

УДК 633.11:681.48:537.531

**МОДИФИКАЦИЯ МЕТОДИКИ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ
РЕЗУЛЬТАТОВ РАДИОБИОЛОГИЧЕСКОГО ОПЫТА****В. П. МУХИН, В. Н. МОШАРОВ****(Кафедра прикладной атомной физики и радиохимии)**

На примере радиобиологического опыта, в котором изучалось действие двух контрастных доз гамма-облучения на разнокачественные семена яровой пшеницы, рассматривается модифицированная методика расчетов данных двухфакторного опыта, повышающая информативную ценность результатов эксперимента. В качестве тест-критерия взята высота 30-дневных растений.

Действие ионизирующей радиации на биологические объекты определяется рядом факторов и зависит прежде всего от физиолого-биохимического состояния объекта в момент облучения, условий, при которых осуществляется воздействие, и непосредственно от режима облучения. Так, исследование стимулирующего действия радиации с целью повышения продуктивности сельскохозяйственных культур показало, что на конечный эффект может оказывать влияние до 20 различных факторов, многие из которых плохо поддаются управлению или изучены еще крайне слабо. Одним из них является естественная разнокачественность семян. По-видимому, действие радиации следует определять дифференцированно по отдельным фракциям семян, поскольку общая их реакция будет сложным интегральным показателем [4, 9]. Это имеет не только теоретическое, но и большое практическое значение, например, для получения устойчивого стимуляционного эффекта. Видимо, устойчивой стимуляции на гетерогенных семенах добиться практически невозможно.

Соотношение фракций семян по спектру признаков в общей партии по годам не будет оставаться неизменным. Более того, оно может резко меняться [5, 10], следовательно, и уровень ответной реакции на одну и ту же дозу при одном и том же режиме облучения, естественно, не останется постоянным. Заметим, кстати, что именно отсутствие стабильности в проявлении эффекта стимуляции является одной из основных причин, сдерживающих широкое внедрение в производство метода предпосевной радиационной обработки семян.

К сожалению, большинство исследований как стимулирующего, так и ингибирующего действия радиации на семена проведено в рамках однофакторного эксперимента. Это привело к появлению большого количества противоречивых данных, не позволяющих составить целостное представление о действии и влиянии многих факторов на радиобиологический эффект.

Характерной особенностью исследовательской работы в настоящее время является стремление экспериментаторов охватить как можно больше взаимовлияющих факторов, извлечь как можно более полную информацию из исходных данных. При обработке

данных многофакторных опытов наиболее широко распространенным способом статистической обработки является дисперсионный анализ. Этот метод, впервые предложенный Фишером [13], нашел широкое применение в практике биологических [6, 11], сельскохозяйственных [1, 2, 3, 12], экономических [7], инженерно-технических исследований [8]. При обработке данных опыта как однофакторного комплекса использование этого метода дает возможность получить достоверную информацию о существенности действия того или иного изучаемого фактора по НСР. Однако если целесообразность применения метода при обработке данных однофакторных статистических комплексов не вызывает сомнения, то использование его без каких-либо существенных изменений при анализе результатов многофакторных опытов не позволяет извлечь полной информации из исходных данных и правильно вычленить величину эффекта, обусловленную взаимодействием факторов, и следовательно, правильно оценить существенность этого эффекта. А если неверно количественно определен хотя бы один из факторов, от которых зависит величина эффекта, то и другие нельзя оценить правильно. Как правило, исследователей интересует оценка силы действия факторов, их направленность, вклад в результирующий показатель как по каждому фактору в отдельности, разным их сочетаниям, так и по опыту в целом. При проведении экспериментов приходится сталкиваться со случаями разнонаправленности действия факторов или с изменениями направленности их влияния при переходе от одной градации значений фактора к другой. В указанном случае дисперсионный анализ, опирающийся на усредненные значения величин, а также квадраты чисел, не позволяет определить истинного воздействия факторов и их взаимодействия на изменение результирующего показателя. Поэтому мы предлагаем наряду с обработкой данных методов дисперсионного анализа проводить их дополнительную оценку в выбираемой в соответствии с поставленными задачами эксперимента системе координат, включая сравнительно простые арифметические расчеты.

В качестве примера рассмотрим результаты относительно несложного двухфактор-

ного опыта 3×6 в котором изучалось действие гамма-облучения на разнокачественные семена пшеницы.

Методика

Для получения различающихся по крупности и соответственно по массе 1000 зерен групп семян исходная партия семян яровой пшеницы сорта Краснозерная была разделена последовательно на решетках с круглыми и продолговатыми отверстиями на ряд фракций. Для проведения опыта было выбрано 5 фракций, наиболее полно характеризующих изменчивость данной партии по изучаемому признаку. Семена облучали в Институте биофизики Министерства здравоохранения СССР на установке ЭГО-2, заряженной ⁶⁰Со, дозами 30 и 200 Гр при мощности 3,27 Гр/мин. Доза 30 Гр находится в диапазоне стимулирующих для семян пшеницы, доза 200 Гр является сублетальной и вызывает резкое угнетающее действие.

Сев проводили воздушно-сухими семенами через 1 сут после облучения. Растения выращивали на дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве, смешанной в соотношении 2 : 1 с промытым кварцевым песком. В вегетационный сосуд, вмещавший 6 кг этой смеси, высаживали по 25 семян. Влияние гамма-облучения на разнокачественные семена оценивалось по 26 тест-критериям. Более подробно этот опыт был описан в статье [4].

В настоящей работе в качестве примера провели сравнительную оценку разных способов обработки данных лишь по одному показателю — высоте 30-дневных растений. По другим тест-критериям расчеты можно осуществлять аналогичным образом.

Результаты

Исходные данные о высоте растений, представляющие средние из 4 повторностей, приведены в табл. 1.

Опуская стандартные вычисления по дисперсионному анализу, приведем конечные результаты обработки данных опыта методом дисперсионного анализа (табл. 2). В результате получена ошибка опыта, НСР₀₅ по каждому фактору и опыту в целом; по критерию Фишера установлена достоверность действия каждого фактора и их взаимодействия. Однако, как указывалось выше, по данным табл. 2 нельзя оценить долю вклада каждого фактора и их взаимодействия в изменение результирующего признака и оценить силу действия факторов и

Таблица 1

Высота растений пшеницы (см)
в зависимости от массы семян
и дозы гамма-облучения

Масса 1000 семян (А)	Доза. Гр (В)			Средние по А (НСР ₀₅ = 1,68 см)
	0	30 Гр	200 Гр	
Исходная партия				
36	63,3	67,0	46,0	58,8
56,0	67,3	67,3	61,3	65,3
48,0	70,0	65,5	56,5	64,0
34,0	69,5	71,5	61,5	67,5
24,5	62,5	58,0	42,5	54,3
16,5	62,5	63,7	35,0	53,7
Средние по В (НСР₀₅ = 1,19 см)				
	65,85	65,5	50,5	60,5
НСР ₀₅ для сравнения частных средних 2,91 см				

их взаимодействия. Кроме того, из табл. 2 не видно, как отражается на конечном результате изменение направленности влияния каждого фактора при переходе от одной градации его значений к другой.

Проанализируем результаты опыта по предлагаемой нами методике. Для проведения дополнительной оценки выберем систему координат и точку начала отсчета («нулевую точку»). За начало отсчета выберем значение высоты растений при том сочетании градаций значений изучаемых факторов, когда отсутствует целенаправленное влияние экспериментатора на изучаемый показатель. Такой величиной будет высота растений 63,3 см при отсутствии облучения и влияния фракционирования семян на этот показатель. Составляем табл. 3, в которую будем заносить изменения высоты по сравнению с исходной 63,3 см. Значения высоты растений, выращенных из семян различной массы в варианте без облучения, показывающие «чистое» действие фактора А, будем считать осью А выбранной системы координат. Значения изменения высоты растений, выращенных из исходной партии семян при различных значениях доз, показывающие «чистое» действие фактора В, будем считать осью В.

В общем случае на высоту растений действуют три фактора: А, В и взаимодействие АВ. Величина общего эффекта, оцени-

Таблица 2

Результаты дисперсионного анализа двухфакторного опыта 6×3

Дисперсия	Сумма квадратов	Степени свободы	Средний квадрат	F _Ф	F _T
Общая	6969,30	71	—	—	—
Повторений	13,13	3	—	—	—
Массы семян (А)	2044,86	5	408,96	96,29	2
Дозы облучения (В)	3702,00	2	1851,00	435,79	3,1
Взаимодействия (АВ)	992,68	10	99,27	23,37	2,0
Остаток (ошибки)	216,62	51	4,25	—	—

Оценка влияния облучения разнокачественных семян по массе 1000 зерен на изменение высоты растений пшеницы в обусловленной системе отсчета

Сила действия или взаимодействия факторов	Доза. Гр (В)					Средние по А (НСР ₀₅ = 2,06)			
	0	30		200		с учетом знака		без учета знака (по модулю)	
	с учетом знака, см	с учетом знака, см	по модулю, %	с учетом знака, см	по модулю, %	см	%	см	%
Исходная партия, 36,0 г									
В	0	+3,7	3,7 см	-17,3	+17,3 см	-6,8	100	10,5	100
56,0 г									
Σ		+4	100	-2,0	100	+1	100	22,0	100
А		(11,4 см)		(32,6 см)		(14,6 см)		(100 %)	
В	+4	+4	+35	+4,0	+12	+4,0	+27,4	4,0	18,0
АВ		+3,7	+32,5	-17,3	-53	-6,8	-46,5	10,5	48,0
АВ		-3,7	-32,5	+11,3	+35	+3,8	+26,1	7,5	34,0
48,0 г									
Σ		+2,2	100	-6,8	100	-2,3	100	23,2	100
А		(18,6 см)		(27,8 см)		(15,7 см)			
В	+6,7	+6,7	+36	+6,7	+23,1	+6,7	+42,7	6,7	27,3
АВ		+3,7	+19,9	-17,3	-62,2	-6,8	-43,3	10,5	47,3
АВ		-8,2	-44,1	+3,8	+13,7	-2,2	-14,0	6,0	24,8
34,0 г									
Σ		88,2	100	-1,8	100	+3,2	100	22,2	100
А		(11,6 см)		(32,8 см)		(16,8 см)			
В	+6,2	+6,2	+53,4	+6,2	+18,9	+6,2	+36,9	6,2	27,9
АВ		+3,7	+31,9	-17,3	-52,7	-6,8	-40,5	10,5	47,3
АВ		-1,7	-14,7	+9,3	+28,4	+3,8	+22,6	5,5	24,8
24,5 г									
Σ		-5,3	100	-20,8	100	-13,1	100	16,8	100
А		(12,7 см)		(20,8 см)		(13,1 см)			
В	-0,8	-0,8	-6,3	-0,8	-3,8	-0,8	-6,1	0,8	4,8
АВ		+3,7	+29,1	-17,3	-83,2	-6,8	-51,9	10,5	62,7
АВ		-8,2	-64,6	-2,7	-13,0	-5,5	-42,0	5,5	32,5
10,5 г									
Σ		+0,4	100	-28,3	100	-14,0	100	17,7	100
А		(7,0 см)		(28,3 см)		(14,0 см)			
В	-0,8	-0,8	-11,4	-0,8	-2,8	-0,8	-5,7	0,8	4,5
АВ		+3,7	+52,8	-17,3	-61,1	-6,8	-48,6	10,5	59,5
АВ		-2,5	-35,7	-10,2	-36,1	-6,4	-45,7	6,4	36,0
Средние по фактору В (НСР ₀₅ = 1,13)									
Σ		+1,9		-11,9		-5,0	100	20,4	100
А		(11,2 см)							
В	+3,1	+3,1		+3,1		+3,1	+27,7	3,7	18,2
АВ		+3,7		-17,3		-6,8	-60,7	10,5	51,6
АВ		-4,9		+2,3		-1,3	-11,6	6,2	30,2
Средние по модулю:									
Σ			100		100				
А			(12,3 см)		(28,5 см)				
В	+3,7		30,2		13				
В	(100 %)		(3,7 см)		(3,7 см)				
АВ			30,2		60				
АВ			(3,7 см)		(17,3 см)				
АВ			39,6		26,2				
АВ			(4,9 см)		(7,5 см)				

НСР₀₅ для частных средних = 2,91; S_X = 1,03; 2S_X = 2,06.

ваемого по изменению высоты Q , оудет определяться соотношением $Q = A + B + AB$. Поскольку нам известны значения Q , A и B , легко вычислить AB . Можно также провести соответствующие вычисления в среднем по фактору A , фактору B и по опыту в целом и оценить значимость вклада этих факторов в изучаемый эффект.

Как видим из табл. 3, значения факторов и их взаимодействия были как положительными, так и отрицательными при весьма значительных различиях в амплитуде их действия. Конечные показатели по каждой градации и по средним значениям факторов A и B и опыту в целом являются результатом сложного действия и взаимодействия факторов. Суммарное действие факторов на абсолютные значения какого-либо показателя может оказаться намного меньше действия любого отдельно взятого фактора. Поэтому оценку вклада каждого фактора в конечный эффект следует вести по модулю, а затем оценивать его реальное значение, которое он имеет при определении конечного результирующего эффекта. Так, в нашем опыте вклад от фактора A может меняться при разных градациях от $-11,4$ до $+53,4$ %, B от $-82,2$ % до $+35$ %, взаимодействия AB от $-64,6$ до $+35$ %.

Анализ табл. 3 также показывает, что часто при больших значениях модулей результирующий реальный показатель, характеризующий эффект, оказывается невелик по абсолютному значению. Это и является результатом взаимогасящего действия отдельных факторов вследствие их разнонаправленности.

При определении значений результирующих показателей в среднем по факторам A и B также сталкиваемся со случаями, когда усреднению подвергаются значения, имеющие противоположные знаки. Поэтому оценку средней силы действия фактора при каждой конкретной градации и по опыту в целом следует вести только по модулю. Оценка, проведенная при усреднении с учетом знака, дает возможность определить лишь реальное участие каждого фактора в усредненном результирующем конечном эффекте, но ничего не будет говорить об усредненном значении силы действия факторов в случае, когда факт взаимогашения действительно существует. Кстати отметим, что при оформлении результатов нет необходимости строить таблицы именно в таком виде, можно ограничиться более сокращенным вариантом.

Существенность различий между частными средними оценивалась по НСР, которая определялась на основе стандартного отклонения, полученного в результате дисперсионного анализа данных двухфакторного опыта как однофакторного статистического комплекса. Следует только заметить, что при оценке существенности различий между частными средними, имеющими противоположный знак, берется, естественно, их сумма без учета знака, при оценке частных средних с одинаковым знаком берется их разность. Соизмеряя эти значения с НСР, мы оцениваем существенность или несущественность различий при выбранном уровне значимости.

Сравним результаты анализа, проведенного предлагаемым методом, с результатами анализа тех же данных, полученных по обычной методике (табл. 2). Оценка силы

действия факторов при помощи метода дисперсионного анализа, если судить о ней по суммам квадратов или критериям Фишера, показала, что наиболее сильнодействующим является фактор B . Действие фактора A выражено значительно слабее, а взаимодействие — еще слабее. Анализ данных, проведенный предложенным методом, показывает другое соотношение эффективности действия факторов. Действие фактора A остается наиболее значительным, в то время как роль фактора A и взаимодействия AB существенно изменилась. Влияние фактора A не только не превосходит взаимодействие, но оказывается меньше его более чем в 1,5 раза. Таким образом, мы выявили существенные различия между рассматриваемыми методиками не только по оценке силы действия факторов, но и по соотношению между ними. При оценке же вклада факторов с учетом знака в конечный показатель вследствие взаимогашения взаимодействия, как видим, оказалось малодостоверным. Все это еще раз говорит о том, что выбор метода расчета существенно сказывается на оценке результатов.

В заключение следует отметить, что предложенный комбинированный метод анализа результатов многофакторного опыта имеет ряд преимуществ перед общепринятым методом дисперсионного анализа. Эти преимущества проявляются как следствие синтеза элементов дисперсионного анализа, позволяющих провести статистическую оценку достоверности полученных данных путем сравнительно простых математических действий на основе выбираемой системы отчета и логических рассуждений.

Во-первых, рассмотренный метод анализа дает возможность правильно вычлнить взаимодействие факторов и на основе этого дать объективную оценку вклада каждого изучаемого фактора в результирующий показатель (в процентах) как конкретно по каждому сочетанию градаций, так и в среднем по факторам и опыту в целом.

Во-вторых, он позволяет определить направленность действия факторов и их взаимодействия на конечный показатель как суммарный результат, полученный с учетом знаков.

В-третьих, при оценке вклада факторов и их взаимодействия в конечный результат каждого сочетания градаций по модулю можно правильно установить среднюю силу действия данных факторов и их взаимодействия как по отдельным факторам, так и опыту в целом.

В-четвертых, усреднение с учетом знака дает возможность объективно судить о реальном вкладе в усредненный результат действия каждого фактора и их взаимодействия при вычислении доли их участия по модулю.

ЛИТЕРАТУРА

1. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. — М.: Агропромиздат, 1985. —
2. Менчер Э. М., Земшан А. Я. Основы планирования эксперимента с элементами математической статистики в исследованиях по виноградарству. — Кишинев: Штиинца, 1986. —
3. Методич. рекомендации по агротехн. исследованиям с овощными и бахчевыми культурами в открытом грунте. / Под ред. В. Ф. Белика и

Г. Л. Бондарчука. Харьков: Украин. н.-и. ин-т овощеводства и бахчеводства, 1972. — 4. Мухин В. П. Реакция семян пшеницы на гамма-облучение в зависимости от их крупности и массы. — Изв. ТСХА, 1981, вып. 2, с. 11—17. — 5. Овчаров К. Е., Кизилова Е. Г. Разнокачественность семян и продуктивность растений. — М.: Колос, 1966. — 6. Плехинский Н. А. Биометрия. Изд. 2-е. — М.: Изд-во МГУ, 1970. — 7. Политова И. Д. Дисперсионный и корреляционный анализ в экономике. — М.: Экономика, 1972. — 8. Пустыльник Е. И. Статистические методы анализа и обработка наблюдений. — М.: Наука, 1968. — 9. Та-рушкин В. И., Мухин В. П. — Ис-

пользование напряженности ориентации семян для выделения однородных по влажности групп в связи с радиационным воздействием на них. — Тр. МИИСП: Электрификация с.-х. производства, 1973, т. 10, вып. 3, ч. 1, с. 145—151. — 10. Ульрих Н. Н. Оценка качества семян по физико-механическим свойствам. — Вестн. с.-х. науки, 1957, № 6, с. 84—94. — 11. Урбах В. Ю. Биометрические методы. — М.: Наука, 1964. — 12. Ушкаренко В. А. Дисперсионный анализ данных четырехфакторного полевого опыта. — Агрохимия, 1975, № 12, с. 121—130. — 13. Фишер Р. А. Статистические методы для исследователей. — М.: Госстатиздат, 1958.

Статья поступила 25 марта 1987 г.

SUMMARY

Information about the effect of two contrast doses of gamma-irradiation on spring wheat seed of different quality is presented in the paper, one of the doses being in the range of stimulating, and another in the range of sublethal ones for wheat seed. The height of plants raised from the irradiated seeds was used as a test-criterion for estimating the effect of radiation on seed. This test has illustrated the application of a modified system of calculating the 2-factor experiment data in order to increase their informative value.