

## К вопросу определения достоверности различий средних за ряд лет показателей краткосрочных полевых опытов

И. И. Берестов, доктор с.-х. наук

Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию

(Дата поступления статьи в редакцию 23.08.2018 г.)

*В статье показано, что оценка достоверности различий между средними показателями краткосрочного полевого опыта, проведенная по результатам обработки данных сводного дисперсионного комплекса методом дисперсионного анализа или разностным методом по  $t$ -критерию Стьюдента, а также методами, учитывающими величину наименьшей существенной разности (НСР) или ошибку опыта в отдельные годы исследования, дает одинаковые или близкие результаты, когда характер различия между вариантами опыта в разных погодных условиях существенно не изменяется. В противном случае оценка достоверности различий путем попарного сравнения данных сводного дисперсионного комплекса по  $t$ -критерию Стьюдента более объективна, чем оценка по другим методам.*

### Введение

Методы оценки достоверности различий вариантов опытов по урожайности сельскохозяйственных культур или другим показателям, изложенные во многих известных руководствах по дисперсионному анализу, рассчитаны преимущественно на статистическую обработку однолетних данных [1–4]. Вместе с тем остается недостаточно проработанной методика оценки различий среднесезонных данных краткосрочных полевых опытов с однолетними культурами, высеваемыми каждый год на новом участке. С агрономической точки зрения эти различия представляют наибольший интерес, так как служат основой для обоснованного сравнения эффективности тех или иных приемов, технологий, сортов, что необходимо для разработки производственных рекомендаций.

Следует отметить, что попытки разработать метод статистической обработки многолетних опытных данных предпринимались многими исследователями давно. П. Н. Константинов [2] рекомендовал обрабатывать такие данные разностным методом с использованием в качестве аналогов повторений средние данные вариантов по годам. Б. А. Доспехов [1], А. С. Молостов [3], В. Н. Перегудов [4] обработку многолетних данных при аналогичных повторениях предлагали проводить методом дисперсионного анализа.

В настоящее время существуют приемы, с помощью которых наименьшую существенную разность между средними показателями многолетнего опыта устанавливают по величине НСР в отдельные годы исследований. Для этого используют большее годовое значение либо весь диапазон колебаний или среднюю величину НСР за годы эксперимента. В. И. Короневский [6] предлагает проводить расчет обобщенной НСР для средних многолетних данных по сумме возведенных в квадрат годовых величин НСР, разделенной на число лет опыта, и извлечения из полученного частного квадратного корня. В. П. Томилов [7] для обработки многолетних опытных данных рекомендует метод обобщенной ошибки. Согласно этому методу, из суммы возведенных в квадрат ежегодных ошибок опыта извлекается квадратный корень, полученное

*The article shows that the reliability of differences assessment between the average indicators of short-term field experiment, carried out according to the results of data processing of the composite dispersion complex using the method of variance analysis or the difference method using the Student's  $t$ -criterion, as well as methods taking into account the magnitude of the least significant difference (LSD) or the experimental error in some years of research, gives the same or similar results, when the nature of the difference between the experimental variants under different weather does not change significantly. Otherwise, the assessment of the reliability of differences by pairwise data comparison of the composite dispersion complex by the Student's  $t$ -criterion is more objective than the assessment by other methods.*

число делится на количество лет проведения опыта. НСР определяется путем умножения табличного значения критерия Стьюдента ( $t_{05}$ ) на обобщенную многолетнюю ошибку разности средних. Число степеней свободы для отыскания  $t_{05}$  находят путем умножения суммарного числа повторений за все годы проведения опыта за вычетом одного на число вариантов опыта, уменьшенное на единицу.

Р. А. Афанасьев [8] считает целесообразным перед проведением дисперсионного анализа многолетних данных полевых опытов результаты учета по всем вариантам, повторениям и полям (годам), согласно рекомендации зарубежных биометриков Дж. Уишарта и Г. Сандерса [5], сводить в одну таблицу (так называемый сводный дисперсионный комплекс). При таком подходе помимо влияния на изучаемый показатель вариабельности почвенного плодородия в полевом опыте учитывается также вариабельность, связанная с погодными условиями, что, по нашему мнению, делает оценку различий между вариантами более обоснованной.

В литературе встречаются и другие способы определения доверительного интервала методом дисперсионного анализа для средних многолетних показателей полевых опытов [9–13].

Таким образом, можно утверждать, что единого метода при расчете НСР для средних многолетних показателей в краткосрочных полевых опытах не существует. В связи с этим считаем необходимым провести оценку отдельных методов статистической обработки данных краткосрочного полевого опыта с целью определения достоверности различий между его вариантами.

### Методика проведения исследований

Сравнительная оценка разных методических подходов при статистической обработке опытных данных была осуществлена на фрагменте опыта с кукурузой на зерно В. П. Ждановича, опубликованного в журнале «Земляробства і ахова раслін» [9]. Статистические характеристики изменчивости урожайности зерна в опыте изучали на вариантах 1–5 (выборка 1) и 2–5 (выборка 2).

Расчет наименьшей существенной разности между средними за ряд лет показателями проводили по методам обобщенной НСР [6] и обобщенной ошибки опыта [7], по максимальному годовому значению НСР, а также по результатам обработки данных сводного дисперсионного комплекса методом дисперсионного анализа и разностным методом по t-критерию Стьюдента.

**Результаты исследований и их обсуждение**

Как видно из таблиц 1 и 2, урожайность зерна кукурузы существенно изменялась в зависимости от погодных условий года и варианта опыта. При этом высокая эффективность отдельных вариантов опыта наблюдалась не во все годы.

Например, вариант 1 по урожайности зерна во второй год опыта статистически значимо уступал вариантам 2–5, а в третий год опыта, наоборот, превысил их. Относительная ошибка средней в выборке 1 при этом была низкая (1,87 % – во второй год, 2,77 % – в третий), НСР<sub>05</sub> изменялась от 3,66 до 4,98 ц/га. В выборке 2 НСР<sub>05</sub> была несколько выше (3,73–5,74 ц/га).

Анализ изменчивости урожайности зерна в годы исследований по данным сводного дисперсионного комплекса показал, что у варианта 1 она была значительной (v = 30,8 %), по другим вариантам – средней (v = 14,5–17,5 %) (таблица 3). Соответственно и от-

носительная ошибка средней изменялась от 8,90 до 4,18–5,05 %.

При дисперсионном анализе данных сводного дисперсионного комплекса выборки 2, в состав которой вошли варианты с примерно одинаковой изменчивостью урожайности зерна в годы исследований, НСР<sub>05</sub> была равна 3,43 ц/га (таблица 4). Включение в выборку 2 урожайных данных варианта 1 существенно изменяло результаты дисперсионного анализа.

Особенности варианта 1, связанные с погодными условиями, при обработке урожайных данных дисперсионным методом принимались за ошибку. В связи с этим доля остатка (ошибки) в общей дисперсии в выборке 1 в сравнении с выборкой 2 возрастала в 4 раза при снижении доли вариантов в 1,5 и повторений – в 1,2 раза. НСР увеличивалась в два с лишним раза (до 7,36 ц/га).

Отметим, что наименьшая существенная разность урожайности зерна в выборке 1 в среднем за три года, рассчитанная по методу обобщенной НСР, составила 4,18 ц/га, по методу обобщенной ошибки – 2,24 ц/га. В выборке 2 эти показатели были равны соответственно 4,73 и 2,45 ц/га.

Как известно, оценку различий между вариантами опытов можно проводить не только методом дисперсионного анализа с использованием критерия Фишера

**Таблица 1 – Урожайность зерна кукурузы по делянкам опыта в годы исследований (сводный дисперсионный комплекс), ц/га**

Вариант	Первый год				Второй год				Третий год			
	повторения											
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	89,3	88,6	88,9	89,8	43,7	42,8	41,8	38,2	68,8	71,1	66,5	64,2
2	88,1	83,8	84,4	89,7	71,3	75,6	72,7	73,2	64,7	66,3	60,5	57,6
3	61,1	66,2	68,0	60,4	57,6	55,6	60,2	59,1	45,0	47,5	45,0	42,0
4	84,2	83,9	87,1	85,5	65,9	63,5	64,7	67,4	54,7	59,3	60,1	57,4
5	88,5	88,1	90,6	92,3	77,1	81,9	82,4	76,7	63,4	56,4	56,2	63,6

**Таблица 2 – Урожайность зерна кукурузы по вариантам опыта и статистические параметры результатов исследования**

Год опыта	Урожайность, ц/га					Статистические параметры							
	варианты опыта					выборка 1 (вар. 1–5)				выборка 2 (вар. 2–5)			
	1	2	3	4	5	$\bar{X}$	$S_{\bar{X}}$	$S_{\bar{X}}\%$	НСР <sub>05</sub>	$\bar{X}$	$S_{\bar{X}}$	$S_{\bar{X}}\%$	НСР <sub>05</sub>
1	89,2	86,5	63,9	85,2	89,9	82,9	1,24	1,50	3,81	81,4	1,41	1,73	4,49
2	41,6	73,2	58,1	65,4	79,5	63,6	1,19	1,87	3,66	69,1	1,17	1,69	3,73
3	67,6	62,3	44,9	57,9	59,9	58,5	1,62	2,77	4,98	56,2	1,80	3,20	5,74

**Таблица 3 – Статистические характеристики количественной изменчивости урожайности зерна кукурузы по вариантам опыта (по данным сводного дисперсионного комплекса)**

Показатель	Варианты				
	1	2	3	4	5
Средняя арифметическая ( $\bar{X}$ )	66,1	74,0	55,6	69,5	76,4
Дисперсия ( $s^2$ )	415,96	114,42	75,64	147,59	176,86
Стандартное отклонение (s)	20,39	10,70	8,70	12,15	13,30
Ошибка средней арифметической ( $S_{\bar{X}}$ )	5,89	3,09	2,51	3,51	3,84
Коэффициент вариации (v)	30,8	14,5	15,6	17,5	17,4
Относительная ошибка средней ( $S_{\bar{X}}\%$ )	8,90	4,18	4,51	5,05	5,02

Таблица 4 – Результаты дисперсионного анализа урожайности зерна по данным сводного дисперсионного комплекса

Дисперсия	Сумма квадратов	Степени свободы	Средний квадрат	F <sub>факт.</sub>	F <sub>табл.</sub>	Доля в общей дисперсии, %
<b>Выборка 1 (варианты 1–5)</b>						
Общая	13413,02	59				
Повторений	6690,01	11				49,9
Вариантов	3177,74	4	794,44	9,86	2,58	23,7
Остаток (ошибка)	3545,27	44	80,57			26,4
$S_{\bar{x}} = 2,59; НСР_{05} = 7,36 \text{ ц/га}$						
<b>Выборка 2 (варианты 2–5)</b>						
Общая	8765,14	47				
Повторений	5091,58	11				58,1
Вариантов	3105,47	3	1035,16	60,15	2,90	35,4
Остаток (ошибка)	568,09	33	17,21			6,5
$S_{\bar{x}} = 1,20; НСР_{05} = 3,43 \text{ ц/га}$						

(F), но и так называемым разностным методом с использованием критерия Стьюдента (t). По последнему методу, разработанному английским статистиком и химиком В. Госсетом более века назад и принятому нами в качестве эталона, для двух сопряженных выборок вычисляют ошибку разности средних ( $S_{\bar{d}}$ ) и критерий существенности (t). Число степеней свободы для определения величины  $t_{табл.}$  при заданном уровне значимости находят по числу сопряженных пар (n) за вычетом единицы. Если  $t_{факт.}$  менее  $t_{табл.}$  нулевая гипотеза не опровергается [1].

Как видно из таблицы 5, разность урожайности зерна между вариантами 1 и 2 (7,9 ц/га), определенная

разностным методом по t-критерию, оказалась несущественной ( $t_{факт.} < t_{табл.}$ ). Такой же результат оценки получен и при сравнении урожайности варианта 1 с урожайностью других вариантов выборки (таблица 6). И хотя разность в урожайности зерна при этом была значительной (с вариантом 3 – 10,5, с вариантом 5 – 10,3 ц/га),  $НСР_{05}$  была еще больше (соответственно 12,83 и 13,35 ц/га).

Оценка существенности разности между вариантами опыта выборки 1, полученная другими методами, в сравнении с оценкой по t-критерию, дала другие результаты. По  $НСР$ , рассчитанной по методу обобщенной ошибки, различия между всеми вариантами вы-

Таблица 5 – Определение существенности средней разности урожайности зерна между вариантами опыта разностным методом по данным сводного дисперсионного комплекса (сопряженные выборки)

Показатели		Урожайность зерна, ц/га		Разность d	Квадрат разности d <sup>2</sup>
год	повторения	вариант 1	вариант 2		
1	1	89,3	88,1	1,2	1,44
	2	88,6	83,8	4,8	23,04
	3	88,9	84,4	4,5	20,25
	4	89,8	89,7	0,1	0,01
2	1	43,7	71,3	-27,6	761,76
	2	42,8	75,6	-32,8	1075,84
	3	41,8	72,7	-30,9	954,81
	4	38,2	73,2	-35,0	1225,0
3	1	68,8	64,7	4,1	16,81
	2	71,1	66,3	4,8	23,04
	3	66,5	60,5	6,0	36,0
	4	64,2	57,6	6,6	43,56
Суммы		793,7	887,9	-94,2	4181,56
Средние		66,1	74,0	-7,9	

$$s_{\bar{d}} = \sqrt{\frac{\sum d^2 - (\sum d)^2 : n}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{4181,56 - 739,47}{132}} = 5,11;$$

$$t = \frac{\bar{d}}{s_{\bar{d}}} = \frac{7,9}{5,11} = 1,54; \quad НСР_{05} = t_{05} * s_{\bar{d}} = 2,20 * 5,11 = 11,24$$

Примечание – Значения t при уровне значимости 0,05 – 2,20; 0,01 – 3,11; 0,001 – 4,44.

Таблица 6 – Существенность средней за ряд лет разности урожайности зерна между вариантами опыта, определенная разными методами (выборка 1)

Сравниваемые варианты	Разность урожайности, ± ц/га	Результаты дисперсионного анализа				Результаты разностного метода		
		по методу обобщенной НСР (НСР <sub>05</sub> = 4,18)	по методу обобщенной ошибки (НСР <sub>05</sub> = 2,24)	по максимальному значению НСР (НСР <sub>05</sub> = 4,98)	по данным сводного комплекса (НСР <sub>05</sub> = 7,36)	t-критерий	НСР <sub>05</sub> , ц/га	существенность разности
		Существенность разности						
1–2	7,9	+	+	+	+	1,54	11,24	–
1–3	10,5	+	+	+	+	1,80	12,83	–
1–4	3,4	–	+	–	–	0,74	9,86	–
1–5	10,3	+	+	+	+	1,70	13,35	–
2–3	18,4	+	+	+	+	12,23	3,30	+
2–4	4,5	+	+	–	–	3,48	2,86	+
2–5	2,4	–	+	–	–	1,55	3,45	–
3–4	13,9	+	+	+	+	7,36	4,14	+
3–5	20,8	+	+	+	+	11,18	4,09	+
4–5	6,9	+	+	+	–	3,52	4,36	+

Примечание – + Достоверное различие; – различие несущественно.

борки были существенны. Близкие результаты были получены, когда оценка проводилась по методу обобщенной НСР и максимальному значению НСР, а также при обработке данных сводного дисперсионного комплекса методом дисперсионного анализа. Объяснить это можно тем, что определение достоверности различий средних за ряд лет показателей полевых опытов на основании статистической обработки данных за отдельные годы не учитывало изменение разности вариантов между собой, связанной с погодными условиями, и поэтому занижало ошибку опыта. При обработке же данных сводного дисперсионного комплекса методом дисперсионного анализа происходило смешивание пространственного и временного варьирования данных, особенно значительное у варианта 1, что не позволяло проводить несмещенную оценку достоверности различий средних за ряд лет показателей.

Следует отметить, что в отличие от метода дисперсионного анализа оценка различий вариантов путем попарного сравнения данных по t-критерию позволяла рассчитать НСР не общую для всех вариантов, а для каждой сравниваемой пары, что, по нашему мнению,

делало ее более обоснованной. Последнее более важно, чем увеличение объема вычислений при использовании разностного метода, выполнить который при нынешних технических возможностях не представляет больших трудностей. К тому же дополнительную оценку по t-критерию можно не проводить, если разница между отдельными вариантами (например, 2 и 3, 3 и 4, 3 и 5) ежегодно существенна (превышает НСР) и одинакова по направлению.

При статистической обработке урожайных данных выборки 2, состоящей из вариантов с близкими величинами индивидуальной ошибки, оценка достоверности различий между вариантами опыта после обработки данных сводного дисперсионного комплекса методом дисперсионного анализа и разностным методом по t-критерию была одинаковой (таблица 7). Такие же результаты оценки получены и при определении существенности разности урожайности зерна между вариантами опыта по методу обобщенной ошибки. Оценка достоверности разности по методу обобщенной НСР и по максимальному значению НСР в основном совпадала с оценкой другими методами.

Таблица 7 – Результаты оценки существенности разности урожайности зерна между вариантами опыта, определенной разными методами (выборка 2)

Сравниваемые варианты	Разность урожайности, ± ц/га	Результаты дисперсионного анализа				Результаты разностного метода
		по методу обобщенной НСР (НСР <sub>05</sub> = 4,73)	по методу обобщенной ошибки (НСР <sub>05</sub> = 2,45)	по максимальному значению НСР (НСР <sub>05</sub> = 5,74)	по данным сводного комплекса (НСР <sub>05</sub> = 3,43)	по t-критерию
2–3	18,4	+	+	+	+	+
2–4	4,5	–	+	–	+	+
2–5	2,4	–	–	–	–	–
3–4	13,9	+	+	+	+	+
3–5	20,8	+	+	+	+	+
4–5	6,9	+	+	+	+	+

Примечание – + Достоверное различие; – различие несущественно.



**Выводы**

1. В краткосрочных полевых опытах, состоящих из вариантов, примерно одинаково реагирующих на изменение погодных условий, оценка достоверности разности средних, определенная методами обобщенной НСР и обобщенной ошибки опыта, а также по максимальному годовому значению НСР и по результатам обработки данных сводного дисперсионного комплекса методом дисперсионного анализа и разностным методом по t-критерию Стьюдента дает одинаковый или близкий результат.
2. В краткосрочных полевых опытах, в состав которых входят варианты, существенно различающиеся по реакции на погодные условия, оценка достоверности различий между вариантами, проведенная путем попарного сравнения данных сводного дисперсионного комплекса по t-критерию Стьюдента, более корректна, чем оценка по другим методам.

**Литература**

1. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). – Изд. 4-е, перераб. и доп. / Б. А. Доспехов. – М.: Колос, 1979. – 416 с.
2. Константинов, П. Н. Основы сельскохозяйственного опытного дела / П. Н. Константинов. – М.: Сельхозгиз, 1952. – 446 с.
3. Молостов, А. С. Методика полевого опыта / А. С. Молостов. – М.: Колос, 1966. – 239 с.

4. Перегудов, В. Н. Методические указания по статистической обработке урожайных данных государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур / В. Н. Перегудов. – М.: Колос, 1968. – 76 с.
5. Уишарт, Дж. Основы методики полевого опыта / Дж. Уишарт, Г. Сандерс. – М.: Иностран. лит.-ра, 1958. – 206 с.
6. Короневский, В. И. К методике статистической обработки данных многолетних полевых опытов / В. И. Короневский // Земледелие. – 1985. – № 11. – С. 56–57.
7. Томилов, В. П. О статистической обработке многолетних данных полевых опытов / В. П. Томилов // Земледелие. – 1987. – № 3. – С. 48–51.
8. Афанасьев, Р. А. К методике дисперсионного анализа результатов многолетних полевых опытов / Р. А. Афанасьев // Агрехимия. – 2004. – № 5. – С. 85–91.
9. Жданович, В. П. О проблемах оценки достоверности изучаемых факторов в среднем за ряд лет / В. П. Жданович // Земляробства і ахова раслін. – 2012. – № 2. – С. 5–9. 10.
10. Ваулин, А. В. Определение достоверности средних многолетних показателей краткосрочных полевых опытов при обработке результатов исследований методом дисперсионного анализа / А. В. Ваулин // Агрехимия. – 1998. – № 12. – С. 71–75.
11. Фрид, А. С. К вопросу об ошибке средних многолетних показателей полевых опытов / А. С. Фрид // Агрехимия. – 2001. – № 5. – С. 76–80.
12. Исайкин, И. И. О совершенствовании элементов дисперсионного анализа многолетних данных полевого многофакторного опыта / И. И. Исайкин // Вестн. РАСХН. – 2000. – № 6. – С. 42–43.
13. Дзямбіцкі, М. Ф. Асаблівасці дысперсійнага аналізу вынікаў шматгадовага палявога доследу / М. Ф. Дзямбіцкі // Вест. Акад. аграр. навук Беларусі. – 1994. – № 3. – С. 60–64.

УДК 632.4.488

**Использование разных методов для идентификации токсикогенных грибов в зерне кукурузы**

С. В. Абраскова, Е. Л. Долгова, кандидаты с.-х. наук,  
Н. М. Дубовик, младший научный сотрудник  
НПЦ НАН Беларуси по земледелию

(Дата поступления статьи в редакцию 08.10.2018 г.)

На основе использования полимеразной цепной реакции и количественных методов высокоэффективной жидкостной хромато-масс-спектрометрии, иммуноферментного анализа выявлено, что образцы влажного консервированного зерна кукурузы содержали 2 вида грибов рода *Fusarium*, а также комплекс микотоксинов, в т. ч. дезоксиниваленол (1,7–1,8 мг/кг). Преимущество метода ПЦР заключается в точности, кратких сроках определения, и его следует рекомендовать для диагностики в зерне кукурузы наиболее распространенных в Беларуси токсикогенных грибов и продуктов их обмена.

**Введение**

Недочеты в процессе заготовки и хранения кормов вызывают не только значительные потери питательных веществ, но снижение их безопасности для сельскохозяйственных животных. По оценкам ученых, продуктивность и здоровье животных на 60–70 % зависят от количества и качества потребляемых кормов. Количество случаев контаминации кормов токсикогенными метаболитами и их продуцентами увеличилось. Данные анализа результатов пятилетних исследований (2011–2015 гг.) ЦНИЛхлебопродукт и Научно-практического центра НАН Беларуси по животноводству свидетельствуют о том, что из выборки (2162 образцов)

Based on polymerase chain reaction and quantitative methods of highly perfective liquid chromatography-mass spectrometry and immunoenzyme analysis, it was determined that samples of wet preserved corn grain contained 2 types of *Fusarium* fungi, as well as set of mycotoxins, including deoxynivalenol (1,7–1,8 mg/kg). The advantage of the PCR method consists in the accuracy and short terms, and it should be recommended for determining the most common toxicogenic fungi and ectocrines in corn grain in Belarus.

зерна и продуктов его переработки в одной трети из них (31,36 %) обнаружился один из шести определяемых в Республике Беларусь микотоксинов (афлатоксин В<sub>1</sub>, охратоксин А, Т-2 токсин, дезоксиниваленол (ДОН), фумонизин В<sub>1</sub>, зеараленон) [1, 2]. Самым часто встречающимся микотоксином в образцах зерна был ДОН. В кукурузе он обнаружился более чем в половине определяемых образцов: установлено превышение ПДК более чем в 2 раза в 9,2 % случаев. Т-2 токсин регистрировался в зерне кукурузы при частоте 22,1 % – до 0,1032 мг/кг при ПДК не более 0,1 мг/кг [3]. По афлатоксину, зеараленону, фумонизину превышение ПДК не установлено.