

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ САДІВНИЦТВА

Кафедра загального землеробства

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

з виконання самостійної роботи з дисципліни
«Основи наукових досліджень в агрономії»

Освітній ступінь: бакалавр
Спеціальність: 201. Агрономія
Факультет: Агрономії

Умань – 2020 р.

Методичні поради підготували доценти Усик С.В., Накльока Ю.І., Карнаух О.Б., Калієвський М.В., Новак А.В.; ст. викладачі Коваль Г.В. Борисенко В.В.

Розглянуті на засіданні кафедри загального землеробства (протокол № 7 від 3 лютого 2020р.) і схвалені Методичною комісією факультету агрономії (протокол № 7 від 7 лютого 2020р.)

План самостійної роботи

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1.	Історія наукових досліджень в агрономії	3
2.	Рівні та види наукових досліджень. Досліди в штучних умовах	4
3.	Досліди із сортовипробування. Вибір і підготовка земельної ділянки під дослід	4
4.	Теоретичні основи планування дослідів. Досліди з неповними схемами.	3
5.	Історія математичної статистики. Поняття про сукупність і вибірку.	3
6.	Суть дисперсійного аналізу. Дисперсійний аналіз дослідів, розміщеного методом повної рендомізації.	6
7.	Підготовка даних про врожайність до статистичного аналізу	6
8.	Поняття про кореляційний та регресійний аналіз	6
9.	Коваріаційний аналіз. Пробіт-аналіз.	3
Разом		38

1. Коротка історія дослідної справи в агрономії

Історія дослідної справи в агрономії бере свій початок з народного сільськогосподарського досвіду тих часів, коли первісна людина почала вирощувати рослини. Народний досвід у землеробстві тривалий час був єдиним джерелом аграрних знань на Землі і, переходячи з покоління в покоління та вдосконалюючись, поступово переростав у дослідну справу.

В Україні значний вплив на розвиток дослідної справи в агрономії мала Києво-Могилянська академія, заснована в XVI ст. У свій час вона готувала висококваліфікованих фахівців, багато з яких займали провідні посади у вищих навчальних закладах Європи. Великий внесок у розвиток наукової агрономії в Києво-Могилянській академії зробив ботанік Іоанікій Галятовський.

Своєрідними зародками наукових дослідних установ стали аптекарські городи, створені в 1629 р. під Москвою, а в 1721 р. – і в Україні (м. Лубни). На цих городах поряд з дикорослими вирощували культурні рослини заспеціальною агротехнікою.

У 1765 р. створюється Вільне економічне товариство, яке очолювало дослідну роботу в Росії протягом багатьох десятиріч.

В Україні перші дослідні роботи почав М. Г. Ліванов у 1790 р. в с. Богоявленське поблизу м. Миколаєва. За кордоном перші праці з дослідницької справи були опубліковані французом Ж.-Б. Буссенго в 1835 р.

Перший дослідний хутір (Бутирський) був створений під Москвою у 20-х роках XIX ст., а в 1840 р. в Білорусії заклали перше дослідне поле. Основною тематикою дослідних робіт тут було вивчення ефективності органічних та мінеральних добрив, типів сівозмін, ерозії ґрунту в конкретних ґрунтово-кліматичних умовах.

У 1852 р. з'явилася перша дослідна станція в Німеччині (м. Меккерн поблизу Лейпцига).

У 1867 р за ініціативою Д.І. Менделєєва були закладені 4 дослідних поля у Петербурзькій, Московській, Смоленській і Симбірській губерніях, де вивчали ефективність мінеральних добрив. У 1869 р. почалося дослідження польових культур у Петровській академії.

Протягом 1881–1885 рр. були організовані Тростянецьке, Білокриницьке, Студенківське, Полтавське, Таганрозьке і Донське дослідні поля, в 1895 р.– Вятська й Енгельгардтська дослідні станції, а в 1897 р.– Іванівська дослідна станція та ін. Багато дослідних установ створювалось в Україні в районах розвинутого землеробства.

Наприкінці ХІХ ст. в Росії було 10 дослідних і селекційних станцій, 13 дослідних полів, 2 лабораторії та 2 контрольно-насінневі станції, де працювало близько 60 науковців.

Про значні темпи розвитку наукових установ свідчить і те, що в 1913 р. в Росії було вже 214 дослідних установ, зокрема 44 дослідні станції і 78 дослідних полів, де працювало 540 науковців, багато хто з них був зайнятий в Україні у дослідних установах цукрозаводчиків. У 1913 р. закладена Уманська дослідно-землеробська станція, яку в 1939 р. перетворено на селекційний пункт цукрових буряків.

Активними організаторами наукових установ і видатними вченими в галузі агрономії були В.В.Докучаєв, П.А.Костичев, К.А.Тімірязєв, І.О.Стебут, А.Є.Зайкевич, О.О.Ізмаїльський, Д.М.Прянишников, О.М.Енгельгард та багато інших.

Великий внесок у дослідну справу в агрономії зробив О.Г.Дояренко. У 1918, 1919 та 1921 рр. він організував Всеросійські з'їзди з сільськогосподарської дослідної справи, вперше в Росії читав з цієї дисципліни курс лекцій. Починаючи з 30-х років ХХ ст. створюються науково-дослідні інститути: Центральний науково-дослідний інститут сільського господарства (Москва), Всесоюзний інститут прикладної ботаніки і нових культур (Ленінград) і Всесоюзна академія сільськогосподарських наук, першим президентом якої був М.І.Вавилов. У цей період організовується багато галузевих інститутів – рослинництва, захисту рослин, удобрення та агрогрунтознавства, агролісомеліорації, мікробіології, цукрових буряків, льону, кормів та ін. До 1940 р було створено 920 наукових установ з сільського господарства, у яких працювали понад 10 тис. науковців.

У 80-х роках ХХ ст. у колишньому СРСР працювали 215 науково-дослідних інститутів, 322 галузеві і державні селекційні станції, 88 обласних і зональних комплексних станцій, 9 ботанічних садів і плодородсадників, 260 опорних пунктів і дослідних полів. Наукова робота велася також в університетах, сільськогосподарських інститутах.

Перша кафедра методики дослідної справи була організована П.М. Константиновим, який написав фундаментальну працю «Основи сільськогосподарської дослідної справи».

Питання методики дослідної справи розглядалися у працях А.А.Кудрявцевої, Б.М.Рожественського, П.Г.Найдіна, М.Ф.Деревицького.

У 1965 р. Б.О.Доспеховим був виданий перший підручник «Методика польового досліджу», який багато разів перевидався. В Україні таким підручником був „Основи наукових досліджень в агрономії”, виданий В.Ф.Мойсейченком і В.О.Єщенком в 1994 р.

2. РІВНІ ТА ВИДИ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Наукове дослідження – це вивчення конкретного об'єкта, явища або предмета з метою розкриття закономірностей його виникнення і розвитку, що є основою формування нових наукових знань. Основою наукових досліджень є об'єктивність, можливість відтворення результатів, їх доказовість та точність.

Розрізняють такі етапи наукових досліджень: 1) попередній аналіз існуючої інформації з досліджуваного питання; 2) формулювання вихідних гіпотез та їх теоретичний аналіз; 3) планування, організація досліджу (експерименту) та його проведення; 4) аналіз та узагальнення результатів; 5) перевірка вихідних гіпотез на основі досліджених факторів, остаточне формулювання нових закономірностей і законів, пояснення та наукові передбачення; 6) впровадження пропозицій у виробництво (для прикладних досліджень).

2.1. Рівні наукових досліджень

Розрізняють три основних взаємопов'язаних рівні досліджень – емпіричний (експериментальний), теоретичний та описово-узагальнюючий.

На емпіричному рівні досліджень ставлять експерименти, накопичують факти, аналізують їх і роблять практичні висновки. Експерименти є джерелами пізнання, критерієм істинності гіпотез і

теорій. Якщо експерименти ставлять на конкретних об'єктах, то вони називаються *фізичними*. Розрізняють ще *уявні експерименти* – логічне мислення про зміну явищ і процесів при зміні умов, які небажано проводити у фізичному експерименті (наприклад, досліди з дуже високими або низькими температурами, тиском, концентрацією пестицидів тощо). В експерименті об'єкт дослідження вивчають в тих умовах, які плануються експериментатором, процеси контролюють і регулюють, а результати точно враховують. Експерименти можуть бути *якісними*, коли враховують пошкоджені чи не пошкоджені морозами або шкідниками рослини, уражені або не уражені хворобами.

У *кількісних експериментах* обліковують показники росту рослин, урожайність культур тощо. В експериментах можна виключати вплив побічних факторів, виділяючи досліджуване явище, вводити нові фактори, ускладнюючи дослід, або кратно відтворювати результати експерименту; вивчати явища, які не існують у природі, використовуючи для цього уявний експеримент; створювати об'єкти досліджень – нові сорти, пестициди тощо.

Всі експерименти є джерелом теоретичних уявлень, а результати є основою для побудови теорій.

На *теоретичному рівні* досліджень синтезуються знання, формулюються загальні закономірності у певній галузі знань.

Теорія – це система узагальнених знань, пояснення певних явищ дійсності, тобто уявлене її відродження і відтворення, у тому числі й експерименту. Саме тому результати експериментів в узагальненому вигляді є частиною певної теорії, а критерієм правильності теорії є експеримент. Теорія також допомагає інтерпретувати результати емпіричних досліджень.

Однак теорія є не сумою окремих даних експерименту, а новим ступенем пізнання. Наприклад, в експерименті виявлено тісний кореляційний зв'язок між умовами середовища і врожайністю цукрових буряків. Аналізуючи і узагальнюючи результати цих досліджень із застосуванням методів математичної статистики, зокрема кореляційного аналізу, можна скласти рівняння регресії для планування чи прогнозування майбутнього врожаю. Все це є основою для теорії планування і прогнозування врожаю. Аналогічно цьому результати досліджень щодо засвоєння поживних елементів польовими культурами є основою для розробки теорії мінерального живлення рослин.

На *описово-узагальнюючому рівні* досліджень експерименти не проводять, а описують явища, які спостерігаються безпосередньо у природі, поза експериментом. Це спостереження за ростом та розвитком рослин залежно від погодних умов, проходженням фенологічних фаз, морозостійкістю чи посухостійкістю рослин тощо. При цьому дослідник реєструє всі ці явища і процеси, узагальнює агрономічні об'єкти без активного впливу на них, тобто поза експериментом.

Слід зазначити, що на основі цих спостережень і узагальнень можна робити висновки і раціональні пропозиції для виробництва. Для цього використовують такі форми мислення як судження та умовивід.

Судження – висловлена думка, у якій дещо стверджується про об'єкт дослідження. Вона може бути об'єктивною або помилковою. Прикладом об'єктивного судження є така думка: якщо пшеницю висівати насінням з низькою схожістю, без відповідної поправки на норму висіву, то сходи будуть зріджені. Помилковим буде судження про те, що співвідношення поживних елементів у добривах не впливає на якість продукції (воно не ґрунтується на даних науки і практики).

Умовивід – міркування, у процесі якого з одного або кількох пов'язаних між собою суджень виводять нові знання. Наприклад, відомо лише те, що новий гібрид кукурудзи має багато таких самих властивостей, як і реєстрований гібрид. Робимо висновок, що врожайність зерна нового гібрида, його якість, стійкість до хвороб, шкідників тощо будуть такими самими, як і реєстрованого.

2.2. Види наукових досліджень

Залежно від пізнавальної або практичної мети наукові дослідження умовно поділяють на фундаментальні та прикладні. Умовність такого поділу полягає в тому, що на певних етапах за певних умов фундаментальні дослідження можуть переходити у прикладні і навпаки. Це свідчить про тісний взаємозв'язок наукового пізнання з практикою.

Фундаментальні дослідження спрямовані на відкриття і вивчення нових явищ і законів природи, їх результатом є закінчена система наукових знань та орієнтація на використання цих знань у певній галузі практичної діяльності людини. Прикладом таких досліджень є вивчення процесів фотосинтезу, біологічної фіксації азоту з повітря, таємниць спадковості, розшифровка молекул ДНК,

РНК тощо. Ці дослідження ведуться на межі відомого і невідомого. Певна невизначеність фундаментальних досліджень підвищує роль випадку та здатність дослідника до інтуїції.

Фундаментальне дослідження може бути вільним теоретичним або цілеспрямованим. Вільне теоретичне очолюється одним ученим, який визначає напрям досліджень на основі своїх ідей. Цілеспрямоване дослідження обмежується галуззю науки і вибором об'єкта досліджень, вибирається колективом дослідників.

Прикладні дослідження в агрономії спрямовані на вивчення факторів життя рослин і взаємозв'язків між рослиною і середовищем, на створення перспективних сортів і гібридів. Мета цих досліджень – розробка ефективних агрозаходів підвищення врожайності та якості продукції. Найбільш ефективні агротехнічні заходи, виявлені у дослідках, впроваджують у виробництво. Це – оптимальна глибина оранки, кращі попередники, більш ефективні дози добрив, строки та глибина їх внесення, норми та строки сівби насіння певних культур, заходи захисту рослин від хвороб і шкідників тощо. Кінцевою метою всіх прикладних досліджень є рекомендації для впровадження одержаних результатів у виробництво.

Різновидністю прикладних досліджень є *пошукові* – розробка принципово нових агрозаходів для польових культур, створення комплексно стійких сортів до хвороб, шкідників та інших несприятливих умов середовища.

3. Досліди із сортовипробування

Сортовипробування – це вивчення і оцінка сортів та гібридів сільськогосподарських культур порівняно із стандартом (контрольним сортом). Розрізняють станційне та державне сортовипробування.

Станційне сортовипробування здійснюють у селекційно-дослідних установах, оцінюючи сорти та гібриди, виведені в цій же селекційній установі або у вузі. Мета станційного випробування – вивчення та відбір кращих сортів для передачі їх у державне сортовипробування.

Державне сортовипробування проводять на державних сортовипробувальних станціях та сортодільницях. Тут об'єктивно і точно оцінюють не лише селекційні, а й місцеві та поліпшені сорти і гібриди. Мета державного випробування полягає у виявленні найбільш урожайних та цінних сортів, пристосованих до місцевих умов і придатних для сортового районування. Якість продукції оцінюють у лабораторіях, де є спеціальні прилади.

Державне сортовипробування ведуть за двома типами: конкурсне і з експертизою на ВОС (відмітність, однорідність, стабільність).

Конкурсне сортовипробування проводять на державних сортовипробувальних станціях та сортодільницях для оцінки на господарську придатність за розширеною програмою протягом 2-3 років. Тут з максимальною точністю порівнюють сорти і гібриди за їх урожайністю, тривалістю вегетаційного періоду, зимостійкістю, посухостійкістю, схильністю до полягання та осипання, стійкістю до хвороб та шкідників, придатністю для механізованого збирання та іншими важливими показниками. Головна мета конкурсного випробування – рекомендувати кращі сорти для виробництва у конкретних регіонах.

Оцінка нових сортів і гібридів на ВОС – випробування сортів рослин на патентоспроможність згідно рекомендацій Міжнародного союзу з охорони нових сортів рослин, видачу патенту на сорт.

Державне сортовипробування на всіх сортовипробувальних станціях і сортодільницях проводять за єдиною методикою, затвердженою Державною службою з охорони прав на сорти рослин.

Основними науково-виробничими одиницями сортовипробування є сортовипробувальні станції та сортодільниці, їх організують на базі господарств виробництва, наукових установ. Всі вони об'єднані в єдину систему під керівництвом Державної служби з охорони прав на сорти рослин.

На більшості сортовипробувальних станцій вивчають також сортову агротехніку – норми висіву, строки і способи сівби тощо.

Державні сортовипробувальні станції можуть бути комплексними, де вивчають різні культури, вирощувані в зоні обслуговування, і спеціалізовані. Останні досліджують певні групи культур – зернові, технічні, прядивні, кормові – і обслуговують не одну, а кілька ґрунтово-кліматичних зон.

ВИБІР І ПІДГОТОВКА ЗЕМЕЛЬНОЇ ДІЛЯНКИ ПІД ДОСЛІД

Перед вибором земельної площі для дослідів визначають її розміри арифметичним розрахунком. Згідно з завданням і видом дослідів попередньо визначають загальний розмір і форму дослідної ділянки. Наприклад, вона повинна мати форму 4 x 25 м, а площа її становити 100 м². У досліді планується 6 варіантів і 4 повторності із загальною кількістю ділянок $6 \times 4 = 24$. Ці 24 ділянки займатимуть площу $100 \times 24 = 2400$ м², а з урахуванням доріг і захисних смуг навколо дослідів загальна площа повинна бути значно більшою.

Вибираючи земельну площу, проводять ґрунтово-біологічне обстеження, вивчають історію поля, рослинний покрив, рельєф та мікрорельєф місцевості.

Ґрунтово-біологічне обстеження земельної площі

При виборі площі для дослідів виходять з програми досліджень і комплексу природних умов та біологічних потреб рослин. Рельєф, крутизна схилу, його експозиція, ґрунт, підґрунтя та рівень залягання ґрунтових вод у досліді мають бути ідентичними тим умовам, у яких вирощують досліджувану культуру в конкретній ґрунтово-кліматичній зоні, області, районі. У досліді потрібно додержувати виробничої типовості дослідів, орієнтуючись на кращі господарства з передовою агротехнікою.

Для певних культур підбирають відповідні попередники. Так, для озимої пшениці у центральному Лісостепу підбирають такі попередники як зайнятий пар, багаторічні трави, горох, кукурудза на силос тощо, у Степу додатковим попередником дослідної культури може бути чистий пар, а в Поліссі – льон і картопля. Дослід з цукровими буряками, кукурудзою і соняшником закладають на полях, де попередньо вирощували озиму пшеницю.

Особливу увагу при виборі земельної площі для певного дослідів приділяють однорідності ґрунту. Однак один і той же дослід можна розміщувати і на різних ґрунтах або схилах за умови, якщо крутизна схилу чи ґрунт є об'єктом дослідження.

Перед закладанням стаціонарних дослідів проводять детальне обстеження площі, метою якого є всебічна характеристика ґрунту. Для вивчення ґрунтових профілів роблять розрізи на глибину 1,5–2 м по діагоналі поля, крайні – на межі дослідної площі, а середні – на майбутніх дорогах або захисних смугах. Між розрізами роблять ще прикопки на глибину 40–60 см і складають ґрунтову карту масштабом 1:5000. У кожному розрізі та прикопці відбирають зразки ґрунту для визначення агрофізичних і агрохімічних показників родючості.

Обстеження ґрунту необхідне також для того, щоб об'єктивніше виділити повторення майбутнього дослідів та вибрати відповідний метод розміщення варіантів.

У межах дослідів допустимими ґрунтовими відмінами для підзолистих ґрунтів є середньо- і слабоопідзолені, проте на кожній з них треба розміщувати окремі повторення. Не можна закладати дослідів на заболочених ґрунтах у Поліссі та засолених у Степу, якщо заболоченість і засоленість не вивчають.

Вивчення історії полів. Під час обстеження земельної площі детально описують історію полів. Визначають, де і які культури вирощували у попередні роки, зазначають, після яких передпопередників і попередників їх вирощували. Історію полів бажано знати за 2–3 роки, а ще краще – за ротацію сівозміни.

Особливу увагу приділяють виявленню факторів, які сильно впливають на зміну родючості ґрунту: проведення на частині площі вапнування ґрунту високими дозами; внесення фосфоритного борошна чи інших мінеральних та органічних добрив у великих дозах або систематичне кілька років підряд вирощування багаторічних трав. Післядія багатьох із цих факторів триває протягом 2–3 років, а вапнування ґрунту – до 10 років. Якщо закладання дослідів не можна відкласти на кілька років, щоб вирівняти ґрунт на всьому масиві за родючістю, то цю площу треба бракувати і підбирати іншу.

При вивченні історії полів звертають увагу також наступні окультурення ґрунту – глибину орного шару, родючість, рН ґрунтового розчину, наявність насіння бур'янів тощо. Сильне забур'янення, зокрема такими злісними бур'янами як коренепаросткові і кореневищні свідчить про низьку культуру землеробства. Без попереднього знищення бур'янів закладати дослідів на такій площі не можна.

З книги історії полів довідуються, де, коли, які і якими нормами вносили добрива, зокрема органічні, які значною мірою впливають на зміну родючості ґрунту. Норми добрив, їх форми, строки і способи внесення у попередні роки повинні бути однаковими на всій площі майбутнього дослідів. Однаковим має бути і обробіток ґрунту на полях.

Місця, де були літні стійбища худоби, ґрунтові дороги тривалого користування, глибокі канави і ями (хоч вони і зариті), будівлі, скирти соломи, купи гною, виключають з площі майбутнього досліджу.

Вивчення рослинного покриву. Висока врожайність попередніх культур свідчить про високу родючість ґрунту, його окультуреність та придатність для досліджу. Звертають увагу і на наявність у посівах рослин-індикаторів – хвоща польового і щавлю, які свідчать про високу кислотність ґрунтів та долину гіркого і кураю, які вказують на засоленість ґрунту.

Вивчення рельєфу та мікрорельєфу. Рельєф ділянки повинен бути типовим для району досліджень і в більшості випадків рівнинним, тому що навіть на схилах крутизною до 2° експозиція може впливати на ріст і врожайність досліджуваних рослин через неоднакову температуру в різних місцях досліджу. Так, різниця між прямою сонячною радіацією, яка надходить на південні та північні схили, досягає 30 % навесні і 40 % восени. За період вегетації на південних пологих схилах сума температур на 120°, а на крутих – на 300° більша, ніж на рівних площах. Крім того, тривалість безморозного періоду на південних схилах збільшується на 30 днів. Щоб забезпечити однакові умови для рослин у межах одного досліджу, важливо вибрати для досліджу ділянку з однаковими рельєфом та експозицією схилу.

Навіть на невеликих схилах треба передбачати і організовувати протиерозійні заходи з тим, щоб не втрачався верхній родючий шар ґрунту на ділянках і не замулювалися дослідні ділянки під впливом талих або зливових вод. Особливу увагу треба приділяти цьому в досліджах з добривами (вони не повинні переміщуватися на інші ділянки при атмосферних опадах або під час зрошення).

Оскільки на результат досліджу може впливати не лише рельєф, а й мікрорельєф (горбки, блюдця, канавки, рівчачки), площу треба вирівнювати.

Вибір ґрунтів для окремих дослідних культур

Як правило, досліджу треба проводити на ґрунтах, на яких масово вирощують культури у певній ґрунтово-кліматичній зоні.

Для *пшениці* підбирають найбільш родючі ґрунти із сприятливими фізичними та хімічними властивостями. Реакція ґрунтового розчину має бути нейтральною або близькою до неї (рН 6,0–7,5). Такі властивості мають чорноземи. На півдні України для досліджень з пшеницею придатні і темно каштанові ґрунти.

Цукрові буряки дуже вимогливі до родючості ґрунту, тому для них підбирають чорноземи глибокі малогумусні опідзолені та лучні. Залежно від зони цукрові буряки можна вирощувати також на темно-сірих опідзолених і дерново лучних ґрунтах. Гіршими є сірі та світло-сірі опідзолені ґрунти, але якщо вони поширені у зоні, то і на них закладають дослід. За гранулометричним складом для цукрових буряків найбільш придатними є суглинкові ґрунти.

Кукурудзу можна вирощувати на більшості ґрунтів, які придатні для польових культур. Найкращими для неї є ґрунти з глибоким гумусовим шаром та високою вологоємністю – чорноземні, темно-каштанові та темно-сірі легкосуглинкові. Непридатні для кукурудзи заболочені ґрунти.

Для *соняшнику* підбирають вилугувані, глибокі та звичайні південні чорноземи, а також каштанові ґрунти. Малоприсдатними є важкі глинисті ґрунти, схильні до заболочування, а також піщані, кислі і дуже засолені ґрунти.

Картопля добре росте на ґрунтах з високою повітропроникністю. Тому для досліджу підбирають супіщані, суглинкові ґрунти, легкі чорноземи. Можна використовувати для досліджу і легкі піщані ґрунти, але з обов'язковим внесенням високих доз органічних добрив. Малоприсдатними є важкі глинисті ґрунти, зокрема з близьким заляганням ґрунтових вод.

Для *гороху*, який є вимогливим до ґрунту, підбирають середні за гранулометричним складом суглинкові і супіщані родючі ґрунти з нейтральною реакцією (рН 6–7). Малоприсдатні для нього надмірно ущільнені глинисті, кислі та перезволожені ґрунти.

Для *гречки* доцільніше використовувати чорноземи, удобрені опідзолені ґрунти з підвищеною аерацією, вологоємкі, але не заболочені. Реакція ґрунтового розчину має бути слабкокислою або нейтральною. Непридатні для неї дуже кислі ґрунти з рН < 5.

Льон-довгунець вирощують на добре окультурених середньосуглинкових ґрунтах з незначною опідзоленістю. Оптимальна реакція ґрунтового розчину слабкокисла (рН 5,9–6,5). Важкі та легкі ґрунти (супіщані і піщані) малоприсдатні для льону. Якщо для досліджу підбирають дерново-підзолисті ґрунти, то їх треба вапнувати.

Площу для дослідів вибирають далі від лісу – за 50–70 м, а від лісосмуги – не ближче півтори-двократної її висоти (щоб усунути вплив дерев на досліджувані рослини). Від суцільних огорож дослід розміщують не ближче як за 15–20 м, щоб не порушувати повітрообмін і не затінювати досліджувані рослини. На такій же відстані мають бути ґрунтові дороги. Дослід закладають подалі від магістральних доріг, бо вихлопні гази автотранспорту також можуть впливати на рослини. Не варто вибирати площі для дослідів поблизу населених пунктів, де домашні тварини можуть робити поправу посівів. Якщо дослід розміщують поблизу населеного пункту, то ділянку необхідно огородити металевою сіткою.

Вирівнювання родючості ґрунту. Вирівнювальні і рекогносцирувальні посіви

Як уже зазначалось, навіть найбільш вирівняна за рельєфом площа, вибрана для дослідів, буде мати різну родючість ґрунту, тому її треба вирівняти.

Щоб вирівняти ділянки за родючістю ґрунту, застосовують *вирівнювальні посіви* – висівають одну культуру одного сорту з однаковою агротехнікою на всій площі майбутнього дослідів протягом 2–3 років. Дія цього посіву така. У місцях, де родючість ґрунту була вищою, врожай культур буде вищим і з ґрунту буде винесено більше поживних речовин. Там же, де родючість нижча, з урожаєм буде винесено з ґрунту менше поживних речовин. За 2–3 роки родючість ґрунту під цими посівами вирівнюється. Для вирівнювального посіву краще використовують культури звичайного рядкового способу сівби на зелену масу. Слід зазначити, що якщо строкатість ґрунту за родючістю зумовлена різними його типами, підґрунтям чи рівнем залягання ґрунтових вод, то вона не усувається вирівнювальними посівами і така земельна площа непридатна для закладання дослідів.

Родючість ґрунту вирівнюють рівномірним внесенням тих поживних речовин, які в ґрунті є в мінімумі для культури. Варіювання родючості ґрунту можна знизити, якщо всі елементи агротехніки вирівнювальних посівів проводять однаково на всій площі майбутнього дослідів. Крім звичайної підготовки площі, проводять ще спеціальну у дослідів із зрошенням, при надмірному зволоженні та на площах після викорчовування дерев.

За 2–3 роки до проведення дослідів із зрошенням для вирівнювання родючості ґрунту площу поливають помірними нормами води, попередньо вирівнявши поверхню ґрунту. Це забезпечить рівномірність зрошення і покращить регулювання подавання води на ділянки залежно від варіанту дослідів.

В Поліссі при надмірному зволоженні ґрунту осушення треба проводити одним і тим же способом для всього дослідів. Метод осушення залежить від розмірів і форм дослідних ділянок, повторень і всього дослідів. Після осушення на всіх дослідних ділянках умови зволоження мають бути однаковими. Для цього дрени, відкриті канали розміщують перпендикулярно до довгих сторін ділянок на однаковій відстані від них.

Площі після дерев і чагарників очищають, витягують та вичісують коріння, вирівнюють поверхню ґрунту, засипаючи ями. У перші роки часто проводять глибокий обробіток ґрунту, вибирають рештки рослин. Після спеціальної підготовки на площах також проводять вирівнювальні посіви. За станом вирівнювальних посівів іноді окомірно оцінюють варіювання родючості ґрунту. При цьому можна виділити окремі частини площі з однаковою родючістю, які можна використати як майбутні повторення. Це дуже важливо для дослідів, які проводять в умовах виробництва, де більш складні (рекогносцирувальні) посіви застосовують дужерідко.

Рекогносцирувальні або *розвідувальні посіви* застосовують для виявлення варіювання родючості ґрунту. Для цього висівають одну культуру однорідним насінням за умови однакової агротехніки на всій площі майбутнього дослідів перед його закладанням. Виявляють варіювання родючості ґрунту за допомогою обліку врожайності на окремих діляночках, виділених на посіві. Як правило, ці посіви застосовують у наукових та навчальних закладах перед закладанням стаціонарних дослідів. Важливими питаннями рекогносцирувальних посівів є добір рослин, догляд за ними, підготовка до збирання врожаю і його збирання та складання плану рекогносцирувального посіву.

Найчастіше для таких посівів використовують ярі культури звичайного рядкового способу сівби. Осімі використовувати не слід, бо причиною зміни їх урожайності може бути не лише родючість ґрунту, а й місцеве вимерзання, випрівання, випирання, пошкодження посівів гризунами взимку тощо. З ярих культур висівають ячмінь, овес, вико-овес. Просапні культури менш придатні для таких посівів, бо їх врожайність може змінюватись не лише через неоднакову родючість ґрунту, а й через якість міжрядного обробітку, коли робочими органами знарядь деякі рослини можуть вирізуватись. Крім того, внаслідок пошкодження шкідниками цукрових буряків або картоплі в

окремих місцях посіви можуть сильно зріджуватись. При цьому варіювання врожаю цих культур буде значно більшим, ніж культур звичайного рядкового способу сівби.

З ярих культур доцільніше вирощувати такі, які є добрими попередниками для більшості культур сівозміни, наприклад вико-вівсяні сумішки на зелений корм. Крім того, цю культуру збирають раніше від тих, які вирощують на зерно, що сприяє своєчасному та якісному обробітку ґрунту під досліджувану культуру. Перед проведенням рекогносцирувального посіву на всій площі у попередні роки повинні бути однаковими передпопередники, попередники та рівномірний агрофон.

Окремі види агротехнічних робіт проводять за один день, ще краще – за кілька годин і на однаково високому рівні агротехніки. Основний, передпосівний, післяпосівний та післясходовий обробітки при догляді за посівами проводять на всій площі однаково. Боротьба із шкідниками, хворобами та бур'янами на всій площі ведеться одними і тими самими препаратами, однаковими дозами і технікою. Все це робиться для того, щоб краще додержуватися в досліді принципу єдиної різниці, тобто щоб фактори, які не досліджуються, не впливали на врожайність культури.

Перед збиранням врожаю весь рекогносцирувальний посів поділяють на діляночки, площа яких повинна у 2–4 рази меншою за площу майбутніх дослідних ділянок або бути однаковою. Форма діляночок цього посіву має бути видовженою із співвідношенням ширини ділянки до довжини 1 : 10. Ширина діляночки залежить від ширини захвату збирального агрегату. Щоб орієнтуватись при збиранні врожаю, межі діляночок фіксують віхами. Найкраще межі діляночок відбивати доріжками ще на початку вегетації рослин, тобто коли вони малі, бо перед збиранням виділення ділянок за допомогою мірної стрічки і шнура утруднює роботу і знижує її точність. Ширина доріжок, які утворюють сапою, може становити 10- 20 см.

Урожай збирають малогабаритними машинами, коли спадає роса. Оскільки вологість зеленої маси протягом дня змінюється, то через кожні 2 години роботи з кожної діляночки відбирають 2–3 пробних снопи, які зважують, прикріплюють до них етикетки із зазначенням номерів ділянок, снопів, їх маси та часу збирання. Після висушування під навісом до постійної маси снопи знову зважують і визначають процент вологи. Ці дані використовують для приведення зібраної зеленої маси всіх діляночок до однієї вологості. Збирання врожаю і обліки закінчують у стислі строки. Результати обліків використовують для складання плану рекогносцирувального посіву.

Для цього на білий папір у певному масштабі наноситься план рекогносцирувального посіву, в межах кожної ділянки вписується величина врожаю. А для кращого сприйняття кожна ділянка залежно від рівня врожайності фарбується у різний колір: ділянки з найвищою врожайністю – червоний; середньою – зелений; низькою – синій, а найнижчою – залишають білим. Таким чином виділяються блоки з різною родючістю, які будуть являти собою окремі повторення майбутнього досліді.

Теоретичні основи планування

Уперше математичне планування досліді було здійснено наприкінці 20-х років минулого століття автором дисперсійного аналізу англійським математиком Р. Фішером. Таке планування підвищує надійність експерименту, дає змогу зменшити кількість дослідних варіантів і розмір дослідів, знайти оптимальні варіанти та підвищити продуктивність праці дослідника. Отже, математичне планування є надзвичайно перспективним процесом у дослідній роботі.

Основне завдання планування – пошук оптимальних умов росту рослин з метою підвищення їх продуктивності. Припустимо, що дослідник у попередніх дослідіх мав підвищення врожаю від певних градацій досліджуваного фактору на 15 % порівняно з контролем. Але цей приріст урожайності не задовольняє дослідника і спонукає його до вибору оптимальної градації того фактору, який вивчається. Вирішення таких завдань називають процесом оптимізації.

Наприклад, X –діючий фактор (удобрення, зрошення, обробіток ґрунту тощо); Y – результат цієї дії (врожай, його якість). Це є параметром оптимізації, тобто критерієм оптимальності, цільовою функцією.

Математична модель або рівняння, що пов'язує параметр оптимізації з діючими факторами, має такий вигляд:

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_k),$$

де (X_1, X_2, \dots, X_k) , – функція відгуку, у якому X_1, X_2, \dots, X_k діючі фактори.

Градації кожного фактору або його дози називають рівнями фактору. Набором рівнів для кожного фактору визначається кількість варіантів у досліді. Якщо кількість рівнів для всіх факторів однакова, то кількість варіантів досліді дорівнює кількості рівнів, піднесених у число факторів. При

двох факторах та трьох рівнях кожного з них кількість варіантів у досліді буде $3^2 = 9$. При п'яти рівнях кожного з п'яти факторів в одному досліді буде $5^5 = 3125$ варіантів. Оскільки закласти дослід з такою кількістю варіантів практично неможливо, насамперед виключають ті з них, які є проміжними і менш ефективними. Але таке виключення не повинно бути суб'єктивним, його треба робити із застосуванням методів математичної статистики, про що йтиметься далі.

Математичне планування експерименту застосовують лише для дослідів, результати яких можна відтворити, а фактори можна регулювати. Такими факторами є сорт, гібрид, удобрення, обробіток ґрунту, глибина і строки сівби, схеми садіння тощо. До факторів, які мало регулюються, належать температура повітря і ґрунту, освітлення та ін. Однак у фітотронах ці та інші фактори повністю регулюються. Фактори, які не можна регулювати у полі – атмосферні опади, температура. Вони певною мірою змінюють процес відтворення результатів, тому у такому разі звертаються до так званого активно-пасивного експерименту, коли зв'язки між факторами, які не регулюються, та параметрами оптимізації визначають лише за результатами спостережень.

Планування дослідів – це насамперед вибір мінімальної кількості варіантів та умов проведення дослідів з метою оптимізації. При цьому користуються двома підходами:

1) побудовою фізичної моделі процесу на основі відомих явищ (фізики ґрунту, фізіології рослин, біології, хімії та ін.), що дає змогу мати математичну модель об'єкта досліджень у вигляді системи диференціальних рівнянь; 2) статистичним підходом, який доповнює перший. Математична модель експерименту – це рівняння, що пов'язує параметри оптимізації з факторами життя рослин.

Вибір параметрів дослідів. Параметр – це те, що потрібно оптимізувати, тобто це реакція на фактори, яких може бути кілька. Параметрами можуть бути врожай, його якісні показники, морозостійкість, посухостійкість рослин та їх стійкість проти шкідників і хвороб тощо.

Знайти оптимальні умови для рослин легше тоді, коли правильно вибраний єдиний параметр оптимізації. При цьому всі інші параметри обмежені. Якщо єдиний параметр вибрати неможливо, вибирають узагальнений параметр оптимізації як функцію від багатьох вихідних. Слід зазначити, що правильний вибір параметра – це одна з основних умов математичного планування.

Параметри оптимізації повинні відповідати таким вимогам:

1) параметри мають бути вимірюваними. Якщо їх не можна виміряти (наприклад, якісний параметр – стійка проти посухи рослина або нестійка), то для їх вираження користуються ранговим підходом. При цьому параметрам привласнюють ранги за шкалами: двобальний, п'ятибальний, десятибальний і т. д. Для двобальної шкали ранговий параметр має обмежену область визначення – „так” і „ні”, добрий або поганий стан рослин, уражуються рослини хворобами чи ні тощо. Однак ранговий підхід більш грубий, ніж безпосереднє вимірювання кількісних параметрів (маса врожаю, висота рослин, площа листя та ін.);

2) параметр має бути виражений одним числом. Якщо параметр виражається як співвідношення, наприклад, вмісту азоту до фосфору 3 : 2, то його записують числом 1,5;

3) параметр повинен бути однозначним статистично, тобто певному набору факторів має відповідати лише одне число параметра;

4) параметр повинен бути досить точним статистично. Якщо точність недостатня, то збільшують кількість повторностей;

5) параметр має бути універсальним і повним, тобто він повинен всебічно характеризувати об'єкт вивчення. Універсальним є параметр, який подається функцією кількох окремих;

6) кожний параметр оптимізації повинен мати фізичний зміст.

Одночасно можна оптимізувати лише одну функцію, найголовнішу з усіх. При цьому розраховують коефіцієнти парних кореляцій між основним параметром та іншими другорядними. Якщо зв'язок виявиться сильним, то другорядний параметр виключають. Також виключають параметри, які важче виміряти або зміст яких менш зрозумілий.

Вибір факторів дослідів. На врожай і його якість, стійкість рослин проти хвороб, шкідників, їх морозо- та посухостійкість впливають різні фактори: освітлення, сорт, вологість ґрунту і повітря, температура ґрунту і повітря, повітряний і поживний режими ґрунту, обробіток ґрунту та ін. Але при математичному плануванні враховують основний з них, який в даних умовах є найбільш дієвим.

Вибраний фактор повинен задовольняти такі вимоги:

1) має бути регульованим (зміна дози добрив, норми поливу, сівби, глибини оранки тощо). Температура і вологість повітря, освітлення у відкритому ґрунті – це фактори, які не можна повністю регулювати, тому їх не використовують для математичного планування польового дослідів;

2) щоб фактор можна було виміряти з достатньо високою точністю;

3) бажано, щоб фактор був однозначним;

4) щоб при вивченні сукупності кількох факторів їх можна безпечно поєднувати;

5) вибраний фактор не повинен залежати від інших, тобто між ними не повинно бути лінійної залежності (допускається криволінійний зв'язок).

Вибір моделі дослідю. Правильно вибрана математична модель дослідю дає змогу передбачити навіть ті оптимальні варіанти, які в досліді не вивчалися. Для цього користуються кроковим принципом на поверхні відгуку.

Поверхня відгуку багатofакторного дослідю має такі властивості як безперервність, гладкість та наявність єдиного оптимуму в певних точках даної поверхні. Якщо відомі значення параметрів у сусідніх точках поверхні відгуку, то в інших (сусідніх) можна математичними розрахунками передбачити значення іншого параметра. Так знаходять нові варіанти, яких у досліді не було і які можуть бути ефективними. Після проведення нового дослідю з включенням нових варіантів знову послідовно за допомогою математичних розрахунків визначають ефективніші варіанти дослідю, користуючись кроковим принципом. Якщо розраховують точки, які лежать на поверхні відгуку, то пошук називають інтерполяцією, а якщо за її межами – екстраполяцією. Чим ближче точки до області експерименту, тим точніше передбачення оптимальних варіантів.

Наприклад, для визначення залежності врожайності польових культур від діючих факторів (сорт, удобрення, зрошення тощо) будують кілька найбільш сприятливих моделей та перевіряють їх придатність. З кількох моделей використовують ту, яка за математичним виразом найпростіша, і це називають перевіркою адекватної моделі.

Якщо рух на поверхні відгуку не веде у стаціонарну область, переходять до поліномів більш високих ступенів. Те саме роблять, якщо залежність між факторами та їх параметрами криволінійна.

Отже, суть пошуку оптимуму така: 1) проводять досліді з невеликими схемами; 2) за результатами цих дослідів будують математичні моделі, з яких вибирають найбільш придатні; 3) рухаючись у напрямі, який поліпшує параметр, знаходять оптимальний варіант; 4) знову закладають досліді, будують нові моделі і знаходять більш ефективні варіанти і т. д. Це і є оптимізацією планування.

4. Досліді з неповними схемами

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

В. Н. Перегудов, Т. І. Іванова 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 $3 \times 3 \times 3$. Найчастіше користуються методом умовного фактору, який розглядається нижче.

Неповна факторна схема $1/4 (4 \times 4 \times 4)$ дає змогу вибрати з 64 варіантів ПФД 16 без втрати необхідної інформації. Для цього, наприклад, з чотирьох градацій кожного фактору – 0, 1, 2, 4 візьмемо початкову градацію – 0 та середню – 2 і запишемо їх матрицю. 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 АВС, 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 (табл. 4). В результаті 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 А, друге – фактору В, третє – градації фактору С.

4. Матриця НФС $1/4$ з 16 варіантів

Градація факторів			Варіа нт	Код на фоні 000	Варіа нт	Код на фоні 111
А	В	С				

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

5. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ТА ЗАВДАННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ СТАТИСТИКИ

Математична статистика – розділ математики, який опираючись на теорію ймовірності займається методами систематизації, обробкою та використанням статистичних даних для наукових та практичних висновків.

При проведенні будь-якого дослідження дослідник звертається до математичної статистики з метою вирішення таких трьох основних питань:

1. Як і в якій кількості відібрати об'єкти для дослідження.
2. Як за допомогою статистичних методів скоротити початкову інформацію і всі індивідуальні дані дослідів представити порівняно невеликою кількістю по можливості простіших узагальнених показників, не втративши при цьому найбільш притаманні для них риси.
3. Як оцінити достовірність та надійність одержаних експериментальних даних, відокремити випадкове від істотного і за окремою частиною (вибіркою) охарактеризувати ціле з достатньою точністю.

В агробіологічних дослідженнях дослідник має справу з дуже складними експериментами, в яких значна кількість факторів не піддається строгому обліку і контролю. Але й з таких експериментів, дякуючи математичній статистиці, можна одержати потрібну інформацію і оцінити ступінь надійності її результатів.

Але слід розуміти, що математична статистика є лише засобом озброєння експериментатора і не повинна підміняти інші спеціальні методики дослідження, тому що ніяка статистична обробка не взмозі усунути погрішності, допущені при закладанні дослідів і проведенні досліджень. Тому обов'язок дослідника – постановка добротних цілеспрямованих дослідів, а математична статистика допомагає вибрати оптимальні умови для проведення агрономічних досліджень і дає об'єктивну кількісну оцінку експериментальним даним.

В математичній статистиці використовують відповідні поняття, терміни та символи.

ПОНЯТТЯ ПРО СУКУПНІСТЬ, МІНЛИВІСТЬ І ВИБІРКУ

Кожне масове явище (група рослин в полі, тварин на фермі тощо) є *сукупність* особин, випадків, фактів, предметів або деяких умовних одиниць, кожна з яких окремо взята строго індивідуальна і відрізняється від інших низкою ознак – масою, висотою, кількістю продукції тощо. Кожна з ознак в різних особин може мати неоднаковий ступінь вираженості, тобто вона варіює в певних межах. Тому властивість умовних одиниць відрізнятись одна від іншої навіть в однорідних сукупностях називається *мінливістю* або *варіюванням*.

В рослин, наприклад, варіюючими ознаками є їх маса, висота тощо.

В тих випадках, коли потрібно дати загальну характеристику певній сукупності, варіювання ознак викликає певні труднощі, тому що всі особини групи не можна практично дослідити за тою чи іншою ознакою. В таких випадках вивчають частину сукупності, за якою роблять висновки. Такий метод називають *вибірковим*. Отже, всю групу об'єктів, яка взята для вивчення, називають *сукупністю* або *генеральною сукупністю*, а ту частину, яка попала на перевірку, називають *вибірковою сукупністю* або *вибіркою*. Кількість елементів, які входять в генеральну сукупність чи вибірку, називають їх *обсягом*.

Вибірки, які складаються з 20-30 одиниць спостереження називають малими, а вибірки з кількістю об'єктів 30 і більше і прямують до безкінечності ($n \rightarrow \infty$) – називають великими.

В результаті спостережень ми одержуємо відомості про кількісну величину ознаки, яка вивчається, у кожного члена даної вибіркової сукупності. Можливе значення варіюючої ознаки будемо називати *варіантою* і позначати через X . Одержаний ряд варіюючих величин, які відносяться до певної сукупності, можна впорядкувати, розмістивши значення ознаки (варіанти) в порядку їх зростання чи спадання. Таке впорядкування варіант називається їх *ранжируванням*. При розгляді ранжированого ряду можна помітити, що кожне значення ознаки зустрічається неоднакове число разів. Числа, які показують, скільки разів повторюється кожне значення ознаки в членів даної сукупності, називають частотами ознаки і позначають через f . Сума всіх частот ($\sum f$) дорівнює обсягові виборки (числу членів ряду) – n . В результаті такого опрацювання первинних спостережень одержуємо так званий *варіаційний ряд*. Ним називається *такий ряд даних, в яких показані можливі значення варіюючої ознаки в порядку зростання чи спадання і відповідні їм частоти*.

Розрізняють два типи варіаційних рядів з двома типами мінливості: *кількісною*, яка може бути виміряна, і *якісною*, яка не піддається вимірам.

7. ПІДГОТОВКА ДАНИХ ПРО ВРОЖАЙНІСТЬ ДО СТАТИСТИЧНОГО АНАЛІЗУ

Заокруглення чисел. Насамперед, всі цифрові дані експерименту повинні бути представлені тризначними числами. Наприклад: урожайність цукрових буряків 427 ц/га; озимого ячменю – 42,7 ц/га; волокна льону-довгунця – 4,27 ц/га. Показники, менші за одиницю, виражаються тисячними – 0,427.

Для одержання тризначного числа слід користуватись правилами заокруглення чисел.

Число заокруглюється до більшого, якщо після нього стоять цифри 5 і більші. Наприклад, число 0,9211 округлюється до 0,921, а число 0,9215 округлюється до 0,922.

Обчислення середніх арифметичних. Обчислення середніх арифметичних простих було показано вище. Однак у дослідях трапляються такі ситуації, коли, наприклад, різні рівні врожайності культури стосуються різних площ.

Так, з площі 5 га зібрали по 12 центнерів гречки, а з площі 12 га – по 28 центнерів. Середня арифметична проста складатиме $\frac{(12 + 28)}{2} = 20$ ц/га.

Але оскільки площі різні, то слід обчислити середню арифметичну зважену ($\bar{x}_{зв}$) за формулою

$$\bar{x}_{зв} = \frac{X_1 f_1 + X_2 f_2 + \dots + X_n f_n}{\sum f}$$

де X_1, X_2, \dots, X_n – варіююча ознака (у нашому прикладі – врожайність гречки); f – частота (це площі посіву гречки на певному варіанті).

Підставивши у формулу чисельні значення цих показників, матимемо

$$\bar{x}_{зв} = \frac{12 \cdot 5 + 28 \cdot 12}{17} = \frac{396}{17} = 23,3 \text{ ц/га.}$$

Одержаний результат значно відрізняється від визначеної за формулою середньої арифметичної простої, що вказує на необхідність користування в цих випадках формулами середньої зваженої.

Бракування сумнівних дат. При аналізі даних у межах кожного варіанта, тобто за повторностями, деякі з них можуть значно відрізнятися від інших і викликати сумнів щодо їх належності до певних варіаційних рядів. Сумнівні дати можна об'єктивно бракувати лише методами математичної статистики.

Наприклад, у досліді, де вивчались попередники озимої пшениці, урожайність зерна цієї культури після кукурудзи на силос по повторностях відповідно складала 28,5; 25,9; 40,8 і 28,3 ц/га.

Щоб встановити, чи всі ці дані належать до одного варіаційного ряду, їх числові значення розміщують у зростаючому порядку: 25,9; 28,3; 28,5 і 40,8.

Найбільш сумнівною є найменша дата – 25,9 та найбільша – 40,8. Для перевірки їх сумнівності кожній з дат привласнюють номер –25,9 (X_1), 28,3 (X_2), 28,5 (X_{n-1}), 40,8 (X_n) і обчислюють критерій τ (тау) за формулами:

$$\tau_1 = \frac{X_2 - X_1}{X_{n-1} - X_1} = \frac{28,3 - 25,9}{28,5 - 25,9} = \frac{2,4}{2,6} = 0,923;$$

$$\tau_n = \frac{X_n - X_{n-1}}{X_n - X_2} = \frac{40,8 - 28,5}{40,8 - 28,3} = \frac{12,3}{12,5} = 0,984.$$

Розрахункові критерії τ порівнюють з їх теоретичними значеннями і роблять висновки за таким правилом: якщо розраховані критерії (τ_1 і τ_2) більші за теоретичні або дорівнюють їм, то дата, яка перевіряється, є сумнівною і її треба вибракувати. Теоретичні значення критеріїв τ беруть з дод.5 згідно з числом повторностей (n) і рівнем надійної імовірності – $P_{0,95}$ чи $P_{0,99}$. При $n = 4$ критерії τ теоретичні відповідно становлять: $\tau_{0,95} = 0,955$ і $\tau_{0,99} = 0,991$.

Висновки. 1. Оскільки $\tau_1 = 0,923$ менше $\tau_{0,95}$ (0,955) та $\tau_{0,99}$ (0,991), то дата 25,9 не викликає сумніву і її не слід вибракувати.

2. Оскільки $\tau_n = 0,984$ перевищує $\tau_{0,95}$ (0,955), але менше $\tau_{0,99}$ (0,991), то на першому рівні дату 40,8 треба бракувати, а на другому – не треба.

Слід зазначити, що бракування дат за наведеними формулами можливе, якщо кількість повторностей у досліді становить не менше 4 та коли $X_1 \neq X_2$, а $X_{n-1} \neq X_n$, бо при цьому дати не можуть бути сумнівними, тому і не потребують перевірки.

Відновлення втрачених дат. Внаслідок випадання дат на деяких ділянках певною мірою ускладнюється статистичний аналіз дослідів.

Причинами випадання можуть бути сильні зливи (дуже замулюють окремі ділянки), град (випадає смугами), вибіркове пошкодження зернових культур і соняшнику птахами, шкідниками, хворобами, наїзди транспорту на придорожні ділянки тощо. Випадання дат можливе і в результаті їх бракування. Це може сильно вплинути на зміну середніх арифметичних, зменшуючи або збільшуючи їх, що, в свою чергу, призводить до виникнення похибок. Проте їм можна запобігти, відновлюючи втрачені дати за формулою

$$X_{\text{відн.}} = \frac{\ell V + nP - \sum X}{(\ell - 1)(n - 1)},$$

де: $X_{\text{відн.}}$ – дата, яка відновлюється; ℓ – кількість варіантів; V – сума дат у тому варіанті, де є втрачена дата; n – кількість повторностей; P – сума дат у повторенні, де є втрачена дата; $\sum X$ – сума дат у досліді, за винятком втраченої дати.

Наприклад, візьмемо врожайність озимої пшениці після різних попередників (табл.27).

27. Урожайність озимої пшениці після різних попередників, ц/га

Номер варіанта	Попередник	Повторність			
		I	II	III	IV
1	Багаторічні трави на один укіс	50,1	52,2	54,1	54,3
2	Вико-вівсяна сумішка	47,1	49,0	50,0	52,3
3	Горох	45,7	47,9	48,0	50,1
4	Кукурудза на силос	25,9	28,3	28,5	$X_{\text{в}}$

З неї видно, у четвертому повторенні четвертого варіанта дата втрачена і її потрібно відновити. Спочатку розраховуємо:

$$V = 25,9 + 28,3 + 28,5 = 82,7;$$

$$\sum X = 50,1 + 52,2 + 54,1 + 54,3 + 47,1 + 49,0 + 50,0 + 52,3 + 45,7 + 47,9 + 48,0 + 50,1 + 25,9 + 28,3 + 28,5 = 683,5;$$

$$p = 54,3 + 52,3 + 50,1 = 156,7.$$

$$\text{Підставивши у вищенаведену формулу замість букв їх числові значення матимемо } X_{\text{відн.}} = \frac{4 \cdot 82,7 + 4 \cdot 156,7 - 683,5}{(4 - 1) \cdot (4 - 1)} = \frac{274,1}{9} = 30,5.$$

Відновлену дату – 30,5 ц/га ставлять на місце тієї, що втрачена, і проводять далі відповідну статистичну обробку. При втраті одночасно кількох дат в одному досліді можна використовувати метод статистичної обробки для дослідів з неповним числом дат.

Перетворення вихідних (початкових) дат. Деякі результати досліджень не підпорядковуються законам нормального розподілу. Зрідка мають місце неоднорідність вибірок, значне варіювання в межах варіантів дослідів. Прикладом таких результатів є : кількість бур'янів у різних місцях посіву; поширення хвороб і шкідників на дослідних ділянках; результати досліджень, виражені у балах або відсотках, що наближаються до нуля.

Залежно від фактичних даних у конкретних дослідів перетворення виконують за відповідними формулами.

У дослідів, де обліковують кількість бур'янів у посівах або їх насіння у ґрунті, кількість шкідників чи поширення хвороб та коли результати виражені великими числами, перетворення роблять добуванням кореня квадратного з числа X . Наприклад, кількість насіння бур'янів у ґрунті становить 5041 шт./м². Перетворене значення X становитиме: $X_{перетв} = \sqrt{X} = \sqrt{5041} = 71$.

Ці дані використовують у дисперсійному або інших аналізах, а в кінці аналізів оберненим перетворенням переходять до вихідних дат. Наприклад, у дисперсійному аналізі значення найменшої істотної різниці (НІР) становить 24 шт. насінин бур'янів. Підносимо це число до квадрата ($24^2 = 576$) і одержаний результат порівнюємо з різницею між фактичними (до перетворення) значеннями кількості насіння бур'янів у ґрунті по варіантах.

Вибір методу статистичної обробки даних. Якщо дані не викликають сумніву, обчислюють середні арифметичні для кожного варіанта, вибирають метод статистичної обробки і виконують відповідний аналіз, наприклад дисперсійний. Вибір статистичного аналізу залежить від методу розміщення варіантів у польових дослідів.

Для дослідів, варіанти в яких розміщені за методом рендомізації (випадковим), застосовують дисперсійний аналіз. В решті випадків застосовують недисперсійні методи статистичної обробки.

Результати дослідів зі стандартним методом розміщення варіантів обробляють різницевим методом, а з систематичним методом розміщення – дробовим.

Показники якісної мінливості обробляють визначенням достовірності різниць між частками наявності ознак за допомогою критерію Стюдента (t).

Залежність між різними показниками рослин, рослинами та їх середовищем визначають за допомогою кореляційних аналізів.

СУТЬ ДИСПЕРСІЙНОГО АНАЛІЗУ.

У польовому досліді, розміщеному методом рендомізованих повторень, урожай змінюється залежно від варіантів, повторностей, а також від випадкових причин – неврахованої зміни умов навколишнього середовища або індивідуальної мінливості самих рослин. Останні дві причини також впливають на помилки дослідів. Англійський математик Р. Фішер (1890 – 1962) виразив ці зміни сумами квадратів таких розсіювань: варіантів – C_v ; повторень – C_p ; похибки – C_z . Їх сума і є сумою квадратів загального розсіювання (C_u). Тоді $C_u = C_v + C_p + C_z$.

Для кожного розсіювання обчислюють число ступенів свободи (v): варіантів – $v_v = \ell - 1$; повторень – $v_p = n - 1$; похибки – $v_z = (\ell - 1)(n - 1)$; загального розсіювання – $N - 1$, де $N = \ell n$, (ℓ – кількість варіантів, n – кількість повторень).

Діленням певної суми квадратів на число ступенів свободи мають дисперсію – S^2 . Дисперсія – це розсіювання даних дослідів і розчленування загального варіювання врожаю чи інших показників на складові частини. Звідси і назва методу – дисперсійний аналіз. Найбільш застосовувані дисперсія варіантів (S_v^2) та дисперсія помилки – S_z^2 , яку ще називають дисперсією залишку.

Відношення цих двох дисперсій є тим основним критерієм, який дає змогу дати загальну оцінку достовірності різниць між середніми арифметичними або загальну оцінку достовірності дослідів. Цей критерій позначають першою літерою прізвища автора дисперсійного аналізу Фішера (критерій Фішера), який визначають за формулою

$$F_{\text{факт}} = S_v^2 : S_z^2$$

Розрахувавши критерій Фішера фактичний ($F_{\text{факт}}$), його порівнюють із теоретичним критерієм ($F_{\text{теор}}$) на певних рівнях надійної імовірності (додатки 3 і 4) і роблять висновки. Якщо критерій Фішера фактичний (розрахований) дорівнює критерію теоретичному або більший від нього ($F_{\text{факт}} \geq F_{\text{теор}}$),

достовірність різниць між середніми арифметичними доведена. Це означає, що в досліді є одна пара або кілька пар варіантів, між середніми арифметичними яких є достовірна різниця. Якщо $F_{\text{факт.}} < F_{\text{теор.}}$, то достовірних різниць між середніми арифметичними немає.

Буває, що $F_{\text{факт.}}$ лише дещо менший від $F_{\text{теор.}}$. Дотримуючись вищенаведеного правила, треба робити висновок про те, що достовірних різниць у досліді немає. Однак продовження аналізу часто дає змогу знайти цю різницю хоч між одною парою варіантів. Тому в таких випадках не варто зупинитись тільки на розрахунках критерію F , а треба знаходити найменшу істотну різницю (НІР). З цим статистичним показником порівнюють різницю (d) між середніми арифметичними. Якщо $d \geq \text{НІР}$, то між варіантами доведена істотність різниці. Докази ведуть, як правило, на рівнях надійної імовірності $P_{0,95}$ та $P_{0,99}$.

Дисперсійний аналіз є найдосконалішим методом статистичної обробки даних. Його переваги полягають у виділенні із загального варіювання його компонентів, розрахуванні узагальненої похибки всього досліді (E) на основі більшої кількості спостережень, ніж для індивідуальних похибок окремих пар варіантів у недисперсійних методах. Так, при 5 варіантах і 4 повторностях число ступенів свободи похибки ν_z становить $(5 - 1) \cdot (4 - 1) = 12$, в той час як для кожного варіанта досліді окремо воно становить $4 - 1 = 3$, тобто в 4 рази менше, а для пари варіантів $(4 - 1) + (4 - 1) = 6$.

Дисперсійний аналіз досить ефективний для багатофакторних дослідів, оскільки дає змогу визначити достовірність не лише дії факторів окремо, а й їх взаємодії.

Висновок про точність усього досліді роблять наприкінці дисперсійного аналізу на основі числового значення відносної похибки $S_{\bar{x}}\%$, яку визначають за формулою

$$S_{\bar{x}}\% = \frac{E \cdot 100}{\bar{x}_N},$$

де E – узагальнена похибка досліді, \bar{x}_N – середня арифметична всього досліді.

Без обчислення похибки досліді дисперсійний аналіз вважається незакінченим, а висновки неповними.

Основна відміна дисперсійних аналізів полягає у формулах і в переліках тих сум квадратів, які розраховуються: 1) неповна рендомізація – $C_y = C_p + C_v + C_z$; 2) повна рендомізація – $C_y = C_v + C_z$; 3) латинський квадрат і латинський прямокутник – $C_y = C_p + C_c + C_v + C_z$; 4) двофакторний дослід – $C_y = C_p + C_a + C_b + C_c + C_v + C_z$; 5) трифакторний дослід – $C_y = C_p + C_a + C_b + C_c + C_{ab} + C_{ac} + C_{bc} + C_{abc} + C_z$.

8. КОРЕЛЯЦІЙНИЙ ТА РЕГРЕСІЙНИЙ АНАЛІЗИ

Методи статистичного аналізу, які розглядалися вище, дають можливість вивчати окремі ознаки або властивості незалежно, наче ізольовано від інших.

В багатьох агрономічних дослідженнях дуже важливо виявити залежність між двома або декількома ознаками, встановити їх взаємний зв'язок. Але в таких дослідженнях рідко мають справу з точними і визначеними *функціональними зв'язками*, коли кожному значенню однієї величини відповідає строго визначене значення іншої величини. Частіше зустрічаються такі співвідношення між змінними, коли кожному значенню ознаки X відповідає не одна, а безліч можливих значень ознаки Y . Такі зв'язки появляються лише при масовому вивченні ознак і на відміну від функціональних називаються *схолостичними* (вірогідними) або *кореляційними*.

В класифікаційному плані кореляції (взаємне співвідношення, залежність показників, явищ тощо) поділяються за напрямом, формою, силою та кількістю зв'язків.

За напрямом вони бувають прямі та зворотні. *Пряма кореляція* спостерігається тоді, коли із збільшенням однієї ознаки (X) інша ознака (Y) також збільшується. Приклади прямої кореляції: із збільшенням довжини колоса кількість зерен у ньому також збільшується; збільшення довжини листя призводить до збільшення їх площі; інтенсивніше освітлення рослин посилює фотосинтез тощо. *Зворотна кореляція спостерігається*, коли із збільшенням однієї ознаки (X) інша ознака (Y) зменшується. Приклад зворотної кореляції: при більшій забур'яненості посівів зменшується врожайність польових культур; збільшення доз застосовуваного інсектициду зменшує кількість шкідників на полі; надмірне розростання коренеплодів цукрових буряків призводить до зниження їх цукристості тощо.

При вивченні кореляційних зв'язків виникає два основних питання – про силу зв'язків і про їх форму. Для вимірів сили і форми зв'язків використовують спеціальні статистичні методи, які називаються *кореляцією і регресією*.

За формою кореляції поділяють на прямолінійні та криволінійні. При *прямолінійній кореляції* із збільшенням одних ознак (X) відповідно збільшуються інші ознаки (Y). Наприклад, при збільшенні маси бульб картоплі чи коренеплодів буряків збільшуються їх розміри, при збільшенні кількості зерен у колосі збільшується його довжина та ін.

Криволінійна кореляція має місце, коли значення X та Y змінюються спочатку в одному напрямі, а потім у протилежному. Приклади криволінійної кореляції: при постійному зростанні градацій певного фактору X (азотні або інші добрива, вологість ґрунту тощо) врожай (Y) спочатку зростає, потім стає стабільним, а після подальшого збільшення ознаки X ознака Y починає зменшуватись. Такі зв'язки виражають *кореляційним відношенням*, яке позначають η (грецьке „ета”).

За кількістю зв'язків кореляція буває *простою*, коли досліджується зв'язок між двома ознаками, та *множинною*, якщо вивчається зв'язок між трьома і більшою кількістю ознак. Приклади простої кореляції наведені вище, а прикладами множинної можуть бути такі: залежність урожайності одночасно від доз добрив, норм зрошення, норм висіву, глибини загортання насіння тощо; залежність якості врожаю від вищеперелічених умов, залежність урожайності від атмосферних опадів, температури повітря, його вологості тощо.

За силою зв'язків кореляція може бути *повною, сильною, середньою, слабкою* або її може не бути зовсім.

Ступінь кореляційної залежності вимірюється різними показниками. За прямолінійної кореляції ступінь взаємозв'язків виражається числом, яке називається *коефіцієнтом кореляції* і позначається буквою r , а за криволінійної кореляції – *кореляційним відношенням*, яке позначається буквою η .

Коефіцієнт кореляції вказує на напрям і ступінь взаємозв'язку, але не дає можливості зробити висновок про те, як кількісно змінюється функціональна ознака (Y) при зміні факторіальної ознаки (X) на одиницю виміру. В таких випадках на допомогу дослідникові приходить *регресійний аналіз*, за яким можна передбачити значення функціональної ознаки за заданим значенням факторіальної, тому що регресія вказує на ступінь зміни ознаки Y при зміні на одиницю ознаки X. Наприклад, із зміною довжини колоса (X) на 1 см кількість зерен у ньому (Y) збільшується на 7 штук.

Після кореляційних та регресійних аналізів складають рівняння регресії, які використовують для обчислення невідомого показника за відомим.