

УДК 635.655:581.19  
ГРНТИ 68.35.31; 34.31

DOI: 10.24411/1999-6837-2019-14047

**Веремейчик Г.Н.**, канд. биол. наук, ст. науч. сотр. лаб. биоинженерии;  
**Бродовская Е.В.**, ст. лаборант лаб. биоинженерии;  
**Григорчук В.П.**, вед. инженер лаб. клеточной биологии и биологии развития;  
**Бурундукова О.Л.**, канд. биол. наук, ст. науч. сотр. лаборатории клеточной биологии и биологии развития;  
ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН,  
г. Владивосток, Приморский край, Россия.  
E-mail: gala-vera@mail.ru  
**Бутовец Е.С.**, канд. с.-х. наук, ст. науч. сотр. и.о. зав. лаб. селекции сои;  
**Лукьянчук Л.М.**, мл. науч. сотр.;  
**Васина Е.А.**, мл. науч. сотр., аспирант  
ФГБНУ «ФНЦ агробιοтехнологий Дальнего Востока им А.К. Чайки»,  
п. Тимирязевский, г. Уссурийск, Приморский край, Россия,  
E-mail: ottselsoy@mail.ru

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СОДЕРЖАНИЯ ИЗОФЛАВОНОВ И УСТОЙЧИВОСТИ К АБИОТИЧЕСКИМ СТРЕССОВЫМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ IN VITRO КУЛЬТУРНОЙ И ДИКОЙ СОИ**

© Веремейчик Г.Н., Бродовская Е.В., Григорчук В.П., Бурундукова О.Л.,  
Бутовец Е.С., Лукьянчук Л.М., Васина Е.А., 2019

**Резюме.** Соя является основным источником масла и растительного белка с полным набором незаменимых аминокислот, более 20% углеводов, витаминов и других веществ, в том числе изофлавонов. Изофлавоны – вторичные метаболиты флавоноидной ветви фенилпропаноидного биосинтетического пути, широко используются в фармакологии. Фармакологическим действием обладают изофлавоны в форме агликонов, однако при нормальных условиях в растениях накапливаются главным образом малонил- и глюкозид-производные изофлавонов, в то время как агликоны выполняют функцию фитоалексинов, и их биосинтез активируется в ответ на стрессовое воздействие. Кроме того, известно, что более резистентные к стрессам сорта сои отличаются более высоким содержанием агликонов. Целью представленной работы являлся сравнительный анализ содержания изофлавонов в отечественном (Сфера), американском (Ходсон) сортах и в диком типе сои, параллельно с анализом устойчивости к наиболее актуальным для региона абиотическим стрессовым воздействиям. Мы показали, что воздействие солевого и холодового стресса достоверно ингибируют рост растений сорта Ходсон, и не оказывают ингибирующего действия на сорт Сфера. При этом содержание изофлавонов в форме агликонов и глюкозидов/малонил-глюкозидов в растениях сорта Сфера в 6 и 4 раза выше, чем в сорте Ходсон, соответственно. Таким образом, результаты работы указывают на возможность использования химического анализа содержания изофлавонов в процессе селекции для выведения резистентных к абиотическим и биотическим стрессовым воздействиям сортов сои.

**Ключевые слова:** культурная соя, дикая соя, температурный стресс, солевой стресс, изофлавоны.

**G.N. Veremeichik**, Cand. Biol. Sci., Senior Research Worker of Bioengineering Laboratory;  
**E.V. Brodovskaya**, Senior Laboratory Assistant of Bioengineering Laboratory;  
**V. P. Grigorchuk**, Advanced Engineer of the Laboratory of Cytology and Developmental Biology;  
**O.L. Burundukova**, Cand. Biol. Sci., Senior Research Worker of the Laboratory of Cytology and Developmental Biology;  
Federal Scientific Center for Biodiversity of the Russian Academy of Sciences, Far East District, Vladivostok, Primorsky Krai, Russia,  
E-mail: gala-vera@mail.ru;  
**E.S. Butovetz**, Cand. Agr. Sci., Senior Research Worker,  
Acting Head of the Laboratory of Soybean Breeding;  
**L.M. Lukyanchuk**, Junior Research Worker;  
**E.A. Vasina**, Junior Research Worker, Post-Graduate Student,  
FSBSI «Federal Scientific Center of Agrobiotechnology in the Far East named after A.K. Chaika», Stl. Timiryazevsky, Ussuriysk, Primorsky Krai, Russia,  
E-mail: otdelsoy@mail.ru

## IN VITRO COMPARATIVE ANALYSIS OF THE ISOFLAVONE CONTENT AND RESISTANCE TO ABIOTIC STRESS IN CULTURAL AND WILD SOYBEAN

**Abstract.** Soya is the main source of oil and vegetable protein with a full set of essential amino acids, more than 20% carbohydrates, vitamins and other substances, including isoflavones. Isoflavones are secondary metabolites of the flavonoid branch of the phenylpropanoid biosynthetic pathway and are widely used in pharmacology. Isoflavones in the form of aglycones have pharmacological effect, but under normal conditions plants accumulate mainly malonyl- and glucoside-derivatives of isoflavones, while aglycones perform the function of phytoalexins, and their biosynthesis is activated in response to stress. Furthermore, it is known that the varieties of soybean with better stress-resistance have a higher aglycone content. The aim of the presented work was a comparative analysis of the isoflavones content in domestic (Sphere), American (Hodson) varieties and in the wild type of soybean, in parallel with the analysis of the resistance to the most actual abiotic stresses in the region. We have shown that the effects of salt and cold stress significantly inhibit the growth of plants of Hodson variety, and do not have an inhibitory effect on the Sphere variety. At the same time, the isoflavone content in the form of aglycones and glucosides/malonyl-glucosides in Sphere variety is 6 and 4 times higher than in Hodson, respectively. Thus, the results indicate the possibility of using chemical analysis of the isoflavone content in the breeding process for selection of the varieties of soybean resistant to abiotic and biotic stress.

**Keywords:** cultivated soybean, wild soybean, temperature stress, salt stress, isoflavones.

**Введение.** Соя (*Glycine max*), одна из наиболее важных сельскохозяйственных культур, выращивается во всём мире, как источник белка, масла и других субпродуктов. Кроме того, соя является самым активным среди других растений продуцентом изофлавонов. Изофлавоны – вторичные метаболиты флавоноидной ветви фенилпропаноидного биосинтетического пути, являются фитоалексинами и участвуют в ответной реакции растительной клетки на биотический стресс [10]. По своей химической

структуре изофлавоны близки к женским половым гормонам – эстрогенам, они широко используются в фармакологии в гормонзамещающей терапии, проявляя мощный фитоэстрогенный эффект [6, 8]. Однако, при нормальных условиях в растениях накапливаются главным образом малонил- и гликозид-производные, а фармакологическим действием обладают агликоны – дайдзеин, генестеин, глицистеин, куместрол и их пренилированные производные [5, 7].

Рентабельное выращивание сои в нашей стране осложнено климатическими условиями. Основная проблема в получении патоген-резистентных сортов – удлинение вегетационного периода, что приводит к сдвигу этапа созревания плодов на холодное время года. Другими словами, чтобы выращивание сои было действительно рентабельно в климатических условиях нашей страны, необходимо выводить сорта, устойчивые к воздействию патогенов и к низким температурам. Для мировой практики такая комбинация не вполне актуальна, поэтому имеются значительные информационные пробелы в фундаментальных данных в области регуляции сочетания устойчивости к холоду и патогену.

Как культурное растение соя сформировалась в условиях теплого климата северных широт, примыкающих к экватору. Этим и определяются ее биологические особенности, требования к условиям внешней среды. За период ряда тысячелетий зоны возделывания сои намного расширились. И хотя наиболее интенсивно она выращивается на широте  $35^{\circ}$ - $45^{\circ}$ , скороспелые и холодостойкие ее сорта вызревают в районах вечной мерзлоты почти до  $58^{\circ}$  северной широты. Поэтому соя может культивироваться в широком диапазоне активных тепловых ресурсов в период вегетации – от  $17$  до  $32^{\circ}$  в зависимости от сорта и зоны возделывания. При благоприятном сочетании природных факторов – тепловой, водный, воздушный, световой, пищевой и др. режимы, соя дает полноценный и высокий урожай зерна. Требования растений этой культуры к условиям произрастания неравнозначны, поэтому каждое из них следует рассмотреть в отдельности [4].

Объектами изучения были американский сорт Ходсон, приморский – Сфера, дикая уссурийская соя.

Коллективом лаборатории селекции сои ФГБНУ «ФНЦ агроботехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки» проводятся селекционные исследования в области создания высокоурожайных сортов сои, иммунных и толерантных к болезням, хорошо адаптированных к климатическим и погодным условиям Приморского края, также осуществляется тестирование образ-

цов к абиотическим и биотическим факторам среды. За последние годы авторским коллективом лаборатории выведен ряд новых перспективных сортов сои, один из них – Сфера [2]. В 2016 г. он внесён в реестр селекционных достижений, допущенных к использованию по 12-му региону Российской Федерации. Получен патент на селекционное достижение № 8562.

Сорт *Сфера* относится к средней группе спелости (119-121 дня). Морфологические особенности сорта: растения среднерослые (70-75 см), толщина стебля 0,5-0,6 см. Детерминантный тип роста. Распределение бобов – равномерное в средней и верхней частях растения. Образовывает от 55 до 84 штук (65%) 3-х и 4-х семянных бобов на растении, в продуктивном узле от 6 до 9 бобов. Эта способность в большей степени реализуется в разреженных посевах. Характеристика семян: форма шаровидная, окраска зерна желтая, рубчик светлый (рис.1). Масса 1000 семян 180-190 г. Содержание масла в семенах 21,9-22,8%, белка – 37,4-38,1%. Создан сорт Сфера в результате гибридизации отдалённых в географическом и экологическом отношении родительских форм. Сорт обладает высоким иммунитетом и толерантностью к основным грибным заболеваниям Дальневосточного региона. Компактный габитус куста, высокое прикрепление бобов, повышенная продуктивность и качество продукции позволяют широко использовать его как на пищевые цели, так и на корм животным.



Рис.1. Растение (а), бобы и семена (б) сорта сои Сфера

Сорт *Ходсон* относится к маньчжурскому подвиду, разновидности *max*, апробационной группе *immaculata*. Период вегетации 116-119 дней. Растения средней высоты (65-80 см), толщина стебля 0,4-0,5 см. Растения маловетвистые – 1-3 стебля на растение. Окраска цветка – фиолетовая, опушение стебля светлое и редкое, бобы слабоизогнутые с тёмно-серым оттенком. Отмечается растрескивание бобов. Семена желтые, овальные, рубчик коричневый. Масса 1000 зерен 160-190 г. Поражение болезнями и вредителями среднее.

*Дикая уссурийская соя.* Формы этого подвита встречаются в диком виде в Приморье и Приамурье, а также в Китае, Корее и Японии. В Приморском крае растения находят на обочинах полей, дорог, кюветов и в отдельных куртинах. Растения – однолетние с тонким вьющимся, сильно ветвящимся стеблем, овально-заостренными или ланцетовидными листочками, мелкими фиолетовыми цветками, мелкими темно-коричневыми семенами (масса 1000 семян до 30 г), растрескивающимися бобами. В условиях Приморья представители этого подвита мало требовательны к теплу и прорастают при температуре +8<sup>0</sup> С, высокоустойчивы к грибным заболеваниям, содержат в зерне до 52,4% белка [1, 3].

Задачей представленной работы является сравнение уровня устойчивости к температурным и солевому стрессам, содержания изофлавонов, глюкозилированных и в форме агликонов в культурных сортах – Сфера, Ходсон и диком типе растения. Полученные данные позволят объективно оценить толерантность к абиотическим стрессам исследуемых сортов, а также выявить взаимосвязь с уровнем содержания фитоалексинов.

**Материалы и методика исследования.** Химический анализ вторичных метаболитов сои был проведен методом ВЭЖХ (Bruker HCT ultra PTM Discovery System, Bruker Daltonik GmbH, Бремен, Германия); изофлавоны и их производные были идентифицированы методом tandemной масс-спектрометрии (LCMS-IT-TOF tandem mass-spectrometer, Shimadzu, Япония),

включая LC-20AD Prominence жидкостный хроматограф (Shimadzu, Япония), как описано ранее [11], с использованием приборной базы Центра коллективного пользования ДВО РАН «Биотехнология и генетическая инженерия» при ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН (Рук. В.П. Булгаков).

Эксперименты на стрессовые воздействия проводили с использованием климатостата КС-200 на базе лаборатории Биоинженерии ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН (Рук. В.П. Булгаков) при следующих условиях: контроль – +24/22<sup>0</sup> С; холодной стресс – +16/14<sup>0</sup> С; тепловой стресс – +38/36<sup>0</sup> С, при фотопериоде – 16/8 часов, с освещенностью в дневные часы – 3000-5000 лк, влажность 70%. Для проведения экспериментов на толерантность к воздействию хлорида натрия в культуральную среду добавляли 90 и 120 мМ NaCl (Panreac, Барселона, Испания), культивировали при контрольных условиях. Для проведения экспериментов семена исследуемых образцов сои стерилизовали в диоциде (0,2% раствор), высаживали в пробирки с культуральной средой, разработанной на основе среды Мурасиге и Скуга [9], выращивали при контрольных и стрессовых воздействиях 30 суток, затем снимали полученные побеги и взвешивали на электронных весах. Эксперименты ставили 4 раза, по 10 семян каждого сорта и дикой сои.

Полученные в результате работы данные были обработаны в программе (StatSoft Inc., США) с уровнем статистической достоверности  $p < 0.05$ ; для сравнения множества групп использовали Fisher LSD тест для множественных сравнений апостериорного Post-hoc анализа One-way ANOVA.

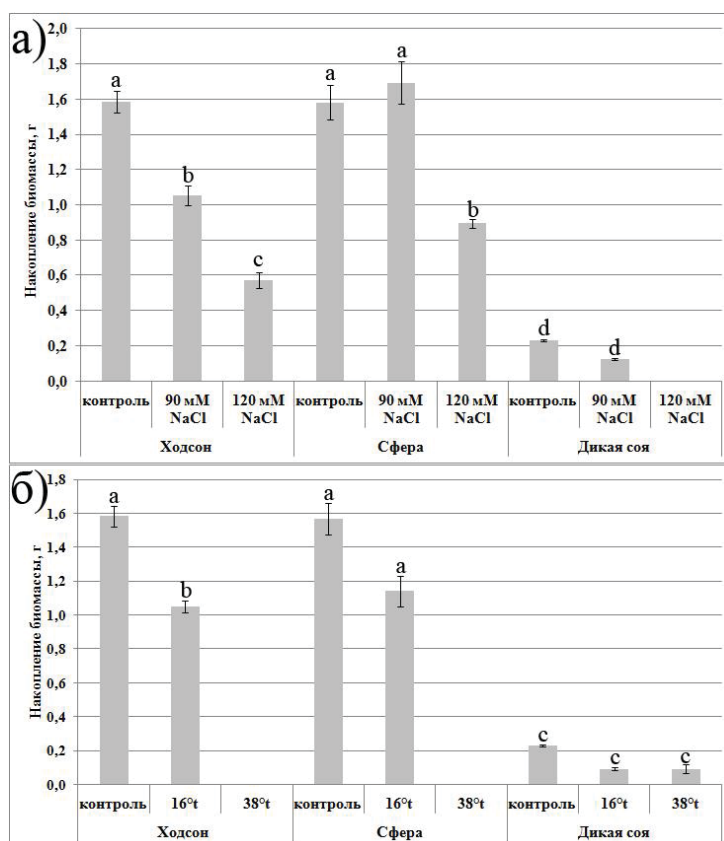
**Результаты и обсуждение исследований.** В контрольных условиях *in vitro* семена сортов Ходсон и Сфера, а также дикой сои имеют хорошую прорастаемость; рост растений культурных сортов между собой не имеет значительной разницы, и наблюдаемое накопление биомассы одного растения за 30 дней составляет 1.6 г. При этом растения дикой сои накапливают только 0.2 г. Эта разница обусловлена природными

ростовыми показателями и морфологическими особенностями исследуемых растений.

Воздействие хлорида натрия в концентрации 90 мМ ингибировало рост растений сорта Ходсон в 1.5 раза; на рост растений сорта Сфера и дикой сои влияния данная концентрация не оказала. Хлорид натрия в концентрации 120 мМ ингибировал рост растений сортов Ходсон и Сфера в 2.7 и 1.8 раза, соответственно, при этом семена дикой сои на данной концентрации не проросли (рис.2, а)). Таким образом, мы показали, что выведенный в условиях засоленности почв Приморского края сорт сои Сфера значительно устойчивее к засолению, чем адаптированный американский сорт Ходсон. И устойчивость к засолению обоих сортов значительно выше, чем у дикого типа сои.

Результат *in vitro* исследования воздействия температурного стресса на прораста-

ние семян и рост растений продемонстрировали, что понижение температуры до  $+16/14^{\circ}\text{C}$  ингибирует рост растений сорта Ходсон в 1.5 раза; на рост растений сорта Сфера и дикой сои достоверно значимого воздействия не оказывает (рис. 2, б). Повышение температуры до  $+38/36^{\circ}\text{C}$  напротив, полностью ингибировало прорастание семян культурных растений, на дикую форму сои данный фактор достоверного ингибирующего действия не оказал. Таким образом, отметим, что при более низких ростовых показателях, растения дикой сои значительно более устойчивы к температурным стрессам в условиях *in vitro*, чем оба сорта культурной сои, и также устойчивее к низким концентрациям хлорида натрия, чем сорт Ходсон. При сравнении двух культурных сортов, данные эксперимента указывают на значительно большую устойчивость приморского сорта сои Сфера к актуальным для региона стрессовым воздействиям.

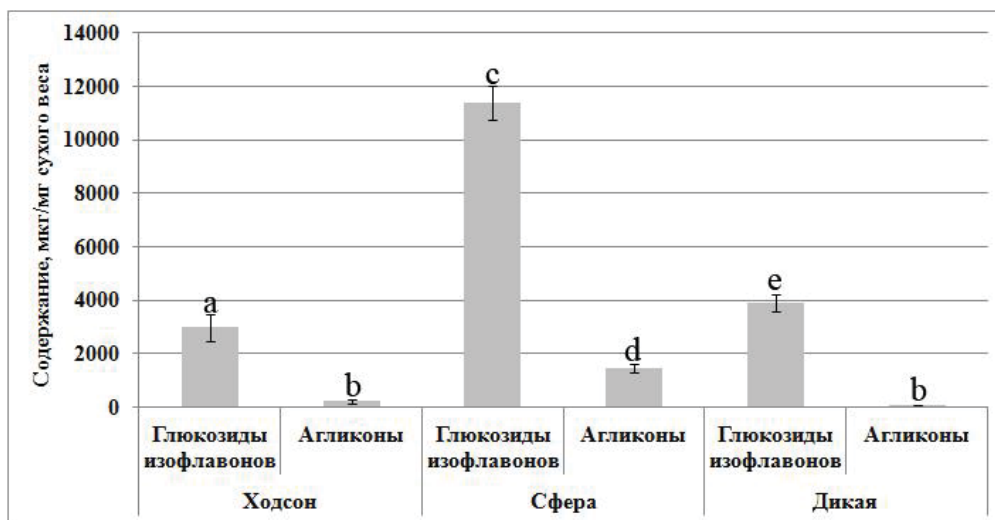


**Рис.2. Результаты *in vitro* экспериментов на воздействие солевого (а) и температурного (б) стрессовых факторов на прорастание семян и рост растений сортов Сфера, Ходсон и дикой сои.**

Уровень статистической достоверности  $p < 0.05$  при сравнении множества групп данных (Fisher LSD тест One-way ANOVA) обозначен строчными латинскими буквами над планками погрешностей

Мы провели анализ содержания основных вторичных метаболитов. Самое высокое содержание изофлавонов в форме глюкозидов и малонил-глюкозидов было показано для сорта Сфера, в 4 раза больше, чем

в растениях сорта Ходсон и в 3 раза больше, чем в дикой сое. Содержание изофлавонов в форме агликонов также в растениях сорта Сфера значительно выше – в 6 и 18 раз, чем в растениях сорта Ходсон и дикой сои, соответственно (рис. 3).



**Рис.3. Результаты химического анализа содержания изофлавонов в форме глюкозидов и малонил-глюкозидов, а также изофлавонов в форме агликонов в растениях сортов Сфера, Ходсон и дикой сои.**

Уровень статистической достоверности  $p < 0.05$  при сравнении множества групп данных (Fisher LSD тест One-way ANOVA) обозначен строчными латинскими буквами над планками погрешностей

Поскольку содержание изофлавонов в форме агликонов является основным показателем степени толерантности к воздействию патогена, можно предположить, что более высокий уровень их содержания должен обеспечивать растениям сорта Сфера повышенную патоген-резистентность по сравнению с сортами с более низким содержанием. Высокое содержание изофлавонов в форме глюкозидов и малонил-глюкозидов, как антиоксидантов, в свою очередь играет протекторную роль при абиотических стрессовых воздействиях, что соотносится с полученными данными о воздействии температурных и солевого стрессов.

**Заключение.** В работе доказано, что выведенный в Приморском крае сорт сои Сфера значительно более устойчив к актуальным для региона абиотическим стрессовым воздействиям, чем адаптированный

американский сорт Ходсон. При этом с более высокими показателями устойчивости связано более высокое содержание вторичных метаболитов – изофлавонов, как в форме глюкозидов и малонил-глюкозидов, так и в форме агликонов. Таким образом, результаты работы указывают на возможность использования химического анализа содержания изофлавонов в процессе селекции для выведения резистентных к абиотическим и биотическим стрессовым воздействиям сортов сои.

**Благодарности:** Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ для молодых ученых, № МК-989.2019.4 (рук. Г.Н. Веремейчик). Химический анализ проведен на оборудовании приборной базы Центра коллективного пользования ДВО РАН «Биотехнология и генетическая инженерия» при ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН (Рук. В.П. Булгаков)

## Список литературы

1. Ала, А.Я. Изменчивость хозяйственно ценных признаков в различных популяциях дикой сои / А.Я. Ала, А.А. Гамоллин - Биология, селекция и генетика сои: сб. науч. тр. - Новосибирск, РАСХН, 1986. – С. 73-83.
2. Бутовец, Е.С. Адаптивный потенциал новых сортов сои приморской селекции / Е.С. Бутовец - Современные технологии и техническое обеспечение производства и переработки сельскохозяйственных культур: сб. науч. тр. ФАНО, РАН, ДальНИИМЭСХ. – Благовещенск: Изд-во Дальневосточного ГАУ, 2016. – С. 103-114.
3. Золотницкий, В.А. Дикая соя на Дальнем Востоке / В.А. Золотницкий // Бюл. глав. ботан. сада, 1963. – Вып. 49. – С. 66-77.
4. Соя на Дальнем Востоке / А.П. Ващенко, Н.В. Мудрик, П.П. Фисенко [и др.]– Владивосток : Дальнаука, 2010. – 435 с.
5. Barron, D., Ibrahim, R., 1996. Isoprenylated flavonoids—a survey. *Phytochemistry*. 43 (5). 921-982. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(96\)00344-5](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(96)00344-5).
6. Izumi, T., Piskula, M.K., Osawa, S., Obata, A., Tobe, K., Saito, M., Kataoka, S., Kubota, Y., Kikuchi, M., 2000. Soy isoflavone aglycones are absorbed faster and in higher amounts than their glucosides in humans. *J Nutr*. 130. 1695–1699. <https://doi.org/10.1093/jn/130.7.1695>.
7. Leung, A.T., Foster, S., 1996. *Encyclopedia of Common Natural Ingredients Used in Food, Drugs, and Cosmetics*. 2nd ed. New York: John Wiley and Sons <https://doi.org/10.1002/food.19960400517>.
8. Miadokova, E., 2009. Isoflavonoids – an overview of their biological activities and potential health. *Interdisc Toxicol*. 2(4). 211–218. <https://dx.doi.org/10.2478%2Fv10102-009-0021-3>.
9. Murashige, T., Skoog, F. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue culture // *Physiol. Plant*. 1962. Vol. 15. P. 473-497.
10. Nakata, R., Kimura, Y., Aoki, K., Yoshinaga, N., Teraishi, M., Okumoto, Y., Huffaker, A., Schmelz, E.A., Mori, N., 2016. Inducible *de novo* biosynthesis of isoflavonoids in soybean leaves by *Spodoptera litura* derived elicitors: tracer techniques aided by high resolution LCMS. *NJ Chem Ecol*. 42. 1226–1236. <https://doi.org/10.1007/s10886-016-0786-8>.
11. Veremeichik, G., Grigorchuk, V., Silanteva, S., Shkryl, Y., Bulgakov, D., Brodovskaya, E., Bulgakov, V., 2018. Increase in isoflavonoid content in *Glycine max* cells transformed by the constitutively active Ca<sup>2+</sup> independent form of the *AtCPK1* gene. *Phytochemistry*. 157. 111-120. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2018.10.023>.

## Reference

1. Ala, A.Ya., Gamollin, A.A. Izmenchivost' khozyaistvenno tsennykh priznakov v razlichnykh populyatsiyakh dikoi soi (Variability of Economically Valuable Traits in Different Populations of Wild Soybean), *Biologiya, selektsiya i genetika soi: sb. nauch. tr., Novosibirsk, RASKhN, 1986, PP. 73-83.*
2. Butovets, E.S. Adaptivnyi potentsial novykh sortov soi primorskoj selektsii (Adaptive Potential of New Soybean Varieties Bred in the Primorye), E.S. Butovets - *Sovremennye tekhnologii i tekhnicheskoe obespechenie proizvodstva i pererabotki sel'skokhozyaistvennykh kul'tur, sb. nauch. tr. FANO, RAN, Dal'NIIMESKh, Blagoveshchensk, Izd-vo Dal'nevostochnogo GAU, 2016, PP. 103-114.*
3. Zolotnitskii, V.A. Dikaya soya na Dal'nem Vostoke (Wild Soybean in the Far East), *Byul. glav. botan. sada, 1963, Vyp. 49, PP. 66-77.*
4. Soya na Dal'nem Vostoke (Soybean in the Far East), A.P. Vashchenko, N.V. Mudrik, P.P. Fisenko [i dr.], *Vladivostok, Dal'nauka, 2010, 435 p.*
5. Barron, D., Ibrahim, R., 1996. Isoprenylated flavonoids—a survey. *Phytochemistry*. 43 (5). 921-982. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(96\)00344-5](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(96)00344-5).
6. Izumi, T., Piskula, M.K., Osawa, S., Obata, A., Tobe, K., Saito, M., Kataoka, S., Kubota, Y., Kikuchi, M., 2000. Soy isoflavone aglycones are absorbed faster and in higher amounts than their glucosides in humans. *J Nutr*. 130. 1695–1699. <https://doi.org/10.1093/jn/130.7.1695>.
7. Leung, A.T., Foster, S., 1996. *Encyclopedia of Common Natural Ingredients Used in Food, Drugs, and Cosmetics*. 2nd ed. New York: John Wiley and Sons <https://doi.org/10.1002/food.19960400517>.
8. Miadokova, E., 2009. Isoflavonoids – an overview of their biological activities and potential health. *Interdisc Toxicol*. 2(4). 211–218. <https://dx.doi.org/10.2478%2Fv10102-009-0021-3>.
9. Murashige, T., Skoog, F. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue culture // *Physiol. Plant*. 1962. Vol. 15. P. 473-497.
10. Nakata, R., Kimura, Y., Aoki, K., Yoshinaga, N., Teraishi, M., Okumoto, Y., Huffaker, A., Schmelz, E.A., Mori, N., 2016. Inducible *de novo* biosynthesis of isoflavonoids in soybean leaves by *Spodoptera litura*

derived elicitors: tracer techniques aided by high resolution LCMS. *NJ Chem Ecol.* 42. 1226–1236. <https://doi.org/10.1007/s10886-016-0786-8>.

11. Veremeichik, G., Grigorchuk, V., Silanteva, S., Shkryl, Y., Bulgakov, D., Brodovskaya, E., Bulgakov, V., 2018. Increase in isoflavonoid content in *Glycine max* cells transformed by the constitutively active Ca<sup>2+</sup> independent form of the *AtCPK1* gene. *Phytochemistry.* 157. 111-120. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2018.10.023>.

УДК 635.21:631.811  
ГРНТИ 68.35.49, 68.33.29

DOI: 10.24411/1999-6837-2019-14048

**Глаз Н.В.**, канд. с.-х. наук;

ФГБОУ ДПО «Дальневосточная школа повышения квалификации руководителей и специалистов агропромышленного комплекса», г. Хабаровск, Хабаровский край, Россия, E-mail: fgou-apk@yandex.ru;

**Васильев А.А.**, д-р с.-х. наук;

**Горбунов А.К.**, ст. науч. сотр.;

ФБГНУ «Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр УрО РАН», г. Екатеринбург, Свердловская область, Россия, E-mail: kartofel\_chel@mail.ru;

**Мушинский А.А.**, д-р с.-х. наук,

Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий РАН, г. Оренбург, Оренбургская область, Россия, E-mail: san2127@yandex.ru

## **ВЛИЯНИЕ БИОСТИМУЛЯТОРА МИВАЛ-АГРО НА УРОЖАЙНОСТЬ И СЕМЕННУЮ ПРОДУКТИВНОСТЬ КАРТОФЕЛЯ**

© Глаз Н.В., Васильев А.А., Горбунов А.К., Мушинский А.А., 2019

**Резюме.** Для повышения урожайности сельскохозяйственных культур большой интерес представляют регуляторы ризогенеза, применение которых повышает устойчивость растений к возбудителям болезней и неблагоприятным погодным условиям. Использование кремнийорганического биостимулятора Мивал-агро в лесостепной зоне Челябинской области снижало вредоносность фитофтороза на 15-25%, альтернариоза – на 16-28%, ризоктониоза – на 19-38% в зависимости от способа применения. Улучшение фитосанитарного состояния и сбалансированность роста и развития растений, как следствие применения Мивал-агро, вызывало увеличение урожайности и семенной продуктивности картофеля. Обработка семенного материала повышала урожайность сорта Тарасов на 17,2% (4,6 т/га), фолиарное применение в фазе бутонизации – на 14,3% (3,8 т/га) по сравнению с контролем. Наибольший эффект отмечен при комбинированном применении Мивал-агро: прибавка урожая картофеля составила 7,7 т/га или 28,8% по отношению к контролю. Совместное применение Мивал-агро для обработки посадочного материала (2 г/т) и вегетирующих растений (20 г/га) обеспечивало наибольший выход клубней семенной фракции с единицы площади: у сорта Губернатор – 181, Невский – 230, Тарасов – 264, Балабай – 272, Спиридон – 281 тыс. шт./га. У сорта Губернатор прибавка при этом составила 90%, Тарасов – 58%, Балабай – 48%, Невский – 43%, Спиридон – 34% по отношению к контролю. При загущенной посадке сорта Тарасов (70 тыс. клубней на 1 га) семенная продуктивность картофеля в варианте комбинированного применения Мивал-агро была в 2,6 раза выше, чем в варианте разреженной посадки (49 тыс./га) без использования биостимулятора.

**Ключевые слова:** картофель, биостимулятор, Мивал-агро, болезни, урожайность, семенная продуктивность.