

УДК 543.544.32:633.16

## ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ ЖИРНЫХ КИСЛОТ И ОКСИЛИПИНОВ В ПРОРОСТКАХ *ZEA MAIZE L.* ПОД ВЛИЯНИЕМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНОГО ДИАПАЗОНА

© *Н.В. Пушкина*

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, Минск,  
220030 (Республика Беларусь), e-mail: nadyapushkina@gmail.com*

В работе показано влиянием электромагнитного поля сверхвысококачастотного диапазона (ЭМП СВЧ) на изменчивость жирных кислот и их производных в проростках кукурузы разного возраста. Объектом исследования являлись семена кукурузы белорусской селекции гибрида Дарья, которые были обработаны ЭМП СВЧ в течение 12 мин с частотой 64-66 ГГц, мощность воздействия 10 мВт. Контролем служили не обработанные ЭМП СВЧ семена. Определение жирных кислот проводилось методом газовой хроматографии с масс-спектрометрией (ГХ-МС).

Анализ жирных кислот и их производных в проростках кукурузы разного возраста показал, что в корнях и листьях кукурузы метаболизм жирных кислот идет разными путями. В проростках кукурузы, представленных гипокотелем и зародышевым корешком, на 4-й день роста повышается содержание следующих оксипинов: гидроксиметилового эфира линолеиновой кислоты и октадекановой кислоты, 2,3-дигидроксипропилового эфира на 57.8 и 26.8% соответственно. К 12-му и 14-му дню роста в корнях кукурузы существенно возрастает содержание  $\alpha$ -линоленовой кислоты, которая является исходным веществом синтеза оксипинов. Кроме того, в корнях преобладают ненасыщенные жирные кислоты, в листьях – насыщенные. Под влиянием электромагнитного поля СВЧ диапазона в корнях кукурузы происходит снижение содержания насыщенных и, соответственно, увеличивается степень ненасыщенности жирных кислот. В листьях, наоборот, отмечено повышение суммы насыщенных и уменьшение ненасыщенных жирных кислот после ЭМП СВЧ обработки семян кукурузы. В проростках, корнях и листьях кукурузы преобладают полиненасыщенные жирные кислоты – линолевая и линоленовая. В связи с этим можно полагать, что стимулирующее влияние предпосевной обработки ЭМП СВЧ на всхожесть, рост и развитие кукурузы происходит посредством накопления ненасыщенных жирных кислот и оксипинов как ответ растения на экзогенное воздействие.

*Ключевые слова:* кукуруза, семена, электромагнитное поле сверхвысококачастотного диапазона (ЭМП СВЧ), жирные кислоты, оксипины, коэффициент ненасыщенности, индекс двойных связей.

### *Введение*

У растений содержание липидов может достигать 80% от сухой массы тканей. В семенах липиды накапливаются в виде триацилглицеролов, которые образуются в результате изменения пути биосинтеза мембранных липидов, общих для всех тканей растений. В отличие от жирных кислот (ЖК) мембранные липиды крайне разнообразны. Некоторые из них способствуют стабилизации участков мембран, другие являются важными биорегуляторами и участвуют в биосинтетических реакциях. Отдельные липиды необходимы для поддержания оптимальной активности ряда ферментов [1]. У растений ЖК синтезируются в пластидах и транспортируются в эндоплазматический ретикулум для модификации и сборки липидов. Впоследствии липофильные соединения распределяются внутри клетки путем транспорта через мембранные системы [2, 3]. Известно также, что жирные кислоты и липиды, которые являются основными и необходимыми составляющими всех растительных клеток, не только обеспечивают структурную целостность и энергию для различных метаболических процессов, но также могут функционировать в качестве медиаторов трансдукции сигнала. Липиды и жирные кислоты могут передавать как внутриклеточные, так и внеклеточные сигналы [4]. Продукты, образующиеся при метаболизме жирных кислот, могут работать как важные химические сигналы [5]. В результате окисления полиненасыщенных жирных кислот могут образовываться оксипины –

*Пушкина Надежда Викторовна* – научный сотрудник,  
e-mail: nadyapushkina@gmail.com

сигнальные молекулы растений. Они включают гидрокси-, оксо- или кето-жирные кислоты или ле-

тучие альдегиды, которые могут выполнять различные биологические роли в качестве вторичных мессенджеров, участвующих в передаче сигналов или даже в качестве бактерицидных агентов. В работе [6] показано, что фосфолипиды и сфинголипиды участвуют в структуре и динамике мембран, регулируя размер клеток, а также деление и дифференцировку.

В последние годы широко изучается ответная реакция семян и целых растений на разные виды экзогенных воздействий, однако работы по липидному обмену при обработке растений ЭМП СВЧ остаются малочисленными. Показано, что обработка семян электромагнитным полем сверхвысокочастотного диапазона (ЭМП СВЧ) может использоваться как альтернатива традиционным химическим способам предпосевной подготовки семенного материала, особенно в органическом сельском хозяйстве [7–11]. Ранее установлено, что обработка семян кукурузы ЭМП СВЧ в диапазоне частот 53–78 ГГц стимулирует ускорение метаболизма: повышается всхожесть и динамика прорастания, увеличивается длина корней и проростков [8]. Однако нет полной и систематизированной информации о влиянии электромагнитного поля сверхвысокой частоты (ЭМП СВЧ) на особенности накопления жирных кислот и оксипинов в растительных организмах.

В связи с этим цель данной работы – исследование влияния предпосевной ЭМП СВЧ обработки на накопление жирных кислот и их производных в проростках, корнях и листьях кукурузы разного возраста.

### **Экспериментальная часть**

Объектом исследования являлись семена гибрида кукурузы белорусской селекции Дарья, которые были обработаны ЭМП СВЧ в течение 12 мин с частотой 64–66 ГГц, мощность воздействия 10 мВт. Лабораторные опыты по определению всхожести проводились по стандартным методикам [12, 13] в трехкратной повторности. Контролем служили не обработанные ЭМП СВЧ семена.

В проростках кукурузы, представленных гипокотилем и зародышевым корешком, на 4-й, в корнях и листьях на 12-й и 14-й дни роста определяли жирные кислоты и их производные методом газовой хроматографии с масс-спектрометрией (ГХ-МС). По площадям пиков определялось относительное (%) содержание липидов к 100% от общей площади пиков этих компонентов в экстрактах [14].

Для оценки степени ненасыщенности ЖК в тканях использовали индекс двойных связей (ИДС) [15]:

$$\text{ИДС} = \sum P_j \times n / 100,$$

где  $P_j$  – содержание жирных кислот (%), а  $n$  – количество двойных связей в каждой кислоте.

Также использовали коэффициент ненасыщенности жирных кислот (К) как отношение суммы ненасыщенных ЖК к сумме насыщенных.

Статистическая обработка проводилась в MS Microsoft Excel 2013 и в среде Statistica с использованием функций описательной статистики компьютерной программы Microsoft Office Excel. Диаграммы построены в программе Microsoft Office Excel. На графиках и в таблицах представлены средние арифметические значения величин и ошибка среднего арифметического [16].

### **Обсуждение результатов**

Стимуляция ростовых процессов, вызванная предпосевной обработкой семян кукурузы ЭМП СВЧ, приводит к изменению содержания первичных и вторичных метаболитов. В первую очередь, происходят изменения в содержании биологически активных продуктов трансформации полиеновых С-18-, С-16-жирных кислот в корнях и листьях [17]. Из данных, приведенных в таблице 1, следует, что под действием ЭМП СВЧ в проростках кукурузы, представленных гипокотилем и зародышевым корешком, на 4-й день роста, существенно увеличивается содержание глицерина, жирных кислот и их производных. При этом отмечено преобладание в контрольных образцах на 0.6% насыщенных жирных кислот над ненасыщенными. Их относительное содержание составляло 50.3 и 49.7% соответственно. После обработки семян ЭМП СВЧ суммарное относительное содержание ЖК и их производных в проростках кукурузы на 4-й день возросло на 28.7% по сравнению с контролем. Причем изменился баланс между насыщенными и ненасыщенными кислотами, их содержание составило 46.4 и 53.6% соответственно (табл. 1).

Таблица 1. Относительное содержание (%) жирных кислот и их производных в проростках кукурузы на 4-й день роста после предпосевной обработки семян ЭМП СВЧ

Наименование вещества	Проростки на 4-й день		
	Контроль	ЭМП СВЧ	Отклонение от контроля, %
Глицерин CAS: 56-81-5	2.4±0.04	2.5±0.005**	+4.2
Пальмитиновая кислота (C <sub>16</sub> ) CAS: 57-10-3	2.8±0.005	2.9±0.015*	+3.6
Линолеиновая кислота, гидроксиметиловый эфир (C <sub>18:2</sub> ) CAS: 2566-97-4	3.9±0.01	6.2±0.015*	+57.8
Амид олеиновой кислоты (C <sub>18:1</sub> ) CAS: 301-02-0	2.2±0.02	3.1±0.025*	+39.4
Амид стеариновой кислоты (C <sub>18</sub> ) CAS: 124-26-5	2.2±0.02	2.7±0.008**	+22.2
Октадекановая кислота, 2,3-дигидросипропиловый эфир (C <sub>21</sub> ) CAS: 123-94-4	4.1±0.01	5.2±0.01*	+26.8
Олеиновая кислота (C <sub>18:1</sub> ) CAS: 112-80-1	2.9±0.01	3.2±0.04*	+7.1

Примечание. \* – различия статистически достоверны, P<0.05; \*\* – различия статистически достоверны, P<0.001.

В составе ненасыщенных ЖК липидов в проростках кукурузы были идентифицированы моноеновые и диеновые кислоты. Среди моноеновых (18:1) ЖК – олеиновая и амид олеиновой кислоты. Из семейства диеновых (18:2) была идентифицирована линолеиновая кислота.

В корнях кукурузы к 12-му и 14-му дню растет содержание глицерина, пальмитиновой, стеариновой и линоленовой кислот. Суммарное содержание этих компонентов после обработки семян ЭМП СВЧ к 12-му дню роста на 24.6% превышает контроль, а к 14-му на – 17.7% (табл. 2.). При этом наблюдается накопление самих жирных кислот, а не их производных. В связи с этим представляется возможным подсчет индекса двойной связи (ИДС) – интегральной величины, характеризующей степень ненасыщенности ЖК. Среди идентифицированных веществ только линоленовая кислота (C<sub>18:3</sub>) является полиненасыщенной и имеет три двойных связи. В контрольном образце, полученном из корней кукурузы, ИДС на 12-й и 14-й дни роста составлял 1.5 и 1.68 соответственно. После ЭМП СВЧ облучения семян на 12-й день роста данный параметр повышался и был на 12-й день – 1.8, а на 14-й – 1.74. Полученные данные согласуются с литературными, в работе [18] показано, в ростках ячменя ИДС после предпосевной обработки семян ЭМП составляет 1.5, в корнях – 3.4, эндосперме – 3.6, оболочке – 5.5. В контроле ИДС меньше во всех органах проростка. По данным авторов [19], данный показатель в тканях проростков кукурузы и пшеницы составил 0.97 и 1.09 соответственно. При этом некоторые авторы считают, что ИДС коррелирует с текучестью мембран [1] и может свидетельствовать о дополнительных биохимических процессах, которые происходят в растительном организме.

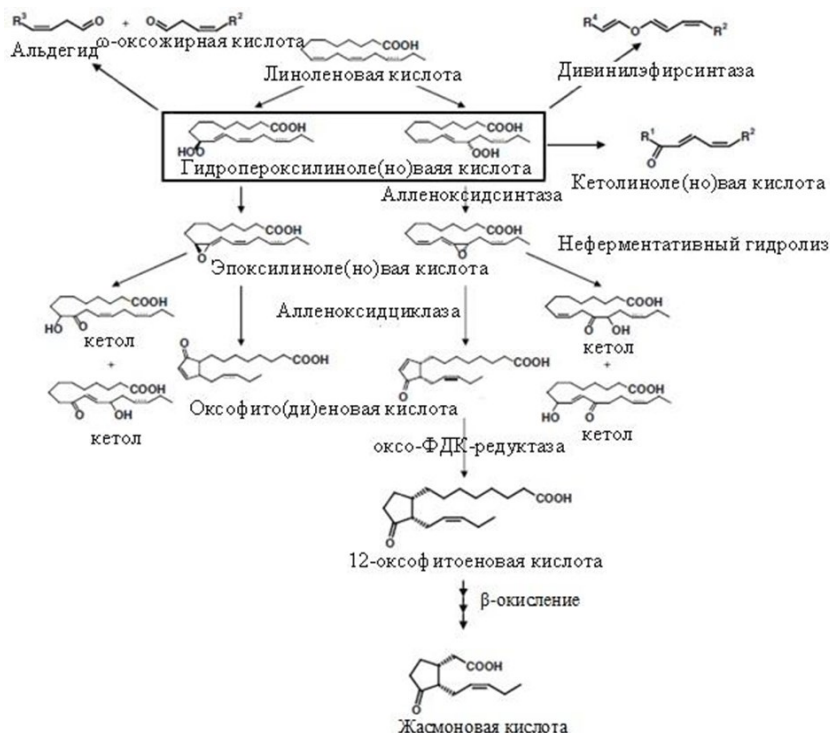
В корнях кукурузы после ЭМП СВЧ обработки семян также наблюдается увеличение насыщенных кислот, пальмитиновой (C<sub>16:0</sub>) и стеариновой (C<sub>18:0</sub>) (табл. 2). Однако преобладающими веществами являются ненасыщенные жирные кислоты. Этот факт подтверждается соответствующими изменениями коэффициента ненасыщенности (К). На 12-й день роста в корнях кукурузы в контроле коэффициент ненасыщенности составляет 1.04, а после облучения ЭМП СВЧ он увеличился до 1.47. К 14-му дню данный параметр в контроле был 1.27, в опытном образце составлял 1.38. Представленные данные свидетельствуют, что содержание ненасыщенных жирных кислот в корнях кукурузы увеличивается при обработке ЭМП СВЧ.

В корнях кукурузы на 12-й и 14-й дни роста доминирующим веществом является линоленовая кислота, которая используется растениями для синтеза простогландин-подобных соединений и C<sub>18</sub>-изопростаноидов, называемых фитопростааноидами [21]. Далее путем химического окисления или с помощью специфических ферментов из C<sub>18</sub>-жирных кислот может быть образован широкий спектр различных оксигенированных продуктов (рис.).

Таблица 2. Относительное содержание (%) глицерина и жирных кислот в корнях кукурузы на 12-й и 14-й день роста после предпосевной обработки семян ЭМП СВЧ

Наименование вещества	Корни на 12-й день			Корни на 14-й день		
	Контроль	ЭМПСВЧ (Режим 2.2)	Отклонение от контроля, %	Контроль	ЭМПСВЧ (Режим 2.2)	Отклонение от контроля, %
Глицерин CAS: 56-81-5	2.4±0.03	2.6±0.008* *	+8.3	2.4±0.02	2.6±0.015* *	+8.3
Пальмитиновая кислота (C <sub>16</sub> ) CAS: 57-10-3	2.2±0.015	2.2±0.06*	0	4.5±0.03	4.8±0.02*	+6.6
α-Линоленовая кислота (C <sub>18:3</sub> ) CAS: 463-40-1	5.2±0.03	7.8±0.03*	+50.0	7.5±0.02	9.3±0.06*	+24.0
Стеариновая кислота (C <sub>18</sub> ) CAS: 57-11-4	2.8±0.02	3.1±0.03*	+10.7	1.4±0.015	1.9±0.02*	+35.7

Примечание. \* – различия статистически достоверны, P<0.05; \*\* – различия статистически достоверны, P<0.001.



#### Липоксигеназный путь метаболизма полиненасыщенных жирных кислот [22]

Биологические эффекты, оказываемые линолевой и линоленовой кислотами, реализуются на клеточном и органном уровнях. Известно, что в ответ на абиотические стрессовые воздействия в растении могут активироваться липазы, которые высвобождают ненасыщенные жирные кислоты и запускают синтез ряда оксипинов с различными функциями. Некоторые из них имеют прямые антимикробные функции, другие являются мощными регуляторами защитных механизмов. Оксипинов также участвуют в адаптации растений к абиотическим стрессам. Они являются частью сложных интерактивных сетей фитогормонов, включая салициловую кислоту, этилен, ауксин, брассиностероиды, гибберелловую кислоту и абсцизовую кислоту, которые контролируют все аспекты роста и развития растений и то, как растения адаптируются к окружающей среде. Это сигнальные молекулы, образованные из группы полиненасыщенных жирных кислот участвуют в формировании ответных реакций организма на сигналы внешней среды. В связи с этим можно полагать, что стимулирующее влияние предпосевной обработки ЭМП СВЧ на всхожесть, рост и развитие кукурузы происходит посредством накопления ненасыщенных жирных кислот как ответ растения на экзогенное воздействие.

В листьях кукурузы после предпосевной обработки семян ЭМП СВЧ к 12-му и 14-му дню роста возрастает содержание глицерина, пальмитиновой кислоты, стеариновой кислоты, амида олеиновой кислоты и стеариновой кислоты D-моноглицерида (табл. 3). Из данных, приведенных в таблице 3, следует, что к 12-му дню роста наблюдается увеличение относительного суммарного содержания этих веществ на 8.5%, к 14-му дню – 19.7%.

Таблица 3. Относительное содержание (%) жирных кислот и их производных в листья кукурузы на 12-й и 14-й день роста после предпосевной обработки семян ЭМП СВЧ

Наименование вещества	Листья на 12-й день			Листья на 14-й день		
	Контроль	ЭМП СВЧ	Отклонение от контроля, %	Контроль	ЭМП СВЧ	Отклонение от контроля, %
Глицерин CAS: 56-81-5	2.7±0.02	2.8±0.01**	+5.2	2.7±0.01	3.2±0.04**	+16.5
Пальмитиновая кислота (C16) CAS: 57-10-3	2.6±0.008	2.7±0.02*	+3.9	2.6±0.01	2.7±0.02*	+3.87
Стеариновая кислота (C18) CAS: 57-11-4	2.8±0.02	3.1±0.015**	+10.3	2.9±0.01	3.6±0.02*	+24.2
Стеариновая кислота D- моноглицеридов (C18) CAS: 57-11-4	2.1±0.01	2.2±0.01*	+4.8	2.8±0.02	3.5±0.01*	+23.8
Олеиновая кислота (C18:1) CAS: 112-80-1	0.8±0.01	1.1±0.008**	+37.5	1.9±0.02	2.5±0.02**	+30.2

Примечание. \* – различия статистически достоверны,  $P < 0.05$ ; \*\* – различия статистически достоверны,  $P < 0.001$ .

В листьях кукурузы из ненасыщенных жирных кислот была идентифицирована только моноеновая олеиновая кислота (C 18:1). В связи с этим индекс двойной связи в листьях кукурузы был в разы ниже, чем в корнях, и составлял на 12-й день роста в контроле 0.096, а после облучения семян ЭМП – 0.12. К 14-му дню роста данный параметр был 0.18 и 0.2 соответственно. Коэффициент насыщенности в листья кукурузы также был существенно ниже, чем в корнях, и на 12-й день роста в контроле составил 0.1, после обработки ЭМП – 0.14. На 14-й день этот параметр был 0.22 и 0.25 соответственно. Полученные результаты свидетельствуют о повышении суммы насыщенных и уменьшении ненасыщенных жирных кислот в листьях кукурузы разного возраста после ЭМП СВЧ облучения.

### Выводы

Анализ изменений жирных кислот, происходящих в проростках кукурузы разного возраста, показал, что в корнях и листьях кукурузы метаболизм жирных кислот идет разными путями. В корнях преобладают ненасыщенные жирные кислоты, в листьях – насыщенные. Под влиянием электромагнитного поля СВЧ диапазона в корнях кукурузы происходит снижение содержания насыщенных и, соответственно, увеличение ненасыщенных жирных кислот. В листьях выявлена обратная тенденция – повышение суммы насыщенных и уменьшение ненасыщенных жирных кислот. Показано, что предпосевная обработка семян ЭМП СВЧ стимулирует накопление ненасыщенных жирных кислот и в корнях, и в листьях кукурузы на 12-й и 14-й дни роста. Изучена динамика накопления следующих оксипинов в проростках кукурузы на 4-й день роста: гидроксиметилового эфира линолеидиновой кислоты и октадекановой кислоты, 2,3-дигидроксипропилового эфира. Показано, что ЭМП СВЧ обработка повышает содержание данных веществ по отношению к контролю на 57.8 и 26.8% соответственно. К 12-му и 14-му дню роста в корнях кукурузы существенно возрастает содержание  $\alpha$ -линоленовой кислоты, которая является исходным веществом синтеза оксипинов. Это говорит о том, что растения для формирования ответных реакций организма на внешнее воздействие, такое как ЭМП СВЧ, используют оксипины – сигнальные молекулы, стимулирующие рост, развитие и дифференцировку тканей.

В проростках, корнях и листьях кукурузы преобладают полиненасыщенные жирные кислоты – линолевая и линоленовая. Это может свидетельствовать о том, что стимулирующее влияние предпосевной обработки ЭМП СВЧ на всхожесть, рост и развитие кукурузы происходит посредством накопления ненасыщенных жирных кислот и образования сигнальных молекул как ответ растения на экзогенное воздействие.

### Список литературы

1. Геннис Р. Биомембраны: молекулярная структура и функции. М., 1997. 622 с.
2. Nannan Li. Fatty Acid and Lipid Transport in Plant Cells // Trends in Plant science. 2015. Vol. 1. Pp. 145–158. DOI: 10.1016/j.tplants.2015.10.011.
3. Los D.A., Murata N. Membrane fluidity and its role in the perception of environmental signals // Biochim. Biophys. Acta. 2004. Vol. 1666. Pp. 142–157. DOI: 10.1016/j.bbamem.2004.08.002.

4. Arisawa K. Saturated fatty acid in the phospholipid monolayer contributes to the formation of large lipid droplets // *Biochem. and Biophys. Research Commun.* 2016. Vol. 480. N4. Pp. 641–647. DOI: 10.1016/j.bbrc.2016.10.109.
5. Bach L., Faure J.D. Role of very-long-chain fatty acids in plant development, when chain length does matter // *C R Biol.* 2010. Vol. 333(4). Pp. 361–70. DOI: 10.1016/j.crvi.2010.01.014.
6. Miquel M., Browse J. Role of Polyunsaturated Fatty Acids in Growth and Development of Arabidopsis // *Plant Lipid Metabolism.* 1995. Pp. 15–17. DOI: 10.1007/978-94-015-8394-7\_3.
7. Afzal I. Improvement of spring maize (*Zea mays*) performance through physical and physiological seed enhancements // *Seed Sci. Technol.* 2015. Vol. 43(2). Pp. 1–12. DOI: 10.15258/sst.2015.43.2.02.
8. Пушкина Н.В., Карпович В.А. Предпосевной обработка семян кукурузы электромагнитным полем СВЧ-диапазона. Оптимизация времени и диапазона резонансных частот воздействия на всхожесть растений // *Труды БГУ.* Ч. 1. Минск, 2017. Т. 1. С. 156–163.
9. Vashisth A. Effect on germination and early growth characteristics in sunflower (*Helianthus annuus*) seeds exposed to static magnetic field // *Journal of Plant Physiology.* 2010. Vol. 167. N2. Pp. 149–156. DOI: 10.1016/j.jplph.2009.08.011.
10. Shine M.B., Guruprasad K.N., Anand A. Enhancement of germination, growth and photosynthesis in soybean by pre-treatment of seeds with magnetic field // *Bioelectromagnetics.* 2011. Vol. 32. N6. Pp. 474–484. DOI: 10.1002/bem.20656.
11. Racuciu M. 50 Hz Frequency Magnetic Field Effects on Mitotic Activity in the Maize Root // *Romanian Journal of Biophysics.* 2011. Vol. 21. N1. Pp. 53–62.
12. ГОСТ 12038-84. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести. Минск, 2011. 28 с.
13. Hampton J.G., TeKrony D.M. Handbook of viger test methods. Switzerland, 1995. 120 p.
14. Гладилевич В.Д., Подольская Е.П. Возможности применения метода ГХ-МС // *Научное приборостроение.* 2010. Т. 20. №4. С. 36–49.
15. Живетьев М.А. Изменение жирнокислотного состава в растениях при гипотермической адаптации // *Сибирский институт физиологии и биохимии растений.* Ч. 6. 2010. №4. С. 51–65.
16. Рокицкий П.Ф. Биологическая статистика. Минск, 1967. 272 с.
17. Browse J. Oxidation of Membrane Lipids and Functions of Oxylipins // *Lipids in Photosynthesis. Advances in Photosynthesis and Respiration.* 2010. Vol. 30. Pp. 389–405. DOI: 10.1007/978-90-481-2863-1\_18.
18. Дударева Л.В., Рудиковская Е.Г., Шмаков В.Н., Арзиев А.Ш., Коненкова Т.А., Салеев Р.К. Особенности действия низкоинтенсивного лазерного излучения на мембраны растительных клеток и клеточных структур // *Устойчивость организмов к неблагоприятным факторам внешней среды: материалы Всерос. науч. конф. Иркутск, 2009.* С. 142–145.
19. Los D.A., Murata N. Structure and expression of fatty acid desaturases // *Biochim. Biophys. Acta.* 1998. Vol. 1394. Pp. 3–15.
20. Кондратенко Е.П., Соболева О.М., Сухих А.С. Влияние электромагнитного поля СВЧ на жирнокислотный состав проростков *Hordeum sativum* // *Химия растительного сырья.* 2017. №3. С. 93–99. DOI: 10.14258/jcprm.2017031792.
21. Stumpe M., Feussner I. Formation of oxylipins by CYP74 enzymes // *Phytochemistry Reviews.* 2006. Vol. 5. Pp. 347–357.
22. Metabolic pathways – Reference pathway [Электронный ресурс]. URL: [http://www.genome.jp/kegg-bin/show\\_pathway?map01100](http://www.genome.jp/kegg-bin/show_pathway?map01100).

Поступила в редакцию 17 июля 2019 г.

После переработки 11 сентября 2019 г.

Принята к публикации 2 декабря 2019 г.

**Для цитирования:** Пушкина Н.В. Особенности накопления жирных кислот и оксипинонов в проростках *Zea mays* L. под влиянием электромагнитного поля сверхвысокочастотного диапазона // *Химия растительного сырья.* 2020. №2. С. 93–99. DOI: 10.14258/jcprm.2020026268.

*Pushkina N.V. FATTY ACIDS AND OXYLIPINS ACCUMULATION IN ZEA MAIZE L. SEEDLINGS UNDER THE INFLUENCE OF THE ELECTROMAGNETIC FIELD OF THE SUPER HIGH-FREQUENCY RANGE*

*Belarusian State University, Independence Ave., 4, Minsk, 220030 (Belarus), e-mail: nadyapushkina@gmail.com*

The work shows the influence of the electromagnetic field of the microwave range (EMF microwave) on the variability of fatty acids and their derivatives in seedlings of corn of different ages. The object of the study was the corn seeds of the Belarusian selection of the Daria hybrid, which were treated with microwave EMF for 12 minutes with a frequency of 64–66 GHz, exposure power 10 mW. The control was untreated EMF microwave seeds. Fatty acids were determined by gas chromatography with mass spectrometry (GC-MS).

Analysis of fatty acids and their derivatives, occurring in seedlings of corn of different ages, showed that in the roots and leaves of corn fatty acid metabolism goes in different ways. On the 4th day of growth, the content of the following oxylipins increases in maize seedlings: hydroxymethyl ester of linoleic acid and octadecanoic acid, 2,3-dihydroxy propyl ether by 57.8% and 26.8%, respectively. By the 12th and 14th day of growth, the content of  $\alpha$ -linolenic acid, which is the starting material for the synthesis of oxylipins, substantially increases in the roots of corn. Also, unsaturated fatty acids predominate in the roots, saturated in the leaves. Under the influence of the electromagnetic field of the microwave range in the roots of corn, a decrease in the content of saturated and, accordingly, the degree of unsaturation of fatty acids increases. In leaves, on the contrary, there was an increase in the amount of saturated and a decrease in unsaturated fatty acids after EMF treatment of corn seeds. Polyunsaturated fatty acids, linoleic and linolenic, predominate in the seedlings, roots and leaves of corn. In this regard, it can be assumed that the stimulating effect of pre-sowing treatment of microwave EMF on germination, growth and development of corn occurs through the accumulation of unsaturated fatty acids and oxylipins as a response of the plant to exogenous exposure.

*Keywords:* corn, seeds, microwave electromagnetic field (EMF microwave), fatty acids, oxylipins, unsaturation coefficient, double bond index.

### References

- Gennis R. *Biomembrany: molekulyarnaya struktura i funktsii*. [Biomembranes: molecular structure and functions]. Moscow, 1997, 622 p. (in Russ.).
- Nannan Li. *Trends in Plant science*, 2015, vol. 1, pp. 145–158. DOI: 10.1016/j.tplants.2015.10.011.
- Los D.A., Murata N. *Biochim. Biophys. Acta*, 2004, vol. 1666, pp. 142–157. DOI: 10.1016/j.bbame.2004.08.002.
- Arisawa K. *Biochem. and Biophys. Research Commun.*, 2016, vol. 480, no. 4, pp. 641–647. DOI: 10.1016/j.bbrc.2016.10.109.
- Bach L., Faure JD. *C R Biol.*, 2010, vol. 333(4), pp. 361–70. DOI: 10.1016/j.crv.2010.01.014.
- Miquel M., Browse J. *Plant Lipid Metabolism*, 1995, pp. 15–17. DOI: 10.1007/978-94-015-8394-7\_3.
- Afzal I. *Seed Sci. Technol.*, 2015, vol. 43(2), pp. 1–12. DOI: 10.15258/sst.2015.43.2.02.
- Pushkina N.V., Karpovich V.A. *Trudy BGU*. [Proceedings of the BSU]. Minsk, 2017, vol. 1, pp. 156–163. (in Russ.).
- Vashisth A. *Journal of Plant Physiology*, 2010, vol. 167, no. 2, pp. 149–156. DOI: 10.1016/j.jplph.2009.08.011.
- Shine M.B., Guruprasad K.N., Anand A. *Bioelectromagnetics*, 2011, vol. 32, no. 6, pp. 474–484. DOI: 10.1002/bem.20656.
- Racuciu M. *Romanian Journal of Biophysics*, 2011, vol. 21, no. 1, pp. 53–62.
- GOST 12038-84. Semena sel'skokhozyaystvennykh kul'tur. Metody opredeleniya vskhozhesti*. [GOST 12038-84. Seeds of crops. Germination Methods]. Minsk, 2011, 28 p. (in Russ.).
- Hampton J.G., TeKrony D.M. *Handbook of viger test methods*. Switzerland, 1995, 120 p.
- Gladilovich V.D., Podol'skaya Ye.P. *Nauchnoye priborostroyeniye*, 2010, vol. 20, no. 4, pp. 36–49. (in Russ.).
- Zhivet'yev M.A. *Sibirskiy institut fiziologii i biokhimii rasteniy. Ch. 6*, 2010, no. 4, pp. 51–65. (in Russ.).
- Rokitskiy P.F. *Biologicheskaya statistika*. [Biological statistics]. Minsk, 1967, 272 p. (in Russ.).
- Browse J. *Lipids in Photosynthesis. Advances in Photosynthesis and Respiration*, 2010, vol. 30, pp. 389–405. DOI: 10.1007/978-90-481-2863-1\_18.
- Dudareva L.V., Rudikovskaya Ye.G., Shmakov V.N., Arziyev A.SH., Konenkova T.A., Salyayev R.K. *Ustoychivost' organizmov k neblagopriyatnym faktoram vneshney sredy: materialy Vseros. nauchn. konf.* [Resistance of organisms to adverse environmental factors: materials of the All-Russian Scientific Conference]. Irkutsk, 2009, pp. 142–145. (in Russ.).
- Los D.A., Murata N. *Biochim. Biophys. Acta*, 1998, vol. 1394, pp. 3–15.
- Kondratenko Ye.P., Soboleva O.M., Sukhikh A.S. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2017, no. 3, pp. 93–99, DOI: 10.14258/jcprm.2017031792. (in Russ.).
- Stumpe M., Feussner I. *Phytochemistry Reviews*, 2006, vol. 5, pp. 347–357.
- Metabolic pathways – Reference pathway* [Electronic resource]. URL: [http://www.genome.jp/kegg-bin/show\\_pathway?map01100](http://www.genome.jp/kegg-bin/show_pathway?map01100).

Received July 17, 2019

Revised September 11, 2019

Accepted December 2, 2019

**For citing:** Pushkina N.V. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2020, no. 2, pp. 93–99. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.2020026268.

