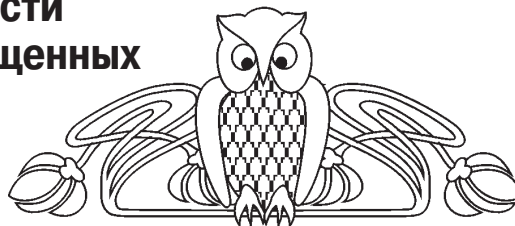




УДК 57.084.1:574.64

## Оценка рострегулирующей активности и экотоксичности диарилидензамещенных циклогексанонов

С. М. Рогачева, А. С. Жутов, Н. А. Шилова,  
И. Н. Клочкова, С. В. Борисова



Рогачева Светлана Михайловна, доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой естественнонаучных дисциплин, Саратовский медицинский университет Реавиз; профессор кафедры «Природная и техносферная безопасность», Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю. А., smro13@yandex.ru

Жутов Александр Сергеевич, кандидат биологических наук, доцент кафедры «Природная и техносферная безопасность», Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю. А., alexander.zhutov@gmail.com

Шилова Наталья Александровна, кандидат биологических наук, доцент кафедры мобилизационной подготовки здравоохранения и медицины катастроф, Саратовский государственный медицинский университет имени В. И. Разумовского, shilowa.natalya@yandex.ru

Клочкова Ираида Николаевна, доктор химических наук, профессор, профессор кафедры органической и биоорганической химии, Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, v-klochkov1@yandex.ru

Борисова Светлана Васильевна, аспирант кафедры органической и биоорганической химии, Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, chukaikinasv@gmail.com

Проводится поиск новых биологически активных веществ с целью применения их в качестве гербицидов и регуляторов роста растений. В экспериментах использованы два соединения – 2-бензилиден-6-(*m*-нитробензилиден)циклогексанон (1) и 2-бензилиден-6-(*p*-фторбензилиден)циклогексанон (2), сходных по строению, но содержащих в бензольном кольце различные функциональные группы:  $-NO_2$ ,  $-F$ . Изучено их дозозависимое действие на прорастание и рост пшеницы *Triticum aestivum* и сурепки *Barbarea vulgaris*. Установлено, что оба вещества в концентрации 1 г/л полностью подавляют прорастание семян, в концентрации 0.1 г/л ингибируют рост проростков обоих растений. В концентрационном диапазоне 0.0001–0.01 г/л соединения проявляют рострегулирующее действие в отношении выбранных растительных культур. Соединение 1 в концентрации 0.001 г/л проявляет значительное стимулирующее действие на прорастание семян (15 %) и рост проростков пшеницы (70–100%) и в меньшей степени на рост сурепки; фторсодержащее соединение 2 в той же концентрации ингибирует рост стеблей проростков пшеницы и в первые дни подавляет рост корней сурепки. Эко-токсикологические исследования показали, что фторсодержащее соединение является более токсичным, чем соединение, содержащее нитрогруппу. По результатам 2 биотестов (*Scenedesmus*

*quadricauda* (Turp.) Vreb., *Daphnia magna* Str.) соединение 2 в концентрации 0.01 г/л проявляет острую токсичность. Оба соединения в концентрации менее 0.001 г/л не являются токсичными, т.е. экологически безопасны и могут использоваться в качестве регуляторов роста растений.

**Ключевые слова:** диарилидензамещенные циклогексаноны, рострегулирующая активность, экотоксичность, биотестирование.

Поступила в редакцию: 17.01.2020 / Принята: 10.02.2020 /  
Опубликована: 01.06.2020

Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution License (CC-BY 4.0)

DOI: <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2020-20-2-137-145>

### Введение

В течение ряда лет проводятся исследования биологической активности соединений, синтезируемых на кафедре органической и биоорганической химии Саратовского национального исследовательского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского (СГУ) [1–4]. Научный и практический интерес к органическим соединениям различных классов обусловлен поиском новых биологически активных веществ (БАВ) с целью применения их в качестве пестицидов, в частности, гербицидов и регуляторов роста растений.

Исследование биологической активности потенциальных пестицидов должно сопровождаться оценкой их экотоксичности, которую проводят с помощью биотестирования [5]. В качестве тест-объектов используются, как правило, дафнии, микроводоросли, бактерии, инфузории, черви. Наиболее востребованными в экотоксикологии являются методы биотестирования с использованием микроводорослей *Scenedesmus quadricauda* (Turp.) Vreb. и рачков *Daphnia magna* Str. [6, 7].

В настоящем исследовании для оценки рострегулирующей активности нами были выбраны два соединения – диарилидензамещенные циклогексаноны, сходные по строению, но содержащие различные функциональные группы ( $NO_2$  и  $F$ ) в одном бензольном кольце. Изучаемые соединения являются исходными в синтезе гетероциклических соединений, проявивших себя в качестве БАВ [1], их получают из доступного сырья в результате несложных синтезов, кроме того, они содержат фрагмент природных моно-

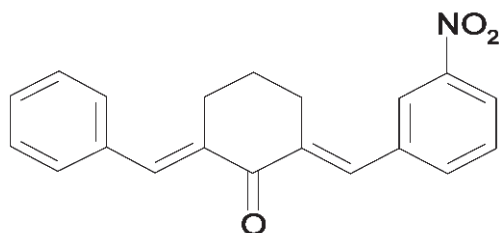


терпеноидов – ментанона и пулегона [8]. Химическое строение данных веществ предполагает их биоразложение в природной среде, что является важным условием применения пестицидов.

Целью данной работы явилось изучение рострегулирующей активности и экотоксичности диарилидензамещенных циклогексанонов, выявление различий биологической активности соединений в зависимости от характера функциональных групп.

Соединение 1

2-бензилиден-6-(*m*-нитробензилиден)циклогексанон



Навески исследуемых веществ (0.01 г) растворяли в 1 мл диметилсульфоксида (ДМСО), доводили до 10 мл дистиллированной водой при интенсивном перемешивании в течение 0.5–1 ч. Из полученных исходных растворов с концентрацией 1 г/л методом последовательного разведения готовили исследуемые растворы с концентрацией 0.1; 0.01; 0.001; 0.0001 г/л.

Определение рострегулирующего действия данных соединений проводили на семенах пшеницы (*Triticum aestivum* L.) сорта Яровая и сурепки обыкновенной (*Barbarea vulgaris* R.Br.). Семена исследуемых растений (10 шт.) помещали в чашки Петри на фильтровальную бумагу и заливали растворами соединений 1 и 2 в объеме 10 мл. В качестве контроля служил 1 % водный раствор ДМСО. Подготовленные образцы инкубировали при естественном освещении и температуре 26–30° С. На 1-е сутки эксперимента определяли всхожесть семян, на 3-е, 5-е и 7-е сутки – длину проростков и корней [1]. Эксперименты проводили в трех повторностях.

Определение экотоксичности соединений 1 и 2 проводили по изменению интенсивности флуоресценции хлорофилла микроводорослей *Scenedesmus quadricauda* (Turp.) Vreb., по выживаемости и трофической активности дафний *Daphnia magna* Str. согласно аттестованным методикам [7, 9, 10].

Культуру *S. quadricauda* выращивали на среде Прата в климатостате при искусственном

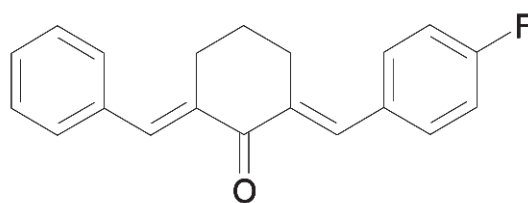
### Экспериментальная часть

Исследования проводились на кафедре «Природная и техносферная безопасность» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю. А.

В качестве объектов исследования взяты следующие диарилидензамещенные циклогексаноны, синтезированные на кафедре органической и биоорганической химии СГУ:

Соединение 2

2-бензилиден-6-(*p*-фторбензилиден)циклогексанон



освещении интенсивностью 3000–10000 лк в течение 24 ч при температуре 24±1° С [9].

*D. magna* культивировали в климатостате Р2 при искусственном освещении интенсивностью 500–1000 лк в течение 16-часового дневного периода при температуре 24±1° С. Кормление осуществляли один раз в сутки ежедневно, добавляя суспензию микроводорослей [10].

Согласно методике [9] в химические стаканы наливали по 25 мл исследуемых растворов. Контролем служила дистиллированная вода. В каждый стакан пипеткой стерильно вносили по 0.025 мл концентрированных питательных растворов и 0.25 мл суспензии микроводорослей *S. quadricauda*. Содержимое стаканов перемешивали, закрывали алюминиевой фольгой и помещали в климатостат. После экспозиции в течение 72 ч на спектрофлуориметре «Флюорат-02-Панорама» измеряли интенсивность флуоресценции хлорофилла водорослей при  $\lambda_{\text{возб}} = 400$  нм,  $\lambda_{\text{фл}} = 685$  нм. Затем рассчитывали относительное изменение параметра ( $I$ ), в %:

$$I = \frac{I_o}{I_k} \cdot 100, \quad (1)$$

где  $I_o, I_k$  – средние значения интенсивности флуоресценции в опыте и контроле соответственно.

Определение токсичности исследуемых растворов по смертности *D. magna* проводили в течение 96 ч по методике [10]. В химический стакан наливали по 100 мл исследуемых растворов



и помещали по 10 штук одновозрастных рачков. Стаканчики закрывали алюминиевой фольгой и помещали в климатостат. Контролем служила отстоянная водопроводная вода с рН 7.0–7.5. Дафний кормили ежедневно, при этом растворы не меняли. Учет смертности дафний в опыте и контроле в 1-й день проводили через каждый час, а в последующие три дня 2 раза в сутки. На 4-й день эксперимента определяли количество выживших дафний в растворах и рассчитывали процент погибших особей в тестируемой воде ( $A$ , %) по сравнению с контролем:

$$A = \frac{X_k - X_o}{X_k} \cdot 100, \quad (2)$$

где  $X_k$ ,  $X_o$  – количество выживших дафний в контроле и тестируемой воде соответственно.

Трофическую активность *D. magna* определяли по изменению интенсивности флуоресценции хлорофилла микроводорослей, используемых в качестве корма [7]. В химические стаканы наливали по 50 мл исследуемых растворов и сажали по 10 дафний в возрасте 6–24 ч без добавления корма. Рачков выдерживали в среде в течение суток при температуре 20° С и 12-часовом световом дне. Через сутки измеряли фоновую флуоресценцию каждого раствора на спектрофлуориметре «Флюорат-02-Панорама».

Затем в каждый образец добавляли суспензию водоросли и измеряли интенсивность флуоресценции сразу после их добавления и через 1 ч. Расчет трофической активности ( $F$ ) *D. magna* проводили по формуле:

$$F = \frac{(I_t / I_o - I_\phi) V}{nt}, \quad (3)$$

где  $V$  – общий объем пробы, мл;  $n$  – количество дафний в пробе, шт.;  $t$  – время опыта, ч;  $I_o$ ,  $I_t$  – интенсивность флуоресценции в начальный и конечный моменты опыта соответственно, отн. ед.;  $I_\phi$  – фоновая интенсивность флуоресценции, отн. ед.;  $F$  – показатель трофической активности рачков – объем воды, профильтрованный одной дафнией в единицу времени, мл/даф.ч.

Статистическую обработку результатов осуществляли с использованием  $t$ -критерия Стьюдента, расчеты выполняли с применением пакета Microsoft Office Excel.

### Результаты и их обсуждение

Изучено действие растворов соединений 1 и 2 в концентрационном диапазоне 0.0001–1.0 г/л на всхожесть семян культурного и сорного растений – пшеницы сорта Яровая и сурепки обыкновенной. Результаты экспериментов представлены на рис. 1.

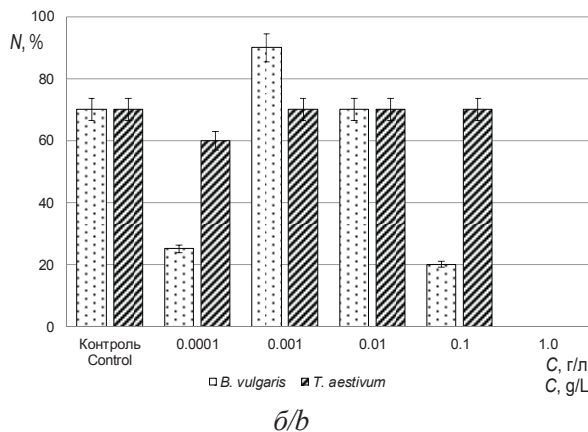
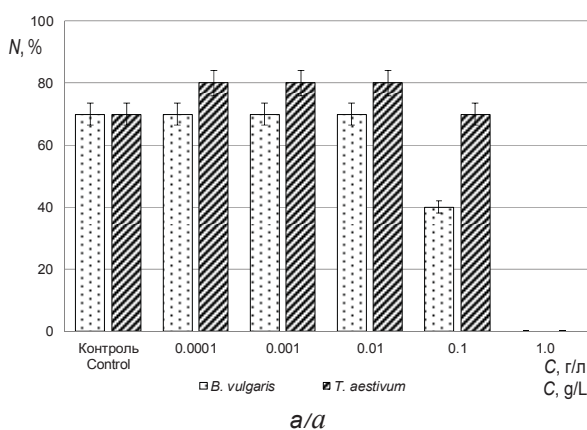


Рис. 1. Всхожесть семян ( $N$ , %) пшеницы (*T. aestivum*) и сурепки (*B. vulgaris*) в зависимости от концентрации ( $C$ , г/л) соединений 1 (а) и 2 (б) в среде инкубирования

Fig. 1. The germination of seeds ( $N$ , %) of *T. aestivum* and *B. vulgaris* depending on the concentration ( $C$ , g/L) of the compounds 1 (a) and 2 (b) in the incubation medium

На основании данных (см. рис. 1, а) можно заключить, что присутствие соединения 1 в среде в концентрациях 0.0001, 0.001 и 0.01 г/л увеличивает всхожесть семян пшеницы на 15% по сравнению с контролем. Всхожесть семян сурепки в этих же условиях наблюдается на

уровне контроля или ниже его. При содержании вещества 0.1 г/л наблюдается угнетение прорастания семян сурепки на 50%. В концентрации 1 г/л указанное соединение полностью угнетает процессы прорастания семян исследуемых культур.



Соединение 2 (см. рис. 1, б) в концентрациях 0.0001 и 0.1 г/л ингибирует всхожесть семян сурепки, не оказывая воздействия на всхожесть семян пшеницы. В концентрации 0.001 г/л данное вещество стимулирует процесс прорастания семян пшеницы (увеличение на 20%). В концентрации 1 г/л оно полностью подавляет процессы прорастания семян обоих видов растений, т.е. проявляет себя аналогично соединению 1.

Наблюдения за ростом корней и стеблей проростков пшеницы и корней проростков сурепки в присутствии испытуемых соединений

в различных концентрациях (0.0001–0.1 г/л) проводили в течение одной недели.

Результаты измерений длины корней и стеблей проростков пшеницы на 3-е, 5-е и 7-е сутки эксперимента представлены на рис. 2.

Из рис. 2, а видно, что соединение 1 в концентрации 0.001 г/л стимулирует рост корней и стеблей проростков пшеницы. На 3-и сутки происходит увеличение ростовых показателей в 2 раза относительно контроля. На 5-е и 7-е сутки тенденции сохраняются, но темпы роста снижаются. В концентрациях 0.01 и 0.0001 г/л данное вещество не оказывает воздействия на рост растения.

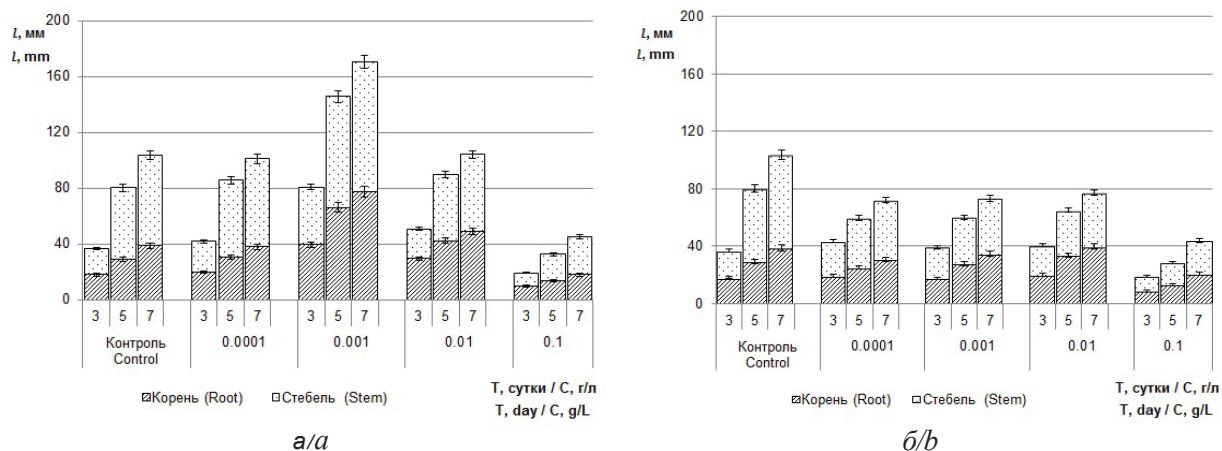


Рис. 2. Длина ( $l$ , мм) корней и стеблей проростков пшеницы (*T. aestivum*) в зависимости от концентрации ( $C$ , г/л) соединений 1 (а) и 2 (б) на 3-и, 5-е и 7-е сутки эксперимента

Fig. 2. The length ( $l$ , mm) of the roots and stems of *T. aestivum* seedlings depending on the concentration ( $C$ , g/L) of the compounds 1 (a) and 2 (b) on the 3rd, 5th and 7th days of the experiment

Соединение 2 (см. рис. 2, б) во всех исследуемых концентрациях угнетает рост стебля пшеницы и не оказывает воздействия на корень. При увеличении концентрации соединений 1 и 2 (см. рис. 2) до 0.1 г/л происходит ингибирование роста проростков пшеницы.

Результаты измерений длины корней сурепки приведены на рис. 3. Необходимо отметить, что за время эксперимента роста стеблей у сурепки не наблюдалось.

Из диаграммы (см. рис. 3, а) следует, что в течение трех суток эксперимента соединение 1 тормозит рост корней сурепки, на седьмые сутки длина корней значительно увеличивается (на 40%) по сравнению с контролем в средах с содержанием вещества 0.001–0.0001 г/л.

В течение 5 дней культивирования сурепки в растворах соединения 2 (см. рис. 3, б) с концентрацией 0.0001, 0.001, 0.01 г/л проявляется небольшой тормозящий эффект вещества на рост корней сурепки, на 7-е сутки вещество в концен-

трации 0.0001–0.001 г/л начинает стимулировать рост растения, длина корней увеличивается на 20% относительно контроля.

Оба соединения (см. рис. 3) при концентрации 0.1 г/л ингибируют рост сурепки.

Таким образом, установлено, что исследуемые диарилидензамещенные циклогексаноны в концентрации 1 г/л полностью подавляют прорастание семян пшеницы и сурепки, в концентрации 0,1 г/л ингибируют рост проростков обоих растений. При меньших концентрациях в зависимости от функциональной группы в бензольном кольце они по-разному влияют на рост растений: соединение 1 (с нитрогруппой) в концентрации 0.001 г/л проявляет значительное стимулирующее действие на рост пшеницы и в меньшей степени на рост сурепки; соединение 2 (с фтором) в той же концентрации проявляет ингибирующее действие на рост стеблей проростков пшеницы и в первые дни подавляет рост корней сурепки.



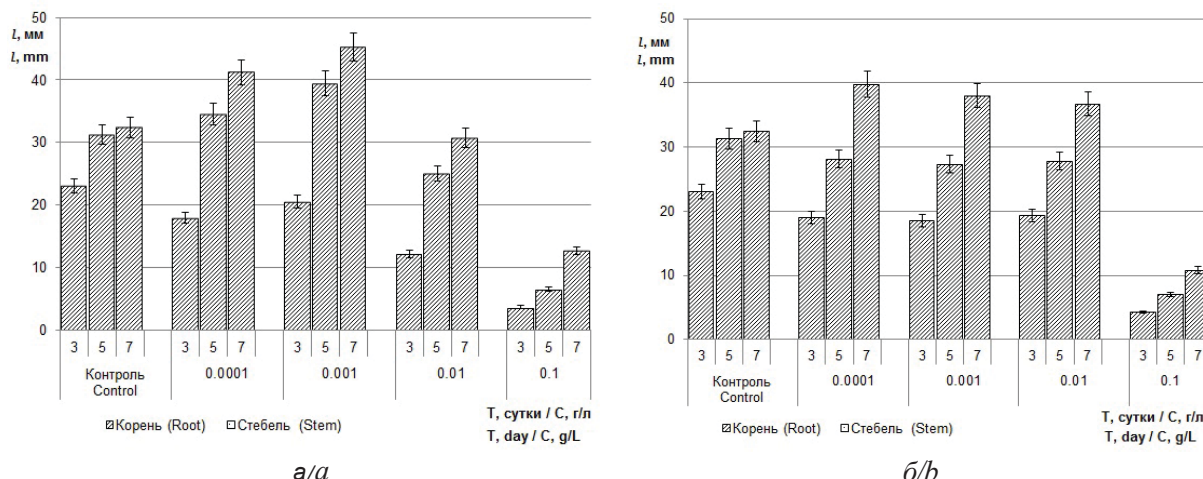


Рис. 3. Длина ( $l$ , мм) корней проростков сурепки (*B. vulgaris*) в зависимости от концентрации ( $C$ , г/л) соединений 1 (а) и 2 (б) на 3-и, 5-е и 7-е сутки эксперимента

Fig. 3. The length ( $l$ , mm) of the roots of *B. vulgaris* seedlings depending on the concentration ( $C$ , g/L) of the compounds 1 (a) and 2 (b) on the 3rd, 5th and 7th day of the experiment

Поскольку эти соединения можно рассматривать как перспективные рострегуляторы, нами изучалась их экотоксичность. Биотестирование проводили на двух тест-объектах (*S. quadricauda*, *D. magna*).

Оценка токсичности вещества по изменению интенсивности флуоресценции хлорофилла микроводорослей *S. quadricauda* предполагает определение степени отклонения опытного значения от контрольного: при отклонении до 20% пробу считают нетоксичной, при отклонении от 20 до 50% – токсичной, более 50% – очень токсичной [9].

Результаты биотестирования приведены на рис. 4, из которого видно, что интенсивность флуоресценции хлорофилла микроводорослей в присутствии соединения 1 в концентрации 0.0001 г/л снижается на 12% относительно контроля, это свидетельствует об отсутствии токсичности вещества в данной концентрации. Среда, содержащая соединение 1 в концентрациях 0.001 и 0.01 г/л, является токсичной, поскольку определяемые показатели снижаются на 33–34%.

При инкубировании *S. quadricauda* в растворе соединения 2 в концентрации 0.0001 г/л

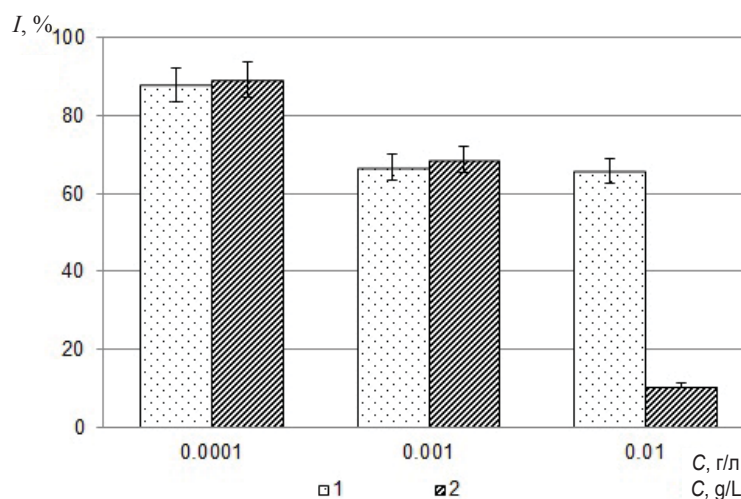


Рис. 4. Относительное значение интенсивности флуоресценции хлорофилла *S. quadricauda* ( $I$ , %) в зависимости от концентрации ( $C$ , г/л) соединений 1 и 2 в тестируемой среде

Fig. 4. Relative fluorescence intensity of *S. quadricauda* chlorophyll ( $I$ , %) depending on the concentration ( $C$ , g/L) of the compounds 1 and 2 in the test medium



наблюдается снижение интенсивности флуоресценции хлорофилла на 11% относительно контроля, что свидетельствует об отсутствии токсичности. При концентрации вещества 0.001 г/л исследуемый показатель снижается на 31%, т.е. проба токсична, при содержании 0.01 г/л тест-показатель снижается на 89%, что говорит о высокой степени токсичности пробы.

Таким образом, соединение 1 (содержащее нитрогруппу) является менее токсичным, чем соединение 2 (содержащее фтор).

На следующем этапе использовали для биотестирования культуру *D. magna*, определяли выживаемость дафний в растворах исследуемых веществ. На рис. 5 приведены диаграммы зависимости выживаемости дафний от концентрации соединений 1 и 2 в течение 96 ч эксперимента.

В соответствии с методикой [10], острой токсичностью обладает проба, воздействие которой вызывает гибель 50% рачков в течение 96 ч. По результатам проведенного эксперимента соединения 1 в исследуемых концентрациях острую токсичность не проявляет. Это соединение в концентрациях 0.01, 0.0001 г/л вызвало гибель только 20% особей на 3-е и 4-е сутки инкубирования (см. рис. 5, а).

Соединение 2 проявило острую токсичность в концентрации 0.01 г/л (см. рис. 5, б): на 2-е сутки опыта в растворе зафиксирована гибель 20% особей, на 3-и сутки наблюдалась гибель 40% дафний, на 4-е сутки погибло 60% особей. Растворы с содержанием вещества 0.001 и 0.0001 г/л токсичность по отношению к дафниям не проявляли.

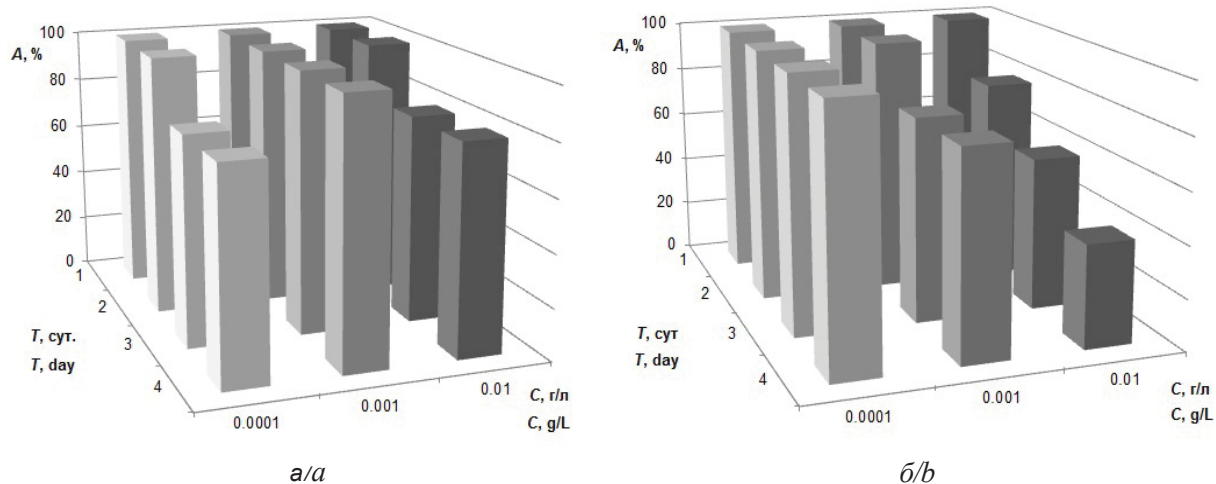


Рис. 5. Выживаемость *D. magna* (A, %) в зависимости от концентрации (C, г/л) соединений 1 (а) и 2 (б) и времени инкубирования (T, сут.) в тестируемой среде

Fig. 5. Survival of *D. magna* (A, %) depending on the concentration (C, g/L) of the compounds 1 (a) and 2 (b) and the time of incubation (T, day) in the test medium

Поскольку в первые сутки эксперимента в средах, содержащих соединения 1 и 2 в исследуемом диапазоне концентраций, наблюдали 100% выживаемость рачков, нами исследовалась трофическая активность дафний, которая является наиболее чувствительным показателем токсичности среды [7]. Ее определяют по изменению интенсивности флуоресценции микроводорослей, используемых в качестве корма дафний. На рис. 6 приведены значения трофической активности относительно контрольного показателя, полученного для воды.

Результаты эксперимента свидетельствуют о незначительном угнетении функции питания

дафний при увеличении концентраций соединений 1 и 2, значимых различий в эффектах двух соединений не наблюдается.

Таким образом, с помощью биотестирования определено, что оба диарилидензамещенных циклогексанона в концентрации 0.0001 г/л нетоксичны, в концентрации 0.001 г/л являются токсичными (по данным теста с микроводорослями), в концентрации 0.01 г/л фторсодержащее соединение проявляет высокую токсичность (по данным 2 биотестов). Следовательно, фторсодержащее соединение является более токсичным, чем содержащий нитрогруппу аналог.

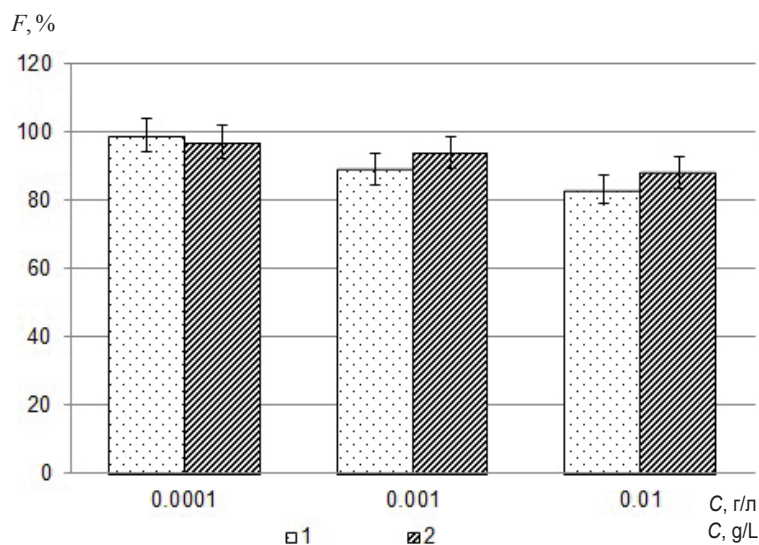


Рис. 6. Относительная трофическая активность *D. magna* ( $F$ , %) в зависимости от концентрации ( $C$ , г/л) соединений 1 и 2 в тестируемой среде  
 Fig. 6. Relative trophic activity of *D. magna* ( $F$ , %) depending on the concentration ( $C$ , g/L) of the compounds 1 and 2 in the test medium

### Заключение

Изучено дозозависимое действие двух диарилидензамещенных циклогексанона, отличающихся характером функциональных групп в бензольном кольце, на прорастание и рост растений: пшеницы *T. aestivum* и сурепки *B. vulgaris*. Установлено, что оба вещества в концентрации 1 г/л полностью подавляют прорастание семян, в концентрации 0.1 г/л ингибируют рост проростков обоих растений.

В концентрационном диапазоне 0.0001–0.01 г/л соединения проявляют рострегулирующее действие в отношении выбранных растительных культур. Соединение с нитрогруппой (2-бензилиден-6-(*m*-нитробензилиден)циклогексанон) в концентрации 0.001 г/л проявляет значительное стимулирующее действие на прорастание семян (15%) и рост проростков пшеницы (70–100%) и в меньшей степени на рост сурепки; фторсодержащее соединение (2-бензилиден-6-(*n*-фторбензилиден)циклогексанон) в той же концентрации проявляет ингибирующее действие на рост стеблей проростков пшеницы и в первые дни подавляет рост корней сурепки.

Экотоксикологическая оценка безопасности применения исследуемых соединений показала, что фторсодержащее соединение является более токсичным, чем соединение, содержащее нитрогруппу. По результатам 2 биотестов (*S. quadricauda*, *D. magna*) 2-бензилиден-6-(*n*-фторбензилиден)циклогексанон в концентрации 0.01 г/л проявляет острую токсичность.

2-бензилиден-6-(*m*-нитробензилиден)циклогексанон в той же концентрации является токсичным по результатам одного теста с микроводорослями. Оба соединения в концентрации менее 0.001 г/л не являются токсичными.

Можно заключить, что при содержании ниже 0.001 г/л изученные вещества экологически безопасны и могут использоваться в качестве регуляторов роста растений. Наибольший стимулирующий рост пшеницы эффект обнаружен у 2-бензилиден-6-(*m*-нитробензилиден)циклогексанона в концентрации 0.001 г/л. Выявленные различия в эффектах воздействия данного вещества на культурное и сорное растения представляют интерес при их совместном произрастании.

### Список литературы

1. Губина Т. И., Ухова А. А., Исаева С. В., Тумский Р. С., Аниськов А. А., Клочкова И. Н. Определение характера биологического действия новых полигетероциклических соединений на растения и оценка экологической безопасности их применения // Изв. Саратовского университета. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология. 2017. Т. 17, вып. 3. С. 267–273. DOI: 10.18500/1816-9775-2017-17-3-267-273
2. Коробко В. В., Пчелинцева Н. В., Лунёва М. А., Самсонова Е. А. Особенности роста и развития проростков пшеницы (*Triticum aestivum* L.) при действии 2,4,6-трифенил-3,5-дихлорпиридина и 2,6-дифенил-3-хлорпиридина // Изв. Саратовского университета. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология. 2017. Т. 17, вып. 1. С. 72–78. DOI: 10.18500/1816-9775-2017-17-1-72-78



3. Миронова Н. В., Коробко В. В., Пчелинцева Н. В., Крылатова Я. Г., Жестовская Е. С. Фитотестирование (тио)семикарбазонов 2,4-диарилбицикло[3.3.1]нон-2-ен-9-онов // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология. 2019. Т. 19, вып. 3. С. 305–311. DOI: 10.18500/1816-9775-2019-19-3-305-311
4. Тимофеева З. Ю., Чадина В. В., Егорова А. Ю. Ростостимулирующая активность арилиденпроизводных пиридазин-3-онов и 3н-пиррол-2-онов // Успехи современного естествознания. 2006. № 4. С. 13–15.
5. Report of the OECD Pesticide Aquatic Risk Indicators Expert Group. 2000. 58 p. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.oecd.org> (дата обращения: 15.09.19).
6. Сипулинов Р. Б., Карагайчева Ю. В., Шилова Н. А., Рогачева С. М. Оценка токсичности отходов нефтедобычи методами биотестирования // Изв. Самар. науч. центра РАН. 2015. Т. 17, № 5, вып. 2. С. 695–699.
7. Маторин Д. Н., Братковская Л. Б., Яковлева О. В., Венедиктов П. С. Биотестирование токсичности вод по скорости поглощения дафниями микроводорослей, регистрируемых с помощью флуоресценции хлорофилла // Вестн. Моск. ун-та. Сер.16. Биология. 2009. № 3. С. 28–33.
8. Biochemistry of Plant Secondary Metabolism / ed. M. Wink. Oxford: Wiley-Blackwell, 2010. Vol. 40. 445 p. DOI: 10.1002/9781444320503.
9. Федеральный реестр (ФР) ФР.1.39.2007.03223. Методика определения токсичности вод, водных вытяжек из почв, осадков сточных вод и отходов по изменению уровня флуоресценции хлорофилла и численности клеток водорослей. М. : АКВАРОС, 2007. 52 с.
10. Федеральный реестр (ФР) ФР.1.39.2007.03222. Методика определения токсичности воды и водных вытяжек из почв, осадков сточных вод, отходов по смертности и изменению плодовитости дафний. М.: АКВАРОС, 2007. 52 с.

#### Образец для цитирования:

Рогачева С. М., Жутов А. С., Шилова Н. А., Клочкова И. Н., Борисова С. В. Оценка рострегулирующей активности и экотоксичности диарилдензамещенных циклогексанонов // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология. 2020. Т. 20, вып. 2. С. 137–145. DOI: <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2020-20-2-137-145>

#### Assessment of Growth-Regulating Activity and Ecotoxicity of Diarylidene-Substituted Cyclohexanones

S. M. Rogacheva, A. S. Zhutov, N. A. Shilova, I. N. Klochkova, S. V. Borisova

Svetlana M. Rogacheva, <https://orcid.org/0000-0002-8017-745X>, Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, 77 Politechnicheskaya St., Saratov 410054, Russia, [smro13@yandex.ru](mailto:smro13@yandex.ru)

Alexander S. Zhutov, <https://orcid.org/0000-0003-1239-5823>, Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, 77 Politechnicheskaya St., Saratov 410054, Russia, [alexander.zhutov@gmail.com](mailto:alexander.zhutov@gmail.com)

Natalya A. Shilova, <https://orcid.org/0000-0002-2943-8714>, Saratov State Medical University named after V. I. Razumovsky, 112 Bolshaya Kazachia St., Saratov 410012, Russia, [shilova.natalya@yandex.ru](mailto:shilova.natalya@yandex.ru)

Iraida N. Klochkova, <https://orcid.org/0000-0002-1952-1688>, Saratov State University, 83 Astrakhanskaya St., Saratov 410012, Russia, [v-klochkov1@yandex.ru](mailto:v-klochkov1@yandex.ru)

Svetlana V. Borisova, <https://orcid.org/0000-0001-8025-1296>, Saratov State University, 83 Astrakhanskaya St., Saratov 410012, Russia, [chuvaikinasv@gmail.com](mailto:chuvaikinasv@gmail.com)

The search of new biologically active substances to be used as herbicides and plant growth regulators is carried out. The two compounds were used – 2-benzylidene-6-(m-nitrobenzylidene) cyclohexanone (1) and 2-benzylidene-6-(p-fluorobenzylidene) cyclohexanone (2). They are similar in structure, but containing different functional groups in one of the benzene rings: -NO<sub>2</sub>, and -F. Their dose-dependent effect on the germination and

growth of *Triticum aestivum* and *Barbarea vulgaris* was investigated. High concentrations of the both substances completely suppressed seed germination (1 g/L) and inhibited the growth of seedlings of the plants (0.1 g/L). It was found that the compounds showed a growth-regulating effect on selected plant species in the concentration range of 0.0001–0.01 g/L. The compound 1 (0.001 g/L) significantly stimulated seed germination (15%) and seedlings growth of *T. aestivum* (70–100%), but the influence on the growth of *B. vulgaris* was lesser. Fluorine-containing compound 2 in the same concentration inhibited the stems growth of *T. aestivum* seedlings and suppressed the growth of *B. vulgaris* roots in the first days of experience. Ecotoxicological studies showed that a fluorine-containing compound is more toxic than a compound with a nitrogroup. According to the results of two biotests (*S. quadricauda*, *D. magna*), substance 2 at the concentration of 0.01 g/L showed acute toxicity. Both compounds in concentrations less than 0.001 g/L are non-toxic, i.e. they are environmentally safe and can be used as plant growth regulators.

**Keywords:** diarylidene-substituted cyclohexanone, growth-regulating activity, ecotoxicity, biotesting.

Received: 17.01.2020 / Accepted: 10.02.2020 / Published: 01.06.2020

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution License (CC-BY 4.0)

#### References

1. Gubina T. I., Ukhova A. A., Isaeva S. V., Tumskiy R. S., Aniskov A. A., Klochkova I. N. The Determination of Biological Effects of New Heterocyclic Compounds on Plants and the Evaluation of Environmental Safety of Their Application. *Izv. Saratov Univ. (N. S.), Ser.*





- Chemistry. Biology. Ecology*, 2017, vol. 17, iss. 3, pp. 267–273 (in Russian). DOI: 10.18500/1816-9775-2017-17-3-267-273
- Korobko V. V., Pchelintseva N. V., Lunyova M. A., Samsonova E. A. Features of Growth and Development of Wheat Seedlings (*Triticum aestivum* L.) under the Action of 2,4,6-Triphenyl-3,5-dichloropyridine and 2,6-Diphenyl-3-chloropyridine. *Izv. Saratov Univ. (N. S.), Ser. Chemistry. Biology. Ecology*, 2017, vol. 17, iss. 1, pp. 72–78 (in Russian). DOI: 10.18500/1816-9775-2017-17-1-72-78
  - Mironova N. V., Korobko V. V., Pchelintseva N., Krylatova Ya. G., Zhestovskaya E. S. The Phytotesting of (thio)semicarbazones 2,4-diaryl-bicyclo[3.3.1]non-2-en-9-ones. *Izv. Saratov Univ. (N. S.), Ser. Chemistry. Biology. Ecology*, 2019, vol. 19, iss. 3, pp. 305–311 (in Russian). DOI: 10.18500/1816-9775-2019-19-3-305-311
  - Timofeeva Z. Yu., Chadina V. V., Yegorova A. Yu. Growth-stimulating Activity of Some Arylidene Derivatives of Pyridazine-3-ones and 3h-pyrrol-2-ones. *Advances in Current Natural Sciences*, 2006, iss. 4, pp. 13–15 (in Russian).
  - Report of the OECD Pesticide Aquatic Risk Indicators Expert Group. 2000. 58 p. Available at: <http://www.oecd.org>. (accessed 15 September 2019).
  - Sipulinov R. B., Karagaycheva Yu. V., Shilova N. A., Rogacheva S. M. Estimation the Toxicity of Oil Production Waste by Biotesting Methods. *Izv. of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*, 2015, vol. 17, no. 5, iss. 2, pp. 695–699 (in Russian).
  - Matorin D. N., Bratkovskaya L. B., Yakovleva O. V., Venediktov P. S. Biotesting of Toxicness of Waters on Speed of Absorption of Microalgae *Daphnia* Registered by Fluorescence of Chlorophyll. *Moscow University Biological Sciences Bulletin*, 2009, iss. 3, pp. 28–33 (in Russian).
  - M. Wink, ed. *Biochemistry of Plant Secondary Metabolism*. Oxford, Wiley-Blackwell, 2010, vol. 40, 445 p. DOI: 10.1002/9781444320503.
  - Federal'nyi reestr (FR) FR.1.39.2007.03223. *Metodika opredeleniya toksichnosti vod, vodnykh vytyazhek iz pochv, osadkov stochnykh vod i otkhodov po izmeneniyu urovnya fluorestsentsii khlorofilla i chislennosti kletok vodorosley* [Federal register (FR) FR.1.39.2007.03223. Method for determining the toxicity of water, water extracts from soil, sewage sludge and waste by changing the level of chlorophyll fluorescence and the number of algae cells]. Moscow, AKVAROS Publ., 2007, 53 p. (in Russian).
  - Federal'nyi reestr (FR) FR.1.39.2007.03222. *Metodika opredeleniya toksichnosti vody i vodnykh vytyazhek iz pochv, osadkov stochnykh vod, otkhodov po smertnosti i izmeneniyu plodovitosti dafniy* [Federal register (FR) FR.1.39.2007.03222. Methods for determining the toxicity of water and water extracts from soils, sewage sludge, waste by mortality and changes in the fertility of daphnia]. Moscow, AKVAROS, 2007. 52 p. (in Russian).

---

**Cite this article as:**

Rogacheva S. M., Zhutov A. S., Shilova N. A., Klochkova I. N., Borisova S. V. Assessment of Growth-Regulating Activity and Ecotoxicity of Diarylidene-Substituted Cyclohexanones. *Izv. Saratov Univ. (N. S.), Ser. Chemistry. Biology. Ecology*, 2020, vol. 20, iss. 2, pp. 137–145 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2020-20-2-137-145>

---