

КОНТРОЛЬ СПОРЫНЬИ (*Claviceps purpurea* (FR) TUL.) С ПОМОЩЬЮ НОВЫХ ПЕСТИЦИДОВ

Т.К. Шешегова, доктор биологических наук,
Л.М. Щеклеина, кандидат сельскохозяйственных наук

Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого,
610007, Киров, ул. Ленина, 166а
E-mail: immunitet@fanc-sv.ru

Исследования выполнены в Федеральном аграрном научном центре Северо-Востока с 2013 по 2017 и 2019 гг. В модельных экспериментах протестированы 17 химических и биологических препаратов по способности ограничивать прорастание склероций гриба *Claviceps purpurea* Fr. Tul. В парных микробных ассоциациях (in vitro) изучена динамика роста мицелия гриба *Spacelia segetum* Lev. Повторность в опытах – 3-кратная, в исследованиях in vitro – 4-кратная. Самая высокая биологическая эффективность выявлена у нового фунгицида Турион, концентрат эмульсии, которая в среднем за 3 года составила 90%. Достаточно высокая эффективность (70-80%) отмечена у препаратов Бункер, Дивиденд Стар и Витацит. В этих вариантах сохранившие жизнеспособность склероции сформировали от 2 до 6 стром с плодовыми телами, в контроле – от 3 до 27. Среди биофунгицидов самая высокая эффективность (69%) была у Псевдобактерина. Обнаружено, что у всех препаратов, несмотря на одно действующее вещество, антибиотические свойства существенно различаются, поэтому работа с фунгицидами носит индивидуальный характер. В серии лабораторных экспериментов выявлен заметный и продолжительный антагонизм в биосистеме *Spacelia segetum* – *Streptomyces hygrosopicum*, штамм А-4. Площадь стерильной зоны вокруг *S. hygrosopicum* в среднем по всем изолятам составила 1,95 см². Она сохранялась и после 14 дней инкубирования тест-культуры, что делает данный штамм перспективным для конструирования нового целевого биопрепарата. Слабое ингибирование роста колоний *S. segetum* обнаружено в присутствии гриба *Acremonia occulta* и бактерии *Flavobacterium fulvii*, штамм Л-30.

CONTROL OF ERGOT (*Claviceps purpurea* (FR) TUL.) WITH NEW PESTICIDES

Sheshegova T.K., Shchekleina L.M.

Federal Agrarian Scientific Center of the North-East named N.V. Rudnitsky,
610007, Kirov, ul. Lenina, 166a
E-mail: immunitet@fanc-sv.ru

The studies were carried out in FASC of the North-East during the period from 2013 to 2017 and in 2019. Seventeen chemical and biological preparations were tested in model experiments on the ability to limit the germination of scleriosis of the fungus *Claviceps purpurea* Fr. Tul. In paired microbial associations (in vitro) the dynamics of growth of mycelium of the fungus *Spacelia segetum* Leo has been studied. Repetition in experiments is 3-fold, in in vitro studies - 4-fold. The highest biological efficacy was found in the new fungicide Turion, which averaged 90% in 3 years. The preparations Bunker, Dividend Star and Vitazit showed quite high efficiency (70-80%). In these variants, scleriosis which preserved its viability formed from 2 to 6 strum with fruit bodies, in control variant - from 3 up to 27. Among biofungicides, Pseudobacterine had the highest efficacy (69%). All preparations found that despite the same active ingredient, their antibiotic properties were significantly different. Therefore, the work with fungicides is individual. A series of laboratory experiments revealed a marked and prolonged antagonism in the biosystem *Spacelia segetum* - *Streptomyces hygrosopicum*, strain A-4. The sterile area around *S. hygrosopicum* averaged 1.95 cm² for all isolates. It was maintained after 14 days of incubation of the culture test, which makes this strain promising for the construction of a new target biopreparation. Weak inhibition of the growth of *S. segetum* colonies was found in the presence of the fungus *Acremonia occulta* and the bacterium *Flavobacterium fulvii*, strain L-30.

Ключевые слова: спорынья (*Claviceps purpurea*, *Spacelia segetum*), жизнеспособность склероций, биологические и химические препараты, парные микробные ассоциации, биологическая эффективность

Key words: ergot (*Claviceps purpurea*, *Spacelia segetum*), viability of scleroia, biological and chemical preparations, paired microbial associations, biological efficacy

Спорынья (*Claviceps purpurea* Fr. Tul.) практически повсеместно становится одной из прогрессирующих болезней не только озимой ржи, но и многих зерновых культур [1-7]. Меры борьбы с ней затруднены в связи со сложной биологией возбудителя – гриба *S. purpurea*, который имеет несколько инфекционных структур: зимующие склероции, аскоспоры (споры полового размножения) и конидии (споры бесполого размножения), инфицирующие завязь цветков. Формирующиеся склероции по размеру часто близки к зерновкам растения-хозяина. Поэтому несмотря на достаточно многоступенчатую технологическую схему очистки зерновой массы, освободиться от склероций механической сортировкой не удается, и часть их неизбежно попадает в семенные и продовольственные партии зерна [8], которые становятся одним из важных источников сохранения и

распространения спорыньи. Важный прием борьбы с болезнью – протравливание семенного материала, которое должно подавлять жизнеспособность склероций путем ингибирования формирования и полноценного развития стром, уменьшения числа плодовых тел (перитеций) и сумок с аскоспорами. Однако следует учесть, что протравители не защищают растения от аскоспор, летящих с перезимовавших и проросших склероций, и конидий, образующихся в зараженных завязях.

В отечественной и зарубежной литературе имеются многочисленные данные об исследованиях биологической эффективности вновь регистрируемых фунгицидов. Так, немецкий ученый К. Frauenstein [9] установил высокую эффективность препарата Байтан-универсал, который подавлял прорастание склероций на 94,4%. В Литве З.В. Дабкявичюс [10] отметил эффективность

фунгицидов Фундазол, ТМТД, Фентиурам и Гранозан. В Белоруссии А. И. Немкович [11] и С. Ф. Буга [12] получили хорошие результаты при использовании комбинированных протравителей Суми 8, Паноктин, Максим и Витавакс 200. Для подавления развития конидиальной стадии гриба они проводили фунгицидные обработки растений озимой ржи в период колошения – цветения препаратами Тилт, Альто супер и Фоликур, что снижало пораженность посевов на 32-49%. В исследованиях А. З. Хазиева [13] в защите от спорыньи эффективным был биопрепарат Экстрасол.

В настоящее время в Списке пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации [14], зарегистрировано всего 5 фунгицидов (Дивидент Стар, Терция, Примэкс, Кинто Дуо и Винцит Форте), используемых для протравливания семенного материала от спорыньи. По нашему мнению, в интегрированной защите зерновых культур от этой опасной болезни вопросы эффективности химических мер борьбы пока мало изучены. Актуальность этих исследований вызвана также увеличением количества регистрируемых пестицидов и агрохимикатов, которые могут быть перспективными и в защите от спорыньи. Следует учитывать также, что обработка открыто цветущих зерновых культур химическими препаратами может вызвать ожог завязей. Поэтому для обработки таких растений нужны препараты щадящего действия, в качестве которых можно использовать различные био-препараты.

Целью настоящей работы был поиск новых препаратов, эффективных в защите от склероциальной и конидиальной стадии гриба *S. purpurea*.

Методика. Исследования выполняли на экспериментальной базе Федерального аграрного научного центра (ФАНЦ) Северо-Востока в 2013-2017 и 2019 гг. Изучали химические фунгициды: Винцит, концентрат суспензии – КС (флутриафол), Витацит, КС (тиабендазол + флутриафол), Турион, концентрат эмульсии – КЭ (триконазол + имазалил + прохлораз), Алькасар, КС (дифеноконазол + ципроконазол), Виал Траст, водно-суспензионный концентрат – ВСК (тиабендазол + тебуконазол), Бункер, ВСК и Редут, КС (тебуконазол), Дивидент Стар, КС (дифеноконазол + ципроконазол) и Фундазол, смачивающийся порошок – СП (беномил); био-препараты: Алирин Б, таблетки – ТАБ (*Bacillus subtilis*, штамм М-10 ВНИИ защиты растений), Гамаир, ТАБ (*Bacillus subtilis*, штамм М-22), Глиокладин, ТАБ (*Trichoderma harzianum*, штамм 18), Трихофлор, СП (штаммы *Trichoderma viride*), Азолен, жидкость – Ж (*Azotobacter vinelandii*, штамм ИБ-4), Ризоагрин, Ж (*Agrobacterium radiobacter*, штамм 204), Флавобактерин, Ж (штаммы *Flavobacterium sp.*) и Псевдобактерин, СП (*Pseudomonas aureofaciens*, штамм BS 1393).

Этими препаратами в соответствии с регламентацией дозой в начале октября обрабатывали склероции, которые затем помещали в небольшие вазоны с дерново-подзолистой среднесуглинистой почвой на глубину 2-4 см и оставляли в естественных условиях зимовки. В начале июня следующего года их извлекали и анализировали жизнеспособность по прорастанию склероций и количеству образовавшихся стром с плодовыми телами. Препаратами обрабатывали по 10-12 склероций, одинаковых по форме и крупности, в 3 повторениях. Каждый препарат изучали в течение 2-4 лет. Достоверность показателя «прорастание» оценивали с помощью дисперсионного анализа по Б. А. Доспехову (1985).

С целью поиска перспективных биоагентов при конструировании специализированных препаратов для

защиты от конидиальной стадии спорыньи, имеющей самостоятельное название *Spacelia segetum*, проводили исследования *in vitro*. В парных микробных ассоциациях (*S. segetum* – *Alternaria tenuis* Nees., *S. segetum* – *Culvularia geniculata* Boed., *S. segetum* – *Acremonia occulta* Cav., *S. segetum* – *Fusarium culmorum* (W.G. Sm.), *S. segetum* – *Bipolaris sorokiniana* (Sacc.), *S. segetum* – *Streptomyces hygroscopicum*, штамм А-4, *S. segetum* – *Flavobacterium fulvii*, штамм Л-30) анализировали динамику развития чистой культуры *S. segetum*. Используемые в работе изоляты грибов брали из рабочей коллекции лаборатории иммунитета и защиты растений ФАНЦ Северо-Востока, культура *Streptomyces hygroscopicum*, штамм А-4 предоставлена сотрудникам лаборатории биотехнологии микроорганизмов и растений ФАНЦ Северо-Востока, а бактериальный штамм Л-30 *Flavobacterium fulvii* получен из лаборатории биотехнологии филиала Россельхозцентр по Кировской области. В 4-дневную культуру *S. segetum*, культивируемую на картофельно-глюкозном агаре, по периферии чашки Петри в 3-4 местах всевали соответствующий микроорганизм. В таком виде чашки находились в термостате при температуре 25-27 °С. На 7-й день эксперимента проводили замеры стерильной зоны вокруг внесенной культуры и зоны нарастания одного мицелия на другой. Повторность в опытах *in vitro* – 4-кратная. Эксперименты дублировали по 2-3 раза.

Результаты и обсуждение. В ходе многолетних исследований самая высокая биологическая эффективность выявлена у нового 3-компонентного фунгицида Турион – 90% (табл. 1). Существенно меньше, чем в контроле, количество проросших склероций отмечали при протравливании их препаратами Бункер, Витацит и Дивидент Стар, биологическая эффективность которых составила 70-80%. При этом количество стром с плодовыми телами было минимальным для опыта и не превышало 6 шт.

Половина склероций, обработанных препаратами Фундазол, Алькасар и Редут, сохранила жизнеспособность и проросла. Количество сформировавшихся стром достигало 16 шт. Наименьшая эффективность по способности ингибировать прорастание гриба *S. purpurea*

Табл. 1. Биологическая эффективность химических фунгицидов в защите от спорыньи

Фунгицид	Анализ склероций			Биологическая эффективность, %
	прорастание, %	количество стром на одном склероции, шт.		
		лимит признака	в среднем	
Контроль – без обработки	100	3-27	14,2	-
Винцит – эталон	60	0-30	18,5	40
Турион	10*	0-2	1,5	90
Бункер	20*	0-6	3,5	80
Витацит	30*	0-4	2,0	70
Дивидент Стар	30*	0-5	2,0	70
Фундазол	50	0-16	5,5	50
Алькасар	50	0-13	7,0	50
Редут	50	0-14	8,0	50
Виал Траст	58	0-23	15,0	42

*Достоверно к контролю при $P \geq 0,95$.

Табл. 2. Эффективность биологических препаратов по отношению к склероциальной стадии гриба *Claviceps purpurea*

Препарат	Прорастание, %	Количество стром на одном склероции, шт.		Биологическая эффективность, %
		лимит признака	в среднем	
Контроль – без обработки	100	5-48	20,7	-
Винцит – эталон	54	0-22	10,0	46
Псевдобактерин	31*	0-5	2,0	69
Алирин Б	42	0-2	1,5	58
Флавобактерин	45	0-5	2,0	55
Ризоагрин	44	0-8	5,5	56
Трихофлор	50	0-12	4,0	50
Глиокладин	50	0-10	4,0	50
Азолен	50	0-20	5,5	50
Гамаир	74	0-15	9,0	26

* Достоверно к контролю при $P \geq 0,95$.

Табл. 3. Рост культуры *Spacelia segetum* в парных микробных ассоциациях

Микробные ассоциации	Площадь стерильной зоны, см ²	Стерильная зона на 14-й день
<i>Spacelia segetum</i> – <i>Alternaria tenuis</i>	0	-
<i>Spacelia segetum</i> – <i>Culvularia geniculata</i>	0	-
<i>Spacelia segetum</i> – <i>Fusarium culmorum</i>	0	-
<i>Spacelia segetum</i> – <i>Bipolaris sorokiniana</i>	0	-
<i>Spacelia segetum</i> – <i>Flavobacterium fulvii</i>	0,35	Нет
<i>Spacelia segetum</i> – <i>Acremonia occulta</i>	0,55	Сохраняется
<i>Spacelia segetum</i> – <i>Streptomyces hygroscopicum</i>	1,95	Сохраняется

выявлена у двух фунгицидов: Винцит и Виал Траст: обработанные склероции проросли соответственно на 58 и 70%. На некоторых из них сформировалось до 30 стром с перитециями. Поэтому даже лизис отдельных склероций может компенсировать высокую инфекционную нагрузку аскоспор за счет формирования большого количества плодовых тел на других.

Оценивая изучаемые фунгициды по биоцидной эффективности действующих веществ, можно отметить избирательное действие их на жизнеспособность склероций гриба *C. purpurea*. Несмотря на одно и то же действующее вещество, антибиотические и ингибирующие свойства препаратов существенно различались. Поэтому работа с фунгицидами носит индивидуальный характер и при выборе препаратов следует ориентироваться прежде всего на торговую марку, избегая контрафактной продукции.

Для снижения экологической опасности, обоснования экономической и фитосанитарной целесообразности применения препаратов объектом дальнейших исследований были новые биологические фунгициды и регуляторы роста растений с определенным уровнем антифунгальных свойств. Среди них биофунгицид Псевдобактерин существенно подавлял жизнеспособность

склероций *C. purpurea*. Их прорастание в среднем за 3 года было на уровне 31% при относительно небольшом количестве стром с плодовыми телами – не более 5. Его биологическая эффективность в среднем за годы исследований составила 69%, что на уровне химических фунгицидов Витацит и Дивидент Стар (табл. 2). У других препаратов целевой биоконтроль был практически на одном уровне – 50-58%. Из этой тенденции следует исключить препарат Гамаир с относительно низкими антибиотическими свойствами. Его эффективность в среднем за 3 года составила 26%. Таким образом, как и в отношении химических фунгицидов, подтвердилась избирательность биологических фунгицидов в биоконтроле спорыньи. Препараты Алирин Б и Гамаир, действующим веществом которых служат разные штаммы природной бактерии *Bacillus subtilis*, проявили неоднозначную способность в подавлении жизнеспособности склероций.

Следует отметить, что протравливание семян не всегда эффективно, так как доля склероций в семенном материале невелика. Кроме того, распространение спорыньи усиливается за счет вторичной инфекции – конидий *S. segetum*, обилие которых наблюдается к началу формирования зерна. По отношению к этому виду инфекции защитные мероприятия отсутствуют. Можно лишь регулировать норму высева, так как в загущенных посевах вследствие контакта здоровых и пораженных колосьев распространение спорыньи увеличивается, а также ограничивать (инсектицидами) количество насекомых, питающихся «медвяной росой» и являющихся переносчиками конидий. Для их контроля необходима обработка посевов в период вегетации препаратами щадящего действия на основе антибиотических веществ растительного или микробного происхождения.

В парных микробных ассоциациях (*in vitro*) мы протестировали характер взаимоотношений культуры *S. segetum* с несколькими видами микромицетов. В серии лабораторных экспериментов выявлен заметный и продолжительный антагонизм в биосистеме *S. segetum* – *S. hygroscopicum*, штамм А-4 (табл. 3). На 7-е сутки площадь радиальной стерильной зоны возле биоагента *S. hygroscopicum* в среднем по всем изолятам составила 1,95 см². Она сохранялась и после 14 дней инкубирования тест-культуры.

Слабое ингибирование роста колоний *S. segetum* обнаружено в присутствии сапротрофного гриба *A. occulta* и бактерии *F. fulvii*, штамм Л-30. Стерильная зона в этих ассоциациях была в среднем соответственно 0,35 и 0,55 см². При этом антагонизм в биосистеме *S. segetum* – *F. fulvii* оказался менее продолжительным: на 12-е сутки на культуру *F. fulvii* интенсивно нарастал мицелий *S. segetum*. Другие тестируемые микроорганизмы, вероятно, не имели специфичных антагонистических свойств и не ограничивали рост культуры *S. segetum*.

Таким образом, химические препараты Турион, Бункер, Витацит, Дивидент Стар и биологический биофунгицид Псевдобактерин можно использовать в контроле спорыньи зерновых культур при предпосевной обработке семенного материала. Перспективным биоагентом при конструировании целевых биопрепаратов для защиты вегетирующих растений от аскоспор и конидий может быть штамм А-4 *Streptomyces hygroscopicum*.

Литература.

1. Шешегова Т.К., Щеклеина Л.М., Желифонова В.П., Антипова Т.В., Баскунов Б.П., Козловский А.Г. Устойчивость сортов ржи к спорынье и содержание эргоалколоидов в склероциях *Claviceps purpurea* в условиях Кировской области // Микология и фитопатология.

- 2019. – Т. 53. – N 3. – С. 177-182. DOI: 10.1134/S0026364819030127.
2. Рукиан Л.В. Спорынья и рожь – факты и перспективы. [Электронный ресурс]. URL: www.rusnauka.com/23_WP_2009/Agricole/51109.doc.htm (дата обращения 18.12.2019).
 3. Труфанов О., Лохов В., Родригес И. Алкалоиды спорыньи: современное состояние проблемы и методы профилактики отравлений // Эксклюзивные технологии. – 2009. – N 6. – С. 50-55. [Электронный ресурс]. URL: www.ergotism.info/ru/2009_trufanov_ergot_alkaloids.pdf (дата обращения 05.08.2019).
 4. Pazoutova S., Olsovska J., Linka M., Kolinska R, Fliieger M. Chemoraces, and habitatu specialization of *Claviceps purpurea* populations // *Appl. Environ. Microbiol.* – V. 66. – 2000. – P. 5419-5425.
 5. Miedaner Tr., Geiger H.H. *Biology, Genetics and Managemet of Ergot (Claviceps spp.) in Rye, Sorghum and Pearl Mille* // *Toxins.* – 2015. – V. 7. – P. 659-778.
 6. Dusemund B., Altmann H., Jampen A. Mutterkornalkaloide in lebensmitteln: Toxikologische Bewertung: Mutterkorn – alkaloig – kontaminierter roggemehl // *J. Verbraucherschutz Lebensmittelsicherheit.* – 2006. – N 1. – P. 150-152.
 7. Miedaner T., Mirdita V., Geiger H.H. STRATEGIES IN BREEDING FOR ERGOT (CLAVICEPS PURPUREA) RESISTANCE. *Book of Abstracts: International Symposium on Rye Breeding & Genetics Minsk, Belarus.* – 2010. – 83 p.
 8. *Theoretical Background of Calculating of the Parameters of the Device for Grain Cleaning from Ergot Sclerotia* / V.A. Sysuev, V.E. Saitov, V.G. Farafonov, A.N. Suvorov, A.V. Saitov // *Russian Agricultural Sciences.* – 2017. – V. 43 – N. 3 – P. 273-276.
 9. Frauenstein K. *Bedeutung der Fruchtfolge für den Mutterkornbefall des Roggens* // *Taf. – Ber. / Akad. Landwirtschaft / Wiss. DDR. Berlin.* – 1988. – N 621. – S. 271-273.
 10. Дабкявичюс З.В. Биология спорыньи злаковых трав и меры борьбы / Сб. трудов Литовского НИИ земледелия. – 1984. – N 53. – С. 85-92.
 11. Немкович А.И. Как защитит посеы озимой ржи от спорыньи? // *Ахова раслін.* – 1999. – N 2. – С. 22.
 12. Буга С.Ф. Ретроспективный анализ эффективности протравителей семян озимых зерновых культур, используемых в Республике Беларусь. // *Ахова раслін.* – 2002. – N 4. – С 17-20.
 13. Хазиев А.З. Влияние протравливания семян на зараженность спорыньей озимых культур // *Научные основы технологий производства сельскохозяйственной продукции: материалы республиканской научно-практической конференции молодых ученых.* – Казань. – 2008. – С. 52-58.
 14. Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации. Часть 1. Пестициды. Москва: Министерство сельского хозяйства Российской Федерации. – 2019. – 960 с. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.gumat.ru/news/vyshla novaya redaktsiya gosudarstvennogo kataloga pestitsidov i agrokhimikato-2018.html> (дата обращения 29.10.2019).

Поступила в редакцию 24.02.20
 После доработки 15.03.20
 Принята к публикации 30.03.20