

УДК 632.7.05

**ПЕРВОЕ ОБНАРУЖЕНИЕ РЕЗИСТЕНТНОСТИ ПРИРОДНОЙ
ПОПУЛЯЦИИ РИСОВОГО ДОЛГОНОСИКА *SITOPHILUS
ORYZAE* (L.) (COLEOPTERA, DRYOPHTHORIDAE)
К ФОСФИНУ В РОССИИ**

© 2020 г. Г. А. Закладной

Всероссийский научно-исследовательский институт зерна
и продуктов его переработки
– филиал Федерального научного центра пищевых систем
им. В. М. Горбатова РАН
Дмитровское шоссе, 11, Москва, 127434 Россия
e-mail: vlaza@list.ru

Поступила в редакцию 24.04.2020 г.

После доработки 14.08.2020 г.

Принята к публикации 14.08.2020 г.

Экспериментальными исследованиями установлена и математически описана зависимость смертности жуков природной и лабораторной популяций рисового долгоносика *Sitophilus oryzae* от концентрации фосфина. Показатель резистентности к фосфину у жуков природной популяции составил 2.5.

Ключевые слова: рисовый долгоносик, природная и лабораторная популяции, фосфин, резистентность.

DOI: 10.31857/S036714452003003X

После всестороннего исследования инсектицидных свойств газа фосфин (Закладной, Желтова, 1987) он был внесен в нормативный документ (Инструкция, 1992), и сейчас это единственный газ, разрешенный в России для фумигации зерна (Закладной, 2018). Фосфин широко используется во всем мире, и приобретение повышенной устойчивости (резистентности) к нему вредителей хлебных запасов – проблема, с которой сталкиваются во многих странах (Zakladnoy, 2020). Например, резистентность к фосфину отмечена в Марокко у *Tribolium castaneum*, *Rhyzopertha dominica* и *Sitophilus oryzae* (Benhalima, Chaudhry, Mills, Price, 2002), в Бразилии у *Rh. dominica* (Lorini, Collins, Daghli, Nayak, Pavic, 2007), в Австралии у *S. oryzae* (Holloway, Falk, Emery, Collins, Nayak, 2016). В России случаи резистентности насекомых к фосфину не зарегистрированы. В данной статье описаны результаты изучения устойчивости природной и лабораторной популяций рисового долгоносика *S. oryzae* к фосфину.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

В опытах использовали имаго двух популяций долгоносика *S. oryzae*. Жуки «ростовской» популяции были собраны на одном из хлебоприемных предприятий Ростовской обл., помещены в лаборатории на зерно мягкой пшеницы влажностью 13.5 % и выдержаны в термостате при температуре 25 °С в течение двух месяцев до получения жуков-потомков первой генерации в необходимом для опытов количестве.

Жуки другой популяции (лабораторная популяция) были взяты из лабораторной культуры, которая поддерживалась в лаборатории в течение более 55 лет без контакта с пестицидами.

Жуков для опытов отбирали без деления по полу и возрасту и помещали в стеклянные капсулы с небольшим количеством зерна. Сверху капсулу закрывали бязью.

Капсулы устанавливали в фумигационную камеру – стеклянную банку вместимостью 550 мл. Сверху к банке через резиновую прокладку специальным зажимом герметично прижата металлическая крышка. К отверстию в крышке приварена металлическая трубка, на которую насажена резиновая трубочка, пережатая зажимом Мора.

В каждую фумигационную камеру помещали две капсулы, в одной из которых были жуки лабораторной, в другой – жуки ростовской популяции.

Фосфин генерировали из таблетки на основе фосфида магния с помощью специального стенда по методике ФАО (Recommended methods..., 1975). В стеклянную емкость наливали воду, подкисленную серной кислотой, и помещали перевернутую раструбом вниз стеклянную воронку. На узкий конец воронки насаживали стеклянный цилиндр, верхний конец которого имел сужение до диаметра 6 мм. На этот узкий конец цилиндра надевали гибкую трубочку, пережатую зажимом Мора. Цилиндр с трубочками заполняли водой до зажима Мора.

Таблетку помещали в полотняный мешочек, который крепили к петле на одном конце металлической проволоки. С помощью проволоки таблетку подводили под воронку. Выделяющийся в результате реакции фосфин вытеснял воду из цилиндра и скапливался в верхней его части перед зажимом Мора.

Этот газ в необходимом количестве забирали в микрошприц, прокалывая его иглой гибкую трубочку, и переносили в стеклянные банки (камеры) через резиновые трубочки на их крышках. До введения газа в банках создавали небольшое разрежение, а после введения газа давление в них выравнивали с атмосферным.

Количество вводимого в фумигационную камеру газа обеспечивало необходимую его концентрацию. Всего исследовали смертность жуков при 11 концентрациях фосфина: 0, 4, 6, 8, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 мг/м³.

Опыты проводили в трех повторностях, используя по 50 жуков в каждой.

Фумигационные камеры содержали в термостатах при температуре 25 °С.

Спустя 24 ч экспозиции банки с жуками дегерметизировали и дегазировали. Через сутки определяли состояние жуков в опытных и контрольных вариантах, подсчитывая количество живых и мертвых особей. Результаты наблюдений подвергали статистической обработке. Вычисляли среднюю смертность жуков из трех повторностей опыта в процентах. Концентрации газа переводили в десятичные логарифмы, проценты смертности – в пробиты смертности. Используя пробит-анализ (Доспехов, 1973), устанавливали математическую зависимость смертности в лабораторной и ростовской популяциях долгоносика от концентрации фосфина. По уравнению регрессии рассчитывали СК-99.9 – концентрацию, при которой гарантируется гибель 99.9 % популяции жуков в течение 24 ч экспозиции при температуре 25 °С.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты оценки смертности в лабораторной и ростовской популяциях *S. oryzae* после фумигации фосфином в разных концентрациях приведены в табл. 1.

Видно, что самые чувствительные жуки лабораторной популяции начали отмирать при концентрации фосфина 15 мг/м³, все жуки погибли в узком диапазоне концентраций от 15 до 25 мг/м³. Наиболее чувствительные к фосфину жуки ростовской популяции начинают погибать при более высокой концентрации фосфина (20 мг/м³), чем жуки лабораторной популяции. С другой стороны, наиболее устойчивые жуки ростовской популяции стойко переживали фосфин в максимальной испытанной концентрации 40 мг/м³.

В табл. 2 приведены статистические показатели резистентности к фосфину лабораторной и ростовской популяций *S. oryzae*.

Во втором столбце таблицы даны уравнения регрессии, в которых «у» – пробит смертности, а «х» – десятичный логарифм концентрации фосфина. С использованием этих уравнений можно рассчитать концентрацию фосфина в мг/м³, вызывающую от-

Таблица 1. Смертность жуков *Sitophilus oryzae* (L.) после фумигации фосфином

Концентрация фосфина, мг/м ³	Смертность жуков, %	
	Лабораторная популяция	Ростовская популяция
0	0	0
4	0	0
6	0	0
8	0	0
10	0	0
15	9	0
20	60	10
25	100	70
30	100	80
35	100	78
40	100	90

Таблица 2. Статистические показатели резистентности к фосфину лабораторной и ростовской популяций *Sitophilus oryzae* (L.)

Популяции	Уравнение регрессии*	Коэффициент корреляции, <i>r</i>	СК-99,9, мг/м ³	Показатель резистентности жуков
Ростовская	$y = 19.937x - 0.1481$	0.98	64.6	2.5
Лабораторная	$y = 7.7738x + 1.813$	0.91	25.9	1.0

Пр и м е ч а н и е. * – Полученную при расчете величину *x* следует увеличить в 10 раз.

мирание любой доли популяции жуков в процентах, или определить смертность жуков в популяции для любой концентрации фосфина.

Обнаруженная связь между смертностью жуков и концентрацией фосфина характеризуется коэффициентами корреляции, близкими к максимуму – 1.

Наибольший интерес представляют величины СК-99.9, т. е. концентрации фосфина, которые вызывают отмирание 99.9 % особей жуков в популяции и по которым мы судим о резистентности популяций к фосфину.

У лабораторной популяции СК-99.9 = 25.9 мг/м³, а у ростовской популяции СК-99.9 = 64.6 мг/м³. Это значит, что жуки ростовской популяции в 2.5 раза более устойчивы к фосфину, чем жуки лабораторной популяции.

Режимы фумигации фосфином зерна, включенные в нормативные документы, были установлены нами на основании изучения устойчивости к фосфину лабораторных популяций насекомых (Закладной, Желтова, 1987), которые использованы в экспериментах в качестве эталона.

В нормативных документах (Государственный каталог, 2020) установлена нормативная величина произведения концентрации на время экспозиции (ПКЭ-99.9), равная 25 г·ч/м³, при достижении которой гарантируется обеззараживание фумигируемого объекта.

Исполнители производственной фумигации зерна обязаны периодически измерять концентрации фосфина и рассчитывать величину ПКЭ; по достижении ею нормативного значения 25 г·ч/м³ можно прекращать экспозицию и дегазировать зерно.

Поскольку ростовская популяция оказалась в 2.5 раза более устойчивой к воздействию фосфина, чем лабораторная популяция, уничтожить вредителей на предприятии, где были отобраны образцы жуков *S. oryzae*, можно лишь при достижении ПКЭ, в 2.5 раза превышающего его нормативное значение, а именно при ПКЭ = 25 × 2.5 = 62.5 г·ч/м³.

Исследования (Закладной, Догадин, 2014) подсказывают, что при удручающем состоянии помещений отечественных зерноскладов, мельзаводов и хлебоприемных предприятий по уровню герметичности достичь величины ПКЭ = 62 г·ч/м³ проблематично, если вообще возможно. Из этого следует вывод о бесполезности и опасности фумигации фосфином на предприятии в Ростовской обл., где отбирали для исследования на резистентность к фосфину образцы жуков *S. oryzae*.

Бесполезна она потому, что при рекомендованных режимах фумигации и больших утечках фосфина из-за недостаточной герметичности зернохранилищ уничтожить в зерне насекомых невозможно и любая фумигация фосфином будет неэффективной.

Опасность же ее в том, что при каждой фумигации будут выживать самые устойчивые насекомые-родители, которые в последующих поколениях дадут более резистентное к фосфину потомство.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации. [Интернет-документ] 2020. [URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71833632/>] Дата обращения: 15.01.2020.

- Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 1973. М.: Колос, 336 с.
- Закладной Г. А. 2018. Фосфин. Монография. М.: Центр подготовки специалистов, 186 с.
- Закладной Г. А., Догадин А. Л. 2014. Проблемы при фумигации мельниц в России. *Хлебопродукты* **12**: 39.
- Закладной Г. А., Желтова С. А. 1987. Биологические основы применения фосфина для борьбы с насекомыми – вредителями хлебных запасов. *Труды ВНИИЗ* **109**: 87–93.
- Инструкция по борьбе с вредителями хлебных запасов. [Интернет-документ] 1992. [URL: <http://www.alppp.ru/law/hozjajstvennaja-dejatelnost/promyshlennost/21/instrukcija-po-borbe-s-vrediteljami-hlebnyh-zapasov.pdf>] Дата обращения: 21.01.2020.
- Benhalima H., Chaudhry M. Q., Mills K. A., Price N. R. 2002. Phosphine resistance in stored-product insects collected from various grain storage facilities in Morocco. *Journal of Stored Products Research* **40** (3): 241–249. [https://doi.org/10.1016/S0022-474X\(03\)00012-2](https://doi.org/10.1016/S0022-474X(03)00012-2)
- Holloway J. C., Falk M. G., Emery R. N., Collins P. J., Nayak M. K. 2016. Resistance to phosphine in *Sitophilus oryzae* in Australia: A national analysis of trends and frequencies over time and geographical spread. *Journal of Stored Products Research* **69**: 129–137.
- Lorini I., Collins P. J., Daglish G. J., Nayak M. K., Pavic H. 2007. Detection and characterisation of strong resistance to phosphine in Brazilian *Rhyzopertha dominica* (F.) (Coleoptera: Bostrychidae). *Pest Management Science* **63** (4): 358–364. <https://doi.org/10.1002/ps.1344>
- Recommended methods for the detection and measurement of resistance of agricultural pests to pesticides. Tentative method for adults of some major pest species of stored cereals with methyl bromide and phosphine – FAO method no. 16. 1975. *FAO Plant Protection Bulletin* **23** (1): 12–25.
- Zakladnoy G. A. 2020. Analysis of the resistance of grain pests to phosphine. Review. *Food systems* **3** (1): 21–24. doi: 10.21323/2618-9771-2020-3-1-21-24

FIRST DETECTION OF THE RESISTANCE TO PHOSPHINE IN A NATURAL POPULATION OF THE RICE WEEVIL *SITOPHILUS ORYZAE* (L.) (COLEOPTERA, DRYOPHTHORIDAE) IN RUSSIA

G. A. Zakladnoy

Key words: rice weevil, natural and laboratory populations, phosphine, resistance.

SUMMARY

Experimental research has established and mathematically described the dependence of the mortality of beetles of natural (synanthropic) and laboratory populations of rice weevil *Sitophilus oryzae* on the phosphine concentration. Indicator of resistance to phosphine in beetles of the natural population was 2.5.