



БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 632.952

С.В. Хижняк

ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ФИТОПАТОГЕННЫХ ГРИБОВ pp. *BIPOLARIS* И *FUSARIUM* К ФУНГИЦИДАМ РАЗНОГО ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА

Целью данной работы явился сравнительный анализ эффективности коммерческих фунгицидов разного состава в отношении *Bipolaris sorokiniana* и *Fusarium* sp. С помощью теста, основанного на прорастании конидий, была изучена чувствительность *in vitro* выделенных из пшеницы фитопатогенных грибов родов *Bipolaris* и *Fusarium* к фунгицидам разного химического состава. Использовали пять коммерческих фунгицидов, основанных на тебуконазоле, тебуконазоле и тиабендазоле, тебуконазоле и протиоконазоле, тебуконазоле и имазалиле, тиабендазоле и флутриафол в двух концентрациях: в концентрации, рекомендованной производителем, и в концентрации 25 % от рекомендованной. Для выявления индивидуальных противогрибных эффектов тебуконазола, тиабендазола, протиоконазола, имизалила и флутриафола результаты были проанализированы с помощью множественной линейной регрессии. В общей сложности были построены 14 линейных моделей регрессии (7 для *Bipolaris* и 7 для *Fusarium*), 7 из них оказались статистически значимы на уровне значимости от $p < 0,05$ до $p < 0,10$ с коэффициентами множественной детерминации (R^2) от 0,936 до 0,997. Анализ коэффициентов регрессии для отдельных веществ показал, что наиболее эффективными фунгицидами против фитопатогенных грибов родов *Fusarium* и *Bipolaris* являются имазалил и тиабендазол, в то время как тебуконазол и протиоконазол демонстрируют только слабый эффект, а флутриафол стимулирует рост и развитие этих патогенов. Среди тестируемых препаратов только Скарлет (60 г/л тебуконазола и 100 г/л имазалила) обеспечивает 100%-е подавление прорастания конидий при использовании как в рекомендованной концентрации, так и в концентрации 25 % от рекомендуемой.

Ключевые слова: фитопатогенные грибы, *Bipolaris*, *Fusarium*, фунгициды.

S.V. Khizhnyak

THE SENSITIVITY OF PHYTOPATHOGENIC FUNGI OF GENERA *BIPOLARIS* AND *FUSARIUM* TO FUNGICIDES OF DIFFERENT CHEMICAL COMPOSITION

In vitro the sensitivity of isolated from wheat phytopathogenic fungi of genera *Bipolaris* and *Fusarium* to the fungicides of different chemical composition was studied using test based on the conidia germination. Five commercial fungicides based on tebuconazole, tebuconazole and thiabendazole, tebuconazole and prothioconazole, tebuconazole and imazalil, thiabendazole and flutriafol were used in two concentrations: the concentration recommended by the manufacturer and 25% of the recommended concentration. In order to reveal individual antifungal effects of tebuconazole, thiabendazole, prothioconazole, imazalil and flutriafol the results were analyzed using multiple linear regression. Totally 14 linear regression models (7 for *Bipolaris* and 7 for *Fusarium*) were built and 7 of them were statistically significant at the significance level from $p < 0.05$ to $p < 0.10$ with the coefficients of multiple determination (R^2) from 0.936 to 0.997. Analysis of the regression coefficients for individual substances showed that the most effective fun-

gicides against phytopathogenic fungi of genera Bipolaris and Fusarium are imazalil and thiabendazole, whereas tebuconazole and prothioconazole demonstrates only weak effect, and flutriafol stimulates growth and development of these pathogens. Among tested preparations only Scarlet (60 g/L tebuconazole and 100 g/L imazalil) provides 100% suppression of conidia germination when used both in the recommended concentration and in the concentration 25% of the recommended.

Key words: phytopathogenic fungi, *Bipolaris*, *Fusarium*, fungicides.

Введение. Грибы pp. *Bipolaris* и *Fusarium* являются распространенными возбудителями заболеваний зерновых культур во всех зернопроизводящих регионах мира. В России в зависимости от уровня заражения и погодных условий потери урожая от поражения данными фитопатогенами достигают от 15 до 40 % [1]. В настоящее время основным методом борьбы с этими возбудителями является химический, заключающийся в протравливании семян различными фунгицидами перед высевом в почву.

Цель работы. Сравнительный анализ эффективности коммерческих фунгицидов разного состава в отношении *Bipolaris sorokiniana* и *Fusarium* sp.

Объекты и методы исследования. Объектами исследования были коммерческие фунгициды широкого спектра действия, рекомендованные в том числе к применению против фитопатогенных грибов pp. *Bipolaris* и *Fusarium*. Химический состав фунгицидов представлен в таблице 1.

Таблица 1

Химический состав изучаемых фунгицидов

Препарат	Действующее вещество, г/л				
	Тebuконазол	Тиaбен-дазол	Флутриaфол	Протиo-коназол	Имазалил
Витацит	–	25	25	–	–
Раксил Ультра	120	–	–	–	–
Ламардор ПРО	150	–	–	250	–
Скарлет	60	–	–	–	100
Виал-ТрасТ	60	80	–	–	–

Тест-объектами служили фитопатогенные грибы *Bipolaris sorokiniana* и *Fusarium* sp., выделенные из поражённого чёрным зародышем и фузариозом зерна пшеницы сорта Новосибирская-15. Активность препаратов проверяли по прорастаню конидий грибов в рабочих растворах, приготовленных в соответствии с рекомендациями производителей для протравливания зерна пшеницы, а также в растворах препаратов в концентрации 25 % от рекомендованной. Контролем служили конидии, проращиваемые в стерильной воде, проращение конидий в контроле составило 64,9 % для *B. sorokiniana* и 95,2 % для *Fusarium* sp. Сравнение вариантов с контролем проводили по точному критерию Фишера для таблиц 2х2, индивидуальные эффекты входящих в препараты действующих веществ определяли множественным регрессионным анализом на основе линейной модели [2]. В качестве порогового значения уровня значимости для проверки адекватности моделей было принято рекомендуемое значение $p=0,10$ [3, 4].

Результаты и их обсуждение

Влияние препаратов на *B. sorokiniana*. При использовании рекомендованных производителями рабочих концентраций изучаемых препаратов только Скарлет и Виал ТрасТ обеспечили полное подавление прорастания конидий *B. sorokiniana*. Препараты Витацит и Ламардор ПРО обеспечили лишь частичное подавление прорастания, а Раксил Ультра вообще не оказал влияния на прорастание конидий фитопатогена. При снижении концентрации препаратов до 25 % от рекомендованной Скарлет сохранил способность к полному подавлению прорастания конидий, Виал ТрасТ обеспечил лишь частичное снижение прорастания, Витацит и Ламардор ПРО не оказали ста-

статистически значимого эффекта, а Раксил Ультра статистически значимо стимулировал прорастание конидий и рост мицелия гриба (табл. 2, рис. 1).

Таблица 2

Влияние изучаемых препаратов на прорастание конидий *B. sorokiniana*

Препарат	Рабочая концентрация		25 % от рабочей концентрации	
	Прорастание, % к контролю	p^*	Прорастание, % к контролю	p
Витацит	69,0	$<0,05$	97,9	Нет
Раксил Ультра	95,8	Нет	118,4	0,05
Ламардор ПРО	64,7	$<0,01$	115,5	Нет
Скарлет	0,0	$<0,001$	0,0	$<0,001$
Виал ТрасТ	0,0	$<0,001$	67,3	$<0,01$

* p – значимость различий с контролем по точному критерию Фишера для таблиц 2х2.

При этом в растворах Раксил Ультра, Ламардор ПРО и Виал ТрасТ на растущих гифах гриба наблюдалась адсорбция компонентов препаратов без видимых последствий для фитопатогена (рис. 1).

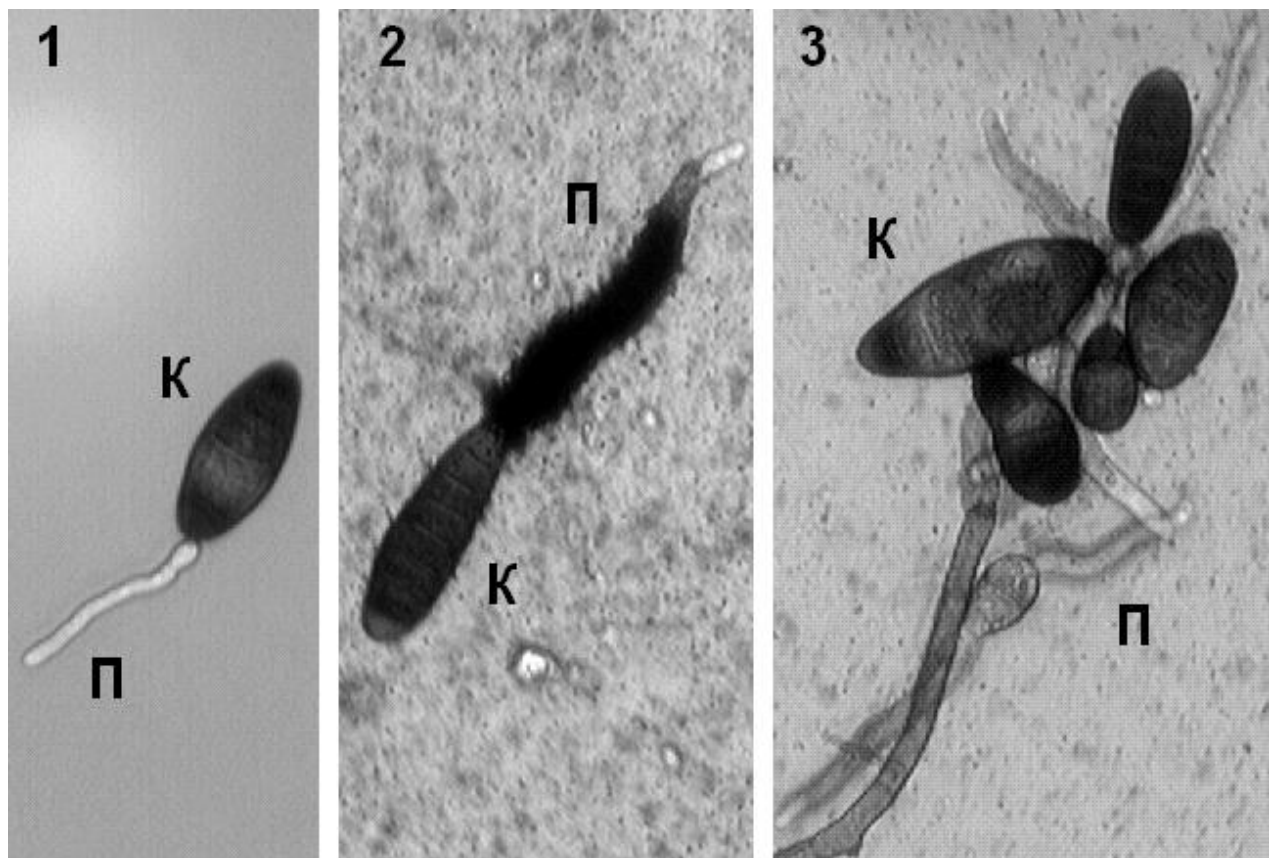


Рис. 1. Прорастание конидий *B. sorokiniana* в контроле и в растворе фунгицида Раксил Ультра: 1 – контроль (вода); 2 – рабочий раствор препарата рекомендованной концентрации; 3 – раствор препарата – 25 % от рекомендованной концентрации; К – конидии; П – проростковые гифы. На втором и третьем фото видна сорбция препарата на растущих гифах

Напротив, в растворе препарата Скарлет не только полностью отсутствовало прорастание конидий, но и в самих конидиях наблюдались деструктивные изменения – деградация клеток и выход содержимого клеток в окружающую среду (рис. 2). Данные изменения отмечены как в растворе рекомендованной рабочей концентрации, так и в концентрации 25 % от рабочей.

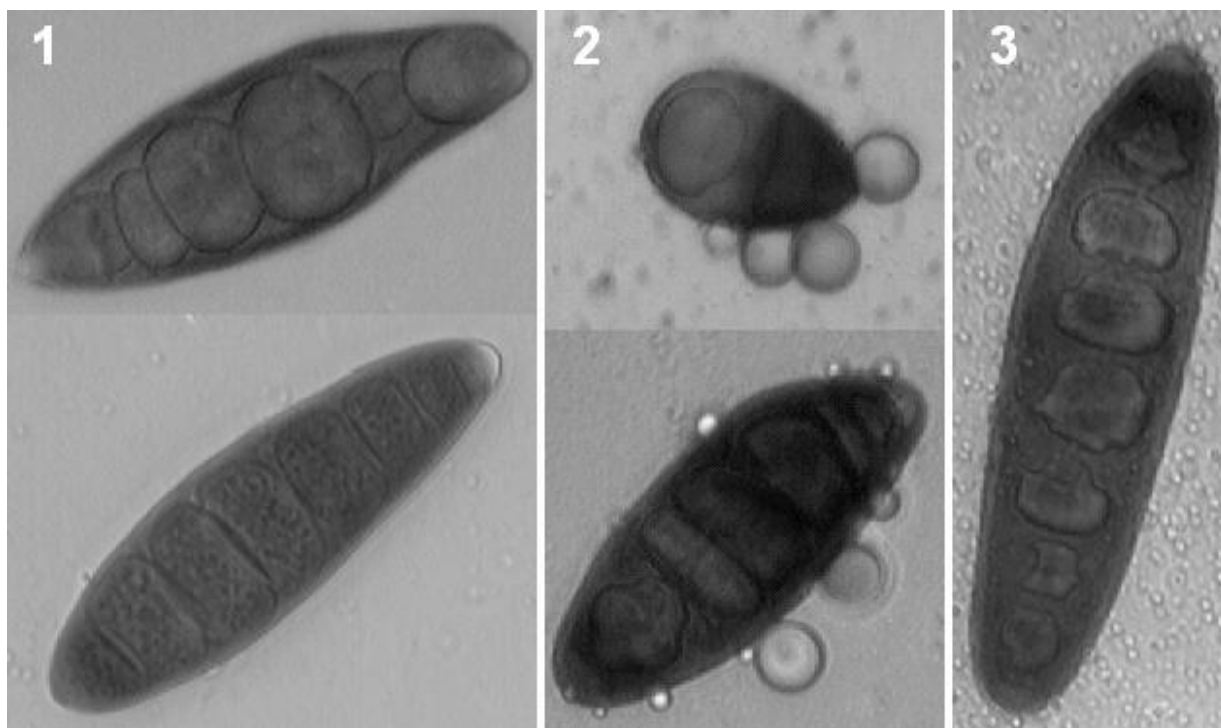


Рис. 2. Влияние препарата Скарлет на конидии *B. sorokiniana*: 1 – нормальные конидии; 2 – выход содержимого клеток в рабочем растворе препарата; 3 – деградация клеток в рабочем растворе препарата

Частичное перекрывание состава исследуемых препаратов по действующим веществам (но не по их концентрациям), а также использование в экспериментах двух концентраций каждого препарата позволяет средствами множественного регрессионного анализа вычленить индивидуальные эффекты каждого действующего вещества. Для этих целей нами была использована наиболее простая линейная модель вида

$$Y = a_0 + \sum a_i X_i,$$

где Y – суммарный эффект раствора препарата в виде числа проросших конидий, в процентах от контроля (см. табл. 2); X_i – концентрации действующих веществ в растворе, в граммах на 100 мл; a_0 и a_i – коэффициенты.

Для выявления эффектов тебуконазола, тиабендазола и флутриафола были использованы данные по препаратам Раксил Ультра (тебуконазоловый препарат), Виал ТрасТ (тебуконазол-тиабендазоловый препарат) и Витацит (тиабендазол-флутриафоловый препарат). Для выявления эффекта протиоконазола были использованы данные по препарату Ламадор Про (тебуконазол-протиоконазоловый препарат) в сочетании с данными по препаратам Раксил Ультра и Виал ТрасТ. Оценку эффекта имазалила проводили на основе данных по препаратам Раксил Ультра и Скарлет. Кроме этого, была построена общая регрессионная модель по всему массиву данных. Результаты представлены в таблице 3.

Таблица 3

Коэффициенты в уравнениях множественной регрессии, демонстрирующие эффект различных действующих веществ на *B. Sorokiniana*

Статистика модели	Вариант построения модели						
	1	2	3	4	5	6	7
R	0,978	0,979	0,964	0,997	0,869	0,797	0,844
p	0,044	0,014	0,031	0,078	Нет	Нет	Нет
Вещества	Коэффициенты в уравнении						
Тебуконазол	-18,2	-21,7	-46,7	-141,5	-72,0	+94,9	+33,1
Тиабендазол	-319,3	-319,3	-319,3				-319,3
Флутриафол		+248,8					+275,2
Протиоконазол			-54,3	-42,9	-51,3		-63,9
Имазалил						-295,1	-295,1

Примечание: 1 – контроль, Раксил Ультра, Виал-Траст; 2 – контроль, Витацит, Раксил Ультра, Виал-Траст; 3 – контроль, Раксил Ультра, Ламардор ПРО, Виал-Траст; 4 – Раксил Ультра, Ламардор ПРО; 5 – контроль, Раксил Ультра, Ламардор ПРО; 6 – контроль, Раксил Ультра, Скарлет; 7 – все варианты, включая контроль; "-" – подавление прорастания конидий; "+" – стимуляция прорастания конидий; R – коэффициент множественной корреляции; p – статистическая значимость модели.

Анализ приведённых в таблице 3 уравнений множественной регрессии позволяет сделать следующие выводы. Флутриафол, декларируемый как фунгицидное соединение, полученное в результате целенаправленного синтеза на основе компьютерного вычислительного проектирования, на самом деле обладает сильным стимулирующим эффектом в отношении *B. sorokiniana*. Эффект тебуконазола в зависимости от регрессионной модели варьирует от слабого фунгицидного до слабого стимулирующего, что подтверждается анализом дозовой кривой для тебуконазолового препарата Раксил Ультра (рис. 3).

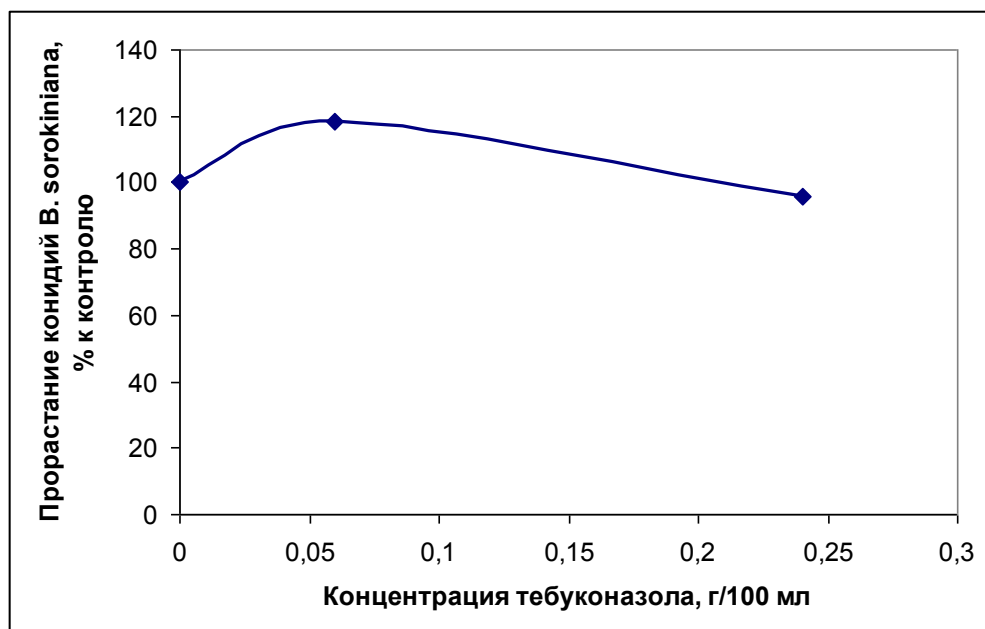


Рис. 3. Кривая "эффект-доза" для тебуконазолового препарата Раксил Ультра

Протиоконазол в диапазоне исследованных концентраций обладает лишь относительно слабым фунгицидным эффектом, в 5–7 раз уступающим эффекту тиabendазола и имазалила. При этом следует учитывать, что оценить реальную эффективность имазалила было невозможно в силу того, что, в отличие от других препаратов, препарат на основе имазалила в обеих исследованных концентрациях обеспечил полную гибель конидий тест-культуры.

Влияние препаратов на *Fusarium* sp. Относительная эффективность изучаемых препаратов в отношении *Fusarium* sp. в целом соответствовала эффективности в отношении *B. sorokiniana*. Коэффициент ранговой корреляции между подавлением прорастания конидий *Fusarium* sp. и *B. sorokiniana* для рабочих концентраций препаратов равен 0,872 при уровне значимости $p=0,05$, а для концентраций 25 % от рабочих – 0,900 при $p<0,05$. Однако в количественном плане антифунгальный эффект большинства препаратов в отношении *Fusarium* sp. был ниже, чем в отношении *B. sorokiniana*. Так, при использовании рекомендованных концентраций лишь Скарлет обеспечил полное подавление прорастания конидий *Fusarium* sp. Этот же препарат обеспечил и полное подавление прорастания конидий в концентрации 25 % от рабочих (табл. 4). Как и в случае с *B. sorokiniana*, в растворах препарата Скарлет наблюдались деструктивные изменения в конидиях фитопатогена.

Таблица 4

Влияние изучаемых препаратов на прорастание конидий *Fusarium* sp.

Препарат	Рабочая концентрация		25 % от рабочей концентрации	
	Прорастание, % к контролю	p^*	Прорастание, % к контролю	p
Витацит	77,2	$<0,001$	73,2	$<0,001$
Раксил Ультра	81,5	$<0,001$	77,0	$<0,001$
Ламардор ПРО	81,4	$<0,01$	81,1	$<0,001$
Скарлет	0,0	$<0,001$	0,0	$<0,001$
Виал ТрасТ	27,6	$<0,001$	71,1	$<0,001$

* p – значимость различий с контролем по точному критерию Фишера для таблиц 2х2.

Остальные препараты демонстрировали лишь частичное подавление прорастания конидий, при этом даже в рабочих растворах рекомендованной концентрации наблюдалось не только прорастание конидий, но и активный рост мицелия гриба (рис. 4). Для препаратов Витацит, Раксил Ультра и Ламардор ПРО эффект рабочей концентрации препаратов практически не отличался от эффекта препаратов в концентрации 25 % от рабочей (см. табл. 2).

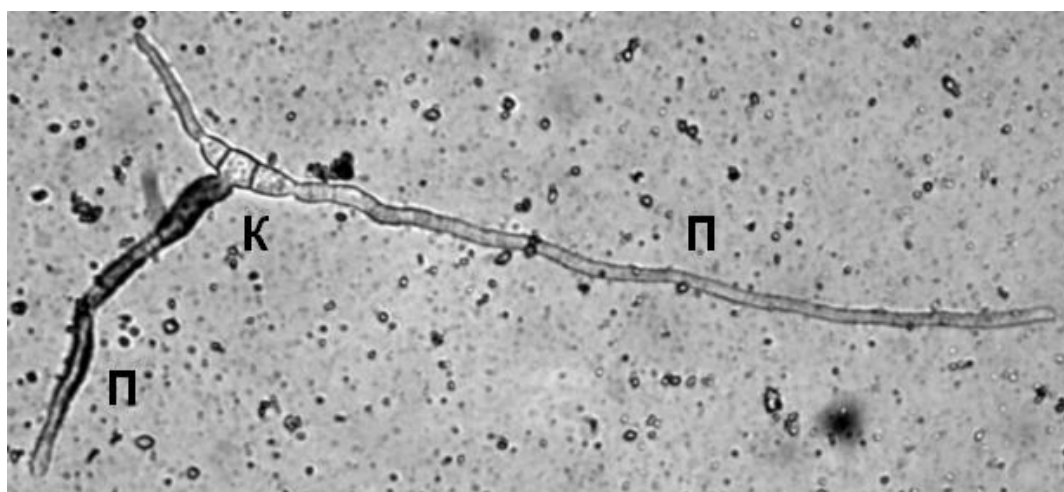


Рис. 4. Прорастание конидий *Fusarium* sp. в рабочем растворе фунгицида Ламардор ПРО: К – конидии, П – проростковые гифы

Анализ индивидуальных эффектов входящих в препараты действующих веществ средствами множественного регрессионного анализа дал результаты, сходные с вышеприведенными результатами для *B. sorokiniana* (табл. 5). Тиабендазол и имазалил оказывают на изучаемый изолят *Fusarium* sp. сильное фунгицидное действие, эффект тебуконазола варьирует от слабого подавления до слабой стимуляции в зависимости от используемой модели и от диапазона концентраций, эффект протиоконазола близок к нулевому, а флутриафол оказывает сильное стимулирующее действие на фитопатогены.

Следует заметить, что использованные для выявления индивидуальных эффектов линейные модели не учитывают возможного эффекта взаимодействия действующих веществ, а также предусматривают линейность зависимости эффекта от дозы, что является явным упрощением. Тем не менее все модели дали сходные выводы для изучаемых веществ и для обоих фитопатогенов, при этом 7 из 14 моделей оказались статистически значимыми на уровне $p < 0,10$, в том числе 4 модели значимы на уровне $p < 0,05$. Таким образом, полученные на основе моделей выводы относительно индивидуальных эффектов входящих в изучаемые препараты действующих веществ представляются вполне адекватными.

Таблица 5

Коэффициенты в уравнениях множественной регрессии, демонстрирующие эффект различных действующих веществ на *Fusarium* sp.

Статистика модели	Вариант построения модели						
	1	2	3	4	5	6	7
R	0,961	0,936	0,957	0,659	0,479	0,787	0,834
p	0,077	0,071	0,041	Нет	Нет	Нет	Нет
Вещества	Коэффициенты в уравнении						
Тебуконазол	-46,1	-27,9	-37,0	+11,5	-40,3	+61,8	+37,3
Тиабендазол	-162,9	-162,9	-162,9				-162,9
Флутриафол		+139,6					+170,9
Протиоконазол			+6,2	+0,4	+6,6		-2,7
Имазалил						-237,1	-237,1

Примечание: 1 – контроль, Раксил Ультра, Виал-ТрасТ; 2 – контроль, Витацит, Раксил Ультра, Виал-ТрасТ; 3 – контроль, Раксил Ультра, Ламардор ПРО, Виал-ТрасТ; 4 – Раксил Ультра, Ламардор ПРО; 5 – контроль, Раксил Ультра, Ламардор ПРО; 6 – контроль, Раксил Ультра, Скарлет; 7 – все варианты, включая контроль; "-" – подавление прорастания конидий, "+" – стимуляция прорастания конидий, R – коэффициент множественной корреляции, p – статистическая значимость модели.

Выводы

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Наиболее эффективными в отношении возбудителей корневой гнили зерновых pp. *Bipolaris* и *Fusarium* действующими веществами являются имазалил и тиабендазол.

2. Протиоконазол оказывает лишь слабый либо нулевой фунгицидный эффект, а эффект тебуконазола в зависимости от концентрации варьирует от слабого фунгицидного до слабого стимулирующего.

3. Флутриафол оказывает сильное стимулирующее действие на грибы pp. *Bipolaris* и *Fusarium* и должен быть исключён из рецептур препаратов, предназначенных для борьбы с корневыми гнилями и фузариозом зерновых культур.

Литература

1. Дорофеева Л.Л., Шкаликов В.А. Болезни зерновых культур. – М.: Bayer CropScience, 2008. – 96 с.

2. Поллард Д. Справочник по вычислительным методам статистики. – М.: Финансы и статистика, 1982. – 344 с.
3. Elango B., Jones J. Drivers of Insurance Demand in Emerging Markets // Journal of Service Science Research. – 2011. – № 3. – P. 185–204.
4. Uriel E. Introduction to Econometrics: 4. Hypothesis testing in the multiple regression model. – Valencia: University of Valencia, 2013. – P. 3.

Literatura

1. Dorofeeva L.L., Shkalikov V.A. Bolezni zemnykh kul'tur. – М.: Bayer CropScience, 2008. – 96 с.
2. Pollard D. Spravochnik po vychislitel'nym metodam statistiki. – М.: Finansy i statistika, 1982. – 344 с.
3. Elango B., Jones J. Drivers of Insurance Demand in Emerging Markets // Journal of Service Science Research. – 2011. – № 3. – P. 185–204.
4. Uriel E. Introduction to Econometrics: 4. Hypothesis testing in the multiple regression model. – Valencia: University of Valencia, 2013. – P. 3.



УДК 58.006:502. 753

О.О. Вронская

ИТОГИ ИНТРОДУКЦИИ ВИДОВ РОДА *LILIUM* L. ИЗ КОЛЛЕКЦИИ ЛИЛИЙ КУЗБАССКОГО БОТАНИЧЕСКОГО САДА

В озеленении на территории Кемеровской области виды лилий используются очень редко. Для выявления наиболее перспективных видов лилий, которые смогли приспособиться к местным гидротермическим условиям, в Кузбасском ботаническом саду (КузБС) с 2012 г. ведется интродукционное изучение рода *Lilium* L. Целью данной работы является подведение итогов первичной интродукции, определение теплообеспеченности основных фаз генеративного развития, выявление наиболее перспективных видов, которые могут обогатить культурную флору области. Объектами исследований явились 7 видов рода *Lilium* из коллекции лилий КузБС. Произведён расчёт диапазона температур, необходимых для наступления основных фаз генеративного развития. Наименьшее количество тепла для отрастания требуется *L. callosum*, *L. buschianum*, наибольшее – *L. pumilum*, *L. regale*. Для начала бутонизации наиболее высокие суммы температур требуются для *L. callosum*, *L. pensylvanicum*, *L. regale*, минимальные – *L. pumilum*, *L. buschianum*. В период цветения наибольшая теплообеспеченность требуется для *L. callosum*, *L. regale*, *L. willmottiae*, наименьшая – для *L. pilosiusculum*. По итогам первичной интродукции все изученные виды набрали 90–100 баллов и являются перспективными для выращивания в условиях Кемеровской области.

Ключевые слова: лилии, интродукция, фенология, сумма температур, озеленение.

О.О. Vronskaya

THE RESULTS OF INTRODUCTION OF SPECIES OF THE GENUS *LILIUM* L. FROM THE COLLECTION OF LILIAM OF THE KUZBASS BOTANICAL GARDEN

In green area on the territory of Kemerovo region types of lilies are used very rarely. To identify the most promising types of lilies that were able to adapt to local hydrothermal conditions in the Kuzbass Bo-