

УДК 574.64 (595.324:632.954) (005.962)

Э. П. Щербань, В. И. Лоханская

**ВОЗДЕЙСТВИЕ НИКОСУЛЬФУРОН-СОДЕРЖАЩЕГО
ПРЕПАРАТА ГЕРБИЦИДНОГО ДЕЙСТВИЯ НА
*CERIODAPHNIA AFFINIS***

Исследовали действие гербицида Консультант, КС на развитие и размножение *Ceriodaphnia affinis* в хроническом опыте. При концентрации 0,5 мг д. в./дм³ прекращение воспроизводства потомства наблюдалось во II поколении. Статистически достоверное снижение плодовитости при концентрации 0,25 мг д. в./дм³ составляло 59%, при 1 — 40, при 0,01—0,001 — 23,4—17,3%. Концентрация гербицида 0,0001 мг д. в./дм³ оказалась недействующей для данного тест-объекта.

Ключевые слова: *Ceriodaphnia affinis*, гербицид, никосульфурон, препаративная форма, концентрат суспензии (КС), токсичность, плодовитость.

В настоящее время в Украине зарегистрировано более 30 марок гербицидов, содержащих никосульфурон в качестве действующего вещества (д. в.) различных производителей и с различными названиями (гербициды-синонимы). Они различаются, главным образом, концентрацией действующего вещества и содержанием вспомогательных компонентов (растворители, эмульгаторы, антивспениватели, красители, ПАВ, глины, клеи и т. д.)¹.

Целью данного исследования была оценка токсичности гербицида Консультант, КС методом биотестирования на пресноводном тест-объекте *Ceriodaphnia affinis*. Действующим веществом гербицида является никосульфурон в концентрации 40 г/дм³, препаративная форма — концентрат суспензии (КС). Гербицид относится к группе сульфонилмочевинных препаратов.

Материал и методика исследований. Гербицид Консультант, КС — вязкая жидкость белого цвета с резким запахом. Растворимость никосульфурона в воде зависит от pH среды. При температуре 25°C она составляет 3,6 г/дм³ (pH 5), 12,2 г/дм³ (pH 7), 39,2 г/дм³ (pH 9). Коэффициент распределения в системе октанол-вода (K_{OW}) также изменяется в зависимости от

¹ Компоненты препаратов, за исключением действующего вещества, являются секретом производителей.

© Э. П. Щербань, В. И. Лоханская, 2016

смещения рН среды относительно нейтральной реакции, при 25°C: $K_{OW} \log P = -0,36$ (рН 5), $-1,8$ (рН 7), -2 (рН 9) [2].

В качестве тест-объекта использовали ветвистоусого рачка-фильтратора *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg. Действие препарата оценивали по влиянию на биопараметры, характеризующие основные жизненно важные функции рачков: смертность, продолжительность эмбрионального и постэмбрионального развития, количество пометов от одной самки за период исследования, количество молоди в одном помете, качество потомства. Интегральным показателем являлось суммарное количество потомков, произведенное четырьмя поколениями самок.

Опыты проведены с использованием водопроводной воды после ее двухнедельного отстаивания и принудительной аэрации (рН 7,8, содержание кислорода 8,9 мг/дм³, жесткость 5,04 мг-экв/дм³) при температуре $23 \pm 0,5^\circ\text{C}$. Влияние гербицида на тест-объект исследовали при концентрациях препарата 0,5, 0,25, 0,1, 0,01, 0,001, 0,0001 мг д. в./дм³ в десятикратной повторности. Особи содержались в отдельных сосудах с 50 см³ раствора препарата. Наблюдения за каждым поколением рачков проводили на протяжении 10 сут. Достоверность различий между средними значениями показателей в опыте и контроле устанавливали с помощью критерия Стьюдента [1].

Результаты исследований и их обсуждение

При действии гербицида Консультант, КС в концентрации 0,5 мг д. в./дм³ постэмбриональное развитие рачков *C. affinis* I поколения проходило на 35% дольше, чем в контроле (табл. 1). Эмбриональное развитие яиц первой кладки у 80% самок проходило без отклонений, и лишь в кладках у 20% самок были отмечены нарушения. У новорожденной молоди наблюдалась деформация панциря, его недоразвитие или недоразвитие щетинок на плавательных антеннах, а также у многих рачков была нарушена двигательная активность. Такая молодежь погибала в течение 2—24 ч. В последующих кладках число нарушений возрастало и было характерно уже для всех пометов.

Развитие яиц в выводковых камерах проходило не одновременно, вследствие чего в них находились как яйца, прекратившие развитие, так и полностью сформированные эмбрионы, у которых отмечалось разложение абдоминальной части тела. Некоторые самки абортировали яйца на II стадии развития, эмбрионы — на IV либо более поздних (VII—VIII) стадиях развития. Реже наблюдалось сбрасывание самками недоразвитых эмбрионов вместе с панцирем во время линьки (стадии эмбриогенеза приводятся по [3]).

В течение 10 сут от 10 самок I поколения было получено 256 ос. потомства II поколения, однако количество выжившей молоди составляло лишь 37,5%.

Следует также отметить, что длина тела новорожденного потомства II поколения была значительно меньше, чем в контроле (соответственно 0,15—0,20 и 0,3 мм). Дальнейшие наблюдения показали, что после первой ли-

**1. Основные показатели плодовитости *C. affinis* в опытах с гербицидом
Консультант, КС за 10 сут при концентрации 0,5 мг д. в./дм³**

Показатели	Контроль	Опыт	Δ	% от контроля	P, %
Период созревания, сут	4,0 ± 0,0	5,4 ± 0,3	1,4	135,0	> 98
Количество пометов	4,2 ± 0,2	3,8 ± 0,3	0,4	90,5	< 95
Количество молоди в одном помете ♀, ос.	10,71 ± 1,19	6,74* ± 0,71	3,97	62,9	> 99
Количество потомков от 1 ♀ за 10 сут, ос.	45,0 ± 3,8	25,6** ± 3,5	19,4	43,1	> 99,9

* Количество живой молоди составляло 2,53 ос. (23,6% от контроля).

** Количество выжившего потомства составляло 9,6 ос. на 1 ♀ (21,3% от контроля).

ньки рачки практически не увеличивались в размерах, и на 4—5-е сут длина тела составляла всего 0,30—0,35 мм, что свидетельствует об отрицательном воздействии гербицида на общий обмен веществ у рачков. Потомство самок I поколения оказалось нежизнеспособным, продолжительность жизни молоди 1—4-го пометов колебалась от 1 до 5 сут. Чаще всего рачки погибали на 2—3-и сутки, так и не достигнув половой зрелости и не произведя потомства.

Таким образом, воздействие гербицида в концентрации 0,5 мг д. в./дм³ сказывалось, главным образом, на репродуктивной функции самок и жизнеспособности потомства. При этой концентрации препарат проявлял также эмбриотоксическое действие. Прекращение воспроизводства потомства наблюдалось на уровне II поколения.

Значительное угнетение жизнедеятельности цериодафний наблюдалось и при действии гербицида в концентрации 0,25 мг д. в./дм³. Уже в I поколении было отмечено увеличение периода созревания молоди на 35% по сравнению с контролем (табл. 2). В последующих II и III поколениях этот процесс также длился дольше, чем в контроле (соответственно 58 и 68%). Такая задержка созревания рачков *C. affinis* привела к уменьшению числа поколений по сравнению с контролем за одинаковый период наблюдений. Статистически достоверная задержка в созревании рачков наблюдалась и под воздействием концентрации 0,1 мг д. в./дм³ в I, III, и IV поколениях.

Анализ данных таблицы 2 показывает, что продолжительность созревания молоди в первом поколении рачков *C. affinis* увеличивалось под действием гербицида в диапазоне концентраций 0,25—0,001 мг д. в./дм³ (табл. 2). Во II поколении в диапазоне концентраций 0,0001—0,1 мг д. в./дм³ созревание молоди проходило либо быстрее, чем в контроле, либо от него не отличалось. Среднее значение этого показателя для пяти поколений были на уровне контроля лишь при концентрациях 0,001 и 0,0001 мг д. в./дм³.

Особое внимание следует уделить такому показателю, как количество пометов, данное самкой за определенный отрезок времени. Он зависит,

2. Продолжительность созревания молодежи *C. affinis* при действии гербицида Консультант, КС

Концентрация, мг д. в./дм ³	Поколения				Среднее	P, %
	I	II	III	IV		
Контроль	$4,0 \pm 0,0$	$5,0 \pm 0,0$	$5,0 \pm 0,0$	$4,2 \pm 0,2$	$4,6 \pm 0,1$	—
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	
0,0001	$4,0 \pm 0,0$	$5,0 \pm 0,0$	$5,2 \pm 0,2$	$4,2 \pm 0,2$	$4,6 \pm 0,1$	< 95
	100,0	100,0	104,0	100,0	101,1	
0,001	$5,0 \pm 0,0$	$4,2 \pm 0,2$	$5,2 \pm 0,2$	$5,0 \pm 0,0$	$4,9 \pm 0,2$	> 95
	125,0 *	84,0 *	104,0	119,0 *	106,6	
0,01	$5,2 \pm 0,2$	$4,8 \pm 0,2$	$5,6 \pm 0,3$	$4,8 \pm 0,2$	$5,1 \pm 0,1$	> 95
	130,0 *	96,0	112,0 *	114,3	112,1	
0,1	$5,5 \pm 0,2$	$5,2 \pm 0,2$	$6,2 \pm 0,2$	$5,6 \pm 0,3$	$5,6 \pm 0,1$	> 99
	137,5 *	104,0	124,0 *	133,3 *	115,6 *	
0,25	$5,4 \pm 0,3$	$7,9 \pm 0,2$	$8,4 \pm 0,4$	—	$7,7 \pm 0,3$	> 99,9
	135,0 *	158,0 *	168,0 *		159,1 *	

П р и м е ч а н и е. Здесь и в табл. 3—4: над чертой — количественные показатели, под чертой — доля от контроля, %. * Различия между средними значениями опыта и контроля статистически достоверны.

главным образом, от продолжительности периода ее полового созревания. Немаловажную роль играет при этом и продолжительность эмбрионального развития яиц в выводковых камерах самок, а также интервала между откладыванием в нее яиц. Как было отмечено, при концентрации 0,1 мг д. в./дм³ в трех поколениях наблюдалось увеличение продолжительности созревания рачков (см. табл. 2). Тем не менее, снижение количества пометов по сравнению с контролем было несущественным, так как некоторые самки давали пометы ежедневно, а не через 1—2 сут, как это происходит обычно.

Такое явление было отмечено при действии концентрации 0,25 мг д. в./дм³ у самок I поколения, задержка созревания которых составляла 35% по отношению к контролю, но количество пометов при этом не отличалось. У этих самок наблюдалась стимуляция процесса созревания гонад и ускорялось эмбриональное развитие яиц. У некоторых из них была отмечена асинхронность развития гонад и развития эмбрионов в выводковых камерах, что приводило, в конечном итоге, к абортированию эмбрионов и их смертности. Во II и III поколениях при этой концентрации количество пометов статистически достоверно снижалось и составляло соответственно 55,3% и 39,5% этого показателя в контроле за счет нарушений регулярности и увеличения интервала между откладыванием яиц в выводковую камеру.

Одними из основных показателей биологической продуктивности вида является количество и качество родившейся молодежи, поскольку скорость размножения и появление полноценного потомства является залогом со-

3. Среднее количество молоди в одном помете самки *S. affinis* в ряду поколений в опытах с гербицидом Консультант, КС

Концентрация, мг д. в./дм ³	Поколения				Среднее	P, %
	I	II	III	IV		
Контроль	10,71 ± 1,19 100,0	12,47 ± 1,37 100,0	11,33 ± 1,16 100,0	9,05 ± 1,18 100,0	10,88 ± 0,60 100,0	—
0,0001	10,19 ± 1,09 95,1	11,30 ± 1,22 90,6	9,85 ± 1,10 86,9	10,53 ± 1,32 116,4	10,46 ± 0,57 96,1	< 95
0,001	9,60 ± 1,19 89,6	10,89 ± 1,29 87,3	9,65 ± 1,22 85,2	7,87 ± 1,12 87,0	9,59 ± 0,60 88,1	< 95
0,01	9,00 ± 1,14 84,0	9,45 ± 1,13 87,2	6,81 ± 0,81 60,1*	9,65 ± 1,23 106,6	8,91 ± 0,55 81,9	> 95
0,1	6,86 ± 0,72 64,1*	8,78 ± 1,09 80,4*	6,80 ± 0,76 60,0*	6,13 ± 0,90 67,7*	7,14 ± 0,44 67,7	> 99
0,25	8,55 ± 0,83 79,8	4,57 ± 0,47 36,7*	3,36 ± 0,20 29,7*	—	5,32 ± 0,49 50,4	> 99

хранности вида. Наиболее существенное уменьшение количества молоди в одном помете наблюдалось при действии гербицида в концентрации 0,25 мг д. в./дм³ (табл. 3). У самок I, II и III поколений этот показатель достоверно снижался соответственно на 20,2, 63,4 и 70,3%. Следует обратить внимание на то, что угнетающее действие гербицида на особей II и III поколений было в 3—3,5 раза сильнее, чем на особей первого. В среднем для трех поколений лабораторной популяции количество молоди в одном помете составляло 5,32 ос. (50,4% от контроля). Достоверное снижение данного показателя на 30—40% наблюдалось на протяжении I—IV поколений и при концентрации 0,1 мг д. в./дм³.

При концентрации 0,01 мг д. в./дм³ статистически достоверное отклонение от контроля (40%) было отмечено лишь в III поколении самок. В среднем для пяти поколений количество молоди в одном помете было ниже контроля всего на 18,1%, при $P > 95\%$ ($n = 148-1$). При концентрации гербицида 0,001—0,0001 мг д. в./дм³ снижение данного показателя было незначительным и составляло 3,86—11,86%.

Суммарное количество потомков в ряду поко-

4. Среднее количество потомков от одной самки *C. affinis* в ряду поколений в опытах с гербицидом Консультант, КС

Концентрация, мг д. в./дм ³	Поколения				Среднее	P, %
	I	II	III	IV		
Контроль	45,0 ± 3,8	47,4 ± 5,3	47,6 ± 4,8	36,2 ± 1,9	44,1 ± 2,1	—
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	
0,0001	42,8 ± 4,4	45,2 ± 1,6	39,4 ± 5,9	40,0 ± 2,5	41,9 ± 1,8	<95
	95,1	95,4	82,8	110,5	95,0	
0,001	38,4 ± 2,7	41,4 ± 4,5	38,6 ± 7,1	23,6 ± 1,34	35,5 ± 2,5	>95
	85,3	87,3	81,1	65,2 *	80,6 *	
0,01	32,4 ± 4,2	39,0 ± 1,1	21,8 ± 1,1	38,6 ± 2,7	33,0 ± 2,0	>99
	72,0 * *	82,3	45,8 *	106,6	74,8 *	
0,1	24,7 ± 5,1	31,6 ± 3,7	20,4 ± 1,4	18,4 ± 0,88	24,0 ± 2,2	>99
	54,9 *	66,7 *	42,9 *	50,8 *	59,8 *	
0,25	34,2 ± 3,1	9,6 ± 1,5	5,6 ± 0,5	—	16,5 ± 2,0	>99
	76,0 * *	20,3 *	11,8 *		41,1 *	

** Различия между средними величинами опыта и контроля статистически достоверны на уровне $90 < P < 95\%$.

лений, произведенное самками за одинаковый период наблюдений, является интегральным показателем при оценке воздействия токсикантов на *C. affinis*. На этот показатель влияют даже незначительные отклонения величин основных биологических параметров (табл. 4).

Данные, приведенные в таблице 4, показывают, что на протяжении первых трех поколений наблюдалась обратная зависимость между суммарным количеством потомков и концентрацией гербицида. В IV поколении самок отмечалось резкое снижение значения этого показателя в контроле и при концентрации 0,001 мг д. в./дм³, по сравнению с предыдущими поколениями. Суммарное количество потомков находилось на уровне контрольных значений лишь при наименьшей концентрации гербицида — 0,0001 мг д. в./дм³. При действии концентрации 0,25 мг д. в./дм³ отмечено самое низкое суммарное количество потомков, что нашло свое отображение в статистически достоверном снижении величины данного показателя с каждым последующим поколением. Нарушения в развитии яиц и эмбрионов происходили в каждом поколении, и в среднем их доля для трех поколений составляла 18,6%. Аналогичные отклонения наблюдались и при концентрациях 0,1 и 0,01 мг д. в./дм³. При этом при концентрации 0,1 мг д. в./дм³ доля нарушений в первом, втором и последующих поколениях составила соответственно 20,2, 2,0 и 0%, а при 0,01 мг д. в./дм³ препарата они отмечены лишь в первом поколении самок (19,8%). При действии гербицида в концентрации 0,001—0,0001 мг д. в./дм³ отклонений в развитии яиц и эмбрионов на протяжении всего периода исследований не отмечено. Таким образом, при кон-

центрации 0,01—0,5 мг д. в./дм³ гербициду было свойственно эмбриотоксическое действие, однако оно ослабевало по мере снижения концентрации.

Важно отметить, что характерной особенностью действия препарата Консультант, КС является широкая норма реакции тест-объекта, проявляющаяся в большом диапазоне индивидуальных различий при ответе на воздействие одинаковых концентраций препарата. Так, у некоторых самок отмечено регулярное появление кладок, при этом может наблюдаться асинхронность в развитии яиц и гонад. У других пометы следуют через разные промежутки времени, и после 1—2 пометов они переходят в постфертильную стадию развития. Некоторые самки дают жизнеспособное потомство на протяжении всего периода наблюдений, а другие производят слабое потомство либо неуклонно abortируют яйца и эмбрионы. Проявляются также и различия в чувствительности молоди, вышедшей из одного помета. По существу, наблюдаемые реакции тест-объекта на действие изучаемого препарата являются проявлением генотипической разнокачественности особей, призванной обеспечить сохранность вида.

Как показали исследования, суммарное количество потомков при действии концентрации 0,001, 0,01 мг д. в./дм³ довольно высокое, хотя и ниже контрольных показателей. На наш взгляд, стабилизирующий и движущий отборы могут обеспечить в этих условиях приспособление популяции, о чем свидетельствует нормальное развитие потомства каждого помета, вплоть до наступления половозрелости, закладки яиц и рождения жизнеспособной молоди. Таким образом, эти концентрации можно характеризовать как допустимые.

Следует также отметить, что высокая токсичность гербицида Консультант, КС для данного тест-объекта при его низких концентрациях обусловлена, очевидно, не действующим веществом, а влиянием иных добавок, входящих в состав препаративной формы. Подтверждением этому послужили наши собственные исследования некоторых никосульфурон-содержащих гербицидов с различными препаративными формами, проявляющих разную степень токсичности для ветвистоусых рачков. Так, LC₅₀⁴⁸ гербицида с препаративной формой «водорастворимые гранулы» составляла для *C. affinis* 157,6 мг д. в./дм³, в то время как LC₅₀ гербицида с препаративной формой «концентрат суспензии» — 23,01 мг д. в./дм³. К сожалению, состав препаративной формы гербицида Консультант, КС, за исключением действующего вещества, неизвестен. Однако в последнее время некоторые производители указывают основные компоненты препаративной формы гербицидов. Так, гербицид Никит 240, КС с содержанием никосульфурона 240 г/дм³ необходимо применять вместе с ПАВ Экспедитор (содержит 75% смеси высших жирных кислот растительного масла). Гербицид Милафорд (КС д. в. — никосульфурон, 40 г/дм³) содержит экстракты растительных масел и не требует добавок.

Как известно, степень экологического риска при применении гербицидов существенно зависит от физико-химических свойств действующих веществ. В научной литературе достаточно хорошо разработаны подходы, раскрывающие взаимосвязь между величиной K_{OW} и биоконцентрацией веще-

ства у гидробионтов. Для никосульфурона при pH 7 величина $K_{OW} \log P$ составляет — 1,8 [2], что свидетельствует о малой вероятности его аккумуляции. Согласно международной базе данных свойств пестицидов (Pesticide Properties Database), никосульфурон характеризуется низкой способностью к биологическому накоплению [4]. Таким образом, несмотря на сравнительно высокую токсичность для *C. affinis*, большой опасности гербицид Консультант, КС для ракообразных все же не представляет, с учетом низких норм его расхода (20 г/га) при условии соблюдения регламента применения.

Заключение

Гербицид Консультант, КС оказывает общетоксическое и эмбриотоксическое действие на *C. affinis*, степень тяжести которого зависит от концентрации. Наибольшая токсичность для рачков проявлялась при 0,5 мг д. в./дм³ гербицида. Отрицательное воздействие сказывалось, главным образом, на репродуктивной функции самок и жизнеспособности их потомства. Воспроизводство потомства прекращалось на уровне II поколения. При этой концентрации гербициду свойственно эмбриотоксическое действие.

В значительной мере отрицательное воздействие гербицида сказывалось на жизнедеятельности *C. affinis* также при концентрации 0,25 мг д. в./дм³. Постэмбриональное развитие рачков задерживалось в среднем на 59% относительно контроля. Это приводило к снижению количества пометов у самок на 32%. Количество молодежи в одном помете самки было на 50% ниже контрольных показателей. Эмбриотоксический эффект проявлялся во всех поколениях. В результате этого продуктивность самок статистически достоверно снижалась на 59%.

Аналогичные изменения показателей наблюдались и при концентрации 0,1 мг д. в./дм³, но в несколько меньшей степени. Суммарное количество потомков статистически достоверно снижалось на 40% по сравнению с контрольными показателями. Эмбриотоксический эффект проявлялся, главным образом, в I поколении самок.

При действии гербицида в концентрации 0,001 и 0,01 мг д. в./дм³ суммарное количество потомков было достоверно ниже контроля соответственно на 23,4 и 17,3%, что было связано с несколько меньшим количеством молодежи в пометах самок I—III поколений. Вместе с тем, рожденное этими поколениями самок потомство нормально развивалось, становилось половозрелым и, в свою очередь, давало жизнеспособное потомство. Таким образом, эти концентрации гербицида можно характеризовать как допустимые для рачков. Высокая токсичность низких концентраций гербицида Консультант, КС для тест-объекта обусловлена, очевидно, вспомогательными компонентами его препаративной формы.

**

Гербицид Консультант, КС (діюча речовина — нікосульфурон, 40 г/дм³) проявляє високу токсичність для Ceriodaphnia affinis у хронічних дослідях. При концентрації 0,5 мг д. р./дм³ гербициду відтворення потомства призупинялось на другому поколінні, а кількість народжуваного потомства становила всього 21,3% від контролю. Статистично достовірне зниження кількості потомства спостерігалось і при концентрації 0,25, 0,1, 0,01 та 0,001 мг д. р./дм³. Гербицид чинить ембріотоксичну

дію. Токсичність препарату Консультант, КС для рачків за дії низьких концентрацій зумовлена властивостями допоміжних компонентів препаративної форми.

**

Herbicide Consultant, SC (a.i. nicosulfuron 40 g/L) shows high toxicity to Ceriodaphnia affinis in chronic experiments. At a concentration of 0.5 mg a.i./L reproduction stopped on the second generation, and the number of offspring born was only 21.25% of the control. A statistically significant decrease in offspring number was observed at concentrations of 0.25, 0.1, 0.01 and 0.001 mg a.i./L. Herbicide showed embryotoxic effect. The high toxicity of low herbicide concentrations to crustaceans is caused by formulation composition.

**

1. Бельский М.А. Элементы количественной оценки фармакологического эффекта. — Л.: Медицина, 1963. — 151 с.
2. *A World Compendium // The Pesticide Manual / Ed. by CDS Tomlin. British Crop Protection Council. — 2006. — 1349 p.*
3. *Green J. Growth, size and reproduction in Daphnia (Crustacea: Cladocera) // Proc. of the Zool. Soc. of London. — 1956. — Vol. 126, part 2. — P. 173—203.*
4. *Pesticide Properties Data Base <http://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/Reports/484.htm>*

Национальный университет биоресурсов и
природопользования Украины, Киев

Поступила 16.06.15