

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РФ
ФГБОУ ВО ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени А.А. Ежевского

Агрономический факультет
Кафедра Земледелия и растениеводства

МЕТОДИКА ОПЫТНОГО ДЕЛА

Методические указания по изучению дисциплины и задания для контрольной работы для магистрантов 1 курса по направлению подготовки 35.04.04 «Агрономия» заочного обучения

УДК

Методические указания «Методика опытного дела»: Методические указания по изучению дисциплины и задания для контрольной работы, магистрантам по направлению подготовки 35.04.04 – «Агрономия» издается по решению методической комиссии агрономического факультета ИрГАУ (протокол № от апреля 2019 г.).

Составитель: доцент кафедры земледелия и растениеводства, к. с.-х. н. С.П. Бурлов, Иркутск.- 2019.- 34 с.

Методические указания по курсу «Методика опытного дела» предназначены для магистрантов агрономического факультета (заочное отделение) для самостоятельного выполнения контрольной работы. Они содержат общие указания по изучению и объему дисциплины, примерные затраты времени для проработки отдельных разделов дисциплины. В методическом указании изложены три задания выполнения контрольной работы. В методическом указании приведены основы статистической обработки результатов научных исследований, рассмотрен метод дисперсионного анализа и пример обработки данных однофакторного полевого опыта методом дисперсионного анализа. Пособие включает также приложение 1 (значения критерия t на 5 и 1 % уровне значимости) и приложение 2 – значение критерия F на 5% уровне значимости (вероятность 95%) и глоссарий.

Бурлов С.П. «Методика опытного дела»: Методические указания по изучению дисциплины и задания для контрольной работы, магистрантам по направлению подготовки 35.04.04 – «Агрономия» / С.П. Бурлов. – Иркутск, 2019.– 33 с.

Содержание	Стр.
1. ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ	4
2. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ	4
3. ЗАДАНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ	5
3. 1. ЗАДАНИЕ 1	6
3. 2.ЗАДАНИЕ 2	6
4.ОСНОВЫ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ИССЛЕДОВАНИЙ	11
5. ДИСПЕРСИОННЫЙ АНАЛИЗ	16
5. 1.ЗАДАНИЕ 3	18
6. ПРИМЕР ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ОДНОФАКТОРНОГО ПОЛЕВОГО ОПЫТА	23
ПРИЛОЖЕНИЕ 1	27
ПРИЛОЖЕНИЕ 2	28
ГЛОССАРИЙ	29
ЛИТЕРАТУРА	32

1. ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Цели и задачи

Цель дисциплины: - формирование знаний и умений по методам агрономических исследований. Планированию, техники закладки и проведению полевого эксперимента и применению статистических методов анализа опытных данных.

Задачами дисциплины являются:

изучить:

- методы агрономических исследований, основные понятия и классификацию
- основные элементы методики полевого опыта
- планирование сельскохозяйственного эксперимента, наблюдений, учетов
- технику закладки и проведения опыта,
- ведение документации и отчетности
- освоить применение статистических методов анализа в агрономических исследованиях.

В результате изучения дисциплины студенты должны:

- уметь:
- планировать схему и структуру опыта
- статистически обработать результаты исследований методом дисперсионного, корреляционного, регрессионного анализов
- применить программы статистических обработок данных на ПК

Знать:

- статистические методы анализа в агрономических исследованиях
- основы методики полевого опыта

Иметь представление: - о новых разработках и методиках проведения опытов

2. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Таблица 1 – Объем дисциплины и виды учебной работы

Заочная форма обучения: Семестр – 1, вид отчетности – экзамен (1 семестр).

Вид учебной работы	Объем часов / зачетных единиц	Объем часов / зачетных единиц
	всего	4 семестр
Общая трудоемкость дисциплины	108/3	108/3
Контактная работа обучающихся с преподавателем (всего)	24	24
в том числе:		
Лекции	8	8
Семинарские занятия		
Практические занятия (ПЗ)	16	16
Самостоятельная работа (всего)	48	48
в том числе:		
Курсовой проект (КП) ¹	-	-
Курсовая работа (КР) ²		
Расчетно-графическая работа (РГР) (планирование полевого опыта)	28	28
Реферат (Р)		

Эссе (Э)	-	-
Контрольная работа		
Самостоятельное изучение разделов		
Самоподготовка (проработка и повторение лекционного материала и материала учебников и учебных пособий, подготовка к лабораторным и практическим занятиям, коллоквиумам, рубежному контролю и т.д.)	20	20
Подготовка и сдача экзамена ²	36	36
Подготовка и сдача зачета	-	-

Таблица 2 – Примерные затраты времени на изучение тем дисциплины
Заочная форма обучения

Раздел дисциплины (тема)	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)				Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
			лекции (Л)	практ. (семинарские)	лаборат. работы (ЛР)	самост. работа (СРС)	
2	3	4	5	6	7	8	9
Методы агрономических исследований	1		4	6		16	Коллоквиум. Круглый стол. Защита лабораторных работ. Рефераты. Тесты.
Применение математической статистики в агрономических исследованиях	1		2	6		16	Коллоквиум. Рефераты. Тесты.
Планирование, закладка и проведение опытов	1		2	4		16	Коллоквиум. Круглый стол. Комплект задач и заданий. Рефераты. Тесты.
Итого			8	16		48	

Таблица 3 – Тематическое содержание дисциплины МОД

Разделы дисциплины	Тема и краткое содержание темы
Методы агрономических исследований	<ol style="list-style-type: none"> 1. История сельскохозяйственного опытного дела. 2. Сущность и принципы научного исследования; наблюдения и эксперимент. 3. Классификация и характеристика методов агрономических исследований: лабораторный, вегетационный, лизиметрический, вегетационно-полевой и полевой опыты. 4. Особенности условий проведения полевого опыта; закономерности территориальной изменчивости плодородия почвы; разведывательные (рекогносцировочные) и уравнивательные посевы. 5. Требования к полевому опыту. 6. Понятие о методике полевого опыта и слагающих ее элементах (варианты, повторность, повторение, делянка, защитные полосы); влияние основных элементов методики полевого опыта на ошибку эксперимента. 7. Методы размещения вариантов: систематические, стандартные и рандомизированные. 8. Рандомизированные методы размещения вариантов (полной рандомизации, рандомизированных повторений, латинский квадрат, латинский прямоугольник, расщепленных делянок); сравнительная эффективность методов размещения вариантов в полевом опыте.
Применение математической статистики в агрономических исследованиях	<ol style="list-style-type: none"> 1. Выборочный метод в агрономических исследованиях. 2. Статистические характеристики для оценки признаков при количественной и качественной изменчивости. 3. Статистические методы проверки гипотез. 4. Дисперсионный анализ, сущность и модели дисперсионного анализа результатов вегетационных и полевых опытов. 5. Корреляционно-регрессионный анализ в агрономических исследованиях. 6. Применение ЭВМ в опытном деле.
Планирование, закладка и проведение опытов	<ol style="list-style-type: none"> 1. Общие принципы и этапы планирования эксперимента. 2. Планирование основных элементов методики полевого опыта; планирование схем однофакторных и многофакторных опытов. 3. Планирование наблюдений и учетов в полевом опыте. 4. Техника закладки и проведения вегетационных и полевых опытов. 5. Полевые работы на опытном участке, требования к полевым работам в опыте. 6. Методы учета урожая, особенности учета урожая разных культур. 7. Документация и отчетность. 8. Особенности проведения опытов в производственных условиях. 9. Особенности методики проведения опытов по изучению орошения; водной и ветровой эрозии; сенокосов и пастбищ; по сортоиспытанию.

3. ЗАДАНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ И УКАЗАНИЯ ПО ИХ ВЫПОЛНЕНИЮ

Общие положения

Студент выполняет контрольную работу после усвоения теоретического материала по Доспехову (1) Кирюшину(2). Объем контрольной работы не должен превышать размера школьной тетради рукописного текста. Контрольную писать разборчиво, оставляя поля по 3 см и каждую страницу пронумеровать. В конце работы привести список использованной литературы и других источников. Работу подписать и датировать. Прислать ее надо в срок, чтобы за месяц до начала сессии она была проверена и допущена к собеседованию.

После проверки и получения работы, необходимо познакомиться с замечаниями, все их устранить, прилагая старый текст. Цифры при необходимости исправления зачеркнуть одной линией и записать исправленную.

Контрольная работа предусматривает выполнение трех заданий. Ответы давать в последовательности, предусмотренной настоящим контрольным заданием.

В задании 1 предусматривается выявить теоретическую подготовку необходимую для планирования конкретного полевого опыта в соответствии с заданием 2. основной источник информации – учебник, сведения, полученные в опытном учреждении.

В задании 2 необходимо спланировать конкретный однофакторный полевой опыт. Источник информации – учебник, сведения, полученные в опытном учреждении, специальная сельскохозяйственная литература. По этому заданию должны быть сделаны конкретные разработки, которые нельзя заменить общими рассуждениями. Это задание строго индивидуальное. В противном случае работа не будет зачтена.

В задании 3 предусматривается обработать методом дисперсионного анализа данные по урожайности полевых опытов. Конкретные задания даны в текстовом задании.

3. 1. ЗАДАНИЕ 1

1. Кратко охарактеризовать основные методы исследования, применяемые в научной агрономии.
2. Написать определения полевого опыта и сельскохозяйственного производственного опыта. Какое между ними различие, если оно есть?
3. Перечислить основные методические требования к полевому опыту.
4. Классификация полевых опытов. Какие опыты целесообразно проводить в условиях производства? Их краткая характеристика.
5. Перечислить основные элементы методики полевого опыта. Каково их влияние на точность полевого опыта.
6. Описать методы размещения делянок на опытном участке, повторений, вариантов.
7. Перечислить основные этапы научного исследования
8. Кратко описать технику разбивки и оформления полевого опыта на опытном участке.
9. Указать требования, предъявляемые к полевым работам на опытном участке.
10. Указать способы учета урожая и их особенности.

3. 2. ЗАДАНИЕ 2

Планирование однофакторного полевого опыта

В данном задании студент должен самостоятельно запланировать тему своего будущего исследования. Студент планирует однофакторный полевой опыт для конкретных условий своей выпускной квалификационной работы. Тему научного исследования можно получить у научного руководителя, научного учреждения, на кафедре агрономического факультета

При выполнении этого задания нужно придерживаться указанной последовательности. Студентам желательно спланировать опыт с полевой, овощной культурой открытого и закрытого грунта. При выполнении этого задания придерживаться следующего плана:

1. Выбрать тему и сформулировать ее название.
2. Выдвинуть рабочую гипотезу. Рабочая гипотеза – это научное предвидение результатов опыта.
3. Сформулировать задачи исследования.
4. Указать объекты исследования (культура, сорт, технология).
5. Разработать схему опыта (совокупность опытных и контрольных вариантов).

Пример схемы однофакторного полевого опыта дан в учебниках.

6. Описать все элементы методики полевого опыта. Указать площадь делянки (опытной и учетной), ее длину, ширину, повторность, метод размещения вариантов, метод размещения делянок, метод размещения повторений. Метод учета урожая и повторность опыта во времени в учебниках.

7. Подобрать опытный участок в поле конкретного полевого или овощного севооборота, соорудении защищенного грунта. Выбор обосновать.

8. Начертить схематический план полевого опыта (см. пример в учебнике 1, с. 89 или 2, с. 90-92). Показать все размеры: общего контура опыта, контура повторений, делянок. Указать номера делянок, вариантов.

9. Дать схему дисперсионного анализа для обработки полученной в опыте информации. На 1, на с. 210, на 2, с. 193 – 201 учебника приведены схемы дисперсионного анализа однофакторного опыта.

***Примечание:** цифра 1 обозначает смотреть у Доспехова, 2 – у Кирюшина

Пример планирования полевого опыта при выполнении выпускной квалификационной работы

Доспехов Б.А., 1985, с. 40-70; 72-91.

Кирюшин Б.Д. 2009, с.10, 12 – 85

В данном задании студент должен самостоятельно запланировать тему своей будущей выпускной (дипломной) работы. Выбрать название темы и составить план исследования может самостоятельно или с помощью научного руководителя. Студент-заочник планирует однофакторный полевой опыт для конкретных условий ЗАО, ООО, фермерского и другого хозяйства.

Перед выполнением задания необходимо проработать следующие вопросы:

1. Методические требования, предъявляемые к полевому опыту. (1, с. 18 – 23; 2, с. 29 – 31).
2. Классификация полевых опытов и проводимых в условиях хозяйства. (1, с. 23 – 26; 2, с. 22 – 26)
3. Требования к планированию полевого опыта. (1, с. 72 – 88, 2, с. 10 – 11, 42 – 50).
4. Основные элементы методики полевого опыта. (1, с. 40 – 52; 2, 18 – 22).
5. Требования к схематическому плану полевого опыта, техника разбивки и оформления полевого опыта. (1, с. 88 – 91; 2, с. 90 – 92).
6. Схема дисперсионного анализа результатов полевого опыта. (1, с. 210; 2, с. 193 – 201)
7. Методика взятия образцов почвы, растений и других объектов исследования в полевом опыте. (1, с. 84 – 88, 2, с. 49 – 50).

После выбора темы необходимо кратко её обосновать, изучить литературу по изучаемой проблеме, определить задачу, выработать рабочую гипотезу, составить схему опыта, определить методику ее определения, начертить схематический план с указанием повторений, опытных делянок, защитных полос и других элементов опыта. Указать основные работы по закладке и проведению опыта, разработать программу сопутствующих наблюдений, способы уборки и учета урожая.

Порядок выполнения работы следующий:

1. Сформулировать тему исследования, рабочую гипотезу, конкретные задачи полевого опыта и объекта исследования.
2. Разработать схему и элементы методики полевого опыта (студент-заочник планирует опыт в условиях хозяйства).
3. Подобрать опытный участок, учесть его особенности (склон, влияние различных второстепенных факторов).
При планировании полевого опыта в теплице учесть различный микроклимат.
4. Начертить схематический план полевого опыта.
Показать все размеры, размещение вариантов на делянках, повторения.
Предусмотреть применение сельскохозяйственной техники.
5. Определить схему дисперсионного анализа для получения в опыте достоверных урожайных данных.
6. Разработать подробную методику двух сопутствующих наблюдений, требующих взятия выборок.
Указать методику взятия образцов почвы, растений и др. объектов (сроки, делянки, место на делянке и др.).
7. Указать методику уборки урожая.

Пример темы исследования. Этот пример для выполнения задания не использовать.

Тема: Влияние норм высева на урожайность яровой пшеницы в условиях ЗАО "Железнодорожник" Усольского района.

Рабочая гипотеза.

В нашем исследовании предполагается, что оптимальная норма высева будет: высев - 6,5 - 7,0 млн. штук на 1 га.

Задача полевого опыта:

1. Заложить полевой опыт для установления влияния на урожайность и качество зерна следующих норм высева семян:

5,0 ; 6,0; 6,5; 7,0 ; 8,0 млн. всхожих семян в. шт. на 1 га.

Предварительно прочитать в учебнике Доспехов Б.А. с. 73-74.

2. Наметить план сопутствующих наблюдений (фенологические, полевая всхожесть, структура урожая показатели качества)

Объектом исследования является районированный сорт пшеницы Тулунская 12.

Схема опыта:

- 1) норма высева 5,0 млн всхожих семян. на 1 га;
- 2) 6,0 млн всхожих семян. на 1 га;
- 3) 6,5 млн всхожих семян. на 1 га;
- 4) 7,0 млн всхожих семян. на 1 га;
- 5) 8,0 млн всхожих семян на 1 га.

Элементы методики полевого опыта перечислены в учебнике (с. 40), необходимо их разработать для каждого конкретного случая.

Элементы методики опыта

Число вариантов – 5

Повторность опыта во времени – 2 года

Повторность на территории – четырехкратная.

Площадь, форму и направление делянок выбрать, руководствуясь конкретными условиями.

Размещение вариантов, повторений и делянок запланировать общепринятыми мето-

дами, при этом варианты - систематическим или рендомизированным методами (Доспехов Б. А. с. 52 - 71).

Схематический план размещения опыта показываем рендомизированным (случайным) методом (рисунок 2).

Размеры опытной делянки показаны на рисунке 2.

Длина делянки 50 м, ширина 7,2 м, площадь опытной делянки 360 м².

Ширина боковых защиток 1 м, концевых защитных полос 2 м.

Площадь учетной части опытной делянки, соответственно, равна 46 м x 5,2 м = 239 м²

Общая площадь одной опытно делянки – 360 м²

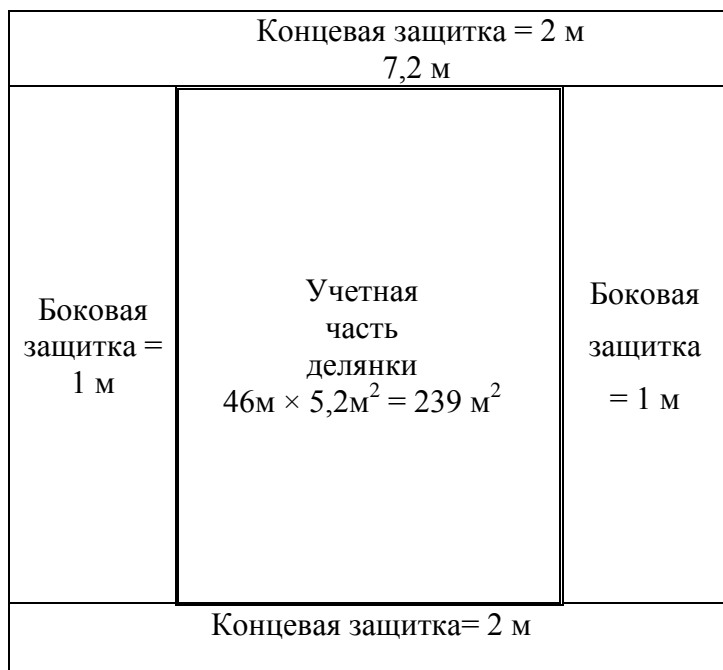


Рисунок 1 - Схема одной опытной делянки.

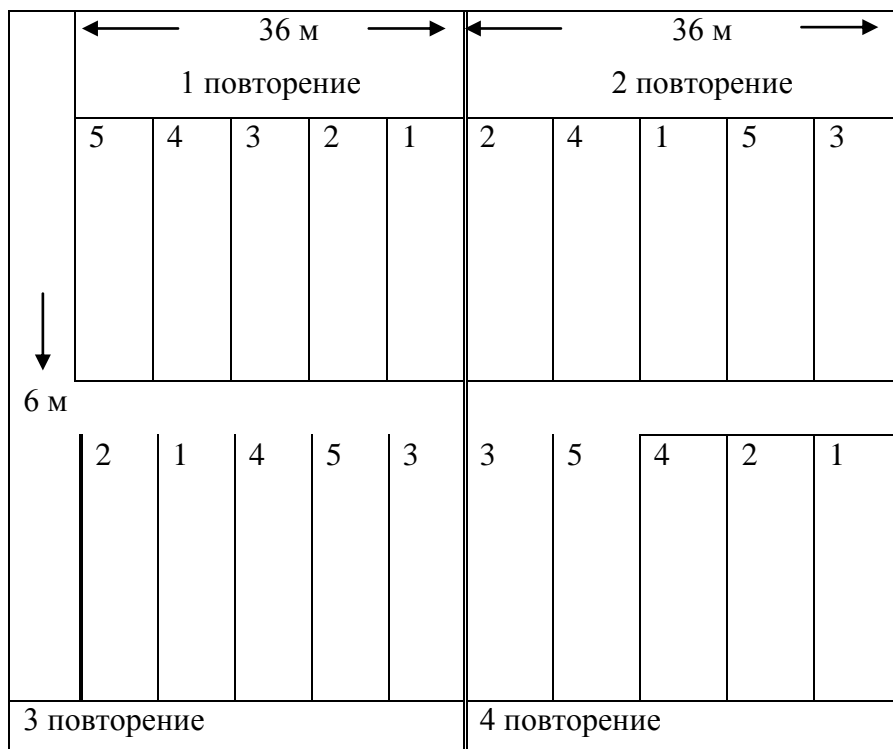


Рисунок 2 - Схематический план полевого опыта.

Программа сопутствующих наблюдений:

Она может состоять из следующих наблюдений и учетов:

- 1) Фенологические наблюдения (дата посева, начало всходов, всходы, кущение, выход в трубку, колошение, цветение, молочная спелость, восковая спелость, полная спелость)
- 2) Полевая всхожесть по вариантам
- 3) Структура урожая пшеницы (число растений на 1 м², число колосоносных растений на 1 м², коэффициент кустистости, длина колоса, число колосков в колосе, масса зерна с колоса, масса соломы с растения, отношение зерна к соломе, масса одного колоса)
- 4) Физические показатели качества зерна (натура зерна, масса 1000 семян, стекловидность, энергия прорастания, всхожесть, содержание белка, клейковины)

Следует подробно описать методику проведения одного сопутствующего наблюдения.

Указать планирующиеся методы уборки урожая (учитывая возможность выключек и уборку механизированную либо ручную).

План наблюдений и учетов в опыте

Наблюдение	Сроки выполнения	Краткое описание методики

4. ОСНОВЫ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

Математическая статистика – это один из разделов математики, позволяет делать умозаключения о всей (генеральной) совокупности на основе наблюдений над выборочной совокупностью, или выборкой.

Основа математической статистики – теория вероятностей, наука, изучающая общие закономерности в массовых случайных явлениях различной природы, и применяется везде, где приходится иметь дело с планированием экспериментов и обследований, с оценкой параметров и проверкой гипотез, с принятием решений при изучении сложных систем.

Результаты опытов всегда подвержены тем или иным посторонним влияниям, помимо изучаемых, т.е. содержит некоторый элемент случайности, который измеряется величиной экспериментальной ошибки.

Знание современных методов статистической обработки необходимо для количественной характеристики наблюдений и данных, при планировании опыта и интерпретации окончательных результатов. Но сами по себе эти методы не могут заставить плохо поставленный опыт дать хорошие результаты.

При постановке добротных, целенаправленных опытов, математическая статистика помогает агрономическому исследованию в выборе оптимальных условий для проведения опыта, дает объективную, количественную оценку экспериментальным данным.

Всякое массовое, множественное явление (группа растений или животных) представляет собой совокупность особей, случаев, фактов, предметов, т.е. некоторых условных единиц, каждая из которых индивидуальна и отличается от других рядом признаков (массой, высотой, количеством продукции и т.д.).

Свойство условных единиц отличаться друг от друга даже в однородных совокупностях называется изменчивостью или варьированием. Оно присуще всем предметам в природе (двух совершенно одинаковых предметов не существует) и определяется случайными причинами.

Варьирующими признаками у растений являются, например, их высота, количество и масса зерен в колосе, масса и количество клубней в гнезде, содержание крахмала, клейковины, протеина и др.

Вся группа объектов, подлежащая изучению называется генеральной совокупностью. Но т.к. не всегда возможно исследовать всю совокупность, изучают лишь часть ее.

Часть объектов, которая попала на проверку, исследование называется выборочной совокупностью или просто выборкой.

Главная цель выборочного метода – по статистическим показателям выборки возможно точнее охарактеризовать всю генеральную совокупность.

Возможные значения варьирующего признака X называют вариантами и обозначают $X_1, X_2, X_3 \dots X_n$.

При этом каждое значение варианта повторяется неодинаковое число раз.

Числа, которые характеризуют, сколько раз повторяется каждое значение признака у членов данной совокупности, называются частотами признака и обозначаются f .

Сумма всех частот ($\sum f$) равна объему выборки, т.е. числу членов ряда – n .

Вариационным рядом называется такой ряд данных в которых указаны возможные значения варьирующего признака в порядке возрастания или убывания и соответствующие им частоты.

Различают два типа изменчивости: количественную, которая может быть измерена, и качественную, которая не поддается измерению.

Под количественной изменчивостью понимают такую, в которой различия между вариантами выражаются количеством (массой, высотой, числом зерен, содержанием в % и т.д.).

Различают два вида количественной изменчивости: прерывистая, или дискретная (число зерен в колосе, число растений на m^2), которая выражается целыми числами, и непрерывную, у которой значения вариантов выражаются мерами объема, длины, массы и т.д., между которыми ограничений переходов нет.

Качественной изменчивостью называется такое варьирование, когда различия между вариантами выражаются качественными показателями, которые одни варианты имеют, а другие нет (цвет, вкус, форма изучаемого объекта и др.).

Если признак принимает только два взаимоисключающих друг друга значения (больной – здоровый, остистый – безостый и пр.), то изменчивость называется альтернативной, т.е. двояковоозможной.

Основные статистические характеристики вариационного ряда

Основными статистическими характеристиками (параметрами) множественных вариационных рядов являются:

средняя арифметическая (\bar{x}), дисперсия (S^2), стандартное отклонение (S), ошибка средней арифметической ($S_{\bar{x}}$), коэффициент вариации (V) и относительная ошибка выборочной средней ($S_{\bar{x}}\%$).

Средняя арифметическая (\bar{x}) — наиболее важный и универсальный количественный показатель, которым можно охарактеризовать данную группу объектов. Она представляет собой обобщенную, абстрактную характеристику всей совокупности (ряда) в целом. Нахождение средней — это замена индивидуальных варьирующих значений всех членов

вариационного ряда некоторой средней величиной. Если сумму всех вариантов ($X_1 + X_2 + \dots + X_n$) обозначить через ΣX (Σ — прописная сигма означает знак суммирования), а число всех вариантов через n , то формула для определения средней арифметической примет следующий вид:

$$\bar{x} = \frac{\Sigma X}{n};$$

При небольшом числе наблюдений достаточно сложить значения, всех вариантов и сумму разделить на их общее число. Например/ урожай картофеля на каждом из трех полей составил (в ц с 1 га): 180, 220 и 500. Отсюда

$$\bar{x} = \frac{180 + 220 + 500}{3} = 300 \text{ ц/га}$$

Вычисленная таким образом простая средняя арифметическая будет отражать среднюю урожайность картофеля в хозяйстве лишь в том случае, если площади всех полей равны между собой. Если же площади полей не равны (в опытах площади делянок почти всегда равны), необходимо вычислять не простую, а так называемую взвешенную среднюю арифметическую, которая учитывает частоту встречаемости каждой варианты, в нашем примере площадь полей. (см. по Доспехову стр. 160)

Стандартное отклонение и дисперсия. Средняя арифметическая дает первое обобщенное представление о совокупности изучаемых объектов. В ней снята всякая вариация, устранены все различия отдельных значений, это тот центр, около которого происходит варьирование изучаемого признака. Нередко бывает так, что средние арифметические одинаковы, но характеры распределения индивидуальных значений признака совершенно различны.

Так, при одинаковой средней величине урожаев двух сортов яровой пшеницы нельзя сказать, что эти сорта равноценны. Предположим, что урожаи первого сорта варьировали по годам следующим образом (в ц с 1 га): 29, 31, 30, 30. Урожаи второго сорта в том же опыте за те же годы составляли: 20, 40, 35 и 25. В обоих случаях средний урожай $\bar{x} = 30$ ц с 1 га. Однако нетрудно заметить, что индивидуальные урожаи первого сорта имеют значения, близкие к \bar{x} , тогда как урожаи второго сорта значительно отклоняются от средней арифметической, т. е. варьирование урожаев по годам у второго сорта значительно сильнее, чем у первого, и в этом отношении сорта не только не тождественны, но очень различны.

Наибольший хозяйственный интерес, очевидно, представляет сорт, урожайность которого меньше подвержена случайным влияниям метеорологических и других факторов.

Следовательно, не меньшее значение, чем средняя арифметическая (\bar{x}), имеет «рассеяние» урожаев, размах их возможных колебаний. Отсюда возникает и потребность в измерении вариации, рассеяния. Необходим показатель, который разумным образом мог бы давать меру рассеяния и хотя бы ориентировочно, примерно указывал на размер отклонений от среднего значения, какого следует ожидать. Следовательно, наряду со средней арифметической (\bar{x}) необходимо иметь и среднюю величину, среднюю меру варьирования данного признака. Такой мерой могла бы служить средняя арифметическая отклонений индивидуальных вариантов от \bar{x} , но она всегда равна нулю, так как сумма всех отклонений равна нулю $\Sigma(X - \bar{x}) = 0$ независимо от характера изменчивости.

Чтобы отклонения от среднего могли служить мерой изменчивости, нужно освободиться от их знака, что достигается возведением отрицательных и положительных отклонений от \bar{x} в четную степень, например в квадрат. Опыт и некоторые теоретические соображения показывают, что лучше всего взять квадраты отклонения $(X - \bar{x})^2$, и тогда характеристику рассеяния значений X можно построить, рассматривая то среднее значение этого квадрата, которое получают при делении суммы всех квадратов отклонений на их число. Средний квадрат отклонений называется дисперсией и обозначается символом S^2 .

Итак, *дисперсией называется средняя арифметическая квадратов отклонений отдельных дат варьирующего признака от их среднего значения*. Размерность дисперсии равна квадрату размерности изучаемого признака, что неудобно и заставляет ввести для измерения рассеяния другую характеристику, имеющую размерность варьирующей величины и называемую стандартным, или средним квадратическим, отклонением S . Его получают извлечением квадратного корня из дисперсии S^2 и возвращаются тем самым как бы к исходным величинам отклонений.

Дисперсия и стандартное отклонение служат основными мерами вариации, рассеяния изучаемого признака или свойства. Величина стандартного отклонения имеет ту же размерность, что и \bar{x} . Она указывает на средний размах колебаний отдельных значений какого-либо признака и представляет ту границу, которая отделяет малые отклонения от отклонений значительных. Дисперсию и стандартное отклонение вычисляют по формулам

$$S^2 = \frac{\sum (X - \bar{x})^2}{n - 1}, \text{ где}$$

$n - 1$ – число степеней свободы.

$$S = \sqrt{S^2}$$

Стандартное отклонение (S) имеет ту же размерность, что и средняя арифметическая. Тем не менее при сравнении различных вариационных рядов этой величиной непосредственно воспользоваться нельзя. Например, : как сравнить степень изменчивости веса и высоты растений? Непосредственно воспользоваться стандартными отклонениями нельзя: они, так же как и средние арифметические, выражены здесь в разных единицах. Поэтому для сравнения различных вариационных рядов, различных выборочных наблюдений стандартному отклонению необходимо придать относительное значение, выразить его, например, в процентах, приняв \bar{x} за 100.

Стандартное отклонение, выраженное в процентах к среднему арифметическому, называется коэффициентом вариации (изменчивости). Этот коэффициент обозначают символом V и вычисляют по формуле:

$$V = \frac{S}{\bar{x}} \cdot 100$$

Коэффициент вариации – это показатель относительной пестроты или выравненности варьирующего признака или свойства. Чем больше V , тем больше пестрота и меньше выравненность изучаемых объектов, и наоборот. Коэффициент изменчивости, будучи отвлеченным числом, выраженным в процентах, дает возможность сравнивать варьирование признаков разной размерности, например высоты и веса, содержания азота и площади листьев и т. п.

Пример вычисления коэффициентов вариации с урожаями двух сортов пшеницы:

$$\text{I сорт } \bar{x}_1 = 30,0 \text{ ц/га}; \quad S_1 = 0,82 \text{ ц/га}; \quad V_1 = \frac{S_1}{\bar{x}_1} \cdot 100 = \frac{0,82}{30} \cdot 100 = 2,7 \%$$

$$\text{II сорт } \bar{x}_2 = 30 \text{ ц/га}; \quad S_2 = \pm 9,12 \text{ ц/га} \quad * \quad V_2 = \frac{S_2}{\bar{x}_2} \cdot 100 = \frac{9,12}{30} \cdot 100 = 30,4 \%$$

отсюда следует, что варьирование урожая второго сорта более чем в десять раз превосходит варьирование первого. Изменчивость вариационного ряда принято считать незначительной, если коэффициент вариации не превышает 10%, средней, если V выше 10%, но менее 20%, и значительной, если коэффициент вариации более 20%.

Для характеристики степени выравненности материала иногда целесообразно использовать величину, дополняющую значение коэффициента вариации до 100. Этот показатель называют коэффициентом выравненности и определяют по равенству

$$B = 100 - V.$$

Ошибка средней арифметической.

Средняя величина отклонения выборочной средней от средней изучаемой совокупности называется ошибкой средней арифметической (или стандартной ошибкой) и обозначается через $S_{\bar{x}}$. Теория статистики доказывает, что ошибка средней прямо пропорциональна стандартному отклонению и обратно пропорциональна корню квадратному из числа измерений:

$$S_{\bar{x}} = \frac{S}{\sqrt{n}}$$

где $S_{\bar{x}}$ — ошибка средней арифметической;

S — стандартное отклонение;

n — число измерений, повторностей, объем выборки.

Ошибка средней арифметической тем меньше, чем меньше, варьирует опытный материал и чем из большего количества измерений вычислено среднее арифметическое. В опытной работе, особенно при обработке результатов полевых опытов и наблюдений, часто вычисляют ошибку выборочной средней арифметической, по следующей формуле:

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{S^2}{n}}$$

Отсюда следует, что точность определения \bar{x} для данного опытного материала может быть повышена лишь увеличением числа наблюдений.

Относительная ошибка выборочной средней. Подобно коэффициенту вариации, представляющему собой процентное отношение S к \bar{x} , среднюю ошибку выборочной средней арифметической $S_{\bar{x}}$ можно также выразить в процентах от соответствующей средней величины.

Полученная относительная величина очень удобна для сравнения изменчивости любых выборочных средних арифметических. Она обозначается символом $S_{\bar{x}}\%$ и называется относительной ошибкой выборочной средней (или точностью опыта, эксперимента). Показатель точности вычисляют по формуле:

$$S_{\bar{x}}\% = \frac{S_{\bar{x}}}{\bar{x}} \cdot 100.$$

Совершенно ясно, что надежность, устойчивость выборочных средних арифметических будет повышаться с уменьшением показателя точности и, наоборот, снижаться с увеличением $S_{\bar{x}}\%$. Для полевых опытов отличными показателями точности средних арифметических (урожаев) принято считать $S_{\bar{x}}\% < 1$ —2%, хорошими $S_{\bar{x}}\% < 3$, вполне удовлетворительными $S_{\bar{x}}\% = 3$ —5 и удовлетворительными $S_{\bar{x}}\% = 5$ —7%. Для микрополевых и вегетационных опытов, полевых и лабораторных анализов и измерений желательна точность в пределах 1—3%.

Покажем определение статистических характеристик при обработке двух сортов: средние (\bar{x}); дисперсию (S^2); стандартное отклонение (S), ошибку средней арифметической ($S_{\bar{x}}$), относительная ошибка (точность опыта — $S_{\bar{x}}\%$)

1 вариант. 29; 31; 30; 30 $\bar{x} = 30$ ц/га; $(X - \bar{x}) = -1; +1; 0; 0$; $\Sigma(X - \bar{x})^2 = (-1)^2 + 1^2 + 0^2 + 0^2 = 2$.

2 вариант. 20; 40; 35; 25 $\bar{x} = 30$ ц/га; $(X - \bar{x}) = -10 + 10 + 5 + (-5) = 0$; $\Sigma(X - \bar{x})^2 = (-10)^2 + 10^2 + 5^2 + (-5)^2 = 250$.

Дисперсия первого варианта $S^2_1 = \frac{\Sigma(X - \bar{x})^2}{n - 1} = \frac{2}{3} = 0,67$;

$$S^2_2 \text{ второго варианта} = \frac{250}{3} = 83,33.$$

Стандартное отклонение первого сорта $S_1 = \sqrt{0,67} = \pm 0,82$ ц/га;

Стандартное $S_2 = \sqrt{83,3} = \pm 9,12$ ц/га.

Коэффициент вариации первого сорта $V_1 = \frac{S_1}{x} \times 100 = \frac{0,82}{30} \times 100 = 2,7\%$

Коэффициент вариации второго сорта $V_2 = \frac{S_2}{x} \times 100 = \frac{9,12}{30} \times 100 = 30,4\%$

Средняя ошибка первого сорта $S_{\bar{x}_1} = \sqrt{\frac{S^2}{n}} = \sqrt{\frac{0,67}{4}} = \frac{0,82}{2} = 0,41$ ц/га.

Средняя ошибка второго сорта $S_{\bar{x}_2} = \sqrt{\frac{83,33}{4}} = 4,56$ ц/га.

Относительная ошибка первого сорта: $S_{\bar{x}} \% = \frac{S_{\bar{x}}}{x} \times 100 = \frac{0,41}{30} \times 100 = 1,36\%$;

Относительная ошибка второго сорта $S_{\bar{x}} \% = \frac{4,56}{30} \times 100 = 15,3\%$

Из примера видно, что у первого сорта все статистические характеристики (дисперсия, стандартное отклонение, коэффициент вариации, ошибка средней арифметической и точность опыта) значительно ниже, чем у второго сорта.

5. ДИСПЕРСИОННЫЙ АНАЛИЗ

Дисперсионный анализ разработал и ввел в практику сельскохозяйственных и биологических исследований английский ученый Р.А. Фишер, который открыл закон распределения отношения средних квадратов (дисперсий):

$$\frac{\text{среднийква} \quad \text{дратвыборо} \quad \text{чныхсредни} \quad x}{\text{среднийква} \quad \text{дратобъект} \quad \text{ов}} = F$$

Дисперсионный анализ является наиболее совершенным методом математической обработки полученных опытных данных.

Он лучше других подходит для планирования и обработки полевых экспериментов, позволяет оценить методику и результаты опыта в целом, установить различия между вариантами опыта, плодородием опытного участка.

Задачей дисперсионного анализа является определить доли и степени влияния различных факторов в отдельности, а также суммарного их воздействия на изменчивость изучаемого признака.

В результате дисперсионного анализа получаем данные характеризующие 4 вида рассеивания:

1) Общее рассеивание или общую дисперсию, которая определяется действием всех факторов опыта;

2) Частная дисперсия или факториальная - результат действия организованных в опыте факторов (вариантов);

3) Дисперсия повторений – результат действия неоднородности (пестроты) плодородия почвы опытного участка;

4) Остаточная дисперсия (дисперсия ошибки) – связанная с неизвестными, случайными, неорганизованными в данном исследовании факторами.

Сущностью дисперсионного анализа является расчленение общей суммы квадратов отклонений и общего числа степеней свободы на части-компоненты, соответствующие структуре эксперимента, и оценка значимости действия и взаимодействия изучаемых факторов по F-критерию.

Раскроем дисперсионный анализ на примере:

Число вариантов $\ell = 3$; повторность $n = 4$;

План опыта

1			2			3			4		
1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Порядок решения:

Общая дисперсия: $C_Y = C_V + C_P + C_Z$

Общее число степеней свободы:

$$N-1 = (\ell-1) + (n-1) + (\ell-1)(n-1)$$

$$11 = 2 + 3 + 6$$

$\nu_n = (n-1)$ – число степеней свободы повторений

$\nu_\ell = (\ell-1)$ – число степеней свободы вариантов

$\nu_z = (\ell-1)(n-1)$ – число степеней свободы остатка (ошибки)

Вычисляем:

1) Общее число наблюдений $N = \ell \times n = 3 \times 4 = 12$

2) Корректирующий фактор $C = (\sum X)^2 : N$ $C = (\sum X - A)^2 : N$

3) Общую сумму квадратов

$$C_Y = \sum (X - \bar{x}_0)^2 = \sum (X - A)^2 - C = \sum X^2 - C$$

4) Сумму квадратов повторений

$$C_P = \sum (\bar{x}_p - \bar{x}_0)^2 = \sum (\bar{x}_p - A)^2 : \ell - C = \sum \bar{x}_p^2 : \ell - C$$

5) Сумму квадратов вариантов

$$C_V = \sum (\bar{x}_v - \bar{x}_0)^2 = \sum (\bar{x}_v - A)^2 : n - C = \sum \bar{x}_v^2 : n - C$$

6) Сумму квадратов для ошибки (остаток) $C_Z = C_Y - C_V - C_P$

Две последние суммы квадратов C_V и C_Z делят на соответствующие им степени свободы, т.е. получают два средних квадрата (дисперсии):

$$\text{Вариантов } S_V^2 = \frac{C_V}{\ell - 1} \quad \text{и ошибки } S_Z^2 = \frac{C_Z}{(n-1)(\ell-1)}$$

Критерий Фишера – это отношение дисперсии вариантов к дисперсии ошибки (остатка):

$$F_{\text{Факт}} = \frac{S_V^2}{S_Z^2}$$

Если $F_{\text{Факт}} < F_{\text{теор}}$, то нулевая гипотеза принимается, между средними нет существенных различий, и на этом проверка заканчивается.

Если $F_{\text{Факт}} \geq F_{\text{теор}}$, то нулевая гипотеза отвергается, между выборочными средними имеются существенные различия, далее оценивают существенность частных различий по НСР и определяют, между какими средними имеются значимые различия.

Теоретические значения критерия F , по числу степеней свободы для дисперсии вариантов и остатка, находят в приложении 2-3. В большинстве случаев избирают 5 %-ный, а при более строгом подходе 1 %-ный уровень значимости.

В нашем случае $\nu_z = (\ell-1)(n-1) = 6$; $\nu_v = (\ell-1) = 2$

$$F_{05} = 5,14$$

$$F_{01} = 10,92$$

Оцениваем значимость разности между средними по наименьшей существенной разности (НСР):

$$1) \text{ Ошибка средней } S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{S_z^2}{n}};$$

$$2) \text{ Ошибка разности средних } S_d = \sqrt{\frac{2S_z^2}{n}} = 1,41 S_{\bar{x}}$$

$$3) \text{ НСР}_{05} = t_{05} S_d;$$

где t_{05} – критерий Стьюдента находим по числу степеней свободы ошибки (остатка) в приложении 1.

Если прибавка $d \geq \text{НСР}_{05}$ то она существенна на 5 %-ном уровне значимости. Затем делается вывод.

5. 1. ЗАДАНИЕ 3

Дисперсионный анализ урожайных данных однофакторного полевого опыта

В этом задании необходимо обработать данные с ячменем и капустой. Порядок расчетов показан в учебнике на с. 231-233.

Номера вариантов взять из таблицы 5.1 по данной двум последним цифрам шифра зачетной книжки или студенческого билета. Например, с шифром 71045 номера вариантов взять в таблице 1 на пересечении строки 4 по горизонтали с графой 5 по вертикале, т.е. 18; 16; 14 урожайность ячменя и капусты выписываем из таблицы 5.2 и 5.3 в соответствующие таблицы 5.4-А и таблицу ; 5.4-Б

Далее необходимо выполнить все расчеты в последовательности как показано в учебнике или в данной методичке. После проведенных расчетов (пример учебник таблица. 44 или пример в методичке) делается предварительный вывод. Для этого сравнивают критерий Фишера фактический ($F_{\text{фак}}$) с критерием Фишера табличным (F_{05}).

Если $F_{\text{фак}} < F_{05}$ это обозначает, что в опыте нет существенной разницы между вариантами опыта. В этом случае вычисляют только ошибку опыта (x^-)

Если $F_{\text{фак}} > F_{05}$, то делается предварительный вывод, что в опыте есть различие между вариантами и нулевая гипотеза отвергается. Для определения вариантов с существенной прибавкой вычисляют НСР и составляют итоговую таблицу.

В учебнике показана таблица 45 с.233.различие между вариантами сравнивается с НСР_{05} . Если фактическая разность $d > \text{НСР}_{05}$, то она существенна, а если $d < \text{НСР}_{05}$. один из вариантов надо взять за контрольный вариант и сравнить с ним остальные.

Если отклонения средних урожаев от контроля с положительным знаком равны или больше НСР_{05} , такие варианты относятся к 1 группе.

Если отклонения с положительным или отрицательным знаком не выходят за пределы НСР_{05} – 2 группа. Отклонения с отрицательным знаком больше по абсолютной величине НСР_{05} – 3 группа.

Если получится, что оба варианта существенно превышают контроль, тогда надо сравнить их между собой и установить, есть ли между ними существенное различие, если оно есть, надо рекомендовать производству вариант с наибольшей урожайностью.

Таблица 5.1 – Номера вариантов для двух полевых опытов, урожайность которых обработать методом дисперсионного анализа

Пред- послед- няя цифра шифра	Последняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
1	10,9,3	5,4,7	17,15,19	7,2,4	17,11,15	18,17,19	3,6,4	17,19,15	11,16,15	16,15,17
2	18,19,20	9,3,5	15,18,17	11,14,17	16,15,18	11,17,18	17,15,16	8,6,5	12,14,20	18,16,20
3	13,12,16	1,3,8	7,8,6	11,14,19	4,8,2	8,2,9	18,16,19	15,12,17	7,3,6	16,18,19
4	5,3,8	5,8,6	9,5,7	16,14,20	18,16,17	18,11,20	11,16,19	11,17,20	14,13,16	10,2,5
5	6,1,2	1,9,2	8,6,3	17,19,18	2,6, 10	1,3,6	4,2,5	11,13,16	9*,4,3	4,7,9
6	8,2,7	3,9, 8	7,,2,3	14,13,11	5,6,1	2,5,3	7,6,1	17,15,18	9,4,3	4,7,9
7	1,2,5	5,9,1	15,17,20	1,5,8	11,16,18	9,5,2	8,1,5	14,12,13	3,5,4	7,3,1
8	16,12,20	13,12,20	7,9, 10	11,18,19	5,9,7	11,19,20	1,3,2	1,9,3	13,12,14	8,3, 10
9	11,12,20	11,12,13	4,6,2	2,10,7	18,17,20	11,17,18	11,14,16	7,8,9	2,5,6	16,15,19
0	11,15,18	3,9,7	14,20,19	6,3,2	2,6,9	14,13,20	3,6,1	13,12,20	7,5,10	11,12,14

Таблица 5.2 – Урожайность ячменя для таблицы 4-А
(исходная для расчетов)

Вари-ант(номер по табл. 1)	Урожайность по повторениям для таблицы 4-А, т/га				Вари-ант(номер по табл. 1)	Урожайность по повторениям для таблицы 4-А, т/га			
	1	2	3	4		1	2	3	4
1	2,41	2,64	2,56	2,72	11	6,08	5,74	6,18	5,98
2	2,19	2,05	2,37	2,08	12	5,82	6,15	6,16	5,97
3	2,64	2,87	2,59	2,71	13	6,25	6,34	6,53	5,97
4	2,87	3,15	2,70	2,94	14	5,88	6,15	5,96	6,24
5	2,67	2,47	2,33	2,61	15	4,95	5,32	5,07	4,83
6	2,82	2,68	2,86	2,79	16	5,41	5,52	5,61	5,48
7	2,94	3,12	2,98	2,76	17	5,76	5,92	5,68	5,87
8	2,26	2,43	2,19	2,38	18	5,64	8,80	5,85	5,73
9	2,05	2,27	1,98	2,16	19	5,66	5,89	5,57	5,76
10	2,39	2,26	2,43	2,41	20	6,18	5,88	5,97	6,02

Таблица 5.3 – Урожайность кочанов капусты для таблицы 4-Б
(исходная для расчетов)

Вари-ант(номер по табл. 1)	Урожайность по повторениям для таблицы 4-Б, т/га				Вари-ант(номер по табл. 1)	Урожайность по повторениям для таблицы 4-Б, т/га			
	1	2	3	4					
1	36,4	36,0	38,0	37,5	11	40,8	39,7	42,2	38,9
2	38,1	39,6	41,5	40,8	12	32,8	29,6	31,5	30,6
3	59,9	57,0	61,5	60,7	13	34,5	35,9	36,0	35,2
4	39,1	40,2	38,4	41,5	14	37,5	38,7	36,9	38,8
5	33,0	33,6	29,0	31,0	15	42,3	45,7	44,0	43,5
6	40,5	39,7	41,6	42,0	16	36,7	32,5	34,9	34,5
7	42,1	41,6	44,0	43,6	17	40,5	38,9	41,5	40,0
8	64,8	62,5	65,5	66,0	18	27,1	29,6	28,7	29,0
9	42,0	42,1	43,5	44,0	19	31,0	31,5	30,7	31,9
10	36,6	37,5	35,7	38,0	20	23,7	25,0	22,4	23,5

Выписываем данные требуемых вариантов из таблиц 2 и 3, считаем суммы и средние

Таблица 5.4-А – Урожайность кочанов капусты, т/га

Вариант (номер в скобках - номер из таблицы 1)	Повторения, X				Сумма V (ΣV)	Средняя \bar{x}
	1	2	3	4		
1(18)	27,1	29,6	28,7	29,0	114,4	28,6
2(16)	36,7	32,5	34,9	34,5	138,6	34,6
3(17)	40,5	38,9	41,5	40,0	160,9	40,2
Сумма P (ΣP)	104,3	101,0	105,1	103,5	$\Sigma X=413,9$	$\bar{x}_0=34,5$

Таблица 5.4-Б – Урожайность зерна ячменя, т/га

Вариант (номер в скобках - номер из таблицы 1)	Повторения, X				Сумма V (ΣV)	Средняя \bar{x}
	1	2	3	4		
1(18)	5,64	5,80	5,85	5,73	23,02	5,76
2(16)	5,41	5,52	5,61	5,48	22,02	5,50
3(17)	5,76	5,92	5,68	5,87	23,23	5,81
Сумма P (ΣP)	16,81	17,24	17,14	17,08	$\Sigma X=68,27$	$\bar{x}_0=5,69$

Обработка данных однофакторного опыта с пшеницей, имеющего четыре варианта (l) и три повторения (n) показываем на примере.

6. ПРИМЕР ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ОДНОФАКТОРНОГО ПОЛЕВОГО ОПЫТА МЕТОДОМ ДИСПЕРСИОННОГО АНАЛИЗА

Таблица 6.1 – Урожайность пшеницы в зависимости от минеральных удобрений, ц/га

Вариант	Повторность			Сумма ΣV	Средние \bar{x}_v
	1	2	3		
1. P60 K60 - фон	15,0	16,2	17,4	48,6	16,2
2. N ₆₀ - фон	18,4	17,5	18,4	54,3	18,1
3. N90- фон	20,2	19,0	19,9	59,1	19,7
4. N120 - фон	16,5	15,1	17,1	48,7	16,3
Сумма ΣP	70,1	67,8	72,8	$\Sigma X= 210,7$	$\bar{x}_0 = 17,5$

Ход решения следующий:

- Находим общее число делянок в опыте: $N = l \times n = 3 \times 4 = 12$.
- Находим суммы по вариантам сложением данных всех четырех повторений каждого варианта: первый – $15,0 + 16,2 + 17,4 = 48,4$; второй – $18,4 + 17,5 + 18,4$ и т. д., полученные суммы вписываем в пятый столбец таблицы 1.
- Находим суммы по повторениям сложением данных каждой повторности, например: первая повторность – $15,0 + 18,4 + 20,2 + 16,5 = 70,1$; вторая повторность – $16,2 + 17,5 + 19 + 15,1 = 67,8$ и т. д., полученные суммы записываем в строку «Сумма ΣP »
- Правильность расчетов определяем по равенству: $\Sigma P = \Sigma V = \Sigma X = 70,1 + 67,8 + 72,8 = 48,6 + 54,3 + 59,1 + 48,7 = 210,7$.

6. Находим средние арифметические (\bar{x}) по каждому варианту делением суммы вариантов на число повторностей: $48,6 : 3 = 16,2$, $54,3 : 3 = 18,1$ и т. д. Средние записываем в 6 столбец (таблица 1)

7. Определяем среднюю арифметическую опыта (\bar{x}_0) – делением общей суммы на число делянок в опыте: $210,7 : 12 = 17,5$.

8. Определяем C_u, C_p, C_v, C_z

Суммы квадратов отклонений (общую - C_u ; повторений - C_p ; вариантов - C_v ; ошибок - C_z) можно определить через произвольное число А.

Произвольные числа круглые целые числа - 0, 5, 10, 15, 20 и т. д. При общей средней опыта $\bar{x}_0 = 17,6$, значение А может быть равно 15 или 20, ближайшие круглые целые числа к средней опыта. Возьмем А равное 20

1) составляем таблицу отклонений поделяночных урожаев:

первое отклонение равно $X_1 - A = 15 - 20 = - 5,0$;
 второе $X_2 - A = 16,2 - 20 = - 3,8$;
 третье $X_3 - A = 17,4 - 20 = - 2,6$;
 четвертое $X_4 - A = 18,4 - 20 = - 1,6$;
 пятое $X_5 - A = 17,5 - 20 = - 2,5$;
 шестое $X_6 - A = 18,4 - 20 = - 1,6$;
 седьмое $X_7 - A = 20,2 - 20 = + 0,2$
 восьмое $X_8 - A = 19,0 - 20 = - 1,0$
 девятое $X_9 - A = 19,9 - 20 = - 0,1$
 десятое $X_{10} - A = 16,5 - 20 = - 3,5$
 одиннадцатое $X_{11} - A = 15,1 - 20 = - 4,9$
 двенадцатое $X_{12} - A = 17,1 - 20 = - 2,9$
 Полученные отклонения заносим в таблицу 6.2

Таблица 6. 2 – Таблица отклонений от произвольного числа А=20

Варианты	Отклонения (X - 20)*			Сумма
	1	2	3	$\sum VA$
1	2	3	4	5
1.	-5,0	-3,8	-2,6	-11,4
II.	-1,6	-2,5	-1,6	-5,7
III.	+0,2	-1,0	-0,1	-0,9
IV.	-3,5	-4,9	-2,9	-11,3
Сумма ($\sum P_A$)	-9,9	-12,2	-7,2	$[\sum(X - A)] = - 29,3$

* Примечание: отклонения могут быть положительными и отрицательными значениями.

Промежуточные расчеты ведутся с точностью до второго знака после запятой, конечные результаты округляются с точностью до исходных данных.

2/ проверяем правильность найденных сумм отклонений:

$$\sum P_A = \sum V_A = [\sum(X - A)]$$

$$= -9,9 + -12,2 + - 7,2 = - 11,4 + -5,7 + - 0,9 + -11,3 = -29,3;$$

3/ общее число наблюдений (N) в опыте находим умножением числа вариантов на число повторений:

$$N = l \times n = 4 \times 3 = 12;$$

4/ корректирующий фактор (C) по формуле:

$$C = [\sum(X - A)]^2 : N = -29,3^2 : 12 = 858,49 : 12 = 71,54$$

5/ общую сумму квадратов отклонений по формуле:

$$C_y = \sum(X - A)^2 - C = (-5^2 + -3,8^2 + -2,6^2 + -1,6^2 + -2,5^2 + -1,6^2 + 0,2^2 + -1,0^2 + -0,1^2 + -3,5^2 + -4,9 + -2,9^2) - 71,54 = 31,79$$

6/ сумма квадратов отклонений повторений:

$$C_p = \sum P_A^2 : l - C = (-9,9^2 + -12,2^2 + -7,2^2) : 4 - 71,54 = 3,17$$

7/ сумма квадратов отклонений вариантов определяется:

$$C_v = \sum V_A^2 : n - C = (-11,4^2 + -5,7^2 + 0,9^2 + -11,3^2) : 3 - 71,4 = 25,45$$

8/ сумма квадратов отклонений ошибок (остатка):

$$C_z = C_y - C_p - C_v = 31,79 - 3,17 - 25,45 = 3,20$$

Составляем таблицу 6.3, в нее заносим результаты дисперсионного анализа. Во второй столбец заносим суммы квадратов отклонений.

Таблица 6.3 – Результаты дисперсионного анализа

Вид рассеяния	Сумма квадратов отклонений	Число степеней свободы (v)	Дисперсия (s ²)	Отношение дисперсий	
				Fфакт	Fтабл
1	2	3	4	5	6
Общее (C _y)	31,79	11	-	-	-
Повторений (C _p)	3,17	2	-	-	-
Вариантов (C _v)	25,45	3	8,49	16,33	4,76
Остатка (C _z)	3,20	6	0,53	-	-

Определяем число степеней свободы (v) - число наблюдений без единицы. Рассчитываем и заносим в третий столбец (таблица 3).

Число степеней свободы общего варьирования:

$$v_{C_y} = N - 1 = l \times n - 1 = 4 \times 3 - 1 = 12 - 1 = 11 ;$$

Число степеней свободы повторений: $v_p = n - 1 = 3 - 1 = 2;$

Число степеней свободы вариантов $v_v = l - 1 = 4 - 1 = 3;$

Число степеней свободы остатка (ошибок) можно определить двумя способами: первый способ по разнице: $v_z = v_{C_y} - v_p - v_v = 11 - 2 - 3 = 6$ или число степеней свободы остатка (ошибок) равно произведению числа степеней свободы повторений на число степеней вариантов:

$$v_z = (n - 1)(l - 1) = (3 - 1)(4 - 1) = 2 \times 3 = 6.$$

Определяем дисперсии:

а) вариантов по формуле $S^2_v = C_v : (l - 1) = 25,45 : 3 = 8,49;$

б) дисперсию остатка (ошибок) $S^2_z = C_z : (n - 1)(l - 1) = 3,20 : 6 = 0,53$. Результаты определения дисперсий заносим в четвертый столбец (таблица 3).

Определяем отношение дисперсий (критерий Фишера F):

а) фактический - **Fфакт** = $S^2_v : S^2_z = 8,49 : 0,53 = 16,33$, фактический критерий Фишера записываем в столбец 5 (табл. 3);

б) табличное значение критерия Фишера ($F_{\text{табл.}}$ при 5% уровне значимости) находим в таблице 2 приложения на пересечении трех степеней свободы дисперсии вариантов (числитель) по горизонтали и шести степеней свободы дисперсии остатка (знаменатель) по вертикали и находим, что табличное значение критерия Фишера равно 4,76. Табличное значение критерия Фишера записываем в столбец 6 (табл.3).

На основании найденных показателей F делаем общий вывод о наличии в опыте вариантов, существенно отличающихся от других.

При $F_{\text{факт}} \geq F_{\text{табл}}$ нулевая гипотеза отвергается ($H_0 : d \neq 0$). Это означает, что в опыте есть варианты с достоверными прибавками.

При $F_{\text{факт}} < F_{\text{табл}}$ нулевая гипотеза принимается ($H_0 : d = 0$). В этом случае разности между средними вариантов находятся в пределах ошибки опыта.

9. Для нахождения частных различий между вариантами опыта необходимо определить НСР (наименьшая средняя разность или предельная ошибка опыта (тройная ошибка опыта)).

Вычисляем:

$$1) \text{ ошибку средних: } S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{S_z^2}{n}} = \sqrt{\frac{0.53}{3}} = 0.42 \text{ ц/га};$$

$$2) \text{ ошибку разности } S_d = \sqrt{\frac{2S_z^2}{n}} = 1.41S_x = \sqrt{\frac{2 \times 0.53}{3}} = 0.59 \text{ ц/га};$$

3) **наименьшую существенную разность (НСР):**

$$\text{НСР}_{05} = t_{05} \times S_d = 2.45 \times 0.59 = 1.44 \text{ ц/га.}$$

Критерий Стьюдента (t_{05}) находим в приложении 1 . Значение критерия находим на пересечении числа степеней свободы остатка (у нас равно 6, таблица 3, столбец 3) и 5 % уровня значимости. Для примера t_{05} равно 2,45;

4) **наименьшую существенную разность в процентах:**

5)

$$\text{НСР}_{05}\% = \text{НСР}_{05} : x_0 \times 100 = 1,43 : 17,6 \times 100 = 8,12 \%$$

$$5) \text{ Ошибку опыта: } S_{\bar{x}} \% = S_{\bar{x}} : x_0 \times 100 = 0,42 : 17,6 \times 100 = 2,4\%.$$

При $d \geq \text{НСР}_{05}$ эффект получен за счет изучаемого приема или фактора; если $d < \text{НСР}_{05}$, то существенного различия между вариантами и контролем нет или оно получено за счет ошибки, то есть случайно.

10. Составляем итоговую таблицу результатов опыта и статистической обработки (она составляется, если есть достоверные прибавки в опыте).

Таблица 6.4–Урожайность яровой пшеницы

Удобрения	Средняя. урожайность, ц/га	Прибавка урожая (d)	
		ц/га	%
P ₆₀ K ₆₀ - фон (контроль)	16,2	-	-
N ₆₀ + фон	18,1	1,9	11,7
N ₉₀ + фон	19,7	3,5	21,7
N ₁₂₀ + фон	16,3	0,1	0,6
НСР ₀₅	-	1,4	8,1

Прибавку урожая (d) находим: $d_1 = 18,1 - 16,2 = 1,9$; $d_2 = 19,7 - 16,2 = 3,5$; $d_3 = 16,3 - 16,2 = 0,1$. Прибавки урожая записываем в третий столбец таблицы 4. Прибавку урожая в процентах: $d_1\% = \frac{d_1}{\bar{x}_1} \times 100$ $d_1 = \frac{1,9}{16,2} \times 100 = 11,7\%$;

$d_2\% = 3,5 : 16,2 \times 100 = 21,7\%$; $d_3 = 0,1 : 16,2 \times 100 = 0,6\%$. Прибавки урожая в процентах записываем в четвертый столбец таблицы 4.

Для характеристики частных различий показатель НСР₀₅ сравниваем с прибавками урожая (d) опытных вариантов. Прибавку урожая (d) находим по разности урожаев опытных и контрольных вариантов. Разницу урожая находим не только в сравнении с контролем (стандартом), но и также среди опытных вариантов для нахождения наиболее оптимального варианта или оптимальных вариантов.

При $d \geq \text{НСР}_{05}$ эффект получен за счет изучаемого приема или фактора; если $d < \text{НСР}_{05}$, то существенного различия между вариантами и контролем нет или оно получено за счет ошибки, то есть случайно.

10. Составляем итоговую таблицу результатов опыта и статистической обработки (она составляется, если есть достоверные прибавки в опыте).

11. **Вывод:** прибавки урожая (1,9 и 3,5 ц/га) второго и третьего вариантов достоверны, они существенно отличаются от контроля, так как обе превышают $\text{НСР}_{05} = 1,4$ ц/га. Оптимальным вариантом в опыте является третий, так как прибавка урожая (d) третьего варианта по отношению ко второму составляет 1,6 ц/га ($19,7 - 18,1 = 1,6$ ц/га и она больше, чем $\text{НСР}_{05} = 1,4$ ц/га).

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Значения критерия t на 5- и 1 % уровне значимости

Число степеней свободы ошибки	Уровень значимости	
	0,05	0,01
1	12,71	63,66
2	4,30	9,93
3	3,18	5,84
4	2,78	4,60
5	2,57	4,03
6	2,45	3,71
7	2,37	3,50
8	2,31	3,36
9	2,26	3,25
10	2,23	3,17
11	2,20	3,11
12	2,18	3,06
13	2,16	3,01
14	2,15	2,98
15	2,13	2,95
16	2,12	2,92
17	2,11	2,90
18	2,10	2,88
19	2,09	2,86
20	2,09	2,85
21	2,08	2,83
23	2,07	2,81
25	2,06	2,79

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Значение критерия F на 5 % уровне значимости (вероятность 95 %)

Степ своб. для меньшей дисп.	Степени свободы для большей дисперсии (числителя) (вариантов)												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	24	
1	161	200	216	225	230	234	237	239	241	242	244	249	
2	18,51	19,00	19,16	19,25	19,30	19,33	19,36	19,37	19,38	19,39	19,41	19,45	
3	10,13	9,55	9,28	9,12	9,01	8,94	8,88	8,84	8,81	8,78	8,74	8,64	
4	7,71	6,94	6,59	6,39	6,26	6,16	6,09	6,04	6,00	5,96	5,91	5,77	
5	6,61	5,79	5,41	5,19	5,05	4,95	4,88	4,82	4,78	4,74	4,68	4,53	
6	5,99	5,14	4,76	4,53	4,39	4,27	4,21	4,15	4,10	4,06	4,00	3,84	
7	5,59	4,74	4,35	4,12	3,97	3,87	3,79	3,73	3,68	3,63	3,57	3,41	
8	5,32	4,46	4,07	3,84	3,69	3,58	3,50	3,44	3,39	3,34	3,28	3,12	
9	5,12	4,26	3,86	3,63	3,48	3,37	3,29	3,23	3,18	3,13	3,07	2,90	
10	4,96	4,10	3,71	3,48	3,33	3,22	3,14	3,07	3,02	2,97	2,91	2,74	
11	4,84	3,98	3,59	3,36	3,20	3,09	3,01	2,95	2,90	2,86	2,79	2,61	
12	4,75	3,88	3,49	3,26	3,11	3,00	2,92	2,85	2,80	2,76	2,69	2,50	
13	4,34	3,80	3,41	3,18	3,02	2,92	2,84	2,77	2,72	2,67	2,60	2,42	
14	4,60	3,74	3,34	3,11	2,96	2,85	2,77	2,70	2,65	2,60	2,53	2,35	
15	4,54	3,60	3,29	3,06	2,90	2,79	2,70	2,64	2,59	2,55	2,48	2,29	
16	4,49	3,63	3,24	3,01	2,85	2,74	2,66	2,59	2,54	2,49	2,42	2,24	

КРАТКИЙ УКАЗАТЕЛЬ ТЕРМИНОВ (глоссарий)

Асимметричное или скошенное распределение – распределение, отличающееся от нормального увеличением частот правой или левой части вариационной кривой.

Блок – часть повторения, компактная группа нескольких делянок опыта; в зарубежной литературе термин применяется как для обозначения обычных повторений, так и собственно блоков – неполных повторений.

Вариабельность (изменчивость) – свойство условных единиц – растений, урожаев на параллельных делянках полевого опыта и т.п. отличаться друг от друга даже в однородных совокупностях.

Вариационный ряд – ряд данных, в которых указаны значения варьирующего признака в порядке возрастания или убывания и соответствующие им численности объектов – частоты.

Вариант опыта – изучаемое растение, сорт, условия возделывания, агротехнический прием или их сочетание.

Вероятность – мера объективной возможности события, отношение числа благоприятных случаев к общему числу всех возможных случаев. Обозначается вероятность буквой Р.

Выключка – часть учетной делянки, исключенной из учета вследствие случайных повреждений или ошибок, допущенных при проведении опыта.

Дактиль-метод – стандартное размещение вариантов, при котором контрольный вариант (стандарт) размещается через два опытных.

Делянка опытная – элементарная единица полевого опыта, часть площади опыта, имеющая размер и форму и предназначенная для размещения отдельного варианта.

Делянка учетная – часть площади опытной делянки, предназначенная для учета урожая (без боковых и концевых защиток и выключек)

Дисперсионный анализ – метод анализа результатов эксперимента, заключающийся в разложении общей изменчивости результативного признака, например урожая, на части-компоненты, соответствующие повторениям, вариантам, ошибкам случайного порядка и т.д. Значимость действия и взаимодействия изучаемых факторов оценивают по F-критерию и $НСР_{05}$.

Дисперсия выборочная – показатель вариации, изменчивости изучаемого признака.

Достоверность опыта – правильно спланированные и реализованные схема и методика проведения опыта, соответствие их поставленным перед исследователем задачам, правильный выбор объекта, условий проведения опыта и метода статистической обработки данных.

Дробный учет – учет урожая рекогносцировочного посева одинаковыми делянками.

Защитная полоса, защита – краевые части делянок, которые не подвергаются учету и служат для исключения влияния растений соседних вариантов, для предохранения учетной части делянки от случайных повреждений, для разворота машин и орудий.

Значимость (существенность) – мера объективной возможности (риск) сделать ошибочное заключение при оценке результатов опыта.

Изменчивость – вариабельность, вариация, колеблемость индивидуальных значений признаков X около среднего значения x. Основной мерой изменчивости является дисперсия S^2 и стандартное отклонение S.

Контроль (стандарт) – один или несколько вариантов, с которыми сравнивают опытные варианты.

Корректирующий фактор – поправка в дисперсионном анализе при расчете квадратов отклонений от условной и средней произвольного начала. Обозначается буквой С.

Корреляционный анализ – статистический метод определения тесноты и формы связи между признаками.

Корреляция – взаимосвязь между признаками, заключающаяся в том, что средняя величина значений одного признака меняется в зависимости от изменения другого признака.

Коэффициент вариации (изменчивости) - относительный показатель изменчивости признака, представляет отношение стандартного отклонения S к средней арифметической, выраженное в процентах. Обозначается буквой V .

Коэффициент детерминации - d_{yx} показывает процент (долю) тех изменений, которые в данном явлении зависят от изучаемого фактора; равняется квадрату коэффициента корреляции r^2 .

Коэффициент корреляции – статистический показатель тесноты (силы) связи между признаками. Обозначается буквой r .

Коэффициент регрессии - b_{yx} – число, показывающее, в каком направлении и на какую величину изменяется в среднем зависимая переменная y (результативный признак) при изменении независимой переменной X на единицу измерения.

Латинский квадрат – схема рендомизированного (случайного) размещения вариантов в полевом опыте, в котором делянки располагаются рядами и столбцами (4×4 , 5×5 , 6×6 и т.д.). В каждом ряду и столбце должен быть полный набор вариантов схемы (повторения) и, следовательно, в латинском квадрате число повторений равно числу вариантов, и общее число делянок равно квадрату числа вариантов.

Латинский прямоугольник – схема рендомизированного (случайного) размещения вариантов в полевом опыте. В основе лежит латинский квадрат, который определяет повторность опыта, число рядов и столбцов. Число вариантов должно быть кратным повторности ($4 \times 4 \times 3$), (повторность $n=4$, число вариантов $l=4 \times 3=12$).

Метод расщепленных (сложных) делянок – эксперимент, в котором делянки одного опыта используются как блоки другого. Делянки первого порядка расщепляются на делянки второго порядка, а последние на более мелкие делянки третьего порядка. Метод расщепленных делянок с рендомизированным размещением вариантов используют для закладки многофакторных опытов.

Метод рендомизированных (случайных) повторений – эксперимент, в котором варианты по делянкам размещены в случайном порядке по таблице случайных чисел или по жребию. Это наиболее распространенный метод размещения вариантов.

Методика полевого опыта – совокупность слагающих её элементов: число вариантов, площадь делянок, их форма и направление, повторность, система размещения вариантов, повторений и делянок на территории, метод учета урожая, организация опыта во времени, а также метод статистического анализа данных.

Наименьшая существенная разность (НСР) – величина, указывающая границу возможных случайных отклонений в эксперименте; это та минимальная разность в урожаях между средними, которая в данном опыте признается существенной при 5 %-ном (НСР₀₅) или 1 %-ном (НСР₀₁) уровне значимости.

Ошибка опыта, выборки – мера расхождения между результатами выборочного исследования и истинным значением измеряемой величины. При обработке результатов полевого опыта методом дисперсионного анализа определяется обобщенная ошибка средних, выражаемая в тех же единицах, что и изучаемый признак. Ошибка $S_{\bar{x}}$, выраженная в процентах от соответствующей средней, называется относительной ошибкой опыта или выборки ($S_{\bar{x}}\%$). В полевом опыте величина $S_{\bar{x}}\%$ (старое обозначение $m\%$ или P) часто без учета уровня урожайности используется в качестве показателя, характеризующего «точность опыта».

Повторение – часть площади опытного участка, включающего делянки с полным набором вариантов схемы опыта.

Повторность – число одноименных делянок каждого варианта в данном полевом опыте. Повторность опыта во времени – число лет испытания агротехнических приёмов или сортов.

Полевой опыт – исследование, осуществляемое в полевой обстановке на специально выделенном участке для оценки действия различных вариантов на урожай растений и его качество.

Рекогносцировочный посев (разведывательный) – сплошной посев одной культуры, предшествующий закладке полевого опыта и проводимый для выявления степени однородности (путем дробного учета урожая) почвенного плодородия на площади опыта.

Рендомизированное (случайное) размещение вариантов – такое расположение полевого опыта, когда порядок следования вариантов в каждом повторении определяется по жребью или таблице случайных чисел.

Ямб-метод – стандартное размещение вариантов, при котором опытный вариант чередуется со стандартом.

Систематическое размещение вариантов - такое расположение полевого опыта, когда порядок следования вариантов в каждом повторении подчиняется определенной системе (последовательно, в шахматном порядке).

Стандартное размещение вариантов - такое расположение полевого опыта, когда контрольные варианты (стандарты) располагаются через 1-2 опытных варианта.

Схема опыта – совокупность опытных и контрольных вариантов, объединенных общей идеей.

Типичность (репрезентативность) – соответствие условий проведения опыта почвенно-климатическим и агротехническим условиям сельскохозяйственного производства данной зоны.

Точность опыта (относительная ошибка) $S_{\bar{x}}\%$ - ошибка средней $S_{\bar{x}}\%$, выраженная в процентах от соответствующей средней (см. ошибка опыта).

Уравнительный посев – сплошной посев одной культуры для повышения плодородия почвы участка, выбранного для закладки опыта.

Учет урожая по пробным снопам – метод учета урожая, при котором взвешивают и учитывают общую массу урожая со всей площади каждой учетной делянки, а товарную часть (зерно, сено и т.п.) рассчитывают по данным учета с пробных снопов, отбираемых от общей массы урожая перед ее взвешиванием в поле.

Учёт урожая сплошной – метод учета урожая, при котором всю товарную часть продукции (зерно, клубни, волокно, сено и т.п.) взвешивают и учитывают со всей площади каждой учетной делянки полевого опыта.

Факториальный опыт (ПФЭ) – многофакторный опыт, схема которого включает все возможные сочетания факторов, что позволяет установить действие и взаимодействие изучаемых факторов.

Число степеней свободы – число свободно варьирующих величин. Обозначается буквой ν и в простейшем случае равно числу всех наблюдений минус единица ($n - 1$).

Шахматное размещение вариантов – разновидность систематического размещения, когда повторения в опыте располагаются в несколько ярусов и для более равномерного размещения вариантов по площади опыта расположение их в каждом ярусе сдвигается на частное от деления числа вариантов на число ярусов.

ЛИТЕРАТУРА:

Основная

1. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б.А. Доспехов, Р.Р. Усманов, И.П. Васильев М.: Агропромиздат, 1985.- 351 с.
2. Кирюшин Б.В. Основы научных исследований в агрономии. /Б.В. Кирюшин, Р.Р. Усманов, И.П. Васильев/. –М. «Колос», –2009. – 298 с. .
3. Фастюков Л.С. Основы научных исследований в агрономии. Методические указания по изучению дисциплины и задания для контрольных работ / Л.С. Фастюков, А.М. Жилиев / М. – 2003. – 16 с.

Дополнительная:

1. Литтл Т. Сельскохозяйственное опытное дело. Планирование и анализ /Т. Литтл, Ф. Хилз/ Пер. с англ.М.: Колос, 1981.- 319 с.
2. Перегудов В.Н. Планирование многофакторных полевых опытов с удобрениями и математическая обработка результатов. М.: Колос, 1978.– 129 с.
3. Рычков В.А. Основы научных исследований в агрономии /В.А. Рычков, С.П. Бурлов / Учебное пособие, Иркутск: ИрГСХА, 2005.- 111 с.

Бурлов С.П. «Методика опытного дела»: Методические указания по изучению дисциплины и задания для контрольной работы, магистрантам по направлению подготовки 35.04.04 – «Агрономия» / С.П. Бурлов. – Иркутск, 2019.- 34 с.