

DOI 10.5281/zenodo.10276740

EDN ETOJBI

УДК 579.64:632.51

Дидович С. В., Пась А. Н., Горгулько Т. В., Алексеенко О. П., Бараташвили З. А.

**ФИТОТОКСИЧНОСТЬ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ШТАММОВ-
ФИТОИНГИБИТОРОВ НА *AMBROSIA ARTEMISIIFOLIA* L. И
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУРАХ**

ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»

Реферат. Разработка методов контроля расширения заселяемых амброзией площадей с помощью биологических методов имеет высокую актуальность в контексте обеспечения экологической безопасности страны. Цель исследований – анализ фитотоксичности штаммов-фитоингибиторов на сельскохозяйственных культурах и оценка эффективности их биорациональных гербицидных форм на *Ambrosia artemisiifolia* L. Исследования проводили в 2021–2022 гг. в отделе сельскохозяйственной микробиологии ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма». В опытах использовали штаммы-фитоингибиторы *A. artemisiifolia* из крымской коллекции микроорганизмов НИИСХ Крыма и альгологической коллекции ИФХиБПП РАН. Исследование фитоингибирующей активности штаммов по отношению к 29 видам из 12 семейств сельскохозяйственных культур показало, что 16 протестированных видов растений (55,1 %) имели степень поражения 25–50 % при бактеризации штаммом *Fusarium* sp. 200Г, 17 видов (58,6 %) – 25–75 % при бактеризации штаммом *Fusarium* sp. 200ГР. Оценка гербицидной эффективности на *A. artemisiifolia* L. перспективных оригинальных препаративных форм на основе штаммов-фитоингибиторов: *Penicillium* sp. MSK3Г, *Fusarium* sp. 200ГР, *Fusarium* sp. 200ГР2 показала, что из девяти разработанных гербицидных форм выявлено семь со средним индексом токсичности (ИТФ = 0,5–0,7), из которых три – на основе штаммов *Penicillium* sp. MSK 3Г, *Fusarium* sp. 200ГР2 с ПФАК, *Fusarium* sp. 200ГР со степенью поражения до 7 % и две (*Fusarium* sp. 200ГР с ПФАК, *Penicillium* sp. MSK 3Г) – 15–23 %. Установлена высокая эффективность гербицидной формы *Penicillium* sp. MSK3Г с ПФАК, которая обеспечила снижение высоты на 6,2 см (44,2 %), фитомассы – на 0,17 г (60,7 %) и на 11 % – поражение растений амброзии полыннолистной. Данная форма характеризовалась сверхвысокой степенью ингибирующего воздействия (ИТФ = 0,47) ($p < 0,5$). Препаративная форма на основе штамма фототрофной цианобактерии *Nostoc calcicola* 82 при низкой степени фитотоксичности (ИТФ = 0,71) обеспечила степень поражения амброзии полыннолистной на 15 %.

Ключевые слова: микроорганизмы-фитоингибиторы, биотоксичность, биогербициды, ингибирование роста, амброзия полыннолистная (*Ambrosia artemisiifolia* L.), сельскохозяйственные культуры.

Для цитирования: Дидович С. В., Пась А. Н., Горгулько Т. В., Алексеенко О. П., Бараташвили З. А. Фитотоксичность и эффективность штаммов-фитоингибиторов на *Ambrosia artemisiifolia* L. и сельскохозяйственных культурах // Таврический вестник аграрной науки. 2023. № 4(36). С. 76–89. EDN: ETOJBI. DOI: 10.5281/zenodo.10276740.

For citation: Didovich S. V., Pas' A. N., Gorgul'ko T. P., Alekseenko O. P., Baratashvili Z. A. Phytotoxicity and efficacy of phyto-inhibitor strains on *Ambrosia artemisiifolia* L. and agricultural crops // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2023. No. 4(36). P. 76–89. EDN: ETOJBI. DOI: 10.5281/zenodo.10276740.

Введение

Ambrosia artemisiifolia L. – карантинное сорное растение, распространенное в 56 субъектах России с площадью фитосанитарной зоны 12,7 млн га, причиняющее

биологический и технологический ущерб окружающей среде и земледелию, вызывающее массовое аллергическое заболевание – амброзийный поллиноз. Разработка методов контроля расширения заселяемых ею площадей и продуктивности растений с помощью биологических методов имеет высокую актуальность для обеспечения экологической безопасности страны.

Современные отечественные и зарубежные технологии выращивания сельскохозяйственных культур предусматривают использование гербицидов для защиты агроценозов от сорняков, что обуславливает огромный спрос на использование химических средств защиты растений (ХСЗР) в сельскохозяйственной практике [1–4]. При высокой засоренности посевов многие элементы технологий растениеводства (удобрения, продуктивные сорта, стимуляторы роста и так далее) без применения химических гербицидов (ХГ) оказываются практически напрасными из-за высоких потерь урожая. Однако все большее число сведений о токсическом действии ХГ на живые организмы [5–7], накоплении их остатков в окружающей среде и в посевах [8, 9], и появление резистентных к ХГ популяций сорных растений [10, 11] приводит к повсеместному снижению эффективности использования таких препаратов. Пятьдесят один вид сорных растений в мировой сельскохозяйственной практике приобрел устойчивость к «Глифосату» [12], демонстрируя большое разнообразие механизмов, определяющих эту устойчивость [13].

В рамках стратегии производства органической продукции растениеводства ведется поиск биологических путей защиты растений как альтернативы использования синтетических ксенобиотиков, разрабатываются биологические и биорациональные гербициды от сорных растений [14, 15]. В мировой индустрии биологических средств защиты растений (БСЗР) известны коммерциализированные биогербициды на основе следующих микроорганизмов: *Cylindrobasidium leave* (Fr.) Read («Stumpout», ЮАР) для контроля акаций в древесных питомниках, *Colletotrichum gloeosporioides* f. sp. *malvae* («Mallet WP», США, Канада) против мальвы круглолистной *Malva pusilla* L. в посевах пшеницы, льна и чечевицы, *Xanthomonas campestris* pv. *roae* («Camperico», Япония) против мятлика однолетнего *Poa annua* L. на площадках для гольфа [16]. Известны биорациональные гербициды на основе растительных и синтетических компонентов – эфирных масел, кукурузного глютена, уксусной кислоты, смесей жирных кислот и прочее [15, 17, 18]. По последним аналитическим данным (2021 г.), в Соединенных Штатах Америки, Канаде, Китае и Южной Африке на рынке средств борьбы с сорной растительностью внедряются биологические и биорациональные гербициды (БГБ), в Российской Федерации к настоящему моменту не зарегистрировано ни одного подобного препарата [19]. Непостоянство эффективности биогербицидов зависит от многих сложно контролируемых факторов, среди которых: содержание биологически активных соединений, спектр сорняков, рецептуры и способ применения, что усложняет и ограничивает возможность их широкого применения [20].

Цель исследований – анализ фитотоксичности штаммов-фитоингибиторов на сельскохозяйственных культурах и оценка эффективности их биорациональных гербицидных форм на *Ambrosia artemisiifolia* L.

Материалы и методы исследований

Исследования проводили в 2021–2022 гг. в отделе сельскохозяйственной микробиологии ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма». Объектами исследования выступали штаммы гетеротрофных и фототрофных микроорганизмов из коллекций ФГБУН «НИИСХ Крыма» (<http://www.ckr-rg.ru/usu/507484/>) и альгологической коллекции ИФХиБПП РАН (<http://acssi.org>) с фитотоксичными свойствами для амброзии полыннолистной.

В лабораторных опытах для выявления гербицидной эффективности и фитотоксичности штаммов-фитоингибиторов использовали растения 29 видов сельскохозяйственных культур из 12 семейств, выращенных в пластиковых контейнерах объемом 200 мл на черноземе южном в условиях климатокамеры с контролируемым освещением, фотопериод составлял 10 ч. Почвенный субстрат увлажняли водой [21]. Обработку растений проводили через две недели после появления всходов опрыскиванием из расчета 2 мл рабочего раствора на растение. Рабочий раствор готовили из скошенного агарового блока с 14-суточной культурой штамма-ингибитора в 100 мл воды с массой мицелия 10–13 мг абсолютно сухой массы/мл. Степень поражения оценивали в %, измеряли высоту и биомассу 10 сельскохозяйственных растений в 10-кратной повторности. Контролем служила дистиллированная вода.

В лабораторном опыте оценивали эффективность действия на растениях *Ambrosia artemisiifolia* L. перспективных оригинальных препаративных форм на основе штаммов-фитоингибиторов: *Penicillium sp.* MSK3Г, *Fusarium sp.* 200ГР, *Fusarium sp.* 200ГР2, учитывая срок их хранения. Штаммы микромицетов культивировали на бобовой среде с сахарозой с добавлением (и без) поверхностно- и физиологически активных компонентов (ПФАК). Препаративные формы на основе штаммов микромицетов готовили на рекомендованных питательных средах [22], в которых масса мицелия составляла 10–13 мг а.с.м./мл суспензии и/или препаративной формы. Все биогербицидные препаративные формы перед обработкой растений гомогенизировали 60 с при 20000 об./мин [23]. Накопительную культуру штамма фототрофной цианобактерии получали на среде Громова в климатокамере при температурах 23–25 °С и контролируемом освещении с фотопериодом 12 ч [24].

Препаративные гомогенизированные цианобактериальные формы готовили из цианобактериальных накопительных культур путем перемешивания на механическом гомогенизаторе 60 сек. при 20000 об./мин. Биомассу штаммов цианобактерий определяли по абсолютно сухой массе (а.с.м.) мг/мл среды гравиметрическим методом. Биомасса штаммов цианобактерий в гербицидной форме составляла $0,1 \times 10^3$ мг а.с.м./мл суспензии и/или препаративной формы.

Растения *A. artemisiifolia* выращивали из предварительно скарифицированных семян в сосудах с перфорированным дном объемом 200 мл на почвосмеси универсальной в условиях климатокамеры. Вариантами опыта были биогербицидные препаративные формы на основе штаммов микромицетов *Penicillium sp.* MSK 3Г, *Fusarium sp.* 200ГР, *Fusarium sp.* 200ГР2 разного срока хранения (две недели, месяц, три месяца) с ПФАК, и штаммы фототрофных микроорганизмов *Nostoc sphaeroides* 4, *N. calcicola* 82, *N. linckia* 144.

Растения обрабатывали рабочими растворами (доза 200 мкл/растение) в фазе 4–6 листьев методом опрыскивания. Через три недели оценивали продуктивность (высоту и фитомассу надземной части) амброзии полыннолистной и вычисляли индекс фитотоксичности и степень поражения в %.

В лабораторном опыте по определению фитотоксичных препаративных форм для амброзии полыннолистной оценивали эффективность их действия по показателям продуктивности растений – высоте и массе надземной части. Индекс фитотоксичности (ИТФ) определяли по итогам тестирования каждой растительной тест-культуры по формуле [25, 26]:

$$\text{ИТФ} = \text{ТФ}_0 / \text{ТФ}_к,$$

где ТФ_0 – среднее значение показателя в опыте, $\text{ТФ}_к$ – среднее значение этого же регистрируемого показателя в контроле.

Среднее значение индекса токсичности для каждого растения рассчитывали по формуле: $\text{ИТФ СР} = (\text{ИТФ}_1 + \text{ИТФ}_2 \dots) / n$, где ИТФ_1 , ИТФ_2 , и т.д. – индексы

токсичности, рассчитанные для каждого показателя продуктивности растений, n – количество показателей. Для оценки фитотоксичности использовали шкалу токсичности почв в модификации Багдасаряна А. С. [27]. Шкала включает шесть классов токсичности – I (сверхвысокая, вызывающая гибель тест-объекта), II (высокая, ИТФ < 0,50), III (средняя, ИТФ 0,50–0,70), IV (низкая, ИТФ 0,71–0,90), V (норма, ИТФ 0,91–1,10), VI (стимуляция, ИТФ > 1,1).

Статистическую обработку данных проводили с использованием компьютерной программы Statistica 10.

Результаты и их обсуждение

В предыдущих многолетних лабораторных и вегетационных опытах по изучению влияния штаммов-фитоингибиторов и их биорациональных гербицидных форм на растения амброзии полыннолистной нами установлено, что штаммы *Fusarium sp.* 200Г и его реактивированная через растение амброзии форма *Fusarium sp.* 200ГР, *Penicillium sp.* MSK3Г проявляли высокую гербицидную активность [28].

На данном этапе исследования в условиях лабораторного опыта проведена оценка фитотоксичности активных гербицидных штаммов и специфичности их влияния на сельскохозяйственных растениях 29 видов из 12 семейств (зерновых, зернобобовых, масличных, овощных и эфиромасличных культур).

Установлено, что высота (h) и фитомасса (m) у обработанных штаммами 200Г и 200ГР растений из двух семейств: Poaceae – *Triticum aestivum* (пшеница мягкая), *Hordeum vulgare* (ячмень обыкновенный), *Sorghum bicolor* (сорго зерновое) и Fabaceae – *Lupinus angustifolius* (люпин узколистный) были на уровне контрольных в пределах ошибки опыта ($p < 0,05$) (рисунки 1, 2).

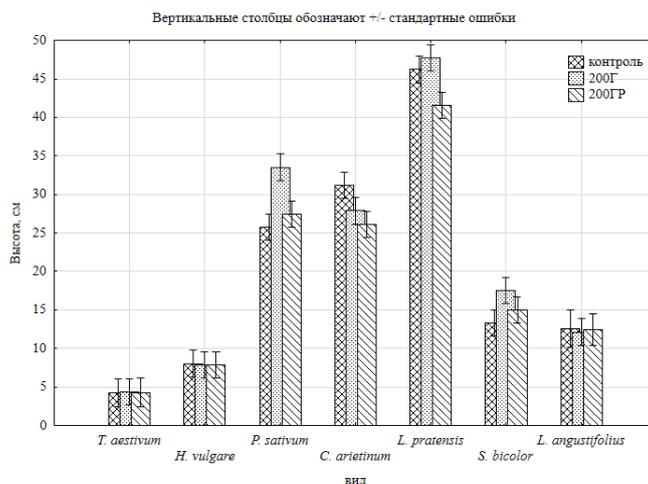


Рисунок 1 – Влияние обработки перспективными биогербицидными штаммами на высоту растений зерновых и зернобобовых культур

Бактеризация штаммом 200Г обеспечила существенное повышение высоты и массы растений *Pisum sativum* (горох посевной) на 7,8 см (30,3 %) и 0,24г (20,7 %), штаммом 200 ГР – на 0,21 г (18,9 %) в сравнении с контролем (25,7 см, 1,11 г) ($p < 0,05$). Обработка штаммом 200Г растений *Cicer arietinum* (нут бараний) достоверно снижала фитомассу на 0,26 г (24,7 %), штаммом 200ГР – высоту и фитомассу – на 5 см и 0,26 г (17,1 и 24,7 %) в сравнении с контролем (31,1 см, 1,05 г) ($p < 0,05$). Обработка штаммом 200ГР растений *Lathyrus pratensis* (чина луговая) снижала высоту на 4,7 см (10,1 %) и штаммом 200Г – фитомассу на 0,28 г (22,4 %) по сравнению с контролем (46,2 см, 1,25 г) ($p < 0,05$).

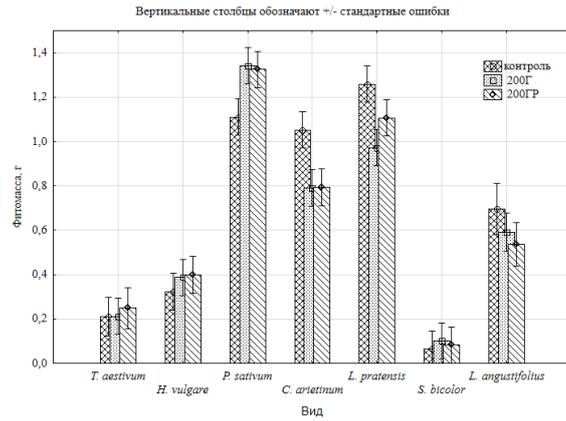


Рисунок 2 – Влияние обработки перспективными биогербицидными штаммами на фитомассу зерновых и зернобобовых культур

Максимально восприимчивым к поражению штаммами был *C. arietinum* с поражением растений 25 % по отношению к контролю ($p < 0,05$) (рисунок 3). Необходимо отметить, что контрольные растения *T. aestivum* имели поражения 25 %, и бактерицизация не увеличила данный показатель.

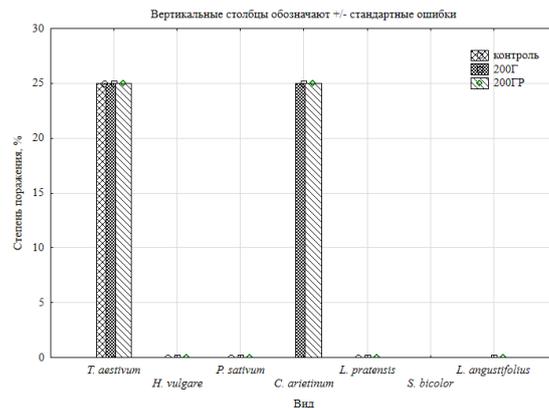


Рисунок 3 – Влияние обработки перспективными биогербицидными штаммами на степень поражения зерновых и зернобобовых культур

Показатели высоты и фитомассы растений *Camelina sativa* (рыжик яровой), *Brassica juncea* (горчица сарептская), *Linum usitatissimum* (лен посевной), *Nigella sativa* (тмин черный) находились на уровне контрольных в пределах ошибки опыта ($p < 0,05$) (рисунки 4, 5). В опытных вариантах морфометрические показатели растений *Silybum marianum* (расторопша пятнистая) – высота и масса при обработке штаммом 200Г достоверно увеличивались на 3,5 см (32,1 %) и 0,48 г (52,7 %), в варианте с 200ГР – фитомасса увеличилась на 0,26 г (28,5 %) по сравнению с контролем (10,9 см, 0,91 г) ($p < 0,05$). Существенное снижение показателей фитомассы – на 0,3 г (20,1 %) выявлено у растений *Helianthus annuus* (подсолнечник однолетний) при обработке штаммом 200Г, высоты – на 2,5 см (10,9 %) и массы – на 0,48 г (32,2 %) при обработке штаммом 200ГР по сравнению с контролем (22,8 см, 1,49 г) ($p < 0,05$). Из масличных культур четырех семейств (Brassicaceae, Asteraceae, Linaceae, Fabaceae) восприимчивость к биогербицидной бактерицизации проявили шесть видов растений: *H. annuus*, *C. sativa*, *B. juncea*, *L. usitatissimum*, *C. tinctorius*, *N. sativa*, поражения которых составили 25–50 % по отношению к контролю ($p < 0,05$) (рисунок 6).

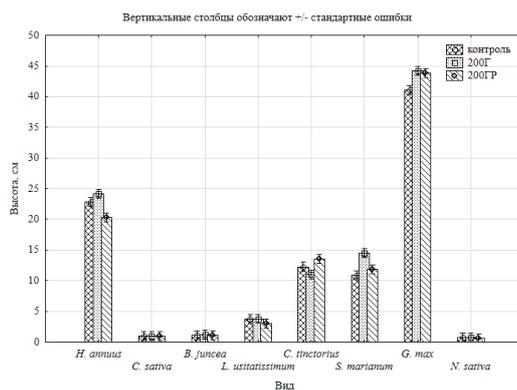


Рисунок 4 – Влияние обработки перспективными биогербицидными штаммами на высоту растений масличных культур

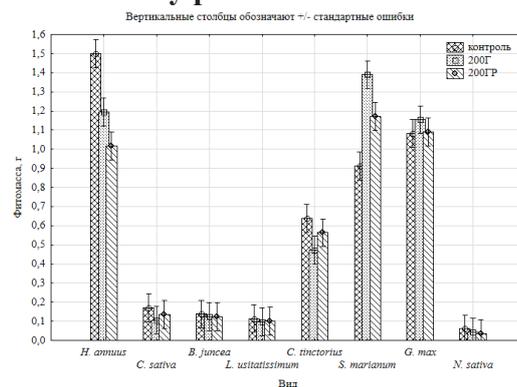


Рисунок 5 – Влияние обработки перспективными биогербицидными штаммами на фитомассу масличных культур

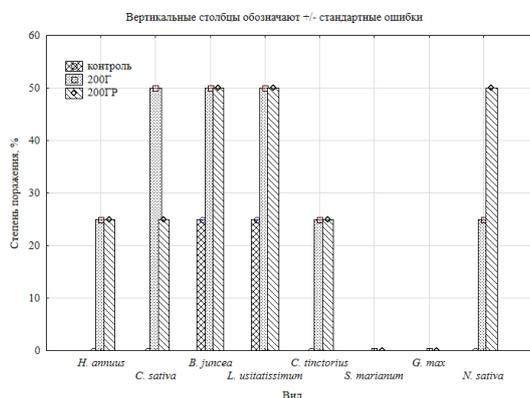


Рисунок 6 – Влияние обработки перспективными биогербицидными штаммами на степень поражения масличных культур

Установлено, что у растений *Coriandrum sativum* и *Salvia officinalis* показатели высоты и фитомассы находились на уровне контрольных в пределах ошибки опыта ($p < 0,05$) (рисунки 7, 8). Существенно возростала высота и масса у растений *Foeniculum vulgare* на 0,21 см (13,8 %) и 0,02 г (40 %) соответственно к контролю (1,52 см, 0,05 г) ($p < 0,05$). Высота растений *Pimpinella anisum* снижалась на 0,22 см (10,6 %) и 0,19 см (9,2 %) при обработке штаммами 200Г и 200ГР соответственно в сравнении с контролем (2,06 см) ($p < 0,05$). Бактеризация значительно снижала высоту и фитомассу растений *Anethum graveolens* – на 0,34 см (12,9 %) и 0,01 г (25 %) при обработке штаммом 200Г, и на 0,3 см (11,4 %) и 0,01 г (25 %) – под действием штамма 200ГР по сравнению с контролем (2,63 см, 0,04 г) ($p < 0,05$). У растений *Phacelia tanacetifolia* достоверно

снижалась под действием штамма 200Г высота – на 0,34 см (16,6 %) и фитомасса – на 0,01 г (16,6 %) по сравнению с контролем (2,63 см, 0,04 г) ($p < 0,05$). Выявлены существенные поражения (на 25–75 %) у пяти видов растений: *F. vulgare*, *Ph. tanacetifolia*, *A. graveolens*, *P. anisum*, *S. officinalis* из эфиромасличных культур семейств Hydrophyllaceae, Apiaceae, Lamiaceae ($p < 0,05$) (рисунок 9).

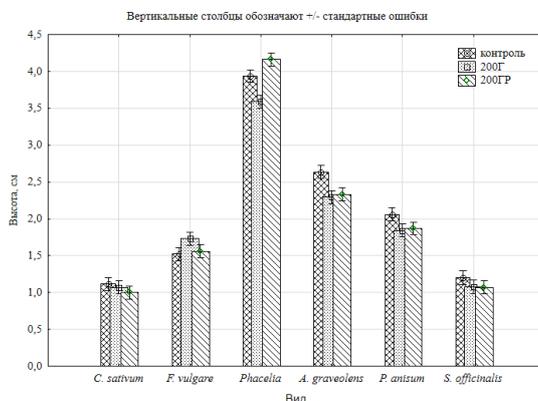


Рисунок 7 – Влияние обработки перспективными биогербицидными штаммами на высоту растений эфиромасличные культуры

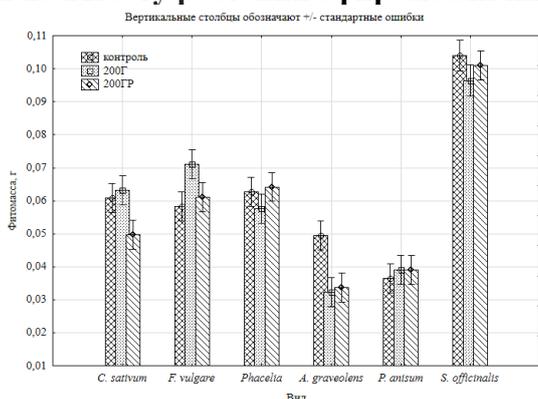


Рисунок 8 – Влияние обработки перспективными биогербицидными штаммами на фитомассу эфиромасличные культуры

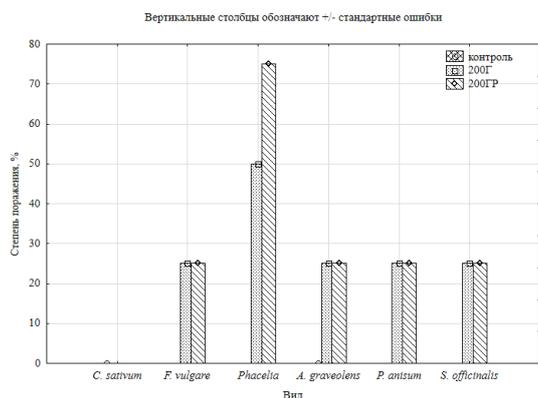


Рисунок 9 – Влияние обработки перспективными биогербицидными штаммами на степень поражения эфиромасличных культур

Установлено, что у растений *Allium cepa*, *Capsicum annuum*, *Petroselinum sativum*, *Solanum melongena* показатели высоты и фитомассы находились на уровне контрольных в пределах ошибки опыта ($p < 0,05$) (рисунки 10, 11). Бактеризация штаммом 200Г

существенно повышала массу (на 1,01 г (27 %) у растений *Cucurbita pepo* по сравнению с контролем (3,73 г), штаммом 200ГР – высоту на 7,63 см (50,6 %) у растений *Cucumis melo* в сравнении с контролем (15,07 см) ($p < 0,05$). Однако выявлено достоверное поражение на 25–50 % по сравнению с контролем ($p < 0,05$) у шести видов растений: *C. pepo*, *A. cepa*, *Cucumis sativus*, *Lycopersicon esculentum* (томат), *C. melo*, *C. annuum* семейств *Ariaceae*, *Cucurbitaceae*, *Alliaceae*, *Solanaceae* (рисунок 12).

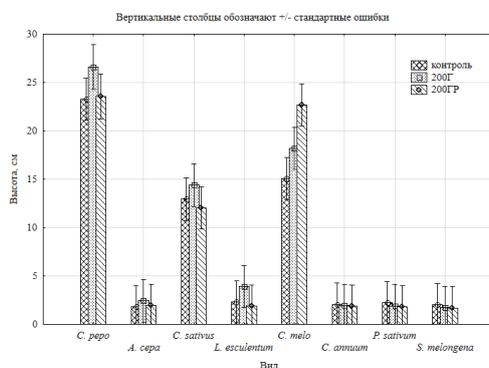


Рисунок 10 – Влияние обработки перспективными биогербицидными штаммами на высоту растений овощных культур

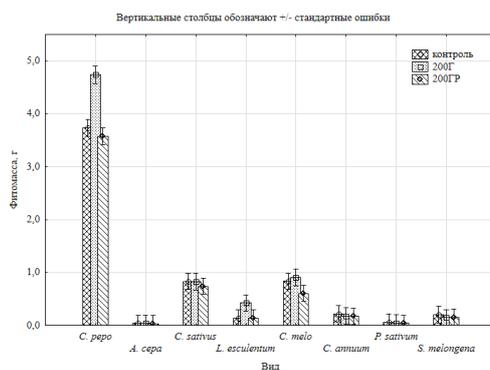


Рисунок 11 – Влияние обработки перспективными биогербицидными штаммами на фитомассу овощных культур

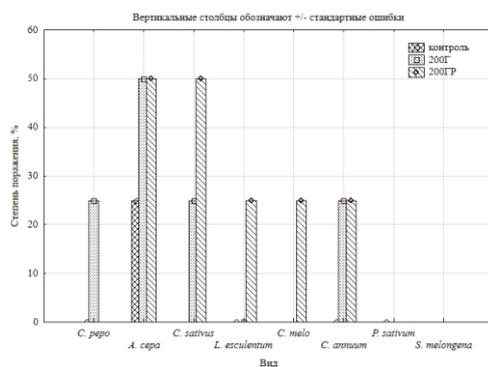


Рисунок 12 – Влияние обработки перспективными биогербицидными штаммами на степень поражения овощных культур

Таким образом, восприимчивыми к бактериализации двумя фитотоксичными штаммами являются виды, поражения которых в виде некрозов, грибных налетов, хлорозов, гнили составляло:

- до 25 %: *C. arietinum*, *H. annuus*, *B. juncea*, *L. usitatissimum*, *C. tinctorius*, *F. vulgare*, *A. graveolens*, *P. anisum*, *S. officinalis*, *C. pepo*, *A. cepa*, *L. esculentum*, *C. melo*, *C. annuum*;
- от 26 до 50 %: *C. sativa*, *N. sativa*, *C. sativus*;
- от 51 до 75 % – *Phacelia*.

Среди устойчивых к биогербицидной обработке двумя фитотоксичными штаммами выявлены 11 видов растений: *L. pratensis*, *L. angustifolius*, *P. sativum*, *T. aestivum*, *S. bicolor*, *H. vulgare*, *G. max*, *S. marianum*, *C. sativum*, *P. sativum*, *S. melongena*.

Следующим этапом исследования была разработка биорациональных гербицидных форм на основе штаммов-фитоингибиторов. В лабораторном опыте по изучению гербицидной эффективности перспективных препаративных форм и сроков их хранения на *A. artemisiifolia* установлена степень их фитотоксичности по уровню воздействия на биометрические показатели растений. Оценка влияния биогербицидных препаративных форм по воздействию на высоту растений показала во всех вариантах достоверное снижение данного показателя от 20 до 40 % (на 2,8–5,6 см) по сравнению с контролем (14,0 см) (таблица).

Таблица – Влияние биогербицидных микробных препаративных форм на показатели продуктивности и степень поражения растений *A. artemisiifolia* (лабораторный опыт, 2022 г)

Вариант обработки	Высота h		Масса m		ИТФ ср.	% поражения
	см ±SE	ИТФ	г ±SE	ИТФ		
Контроль (вода)	14,0 ± 1,6	-	0,28 ± 0,03	-		0
Срок хранения препаративной формы две недели						
<i>Penicillium sp.</i> MSK 3Г	9,4 ± 0,5	0,67	0,15 ± 0,06	0,54	0,6	3
<i>Fusarium sp.</i> 200ГР	8,4 ± 0,1	0,6	0,19 ± 0,04	0,69	0,64	3
<i>Fusarium sp.</i> 200ГР2	11,2 ± 0,9	0,8	0,28 ± 0,08	1,0	0,9	6
Срок хранения препаративной формы месяц						
<i>Penicillium sp.</i> MSK 3Г	10,6 ± 1,3	0,76	0,17 ± 0,08	0,63	0,69	23
<i>Fusarium sp.</i> 200ГР	8,5 ± 1,5	0,61	0,16 ± 0,05	0,57	0,59	7
<i>Fusarium sp.</i> 200ГР2	10,8 ± 1,0	0,77	0,29 ± 0,09	1,04	0,9	1,6
Срок хранения препаративной формы с культивированием ПФАК две недели						
<i>Penicillium sp.</i> MSK 3Г	7,8 ± 0,5	0,55	0,11 ± 0,01	0,39	0,47	11
<i>Fusarium sp.</i> 200ГР	9,8 ± 0,4	0,7	0,11 ± 0,02	0,39	0,54	15
<i>Fusarium sp.</i> 200ГР2	10,7 ± 0,7	0,76	0,22 ± 0,06	0,8	0,78	3
Срок хранения препаративной формы две недели + ПФАК перед обработкой						
<i>Penicillium sp.</i> MSK3Г	9,0 ± 1,0	0,64	0,24 ± 0,07	0,85	0,74	3
<i>Fusarium sp.</i> 200ГР	9,4 ± 1,0	0,67	0,22 ± 0,01	0,78	0,72	6
<i>Fusarium sp.</i> 200ГР2	8,8 ± 0,8	0,63	0,16 ± 0,04	0,58	0,6	0
Срок хранения препаративной формы месяц + ПФАК перед обработкой						
<i>Penicillium sp.</i> MSK3Г	10,4 ± 2,4	0,74	0,26 ± 0,09	0,94	0,84	20
<i>Fusarium sp.</i> 200ГР	9,8 ± 1,6	0,7	0,25 ± 0,08	0,91	0,8	1,6
<i>Fusarium sp.</i> 200ГР2	10,1 ± 1,1	0,72	0,15 ± 0,04	0,55	0,63	5
Срок хранения препаративной формы три месяца + ПФАК перед обработкой						
<i>Penicillium sp.</i> MSK 3Г	10,3 ± 1,5	0,73	0,23 ± 0,02	0,83	0,78	8
<i>Fusarium sp.</i> 200ГР	10,6 ± 1,2	0,75	0,20 ± 0,03	0,71	0,73	0
Препаративные формы на основе <i>Nostoc</i>						
<i>Nostoc sphaeroides</i> 4	13,1 ± 0,9	0,93	0,28 ± 0,04	1,02	0,97	0
<i>Nostoc calcicola</i> 82	10,5 ± 1,0	0,7	0,20 ± 0,02	0,73	0,71	15
<i>Nostoc linckia</i> 144	11,4 ± 0,7	0,81	0,17 ± 0,01	0,61	0,71	6,6

Примечание. ИТФ – индекс фитотоксичности; ПФАК – поверхностно и физиологически активные компоненты; SE – стандартная ошибка.

Существенное снижение массы растений – от 32,1 % до 60 % (на 0,09–0,17 г) обеспечила обработка препаративными биогербицидными формами на основе

Penicillium sp. MSK 3Г и *Fusarium sp.* 200ГР со сроком хранения две недели и месяц с совместным культивированием ПФАК по сравнению с контролем (0,28 г) ($p < 0,05$). Также выявлено значительное снижение фитомассы – на 42,8–46 % (0,12–0,13 г) в сравнении с контролем (0,28 г) в вариантах *Fusarium sp.* 200ГР2 со сроком хранения две недели и месяц с добавлением ПФАК перед обработкой ($p < 0,05$). Из препаративных форм на основе *Nostoc* штамм *N. linckia* 144 снижал фитомассу растений на 39,2 % (на 0,11 г) в сравнении с контролем (0,28 г) ($p < 0,05$). Можно отметить, что препаративные формы со сроком хранения две недели и месяц проявили стабильность ингибирования.

Согласно шкале токсичности по модификации Багдасаряна А. С., выявлено 11 гербицидных форм с низкой степенью токсичности (ИТФ = 0,71–0,9) и степенью поражения растений от 1,6 до 8 %, две из них (*Nostoc calcicola* 82, *Penicillium sp.* MSK3Г+ПФАК) поражали растения на 15–20 %. Выявлено семь гербицидных форм со средней степенью токсичности (ИТФ = 0,5–0,7), из которых три (*Penicillium sp.* MSK 3Г со сроком хранения один месяц, *Fusarium sp.* 200ГР2 со сроком хранения месяц и добавлением ПФАК перед обработкой, *Fusarium sp.* 200ГР со сроком хранения две недели) со степенью поражения до 7 % и две (*Fusarium sp.* 200ГР с совместным культивированием ПФАК и сроком хранения две недели, *Penicillium sp.* MSK 3Г со сроком хранения один месяц) – 15–23 % ($p < 0,05$).

Установлена высокая эффективность ингибирования растений гербицидной формой *Penicillium sp.* MSK 3Г (с добавлением при культивировании ПФАК при сроке хранения две недели).

Выводы

Проведена оценка фитотоксичности штаммов-фитоингибиторов *A. artemisiifolia* L. на 29 видах сельскохозяйственных растений из 12 семейств. Установлено, что 55,1 % протестированных видов растений (16 из 29) имели степень поражения 25–50 % при бактериализации штаммом *Fusarium sp.* 200Г, 58,6 % (17 из 29) – получили степень поражения 25–75 % при бактериализации штаммом *Fusarium sp.* 200ГР. Высокая восприимчивость к поражению (50–75 %) обнаружена у видов: *C. sativa*, *N. sativa*, *C. sativus*, *Phacelia*.

Установлена высокая эффективность ингибирования *A. artemisiifolia* гербицидной формой на основе штамма-фитоингибитора *Penicillium sp.* MSK 3Г (с добавлением при культивировании ПФАК и сроке хранения две недели), которая достоверно обеспечила снижение высоты на 6,2 см (44,2 %), фитомассы – на 0,17 г (60,7 %), 11 % поражение растений и характеризовалась сверхвысокой степенью воздействия (ИТФ = 0,47).

Литература

1. Моисеева С. А., Рябкин Е. А., Каргин В. И., Камалихин В. Е. Влияние гербицидов Фенизан и Лорнет на структурные показатели озимой пшеницы // Тенденции развития науки и образования. 2021. № 79-2. С. 143–146. DOI: 10.18411/trnio-11-2021-84.
2. Бопп В. Л., Данилова М. Е. Люпин узколистный: влияние гербицидов и удобрений на продуктивность зеленой массы // Вестник КрасГАУ. 2020. № 5. С. 73–79. DOI: 10.36718/1819-4036-2020-5-73-79.
3. Никифоров В. М., Силаев А. Л., Чекин Г. В., Смольский Е. В., Никифоров М. И., Нечаев М. М. Применение современных гербицидов при возделывании яровой пшеницы // Вестник Брянского ГСХА. 2018. № 1(65). С. 23–27.
4. Захарычев В. В. Химия гербицидов: учебное пособие для вузов. Санкт-Петербург: Лань, 2021. 592 с.
5. Paganelli A., Gnazzo V., Acosta H., Lopez S. L., Carrasco A. E. Glyphosate-based herbicides produce teratogenic effects on vertebrates by impairing retinoic acid signaling // Chem Res Toxicol. 2010. No. 23(10). P. 1586–1595. DOI: 10.1021/TX1001749.
6. Свиридов А. В., Шушкова Т. В., Ермакова И. Т., Иванова Е. В., Эпиктетов Д. О., Леонтьевский А. А. Микробная деградация гербицида глифосата (обзор) // Прикладная биохимия и микробиология. 2015. Т. 51. № 2. С. 183–190. DOI: 10.7868/S0555109915020221.

7. Flach H., Lenz A., Pfeffer S., Kühl M., Kühl S. J. Impact of glyphosate-based herbicide on early embryonic development of the amphibian *Xenopus laevis* // *Aquat Toxicol.* 2022. Vol. 244. Art. No. 106081. DOI: 10.1016/J.Aquattox.2022.106081.
8. Annett R., Habibi H. R., Hontela A. Impact of glyphosate and glyphosate-based herbicides on the freshwater environment // *J Appl Toxicol.* 2014. No. 34(5). P. 458–479. DOI: 10.1002/JAT.2997.
9. Kwiatkowska M., Jarosiewicz P., Bukowska B. Glyphosate and its formulations – toxicity, occupational and environmental exposure // *Med Pr.* 2013. No. 64(5). P. 717–729. DOI: 10.13075/MP.5893.2013.0059.
10. Vink J. P., Soltani N., Robinson D. E., Tardif F. J., Lawton M. B., Sikkema P. H. Glyphosate-resistant giant ragweed (*Ambrosia trifida* L.) in Ontario: dose response and control with postemergence herbicides // *American Journal of Plant Sciences.* 2012. Vol 3. No. 5. P. 608–617. DOI: 10.4236/ajps.2012.35074.
11. Domínguez-Valenzuela J. A., de la Cruz R. A., Palma-Bautista C., Vázquez-García J. G., Cruz-Hipolito H. E., De Prado R. Non-target site mechanisms endow resistance to glyphosate in saltmarsh aster (*Aster squamatus*) // *Plants.* 2021. Vol. 10. Iss. 9. Art. No. 1970. DOI: 10.3390/plants10091970.
12. Heap I., O Duke St. Overview of glyphosate-resistant weeds worldwide // *Pest Manag Sci.* 2018. No. 74 (5). P. 1040–1049. DOI: 10.1002/ps.4760.
13. Gaines T. A., Patterson E. L., Neve P. Molecular mechanisms of adaptive evolution revealed by global selection for glyphosate resistance // *New Phytol.* 2019. Vol. 223. No. 4. P. 1770–1775. DOI: 10.1111/nph.15858.
14. Shaw R., Schaffner U., Marchante E. The regulation of biological control of weeds in Europe – an evolving landscape // *EPPO Bull.* Vol. 46. P. 254–258. DOI: 10.1111/epp.12308.
15. Берестецкий А. О. Перспективы разработки биологических и биорациональных гербицидов // *Вестник защиты растений.* 2017. № 1(91). С. 5-12. EDN: YRVSLN.
16. Copping L. G., Duke S. O. Natural products that have been used commercially as crop protection agents // *Pest Management Science.* 2007. Vol. 63. Is. 6. P. 524–554. DOI: 10.1002/ps.1378.
17. Дидович С. В., Пась А. Н., Алексеенко О. П. Перспективы создания биогербицидов для контроля численности амброзии // *Сборник тезисов международной научной конференции «Растения и микроорганизмы: биотехнология будущего».* Санкт-Петербург, 2022. С. 81. EDN: FUTYFF.
18. Яценко Е. С., Лейтес Е. А., Петухов В. А., Ключков Г. К., Ермакова А.В. Разработка безопасного гербицида на основе растительного сырья // *Научно-агрономический журнал.* 2022. № 4 (119). С. 19–23. DOI: 10.34736/FNC.2022.119.4.003.19-23.
19. Голубев А. С., Берестецкий А. О. Перспективные направления использования биологических и биорациональных гербицидов в растениеводстве России (обзор) // *Сельскохозяйственная биология.* 2021. Т. 56. № 5. С. 868–884. DOI: 10.15389/agrobiology.2021.5.868rus.
20. Hasan M., Ahmad-Hamdani M. S., Rosli A. M., Hamdan H. Bioherbicides: an eco-friendly tool for sustainable weed management // *Plants.* 2021. No. 10 (6). Art. No. 1212. DOI: 10.3390/plants10061212.
21. *Experimental soil microbiology: monograph* // Ed. by Volkogon V.V. Kiev: Agrarna nauka, 2010. 446 p.
22. Дудка И. А. Методы экспериментальной микологии: справочник. Киев: Наукова думка, 1982. 552 с.
23. Темралеева А. Д., Дронова С. А., Москаленко С. В., Дидович С. В. Современные методы выделения, очистки и культивирования почвенных цианобактерий // *Микробиология.* 2016. Т. 85. № 4. С. 369–380. DOI: 10.1134/S0026261716040159.
24. Завалин А. А. Потоки азота в агрофитоценозе на дерново-подзолистых почвах: (к 150-летию со дня рождения Д.Н. Прянишникова). М.: ВНИИА, 2015. 95 с.
25. Багдасарян А. С. Биотестирование почв техногенных зон городских территорий с использованием растительных организмов: Автореф. дисс... канд. биол. наук. Ставрополь: Ставропольский государственный университет, 2005. 25 с.
26. Кабиров Р. Р., Хазипова Р. Х. Альгологический метод оценки токсичности ПАВ // В кн.: *Биоиндикация и биомониторинг.* М.: Наука, 1991. С. 282–285.
27. *Практикум по агроэкологии: учебное пособие* // Под ред. Орловой Е. Е. Санкт-Петербург: Издательство Санкт-Петербургского университета, 2011. 148 с.
28. Дидович С. В., Данилова И. Л., Пась А. Н., Алексеенко О. П. Биорациональный способ игибирования роста и развития *Ambrosia artemisiifolia* L. // *Таврический вестник аграрной науки.* 2021. № 3(27). С. 61–74. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-3-27-61-74.

References

1. Moiseeva S. A., Ryabkin E. A., Kargin V. I., Kamalikhin V. E. Influence of herbicides Fenizan and Lornet on structural indicators of winter wheat // *Trends in the development of science and education.* 2021. No. 79-2. P. 143–146. DOI: 10.18411/trnio-11-2021-84.

2. Bopp V. L., Danilova M. E. Narrow-leaved lupine: the influence of herbicides and fertilizers on green mass productivity // Bulletin of KSAU. 2020. No. 5. P. 73–79. DOI: 10.36718/1819-4036-2020-5-73-79.
3. Nikiforov V. M., Silaev A. L., Chekin G. V., Smolskii E. V., Nikiforov M. I., Nechaev M. M. Application of modern herbicides when cultivating spring wheat // Vestnik of the Bryansk State Agricultural Academy. 2018. No. 1 (65). P. 23–27.
4. Zakharychev V. V. Chemistry of herbicides: a textbook for universities. Saint Petersburg: Lan', 2021. 592 p.
5. Paganelli A., Gnazzo V., Acosta H., Lopez S. L., Carrasco A. E. Glyphosate-based herbicides produce teratogenic effects on vertebrates by impairing retinoic acid signaling // Chem Res Toxicol. 2010. No. 23(10). P. 1586–1595. DOI: 10.1021/TX1001749.
6. Sviridov A. V., Shushkova T. V., Ermakova I. T., Ivanova E. V., Epiktetov D. O., Leontievsky A. A. Microbial degradation of glyphosate herbicides (review) // Applied Biochemistry and Microbiology. 2015. Vol. 51. No. 2. P. 183–190. DOI: 10.7868/S0555109915020221.
7. Flach H., Lenz A., Pfeffer S., Kühl M., Kühl S. J. Impact of glyphosate-based herbicide on early embryonic development of the amphibian *Xenopus laevis* // Aquat Toxicol. 2022. Vol. 244. Art. No. 106081. DOI: 10.1016/J.Aquatox.2022.106081.
8. Annett R., Habibi H. R., Hontela A. Impact of glyphosate and glyphosate-based herbicides on the freshwater environment // J Appl Toxicol. 2014. No. 34(5). P. 458–479. DOI: 10.1002/JAT.2997.
9. Kwiatkowska M., Jarosiewicz P., Bukowska B. Glyphosate and its formulations – toxicity, occupational and environmental exposure // Med Pr. 2013. No. 64(5). P. 717–729. DOI: 10.13075/MP.5893.2013.0059.
10. Vink J. P., Soltani N., Robinson D. E., Tardif F. J., Lawton M. B., Sikkema P. H. Glyphosate-resistant giant ragweed (*Ambrosia trifida* L.) in Ontario: dose response and control with postemergence herbicides // American Journal of Plant Sciences. 2012. Vol 3. No. 5. P. 608–617. DOI: 10.4236/ajps.2012.35074.
11. Domínguez-Valenzuela J. A., de la Cruz R. A., Palma-Bautista C., Vázquez-García J. G., Cruz-Hipolito H. E., De Prado R. Non-target site mechanisms endow resistance to glyphosate in saltmarsh aster (*Aster squamatus*) // Plants. 2021. Vol. 10. Iss. 9. Art. No. 1970. DOI: 10.3390/plants10091970.
12. Heap I., O Duke St. Overview of glyphosate-resistant weeds worldwide // Pest Manag Sci. 2018. No. 74 (5). P. 1040–1049. DOI: 10.1002/ps.4760.
13. Gaines T. A., Patterson E. L., Neve P. Molecular mechanisms of adaptive evolution revealed by global selection for glyphosate resistance // New Phytol. 2019. Vol. 223. No. 4. P. 1770–1775. DOI: 10.1111/nph.15858.
14. Shaw R., Schaffner U., Marchante E. The regulation of biological control of weeds in Europe – an evolving landscape // EPPO Bull. Vol. 46. P. 254–258. DOI: 10.1111/epp.12308.
15. Berestetskiy A. O. Prospects for development of biological and biorational herbicides // Plant Protection News. 2017. No. 1(91). P. 5–12. EDN: YRVSLN.
16. Copping L. G., Duke S. O. Natural products that have been used commercially as crop protection agents // Pest Management Science. 2007. Vol. 63. Iss. 6. P. 524–554. DOI: 10.1002/ps.1378.
17. Didovich S. V., Pas' A. N., Alekseenko O. P. Prospects of creating bioherbicides to control the number of ragweed // Collection of abstracts of the international scientific conference “Plants and microorganisms: biotechnology of future”. Saint-Petersburg, 2022. P. 81. EDN: FUTYFF.
18. Yatsenko E. S., Leites E. A., Petukhov V. A., Klochkov G. K., Ermakova A. V. Safe herbicide development based on plant raw materials // Scientific Agronomy Journal. 2022. No. 4 (119). P. 19–23. DOI: 10.34736/FNC.2022.119.4.003.19-23.
19. Golubev A. S., Berestetskiy A. O. Future directions for use of biological and biorational herbicides in Russia (review) // Sel'skokhozyaistvennaya Biologia [Agricultural Biology]. 2021. Vol. 56. No. 5. P. 868–884. DOI: 10.15389/agrobiology.2021.5.868eng.
20. Hasan M., Ahmad-Hamdani M. S., Rosli A. M., Hamdan H. Bioherbicides: an eco-friendly tool for sustainable weed management // Plants. 2021. No. 10 (6). Art. No. 1212. DOI: 10.3390/plants10061212.
21. Experimental soil microbiology: monograph // Ed. by Volkogon V.V. Kiev: Agrarna nauka, 2010. 446 p.
22. Dudka I. A. Methods of experimental mycology: a reference book. Kiev: Naukova dumka, 1982. 552 p.
23. Temraleeva A. D., Dronova S. A., Moskalenko S. V., Didovich S. V. Modern methods for isolation, purification and cultivation of soil cyanobacteria // Microbiology (Microbiologiya). 2016. Vol. 85. No. 4. P. 389–399. DOI: 10.1134/S0026261716040159.
24. Bagdasaryan A. S. Biotesting of soils of technogenic zones of urban territories using plant organisms: Author's abstract of Diss... Cand. Sc. (Biol.). Stavropol: Stavropol State University, 2005. 25 p.
25. Kabirov R. R., Khazipova R. H. Algological method for assessing the toxicity of surfactants // In book: Bioindication and biomonitoring. Moscow: Nauka, 1991. P. 282–285.

26. Workshop on agroecology: textbook // Ed. by Orlova E.E. St. Petersburg: St. Petersburg University Publ., 2011. 148 p.

27. Didovich S. V., Danilova I. L., Pas' A.N., Alekseenko O.P. Biorational method of *Ambrosia artemisiifolia* L. growth and development inhibition // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2021. No. 3(27). P. 61–74. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-3-27-61-74.

UDC 579.64:632.51

Didovich S. V., Pas' A. N., Gorgulko T. V., Alekseenko O. P., Baratashvili Z. A.
**PHYTOTOXICITY AND EFFICACY OF PHYTO-INHIBITOR STRAINS ON
AMBROSIA ARTEMISIIFOLIA L. AND AGRICULTURAL CROPS**

Summary. *The development of biological methods to control ragweed infestation is of significant importance to our nation's environmental security. The aim of the work was to study the phytotoxicity of phyto-inhibitor strains on agricultural crops and to evaluate the effectiveness of their biorational herbicidal forms on *Ambrosia artemisiifolia* L. The studies were carried out in 2021-2022 in the Department of Agricultural Microbiology of the FSBSI "Research Institute of Agriculture of Crimea". In the experiments, we used strains phyto-inhibitors of *A. artemisiifolia* L. from two bioresource collections: Crimean Collections of Microorganisms of Research Institute of Agriculture of Crimea"; Algal Collection of Institute of Physicochemical and Biological Problems of Soil Science of the Russian Academy of Sciences. A study of the phyto-inhibitory activity of the strains on 29 species from 12 families of agricultural crops showed that *Fusarium* sp. 200Г caused 25–50 % damage to 16 tested plant species (55.1 %), while *Fusarium* sp. 200ГР caused 25–75 % damage to 17 species (58.6 %). Evaluation of herbicidal efficiency of promising original formulations based on strains of *A. artemisiifolia* L. phyto-inhibitors, namely *Penicillium* sp. MSK3Г, *Fusarium* sp. 200ГР, *Fusarium* sp. 200ГР2 revealed that seven out of nine developed herbicide forms showed an average toxicity index (ITF = 0.5–0.7), three of which (based on strains *Penicillium* sp. MSK3Г, *Fusarium* sp. 200ГР2 with superficially and physiologically active components (SPAC), *Fusarium* sp. 200ГР) provided weed damage at the level of 7%; two (*Fusarium* sp. 200ГР with SPAC, *Penicillium* sp. MSK 3Г) – resulted in damage from 15 to 23%. High efficiency of herbicidal form of *Penicillium* sp. MSK 3Г with SPAC was established. It provided a decrease in height by 6.2 cm (44.2 %) and phytomass by 0.17 g (60.7 %), as well as ragweed plants damage by 11 %. This herbicidal form was characterized by an ultra-high inhibitory effect (ITF = 0.47) ($p < 0.5$). The preparative form based on the strain of phototrophic cyanobacterial *Nostoc calcicola* 82 had a low degree of phytotoxicity (ITF = 0.71) and caused a damage of ragweed at the level of 15 %.*

Keywords: *microorganisms phyto-inhibitors, biotoxicity, bioherbicides, growth inhibition, *Ambrosia artemisiifolia* L., agricultural crops.*

Дидович Светлана Витальевна, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, лаборатории растительно-микробного взаимодействия, отдела сельскохозяйственной микробиологии, ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295493, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: sv-alex.68@mail.ru.

Пась Анна Николаевна, младший научный сотрудник, лаборатория растительно-микробного взаимодействия, отдела сельскохозяйственной микробиологии, ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295493, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: annapass@mail.ru.

Горгулько Татьяна Владимировна, научный сотрудник, лаборатории растительно-микробного взаимодействия, отдела сельскохозяйственной микробиологии, ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295493, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: t.gorgulko@gmail.com.

Алексеенко Ольга Петровна, ведущий микробиолог, лаборатория растительно-микробного взаимодействия, отдела сельскохозяйственной микробиологии, ФГБУН «Научно-исследовательский

институт сельского хозяйства Крыма»; 295493, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: olya.alekseenko1975@gmail.com.

Бараташвили Зинеп Асановна, микробиолог, лаборатория растительно-микробного взаимодействия, отдела сельскохозяйственной микробиологии, ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295493, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: zinepb@bk.ru.

Didovich Svetlana Vitalievna, Cand. Sc. (Agr.), leading researcher, Laboratory of plant-microbial interaction, Department of agricultural microbiology, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, 295493, Russia; e-mail: sv-alex.68@mail.ru.

Pas' Anna Nikolaevna, junior researcher, Laboratory of plant-microbial interaction, Department of agricultural microbiology, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, 295493, Russia; e-mail: annapass@mail.ru.

Gorgulko Tatiana Vladimirovna, researcher, Laboratory of plant-microbial interaction, Department of agricultural microbiology, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, 295493, Russia; e-mail: t.gorgulko@gmail.com.

Alekseenko Olga Petrovna, leading microbiologist, Laboratory of plant-microbial interaction, Department of agricultural microbiology, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, 295493, Russia; e-mail: olya.alekseenko1975@gmail.com.

Baratashvili Zinep Asanovna, microbiologist, Laboratory of plant-microbial interaction, Department of agricultural microbiology, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, 295493, Russia; e-mail: zinepb@bk.ru.

Дата поступления в редакцию – 02.10.2023.

Дата принятия к печати – 20.10.2023.