

УДК 633.853.52:581.19:546.48  
ГРНТИ 68.35.31; 34.31

DOI: 10.24411/1999-6837-2018-13055

**Кодирова Г.А.**, канд. техн. наук;  
**Кубанкова Г.В.**, ст. науч. сотр.,  
Всероссийский научно-исследовательский институт сои,  
г. Благовещенск, Амурская область, Россия;  
**Ефремова О.С.**, ст. науч. сотр.,  
Приморский научно-исследовательский институт сельского хозяйства,  
Россия, Приморский край, Уссурийский район, пос. Тимирязевский  
E-mail: kodigalya@mail.ru; kgv.galina@mail.ru

### **БИОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СОМАКЛОНАЛЬНЫХ ЛИНИЙ СОИ, РЕЗИСТЕНТНЫХ К ИОНАМ КАДМИЯ**

*В статье представлены результаты биохимических исследований семенного материала сои, полученного методом соматоклональной изменчивости в культуре *in vitro*, с применением в питательных средах как мутагенного фактора ионов кадмия. Дана оценка биохимических признаков соматоклональных линий сои, в ходе которой выявлены линии (R1590, R1583, R1568, R1576) достоверно превышающие уровень стандарта по содержанию белка на 3,1–7,6%. По содержанию жира достоверное превышение на 4,2–7,4% было отмечено у линий R1585, R1584, R1605, R1606, R1609. В числе изучаемых соматоклонов были выявлены три линии: R1609, R1605, R1584, превосходящие стандарт по содержанию жира, олеиновой, линолевой и линоленовой кислот. Линия R1576 выделена как источник повышенного содержания белка и олеиновой кислоты. Установлено, что величины коэффициента вариации изменялись в зависимости от признаков. Незначительными величинами характеризовались показатели содержания белка, жира, аминокислот, кроме гистидина, и жирных кислот (пальмитиновой, стеариновой, линолевой). Средними величинами коэффициентов вариации отмечены показатели клетчатки, гистидина в аминокислотах и линоленовой кислоты в жирных кислотах. Высоким значением коэффициентов вариации выделены показатели содержания золы и олеиновой кислоты.*

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** СОЯ, СОМАКЛОНАЛЬНЫЕ ЛИНИИ, ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ, БИОХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ, АМИНОКИСЛОТНЫЙ СОСТАВ, ЖИРНЫЕ КИСЛОТЫ.

UDC 633.853.52:581.19:546.48

DOI: 10.24411/1999-6837-2018-13055

**Kodirova G. A.**, Cand. Tech. Sci.;  
**Kubankova G. V.**, Senior Research Worker,  
All-Russian Research Institute of Soya,  
Blagoveshchensk, Amur Region, Russia,  
**Efremova O.S.**, Senior Research Worker,  
Primorsky Research Institute of Agriculture,  
Timiryazevsky settlement, Ussuriisk, Primorsky Krai, Russia  
E-mail: kodigalya@mail.ru; kgv.galina@mail.ru

### **BIOCHEMICAL ASSESSMENT OF SOMACLONAL LINES OF SOYBEAN RESISTANT TO IONS OF CADMIUM**

*The article presents the findings of biochemical studies of soybean seed material obtained by the method of somaclonal variability in the culture of *in vitro* using cadmium ions as a mutagenic agent in nutrient media. The article presents the assessment of biochemical*

*characteristics of somaclonal lines of soybeans revealing the lines (R1590, R1583, R1568, R1576) that significantly exceed the standard level of the protein content by 3.1–7.6%. As to the fat content, exceeding amounted to 4.2–7.4% that was indicated in the lines R1585, R1584, R1605, R1606, R1609. Among the studied somaclones we identified three lines R1609, R1605, R1584 that exceed the standard fat, oleic, linoleic and linolenic acids. The R1576 line was singled out as a source of high protein and oleic acid content. It was found that the values of the coefficient of variation varied depending on the characteristics. Insignificant values belonged to indexes of the level of protein, fat, amino acids, except histidine, and fatty acids (palmitic, stearic, linoleic). The average values of the coefficients of variation belonged to the indices of fiber, histidine in amino acids and linolenic acid in fatty acids. The high values of the coefficients of variation belonged to the indexes of ash and oleic acid content.*

KEY WORDS: SOYBEAN, SOMACLONAL LINES, HEAVY METALS, BIOCHEMICAL COMPOSITION, AMINO ACID COMPOSITION, FATTY ACIDS.

**Введение.** Соя является одной из основных сельскохозяйственных культур в агропромышленном производстве Дальнего Востока, отличающейся высоким качеством зерна, в сочетании с комплексом адаптивных свойств и технологических преимуществ. Несмотря на это, поиск новых нетрадиционных подходов и методов, позволяющих выявить потенциальные возможности этой культуры, и вместе с тем в более короткие сроки получить новые продуктивные формы и сорта, является актуальным направлением в развитии сельскохозяйственного производства [1–4].

В настоящее время в селекции сои всё большее применение находят биотехнологические приемы, базирующиеся на основе изолированных клеток, тканей и органов растений *in vitro*. Важное практическое значение имеет создание высокопродуктивных сортов сои, устойчивых к стрессовым факторам, которые могут быть использованы в качестве селективного фона в процессе клеточной селекции. Клетки, сохранившие при этом жизнеспособность, могут быть регенерированы в целые растения, которые, как правило, отличаются от исходных форм, т.е. несут соматоклональную изменчивость, накопленную в процессе культивирования *in vitro*, и могут являться исходным материалом для традиционной селекции [4].

В последние годы мутагенным фактором признаны и используются в процессе регенерации *in vitro* ионы тяжелых металлов. Высокой способностью проникновения в растительный организм обладает кадмий. Он является одним из наиболее токсичных тяжелых элементов. Поступая в растения, кадмий вызывает хлорозы листьев, ингибирование роста стеблей и корня. Данные эффекты объясняются влиянием тяжелых металлов на многочисленные биохимические и физиологические процессы, протекающие в растительной клетке, поэтому активное использование экспериментального мутагенеза является перспективным методом, стимулирующим генетические исследования в данной области [4–9].

**Цель исследований.** Изучение и оценка биохимических признаков семенного материала сои, полученного методом соматоклональной изменчивости в культуре *in vitro*, с применением в питательных средах как мутагенного фактора ионов кадмия.

**Материалы и методы исследования.** Исследования проводили в 2018 году в испытательной лаборатории ФГБНУ ВНИИ сои в г. Благовещенск Амурской области. Для проведения испытаний был использован семенной материал соматоклональных линий сои, генетически отличающихся от исходных форм, полученный в селекционном питомнике ФГБНУ ПримНИИСХ. Объект

исследований – районированный в Приморском крае сорт сои Приморская 81 (стандарт), и регенерантные линии: R1605, R1584, R1583, R1590, R1585, R1606, R1609, R1568, R1576.

Биохимический состав семенного материала определяли методом спектроскопии в ближней инфракрасной области с использованием анализатора «FOSSNIR System 5000». Метод основан на регистрации спектров отражения анализируемых проб в ближней инфракрасной области и определении в них массовых долей клетчатки, золы, сырого протеина, жира, аминокислот, жирных кислот.

Статистическую обработку результатов проводили стандартными методами в изложении Б.А. Доспехова с использованием пакета прикладных программ Statistica 6.0[10].

**Результаты и обсуждения.** Главное достоинство сои – это высокое содержание полноценного растительного белка, а его варьирование в большей степени обусловлено генотипическими изменениями. Коэффициент вариации (Cv) – один из важных показателей, который позво-

ляет провести сравнительную характеристику по степени изменчивости биохимических признаков. При этом изменчивость принято считать слабой, если значение Cv не превышает 10%, средней, если коэффициент вариации составляет 11 – 20% и значительной, если коэффициент вариации более 20% [10]. По содержанию белка и жира среди изучаемых линий наблюдалась слабая вариабельность с несущественными значениями Cv=4.4 и 4.0% соответственно (табл.1). При этом выделены формы R1590, R1583, R1568, R1576, достоверно превышающие уровень стандарта по содержанию белка (на 3,1–7,6%). По содержанию жира достоверное превышение на 4.2–7.4% отмечено у линий R1585, R1584, R1605, R1606, R1609. Высокими коэффициентами вариации отличались показатели зольности и клетчатки, однако почти во всех линиях наблюдалось значительное снижение этих признаков по отношению к стандарту, за исключением линий, полученных на средах с ионами Cd<sup>2+</sup> в концентрации 10 мг/л, их значения были на уровне со стандартом.

Таблица 1

*Биохимический состав соматоклональных линий сои, полученных на средах с ионами Cd<sup>2+</sup>*

Сорт сои, форма	Биохимические показатели, %			
	Белок	Жир	Зола	Клетчатка
Приморская 81 (стандарт)	39.4	18.9	4.9	9.1
R1605 (и.ф. Пр.81-5Cd <sup>2+</sup> )	38.3	20.0*	2.8*	6.4*
R1584 (и.ф. R1-5Cd <sup>2+</sup> )	38.1	20.1*	3.0*	6.8*
R1590(и.ф. R565-5Cd <sup>2+</sup> )	40.6*	18.3	4.1*	7.0*
R1583 (и.ф. R565-5Cd <sup>2+</sup> )	42.2*	19.1	3.2*	8.1*
R1585 (и.ф. R86-5Cd <sup>2+</sup> )	37.8	20.3*	2.0*	5.1*
R1606 (и.ф. Ходсон-5Cd <sup>2+</sup> )	37.0	19.8*	3.2*	6.9*
R1609 (и.ф. Пр.81-5Cd <sup>2+</sup> )	39.7	19.7*	3.2*	6.9*
R1568 (и.ф. R1-10Cd <sup>2+</sup> )	40.2*	18.8	5.0	9.2
R1576 (и.ф. Пр.13-10Cd <sup>2+</sup> )	42.4*	17.9	5.1	9.4
Cv	4.4	4.0	29.0	17.8

Примечание: \*достоверно при P=0.05

Известно, что качество белка и жира напрямую связано с содержанием в них аминокислот и жирных кислот, а их изменчивость также определяется, в основном, генотипом сорта (исходной формы), однако, значительные отклонения показателей встречаются крайне редко. Это

подтверждено и нашими исследованиями. В белке соматоклональных линий, полученных на средах с ионами кадмия, проводили анализ 16-ти аминокислот, варьирование 15-ти из них практически отсутствовало (Cv=1–8%). Исключение составил гистидин, где наблюдалась средняя изменчивость этого признака

( $C_v=16.5\%$ ), при этом размах варьирования составил 4,8–8,4% от общего содержания аминокислот в семенах (табл. 2). Величину вариабельности содержания гистидина определили формы R1568 и R1576, полученные на средах с ионами  $Cd^{2+}$  в концентрации 10 мг/л, где было отмечено самое низкое содержание этого показателя – 4,7–6,0% от общего содержания аминокислот. Линий, превосходя-

щих стандарт, как по данному показателю, так и по другим аминокислотам не обнаружено. Несмотря на несущественную изменчивость содержания валина, наблюдалось незначительное снижение этого показателя относительно стандарта. Исходя из этого, можно предположить, что повышение концентрации в питательных средах ионов кадмия может повлечь некоторое снижение отдельных аминокислот (гистидин, валин).

Таблица 2

Содержание незаменимых аминокислот в семенном материале соматоклональных линий сои, полученных на средах с ионами  $Cd^{2+}$

Сорт сои, форма	Аминокислоты, %							
	Лизин	Аргинин	Гистидин	Лейцин	Изолейцин	Валин	Треонин	Фенилаланин
Приморская 81 (стандарт)	6.3	8.5	8.1	8.0	5.7	7.3	3.7	4.4
R1605 (и.ф. Пр.81-5Cd <sup>2+</sup> )	6.2	8.6	8.2	8.0	5.6	<b>6.7*</b>	3.6	4.3
R1584 (и.ф. R1-5Cd <sup>2+</sup> )	6.2	8.3	7.4	8.0	5.6	<b>6.7*</b>	3.6	4.3
R1590(и.ф. R565-5Cd <sup>2+</sup> )	6.2	8.5	8.5	7.9	5.6	<b>6.6*</b>	3.6	4.4
R1583 (и.ф. R565-5Cd <sup>2+</sup> )	6.2	8.5	7.9	7.8	5.7	<b>6.2*</b>	3.5	4.4
R1585 (и.ф. R86-5Cd <sup>2+</sup> )	6.2	8.3	8.6	8.1	<b>5.4*</b>	7.0	3.6	4.3
R1606 (и.ф. Ходсон-5Cd <sup>2+</sup> )	6.3	8.6	7.8	8.3	5.6	7.1	3.7	4.3
R1609 (и.ф. Пр.81-5Cd <sup>2+</sup> )	6.1	8.6	<b>7.0*</b>	8.0	5.7	<b>5.9*</b>	3.5	4.4
R1568 (и.ф. R1-10Cd <sup>2+</sup> )	6.1	8.7	<b>6.0*</b>	7.9	5.9	<b>6.1*</b>	3.5	4.4
R1576 (и.ф. Пр.13-10Cd <sup>2+</sup> )	6.1	8.7	<b>4.7*</b>	7.8	5.8	<b>5.8*</b>	3.4	4.4
$C_v$	1.2	1.7	<b>16.5</b>	2.0	2.1	8.0	2.6	1.1

Примечание: \*достоверно при  $P=0.05$

При изучении качественного состава масла существенных отличий по уровню содержания насыщенных жирных кислот не наблюдалось (табл.3). Анализируя данные о содержании жирных кислот, можно отметить, что в масле семян исследуемых образцов преобладают ненасыщенные жирные кислоты, при этом основную долю этих кислот занимает линолевая. Достоверно превышающие стандарт по содержанию этого показателя были отмечены линии: R1605, R1584, R1590, R1585. Но по сравнению с олеиновой и линоленовой кислотами, линолевая изменялась в меньшей степени –  $C_v=0.9\%$ , при этом максимальное превышение над стандартом составило 2,4%. Высокой вариабельностью отличалась олеиновая кислота ( $C_v=20,7\%$ ), с достоверным превышением стандарта от 17,4%

(R1609, R1568) до 22,5% (R1576). Нежелательным компонентом, снижающим качество соевого масла, является линоленовая кислота, однако, по данным многих исследователей, эта кислота придает холодоустойчивость семенам в период прорастания и может служить маркерным признаком при отборе [4]. Обобщая данные содержания жира и жирно-кислотного состава, можно сделать вывод, что с повышением масличности семян сои наблюдается тенденция к снижению линоленовой кислоты. Так, в семенах регенерантных линий R1606 и R1585 было отмечено достоверное снижение линоленовой кислоты относительно стандарта на 23–26%, у линий R1584 и R1605 на 17%, и на 7% у R1609.

Таблица 3

Содержание жирных кислот в семенном материале соматоклональных линий сои, полученных на средах с ионами Cd<sup>2+</sup>

Сорт сои, форма	Жирные кислоты, %				
	Пальмитиновая C <sub>16:0</sub>	Стеариновая C <sub>18:0</sub>	Олеиновая C <sub>18:1</sub>	Линолевая C <sub>18:2</sub>	Линоленовая C <sub>18:3</sub>
Приморская 81 (стандарт)	9.4	3.8	13.1	50.2	9,0
R1605 (и.ф. Пр.81-5Cd <sup>2+</sup> )	9.3	3.9	13.3	<b>50.9*</b>	<b>7.5*</b>
R1584 (и.ф. R1-5Cd <sup>2+</sup> )	9.3	3.8	14.8	<b>51.0*</b>	<b>7.5*</b>
R1590(и.ф. R565-5Cd <sup>2+</sup> )	9.3	3.8	13.2	<b>51.0*</b>	8.7
R1583 (и.ф. R565-5Cd <sup>2+</sup> )	9.2	3.7	15.0	50.7	9.8
R1585 (и.ф. R86-5Cd <sup>2+</sup> )	9.4	3.8	12.2	<b>51.4*</b>	<b>6.7*</b>
R1606 (и.ф. Ходсон-5Cd <sup>2+</sup> )	9.5	3.9	12.9	50.7	<b>7.0*</b>
R1609 (и.ф. Пр.81-5Cd <sup>2+</sup> )	9.2	3.8	<b>17.4*</b>	50.4	<b>8.4*</b>
R1568 (и.ф. R1-10Cd <sup>2+</sup> )	9.2	3.8	<b>17.4*</b>	50.1	9.2
R1576 (и.ф. Пр.13-10Cd <sup>2+</sup> )	9.1	3.8	<b>22.5*</b>	50.0	10.2
Cv	1.5	1.4	<b>20.7</b>	0.9	14.2

Примечание: \* достоверно при P=0.05

Следует отметить линию R1609, которая характеризовалась на фоне высокой масличности удачным сочетанием ненасыщенных жирных кислот – повышенным содержанием олеиновой кислоты при относительно низком содержании линоленовой.

**Выводы.** Таким образом, использование в качестве дополнительного мутагенного фактора ионов кадмия оказывало влияние на биохимический состав семян сои с варьированием значений отдельных показателей, как в сторону повышения, так и понижения относительно стандарта.

Установлены величины коэффициентов вариации, которые изменялись в зависимости от признаков. Незначительной

изменчивостью характеризовались показатели содержания белка, жира, аминокислот, кроме гистидина, и жирных кислот (пальмитиновой, стеариновой, линолевой). Средними величинами коэффициентов вариации отмечены показатели клетчатки, гистидина в аминокислотах и линоленовой кислоты в жирных кислотах. Высоким значением коэффициентов вариации выделены показатели содержания золы и олеиновой кислоты. В числе изучаемых соматоклональных линий сои выявлены три линии: R1609, R1605, R1584, имеющие преимущества по содержанию жира, олеиновой, линолевой и линоленовой кислот. Линия R1576 выделена как источник повышенного содержания белка и олеиновой кислоты.

**Библиографический список**

1. Петибская, В.С. Соя: химический состав и использование [Текст] / В.С. Петибская. - под редакцией академика РАСХН, д-ра с.-х. наук В.М. Лукомца. – Майкоп: ОАО «Полиграф-ЮГ», 2012. – 432 с.
2. Баранов, В.Ф. Соя. Биология и технология возделывания [Текст] / В.Ф. Баранов, В.М. Лукомец. – Краснодар: ВНИИМК, 2005. – 350 с.
3. Ващенко, А.П. Соя на Дальнем Востоке [Текст] / А.П. Ващенко [и др.]. – Владивосток: Дальнаука, 2010. – 434 с.
4. Кошкин, Е.И. Физиология устойчивости сельскохозяйственных культур [Текст]: учеб.пособие / Е.И. Кошкин. – Москва: Дрофа, 2010. – 638 с.
5. Реутова, Н.В. Мутагенный потенциал ряда тяжелых металлов. [Текст]// Экологическая генетика, 2015. – Том 13, № 3. – С. 70-75.
6. Артамонов, В.И. Биотехнология агропромышленному комплексу [Текст] / В.И. Артамонов. – Москва: Наука, 1989. – 160 с.



7. Ефремова, О.С. Влияние ионного стресса на уровень генетической изменчивости регенерантов сои [Текст] / О.С. Ефремова, П.В. Фисенко // Дальневосточный аграрный вестник, 2016. – № 4. – С. 30-37.
8. Воронина, Л.П. Влияние Zn и Cd на поступление питательных элементов в ячмень / Л.П. Воронина, Е.В. Морачевская, К.В. Павлов // Экологическая агрохимия / под ред. В.Г. Минеева; Москва: МГУ, 2008. – С. 83-91.
9. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта [Текст] / Б.А. Доспехов. – Москва: Агропромиздат, 1985. – С. 141-144.
10. Soy Protein Products, Characteristics, Nutritional Aspects, and Utilization. -Champaign, Illinois: AOCS Press and the Soy Protein Council. Joseph G. Endres (Ed.). 2001. - 53 p.

#### Reference

1. Petibskaya, V.S. Soya: himicheskij sostav i ispol'zovanie [Tekst] (Soya: Chemical Composition and Use [Text]), pod redakciej akademika RASKHN, d-ra s.-h. nauk V.M. Lukomca, Majkop, ОАО «Poligraf-YUG», 2012, 432 p.
2. Baranov, V.F., Lukomec, V.M. Soya. Biologiya i tekhnologiya vozdeleyvaniya [Tekst] (Soya. Biology and Technology of Cultivation [Text]), Krasnodar, VNIIMK, 2005, 350 p.
3. Vashchenko, A.P. Soya na Dal'nem Vostoke [Tekst] (Soya in the Far East [Text]), A.P. Vashchenko [i dr.], Vladivostok, Dal'nauka, 2010, 434 p.
4. Koshkin, E.I. Fiziologiya ustojchivosti sel'skohozyajstvennyh kul'tur [Tekst]: ucheb.posobie (Physiology of Crops Resistance [Text]: Text-Book), Moskva: Drofa, 2010, 638 p.
5. Reutova, N.V. Mutagennyj potencial ryada tyazhelyh metallov. [Tekst] (Mutagenic Potential of Some Heavy Metals [Text]), Ehkologicheskaya genetika, 2015, Tom 13, No 3, PP. 70-75.
6. Artamonov, V.I. Biotekhnologiya agropromyshlennomu kompleksu [Tekst] (Biotechnology for Agriculture [Text]), Moskva, Nauka, 1989, 160 p.
7. Efremova, O.S., Fisenko, P.V. Vliyanie ionnogo stressa na uroven' geneticheskoy izmenchivosti regenerantov soi [Tekst] (Influence of Ion Stress upon the Level of Genetic Variability of Soya Regenerants [Text]), Dal'nevostochnyj agrarnyj vestnik, 2016, No 4, PP. 30-37.
8. Voronina, L.P., Morachevskaya, E.V., Pavlov, K.V. Vliyanie Zn i Cd na postuplenie pitatel'nyh ehlementov v yachmen' (Influence of Zn and Cd upon the Supply of Nutrients into Barley), Ehkologicheskaya agrohimiya, pod red. V.G. Mineeva, Moskva: MGU, 2008, PP. 83-91.
9. Dospikhov, B.A. Metodika polevogo opyta [Tekst] (Methods of Field Experiment), Moskva, Agropromizdat, 1985, PP. 141-144.
10. Soy Protein Products, Characteristics, Nutritional Aspects, and Utilization. -Champaign, Illinois: AOCS Press and the Soy Protein Council. Joseph G. Endres (Ed.). 2001, 53 p.

УДК 633.15:631.526.32:631.524.86  
ГРНТИ 68.35.29

DOI: 10.24411/1999-6837-2018-13056

**Ластушкина Е.Н.**, науч. сотр.,  
Дальневосточный научно-исследовательский институт защиты растений,  
с. Камень-Рыболов, Приморский край, Россия;  
E-mail: biometod@rambler.ru;  
**Красковская Н.А.**, канд.с.-х. наук,  
Приморский научно-исследовательский институт сельского хозяйства,  
п. Тимирязевский, г. Уссурийск, Приморский край, Россия  
E-mail: fe.smc\_rf@mail.ru

## УСТОЙЧИВОСТЬ ОБРАЗЦОВ КУКУРУЗЫ К ВОСТОЧНОМУ КУКУРУЗНОМУ МОТЫЛЬКУ *OSTRINIA FURNACALIS GUENEE*

© Ластушкина Е.Н., Красковская Н.А., 2018

*Восточный кукурузный мотылек (Ostrinia furnacalis Gn.) - основной вредитель кукурузы в Приморском крае. Недобор зерна от повреждений этим вредителем составляет 18-20 %, а в отдельные годы до 37,7 % и более. Потери урожая в резуль-*