

Водные биоресурсы и среда обитания
2023, том 6, номер 1, с. 7–19
<http://journal.azniirkh.ru>, www.azniirkh.ru
doi: 10.47921/2619-1024_2023_6_1_7
ISSN 2618-8147 print, ISSN 2619-1024 online



Aquatic Bioresources & Environment
2023, vol. 6, no. 1, pp. 7–19
<http://journal.azniirkh.ru>, www.azniirkh.ru
doi: 10.47921/2619-1024_2023_6_1_7
ISSN 2618-8147 print, ISSN 2619-1024 online

Экологические проблемы и состояние водной среды

УДК 574.64:661.162:597-13

ВОЗДЕЙСТВИЕ ФУНГИЦИДА «КАЮНИС, КЭ» НА РАЗЛИЧНЫЕ ЗВЕНЬЯ ТРОФИЧЕСКОЙ ЦЕПИ В МОДЕЛЬНОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ

© 2023 О. А. Зинчук, И. Б. Баимова, Т. Н. Карпушова, Л. М. Бессчетнова

*Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ФГБНУ «ВНИРО»),
Азово-Черноморский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ»), Ростов-на-Дону 344002, Россия
E-mail: baimova_i_b@azniirkh.ru*

Аннотация. В настоящее время создаются пестициды новых поколений. Применение их в сельском хозяйстве неизбежно связано с негативными экологическими последствиями. Опасность пестицидов обусловлена двумя обстоятельствами: высокой биологической активностью и технологией применения, приводящей к их рассеиванию в окружающей среде. Важным аспектом является изучение их воздействия на гидробионтов. Применение пестицидов приводит к изменению привычной среды обитания и нарушению жизнедеятельности водных организмов, особенно на ранних стадиях онтогенеза, их накоплению в гидробионтах и передаче по трофической цепи. Токсикологическая оценка воздействия фунгицида «Каюнис, КЭ» проводилась на гидробионтах разных систематических групп: микроводоросли (*Scenedesmus quadricauda* (Turpin) Brébisson, 1835), макрофиты (*Elodea canadensis* Michaux, 1803), моллюски (*Planorbarius corneus* (Linnaeus, 1758)), эмбрионы и мальки бычка-кругляка (*Neogobius melanostomus* (Pallas, 1814)). В ходе эксперимента подбирались условия интоксикации и рассчитывались токсикометрические показатели для гидробионтов различных трофических уровней. Для каждого тест-объекта экспериментальным путем устанавливались пороговые и недействующие концентрации препаративной формы «Каюнис, КЭ». Исследования позволили сравнить чувствительность к фунгициду изученных тест-объектов. Из изученных нами тест-объектов мальки бычка-кругляка оказались наиболее чувствительными к воздействию фунгицида «Каюнис, КЭ».

Ключевые слова: пестициды, фунгицид, гидробионты, выживаемость

THE EFFECT OF CAYUNIS, EC FUNGICIDE ON VARIOUS LINKS OF THE TROPHIC CHAIN IN A MODEL EXPERIMENT

O. A. Zinchuk, I. B. Baimova, T. N. Karpushova, L. M. Besschetnova

Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (FSBSI "VNIRO"),
Azov-Black Sea Branch of the FSBSI "VNIRO" ("AzNIIRKH"), Rostov-on-Don 344002, Russia
E-mail: baimova_i_b@azniirkh.ru

Abstract. Currently, there is an ongoing process of development of the next-generation pesticides, which use for the purposes of agriculture has negative implications for the environment. Their hazard potential is attributable to two factors: high biological activity and their application method involving their dispersion in the environment. It necessitates the investigation of the effect of pesticides on aquatic organisms, which includes changes in their habitat, disruptions of their vital functions, especially at the early stages of their ontogeny, accumulation in their tissues, and movement along the trophic chain. Toxicological assessment of the fungicide Cayunis, EC effect has been conducted on the aquatic organisms of various taxonomic groups: microalgae (*Scenedesmus quadricauda* (Turpin) Brébisson, 1835), macrophytes (*Eloдея canadensis* Michaux, 1803), molluscs (*Planorbarius corneus* (Linnaeus, 1758)), embryos and fry of the round goby (*Neogobius melanostomus* (Pallas, 1814)). Over the course of the experiment, the conditions for intoxication were identified, and the toxicometric characteristics of the aquatic organisms belonging to various trophic levels were estimated. Using an experimental approach, the threshold and no observed effect concentrations of the preparative form of Cayunis, EC pesticide have been identified for each test subject. This study made it possible to compare the sensitivity of each investigated test subject to the fungicide. Among the studied test subjects, round goby fry has proved to be the most sensitive to the effect of Cayunis, EC fungicide.

Keywords: pesticides, fungicide, aquatic organisms, survival rate

ВВЕДЕНИЕ

Фунгициды (*fungus* — «гриб», *caedo* — «убивать») — химические вещества для борьбы с грибными болезнями растений (бордоская жидкость, серный цвет и др.), а также для протравливания семян (формалин, фундазол, гранозан, меркуран) с целью освобождения их от спор паразитных грибов (в частности, головни у семян зерновых растений). Главная область применения фунгицидов — защита сельскохозяйственных культур от болезней.

С развитием сельского хозяйства и переводом растениеводства на промышленную основу на различных сельскохозяйственных культурах чаще стали наблюдать массовые вспышки таких болезней, как ржавчина злаковых культур, мучнистая роса зерновых, фитофтороз картофеля и др. [1].

Используют фунгициды в соответствующей форме путем опрыскивания или опыления растений, обработки почвы либо как протравители семян; также применяют их в технике как антисептические средства для защиты неметаллических материалов от биоразрушения и в медицине как противогрибковые средства.

Современные фунгициды классифицируют в зависимости от характера действия на возбудителей болезней, а также от их химической природы и способов применения. Один и тот же фунгицид может действовать по-разному в зависимости от вида растения, возбудителя, дозы, способов и сроков применения [2].

Масштабы и темпы негативного антропогенного воздействия на водоемы возрастают, что приводит к значительному ухудшению условий обитания гидробионтов. Развитие природно-хозяйственного комплекса в Азово-Черноморском бассейне привело к интенсивному загрязнению морских экосистем [3].

Современный этап эволюционного процесса характеризуется введением в круговорот биосферы большого количества ранее не существовавших токсических веществ техногенного происхождения. Со многими химическими веществами водная экосистема никогда ранее не взаимодействовала и оказалась эволюционно неподготовленной для их переработки без отрицательных последствий для биоты водоемов. Наличие высоких концентраций химических загрязнителей вызывает нарушения

жизнедеятельности и видового состава водных экосистем [4]. Не являясь отходами какого-либо производства, они целенаправленно синтезируются и преднамеренно вносятся в окружающую среду человеком [5].

Использование пестицидов в мире за последнее время претерпело существенные изменения. Предпочтение отдается новым и менее токсичным гербицидам, инсектицидам, фунгицидам и т. д. В настоящее время очень остро стоит вопрос поиска, производства, регламентации и применения пестицидов новых поколений. Состав современного ассортимента пестицидов пополняется препаратами селективного действия с положительными экотоксикологическими характеристиками. На рынок выходят препараты с комбинациями из разных действующих веществ с высоким спектром активности против возбудителей болезней [4].

«Каюнис, КЭ» — новый системный фунгицид защитного, лечебного и искореняющего действия, ранее не применявшийся в сельском хозяйстве. Рекомендуется для применения на посевах таких зерновых культур, как пшеница яровая и озимая, ячмень яровой и озимый.

Препарат оказывает фунгицидное действие на следующие патогены в посевах пшеницы яровой и озимой: бурая ржавчина (*Puccinia triticina* Erikss.), стеблевая ржавчина (*Puccinia graminis* Pers.), желтая ржавчина (*Puccinia striiformis* Westend.), мучнистая роса (*Blumeria graminis* (DC.) Speer.), септориоз (*Septoria* spp.), пиренофороз (*Pyrenophora tritici-repentis* (Died.) Drechsler); церкоспореллез (*Pseudocercospora herpotrichoides* (Fron) Deighton), карликовая ржавчина (*Puccinia hordei* G.H. Otth.), сетчатая пятнистость (*Drechslera teres* (Sacc.) Shoemaker), темно-бурая пятнистость (*Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoemaker), ринхоспориоз (*Rhynchosporium secalis* (Oudem.) Davis), гельминтоспориоз (*Helminthosporium* spp.) Действующими веществами препарата «Каюнис, КЭ» являются спироксамин, трифлуксистробин и бикасафен. Норма расхода препарата составляет 0,8–1,0 л/га. Расход рабочей жидкости — 200–300 л/га. Наземное опрыскивание проводят в период вегетации при появлении первых признаков болезней [5].

Механизм действия

Спироксамин ингибирует процесс деметилирования биосинтеза стероидов на различных уровнях и нарушает избирательность проницаемости клеточных мембран патогена.

Трифлуксистробин подавляет митохондриальное дыхание в грибах путем блокировки перемещения электронов в дыхательную цепь, что приводит к прекращению роста и гибели.

Бикасафен обладает локальным системным действием, подавляет прорастание спор и развитие мицелия. На биохимическом уровне ингибирует энзим сукцинатдегидрогеназу (комплекс II) митохондриального респираторного канала.

Препаративная форма фунгицида — концентрат эмульсии (КЭ) — содержит 150 г/л спироksamина, 100 г/л трифлуксистробина и 75 г/л бикасафена.

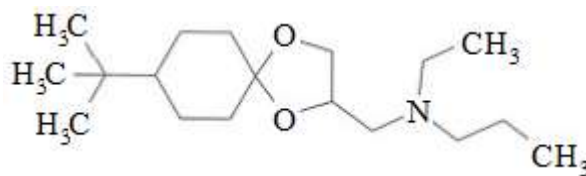
Спироксамин

1. Химическое название по IUPAC:

(8-трет-бутил-1,4-диоксаспиро[4.5]декан-2-илметил(этил)(пропил)амин).

№ CAS 118134-30-8

2. Структурная формула:



3. Эмпирическая формула: $C_{18}H_{35}NO_2$.

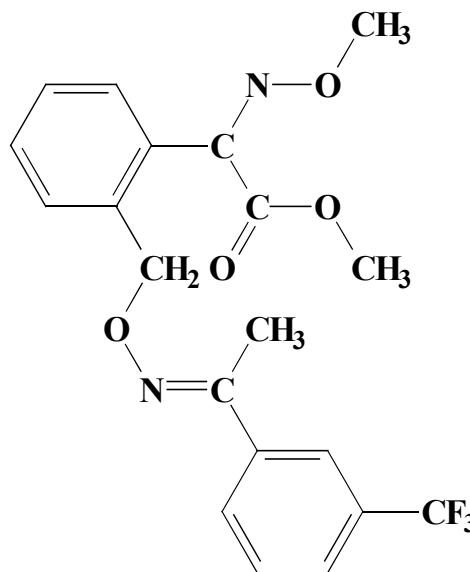
Трифлуксистробин

1. Химическое название по IUPAC:

(E,E)-метоксиимино-{2[1-(3-трифторметил-фенил)-этилиденаминооксиметил]-фенил}-уксусной кислоты метиловый эфир.

№ CAS 141517217

2. Структурная формула:



3. Эмпирическая формула: $C_{20}H_{19}F_3N_2O_4$.

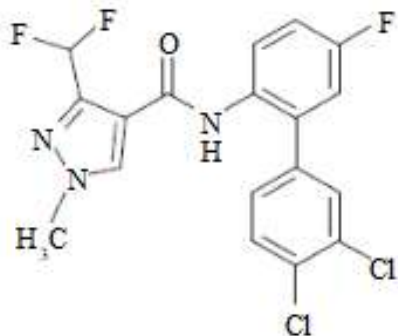
Бикафен

1. Химическое название по IUPAC:

N-(3',4'-дихлоро-5-фторбифенил-2-ил)-3-(дифторметил)-1-метил-1*H*-пиразол-4-карбоксамид.

№ CAS 581809-46-3

2. Структурная формула:



3. Эмпирическая формула: $C_{18}H_{12}Cl_2F_3N_3O$ [4].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования фунгицида «Каюнис, КЭ» проводились в соответствии с «Методическими указаниями по разработке нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения» [6]. Содержание тест-объектов во время опытов соответствовало требованиям методических рекомендаций с соблюдением температурного режима, жесткости и pH воды, плотности посадки тест-объектов, аэрации и т. д. Для экспериментов использовали отстоянную водопроводную воду. Все исследования на гидробионтах проводили в два этапа — острый и хронический эксперименты — на фоне контроля (в аналогичных условиях, но без внесения токсиканта).

Для определения степени влияния фунгицида «Каюнис, КЭ» на микроводоросли использовалась альгологически чистая культура зеленой протококковой водоросли *Scenedesmus quadricauda* (Turpin) Brébisson, 1835. Токсичность вещества для водорослей устанавливали путем визуальных наблюдений за состоянием культуры, измерения численности клеток водорослей («выживаемость»), определения живых и мертвых клеток, скорости и темпа развития водорослей, определения pH среды в культуре.

В качестве представителя погруженных растений в опыте использовалась элодея (*Elodea canadensis* Michaux, 1803). Оценку токсичности

вещества осуществляли по следующим параметрам: состояние растений, выживаемость и прирост основного побега, число боковых отростков и их длина, число корней и их длина, суммарный прирост элодеи.

В качестве тест-объекта бентосных организмов использовали катушку роговую (*Planorbarius corneus* (Linnaeus, 1758)). В ходе хронического эксперимента исследовались такие показатели, как выживаемость, поведенческие реакции, размножение и плодовитость, прирост общей массы катушки [7].

Влияние фунгицида «Каюнис, КЭ» на ранний онтогенез рыб изучали на эмбрионах и мальках бычка-кругляка (*Neogobius melanostomus* (Pallas, 1814)). Степень токсичности изученного препарата оценивали по следующим показателям: выживаемость, длительность инкубационного периода, скорость прохождения стадий, патоморфологические признаки выклюнувшихся мальков. В течение эксперимента наблюдали также за поведенческими реакциями мальков и определяли темп их линейного роста. По материалам проведенных опытов рассчитывали токсикометрические параметры для гидробионтов разных трофических уровней методом пробит-анализа по В.Б. Прозоровскому [8]. По каждому тест-объекту были рассчитаны следующие параметры: недействующая концентрация — LK_0 (ЛК — летальная концентрация), пороговая концентрация — LK_{16} , среднелетальная концентрация — LK_{50} , выраженные в мг/л. Для микроводорослей рассчитывались эффективные концентрации: $\mathcal{E}_q K_0$ — недействующая, $\mathcal{E}_q K_{16}$ — пороговая, $\mathcal{E}_q K_{50}$ — среднелетальная концентрации (на основании данных о численности за 96 часов).

Полученные в экспериментах результаты подвергали статистической обработке, используя t-критерий Стьюдента [9, 10].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

При изучении степени токсичности препарата «Каюнис, КЭ» для культуры зеленой протококковой водоросли был поставлен предварительный опыт длительностью 96 часов и диапазоном концентраций 5,0–50,0 мг/л (табл. 1). Анализ жизнеспособности культуры показал, что токсикант в исследованных концентрациях альгицидными свойствами не обладает, поэтому рассчитывались эффективные концентрации. Критерием токсич-

ности служит процент отклонения численности микроводорослей в опыте от контрольного варианта. Рассчитанные эффективные концентрации в остром эксперименте составили для микроводорослей: $\mathcal{E}_4 K_0$ — 4,73 мг/л, $\mathcal{E}_4 K_{16}$ — 14,64 мг/л, $\mathcal{E}_4 K_{50}$ — 43,15 мг/л. Для установления пороговой и недействующей величин проводился хронический

эксперимент с экспозицией 14 суток. Испытывались концентрации в диапазоне 1,0–25,0 мг/л.

При определении границ чувствительности элодеи к фунгициду «Каюнис, КЭ» в предварительном (10 суток) и хроническом (30 суток) экспериментах воздействие токсиканта изучали в диапазоне концентраций 50,0–500,0 мг/л (табл. 2). Токсикоме-

Таблица 1. Эффективные концентрации фунгицида «Каюнис, КЭ» для культуры микроводорослей

Table 1. Effective concentrations of the fungicide Cayunis, EC for microalgae culture

Экспозиция опыта, час Exposure duration, hour	Концентрация, мг/л Concentration, mg/L	% отклонения показателя Percentage deviation of the parameter	Эффективные концентрации, мг/л Effective concentrations, mg/L
96	Контроль / Control	0	
	5,0	-0,1	$\mathcal{E}_4 K_0 / E_n K_0 = 4,73$
	10,0	-12,0	$\mathcal{E}_4 K_{16} / E_n K_{16} = 14,64$
	25,0	-37,8	$\mathcal{E}_4 K_{50} / E_n K_{50} = 43,15$
	50,0	-52,0	

Таблица 2. Выживаемость и токсикометрические параметры фунгицида «Каюнис, КЭ» для элодеи в предварительном и хроническом опытах

Table 2. Survival rate and toxicometric characteristics of the fungicide Cayunis, EC for the Canadian waterweed in preliminary and chronic experiments

Сутки Day	Концентрация, мг/л Concentration, mg/L	Гибель Mortality		Токсикометрические параметры, мг/л Toxicometric characteristics, mg/L
		Кол-во экз.* Number of specimens*	%	
10	Контроль / Control	0	0	$LK_0 / LC_0 = 50,04$
	50,0	0	0	$LK_{16} / LC_{16} = 72,31$
	100,0	3	30	$LK_{50} / LC_{50} = 158,11$
	250,0	7	70	$LK_{84} / LC_{84} = 345,72$
	500,0	10	100	$LK_{100} / LC_{100} = 499,59$
30	Контроль / Control	0	0	$LK_0 / LC_0 = 18,46$
	10,0	0	0	$LK_{16} / LC_{16} = 45,63$
	25,0	1	6,7	$LK_{50} / LC_{50} = 104,32$
	50,0	3	20,0	$LK_{84} / LC_{84} = 167,38$
	100,0	6	40,0	$LK_{100} / LC_{100} = 230,44$
	150,0	11	73,3	$J_{cum} = 1,70$
	200,0	15	100	

Примечание: * Выборка в каждом варианте предварительного опыта n=10 (2 повторности по 5 экз.), хронического — n=15 (3 повторности по 5 экз.)

Note: * Sample in each version of the preliminary experiment n=10 (2 replicates, each involving 5 specimens), and of the chronic experiment, n=15 (3 replicates, each involving 5 specimens)

трические параметры для элодеи в остром опыте составили: ЛК₀ — 50,04 мг/л, ЛК₁₆ — 72,31 мг/л, ЛК₅₀ — 158,11 мг/л. В хроническом эксперименте токсикометрические параметры были следующими: ЛК₀ — 18,46 мг/л, ЛК₁₆ — 45,63 мг/л, ЛК₅₀ — 104,32 мг/л.

Для оценки влияния фунгицида «Каюнис, КЭ» на брюхоногих моллюсков (*Planorbarius corneus*) были проведены острый опыт с экспозицией 4 суток и хронический — 60 суток.

Для выяснения действия «Каюнис, КЭ» на выживаемость катушки роговой в остром опыте испытывались концентрации от 2,5 до 40,0 мг/л (табл. 3).

Наблюдения показали, что пестицид в концентрации 2,5 мг/л не оказывал токсического действия на выживаемость моллюсков. Нарушений поведенческих реакций и гибели особей по сравнению с контрольным вариантом отмечено не было. Минимальное влияние исследуемого вещества стало проявляться с концентраций 5,0 и 10,0 мг/л, где погибло 3,3 и 20 % особей, соответственно. Сильное токсическое действие фунгицид оказывал

в концентрации 20,0 мг/л, при которой животные плохо прикреплялись к стенке сосуда и не двигались, а к концу экспозиции их гибель составила 83,3 %. В концентрации 40,0 мг/л погибли все опытные моллюски; особи находились на дне, тело было выдвинуто наружу.

Рассчитанная недействующая концентрация составила 4,41 мг/л, пороговая — 7,80 мг/л, среднелетальная — 13,58 мг/л. Хронический опыт 60 суток проводился в диапазоне концентраций 0,5–6,0 мг/л, рассчитанные величины по выживаемости составили: ЛК₀ — 0,98 мг/л, ЛК₁₆ — 2,10 мг/л, ЛК₅₀ — 3,25 мг/л.

Исследования по установлению степени токсичности фунгицида «Каюнис, КЭ» для эмбрионов бычка-кругляка проводились в диапазоне концентраций 0,1–1,0 мг/л в течение 12 суток.

Рассчитанные токсикометрические параметры составили: ЛК₀ — 0,11 мг/л, ЛК₁₆ — 0,21 мг/л, ЛК₅₀ — 0,35 мг/л (табл. 4).

При установлении степени токсичности препарата «Каюнис, КЭ» для мальков бычка-кругляка проводился предварительный эксперимент дли-

Таблица 3. Выживаемость и токсикометрические параметры фунгицида «Каюнис, КЭ» для катушки роговой в остром и хроническом экспериментах

Table 3. Survival rate and toxicometric characteristics of the fungicide Cayunis, EC for the great ramshorn in acute and chronic experiments

Сутки Day	Концентрация, мг/л Concentration, mg/L	Гибель Mortality		Токсикометрические параметры, мг/л Toxicometric characteristics, mg/L
		Количество, экз.* Number of specimens*	%	
4	Контроль / Control	0	0	ЛК ₀ / LC ₀ =4,41 ЛК ₁₆ / LC ₁₆ =7,80 ЛК ₅₀ / LC ₅₀ =13,58 ЛК ₈₄ / LC ₈₄ =23,10 ЛК ₁₀₀ / LC ₁₀₀ =40,95
	2,5	0	0	
	5,0	1	3,3	
	10,0	7	23,3	
	20,0	25	83,3	
	40,0	30	100	
60	Контроль / Control	0	0	ЛК ₀ / LC ₀ =0,98 ЛК ₁₆ / LC ₁₆ =2,10 ЛК ₅₀ / LC ₅₀ =3,25 ЛК ₈₄ / LC ₈₄ =4,39 ЛК ₁₀₀ / LC ₁₀₀ =5,54 J _{cum} =4,96
	0,5	0	0	
	1,0	0	0	
	2,0	3	10	
	3,0	12	40	
	4,0	16	80	
	5,0	28	93,3	
	6,0	30	100	

Примечание: * Выборка в каждом варианте опыта n=30 (экз.)

Note: * Sample in each version of the experiment n=30 (specimens)

тельностью 2 суток с концентрациями в диапазоне 0,01–0,1 мг/л. Рассчитанные токсикометрические параметры составили: недействующая концентрация — 0,009 мг/л, пороговая — 0,019 мг/л, средне-летальная — 0,032 мг/л. В хроническом экс-

перименте с экспозицией 7 суток и диапазоном концентраций 0,005–0,05 мг/л недействующая концентрация для мальков бычка-кругляка составила 0,006 мг/л, пороговая — 0,011 мг/л, средне-летальная — 0,021 мг/л (табл. 5).

Таблица 4. Выживаемость и токсикометрические параметры фунгицида «Каюнис, КЭ» для эмбрионов бычка-кругляка

Table 4. Survival rate and toxicometric characteristics of the fungicide Cayunis, EC for the round goby embryos

Концентрация, мг/л Concentration, mg/L	Гибель на этапах эмбриогенеза*, экз. Mortality at the stages of embryogenesis*, spec.					Гибель с поправкой Аббота, % Mortality rate adjusted using Abbott's formula, %	Токсикометрические параметры, мг/л Toxicometric characteristics, mg/L
	III–IV	V–VI	VII–VIII	IX–X	Всего Total		
Контроль Control	0	0	1	1	2	0	$LK_0 / LC_0 = 0,11$
0,1	0	0	1	0	1	0	$LK_{16} / LC_{16} = 0,21$
0,25	3	2	4	2	11	30	$LK_{50} / LC_{50} = 0,35$
0,5	5	7	8	6	26	80	$LK_{84} / LC_{84} = 0,54$
1,0	9	11	9	1	30	100	$LK_{100} / LC_{100} = 0,87$

Примечание: * Суммарная гибель в трех повторностях эксперимента

Note: * Total mortality in three replicates of the experiment

Таблица 5. Выживаемость и токсикометрические параметры фунгицида «Каюнис, КЭ» для мальков бычка-кругляка в остром и хроническом экспериментах

Table 5. Survival rate and toxicometric characteristics of the fungicide Cayunis, EC for the round goby fry in acute and chronic experiments

Объект исследований (экспозиция опыта, сутки) Test subject (exposure duration, day)	Концентрация, мг/л Concentration, mg/L	Гибель Mortality		Токсикометрические параметры, мг/л Toxicometric characteristics, mg/L
		экз.* specimen*	%	
Мальки бычка-кругляка Round goby fry (2)	Контроль / Control	0	0	$LK_0 / LC_0 = 0,009$
	0,01	0	0	$LK_{16} / LC_{16} = 0,019$
	0,025	8	40	$LK_{50} / LC_{50} = 0,032$
	0,05	16	80	$LK_{84} / LC_{84} = 0,051$
	0,1	20	100	$LK_{100} / LC_{100} = 0,087$
Мальки бычка-кругляка Round goby fry (7)	Контроль / Control	0	0	$LK_0 / LC_0 = 0,006$
	0,005	0	0	$LK_{16} / LC_{16} = 0,011$
	0,01	3	15	$LK_{50} / LC_{50} = 0,021$
	0,025	12	60	$LK_{84} / LC_{84} = 0,035$
	0,05	20	100	$LK_{100} / LC_{100} = 0,051$ $J_{cum} = 1,40$

Примечание: * Выборка в каждом варианте опыта n=20 (экз.)

Note: * Sample in each version of the experiment n=20 (specimens)

Степень токсичности «Каюнис, КЭ» оценивали не только по параметрам выживаемости, но и по основным показателям жизнедеятельности тест-объектов [11]. Результаты анализа по этим критериям стали основанием для определения пороговых и недействующих концентраций для каждого из опытных гидробионтов.

Основным критерием токсичности действия фунгицида «Каюнис, КЭ» для микроводорослей являлось снижение численности клеток культуры. «Каюнис, КЭ» в концентрации 1,0 мг/л не оказывал влияния на рост и развитие водорослевой культуры в течение всего эксперимента. В концентрации вещества 2,5 мг/л численность клеток постепенно снижалась, и с 10-х суток экспозиции различия с контролем приобрели статистически достоверный характер. Внесение фунгицида в концентрациях 5,0–10,0 мг/л достоверно снижало численность клеток сценедесмуса с 7-х и 3-х суток опыта, соответственно. «Каюнис, КЭ» в концент-

рации 25,0 мг/л существенно угнетал развитие культуры микроводорослей, что привело к достоверному снижению численности клеток на протяжении всего эксперимента.

В результате исследования в качестве недействующей по параметру численности популяции сценедесмуса определена концентрация 1,0 мг/л, пороговой — 2,5 мг/л (табл. 6).

При воздействии фунгицида на высшую водную растительность (*Elodea canadensis*) из всех изученных показателей жизнедеятельности (выживаемость, прирост основного и боковых побегов, процессы корнеобразования, суммарный прирост растений) наиболее чувствительным параметром оказался рост основного побега элодеи. Как показано в табл. 7, темп роста основного стебля элодеи не отличался от нормы в концентрации фунгицида 10,0 мг/л на протяжении всего опыта. В концентрации 25,0 мг/л прирост основного побега снижался, и к концу эксперимента разница с контролем при-

Таблица 6. Динамика численности микроводорослей в эксперименте с фунгицидом «Каюнис, КЭ» (млн кл./см³)*

Table 6. Abundance dynamics of microalgae in the experiment with the fungicide Cayunis, EC (million cells/cm³)*

Концентрация, мг/л Concentration, mg/L	Стат. параметры Statistical parameters	Экспозиция опыта, сутки Exposure duration, day				
		1	3	7	10	14
Контроль Control	M±m	0,032±0,002	0,082±0,003	0,205±0,005	0,394±0,005	0,802±0,013
1,0	M±m	0,033±0,001	0,081±0,001	0,202±0,003	0,388±0,004	0,810±0,014
	t	0,45	0,32	0,51	0,94	0,42
	p	>0,05	>0,05	>0,05	>0,05	>0,05
2,5	M±m	0,031±0,002	0,077±0,002	0,188±0,005	0,360±0,005	0,752±0,014
	t	0,35	1,39	2,40	4,81	2,62
	p	>0,05	>0,05	>0,05	<0,05	<0,05
5,0	M±m	0,030±0,001	0,074±0,002	0,163±0,004	0,302±0,007	0,602±0,021
	t	0,89	2,22	6,56	10,69	8,09
	p	>0,05	>0,05	<0,05	<0,05	<0,05
10,0	M±m	0,027±0,002	0,069±0,003	0,136±0,003	0,257±0,010	0,513±0,014
	t	1,77	3,06	11,83	12,25	15,13
	p	>0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
25,0	M±m	0,026±0,001	0,065±0,002	0,127±0,004	0,242±0,010	0,483±0,010
	t	2,68	4,72	12,18	13,59	19,45
	p	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05

Примечание: * Исходная численность 25 тыс. кл./см³

Note: * Initial abundance 25 thousand cells/cm³

Таблица 7. Прирост основного побега элодеи в различных концентрациях фунгицида «Каюнис, КЭ» (в пересчете на одно растение, см)**Table 7.** Length gain of the Canadian waterweed main shoot in various concentrations of the fungicide Cayunis, EC (as estimated per one plant, cm)

Концентрация, мг/л Concentration, mg/L	Стат. параметры Statistical parameters	Сутки Day				
		10	15	20	25	30
Контроль Control	M±m	0,97±0,065 15	1,42±0,048 15	1,96±0,065 15	2,94±0,075 15	3,79±0,075 15
10,0	M±m	0,90±0,047	1,35±0,044	1,84±0,052	3,01±0,062	3,67±0,062
	t	0,86	1,08	1,44	0,72	1,23
	p	>0,05	>0,05	>0,05	>0,05	>0,05
	n	15	15	15	15	15
25,0	M±m	0,89±0,042	1,32±0,051	1,77±0,068	2,65±0,084	3,24±0,084
	T	1,11	1,43	2,02	2,58	4,88
	P	>0,05	>0,05	>0,05	<0,05	<0,05
	n	15	15	15	14	14
50,0	M±m	0,80±0,058	1,24±0,053	1,61±0,074	2,11±0,088	2,61±0,088
	t	1,93	2,52	3,55	7,18	10,21
	p	>0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
	n	15	14	13	12	12
100,0	M±m	0,75±0,038	0,98±0,047	1,32±0,077	1,84±0,083	2,25±0,083
	t	2,92	6,55	6,35	9,83	13,77
	p	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
	n	13	12	10	11	9

Примечание: n — общее число побегов с учетом их гибели

Note: n — total number of shoots, factoring in their mortality

обрела статистически достоверный характер. У макрофитов в концентрации 50,0 мг/л с 15-х суток опыта отмечено статистически достоверное снижение темпа роста. Фунгицид в концентрации 100,0 мг/л достоверно угнетал процесс роста элодеи на протяжении всего эксперимента. При этом у растений наблюдались ослабление тургора и побледнение листьев.

Концентрация пестицида 25,0 мг/л принята в качестве пороговой, 10,0 мг/л — в качестве недействующей.

Для брюхоногих моллюсков (*Planorbarius corneus*) из всех исследованных показателей жизнедеятельности (выживаемость, общая масса, размножение и плодовитость) наиболее чувствительными оказались показатели размножения и плодовитости, для которых концентрация 0,25 мг/л была недействующей, а 0,5 мг/л — пороговой. Как видно из табл. 8, результаты изучения раз-

множения и плодовитости катушки роговой при воздействии «Каюнис, КЭ» показали, что в концентрациях 0,125 и 0,25 мг/л все показатели, характеризующие воспроизводительную способность моллюсков, соответствовали контролю. Пороговая концентрация составила 0,5 мг/л; все показатели при ней отличались от контрольных на 18–22 %. Ингибирующее действие фунгицида было отмечено в растворе с концентрацией 1,0 мг/л, где количество кладок уменьшилось на 29 %, количество яиц в кладках — на 31 %, а реальная плодовитость снизилась на 40 %.

Результаты наблюдений за темпом роста мальков бычка-кругляка в растворах «Каюнис, КЭ» представлены в табл. 9.

«Каюнис, КЭ» в концентрациях 0,01 и 0,025 мг/л вызывал снижение темпа линейного роста мальков на 8 и 10 %, соответственно. В растворах с концентрацией фунгицида 0,005 мг/л длина опыт-

Таблица 8. Плодовитость катушки роговой в различных концентрациях фунгицида «Каюнис, КЭ» (экспозиция 60 суток)

Table 8. Fertility of the great ramshorn in various concentrations of the fungicide Cayunis, EC (exposure duration is 60 days)

Концентрация, мг/л Concentration, mg/L	Стат. параметры Statistical parameters	Число кладок на 1 моллюска Number of clutches per 1 mollusc	Количество яиц в кладке Number of eggs in a clutch	Плодовитость на 1 моллюска Fertility per 1 mollusk	
				Потенциальная Potential	Реальная Actual
Контроль Control	M±m	6,2±0,48	14,2±0,90	89,1±3,06	10,4±0,74
0,125	M±m	6,1±0,72	13,7±0,98	83,6±5,07	10,1±1,25
	t	0,116	0,389	0,938	0,207
	p	>0,05	>0,05	>0,05	>0,05
0,25	M±m	5,8±0,62	12,8±0,79	75,4±7,03	9,3±0,87
	t	0,510	1,154	1,794	0,963
	p	>0,05	>0,05	>0,05	>0,05
0,5	M±m	4,9±0,42	11,6±0,91	69,4±7,11	8,3±0,67
	t	2,038	2,010	2,552	2,104
	p	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
1,0	M±m	4,4±0,68	9,8±0,74	44,2±6,65	6,2±0,58
	t	2,163	3,808	6,140	4,467
	p	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05

Таблица 9. Темп роста мальков бычка-кругляка при выдерживании в растворах фунгицида «Каюнис, КЭ» на 7-е сутки эксперимента (мм)

Table 9. Growth rate of the round goby fry kept in the fungicide Cayunis, EC solutions on the 7th day of the experiment (mm)

Стат. показатели Statistical parameters	Концентрация, мг/л Concentration, mg/L			
	Контроль Control	0,005	0,01	0,025
M±m	6,90±0,161	6,61±0,121	6,23±0,120	6,24±0,10
t		1,44	2,60	3,10
p		>0,05	<0,05	<0,05

ных мальков соответствовала размерам контрольных экземпляров. Недействующей концентрацией по показателю линейного роста бычков является величина 0,005 мг/л, пороговой — 0,01 мг/л.

Изучение влияния «Каюнис, КЭ» на ранний онтогенез рыб позволило установить следующее: по показателю выклева и продолжительности эмбриогенеза эмбрионов бычка-кругляка недействующая концентрация составила 0,1 мг/л, пороговая — 0,25 мг/л. Для мальков бычка-кругляка по

показателю выживаемости недействующая концентрация определена как 0,005 мг/л, пороговая — 0,01 мг/л. Пороговые и недействующие величины фунгицида «Каюнис, КЭ» для изученных тест-объектов представлены в табл. 10.

ВЫВОДЫ

Таким образом, на основании анализа представленных экспериментальных данных можно сделать следующие выводы:

Таблица 10. Недействующие и пороговые концентрации фунгицида «Каюнис, КЭ»
Table 10. No effect and threshold concentrations of the fungicide Cayunis, EC

Группа организмов Group of organisms	Видовое название Species name	Показатели Parameters	Экспозиция опыта, сут. Exposition duration, day	Недействующая концентрация, мг/л No effect concentration, mg/L	Пороговая концентрация, мг/л Threshold concentration, mg/L
Микроводоросли Microalgae	<i>Scenedesmus guadricauda</i> (Turpin) Brébisson, 1835	Динамика численности Abundance dynamics	14	1,0	2,5
		Коэффициент скорости роста Growth rate coefficient	14	1,0	2,5
Высшие водные растения Higher aquatic plants	<i>Elodea canadensis</i> Michaux, 1803	Прирост основного побега Length gain of the main shoot	30	10,0	25,0
		Прирост боковых побегов Length gain of the lateral shoots	30	10,0	25,0
		Образование корней Root formation	30	10,0	25,0
		Суммарный прирост Total length gain	30	10,0	25,0
Брюхоногие моллюски Gastropods	<i>Planorbarius corneus</i> (Linnaeus, 1758)	Прирост общей массы Total weight gain	60	0,5	1,0
		Размножение и плодовитость Reproduction and fertility	60	0,25	0,5
Икра бычковых рыб Goby eggs	<i>Neogobius melanostomus</i> (Pallas, 1814)	Динамика выклева Hatching dynamics	12	0,1	0,25
Мальки бычковых рыб Goby fry	<i>Neogobius melanostomus</i> (Pallas, 1814)	Темп линейного роста Linear growth rate	7	0,005	0,01

1. Из изученных нами тест-объектов, мальки бычка-кругляка оказались наиболее чувствительными к воздействию фунгицида «Каюнис, КЭ». При установлении пороговых и недействующих величин лимитирующими показателями стали выживаемость и линейный рост малька бычка-кругляка. При этом концентрация 0,005 мг/л является недействующей, а концентрация 0,01 мг/л — пороговой.
2. Согласно классификации Лесникова и Врочинского [12], по степени острой токсичности для рыб «Каюнис, КЭ» относится к группе особо токсичных пестицидов.
3. В хроническом эксперименте установлены пороговые и недействующие величины. Для брюхоногих моллюсков недействующая концентрация — 0,25 мг/л, пороговая — 0,5 мг/л (лимитирующие показатели — размножение и плодовитость). Для микроводорослей лимитирующими показателями были динамика численности и коэффициент скорости роста культуры; при этом недействующая величина составила 1,0 мг/л, пороговая — 2,5 мг/л. Установленные опытным путем концентрации для высшей водной растительности составили: недействующая — 10,0 мг/л, пороговая — 25,0 мг/л (наиболее чувствительные показатели — общий прирост элодеи, прирост основного и боковых побегов).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гришечкина Л.Д., Долженко В.И., Кунгурцева О.В., Ишкова Т.И., Здрожевская С.Д. Развитие исследований по формированию современного ассортимента фунгицидов // *Агрохимия*. 2020. № 9. С. 32–47. doi: 10.31857/S0002188120090070.
2. Гольшин Н.М. Фунгициды. М.: Колос, 1993. 163 с.
3. Белоусов В.Н., Брагина Т.М., Бугаев Л.А., Реков Ю.И. Рыбохозяйственные исследования России в Азово-Черноморском бассейне (к 90-летию ФГБНУ «АзНИИРХ») // *Водные биоресурсы и среда обитания*. 2018. Т. 1, № 1. С. 11–31. doi: 10.47921/2619-1024_2018_1_1_11.
4. Макаренко В.В., Долженко В.И. Оценка биологической эффективности нового комбинированного фунгицида против листовых патогенов яровой пшеницы // *Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета*. 2020. № 4 (61). С. 42–49. doi: 10/24411/2078-1318-2020-14042.
5. Приложение № 1. Материалы фирмы Байер Кроп Сайенс АГ // Приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 10 июля 2007 г.

- № 357 «Порядок государственной регистрации пестицидов и агрохимикатов». URL: <https://docs.cntd.ru/document/902053948> (дата обращения 08.12.2022).
6. Методические указания по разработке нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения / Под ред. С.А. Соколовой. М.: Изд-во ВНИРО, 2011. 201 с.
7. Левина О.В. Соотношение веса и линейных размеров у некоторых пресноводных моллюсков // *Гидробиологический журнал*. 1972. Т. 8, № 3. С. 92–97.
8. Прозоровский В.Б. Использование метода наименьших квадратов для пробит-анализа кривых летальности // *Фармакология и токсикология*. 1962. Т. 25, № 1. С. 115–119.
9. Ашмарин И.П., Воробьев А.А. Статистические методы в микробиологических исследованиях. Л.: Государственное издательство медицинской литературы, 1962. 179 с.
10. Лакин Г.Ф. Биометрия. 4-е изд. М.: Высшая школа, 1979. 352 с.
11. Методы физиолого-биохимического исследования водорослей в гидробиологической практике / Под ред. А.В. Топачевского. К.: Наукова думка, 1975. 247 с.
12. Методические указания по установлению предельно допустимых концентраций вредных веществ для рыбохозяйственных водоемов и дополнительных характеристик, нужных для расчета ПДС. Л.: Изд-во Государственного научно-исследовательского института озерного и речного рыбного хозяйства им. Л.С. Берга, 1989. 47 с.

REFERENCES

1. Grishechkina L.D., Dolzhenko V.I., Kungurtseva O.V., Ishkova T.I., Zdrozhevskaya S.D. Razvitie issledovaniy po formirovaniyu sovremennogo assortimenta fungitsidov [Development of research on the formation of modern assortment of fungicides]. *Agrokhimiya [Agricultural Chemistry]*, 2020, no. 9, pp. 32–47. doi: 10.31857/S0002188120090070. (In Russian).
2. Golyshin N.M. Fungitsidy [Fungicides]. Moscow: Kolos [Spike], 1993, 163 p. (In Russian).
3. Belousov V.N., Bragina T.M., Bugaev L.A., Rekov Yu.I. Rybokhozyaystvennyye issledovaniya Rossii v Azovo-Chernomorskom basseyne (k 90-letiyu FGBNU «AzNIIRKH») [Fishery research of Russia in the Azov and Black Seas Basin (the 90th anniversary of the Federal State Budgetary Scientific Institution “Azov Sea Research Fisheries Institute”)]. *Vodnye bioresursy i sreda obitaniya [Aquatic Bioresources & Environment]*,

- 2018, vol. 1, no. 1, pp. 11–31. doi: 10.47921/2619-1024_2018_1_1_11. (In Russian).
4. Makarenko V.V., Dolzhenko V.I. Otsenka biologicheskoy effektivnosti novogo kombinirovannogo fungitsida protiv listovykh patogenov yarovoy pshenitsy [Evaluation of the biological effectiveness of a new combined fungicide against leaf pathogens of spring wheat]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Izvestiya Saint Petersburg State Agrarian University]*, 2020, no. 4 (61), pp. 42–49. doi: 10/24411/2078-1318-2020-14042. (In Russian).
 5. Prilozhenie N 1. Materialy firmy Bayer Krop Sayens AG [Appendix No. 1. Data on Bayer Crop-Science AG company]. In: *Prikaz Ministerstva sel'skogo khozyaystva Rossiyskoy Federatsii ot 10 iyulya 2007 g. N 357 "Poryadok gosudarstvennoy registratsii pestitsidov i agrokhimikatov"* [Order of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation dated July 10, 2007 No. 357 "Procedure of the state registration of pesticides and agrochemicals"]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/902053948> (accessed 08.12.2022). (In Russian).
 6. Metodicheskie ukazaniya po razrabotke normativov kachestva vody vodnykh ob"ektov rybokhozyaystvennogo znacheniya, v tom chisle normativov predel'no dopustimyykh kontsentratsiy vrednykh veshchestv v vodakh vodnykh ob"ektov rybokhozyaystvennogo znacheniya [Methodological guidelines on the development of regulations and standards on water quality of water bodies of fisheries importance, including standards for maximum allowable concentrations of hazardous substances in the waters of water bodies of fisheries importance]. S.A. Sokolova (Ed.). Moscow: VNIRO Publ., 2011, 201 p. (In Russian).
 7. Levina O.V. Sootnoshenie vesa i lineynykh razmerov u nekotorykh presnovodnykh mollyuskov [Relationship between weight and linear dimensions in some freshwater molluscs]. *Gidrobiologicheskiy zhurnal [Hydrobiological Journal]*, 1972, vol. 8, no. 3, pp. 92–97. (In Russian).
 8. Prozorovskiy V.B. Ispol'zovanie metoda naimen'shikh kvadratov dlya probit-analiza krivykh letal'nosti [Using the method of least squares for probit-analysis of mortality curves]. *Farmakologiya i toksikologiya [Pharmacology and Toxicology]*, 1962, vol. 25, no. 1, pp. 115–119. (In Russian).
 9. Ashmarin I.P., Vorobyev A.A. Statisticheskie metody v mikrobiologicheskikh issledovaniyakh [Statistical methods in microbiological studies]. Leningrad: Gosudarstvennoe izdatel'stvo meditsinskoy literatury [State Publishing House of Medical Literature], 1962, 179 p. (In Russian).
 10. Lakin G.F. Biometriya. 4-e izd. [Biometrics. 4th ed.]. Moscow: Vysshaya shkola [Higher School], 1979, 352 p. (In Russian).
 11. Metody fiziologo-biokhimicheskogo issledovaniya vodorosley v gidrobiologicheskoy praktike [Methods of physiological and biochemical investigation of algae in hydrobiology]. A.V. Topachevskiy (Ed.). Kiev: Naukova dumka [Scientific Thought], 1975, 247 p. (In Russian).
 12. Metodicheskie ukazaniya po ustanovleniyu predel'no dopustimyykh kontsentratsiy vrednykh veshchestv dlya rybokhozyaystvennykh vodoemov i dopolnitel'nykh kharakteristik, nuzhnykh dlya rascheta PDS [Methodological guidelines on establishing of the maximum permissible concentrations of hazardous substances for the water bodies of fisheries importance and additional characteristics required for the estimation of maximum permissible discharge]. Leningrad: Gosudarstvennyy nauchno-issledovatel'skiy institut ozernogo i rechnogo rybnogo khozyaystva im. L.S. Berga [Berg State Research Institute on Lake and River Fisheries] Publ., 1989, 47 p. (In Russian).

Поступила 27.09.2022

Принята к печати 18.01.2023