



**ВЛИЯНИЕ НА ПРОРАСТАНИЕ СЕМЯН И ФУНГИЦИДНАЯ АКТИВНОСТЬ
НАНОКОМПОЗИТОВ ПЕКТИН-СЕРЕБРО ПРОТИВ ВОЗБУДИТЕЛЕЙ
ПЯТНИСТОСТЕЙ ЯЧМЕНЯ В МОДЕЛЬНОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ**

Ж.Н.Калацкая¹, Е.Л.Недведь¹, Е.И.Рыбинская¹, К.М.Герасимович¹,
Л.А.Корытько¹, К.С.Гилевская², А.Н.Красковский², Л.Г.Яруллина³

¹Институт экспериментальной ботаники НАН Беларуси,
Республика Беларусь, 220072 Минск, ул. Академическая, 27; E-mail: kalatskayaj@mail.ru

²Институт химии новых материалов НАН Беларуси,
Республика Беларусь, 220141, Минск, ул. Ф. Скорины, 36

³Институт биохимии и генетики Уфимского федерального исследовательского центра
Российской академии наук, Россия, 450054, Уфа, пр-т. Октября, 71

Резюме

Получены наноконпозиты пектин-серебро (Ag) в массовом соотношении 10:1 или 25:1 путём химического восстановления нитрата серебра пектинами видов Citrus и Classic с молекулярной массой 141 и 89 кДа и степенью этерификации 80 и 38% соответственно. Определяли всхожесть семян ячменя, биометрические параметры семидневных проростков и фунгицидное действие наноконпозитов в исходной концентрации и в разведении 10, 50 и 100 раз. Развитие инфекционного процесса на трети (начало болезни) и шестые сутки (интенсивное развитие болезни) оценивали на помещенных в исследуемые растворы наноконпозитов отрезках листьев, заражённых суспензией конидий (3-5 тыс/мл) возбудителей сетчатой и темно-бурой пятнистостей ячменя (*Pyrenophora teres* и *Bipolaris sorokiniana*). Обработки семян наноконпозитами не вызвали значимого влияния на всхожесть семян. При использовании наноконпозита пектин Citrus-Ag в соотношении 10:1 увеличилась длина и масса проростков, пектин Classic-Ag (10:1) неразбавленный и разведенный в 10 раз способствовал увеличению длины побегов. Наноконпозиты в соотношении 25:1 во всех концентрациях в разной степени вызвали увеличение длины и массы побегов проростков. На шестые сутки инфекционного процесса в вариантах с применением наноконпозитов пектин-серебро 10:1 в исходных концентрациях и при разведении в 10 раз площадь некротических повреждений листовых отрезков по сравнению с контролем уменьшилась практически в 2 раза. Содержание фотосинтетических пигментов в отрезках листьев ячменя оставалось выше, чем у инфицированного контроля в 1,8 - 2 раза. Инкубация на растворах наноконпозитов пектин-серебро 10:1 приводила к снижению интенсивности окислительных процессов, вызванных некротрофными патогенами, на начальном этапе развития болезни, что способствовало замедлению некрообразования и сохранению жизнеспособности отрезков ячменя в модельном эксперименте.

Ключевые слова: наноконпозиты пектин-серебро, фунгицидное действие, *Pyrenophora teres*, *Bipolaris sorokiniana*, проростки ячменя, всхожесть, продукты ПОЛ, пероксид водорода, фенольные соединения

Цитирование: Калацкая Ж.Н., Недведь Е.Л., Рыбинская Е.И., Герасимович К.М., Корытько Л.А., Гилевская К.С., Красковский А.Н., Яруллина Л.Г. Влияние на прорастание семян и фунгицидная активность наноконпозитов пектин-серебро против возбудителей пятнистостей ячменя в модельном эксперименте // *Biomics*. 2022. Т.14(4). С. 329-335. DOI: 10.31301/2221-6197.bmcs.2022-33

© Авторы

EFFECT OF SEED GERMINATION AND FUNGICIDAL ACTIVITY OF PECTIN-SILVER NANOCOMPOSITES AGAINST THE BARLEY NET AND SPOT BLOTCHES IN A MODEL EXPERIMENT

J.N.Kalatskaja¹, H.L.Nedved¹, E.I.Rybinskaya¹, K.M.Herasimovich¹,
L.A.Karytsko¹, K.S.Hileuskaya², A.N.Kraskouski², L.G.Yarullina³

¹ Institute of Experimental Botany NAS of Belarus,

Republic of Belarus, 220072, Minsk, 27 Academicheskaya str., E-mail: kalatskayaj@mail.ru

² Institute of Chemistry of New Materials NAS of Belarus, Republic of Belarus, 220141, Minsk, 36 Skariny str.

³ Institute of Biochemistry and Genetics of the Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, 71 Oktyabrya Av., 450054 Ufa, Russia

Resume

The pectin-silver (Ag) nanocomposites were obtained in a mass ratio of 10:1 or 25:1 by silver nitrate chemical reduction by Citrus and Classic pectins with molecular weights of 141 and 89 kDa and the degree of etherification of 80 and 38%, respectively. The barley seed germination, growth parameters of 7th day seedlings and the fungicidal effect of the initial concentration and dilutions of 10, 50 and 100 times were determined. The infection process on the 3rd (onset of the disease) and 6th days (intensive development of the disease) was evaluated on leaf segments placed in the studied nanocomposite solutions. They were inoculated by conidia suspension (3-5 thousand/ml) pathogens of net and dark brown spots of barley (*Pyrenophora teres* and *Bipolaris sorokiniana*). Seed treatments with nanocomposites did not cause a significant effect on seed germination. The nanocomposites Citrus-Ag pectin in a ratio of 10:1 increased the length and weight of seedlings, Classic-Ag pectin (10:1) undiluted and diluted 10 times increased the shoots length. The nanocomposites in a ratio of 25:1 in all concentrations caused an increase in the length and mass of seedling shoots. On the 6th day the necrotic damage area of leaf segments decreased almost 2 times in 10:1 pectin-silver nanocomposites at initial concentrations and diluted by 10 times compared to the control. During this period the photosynthetic pigments content in the barley leaf segments remained 1.8 - 2 times higher than in the infected control. Incubation on solutions of nanocomposites pectin-silver 10:1 led to a decrease in the oxidative processes' intensity caused by necrotrophic pathogens at the initial stage of disease development, that contributed to slowing necrosis and preserving the barley leaf segments viability in the model experiment.

Keywords: pectin-silver nanocomposites, fungicidal action, barley seedlings, germination, *Pyrenophora teres*, *Bipolaris sorokiniana*, lipid peroxidation, hydrogen peroxide, phenolic compounds

Citation: Kalatskaja J.N., Nedved H.L., Rybinskaya E.I., Herasimovich K.M., Karytsko L.A., Hileuskaya K.S., Kraskouski A.N., Yarullina L.G. Effect of seed germination and functional activity of pectin-silver nanocomposites against the barley net and spot blotches in a model experiment. *Biomics*. 2022. V.14(4). P. 329-335. DOI: 10.31301/2221-6197.bmcs.2022-33 (In Russian)

© **Authors**

Введение

В настоящее время актуальным остается поиск путей повышения экологической безопасности современных средств защиты, а также разработка альтернативных методов защиты растений от болезней. В последние годы в литературе все чаще упоминаются сведения о перспективах использования наночастиц оксида титана, серебра, цинка и меди для борьбы с возбудителями болезней растений [Elmer, 2018]. Наночастицы серебра (Ag) являются одним из

наиболее изученных наноматериалов и приобрели популярность благодаря своей биоцидной активности в отношении многих патогенных микроорганизмов [Siddiqi, Husen, 2018; Kraskouski, Hileuskaya, 2022]. Перспективным способом синтеза наночастиц серебра является химическое восстановление катионов Ag^+ полисахаридами. Использование восстановительного и стабилизирующего потенциала полисахаридов при синтезе наночастиц Ag позволяет получать коллоиды в водных средах без

использования токсичных восстановителей и растворителей, а также без дополнительного введения стабилизатора в реакционную смесь [Sharma, 2009]. Следует отметить, что синтезируемые таким способом нанокompозиты полисахарид-Ag являются биосовместимыми и могут обладать свойствами, присущими каждому из компонентов, в том числе возможна реализация синергетического действия.

Пектин - природный полисахарид, содержащийся в клеточной стенке растений, обладает рядом свойств, таких как нетоксичность, дешевизна, биоразлагаемость, биосовместимость и т.д. Имеющиеся карбоновая кислота и гидроксильные функциональные группы способны ковалентно связываться с другими молекулами. Основываясь на этих свойствах, пектин используется для покрытия металлических наночастиц, чтобы ингибировать их агрегацию и повышать функциональность. Пектин использовался в качестве восстановителя для синтеза нескольких наночастиц металлов, таких как золото, серебро, медь, кремний [Devasvaran, Lim., 2021; Nemiwal, Zhang, 2021; Tran Thi Y Nhi, Do Truong Thien, 2022]. Однако при исследовании действия наночастиц на растения в литературе приводятся противоречивые результаты [Sadak, 2019; Yan, Chen, 2019]

Целью данной работы являлось выяснение влияния новых нанокompозитов полисахарид-серебро на прорастание семян и первые этапы роста проростков ярового ячменя, а также их участия в подавлении развития инфекционного процесса, вызванного возбудителями сетчатой и темно-бурой пятнистостей ячменя в модельном опыте.

Результаты и обсуждение

Нанокompозиты пектин-Ag получали методом «зеленой химии» путем химического восстановления нитрата серебра пектинами. Использовали пектины Citrus и Classic с молекулярной массой 141 и 89 кДа и степенью этерификации 80 и 38 % соответственно. Реакцию проводили в водных растворах. К раствору пектина при перемешивании добавляли 10 мл раствора нитрата серебра (3,4 мг/мл), через 10 минут добавляли 3% NaOH. Реакционную смесь перемешивали в течение 24 часов и затем очищали от избытка щелочи диализом против дистиллированной воды. Реакцию проводили при массовом соотношении нитрат серебра:пектин равном 1:10 и 1:25, концентрация пектина в растворе составляла 3,4 и 8,5 мг/мл. Объектом исследований служили семена и проростки ячменя (*Hordeum vulgare* L.), сорт

Дивосны. Определяли всхожесть семян ячменя, помещенных на 3 часа в растворы нанокompозитов в исходной концентрации и в разведении 10, 50 и 100 раз, и биометрические параметры 7-дневных проростков. Для оценки фунгицидного действия нанокompозитов, растения ячменя выращивали в лабораторных условиях рулонным способом до 7-дневного возраста, отрезки листьев помещали в чашки Петри на исследуемые растворы нанокompозитов (10 мл) и заражали водной суспензией конидий (3-5 тыс/мл) возбудителей сетчатой и темно-бурой пятнистостей ячменя (*Pyrenophora teres* и *Bipolaris sorokiniana*, соответственно), в которую добавляли 1% Твин-80 для улучшения прилипания. Контролем служили инфицированные отрезки, инкубируемые на воде. Оценку инфекционного процесса проводили на третьи (начало болезни) и шестые (интенсивное развитие болезни в виде коричнево-бурых пятен и штрихов) сутки.

Обработка семян нанокompозитами на основе пектинов Classic и Citrus и массовом соотношении пектин: серебро 10:1 (образцы 3 и 4 соответственно с различным разведением) и 25:1 (образцы 5 и 6 соответственно с различным разведением) существенно не влияла на всхожесть, только в варианте 5/100 – всхожесть снижалась на 11%.

Нанокompозиты на основе пектинов Classic и Citrus и массовом соотношении пектин:серебро 10:1 (образцы 3 и 4 соответственно) способствовали увеличению длины корней по сравнению с контрольными растениями, причем с увеличением из разведения, стимулирующая способность нивелировалась. Масса корней возрастала на 18% в варианте с применением образца 4 (пектин Citrus–серебро 10:1) при разведении 10 раз, тогда как в остальных вариантах данный показатель оставался на уровне контроля или снижался. Регистрировали тенденцию увеличения длины и массы побега при обработке нанокompозитами пектин: серебро 10:1, с увеличением разведения их стимулирующая способность снижалась.

При использовании нанокompозитов на основе пектинов Classic и Citrus и массовом соотношении пектин:серебро 25:1 (образцы 5 и 6 соответственно) выявлена обратная тенденция – длина корней увеличивалась с уменьшением концентрации нанокompозитов в растворе. Масса корней значимо не изменялась. Во всех вариантах с применением нанокompозитов в массовом соотношении пектин:серебро 25:1 в той или иной степени отмечено увеличение длины и массы побегов проростков (таблица 1).

Таблица 1.

Биометрические показатели проростков ячменя, выращенных из обработанных нанокomпозитами пектин-серебро в соотношении 10:1 (образцы 3 и 4 в разведении 10, 50, 100 раз) и 25:1 (образцы 5 и 64 в разведении 10, 50, 100 раз) семян

Table 1. - Biometric indicators of barley seedlings grown from seeds treated pectin-silver nanocomposites 10:1 (samples 3 and 4 in 10, 50, 100 times dilution) and 25:1 (samples 5 and 6 in 10, 50, 100 times dilution)

Вариант опыта Experience option	Длина корней, см Roots length, cm	Масса корней, г Roots mass, g	Длина побега, см Shoots length, cm	Масса побега, г Shoots mass, g
Контроль Control	12,3±0,2	0,110±0,004	10,8±0,3	0,104±0,003
Образец 3 Sample 3	13,7±0,4*	0,088±0,008*	12,1±0,5	0,112±0,007
3/10	12,8±0,2	0,098±0,008	12,0±0,6	0,118±0,007
3/50	13,6±0,8	0,098±0,005	10,6±0,3	0,102±0,004
3/100	12,0±0,2	0,110±0,005	10,6±0,4	0,105±0,005
Образец 4 Sample 4	14,5±0,6*	0,091±0,01	10,9±0,3	0,100±0,003
4/10	14,2±0,5*	0,132±0,003*	11,4±0,3	0,117±0,002
4/50	13,3±1,0	0,068±0,013*	10,6±0,3	0,102±0,006
4/100	12,9±0,6	0,089±0,011	10,6±0,3	0,104±0,006
Образец 5 Sample 5	12,5±0,4	0,110±0,008	12,7±0,6*	0,121±0,008
5/10	12,4±0,2	0,101±0,008	12,2±0,8	0,118±0,008
5/50	12,6±0,9	0,116±0,006	11,8±0,1	0,117±0,006
5/100	12,8±0,5	0,115±0,005	12,6±0,3*	0,127±0,004*
Образец 6 Sample 6	12,7±0,3	0,123±0,011	11,4±0,3	0,114±0,003
6/10	12,0±0,2	0,106±0,007	12,9±0,2*	0,126±0,004*
6/50	13,9±0,3*	0,115±0,006	11,3±0,4	0,116±0,007
6/100	14,1±0,4*	0,109±0,003	12,4±0,1*	0,116±0,004

* - достоверные различия по сравнению с контролем при $p < 0.05$

На шестые сутки инфекционного процесса в вариантах с применением нанокomпозитов пектин-серебро 10:1 (образцы 3 и 4) и 25:1 (образцы 5 и 6) наблюдали снижение интенсивности некротических повреждений, вызванных возбудителями листовых пятнистостей, наибольшую фунгицидную активность в отношении возбудителей сетчатой и темно-бурой пятнистостей проявляли нанокomпозиты в исходной концентрации и разведенные в 10 раз, при последующем разведении нанокomпозитов в 50 и 100 раз наблюдалась тенденция к снижению данного эффекта. Нанокomпозиты пектин-серебро в соотношении 10:1 оказались несколько эффективнее, чем 25:1 (рис.1). Площадь некротических

повреждений листовых отрезков по сравнению с контрольными инфицированными отрезками была ниже практически в 2 раза для образцов 3 и 4 в исходных концентрациях и при разведении в 10 раз.

Инфицирование приводило к снижению содержания хлорофиллов a+b на третьи сутки в отрезках ячменя в среднем в 1,4 раза относительно неинфицированных во всех исследуемых вариантах (контроль, 3/10 и 4/10). На шестые сутки в инфицированных отрезках, инкубируемых на растворах нанокomпозитов, содержание фотосинтетических пигментов осталось выше инфицированного контроля в 2 и 1,8 раз соответственно (рис. 2A).

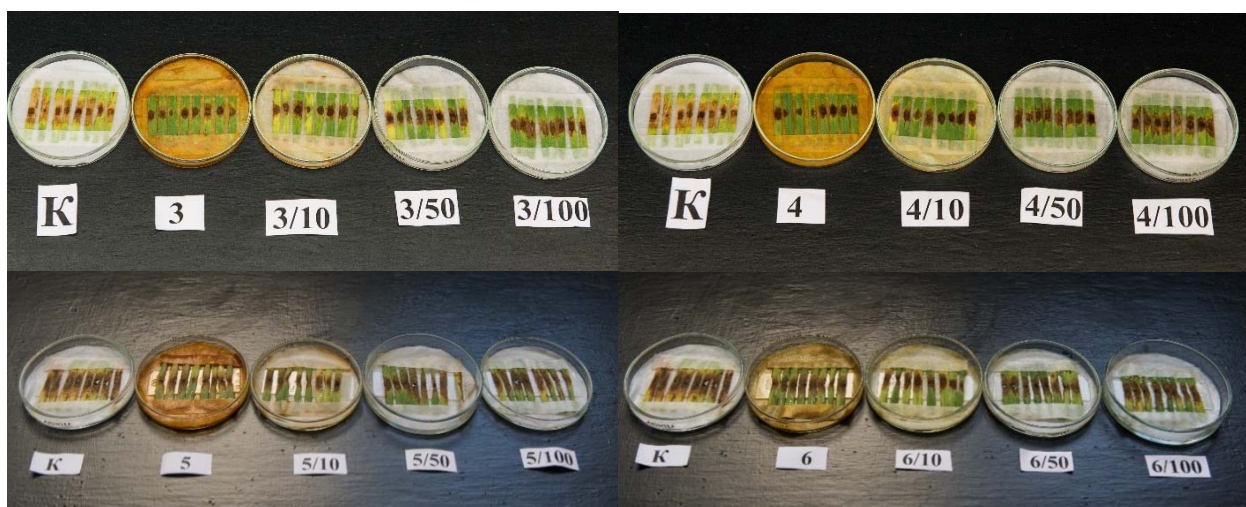


Рис.1. Влияние нанокomпозитов пектин – серебро в массовом соотношении 10:1 (образцы 3 и 4) и 25:1 (образцы 5 и 6) на поражаемость отрезков ячменя возбудителями *Pyrenophora teres* и *Bipolaris sorokiniana*
 Fig. 1. The effect of pectin–silver nanocomposites 10:1 (samples 3 and 4) and 25:1 (samples 5 and 6) on the susceptibility of barley segments by *Pyrenophora teres* и *Bipolaris sorokiniana* pathogens

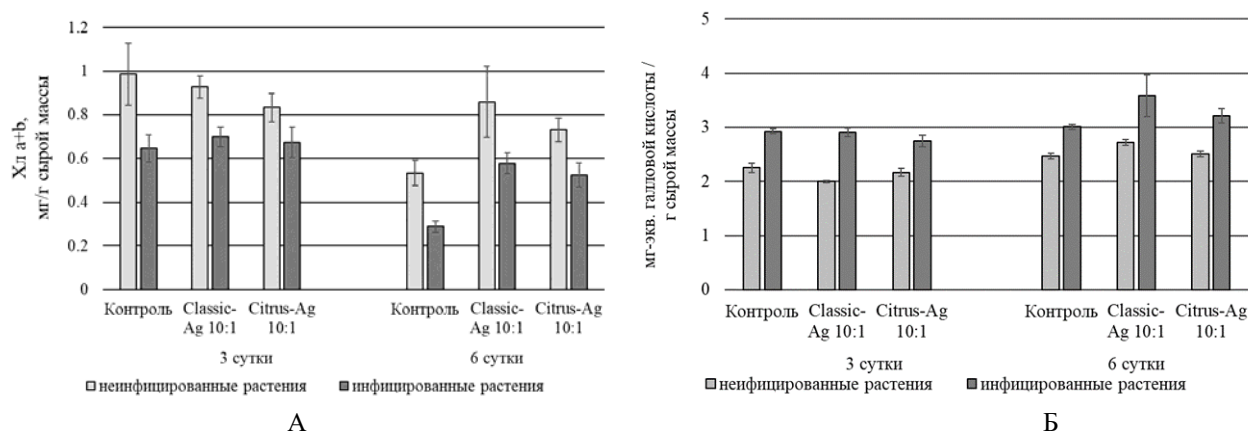


Рис. 2. Влияние нанокomпозитов пектин – Ag на содержание фотосинтетических пигментов (А) и фенольных соединений (Б) в отрезках листьев ячменя

Fig. 2. Effect of pectin-silver nanocomposites on photosynthetic pigments content (A) and total phenolic compounds content (B) in barley leaf segments

При инфицировании отрезков ячменя на 3-е сутки происходило возрастание фенольных соединений в среднем на 30% относительно неинфицированных, при этом не было достоверных отличий между вариантами. На 6-е сутки в инфицированных контрольных отрезках суммарное содержание фенольных соединений практически не изменялось относительно начальной стадии и превышало неинфицированный контроль на 34%, тогда как при инкубации на растворах нанокomпозитов уровень полифенолов превышал на 59% и 43% уровень неинфицированных отрезков и на 22 и 10% относительно инфицированных

контрольных отрезков в вариантах пектин-Classic-Ag и пектин Citrus-Ag, соответственно (рис.2 Б).

Маркером интенсивности окислительных процессов и показателем степени повреждающего действия стресс-факторов, в частности патогенов, служит накопление активных форм кислорода (АФК) и продуктов перекисного окисления липидов (ПОЛ). В связи с этим, проанализировано содержание в отрезках листьев ячменя одной из стабильных форм АФК – пероксида водорода и содержания тиобирбитуровой кислотой (ТБК)-окрашенных продуктов ПОЛ. В результате исследований установлено, что при инфицировании контрольных

отрезков на 3-и сутки происходит повышение содержания на 31% пероксида водорода и на 47% ТБК-продуктов, что свидетельствует об увеличении уровня окислительного стресса. В вариантах с применением нанокомпозита пектин-Classic-Ag 10:1 содержание пероксида водорода снижалось на 21% или находилось на уровне инфицированного

контроля в варианте пектин Citrus-Ag 10:1, при этом не регистрировалось возрастания интенсивности процессов ПОЛ: содержание ТБК-продуктов на третьи сутки в инфицированных отрезках, инкубируемых на исследуемых образцах, оставалось ниже инфицированного контроля в среднем на 27,5% (рис. 3).

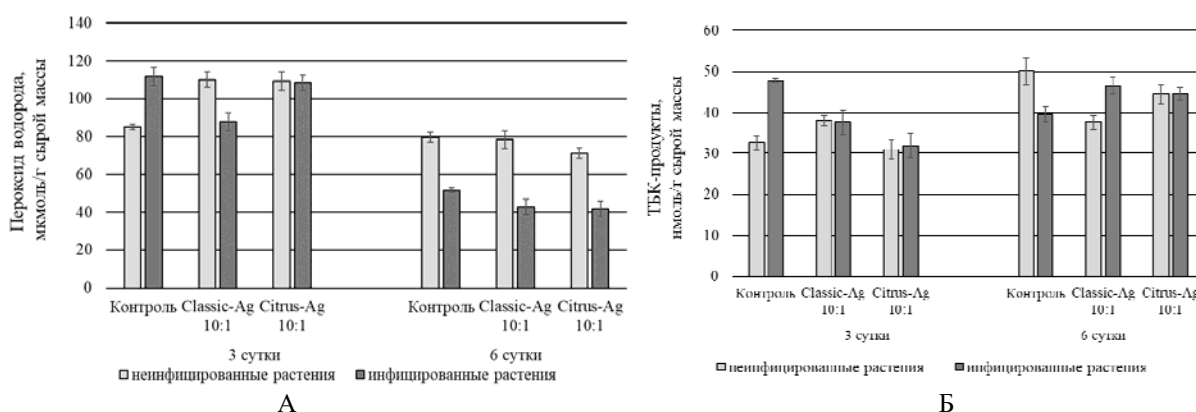


Рис.3. Влияние нанокомпозитов пектин–Ag на содержание пероксида водорода (А) и ТБК-продуктов ПОЛ (Б) в отрезках ячменя

Fig. 3. Effect of pectin-silver nanocomposites on hydrogen peroxide content (A) and products of lipid peroxidation content (Б) in barley leaf segments

На шестые сутки развития болезни содержание H_2O_2 в инфицированных контрольных растениях снижалось относительно начала развития болезни в 2 раза, содержание ТБК-продуктов – в 1,2 раза. В инкубируемых на растворах нанокомпозитов отрезках ячменя уровень пероксида водорода был ниже стрессового контроля на 18%, при этом содержание ТБК-продуктов возрастало на 30% относительно начала болезни в соответствующих вариантах и на 16% по сравнению с инфицированным контролем на данной стадии инфекционного процесса (рис. 3).

Таким образом, инкубация на растворах нанокомпозитов пектин–Ag сопровождается снижением интенсивности окислительных процессов, вызванных некроторофным патогенами, на начальном этапе развития болезни и, тем самым, способствует в дальнейшем замедлению некрообразования и сохранению жизнеспособности отрезков ячменя в модельном эксперименте. Работа поддержана грантом БРФФИ № Б21В-002.

Литература

1. Devasvaran K., Lim V. Green synthesis of metallic nanoparticles using pectin as a reducing agent: a systematic review of the biological activities // *Pharmaceutical Biology*. 2021; V. 59(1). P. 494-503. <https://doi.org/10.1080/13880209.2021.1910716>

2. Elmer W., White J. The Future of Nanotechnology in Plant Pathology // *Annual Review of Phytopathology*. 2018. V. 56. P. 111-133. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-080417-050108>

3. Kraskouski A., Hileuskaya K., Ladutska A., Kabanava V., Liubimau A., Novik G., Tran Thi Y. Nhi, Agabekov V. Multifunctional biocompatible films based on pectin-Ag nanocomposites and PVA: Design, characterization and antimicrobial potential // *Journal of Applied Polymer Science*. 2022. V. 139. Iss. 42. <https://doi.org/10.1002/app.53023>

4. Nemiwal M., Zhang T.C., Kumar D. Recent progress in g-C3N4, TiO2 and ZnO based photocatalysts for dye degradation: Strategies to improve photocatalytic activity // *Science of the Total Environment*. 2021. V. 767:144896. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144896>

5. Sadak, M.S. Impact of silver nanoparticles on plant growth, some biochemical aspects, and yield of fenugreek plant (*Trigonella foenum-graecum*) // *Bull. Natl. Res. Cent*. 2019. 43, 38. <https://doi.org/10.1186/s42269-019-0077-y>

6. Sharma V.K., Yngard R.A., Lin Y. Silver nanoparticles: Green synthesis and their antimicrobial activities. // *Advances in Colloid and Interface Science*. 2009. V. 145. №1-2. P. 83-96. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2008.09.002>

7. Siddiqi K.S., Husen A., Rao R.A.K. A review on biosynthesis of silvernanoparticles and their biocidal properties// Journal of Nanobiotechnology. 2018. 16, 14. <https://doi.org/10.1186/s12951-018-0334-5>
8. Tran Thi Y Nhi, Do Truong Thien, Trinh Duc Cong, Ngo Trinh Tung, Lai Thi Thuy, Nguyen Thi Thuc, Tran Thi Nu, Nguyen Dang Dat, Kseniya Hileuskaya, Joanna Kalatskaja, Viktoryia Kulikouskaya. Green synthesis of pectin-silver nanocomposite: Parameter optimization and physico-chemical characterization // Vietnam Journal Chemistry. 2022. V. 60 (special issue). P. 66-71. DOI: 10.1002/vjch.202200073
9. Yan A, Chen Z. Impacts of Silver Nanoparticles on Plants: A Focus on the Phytotoxicity and Underlying Mechanism // Int. J. Mol. Sci. 2019. 20(5):1003. doi: 10.3390/ijms20051003
4. Nemiwal M., Zhang T.C., Kumar D. Recent progress in g-C3N4, TiO2 and ZnO based photocatalysts for dye degradation: Strategies to improve photocatalytic activity // Science of the Total Environment. 2021. V. 767:144896. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144896>
5. Sadak, M.S. Impact of silver nanoparticles on plant growth, some biochemical aspects, and yield of fenugreek plant (*Trigonella foenum-graecum*) // Bull. Natl. Res. Cent. 2019. 43, 38. <https://doi.org/10.1186/s42269-019-0077-y>
6. Sharma V.K., Yngard R.A., Lin Y. Silver nanoparticles: Green synthesis and their antimicrobial activities. // Advances in Colloid and Interface Science. 2009. V. 145. №1-2. P. 83-96. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2008.09.002>
7. Siddiqi K.S., Husen A., Rao R.A.K. A review on biosynthesis of silvernanoparticles and their biocidal properties// Journal of Nanobiotechnology. 2018. 16, 14. <https://doi.org/10.1186/s12951-018-0334-5>
8. Tran Thi Y Nhi, Do Truong Thien, Trinh Duc Cong, Ngo Trinh Tung, Lai Thi Thuy, Nguyen Thi Thuc, Tran Thi Nu, Nguyen Dang Dat, Kseniya Hileuskaya, Joanna Kalatskaja, Viktoryia Kulikouskaya. Green synthesis of pectin-silver nanocomposite: Parameter optimization and physico-chemical characterization // Vietnam Journal Chemistry. 2022. V. 60 (special issue). P. 66-71. DOI: 10.1002/vjch.202200073
9. Yan A, Chen Z. Impacts of Silver Nanoparticles on Plants: A Focus on the Phytotoxicity and Underlying Mechanism // Int. J. Mol. Sci. 2019. 20(5):1003. doi: 10.3390/ijms20051003

References

1. Devasvaran K., Lim V. Green synthesis of metallic nanoparticles using pectin as a reducing agent: a systematic review of the biological activities // Pharmaceutical Biology. 2021; V. 59(1). P. 494-503. <https://doi.org/10.1080/13880209.2021.1910716>
2. Elmer W., White J. The Future of Nanotechnology in Plant Pathology // Annual Review of Phytopathology. 2018. V. 56. P. 111-133. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-080417-050108>
3. Kraskouski A., Hileuskaya K., Ladutska A., Kabanava V., Liubimau A., Novik G., Tran Thi Y. Nhi, Agabekov V. Multifunctional biocompatible films based on pectin-Ag nanocomposites and PVA: Design, characterization and antimicrobial potential // Journal of Applied Polymer Science. 2022. V. 139. Iss. 42. <https://doi.org/10.1002/app.53023>