

DOI 10.33952/2542-0720-2021-3-27-61-74

УДК 579.64:632.51

Дидович С. В., Пась А. Н., Данилова И. Л., Алексеенко О. П.  
**БИОРАЦИОНАЛЬНЫЙ СПОСОБ ИНГИБИРОВАНИЯ РОСТА И РАЗВИТИЯ  
AMBROSIA ARTEMISIIFOLIA L.**

ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»

**Реферат.** В настоящее время актуален поиск альтернативных химическим биологических средств защиты агроценозов от карантинных объектов – разных видов амброзии, причиняющих биологический и технологический ущерб окружающей среде и оказывающих негативное влияние на здоровье людей. Цель исследований – поиск биотически активных элиситоров растительного и микробного происхождения для индукции, реинфорса окислительного стресса и ингибирования роста *Ambrosia artemisiifolia* L. Поиск штаммов и их исследование проводили в 2019–2021 гг. в лабораторных и вегетационных опытах на базе НИИСХ Крыма. Растения амброзии полыннолистной выращивали в сосудах на черноземе южном, обрабатывали в фазе четырех–шести листьев биорациональными препаративными формами на основе микробных и растительных элиситоров, ПАВ в дозе 200 мкл/растение. Для приготовления биогербицидных композитов использовали штаммы-ингибиторы из коллекции НИИСХ Крыма (ККМ), растительные экстракты из амброзии полыннолистной, глицерин. Эффективность ингибирования оценивали через три недели после обработки по показателям высоты, фитомассы, антиоксидантному статусу и степени поражения амброзии. Выявлено семь штаммов, угнетающих рост растений на 0,13–1,08 г/растение в сравнении с контрольными вариантами – обработкой водой и бактеризацией фитопатогенным штаммом *Stagonosporopsis heliopsisidis* из коллекции ФГБНУ «ВНИИЗР». Впервые нами использованы амброзиевые БАВ для разработки биорациональных гербицидов и контроля численности амброзии полыннолистной. Бактеризация биорациональными препаративными формами на основе биотически активных элиситоров растительного и микробного происхождения влияет на гомеостаз амброзии полыннолистной, индуцирует стресс растения путем блокирования системы антиоксидантной защиты. В зависимости от компонентов биогербицидных препаративных форм активность каталаз и полифенолоксидаз снижалась в 2,9–85,6 и 1,2–658,0 раза соответственно с достоверной корреляцией между собой ( $r = 0,66$ ) и корреляцией активности каталаз с фитомассой растений ( $r = 0,72$ ); содержание глутатиона уменьшалось в 2,5–2,7 в сравнении с контролем, а также значимо коррелировало с активностью каталаз ( $r = 0,63$ ) и фитомассой амброзии полыннолистной ( $r = 0,80$ ) ( $p < 0,05$ ).

**Ключевые слова:** микроорганизмы, биогербициды, антиоксиданты, стресс, ингибирование роста, *Ambrosia artemisiifolia* L.

**Для цитирования:** Дидович С. В., Пась А. Н., Данилова И. Л., Алексеенко О. П. Биорациональный способ ингибирования 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.

**For citation:** 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.

## Введение

Современные технологии выращивания сельскохозяйственных культур трудно представить без использования гербицидов, которые преобладают в объемах применения химических средств защиты растений как в РФ, так и за рубежом [1, 2]. Необходимым условием снижения пестицидной нагрузки в растениеводстве является разработка биологических и биорациональных средств защиты агро- и фитоценозов от сорных растений [3–5]. Некоторые биогербициды успешно коммерциализированы: «Stumpout» (произведен в ЮАР) на основе *Cylindrobasidium leave* (Fr.) Read, применяется против акаций в древесных питомниках; «Mallet WP» (произведен в США, Канаде) на основе *Colletotrichum gloeosporioides f. sp. malvae* против мальвы круглолистной *Malva pusilla* L. в посевах пшеницы, льна и чечевицы; «Camperico» (производится в Японии) на основе *Xanthomonas campestris pv. poae*, применяется против мятлика однолетнего *Poa annua* L. на площадках для гольфа [6, 7] и другие. Мировой арсенал биорациональных гербицидов представлен пока несколькими микробными препаратами, эфирными маслами из ряда растений (сосны, клевера, цитрусовых и некоторых других), кукурузным глютенном, уксусной кислотой, смесями жирных кислот [3].

Исследования в области поиска биоагентов для разработки биогербицидов от инвазивного карантинного сорного растения – амброзии полыннолистной (*Ambrosia artemisiifolia* L.) актуальны и представлены во многих публикациях. Например, выявлен микогербицидный потенциал у штамма 32.85 *Stagonosporopsis heliopsisidis* (H.C.Greene) Aveskamp, Gruyter & Verkley [8], выделен фитопатоген *Phyllachora ambrosiae* [9]; показано ингибирование растений амброзии при обработке возбудителем белой ржавчины *Albugo tragopogonis* [10]; опубликованы обзоры по использованию некоторых видов патогенных микромицетов на разных видах амброзии в Европе [5, 11]; обнаружен фитоингибирующий потенциал у штаммов фототрофных цианобактерий из Крымской коллекции микроорганизмов ФГБУН «НИИСХ Крыма» [12].

Отечественный и зарубежный опыт свидетельствует, что цианобактерии способны к синтезу веществ с бактерицидной, фунгицидной и гербицидной активностью и токсичностью [13–18]. Цианобактерии производят разнообразное количество биологически активных метаболитов, в том числе токсинов [19]. Некоторые из этих соединений могут быть использованы в качестве альгицидов, фунгицидов, инсектицидов и гербицидов нового поколения.

*Ambrosia artemisiifolia* L. тоже может представлять интерес как фитоингибитор. Растения амброзии интенсивно синтезируют хлорогеновую, изохлорогеновую кислоты и эфирные масла, которые накапливаются в соцветиях, листьях и способны подавлять рост многих культурных растений [20]. Однако возможности применения фитотоксичных растительных компонентов из амброзии ограничены пока немногочисленными научными исследованиями [21].

Важным вопросом является изучение механизма ответной реакции растений на инфицирование патогеном и/или обработку фитоингибитором роста. В растительных клетках непрерывно протекают сложные химические процессы, которые регулируют ферменты. Их функциональный сбой приводит к стрессовым состояниям растения. Огромное количество работ посвящено роли пероксидазы в защитных механизмах растения как стресс-маркера и специфического фермента-антиоксиданта [22–24]. Пероксидазы клеточных стенок ответственны за регуляцию уровня и продукцию перекиси в ходе окислительного «взрыва» в ответ на действие элиситора из патогена. Антиоксидантный фермент каталаза обеспечивает защиту клеточных структур от разрушения, которое осуществляет перекись водорода.

Повышению стойкости растений к неблагоприятным стрессовым факторам способствует фермент-антиоксидант полифенолоксидаза, активность которого сопровождается снижением интенсивности дыхания и торможения процессов роста растения. Таким образом, определяется характер физиолого-биохимических процессов, обуславливающих степень адаптации и устойчивости растений к стресс-факторам.

Важна роль низкомолекулярных небелковых антиоксидантов растений (аскорбиновой кислоты и глутатиона), которые регулируют рост и развитие живых организмов, участвуют в защитных реакциях на неблагоприятные воздействия, предотвращают окислительные повреждения важнейших биомолекул [25]. Глутатион является субстратом для большого семейства многофункциональных ферментов глутатион-S-трансфераз при нейтрализации как внутренних продуктов окисления, так и токсичных ксенобиотиков [26]. Все эти знания являются базовыми для изучения стресса в растении.

**Цель исследований** – поиск биотически активных элиситоров растительного и микробного происхождения для индукции, реинфорса окислительного стресса и ингибирования роста *Ambrosia artemisiifolia* L.

#### **Материалы и методы исследований**

Исследования проводили в 2019–20120 гг. В исследовании использованы штаммы фототрофных (цианобактерии) и гетеротрофных (бактерии, микромицеты) микроорганизмов из коллекции ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма» (<http://www.ckp-rf.ru/usu/507484/>), фитотоксичный для амброзии полыннолистной штамм *Stagonosporopsis heliopsisidis* из коллекции ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений» (<http://www.ckp-rf.ru/usu/200616/>). При первичном скрининге на гербицидную активность использовали водные суспензии новых и перспективных штаммов для обработки растений амброзии полыннолистной. В качестве микробных ингибиторных элиситоров использовали препаративные формы на основе микроорганизмов-фитоингибиторов.

Накопительную культуру штамма фототрофной цианобактерии получали на среде Громова в климатокамере при температурах +23–25 °С и контролируемом освещении с фотопериодом 12 ч [27]. Препаративные гомогенизированные цианобактериальные формы готовили из накопительных культур путем перемешивания дисперсных систем с жидкой средой на механическом гомогенизаторе 60 с при 20000 об./мин. Биомассу штаммов цианобактерий определяли по абсолютно сухой массе (а.с.м.) мг/мл среды гравиметрическим методом. Биомасса штаммов цианобактерий составляла  $0,1 \times 10^3$  мг а.с.м./мл суспензии и/или препаративной формы. Препаративные формы на основе штаммов гетеротрофных микроорганизмов готовили на рекомендованных питательных средах [28] с титром не менее  $10^8$  КОЕ/мл суспензии и/или препаративной формы для бактерий и массой мицелия 10–13 мг а.с.м./мл суспензии и препаративной формы для микромицетов.

Растительные элиситоры выделяли из растений амброзии полыннолистной. Эфирное масло получали методом Клевенджера (ГОСТ 34213-2017). Гидромодуль 1:5, 50 г сырья, 250 мл воды, время отгонки – 1 ч. Углеводородный экстракт получали методом экстракции полярным растворителем марки «нефрас П 1 63/75» при температуре кипения растворителя. Водно-спиртовой экстракт готовили экстрагированием сырья 70 % водно-спиртовым раствором этанола, настаиванием при температуре окружающей среды; 50 % водно-глицериновый экстракт (гидромодуль 1:5) получали экстракцией при кипении на водяной бане 1 ч.

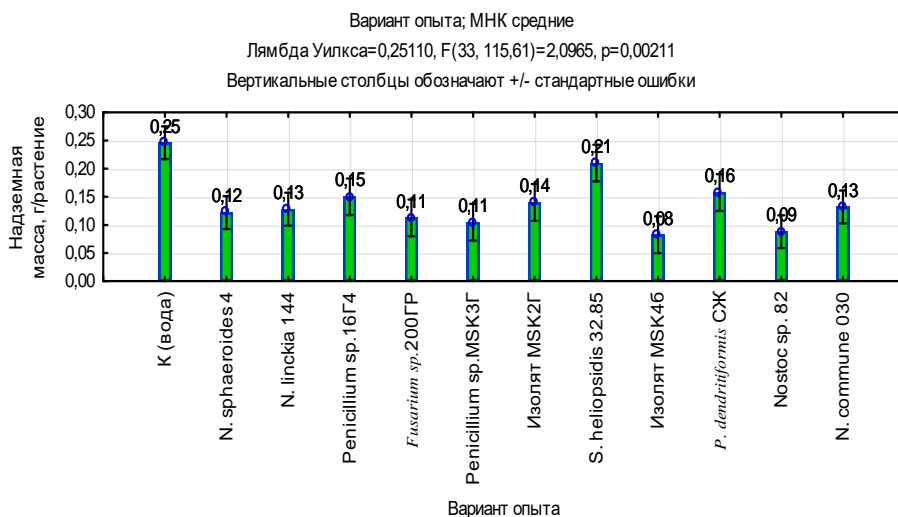
Растения *Ambrosia artemisiifolia* L. выращивали в сосудах с перфорированным дном емкостью 200 мл на черноземе южном в вегетационном опыте при естественном освещении и температуре 22–35 °С днем, 16–23 °С ночью. Повторность опытов шестикратная: шесть сосудов на каждый вариант и по одному растению в сосуде. Бактеризацию растений проводили путем опрыскивания в фазе четырех–шести листьев в дозе 200 мкл/растение и через три недели оценивали высоту и фитомассу амброзии полыннолистной, активность антиоксидантной системы в надземной части растения и степень поражения листьев. Площадь пораженной поверхности каждого листа растения определяли по 0-6-балльной шкале (0 – нет симптомов, 1 балл – >0–5 %, 2 балла – 6–25 %, 3 балла – 26–75 %, 4 балла – 76–95 %, 5 баллов – >95 %, 6 – гибель листа) [29]. Активность антиоксидантных ферментов (каталаз, пероксидаз, полифенолоксидаз) и содержание низкомолекулярных антиоксидантов небелковой природы (аскорбиновой кислоты, глутатиона) оценивали согласно методам [30].

Математическую обработку результатов исследования влияния различных факторов и процессов проводили с помощью корреляционного и дисперсионного анализа в программе Statistica\_10.

### Результаты и их обсуждение

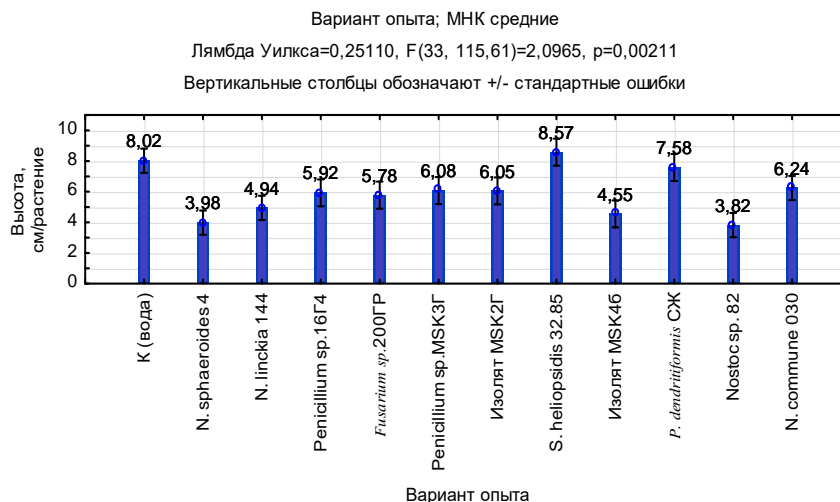
В 2019–2020 гг. в рамках грантовых и государственных научных проектов были проведены экспедиционные исследования в разных почвенно-климатических зонах Крыма по поиску микроорганизмов – фитопатогенов и ингибиторов различных сорных растений, что позволило выделить, пополнить ККМ и включить несколько штаммов и изолятов в исследование на растениях *Ambrosia artemisiifolia* L. в 2021 г.

В условиях вегетационного опыта на черноземе южном проведен скрининг десяти новых и перспективных штаммов микроорганизмов на гербицидную активность по отношению к амброзии полыннолистной. В контрольных вариантах растения обрабатывали водой и фитопатогенным штаммом *Stagonosporopsis heliopsisidis*. Установлено, что восемь штаммов из десяти исследуемых снижали фитомассу растений на 0,09–0,17 г/растение (36–68 %) по отношению к контролю без бактеризации ( $p < 0,05$ ); семь штаммов – на 0,13–1,08 г/растение (37–38 %) в сравнении с фитопатогенным штаммом *S. heliopsisidis* ( $p < 0,05$ ) (рисунок 1).



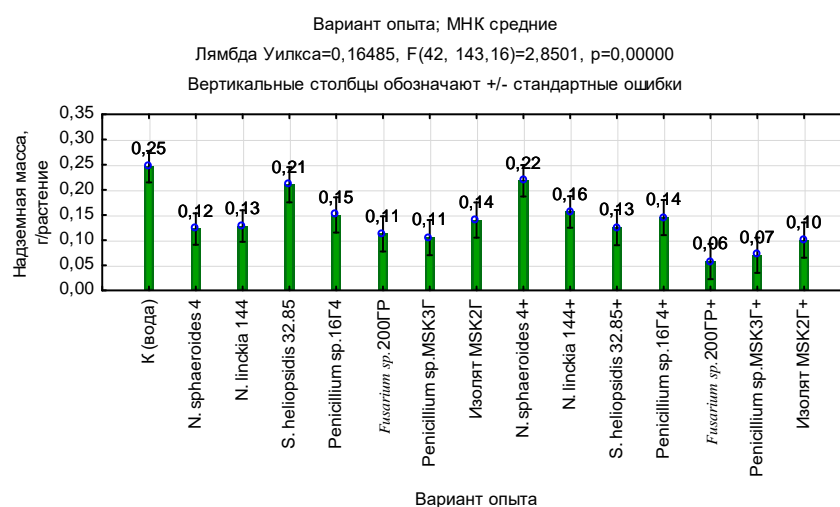
**Рисунок 1 – Влияние бактеризации штаммами микроорганизмов на надземную фитомассу амброзии полыннолистной (вегетационный опыт на черноземе южном, 2021 г.)**

При разработке биорациональных гербицидов кроме микробного компонента используют различные поверхностно-активные вещества (ПАВ), питательные компоненты, растительные масла, эмульгаторы и т.д. [31, 32]. Ориентируясь на немногочисленные литературные экспериментальные данные, в препаративные формы добавляли по 1 % ПАВ и полученных растительных экстрактов из амброзии.



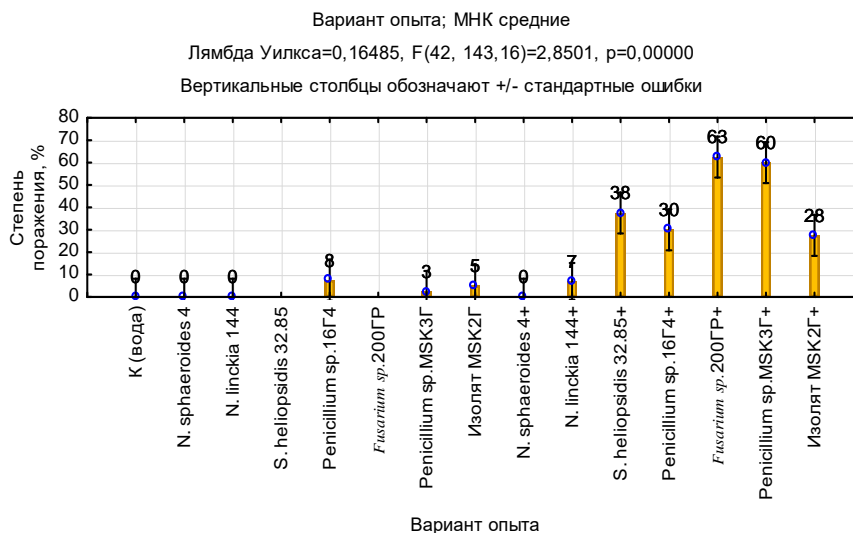
**Рисунок 2 – Влияние бактериализации штаммами микроорганизмов на высоту амброзии полыннолистной (вегетационный опыт на черноземе южном, 2021 г.)**

Изучали влияние препаративных форм на основе штаммов-ингибиторов с добавлением в среду поверхностно-активного вещества глицерина и хлорида натрия на ингибирование растений амброзии в вегетационном опыте. Выявлено, что обработка монопрепаративными формами достоверно снижала фитомассу растений на 0,08–0,1 г/растение (38,1–47,6 %) в сравнении с вариантом бактериализации фитопатогеном *S. heliopsisidis*, исключая обработку штаммом *Penicillium sp.* 16 Г4 и изолятом микробицета MSK2Г (рисунок 3).



**Рисунок 3 – Влияние бактериализации биорациональными препаративными формами на фитомассу амброзии полыннолистной (вегетационный опыт на черноземе южном, 2021 г.)**

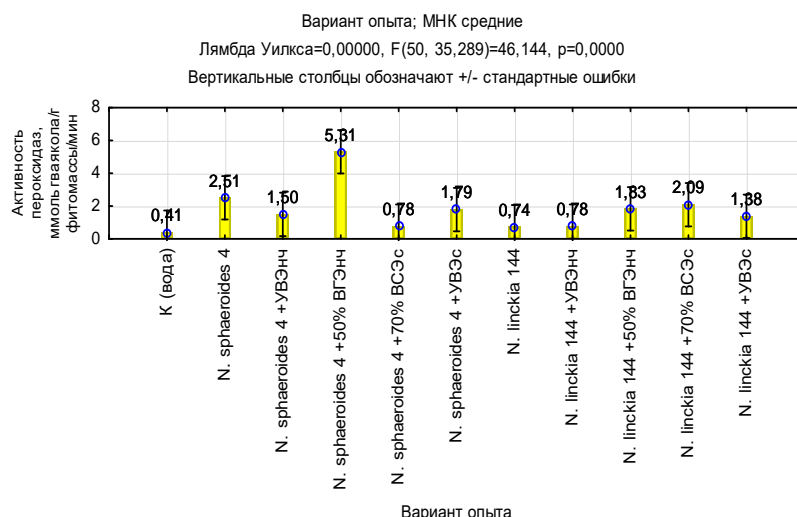
Установлено, что при введении в препаративную форму глицерина и хлорида натрия во всех вариантах (кроме *N. sphaeroides* 4, *N. linckia* 144) степень поражения была достоверно высокой и составляла 28–63 % (рисунок 4), фитомасса растений снижалась для варианта обработки со штаммом *S. heliopsisidis* на 0,08 г/растение (38 %), *Fusarium sp.* – на 0,05 г/растение (45 %) в сравнении с монокомпозиатами ( $p < 0,05$ ) (см. рисунок 3).



**Рисунок 4 – Влияние бактериализации биорациональными препаративными формами на степень поражения амброзии полыннолистной (вегетационный опыт на черноземе южном, 2021 г.)**

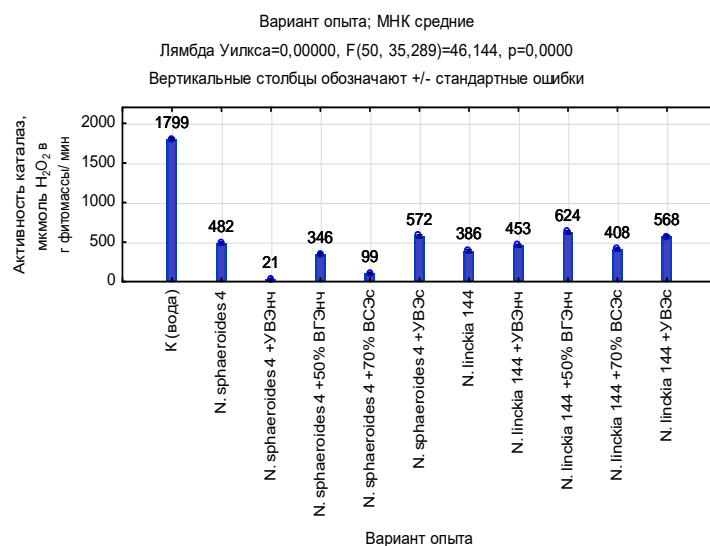
Выдвинутая нами гипотеза о возможности блокирования стрессоустойчивости растений за счет воздействия поликомплексной обработки растительными веществами из амброзии и микроорганизмами-ингибиторами роста растений была проверена в условиях вегетационного опыта. Нами экстрагированы биологически активные вещества (БАВ) из надземной части (нч) амброзии полыннолистной: углеводородный экстракт (УВЭ) с содержанием 0,109 % летучих ароматических соединений (ЛАС); 50 % водно-глицериновый экстракт (ВГЭ) с содержанием ЛАС – 0,031 %. Из семян (с) амброзии получены: углеводородный экстракт (УВЭ) с 0,025 % ЛАС и 70 % водно-спиртовый экстракт (ВСЭ) с 0,032 % ЛАС. Следует подчеркнуть, что амброзиевые БАВ впервые нами были применены для разработки биорациональной гербицидной препаративной формы и использованы для контроля численности амброзии полыннолистной. Научная новизна такого исследования подтверждается отсутствием в доступной нам отечественной и мировой научной литературе аналогичных исследовательских работ.

Оценку активности антиоксидантных ферментов проводили через три недели после бактериализации. Активность пероксидаз в варианте с композитом на основе штамма *N. sphaeroides* и 50 % водно-глицериновым экстрактом превышала уровень контроля на 4,89 ммоль гваякола/г фитомассы/мин в 13 раз (рисунок 5). В остальных вариантах активность пероксидаз бактериализованных растений была на уровне контроля, что свидетельствует об отсутствии так называемого «пероксидазного взрыва» [22] и исключает формирование патосистемы на амброзии после обработки, то есть мы наблюдаем иной механизм влияния. Более детальное оценивание различий попарных сравнений изучаемых вариантов при помощи консервативного апостериорного критерия Дункана (Duncan's test) показало достоверность данной разницы на уровне  $p = 0,04$ .



**Рисунок 5 – Влияние бактеризации биорациональными препаративными формами на активность пероксидаз в фитомассе амброзии полыннолистной (вегетационный опыт на черноземе южном, 2021 г.)**

Исследовали влияние обработки растений полифункциональными препаративными формами на активность каталаз в растении. Выявлено существенное ингибирование активности данного фермента-антиоксиданта в 2,9–85,6 раза в сравнении с контролем, что подтверждено при помощи критерия Дункана на высоком уровне значимости  $p = 0,000023–0,000170$ . Максимальное ингибирование активности каталаз растений в 18,2–85,6 раз установлено в вариантах с препаративными формами на основе штамма *N. sphaeroides* с углеводородным экстрактом из надземной части растения и водно-спиртовым экстрактом из семян в сравнении с контролем и в 4,9–23,0 раза по сравнению с монокомпонентной формой (рисунок 6).



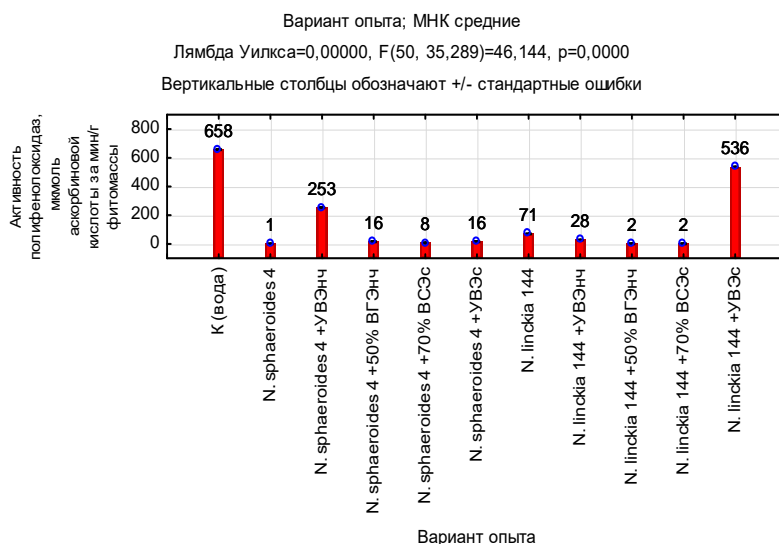
**Рисунок 6 – Влияние бактеризации биорациональными препаративными формами на активность каталаз в фитомассе амброзии полыннолистной (вегетационный опыт на черноземе южном, 2021 г.)**

Экспериментальные данные свидетельствуют, что применение биорациональных гербицидных форм снижало активность антиоксидантного фермента полифенолоксидазы в 1,2–658,0 раз в сравнении с контролем и в

зависимости от микробного компонента и растительных БАВ с высокой достоверностью критерия Дункана  $p = 0,000023-0,000170$  (рисунок 7).

Препаративная форма на основе штамма *N. sphaeroides* ингибировала активность данного фермента в 658,0 раза в сравнении с контролем и в 71,0 раза в сравнении с препаративной формой на основе штамма *N. linckia*. Обработка препаративными формами со штаммом *N. linckia* и растительными элиситорами угнетала активность полифенолоксидаз в 2,5–35,5 раза (кроме варианта со штаммом *N. linckia* и углеводородным экстрактом из семян амброзии полыннолистной) в сравнении с препаративной формой на основе данного штамма.

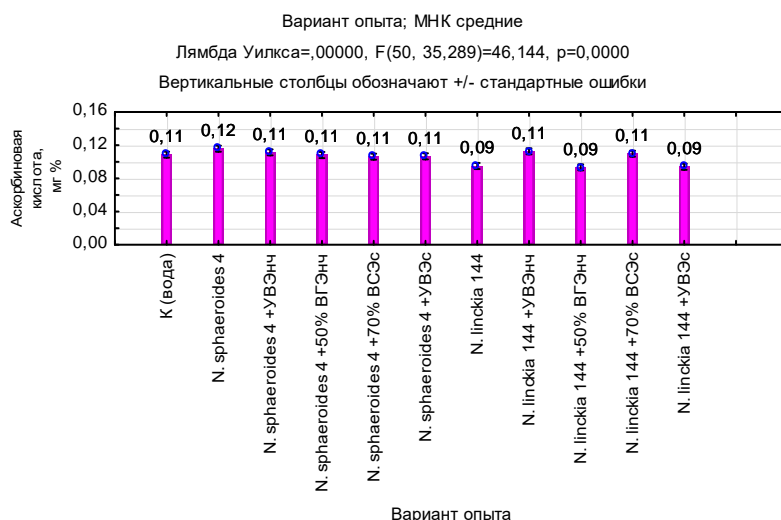
Исследовали влияние бактеризации на содержание в растениях важнейших низкомолекулярных антиоксидантов неферментативной природы, так называемых индикаторов окислительного стресса – аскорбиновой кислоты и глутатиона. Наши наблюдения показали, что содержание аскорбиновой кислоты в растениях варьировало в зависимости от применяемого штамма и поликомпонентных препаративных форм. Максимальное снижение на 0,02 мг % (18,2 %) выявлено при обработке препаративной формой на основе штамма *N. linckia* и композитов данного штамма с 50 % водно-глицериновым экстрактом из надземной части растений, углеводородным экстрактом из семян на уровне достоверности согласно консервативного апостериорного критерия Дункана  $p = 0,022-0,034$  (рисунок 8).



**Рисунок 7 – Влияние бактеризации биорациональными препаративными формами на активность полифенолоксидаз в фитомассе амброзии полыннолистной (вегетационный опыт на черноземе южном, 2021 г.)**

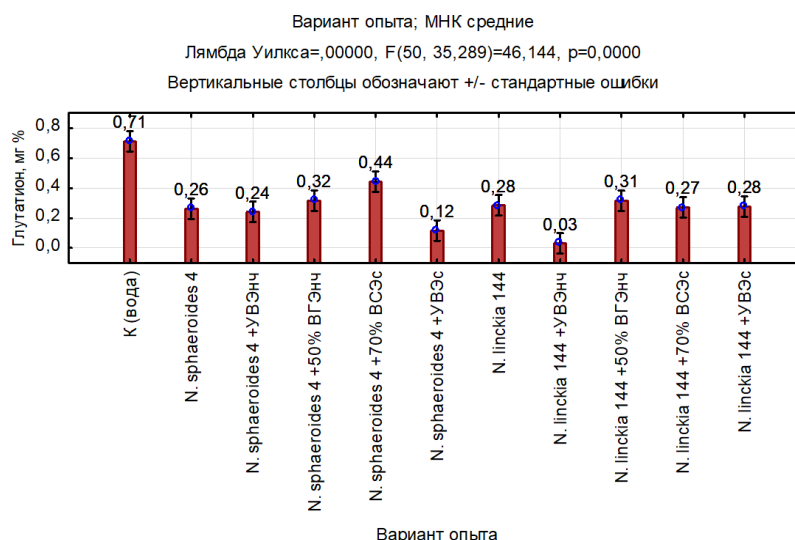
Результаты эксперимента показывают, что применение биорациональных препаративных форм существенно влияло на содержание глутатиона в растениях. В контроле отмечали оптимум содержания данного антиоксиданта в количестве 0,71 мг %. Обработка штаммами *N. sphaeroides* и *N. linckia* существенно снижала содержание глутатиона соответственно в 2,7 и 2,5 раза на уровне значимости критерия Дункана  $p = 0,0016$  и  $0,0018$ .





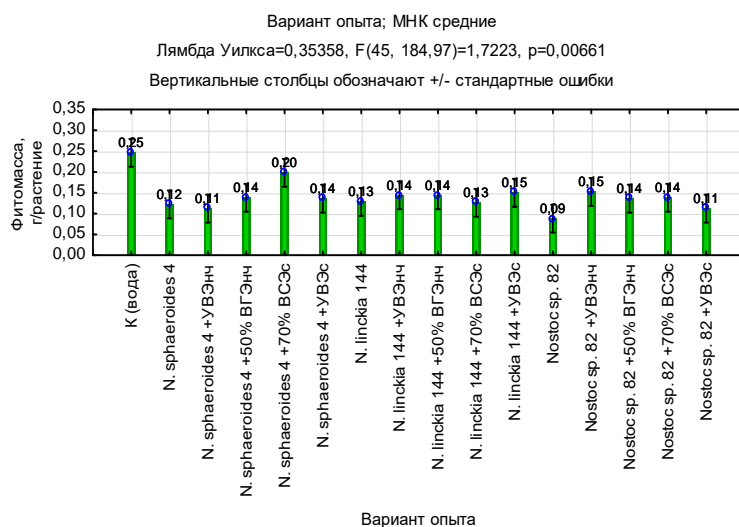
**Рисунок 8 – Влияние бактеризации биорациональными препаративными формами на содержание аскорбиновой кислоты в фитомассе амброзии полыннолистной (вегетационный опыт на черноземе южном, 2021 г.)**

Установлено, что применение двух препаративных форм на основе штамма *N. sphaeroides* и углеводородного экстракта из семян, штамма *N. linckia* и углеводородного экстракта из надземной части растений существенно блокировало образование глутатиона в 2,2 и 9,3 раза соответственно на уровне значимости  $p < 0,05$ , достоверность по тесту Дункана выявлена в последнем случае на уровне  $p = 0,037$  (рисунок 9).



**Рисунок 9 – Влияние бактеризации биорациональными препаративными формами на содержание глутатиона в фитомассе амброзии полыннолистной (вегетационный опыт на черноземе южном, 2021 г.)**

Гербицидную эффективность бактеризации поликомпонентными препаративными формами оценивали по интегрирующему показателю – фитомассе растений. Установлено, что во всех вариантах бактеризации фитомасса снижалась в 1,3–2,7 раза ( $p = 0,05$ ) в сравнении с контролем (рисунок 10).



**Рисунок 10 – Влияние бактериализации биорациональными препаративными формами на фитомассу амброзии полыннолистной (вегетационный опыт на черноземе южном, 2021 г.)**

В системе «бактериализация – антиоксидантный статус растений – продуктивность амброзии полыннолистной» установлены значимые корреляционные связи активности каталаз с активностью пероксидаз ( $r = 0,66$ ), содержанием антиоксиданта глутатиона ( $r = 0,63$ ) и фитомассой растений ( $r = 0,72$ ), которая, кроме того, достоверно коррелировала с содержанием глутатиона в растениях ( $r = 0,80$ ).

### Выводы

В результате скрининга новых и перспективных штаммов микроорганизмов на гербицидную активность по отношению к амброзии полыннолистной из десяти выявлено семь штаммов, угнетающих рост растений на 0,13–1,08 г/растение (37–38 %) в сравнении с фитопатогенным штаммом *S. heliopsisidis*.

Экспериментально показано, что при использовании глицерина и хлорида натрия в препаративных формах на основе штаммов *S. heliopsisidis* и *Fusarium sp.* достоверно снижалась фитомасса соответственно на 0,08 г/растение (38 %) и 0,05 г/растение (45 %) в сравнении с монокомпонентными биогербицидными композитами.

Впервые нами использованы амброзиевые БАВ для разработки биорациональной гербицидной препаративной формы для контроля численности амброзии полыннолистной. Установлено, что бактериализация биорациональными препаративными формами на основе биотически активных элиситоров растительного и микробного происхождения влияет на гомеостаз амброзии полыннолистной и индуцирует окислительный стресс растения посредством блокирования системы антиоксидантной защиты. В зависимости от компонентов биогербицидных препаративных форм, активность каталаз и полифенолоксидаз снижалась соответственно в 2,9–85,6 и 1,2–658,0 раза с достоверной корреляцией между собой ( $r = 0,66$ ); содержание глутатиона уменьшалось в 2,5–2,7 и коррелировало с активностью каталаз ( $r = 0,63$ ) и фитомассой амброзии полыннолистной ( $r = 0,80$ ) ( $p < 0,05$ ).

*Исследование выполнено в рамках Госзадания РАН №0834-2019-0003 и гранта РФФИ №20-416-910005 p\_a\_Республика Крым.*

### Литература

1. Захарычев В. В. Химия гербицидов: учебное пособие для вузов. Санкт-Петербург: Лань, 2021. 592 с.
2. Jeschke P. Progress of modern agricultural chemistry and future prospects // *Pest Manag. Sci.* 2015. No. 72(3). P. 433–455. DOI: 10.1002/ps.4190.
3. Берестецкий А. О. Перспективы разработки биологических и биорациональных гербицидов // *Вестник защиты растений.* 2017. № 1(91). С. 5–12.
4. Radhakrishnan R. Introductory Chapter: need of bioherbicide for weed control // In book: *Biological Approaches for Controlling Weeds.* 2018. DOI: 10.5772/intechopen.77958.
5. Shaw R., Schaffner U., Marchante E. The regulation of biological control of weeds in Europe – an evolving landscape // *EPPO Bull.* 2016. Vol. 46. P. 254–258. DOI: 10.1111/epp.12308.
6. Copping L. G., Duke S. O. Natural products that have been used commercially as crop protection agents // *Pest Manag. Sci.* 2007. Vol. 63. Iss. 6. P. 524–554. DOI: 10.1002/ps.1378.
7. Duke S. O., Owens D. K., Dayan F. E. The growing need for biochemical bioherbicides. In: «Biopesticides: State of the Art and Future Opportunities» ACS Symposium Series // American Chemical Society. 2014. Vol. 117. P. 31–43. DOI: 10.1021/bk-2014-1172.ch003.
8. Гасич Е. Л., Гомжина М. М., Хлопунова Л. Б., Ганнибал Ф. Б. Первая находка *Stagonosporopsis heliopsisidis* (Pleosporales) на территории России и перспективы его применения против амброзии полыннолистной // *Микология и фитопатология.* 2018. Т. 52(4). С. 277–290. DOI: 10.1134/S0026364818040062.
9. Vajna L., Bohar G., Kiss L. First report of *Phyllachora ambrosiae* in Europe causing epidemics on common ragweed // *Plant Disease.* 2000. Vol. 84. No. 4. P. 489. DOI: 10.1094/PDIS.2000.84.4.489A.
10. Дергунов А. В., Никольский М. А. Биологическая борьба с амброзией на виноградниках как средство защиты экологии курортов юга России // *Виноградарство и виноделие.* 2015. Т. 45. С. 65–68.
11. Gerber E., Schaffner U., Gassmann A., Hinz H. L., Seier M., Muller-Scharer H. Prospects for biological control of *Ambrosia artemisiifolia* in Europe: Learning from the past // *Weed Research.* 2011. No. 51(6). P. 559–573. DOI: 10.1111/j.1365-3180.2011.00879.x.
12. Didovich S. V., Alekseenko O. P., Pas A. N., Didovich A. N. Phototrophic microorganisms for agricultural technology and food security // IOP Conference. Series “Earth and Environmental Science”. 2020. Vol. 422. P. 12–42. DOI: 10.1088/1755-1315/422/1/012042.
13. Голлербах М. М., Штина Э. А. Почвенные водоросли. Л.: Наука, 1969. 227 с.
14. Abdel-Hafez S. I. I., Abo-Elyousr K. A. M., Abdel-Rahim I. R. Fungicidal activity of extracellular products of cyanobacteria against *Alternaria porri* // *Eur. J. Phycol.* 2015. Vol. 50. P. 239–245. DOI: 10.1080/09670262.2015.1028105.
15. Senhorinho G. N. A., Ross G. M., Scott J. A. Cyanobacteria and eukaryotic microalgae as potential sources and antibiotics // *Phycologia.* 2015. Vol. 54. No. 3. P. 271–282. DOI: 10.2216/14-092.1.
16. Shishido T. K., Humisto A., Jokela J., Liu L., Wahlsten M., Tamrakar A., Fewer D. P., Permi P., Andreote A. P. D., Fiore M. F., Sivonen K. Antifungal compounds from cyanobacteria // *Mar. Drugs.* 2015. Vol. 13. No. 4. P. 2124–2140. DOI: 10.3390/md13042124.
17. Singh S., Kate B. N., Banerjee U. C. Bioactive compounds from cyanobacteria and microalgae: an overview // *Critical Reviews in Biotechnology.* 2005. Vol. 25. P. 73–95. DOI: 10.1080/07388550500248498.
18. Volk R. B., Furkert F. Antialgal, antibacterial and antifungal activity of two metabolites produced and excreted by cyanobacteria during growth // *Microbiol. Res.* 2006. Vol. 161. P. 180–186. DOI: 10.1016/j.micres.2005.08.005.
19. Berry J. P., Gantar M., Perez M. H., Berry G., Noriega F. G. Cyanobacterial toxins as allelochemicals with potential applications as algaecides, herbicides and insecticides // *Mar Drugs.* 2008. Vol. 6. Iss. 2. P. 117–146. DOI: 10.3390/md20080007.
20. Пархоменко А. Ю. Изучение химического состава амброзии полыннолистной с целью получения фармакологически активных веществ. Дисс. ... канд. фарм. наук. Пятигорск: ГУ «Пятигорская государственная фармацевтическая академия», 2004. 124 с.
21. Глубшева Т. Н. Влияние настоя из амброзии полыннолистной на важнейшие сельскохозяйственные культуры // *Научные Ведомости Белгородского Государственного Университета. Серия: Естественные Науки.* 2010. № 9 (80). Вып. 11. С. 55–58.
22. Максимов В. И., Черепанова Е. А. Про-/антиоксидантная система и устойчивость растений к патогенам // *Успехи современной биологии.* 2006. Т. 126. № 3. С. 250–261.
23. Bolwell G. P., Bindschedler L. V., Blee K. A., Butt V. S., Davies D. R., Gardner S. L., Gerrish C., Minibayeva F. The apoplastic oxidative burst in response to biotic stress in plants: a tree component system // *J. Exp. Bot.* 2002. Vol. 53. Iss. 372. P. 1367–1376. DOI: 10.1093/jxb/53.372.1367.
24. Zhao L., Sakai K. Peroxidases are involved in biosynthesis and biodegradation of P-thujaplicin in fungal elicitor-treated *Cupressus lusitanica* cell cultures // *New Phytopath.* 2003. Vol. 159. P. 719–731. DOI: 10.1046/j.1469-8137.2003.00841.x.

25. Шарова Е. И. Антиоксиданты растений: учеб. пособие. Санкт-Петербург: Издательство Санкт-Петербургского университета, 2016. 140 с.
26. Marrs K. The functions and regulation of glutathione S-transferases in plants // Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. 1996. Vol. 47. P. 127–158. DOI: 10.1146/annurev.arplant.47.1.127.
27. 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.
28. Експериментальна ґрунтова мікробіологія: монографія // За ред. Волкогона В.В. К.: Аграрна наука, 2010. 464 с.
29. Pfrifter H., Defago G. The potential of *Stagonospora sp.* as a mycoherbicide for field bindweed // Biocontrol Science and Technology. 1998. Vol. 8. P. 93–101.
30. Грицаенко З. М., Грицаенко А. О., Карпенко В. П. Методи біологічних та агрохімічних досліджень рослин і ґрунтів. К.: Нічлава, 2003. С. 34–125.
31. Bailey B. A., O'Neill N. R., Anderson J. D. Influence of adjuvants on disease development by *Pleospora papaveracea* on opium poppy (*Papaver somniferum*) // Weed Sci. 2004. Vol. 52. No. 3. P. 424–432. DOI: 10.1614/WS-03-017R1.
32. Womack J. G., Eccleston G. M., Burge M. N. A vegetable oil-based invert emulsion for mycoherbicide delivery // Biological control. 1996. Vol. 6. No. 1. P. 23–28.

### References

1. Zakharychev V. V. Chemistry of herbicides: textbook for universities. Saint-Petersburg: Lan, 2021. 592 p.
2. Jeschke P. Progress of modern agricultural chemistry and future prospects // Pest Manag. Sci. 2015. No. 72(3). P. 433–455. DOI: 10.1002/ps.4190.
3. Berestetskiy A. O. Prospects for development of biological and biorational herbicides // Plant Protection News. 2017. No.1(91). P. 5–12.
4. Radhakrishnan R. Introductory chapter: need of bioherbicide for weed control // In book: Biological Approaches for Controlling Weeds. 2018. DOI: 10.5772/intechopen.77958.
5. Shaw R., Schaffner U., Marchante E. The regulation of biological control of weeds in Europe – an evolving landscape // EPPO Bull. 2016. Vol. 46. P. 254–258. DOI: 10.1111/epp.12308.
6. Copping L. G., Duke S. O. Natural products that have been used commercially as crop protection agents // Pest Manag. Sci. 2007. Vol. 63. Iss. 6. P. 524–554. DOI: 10.1002/ps.1378.
7. Duke S. O., Owens D. K., Dayan F. E. The growing need for biochemical bioherbicides. In: «Biopesticides: State of the Art and Future Opportunities» ACS Symposium Series // American Chemical Society. 2014. Vol. 117. P. 31–43. DOI: 10.1021/bk-2014-1172.ch003.
8. Gasich E. L., Gomzhina M. M., Khlopunova L. B., Gannibal Ph. B. The first finding of *Stagonosporopsis heliopsisidis* (Pleosporales) in Russia and its mycoherbicide potential against *Ambrosia artemisiifolia* // Mycology and phytopatology. 2018. Vol. 52. No. 4. P. 277–290. DOI: 10.1134/S0026364818040062.
9. Vajna L., Bohar G., Kiss L. First report of *Phyllachora ambrosiae* in Europe causing epidemics on common ragweed // Plant Disease. 2000. Vol. 84. No. 4. P. 489. DOI: 10.1094/PDIS.2000.84.4.489A.
10. Dergunov A. V., Nikolskii M. A. Biological control of ragweed in vineyards as a measure to protect the ecology of resorts in the south of Russia // Viticulture and Winemaking. 2015. Vol. 45. P. 65–68.
11. Gerber E., Schaffner U., Gassmann A., Hinz H. L., Seier M., Muller-Scharer H. Prospects for biological control of *Ambrosia artemisiifolia* in Europe: learning from the past // Weed Research. 2011. No. 51(6). P. 559–573. DOI: 10.1111/j.1365-3180.2011.00879.x.
12. Didovich S. V., Alekseenko O. P., Pas A. N., Didovich A. N. Phototrophic microorganisms for agricultural technology and food security // IOP Conference. Series “Earth and Environmental Science”. 2020. Vol. 422. P.12–42. DOI: 10.1088/1755-1315/422/1/012042.
13. Gollerbach M. M., Shtina E. A. Soil algae. Leningrad: Nauka, 1969. 227 p.
14. Abdel-Hafez S. I. I., Abo-Elyousr K. A. M., Abdel-Rahim I. R. Fungicidal activity of extracellular products of cyanobacteria against *Alternaria porri* // Eur. J. Phycol. 2015. Vol. 50. P. 239–245. DOI: 10.1080/09670262.2015.1028105.
15. Senhorinho G. N. A., Ross G. M., Scott J. A. Cyanobacteria and eukaryotic microalgae as potential sources and antibiotics // Phycologia. 2015. Vol. 54. No. 3. P. 271–282. DOI: 10.2216/14-092.1.
16. Shishido T. K., Humisto A., Jokela J., Liu L., Wahlsten M., Tamrakar A., Fewer D. P., Permi P., Andreote A. P. D., Fiore M. F., Sivonen K. Antifungal compounds from cyanobacteria // Mar. Drugs. 2015. Vol. 13. No. 4. P. 2124–2140. DOI: 10.3390/md13042124.
17. Singh S., Kate B. N., Banerjee U. C. Bioactive compounds from cyanobacteria and microalgae: an overview // Critical Reviews in Biotechnology. 2005. Vol. 25. P. 73–95. DOI: 10.1080/07388550500248498.

18. Volk R. B., Furkert F. Antialgal, antibacterial and antifungal activity of two metabolites produced and excreted by cyanobacteria during growth // *Microbiol. Res.* 2006. Vol. 161. P. 180–186. DOI: 10.1016/j.micres.2005.08.005.
19. Berry J. P., Gantar M., Perez M. H., Berry G., Noriega F. G. Cyanobacterial toxins as allelochemicals with potential applications as algacides, herbicides and insecticides // *Mar Drugs.* 2008. Vol. 6. Iss. 2. P. 117–146. DOI: 10.3390/md20080007.
20. Parkhomenko A. Yu. Study of the chemical composition of ragweed in order to obtain pharmacologically active substances. Diss. ... Cand. Sc. (Pharm.). Pyatigorsk: SE “Pyatigorsk State Pharmaceutical Academy”. 2004. 124 p.
21. Glubsheva T. N. Influence of *Ambrosia artemisiifolia* infusion on the main agricultural crops // “Scientific bulletins of the Belgorod State University. Series: Natural Sciences”. 2010. No. 9 (80). Iss. 11. P. 55–58.
22. Maksimov V. I., Cherepanova E. A. Pro-/antioxidant system and resistance of plants to pathogens // *Uspekhi sovr. boil.* 2006. Vol. 126. No. 3. P. 250–261.
23. Bolwell G. P., Bindschedler L. V., Blee K. A., Butt V. S., Davies D. R., Gardner S. L., Gerrish C., Minibayeva F. The apoplastic oxidative burst in response to biotic stress in plants: a tree component system // *J. Exp. Bot.* 2002. Vol. 53. Iss. 372. P. 1367–1376. DOI: 10.1093/jxb/53.372.1367.
24. Zhao L., Sakai K. Peroxidases are involved in biosynthesis and biodegradation of P-thujaplicin in fungal elicitor-treated *Cupressus lusitanica* cell cultures // *New Phytopath.* 2003. Vol. 159. P.719–731. DOI: 10.1046/j.1469-8137.2003.00841.x.
25. Sharova E. I. Antioxidants of plants: textbook. Saint-Petersburg: Publishing house of St. Petersburg University, 2016. 140 p.
26. Marrs K. The functions and regulation of glutathione S-transferases in plants // *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 1996. Vol. 47. P. 127–158. DOI: 10.1146/annurev.arplant.47.1.127.
27. 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.
28. Experimental soil microbiology: monograph // Ed. by Volkogon V. V. Kiev: Agrarna nauka, 2010. 446 p.
29. Pflirter H., Defago G. The potential of *Stagonospora sp.* as a mycoherbicide for field bindweed // *Biocontrol Science and Technology.* 1998. Vol. 8. P. 93–101.
30. Gritsayenko Z. M., Gritsayenko A. O., Karpenko V. P. Methods of biological and agrochemical research of plants and soils. Kiev: Nichlava, 2003. P. 34–125.
31. Bailey B. A., O'Neill N. R., Anderson J. D. Influence of adjuvants on disease development by *Pleospora papaveracea* on opium poppy (*Papaver somniferum*) // *Weed Sci.* 2004. Vol. 52. No. 3. P. 424–432. DOI: 10.1614/WS-03-017R1.
32. Womack J. G., Eccleston G. M., Burge M. N. A vegetable oil-based invert emulsion for mycoherbicide delivery // *Biological control.* 1996. Vol. 6. No. 1. P. 23–28.

UDC 579.64:632.51

Didovich S. V., Danilova I. L., Pas' A. N., Alekseenko O. P.

### **BIORATIONAL METHOD OF AMBROSIA ARTEMISIIFOLIA L. GROWTH AND DEVELOPMENT INHIBITION**

**Summary.** Currently, the search for biological agents that are alternative to chemical ones to protect agrocenoses from weeds, including quarantine objects like different types of ragweed, is relevant because they cause biological and technological damage to the environment, agriculture and have a negative impact on human health. The research was aimed at searching for biotically active elicitors of plant and microbial origin for the induction, reinforce of oxidative stress and inhibition of *Ambrosia artemisiifolia* L. growth. Strains were searched for and studied in 2019–2020 in laboratory experiments and greenhouse trials in the Research Institute of Agriculture of Crimea. Ragweed plants were grown in pots. Soil – chernozem southern. In the phase of 4–6 leaves, plants were treated with biorational preparative forms based on microbial and plant elicitors at a dose of 200 mkl/plant. For bioherbicide composites, strains-inhibitors from the Research Institute of Agriculture of Crimea collection (CCM), plant extracts from the ragweed and glycerin were used. The inhibition efficiency was evaluated three weeks after treatment. The indices of height, phytomass, antioxidant status and ragweed damage degree were taken into account. We identified seven strains that inhibited plant growth by 0.13–1.08 g/plant (37–38 %) compared to the control variants: 1) water treatment, 2)

*bacterization with a phytopathogenic strain of Stagonosporopsis heliopsisidis from the All-Russian Scientific Research Institute of Plant Protection collection. For the first time, we used ambrosia BAS to develop a biorational herbicide to control the ragweed. Bacterization with biorational preparative forms based on biotically active elicitors of plant and microbial origin affected the homeostasis of ragweed, induced plant stress by blocking the enzymatic activity and the antioxidant protection systems. The activity of catalases and polyphenoloxidases decreased by 2.9–85.6 and 1.2–658.0 times, respectively, with a significant correlation between themselves ( $r = 0.66$ ) and the correlation of catalase activity with plant phytomass ( $r = 0.72$ ). The content of glutathione decreased by 2.5–2.7 compared to the control and had significant correlations with the activity of catalases ( $r = 0.63$ ) and the phytomass of ragweed ( $r = 0.80$ ) ( $p < 0.05$ ) depending on the components of the bioherbicidal formulations.*

**Keywords:** microorganisms, bioherbicides, antioxidants, stress, growth inhibition, *Ambrosia artemisiifolia* L.

Дидович Светлана Витальевна, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории растительно-микробного взаимодействия, ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295453, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150, Россия; e-mail: sv-alex.68@mail.ru.

Данилова Ирина Львовна, научный сотрудник отдела переработки и стандартизации эфиромасличного сырья, ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295453, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: isocrimea@gmail.com.

Пась Анна Николаевна, младший научный сотрудник, ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295453, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; annapass@mail.ru.

Алексеенко Ольга Петровна, младший научный сотрудник лаборатории растительно-микробного взаимодействия, ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295453, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; olya.alekseenko1975@gmail.com.

Didovich Svetlana Vital'evna, Cand. Sc. (Agr.), leading researcher, FSBSI "Research Institute of Agriculture of Crimea"; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295493, Russia; e-mail: sv-alex.68@mail.ru.

Danilova Irina Lvovna, researcher of Department of processing and standardization of essential oil raw materials, FSBSI "Research Institute of Agriculture of Crimea"; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295493, Russia; e-mail: isocrimea@gmail.com.

Pas' Anna Nikolaevna, junior researcher of the Laboratory of plant-microbe interaction, FSBSI "Research Institute of Agriculture of Crimea"; 150 Kievskaya str., Simferopol, 295493, Russia; e-mail: annapass@mail.ru.

Alekseenko Olga Petrovna, junior researcher of the Laboratory of plant-microbe interaction, FSBSI "Research Institute of Agriculture of Crimea"; 150 Kievskaya str., Simferopol, 295493, Russia; e-mail: olya.alekseenko1975@gmail.com.

*Дата поступления в редакцию – 22.08.2021.*

*Дата принятия к печати – 22.10.2021.*