

ЭФФЕКТИВНОСТЬ КОРРЕЛЯЦИОННОГО АНАЛИЗА НА ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНОМ ЭТАПЕ СЕЛЕКЦИИ ВИКИ ПОСЕВНОЙ

Г. И. Ившин, доктор сельскохозяйственных наук
В. В. Ившина

*ГУП Московской области «Московская селекционная станция»,
п/о Узуново Московской обл., Россия, uzunovo-mss@mail.ru*

DOI 10.33814/МАК-2019-21-69-5-14

Оценкой сортообразцов вики посевной на основе корреляционных матриц на заключительном этапе селекции выявлены генотипические особенности взаимоотношений признаков продуктивности растений в процессе их формирования. Установлены различия между сортообразцами по численности и напряженности корреляционных связей, свидетельствующие о специфике механизмов адаптации их к среде произрастания. Какой-либо закономерности в соотношении численности и напряженности корреляционных связей с прямыми признаками продуктивности вегетативной массы и семян не выявлено. Установлена четко выраженная обратная тенденция в соотношении численности и напряженности корреляций признаков продуктивности растения с уровнем сезонной изменчивости урожайности сухой массы и семян вики.

Ключевые слова: *вика посевная, конкурсное сортоиспытание, изменчивость и корреляции признаков продуктивности, численность и напряженность корреляций.*

Корреляционный метод получил широкое распространение в биологических и селекционных исследованиях растений. Общепризнана его значимость для определения критериев отбора и моделирования параметров новых сортов. Эффективность этого метода показана также для изучения биологических особенностей и адаптивных характеристик отдельных генотипов и популяций [1; 2; 3; 4; 5], устойчивости признаков продуктивности [6; 7], дивергенции систематических категорий растений [8; 9]. Однако недостаточно полно изучены возможности и способы использования этого метода для идентификации селекционных форм, выявления и оценки биологических и хозяйственных особенностей перспективных образцов и сортов.

В селекционных исследованиях важно выявить те генетически обусловленные связи признаков, которые позволяют дополнить и разнообразить информацию по биологическим и хозяйственным характеристикам сортообразцов и на этой основе принять правильное решение по их использованию. Для такой роли подходят внутрисортные корре-

ляции признаков растений, обусловленные совокупным эффектом генотипа и среды.

В нашей работе была поставлена задача: определить особенности внутрисортных корреляций признаков продуктивности растений у образцов вики на заключительном этапе селекции (в конкурсном сортоиспытании) и исследовать соотношение этих особенностей с различиями по основным биологическим и хозяйственным характеристикам с учетом специфики погодных условий.

Методика исследований. В качестве материала исследований взяты сортообразцы конкурсного сортоиспытания. Статистические характеристики изменчивости и корреляционные связи признаков растений определяли на основе индивидуального анализа по каждому варианту (30 растений), а также учетов и измерений в соответствии с Методикой государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур (1985). Для определения статистических параметров использовали программный пакет «Статистика». Вычисление средних значений коэффициентов корреляции проводили через коэффициент детерминации, а существенность разницы между ними определяли путем z-преобразования.

Опыты закладывались в системе севооборота на темно-серой тяжелосуглинистой лесной почве без внесения удобрений.

Результаты и их обсуждение. Годы проведения исследований (2015–2018) заметно различались по метеоусловиям. 2015 г. оказался благоприятным для формирования урожая вегетативной массы и семян вики. В 2016 г. получены средние результаты по этим показателям продуктивности. В 2017 г. сложились типичные условия для формирования укосной массы и благоприятные — для урожая семян. 2018 г. был неблагоприятен как для вегетативного роста, так и репродукционных процессов.

Хозяйственная характеристика сортообразцов по итогам конкурсного сортоиспытания по основным показателям приведена в таблице 1.

1. Показатели хозяйственной ценности сортообразцов вики посевной в конкурсном сортоиспытании (в среднем за 2015–2018 гг.)

Сортообразец	Вегетационный период, суток	Урожайность, ц/га				семян вики
		зеленой массы		сухой массы		
		вико-овсяной смеси	в т. ч. вики	вико-овсяной смеси	в т. ч. вики	
Спутница, st	80	283	136	66,4	30,8	27,9
№ Э-25	80	288	144	68,1	33,4	29,2
№ Я-54	79	288	136	69,0	32,2	28,6
№ Ц-112	80	285	142	67,0	32,4	26,2

Из таблицы видно, что сортообразцы вики практически не различаются по скороспелости, но при этом заметно дифференцированы по урожаю вегетативной массы и семян. Лучшие показали по сбору сухой массы и семян вики у селекционных номеров Э-25 и Я-54: средняя за четыре года прибавка к стандарту соответственно 1,4–2,6 и 0,7–1,3 ц/га.

По показателям сезонной изменчивости урожайности (σ) и определенной по ней гомеостатичности (Ном), различия между сортообразцами проявились также достаточно четко (табл. 2).

2. Изменчивость урожайности и гомеостатичность сортообразцов вики посевной

Урожайность, ц/га	Показатели	Спутница	№ Э-25	№ Я-54	№ Ц-112
Сухой массы	σ	6,08	6,20	6,51	6,53
	Ном	11,6	16,1	11,5	12,8
Семян	σ	6,67	6,37	8,47	9,17
	Ном	7,7	9,0	5,5	3,6

Относительно стабильными урожаями сухой массы и семян вики выделился среди представленных образцов селекционный № Э-25 с вариансой изменчивости этих показателей соответственно 6,20 и 6,37 ц/га. Устойчивость урожаев этого образца объясняется повышенной гомеостатичностью, то есть способностью поддерживать функциональную активность растений при ухудшении условий среды. Ее показатель у № Э-25 по урожайности сухой массы — 16,1 и по урожайности семян вики — 9,0, у менее стабильных по продуктивности номеров Ц-112 и Я-54 соответственно 11,5–12,8 и 3,6–5,5.

Оценку информативности корреляционных связей признаков растений и характер соотношения этих связей с величиной и стабильностью урожайности проводили на основе корреляционных матриц. Представленные в таблице 3 данные позволяют проследить особенности связей признаков, общепризнанных детерминантов продуктивности растений, у исследуемых сортообразцов вики. Так, у выделившихся по урожайности вегетативной массы и семян номеров Э-25 и Я-54 проявилась более четкая согласованность между высотой растения и высотой закладки нижнего боба. У них же, в отличие от стандарта и № Ц-112, обозначились тенденции взаимозависимости высоты растения с элементами семенной продуктивности (число бобов, семян на растение). У № Э-25 они по направленности — с отрицательным знаком, а у № Я-54 — с положительным. Последнее свидетельствует о том, что благоприятные для вегетативного роста условия могут оказать сдерживающее влияние на формирование урожая семян у № Э-25 и, напротив, — стимулировать репродукционные процессы у № Я-54. Этот вывод подтверждается дан-

ными благоприятного для вики 2015 г., когда при наивысшем сборе зеленой массы вико-овсяной смеси (435 ц/га), в том числе вики (209 ц/га), № Я-54 обеспечил самый высокий урожай семян — 35,2 ц/га, превысив стандарт по этому показателю на 14,3 %. Такая особенность № Я-54 обусловлена другой его особенностью — увеличением длины плодоносящей части стебля с возрастанием высоты растения.

3. Внутрисортовые корреляции признаков продуктивности у сортообразцов вики посевной (в среднем за 2015–2017 гг.)

Признак	Спутница	№ Э-25	№ Я-54	№ Ц-112
С высотой растения				
Число ветвей	—	–0,10	—	—
Длина стебля до нижнего боба	*0,48	*0,65	*0,57	*0,47
Длина плодоносящей части стебля	—	—	*0,55	—
На растение:				
– число плодоносящих узлов	—	—	0,34	—
– число бобов	—	–0,29	0,27	—
– число семян	—	–0,33	0,25	—
– масса семян	—	—	0,29	—
С массой семян на растение				
Число ветвей	*0,58	*0,55	—	—
Длина плодоносящей части стебля	*0,55	*0,46	*0,48	0,32
На растение:				
– число плодоносящих узлов	*0,86	*0,87	*0,81	*0,66
– число бобов	*0,85	*0,92	*0,85	▼*0,75
– число семян	*0,93	*0,97	*0,93	▼*0,85

*Примечание. Прочерк — коэффициенты корреляции под влиянием условий года меняют знак, хотя в отдельные из них оказываются статистически значимыми; ▼ величина коэффициента корреляции существенно ниже максимального его значения в той же строке ($p \leq 0,05$); *корреляция доказана при $p \leq 0,05$.*

Если у № Я-54 семенная продуктивность косвенно связана с высотой растения (через длину плодоносящей части стебля), то у № Э-25 она напрямую обусловлена признаком ветвистости (см. табл. 3). У № Ц-112, уступившего этим номерам по урожайности семян, зависимость семенной продуктивности от высоты растения и ветвистости не проявилась. Кроме того, у № Э-25, по сравнению с № Ц-112, достоверно выше влияние на массу семян с растения (продуктивность в узком смысле) числа бобов и семян, что подтверждает надежность последних при сравнительной оценке генотипов по элементам урожая семян.

Специфика сортообразцов рассматривалась также по характеру изменчивости корреляционных связей признаков продуктивности растений под влиянием погодных условий. Ценность таких исследований заключалась в том, что степень устойчивости корреляционных связей

позволяла оценить меру реакции растений на различные неблагоприятные воздействия [10], а значит получить дополнительные сведения об адаптивных свойствах генотипов.

Амплитуду варьирования, как и усредненные значения коэффициентов корреляций, определяли применительно к связям высоты и массы семян на растение с другими признаками продуктивности.

Изменчивость внутрисортных корреляций под влиянием погодных условий, как подтверждают данные таблицы 4, находится под контролем взаимодействия генотип–среда.

4. Амплитуда варьирования коэффициентов внутрисортных корреляций (ΔR) признаков продуктивности вики посевной под влиянием погодных условий (2015–2017 гг.)

Признак	Спутница	№ Э-25	№ Я-54	№ Ц-112
	ΔR			
С высотой растения				
Число ветвей	0,49	0,14	0,48	*0,55
Длина стебля до нижнего боба	*0,44	0,20	0,17	0,30
Длина плодоносящей части стебля	*0,71	*0,87	*0,60	*0,72
На растение:				
– число плодоносящих узлов	*0,69	*0,54	0,19	0,34
– число бобов	*0,69	0,45	0,12	0,28
– число семян	*0,69	*0,50	0,11	0,27
– масса семян	*0,64	*0,56	0,17	0,52
С массой семян на растение				
Число ветвей	0,28	*0,75	0,39	*0,57
Длина плодоносящей части стебля	0,09	*0,83	0,26	0,28
На растение:				
– число плодоносящих узлов	*0,19	*0,19	*0,23	0,29
– число бобов	*0,14	0,08	*0,19	*0,11
– число семян	*0,08	0,04	*0,09	*0,07

* ΔR значима при $p \leq 0,05$.

Так, амплитуда варьирования коэффициентов корреляции между высотой и ветвистостью незначительна по № Э-25, но выражена статистически достоверной величиной по № Ц-112. У № Э-25 и № Я-54 устойчиво проявилась связь высоты растения с длиной стебля до нижнего боба. У стандарта, напротив, отмечена повышенная чувствительность таких корреляций к погодным условиям ($\Delta R = 0,44$), что сочеталось у него с лучшей выраженностью автономности развития этих признаков (см. табл. 3). Другая отличительная особенность сорта Спутница — высокая зависимость от погодных условий взаимоотношений высоты растения с элементами семенной продуктивности ($\Delta R = 0,64–0,69$).

Отмеченная у № Я-54 тенденция положительной связи высоты растения с элементами семенной продуктивности сочеталась у него со

стабильностью соотношений этих признаков в изменяющихся условиях внешней среды. У стандарта, напротив, соотношение их по годам оказалось неустойчивым.

Несмотря на достоверное влияние ветвистости на семенную продуктивность как Спутницы, так и номера Э-25, различия между ними по устойчивости связей этих признаков под влиянием условий года были существенными: ΔR соответственно 0,28 и 0,75. Отсюда следует, что у № Э-25 кроме ветвистости значителен вклад в стабильность семенной продуктивности других ее детерминантов. К ним следует отнести число бобов и обсемененность растения, отмеченные высоким уровнем и стабильностью связей с массой семян на растение. У менее продуктивного № Ц-112 влияние указанных признаков на массу семян по уровню и стабильности оказалось достоверно ниже, чем у № Э-25.

Сравнительную характеристику сортообразцов вики по численности и напряженности корреляционных связей проводили на основе корреляционных матриц, составленных для 13 признаков продуктивности (табл. 5).

5. Сравнительная характеристика сортообразцов вики посевной по численности (Чг) и напряженности (Нг) внутрисортовых корреляций (R) признаков продуктивности растений

Показатели	Год	$\pm R$	Спутница	№ Э-25	№ Я-54	№ Ц-112	
Чг	2015	+	36	35	44	35	
		-	2	16	3	2	
	2016	+	41	39	35	30	
		-	0	8	0	3	
	2017	+	46	28	41	28	
		-	0	0	0	4	
	2018	+	44	47	32	38	
		-	0	0	2	0	
	В среднем	+	42	37	38	33	
		-	—	—	—	—	
	Нг	2015	+	0,80	0,81	0,76	0,72
			-	0,37	0,51	0,51	0,39
2016		+	0,67	0,77	0,67	0,74	
		-	—	0,52	—	0,40	
2017		+	0,70	0,75	0,67	0,64	
		-	—	—	—	0,44	
2018		+	0,69	0,65	0,70	0,74	
		-	—	—	0,44	—	
В среднем		+	0,72	0,75	0,70	0,50	
		-	—	—	—	—	

Примечание. Максимально возможное число корреляций в исходной матрице (Чг) — 78; усредненные характеристики по отрицательным корреляциям не приведены в таблице ввиду неполного проявления их по годам и генотипам.

Из таблицы 5 видно, что влияние года и генотипа на изменчивость числа положительных корреляций признаков продуктивности примерно одинаковое: $X_{\max_{\text{гг}}}-X_{\min_{\text{гг}}}$ соответственно 10–19 и 9–18 (ввиду редкого проявления отрицательных корреляций, обсуждение проводится по положительным связям).

В неблагоприятном 2018 г. число корреляционных связей признаков у трех сортообразцов было выше, чем в благоприятном 2015 г. Исключением стал селекционный номер Я-54, у которого отмечена противоположная направленность изменчивости этого показателя.

Факт снижения числа корреляционных связей в благоприятный год можно объяснить повышением автономности признаков вследствие снижения проявления конкурентных и компенсационных эффектов между ними. Противоположный случай, что следует из примера с № Я-54, возможен, по-нашему мнению, в случае интенсивного протекания процессов роста и развития, требующего повышенной согласованности функций признаков продуктивности. Такое предположение согласуется с выдающимися данными урожайности вегетативной массы и семян № Я-54 в благоприятном 2015 г.

В разные годы преимущество по числу корреляционных связей имели лучшие по продуктивности номера Э-25 и Я-54 и стандарт. У менее продуктивного № Ц-112 ежегодные и средние показатели количества этих связей оказались наименьшими: соответственно 28–38 и 33 против 36–46 и 42 у стандарта.

Напряженность корреляций (Hr) изменялась под влиянием года несколько больше, чем генотипа — размах изменчивости соответственно 0,09–0,16 и 0,09–0,11.

Среди сортообразцов максимальное его значение (0,16) отмечено у № Э-25, отличившегося наивысшей гомеостатичностью. То есть степень варьирования величины коэффициента корреляции признаков продуктивности выступила в этих исследованиях в качестве одного из показателей адаптивности сорта. Напряженность корреляционных связей, как и число их, оказалась минимальной у менее продуктивного № Ц-112 — в среднем 0,50 против 0,75 у № Э-25.

Уровень корреляционных связей признаков, в противоположность их числу, у большинства номеров был выше в благоприятный год, чем в неблагоприятный.

Представляла значительный интерес проверка наличия сопряженности численности и напряженности корреляций признаков растений с показателями уровня и стабильности продуктивности. Однако полученные данные не позволили выявить каких-либо закономерностей в соотношении этих корреляционных характеристик как с продуктивностью вегетативной массы, так и семян (табл. 6).

6. Соотношение численности (Чг) и напряженности (Нг) корреляций признаков растений с показателями уровня и стабильности продуктивности вики посевной

Соотношение	Коэффициенты корреляции			
	2015 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.
Численности корреляций				
с сухой массой растения	*1,00	-0,12	-0,05	0,71
с массой семян на растение	0,93	-0,03	-0,14	0,67
с вариансой сбора сухой массы вики с 1 га	-0,75			
с вариансой сбора семян с 1 га	-0,67			
Напряженности корреляций				
с сухой массой растения	-0,23	*0,99	0,87	*-0,98
с массой семян на растение	0,01	0,59	*0,97	-0,89
с вариансой сбора сухой массы вики с 1 га	-0,67			
с вариансой сбора семян с 1 га	-0,83			
Численности с напряженностью корреляций	-0,16	-0,22	-0,06	-0,63

Примечание. Варианса характеризует изменчивость сбора сухой массы и семян вики с 1 га в 2015–2018 гг.

Так, только в одном случае, в благоприятный 2015 г., проявилась зависимость сухой массы растения от численности корреляций (скоординированности роста и развития) признаков. В другие годы соотношение численности корреляций признаков с показателями сухой массы и массы семян с растения выразалось только на уровне разнонаправленных тенденций. Еще резче нестабильность проявилась по соотношению прямых признаков продуктивности с показателем напряженности корреляций. Так, коэффициенты корреляции последнего показателя с сухой массой растения варьировали по годам в диапазоне достоверных положительной ($R = 0,99$) и отрицательной ($R = -0,98$) связей.

Отсутствие достоверного влияния числа корреляционных связей признаков растений на показатели продуктивности вегетативной массы и семян вики можно объяснить множественностью детерминирующих их факторов, а неоднозначность тенденций в проявлении такого влияния у разных сортов образцов — различиями в механизмах и степени приспособленности их к среде произрастания.

В соотношении численности и напряженности корреляций признаков продуктивности растения с сезонной изменчивостью (вариансой) сбора сухой массы и семян вики с 1 га четко проявилась обратная тен-

денция ($R = -0,67-0,83$), что свидетельствует о наличии вклада этих показателей сопряженности признаков в стабилизацию урожайности.

В соотношении численности и напряженности корреляций признаков растений проявилась слабая тенденция обратной зависимости.

Таким образом, результаты исследований свидетельствуют о зависимости характера взаимоотношений признаков продуктивности растений вики в процессе их формирования от особенностей генотипов. В частности:

- установлена неодинаковая значимость у сортообразцов вики высоты растения и элементов семенной продуктивности в формировании урожая семян;
- выявлены генотипические различия по степени устойчивости взаимосвязей признаков растений под влиянием погодных условий, обусловленные различиями сортообразцов по гомеостатичности;
- установлены различия между сортообразцами по численности и напряженности корреляционных связей, свидетельствующие о специфике механизмов их адаптации к среде произрастания. Эти характеристики корреляций зависели также от погодных условий: в благоприятный год, по сравнению с неблагоприятным, их численность, исключая один образец, была меньше, а напряженность — выше.

В соотношении численности и напряженности корреляционных связей с прямыми признаками продуктивности вегетативной массы и семян какой-либо закономерности не выявлено, что исключает использование этих корреляционных характеристик в качестве критериев оценки на продуктивность.

Установлена четко выраженная обратная тенденция в соотношении численности и напряженности корреляций признаков продуктивности растения с уровнем сезонной изменчивости сбора сухой массы и семян вики с 1 га, свидетельствующая о влиянии этих показателей сопряженности признаков на показатель стабильности урожайности.

В результате исследований вики посевной на заключительном этапе селекции, проведенных методом корреляционного анализа, получена дополнительная ценная информация для комплексной оценки селекционного материала и определения перспектив его дальнейшего использования.

Литература

1. Шмидт В. М. Биометрические исследования в области морфогенеза растений, таксономии и сравнительной флористики: Автореф. дис. ... докт. биол. наук. — Л., 1975. — 52 с.

2. Ростова Н. С., Седловский А. И. Взаимосвязи компонентов продуктивности у разных сортов риса в зависимости от условий выращивания // Сельскохозяйственная биология. – 1986. – № 7. – С. 13–20.
3. Ростова Н. С. Структура и изменчивость корреляций морфологических признаков цветковых растений: Автореф. дис. ... докт. биол. наук. – СПб, 2000. – 40 с.
4. Щербаков А. В. Пластичность корреляционных связей между показателями основного и специализированного метаболизма растений как ответная реакция на непредсказуемость среды обитания // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2013. – Т. 15, вып. № 1–3. – С. 42–54.
5. Ившин Г. И., Ившина В. В. Использование корреляций признаков растений в селекции вики посевной // Многофункциональное адаптивное кормопроизводство: сб. науч. тр., вып.13 (61) / Под ред. В. М. Косолапова, Н. И. Георгиади / ФГБНУ «ВНИИ кормов им. В. Р. Вильямса». – М. : ООО «Угрешская типография», 2017. – С. 112–122.
6. Тищенко В. Н., Чекалин Н. М. Генетические основы адаптивной селекции озимой пшеницы в зоне лесостепи. – Полтава, 2005. – 250 с.
7. Жаркова С. В. Корреляционный анализ признаков продуктивности лука репчатого и его использование в практической селекции // Вестник Алтайского ГАУ. – 2009. – № 12. – С. 8–10.
8. Железнов А. В., Железнова Н. Б., Бурмакина Н. В. Оценка степени дивергенции корреляционных структур различных систематических категорий на примере амаранта (*Amaranth L.*) // Сельскохозяйственная биология. – 2009. – № 1. – С. 50–53.
9. Стасюк А. И., Железнов А. В., Железнова Н. Б. Корреляционный анализ некоторых видов амаранта (*Amaranthus L.*) // Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2011. – Т. 15, № 1. – С. 173–181.
10. Злобин Ю. А. Теория и практика оценки виталитетного состава ценопопуляций растений // Ботанический журнал. – 1989. – Т. 74, № 6. – С. 769–781.

EFFICIENCY OF THE CORRELATION ANALYSIS AT THE FINAL STAGE OF SELECTION A COMMON VETCH

G. I. Ivshin, V. V. Ivshina

By estimation of selection numbers of a common vetch a sowing campaign on the basis of correlation matrixes at the final stage of selection are revealed genotype features of mutual relations of attributes of efficiency of plants during their formation. Distinctions between selection samples on number and intensity of correlation communications are established, testifying about specificity of mechanisms of their adaptation to Wednesday of growth are established. Any law in the ratio number and intensity of correlation communications with direct attributes of efficiency of vegetative weight and seeds it is not revealed. Precisely expressed return tendency in the ratio number and intensity of correlations of attributes of efficiency of a plant with a level of seasonal variability of productivity of dry weight and seeds of a common vetch is established.

Keywords: *common vetch, sowing campaign, competitive test of grades, variability and correlations of attributes of efficiency, number and intensity of correlations.*