

ФИЗИОЛОГИЯ И БИОХИМИЯ РАСТЕНИЙ/PHYTOPHYSIOLOGY AND PHYTOCHEMISTRY

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.161.28>

ИНДУЦИРОВАННЫЙ СИНТЕЗ ФИТОСТЕРОЛОВ В ОТДЕЛЬНЫХ ВИДАХ ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ

Научная статья

Pushkina N.V.^{1,*}, Grusha E.I.²

¹ ORCID : 0000-0003-3867-8282;

¹ Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

² Белорусский государственный медицинский университет, Минск, Беларусь

* Корреспондирующий автор (nadyapushkina[at]gmail.com)

Аннотация

В работе приведены экспериментальные данные биосинтеза фитостеролов в проростках мелиссы лекарственной, базилика душистого и шалфея лекарственного. В качестве индуцирующего фактора использовалась обработка семян комплексным электромагнитным полем сверхвысокочастотного диапазона. Показано, что в корнях и листьях исследуемых лекарственных культур биосинтез фитостеролов идет по-разному. Относительное содержание фитостеролов максимально повышалось к 28 дню вегетации: в листьях мелиссы лекарственной возрастало содержание кампестерола и стигматорола на 58,1% и 36% соответственно. В листьях базилика душистого повышалось содержание кампестерола и β -ситостерола на 73,6% и 57,3% соответственно. В листьях шалфея лекарственного максимально возрастало содержание стигмактерола на 37,0%.

Ключевые слова: фитостеролы, лекарственные растения, электромагнитное излучение, плазма, индуцированный биосинтез.

INDUCED SYNTHESIS OF PHYTOSTEROLS IN SOME MEDICINAL PLANTS

Research article

Pushkina N.V.^{1,*}, Grusha E.I.²

¹ ORCID : 0000-0003-3867-8282;

¹ Belarusian State University, Minsk, Belarus

² Belarusian State Medical University, Minsk, Belarus

* Corresponding author (nadyapushkina[at]gmail.com)

Abstract

The work presents experimental data on the biosynthesis of phytosterols in seedlings of common balm, sweet basil, and sage. Seeds were treated with a complex electromagnetic field in the ultra-high frequency range as an inducing factor. It was shown that the biosynthesis of phytosterols proceeds differently in the roots and leaves of the tested medicinal crops. The relative content of phytosterols peaked on the 28th day of vegetation: in the leaves of common balm, the content of campesterol and stigmasterol increased by 58.1% and 36%, respectively. In the leaves of sweet basil, the content of campesterol and β -sitosterol increased by 73.6% and 57.3%, respectively. In the leaves of sage, the content of stigmasterol increased by 37.0%.

Keywords: phytosterols, medicinal plants, electromagnetic radiation, plasma, induced biosynthesis.

Введение

Лекарственные растения являются природным источником биологически активных веществ (БАВ), которые активно используются в фармацевтической промышленности. Среди БАВ растительные стероидные соединения занимают отдельное место, так как обладают целым спектром фармакологических свойств, наиболее важным из которых считается снижение холестерина в крови. Доказана эффективность фитостеролов при лечении предстательной железы [1], известны противораковые [2], антигенные [3], противовоспалительные [4], анальгетические [5] и иммуномодулирующие свойства [6].

Фитостеролы являются и сигнальными макромолекулами, играющими ключевую роль в стабилизации клеточных мембран, регуляции роста и защиты от патогенов. В условиях биотического и абиотического стресса растения способны усиливать синтез фитостеролов, что делает этот процесс перспективным объектом для биотехнологических исследований [7].

В качестве индуцированных источников синтеза БАВ могут использовать такие экзогенные факторы как свет, температура, патогены, фитогормоны, химические индукторы, электромагнитные поля и плазменные излучения [8]. Актуальным являются исследования, направленные на биосинтез фитостеролов, понимание механизмов регуляции индуцированного синтеза этих веществ открывает возможности для повышения устойчивости растений к стрессам, улучшения пищевой ценности продуктов, создания функциональных ингредиентов для медицины и косметологии.

В связи с этим целью данной работы являлось изучение индуцированного биосинтеза фитостеролов в отдельных видах лекарственных растений на разных стадиях вегетации.

Методы и принципы исследования

В качестве объектов исследования использовались семена и разновозрастные проростки мелиссы лекарственной (*Melissa officinalis* L.), базилика душистого (*Ocimum basilicum* L.) и шалфея лекарственного (*Salvia officinalis* L.).

В качестве экзогенного индуцирующего фактора использовалась комплексная электромагнитная обработка семян (КЭМИ), разработанная в НИУ «Институт ядерных проблем» БГУ [9]. Особенность данного способа обработки семян заключается в том, что семена получают комплексную экзогенную обработку сразу четырьмя видами излучения:

- 1) повышенная температура восходящего потока газа;
- 2) облучение ультрафиолетом от низкотемпературной плазмы;
- 3) воздействие озоном;
- 4) интенсивное микроволновое излучение, возникающее в псевдоожженном слое [10].

Обработка проводилась в течение 4 секунд, необработанные семена служили контролем.

Эксперименты были заложены в лабораторных условиях в трехкратной повторности для каждого варианта опыта. Семена исследуемых культур проращивали в чашках Петри на увлажненной фильтровальной бумаге и в рулонах при температуре 20–21 °С [11].

Биохимические исследования проводили с использованием метода ГХ-МС.

Статистическая обработка экспериментальных данных проводилась в MS Microsoft Excel 2013 и Statistic.

Основные результаты

Ранее было показано, что стимуляция ростовых процессов, вызванная обработкой семян электромагнитным полем, в первую очередь, происходит с изменением в содержании биологически активных продуктов трансформации полиеновых С-18-, С-16-жирных кислот в корнях и проростках [8]. Из данных, приведенных в таблице 1, видно, что под действием экзогенной комплексной электромагнитной обработки семян в проростках исследуемых культур, представленных гипокотилем и зародышевым корешком, на 4-й день роста, существенно повышалось содержание сквалена и циклоартенола, непосредственных предшественников фитостеролов. В проростках мелиссы лекарственной и базилика душистого относительное содержание сквалена повышалось на 28,6% и 25,0% соответственно. Максимально содержание сквалена повышалось в проростках шалфея лекарственного на 41,3%. Относительное содержание циклоартенола максимально повышалось на 17,1% в проростках базилика душистого (см. табл. 1).

Таблица 1 - Содержание сквалена и циклоартенола в проростках мелиссы лекарственной, базилика душистого и шалфея лекарственного на 4-й день роста после обработки семян КЭМП

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.161.28.1>

Наименование вещества	Сквален CAS: 7683-64-9			Циклоартенол CAS: 469-38-5		
	Контроль, мг/мл	КЭМП, мг/мл	Отклонение от контроля, %	Контроль, мг/мл	КЭМП, мг/мл	Отклонение от контроля, %
Мелисса лекарственная (<i>Melissa officinalis</i> L.)	1,4±0,04	1,8±0,005**	+28,6	0,81±0,01	0,86±0,01	+6,2
Базилик душистый (<i>Ocimum basilicum</i> L.)	2,8±0,005	3,5±0,015*	+25,0	0,45±0,01	0,53±0,005	+17,1
Шалфей лекарственный (<i>Salvia officinalis</i> L.)	2,9±0,01	4,1±0,015*	+41,3	0,4±0,01	0,43±0,01	+7,5

Примечание: * - различия статистически достоверны, $P<0,05$; ** - различия статистически достоверны, $P<0,001$

В корнях шалфея лекарственного к 28-му дню вегетации росло содержание глицерина и стероидных соединений. Суммарное содержание этих компонентов после обработки семян КЭМП к 28-му день роста на 39% превышало контроль (см. табл. 2.). У мелиссы лекарственной и базилика душистого в корнях к 28-му дню роста достоверных отличий в накоплении стероидных соединений не установлено (см. табл. 2).

Таблица 2 - Содержание стероидных соединений в корнях мелиссы лекарственной, базилика душистого и шалфея лекарственного на 28-ой день роста после обработки семян КЭМП

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.161.28.2>

Наименование вещества	Мелисса лекарственная			Базилик душистый			Шалфей лекарственный		
	Контроль, мг/мл	КЭМП, мг/мл	Отклонение от контроля, %	Контроль, мг/мл	КЭМП, мг/мл	Отклонение от контроля, %	Контроль, мг/мл	КЭМП, мг/мл	Отклонение от контроля, %
Кампестерол CAS 474-62-4	2,4±0,03	2,4±0,008	-	2,4±0,02	2,35±0,02	-	2,63±0,03	2,89±0,03*	+9,8
Стигматерол CAS 83-48-7	2,2±0,015	2,2±0,06	-	4,5±0,03	4,4±0,02	-	3,57±0,03	4,03±0,01*	+12,9
β-Ситостерол CAS 83-46-5	5,2±0,03	5,1±0,03	-	7,5±0,02	7,3±0,06	-	7,65±0,01	8,9±0,01*	+16,3

Примечание: * - различия статистически достоверны, $P<0,05$;

К 28 дню вегетации в листьях исследуемых культур существенно повышалось накопление стероидных соединений (см. табл. 3).

Таблица 3 - Содержание стероидных соединений в листьях мелиссы лекарственной, базилика душистого и шалфея лекарственного на 28-ой день роста после обработки семян КЭМП

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.161.28.3>

Наименование вещества	Мелисса лекарственная			Базилик душистый			Шалфей лекарственный		
	Контроль, мг/мл	КЭМП, мг/мл	Отклонение от контроля, %	Контроль, мг/мл	КЭМП, мг/мл	Отклонение от контроля, %	Контроль, мг/мл	КЭМП, мг/мл	Отклонение от контроля, %
Кампестерол CAS 474-62-4	4,3±0,03	6,8±0,01*	+58,1	5,3±0,01	9,2±0,01*	+73,6	8,5±0,02	9,8±0,02*	+15,3
Стигматерол CAS 83-48-7	7,5±0,01	10,2±0,01*	+36,0	6,8±0,01	8,3±0,03*	+22,0	9,2±0,02	12,6±0,02*	+37,0
β-Ситостерол CAS 83-46-5	8,1±0,008	9,6±0,05*	+18,5	7,5±0,01	11,8±0,03*	+57,3	6,8±0,03	7,9±0,01*	+16,2

Примечание: * - различия статистически достоверны, $P<0,05$

Анализируя данные, приведенные в таблице 3, видно, что в листьях мелиссы лекарственной максимально повышалось содержание кампеслерола и стигматерола на 58,1% и 36% соответственно. В листьях базилика душистого существенно возрастало содержание кампестерола и β-ситостерола на 73,6% и 57,3% соответственно. В листьях шалфея лекарственного максимально возрастало содержание стигматерола на 37,0%.

Биосинтез фитостеролов в растительном организме идет по мевалонатному пути, который начинается с ацетил-КоА и приводит к образованию сквалена и циклоартенола. Из циклоартенола под действием комплекса ферментов последовательно формируются: β-ситостерол, кампестерол, стигматерол и другие фитостеролы [7].

Заключение

Анализ изменений биосинтеза фитостеролов в проростках каких лекарственных растений как мелисса лекарственная, базилик душистый и шалфей лекарственный, показал, что, метаболизм стероидных соединений в листьях и корнях идет разными путями. В листьях всех исследуемых культур отмечено повышенное содержание таких фитостеролов как кампестерол, стигмастерол и β -ситостерола максимально к 28-му дню вегетации. Это может свидетельствовать о том, что стимулирующее влияние обработки семян комплексным электромагнитным полем происходит посредством накопления стероидных соединений и образования сигнальных молекул как ответ растения на экзогенное воздействие.

Индуцированный синтез фитостеролов открывает путь к масштабированному получению ценных стеринов в биореакторах, разработке гиполипидемических препаратов растительного происхождения, а также интеграции с системной биологией и метаболомным моделированием для дальнейшего поднятия выхода целевых соединений.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть представлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Piironen V. Plant sterols: Biosynthesis, biological function and their importance to human nutrition. / V. Piironen // Journal of the Science of Food and Agriculture. — 2000. — Vol. 80. — № 7. — P. 939–966. — DOI: 10.1002/1097-0010(20000515)80
2. Santos K.A. Evaluation of favela seed oil extraction with alternative solvents and pressurized-liquid ethanol. / K.A. Santos // The Journal of Supercritical Fluids. — 2021. — № 169. — P. 105–125. — DOI: 10.1016/j.supflu.2020.105125
3. Kangsamaksin T. Lupeol and stigmasterol suppress tumor angiogenesis and inhibit cholangiocarcinoma growth in mice via downregulation of tumor necrosis factor- α . / T. Kangsamaksin // PloS one. — 2017. — Vol. 12. — № 12. — P. 18–28. — DOI: 10.1371/journal.pone.0189378
4. Hannan M.A. Phytosterols of marine algae: Insights into the potential health benefits and molecular pharmacology. / M.A. Hannan // Phytomedicine. — 2020. — № 69. — P. 15–22. — DOI: 10.1016/j.phymed.2020.153201
5. Yuan L. Phytosterols suppress phagocytosis and inhibit inflammatory mediators via ERK pathway on LPS-triggered inflammatory responses in RAW264.7 macrophages and the correlation with their structure. / L. Yuan // Foods. — 2019. — Vol. 8. — № 11. — P. 58–62. — DOI: 10.3390/foods8110582
6. Le C.F. Phytosterols isolated from Clinacanthus nutans induce immunosuppressive activity in murine cells. / C.F. Le // International Immunopharmacology. — 2017. — № 44. — P. 203–210. — DOI: 10.1016/j.intimp.2017.02.027
7. Hartmann M.A. Plant sterols and membrane structure: structure–function relationships. / M.A. Hartmann // Prog Lipid Res. — 1998. — № 3. — P. 141–153.
8. Пушкина Н.В. Особенности накопления жирных кислот и оксилипинов в проростках *Zea mays* L. под влиянием электромагнитного поля сверхвысокочастотного диапазона. / Н.В. Пушкина // Химия растительного сырья. — 2020. — № 2. — С. 93–99. — DOI: 10.14258/jcprm.2020025086
9. Пушкина Н.В. Использование интенсивного электромагнитного поля для предпосевной обработки семян редкого масличной. / Н.В. Пушкина, В.И. Мартынюк, С.В. Василевич // Известия Национальной академии наук Беларусь. Серия аграрных наук. — 2024. — Vol. 62. — № 3. — С. 238–245. — DOI: 10.29235/1817-7204-2024-62-3-238-245
10. Пат. 11002006 Беларусь, МПК H01J 37/32 (2006.01). Устройство для плазменной обработки семян растений / Шегидевич А.А., Мартынюк В.И., Пушкина Н.В. и др.; заявитель и патентообладатель Белорусская государственная академия авиации (BY). — № 20230068; заявл. 2023-10-03; опубл. 2025-09-04, Национальный центр интеллектуальной собственности Республики Беларусь. — 8 с.
11. Hampton J.G. Handbook of vigour test methods / J.G. Hampton, D.M. TeKrony. — Zurich: ISTA, 1995. — 119 p.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Piironen V. Plant sterols: Biosynthesis, biological function and their importance to human nutrition. / V. Piironen // Journal of the Science of Food and Agriculture. — 2000. — Vol. 80. — № 7. — P. 939–966. — DOI: 10.1002/1097-0010(20000515)80
2. Santos K.A. Evaluation of favela seed oil extraction with alternative solvents and pressurized-liquid ethanol. / K.A. Santos // The Journal of Supercritical Fluids. — 2021. — № 169. — P. 105–125. — DOI: 10.1016/j.supflu.2020.105125
3. Kangsamaksin T. Lupeol and stigmasterol suppress tumor angiogenesis and inhibit cholangiocarcinoma growth in mice via downregulation of tumor necrosis factor- α . / T. Kangsamaksin // PloS one. — 2017. — Vol. 12. — № 12. — P. 18–28. — DOI: 10.1371/journal.pone.0189378
4. Hannan M.A. Phytosterols of marine algae: Insights into the potential health benefits and molecular pharmacology. / M.A. Hannan // Phytomedicine. — 2020. — № 69. — P. 15–22. — DOI: 10.1016/j.phymed.2020.153201

5. Yuan L. Phytosterols suppress phagocytosis and inhibit inflammatory mediators via ERK pathway on LPS-triggered inflammatory responses in RAW264.7 macrophages and the correlation with their structure. / L. Yuan // Foods. — 2019. — Vol. 8. — № 11. — P. 58–62. — DOI: 10.3390/foods8110582
6. Le C.F. Phytosterols isolated from Clinacanthus nutans induce immunosuppressive activity in murine cells. / C.F. Le // International Immunopharmacology. — 2017. — № 44. — P. 203–210. — DOI: 10.1016/j.intimp.2017.02.027
7. Hartmann M.A. Plant sterols and membrane structure: structure–function relationships. / M.A. Hartmann // Prog Lipid Res. — 1998. — № 3. — P. 141–153.
8. Pushkina N.V. Osobennosti nakopleniya zhirnyx kislot i oksilipinov v prorostkax Zea mays L. pod vliyaniem e'lektromagnitnogo polya sverxvysokochastotnogo diapazona [Features of the accumulation of fatty acids and oxylipins in Zea mays L. seedlings under the influence of ultra-high frequency electromagnetic field]. / N.V. Pushkina // Chemistry of plant raw materials. — 2020. — № 2. — P. 93–99. — DOI: 10.14258/jcprm.2020025086 [in Russian]
9. Pushkina N.V. Ispol'zovanie intensivnogo e'lektromagnitnogo polya dlya predposevnoj obrabotki semyan red'ki maslichnoj [The use of an intensive electromagnetic field for pre-sowing treatment of oilseed radish seeds]. / N.V. Pushkina, V.I. Marty'nyuk, S.V. Vasilevich // Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series. — 2024. — Vol. 62. — № 3. — P. 238–245. — DOI: 10.29235/1817-7204-2024-62-3-238-245 [in Russian]
10. Pat. 11002006 Belarus, IPC H01J 37/32 (2006.01). Ustrojstvo dlya plazmennoj obrabotki semyan rastenij [Device for plasma treatment of plant seeds] / Shegidevich A.A., Marty'nyuk V.I., Pushkina N.V. et al.; the applicant and the patentee Belarusian State Academy of Aviation. — № 20230068; appl. 2023-10-03; publ. 2025-09-04, Nacional'nyj centr intellektual'noj sobstvennosti Respubliki Belarus'. — 8 p. [in Russian]
11. Hampton J.G. Handbook of vigour test methods / J.G. Hampton, D.M. TeKrony. — Zurich: ISTA, 1995. — 119 p.