4	+1,5	38,5±0,4	0	5,72±0,07	+0,07	34,8±0,3	0
АХЗ	74,3±0,3	29,7±0,5	5,9±0,3	2,9±0,3	38,5±0,3	+1,4	38,4±0,3	-0,1	5,76±0,06	+0,11	34,9±0,2	+0,1
ПМК Cu ²⁺ :Ag 7:3	76,6±0,3	32,1±0,5	6,1±0,2	2,6±0,3	40,8±0,3	+3,7	38,7±0,4	+0,2	5,83±0,10	+0,18	35,0±0,3	+0,2
ПМК Cu ²⁺ :Ag 8:2	77,1±0,4	33,4±0,5	5,8±0,3	1,9±0,2	41,1±0,3	+4,0	38,7±0,5	+0,2	5,84±0,07	+0,29	35,0±0,3	+0,2
Хитозан исходный	72,4±0,4	29,3±0,4	5,5±0,2	3,3±0,3	38,1±0,4	+1,0	38,5±0,4	0	5,87±0,06	+0,22	34,8±0,2	0
Нанохитозан	75,5±0,2	32,2±0,4	5,2±0,3	2,1±0,2	39,5±0,4	+2,4	38,6±0,3	+0,1	5,71±0,05	+0,06	34,9±0,3	+0,1
НаноАХЗ 0,5 %	76,8±0,3	32,9±0,3	5,8±0,3	1,8±0,3	40,5±0,4	+3,4	38,6±0,4	+0,1	5,83±0,07	+0,18	34,9±0,2	+0,1
НСР ₀₅ = 2,34 ц/га												

П р и м е ч а н и е. Описание препаратов и схему опыта см. в разделе «Методика».

Таким образом, семена хлопчатника сорта Андижан 36, которые были обработаны нанопрепаратами ПМК (полимер металлокомплекс) $\text{Cu}^{2+}:\text{Ag}$ 7:3, ПМК $\text{Cu}^{2+}:\text{Ag}$ 8:2 и НаноАХЗ 0,5 %, 4:1 имели высокую лабораторную всхожесть и превосходили контроль на 4-5 % и эталон Далброн на 2-3 %. Их высокая биологическая активностью на первом этапе прорастания семян также способствовала увеличению длины надземной и подземной частей проростков, активировала процессы роста и развития растений. В полевых опытах растения из семян, обработанных нанопрепаратами ПМК $\text{Cu}^{2+}:\text{Ag}$ 8:2 и ПМК $\text{Cu}^{2+}:\text{Ag}$ 7:3, опережали по урожайности контрольный вариант соответственно на 4,0 и 3,7 ц/га, эталон Далброн — на 3,3 и 3,0 ц/га. При этом тенденция к более высокой урожайности наблюдалась с первого учета. Следовательно, для капсулирования семян хлопчатника можно использовать нанополимерные препараты ПМК $\text{Cu}^{2+}:\text{Ag}$ 7:3, ПМК $\text{Cu}^{2+}:\text{Ag}$ 8:2, которые рекомендуются для всех регионов Республики Узбекистан.

¹Научно-исследовательский институт
селекции, семеноводства и агротехнологии
выращивания хлопка,

111218 Республика Узбекистан, Ташкентская обл., Кибрайский р-н,
ул. Университетская-1,

e-mail: etoile111@yandex.ru ✉, amanturdievshavkat@mail.ru,

sh.sharipov1972@mail.ru, mukhammadmnm@mail.ru,

²Ташкентский государственный аграрный университет,

100140 Республика Узбекистан, Ташкентская обл., Кибрайский р-н,

ул. Университетская-2,

e-mail: yakubov.m.m@mail.ru

Поступила в редакцию
26 апреля 2022 года

Sel'skokhozyaistvennaya biologiya [Agricultural Biology], 2022, V. 57, № 5, pp. 1010-1020

INFLUENCE OF NANOPREPARATIONS ON LABORATORY SEED GERMINATION, GROWTH, DEVELOPMENT AND YIELD OF COTTON (*Gossypium hirsutum* L.)

D.K. Rashidova¹ ✉, Sh.B. Amanturdiev¹, Sh.T. Sharipov¹, N.M. Mamedov¹, M.M. Yakubov²

¹Cotton Breeding, Seed Production and Agrotechnologies Research Institute, 1 University street, Salar town, Kibray district, Tashkent region, Republic of Uzbekistan 111218, e-mail etoile111@yandex.ru (✉ corresponding author), amanturdievshavkat@mail.ru, sh.sharipov1972@mail.ru, mukhammadmnm@mail.ru;

²Tashkent State Agrarian University, Tashkent region, Kibray district, Universitet street 2-house, Republic of Uzbekistan 100140, e-mail yakubov.m.m@mail.ru

ORCID:

Rashidova D.K. orcid.org/0000-0001-5174-9730

Amanturdiev Sh.B. orcid.org/0000-0002-7347-267X

Sharipov Sh.T. orcid.org/0000-0001-5109-2345

The authors declare no conflict of interests

Received April 26, 2022

Mamedov N.M. orcid.org/0000-0001-7140-6356

Yakubov M.M. orcid.org/0000-0002-6948-028X

doi: 10.15389/agrobiology.2022.5.1010eng

Abstract

Currently, an important role is given to technologies based on a wide range of environmentally friendly plant protection products. The nanopolymer bioactive preparations based on chitosan from the silkworm (*Bombyx mori* Linnaeus, 1758) pupae with fungicidal and bactericidal properties are well suited for pre-sowing treatment of crop seeds. Here, for the first time, it was revealed that the seed treatment with nanopolymer preparations containing copper and silver ions accelerates the growth and development of seedlings and increases the yield of cotton cultivar Andijan 36. Our aim was to evaluate the effect of biologically active nanopolymer complexes based on chitosan and its derivatives on the morphophysiological and sowing parameters of seeds, the economically valuable qualities of raw cotton, and the yield of cotton in lab tests and under field conditions (the Research Institute of Selection, Seed Production and Agro-Technology of Cotton Growing, 2018-2020). In the experiments, we used nanopolymeric preparations PMC (polymer-metal complex) $\text{Cu}^{2+}:\text{Ag}$ 7:3, PMC $\text{Cu}^{2+}:\text{Ag}$ 8:2, Nano-chitosan (NanoChS, 0.5 %, 90 kDa), Nanoascorbic acid (NanoAChS, 0.5 %, chitosan:ascorbic acid 4:1) and polymer preparations Chitosan initial 0.5 %, Kuprimhit 0.5 %, Ascorbatchitosan (AChS). Preparations UZKHITAN (Institute of Chemistry and Physics of Polymers of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan) and Dalbron (Dalston associated SA, Panama) served as standards, seeds

without processing served as control. Seeds ($n = 36$) of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) cultivar Andijan 36 were soaked in preparations (at the rate of 20 l/t seeds) at least 3-4 days before sowing. In each variant of the experiment, 6 kg of cotton seeds were treated. In lab tests, the seeds were germinated in sand at 25 °C and a 60-65 % air humidity. Germination energy was determined on day 4, germination on day 12. The length of the aboveground and underground parts of the seedlings was measured on days 3, 5, 7, 9, and 10. Field experiments were carried out at the experimental farm of NIISAVKh (Tashkent region, Kibray district, Salar settlement). The emergence of seedlings was registered, field germination was assessed, and phenological observations were made over the plant growth and development period from June 1 to September 1. To assess the economically valuable characteristics of raw cotton (fiber yield, weight per box, fiber length), test samples were collected before harvesting. Yields were recorded on September 15, October 1, October 15, and November 1. In lab tests, the seeds treated with PMC Cu²⁺:Ag 8:2, NanoAChS 0.5 %, 4:1 or PMC Cu²⁺:Ag 7:3 had the best germination rate, the 96.0, 96.0, and 97.0 %, respectively, that exceeded the control by 4.0-5.0 % and the Dalbron standard by 2.0-3.0 %. The aboveground part of the seedlings with NanoAChS treatment turned out to be 0.6-4.6 mm longer than that with AChS, the underground part was 0.1-2.1 mm longer. The differences between NanoChS and Chitosan were 0.3-2.1 mm and 0.8-2.3 mm, respectively, between PMC Cu²⁺:Ag 8:2 and Kuprumhit — 0.3-4.1 mm and 0.1-2.7 mm. On days 3, 5, 7, 9, and 10, plants from seeds treated with nanopolymer preparations outperformed those treated with polymer preparations. PMC Cu²⁺:Ag 8:2, NanoAChS and NanoChS had a more pronounced effect on seed germination and length of the aboveground and underground parts of the seedlings than their polymer counterparts. In field tests, the best indicators of growth and development were recorded for PMC Cu²⁺:Ag 8:2, PMC Cu²⁺:Ag 7:3, and NanoAChS 0.5 %, specifically, the plant height on September 1 exceeded the control by 7.4; 8.0; 7.7 cm, the number of sympodial branches by 1.5; 1.2; 0.6 pcs, the number of boxes by 2.4; 1.8; 2.5 pcs. Also, upon seed treatments with PMC Cu²⁺:Ag 8:2 and PMC Cu²⁺:Ag 7:3, the cotton yields exceeded the control by 4.0 and 3.7 c/ha, respectively, and the Dalbron standard by 3.3 and 3.0 c/ha. A trend towards higher yields was observed from the first crop count. Therefore, nanopolymeric preparations PMC Cu²⁺:Ag 7:3 and PMC Cu²⁺:Ag 8:2 can be used for cotton seed encapsulation.

Keywords: *Gossypium hirsutum* L., cotton, seeds, variety, nanopreparations, germination, seedling length, phenological observation, growth, development, raw cotton, yield.

REFERENCES

1. Rai M., Ingle A. Role of nanotechnology in agriculture with special reference to management of insect pests. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 2012, 94(2): 287-293 (doi: 10.1007/s00253-012-3969-4).
2. Ghormade V., Deshpande M.V., Paknikar K.M. Perspectives for nano-biotechnology enabled protection and nutrition of plants. *Biotechnology Advances*, 2011, 29(6): 792-803 (doi: 10.1016/j.biotechadv.2011.06.007).
3. Amanturdiyev Sh.B. *Deystvie nanopreparatov na osnove khitozana i ego proizvodnykh na morfologicheskoe pokazateli i posevnye kachestva semyan sel'skokhozyaystvennykh kul'tur (khopchatnik, pshentina, soya). Doktorskaya dissertatsiya* [The effect of nanopreparations based on chitosan and its derivatives on morphophysiological parameters and sowing qualities of seeds of agricultural crops (cotton, wheat, soybeans). DSc Thesis]. Tashkent, 2021 (in Russ.).
4. Lee S., Kim S., Kim S., Lee I. Effects of soil-plant interactive system on response to exposure to ZnO nanoparticles. *J. Microbiol. Biotechnol.*, 2012, 22(9): 1264-1270 (doi: 10.4014/jmb.1203.03004).
5. Ge Y., Priester J.H., Van De Werfhorst L.C., Schimel J.P., Holden P.A. Potential mechanisms and environmental controls of TiO₂ nanoparticle effects on soil bacterial communities. *Environ. Sci. Technol.*, 2013, 47(24): 14411-14417 (doi: 10.1021/es403385c).
6. Ghormade V., Deshpande M.V., Paknikar K.M. Perspectives for nano-biotechnology enabled protection and nutrition of plants. *Biotechnology Advances*, 2011, 29(6): 792-803 (doi: 10.1016/j.biotechadv.2011.06.007).
7. Johansen A., Pedersen A.L., Jensen K.A., Karlson U., Hansen B.M., Scott-Fordsmand J.J., Winding A. Effects of C60 fullerene nanoparticles on soil bacteria and protozoans. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 2008, 27(9): 1895-1903 (doi: 10.1897/07-375.1).
8. Nowack B., Ranville J.F., Diamond S., Gallego-Urrea J.A., Metcalfe C., Rose J., Horne N., Koelmans A.A., Klaine S.J. Potential scenarios for nanomaterial release and subsequent alteration in the environment. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 2012, 31(1): 50-59 (doi: 10.1002/etc.726).
9. Priester J.H., Ge Y., Chang V., Stoimenov P.K., Schimel J.P., Stucky G.D., Holden P.A. Assessing interactions of hydrophilic nanoscale TiO₂ with soil water. *Nanopart. Res.*, 2013, 15(9): 1899-1893 (doi: 10.1007/s11051-013-1899-4).
10. Tong Z., Bischoff M., Nies L., Applegate B., Turco R.F. Impact of fullerene (C60) on a soil microbial community. *Environ. Sci. Technol.*, 2007, 41(8): 2985-2991 (doi: 10.1021/es061953i).
11. Akinshina N., Rashidova D.K., Azizov A.A. Seed encapsulation in chitosan and its derivatives restores levels of chlorophyll and photosynthesis in wilt-affected cotton (*Gossypium* L., 1753) plants. *Sel'skokhozyaystvennaya Biologiya, [Agricultural Biology]*, 2016, 51(5): 696-704 (doi:

- 10.15389/agrobiology.2016.5.696eng).
12. Dananjaya S.H.S., Erandani W.K.C.U., Kim C.-H., Nikapitiya C., Lee J., De Zoysa M. Comparative study on antifungal activities of chitosan nanoparticles and chitosan silver nano composites against *Fusarium oxysporum* species complex. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2017, 105(1): 478-488 (doi: 10.1016/j.ijbiomac.2017.07.056).
 13. Ilk S., Sağlam N., Özgen M., Korkusuz F. Chitosan nanoparticles enhances the anti-quorum sensing activity of kaempferol. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2017, 94(A): 653-662 (doi: 10.1016/j.ijbiomac.2016.10.068).
 14. Liang R., Li X., Yuan W., Jin S., Hou S., Wang M., Wang H. Anti-fungal activity of nanochitin whisker against crown rot diseases of wheat. *J. Agric. Food Chem.*, 2018, 66(38): 9907-9913 (doi: 10.1021/acs.jafc.8b02718).
 15. Nakasato D.Y., Pereira A.E.S., Oliveira J.L., Oliveira H.C., Fraceto L.F. Evaluation of the effects of polymeric chitosan/tripolyphosphate and solid lipid nanoparticles on germination of *Zea mays*, *Brassica rapa* and *Pisum sativum*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2017, 142: 369-374 (doi: 10.1016/j.ecoenv.2017.04.033).
 16. Shajahan A., Shankar S., Sathiyaseelan A., Narayan K.S., Narayanan V., Kaviyarasan V., Ignacimuthu S. Comparative studies of chitosan and its nanoparticles for the adsorption efficiency of various dyes. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2017, 104(B): 1449-1458 (doi: 10.1016/j.ijbiomac.2017.05.128).
 17. Stauber R.H., Siemer S., Becker S., Ding G.B., Strieth S., Knauer S.K. Small meets smaller: effects of nanomaterials on microbial biology, pathology and ecology. *ACS Nano*, 2018, 12(7): 6351-6359 (doi: 10.1021/acsnano.8b03241).
 18. Divya K., Jisha M.S. Chitosan nanoparticles preparation and applications. *Environ. Chem. Lett.*, 2018, 16: 101-112 (doi: 10.1007/s10311-017-0670-y).
 19. Nguyen V.S., Dinh M.H., Nguyen A.D. Study on chitosan nanoparticles on biophysical characteristics and growth of Robusta coffee in green house. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 2013, 2(4): 289-294 (doi: 10.1016/j.bcab.2013.06.001).
 20. Li R., He J., Xie H., Wang W., Bose S.K., Sun Y., Hu J., Yin H. Effects of chitosan nanoparticles on seed germination and seedling growth of wheat (*Triticum aestivum* L.). *International Journal of Biological Macromolecules*, 2019, 126: 91-100 (doi: 10.1016/j.ijbiomac.2018.12.118).
 21. Rashidova S.Sh., Milusheva R.Yu. *Khitin i khitozan Bombyx mori. Sintez, svoystva i primeneniye* [Chitin and chitosan of *Bombyx mori*. Synthesis, properties and applications]. Tashkent, 2009 (in Russ.).
 22. *Metodika Dala tazhribalarini yrganish uslublari*. Toshkent, 2014 (in Uzbek).
 23. *O'zDSt 663:2017 Semena khlopchatnika posevnye. Tekhnicheskies usloviya* [O'zDSt 663:2017 Cotton seeds for sowing. Specifications]. Tashkent, 2017 (in Russ.).
 24. *O'zDSt 1080:2013 Khlopok syrets semennoy i semena khlopchatnika posevnye: metody otbora prob* [O'zDSt 1080:2013 Cotton seed material and cotton seeds for sowing: sampling methods]. Tashkent, 2013 (in Russ.).
 25. *O'zDSt 1128:2013 Semena khlopchatnika posevnye. Metody opredeleniya vskhozhesti* [O'zDSt 1128:2013 Cotton seeds for sowing. Germination assessment methods]. Tashkent, 2013 (in Russ.).
 26. Dospikhov B.A. *Metodika polevogo opyta* [Methods of field trials]. Moscow, 1985 (in Russ.).
 27. Zel'dovich Ya.B., Myshkis A.D. *Elementy prikladnoy matematiki* [Elements of applied mathematics]. Moscow, 1972 (in Russ.).
 28. Azura M.S.N., Zamri I., Rashid M.R., Shahrin G.M., Rafidah A.R., Rejab I.M., Azima A., Suria M.S., Amyita W.U. Evaluation of nanoparticles for promoting seed germination and growth rate in MR263 and MR269 paddy seeds. *Journal of Tropical Agriculture and Food Science*, 2017, 45(1): 13-24.
 29. Vokhidova N.R., Pirniyazov K.K., Yunusov M.Yu., Milusheva R.Yu., Rashidova S.Sh. Synthesis and some physical and chemical properties of metal complexes of the *Bombyx mori* chitosan. *13th School-Conference for 7 Young Scientists «Current Topics in Organic Chemistry»*. Novosibirsk, 2010: 94.
 30. Polishchuk S.D., Nazarova A.A., Stepanova I.A., Kutskir M.V., Churilov D.G. *Nanotekhnika*, 2014, 1(37): 72-81 (in Russ.).
 31. Karimovna R., Balkibaevich A., Rashidova S. Efficiency of nanopolymer application on the growth, development and yield of soybean. *Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences*, 2020, 8(6): 799-809 (doi: 10.18006/2020.8(6).799.809).
 32. Saharan V., Kumaraswamy R.V., Choudhary R.C., Kumari S., Pal A., Raliya R., Biswas P. Cu-chitosan nanoparticle mediated sustainable approach to enhance seedling growth in maize by mobilizing reserved food. *J. Agric. Food Chem.*, 2016, 64(31): 6148-55 (doi: 10.1021/acs.jafc.6b02239).
 33. Wang M., Chen Y., Zhang R., Wang W., Zhao X., Du Y., Yin H. Effects of chitosan oligosaccharides on the yield components and production quality of different wheat cultivars (*Triticum aestivum* L.) in Northwest China. *Field Crops Research*, 2015, 172: 11-20 (doi: 10.1016/j.fcr.2014.12.007).
 34. Zeng D.-F., Zhang L. A novel environmentally friendly soybean seed-coating agent. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science*, 2010 60(6): 545-551 (doi: 10.1080/09064710903334256).