Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»
==========

УДК 633.37

Использование методов биометрии в исследовании чины посевной

Зайцев С.А., Кондаков К.С., Маслова Г.А., Бабушкин Д.Д., Лёвкина А.Ю.

Российский научно-исследовательский и проектно-технологический институт сорго и кукурузы «Россорго»

Аннотация

Чина посевная (Lathyrus sativus) широко возделывается в засушливых условиях южных стран на кормовые и пищевые цели, а также в качестве сидеральной культуры. Почвенно-климатические условия Нижневолжского региона являются достаточно благоприятными для возделывания чины посевной, что позволяет расширить посевные площади для выполнения задач продовольственной программы, увеличения производства белка в пищевых и кормовых целях. В статье приведены результаты использования биометрических методов при оценке генофонда чины посевной. Выявлены статистические показатели выборки, коэффициенты вариации признаков, отмечены существенные различия селекционного материала по изучаемым признакам. Определен выход валовой энергии с семенами: 16,66–33,51 ГДж/га.

Ключевые слова: ЧИНА, ЛИНИЯ, УРОЖАЙНОСТЬ, ВАРИАЦИЯ, ПРОТЕИН, СЕЛЕКЦИЯ

Введение

В агропромышленном секторе различных государств, на территориях которых сельское хозяйство вынуждено развиваться в аридных и семиаридных условиях, определенное распространение получила культура чины посевной (*Lathyrus sativus L.*), возделываемая как пищевое, кормовое и сидеральное растение [1, 2]. В зеленом растении, сене, семенах чины выявлено высокое количество протеина и клетчатки, что можно использовать в качестве источника дополнительного белка в рационе человека и животных [3]. Неприхотливость к почвенным условиям, толерантность к засолению почв, устойчивость к засухе, вредителям и болезням, совмещаемые с достаточно высокой

урожайностью семян и зеленой массы, обуславливают важное сельскохозяйственное значение чины и необходимость её внедрения в структуру посевных площадей. Спрос на мировом рынке на эту культуру и потенциал ее использования открывают широкие возможности для производства чин [4]. Однако, в Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию в РФ, включено ограниченное количество сортов [5]. В связи с этим являются актуальными исследования, связанные с селекцией новых сортов, выявлением возможностей наиболее полно использовать потенциал растений и условий выращивания. При этом, важное значение получают различные биометрические методы исследования, позволяющие отделить существенные значения параметров от несущественных, определить информативность данных, взаимосвязь, количественно охарактеризовать диагностическую ценность признака. [6-9].

Цель исследований: установить различие селекционного материала чины посевной по вегетативным признакам, элементам структуры урожая и биохимическому составу семян, выделить лучшие формы для использования в селекционном процессе.

Материал и методы

Полевые исследования проводились на опытном участке ФГБНУ РосНИИСК «Россорго» в 2015–2018 гг. Гидротермический коэффициент в период май – сентябрь составил: 2015 г. – 0,9; 2016 г.–0,48; 2017 г. – 1,05; 2018 г. – 0,69. В состав модельной популяции чины посевной включены 25 линий рабочей коллекции, различного эколого-географического происхождения: Рачейка, Мраморная, Жемчужина, Л№7, Л№12, Л№17, Л№21, Л№25, Л№30, Л№34, Л№240, Л№278, Л№292, Л№403, Л№703, Л№748, Л№780, Л№805, Л№809, Л№834, Л№850, Л№924, Л№1116, Л№1170, полученные путем отбора из генофонда ФИЦ ВИГГР им. Н.И. Вавилова (ВИР). Повторность опыта – трехкратная. Учетная площадь делянки 10 м^2. Агротехника в опыте – зональная, разработанная в ФГНУ РосНИИСК «Россорго». Изучение исходного материала чины, как и многих культур-самоопылителей, отбор лучших форм и испытание их в полевых условиях производятся по схеме, представленной в таблице 1.

Исследование основывалось на методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур [10]. В семенах и зеленой массе определяли содержание сырого протеина (ГОСТ 10846–91), сырого жира (ГОСТ 13496.15-97), сырой клетчатки

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»
==========

(ГОСТ 13496.2-91), сырой золы (ГОСТ 26226-95). Математическая обработка данных проводилась в соответствии с методическими указаниями [11, 12].

Таблица 1. Схема селекционной работы с чиной посевной

Основные этапы изучения и испытания селекционного материала	Параллельные испытания и размножение
Питомник исходного материала	
Селекционный питомник	
Контрольный питомник	
Предварительное сортоиспытание	Испытание на провокационном фоне; предварительное размножение лучших форм
	Испытание на различных агрофонах; предварительное размножение лучших сортов
Конкурсное сортоиспытание	Производственное испытание; испытание на различных агрофонах; предварительное размножение лучших сортов
Государственное сортоиспытание	Производственное сортоиспытание и размножение

Результаты

Анализ элементов структуры урожая модельной популяции чины позволил выявить статистические показатели выборки (табл. 2). Сильно варьирующие признаки (содержание жира в семенах, сбор жира, сбор клетчатки) составляют 14% в базе данных. Однако, выявленный высокий коэффициент вариации (26,6%) содержания жира в семенах ввиду низких абсолютных показателей (0,4–1,3%) не позволяет основательно акцентировать внимание на кластеризации сортообразцов по данному признаку. Отмечены следующие слабо варьирующие 8 признаков (V менее 10%): длина стебля, крупность семян, продуктивность растения, длина боба, содержание в семенах протеина, клетчатки, золы, безазотистых экстрактивных веществ (БЭВ).

По таким признакам как: высота прикрепления нижнего боба (13,6–20,2 см), ветвистость (5,9–10,3 шт.), ширина боба (9,3–15,8 мм) выборка характеризовалась коэффициентом вариации средней степени. Включенные в опыт сортообразцы чины посевной существенно различаются на 5%-ном уровне. Различие по фактору года (В) не установлено по ширине боба, однако взаимодействие АВ достоверно. Относительной высокорослостью характеризовался номер к-1170, а высоким прикреплением боба (более 18,0 см) отличились образцы: Рачейка, Мраморная,

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»
==========

Л№703, Л№957, Л№1170 (рис. 1).

Таблица 2. Характеристика изменчивости хозяйственно-ценных признаков модельной популяции чины посевной, среднее 2015–2018 гг.

Признак	Параметр*					Lim	
	x	s^2	s	V, %	sx	min	max
Длина стебля, см	59,6	29,8	5,5	6,7	0,8	50,1	78,8
Высота от почвы до нижнего боба, см	16,8	4,6	2,1	13,1	0,4	13,6	23,2
Ветвистость, шт.	7,7	1,7	1,3	17,4	0,3	5,9	10,3
Число бобов на растении, шт.	30,9	20,9	4,6	15,1	0,9	24,1	42,7
Число семян в бобе, шт.	1,5	0,02	0,2	10,0	0,03	1,3	1,8
Число семян на растении, шт.	48,8	54,4	7,4	15,4	1,5	33,8	61,0
Масса 1000 семян, г	218,0	395,6	19,9	9,3	4,1	176,8	266,7
Продуктивность растения, г	10,5	4,0	2,0	0,4	19,6	7,0	15,7
Урожайность семян, т/га	1,56	0,08	0,3	18,1	0,06	1,05	2,11
Длина боба, мм	37,2	5,7	2,4	4,0	0,31	34,8	40,8
Ширина боба, мм	13,0	2,5	1,6	12,4	0,3	9,3	15,8
Содержание в семенах, %							
Протеин	29,3	1,2	1,1	3,8	0,23	27,1	31,2
Жир	0,8	0,05	0,21	26,6	0,04	0,4	1,3
Клетчатка	6,2	0,32	0,57	9,4	0,12	4,9	7,2
Зола	3,5	0,01	0,12	3,5	0,02	3,3	3,8
БЭВ	60,5	3,2	1,8	2,1	0,25	58,0	62,5
Сбор с 1 гектара, кг							
Протеин	395,6	5289,7	72,7	18,8	14,8	249,0	521,7
Жир	10,5	8,0	2,8	27,5	0,58	4,6	16,0
Клетчатка	82,2	298,8	17,3	21,5	3,5	44,7	121,1
Зола	46,9	64,9	8,1	17,5	1,6	32,0	62,3
БЭВ	810,9	19948,1	141,2	17,8	28,8	562,9	1118,1

Примечание: * x - среднее значение, sx - ошибка средней, s2 - дисперсия, s - стандартное отклонение, V - коэффициент вариации, %, min - минимальное значение признака, max - максимальное значение признака.

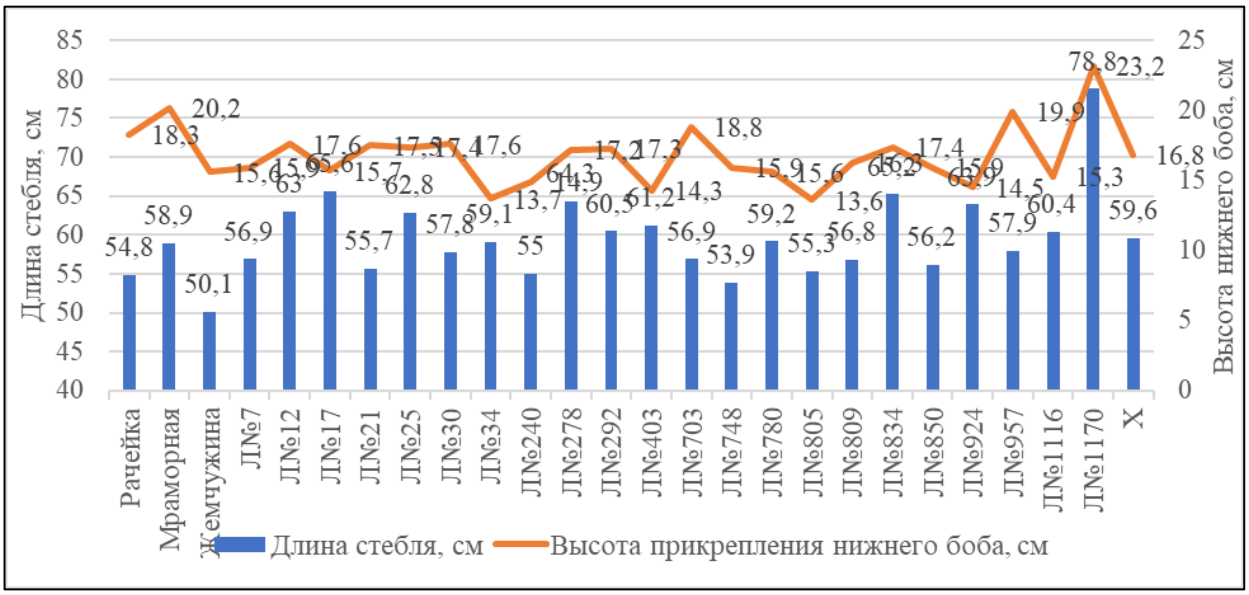

Рис. 1. Длина стебля и высота прикрепления нижнего боба у чины посевной, см.

Применение методов многомерной статистики помогает исследователям более объективно оценить исходный материал по комплексу показателей. С целью оптимизации интерпретации матрицы коэффициентов корреляции выполнен факторный анализ методом главных компонент (табл. 3). Трактовка результатов факторного анализа основывалась на следующих принципах: сильно взаимосвязанные показатели сгруппированы внутри одной группы; показатели, объединенные внутри одной группы, и показавшие слабую связь, а также входящие в другой фактор и несущественные корреляционные связи, не включались в анализ. В анализ включены гипотетические факторы с нагрузкой более 5%. Отбор признаков, определяющих каждый гипотетический фактор, проводили по абсолютной величине коэффициентов корреляции с фактором.

При расчете влияния признаков на компоненты установлено, что наибольший вклад (дисперсия - 39,28%) в первый гипотетический фактор вносят следующие параметры: высота прикрепления нижнего боба, содержание жира, БЭВ, золы. Во второй фактор (дисперсия - 12,88%) наибольшее участие привносят: число семян в бобе, масса 1000 семян, продуктивность растения, урожайность семян, содержание клетчатки, золы, БЭВ, сбор с гектара клетчатки, золы, БЭВ. Эффект таких признаков как: длина стебля, длина стебля от почвы до места прикрепления первого боба, число семян в бобе, число семян с одного растения, содержание протеина, золы, сбор протеина, золы в наибольшей степени определяют дисперсию третьего фактора. Четвертый гипотетический фактор формируется

вкладом длины стебля, высоты прикрепления нижнего боба, ветвистостью растения, числом семян в бобе, длиной боба, содержанием в семенах клетчатки, БЭВ, сбором с гектара клетчатки. Эффекты длины стебля, высота от почвы до нижнего боба, числа бобов на растении, массы 1000 семян, содержания жира, клетчатки, формируют дисперсию пятого фактора. Шестой гипотетический фактор складывается из суммарных эффектов изучаемых признаков: длина стебля, высота прикрепления нижнего боба, число бобов на растении, число семян на растении, содержание БЭВ. Последующие рассчитанные факторы добавляют в накапливаемую дисперсию менее 5% и поэтому исключены из обсуждения их эффектов.

Таблица 3. Факторные нагрузки переменных на главные компоненты модельной популяции чины посевной

Признак	Гипотетический фактор					
	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6
Длина стебля, см	-0,35	-0,34	0,45	0,41	0,21	0,33
Высота от почвы до нижнего боба, см	0,30	-0,28	0,15	0,76	0,25	0,03
Ветвистость, шт.	-0,20	-0,24	-0,43	0,44	-0,35	-0,54
Число бобов на растении, шт.	-0,81	-0,21	-0,02	-0,01	0,16	0,30
Число семян в бобе, шт.	-0,18	0,38	0,45	0,11	-0,61	-0,18
Число семян на растении, шт.	-0,90	0,01	0,20	0,00	-0,19	0,21
Масса 1000 семян	-0,56	0,13	-0,42	-0,12	0,38	-0,33
Продуктивность растения, г	-0,99	0,09	-0,06	-0,06	0,04	0,01
Урожайность семян, т/га	-0,99	0,09	0,01	-0,04	0,00	-0,02
Длина боба, мм	-0,07	-0,71	-0,11	0,29	-0,42	0,12
Ширина боба, мм	-0,25	-0,55	-0,56	-0,17	-0,15	-0,08
Содержание, %						
протеин	-0,18	-0,30	0,76	0,00	-0,03	-0,15
жир	0,26	-0,79	-0,01	-0,33	0,16	-0,05
клетчатка	-0,19	0,07	-0,29	0,63	0,23	-0,09
зола	0,35	0,10	0,32	0,01	0,48	-0,37
БЭВ	0,28	0,29	-0,66	0,09	0,01	0,46
Сбор с гектара, кг						
протеин	-0,98	0,02	0,14	-0,03	-0,02	-0,05
жир	-0,42	-0,75	0,02	-0,28	0,10	-0,06
клетчатка	-0,92	0,10	-0,12	0,24	0,11	-0,06
зола	-0,96	0,13	0,08	-0,05	0,10	-0,08
БЭВ	-0,98	0,14	-0,09	-0,04	-0,01	0,03
Дисперсия	8,25	2,70	2,43	1,75	1,35	1,09
Дисперсия, %	39,28	12,88	11,56	8,33	6,43	5,21
Накопление дисперсии, %	39,28	52,15	63,72	72,05	78,474	83,680

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»
==========

Процессы научных исследований основываются на классификации изучаемых объектов. При изучении вопроса классификации селекционного материала особый интерес представляет использование кластерного анализа. В отличие от других способов анализа данных, данный метод позволяет произвести группирование объектов не по одному параметру, а сразу по комплексу признаков, то есть собрать полную информацию о выборке и упорядочить объекты в сравнительно однородные группы. При просмотре значений коэффициента слияния по минимуму евклидовых расстояний 25 образцов модельной популяции чины посевной выделен значимый скачок, что приводит к выводу о допустимости сгруппировать образцы в 8 кластеров на 17-м шаге итерации (евклидово расстояние – 26,42) (рис. 2). Для образцов, составляющих кластеры, характерен схожий набор признаков внутри кластеров (табл. 4). В результате такого подхода к экспериментальному материалу определено среднее значение признаков по кластерам и выявлены параметры, по которым кластеры различаются. Кластеры представлены следующими формами: 1-й: Л№12, Л№30, Л№7, Л№25, Жемчужина, Л№924, Рачейка, Л№703, Л№809; 2-й: Л№240, Л№927, Л№748; 3-й: Мраморная; 4-й: Л№21; 5-й: Л№834, Л№850, Л№17, Л№248, Л№403, Л№292, Л№1116; 6-й: Л№34, Л№780; 7-й: Л№1170; 8-й: Л№805.

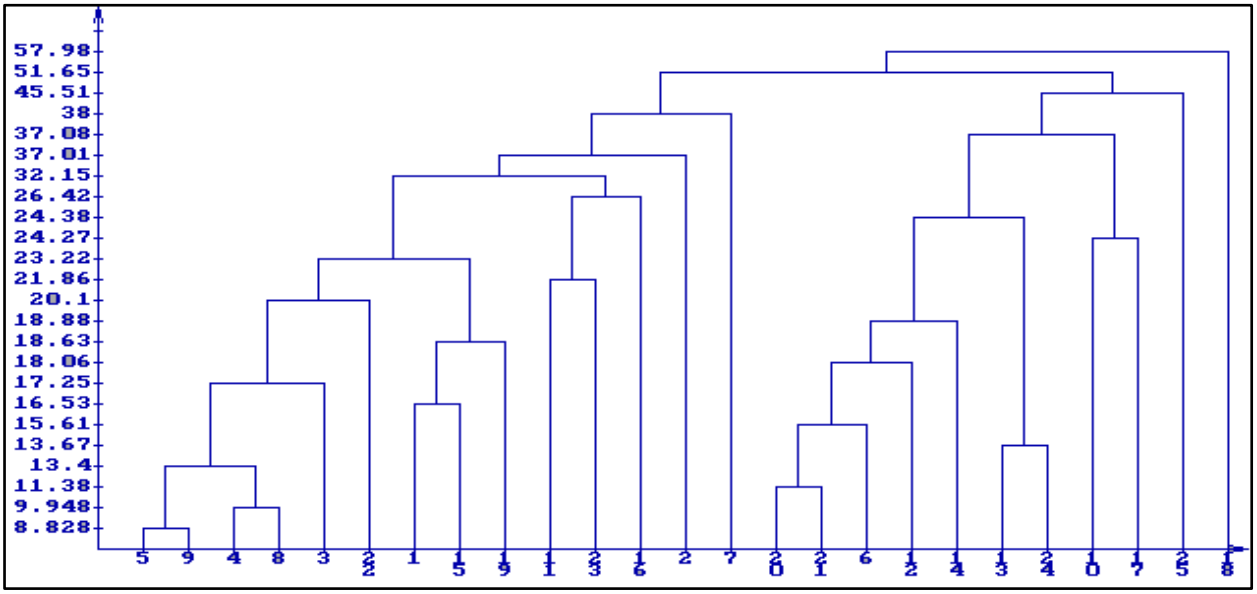

Рис. 2. Дендрограмма сходства-различий образцов чины посевной по комплексу признаков, 2015–2018 гг.

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»
==========

Первый кластер включает 9 образцов и характеризуется существенными отличиями по высоте прикрепления нижнего боба – от кластеров 3, 7, 8; по числу семян на растении от кластеров 4, 5, 6, 7; по продуктивности растения и урожайности семян, сбору протеина – от кластеров 4, 5, 6, 7, 8; по содержанию БЭВ – от кластеров 4, 5, 6, 8. Образцы второго кластера занимают промежуточное положение между кластерами 1 и 3 по продуктивности растения, содержанию и сбору БЭВ. Седьмой кластер представлен наиболее длинностебельной формой с высоким прикреплением нижнего боба.

Не выявлено различий между кластерами по ветвистости растения, числу семян в бобе, массе 1000 семян, содержанию протеина, клетчатки, золы.

Таблица 4. Средние значения хозяйственно-ценных признаков по кластерам, 2015–2018 гг.

Кластер	Признак*								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	52,4	15,4	26,3	41,1	9,3	2,18	363,4	59,7	730,2
2	55,6	16,9	26,3	42,3	8,5	1,30	313,8	61,7	682,3
3	58,9	20,2	28,0	39,4	8,4	1,26	312,8	67,2	719,4
4	55,7	17,5	25,1	33,8	7,0	1,05	249,0	62,5	562,9
5	61,9	16,2	33,6	56,6	11,9	1,80	456,3	60,2	923,9
6	59,2	14,7	41,3	58,5	14,6	2,10	513,8	60,2	1069,4
7	78,8	23,2	35,2	52,1	11,1	1,66	43,9	58,6	834,9
8	55,3	13,6	27,9	48,9	12,0	1,79	456,0	60,8	930,8
F	5,25*	4,61*	12,65*	18,02*	15,45*	16,83*	18,69*	8,6*	12,23*
$НСР_{0.05}$	6,72	2,76	4,02	5,57	1,62	0,22	54,0	1,85	125,9

Примечание: *1. Длина стебля, см. 2. Высота от почвы до нижнего боба, см. 3. Число бобов на растении, шт. 4. Число семян на растении, шт. 5. Продуктивность растения, г. 6. Урожайность семян, т/га. 7. Сбор протеина с 1 гектара, кг. 8. Содержание БЭВ, %. 9. Сбор БЭВ с 1 гектара, кг.

Дисперсионный анализ двухфакторного опыта позволяет определить силу влияния регулируемых и нерегулируемых факторов на результативный признак. Сила влияния фактора определяется как доля факториальной вариации в общем варьировании. Вклад факторов в общую изменчивость в опыте варьирует в зависимости от признака (табл. 5). Более 50% доля влияния фактора «А» выявлена у следующих признаков: длина стебля, число семян в бобе, число семян на растении, продуктивность растения, урожайность семян, сбор протеина (табл. 4). Вклад в общую изменчивость фактора года по всем признакам не превышает 7,5%. Доля влияния взаимодействия генотип – среда более 50% выявлена по признакам: высота прикрепления нижнего боба, ветвистость, длина и ширина боба, содержание жира и клетчатки, сбор с 1 га жира

и клетчатки, а менее 30% по 4 признакам.

Таблица 5. Вклад факторов в общую изменчивость изучаемых признаков чины посевной (%), 2015–2018 гг.

Признак	Фактор			
	А	В	АВ	Неучтенные (случайные)
Длина стебля, см	71,8	1,2	24,9	2,1
Высота от почвы до нижнего боба, см, см	37,8	0,6	55,0	6,6
Ветвистость, шт.	21,4	3,2	58,3	17,1
Число бобов на растении, шт.	41,3	7,5	49,6	1,6
Число семян в бобе, шт.	62,3	0,4	25,3	12,0
Число семян на растении, шт.	64,5	0,6	34,4	0,5
Масса1000 семян, г	25,7	5,2	37,5	31,6
Продуктивность растения, г	55,4	1,0	41,2	2,4
Урожайность семян, т/га	54,3	0,6	36,0	9,1
Длина боба, мм	20,3	1,0	72,6	6,1
Ширина боба, мм	19,5	0,1	62,1	18,3
Содержание протеина, %	25,4	2,1	33,0	39,5
Содержание жира, %	28,1	0,6	64,6	6,7
Содержание клетчатки, %	24,0	4,3	61,8	9,9
Содержание золы, %	23,5	1,2	37,4	37,9
Содержание БЭВ, %	27,1	2,5	36,6	33,8
Сбор протеина, кг/га	57,2	0,8	41,5	0,5
Сбор жира, кг/га	27,9	1,8	69,7	0,6
Сбор клетчатки, кг/га	43,0	1,7	54,8	0,5
Сбор золы, кг/га	37,7	0,6	26,3	35,4
Сбор БЭВ, кг/га	28,3	1,8	29,0	40,9

Выход валовой энергии с урожаем семян у чины варьирует в интервале 16,66–33,51 ГДж/га (рис. 3). Причем наибольшую долю в энергетической ценности обеспечивает содержание безазотистых экстрактивных веществ 9,55–18,96 ГДж/га, тогда как вклад протеина составляет 5,88-12,31 ГДж/га, жира 0,18-0,64 ГДж/га, клетчатки 0,79-2,13 ГДж/га. Наибольший выход валовой энергии (более 29,0 ГДж/га) получен с урожаем семян: Л№34, Л№278, Л№292, Л№403, Л№780, Л№1116.

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»
==========

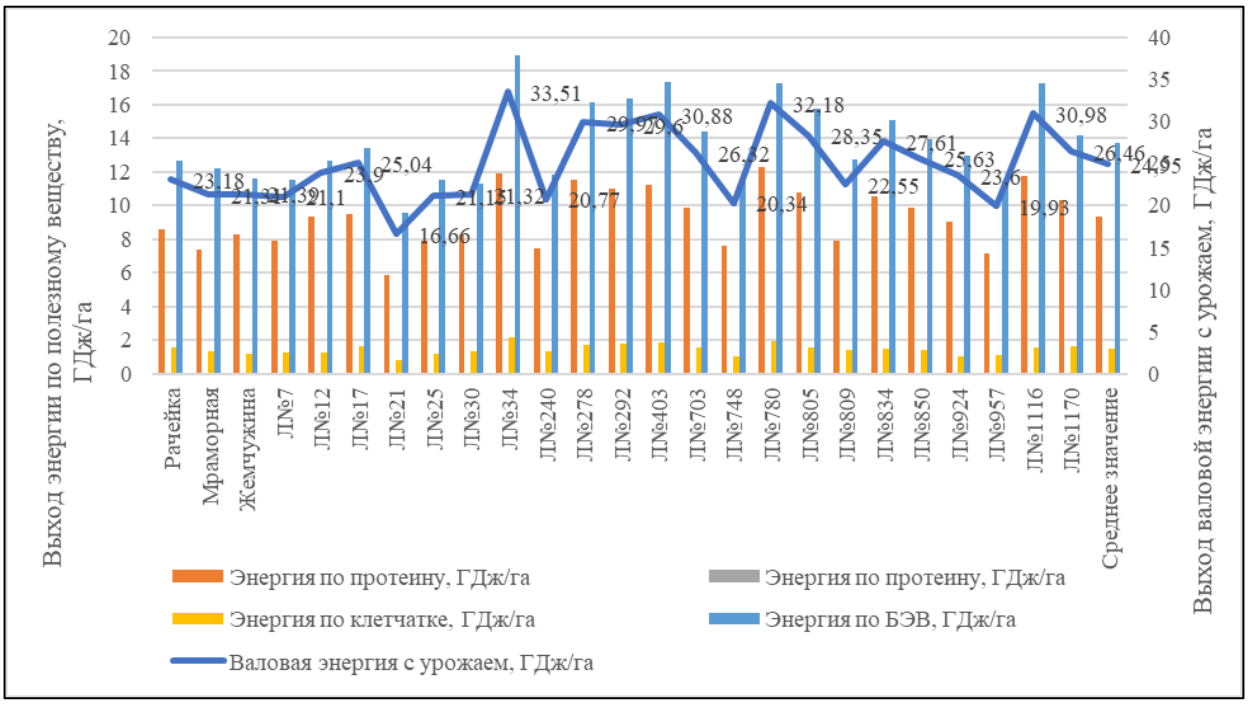

Рис. 3. Выход валовой энергии по полезному веществу у чины посевной, 2015–2018 гг.

Выводы

Выявленные коэффициенты вариации указывают на значительные различия между изучаемыми формами по урожайности семян и сбору питательных веществ, что указывает на возможность использования изучаемого материала в селекции на повышение данных параметров. Признаки, определяющие первый, второй и третий гипотетические факторы определяют 63,72% накапливаемой дисперсии, что безусловно следует учитывать при выведении новых сортов чины посевной. Применение метода кластеризации предоставляет возможность сгруппировать селекционный материал чины по совокупности хозяйственно полезных показателей. Очевидно, что в селекционный питомник в качестве исходного материала следует включать формы, относящиеся к первому, пятому, шестому кластерам: к Л№12, Л№30, Л№7, Л№25, Жемчужина, Л№924, Рачейка, Л№703, Л№809; 2-й: Л№240, Л№927, Л№748, Л№834, Л№850, Л№17, Л№248, Л№403, Л№292, Л№1116, Л№34, Л№780, отличающихся по высоте прикрепления нижнего боба, продуктивности растения и урожайности семян.

Изучение коллекционного материала чины посевной позволило установить различия образцов по вегетативным признакам, элементам структуры урожая и биохимическому составу семян, а также установить долю влияния факторов: гибрида (А), года (В), их взаимодействия

(АВ), а также неучтенных (случайных). Установлено, что наибольший выход валовой энергии с урожаем семян обеспечивают образцы Л№34, Л№278, Л№292, Л№403, Л№780, Л№1116. Содержание протеина в семенах более 30% установлено у сортообразцов: Жемчужина, Л№12, Л№30, Л№278, Л№780, к-834, Л№850, Л№934, Л№1170. Относительно длинностебельные сортообразцы (более 60 см) целесообразно использовать на зеленую массу: Л№12, Л№25, Л№278, Л№292, Л№403, Л№834, Л№924, Л№1116, Л№1170.

Список использованных источников

1. Вишнякова М.А., Бурляева М.О. Потенциал хозяйственной ценности и перспективы использования российских видов чины // Сельскохозяйственная биология. – 2006. – Т. 41. № 6. – С. 85-97.

2. Hillocks R.J., Maruthi M.N. Grass pea (Lathyrus sativus): Is there a case for further crop improvement? // Euphytica (2012) – 186:647–654.

3. Жужукин В.И., Горбунов В.С., Зайцев С.А., Волков Д.П. Изучение исходного материала чины посевной для селекции в условиях Нижнего Поволжья // Зерновое хозяйство России. – 2017. – № 6 (54). – С. 48-52.

4. Вишнякова М.А., Александрова Т.Г., Булынцев С.В., Буравцева Т.В., Бурляева М.О., Егорова Г.П., Семенова Е.В., Сеферова И.В., Яньков И.И. Генетические ресурсы зернобобовых средиземноморья в коллекции ВИР: разнообразие и использование (обзор) // Сельскохозяйственная биология. – 2016. – Т. 51. – № 1. – С. 31–45.

5. Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию (официальное издание). – Москва, 2021.

6. Мартынов С.П. Биометрические подходы к оптимизации селекционного процесса // Молекулярная и прикладная генетика: сб. науч. тр. - Ин-т генетики и цитологии НАН Беларуси. – Минск, 2009. – Т. 9. – С. 49–60.

7. Лиепа И.Я. Математические методы в биологических исследованиях. Факторный и компонентный анализы. – Рига: Издательство Латвийского государственного университета. – 1980. – 194 с.

8. Бебякин В.М., Кулеватова Т.Б., Великанова Н.М. Корреляционно-факторный анализ показателей состояния углеводно-амилазного комплекса и хлебопекарных качеств озимой ржи // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2004. – № 12. – С. 29-32

9. Гудова Л.А., Зайцев С.А., Жужукин В.И., Курасова Л.Г., Лекарев А.В. Использование методов многомерной статистики для оценки модельной популяции кукурузы // Аграрный научный журнал. – 2021. – № 7. – С. 9-15.

10. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Выпуск первый. Общая часть // ФГБУ «Госсорткомиссия». - М., 2019. – 329 с.

11. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). - М.: Книга по требованию, 2012. – 352 с.

12. Дубров А.М. Обработка статистических данных методом главных компонентов. – М., Статистика. – 1978. – 136 с.

==========

Цитирование:

Зайцев С.А., Кондаков К.С., Маслова Г.А., Бабушкин Д.Д., Лёвкина А.Ю. Использование методов биометрии в исследовании чины посевной [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2022. – № 5. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2022/5/st_503.pdf.
DOI: https://doi.org/10.51419/202125503.