

Применение регрессионного анализа для изучения влияния происхождения подвоев на совместимость сорто-подвойных комбинаций винограда

Потанин Д.В.^{1✉}, Иванова М.И.², Иванченко В.И.¹, Замета О.Г.¹

¹Агротехнологическая академия Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского», 295492, Республика Крым, г. Симферополь, п. Аграрное

²Центр агрохимической службы «Крымский», Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 75/1

✉potanin.07@mail.ru

Аннотация. С целью определения влияния сортовых признаков подвоев и привоев, применяемых при производстве саженцев, на выход привитого стандартного посадочного материала проведен многомерный кросскорреляционный анализ. Опыты проведены на четырех сортах привоев и пяти сортах подвоев в условиях прививочного комплекса и открытой грунтовой школки. В качестве функций использовались: в первом случае – выход стандартных привитых черенков после стратификации, во втором случае – выход стандартного привитого посадочного материала винограда. В качестве параметров регрессии использовалось цифровое кодирование наличия геноплазмы изучаемых сортов или их известных родительских форм в каждом элементе привитой комбинации. Разработаны регрессионные модели влияния генотипа подвойных и привойных сортов на приживаемость привитых стратифицированных черенков винограда (с точностью 69,69%) и на выход стандартных привитых саженцев из открытого питомника (точность 64,96%). Установлено отрицательное влияние наличия геноплазмы вида винограда *Vitis rupestris* и привойного сорта Мальбек на аффинитет и выход как стандартных стратифицированных привитых черенков, так и стандартных привитых саженцев. Установлено положительное влияние вида винограда *Vitis riparia* и привойного сорта Вионье на выход стандартных привитых саженцев винограда. В связи с увеличением воздействия неконтролируемых факторов внешней среды в условиях открытой грунтовой школки и наличием ранее удаленных неприжившихся привитых черенков, снижается влияние генетических факторов на выход стандартных саженцев в сравнении с производством стратифицированных привитых черенков. Представленные подходы разработки регрессионных моделей могут использоваться для прогнозирования уровней совместимости сорто-подвойных комбинаций в научном и производственном процессах.

Ключевые слова: виноград; сорто-подвойные комбинации; генотип; регрессионный анализ; корреляционная зависимость; выход стандартного посадочного материала.

Для цитирования: Потанин Д.В., Иванова М.И., Иванченко В.И., Замета О.Г. Применение регрессионного анализа для изучения влияния происхождения подвоев на совместимость сорто-подвойных комбинаций винограда // «Магарач». Виноградарство и виноделие. 2022;24(3):219-226. DOI 10.34919/IM.2022.24.3.004.

The use of regression analysis to study the effect of the origin of rootstocks on compatibility of variety-rootstock combinations of grapes

Potanin D.V.^{1✉}, Ivanova M.I.², Ivanchenko V.I.¹, Zameta O.G.¹

¹Agrotechnological Academy of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «V.I. Vernadsky Crimean Federal University», Agrarnoye village, 295492 Simferopol, Republic of Crimea, Russia

²Center of Agrochemical Service Krymskiy, 75/1 Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, Russia

✉potanin.07@mail.ru

Abstract. In order to determine the effect of varietal characteristics of rootstocks and grafts, used in the production of seedlings, on the yield of grafted standard planting material, a multidimensional cross-correlation analysis was carried out. The experiments were carried out on four varieties of grafts and five varieties of rootstocks in the conditions of grafting complex and an open-earth nursery. The following functions were used: in the first case, the yield of standard grafted cuttings after stratification; in the second case, the yield of standard grafted grape planting material. Digital coding of genoplasm presence in the studied varieties or in their known parental forms in each element of grafted combination was used as regression parameters. Regression models of influence of the genotype of rootstock and graft varieties on survival rate of grafted stratified grape cuttings (with an accuracy of 69.69%) and on the yield of standard grafted seedlings from an open-earth nursery (accuracy of 64.96%) were developed. The negative effect of presence of *Vitis rupestris* grape species and 'Malbec' graft variety genoplasm on the affinity and yield of both standard stratified grafted cuttings and seedlings was established. The positive effect of *Vitis riparia* grape species and 'Viognier' graft variety on the yield of standard grafted grape seedlings was established. Due to the increase in the influence of uncontrolled environmental factors in an open-earth nursery, as well as previously removed solute grafted cuttings, the effect of genetic factors on the yield of standard seedlings decreases in comparison with production of stratified grafted cuttings. The presented approaches to the development of regression models can be used in long-term forecasting of compatibility levels of variety-rootstock combinations in scientific and production processes.

Key words: grapes; variety-rootstock combinations; genotype; regression analysis; correlation dependence; yield of standard planting material.

For citation: Potanin D.V., Ivanova M.I., Ivanchenko V.I., Zameta O.G. The use of regression analysis to study the effect of the origin of rootstocks on compatibility of variety-rootstock combinations of grapes. Magarach. Viticulture and Winemaking. 2022;24(3):219-226. DOI 10.34919/IM.2022.24.3.004 (in Russian).

Введение

Вопрос изучения совместимости сорто-подвойных комбинаций является теоретически и практически важным, поскольку от его решения зависит производство конечной продукции привитых растений [1]. В частности, совместимость культурных сортов винограда с карбонатоустойчивыми подвоями влияет не только на продуктивность самих насаждений, но также на срок их эксплуатации и качество винодельческой продукции, производимой из винограда [2].

После введения в производство привитой культуры винограда и, соответственно, внедрения подвойных сортов, было установлено, что не все культурные сорта имеют нормальное развитие в сравнении с корнесобственной культурой, а в некоторых случаях, именно в зависимости от подвоев, спектр таких не полностью совместимых привоев более широк [3–5]. В частности, подвойный сорт Шасла х Берландиери 41Б имеет большой спектр слабо совместимых с ним привойных сортов в сравнении с другими подвойными формами [6]. С другой стороны, также было установлено, что отдельные привойные сорта имеют различный размах по совместимости с подвоями. Исследования в этом направлении показали, что совместимость может контролироваться генотипом прививочных компонентов на уровне как отдельных генов (моногенные взаимодействия), так и на полигенном уровне [7–9]. Естественно, зная генетические особенности отдельных компонентов, можно провести предварительное прогнозирование их поведения при совмещении в единое растение в виде привитых трансплантов [10–12].

В свете развития цифровых технологий появляются возможности использования различных математических методов статистического и вариационного анализа для предварительного расчета вероятностей степени совместимости той или иной комбинации [13]. При этом уже пытаются применять методы кластерного анализа генотипов [14], а также проводятся попытки поиска взаимосвязей между влиянием видовых особенностей на развитие проводящей системы лозы, что в дальнейшем определяет уровень совместимости [15]. При этом нами не было найдено подходов использования регрессионного анализа для изучения влияния генотипов подвойных и привойных сортов на уровень совместимости при их комбинации. С нашей точки зрения, необходимо оценить возможность применения именно этого математического аппарата для прогноза аффинитета сортов винограда в прививочных комбинациях [16].

Цель работы. При помощи многомерного кросс-корреляционного анализа оценить влияние сортовых признаков подвойных и привойных сортов, применяемых при производстве саженцев на выход привитого стандартного посадочного материала.

Материалы и методы исследования

Исследования проводились в 2018–2021 гг. на базе прививочного комплекса кафедры плодовоощеводства и виноградарства Института «Агротехнологической академии» ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вер-

надского». Объектами исследований были лозы подвойных и привойных сортов винограда, из которых в дальнейшем производились привитые черенки, а также выращенные в условиях открытой грунтовой школки стандартные однолетние саженцы сорто-подвойных комбинаций винограда, представленные техническими районированными сортами Сира, Мальбек, Каберне-Совиньон и перспективным Вионье, привитые на районированных подвойных сортах Берландиери х Рупестрис Рюгжери 140, Берландиери х Рипариа Кобер 5ББ, Берландиери х Рипариа СО₄, Рипариа х Рупестрис 101-14 и Шасла х Берландиери 41Б.

Для проведения регрессионного анализа [17] выбран в качестве функции выход стандартного посадочного материала (в %) от количества высаженных в открытую грунтовую школку стратифицированных привитых черенков. В качестве показателей сортовых особенностей у подвойных сортов проводилось оцифровывание наличия в генотипе различных видов или сортов винограда в качестве родителей, у привойных сортов вводились параметры наличия самого изучаемого сорта. Полученные результаты занесены в базу данных расчетной программы, которая разработана авторами данной статьи и в дальнейшем осуществлен выбор оптимальной регрессионной модели по наиболее плотному коэффициенту корреляции [16].

Результаты и их обсуждение

С точки зрения вариационной статистики, любой параметр исследования, если он введен в функцию правильно, может показать влияние со связанным с ним изучаемым фактором. Главной задачей при этом является именно правильная оцифровка данных, вводимых в расчет. Однако на сегодня еще не все ученые в полной мере владеют математическим аппаратом вариационной статистики в полной мере. Так, исследования по аффинитету винограда, несмотря на то, что проводятся уже более полутора столетий, до сих пор в основном носят описательный и констатирующий характер. Это приводит к тому, что в ходе проведения исследований в реальных полевых условиях затрачиваются излишние ресурсы на изучение совместимости комбинаций в условиях питомника, а после этого и в условиях многолетних насаждений. Такой подход, хотя и является самым надежным, требует больших затрат времени, привлечения дополнительных площадей под питомниками и включения в исследовательский процесс насаждений для продолжительного выращивания кустов, которые в случае несовместимости компонентов могут отличаться высокой степенью изреженности, давать низкие или некачественные по кондициям гроздей и ягод урожаи. С другой стороны, включив предварительный прогноз поведения сортов подвоев и привоев по их совместимости, можно сократить исследовательский процесс, останавливаясь исключительно на совместимых комбинациях либо уточняя созданную модель влияния геноплазмы сортов и внедряя отдельные сорто-подвойные комбинации в производство.

Для создания базы данных и последующего про-

ведения регрессионного анализа использовалась ранее разработанная программа, осуществляющая логический выбор оптимальных моделей изучения процессов. В программное обеспечение и алгоритмы включены регрессионные модели по следующим ниже формулам.

Линейная:

$$Y = a_0 + a_1 * X_1 + \dots + a_n * X_n \quad (1)$$

Обратная:

$$Y = a_0 + a_1 / X_1 + \dots + a_n / X_n \quad (2)$$

Обратная 2:

$$Y = 1 / (a_0 + a_1 * X_1 + \dots + a_n * X_n) \quad (3)$$

Линия степени 1/2 (коренная):

$$Y = a_0 + a_1 * \sqrt{X_1} + \dots + a_n * \sqrt{X_n} \quad (4)$$

Линия степени 1/2 (коренная 2):

$$Y = \sqrt{a_0 + a_1 * X_1 + \dots + a_n * X_n} \quad (5)$$

Логарифмическая:

$$Y = a_0 + a_1 * \log X_1 + \dots + a_n * \log X_n \quad (6)$$

Экспоненциальная:

$$Y = \exp(a_0 + a_1 * X_1 + \dots + a_n * X_n) \quad (7)$$

Степенная:

$$Y = a_0 + x_1^{a_1} + \dots + x_n^{a_n} \quad (8)$$

Показательная:

$$Y = a_0 + a_1^{x_1} + \dots + a_n^{x_n} \quad (9)$$

В ходе проведения просчета моделей на уже имеющемся исследовательском материале использовался двухэтапный подход. На первом этапе выявлялось влияние генотипа подвойных и привойных сортов на выход стандартных привитых черенков после стратификации (в формуле модели X31) по ГОСТ 28181-89, при этом функцией был процент выхода стандартных стратифицированных привитых черенков (табл. 1). На втором этапе расчета, который считается финальным для нашего исследования, была создана модель влияния генотипа подвойных и привойных сортов на выход стандартного посадочного материала (в формуле модели X42) из виноградной школки (в %). Для оцифровывания наличия сортовых признаков подвоя и привоя нами принято учитывать наличие или отсутствие геноплазмы отдельных исходных видов или сортов в виде Булевой математики: при наличии таковой у исходного вида напротив сорта выставлялось значение «1», а в случае отсутствия – «0». Таким образом, учитывая, что подвойные сорта, включенные в исследования, несут в себе признаки четырех основных генотипов – *V. riparia*, *V. rupestris*, *V. berlandieri*, *V. vinifera* var. *Chasselas*, а также сорт Шасла, то шифр-код подвойных сортов состоял из четырех цифр. К примеру, у подвойного сорта Берландиери х Рипариа Кобер 5ББ цифровой шифр-код имел вид – «1010», а у Рипариа х Рупестрис 101-14 – «1100».

Данные вводились в базу с объединением других биометрических результатов исследований, которые не включались в непосредственный расчет решения поставленной здесь задачи и при разработке моделей участия не принимали. Достоверность модели определялась по уровню общей корреляции. При этом программа в автоматическом режиме выбирала наи-

более достоверную по уровню корреляционной зависимости модель и представляла ее исследователю. Также осуществлялся расчет коэффициентов вариации каждого из изучаемых показателей (табл. 2) и индивидуальный коэффициент корреляции между каждым из них со значением функции.

В качестве показателей генотипов подвойных и привойных сортов винограда в модель были включены:

X1 – наличие в подвойном сорте геноплазмы *Vitis riparia* (1 – при наличии, 0 – при отсутствии);

X2 – наличие в подвойном сорте геноплазмы *Vitis rupestris* (1 – при наличии, 0 – при отсутствии);

X3 – наличие в подвойном сорте геноплазмы *Vitis berlandieri* (1 – при наличии, 0 – при отсутствии);

X4 – наличие в подвойном сорте геноплазмы *Vitis vinifera* var. *Chasselas* (1 – при наличии, 0 – при отсутствии);

X5 – привойный сорт Сира (1 – при наличии, 0 – при отсутствии);

X6 – привойный сорт Вионье (1 – при наличии, 0 – при отсутствии);

X7 – привойный сорт Мальбек (1 – при наличии, 0 – при отсутствии);

X8 – привойный сорт Каберне-Совиньон (1 – при наличии, 0 – при отсутствии).

В ходе проведения расчета установлено, что среди подвойных сортов в их генотипе чаще всего представлен вид *V. berlandieri* (табл. 2), а менее всего – формы с привлечением сорта Шасла. Среди функциональных параметров наиболее стабильным оказался выход стандартных привитых черенков (коэффициент вариации составляет 23,95%).

Это объясняется тем, что привитые черенки проходили стратификацию в контролируемых условиях по температурному, влажностному и световому режимам, что снизило вероятность влияния неконтролируемых факторов на конечные результаты. Несколько большее варьирование (39,2%) показали результаты по выходу стандартного посадочного материала от количества высаженных привитых стратифицированных черенков. Это связано в основном с большим влиянием неконтролируемых факторов, таких как погода и почва, в условиях открытой грунтовой школки. При этом в отдельные годы (2019 и 2020 гг.), высокие температуры на фоне низкой относительной влажности воздуха неблагоприятно сказывались на приживаемость, рост и развитие стандартных саженцев винограда.

Подбор оптимальной регрессионной модели влияния генотипа сорто-подвойных комбинаций на выход стандартных привитых черенков показал, что для изучаемых комбинаций она имеет обратную функцию и имеет вид:

$$X31 = 1 / (0,0046 + 0,0047 * X1 + 0,0085 * X2 + 0,0051 * X3 + 0,0070 * X4 - 0,0023 * X5 - 0,0027 * X6 + 0,0032 * X7 - 0,0010 * X8) \quad (10)$$

При этом коэффициент множественной корреляции составляет 0,6969 ($d=r^2=0,4857$) при $F=6,0210$, где F – критерий значимости уравнения регрессии

Таблица 1. Фактические данные исследования по совместимости сорто-подвойных комбинаций винограда в условиях прививочного комплекса и открытой виноградной школки, включенные в расчет регрессионных моделей

Table 1. Actual research data on compatibility of variety-rootstock combinations of grapes in the conditions of grafting complex and an open-earth grape nursery, included in the calculation of regression models

Наименование подвоя	Наименование сорта	Выход стандартных привитых черенков (%)				Выход стандартных саженцев от количества высаженных в школку (%)			
		2019 г.	2020 г.	2021 г.	среднее многолетнее	2019 г.	2020 г.	2021 г.	среднее многолетнее
Рипария х Рупестрис 101-14	Сира	44,44	41,11	55,00	46,85	42,86	25,00	68,33	45,40
	Вионье	68,89	63,89	85,56	72,78	79,17	45,00	93,33	72,50
	Мальбек	50,00	46,67	61,67	52,78	53,57	15,00	80,00	49,52
	Каберне-Совиньон	60,56	55,56	75,00	63,70	66,67	35,00	81,67	61,11
Шасла х Берландиери 41Б	Сира	71,67	66,67	88,89	75,74	50,94	55,88	79,41	62,08
	Вионье	74,44	69,44	92,22	78,70	53,33	71,79	89,74	71,62
	Мальбек	45,56	42,22	56,67	48,15	35,29	23,08	48,72	35,70
	Каберне-Совиньон	58,89	53,89	72,78	61,85	56,25	58,97	76,92	64,05
Берландиери х Рипария СО ₄	Сира	87,22	80,56	100,00	89,26	62,50	61,67	81,67	68,61
	Вионье	58,89	53,89	72,78	61,85	52,00	68,33	88,33	69,56
	Мальбек	70,00	65,00	87,22	74,07	47,06	43,33	61,67	50,69
	Каберне-Совиньон	78,33	72,78	96,11	82,41	60,42	81,67	85,00	75,69
Берландиери х Рипария Кюбер 5ББ	Сира	78,89	73,33	97,78	83,33	60,00	58,33	90,00	69,44
	Вионье	91,11	84,44	100,00	91,85	64,15	85,00	91,67	80,27
	Мальбек	57,22	52,78	71,11	60,37	40,82	56,67	78,33	58,61
	Каберне-Совиньон	60,56	55,56	75,00	63,70	64,15	85,00	91,67	80,27
Берландиери х Рупестрис Рюгжери 140	Сира	70,00	65,00	86,67	73,89	58,33	11,67	68,33	46,11
	Вионье	69,44	64,44	86,67	73,52	73,68	23,33	78,33	58,45
	Мальбек	36,67	33,33	45,00	38,33	7,14	5,00	31,67	14,60
	Каберне-Совиньон	61,11	56,11	75,56	64,26	47,06	20,00	60,00	42,35
НСР ₀₅ А (подвойный сорт)		1,50				0,29			
НСР ₀₅ В (привойный сорт)		1,34				0,26			
НСР ₀₅ С (влияние года)		1,16				0,23			
НСР ₀₅ Взаимодействие факторов АВ		2,32				0,45			
НСР ₀₅ Взаимодействие факторов АС		2,60				0,51			
НСР ₀₅ Взаимодействие факторов ВС		3,00				0,59			
НСР ₀₅ Взаимодействие факторов АВС		3,00				0,59			
НСР ₀₅ Для оценки существенности частных различий		5,20				1,02			

(табличное значение F=2,1270). Это свидетельствует о тесной связи между генотипом и выходом стандартных привитых черенков.

Анализ влияния отдельных генотипов подвойных и привойных сортов показал (табл. 3), что на выход стандартных стратифицированных привитых черенков существенно оказывают влияние подвойные сорта, имеющие геноплазму *Vitis rupestris* с отрицательной коррелятивной связью минус 35,7%, а также привойный сорт Мальбек (минус 46,6%).

Остальные генотипы среди изучаемых сортов не имеют существенной индивидуальной коррелятивной связи с выходом привитых черенков, но необходимы для включения в общую математическую модель. Именно потому, что наибольшее влияние ока-

зывают генотипы с отрицательной коррелятивной связью, общая модель является обратной.

Иная регрессионная модель складывается при включении в качестве функции выхода стандартного посадочного материала (от количества, высаженного в школку) при F=5,4244, где F – критерий значимости уравнения регрессии (табличное значение F=2,1940):

$$X_{42} = \exp(-38,2028 + 21,4819 \cdot X_1 + 20,6930 \cdot X_2 + 20,9307 \cdot X_3 + 21,3250 \cdot X_4 + 0,2302 \cdot X_6 - 0,4705 \cdot X_7 + 0,0665 \cdot X_8). \quad (11)$$

Данная модель уже является экспоненциальной, поскольку относительно равномерно распределяется отрицательное влияние генотипов, показанных в предыдущей модели, а также отражается положительная корреляционная связь от включения в сорто-подвой-

Таблица 2. Статистический отчет о базе данных

Table 2. Database statistical report

Переменная	Среднее	Медиана	Коэффициент вариации, %	Среднее квадратическое отклонение	Ошибки среднего	Минимум	Максимум	Асимметрия	Экссесс
X42	57,884	60,000	39,196	22,688	2,929	5,000	93,330	-0,532	-0,500
X31	67,871	69,165	23,950	16,255	2,099	33,330	100,000	0,061	-0,639
X1	0,600	1,000	81,650	0,490	0,063	0,000	1,000	-0,408	-1,833
X2	0,400	0,000	122,474	0,490	0,630	0,000	1,000	0,408	-1,833
X3	0,800	1,000	50,000	0,400	0,052	0,000	1,000	-1,500	0,250
X4	0,217	0,000	190,142	0,412	0,053	0,000	1,000	1,375	-0,108
X5	0,250	0,000	173,205	0,433	0,056	0,000	1,000	1,155	-0,667
X6	0,250	0,000	173,205	0,433	0,056	0,000	1,000	1,155	-0,667
X7	0,250	0,000	173,205	0,433	0,056	0,000	1,000	1,155	-0,667
X8	0,250	0,000	173,205	0,433	0,056	0,000	1,000	1,155	-0,667

Таблица 3. Корреляционная матрица влияния генотипа на выход стандартных стратифицированных привитых черенков винограда

Table 3. Correlation matrix of the genotype effect on the yield of standard stratified grafted cuttings of grapes

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8
	<i>Vitis riparia</i>	<i>Vitis rupestris</i>	<i>Vitis berlandieri</i>	<i>Chasselas</i>	Сира	Вионье	Мальбек	Каберне-Совиньон
X31	0,179	-0,357	0,272	-0,111	0,211	0,279	-0,466	-0,024
X1	1,000	-0,167	-0,408	-0,562	0,000	0,000	0,000	0,000
X2	-0,167	1,000	-0,612	-0,347	0,000	0,000	0,000	0,000
X3	-0,408	-0,612	1,000	0,162	0,000	0,000	0,000	0,000
X4	-0,562	-0,347	0,162	1,000	0,070	-0,023	-0,023	-0,023
X5	0,000	0,000	0,000	0,070	1,000	-0,333	-0,333	-0,333
X6	0,000	0,000	0,000	-0,023	-0,333	1,000	-0,333	-0,333
X7	0,000	0,000	0,000	-0,023	-0,333	-0,333	1,000	-0,333
X8	0,000	0,000	0,000	-0,023	-0,333	-0,333	-0,333	1,000

ные комбинации (табл. 4). Такими существенно положительными связями характеризуются генотипы подвойного сорта, в который включен *Vitis riparia* (30,6%), а среди привойных сортов у Вионье (32,1%).

Общий множественный коэффициент корреляции этой модели несколько ниже предыдущей и составляет 0,6496 ($d=r^2=0,4220$). Это, в первую очередь, может объясняться тем, что на течение самих процессов формирования стандартного посадочного материала в условиях открытой грунтовой школки уже оказывают влияние не только генетические особенности подвойных и привойных сортов, формирующие связи соединительных систем (проводящие пучки, нарастание древесины, укрепление тканей мест срастания и др.), но также и ответы самих индивидуальных частей растений на факторы внешней среды.

С другой стороны, влияние генотипа на точность модели может также уменьшаться за счет того, что у винограда, как и у других многолетних привитых растений, проявления аффинитета с возрастом онтогенеза новых растений снижаются за счет постепенного

удаления нежизнеспособных растений. Так, в процессе проведения стратификации привитых черенков в условиях прививочного комплекса уже был произведен отбор растений, наиболее остро реагирующих на отторжение тканей имплантов. Соответственно, в дальнейшем вероятность подобного отторжения тканей будет лишь снижаться. При этом, естественно, что влияние генотипов как таковых, будет уменьшаться и вступать во взаимодействие с другими факторами внешней среды.

Приведенные результаты исследований показывают принципиальную возможность применения математических моделей для предварительного прогноза процессов аффинитета в зависимости от генотипа компонентов, из которых будут создаваться новые привитые растения. Естественно, что данные модели могут лишь отображать результаты совместимостей тех генотипов, которые включены в них и для расширения точности прогнозирования нуждаются в создании новых, более глобальных математических моделей, которые могли бы обеспечить прогностичность

Таблица 4. Корреляционная матрица влияния генотипа на выход стандартного привитого посадочного материала винограда из грунтовой школки

Table 4. Correlation matrix of the genotype effect on the yield of standard grafted planting material of grapes from an open-earth nursery

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8
	<i>Vitis riparia</i>	<i>Vitis rupestris</i>	<i>Vitis berlandieri</i>	<i>Chasselas</i>	Сира	Бионье	Мальбек	Каберне-Совиньон
X42	0,306	-0,328	0,017	0,01	0,077	0,321	-0,409	0,077
X1	1,000	-0,167	-0,408	-0,562	0,000	0,000	0,000	0,000
X2	-0,167	1,000	-0,612	-0,347	0,000	0,000	0,000	0,000
X3	-0,408	-0,612	1,000	0,162	0,000	0,000	0,000	0,000
X4	-0,562	-0,347	0,162	1,000	0,070	-0,023	-0,023	-0,023
X5	0,000	0,000	0,000	0,070	1,000	-0,333	-0,333	-0,333
X6	0,000	0,000	0,000	-0,023	-0,333	1,000	-0,333	-0,333
X7	0,000	0,000	0,000	-0,023	-0,333	-0,333	1,000	-0,333
X8	0,000	0,000	0,000	-0,023	-0,333	-0,333	-0,333	1,000

как можно большего генотипа растений. Однако, как ранее утверждалось, пока данное направление еще не получило распространения и находится только на стадии своего развития, как и другие направления цифровизации в науке и работы с большими массивами данных (БМД) для математической и статистической обработки. Поэтому в данном направлении следует проводить работу по накоплению и расширению цифровой базы данных сортовых генотипов и результативности их влияния на аффинитет растений с целью разработки новых прогностических моделей. При этом, когда подобные базы данных будут достаточно наполнены, можно осуществлять предварительный прогноз течения процессов аффинитета, роста и развития растений, отсекают явно несовместимые комбинации, вводя их в мелкоделяночное изучение, а явно совместимые, по данным этих же моделей, внедрять в промышленное производство. Это позволит в перспективе решить вопрос ускорения исследовательского процесса, а также быстрого внедрения в промышленное производство новых сортов и подвоев.

Кроме этого, имея подобные базы данных, а также учитывая особенности конкретных условий выращивания сортов подвоев и привоев, можно улучшить и гибридизационный процесс при выведении новых культурных форм винограда. Учитывая почвенные условия, селекционер подбирает те формы, которые отвечают требованиям нормального роста и развития корневых систем в почве. Однако в случае создания баз данных можно спрогнозировать также и влияние родительских форм на совместимость с ассортиментом привойных сортов, которые выращиваются в данной местности или считаются перспективными для внедрения. Точно так же и при выведении привойных сортов – наличие в них различных видов родительских форм на основе регрессионных моделей, представленных в формулах 10 и 11, позволит

спрогнозировать, с какими подвоями они могут быть совместимы и отвечает ли подобная совместимость требованиям к внедрению в производство в каком-то конкретном регионе.

Выводы

Разработаны регрессионные модели влияния генотипа подвойных и привойных сортов на приживаемость привитых стратифицированных черенков винограда (с точностью 69,69%) и на выход стандартных привитых саженцев из открытой грунтовой школки (точность 64,96%).

Установлено отрицательное влияние геноплазмы вида винограда *Vitis rupestris* и привойного сорта Мальбек на аффинитет и выход как стандартных стратифицированных привитых черенков, так и стандартных привитых саженцев.

Установлено положительное влияние геноплазмы вида винограда *Vitis riparia* и привойного сорта Бионье на выход стандартных привитых саженцев винограда.

В связи с увеличением воздействия неконтролируемых факторов внешней среды в условиях открытой грунтовой школки и наличием ранее удаленных неприжившихся привитых черенков, снижается влияние генетических факторов на выход стандартных саженцев в сравнении с производством стратифицированных привитых черенков.

Представленные подходы разработки регрессионных моделей могут использоваться в перспективном прогнозировании уровней совместимости сорто-подвойных комбинаций в научном и производственном процессе.

Источник финансирования

Работа выполнена при поддержке гранта Государственного Совета Республики Крым молодым ученым Республики Крым в номинации «Сельскохозяйственные науки» проект «Разработка универсальных способов ранней диагностики совместимости

сорто-подвойных комбинаций винограда» на основании Постановления Президиума Государственного Совета Республики Крым № п66-2/20 от 04.02.2020 г.

Financing source

The work was carried out with the support of the State Council of the Republic of Crimea Grant to young scientists of the Republic of Crimea in the nomination "Agricultural Sciences" project "Development of universal methods for early diagnosis of compatibility of variety-rootstock combinations of grapes" on the basis of the Presidium of State Council of the Republic of Crimea Decree No. p66-2/20 dated 04.02.2020.

Конфликт интересов

Иванова М.И. – проведение научно-исследовательских работ при поддержке гранта Государственного Совета Республики Крым молодым ученым Республики Крым в номинации «Сельскохозяйственные науки» проект «Разработка универсальных способов ранней диагностики совместимости сорто-подвойных комбинаций винограда» на основании Постановления Президиума Государственного Совета Республики Крым № п66-2/20 от 04.02.2020 г., другие авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests

Ivanova M.I. – carrying out research works with the support of the State Council of the Republic of Crimea Grant to young scientists of the Republic of Crimea in the nomination "Agricultural Sciences" project "Development of universal methods for early diagnosis of compatibility of variety-rootstock combinations of grapes" on the basis of the Presidium of State Council of the Republic of Crimea Decree No. p66-2/20 dated 04.02.2020, other authors stated no conflict of interest.

Список литературы

1. Vršič S., Pulko B., Kocsis L. Effects of rootstock genotypes on compatibility, biomass, and the yield of Welschriesling. *Horticultural Science*. 2016;43(2):92–99. DOI 10.17221/141/2015-HORTSCI.
2. Waite H., Whitelaw-Weckert M., Torley P. Grapevine propagation: Principles and methods for the production of high-quality grapevine planting material. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*. 2015;43(2)144–161. DOI 10.1080/01140671.2014.978340.
3. Жуков А.И., Перов Н.Н., Ильяшенко Н.Н. Привитая культура винограда. М.: Росагропромиздат. 1989:1–160.
4. Bianchi D., Grossi D., Tincani D.T.G., Di Lorenzo G.S., Brancadoro L., Rustioni L. Multi-parameter characterization of water stress tolerance in *Vitis* hybrids for new rootstock selection. *Plant Physiology and Biochemistry*. 2018;132:333–340. DOI 10.1016/j.plaphy.2018.09.018.
5. Migliaro D., De Lorenzis G., Di Lorenzo G.S., De Nardi B., Gardiman M., Failla O., Brancadoro L., Crespan M. Grapevine non-vinifera genetic diversity assessed by simple sequence repeat markers as a starting point for new rootstock breeding programs. *American Journal of Enology and Viticulture*. 2019;70(4):390–397. DOI 10.5344/ajev.2019.18054.
6. Gargin S., Altindisli A. A Research on the affinity coefficients of Red Globe grape variety with 140 R, 41 B rootstocks. *BIO Web of Conference*. 2014;3:01004. DOI 10.1051/bioconf/20140301004.
7. Berger M.M., Gallusci P., Teyssier E. Roles of epigenetic

mechanisms in grafting and possible applications. *Advances in Botanical Research*. 2018;88:203–246. DOI 10.1016/bs.abr.2018.10.003.

8. Clemente Moreno M.J., Hevin C., Ollat N., Cookson S.J. Developments at the graft interface in homo- and hetero- grafts: gene expression and histological changes during the first month after grafting. *Plant Signaling & Behavior*. 2014;9(6):e28852. DOI 10.4161/psb.28852.
9. Gaut B.S., Miller A.J., Seymour D.K. Living with two genomes: grafting and its implications for plant genome-to-genome interactions, phenotypic variation, and evolution. *Annual Review of Genetics*. 2019;53:195–215. DOI 10.1146/annurev-genet-112618-043545.
10. Assunção M., Santos C., Brazão J., Eiras-Dias J.E., Feveireiro P. Understanding the molecular mechanisms underlying graft success in grapevine. *BMC Plant Biology*. 2019;19:396. DOI 10.1186/s12870-019-1967-8.
11. Birnbaum K.D., Roudier F. Epigenetic memory and cell fate reprogramming in plants. *Regeneration*. 2017;4:15–20. DOI 10.1002/reg2.73.
12. Koepeke T., Dhingra A. Rootstock - scion somatogenetic interactions in perennial composite plants. *Plant Cell Reports*. 2013;32:1321–1337. DOI 10.1007/s00299-013-1471-9.
13. Hamdan A.S., Basheer-Salimia R. Preliminary compatibility between some table-grapevine scion and phylloxera-resistant rootstock cultivars. *Jordan Journal of Agricultural Science*. 2010;6:1–10.
14. Peccoux A., Loveys B., Zhu J., Gambetta G. A., Delrot S., Vivin P., Schultz H.R., Ollat N., Dai Z. Dissecting the rootstock control of scion transpiration using model-assisted analyses in grapevine. *Tree Physiology*. 2018;38(7):1026–1040. DOI 10.1093/treephys/tpx153.
15. Gautier A.T., Chambaud C., Brocard L., Ollat N., Gambetta G. A., Delrot S., Cookson S.J. Merging genotypes: graft union formation and scion-rootstock interactions. *Journal of Experimental Botany*. 2019;70(3):747–755. DOI 10.1093/jxb/ery422.
16. Иванченко В.И., Замета О.Г., Потанин Д.В., Зотиков А.Ю., Иванова М.И., Корниенко П.С. Питомниководство. Определение степени аффинитета (совместимости) сорто-подвойных комбинаций у винограда и плодово-ягодных культур: учебное пособие. Симферополь: Полипринт. 2021:29–38.
17. Елисеева И.И., Юзбашев М.М. Общая теория статистики: Учебник. Под ред. И.И. Елисеевой. 4-е издание, переработанное и дополненное. М: Финансы и Статистика, 2002:1–480.

References

1. Vršič S., Pulko B., Kocsis L. Effects of rootstock genotypes on compatibility, biomass, and the yield of Welschriesling. *Horticultural Science*. 2016;43(2):92–99. DOI 10.17221/141/2015-HORTSCI.
2. Waite H., Whitelaw-Weckert M., Torley P. Grapevine propagation: Principles and methods for the production of high-quality grapevine planting material. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*. 2015;43(2)144–161. DOI 10.1080/01140671.2014.978340.
3. Zhukov A.I., Perov N.N., Ilyashenko N.N. Grafted grape culture. М.: Росагропромиздат. 1989:1–160 (*in Russian*).
4. Bianchi D., Grossi D., Tincani D.T.G., Di Lorenzo G.S., Brancadoro L., Rustioni L. Multi-parameter characterization of water stress tolerance in *Vitis* hybrids for new rootstock selection. *Plant Physiology and Biochemistry*. 2018;132:333–340. DOI 10.1016/j.plaphy.2018.09.018.

5. Migliaro D., De Lorenzis G., Di Lorenzo G.S., De Nardi B., Gardiman M., Failla O., Brancadoro L., Crespan M. Grapevine non-vinifera genetic diversity assessed by simple sequence repeat markers as a starting point for new rootstock breeding programs. *American Journal of Enology and Viticulture*. 2019;70(4):390–397. DOI 10.5344/ajev.2019.18054.
6. Gargin S., Altindisli A. A Research on the affinity coefficients of Red Globe grape variety with 140 R, 41 B rootstocks. *BIO Web of Conference*. 2014;3:01004. DOI 10.1051/bioconf/20140301004.
7. Berger M.M., Gallusci P., Teyssier E. Roles of epigenetic mechanisms in grafting and possible applications. *Advances in Botanical Research*. 2018;88:203–246. DOI 10.1016/bs.abr.2018.10.003.
8. Clemente Moreno M.J., Hevin C., Ollat N., Cookson S.J. Developments at the graft interface in homo- and hetero- grafts: gene expression and histological changes during the first month after grafting. *Plant Signaling & Behavior*. 2014;9(6):e28852. DOI 10.4161/psb.28852.
9. Gaut B.S., Miller A.J., Seymour D.K. Living with two genomes: grafting and its implications for plant genome-to-genome interactions, phenotypic variation, and evolution. *Annual Review of Genetics*. 2019;53:195–215. DOI 10.1146/annurev-genet-112618-043545.
10. Assunção M., Santos C., Brazão J., Eiras-Dias J.E., Fevereiro P. Understanding the molecular mechanisms underlying graft success in grapevine. *BMC Plant Biology*. 2019;19:396. DOI 10.1186/s12870-019-1967-8.
11. Birnbaum K.D., Roudier F. Epigenetic memory and cell fate reprogramming in plants. *Regeneration*. 2017;4:15–20. DOI 10.1002/reg.2.73.
12. Koepke T., Dhingra A. Rootstock- scion somatogenetic interactions in perennial composite plants. *Plant Cell Reports*. 2013;32:1321–1337. DOI 10.1007/s00299-013-1471-9.
13. Hamdan A.S., Basheer-Salimia R. Preliminary compatibility between some table-grapevine scion and phylloxera-resistant rootstock cultivars. *Jordan Journal of Agricultural Science*. 2010;6:1–10.
14. Peccoux A., Loveys B., Zhu J., Gambetta G. A., Delrot S., Vivin P., Schultz H.R., Ollat N., Dai Z. Dissecting the rootstock control of scion transpiration using model-assisted analyses in grapevine. *Tree Physiology*. 2018;38(7):1026–1040. DOI 10.1093/treephys/tpx153.
15. Gautier A.T., Chambaud C., Brocard L., Ollat N., Gambetta G. A., Delrot S., Cookson S.J. Merging genotypes: graft union formation and scion-rootstock interactions. *Journal of Experimental Botany*. 2019;70(3):747–755. DOI 10.1093/jxb/ery422.
16. Ivanchenko V.I., Zameta O.G., Potantin D.V., Zotikov A. Yu., Ivanova M.I., Kornienko P.S. Nursery breeding. Determination of the affinity degree (compatibility) of variety-rootstock combinations in grapes and fruit and berry crops: a textbook. Simferopol: Polyprint. 2021:29–38 (*in Russian*).
17. Eliseeva I.I., Yuzbashev M.M. General theory of statistics: a textbook. Edited by I.I. Eliseeva. 4th edition, revised and expanded. M.: Finance and Statistics. 2002:1–480 (*in Russian*).

Информация об авторах

Дмитрий Валериевич Потанин, канд. с.-х. наук, доцент кафедры плодовоощеводства и виноградарства; e-мэйл: potantin.07@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-3724-8758>;

Маргарита Игоревна Иванова, начальник отдела организации учета применения средств химизации и разработки проектно-сметной документации; e-мэйл: imi_2712@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3749-9525>.

Вячеслав Иосифович Иванченко, д-р с.-х. наук, профессор кафедры плодовоощеводства и виноградарства; e-мэйл: magarach.iv@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8545-4233>;

Олег Григорьевич Замета, канд. с.-х. наук, доцент кафедры плодовоощеводства и виноградарства; e-мэйл: zameta_oleg@rambler.ru; <https://orcid.org/0000-0002-7449-2840>.

Information about authors

Dmitry V. Potantin, Cand. Agric. Sci., Associate Professor, Department of Horticulture and Viticulture; e-mail: potantin.07@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-3724-8758>;

Margarita I. Ivanova, Head of the Department for organization of accounting for the use of chemicals and development of design and estimate documentation; e-mail: imi_2712@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3749-9525>.

Vyacheslav I. Ivanchenko, Dr. Agric. Sci., Professor, Department of Horticulture and Viticulture; e-mail: magarach.iv@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8545-4233>;

Oleg G. Zameta, Cand. Agric. Sci., Associate Professor, Department of Horticulture and Viticulture; e-mail: zameta_oleg@rambler.ru; <https://orcid.org/0000-0002-7449-2840>.

Статья поступила в редакцию 30.05.2022, одобрена после рецензии 15.06.2022, принята к публикации 30.08.2022.