

# Влияние соединений с биологической активностью на рост и развитие растений ячменя

С. Н. МИХАЛЕВА<sup>1</sup>, Н. И. БУДЫНКОВ<sup>1</sup>, Л. Н. УЛЯНЕНКО<sup>1</sup>, Д. В. ДЕМИН<sup>1,2</sup>, Б. Б. КАРТАБАЕВА<sup>1</sup>, В. А. ФЕДОТОВА<sup>1</sup>, М. А. СЕВОСТЬЯНОВ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии, ул. Институт, вл. 5, р. п. Большие Вяземы, Одинцовский р-н, Московская обл., 143050, Российская Федерация

<sup>2</sup>Институт фундаментальных проблем биологии Российской академии наук – обособленное подразделение Федерального исследовательского центра «Пушкинский научный центр биологических исследований Российской академии наук», ул. Институтская, 2, Пушкино, Московская обл., 142290, Российская Федерация

**Резюме.** Исследования проводили с целью оценки влияния обработки семян ячменя ярового биостимулятором, полученным из отходов производства картофеля, в разных концентрациях на рост и развитие проростков и растений, их восприимчивость к патогенам грибной природы, в сравнении с применением препаратов с биологической активностью. Работу выполняли на семенах и проростках (фито-экспертиза семян, определение всхожести, показателей развития проростков), а также растениях в камере искусственного климата (субстрат – песок), выращиваемых в течение 26 сут (показатели роста и развития, содержание хлорофилла, зараженность листовыми болезнями). Схема опыта: биостимулятор в концентрациях  $10^{-4}$ ,  $10^{-5}$  и  $10^{-6}$  мл/л (БС $_{10^{-4}}$ , БС $_{10^{-5}}$  и БС $_{10^{-6}}$ ); росторегуляторы Циркон, Р в концентрации 1 мл/л (из расчета 10 л/т) и Эпин-Экстра, Р – 200 мл/т; удобрение жидкое концентрированное органическое Natur Agro ECO GROW в дозировках 20 и 30 мл/л (Удобрение 1, Удобрение 2); N, N'-дифенилмочевина (ДФМ) в концентрациях  $2 \times 10^{-3}$  и  $3 \times 10^{-3}$  мл/л (ДФМ 1, ДФМ 2). Контролем служили семена, обработанные дистиллированной водой. После обработки семян биостимулятором в концентрациях  $10^{-4}$  и  $10^{-5}$  мл/л отмечено увеличение длины главного зародышевого корня (на 12 и 8 %) и массы корней проростков; в варианте с  $10^{-6}$  мл/л – усиление скорости роста растений (на 8,8 %) и накопления хлорофилла в листьях (на 23,0 %). Эффективность влияния биостимулятора на развитие проростков и содержание хлорофилла не уступала или превосходила воздействие Циркона, Р и Эпин-Экстра, Р. Применение для обработки семян органического удобрения и дифенилмочевины способствовало более интенсивному развитию растений (соответственно на 5,5...10,3 и 3,1...17,9 % к контролю). Распространенность листовых болезней составляла 60...80 %, а их развитие при применении биостимулятора ( $10^{-4}$ ,  $10^{-6}$  мл/л), удобрения и ДФМ ( $3 \times 10^{-3}$  мл/л) было значительно ниже контроля.

**Ключевые слова:** ячмень (*Hordeum vulgare* L.), биостимулятор, биологически активные вещества, рост и развитие растений.

**Сведения об авторах:** С. Н. Михалева, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник; Н. И. Будынов, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник; Л. Н. Ульяненко, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник; Д. В. Демин, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник; Б. Б. Картабаева, младший научный сотрудник (e-mail: kartabaeva040893@mail.ru); В. А. Федотова младший научный сотрудник; М. А. Севостьянов, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник.

**Для цитирования:** Влияние соединений с биологической активностью на рост и развитие растений ячменя / С. Н. Михалева, Н. И. Будынов, Л. Н. Ульяненко и др. // Достижения науки и техники АПК. 2024. Т. 38. № 10. С. 91–96. doi: 10.53859/02352451\_2024\_38\_10\_91

## Effect of compounds with biological activity on the growth and development of barley plants

S. N. Mikhaleva<sup>1</sup>, N. I. Budynkov<sup>1</sup>, L. N. Ulyanenko<sup>1</sup>, D. V. Demin<sup>1,2</sup>, B. B. Kartabaeva<sup>1</sup>, V.A. Fedotova<sup>1</sup>, M. A. Sevostyanov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>All-Russian Research Institute of Phytopathology, ul. Institut, vl. 5, r. p. Bol'shie Vyazemy, Odintsovskii r-n, Moskovskaya obl., 143050, Russian Federation

<sup>2</sup>Institute of Basic Biological Problems of the Russian Academy of Sciences, ul. Institutskaya, 2, Pushchino, Moskovskaya obl., 142290, Russian Federation

**Abstract.** The studies were conducted to assess the effect of treating spring barley seeds with a biostimulant from potato production waste in different concentrations on the growth and development of seedlings and plants, their susceptibility to fungal pathogens, in comparison with the use of preparations with biological activity. The work was performed on seeds and seedlings (phytoexpertise of seeds, determination of germination, seedling development indicators), as well as on plants in an artificial climate chamber (substrate – sand) grown for 26 days (growth and development indicators, chlorophyll content, infection with foliar diseases). Experimental design: biostimulant in concentrations of  $10^{-4}$ ,  $10^{-5}$  and  $10^{-6}$  ml/l (BS $_{10^{-4}}$ , BS $_{10^{-5}}$  and BS $_{10^{-6}}$ ); growth regulators Zircon, S at a concentration of 1 ml/l (based on 10 l/t) and Epin-Extra, S – 200 ml/t; liquid concentrated organic fertilizer Natur Agro ECO GROW at dosages of 20 and 30 ml/l (Fertilizer 1, Fertilizer 2); N, N'-diphenylurea (DPHU) at concentrations of  $2 \times 10^{-3}$  and  $3 \times 10^{-3}$  ml/l (DPHU 1, DPHU 2). Seeds treated with distilled water served as a control. After treating seeds with the biostimulant at concentrations of  $10^{-4}$  and  $10^{-5}$  ml/l, an increase in the length of the main embryonic root (by 12 and 8%) and the weight of seedling roots was observed; in the variant with  $10^{-6}$  ml/l – an increase in the plant growth rate (by 8.8%) and chlorophyll accumulation in leaves (by 23.0%). The efficiency of the biostimulant on seedling development and chlorophyll content was not inferior to or superior to the effect of Zircon, S and Epin-Extra, S. The use of organic fertilizer and diphenylurea for seed treatment contributed to more intensive plant development (by 5.5-10.3 and 3.1-17.9% of the control, respectively). The incidence of foliar diseases was 60-80%, and their development with the use of the biostimulant ( $10^{-4}$ ,  $10^{-6}$  ml/l), fertilizer and DPHU ( $3 \times 10^{-3}$  ml/l) was significantly lower than in the control.

**Keywords:** barley (*Hordeum vulgare* L.); biostimulant; biologically active substances; plant growth and development.

**Author Details:** S. N. Mikhaleva, Cand. Sc. (Agr.), research fellow; N. I. Budynkov, Cand. Sc. (Agr.), leading research fellow; L. N. Ulyanenko, D. Sc. (Biol.), leading research fellow; D. V. Demin, Cand. Sc. (Biol.), leading research fellow; B. B. Kartabaeva, junior research fellow (e-mail: kartabaeva040893@mail.ru); V.A. Fedotova, junior research fellow; M. A. Sevostyanov, Cand. Sc. (Techn.), leading research fellow.

**For citation:** Mikhaleva SN, Budynkov NI, Ulyanenko LN, et al. [Effect of compounds with biological activity on the growth and development of barley plants]. Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2024;38(10):91–96. Russian. doi: 10.53859/02352451\_2024\_38\_10\_91

Разработке экологически ориентированных технологий производства растениеводческой продукции в последние годы в России уделяется все большее внимание в расчете на повышение урожайности, качества продукции, а также сохранение экологической и фитосанитарной стабильности агроценозов. Необходимым условием экологизации земледелия и получения экологически безопасной продукции выступают: здоровая почва,

внедрение сберегающих технологий обработки почвы; рациональное применение удобрений и повышение их усвояемости растениями; использование агрохимикатов, стимулирующих физиологические процессы в растениях, в том числе, способствующих повышению устойчивости растений к стрессорам различной природы. Реализация защитных свойств и индуцированная устойчивость растений к вредным организмам, в свою очередь, могут

служить ключом к решению проблемы снижения пестицидной нагрузки на агроценозы [1, 2].

Использование росторегуляторов, индукторов иммунитета, биостимуляторов, адаптогенов и других биологически активных соединений, регулирующих интенсивность ростовых процессов, скорость и параметры всасывания макро- и микроэлементов, с одной стороны, влияющих на устойчивость растений к биотическим и абиотическим факторам, с другой, по сути, можно назвать потенциально универсальным инструментом для создания и совершенствования технологий с экологической направленностью [3, 4].

Одним из наиболее успешных и реализованных в практике сельского хозяйства подходов контроля развития грибных болезней зерновых культур служит предпосевная обработка семян химическими агентами и (или) биологически активными веществами, обеспечивающая защиту от болезней и почвенных вредителей, интенсивный рост растений, формирование высокого урожая [5, 6, 7].

Большой экономический интерес может представлять использование биостимуляторов, полученных высокотехнологичными методами из отходов растительного сырья, в частности, при производстве картофеля. Ранее было выявлено усиление адаптогенных свойств 2-х суточных проростков ячменя ярового после замачивания семян в растворе биостимулятора, полученного из некондиционных клубней картофеля [8]. Практическое внедрение биостимулятора для предпосевной обработки семян и растений в период вегетации требует установления оптимальных дозировок (или их пределов), сравнение с результатами эффективности препаратов различных торговых марок (аналогов по химическому составу, функциональности, спектру воздействия на культуру или вредные организмы в агроценозе).

Цель исследований – оценка влияния обработки семян ячменя ярового биостимулятором, полученным из отходов производства картофеля, на рост и развитие проростков и растений, а также их восприимчивость к патогенам грибной природы для разработки регламентов применения препарата.

**Условия, материалы и методы.** Работу выполняли на семенах и растениях ячменя ярового (*Hordeum vulgare* L.) сорта Нур. Биостимулятор (экспериментальный образец) получен по разработанной во Всероссийском научно-исследовательском институте фитопатологии (ФГБНУ ВНИИФ) уникальной технологии жидкофазного каталитического окисления крахмалосодержащего растительного сырья (технология находится на стадии патентования). Производится из отходов картофеля – партии с неудовлетворительными характеристиками продовольственных и посевных свойств, некондиционные клубни. Для проведения исследований использовали концентрат с молекулярной массой  $\geq 30$  kDa, сырьем для которого служили отходы производства раннеспелого столового сорта картофеля Удача. Биостимулятор представляет собой сбалансированный белково-углеводный комплекс гликозидов, свободных оксикарбоновых и аминокислот, микро- и макроэлементов, а также фитогормонов (табл. 1).

В качестве стандартов использовали торговые препараты с росторегулирующими свойствами: Циркон, Р,

Эпин-Экстра, Р, удобрение жидкое концентрированное органическое Natur Agro ECO GROW (Удобрение) и N, N'-дифенилмочевину (ДФМ).

Циркон, Р – природный регулятор негормонального происхождения, химический класс – фенольные соединения, действующее вещество – гидроксикоричная кислота, 0,1 г/л; характер действия – системный. Препарат широкого спектра действия обладает антистрессовыми, а также фунгицидными свойствами; активатор роста, цветения и плодоношения; укрепляет иммунитет, устойчивость к абиотическим и биотическим факторам. Рекомендован к использованию в сельском хозяйстве. Эпин-Экстра, Р (производитель компания «НЭСТ М») содержит 0,025 г/л 24-эпибрасинолида (натуральный компонент пыльцы), обладает росторегуляторными и адаптогенными свойствами, выраженным антистрессовым эффектом к абиотическим факторам, ускоряет созревание, способствует повышению и сохранности урожая (*Список пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации: приложение к журналу «Защита и карантин растений». 2022. № 4*).

Удобрение жидкое концентрированное органическое Natur Agro ECO GROW (изготовитель ООО «РусЭко органикс») относится к группе новых биологических удобрений синергического взаимодействия, обладает росторегулирующими свойствами (<http://cheboksary.bt.su>). Содержит N (2,7 %), P (1,6 %), K (3,6 %) и гуминовые кислоты (40,2 %).

N, N'-дифенилмочевина – N-(1,2,4-триазол-4-ил)-N'-фенилмочевина, (номер cas 102-07-8), молекулярная формула  $C_{13}H_{12}N_4O$ , молекулярная масса 212,25 г/моль. Относится к ароматическим производным мочевины, классу регуляторов роста растений с цитокининовой или цитокининоподобной активностью [9, 10]. Присутствие в структуре этого вещества 1, 2, 4-триазола обеспечивает значительное расширение биологической активности [11]. N, N'-дифенилмочевина рекомендована к использованию в сельском хозяйстве для повышения полевой всхожести, стимулирования ростовых реакций, повышения урожайности и качества урожая.

Обработку семян препаратами в соответствующих концентрациях проводили с использованием роторного испарителя. Партии по 10 г семян (200 шт.) помещали в колбу и добавляли 1 мл раствора, содержащего вещество в соответствующей концентрации согласно схеме опыта. Время экспозиции 30 мин. Семена просушивали при комнатной температуре в течение 24 ч.

Схема опыта включала следующие варианты обработки семян: биостимулятор в концентрациях  $10^{-4}$ ,  $10^{-5}$  и  $10^{-6}$  мл/л ( $BC_{10^{-4}}$ ,  $BC_{10^{-5}}$  и  $BC_{10^{-6}}$ ); росторегуляторы Циркон, Р в концентрации 1 мл/л (из расчета 10 л/т) и Эпин-Экстра, Р – 200 мл/т; удобрение Natur Agro ECO GROW в дозировках

Таблица 1. Биохимический, макро- и микроэлементный состав биостимулятора

| Компонент               | Содержание, % | Компонент               | Содержание, %   |
|-------------------------|---------------|-------------------------|-----------------|
| Белок                   | 28,7 ± 2,97   | Моно- и дисахариды:     |                 |
| Свободные аминокислоты: |               | фруктоза                | 1,1 ± 0,24      |
| гидроксипролин          | 0,98 ± 0,10   | глюкоза                 | 16,2 ± 3,44     |
| аспарагиновая кислота   | 0,89 ± 0,09   | сахароза                | 5,0 ± 1,00      |
| глутаминовая кислота    | 0,48 ± 0,04   | мальтоза                | 2,4 ± 0,52      |
| пролин                  | 2,53 ± 0,27   | Микро- и макроэлементы: |                 |
| валин                   | 0,22 ± 0,02   | калий                   | 6,8 ± 0,5       |
| метионин                | 0,26 ± 0,03   | натрий                  | 3,1 ± 0,3       |
| изолейцин               | 0,19 ± 0,02   | кальций                 | 0,10 ± 0,05     |
| лейцин                  | 0,17 ± 0,02   | магний                  | 0,4 ± 0,1       |
| тирозин                 | 0,16 ± 0,02   | фосфор                  | 1,2 ± 0,2       |
| Оксикарбоновые кислоты: |               | железо                  | 0,016 ± 0,003   |
| лимонная                | 2,45 ± 0,26   | цинк                    | 0,0110 ± 0,0004 |
| яблочная                | 5,56 ± 0,63   | марганец                | 0,0016 ± 0,0005 |

20 и 30 мл на 1 л воды (соответственно «Удобрение 1» и «Удобрение 2»); N, N'-дифенилмочевина в концентрациях  $2 \times 10^{-3}$  и  $3 \times 10^{-3}$  мл/л (соответственно «ДФМ 1» и «ДФМ 2»). Контролем служили семена, обработанные дистиллированной водой. Норма расхода рабочего раствора при обработке семян составила 100 л/т при сохранении содержания торговых препаратов в рабочем растворе, рекомендованном для использования (Список пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации: приложение к журналу «Защита и карантин растений». 2022. № 4).

Фитоэкспертизу семян проводили по методике с использованием искусственной питательной среды Чапека. Зерновки ячменя ярового закладывали на питательную среду с целью оценки уровня их колонизации (наружной и внутренней) микроорганизмами грибной природы. Анализ видового состава микробиоты *in vitro* проводили на 7-й день инкубации. Видовую принадлежность образующихся колоний микромицетов определяли по морфолого-культуральным признакам и форме органов споруляции (конидиеносцев, конидий, асков, спор и др.) посредством микроскопирования [12].

Оценку прорастания семян и развития проростков растений ячменя проводили в рулонах. Для проращивания семян использовали два слоя увлажненной до полной влагоёмкости фильтровальной бумаги согласно ГОСТ Р 12038-84. Рулоны помещали в термостат с температурой 22...24 °C. Просмотр семян, определение лабораторной всхожести (ЛВ) и зараженности проводили на 7 сут после закладки опыта согласно ГОСТ Р 12038-84. Определяли длину ростка (Lp, см) и главного зародышевого корня (Lk, см), а также массу ростков и корней в расчете на 1 растение (мр, и тк, г), массу растения, в целом.

Растения ячменя выращивали на песке в условиях искусственного климата в лаборатории искусственного климата ФГБНУ ВНИИФ. Сосуды емкостью 0,5 л (диаметр 9,4 см) заполняли кварцевым песком (фракция 0,1...0,4 мм), предварительно отмытым и прокаленным в термостате при температуре 100 °C и хорошо утрамбовывали. Проводили микробиологическую экспертизу песка для подтверждения отсутствия грибной инфекции. На дно сосуда укладывали нетканый материал (круг соответствующего диаметра для удерживания вымывания песка). Песок в сосуде не доходил до края на 1 см. Масса песка в каждом сосуде составляла 600 г. Перед посевом песок увлажняли до 60 % от полной влагоёмкости дистиллированной водой. Посев проводили обработанными согласно схеме опыта семенами. В каждый сосуд высевали по 15 семян. Через 19 сут после посева в каждом сосуде оставляли по 10 растений. Через 2 сут после появления всходов песок поливали раствором питательной среды – смесью Прянишникова в сниженной на 50% концентрации из расчета 100 мл/сосуд (состав смеси, г/л:  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  – 0,24;  $\text{CaHPO}_4$  – 0,172;  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  – 0,025;  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  – 0,344;  $\text{MgSO}_4$  – 0,060; KCl – 0,160). Через 8 и 12 сут в сосуд вносили 50 мл смеси Прянишникова и 25 мл дистиллированной воды; через 14 и 16 сут после посева норму питательного раствора увеличили до 75 мл/сосуд + 25 мл воды; через 19 сут полив осуществляли только водой (50 мл/сосуд); затем спустя 2 сут – питательным раствором (50 мл/сосуд) + 25 мл воды и еще спустя 3 сут – питательным раствором (75 мл/сосуд) + 25 мл воды.

Растения ячменя ярового сорта Нур выращивали в песке в климатической камере Heraeus votcsch (Германия) в течение 27 сут. Освещенность обеспечивали светодиодные лампы Minifermer (Квантум борд Samsung lm281b+pro 4000K, 60 Вт 18 × 39 см). Условия камеры мо-

делировали суточные изменения температуры воздуха и освещенности: от 0 ч до 6 ч – отсутствие освещенности, температура воздуха (Т) изменялась от 16 °C к 18 °C; в 9 ч утра Т составляла 20 °C при интенсивности светового потока 10 килолюмен (такой температурно-световой режим сохранялся до 12 ч); в 12 ч Т воздуха повышалась до 22 °C, а интенсивность светового потока – до 20 килолюмен. В 19 ч Т воздуха составила 19 °C и плавно снижалась до 16 °C к 0 ч. Освещение отключали в 19 ч. В течение всего периода проведения опыта влажность воздуха поддерживали на уровне 40 %.

Высоту растений (от уровня песка до конца максимально развитого листа – в нашем случае 2-й лист) измеряли через 7 и 24 сут (в этот же срок определяли развитие 3-го листа по длине шильца) после посева. По данным величин высоты за 2 учета определяли скорость роста растений за 1 сут.

Для сравнения содержания хлорофилла в растениях ячменя в разных вариантах опыта определяли интенсивность окрашивания листьев зелеными пигментами (хлорофилл а и в) с использованием диагностического экспресс-анализатора Annapo N-Tester Konica Minolta (Япония). N-тестер – современный инновационный прибор, неинвазивного применения, предназначенный для определения потребности растений в азотных удобрениях по содержанию хлорофилла в листьях растений. Оптическую плотность светового потока, прошедшего через светопоглощающий объект (лист), выражали в относительных единицах по шкале N-Tester. Погрешность прибора составляет 2 единицы [13]. В наших исследованиях измерения проводили по 2-му листу (полностью развитому), на 10 растениях в 4-х повторениях. Сроки проведения измерений – через 12, 16 и 26 сут после посева.

Учет распространенности пятнистостей листьев ячменя на первом и втором листьях проводили через 26 суток после посева в рамках общепринятых методик по соответствующей шкале, где 0 – признаков поражения нет; 1, 5, 15 и 25 % – поражена соответствующая часть листовой поверхности. Развитие болезни рассчитывали по формуле  $R = \sum(a \cdot b) / N$ , где R – развитие болезни (%),  $\sum(a \cdot b)$  – сумма произведений числа поражённых листьев (a) на соответствующий им процент поражения (b), N – общее количество проанализированных листьев.

Статистическую обработку данных проводили с использованием программы Microsoft Excel. Вычисляли среднее арифметическое (M) показателя и стандартное отклонение (STD). Полученные данные сравнивали с контролем. При анализе содержания хлорофилла в листьях ячменя вычисляли коэффициент динамики изменения содержания хлорофилла (КДИСХ) как относительную величину содержания хлорофилла в конкретный срок измерения к предыдущему уровню; интенсивность изменения содержания хлорофилла (ИИСХ) – отношение величины показателя конкретного срока измерения к средней величине показателя за весь период наблюдений (27 сут), в %; коэффициент вариации (CV) данных M рассчитывали по формуле  $CV = (STD/M) \times 100$  %. Достоверность различий определяли на 95 %-ном уровне значимости ( $p < 0,05$ ).

**Результаты и обсуждение.** Фитоэкспертиза семян ячменя ярового сорта Нур свидетельствовала о значительной их колонизации грибами *Alternaria alternata* (80 %) и *Bipolaris sorokiniana* Shoemaker (20...24 %). Грибы присутствовали как на поверхности, так и внутри семян. Отмечено существенное развитие грибов из рода *Fusarium*: *F. moniliforme* J. Sheld. (16 %) – сильный патоген, продуцент фумонизиновых микотоксинов и *F. sporotrichiella* (8 %) – слабый патоген, продуцент микотоксина Т 2. Применение биостимулятора

Таблица 2. Влияние обработки семян биологически активными веществами на развитие проростков ячменя ярового, % к контролю\*

| Показатель | Биостимулятор    |                  |                  | Циркон | Эпин-Экстра | Удобрение 1 | Удобрение 2 | ДФМ 1  | ДФМ 2   |
|------------|------------------|------------------|------------------|--------|-------------|-------------|-------------|--------|---------|
|            | 10 <sup>-4</sup> | 10 <sup>-5</sup> | 10 <sup>-6</sup> |        |             |             |             |        |         |
| ЛВ         | 100,0            | 106,3            | 96,9             | 100,0  | 100,0       | 109,4**     | 87,5**      | 106,3  | 106,3   |
| Лк         | 112,0**          | 108,1**          | 91,3             | 83,9** | 108,0**     | 86,3**      | 99,7        | 90,8** | 110,4** |
| Лр         | 98,5             | 98,7             | 84,6             | 91,6   | 104,9       | 92,3        | 76,0**      | 69,1** | 91,3    |
| тк         | 114,7            | 102,1            | 52,4             | 87,2   | 89,1        | 66,7        | 69,8        | 70,5   | 95,9    |
| тр         | 80,2             | 90,0             | 65,7             | 78,5   | 70,4        | 83,2        | 64,3        | 68,3   | 85,2    |
| (тр+тк)    | 100,5            | 97,1             | 57,9             | 83,6   | 81,4        | 73,5        | 67,5        | 69,6   | 91,5    |
| Лк / Лр    | 113,7            | 109,6            | 108,0            | 91,6   | 103,0       | 93,5        | 131,1       | 131,3  | 121,0   |
| тк / тр    | 143,0            | 113,4            | 79,8             | 111,1  | 126,7       | 80,2        | 108,6       | 103,1  | 112,6   |

\*средние абсолютные значения показателя в контроле: ЛВ –  $64 \pm 2$  %, Лк –  $14,2 \pm 0,2$  см, Лр –  $10,5 \pm 0,1$  см, тк –  $0,154$  г (в расчете на 1 растение), тр –  $0,107$  г;

\*\*различия с контролем значимы при  $p < 0,05$ .

в разных концентрациях, других биологически активных препаратов и Удобрения не приводило к выраженному изменению видового состава грибных консорциев, заселивших семена изучаемого образца ячменя ярового. На долю грибов из рода *Fusarium* в контроле и вариантах с разными концентрациями биостимулятора приходилось 20...22 % семенной инфекции. После обработки семян Удобрением и ДФМ доля фузариев выросла до 26...33 %.

Результаты анализа проростков ячменя ярового после проращивания семян в рулонах показали, что на фоне низких значений ЛВ в контроле ( $64 \pm 2$  %) обработка семян биостимулятором, полученным из отходов картофеля, в концентрации  $10^{-5}$  мл/л приводила к повышению показателя на 6,3 %, как и при использовании ДФМ (6,3 %,  $p > 0,05$ ) и Удобрения в концентрации 1 – на 9,4 % (табл. 2). В вариантах БС<sub>10<sup>-4</sup></sub> и БС<sub>10<sup>-5</sup></sub> отмечено увеличение длины главного зародышевого корня на 12 и 8,1 %, соответственно ( $p < 0,05$ ), однако увеличение длины только в варианте БС<sub>10<sup>-4</sup></sub> сопровождалось нарастанием массы корня на 14,7 % (различия с контролем значимы). Следует отметить, что общая масса растения в опытных вариантах была близка к контрольным величинам (БС<sub>10<sup>-4</sup></sub> и БС<sub>10<sup>-5</sup></sub>) или существенно ниже их (до 57,6 %, вариант БС<sub>10<sup>-6</sup></sub>). Использование Эпин-Экстра приводило к увеличению длины ростка на 4,9 % ( $p < 0,05$ ). Отношение Лк/Лр для вариантов использования биостимулятора, полученного из отходов картофеля, превышало 1 (то есть интенсивность роста корня была выше, чем проростка); в вариантах использования Удобрения (концентрация 2) и ДФМ этот коэффициент был значительно выше. Исключение составил вариант Удобрение 1 (длина проростка выше, чем корня).

По соотношению массы корня к массе ростка (тк / тр) выделялся вариант БС<sub>10<sup>-4</sup></sub> – различия с контролем составили 43 %. То есть, после обработки семян ячменя биостимулятором изменения изучаемых показателей не носили односторонний характер и зависели от дозы

его применения. Поэтому разрабатывать регламенты применения только на основании результатов анализа ростовых процессов в рамках метода рулонов оказалось достаточно сложным.

Высота растений ячменя через 7 сут после посева семенами, обработанными биостимулятором, полученным из картофельного сырья, Эпином-Экстра и Цирконом была на 2...9 % ниже, чем в контроле (табл. 3). В вариантах обработки семян Удобрением и ДФМ высота растений ячменя была близка к контрольным величинам. Через 17 сут (24 сут после посева) в вариантах Эпин-Экстра, Удобрение и ДФМ положительные отличия с контролем были более выражены и в варианте ДФМ 2 и составляли +17,9 %. В этом же варианте опыта отмечена максимальная суточная скорость прироста высоты растений (28,8 %). Развитие 3-го листа растений превышало контрольные величины в вариантах БС<sub>10<sup>-6</sup></sub>, Циркон и Эпин-Экстра.

Содержание хлорофилла, определяемого с использованием N-Tester, свидетельствует как об его изменении в течение разных сроков учета, так и о различиях в зависимости от обработки семян тем или иным биологически активным соединением (см. рисунок). Через 12 сут после посева содержание хлорофилла было достаточно близким во всех вариантах опыта. Максимальное положительное увеличение показателя (на 6 и 4 %) отмечено в вариантах БС<sub>10<sup>-6</sup></sub> и ДФМ 2, соответственно ( $p < 0,05$ ). Коэффициенты вариации составляли 8...19 %, за исключением варианта Эпин-Экстра (28,3 %).

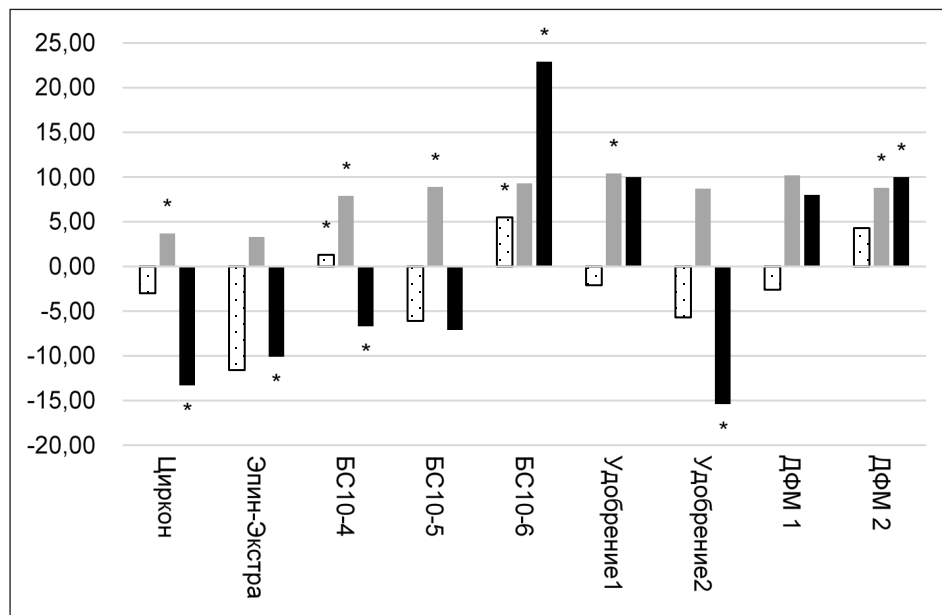
Через 16 сут после посева (формирование 2-го листа) выявлены более выраженные отличия от контроля – на 3...10 %. Для вариантов изучаемого биостимулятора, независимо от концентрации, повышение величины показателя, по сравнению с контролем, составило 8...9 % ( $p < 0,05$ ), было сопоставимо с использованием удобрения и ДФМ, в то же время выше, чем при использовании Циркона и Эпина-Экстра. Через 26 сут после посева

Таблица 3. Влияние обработки семян биологически активными веществами на высоту растений ячменя ярового, размеры 3-го листа и развитие листовых болезней, % к контролю\*

| Срок после посева, сут            | Биостимулятор    |                  |                  | Циркон | Эпин-Экстра | Удобрение 1 | Удобрение 2 | ДФМ 1  | ДФМ 2   |
|-----------------------------------|------------------|------------------|------------------|--------|-------------|-------------|-------------|--------|---------|
|                                   | 10 <sup>-4</sup> | 10 <sup>-5</sup> | 10 <sup>-6</sup> |        |             |             |             |        |         |
| Высота                            |                  |                  |                  |        |             |             |             |        |         |
| 7                                 | 92,4             | 92,4             | 91,1             | 99,2   | 97,7        | 101,3       | 94,1        | 97,8   | 101,6   |
| 24                                | 98,4             | 101,5            | 101,9            | 99,9   | 107,5**     | 105,5**     | 110,3**     | 103,1  | 117,9** |
| Суточная скорость прироста высоты |                  |                  |                  |        |             |             |             |        |         |
| 17                                | 102,4            | 107,2            | 108,8            | 100,8  | 114,4       | 108,0       | 120,8       | 107,2  | 128,8   |
| Длина шильца 3-го листа           |                  |                  |                  |        |             |             |             |        |         |
| 24                                | 86,1             | 91,9             | 103,0            | 113,3  | 114,5       | 73,8**      | 74,1**      | 90,6   | 90,9    |
| Развитие листовых болезней        |                  |                  |                  |        |             |             |             |        |         |
| 26                                | 66,0**           | 115,9**          | 74,0**           | 95,5   | 90,9        | 61,4**      | 83,7**      | 77,4** | 98,5    |

\*средние абсолютные значения высоты в контроле через 7 и 24 сут после посева – соответственно  $7,9 \pm 0,2$  и  $20,4 \pm 0,6$  см; длина шильца 3-го листа –  $7,2 \pm 0,6$  ; развитие болезней –  $7,9 \pm 0,3$  %;

\*\*различия с контролем значимы при  $p < 0,05$ .



**Рисунок.** Изменения содержания хлорофилла в листьях ячменя ярового сорта Нур, % к контролю (\* – различия с контролем значимы при  $p < 0,05$ ): □ – 12 сут, ■ – 16 сут, ■ – 26 сут.

содержание хлорофилла снизилось во всех вариантах опыта, при этом в вариантах ДФМ и БС<sub>10</sub><sup>-6</sup> оно было больше, чем в контроле.

Анализ изменения показателей, характеризующих уровень содержания хлорофилла в листья растений ячменя, свидетельствует (табл. 4) о наименьших отклонениях показателя КДИСХ (отсутствие изменений на 16 сут и изменения на -29,8 % на 26 сут) в варианте БС<sub>10</sub><sup>-6</sup>, наибольшие отклонения – в варианте Удобрение 2 (на 11,2 и -51,5 % в том же сравнении).

**Таблица 4. Значения коэффициента динамики изменения содержания хлорофилла (КДИСХ) и интенсивности изменения содержания хлорофилла (ИИСХ)**

| Вариант                        | Срок после посева, сут | Относительные единицы по шкале N-Tester | КДИСХ | Отклонение от предыдущего уровня, % | ИИСХ  |
|--------------------------------|------------------------|-----------------------------------------|-------|-------------------------------------|-------|
| Контроль                       | 12                     | 34                                      |       |                                     | 116,7 |
|                                | 16                     | 32,9                                    | 0,97  | -3,2                                | 112,9 |
|                                | 26                     | 20,5                                    | 0,62  | -37,7                               | 70,4  |
| Циркон                         | 12                     | 33                                      |       |                                     | 116,6 |
|                                | 16                     | 34,1                                    | 1,03  | 3,3                                 | 120,5 |
|                                | 26                     | 17,8                                    | 0,52  | -47,8                               | 62,9  |
| Эпин - Экстра                  | 12                     | 30,1                                    |       |                                     | 109,5 |
|                                | 16                     | 34                                      | 1,13  | 13,0                                | 123,6 |
|                                | 26                     | 18,4                                    | 0,54  | -45,9                               | 66,9  |
| БС <sub>10</sub> <sup>-4</sup> | 12                     | 34,5                                    |       |                                     | 116,2 |
|                                | 16                     | 35,5                                    | 1,03  | 2,9                                 | 119,5 |
|                                | 26                     | 19,1                                    | 0,54  | -46,2                               | 64,3  |
| БС <sub>10</sub> <sup>-5</sup> | 12                     | 31,9                                    |       |                                     | 110,3 |
|                                | 16                     | 35,8                                    | 1,12  | 12,2                                | 123,7 |
|                                | 26                     | 19,1                                    | 0,53  | -46,6                               | 66,0  |
| БС <sub>10</sub> <sup>-6</sup> | 12                     | 35,9                                    |       |                                     | 111,0 |
|                                | 16                     | 35,9                                    | 1,00  | 0                                   | 111,0 |
|                                | 26                     | 25,2                                    | 0,70  | -29,8                               | 77,9  |
| Удобрение 1                    | 12                     | 33,3                                    |       |                                     | 108,4 |
|                                | 16                     | 36,3                                    | 1,09  | 9,0                                 | 118,1 |
|                                | 26                     | 22,6                                    | 0,62  | -37,7                               | 73,5  |
| Удобрение 2                    | 12                     | 32,1                                    |       |                                     | 113,2 |
|                                | 16                     | 35,7                                    | 1,11  | 11,2                                | 125,9 |
|                                | 26                     | 17,3                                    | 0,48  | -51,5                               | 61,0  |
| ДФМ 1                          | 12                     | 33,1                                    |       |                                     | 108,5 |
|                                | 16                     | 36,2                                    | 1,09  | 9,4                                 | 118,7 |
|                                | 26                     | 22,2                                    | 0,61  | -38,7                               | 72,8  |
| ДФМ 2                          | 12                     | 35,5                                    |       |                                     | 113,4 |
|                                | 16                     | 35,8                                    | 1,01  | 0,8                                 | 114,4 |
|                                | 26                     | 22,6                                    | 0,63  | -36,9                               | 72,2  |

Устойчивые значения ИИСХ в течение измерений на 12 и 16 сут после посева были отмечены во всех вариантах, но наименьшее снижение отмечено в вариантах БС<sub>10</sub><sup>-6</sup>, Удобрение 1, ДФМ 1 и ДФМ 2, контроле (в порядке убывания).

Величина показателя распространённости пятнистостей листьев ячменя во всех вариантах перед завершением опыта (26 сут после посева) находилась в диапазоне 60...80 %. Уровень развития болезни в контроле достигал 7,9±0,3 % (см. табл. 3). В вариантах применения биостимулятора для обработки семян в концентрациях 10<sup>-4</sup> и 10<sup>-6</sup> мл/л отмечено снижение величины этого показателя, как и в вариантах с применением

удобрения и ДФМ (концентрация 1): отличия от контроля были значимы при  $p < 0,05$ . Вместе с тем, использование Циркона или Эпина-Экстра не приводило к изменению уровня развития листовых болезней, а в варианте БС 10<sup>-5</sup> мл/л отмечено их нарастание (на 16 %).

**Выводы.** Семена ячменя сорта Нур были колонизированы, в основном, грибами рода *Alternaria*, *Bipolaris sorokiniana* Shoemaker; на долю грибов из рода *Fusarium* (*F. moniliforme* J. Sheld. и *F. sporotrichiella*) приходилось до 24 %. Обработка семян биологически активными веществами не приводила к изменению видового состава грибных консорциев. После обработки семян Natur Agro ECO GROW и дифенилмочевой доля фузариев выросла до 26...33 %.

При проращивании семян в рулонах использование биостимулятора в концентрациях 10<sup>-4</sup> и 10<sup>-5</sup> мл/л, а также Эпина-Экстра (200 мл/т) и ДФМ (в концентрации 3×10<sup>-3</sup> мл/л) достоверно увеличивало длину главного зародышевого корня (на 8,0...12,0 %, по отношению к контролю). Применение БС<sub>10</sub><sup>-4</sup> и БС<sub>10</sub><sup>-5</sup>, Циркона, Эпина-Экстра, Natur Agro ECO GROW (30 мл/л) и ДФМ (3×10<sup>-3</sup> мл/л) обеспечивало рост массы корней, по сравнению с массой ростка, что должно способствовать формированию развитой корневой системы.

В камере искусственного климата в варианте БС<sub>10</sub><sup>-6</sup> отмечено увеличение скорости прироста высоты растений, по сравнению с контролем, на 8,8 % и повышение содержания хлорофилла в листьях на 23,0 %.

На фоне лучшего физиологического состояния растений при использовании БС<sub>10</sub><sup>-4</sup> и БС<sub>10</sub><sup>-6</sup>, препаратов Natur Agro ECO GROW (20 и 30 мл/л) и ДФМ (2×10<sup>-3</sup> мл/л) наблюдали достоверное снижение развития листовых болезней, по сравнению с контролем, на 26...34 %.

Совокупность полученных данных свидетельствует о потенциальной возможности использования биостимулятора из растительного сырья для предпосевной обработки семян зерновых культур.

#### ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа финансировалась за счет средств бюд-

жета Всероссийского научно-исследовательского института фитопатологии (ФГБНУ ВНИИФ) по научной теме FGGU-2023-0002. Никаких дополнительных грантов на проведение или руководство данным конкретным исследованием получено не было.

#### СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

В работе отсутствуют исследования человека или животных.

#### КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы работы заявляют, что у них нет конфликтов интересов.

#### Литература.

1. Соколов М. С. Оздоровление почвы и биологизация земледелия – важнейшие факторы оптимизации экологического статуса агрорегиона (Белгородский опыт) // *Агрохимия*. 2019. № 11. С. 3–16.
2. Перспективы применения жасмонатов, салицилатов и абсцизовой кислоты в сельском хозяйстве для повышения устойчивости растений (обзор) / А. В. Пигольев, Е. А. Дегтярев, Д. Н. Мирошниченко и др. // *Сельскохозяйственная биология*. 2023. Т. 58. № 1. С. 3–22.
3. Разработка новых регуляторов роста озимой пшеницы / Л. В. Дядюченко, В. В. Тараненко, В. Д. Стрелков и др. // *Агрохимия*. 2019. № 6. С. 14–17.
4. Exogenous phytohormones of growth and development of cereals under abiotic stresses / I. V. Kosakivska, N. P. Vedenicheva, L. M. Babenko, et al. // *Molecular Biology Reports*. 2022. Vol. 49. No. 1. P. 617–628. doi: 10.1007/s11033-021-06802-2.
5. Эффективность предпосевной обработки семян новых сортов яровой пшеницы биологическими препаратами и химическими протравителями / Ф. С. Султанов, А. А. Разина, О. Б. Габдрахимов и др. // *Достижения науки и техники АПК*. 2021. Т. 35. № 3. С. 33–38. doi: 10.24411/0235-2451-2021-10306.
6. Moya-Elizondo E. A., Jacobsen B. J. Integrated management of Fusarium crown rot of wheat using fungicide seed treatment, cultivar resistance, and induction of systemic acquired resistance (SAR) // *Biological Control*. 2016. Vol. 92. P. 153–163.
7. Ацилгомосеринлактоны как регуляторы урожайности и стрессоустойчивости сельскохозяйственных культур (обзор) / Л. М. Бабенко, Е. А. Романенко, О. С. Юнгин и др. // *Сельскохозяйственная биология*. 2021. Т. 56. № 1. С. 3–19.
8. Влияние биостимулятора из растительного сырья на морфофизиологические, цитогенетические и биохимические показатели проростков ячменя / Н. В. Амосова, М. А. Севостьянов, К. В. Бабина и др. // *Достижения науки и техники АПК*. 2024. Т. 38. № 2. С. 4–9. doi: 10.53859/02352451\_2024\_38\_2\_0.
9. Cytokinin at the crossroads of abiotic stress signalling pathways / J. Pavlu, J. Novak, V. Koukalova, et al. // *International Journal of Molecular Sciences*. 2018. Vol. 19. No. 8. Article 2450. URL: <https://www.mdpi.com/1422-0067/19/8/2450> (дата обращения: 15.12.2023). doi: 10.3390/ijms19082450.
10. Role of cytokinins in stress resistance of plants / D. S. Veselov, G. R. Kudoyarova, N. V. Kudryakova, et al. // *Russ. J. Plant Physiol.* 2017. Vol. 64. P. 15–27. doi: 10.1134/S1021443717010162.
11. Ощепков М. С., Калистратова А. В., Савельева Е. М. Природные и синтетические цитокинины и их применение в биотехнологии, агрохимии и медицине // *Успехи химии*. 2020. Т. 89. № 8. С. 787–810.
12. Будынов Н. И., Михалёва С. Н., Проскурин А. В. Динамика факультативных паразитов грибной природы в полевых агроценозах с минимальной обработкой почвы в западной части Волгоградской области // *Агрохимия*. 2021. № 1. С. 64–71.
13. Железова С. В. Применение оптических датчиков для оценки состояния посевов озимой пшеницы // *Агрофизика*. 2018. № 3. С. 42–48.

#### References

1. Sokolov MS. [Soil improvement and biologization of agriculture are the most important factors for optimizing the ecological status of an agroregion (Belgorod experience)]. *Agrokhimiya*. 2019;(11):3-16. Russian.
2. Pigolev AV, Degtyarev EA, Miroshnichenko DN, et al. [Prospects for the use of jasmonates, salicylates and abscisic acid in agriculture to increase plant resistance (review)]. *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya*. 2023;58(1):3-22. Russian.
3. Dyadyuchenko LV, Taranenko VV, Strelkov VD, et al. [Development of new growth regulators for winter wheat]. *Agrokhimiya*. 2019;(6):14-7. Russian.
4. Kosakivska IV, Vedenicheva NP, Babenko LM, et al. Exogenous phytohormones of growth and development of cereals under abiotic stresses. *Molecular Biology Reports*. 2022;49(1):617-28. doi: 10.1007/s11033-021-06802-2.
5. Sultanov FS, Razina AA, Gabdrakhimov OB, et al. [Efficiency of pre-sowing treatment of seeds of new varieties of spring wheat with biological preparations and chemical disinfectant]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2021;35(3):33-8. Russian. doi: 10.24411/0235-2451-2021-10306.
6. Moya-Elizondo EA, Jacobsen BJ. Integrated management of Fusarium crown rot of wheat using fungicide seed treatment, cultivar resistance, and induction of systemic acquired resistance (SAR). *Biological Control*. 2016;92:153-63.
7. Babenko LM, Romanenko EA, Yungin OS, et al. [Acyl homoserine lactones as regulators of yield and stress resistance of agricultural crops (review)]. *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya*. 2021;56(1):3-19. Russian.
8. Amosova NV, Sevostyanov MA, Babina KV, et al. [Effect of plant biostimulant on morphophysiological, cytogenetic and biochemical parameters of barley seedlings]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2024;38(2):4-9. Russian. doi: 10.53859/02352451\_2024\_38\_2\_0.
9. Pavlu J, Novak J, Koukalova V, et al. Cytokinin at the crossroads of abiotic stress signalling pathways. *International Journal of Molecular Sciences* [Internet]. 2018 [cited 2023 Dec 15];19(8): Article 2450. Available from: <https://www.mdpi.com/1422-0067/19/8/2450>. doi: 10.3390/ijms19082450.
10. Veselov DS, Kudoyarova GR, Kudryakova NV, et al. Role of cytokinins in stress resistance of plants. *Russ. J. Plant Physiol.* 2017;64:15-27. doi: 10.1134/S1021443717010162.
11. Oshchepkov MS, Kalistratova AV, Savelyeva EM. [Natural and synthetic cytokinins and their use in biotechnology, agrochemistry and medicine]. *Uspekhi Khimii*. 2020;89(8):787-810. Russian.
12. Budynkov NI, Mikhaleva SN, Proskurin AV. [Dynamics of facultative parasites of a fungal nature in field agroценоses with minimal tillage in the western part of the Volgograd region]. *Agrokhimiya*. 2021;(1):64-71. Russian.
13. Zhelezova SV. [The use of optical sensors to assess the state of winter wheat crops]. *Agrofizika*. 2018;(3):42-8. Russian.

Поступила в редакцию 03.06.2024 После доработки 30.08.2024 Принята к публикации 02.10.2024