

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-1-707

УДК 632.4.01/08:632.952:632.95.025.8



Научная статья | Защита растений

## ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ИСХОДНОЙ И САДОВЫХ ПОПУЛЯЦИЙ VENTURIA INAEQUALIS К ФУНГИЦИДАМ КЛАССА ИНГИБИТОРОВ СУКЦИНАТДЕГИДРОГЕНАЗЫ (SDHI)

*А.И. Насонов, Г.В. Якуба, И.Л. Астанчук, Н.А. Марченко*

**Обоснование.** Среди пятнистостей яблони ведущую роль по значимости и вредоносности играет парша. Использование фунгицидов с узкоспецифичным механизмом действия против возбудителя болезни может приводить к развитию устойчивости у патогена.

**Цель.** Оценить чувствительность моноспоровых изолятов *Venturia inaequalis* из популяций, различающихся историей взаимодействия с фунгицидами к действующим веществам (д.в.) из химического класса SDHI боскалиду и флуксапироксаду в экспериментах *in vitro*.

**Материалы и методы исследования.** Чувствительность изолятов *in vitro* оценивали по росту мицелия при различных концентрациях боскалида и флуксапироксада и выражали как эффективную 50%-ю концентрацию ( $ЭК_{50}$ ).

**Результаты.** Значения  $ЭК_{50}$  боскалида для всех популяций варьировали в диапазоне значений от 0,04 до <300 мг д. в. /л, а среднее значение составило 16,27 мг д. в. /л. Фактор резистентности (ФР) для боскалида для различных садовых популяций варьировал от 2 до 8, а доля резистентных изолятов была невысока. Среднее значение  $ЭК_{50}$  флуксапироксада для популяций составило 0,259 мг д. в. /л. ФР по флуксапироксаду не превышал 4, а для двух садовых популяций составил всего 2, что показывает незначительное смещение чувствительности в этих популяциях относительно «исходной».

**Заключение.** Впервые в мире были получены значение  $ЭК_{50}$  боскалида для исходной популяции. Активность флуксапироксада против патогена оказалась выше, чем у боскалида. Для всех садовых популяций было показано снижение чувствительности к исследуемым фунгицидам в сравнении с исходной популяцией. Предполагается, что относительно невысокое сме-

чение чувствительности к карбоксиаидам для исследованных популяций обуславливается использованием в регионе этих д.в. в виде смесевых препаратов в составе с действующими веществами, имеющими другой механизм действия.

**Ключевые слова:** чувствительность; *Venturia inaequalis*; исходная популяция; ЭК<sub>50</sub>; фактор резистентности

**Для цитирования.** Насонов А.И., Якуба Г.В., Астапчук И.Л., Марченко Н.А. Чувствительность исходной и садовых популяций *Venturia inaequalis* к фунгицидам класса ингибиторов сукцинатдегидрогеназы (SDHI) // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2024. Т. 16, №1. С. 189-210. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-1-707

Original article | Plant Protection

## SENSITIVITY BASELINE AND ORCHARD POPULATIONS OF *VENTURIA INAEQUALIS* TO THE SUCCINATE DEHYDROGENASE INHIBITOR FUNGICIDES (SDHI)

*A.I. Nasonov, G.V. Yakuba, I.L. Astapchuk, N.A. Marchenko*

**Background.** Scab plays the leading role in terms of significance and harmfulness among apple-spotted spots. The use of fungicides with a highly specific mechanism of action against the pathogen can lead to the development of resistance in the pathogen.

**Purpose.** To assess the sensitivity of monospore isolates of *Venturia inaequalis* from a population with different histories of interaction with fungicides to the active substances of the SDHI chemical class boscalid and fluxapiroxad in vitro.

**Materials and methods.** The in vitro sensitivity of isolates was assessed by mycelial growth at various concentrations of boscalid and fluxapiroxad and expressed as an effective 50% concentration (EC<sub>50</sub>).

**Results.** Boscalid EC<sub>50</sub> values for all populations ranged from 0.04 to <300 mg a.i./l, and the average value was 16.27 mg a.i./l. The resistance factor (RF) for boscalid in various garden populations varied from 2 to 8, and the proportion of resistant isolates was not high. The population mean EC<sub>50</sub> of fluxapiroxade was 0.259 mg a.i./l. The RF for fluxapiroxad did not exceed 4, and for two garden populations it was only 2, which indicates a slight shift in sensitivity in these populations relative to the "initial".

**Conclusion.** For the first time in the world, the EC<sub>50</sub> value of the boscalid was obtained for the initial population. The activity of fluxapiraxad against the pathogen was higher than that of boscalid. For all orchards populations, a decrease in sensitivity to the investigated fungicides was shown in comparison with the original population. It is assumed that a relatively low shift in sensitivity to carboxamides for the studied populations is due to the use of these DIs in the region in the form of mixed preparations with fungicides that have a different mechanism of action.

**Keywords:** sensitivity; *Venturia inaequalis*; baseline population; EC<sub>50</sub>; resistance factor

**For citation.** Nasonov A.I., Yakuba G.V., Astapchuk I.L., Marchenko N.A. Sensitivity Baseline and Orchard Populations of *Venturia inaequalis* to the Succinate Dehydrogenase Inhibitor Fungicides (SDHI). *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2024, vol. 16, no. 1, pp. 189-210. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-1-707

## Введение

Среди пятнистостей яблони ведущую роль, как по значимости, так и по вредоносности играет парша. Причиной заболевания, выступает облигатный паразит *Venturia inaequalis* (Cooke) G. Winter, характеризующийся высокой генетической изменчивостью и пластичностью. Традиционное управление его численностью основано на многократном применении фунгицидов в течение вегетационного периода и обусловлено малым количеством коммерчески востребованных сортов растения-хозяина с устойчивостью к патогену [3]. Широкое использование фунгицидов с узкоспецифичным механизмом действия привело к дальнейшей селекции устойчивых к токсическому действию изолятов и, как следствие, к снижению эффективности фунгицидов, о чем свидетельствует широко распространенная устойчивость к стробилуринам [17, 23]. В России была зафиксирована долговременная устойчивость к бензимидазолам, а также существенное снижение чувствительности популяции патогена к одному из фунгицидов из химической группы ингибиторов деметилирования (DMI) – дифеноконазолу [4, 6]. Кроме этого, в РФ отмечалось снижение чувствительности садовой популяции возбудителя парши яблони к ципродинилу, фактор резистентности которой составил 7 [5]. Развитие резистентности к фунгицидам у фитопатогенов вызывает необходимость в постоянном поиске и создании новых средств и подходов защиты против них [1, 25].

Относительно недавно были зарегистрированы новые химические вещества в классе ингибиторов сукцинатдегидрогеназы (SDHI) для борьбы с болезнями яблони, и с этими продуктами появляются новые возможности для эффективного контроля парши. Хотя фунгициды этой группы впервые вышли на рынок препаратов в 1960-х годах, эти оригинальные химические вещества не нашли широкого применения в защите яблони из-за узкого диапазона действия [24]. Новое поколение фунгицидов этого класса обладает высокой эффективностью в отношении широкого спектра аскомицетов, включая *V. inaequalis*, воздействуя на комплекс II митохондрий и нарушая клеточное дыхание [22].

Фунгициды SDHI характеризуются высокой внутренней активностью и специфичностью их мишени, что предопределяет высокий риск развития устойчивости [8]. FRAC определяет этот риск на уровне среднего или высокого [16]. Популярность более новых фунгицидов SDHI будет расти в связи с уходом условно «старых» препаратов, к которым развивается устойчивость, что ограничивает возможности для их химической ротации. Сейчас на территории Российской Федерации для использования против парши яблони зарегистрирован достаточно большой перечень коммерческих препаратов, содержащих действующие вещества из химического класса SDHI: Аффет, КС и Фонтелис, КС (д.в. пентиопирад); Серкадис Плюс, КС (д. в. флуксапироксад + дифеноконазол); Миравис, СК (д.в. пидифлуметофен); Беллис, ВДГ (д. в. боскалид + пиракlostробин); и Луна Транквилити, КС (д. в. флуопирам + пириметанил) [7]. Это подчеркивает необходимость мониторинга устойчивости патогена к фунгицидам SDHI для обеспечения долговечности этого класса фунгицидов. Хотя в настоящее время нет известных популяций *V. inaequalis* с устойчивостью к фунгицидам SDHI, устойчивость к ним найдена у других видов грибов, таких, например, как *Stagonosporopsis citrulli*, *Botrytis cinerea*, *Alternaria alternata*, и др. [20, 13, 9]. Таким образом, высокий риск развития резистентности, а также факты её развития у других грибов указывают на необходимость тщательного мониторинга чувствительности *V. inaequalis* к этим фунгицидам.

### **Материалы и методы исследования**

Изучали моноспоровые изоляты *V. inaequalis*, выделенные из разных садов яблони, возделываемых по интенсивной технологии, и естественных экотопов яблони восточной Западного Предкавказья, а также действующие вещества из химической группы ингибиторов сукцинатдегидрогеназы

(SDHI, карбоксамиды): боскалид и флуксапироксад. Предметом исследования являлась чувствительность чистых культур микроорганизма к различным концентрациям д.в. фунгицидов.

Оценена чувствительность 192 изолятов, представленных 5 популяциями, различающимися видо- или сортопринадлежностью растения-хозяина, местом отбора, размером выборки, историей обработок фунгицидами и другими показателями (табл. 1).

Таблица 1.

**Описание использованных в работе популяций *Venturia inaequalis***

№	Название популяции	Кол-во изолятов	Возраст сада, лет	Место отбора	Вид или сорт яблони
1	Исходная	47	-	ст. Калужская	<i>Malus orientalis</i>
2	Гагр19к	50	8	п. Агроном	Гала
3	РСнм22	24	8	ст. Новомышастовская	Ренет Симиренко
4	ДЖагр20	44	3	п. Агроном	Жеромин
5	РСопх	27	10	г. Краснодар	Ренет Симиренко

Отбор поражённого патогеном материала проводили с апреля по сентябрь, при этом отбирали листовой опад с первичной инфекцией или вегетирующие листья с пятнами спороношения вторичной инфекции. Популяция изолятов «Исходная» отличалась от остальных тем, что она никогда не контактировала с фунгицидами и была выделена на лесных опушках с произрастаниями *Malus orientalis* Uglitzk. Другие популяции выделены из различных садов яблони домашней, в которых применялись фунгициды, содержавшие в качестве одного из действующих веществ SDHI-фунгицид. Популяции «РСнм22» и «РСопх» отобрали с сорта Ренет Симиренко, а популяции «Гагр19к» и «ДЖагр20» – с сортов Гала и Жеромин, соответственно. При этом две последние популяции были из п. Агроном, тогда как «РСнм22» – ст. Новомышастовская, а «РСопх» – г. Краснодара. Наибольшими по объёму были популяции «Исходная», «Гагр19к» и «ДЖагр20», примерно в два раза меньше – популяции «РСнм22» и «РСопх».

Патоген получали двумя способами: из псевдотециев на листовом опаде или из поражений на вегетирующих листьях яблони. В первом случае использовали методику Насонова [2]. Метод предполагал предварительную дезинфекцию опада с дальнейшим помещением его в крышку перевернутой вверх дном чашки Петри, содержащей водный агар, и инку-

бированием ночью при 18-20°C. Единичные проросшие споры находили под микроскопом при 40х увеличении и переносили на картофельно-глюкозный агар (КГА), включавший в себя также антибиотики тетрациклина гидрохлорид и хлорамфеникол в конечной концентрации 50 мг/л. Состав КГА: картофельный отвар, 20 г глюкозы и 20 г микробиологического агара на литр дистиллированной воды. Питательную среду стерилизовали при 121°C 20 мин. Антибиотики добавляли после стерилизации и остывании среды до температуры около 55°C.

Изоляты патогена из вегетирующих листьев получали по общепринятой методике [18].

Посевы инкубировали в термостате при 20°C не менее 30-ти суток для получения изолятов размером от 10 до 30 мм.

Оценку чувствительности проводили в полимерных чашках Петри диаметром 90 мм на КГА с добавлением фунгицида и без него.

В качестве действующих веществ фунгицидов использовали однокомпонентные коммерческие препараты Серкадис, КС, содержащий 300 мг/л флуксапироксада и Кантус, ВДГ – 500 г/кг боскалида (производитель ООО «БАСФ», Германия). Для анализа чувствительности патогена к флуксапироксаду готовили среды с 6-ю вариантами его концентрации: 0,001; 0,01; 0,05; 0,1; 0,5 и 1,0 мг д. в./л. Для анализа чувствительности к боскалиду для исходной популяции использовали среды с концентрациями: 0,005; 0,01; 0,1; 0,5; 1,0 и 5,0 мг д. в./л., а для садовой популяции – 0,01; 0,1; 1,0; 5,0; 10,0 и 50,0 мг д. в./л. Для боскалида была оценена чувствительность 5-ти популяций, для флуксапироксада – 4-х. В контрольные чашки Петри фунгициды не вносили.

Фунгициды добавляли в стерилизованную при 121°C 20 мин среду и остывшую до температуры около 55°C, предварительно приготовив водные стоковые растворы. Различные варианты сред засеивали кусочком агара с мицелием изолята диаметром около 5-ти мм, полученным пробковым буром из краевой зоны чистой культуры патогена. Каждый вариант посева повторяли дважды. Инокулированные чашки помещали в термостат ТС-200 СПУ при 20°C и инкубировали в течении месяца. В дальнейшем измеряли диаметр изолята штангенциркулем с точностью до 1 мм. Полученные данные выражали в значения относительного роста мицелия как отношение опытного варианта к контрольному варианту, помноженное на 100 % [18].

Концентрацию действующего вещества, которая вызывала 50 %-е снижение роста мицелия в опытном варианте относительно контрольного – ЭК<sub>50</sub>, определяли с применением пробит анализа [15]. Степень развития устойчивости популяции к фунгициду выражали в виде фактора рези-

стентности (ФР, resistance factor), представлявшего собой разность между  $ЭК_{50}$  «фунгицидной» популяции и  $ЭК_{50}$  «исходной» популяции.

*Статистическая обработка данных.* Для оценки различий между изученными популяциями на основе средних значений  $ЭК_{50}$  использовали критерий Манна–Уитни. Корреляционные связи между различными препаратами оценивали с использованием линейного регрессионного анализа. Расчёты производили с использованием статистических онлайн-калькуляторов Statistics Kingdom [19]. Гистограммы распределения создавали с использованием статистических инструментов Excel Microsoft.

### Результаты и обсуждение

Проанализированные субпопуляции характеризовались различной чувствительностью в отношении разных фунгицидов.

*Боскалид.* Значения  $ЭК_{50}$  для всех 5-ти популяций варьировали в широком диапазоне значений – от 0,04 до значений, превышающих 300 мг д. в. /л, а среднее значение составило 16,27 мг д. в. /л. Частотное распределение этих значений достоверно отличалось ( $p < 0,001$ ) от нормального и имело вид логонормальной кривой с максимумом в левой части распределения (рисунок 1).

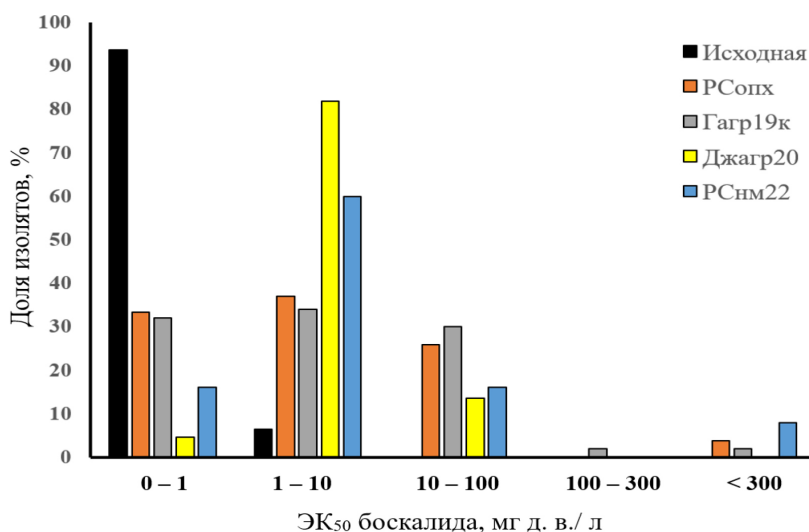


Рис. 1. Встречаемость различных значений  $ЭК_{50}$  боскалида в популяциях *Venturia inaequalis*

Большинство изолятов «исходной» популяции имели значения  $ЭК_{50}$  в диапазоне 0-1 мг д.в. /л, тогда как для садовых популяций этот диапазон соответствовал значениям 1-10 мг д. в./л. Наибольшие значения, превышающие 300 мг д.в. /л, были характерны только для садовых популяций (рисунок 1).

Варьировали также и средние значения  $ЭК_{50}$  для различных популяций (таблица 2). Для «Исходной» популяции оно было наименьшим, а для «РСопх» наибольшим, составив 3,70 и 33,35 мг д.в. /л соответственно, что указывает на высокую чувствительность первой. Среди садовых популяций самой чувствительной была популяция «ДЖагр20», с  $ЭК_{50}$  – 7,38 мг д. в. /л. По средним значениям  $ЭК_{50}$  на основе критерия Манна – Уитни достоверно различались между собой популяция «Исходная» и 3 садовых популяций: «Гагр19к», «ДЖагр20» и «РСопх», но не популяция «РСнм22». При этом «РСнм22» имела достаточно высокое среднее значение  $ЭК_{50}$  близкое к таковому у популяции «РСопх» и соответствующее значение фактора резистентности (ФР), равное 8.

Однако, если проанализировать частотное распределение значений  $ЭК_{50}$  у изолятов (рисунок 1), то можно заметить, что высокое среднее значение  $ЭК_{50}$  этой популяции обусловлено несколькими максимальными значениями  $ЭК_{50}$ , в то время как основная часть изолятов была представлена в диапазоне со значениями 1-10 мг д. в. /л.

В целом, подавляющее число изолятов садовых популяций имели значения  $ЭК_{50}$  от 0,5 до 50 мг д. в. /л, а выше последней концентрации встречались единичные «резистентные» изоляты со значениями, достигавшими от 80 до 600 мг д. в. /л и выше. Таких изолятов было 3 в популяции «Гагр19к», по 2 – в популяциях «РСнм22» и «РСопх» и 1 – в «ДЖагр20» (таблица 2). Таким образом, доля таких «резистентных» изолятов была невелика.

Полученные нами данные частично совпадают с литературными. Необходимо сказать, что исследований по оценке чувствительности *V. inaequalis* к боскалиду проведено очень мало. При этом в них отсутствовала исходная популяция, как таковая, потому что исследования проводились только на популяциях, испытавших воздействие фунгицидов. Поэтому средние значения  $ЭК_{50}$  боскалида для возбудителя парши яблони получены нами впервые в мире.

В работе итальянских исследователей в качестве исходных использовали только три изолята, отобранные в садах, в которых не проводились обработки фунгицидами [21]. Однако конкретные значения  $ЭК_{50}$  для исходных изолятов они не сообщают, более того, выборка из 3-х изолятов



является недостаточной для получения достоверного с популяционной точки зрения результата.

Таблица 2.

**Значения ЭК<sub>50</sub> и фактора резистентности (ФР) боскалида для различных популяций *Venturia inaequalis*, мг д. в./л**

Название популяции	Среднее	Min	Max	Размах	ФР*	ЭК <sub>50</sub> >50 мг/л, шт.***
Исходная	3,70a**	0,04	35,86	797	-	-
Гагр19к	19,91б	0,07	361,40	5129	5	3
РСНМ22	29,05аб	0,76	551,00	729	8	2
ДЖагр20	7,38б	0,56	80,58	144	2	1
РСопх	33,35б	0,15	671,00	4336	9	2

\*ФР – фактор резистентности; \*\*различные буквы показывают наличие значимых различий между популяциями по значениям ЭК<sub>50</sub>; \*\*\* – количество изолятов со значениями ЭК<sub>50</sub>, превышающими 50 мг д. в. /л

Большинство штаммов ими были условно определены как чувствительные к боскалиду со значениями ЭК<sub>50</sub> 0,85 ± 0,3 мг д. в. /л и ФР < 10. Четыре штамма были охарактеризованы как устойчивые штаммы, один из которых имел ФР 12, тогда как другие имели ФР > 90, со значениями ЭК<sub>50</sub>, близкими или превышающими полевые нормы для боскалида (138,6 мг/л). В нашем исследовании исходная популяция была отобрана на лесных опушках естественных экотопов дикой яблони восточной и составила 47 изолятов, что достаточно для корректного определения среднего значения «исходного» ЭК<sub>50</sub>. Если оперировать средними значениями ЭК<sub>50</sub> для оценённых популяций, то в нашем исследовании значения ФР не превышали 9 для самой устойчивой популяции. Однако если брать в расчёт отдельные изоляты из садовых популяций, то было 8 изолятов со значениями ФР выше 80 (таблица 2). Таким образом, доля «резистентных» изолятов в нашем исследовании была такой же небольшой, как и в работе итальянских коллег.

Наши данные отчасти согласуются и с исследованиями чувствительности греческой садовой популяции *V. inaequalis* к боскалиду [12]. В их исследовании также не была отобрана исходная популяция. Вся выборка изученных популяций, отобранных в 12 коммерческих садах, была в результате исследований разделена по значениям ЭК<sub>50</sub> условно на две группы: чувствительные и умеренно резистентные. Средние значения ЭК<sub>50</sub> для чувствительной группы составили 1,98 мг д. в. /л, что немного ниже полу-

ченных нами средних значений  $ЭК_{50}$  для исходной популяции (таблица 2). В группе умеренно резистентных изолятов средние значения показателя составили 23,86 мг д. в. /л, что также соответствует среднему значению показателя для всех 4-х изученных нами садовых популяций и составляющему 22,42 мг д. в. /л. Однако, если брать диапазоны значений  $ЭК_{50}$ , которые для греческой популяции составляли от 12,94 до 37,21 мг д. в. /л, то диапазоны для садовых популяций в наших исследованиях были значительно шире: от 0,07 до 671,00 мг д. в. /л.

Общим, как нам кажется, в исследованиях европейских популяций патогена и нашем исследовании, является выявление сравнительно небольшого количества резистентных к боскалиду изолятов в садовых популяциях. Так, в садах Севера Италии было найдено всего 4 таких изолята, в Греции – всего 5 из 100 изолятов были охарактеризованы как умеренно устойчивые, в нашей популяции 8 изолятов из 190 имели значения  $ЭК_{50}$  выше 50,00 мг д. в. /л. В целом, можно сказать, что чувствительность популяции *V. inaequalis* сохраняется примерно на одном уровне, и значительного накопления резистентных изолятов не происходит. Это может быть объяснено использованием боскалида в основном в виде двухкомпонентного препарата Беллис, ВДГ, который содержит 252 г/кг этого д. в., относящегося к SDHI, и 128 г/кг пираклостробина. Именно такой состав препарата, включающий компоненты с различными механизмами действия, препятствует направленному отбору устойчивых изолятов к действующим веществам и является одной из антирезистентных стратегий. Исходя из разрешённой для применения против парши яблони нормы расхода препарата в России [7] – 0,8 кг/1000 л, концентрация боскалида составляет 201,6 мг д. в. /л, что в десять раз превышает полученные нами средние значения  $ЭК_{50}$  для садовой популяции патогена Краснодарского края.

*Флуксапироксад.* Изучение чувствительности изолятов *V. inaequalis* к флуксапироксаду, показал его большую активность в отношении патогена в сравнении с боскалидом в среднем почти в 10 раз. В сравнении с боскалидом, у флуксапироксада был меньше разброс значений – от 0,01 до 1,4 мг д. в. /л и выше, а также более равномерное распределение изолятов в различных диапазонах значений (рисунок 2).

Среднее значение  $ЭК_{50}$  флуксапироксада для всех проанализированных популяций составило 0,259 мг д. в. /л. Ожидаемо самым низким значением среди популяций было значение у «Исходной» – 0,144 мг д. в. /л (таблица 3). Это значение было немного ниже, чем полученное американскими учёными для исходной популяции и показавшее 0,228 мг д. в. /л [10], од-

нако оно было в 8 раз выше, чем  $ЭК_{50}$  итальянской исходной популяции – 0,018 мг д. в. /л [14].

Значимых различий между средними значениями  $ЭК_{50}$  «Исходной» популяции и садовых популяций не было найдено, за исключением популяции «РСнм22». Средние значения садовых популяций были достаточно близки и для популяций «Гагр19к» и «ДЖагр20», они составили 0,266 и 0,255 мг д.в. /л соответственно, а для «РСнм22» – 0,513 мг д. в. /л, которое было наибольшим (таблица 3). При этом ФР не превышал 4, а для двух садовых популяций составил всего 2, что показывает незначительное смещение чувствительности в этих популяциях относительно «Исходной».

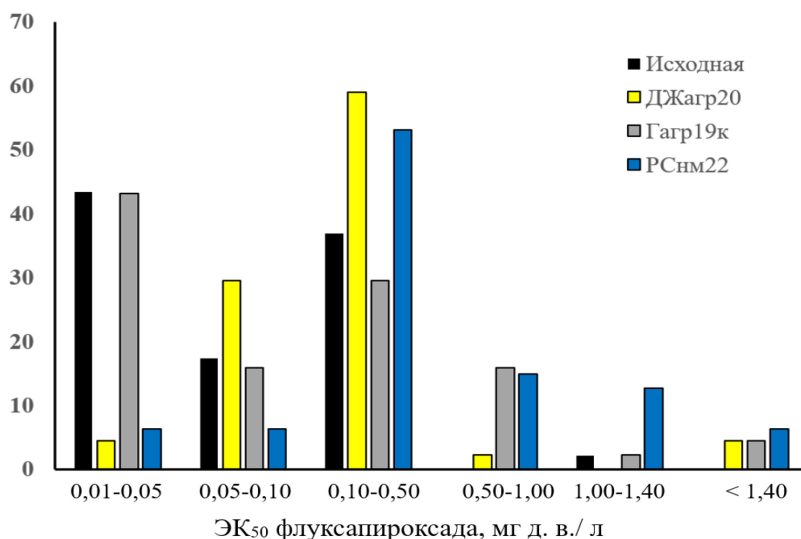


Рис. 2. Встречаемость различных значений  $ЭК_{50}$  флуксапироксада в популяциях *Venturia inaequalis*

В мировой научной литературе имеется только одно исследование чувствительности садовых популяций *V. inaequalis* к флуксапироксаду [14]. В этой работе были показаны более низкие средние значения  $ЭК_{50}$ , в сравнении с нашими данными. Исследователями также было показано наличие различий в чувствительности патогена к этому фунгициду по годам; со временем происходило возрастание значения  $ЭК_{50}$ . Так, в течение трех лет исследований – 2014, 2015 и 2016 – значения  $ЭК_{50}$  составляли 0,118, 0,120 и 0,160 мг д. в. /л соответственно. Также происходил рост ФР: с 6,5 в 2014

году до 8,8 в 2016 году. Значения ФР в нашем исследовании были в 1,5-2 раза меньше, что обусловлено более высоким уровнем ЭК<sub>50</sub> для исходной популяции патогена в регионе.

Таблица 3.

**Значения ЭК<sub>50</sub> и фактора резистентности (ФР) флуксапироксада для различных популяций *Venturia inaequalis*, мг д. в./л**

Популяции	Среднее	Min	Max	Размах	ФР
Исходная	0,144а	0,010	1,433	137	-
Гагр19к	0,266аб	0,016	1,599	101	2
РСнм22	0,513б	0,020	1,715	86	4
ДЖагр20	0,255аб	0,03	3,711	124	2

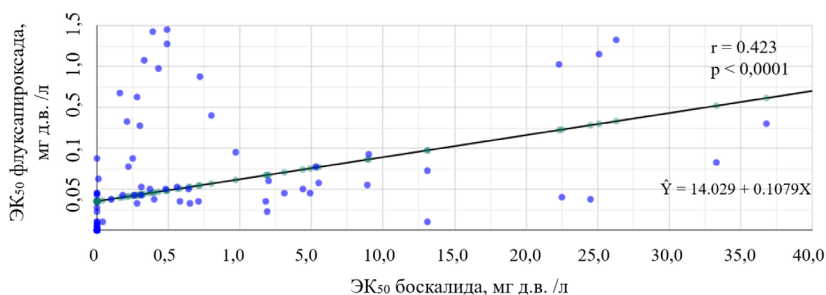
\*ФР – фактор резистентности; \*\*различные буквы показывают наличие значимых различий между популяциями по значениям ЭК<sub>50</sub>

Полученные данные показывают незначительное смещение чувствительности у патогена к флуксапироксаду, что непонятно, так как, учитывая высокую активность действующего вещества и узкоспецифический механизм действия, можно было предположить развитие резистентности, как это было показано в научной литературе для стробилуринов. На этот факт указывают также исследователи из Италии [14]. Ими было отмечено, что, несмотря на обнадёживающие результаты в лабораторных условиях в экспериментах *in vivo*, активность SDHI в полевых популяциях с проблемами в контроле парши была очень низкой и заметно уступала исходным популяциям. Однако такая ситуация выявлялась коллегами только при лечебном применении (52-54 часа), тогда как при профилактическом (70 - 72 часа) редукция была очень незначительной или отсутствовала.

Относительное небольшое смещение чувствительности к флуксапироксаду, показанное нами в экспериментах *in vitro* для местной садовой популяции, может быть обусловлено, также как и для боскалида, разрешением на использование против парши яблони в России только смешанного препарата Серкадис Плюс, КС, содержащего кроме 75 г/л флуксапироксада ещё и 50 г/л дифеноконазола. Таким образом, наличие действующих веществ из разных химических классов с отличающимся механизмом действия – SDHI и триазолов – обеспечивает антирезистентный эффект препарата. Ауер с соавторами показали в течении нескольких лет эксперимента, что популяция, против которой применяли флуксапироксад в смеси с пираклостробиноном, была более чувствительной, по сравнению с популяцией, которая контролировалась только флуксапироксадом [11].

*Перекрестная резистентность.* Флуксапироксад относится к химической группе пиразол-4-карбоксимида, а боскалид – к группе пиридин-карбоксамидов [16]. Несмотря на множество химических групп, представленных в классе фунгицидов SDHI, все они имеют один и тот же целевой сайт воздействия, что может быть причиной перекрестной устойчивости. В настоящее время устойчивость к фунгицидам SDHI еще не зарегистрирована у *V. inaequalis*, и, следовательно, перекрестная устойчивость остается неизвестной. Однако из-за разной чувствительности к различному химическому составу фунгицидов SDHI мы определили перекрестную чувствительность для исходных изолятов для этих двух действующих веществ.

Наблюдалась значимая ( $P < 0,0001$ ) средняя положительная корреляция, составившая  $r = 0,423$ , между боскалидом и флуксапироксадом (рисунок 3).



**Рис. 3.** Линейная корреляция между значениями ЭК<sub>50</sub> изолятов исходной популяции патогена к флуксапироксаду и боскалиду

Возникновение перекрестной чувствительности неудивительно из-за сходного механизма действия всех SDHI.

На американской популяции патогена была показана разной степени силы положительная корреляция между различными фунгицидами из класса SDHI: бензовиндифлупира, пентиопирада, флуксапироксада и инпирфлуксама [10].

### Заключение

На выборке из 192 моноспоровых изолята из различных популяций *Venturia inaequalis* была определена чувствительность к двум действующим веществам фунгицидов из химического класса SDHI – боскалиду и флуксапироксаду. Впервые в мире были получены значение ЭК<sub>50</sub> боскалида для исходной популяции патогена, которое составило 3,70 мг д. в. /л. Активность

флуксапироксада против патогена оказалась выше, чем у боскалида. В целом, для всех садовых популяций, которые испытывали воздействие SDHI фунгицидов, было показано снижение чувствительности к исследуемым фунгицидам в сравнении с исходной популяцией. Для боскалида это снижение было несколько выше, чем для флуксапироксада, но значения фактора резистентности (ФР) не превышали 9. Предполагается, что относительно невысокое смещение чувствительности к карбоксамидам для большей части исследованных садовых популяций обусловливается использованием в регионе этих д.в. в виде смесевых препаратов в составе с действующими веществами, имеющими другой механизм действия.

**Информация о конфликте интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Информация о спонсорстве.** Исследование выполнено при финансовой поддержке Кубанского научного фонда в рамках научного проекта № МФИ-20.1/109.

#### *Список литературы*

1. Иванова Е.В., Никишина М.Б., Третьякова А.В., Мухторов Л.Г., Переломов Л.В., Атрощенко Ю.М. Изучение фунгицидной активности новых производных 7-R-1,5-динитро-3,7-диазабицикло [3.3.1] нонан-2-она // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2021. Т. 13. № 5. С. 307-320. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-5-307-320>
2. Насонов А.И. Новый способ получения культуры *Venturia inaequalis* из аскоспор // Микология и фитопатология. 2019. Т. 53(1). С. 46-48. <https://doi.org/10.1134/S0026364819010094>
3. Насонов А.И., Супрун И.И. Парша яблони: особенности возбудителя и патогенеза // Микология и фитопатология. 2015. Т. 49. № 5. С. 275-285.
4. Насонов А.И., Якуба Г.В., Астапчук И.Л. Чувствительность краснодарской популяции *Venturia inaequalis* к дифеноконазолу, ингибитору деметилирования стерина // Микология и фитопатология. 2021. Т. 55. № 4. С. 297-308. <https://doi.org/10.31857/S0026364821040103>
5. Насонов А.И., Якуба Г.В., Астапчук И.Л., Степанов И.В. Чувствительность к ципродинилу популяций возбудителя парши яблони из краснодарских садов *in vitro* // Плодоводство и виноградарство Юга России. 2023. № 79 (1). С. 186-202. <https://doi.org/10.30679/2219-5335-2023-1-79-186-202>
6. Насонов А.И., Якуба Г.В., Лободина Е.В. Длительное сохранение резистентности к карбендазиму у *Venturia inaequalis* в Краснодарском крае

- (Россия) // Микология и фитопатология. 2022. Т. 56. № 5. С. 374-378. <https://doi.org/10.31857/S0026364822050087>
7. Справочник пестицидов и агрохимикатов, разрешённых к применению на территории Российской Федерации. Вып. 8. Ч.1 Пестициды. М.: ИП Луцаева Н.Я. Полиграфические услуги». 2023. 846 с. Информация приведена по состоянию на 3 октября 2022 г. <https://direct.farm/post/spravochnik-pestitsidov-i-agrokhimikatov-2023-g-12940>
  8. Avenot H. F., Michailides T. J. Progress in understanding molecular mechanisms and evolution of resistance to succinate dehydrogenase inhibiting (SDHI) fungicides in phytopathogenic fungi // Crop Prot. 2010. Vol. 29. P. 643-651. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2010.02.019>
  9. Avenot H., Sellam A., Michailides T. 2009. Characterization of mutations in the membrane-anchored subunits AaSDHC and AaSDHD of succinate dehydrogenase from *Alternaria alternata* isolates conferring field resistance to the fungicide boscalid // Plant Pathol. 2009. Vol. 58. P. 1134-1143. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2009.02154.x>
  10. Ayer K., Villani S. M., Choi M. W., Cox K. Characterization of the VisdhC and VisdhD genes in *Venturia inaequalis* and sensitivity to fluxapyroxad, pydiflumetofen, inpyrflumoxam and benzovindiflupyr // Plant Dis. 2019. Vol. 103. P. 1092-1100. <https://doi.org/10.1094/PDIS-07-18-1225-RE>
  11. Ayer K. M., Choi M. W., Smart S. T., Moffett A. E., Cox K. D. The Effects of Succinate Dehydrogenase Inhibitor Fungicide Dose and Mixture on Development of Resistance in *Venturia inaequalis* // Applied and Environmental Microbiology. 2020. Vol. 86(17). P. e01196-20. <https://aem.asm.org/content/aem/86/17/e01196-20.full.pdf>
  12. Chatzidimopoulos M., Zambounis A., Lioliopoulou F., Vellios E. Detection of *Venturia inaequalis* Isolates with Multiple Resistance in Greece // Microorganisms. 2022. Vol. 10. №. 12. P. 2354. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10122354>
  13. Fernández-Ortuño D., Pérez-García A., Chamorro M., de la Peña E., de Vicente A., Torés J. A. Resistance to the SDHI Fungicides Boscalid, Fluopyram, Fluxapyroxad and Penthiopyrad in Botrytis cinerea from Commercial Strawberry Fields in Spain // Plant Dis. 2017. Vol. 101. P. 1306-1313. <https://doi.org/10.1094/PDIS-01-17-0067-RE>
  14. Fiaccadori R., Battistini G. Biological Methodologies on SDHI Fungicides to Assess Reductions of Sensitivity and Activity on *Venturia inaequalis* and Cross-Resistance Tests // American Journal of Plant Sciences. 2021. Vol. 12. №. 7. С. 1124-1134. <https://doi.org/10.4236/ajps.2021.127078>

15. Finney D.J. Probit analysis. Cambridge: UK, 1971. 383 p.
16. FRAC. 2022. FRAC Code List 2022: Fungal control agents sorted by cross-resistance pattern and mode of action (including coding for FRAC Groups on product labels). Accessed March 2022. [https://www.frac.info/docs/default-source/publications/frac-code-list/frac-code-list-2022--final.pdf?sfvrsn=b6024e9a\\_2](https://www.frac.info/docs/default-source/publications/frac-code-list/frac-code-list-2022--final.pdf?sfvrsn=b6024e9a_2)
17. Frederick Z. A., Villani S. M., Cooley D. R., Biggs A. R., Raes J. J., Cox K. D. Prevalence and stability of qualitative QoI resistance in populations of *Venturia inaequalis* in the Northeastern United States // Plant Dis. 2014. Vol. 98. P. 1122-1130. <https://doi.org/10.1094/PDIS-10-13-1042-RE>
18. Köller W., Wilcox W. F., Barnard J., Jones A. L., Braun P. G. Detection and Quantification of Resistance of *Venturia inaequalis* Populations to Sterol Demethylation Inhibitors // Phytopathology. 1997. Vol. 87. P. 184-190. <https://doi.org/10.1094/PHYTO.1997.87.2.184>
19. Statistics Kingdom - statistics online calculators. <https://www.statskingdom.com/index.html>
20. Thomas A., Langston D. B., Stevenson K. L. Baseline sensitivity and cross-resistance to succinate-dehydrogenase-inhibiting and demethylation-inhibiting fungicides in *Didymella bryoniae* // Plant Dis. 2012. Vol. 96. P. 979-984. <https://doi.org/10.1094/PDIS-09-11-0744-RE>
21. Toffolatti S. L., Venturini G., Bianco P. A. First report of SDHI resistant strains of *Venturia inaequalis* from commercial orchards in Northern Italy // Plant Disease. 2016. Vol. 100. №. 11. P. 2324. <https://doi.org/10.1094/PDIS-03-16-0361-PDN>
22. Villani S. M., Ayer K., Cox K. D. Molecular characterization of the *sdhB* gene and baseline sensitivity to penthiopyrad, fluopyram, and benzovindiflupyr in *Venturia inaequalis* // Plant Disease. 2016. Vol. 100(8). P. 1709-1716. <https://doi.org/10.1094/PDIS-12-15-1512-RE>
23. Villani S. M., Cox K. D. Heteroplasmy of the cytochrome b gene in *Venturia inaequalis* and its involvement in quantitative and practical resistance to Trifloxystrobin // Phytopathology. 2014. Vol. 104. P. 945-953. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-06-13-0158-R>
24. Xiong L., Shen Y.-Q., Jiang L.-N., Zhu X.-L., Yang W.-C., Huang W., Yang G.-F. Succinate Dehydrogenase: An ideal target for fungicide discovery // Discovery and Synthesis of Crop Protection Products. American Chemical Society. 2015. P. 175-194
25. Yakuba G.V., Astapchuk I.L., Mazyrin E.S., Nasonov A.I., Milovanov A.V. The first report on the mycoparasite *Trichothecium roseum* (Pers. 1809) on *Venturia inaequalis* (Cooke) G. Winter in Russia // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2022. Vol. 14. № 3. P. 11-23. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-3-11-23>



### References

1. Ivanova E.V., Nikishina M.B., Mukhtorov L.G., Perelomov L.V., Atrosh-chenko Yu.M. Izuchenie fungicidnoj aktivnosti novyh proizvodnyh 7-R-1,5-dinitro-3,7-diazabiciklo [3.3.1] nonan-2-ona [Investigation of the fungicidal activity of new derivatives of 7-R-1,5-dinitro-3,7-diazabicyclo[3.3.1]nonan-2-one]. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2021, vol. 13, no. 5, pp. 307-320. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-5-307-320>
2. Nasonov A.I. Novyj sposob poluchenija kul'tury *Venturia inaequalis* iz askospor [Obtaining of *Venturia inaequalis* ascospore culture under laboratory conditions]. *Mikologija i fitopatologija*, 2019, vol. 53(1), pp. 46-48. <https://doi.org/10.1134/S0026364819010094>
3. Nasonov A.I., Suprun I.I. Parsha jabloni: osobennosti vozбудitelja i patogeneza [Apple scab: peculiarities of the causal agent and the pathogenesis]. *Mikologija i fitopatologija*, 2015, vol. 49(5), pp. 275-285.
4. Nasonov A.I., Jakuba G.V., Astapchuk I.L. Chuvstvitel'nost' krasnodarskoj populjacii *Venturia inaequalis* k difenokonazolu, inhibitoru demetilirovani-ja sterinov [Sensitivity of the krasnodar population of *Venturia inaequalis* to difenoconazole, an inhibitor of sterol demethylation]. *Mikologija i fitopatologija*, 2021, vol. 55(4), pp. 297-308. <https://doi.org/10.31857/S0026364821040103>
5. Nasonov A.I., Jakuba G.V., Astapchuk I.L., Stepanov I.V. Chuvstvitel'nost' k ciprodinilu populjacij vozбудitelja parshi jabloni iz krasnodarskih sadov in vitro [Cyprodinil sensitivity of apple scab populations from Krasnodar orchards in vitro]. *Plodovodstvo i vinogradarstvo Juga Rossii*, 2023, vol. 79 (1), pp. 186-202. <https://doi.org/10.30679/2219-5335-2023-1-79-186-202>
6. Nasonov A.I., Jakuba G.V., Lobodina E.V. Dlitel'noe sohranenie rezistentnosti k karbendazimu u *Venturia inaequalis* v Krasnodarskom krae (Rossija) [The long-term resistance to carbendazim in *Venturia inaequalis* in the Krasnodar region (Russia)]. *Mikologija i fitopatologija*, 2022, vol. 56(5), pp. 374-378. <https://doi.org/10.31857/S0026364822050087>
7. Spravochnik pesticidov i agrohimitatov, razreshjonnyh k primeneniju na territorii Rossijskoj Federacii [State Catalogue of pesticides and agrochemicals, permitted for use on the territory of the Russian Federation]. <https://direct.farm/post/spravochnik-pestitsidov-i-agrokhimikatov-2023-g-12940>
8. Avenot H. F., Michailides T. J. Progress in understanding molecular mechanisms and evolution of resistance to succinate dehydrogenase inhibiting (SDHI) fungicides in phytopathogenic fungi. *Crop Prot.*, 2010, vol. 29, pp. 643-651. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2010.02.019>

9. Avenot H., Sellam A., Michailides T. 2009. Characterization of mutations in the membrane-anchored subunits AaSDHC and AaSDHD of succinate dehydrogenase from *Alternaria alternata* isolates conferring field resistance to the fungicide boscalid. *Plant Pathol.*, 2009, vol. 58, pp. 1134-1143. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2009.02154.x>
10. Ayer K., Villani S. M., Choi M. W., Cox K. Characterization of the VisdhC and VisdhD genes in *Venturia inaequalis* and sensitivity to fluxapyroxad, pydiflumetofen, inpyrfluxam and benzovindiflupyr. *Plant Dis.*, 2019, vol. 103, pp. 1092-1100. <https://doi.org/10.1094/PDIS-07-18-1225-RE>
11. Ayer K. M., Choi M. W., Smart S. T., Moffett A. E., Cox K. D. The Effects of Succinate Dehydrogenase Inhibitor Fungicide Dose and Mixture on Development of Resistance in *Venturia inaequalis*. *Applied and Environmental Microbiology*, 2020, vol. 86(17), p. e01196-20. <https://aem.asm.org/content/aem/86/17/e01196-20.full.pdf>
12. Chatzidimopoulos M., Zambounis A., Lioliopoulou F., Vellios E. Detection of *Venturia inaequalis* Isolates with Multiple Resistance in Greece. *Microorganisms*, 2022, vol. 10, no. 12, 2354. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10122354>
13. Fernández-Ortuño D., Pérez-García A., Chamorro M., de la Peña E., de Vicente A., Torés J. A. Resistance to the SDHI Fungicides Boscalid, Fluopyram, Fluxapyroxad and Penthiopyrad in *Botrytis cinerea* from Commercial Strawberry Fields in Spain. *Plant Dis.*, 2017, vol. 101, pp. 1306-1313. <https://doi.org/10.1094/PDIS-01-17-0067-RE>
14. Fiaccadori R., Battistini G. Biological Methodologies on SDHI Fungicides to Assess Reductions of Sensitivity and Activity on *Venturia inaequalis* and Cross-Resistance Tests. *American Journal of Plant Sciences*, 2021, vol. 12, no. 7, pp. 1124-1134. <https://doi.org/10.4236/ajps.2021.127078>
15. Finney D.J. Probit analysis. Cambridge: UK, 1971, 383 p.
16. FRAC. 2022. FRAC Code List 2022: Fungal control agents sorted by cross-resistance pattern and mode of action (including coding for FRAC Groups on product labels). Accessed March 2022. [https://www.frac.info/docs/default-source/publications/frac-code-list/frac-code-list-2022--final.pdf?sfvrsn=b6024e9a\\_2](https://www.frac.info/docs/default-source/publications/frac-code-list/frac-code-list-2022--final.pdf?sfvrsn=b6024e9a_2)
17. Frederick Z. A., Villani S. M., Cooley D. R., Biggs A. R., Raes J. J., Cox K. D. Prevalence and stability of qualitative QoI resistance in populations of *Venturia inaequalis* in the Northeastern United States. *Plant Dis.*, 2014, vol. 98, pp. 1122-1130. <https://doi.org/10.1094/PDIS-10-13-1042-RE>
18. Köller W., Wilcox W. F., Barnard J., Jones A. L., Braun P. G. Detection and Quantification of Resistance of *Venturia inaequalis* Populations to Sterol De-

- methylation Inhibitors. *Phytopathology*, 1997, vol. 87, pp. 184-190. <https://doi.org/10.1094/PHYTO.1997.87.2.184>
19. Statistics Kingdom - statistics online calculators. <https://www.statskingdom.com/index.html>
  20. Thomas A., Langston D. B., Stevenson K. L. Baseline sensitivity and cross-resistance to succinate-dehydrogenase-inhibiting and demethylation-inhibiting fungicides in *Didymella bryoniae*. *Plant Dis.*, 2012, vol. 96, pp. 979-984. <https://doi.org/10.1094/PDIS-09-11-0744-RE>
  21. Toffolatti S. L., Venturini G., Bianco P. A. First report of SDHI resistant strains of *Venturia inaequalis* from commercial orchards in Northern Italy. *Plant Disease*, 2016, vol. 100, no. 11, 2324. <https://doi.org/10.1094/PDIS-03-16-0361-PDN>
  22. Villani S. M., Ayer K., Cox K. D. Molecular characterization of the *sdhB* gene and baseline sensitivity to penthiopyrad, fluopyram, and benzovindiflupyr in *Venturia inaequalis*. *Plant Disease*, 2016, vol. 100(8), pp. 1709-1716. <https://doi.org/10.1094/PDIS-12-15-1512-RE>
  23. Villani S. M., Cox K. D. Heteroplasmy of the cytochrome b gene in *Venturia inaequalis* and its involvement in quantitative and practical resistance to Trifloxystrobin. *Phytopathology*, 2014, vol. 104, pp. 945-953. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-06-13-0158-R>
  24. Xiong L., Shen Y.-Q., Jiang L.-N., Zhu X.-L., Yang W.-C., Huang W., Yang G.-F. Succinate Dehydrogenase: An ideal target for fungicide discovery. *Discovery and Synthesis of Crop Protection Products*. American Chemical Society. 2015, pp. 175-194
  25. Yakuba G.V., Astapchuk I.L., Mazyrin E.S., Nasonov A.I., Milovanov A.V. The first report on the mycoparasite *Trichothecium roseum* (Pers. 1809) on *Venturia inaequalis* (Cooke) G. Winter in Russia. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2022, vol. 14, no. 3, pp. 11-23. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-3-11-23>

### ВКЛАД АВТОРОВ

**Насонов А.И.:** планирование, получение моноспоровых изолятов, поддержание коллекции *Venturia inaequalis*, обсуждение и анализ результатов, написание рукописи.

**Якуба Г.В.:** сбор образцов, обсуждение и анализ результатов, написание рукописи.

**Астапчук И.Л.:** in vitro оценка чувствительности моноспоровых изолятов *Venturia inaequalis*, подготовка и анализ первичных данных, подготовка таблиц.

**Марченко Н.А.:** оценка роста мицелия на средах с различной концентрацией фунгицидов, подготовка первичных данных, подготовка таблиц.

Все авторы прочитали и приняли участие в улучшении текста рукописи.

#### **AUTHOR CONTRIBUTIONS**

**Andrei I. Nasonov:** planning, obtaining monospore isolates, maintaining the collection of *Venturia inaequalis*, discussion and analysis of the results, writing the manuscript.

**Galina V. Yakuba:** collection of samples, discussion and analysis of the results, writing the manuscript.

**Irina L. Astapchuk:** in vitro sensitivity assessment of *Venturia inaequalis* monospore isolates, preparation and analysis of primary data, preparation of tables.

**Nikita A. Marchenko:** assessment of mycelium growth on media with different concentrations of fungicides, preparation of primary data, preparation of tables.

All authors read and took part in improving the text of the manuscript.

#### **ДАнные ОБ АВТОРАХ**

**Насонов Андрей Иванович**, канд. биол. наук, заведующий лабораторией биотехнологического контроля фитопатогенов и фитофагов  
*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства и виноделия»*  
ул. им. 40-летия Победы, 39, г. Краснодар, 350901, Российская Федерация  
*nasoan@mail.ru*

**Якуба Галина Валентиновна**, канд. биол. наук, старший научный сотрудник лаборатории биотехнологического контроля фитопатогенов и фитофагов  
*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства и виноделия»*  
ул. им. 40-летия Победы, 39, г. Краснодар, 350901, Российская Федерация  
*galyayaku@gmail.com*

**Астапчук Ирина Леонидовна**, канд. биол. наук, научный сотрудник лаборатории биотехнологического контроля фитопатогенов и фитофагов  
*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение  
«Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства,  
виноградарства и виноделия»*  
ул. им. 40-летия Победы, 39, г. Краснодар, 350901, Российская Федерация  
*irina\_astapchuk@mail.ru*

**Марченко Никита Александрович**, младший научный сотрудник лаборатории биотехнологического контроля фитопатогенов и фитофагов  
*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение  
«Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства,  
виноградарства и виноделия»*  
ул. им. 40-летия Победы, 39, г. Краснодар, 350901, Российская Федерация  
*irina\_astapchuk@mail.ru*

#### **DATA ABOUT THE AUTHORS**

**Andrei I. Nasonov**, Cand. Biol. Sci., Head of Biotechnological Control of Phytopathogens and Phytophages Laboratory  
*Federal State Budget Scientific Institution «North Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Wine-making»*  
39, im. 40-letiya Pobedy Str., Krasnodar, 350901, Russian Federation  
*nasoan@mail.ru*  
SPIN-code: 5636-6106  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4927-2192>  
ResearcherID: K-9142-2017  
Scopus Author ID: 56989221000

**Galina V. Yakuba**, Cand. Biol. Sci., Senior Research Associate of Biotechnological Control of Phytopathogens and Phytophages Laboratory  
*Federal State Budget Scientific Institution «North Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Wine-making»*  
39, im. 40-letiya Pobedy Str., Krasnodar, 350901, Russian Federation  
*galyayaku@gmail.com*  
SPIN-code: 3835-6760

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7735-960X>*

*ResearcherID: ABA-4739-2021*

*Scopus Author ID: 57191370976*

**Irina L. Astapchuk**, Cand. Biol. Sci., Research Associate of Biotechnological Control of Phytopathogens and Phytophages Laboratory

*Federal State Budget Scientific Institution «North Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Wine-making»*

*39, im. 40-letiya Pobedy Str., Krasnodar, 350901, Russian Federation*

*[irina\\_astapchuk@mail.ru](mailto:irina_astapchuk@mail.ru)*

*SPIN-code: 8684-6159*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-00029713-0383>*

*ResearcherID: K-8646-2018*

*Scopus Author ID: 57558038700*

**Nikita A. Marchenko**, Junior Research Associate of Biotechnological Control of Phytopathogens and Phytophages Laboratory

*Federal State Budget Scientific Institution «North Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Wine-making»*

*39, im. 40-letiya Pobedy Str., Krasnodar, 350901, Russian Federation*

*[irina\\_astapchuk@mail.ru](mailto:irina_astapchuk@mail.ru)*

*SPIN-code: 8080-3469*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1325-4881>*

*ResearcherID: ABA-3983-2021*

*Scopus Author ID: 57558038700*

Поступила 14.06.2023

После рецензирования 25.06.2023

Принята 01.07.2023

Received 14.06.2023

Revised 25.06.2023

Accepted 01.07.2023