

УДК: 539.23+691.175.2

К. С. Гилевская, канд. хим. наук, доц., вед. науч. сотр.,
В. В. Николайчук, асп., науч. сотр. (ИХНМ НАН Беларуси, г. Минск);
О. А. Иванов, канд. биол. наук, вед. науч. сотр.,
С. Н. Полянская, канд. биол. наук, вед. науч. сотр.,
(ИЭБ НАН Беларуси, г. Минск)

СИНТЕЗ, СВОЙСТВА И АНТИФУНГАЛЬНАЯ АКТИВНОСТЬ НАНОКОМПОЗИТОВ ХИТОЗАН-СЕРЕБРО

В сфере сельского хозяйства и растениеводства борьба с фитопатогенами является важнейшим аспектом обеспечения высокой урожайности сельскохозяйственных культур и устойчивого производства продуктов питания. Фитопатогены, включая грибы, бактерии и вирусы, представляют собой существенную угрозу здоровью растений, что приводит к серьезным экономическим и экологическим последствиям [1]. Актуальными остаются разработка биологических препаратов полифункционального действия, обладающих защитным, ростостимулирующим, иммуномодулирующим действием и способствующих оздоровлению агробиоценозов и сохранению их биологического разнообразия, а также разработка и внедрение в производство технологий защиты растений на основе иммуномодулирующих препаратов, содержащих биогенные и экзогенные элиситоры. Принимая во внимание определяющее значение химического метода защиты сельскохозяйственных культур от вредителей, болезней и сорняков и необходимость достижения достаточного уровня экологической безопасности в агроэкосистемах, необходим поиск новых действующих веществ для создания селективных препаратов и снижения пестицидной нагрузки в системах рационального применения химических средств защиты растений.

Цель работы – синтез наноконпозитов на основе полисахаридов и наночастиц серебра и скрининг их антифунгальной активности в отношении распространенных фитопатогенных грибов основных сельскохозяйственных культур для выявления составов-лидеров, пригодных для создания нового класса экобезопасных препаратов для растениеводства.

Гидротермальным методом [2] синтезированы наноконпозиты хитозан- Ag^0 на основе низкомолекулярного биополимера различных производителей (Glentham Life Sciences/Великобритания и Macklin/Китай). В процессе синтеза варьировали концентрацию нитрата серебра (массовое соотношение полимер/ Ag^+) от 20 до 300 мМ (от 10:1 до 100:1).

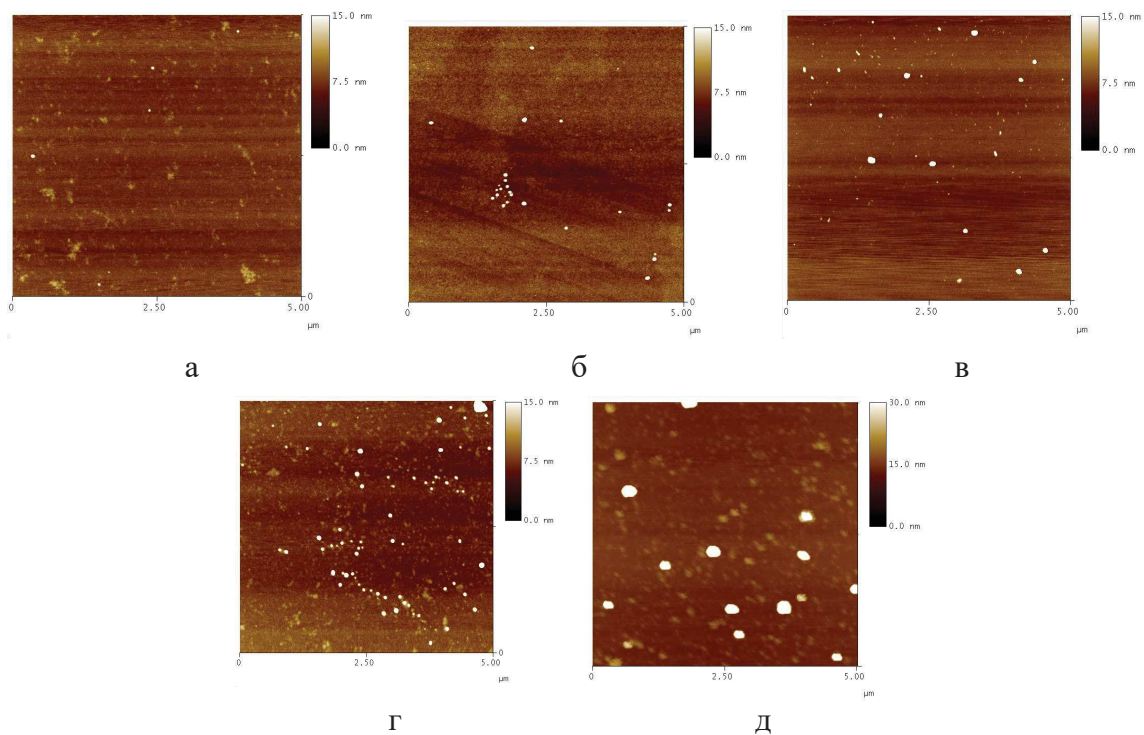
Степень восстановления катионов серебра в полученных образцах составила от $26,2 \pm 0,2$ % до $97,1 \pm 2,5$ %, размер кристаллитов Ag^0 – от 12 до 23 нм. Синтезированные образцы нанокompозитов (НК) хитозан-серебро имеют различную массовую долю Ag^0 (от $4,4 \pm 2,8$ до $56,7 \pm 24,4$ масс.%) и надмолекулярную структуру. Согласно данным АСМ частицы синтезированных нанокompозитов имеют округлую форму и размер менее 50 нм (рис. 1).

Концентрация адсорбированных частиц на подложке увеличивается с увеличением доли Ag^0 в композитах. При концентрации нитрата серебра 20 мМ, регистрируются единичные частицы, размер которых составляет 10-15 нм, и множество частиц менее 3,5 нм, которые можно отнести к зародышам и кластерам серебра. Концентрация частиц на поверхности подложки и их размер возрастают с увеличением доли серебра в нанокompозитах. С увеличением концентрации серебра в реакционной смеси от 20 до 300 мМ размер частиц возрастает от 3,5 до 37 нм (рис. 2).

Диаметр частиц, рассчитанный методом АСМ, превышает размеры кристаллитов Ag^0 , оцененные ранее методом РФА, в 1,9-2,3 раза. Исключением является образец Хит-Аg_80_АС_В, для которого размеры, рассчитанные методами АСМ и РФА совпадают. Различие в размерах обусловлено вкладом толщины полимерной оболочки хитозана в случае АСМ анализа. Подтверждением может стать дополнительное ПЭМ исследование образцов, так как в обоих случаях (АСМ и ПЭМ) пробоподготовка включает этап обезвоживания образца. Средние значения ширины хитозанового слоя на поверхности Ag^0 , рассчитанные на основании данных РФА и АСМ анализа, не превышают 10 нм.

Методом динамического светорассеивания показано, что гидрозоли нанокompозитов хитозан-серебро монодисперсны (значения индекса полидисперсности не превышают 0,32), имеют высокую коллоидную стабильность (значение дзета-потенциала - 47-59 мВ).

Установлены значения минимальной фунгицидной концентрации (МФК, мг/мл) нанокompозитов хитозан-Аg по отношению к фитопатогенным грибам (*Fusarium sp.*, *Harzia sp.*, *Bipolaris sorokiniana* и др.). Значения МФК находятся в диапазоне от 1,2 до 15,0 мг/мл и зависят от типа НК и вида фитопатогенного гриба. Также проведена оценка *in vitro* ингибирования прорастания и развития спор фитопатогенных грибов синтезированными НК. Определены составы-лидеры, обеспечивающие наиболее эффективное ингибирующее действие на прорастание спор: значение МИК составляет 1,2-2,4 мг/мл.



Хит-Ag_20_AC_B (а), Хит-Ag_80_AC_B (б), Хит-Ag_140_AC_B (в),
Хит-Ag_200_AC_B (г), Хит-Ag_300_AC_B (д)

Рисунок 1 – АСМ изображения нанокompозитов

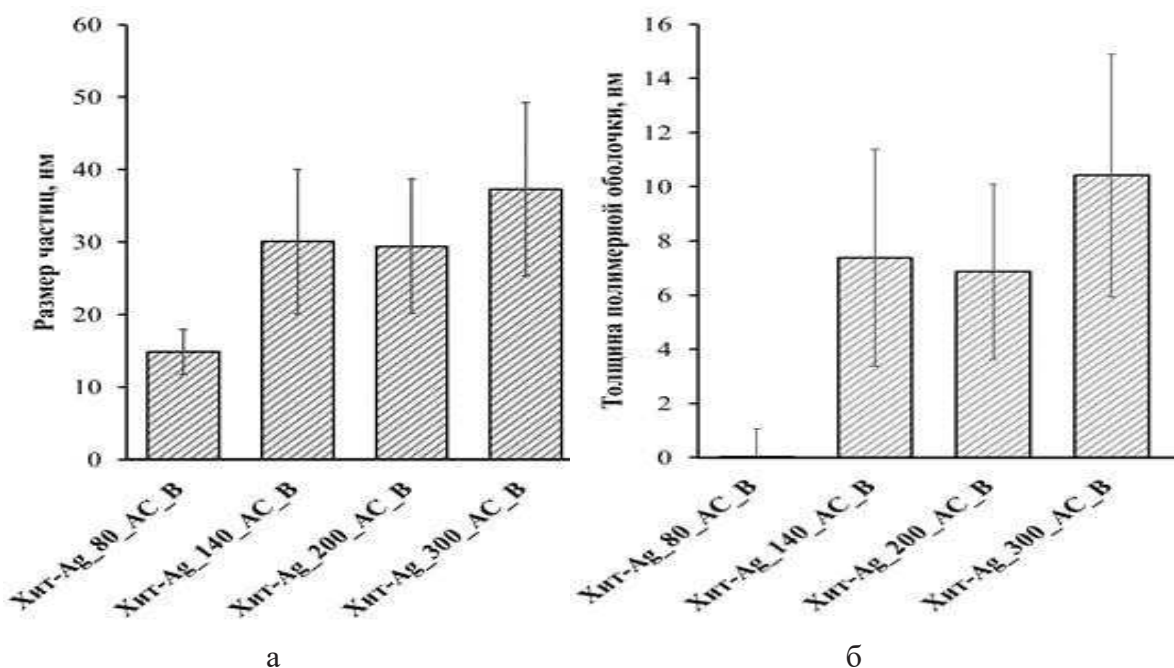


Рисунок 2 – Размер частиц по данным АСМ (а) и толщина полимерной оболочки (б) нанокompозитов

Исследование выполнено при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (договор № X25МНГ-001).

ЛИТЕРАТУРА

1. Chitosan nanocomposites as a nano-bio tool in phytopathogen control / Sh. Bhatt, R. Pathak, V. D. Punetha [et al.] // Carbohydrate Polymers. – 2024. – Vol. 331 – P. 121858.

2. New insights into chitosan-Ag nanocomposites synthesis: Physicochemical aspects of formation, structure-bioactivity relationship and mechanism of antioxidant activity / K. Hileuskaya, A. Kraskouski, A. Ihnatsyeyu-Kachan [et al.] // International Journal of Biological Macromolecules. – Vol. 300, – 2025. – P. 40077.

УДК: 539.23+691.175.2

В. В. Николайчук, асп., науч. сотр.,
В. И. Куликовская, канд. хим. наук, доц.
(ИХНМ НАН Беларуси, г. Минск)

СТРУКТУРИРОВАННЫЕ МАТРИЦЫ НА ОСНОВЕ СЕРЕБРОСОДЕРЖАЩИХ ИНТЕРПОЛИЭЛЕКТРОЛИТНЫХ КОМПЛЕКСОВ: ПОЛУЧЕНИЕ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Интерполиэлектродитные комплексы (ИПЭК) на основе полисахаридов и наноконпозитов полисахарид-серебро являются перспективными для создания медицинских препаратов и изделий (антибактериальных покрытий, скаффолдов, мембран, гидрогелей и т.д.) благодаря их выраженным антимикробным и противовоспалительным свойствам [1, 2].

Целью работы являлось получение структурированных матриц ИПЭК на основе наноконпозита хитозан-Ag (Хит-Ag) с пектином (Пект), окисленным пектином (Пект-8) и наноконпозитом пектин-Ag (Пект-Ag), изучение их морфологических и физико-химических характеристик, а также деградации в растворе, моделирующем среду хронических ран.

Структурированные матрицы на основе положительно, отрицательно и нейтрально заряженных ИПЭК получали методом криоструктурирования путем лиофильной сушки. Морфологию поверхности изучали с помощью сканирующей электронной микроскопии. По стандартным методикам оценивали пористость, плотность, влагоудержание и степень набухания образцов. Деградацию матриц на основе ИПЭК изучали *in vitro* в фосфатно-солевом буфере Дульбекко (рН 7,4) при температуре $36,5 \pm 0,5^\circ\text{C}$ в течение 7 суток, моделирующем среду хронических ран.