

<https://doi.org/10.15407/frg2019.02.161>

УДК 581.17+57.05

ВЛИЯНИЕ ПРЕДПОСЕВНОЙ ОБРАБОТКИ НА СОСТАВ МАСЛА ЧЕРНУШКИ ПОСЕВНОЙ

С.Н. ШИШ¹, А.Г. ШУТОВА¹, Ж.Э. МАЗЕЦ², С.А. ФАТЫХОВА³, П.С. ШАБУНЯ³

¹Государственное научное учреждение «Центральный ботанический сад Национальной академии наук Беларуси»

220012 Минск, ул. Сурганова, 2в

e-mail: svetlana.shysh@gmail.com

²Учреждение образования «Белорусский государственный педагогический университет имени Максима Танка»

220050 Минск, ул. Советская, 18

e-mail: zhannamazets@mail.ru

³Институт биоорганической химии Национальной академии наук Беларуси

220141 Минск, ул. Академика Купревича, 5/2

e-mail: iboh_lfhi@rambler.ru

Изучено влияние предпосевной обработки электромагнитным излучением (ЭМИ) миллиметрового диапазона длин волн, микроконцентрациями эпина и 5-аминолевулиновой кислоты (АЛК) на состав масла чернушки посевной. Эксперимент проведен с семенами, полученными в 2014—2016 гг. Масло из семян чернушки экстрагировали в аппарате Сокслета. Качественный и количественный его состав определяли методами ГХ и ГХ-МС. Установлено, что масло чернушки посевной, выращенной в Беларуси, содержит миристиновую, пальмитиновую, стеариновую, олеиновую, линолевую, линоленовую, арахиновую, эйкозодиеновую жирные кислоты (ЖК), а также *p*-цимол, γ -терпинен, тимохинон, карвакрол, тимол, юнипен, (+)-изоментол. Содержание ненасыщенных ЖК в зависимости от года культивирования и вида предпосевного воздействия изменялось от 75,3 до 78,9 % общего количества соединений. Максимальное количество приходилось на линолевую кислоту (56,4—61,9 %), далее шли олеиновая (13,4—16,8 %), эйкозодиеновая (2,8—3,6 %) и линоленовая (0,36—0,68 %). Установлено, что химическая предпосевная обработка приводит к повышению содержания тимохинона и *p*-цимола в семенах чернушки, физическая — к уменьшению количества данных компонентов по отношению к контролю. Выявлена зависимость между содержанием тимохинона и режимом воздействия ЭМИ. Для улучшения качества сырья чернушки предложено использовать предпосевную обработку АЛК в концентрации 10^{-6} %, которая повышает содержание тимохинона.

Ключевые слова: *Nigella sativa* L., электромагнитное излучение миллиметрового диапазона, 5-аминолевулиновая кислота, эпин, жирные кислоты, тимохинон, *p*-цимол.

Чернушка посевная (*Nigella sativa* L.) — ценное лекарственное растение семейства Ranunculaceae. Фитохимический состав данного расте-

ния довольно разнообразен, включает такие группы биологически активных соединений, как стероиды (кампестерин, ситостерин, стигмастерин, α -спинастерин, β -ситостерол), алкалоиды (нигеллин, N-оксид нигеллимина, нигеллицин), эфирное масло, жирное масло, тритерпеновые сапонины, кумарины, флавоноиды, фенолкарбоновые кислоты, гликозид мелантин, горькие и дубильные вещества, витамины [1–3]. В составе масла чернушки выделяют 36 компонентов [4], среди них 14 ЖК, в том числе 6 относятся к ненасыщенным [1]. Методом газовой хроматографии (ГХ) в эфирном масле обнаружены: *p*-цимен, тимохинон, этиллинолеат, α -пинен, этилгексадеканат, этилолеат, β -пинен, лимонен, карвакрол, камфен, сабинен, мирцен, α -терпинен, β -фелландрен, γ -терпинен, терпинолен, линалол, борнеол, терпинен-4-ол, 1,8-цинеол, камфора, карвон, борнилацетат, лонгифолин, α -лонгипинен, β -туйон, *p*-цимен-8-ол, *транс*-сабиненгидрат, *цис*-сабиненгидрат, (ϵ)-анетол, артемизия-кетон, 2-ундеканон, этилгексаноат, этилгептаноат, этилоктаноат, этилтетрадеканат, этилоктадеканат, метиллинолеат, 2-гептенал, этилнонаноат, тимогидрохинон, дипропилдисульфид, дибутилдисульфид, бутилпропилдисульфид [1, 5]. Наличие большого спектра биологически активных соединений определяет целебные свойства масла семян чернушки: противовоспалительные, иммуномодулирующие, антиоксидантные, репаративные и др. [1, 6]. Однако широкое использование чернушки посевной сдерживается отсутствием промышленного возделывания данной культуры и неполной информацией о составе семян чернушки, а также способах направленного регулирования биосинтеза целевых компонентов масла, к которым можно отнести различную предпосевную обработку.

Влияние физических воздействий, в частности электромагнитного излучения, на биологические объекты изучается исследователями уже более 50 лет. Отмечены различные эффекты его на фотосинтезирующие организмы, а также грибы, животных и бактерии [7–9]. Однако до сих пор недостаточно изучено, на какие биохимические процессы в семенах растений ЭМИ оказывает влияние. Информация такого рода позволила бы целенаправленно использовать электромагнитную обработку для более полной реализации потенциальных биосинтетических возможностей растений. В данной работе оценено влияние ЭМИ на состав масла семян чернушки посевной непосредственно после воздействия и в конце вегетационного периода после предпосевной обработки.

Из многочисленных вариантов химического воздействия на семена мы остановились на 5-аминолевулиновой кислоте, поскольку она является предшественником всех циклических и линейных тетрапирролов, играющих важную роль в метаболизме растений, и обладает доказанной рострегуляторной активностью в низких концентрациях [10–14]. Для исследований были выбраны микро- и наноконцентрации АЛК, так как, согласно мнению ряда ученых [15], низкие концентрации химических агентов и низкоинтенсивные ЭМИ могут оказывать подобное влияние на живые объекты. Также в качестве химического предпосевого воздействия был использован эпин в микроконцентрации как известный коммерческий препарат с рострегуляторным действием.

Итак, целью данной работы была сравнительная оценка влияния физической и химической предпосевной обработки на состав масла чернушки посевной.

Методика

Для исследований физического воздействия на семена было выбрано микроволновое ЭМИ миллиметрового диапазона длин волн в режимах: 1 (частота 53,57—78,33 ГГц) с экспозицией обработки 20 мин (P1); 2 и 3 (частота 64,00—66,00 ГГц) с экспозициями обработки 12 мин (P2.1) и 8 мин (P2.2). Обработку семян проводили в Институте ядерных проблем Белорусского государственного университета (БГУ) на лабораторной установке для микроволновой обработки семян различных сельскохозяйственных культур в широком частотном диапазоне (от 37 до 120 ГГц) с плавной регулировкой мощности от 1 до 10 мВт [16]. В качестве средств химической обработки использовали АЛК и эпин в концентрации 10^{-6} % (АЛК1 и Э1), 10^{-7} % (АЛК2), 10^{-9} % (АЛК3), 10^{-11} % (АЛК4). Обработку проводили методом инкрустации в 1%-м растворе фадекса.

Объектом исследования было масло из семян чернушки посевной, выращенной на экспериментальном участке отдела биохимии и биотехнологии растений Центрального ботанического сада НАН Беларуси при разных способах предпосевного воздействия.

Эксперимент проведен с семенами трех лет возделывания (2014—2016). На семенах 2014 г. изучали эффект последствия обработок, т.е. масло было получено из семян, выросших на растениях, прошедших предпосевную обработку. В 2015 г. изучен быстрый эффект воздействия ЭМИ, т.е. масло получали из семян, непосредственно обработанных ЭМИ, а в 2016 г. был повторен опыт 2014 г. с семенами, обработанными АЛК.

Экстракцию масла из семян чернушки проводили гексаном в аппарате Сокслета на протяжении 2 ч, что соответствовало 6 циклам. Полученное масло чернушки метилировали согласно ГОСТ [18]. Качественный и количественный анализы метиловых эфиров ЖК в масле чернушки проводили методом ГХ с дериватизацией на газовом хроматографе Agilent 7890В с пламенно-ионизационным детектором. Анализировали хроматограммы с использованием компьютерного обеспечения Agilent Software V.01.03.1 (Agilent Technologies Inc., USA). Подробное описание условий анализа приведено в работе [19]. Для построения калибровочных кривых использовали гексановые растворы стандартов ЖК в следующих диапазонах концентраций, мкг/мл: миристиновая — 40—400, пальмитиновая — 10—1000, стеариновая — 60—600, олеиновая — 400—4000, линолевая — 400—4000, линоленовая — 50—500, арахидиновая — 20—200. Содержание остальных соединений определяли в пересчете на стеариновую кислоту.

Количественное определение тимохинона и *p*-цимола в масле чернушки посевной проведено на газовом хроматографе Agilent 6890N с масс-селективным детектором Agilent 5975 в режиме ионизации электронами. Анализ хроматограмм и масс-спектров выполнен с использованием компьютерного обеспечения Agilent MSD Chem-

Station D 02.00.275 (Agilent Technologies Inc., USA). Калибровочные растворы тимохинона ($\geq 95\%$, Fluka 78095—25 mg) в дихлорметане готовили в диапазоне концентраций 50—1000 мкг/мл. Содержание *p*-цимола определяли в пересчете на тимохинон.

Результаты и обсуждение

Методом ГХ установлено, что масло чернушки посевной, выращенной в Беларуси, содержит миристиновую, пальмитиновую, стеариновую, олеиновую, линолевую, линоленовую, арахидоновую, эйкозодиеновую ЖК, что согласуется с результатами анализа образцов масла чернушки, исследованных в России, Тунисе, Иране, Пакистане и других странах [1, 2, 4, 5, 19].

Согласно полученным данным, в масле чернушки преобладают ненасыщенные ЖК, их содержание колеблется в зависимости от года культивирования и вида предпосевного воздействия (от 75,3 до 78,9 % общего количества соединений) (рис. 1).

При этом основным компонентом является линолевая кислота (56,4—61,9 %), далее по содержанию идут олеиновая (13,4—16,8 %), эйкозодиеновая (2,8—3,6 %) и линоленовая (0,36—0,68 %) кислоты. Отмечено изменение количественного состава ЖК в результате предпосевного воздействия (таблица).

Установлено, что обработка семян АЛК1 и Э1 вызывала изменения качественного состава масла: появлялись неидентифицированные компоненты с суммарным содержанием в пределах 1 % общего количества соединений.

Роль полиненасыщенных жирных кислот в адаптации организмов к изменяющимся условиям окружающей среды рассматривалась многократно. В частности, с повышением степени ненасыщенности ЖК связывают начальные этапы реакции клеток на действие различных стрессоров [20, 21]. Обработки ЭМИ (последствие, 2014 г.) приводили в основном к количественному изменению в составе ЖК, увеличивая долю ненасыщенных ЖК. Анализ количественного и качественного составов масла семян чернушки сразу после обработки ЭМИ (семена 2015 г.) показал, что качественный состав ЖК оставался прежним, а изменения в количественном составе зависели от ре-

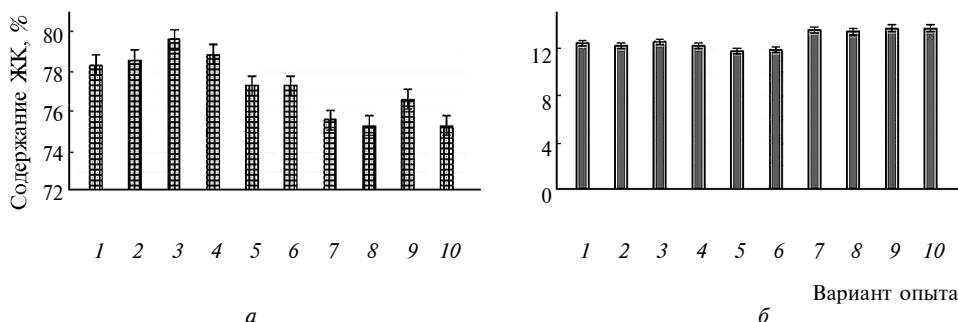


Рис. 1. Содержание ненасыщенных (а) и насыщенных (б) жирных кислот в масле *Nigella sativa* L.:

1 — контроль, 2014; 2 — P1, 2014; 3 — P2.1, 2014; 4 — P2.2, 2014; 5 — АЛК1, 2014; 6 — Э1, 2014; 7 — контроль, 2015; 8 — P1, 2015; 9 — P2.1, 2015; 10 — P2.2, 2015

Изменение количественного состава жирных кислот в масле *Nigella sativa* L. в результате физико-химического предпосевного воздействия, мкг/мг масла*

Жирная кислота	Время удерживания, мин	Вид воздействия на семена									
		2014 г., оценка результатов в конце вегетационного периода					2015 г., оценка результатов сразу после обработки				
		Контроль	P1	P2.1	P2.2	АЛК1	Э1	Контроль	P1	P2.1	P2.2
Миристиновая С14:0	9,66	1,18	1,40	1,43	1,37	1,26	1,29	1,14	1,15	1,09	1,21
Пальмитиновая С16:0	11,70	67,12	76,15	74,41	75,88	71,51	70,36	76,95	79,64	73,80	74,07
Стеариновая С18:0	14,43	22,24	12,58	12,19	12,35	12,0	11,63	15,59	16,62	15,52	15,71
Олеиновая С18:1	14,85	88,13	103,12	94,75	102,56	108,94	101,45	111,03	120,94	112,27	109,35
Линолевая С18:2	15,78	389,9	451,07	436,6	449,47	423,72	418,61	396,51	410,33	378,27	374,42
Линоленовая С18:3	16,68	3,95	4,28	4,79	4,22	3,16	3,65	3,13	2,76	2,46	2,62
Арахидовая С20:0	17,79	0,97	1,06	1,04	1,01	1,09	1,22	1,93	1,66	1,65	1,48
Эйкоздиеновая С20:2	19,43	22,63	24,39	24,56	23,99	24,55	24,06	20,03	20,40	18,86	18,59
Сумма идентифицированных ЖК		596,1	674,1	649,8	670,9	646,2	632,3	626,3	653,5	603,9	597,5

*Средние значения по выборкам; погрешность среднего не превышала 5 %.

жима воздействия. Данные ЯМР анализа подтвердили жирнокислотный состав масла, определенный методом ГХ [22].

С помощью ГХ-МС (в сканирующем режиме) установлено, что помимо ЖК изучаемые образцы масла чернушки содержали компоненты эфирного масла, которые частично извлекались гексаном: тимохинон, *p*-цимол, γ -терпинен, карвакрол, тимол, юнипен, (+)-изоментол.

Под воздействием ЭМИ в масле чернушки посевной снижалось количество тимохинона, что было характерно как для семян сразу после обработки, так и для семян, полученных с растений из обработанных семян (рис. 2). При этом обработка в режиме P2.1 приводила к самому низкому содержанию тимохинона в масле. Эта зависимость сохранялась в разные годы исследования. Так, в результате воздействия ЭМИ P2.1 в 2014 г. содержание тимохинона в масле снизилось на 43,4 % по отношению к контролю, а в 2016 г. — в 3,3 раза.

Обработка АЛК и эпином в концентрации 10^{-6} % приводила к повышению содержания тимохинона в масле чернушки. В эксперименте 2014 г. было показано, что обработка АЛК1 повышает его уровень в 5,8 раза (см. рис. 2), а Э1 — в 3,3 раза. Учитывая эти данные для обработки АЛК1, было решено проверить влияние различных концентраций АЛК на накопление тимохинона при предпосевной обработке семян. Однако эксперименты 2016 г. показали, что повышение содержания тимохинона после обработок АЛК не было таким значительным, как в 2014 г. При этом было выявлено, что среди испытанных четырех концентраций АЛК максимальное увеличение содержания тимохинона вызывала концентрация АЛК3 (10^{-9} %) — 48 % относительно контроля, далее следовали АЛК1 (10^{-6} %) и АЛК2 (10^{-7} %) — соответственно 24,8 и 13,7 %. Логично предположить, что обработка АЛК может быть использована для повышения содержания тимохинона в семенах чернушки, однако степень проявления эффекта зависит также от условий вегетационного периода.

p-Цимол, как правило, содержится в маслах растений совместно с тимолом и тимохиноном, поскольку они образуют взаимопревра-

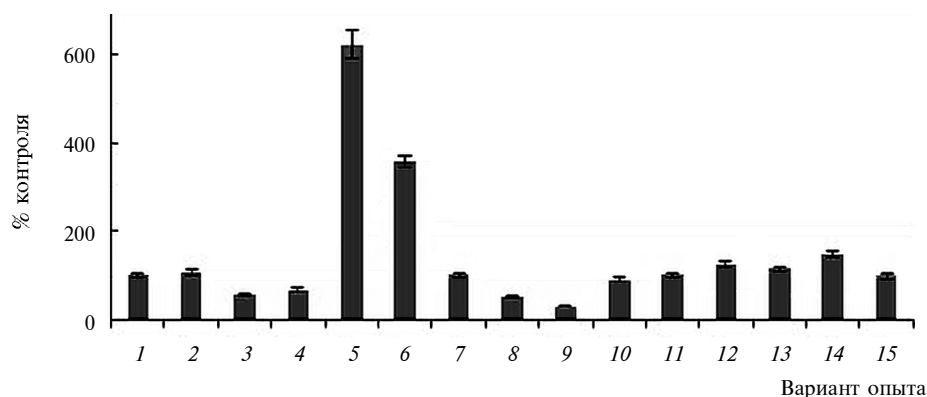


Рис. 2. Содержание тимохинона в масле семян чернушки посевной. Здесь и на рис. 3: 1 — контроль, 2014; 2 — P1; 3 — P2.1; 4 — P2.2; 5 — АЛК1; 6 — Э1; 7 — контроль, 2015; 8 — P1; 9 — P2.1; 10 — P2.2; 11 — контроль, 2016; 12 — АЛК1; 13 — АЛК2; 14 — АЛК3; 15 — АЛК4

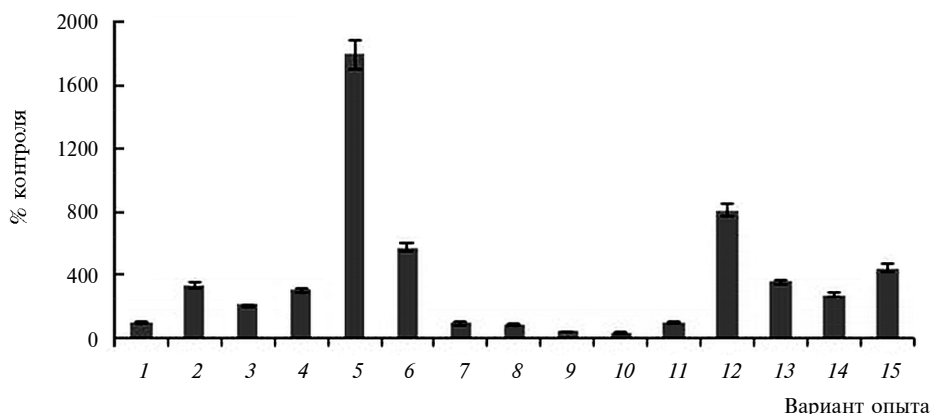


Рис. 3. Содержание *p*-цимола в масле семян чернушки посевной

щающуюся биохимическую цепочку [23]. Анализ содержания *p*-цимола показал, что увеличение его количества в масле характерно только для семян, полученных с растений чернушки, предварительно прошедших предпосевную обработку (рис. 3). Изучение эффекта ЭМИ на состав масла сразу после воздействия излучения показало уменьшение содержания как *p*-цимола, так и тимохинона. На основании полученных результатов можно предположить, что использованные режимы ЭМИ влияют на интенсивность метаболизма таких соединений вторичного обмена, как тимохинон и *p*-цимол, а также на качественный состав жирных кислот масла, выделенного из семян.

Таким образом, в результате изучения состава масла чернушки посевной установлено, что предпосевные обработки ЭМИ и АЛК приводят к изменениям в количественном составе ЖК, содержании тимохинона и *p*-цимола в семенах *N. sativa*.

Изменения в составе жирных кислот масла семян непосредственно после обработки ЭМИ связаны в наибольшей степени со снижением количества линоленовой и арахидоновой кислот. При изучении последствий обработок установлено, что вне зависимости от их типа существенно уменьшается количество стеариновой кислоты, а количество ненасыщенных ЖК увеличивается.

Доказано, что химическая предпосевная обработка приводит к повышению содержания тимохинона в масле семян чернушки посевной, в то время как физическая — к снижению его содержания по отношению к контролю. Максимальное негативное влияние на накопление тимохинона оказывает режим Р2.1 как сразу после обработки семян, так и в процессе формирования семян на растениях, подвергнутых предпосевному воздействию ЭМИ. Такой же эффект оказывает режим Р2.1 на содержание *p*-цимола в семенах обработанных растений.

В целом масло чернушки посевной, выращенной в Беларуси, отличается сбалансированным составом и может быть использовано в качестве источника незаменимых ЖК. Для улучшения качества сырья чернушки предлагаем использовать предпосевную обработку

АЛК в микроконцентрации 10^{-6} %, которая обеспечит повышение содержания тимохинона в конечном продукте.

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Рудь Н.К., Сампиев А.М., Давитавян Н.А. Основные результаты фитохимического и фармакологического исследования чернушки посевной. *Научные ведомости. Сер. Медицина. Фармация*. 2013. № 25 (168), вып. 24. С. 207–212.
2. Bourgou S., Ksouri R., Bellila A., Skandrani I., Falleh H., Marzouk B. Phenolic composition and biological activities of Tunisian *Nigella sativa* L. shoots and roots. *C. R. Biol.* 2008. N 331. P. 48–55.
3. Cheikh-Rouhou S., Besbes S., Lognay G., Blecker C., Deroanne C., Attia H. Sterol composition of black cumin (*Nigella sativa* L.) and Aleppo pine (*Pinus halepensis* Mill.) seed oils. *J. Food Compos. Anal.* 2008. N 21. P. 162–168.
4. Маширова С.Ю., Орловская Т.В. Изучение компонентного состава липидов семян чернушки посевной и чернушки дамасской. *Научные ведомости. Сер. Медицина. Фармация*. 2012. № 4 (123), вып. 17. С. 223–227.
5. Nickavar B., Mojab F., Javidnia K., Amoli M.A. Chemical composition of the fixed and volatile oils of *Nigella sativa* L. from Iran. *J. Zeitschrift fur Naturforschung*. 2003. N 58 (9–10). P. 629–631.
6. Гулиева М.Г., Мамедбейли А.И., Меджидова С.Р., Зейналова Э.И., Фигарова Н.А. Эффективность применения масла черного тмина для лечения герпетического кератита. *Офтальмология*. 2014. 1 (14). С. 64–67.
7. Тамбиев А.Х. Влияние электромагнитных волн миллиметрового диапазона низкой интенсивности на фотосинтезирующие организмы: развитие направления (обзор). *Биомедицинская радиоэлектроника*. 2014. № 6. С. 4–18.
8. Chailakhyan R.K., Yusupov V.I., Gorskaya Yu.F., Kuralesova A.I., Gerasimov Yu.V., Sviridov A.P., Tambiev A.Kh., Vorobieva N.N., Grosheva A.G., Shishkova V.V., Moskvina I.L., Bagratashvili V.N. Effect of acoustic pulses and EHF radiation on multipotent marrow stromal cell in tissue engineering constructions. *J. of Innovative Optical Health Sciences*. 2016. 10, N 1. P. 1650036-1-1650036-9 DOI.
9. Тамбиев А.Х., Лукьянов А.А. Возможности диагностики влияния КВЧ- и СВЧ-излучения на цианобактерии, микроводоросли и актиномицеты (обзор). *Биомедицинская радиоэлектроника*. 2011. № 2. С. 39–53.
10. Яронская Е.Б., Аверина Н.Г., Кисель М.А. Экологически безопасные регуляторы роста растений на основе 5-аминолевулиновой кислоты. *Труды Белорус. гос. ун-та*. 2012. 7. С. 127–134.
11. Аверина Н.Г., Яронская Е.Б. Биосинтез тетрапирролов в растениях. Минск: Белорусская наука, 2012. 414 с.
12. Шиш С.Н., Шутова А.Г., Мазец Ж.Э. Сравнительная оценка воздействия 5-аминолевулиновой кислоты и эпина на ростовые процессы *Calendula officinalis* L. *Труды Белорус. гос. ун-та*. 2013. 8, Ч. 2. С. 125–129.
13. Аверина Н.Г. Роль 5-аминолевулиновой кислоты в жизнедеятельности растений. Минск: Изд. центр Белорус. гос. ун-та. 2016. Ч. 2. С. 21–24.
14. Прищепчик Ю.В., Аверина Н.Г. Влияние биопрайминга семян льна 5-аминолевулиновой кислотой на энергию прорастания и всхожесть. *Молекулярные, мембранные и клеточные основы функционирования биосистем*. Минск: Изд. центр Белорус. гос. ун-та. 2016. С. 76–79.
15. Галь Л.Н. Физические принципы функционирования материи живого организма. Санкт-Петербург: Изд-во СПб политехн. ун-та, 2014. 400 с.
16. Карпович В.А., Родионова В.Н. Пат. РБ № 5580. Способ предпосевной обработки семян овощных или зерновых культур. Выд. 23.06.2003 г.
17. ГОСТ Р 51486-99. Масла растительные и жиры животные. Получение метиловых эфиров жирных кислот из триглицеридов переэтерификацией с метанольным раствором метилата натрия [Текст]. Введ. 2001-01-01. Москва: Стандартинформ, 5-е изд. 2008.
18. Frank D., Pat S., Vickers A. K. Column selection for the analysis of fatty acid methyl esters. *Agilent Technologies Inc. USA*. 2005. P. 1–12.

19. Aftab A.K., Mahesar S.A., Khaskheli A.R., Sherazi S.T.H., Sofia Q., Zakia K. Gas chromatographic coupled mass spectroscopic study of fatty acids composition of *Nigella sativa* L. (KALONJI) oil commercially available in Pakistan. *Intern. Food Res. J.* 2014. N 21(4). P. 1533—1537.
20. Перова В.Г., Дмитриев Л.Б., Белопухов С.Л., Лукомец В.М., Дмитриева В.Л. Изменение химического состава липидов масличного льна под влиянием гербицидов — ингибиторов ацетилкофермента-А-карбоксилазы. *Изв. ТСХА.* 2015. вып. 6. С. 58—66.
21. Фуксман И.Л. Влияние природных и антропогенных факторов на метаболизм веществ вторичного происхождения у древесных растений: автореф. дис. д-ра биол. наук. Санкт-Петербург. 1999. 43 с.
22. Скаковский Е.Д., Тычинская Л.Ю., Шиш С.Н., Шутова А.Г., Ламоткин С.А. ЯМР анализ хлороформенных экстрактов семян чернушки. *Труды Белорус. гос. техн. ун-та.* Сер. Химия, технология органических веществ и биотехнология. 2015. № 4 (177). С. 234—239.
23. Федотов С.В. Эфирные масла монард видов *Monarda fistulosa* L., *Monarda didyma* L., *Monarda citriodora* Cervantes ex Lag., их хемотипы и биологическая активность. *Сборник научных трудов нац. бот. сада.* 2015. **141**. С. 131—147.

Получено 25.01.2019

REFERENCES

1. Rud, N.K., Sampiyev, A.M. & Davitavyan, N.A. (2013). The main results of the phytochemical and pharmacological studies of black cumin. *Scientific statements. Ser. Medicine. Pharmacy*, No. 25 (168), is. 24, pp. 207-212.
2. Bourgou, S., Ksouri, R., Bellila, A., Skandrani, I., Falleh, H. & Marzouk, B. (2008). Phenolic composition and biological activities of Tunisian *Nigella sativa* L. shoots and roots. *C. R. Biol.*, No. 331, pp. 48-55.
3. Cheikh-Rouhou, S., Besbes, S., Lognay, G., Blecker, C., Deroanne, C. & Attia, H. (2008). Sterol composition of black cumin (*Nigella sativa* L.) and Aleppo pine (*Pinus halepensis* Mill) seed oils. *J. Food. Compos. Anal.*, No. 21(2), pp. 162-168.
4. Mashirova, S. Yu. & Oryol, T.V. (2012). Study of the lipid component composition of seeds of *Nigella sativa* and *Nigella damascene*. *Scientific Reports. Ser. Medicine. Pharmacy*, No. 4 (123), is. 17, pp. 223-227.
5. Nickavar, B., Mojab, F., Javidnia, K. & Amoli, M.A. (2003). Chemical composition of the fixed and volatile oils of *Nigella sativa* L. from Iran. *J. Zeitschrift fur Naturforschung*, No. 58(9-10), pp. 629-631.
6. Guliyeva, M.G., Mamedbeyli, A.I., Medzhidova, S.R., Zeynalova, E.I. & Figarova, N.A. (2014). Efficiency of using Black cumin oil to treat herpetic keratitis. *Ophthalmology*, No. 1 (14), pp. 64-67.
7. Tambiev, A.Kh. (2014). The influence of electromagnetic waves of the millimeter range of low intensity on photosynthesizing organisms: the development of the direction (review). *J. Biomedical Radioelectronics*, No. 6. pp. 4-18.
8. Chailakhyan, R.K., Yusupov, V.I., Gorskaya, Yu.F., Kuralesova, A.I., Gerasimov, Yu.V., Sviridov, A.P., Tambiev, A.Kh., Vorobieva, N.N., Grosheva, A.G., Shishkova, V.V., Moskvina, I.L. & Bagratashvili, V.N. (2016). Effect of acoustic pulses and EHF radiation on multipotent marrow stromal cell in tissue engineering constructions. *J. of innovative optical health sciences*, 10, No. 1, pp. 1650036-1-1650036-9 DOI.
9. Tambiev, A.Kh. & Lukyanov, A.A. (2011). Possibilities of diagnosing the effect of EHF and microwave radiation on cyanobacteria, microalgae, and actinomycetes (review). *J. Biomedical Radioelectronics*, No. 2, pp. 39-53.
10. Yaronskaya, E.B., Averina, N.G. & Kissel, M.A. (2012). Environmentally safe plant growth regulators based on 5-aminolevulinic acid. *Proceedings of the Belarusian State University*, 7, pp. 127-134.
11. Averina, N.G. & Yaronskaya, E.B. (2012). Biosynthesis of tetrapyrrole in plants. *Minsk: Belarus science*, 414 p.

12. Shysh, S.N., Shutova, A.G. & Mazetz, J.E. (2013). Comparative estimation of the influence of 5-aminolevulinic acid and epin on the growth process of *Calendula officinalis* L. Proceedings of the Belarusian State University, 8, Pt 2, pp. 125-129.
13. Averina, N.G. (2016). The role of 5-aminolevulinic acid in the life of plants. Minsk: Izd. Center of BSU, Pt 2, pp. 21-24.
14. Prischepchik, Yu.V. & Averina, N.G. (2016). Influence of bioprimering of flax seeds with 5-aminolevulinic acid on germination energy and germination. Minsk: Izdat. Tsentr, pp. 76-79.
15. Gal, L.N. (2014). Physical principles of the functioning of the matter of a living organism. SPb.: Publishing House Polytechnic. University, 400 p.
16. Karpovich, V.A. & Rodionov, V.N. Patent of the Republic of Belarus No. 5580. Method of presowing treatment of seeds of vegetable or grain crops. Issued. 06.23.2003.
17. GOST R 51486-99. Vegetable oils and animal fats. Preparation of fatty acid methyl esters from triglycerides by transesterification with a methanolic solution of sodium methylate [Text]. Enter 2001-01-01. M.: Standardinform, 5th reprint 2008.
18. Frank, D., Pat, S. & Vickers, A.K. (2005). Column selection for the analysis of fatty acid methyl esters. Agilent technologies Inc., USA, pp. 1-12.
19. Aftab, A.K., Mahesar, S.A., Khaskheli, A.R., Sherazi, S.T.H., Sofia, Q. & Zakia, K. (2014). Gas chromatographic coupled mass spectroscopic study of fatty acids composition of *Nigella sativa* L. (KALONJI) oil commercially available in Pakistan. Intern. Food Res. J., No. 21(4), pp. 1533-1537.
20. Perova, V.G., Dmitriev, L.B., Belopukhov, S.L., Lukomets, V.M. & Dmitrieva, V.L. (2015). Changes in the chemical composition of oil flax lipids under the influence of herbicides — acetyl coenzyme-A-carboxylase inhibitors. News TSCA, Is. 6, pp. 58-66.
21. Fuksman, I.L. (1999). The influence of natural and anthropogenic factors on the metabolism of substances of secondary origin in woody plants. Abstract of dissertation for the degree of Doctor of Biological Sciences. SPb. 43 p.
22. Skakovskiy, E.D., Tychinskaya, L.Yu., Shysh, S.N., Shutova, A.G. & Lamotkin, S.A. (2015). NMR analysis of chloroform extracts of black cumin seeds. Proceedings of BSTU, Chemistry Series, Substance Technology, and Biotechnology, No. 4 (177), pp. 234-239.
23. Fedotov, S.V. (2015). Essential oils of monard species *Monarda fistulosa* L., *Monarda didyma* L., *Monarda citriodora* Cervantes ex Lag., Their chemotypes and biological activity. Collection of scientific papers of the GNSS, 141, pp. 131-147.

Received 25.01.2019

ВПЛИВ ПЕРЕДПОСІВНОЇ ОБРОБКИ НА СКЛАД ОЛІЇ ЧОРНУШКИ ПОСІВНОЇ

С.М. Шиш¹, Г.Г. Шутова¹, Ж.Е. Мазец², С.А. Фатихова³, П.С. Шабуня³

¹Державна наукова установа «Центральний ботанічний сад Національної академії наук Білорусі», Мінськ

²Установа освіти «Білоруський державний педагогічний університет імені Максима Танка», Мінськ, Білорусь

³Інститут біоорганічної хімії Національної академії наук Білорусі, Мінськ

Вивчено вплив передпосівної обробки електромагнітним випромінюванням (ЕМВ) міліметрового діапазону довжин хвиль, мікроконцентраціями епіну і 5-амінолевулінової кислоти (АЛК) на склад олії чорнушки посівної. Експеримент проведено з насінням, отриманим у 2014—2016 рр. Олію екстрагували з насіння чорнушки в апараті Сокслета. Якісний і кількісний її склад визначали методами ГХ і ГХ-МС. Встановлено, що олія чорнушки посівної, вирощеної в Білорусі, містить міристинову, пальмітинову, стеаринову, олеїнову, лінолеву, ліноленову, арахінову, ейкозадієнову жирні кислоти (ЖК), а також *p*-цимол, γ -терпінен, тимохінон карвакрол, тимол, юнілен, (+)-ізоментол. Вміст ненасичених ЖК залежно від року культивування і виду передпосівного впливу змінювався від 75,3 до 78,9 % загальної кількості сполук. Максимальна кількість припадала на лінолеву кислоту (56,4—61,9 %), далі йшли

олеїнова (13,4—16,8 %), ейкозадієнова (2,8—3,6 %) і ліноленова (0,36—0,68 %). Встановлено, що хімічна передпосівна обробка приводить до збільшення вмісту тимохінону і *p*-цимолу в насінні чорнушки, фізична — до зменшення кількості цих компонентів відносно контролю. Виявлено залежність між вмістом тимохінону й режимом впливу ЕМВ. Для поліпшення якості сировини чорнушки запропоновано використовувати передпосівну обробку АЛК у концентрації 10^{-6} %, що підвищує вміст тимохінону.

Ключові слова: *Nigella sativa* L., електромагнітне випромінювання міліметрового діапазону, 5-амінолевулінова кислота, епін, жирні кислоти, тимохінон, *p*-цимол.

INFLUENCE OF PRESOWING TREATMENT ON NIGELLA SATIVA L. OIL COMPOSITION

*S.N. Shysh*¹, *H.G. Shutava*¹, *Zh.E. Mazets*², *S.A. Fatykhava*³, *P.S. Shabunya*³

¹The Central Botanical Garden, National Academy of Sciences of Belarus
2v Surganova St., 220012, Minsk, Belarus
e-mail: svetlana.shysh@gmail.com

²Maxim Tank, Belarusian State Pedagogical University
18 Sovetskaya St., 220050, Minsk, Belarus
e-mail: zhannamazets@mail.ru

³Institute of Bioorganic Chemistry, National Academy of Sciences of Belarus
5/2 Akademika Kuprevicha St., 220141, Minsk, Belarus
e-mail: iboh_lfhi@rambler.ru

The effect of presowing treatment with electromagnetic radiation (EMP) of the millimeter-wavelength range and microconcentrations of epine and 5-aminolevulinic acid (ALA) on the composition of black cumin seed oil was studied. The experiment was carried out with seeds obtained in the harvests of 2014—2016 years. Extraction of oil from black cumin seeds was carried out in Soxhlet apparatus. The qualitative and quantitative compositions of the oil were determined by GC and GC-MS methods. It was found that oil from *Nigella sativa* grown in Belarus contained myristic, palmitic, stearic, oleic, linoleic, linolenic, arachidic, eicosadienic acids (FA), and thymoquinone, *p*-cymene, γ -terpinene, carvacrol, thymol, yunipen, (+)-isomenthol. The content of unsaturated fatty acids has varied depending on the year of cultivation and the type of presowing treatment from 75.3 to 78.9 % of the total quantity of compounds. Maximum amount, in percentage, was accounted for linoleic acid (56.4—61.9 %), followed by oleic acid (13.4—16.8 %), eicosadienic (2.8—3.6 %) and linolenic acid (0.36—0.68 %). It was established that chemical presowing treatment increased content of thymoquinone and *p*-cymene in *Nigella sativa* L. seeds, while the physical one decreased amount of these compounds in relation to control plants. The relation between the content of thymoquinone and the mode of exposure to electromagnetic radiation was found. In order to improve the quality of black cumin oil, it is suggested to use presowing treatment with ALA in 10^{-6} % concentration which allows to increase thymoquinone content.

Key words: *Nigella sativa* L., millimeter-wave electromagnetic radiation, 5-aminolevulinic acid, epin, fatty acids, thymoquinone, *p*-cymol.