

ЛЕКЦІЯ 4

ТЕМА: Планування схем дослідів. Планування обсягу вибірки та спостережень.

1. Планування однофакторних і багатофакторних експериментів.
2. Досліди з повними схемами
3. Досліди з неповними схемами
4. Планування строків спостережень
5. Планування обсягу вибірки

Самостійна робота: Особливості проведення дослідів в умовах виробництва.

1. Планування однофакторних і багатофакторних експериментів.

Перед складанням схем дослідів висувують *робочі гіпотези*. Як правило, у більшості дослідів вони мають бути науково обґрунтованими за результатами попередніх досліджень і зрідка як здогад, що виникає інтуїтивно у дослідника. Гіпотези формують по-різному. Наприклад, можливо, що дози добрив для даної культури можуть бути вищими чи нижчими за ті, що застосовують у господарстві; очевидно, що дози фунгіцидів або норми добрив, які застосовують у господарстві, надмірно високі або низькі; можливо, що норми висіву насіння, які застосовують у господарстві, завищені або дуже низькі тощо.

Упевнившись, що норми чи дози кількісних факторів, які впливають на досліджувані рослини, є надмірно великими або малими, дослідник зменшує їх або збільшує, взявши за контроль ті, що застосовувались раніше, до планування дослідів.

Крім кількісних факторів, у досліді вивчають і якісні — вплив сортів, ґрунтів, експозицій схилу, якості посівного матеріалу (еліта, перша або друга репродукція) та ін.

2. Досліди з повними схемами

Повні схеми передбачають усі логічно підібрані варіанти для вивчення конкретного питання.

Однофакторні досліді. Серед варіантів, які плануються, повинні бути послідовно збільшені норми чи дози факторів, дія яких підвищує врожай до оптимального, після чого він знижується. Так, на фоні гною (20 т/га) вивчають п'ять доз фосфорних добрив (X) — Рад, Р₃₀, Р₆₀, Р₉₀, Р₁₂₀, Р₁₅₀. Якщо ці дози вибрані правильно, то врожайність (Y) зображають лінією, яку називають кривою відгуку (рис. 1).

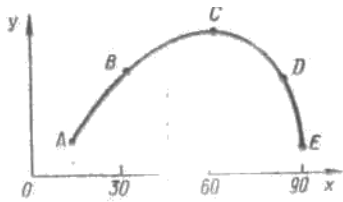


Рис. 26. Крива відгуку однофакторного дослід, в якому п'ять градацій.

Відрізки кривої мають певні назви і значення: *AB* — лімітуюча область, *BCE* — стаціонарна, *DE* — інгібуюча область. В лімітуючій області починається ефект калійних добрив, в стаціонарній він стає найвищим, в інгібуючій — пригнічується. Різні норми чи дози фактору називають градаціями. Різницю між наступною та попередньою дозами називають

кроком експерименту — в нашому прикладі це дози фосфорних добрив.

За контроль, як правило, беруть дози чи норми фактору, якими користувались у даному господарстві до планування дослід і вважали їх за оптимальні. Наприклад, у досліді, що планується, це буде P_{60} . Додатковими, але не основними контролями може бути в досліді з добривами варіант без добрив, а з пестицидами — варіант без пестицидів. Введення додаткових варіантів залежить від тих завдань, які вирішують у досліді.

Вимоги до правильно побудованих схем. Кожна правильно побудована схема досліді має задовольняти певні вимоги. Схема повинна мати всі градації фактору, які відповідають трьом областям кривої відгуку - лімітуючій, стаціонарній та інгібуючій. Це дає змогу виявити в експерименті кращі варіанти і ті, у яких ефект лише виявляється або пригнічується. Останнє необхідне, щоб запобігти застосуванню надмірних доз добрив, норм зрошення, токсичних доз пестицидів у господарствах.

Необхідно правильно вибрати крок експерименту, який має бути не дуже великим, щоб не втратити проміжні ефективні варіанти. Однак він не повинен бути і дуже малим, щоб не набрати у дослід непотрібних варіантів і не ускладнювати роботу. Як правило, крок має бути таким, щоб різниця між варіантами перевищувала помилку досліді і була упевненість виявити різницю, яка існує у природі. Схема досліді з дозами фосфорних добрив на фоні гною може бути такою: 1. P_{30} . 2. P_{60} (контроль). 3. P_{90} . 4. P_{120} . 5. P_{150} . 6. Без фосфорних добрив (додатковий контроль). У цьому досліді контролем є доза, яку застосовували у господарстві — P_{60} , і з нею будуть порівнювати інші дози. Додатковим контролем може бути варіант без фосфору, але цей контроль має лише наукове, а не виробниче значення. Крок експерименту, що дорівнює 30 кг фосфору, буде відповідати основним вимогам досліді.

Багатофакторні досліді. Основне завдання сучасної науки — знайти і дати рекомендації виробництву для науково обґрунтованих технологій не з окремих елементів агротехніки, а з їх сукупності. Вивчивши в однофакторних дослідіх кращі варіанти з окремих елементів агротехніки, починають багатофакторні досліді, які мають певні переваги: У них можна виявити не тільки достовірність дії факторів, а й їх взаємодії: антагонізм, тобто пригнічення дії одного фактору іншим; синергізм — посилення дії фактору іншим; адитивізм — дія факторів незалежно один від одного. Дані багатофакторного досліді дають змогу побудувати куполоподібну поверхню відгуку, на якій шляхом екстраполяції та інтерполяції можна знаходити кращі варіанти, прогнозувати і

програмувати врожай та його якість.

Повна схема багатфакторного дослід, або експерименту (ПФЕ), включає всі можливі поєднання, сполучення факторів та їх градацій: 2^2 , 2^3 , 3^3 і т. д. Число, що стоїть в основі, означає кількість градацій, а число, яке зазначає ступінь, — кількість факторів. Отже, число 2^2 свідчить про те, що в досліді два фактори, кожен з яких має дві градації, а ПФЕ має 4 варіанти, ПФЕ 2^3 має 8 варіантів, тобто в кожному з трьох факторів по 2 градації.

Наприклад, для фактору А маємо 2 градації — a_0 та a_1 і стільки ж для фактору В — b_0 та b_1 . Матриця ПФЕ буде такою:

Матриця ПФЕ 2^2

Номер варіанта	Градація факторів		Позначення варіанта	Код
	А	В		
1	0	0	$a_0 b_0$	00
2	1	0	$a_1 b_0$	10
3	0	1	$a_0 b_1$	01
4	1	1	$a_1 b_1$	11

а для схеми 2^3 матриця матиме такий вигляд:

Матриця ПФЕ 2^3

Номер варіанта	Градація факторів			Позначення варіантів			Код
	А	В	С				
1	0	0	0	a_0	b_0	c_0	000
2	1	0	0	a_1	b_0	c_0	100
3	0	1	0	a_0	b_1	c_0	010
4	1	1	0	a_1	b_1	c_0	110
5	0	0	1	a_0	b_0	c_1	001
6	1	0	1	a_1	b_0	c_1	101
7	0	1	1	a_0	b_1	c_1	011
8	1	1	1	a_1	b_1	c_1	111

Якщо кількість градацій у факторів різна, наприклад, фактор А має 3 градації, фактор В — 2, а фактор С — 4, то у ПФЕ буде $3_A \cdot 2_B \cdot 4_C = 24$ варіанти. Отже, загальну кількість варіантів розраховують як добуток градацій усіх факторів. Кожна схема дослід повинна дати досліднику можливість відповісти на всі питання, які він поставив. Але не варто надмірно ускладнювати схему. При чотирьох градаціях двофакторного дослід, позначених числами 0, 1, 2, 3, кількість варіантів дослід буде $4^2 = 16$. Щоб схема являла ПФЕ, тобто мала всі можливі поєднання, будують матрицю.

Наприклад, у досліді планується вивчати 4 дози добрив — 0, 40, 80 і 120 кг на 1 га (фактор А) і 4 норми зрошення — без зрошення, 0,5 норми,

Матриця ПФЕ 4^2 з 16 варіантів

Номер варіанта	Градація факторів		Код	Номер варіанта	Градація факторів		Код
	А	В			А	В	
1	0	0	00	9	2	0	20
2	0	1	01	10	2	1	21
3	0	2	02	11	2	2	22
4	0	3	03	12	2	3	23
5	1	0	10	13	3	0	30
6	1	1	11	14	3	1	31
7	1	2	12	15	3	2	32
8	1	3	13	16	3	3	33

1 норма, 1,5 норми (фактор В). Для зручності градації позначають числами 0, 1, 2, 3. Поєднання, сполучення цих чисел являє собою код

варіантів: 00 означає варіант без удобрення та поливу; 13 — варіант, де застосовують 40 кг добрив та 1,5 норми поливу. Отже, перша цифра означає градацію фактору *A*, а друга — фактору *B*.

Матриця ПФЕ 3^3 наведена нижче.

Матриця ПФЕ 3^3

Номер ва- ріанта	Градація факторів			Код	Номер ва- ріанта	Градація факторів			Код
	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>			<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	
1	0	0	0	000	15	2	1	1	211
2	1	0	0	100	16	0	2	1	021
3	2	0	0	200	17	1	2	1	121
4	0	1	0	010	18	2	2	1	221
5	1	1	0	110	19	0	0	2	002
6	2	1	0	210	20	1	0	2	102
7	0	2	0	020	21	2	0	2	202
8	1	2	0	120	22	0	1	2	012
9	2	2	0	220	23	1	1	2	112
10	0	0	1	001	24	2	1	2	212
11	1	0	1	101	25	0	2	2	022
12	2	0	1	201	26	1	2	2	122
13	0	1	1	011	27	2	2	2	222
14	1	1	1	111					

У цьому досліді 3 фактори і кожний з них вивчається у трьох градаціях — 0; 1; 2. Це можуть бути 3 сорти, 3 норми та 3 дози добрив, поєднання яких дає 27 варіантів.

3. Досліди з неповними схемами

У трифакторному досліді з 4 градаціями схема ПФЕ включає 64 варіанти. Навіть при мінімальній трикратній повторності в досліді має бути $64 \cdot 3 = 192$ ділянки. Якщо кожна з них має 100 м^2 , то для досліді треба $100 \cdot 192 = 19\,200 \text{ м}^2$ (близько 2 га). При 4—5-кратній повторності площа під дослідом стане ще більшою, а з її збільшенням зросте територіальне варіювання, що зменшить точність та достовірність досліді. В умовах виробництва майже неможливі багатофакторні досліді з великою схемою. Тому кількість варіантів треба зменшити, але при цьому виникає проблема не втратити необхідну інформацію.

В. Н. Перегудов, Т. І. Іванова (1976) рекомендують планувати неповні факторіальні схеми (НФС) з повних. Для цього можна користуватись такими методами: 1) умовного фактору; 2) уписаних кубів; 3) конструювання схем з фрагментів куба $3 \cdot 3 \cdot 3$. Найчастіше користуються методом умовного фактору, який розглядається нижче.

Неповна факторна схема $1/4 (4 \cdot 4 \cdot 4)$ дає змогу вибрати з 64 варіантів ПФЕ 16 без втрати необхідної інформації. Для цього з чотирьох градацій кожного фактору — 0, 1, 2, 4 візьмемо початкову градацію — 0 та середню — 2 і запишемо їх матрицю:

Матриця НФЕ 1/4 з 16 варіантів

Градація факторів			Номер варіанта	Код на фоні 000	Номер варіанта	Код на фоні 111
A	B	C				
0	0	0	1	000	9	111
0	0	2	2	002	10	113
0	2	0	3	020	11	131
0	2	2	4	022	12	133
2	0	0	5	200	13	311
2	0	2	6	202	14	313
2	2	0	7	220	15	331
2	2	2	8	222	16	333

Отже, схема $4 \times 4 \times 4$ перетворюється у схему $2 \times 2 \times 2$. Щоб мати рівномірні вибірки з 64 варіантів, введено поняття «умовний фактор» також у двох градаціях — початковий та середній, які для трьох факторів позначають цифрами 000 та 111. Це так звані фони. На фоні 000 коди утворюють з градацій факторів *ABC*, що дає варіанти під номерами 1—8. На фоні 111 коди утворюють додаванням числа 111 до кодів нульового фону і одержують варіанти під номерами 9—16.

Отже, одержана вибірка, яка включає 16 варіантів із 64. Вона неповна, але рівномірно охоплює всю область градацій повної схеми. Перше число кожного коду означає градації фактору *A*, друге — фактору *B*, третє — градації фактору *C*.

Неповна схема $1/8$ ($4 \times 4 \times 4 \times 4$) рівномірно охоплює всю область градацій повної схеми. Перше число кожного коду означає градації фактору *A*, друге — фактору *B*, третє — фактору *C*, четверте — фактору *D*. Наприклад, у вищенаведеному трифакторному досліді вводиться ще один фактор, наприклад 4 сорти. У схемі ПФЕ мало б бути 256 варіантів, що практично неможливо з організаційного боку. Якщо з них вибрати $1/8$ частину, то буде лише 32 варіанти.

Матриця НФЕ 1/8 з 32 варіантів

Градація факторів				Номер варіанта	Код на фоні 0000	Номер варіанта	Код на фоні 1111
A	B	C	D				
0	0	0	0	1	0000	17	1111
0	0	2	0	2	0020	18	1131
0	0	0	2	3	0002	19	1113
0	0	2	2	4	0022	20	1133
0	2	0	0	5	0200	21	1311
0	2	2	0	6	0220	22	1331
0	2	0	2	7	0202	23	1313
0	2	2	2	8	0222	24	1333
2	0	0	0	9	2000	25	3111
2	0	2	0	10	2020	26	3131
2	0	0	2	11	2002	27	3113
2	0	2	2	12	2022	28	3133
2	2	0	0	13	2200	29	3311
2	2	2	0	14	2220	30	3331
2	2	0	2	15	2202	31	3313
2	2	2	2	16	2222	32	3333

Такий дослід уже можна провести. Для конструювання НФС візьмемо два фони — 0000 та 1111, вибравши дві градації з чотирьох — 0, 1, 2, 4.

Неповна схема $1/2$ (6×6) = 18 варіантів. Дія факторів на рослини така складна, що іноді 4—5 градацій буває недостатньо для одержання

об'єктивних результатів. Тоді кількість градацій збільшують до 6—9, що призводить до значного збільшення кількості варіантів. У двофакторному досліді з 6 градаціями 0, 1, 2, 3, 4, 5 візьмемо початкову і дві середніх — 0,2; 4, а умовний фактор на фонах 00 та 11. Тоді матриця матиме такий вигляд

Матриця НФЕ 1/2 з 18 варіантів					
Градація факторів		Номер варіанта	Код на фоні 00	Номер варіанта	Код на фоні 11
А	В				
0	0	1	00	10	11
0	2	2	02	11	13
0	4	3	04	12	15
2	0	4	20	13	31
2	2	5	22	14	33
2	4	6	24	15	35
4	0	7	40	16	51
4	2	8	42	17	53
4	4	9	44	18	55

Отже, кількість варіантів зменшено з 36 до 18, тобто у 2 рази. При цьому не втрачена потрібна інформація, бо з 6 градацій взяті рівномірні вибірки.

Неповна схема $1/8 (6 \times 6 \times 6) = 27$ варіантів. Для побудови НФЕ трифакторного досліді з градацій 0, 1, 2, 3, 4, 5 візьмемо 0, 2, 4, а умовний фактор на фонах 000, 111, 222. Матриця цього досліді з 27

Матриця НФЕ 1/8 з 27 варіантів								
Градація фактору			Номер варіанта	Код на фоні 000	Номер варіанта	Код на фоні 111	Номер варіанта	Код на фоні 222
А	В	С						
0	0	0	1	000	10	111	19	222
0	2	0	2	020	11	131	20	242
0	4	0	3	040	12	151	21	262
2	0	2	4	202	13	313	22	424
2	2	2	5	222	14	333	23	444
2	4	2	6	242	15	353	24	464
4	0	4	7	404	16	515	25	626
4	2	4	8	424	17	535	26	646
4	4	4	9	444	18	555	27	666

варіантами буде такою, як на малюнку.

Отже, з 216 варіантів (6^3) відібрана $1/8$ частина. Незважаючи на втрату проміжних варіантів, ця схема дає змогу отримати від досліді потрібну інформацію.

4. Планування строків спостережень.

Важливим питанням планування дослідів є частота обліків та спостережень протягом року, вегетаційного періоду або його частини з тим, щоб мати повне уявлення про певний процес від початку до кінця досліді.

1	2	3	4	5
	+		+	
6	7	8	9	10
+	+		+	
11	12	13	14	15
				+
16	17	18	19	20
21	22	23	24	25
	+			+

Рис. 27. Місця випадкових вибірок у полі (позначені знаком +).

Строків спостережень та відбору зразків пов'язують з фенологічними фазами розвитку рослин або проводять спостереження через певний період — подекадно, один або два рази за місяць. Чим довше відбувається процес, тим більшим може бути інтервал між спостереженнями. Іноді відповідно до завдання досліді спостереження проводять до та після випадання атмосферних опадів, до проведення основних агротехнічних заходів та після них тощо. Всі ці строки та частоту проведення спостережень уточнюють у кожному конкретному досліді.

У досліді, де вивчають дію добрив, зрошення, обробіток ґрунту, гербіциди та інші агротехнічні заходи, на ділянках відбирають

зразки (проби) ґрунту для визначення його хімічних та фізичних властивостей, вмісту насіння бур'янів тощо. Для обліку вегетуючих бур'янів на дослідних ділянках виділяють діляночки розміром 0,5 X 0,5 м. Кількість зразків (проб) і діляночок на дослідних ділянках має бути такою, щоб забезпечити достатню точність обліків та спостережень, тому її оптимізують за формулами, що наводились вище. У дослідях з польовими культурами Б. О. Доспехов (1985) рекомендує відбирати 6—8 проб на ділянці площею менше 100 м², 8—12 проб на ділянці площею 100—200 м² та 15—20 проб на ділянці площею понад 200 м². Менша кількість проб знижуватиме точність досліджень. Проте ці дані можуть бути лише орієнтовними для інших дослідів, де кількість проб (діляночок) варто розраховувати за конкретними значеннями коефіцієнтів варіації.

Проби і зразки відбирають таким методом, який запобігає появі систематичних помилок — метод рандомізації, тобто випадковий відбір (а не відбирання типових зразків за бажанням дослідника).

Техніка випадкових вибірок така. На дослідній ділянці площею 100 м² потрібно підібрати 8 площадок площею 4 м² для вивчення фізико-хімічних властивостей ґрунту. Поділимо всю площу ділянки на 100 : 4 ~ 25 частин і послідовно занумеруємо їх (рис. 27).

За таблицею випадкових чисел вибираємо будь-яку графу. Рухаючись униз (або в іншому напрямі), вибираємо числа від 1 до 25, пропускаючи повторні. Цими числами є 2, 9, 4, 13, 15, 6, 25, 22. Саме на діляночках з цими числами треба відбирати зразки ґрунту для фізико-хімічного або іншого аналізу.

5. Планування обсягу вибірки

Кількісна мінливість. Обсяг вибірки кількісної мінливості — це число об'єктів досліджень, які беруть для проведення обліків та спостережень. Вибіркою може бути кількість колосів, коренеплодів, листків, стебел тощо, які обліковують на рослині. Ними можуть бути також зразки ґрунту з різних діляночок дослідної ділянки для фізичного чи хімічного аналізу.

Основне завдання вибіркового методу полягає в тому, щоб при мінімальному, але достатньому обсязі вибірки з усієї сукупності об'єкта одержати максимально повну інформацію. Об'єм вибірки не повинен бути дуже малим, бо це знижуватиме достовірність і точність дослідів. Однак він не повинен бути і надмірно великим, бо це призводитиме до надмірного обсягу досліджень та збільшення кількості помилок. Тому обсяг вибірки оптимізують, тобто визначають ту кількість спостережень, з якою можна мати статистично достовірні результати на певному рівні довірливої ймовірності.

Для оптимізації об'єму вибірки (я) запропоновано кілька Формул, одна з них наводиться нижче

$$n = t^2 \frac{V^2}{\Delta^2 \%},$$

де t — стандартне значення критерію Стюдента; V — коефіцієнт варіації; Δ % — допустима відносна помилка, %. Якщо таблиці Стюдента немає, наприклад у полі, то наближене значення критерію $t_{0,95}$ можна знайти за формулою

$$t_{0,95} = 2 + \frac{n}{V},$$

де n — фактичний обсяг вибірки (повторність); V — число ступенів свободи ($\dots = n - 1$).

Для великих вибірок ($n > 30$) значення t є постійним і становить $t_{0,95} = 2$, та $t_{0,99} = 2,6$.

Значення Δ % вибирає сам дослідник залежно від точності, яку він планує. Якщо планується дуже висока точність дослідження, то Δ % береться 2—3 % (середня точність забезпечується, коли помилка становить 5—6 %). Для більшості польових дослідів достатня точність може бути при Δ % до 7 %.

Коефіцієнт варіації (V) знаходять за формулою

$$V = \frac{S \cdot 100}{\bar{X}};$$

Де S — стандартне відхилення певного варіаційного ряду; $\bar{X}$ — середня арифметична цього ж ряду.

Наближене значення стандартного відхилення можна розрахувати за формулою

$$S = \frac{X_{\max} - X_{\min}}{n}$$

де $X_{\max}$ та $X_{\min}$, — максимальні та мінімальні значення показника певного варіаційного ряду; n — стале число. Наближене значення середньої арифметичної можна визначити за формулою

$$\bar{X} = \frac{X_{\max} + X_{\min}}{2}.$$