

УДК 533.9; 537.525.99

## СТИМУЛЯЦИЯ МЕТАБОЛИЗМА ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ ОБРАБОТКИ СЕМЯН НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМОЙ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ПОЛЕМ

В.А. ЛЮШКЕВИЧ<sup>1</sup>, И.И. ФИЛАТОВА<sup>1</sup>, Е.Е. ЖУКОВА<sup>2</sup>, Г. ПАУЖАЙТЕ<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси,  
Независимости, 64, 220072, Минск, Беларусь

<sup>2</sup>Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
П. Бровка, 6, Минск, 220013, Беларусь

<sup>3</sup>Университет Витавтаса Великого  
K. Donelaičio g. 58, Kaunas 44248, Lietuva

Поступила в редакцию 23 ноября 2016

Исследовано влияние предпосевной плазменно-радиоволновой обработки семян лекарственных и декоративных растений на содержание в сухих семенах свободных радикалов и накопление в лекарственном растительном сырье вторичных метаболитов (фенольные соединения, флавоноиды, аскорбиновая кислота).

*Ключевые слова:* семена растений, вторичные метаболиты, низкотемпературная газоразрядная плазма, электромагнитное поле.

### Введение

Препараты на растительной основе завоевывают все большую популярность в медицинской практике. Лекарственные свойства растений (жаропонижающие, противоопухолевые, седативные, иммуностимулирующие, антибактериальные и др.) обусловлены синтезируемыми в клетках растений в процессе их жизнедеятельности продуктами вторичного метаболизма (флавоноиды, фенольные соединения, аскорбиновая кислота, алкалоиды и др.), проявляющими высокую биологическую активность. Однако содержание этих веществ в растительном сырье, как правило, невысокое, что сдерживает их широкомасштабное применение в медицине и фармакологии.

Известно, что характер процессов вторичного метаболизма может быть целенаправленно изменен под действием внешних факторов, таких как воздействие стресс-факторов и регуляторов роста [1]. Одним из решений данной проблемы может быть использование для предпосевной подготовки семян физических методов, таких как воздействие низкотемпературной плазмы и электромагнитного поля, которые позволяют снизить зараженность семян патогенными микроорганизмами, повысить их физиологическое качество, урожайность культур, пищевую ценность плодов растений [1–6].

Целью работы являлось исследование влияния плазменно-радиоволновой обработки семян на содержание вторичных метаболитов в лекарственном растительном сырье. С учетом того, что все метаболические процессы в растительных клетках протекают с участием свободных радикалов – активных кислородных форм, были проведены исследования влияния плазменно-радиоволновой обработки семян на эффективность образования свободных радикалов в сухих семенах.

### Методика эксперимента

В качестве тестируемых объектов выбраны семена календулы лекарственной (*Calendula officinalis* L.), шелковицы черной (*Morus nigra*) и рододендрона Смирнова (*Rhododendron smirnovii*), предоставленные Каунасским ботаническим садом, Литва. Плазменно-радиоволновую обработку семян проводили в Институте физики НАН Беларуси на экспериментальном стенде ВЧИ-62-5-ИГ-101 в Институте физики НАН Беларуси, позволяющем возбуждать высокочастотное (ВЧ) электромагнитное поле на частоте 5,28 МГц и ВЧ-емкостной разряд [3]. Радиоволновое воздействие (обработка ВЧ электромагнитным полем) осуществляли в воздухе при атмосферном давлении в течение 10 мин. Обработку плазмой проводили в разрядной камере, образованной двумя медными электродами диаметром 120 мм, размещенными в вакуумной камере (объемом 0,053 м<sup>3</sup>) на расстоянии 20 мм друг от друга. ВЧ емкостной разряд возбуждался на частоте  $f = 5,28$  МГц в воздухе при давлении 100 Па. Семена (50–100 штук) помещали в чашку Петри, которую располагали на нижнем заземленном электроде [4]. Длительность воздействия составила 1, 2 и 3 мин. Определение содержания биологически активных веществ в растительном сырье проводилось с использованием методики [7]. Парамагнитные свойства семян изучали с помощью метода электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) [8] на примере семян *Morus nigra* и *Rhododendron smirnovii*. Спектры ЭПР регистрировали с использованием автоматизированного ЭПР анализатора «ЭПР АХМ-09» фирмы «Albutran» [9]. Параметры регистрации спектров ЭПР: СВЧ-тракт мощностью 100 мВт в резонаторе, рабочая частота 9,38 ГГц; середина, диапазон и модуляция поля – 3349,9 Гс, 100 Гс и 3 Гс соответственно; время регистрации спектра – 60 с.

### Результаты и их обсуждение

В результате выполненных исследований установлено, что плазменная обработка не оказывает отрицательного влияния на всхожесть растений. Исследования накопления вторичных метаболитов в лекарственном сырье календулы лекарственной показали, что наибольшее количество фенольных соединений, в том числе флавоноидов, содержится в растениях, семена которых подверглись плазменной обработке в течение 1 мин. Воздействие плазмы в течение 2-х и 3-х минут также дали положительные результаты, но содержание флавоноидов было в 1,5–2 раза меньше, чем при обработке в течение 1 мин (рис. 1, а, б). Установлено также, что обработка семян способствовала повышению содержания аскорбиновой кислоты в соцветиях календулы лекарственной (рис. 1, в). Воздействие высокочастотного электромагнитного поля также стимулировало накопление вторичных метаболитов, но содержание фенольных соединений и аскорбиновой кислоты увеличилось незначительно, в отличие от количества флавоноидов (рис. 1) [1].

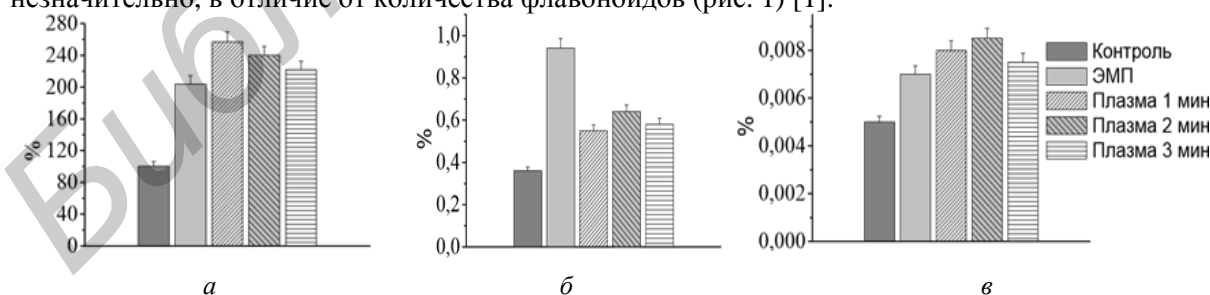


Рис. 1 Содержание продуктов вторичного метаболизма в лекарственном сырье *Calendula officinalis*: а – фенольные соединения, б – флавоноиды, в – аскорбиновая кислота

Сразу же и в течение нескольких последующих дней после обработки регистрировались ЭПР-спектры. Сухие семена *Morus nigra* и *Rhododendron smirnovii* помещали в кварцевую кювету с внутренним диаметром 4 мм. В качестве эталона использовали марганец ( $Mn^{2+}$  in  $MgO$ ) для автоматической калибровки спектрометра и определения относительной концентрации парамагнитных частиц посредством сравнения интенсивности ЭПР-сигнала семян с интенсивностью стандартного образца (рис. 2).

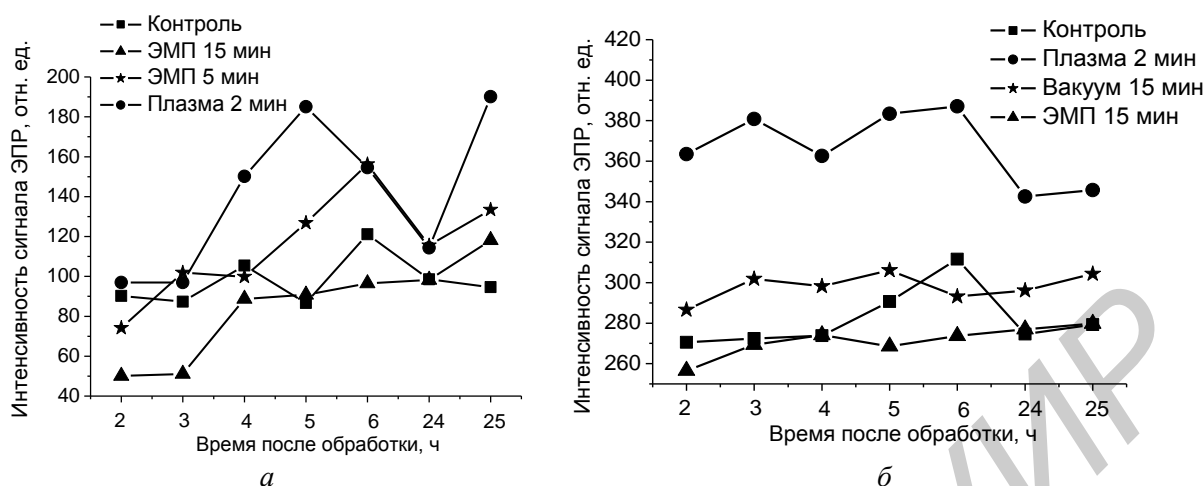


Рис. 2. Изменение концентрации свободных радикалов в контрольных и обработанных семенах *Morus nigra* (а) и *Rhododendron swirnovii* (б) в течение первых суток после воздействия плазмы, вакуума и ВЧ электромагнитного поля

Динамика изменения ЭПР сигнала в течение первого дня после обработки семян различна для исследуемых культур в зависимости от типа обработки: концентрация свободных радикалов в семенах *Morus nigra* линейно возрастает в течение первых 7 ч после обработки плазмой, затем снижается и остается стабильной (несколько выше показателя в контроле) в течение нескольких дней; ЭПР сигнал в семенах *Rhododendron swirnovii* после радиоволновой обработки быстро снижается в течение первых 3-х ч и остается затем несколько ниже уровня в контроле. Также проведены измерения ЭПР сигнала тестируемых семян спустя 25 и 168 ч после их обработки плазмой и ЭМП. При оптимальных режимах воздействия (ВЧЭМП 15 мин – для *Rhododendron swirnovii* и плазма 2 мин – для *Morus nigra*) концентрация свободных радикалов возрастает в первые 2–7 ч после воздействия, а затем спадает практически до уровня контроля (рис. 2, 3), что соответствует положительному отклику биологической системы (эустресс) на воздействие физического стрессора, проявляющемуся в увеличении его всхожести.

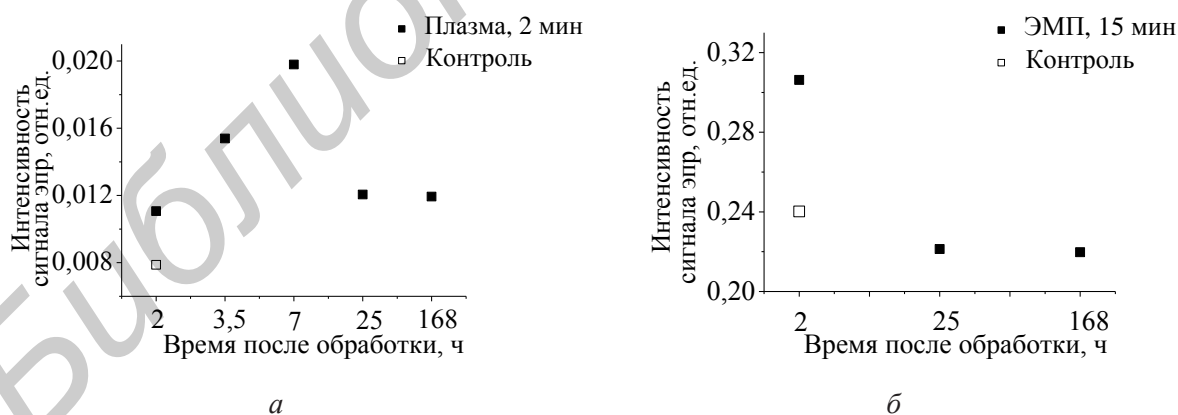


Рис. 3. Изменение концентрации свободных радикалов в образцах семян *Morus nigra* (а) и *Rhododendron swirnovii* (б) и во времени после их обработки плазмой и ЭМП (при оптимальных режимах воздействия)

Увеличение времени обработки свыше оптимального ведет к значительному увеличению концентрации свободных радикалов, но число парамагнитных центров не уменьшается (или уменьшается незначительно) в течение длительного времени, и остается значительно выше по сравнению с контрольными образцами на протяжении нескольких часов. Для образцов с высоким уровнем концентрации свободных радикалов, сохраняющимся в течение длительного времени, характерно подавление всхожести, что в результате приводит к ингибированию прорастания семян.

Таким образом, уровень накопления радикалов в сухих семенах после предпосевной плазменной обработки возрастает, что свидетельствует о существенном влиянии воздействия физических факторов на стимуляцию метаболизма растительного организма, приводящую при оптимальных условиях воздействия к увеличению всхожести семян и выживаемости растений.

### Заключение

Обработка семян низкотемпературной плазмой и ВЧ электромагнитным полем способствует улучшению фармакологического качества сырья за счет увеличения содержания вторичных метаболитов в клетках растений. С помощью метода электронного парамагнитного резонанса обнаружено увеличение концентрации парамагнитных центров в семенах многолетних растений в результате их обработки плазмой и ВЧ электромагнитным полем, свидетельствующее об активации метаболических процессов в семенах.

*Работа выполнена при частичной финансовой поддержке БРФФИ (грант №Б16РА-014) и ГПНИ «Конвергенция-2020» 2.4.02.*

## THE STIMULATION OF ORNAMENTAL PLANTS' METABOLISM THROUGH TREATMENT OF SEEDS BY LOW-TEMPERATURE PLASMA AND THE ELECTROMAGNETIC FIELD

V.A. LYUSHKEVICH, I.I. FILATOVA, Y.E. ZHUKOVA, G. PAUZAITE

### Abstract

The effect of pre-sowing plasma and radio wave treatments of seeds of medicinal and ornamental plants on the content of free radicals in dry seeds and on the accumulation of secondary metabolites (phenolic compounds, flavonoids and ascorbic acid) in medicinal plant material is investigated.

*Keywords:* seeds of plants, secondary metabolites, low-temperature gas-discharge plasma, electromagnetic field.

### Список литературы

1. Пушкина Н.В. // Растит. ресурсы. 2013. № 2. С. 163–174.
2. Noctor G., Lelarge-Trouverie C., Mhamdi A. // Phytochemistry. 2015. Vol. 112. P. 33–53.
3. Филатова И.И., Ажаронак В.В., Гончарик С.В. и др. // Журн. прикладной спектроскопии. 2014. № 2. С. 256–262.
4. Ажаронак В.В., Гончарик С.В., Филатова И.И. и др. // Электронная обработка материалов. 2009. № 4. С. 76–86.
5. Богма М.В. // Химия растительного сырья. 2011. №1. С. 137–140.
6. Филиппов А.К., Федоров М.А. // Сельскохозяйственные вести. 2002. № 1. С. 17–21.
7. Aleknavičiūtė V., Zukiene R., Pauzaite G. et al. // XIII International Conference of Lithuanian Biochemical Society. Birštonas, 18–20 June, 2014. P. 18–19.
8. Леценко В.Г. Основы электронного и ядерного магнитного резонанса. Минск, 1999.
9. Спектрометр электронного парамагнитного резонанса ЭПР АХМ-09 // Научно-производственное объединение Альбутран. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.albutran.by/spectrometer>. Дата доступа: 4.10.2016.