



УДК 631.527: 633.34 581.143.6

**О.А. РОЖАНСКАЯ**, доктор биологических наук, заведующая лабораторией,  
**Т.Г. ЛОМОВА**, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующая лабораторией,  
**Т.В. ШИЛОВА**, старший научный сотрудник,  
**Е.М. ГОРШКОВА**, старший научный сотрудник

Сибирский научно-исследовательский институт кормов  
630501, Новосибирская область, пос. Краснообск  
e-mail: olgarozhanska@yandex.ru

### НОВЫЕ СОМАКЛОНАЛЬНЫЕ ЛИНИИ СОИ ДЛЯ СЕЛЕКЦИИ В СИБИРИ

Представлены результаты полевых испытаний новых соматоклональных линий сои, полученных в культуре тканей *in vitro*, и биохимических анализов семян. Полевые питомники заложены 27 мая 2014 г. по пару на опытном поле (Новосибирская область) согласно методике Всероссийского института растениеводства им. Н.И. Вавилова. Применяемые методы соматоклональной изменчивости и рекуррентной регенерации позволяют увеличить базу отбора посредством спонтанного мутагенеза *in vitro* и повысить уровень онтогенетической адаптации растений-регенерантов. Проведены оценка хозяйственных и биохимических признаков и отбор перспективных генотипов для использования в селекции новых сортов. Однократный индивидуальный отбор на семенную продуктивность во втором поколении соматоклонов позволил выделить пять линий с комплексом ценных признаков, перспективных для дальнейшего селекционного изучения. Выделенные линии R 113, R 119, R 122, R 123, R 124 сочетают повышенную урожайность семян (291–336 г/м<sup>2</sup>) со скороспелостью (вегетационный период 92–96 дней) и высоким прикреплением нижнего боба (14,2–17,7 см). Четыре из них отличаются улучшенным биохимическим составом зерна по сравнению с исходным сортом СибНИИК 315: R 119 и R 122 имеют повышенное содержание протеина (44,7 и 44,9 % соответственно); R 113 и R 124 богаты безазотистыми экстрактивными веществами (26,2 и 29,0 % соответственно). Корреляционный анализ показал наличие тесных прямых связей между длиной вегетационного периода, содержанием жира в семенах, высотой растений и высотой прикрепления нижнего боба. Доказаны сильные обратные корреляции между белковостью семян и масличностью, содержанием безазотистых экстрактивных веществ, длиной вегетационного периода, высотой растений, а также между масличностью и содержанием минеральных веществ. Элементы семенной продуктивности, тесно связанные между собой, не коррелируют с биохимическими признаками, высотой растений и длиной вегетационного периода.

**Ключевые слова:** соя, биотехнология, культура тканей, соматоклональная изменчивость, селекция, биохимический состав.

Соя считается основной зернобобовой культурой в мировом земледелии, превосходя другие культуры по совокупному содержанию белка и жира в семенах. В России ее возделывают преимущественно на полях Приморья, Приамурья, Поволжья и Кубани. Первый сибирский сорт СибНИИК 315 включен в Государственный реестр РФ в 1991 г. и в настоящее время допущен к использованию в пяти регионах России и Казахстана. Этот сорт сочетает скороспелость с высокой семенной продуктивностью. Сибирские сорта Омская 4, Алтом, СибНИИСХоз 6, Дина, Эльдorado, Золотистая, Надежда, Сибирячка, допущенные к возделыва-

нию в 1993–2013 гг. в Западной Сибири и в других регионах страны, достаточно засухоустойчивы, не полегают, имеют урожайность 1,5–2,5 т/га [1–3]. Перед селекционерами стоят задачи повышения устойчивости к гидротермическим стрессорам и болезням, улучшения технологичности и качественного состава зерна [4–6].

В мировой селекции XXI в. приоритетными считаются методы генной инженерии, однако широкое использование ГМО во многих случаях приводит к серьезным нарушениям здоровья животных и людей, ухудшению качества пищи, вредным изменениям почвенных и водных экосистем, экономическим проблемам [7–9]. На наш взгляд, остаются недооцененными другие эффективные биологические технологии получения исходного материала для селекции. Методы соматической изменчивости и рекуррентной регенерации позволяют увеличить базу отбора посредством спонтанного мутагенеза *in vitro* и повысить уровень онтогенетической адаптации растений-регенерантов [2, 10]. Нами доказаны наследуемые изменения качественных признаков и значительное увеличение дисперсии по количественным признакам в популяциях соматических клонов сои по сравнению с исходными сортами и экспериментальными формами, полученными под действием мутагенов. Коллекции соматических клонов и мутантов, проходящие селекционное изучение в различных областях Сибири и Казахстана, продемонстрировали более высокую, чем исходный сорт, частоту встречаемости форм с повышенной онтогенетической адаптацией к новым эколого-географическим условиям [11–13].

Цель работы – оценка хозяйственных и биохимических признаков соматических клонов сои и отбор перспективных генотипов для использования в селекции новых сортов.

#### МАТЕРИАЛЫ, МЕТОДЫ И УСЛОВИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для создания нового селекционного материала применяется индивидуальный отбор из линий, полученных с использованием методов рекуррентной регенерации и соматической изменчивости [14]. Изученные линии сои представляют собой потомства элитных растений, отобранных в 2013 г. во втором поколении растений-регенерантов ( $R_2$ ). Исходный сорт – СибНИИК 315 (стандарт).

Определение содержания азота и сырого протеина проведено по ГОСТ 13496.4–93, сырого жира – ГОСТ 32905–2014, сырой клетчатки – ГОСТ 52839–2007, сырой золы – ГОСТ 32933–2014. Содержание безазотистых экстрактивных веществ (БЭВ) вычисляли как разность между массой соевой муки и суммой массовых долей протеина, жира, клетчатки и золы.

Полевые питомники заложены 27 мая 2014 г. по пару на опытном поле Сибирского научно-исследовательского института кормов (Новосибирская область) согласно методике ВИР [15]. Посев проводили вручную, глубина заделки 5 см, площадь питания растений 51 60 см, площадь делянки 1,2 м<sup>2</sup>. Объем выборки для структурного анализа составлял 20 растений. Для статистической обработки данных использовали пакет программ Snedecor [16].

Почва опытного участка – чернозем выщелоченный среднесуглинистый, рН почвенного раствора 6,6. Климат континентальный, умеренно прохладный, умеренно засушливый: среднегодовалый гидротермиче-

ский коэффициент (ГТК) по Селянинову не превышает в мае и июне 0,9, достигает 1,3 в конце июля, 1,7 – в начале августа. В 2014 г. условия для сои были достаточно благоприятными: за холодной погодой начала сезона последовали жара и засуха в июне, дождливый июль, теплый и сухой август. Заморозок 3 сентября повредил зеленые листья у линий сои с продолжительностью вегетационного периода более 100 сут от посева до созревания.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Отбор элитных материнских растений сои проводили по признаку высокой семенной продуктивности (табл. 1). Линейные потомства  $R_3$  различались по длине вегетационного периода, при этом более одной трети линий созрели позднее исходного сорта СибНИИК 315 на 3–11 дней, остальные варьировали в пределах  $\pm 1$  день к стандарту. По урожайности семян пять линий превысили уровень стандарта на 11–28 %, причем четыре из них сочетали повышенную урожайность со скороспелостью (R 113, R 119, R 123, R 124), а линия R 122 созрела всего на 3 дня позже исходного сорта. Средняя воздушно-сухая масса растений колебалась в пределах 76–119 % от уровня стандарта. По высоте растений все линии превышали исходный сорт на 7–58 %, по высоте прикрепления нижнего боба – на 12–45 %. Средняя масса семян с растения варьировала в пределах 76–129 %, при этом по массе 1000 семян почти все линии уступали исходному сорту.

Судя по величине стандартной ошибки, внутрилинейная вариабельность не превосходила уровень исходного сорта, что свидетельствует об отсутствии расщепления внутри соматоклональных линий по изученным признакам.

Анализ химического состава семян сои показал, что по содержанию протеина соматоклональные линии R 119 и R 122 превысили уровень исходного сорта (стандарта) на 1,9 и 2,1 % соответственно, остальные линии уступали стандарту на 0,2–5,1 % (табл. 2). По содержанию жира в семенах линия R 118 превзошла стандарт на 0,9 %, остальные уступали 0,2–2,0 %. Содержание клетчатки и минеральных веществ варьировало сильнее, чем другие признаки, о чем свидетельствуют межлинейные коэффициенты вариации.

По содержанию безазотистых экстрактивных веществ (БЭВ) соматоклоны превзошли исходный сорт на 1,1–5,9 %, кроме линии R 122. Показатели количества кормовых единиц и обменной энергии колебались незначительно, наибольшей энергетической ценностью зерна обладала линия R 118, наименьшей – R 124.

Вычисление парных корреляций по Пирсону между изученными признаками позволило выявить две изолированные корреляционные плеяды, представленные на рисунке. Первая плеяда объединяет прямыми и обратными связями биохимические признаки с длиной вегетационного периода и высотой растений. Так, скороспелость сои способствует увеличению белковости и снижению масличности семян и высоты растений. Чем выше растения, тем выше прикрепление нижнего боба, ниже содержание протеина в семенах, выше масличность, ниже содержание минеральных веществ. Довольно тесными обратными корреляциями связаны белковость семян с масличностью и содержанием БЭВ, масличность –

## Хозяйственные и морфометрические признаки соматклонов сои

Поколение	R <sub>2</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>3</sub>
Линия	Число семян материнского растения	Масса семян материнского растения, г	Вегетационный период, сут	Урожайность семян, г/м <sup>2</sup>	Сухая масса растения, г	Высота растения, см	Высота прикрепления нижнего боба, см	Масса семян одного растения, г	Масса 1000 семян, г
СибНИИК 315 (стандарт)	–	–	93	261	23,4 ± 2,77	65,0 ± 1,11	12,7 ± 0,76	9,2 ± 1,39	148 ± 7,2
R 111	263	35,0	104	205	23,5 ± 2,37	82,1 ± 0,94*	17,6 ± 1,34*	8,2 ± 1,08	127 ± 4,7*
R 112	182	28,5	94	198	17,7 ± 1,78*	73,5 ± 0,71*	17,6 ± 0,57*	7,0 ± 0,87*	119 ± 1,4*
R 113	228	37,3	92	336	24,2 ± 2,33	73,3 ± 1,02*	14,2 ± 0,68*	10,9 ± 1,20*	143 ± 4,8
R 115	180	27,3	101	260	27,0 ± 2,56*	97,8 ± 1,82*	18,4 ± 0,68*	10,4 ± 1,10	152 ± 2,2
R 116	213	30,5	93	242	20,0 ± 1,52	69,3 ± 0,93*	14,9 ± 0,42*	8,3 ± 0,79	140 ± 2,37*
R 117	220	34,0	92	234	18,5 ± 1,89*	72,7 ± 0,86*	18,4 ± 0,82*	7,8 ± 0,88*	133 ± 3,1*
R 118	204	33,0	101	276	23,4 ± 1,83	102,4 ± 2,70*	17,8 ± 0,61*	9,2 ± 0,74	143 ± 3,5
R 119	186	31,2	92	291	27,9 ± 2,91*	80,4 ± 1,05*	17,7 ± 0,53*	11,9 ± 1,43*	143 ± 3,6
R 122	199	35,0	96	306	23,9 ± 3,11	74,4 ± 0,99*	16,7 ± 0,78*	10,2 ± 1,44	146 ± 4,1
R 123	244	44,0	92	300	22,9 ± 2,58	70,8 ± 1,08*	16,5 ± 0,80*	10,0 ± 1,28	136 ± 4,3*
R 124	274	51,0	94	330	26,4 ± 2,34	77,1 ± 1,05*	17,7 ± 1,02*	11,3 ± 1,04*	139 ± 3,8*

\*Разница со стандартом достоверна на 95%-м уровне.

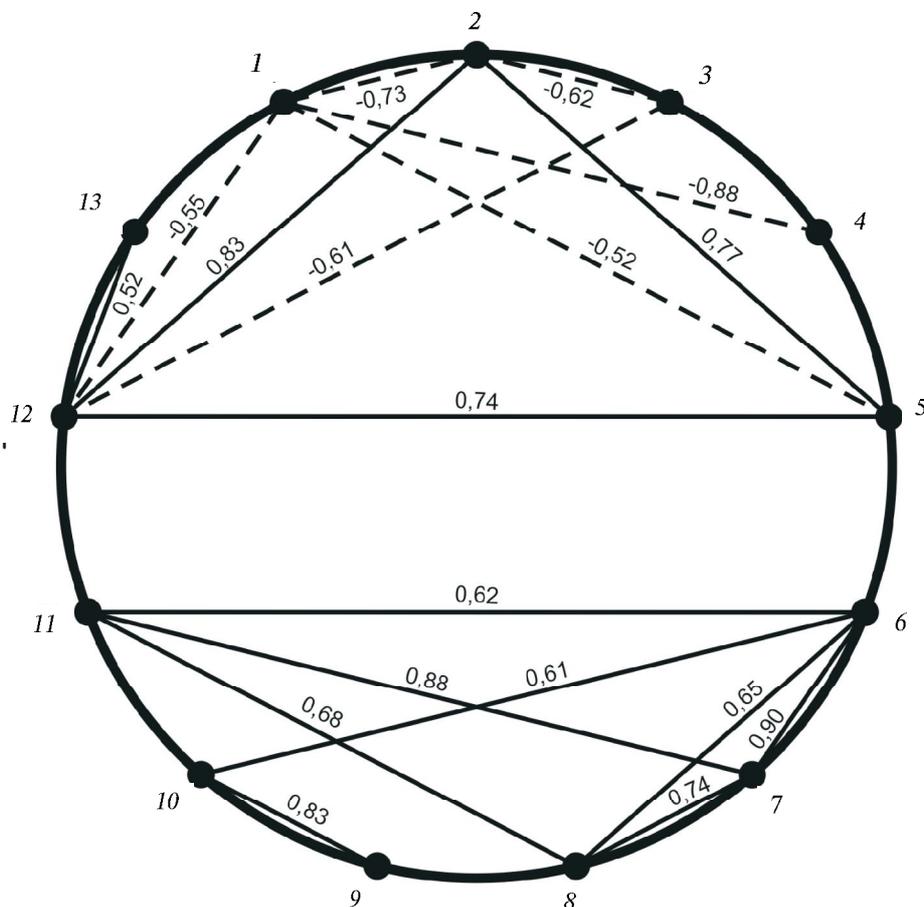
с содержанием золы. Корреляционный анализ не выявил достоверных связей содержания клетчатки и питательности зерна с прочими изученными признаками.

Вторая плеяда тесными прямыми связями объединила между собой элементы семенной продуктивности и массу растений сои ( $r = 0,62-0,90$ ). Урожайность семян в поколении  $R_3$  прямо коррелировала с массой семян материнских растений  $R_2$  ( $r = 0,62$ ), что свидетельствует об успешном отборе на продуктивность. Связи показателей семенной продуктивности с высотой растений и длиной вегетационного периода были недостоверными ( $r = 0,41...-0,36$ ) так же, как и с биохимическими признаками ( $r = 0,16...-0,35$ ).

Согласно нашим ранее опубликованным данным [2], если у сорта СибНИИК 315 обратная связь между содержанием белка и жира в семенах является довольно слабой независимо от условий года ( $r = -0,35...-0,41$ ), то у соматоклональных линий она стабильно сильна ( $r = -0,73...-0,79$ ). Этот вывод подтвердился при изучении новой серии линий. Мы полагаем, что изменение корреляций у соматоклонов по сравнению с исходным сортом свидетельствует о генетических различиях.

Таблица 2

Линия	Химический состав и питательность зерна соматоклонов сои						В 1 кг	
	Содержание в абсолютно сухом веществе, %						к. ед.	ОЭ, МДж
	протеина	жира	клетчатки	золы	БЭВ			
СибНИИК 315 (стандарт)	42,8	18,3	10,6	5,3	23,1	1,36	14,3	
R III	39,9	18,1	11,1	4,8	26,2	1,33	14,3	
R II2	40,8	17,4	12,1	5,4	26,5	1,32	14,3	
R III3	41,1	17,3	10,0	5,3	26,2	1,32	14,1	
R II5	38,3	18,0	11,0	4,2	28,6	1,35	14,2	
R II6	42,6	16,3	9,9	5,6	25,8	1,33	14,0	
R II7	42,7	17,1	9,2	5,0	26,5	1,36	14,2	
R II8	38,8	19,2	11,1	4,4	26,5	1,37	14,4	
R II9	44,7	16,5	9,2	5,4	24,2	1,34	14,1	
R II22	44,9	16,7	10,8	5,7	22,0	1,33	14,2	
R II23	41,9	16,9	12,1	4,3	24,9	1,34	14,2	
R II24	37,7	17,3	10,4	5,6	29,0	1,33	13,9	
Среднее...	41,35 ± 0,68	17,4 ± 0,24	10,6 ± 0,28	5,1 ± 0,16	25,8 ± 0,58	1,34 ± 0,01	14,2 ± 0,04	
С <sub>р</sub> У	5,7	4,8	9,0	10,5	7,8	1,2	1,0	



Парные корреляции по Пирсону биохимических, морфометрических и хозяйственных признаков сои.

Сплошными линиями обозначены прямые связи, штриховыми – обратные.

Пороги достоверности: на 10%-м уровне  $r = 0,52$ ; на 5%-м  $r = 0,60$ .

Признаки: 1 – содержание протеина; 2 – жира; 3 – золы; 4 – БЭВ; 5 – вегетационный период; 6 – урожайность семян; 7 – масса семян на растении; 8 – масса 1000 семян; 9 – число семян на материнском растении  $R_2$ ; 10 – масса семян на материнском растении  $R_2$ ; 11 – масса растения; 12 – высота растения; 13 – высота прикрепления нижнего боба

### ВЫВОДЫ

1. Однократный индивидуальный отбор на семенную продуктивность во втором поколении соматклонов сои позволил выделить пять линий с комплексом ценных признаков, перспективных для дальнейшего селекционного изучения.

2. Выделенные соматклональные линии R 113, R 119, R 122, R 123, R 124 сочетают повышенную урожайность семян (291–336 г/м<sup>2</sup>) со скороспело-

стью (вегетационный период 92–96 дней) и высоким прикреплением нижнего боба (14,2–17,7 см).

3. Четыре соматоклональные линии отличаются улучшенным биохимическим составом зерна по сравнению с исходным сортом СибНИИК 315: R 119 и R 122 имеют повышенное содержание протеина (44,7 и 44,9 % соответственно), R 113 и R 124 богаты безазотистыми экстрактивными веществами (26,2 и 29,0 % соответственно).

4. Корреляционный анализ изученных признаков соматоклонов сои показал наличие тесных прямых связей между длиной вегетационного периода, содержанием жира в семенах, высотой растений и высотой прикрепления нижнего боба. Доказаны сильные обратные корреляции между белковостью семян и масличностью, содержанием БЭВ, длиной вегетационного периода, высотой растений, а также между масличностью и содержанием минеральных веществ. Установлено, что элементы семенной продуктивности соматоклонов имеют тесные прямые связи между собой и не коррелируют с биохимическими признаками, высотой растений и длиной вегетационного периода.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Омелянюк Л.В., Асанов А.М. Продуктивность образцов зернобобовых культур, созданных в ГНУ СибНИИСХ, в зависимости от погодных условий вегетационного периода // Достижения науки и техники АПК. – 2013. – № 5. – С. 17–20.
2. Рожанская О.А. Соя и нут в Сибири: культура тканей, соматоклоны, мутанты. – Новосибирск: Юпитер, 2005. – 155 с.
3. Омелянюк Л.В. Селекция гороха и сои для условий Западной Сибири: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. – Тюмень, 2015. – 34 с.
4. Рожанская О.А., Потапов Д.А., Чураков А.А., Халипский А.Н. Особенности селекции сои в Сибири // Международный научно-исследовательский журнал. – 2015. – № 10 (41), ч. 3. – С. 62–65. – DOI 10.18454/IRJ.2015.41.113
5. Казанцева Е.В., Ашмарина Л.Ф. Распространенность болезней сои в северной лесостепи Приобья // Вестн. Новосибирского ГАУ. – 2014. – № 3 (32). – С. 27–31.
6. Рожанская О.А., Ашмарина Л.Ф., Потапов Д.А., Коняева Н.М. Сибирские сорта сои, устойчивые к гидротермическим стрессорам и поражению фитопатогенными грибами // Успехи современной науки. – 2015. – № 5. – С. 26–30.
7. Кузнецов В.В., Куликов А.М., Цыдендамбаев В.Д. Генетически модифицированные сельскохозяйственные культуры и полученные из них продукты: пищевые, экологические и агротехнические риски // Известия аграрной науки. – 2010. – Т. 8, № 3. – С. 10–31.
8. Ермакова И.В. ГМО по определению не могут быть безопасными. Три сценария развития событий. – [Электронный ресурс]: <http://www.irinaermakova.ru/index.php/moi-publikatsii/560-415.html>
9. Энгдаль У.Ф. Семена разрушения. – М.: Селад, 2015. – 334 с.
10. Рожанская О.А., Полюдина Р.И. Особенности селекции сои с использованием методов соматоклональной изменчивости и мутагенеза в условиях Западной Сибири // Сиб. вестн. с.-х. науки. – 2012. – № 4. – С. 69–76.
11. Рожанская О.А., Дидоренко С.В. Селекционное изучение сибирских соматоклонов сои и нута в Казахстане // Развитие АПК азиатских территорий: материалы XI Междунар. конф. (Новосибирск, 25–27 июня 2008 г.) – Кемерово: Кузбассвузиздат, 2008. – С. 195–200.
12. Чураков А.А., Халипский А.Н. Оценка соматоклональных популяций сои и нута по качеству и продуктивности // Вестн. Красноярского ГАУ. – 2015. – № 11. – С. 183–190.
13. Didorenko S.V., Abugaliyeva A.I., Rozhanskaya O.A., Spryagaylova Y.N. NDVI characteristics, productivity and drought tolerance of precocious somaclonal soybean lines in contrasting areas of Kazakhstan // International Plant Breeding Congress (Turkey, 1–5 November 2015). – Antalya, 2015. – P. 213.

14. **Рожанская О.А.** Создание исходного материала для селекции кормовых культур в условиях Сибири с помощью методов биотехнологии: автореф. дис ... д-ра биол. наук. – СПб., 2007. – 35 с.
15. **Методические** указания по изучению коллекции зерновых бобовых культур. – Л.: ВИР, 1975. – С. 3–39.
16. **Сорокин О.Д.** Прикладная статистика на компьютере. – Краснообск: РПО СО РАСХН, 2004. – 162 с.

*Поступила в редакцию 15.04.2016*

**O.A. ROZHANSKAYA, Doctor of Science in Biology, Laboratory Head,  
T.G. LOMOVA, Candidate of Science in Agriculture, Laboratory Head,  
T.V. SHILOVA, Senior Researcher,  
E.M. GORSHKOVA, Senior Researcher**

*Siberian Research Institute of Fodder Crops*

Krasnoobsk, Novosibirsk District, Novosibirsk Region, 630501 Russia

e-mail: olgarozhanska@yandex.ru

### **NEW SOMACLONAL LINES OF SOYBEAN TO BE BRED IN SIBERIA**

Results are given from field tests of new somaclonal lines of soybean, derived from in vitro tissue culture, and biochemical analyses of seeds. The field nurseries were established on 27 May, 2014, in the experimental field (Novosibirsk Region) after fallow in accordance with the methods developed at the N.I. Vavilov Research Institute of Plant Industry. The principal methods employed by somaclonal variation and recurrent regeneration allow us to extend the selection through spontaneous in vitro mutagenesis, and to increase a level of ontogenetic adaptation of regenerated plants. The objective was to evaluate agronomic and biochemical traits and to select promising genotypes for the use in breeding new varieties. A single individual selection for seed productivity in the second generation of somaclonal lines has allowed selecting five lines with a complex of valuable traits that are promising for further breeding studies. The selected lines R 113, R 119, R 122, R 123, R 124 combine increased seed yield (291–336 g/m<sup>2</sup>) with earliness (growing period of 92–96 days) and high attachment of the lower bean of 14.2–17.7 cm. Four of them are distinguished by improved biochemical composition of grain as compared with the initial variety SibNIIK 315; R 119 and R 122 have higher protein contents of 44.7 and 44.9%, respectively; R 113 and R 124 are rich in nitrogen-free extractive substances, NFE (26.2 and 29.0%, respectively). Correlation analysis showed strong direct relationships between the growing period length, fat content in seeds, height of plants and height of attachment of the lower bean. There were proven strong inverse correlations between protein and oil contents in seeds, NFE content, length of growing period and height of plants as well as between oil content and mineral content. The elements of seed productivity are closely interrelated, and do not correlate with biochemical traits, height of plants and length of growing season.

**Keywords:** soybean, biotechnology, tissue culture, somaclonal variation, breeding, biochemical composition.