

УДК 634.1:58.084.2:519.233.4

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ДИСПЕРСИОННОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ МНОГОФАКТОРНЫХ ОПЫТОВ В САДОВОДСТВЕ

**Бобрович Лариса Викторовна**

доктор сельскохозяйственных наук, профессор

bobrovich63@mail.ru

**Андреева Нина Васильевна**

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры агрохимии,

почвоведения и агроэкологии

89158708767@mail.ru

Мичуринский государственный аграрный университет

г. Мичуринск, Россия

**Аннотация:** В статье показаны возможности практического применения трехфакторной схемы дисперсионного анализа в исследованиях с плодовыми и ягодными культурами, так как многофакторный опыт в отличие от однофакторного позволяет выявить не просто влияние двух или более факторов в одном стационарном опыте на тот или иной результативный показатель и их сочетание, но и установить наличие взаимодействия факторов.

Приведен алгоритм математической обработки результатов многофакторных экспериментов на конкретном примере – по сравнению сортов земляники при двух фонах предпосадочной подготовки почвы и двух вариантах содержания земляничной плантации, т.е. при изучении воздействия трех факторов (сорт, предпосадочное удобрение и удобрение плантации), в двух градациях каждый (2x2x2).

**Ключевые слова:** вариабельность показателей, дисперсионный анализ, многофакторный опыт, статистическая обработка, критерий существенности, взаимодействие факторов, садоводство.

Статистическое обоснование схемы эксперимента диктует и способы математического анализа его результатов.

Во многих случаях эксперимент с живыми организмами (биологический, сельскохозяйственный) может быть повторен на конкретном организме (особи) многократно, например при изучении сортовых особенностей плодовых и ягодных растений в зависимости от условий выращивания. Определенная повторность может быть получена при изучении не самих отдельно взятых организмов, но и их отдельных частей (элементов – штамбов, приростов, листьев, плодовых образований и пр.) Статистическая обработка дает возможность получить конкретные обобщенные характеристики для собранных по этим показателям данных (средние значения и др.). Но, индивидуальная изменчивость организмов каждой популяции не позволяет считать среднее значение по особи средним значением по виду в целом. Поэтому исследователям приходится, несмотря на многократное повторение опытов по отдельно взятым организмам (особям) или изучение различных частей (элементов) конкретного организма, проводить повторные эксперименты с другими организмами (особями) изучаемого вида. Важным при проведении опытов остается вопрос количественного соотношения повторностей «внутри» организмов и повторностей с разными организмами (особями). В случае превышения вариабельности между организмами вариабельности внутри отдельно взятого организма (особи) - повторение эксперимента несколько раз по каждой конкретной особи бессмысленно, и наоборот. А так как изменчивость признаков в исследованиях количественно можно охарактеризовать дисперсией, то и решение поставленного вопроса сводится

к сравнению дисперсий соответствующих распределений. А это достигается с помощью дисперсионного анализа [3, 5, 9-11].

Дисперсионный анализ широко используется для планирования эксперимента и статистической обработки его результатов в садоводстве. Этот метод позволяет одновременно обрабатывать данные нескольких выборок (вариантов), которые составляют единый статистический комплекс, представляемый в виде специальной таблицы. Это особенно важно при изучении различных вопросов выращивания плодовых и ягодных культур, где зачастую приходится учитывать целый ряд воздействующих на организмы факторов как антропогенного, так и природного характера [1, 2, 4, 12]. Структура статистического комплекса и его последующий анализ зависят от схемы и методики эксперимента. Современный эксперимент в садоводстве, на наш взгляд, невозможно правильно спланировать и провести без применения различных схем дисперсионного анализа [1, 2, 13].

Многофакторный опыт позволяет в отличие от однофакторного выяснить не только влияние двух или более факторов в одном стационарном опыте, но и их взаимодействия на тот или иной результативный показатель или даже несколько показателей. Естественно, что многофакторные опыты несут значительно больше информации, чем однофакторные. Кроме этого, многофакторные опыты позволяют снизить затраты средств, труда и времени на научное решение тех или иных вопросов [1, 4, 6, 7].

Например, необходимо понять, влияет ли глубина предпосадочной вспашки и внесение предпосадочного удобрения на рост и плодоношение яблони. При отдельном рассмотрении воздействия этих двух факторов необходимо провести два однофакторных эксперимента, на что потребуются большая площадь, много посадочного материала и значительные затраты времени и средств на проведение учетов, наблюдений и т. д... И, тем не менее, в таком случае мы не сможем ответить на вопрос наличия влияния взаимодействия этих двух факторов на ростовые показатели и плодоношение яблони, что важно для исследователя и, следовательно,

придется проводить еще один опыт. Если же заложить двухфакторный опыт по изучению этих интересующих нас факторов, то все отмеченные затруднения снимаются. Особый интерес представляет постановка и изучение более сложных схем по факторам и градациям многофакторных опытов, чему и были посвящены наши исследования по особенностям обработки результатов исследований с применением трех- и четырехфакторных схем дисперсионного анализа [14-20].

В исследованиях с плодовыми и ягодными растениями часто может возникнуть необходимость проведения трех-, четырех- и даже более факторного дисперсионного анализа.

Во всех этих случаях дело фактически сводится к последовательному применению двухфакторного анализа. Если каждый фактор имеет  $m$  уровней, то переход от двухфакторного комплекса к трехфакторному означает переход от таблицы вида  $m \times m$  к таблице вида  $m \times m \times m$  и т.д. Не обязательно ставить опыты так, чтобы каждому уровню какого-либо изучаемого фактора соответствовала отдельная серия наблюдений при постоянном уровне других факторов. Статистический анализ позволяет извлечь необходимую информацию и при такой постановке опытов, когда одновременно варьирует значение нескольких факторов. Как правило, при этом требуется выполнить меньшее число опытов, кроме того, удастся оценить эффект взаимодействия факторов.

Рассмотрим схему дисперсионного анализа трехфакторного опыта в исследованиях Мичуринского ГАУ на различных сортах земляники. Покажем результаты сравнения двух сортов – Фестивальная (1) и Комсомолка (2), при двух фонах предпосадочной подготовки почвы – без удобрений (1) и при внесении навоза 30 т/га - P<sub>60</sub> K<sub>60</sub> (2) и двух вариантах содержания земляничной плантации – без удобрений (1) и N<sub>90</sub> при дробном внесении (2). Таким образом, изучается воздействие трех факторов – сорт (фактор А), предпосадочное удобрение (фактор В) и удобрение плантации (фактор С), в двух градациях каждый (2x2x2).

Данные о средней урожайности за 4 года по изучавшимся вариантам представлены в таблице 1.

Таблица 1

Трехфакторный опыт 2x2x2

Факторы			Повторения				$\Sigma_{B1}$	M
A	B	C	I	II	III	IV		
1	1	1	79	80	86	72	317	79
	2	2	96	106	105	104	411	103
		1	70	94	95	90	349	87
		2	91	104	113	91	399	100
2	1	1	72	72	83	78	305	76
	2	2	84	93	108	112	397	99
		1	73	84	89	90	336	84
		2	83	95	111	104	393	98
		$\Sigma_n$	648	728	790	741	$\Sigma_X=2907$	$M_0=91$

В этой таблице в соответствии с последовательностью проведения дисперсионного анализа вычисляют суммы по вариантам, повторениям и общую, а также средние по вариантам и опыту. После чего составляют следующую таблицу, в которую заносят суммы по вариантам ( $\Sigma_{B1}$ ) в следующем порядке (таблица 2).

Таблица 2

Таблица факторов и взаимодействий

Варианты	$\Sigma_{B1}$	$\bar{X}_1$	$\bar{X}_2$	D	M
0	317	728	1476	2907	79
C	411	748	1431	293	103
B	349	702	144	47	87
BC	399	729	149	-79	100
A	305	94	20	-45	76
AC	397	50	27	5	99
AB	336	92	-44	7	84
ABC	393	57	-35	9	98

После соответствующей записи сумм урожаев по вариантам, находят так называемые эффекты и их показатели записывают в графах Э<sub>1</sub>, Э<sub>2</sub> и Д.

Вычисляют сумму квадратов, суммы квадратов по вариантам и взаимодействиям..

Далее составляют таблицу результатов дисперсионного анализа (таблица 3).

Таблица 3

Таблица результатов дисперсионного анализа трехфакторного опыта 2x2x2

Виды варьирования	Суммы квадратов, $\Sigma Q$	Степени свободы, $\gamma$	Дисперсия $S^2$	Критерий существенности	
				$F_{\phi}$	$F_{0,95}$
Общее	5150,2	32 – 1 = 31	-	-	-
Повторений	1300,8	4 - 1 = 3	-	-	-
Фактор С	2682,8	2 – 1 = 1	$\frac{2682,8}{1} = 2682,8$	$\frac{2682,8}{39,7} = 67,5$	
Фактор В	6,9	2 – 1 = 1	69,0	1,73	
Взаимодействия ВС	195,0	(2 – 1) * (2 – 1) = 1	195,0	4,91	4,32
Фактор А	63,3	2 – 1 = 1	63,3	0,02	
Взаимодействия АС	0,8	(2 – 1) * (2 – 1) = 1	0,8	0,02	
Взаимодействия АВ	1,5	(2 – 1) * (2 – 1) = 1	1,5	0,04	
Взаимодействия АВС	2,5	(2 – 1) * (2 – 1) * (2 – 1) = 1	25	0,06	
Случайные погрешности	896,6	31 – 10 = 21	$\frac{834,5}{21} = 39,7$	-	-

Таким образом, достоверное положительное влияние в опыте установлено по фактору С (удобрение азотом земляничной плантации) и взаимодействия ВС (предпосадочное удобрение + азот на плантации).

Различия между сортами (фактор А), фонами предпосадочной подготовки почвы (фактор В), а также по взаимодействиям АВ, АС, АВС не являются существенными.

Затем определяют наименьшую существенную разницу (НСР):

- для частных различий и взаимодействий АВС

$$S_d = \sqrt{\frac{2 * S_c^2}{n}} = \sqrt{\frac{2 * 39,7}{4}} = 4,45 \text{ ц/га},$$

$$НСР_{\text{ч}} = t + S_d = 2,08 * 4,45 = 9,26 \text{ ц/га},$$

( $t = 2,08$  для  $\gamma = 21$  случайных погрешностей),

- по факторам А, В, С

$$S_d = \sqrt{\frac{2 * S_c^2}{n * n_{\phi}}} = \sqrt{\frac{2 * 39,7}{4 * 2}} = 3,15 \text{ ц/га},$$

$$НСР_{A,B,C} = t + S_d = 2,08 * 3,15 = 6,55 \text{ ц/га},$$

- для сравнения со средней по опыту –

$$S_d = \sqrt{\frac{S_c^2 (n_A - 1)(n_B - 1)(n_C - 1)}{n_A + n_B + n_C}} = \sqrt{\frac{39,7 * 1}{2 * 2 * 2}} = 2,2 \text{ ц/га},$$

$$НСР_{\text{ср}} = t + S_d = 2,08 * 2,2 = 4,6 \text{ ц/га}.$$

Сравнения различий по НСР подтверждают результаты дисперсионного анализа и оценку вариантов по F-критерию.

### **Заключение.**

Преимущества применения многофакторных схем дисперсионного анализа приобретают особенно большое значение при испытании новых сортов сельскохозяйственных культур, когда необходимо получить информацию не только о сравнительных достоинствах того или иного сорта, но и о методах обработки почвы, количестве и видах удобрений и т.д. Постановка отдельных опытов для решения каждого из этих вопросов была бы чрезвычайно трудоемкой. Кроме того, не было бы учтено такое важное обстоятельство, что один сорт, лучший при одних условиях, может при других условиях оказаться худшим; данное удобрение на одной почве дает положительный эффект, а другой – отрицательный и т.д.

### Список литературы:

1. Биометрия плодовых культур: монография / В.А. Потапов, А.И. Завражнов, Л.В. Бобрович, В.Н. Петрушин. – Мичуринск, 2004. – 332 с.
2. Бобрович Л.В. Иерархический анализ экспериментальных данных / Л.В. Бобрович, Н.В. Картечина, Н.В. Андреева, С.О. Чиркин // Наука и Образование. - 2019. - Т. 2. - № 3. - С. 2.
3. Инсектициды против яблонной плодожорки / Н.Я. Каширская, А.М. Каширская, Ю.А. Медведева, Т.В. Раскатова // Защита и карантин растений. - 2012. - № 5. - С. 26.
4. Картечина Н.В. Вариационно-статистические характеристики показателей роста и плодоношения яблони на слаборослых клоновых подвоях и необходимая повторность в исследованиях: автореф. канд. дис... - Мичуринск, 2004. - 24 с.
5. Кузин А.И. Оптимизация азотного питания яблони (*Malus domestica* Borkh) при фертигации и внесении бактериальных удобрений / А.И. Кузин, Ю.В. Трунов, А.В. Соловьев // Сельскохозяйственная биология. - 2018. - Т. 53. - № 5. - С. 1013-1024.
6. Многофакторный дисперсионный анализ в садоводстве / С.В. Фролова, Л.И. Никонорова, Н.В. Картечина, Л.В. Бобрович, З.Н. Тарова, И.Н. Мацнев // Сб.: Почвы и их эффективное использование: материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию со дня рождения доктора сельскохозяйственных наук, заслуженного деятеля науки Российской Федерации, профессора В.В. Тюлина, 2018. - С. 250-255.
7. Никонорова Л.И. Использование неортогональных схем дисперсионного анализа в стационарном опыте в исследованиях по плодородию в зависимости от необходимого расчетного числа повторностей / Л.И. Никонорова, Л.В. Бобрович, С.В. Фролова // Вопросы

современной науки и практики. Университет им. В.И Вернадского. – 2006. - №3(5). - С.27-32.

8. Оценка устойчивости плодовых растений к дестабилизирующим воздействиям на основе анализа спектров отражения листьев / А.Н. Юшков, Н.В. Борзых, А.И. Бутенко // Журнал прикладной спектроскопии. - 2016. - Т. 83. - № 2. - С. 323-328.

9. Плодоводство: учебное пособие / Под ред. Ю. В. Трунова и Е. Г. Самощенко. - Москва: изд-во КолосС, 2012. – 415 с.

10. Полиморфизм генов биосинтеза этилена и экспансина у местных и стародавних сортов яблони (*Malus domestica* Borkh.) из коллекции генетических ресурсов растений ВИР / И.Н. Шамшин, А.В. Шлявас, А.А. Трифонова, К.В. Борис, А.М. Кудрявцев / Вавиловский журнал генетики и селекции. - 2018. - Т. 22. - № 6. - С. 660-666.

11. Система производства плодов яблони в интенсивных садах средней полосы России: учебное пособие / Ю.В. Трунов, В.А. Гудковский, Н.Я. Каширская, Т.Г.Г. Алиев и др. -. Мичуринск: ООО рекламно-издательская фирма «Кварта», 2011. – 176 с.

12. Статистическая оценка динамики роста и плодоношения яблони / Картечина Н.В., Бутенко А.И, Брижанский Л.В., Пчелинцева Н.В., Бобровиц Л.В. // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. – Мичуринск. – 2018. - № 2. - С. 31-36.

13. Фролова С.В. Сравнение применения методов дисперсионного анализа и t-критерия Стьюдента для обработки экспериментальных данных стационарного опыта в целом, а также при их частичной утрате Нива Поволжья / С.В. Фролова, Л.И. Никонорова, Л.В. Бобровиц. - 2010. - № 3 (16). - С. 46-49.

14. Юшков А.Н. Оценка устойчивости плодовых растений к дестабилизирующим воздействиям на основе анализа спектров отражения листьев / А.Н. Юшков, Н.В. Борзых, А.И. Бутенко // Журнал прикладной спектроскопии. - 2016. - Т. 83. - № 2. - С. 323-328.

15. Arreola J.A. Effect of calcium, boron and molybdenum on plant growth and bract pigmentation in poinsettia / J.A. Arreola, A.M.C. González, L.A.V. Aguilar, M.T.C. León, J.P.

16. Brunetto G. The role of mineral nutrition on yields and fruit quality in grapevine, pear and apple / G. Brunetto, G.W.B. de Melo, M. Toselli, M. Quarrieri, M. Tagliavini // Revista Brasileira de Fruticultura. – 2015a. – Vol. 37, No. 4 – Pp. 1089-1104.

17. Charrier G. Effects of environmental factors and management practices on microclimate, winter physiology, and frost resistance in trees [Electronic resource] / G. Charrier, J. Ngao, M. Saudreau, T. Ameglio // Frontiers in Plant Science. – 2015. – Vol. 6. – Access mode: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2015.00259/full>.

18. Effect of spatial coherence of light on the photoregulation processes in cells / A.V. Budagovsky, N.V. Solovykh, M.B. Yankovskaya, M.V. Maslova, O.N. Budagovskaya, I.A. Budagovsky // Physical Review E. - 2016. - T. 94. - № 1. - C. 012411.

19. Kuzin A.I. Effect of fertigation on yield and fruit quality of apple (*Malus domestica* Borkh.) in high-density orchards on chernozems in central Russia / A.I. Kuzin, Y.V. Trunov, A.V. Solovyev // Acta Horticulturae. -2018. - T. 1217. - C. 343-349.

20. Pineda E.A. García / Revista Fitotecnia Mexicana. –2008. – Vol. 31, No. 2. – Pp. 165-172.

**UDC 634.1:58.084.2:519.233.4**

**PRACTICAL APPLICATION OF DISPERSION ANALYSIS OF DATA OF  
MULTI-FACTORY EXPERIENCES IN GARDENING**

**Bobrovich Larisa Viktorovna**

Doctor of Agricultural Sciences, Professor

bobrovich63@mail.ru

**Andreeva Nina Vasilievna**

Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor

89158708767@mail.ru

Michurinsk State Agrarian University

Michurinsk, Russia

**Annotation.** The article shows the possibilities of the practical application of the three-factor analysis of variance analysis in studies with fruit and berry crops, since multivariate experience, in contrast to univariate, allows one to identify not only the influence of two or more factors in one stationary experiment on one or another productive indicator and their combination, but also to establish the presence of interaction factors. **Keywords.** Apple tree, weak clonal stocks, estimated indicators, trunk capacity, rate of availability.

An algorithm for the mathematical processing of the results of multifactor experiments is presented using a specific example - comparing strawberry varieties with two backgrounds of preplanting soil preparation and two options for maintaining strawberry plantations, i.e. when studying the effects of three factors (variety, pre-planting fertilizer and plantation fertilizer), in two gradations each (2x2x2).

**Keywords:** variability of indicators, analysis of variance, multivariate experience, statistical processing, materiality criterion, interaction of factors, gardening

