

ФИЗИОЛОГИЯ И БИОХИМИЯ РАСТЕНИЙ

УДК: 547.913: 544.942+543.51

**ВЛИЯНИЕ ПРЕДУБОРОЧНОЙ ОБРАБОТКИ ПРЕПАРАТОМ ГЕРБИЦИДНОГО
ДЕЙСТВИЯ НА ДИНАМИКУ НАКОПЛЕНИЯ И СОСТАВ ЭФИРНОГО МАСЛА
ELSHOLTZIA CILIATA (THUNB.) NYL.**

**Валерия Львовна Дмитриева¹, Сергей Леонидович Белопухов¹,
Надежда Николаевна Бакова², Людмила Олеговна Сушкова¹,
Лев Борисович Дмитриев¹**

¹ ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева», 127434, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49,
E-mail: dmitrievlevb@mail.ru

² Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН,
298648, Россия, Республика Крым, г. Ялта, пгт Никита, спуск Никитский, д. 52,
E-mail: tkdizain@yandex.ru

В полевом опыте изучено влияние предуборочной обработки водным раствором различных концентраций гербицида "Алистер гранд" в состав, которого входит дифлюфеникан – ингибитор фитоиндесатуразы (группа HRAC: F1) на динамику накопления и состав эфирного масла *Elsholtzia ciliata* (Thunb.) Nyl. Состав масла определялся методом ГЖХ-МС. Полученные данные показали, что уже на седьмой день после обработки, нарушается естественный гормональный баланс хода биосинтетических процессов. При концентрации раствора препарата 0,05 г/л, интенсивность биосинтеза масла в растениях снижается, на 14-й день падает почти на треть по сравнению с контролем. При концентрации раствора 0,005 и 0,0005 г/л на седьмой день под влиянием препарата энергия синтеза ЭМ нарастает и его содержание в растениях увеличивается на 10% по сравнению с контролем. Однако, и при этих концентрациях препарат оказывает сильное ингибирующее влияние на процессы биосинтеза ЭМ. На четырнадцатый день после обработки содержание масла снижается на 10-20%. Изменения в мультиферментативном комплексе прослеживаются и в окислительно-восстановительном равновесии системы, что отразилось на изменении биосинтеза основных компонентов ЭМ. При концентрации раствора 0,005 и 0,0005 г/л на седьмой день после обработки активируются восстановительные процессы и содержание в масле эльшольция кетона повышается.

Ключевые слова: эльшольция (*Elsholtzia ciliata* (Thunb.) Nyl); эфирное масло; эльшольция кетон; гербициды; внекорневая обработка; ГЖХ-МС

Введение

Род *Elsholtzia* семейства *Lamiaceae*, содержит по данным разных авторов от 20 до 33 видов (Комаров, 1954; Zhiqin Guo et al., 2012). Они широко распространены в Восточной Азии, Африке, Северной Америке и европейских странах. Используются в медицине, приготовлении травяного чая, пищи, специй, напитков, парфюмерии, косметики, ароматерапии и как медонос (Брандорф и др., 2020). Еще одним важным применением растений является восстановление почвы, загрязненной тяжелыми металлами (Xu и et al., 2020; Li S.-Z. et al., 2020). В составе различных видов *Elsholtzia* обнаружены флавоноиды, фенилпропаноиды, терпеноиды, большое количество летучих и других соединений (Zhiqin Guo, 2012). Многие из этих соединений, находясь в эфирном масле (ЭМ) или в экстрактах проявляют широкий спектр фармакологической активности *in vitro* и *in vivo*.

Важное место в проблемах управления продуктивностью и реализации генетического потенциала растений, в данном случае – эфироносов, занимает вопрос регуляции метаболических процессов в них (Li S.-Z. et al., 2020; Xu и et al., 2020).

Применение предуборочной внекорневой обработки эфиромасличных растений регуляторами роста (в основном ингибиторного действия) повышает содержание в них эфирных масел (ЭМ) и меняет ход биохимических процессов образования компонентов в направлении увеличения более гидрированных соединений. Интеграция всех метаболических процессов проявляется на уровне биопродуктивности растений – урожайности надземной массы и концентрацией в ней целевых биологически активных компонентов (Сушкова и др., 2013; Шаин и др., 2000).

Цель работы – изучить влияние предуборочной внекорневой обработки растений *E. ciliata* препаратом ингибиторного действия – "Алистер гранд" с целью возможности повышения содержания в них ЭМ и проследить возможные изменения хода биохимических процессов образования основных компонентов. Семена *E. ciliata* были получены в Никитского ботанического сада.

Объекты и методы исследования

Условия проведения полевого опыта, выделения ЭМ, хроматографического анализа, выполненного на аппаратно-программном комплексе ГЖХ-МС «Clarus 600 С» в учебно-научном центре коллективного пользования «Сервисной лаборатории комплексного анализа химических соединений» кафедры химии РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, представлены в работах (Дмитриева и др., 2018; Байбеков и др., 2020; Дмитриева и др., 2020).

Основные результаты полевого опыта приведены в таблице (табл. 1). Количественные данные по содержанию в эфирном масле того или иного компонента, полученные методом ГЖХ-МС и обычно выраженные в процентах, мы пересчитали на содержание в мг на 100 г сухого вещества. В таком виде динамика изменения их содержания прослеживается более наглядно.

Таблица 1

Состав эфирного масла, его изменение в онтогенезе и под влиянием различных доз препарата в мг на 100 г сухой массы

Table 1

Composition of essential oil, its change in ontogenesis and under the influence of various doses of the drug in mg per 100 g of dry weight

Дата уборки	21-08	1-й укос				2-й укос			
		28-08				06-09			
		контр.	0.05	0.005	0.0005	контр.	0.05	0.005	0.0005
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Выход масла, г/100 г сухой массы	0.904	1.342	1.257	1.474	1.453	1.942	1.392	1.536	1.751
α -Пинен	0.62	0.40	0.38	0.76	1.01	0.38	0.34	0.50	0.24
Туйен	0.07	0.05	0.04	0.08	0.00	0.03	0.04	0.00	0.02
Гексаналь	0.09	0.12	0.05	0.08	0.00	0.06	0.08	0.16	0.05
β -Пинен	1.06	0.74	0.69	1.49	2.29	0.58	0.57	0.81	0.49
γ -Терпинен	0.08	0.07	0.06	0.14	0.23	0.02	0.06	0.06	0.07
β -Мирцен	0.16	0.21	0.20	0.34	0.49	0.30	0.25	0.21	0.26
D- Лимонен	0.10	0.08	0.09	0.17	0.20	0.11	0.08	0.11	0.07

Окончание таблицы 1
Continuation of the Table 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1,8-Цинеол	12.9	11.02	9.64	25.3	44.6	9.35	9.81	13.5	8.18
Гексен-2-аль	0.14	0.14	0.09	0.14	0.15	0.03	0.06	0.14	0.08
α -Терпинен	0.13	0.08	0.06	0.15	0.22	0.08	0.05	0.06	0.06
Октанон-3	1.00	1.20	1.24	3.13	4.35	1.61	1.63	1.41	1.32
p-Цимен	0.16	0.08	0.03	0.08	0.07	0.02	0.03	0.05	0.04
Терпинолен	0.00	0.01	0.03	0.04	0.03	0.01	0.02	0.02	0.01
3-Октил ацетат	0.03	0.09	0.08	0.18	0.27	0.05	0.12	0.14	0.08
6-Метил-5-гептен-2-он	0.12	0.29	0.28	0.43	0.51	0.30	0.30	0.30	0.26
1-Октен-3-ол ацетат	0.05	0.03	0.04	0.10	0.15	0.04	0.04	0.08	0.03
Октанол-3	2.93	3.49	3.04	8.19	12.2	3.48	3.61	4.27	3.84
Вербенон	0.91	3.00	2.99	5.33	6.95	13.47	12.7	7.59	10.1
Периллен; 3-(4-метил-3-фенил) фуран	0.04	0.17	0.11	0.22	0.27	0.39	0.28	0.21	0.29
1-Октен-3-ол	5.81	6.11	6.01	16.4	24.2	4.77	5.05	6.20	6.73
2-Ацетил-5-метилфуран	0.16	0.32	0.19	0.27	0.30	0.18	0.20	0.40	0.34
Копаен	0.07	0.08	0.06	0.12	0.13	0.09	0.05	0.18	0.00
α -Боурбонен	0.18	0.36	0.29	0.60	0.80	0.58	0.26	0.76	0.44
β -Боурбонен	2.75	5.19	4.71	9.38	12.1	9.64	4.42	11.8	7.13
Линолил ацетат	0.56	1.00	0.75	1.52	1.79	1.67	0.97	1.38	1.39
β -Иланген	0.19	0.43	0.37	0.77	0.87	0.74	0.29	0.83	0.59
γ -Мюролен	0.19	0.33	0.27	0.61	0.69	0.62	0.24	0.68	0.45
Лавандулин ацетат	0.02	0.04	0.09	0.08	0.06	0.05	0.10	0.04	0.07
Терпинен-4-ол	0.04	0.03	0.01	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02	0.01
β -Кариофиллен	1.75	2.70	2.39	5.16	6.29	3.69	1.75	3.73	3.39
Метил гераниат	0.09	0.20	0.18	0.32	0.28	0.34	0.20	0.22	0.26
p-Куминовый альдегид	0.03	0.04	0.13	0.22	0.29	0.55	0.37	0.22	0.39
Эльшольция кетон	154.4	216.15	216.2	321.2	327.3	448.48	311.1	298.5	304.5
Гермакрен D	0.74	0.75	0.65	0.45	0.46	1.77	0.71	0.56	0.59
β -Фарнезен	0.12	0.30	0.32	0.45	0.41	0.38	0.25	0.36	0.41
Ацетофенон	0.79	1.27	0.52	0.46	0.48	1.32	0.74	1.83	0.94
Лавандулол	1.11	1.68	2.24	2.50	3.09	2.57	2.35	2.03	2.54
α -Кариофиллен	13.48	19.23	17.20	31.6	35.4	25.33	12.5	26.4	23.0
β -Копаен	0.00	0.19	0.19	0.34	0.30	0.41	0.15	0.38	0.19
γ -Элемен	0.89	1.20	0.97	1.43	1.61	1.28	0.86	1.24	1.16
α -Копаен	1.23	1.61	2.31	4.54	4.88	2.46	1.85	2.66	3.87
α -Фарнезен	1.92	0.02	0.63	0.13	0.70	0.63	0.49	0.49	0.75
2,3-Диметил-5-(2,6,10-триметилундецил) фуран	0.61	4.50	3.25	1.79	3.43	2.90	3.34	3.70	3.58
δ -Кадинен	0.00	0.51	0.35	0.68	0.60	0.63	0.36	0.73	0.71
Дегидроэльшольция кетон	674.8	1049.	956.1	1021.	948.4	1395.4	1009	1131	1355
Кариофиллен оксид	16.1	0.67	0.34	0.25	0.00	0.00	0.22	0.55	0.30

По мере развития растений от стадии появления бутонов (21.08), полного цветения (28.08) и начала образования семян (06.09) содержание в них ЭМ растет от 1-го до 2-х г на 100 г сухой массы растений (рис.1). После обработки растений раствором препарата, в зависимости от его концентрации, характер накопления масла резко нарушается. Через 7 дней, после обработки раствором препарата концентрации 0,05 г/л, содержание масла в растениях уменьшается на 6,4%, а ещё через 7 дней ингибирующее влияние препарата этой концентрации приводит к снижению интенсивности биосинтеза масла в растениях почти на треть (на 28,3%) по сравнению с контролем. При обработке растений растворами более низких концентраций препарата (0,005 и 0,0005 г/л) через семь дней после обработки содержание в них масла увеличивается примерно на 10% (на 9,8 и 8,3%) по сравнению с контролем. Однако, и при этих концентрациях препарат проявляет ингибирующее действие на дальнейший ход процесса биосинтеза эфирного масла. Через 14 дней после обработки раствором концентрации 0.005 г/л, интенсивность биосинтеза ЭМ падает на 21% по сравнению с контролем и даже при такой низкой концентрации препарата, как 0.0005 г/л – почти на десять процентов (на 9,8%).

Очевидно, что препарат, как и ожидалось, только при очень низких концентрациях и только в первые дни после обработки им растений оказывает стимулирующее влияние, но затем ингибирует общий процесс биосинтеза ЭМ.

Динамика накопления в растениях *E. ciliata* основных компонентов: ельшольция и дегидроэльшольция кетонов на стадии онтогенеза от начала бутонизации до начала образования семян идёт практически параллельно с накоплением ЭМ (рис. 2).

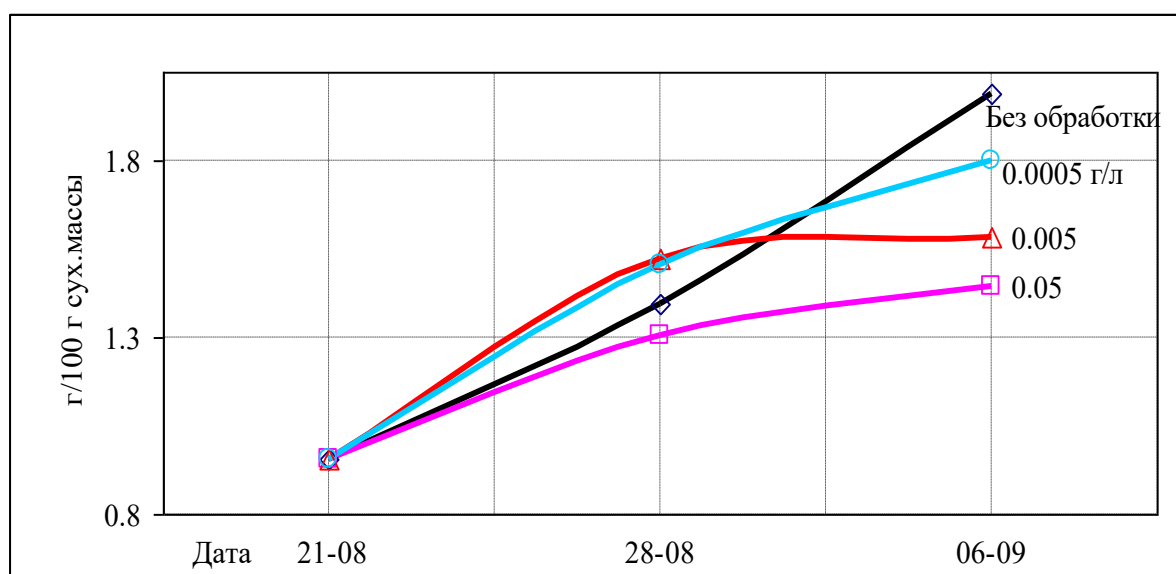


Рис. 1 Динамика накопления в растениях ЭМ от фазы появления бутонов до начала образования семян и изменение после обработки раствором препарата различной концентрации

Fig. 1 Dynamics of accumulation of EO in plants from the phase of bud emergence to the beginning of seed formation and changes after treatment with a solution of the preparation of different concentrations

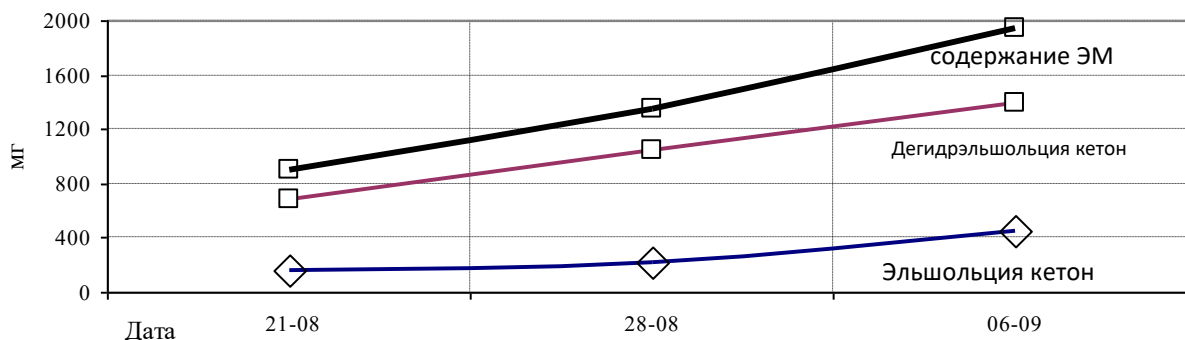


Рис. 2 Динамика накопления в растениях *E. ciliata* ЭМ, дегидроэльшольция и эльшольция кетонов

Fig. 2 Dynamics of accumulation of EO, dehydroelsholzia and elsholzia ketones in *E. ciliata* plants

Изменения содержания эльшольция и дегидроэльшольция кетонов в эфирном масле, определяемые редокси системой ферментативного комплекса, наблюдаются как в процессе онтогенеза *E. ciliata* (перехода от стадии начала бутонизации к стадии начала образования семян), так и под влиянием предуборочной обработки растений препаратом (рис. 3, 4).

Активность дегидрогеназ (+NADP), определяющих образование фуранового кольца, и окислительного ферментативного комплекса (Сyt P450; 4-гидроксилаза) [10] нарастает в фазе цветения растений, что отражается в относительном повышении содержания в масле дегидроэльшольция кетона с 74,7 до 78,2%. При переходе растений в фазу образования семян в их мультиферментативной системе активизируется группа редуктаз с участием NADPH и усиливается процесс восстановления (гидрирования) дегидроэльшольция кетона в эльшольция кетон. Относительное содержание его в ЭМ снижается до 71,9%, а эльшольция кетона соответственно повышается до 23% (рис. 3).

После обработки раствором препарата концентрации 0,05 г/л, помимо общего снижения продуктивности биосинтеза, о чём уже говорилось ранее, заметных изменений в балансе ферментативной системы не наблюдается. Однако, при более низких концентрациях раствора (0,005 и 0,0005 г/л) этот баланс резко сдвигается в сторону восстановительного комплекса. К седьмому дню после обработки, дегидроэльшольция кетон активно восстанавливается, его содержание в ЭМ снижается на 11,4 и 16,5% соответственно. Как следствие, содержание эльшольция кетона в сухой массе растений повышается с 216,2 мг/100 г до 321,2 и 327,3 мг/100 г. Равновесие в редокси ферментативном комплексе к четырнадцатому дню после обработки раствором постепенно восстанавливается, что отражается в увеличении содержания в ЭМ дегидроэльшольция кетона и снижении содержания эльшольция кетона.

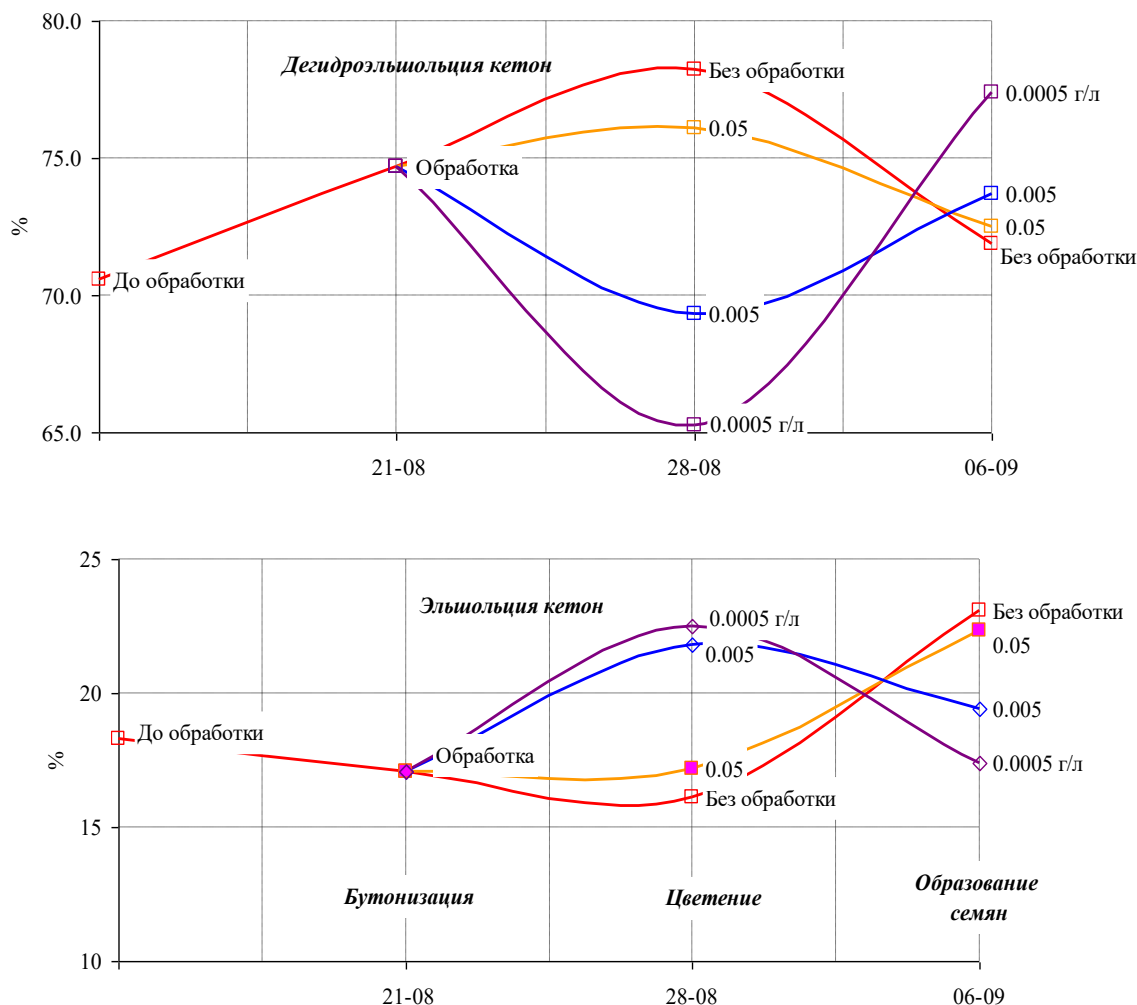


Рис. 3 Динамика изменения содержания дегидроэльшольция кетона и эльшольция кетона
Fig. 3 Dynamics of changes in the content of dehydroelsholtzia ketone and elsholtzia ketone

Выводы

При внекорневой предуборочной обработке растений в стадии бутонизации раствором препарата с концентрацией 0,005 и 0,0005 г/л через 7 дней содержание ЭМ в воздушно-сухой массе увеличивается на 10% по сравнению с его содержанием на данный период в контроле.

Одновременно увеличивается и содержание в ЭМ эльшольция кетона на 35-40%, что указывает на смещение равновесия в мультиферментативном редокси комплексе в сторону восстановительных (гидрирование) процессов.

Через 7-10 дней после внекорневой обработки растений *E. ciliata* препарат оказывает ингибирующее влияние на биосинтез ЭМ при всех изученных концентрациях его растворов.

Литература / References

Zhiqin Guo, Zizhen Liu, Xiaohong Wang, Weirui Liu, Rui Jiang, Ruiyang Cheng and Gaimai She. Elsholtzia: phytochemistry and biological activities // Chemistry Central Journal 2012. No. 6. P.147.

Комаров В.Л., Борисова А.Г., Васильченко Е.В. и др. Флора СССР. Семейство Губоцветные (*Labiatae*). М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1954. Т.20. С. 954.

[Komarov V.L. Borisova A.G., Vasilchenko E.V. et al. Flora SSSR. Family Labiatae. Vol. 20. M.; L.: Izd-vo AN SSSR, 1954.]

Брандорф А.З., Шестакова А.И., Галицкая Д.В., Ларькина Е.О., Сабитова Л.Ш., Эффективность применения шандры гребенчатой (*Elsholtzia cristata*) в подкормке пчелиных семей // В сборнике: Перспективы развития пчеловодства в условиях индустриализации АПК. Сборник статей по материалам Международной научно-практической конференции. 2020. С. 120.

[Brandorf A.Z., Shestakova A.I., Galitskaya D.V., Larkina E.O., Sabitova L.Sh. Efficiency of the use of comb shandra (*Elsholtzia cristata*) in feeding bee colonies // In the collection: Prospects for the development of beekeeping in the conditions of industrialization of the agro-industrialization of the agro-industrial complex. Collection of articles on the materials of the International Scientific and Practical Conference. 2020. P. 120.]

Xu L., Bai J., Xing X., Cui H., Peng J., Zheng X. Сюй Л. Soil biological characteristic, nutrient contents and stoichiometry as affected by different types of remediation in a smelter-impacted soil. // Chemistry and Ecology. 2020. Vol. 36. № 5. P. 419-433

Li S.-Z., Zhu X.-K., Wu L.-H., Luo Y.-M. Лу С. З., Чжэу Х.К., УЛ.Х., LUO Y.M., Zinc, iron, and copper isotopic fractionation in *Elsholtzia splendens* Nakai: a study of elemental uptake and (re)translocation mechanisms // Journal of Asian Earth Sciences. 2020. Vol. 192. P. 104227.

Шаин С.С., Курапов П.Б., Маланкина Е.Л., Дмитриева В.Л., Дмитриев Л.Б. Гормональная регуляция биопродуктивности в онтогенезе эфиромасличных растений: мята перечная, змееголовник молдавский, монарда двойчатая / В сб. Биотехнология под ред. В.С. Шевелухи. 2000. Вып. 1. С. 176-198.

[Shain S.S., Kurapov P.B., Malankina E.L. et al. Hormonal regulation of bioproductivity in ontogenesis of essential oil plants: peppermint, snakehead Moldavian, monarda dvuchataya / V sb. Biotechnology pod red. V.S. Shevelukha. 2000. № 1. P. 176-198.]

Сушкова Л.ОБ. Влияние обработки растений гербицидами на характер биосинтеза эфирного масла *Mentha piperita* L. сорта Янтарная // Бутлеровские сообщения. 2013. Т. 34. № 34. С. 149–151.

[Sushkova L.O., Dmitrieva V.L., Dmitriev L.B. Influence of plant treatment with herbicides on the character of biosynthesis of essential oil *Mentha piperita* L. variety Yantarnaya // Butler messages. 2013. T. 34. № 34. P. 149–151.]

Дмитриева В.Л., Сушкова Л.О., Дмитриев Л.Б. Регуляция соотношения компонентов эфирного масла *Elsholtzia ciliata* (Thunb.) Hyl. // В сборнике Доклады ТСХА. 2020. С.405-409.

[Dmitrieva V.L., Sushkova L.O., Dmitriev L.B. Regulation of the ratio of components of essential oil *Elsholtzia ciliata* (Thunb.) Hyl. In the collection TSA Reports. 2020. P. 405-409.]

Дмитриева В.Л., Сушкова Л.О., Дмитриев Л.Б., Белопухов С.Л. Регуляция соотношения компонентов эфирного масла *Elsholtzia ciliata* (Thunb.) Hyl. в условиях нечернозёмной зоны России // В сборнике: Перспективы лекарственного растениеводства. Мат. Международной научной конференции, посвященной 100-летию со дня рождения профессора Алексея Ивановича Шретера. 2018. С. 87-92.

[Dmitrieva V.L., Sushkova L.O., Dmitriev L.B., Belopukhov S.L. Regulation of the ratio of components of essential oil *Elsholtzia ciliata* (Thunb.) Hyl. in the conditions of the non-chernozem zone of Russia // In the collection: Prospects of medicinal plant science. Materials of the International Scientific Conference dedicated to the 100-th anniversary of the birth of Professor Alexey Ivanovich Schroeter. 2018. P. 87-92.]

Байбеков Р.Ф., Дмитриева В.Л., Белопухов С.Л., Дмитриев Л.Б., Сушкова Л.О. Влияние гербицида дифлюфеникана на химический состав эфирного масла *Elsholtzia*

ciliata (Thunb.) Hyl. // Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии. 2020. Т. 23. № 4. С. 3-9.

[Baybekov R.F., Dmitrieva V.L., Belopukhov S.L., Dmitriev L.B., Sushkova L.O. Influence of the herbicide diflufenicane on the chemical composition of the essential oil *Elsholtzia ciliata* (Thunb.) Hyl. Issues of biological, medical and pharmaceutical chemistry. 2020. Vol. 23. No. 4. P. 3-9.]

Статья поступила в редакцию 05.02.2024 г.

Dmitrieva V.L., Zhevnerov A.V., Dmitrievskaya I.I., Dmitriev L.B., Belopukhov S.L., Bakova N.N.
The effect of pre-harvest treatment with an herbicide on the accumulation dynamics and composition of essential oil of *Elsholtzia ciliata* (Thunb.) Hyl. // Plant Biology and Horticulture: theory, innovation. 2024. №. 3(172) P. 35-42

In the field experiment, the effect of pre-harvest treatment with an aqueous solution of various concentrations with the herbicide "Alistair grand" was studied, which includes diflufenicane - an inhibitor of phytoindesaturase (HRAC: F1 group) on the dynamics of accumulation and composition of the essential oil *Elsholtzia ciliata* (Thunb.) Hyl. The composition of the oil was determined by the HZHK-MS method. The data obtained showed that already on the seventh day after treatment, the natural hormonal balance of the course of biosynthetic processes is disturbed. At a concentration of the drug solution of 0.05 g/l, the intensity of oil biosynthesis in plants decreases, on the 14th day it drops by almost a third compared to the control. At a solution concentration of 0.005 and 0.0005 g/l on the seventh day, under the influence of the drug, the energy of EO synthesis increases and its content in plants increases by 10% compared to control. However, even at these concentrations, the drug has a strong inhibitory effect on the processes of EO biosynthesis. On the fourteenth day of post processing, the oil content is reduced by 10-20%. Changes in the multi-enzymatic complex can also be traced in the redox equilibrium of the system, which affected the change in the biosynthesis of the main components of the EO. At a solution concentration of 0.005 and 0.0005 g/l on the seventh day after treatment, recovery processes are activated and the content of ketone elscholzia oil increases.

Key words: *Elsholtzia* (Thunb.) Hyl); *essential oil*; *elscholtzia ketone*; *herbicides*; *foliar treatment*; *GLC-MS*