

ПОДХОДЫ К ОЦЕНИВАНИЮ ЭФФЕКТОВ ИННОВАЦИОННЫХ АГРОТЕХНОЛОГИЙ В УСЛОВИЯХ КОНТРОЛИРУЕМОГО ПРОИЗВОДСТВА

Хохлов Николай Федорович, д.с.-х.н, профессор , Усманов Раиф Рафикович, к.с.-х.н. , доцент кафедры земледелия и методики опытного дела ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет –МСХА имени К.А. Тимирязева», E-mail: hohlov@rgau-msha.ru; usman@rgau-msha.ru

Аннотация: На основе анализа результатов компьютерной обработки данных модельных опытов рассмотрены статистические возможности планирования и оценивания эффектов агрономических воздействий. Показаны условия правомерности использования планов опытов с минимальной повторностью и анализа результатов парным двухвыборочным *t*-тестом.

Ключевые слова: инновационные агротехнологии, контролируемое производство, парный двухвыборочный *t*-тест.

Настоятельные призывы государства об ускорении процесса разработки и внедрения прорывных агротехнологий [1] создали новую ситуацию изучения инновационных конструкторов с приоритетом масштабных экспериментов в условиях реального производства.

Вместе с тем, темпы продвижения начавшегося процесса даже у участников инвестиционных проектов «точек развития», располагающих потенциалом совмещения производства с контролем заявленной эффективности внедряемых агротехнологий, явно не соответствуют требованиям времени. В значительной мере это связано с общим традиционным подходом к организационной и материальной стороне нового дела, при недостаточном понимании открывающихся возможностей планирования особенных оценочных исследований.

Цель настоящей работы – показать возможность определения статистически обоснованных агрономических эффектов инновационных технологий в условиях контролируемого производства экспериментами с минимальной (2-кратной) повторностью.

В работе исходили из следующих соображений:

1. Руководители агропредприятий проявляют интерес к инновационным технологиям с надежным ожидаемым эффектом не менее 10-15%, но для

проверки их результатов в условиях конкретного производства допускают необходимость постоянного или периодического контроля.

2. Методы объективной оценки заявленных истинных эффектов инновационных технологий должны минимально обременять текущее производство.

Бесспорно, что организация дополнительной к основной деятельности непривычной исполнителям работы не способствует постановке в хозяйствах «объяснительных» многовариантных опытов. Больше шансов на положительное решение руководства к ведению контролируемого инновационного производства следует ожидать при минимальном числе вариантов и повторений. Понятно, что вариантом сравнения (контролем) будет лучшая в хозяйстве технология.

Методы выявления значимости разности двух вариантов в общих случаях разработаны [2,3, 4]. В зависимости от расположения вариантов в физическом пространстве поля для оценки их результатов используют при их случайном размещении двухвыборочный, а при стандартном (сопряженном) – парный двухвыборочный t-тесты (рис.1).

Оценка существенности разности средних для независимых выборок (Двухвыборочный t-тест)	Оценка существенности средней разности для зависимых выборок (Парный двухвыборочный t-тест)
<p>1. Разность средних $d = \bar{x}_2 - \bar{x}_1$</p> <p>2. Ошибка разности $S_d = \sqrt{s_{\bar{x}_1}^2 + s_{\bar{x}_2}^2}$</p> <p>3. t-Стьюдента факт $t_\phi = \frac{ \pm d }{S_d}$</p> <p>4. t-Стьюдента табл при $df = n_1 + n_2 - 2$ где: df – число степеней свободы, n_1, n_2 – повторность, объем выборки</p>	<p>1. Средняя разность $\bar{d} = \frac{\sum d_i}{n}$, ($d_i = X_{A_i} - X_{B_i}$)</p> <p>2. Ошибка средней разности $S_{\bar{d}} = \sqrt{\frac{\sum (d_i - \bar{d})^2}{n(n-1)}}$</p> <p>3. t-Стьюдента факт $t_\phi = \frac{ \pm \bar{d} }{S_{\bar{d}}}$</p> <p>4. t-Стьюдента табл при $df = n - 1$ где: df – число степеней свободы, n – число пар наблюдений</p>

Рис. 1. Алгоритмы расчета критерия t-Стьюдента для независимых и сопряженных пар наблюдений

Заметим, что для этих методов в пакете программ Excel результирующая величина критерия значимости (p) сопряжена как с повторностью, так и гипотетической разностью. То есть, с заданием последней производственно

значимой величины, открывается возможность планирования надежных результатов при малой повторности. С технологической стороны планы опытов, адекватные данным критериям, неодинаковы. Проще выполнение полевых работ инновационными широкозахватными агрегатами при сопряженном расположении вариантов. Кроме того, при высокой пространственной неоднородности экологических условий размещение вариантов с аддитивными эффектами парным методом снижает вероятность критерия значимости, поскольку алгоритм парного двухвыборочного t-теста включает использование оценок не дисперсий значений вариантов, а дисперсии их разностей (табл.1).

Чтобы продемонстрировать данное преимущество были обработаны в программе Excel урожайные данные озимой пшеницы трех модельных опытов с двумя вариантами технологий на земельных участках с различным варьированием плодородия почвы (табл.1).

Таблица 1. Исходные значения урожайности озимой пшеницы, X (ц/га) и дисперсии (S²) модельных опытов

Вариант	Опыт1			Опыт 2			Опыт 3		
	X		S ²	X		S ²	X		S ²
Контроль	50,4	53,8	5,78	50,5	52,5	2	51,7	53,8	2,20
Новый	53,8	58,0	8,82	54,5	57,7	5,12	56,3	57,8	1,12

По результатам статистической обработки легко видеть (табл.2), что закладка опыта сопряженным планом в двукратной повторности и соответственно анализ парным двухвыборочным критерием обеспечивают установление с приемлемой (p<0,05) значимостью ожидаемых агрономических эффектов в более широком диапазоне пространственной неоднородности значений показателя, чем в планах со случайным, независимым расположением. Заметим, что в отличие от однородных участков опытных станций данная ситуация более типична реальной масштабной полевой обстановке.

Таблица 2. Значимость (p) эффектов вариантов модельных опытов

Гипотетическая разность, ц/га	Двухвыборочный t-тест			Парный двухвыборочный t-тест		
	Опыт 1	Опыт 2	Опыт 3	Опыт 1	Опыт 2	Опыт 3
0	0,30	0,14	0,08	0,07	0,08	0,04
2,0	0,16	0,07	0,04	0,04	0,06	0,03
4,0	0,10	0,04	0,02	0,03	0,04	0,02
6,0	0,07	0,03	0,02	0,03	0,04	0,02
8,0	0,05	0,02	0,01	0,02	0,03	0,02

Учет значений заявленных эффектов и степени неоднородности агроэкологических условий при контролируемом внедрении инновационных агротехнологий полезен уже на этапе планирования полевого опыта в производственных условиях при расчете его повторности. Для случайно

размещенных вариантов (независимые выборки) нахождение оптимальной повторности возможно по формуле, предложенной Труфляк Е.В. и др. [1]:

$$n \geq \frac{t_{теор}^2 (S_1^2 + S_2^2)}{(\bar{x}_2 - \bar{x}_1)^2}$$

где: n – расчетная повторность, S_1^2, S_2^2 – дисперсии, \bar{x}_1, \bar{x}_2 – средние значения, $t_{теор}$ (t_{05} или t_{01}) – теоретические значения критерия Стьюдента.

Формулу расчета повторности опыта для парного двухвыборочного теста можно вывести из классических алгоритмов, приведенных на рис.1.

$$t_{\phi} = \frac{|\pm \bar{d}|}{S_{\bar{d}}} = \frac{|\pm \bar{d}|}{\sqrt{\frac{S^2}{n}}} = \frac{|\pm \bar{d}|}{\frac{S}{\sqrt{n}}} = \frac{|\pm \bar{d}|}{\sqrt{\frac{\sum (d_i - \bar{d})^2}{n(n-1)}}} \quad (1)$$

$$\text{Здесь } S^2 = \sqrt{\frac{\sum (d_i - \bar{d})^2}{(n-1)}} \text{ – дисперсия разностей} \quad (2)$$

$$\text{Тогда можно записать } \frac{|\pm \bar{d}|}{\sqrt{\frac{S^2}{n}}} \geq t_{теор} \quad (3)$$

В окончательном виде формула для определения оптимальной повторности опыта с парным размещением вариантов при заданной их разности будет выглядеть следующим образом:

$$n \geq S^2 \left(\frac{t_{теор}}{\bar{d}} \right)^2 \text{ или } n \geq \left(\frac{t_{теор} S}{\bar{d}} \right)^2 \quad (4)$$

где: n – расчетная повторность, S^2 – дисперсия, S – стандартное отклонение, \bar{d} – заданная разность, $t_{теор}$ (t_{05} или t_{01}) – теоретические значения критерия Стьюдента

Рассчитанные повторности опыта для доказательства значимой ($0,05 \leq p$) разности урожайных данных по указанной формуле показали, что для опыта с высокой неоднородностью данных (опыт 1) при разумно допустимой для контролируемого производства двухкратной повторности двухвыборочным t-тестом удастся выявить эффекты в 12 и более ц /га (23%), в то время как парным двухвыборочным t-тестом соответственно 5 и более ц /га (10%). То есть, результаты расчетов не вступают в противоречие желанию получить в сложных производственных условиях с меньшими затратами объективную информацию по эффективности инновационных технологий.

Таким образом, на основе парного двухвыборочного t-теста возможно надежно подтвердить заявленные высокие эффекты инновационных технологий в условиях производства хорошо совмещающимся с базовой технологией контролируемым испытанием в полевом опыте с двукратной повторностью и

адекватным критерию планом расположения вариантов в физическом пространстве.

Библиографический список

1. Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации. Указ Президента. №642, 2016, 1 декабря. <http://sntrrf.ru/upload/iblock/dc8/Указ%20Президента%20РФ%20о%20Стратегии%20научно-технологического%20развития%20Российской%20Федерации.pdf>
2. Труфляк Е.В. Методика выбора количества повторностей при проведении экспериментальных исследований / Е.В. Труфляк, И.С. Труфляк, В.С. Кравченко, И.А. Гончарова // Научный журнал КубГАУ. – 2008. – №38(4).
3. Бойко А.Ф. Точный метод расчета необходимого количества повторных опытов / А.Ф. Бойко, Е.Ю. Куденков // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова, – 2016. – №8. – Стр.128-132.
4. Yuehao Bai, Joseph P, Romano Azeem, M. Shaikh. Inference in Experiments with Matched Pairs. 2021. <https://home.uchicago.edu/~amshaikh/webfiles/pairs.pdf>

Approaches to assessing the effects of innovative agricultural technologies in controlled production

*Hohlov N.F., D.Sc. in Agricultural Sciences, Usmanov R.R., K.Sc. in Agricultural Sciences.
Russian Timiryazev State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy*

***Abstract:** Based on the analysis of the results of computer processing of data from model experiments, the statistical possibilities of planning and evaluating the effects of agronomic influences are considered. The conditions for the legality of using experimental plans with minimal repetition and analysis of the results by a paired two-sample t-test are shown.*

***Key words:** Innovative agricultural technologies, controlled production, paired two-sample t-test.*