

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Комин Андрей Эдуардович

Должность: ректор

Дата подписания: 15.07.2026 11:45:49

Уникальный программный ключ:

f6c6d686f0c899fdf76a1ed8b448452ab8cac6fb1af6547b6d40cdf1bdc60ae2

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации

ФГБОУ ВПО

«Приморская государственная сельскохозяйственная академия»

Институт земледелия и природообустройства

Кафедра земледелия и растениеводства

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

для проведения практических занятий и самостоятельной работы по дисциплине «Основы научных исследований в агрономии» для студентов очной и заочной формы обучения по специальности 110201.65 «Агрономия», 110305.65 «Технология производства и переработки с/х продукции» и направления подготовки 110400.62 «Агрономия», 110900.62 «Технология производства и переработки с/х продукции»

Уссурийск, 2013

УДК 631.5

Составитель: Л.А. Асинская, к. с.-х. н., доцент кафедры земледелия и растениеводства

Методические указания для проведения практических занятий и самостоятельной работы по дисциплине «Основы научных исследований в агрономии» для студентов очной и заочной формы обучения по специальности 110201.65 «Агрономия», 110305.65 «Технология производства и переработки с/х продукции» и направления подготовки 110400.62 «Агрономия», 110900.62 «Технология производства и переработки с/х продукции» / сост. Л.А. Асинская; ФГБОУ ВПО «Приморская государственная сельскохозяйственная академия». – Уссурийск, 2013. – 77 с.

Рецензент: Цмокалюк Н.М., зав. кафедрой агрохимии, агроэкологии и охраны труда, канд.биол.наук, доцент

Печатается по решению методического совета ФГБОУ ВПО «Приморская государственная сельскохозяйственная академия».

Содержание

1. Цель и задачи дисциплины	5
2. Уровень требований к знаниям и умениям специалиста	5
3. Краткое содержание основных разделов дисциплины	7
3.1 Основы методики исследований	7
3.2 Требования к полевому опыту. Виды полевых опытов	9
3.3 Основные элементы методики полевого опыта	11
3.4 Размещение вариантов в опыте	12
3.5 Планирование полевого эксперимента	13
3.6 Планирование учётов и наблюдений	14
4. Основы статистической обработки результатов исследований. Основные понятия	17
Практическая работа №1. Эмпирические и теоретические распределения. Распределение частот и его графическое изображение	23
Практическая работа №2. Вычисление статистических характеристик выборки при количественной изменчивости признака. Малые выборки	25
Практическая работа №3. Большие выборки (сгруппированные данные)	28
Семинарское занятие. Проведение коллоквиума	33
Практическая работа №4. Вычисление статистических характеристик выборки при изучении качественных признаков	34
Практическая работа №5. Статистические методы проверки гипотез	36
Практическая работа №6. Дисперсионный анализ данных однофакторного вегетационного опыта	41
Практическая работа №7 - №8. Дисперсионный анализ данных однофакторного полевого опыта с однолетними и многолетними культурами	48

Семинарское занятие. Проведение коллоквиума	56
Практическая работа №9. Дисперсионный анализ данных много-факторного полевого опыта	58
Практическая работа №10 - 11. Корреляция и регрессия	62
Практическая работа №12. Ковариационный анализ	67
Семинарское занятие. Проведение коллоквиума	71
Вопросы к зачёту по дисциплине	72
Рекомендуемая литература	73
Приложение	74

1. Цель и задачи дисциплины

Цель дисциплины: формирование знаний и умений по методам агрономических исследований, планированию, технике закладки и проведению экспериментов, по статистической оценке результатов опытов, разработке научно-обоснованных выводов и предложений производству.

Задачи дисциплины:

1. изучить методы закладки и проведения полевых опытов; агрономической оценке испытываемых сортов, агроприёмов и технологий на основе статистической обработки данных агрономических исследований;
2. овладеть знаниями и навыками выбора, подготовки земельного участка; организации полевых работ на опытном участке; отбора почвенных и растительных образцов; оценки качества урожая; оформления научной документации;
3. овладеть навыками и знаниями по организации и проведению полевых опытов в условиях производства.

2. Уровень требований к знаниям и умениям специалиста:

В результате изучения дисциплины специалист должен:

Знать:

1. основные методы агрономических исследований; этапы планирования эксперимента; правила составления программы наблюдений и учетов; методику закладки и проведения полевого опыта, методику учета урожая сельскохозяйственных культур в опыте, порядок ведения документации и отчётности;
2. планирование объема выборки, эмпирические и теоретические распределения, статистические методы проверки гипотез, сущность и основы дисперсионного, корреляционного и регрессионного анализов и их применение в агрономических исследованиях; применение ЭВМ в опытном деле.

Уметь:

1. вычислять и использовать для анализа статистические показатели с целью выбора лучших вариантов опыта;
2. спланировать основные элементы методики полевого опыта;
3. заложить и провести вегетационный и полевой опыты;
4. составить и обосновать программу и методику проведения полевых и лабораторных наблюдений и анализов;
5. определить количественную зависимость между изучаемыми признаками и составлять прогноз на использование агроприемов;
6. составлять отчет о проведении научно-исследовательской работы;
7. провести испытания новых агротехнических приемов и технологий в условиях производства.

Владеть:

2. готовностью изучать современную информацию, отечественный и зарубежный опыт по тематике исследований;
3. способностью применять современные методы научных исследований в агрономии согласно утвержденным планам и методикам;
4. способностью к лабораторному анализу образцов почв, растений и продукции растениеводства;
5. способностью к обобщению и статистической обработке результатов опытов, формулированию выводов.

3. Краткое содержание основных разделов дисциплины

3.1 Основы методики исследований

Агрономия – это комплексная наука, которая занимается разработкой теоретических основ и агротехнических приёмов повышения продуктивности культурных растений и улучшения качества урожая. Для решения этих задач необходимо постоянное расширение научных знаний, выведение новых форм и сортов сельскохозяйственных культур, наиболее приспособленных к условиям среды. Это достигается научно-исследовательской работой, изучением биологии культурных растений и приёмов возделывания, изысканием новых возможностей повышения продуктивности земледелия. В связи с большой комплексностью изучаемых объектов в научной агрономии используются разнообразные методы исследования, к основным из которых относятся – лабораторный, вегетационный, лизиметрический и полевой.

Лабораторный метод используют для анализа растений и среды их обитания в лабораторных условиях для изучения взаимодействий растений с внешней средой, оценки качества урожая, исследования химических, физических свойств почвы и т.д. Вегетационный метод – исследование растений, выращиваемых в сосудах или строго контролируемых условиях внешней среды сроком от нескольких дней до нескольких месяцев. Лизиметрический метод – исследование растений и свойств почвы в поле для изучения баланса влаги и элементов питания. Такие исследования проводят в очень больших сосудах – лизиметрах, которые периодически взвешивают. Полевой метод – это проведение полевых опытов, на основе которых разрабатывают рекомендуемые агроприёмы, технологии и испытывают сорта для с/х производства.

Затем необходимо усвоить определения основных методов исследований.

Наблюдения – это количественная или качественная регистрация интересующих исследователя сторон развития явления, констатация наличия того или иного его состояния, признака или свойства. Но чаще всего наблюдение

в агрономии не является самостоятельным приёмом исследования, а составляет важную часть более сложного метода исследования – эксперимента.

Эксперимент (опыт) – это такое изучение, при котором исследователь искусственно вызывает явления или изменяет условия так, чтобы лучше выяснить сущность явления, происхождение, причинность и взаимосвязь предметов и явлений. Это искусственное создание различных условий для исследуемых растений с целью выявления наиболее эффективных вариантов в процессе учётов и наблюдений.

Вариант – это те различные условия, при которых выращивают растения в опытах. Вариантами могут быть отдельные агроприёмы, набор сортов, различные почвы и т.д. Один или несколько вариантов, с которыми сравнивают опытные варианты, называют **контролем** или стандартом. Совокупность опытных и контрольных вариантов составляет **схему эксперимента** (опыта).

Варианты бывают *качественные* (сорта, культуры, способы посева, обработки почвы и т.д.) и *количественные* (дозы удобрений, нормы высева семян, дозы пестицидов и т.д.).

Опытная делянка – это земельная площадь прямоугольной формы определённого размера, на которой изучают только один из вариантов опыта. Опытные делянки состоят из *учётной части*, которая находится внутри, и *защитной*, которая ограничивает её снаружи. Все учёты и наблюдения проводят на учётной части делянки, а защитную часть (полосы) выделяют для того, чтобы исключить взаимное влияние вариантов.

Повторность опыта – число делянок в каждом опыте с одинаковым содержанием вариантов.

Достоверность опыта методическая – это чёткое соблюдение всех методических требований: планирование опыта, правильный выбор условий и объектов исследований, правильный выбор и применение соответствующих методов статистической обработки данных, а также объективное обобщение результатов исследований.

Достоверность опыта статистическая – состоит в определении достоверности (существенности) разниц между средними арифметическими значениями, корреляций, регрессий с помощью статистических критериев и наименьших существенных разностей (НСР).

Ошибка опыта (наблюдения) – разница между действительным значением исследуемого показателя и результатами исследований.

Точность опыта – величина, обратная его ошибке. Чем ниже относительная ошибка опыта, тем выше его точность.

Корреляция – взаимное соотношение показателей в опыте, их взаимосвязь между собой. Например, зависимость массы урожая от удобрений или способов посева культуры и т.д.

Регрессия – степень и характер изменения одного из показателей в опыте на единицу измерения другого. Например, увеличение или уменьшение массы урожая на 100 кг внесённых удобрений и т.д.

3.2 Требования к полевому опыту. Виды полевых опытов

Особенность полевого опыта, отличающая его от других методов исследования, состоит в том, что культурное растение изучают вместе со всей совокупностью почвенных, климатических и агротехнических факторов. Только полевой опыт может установить связь между урожаем и средствами воздействия на него. Ценность результатов полевого опыта зависит от соблюдения определённых методических требований. Это типичность опыта, соблюдение принципа единственного различия, проведение опыта на специально выделенном участке, учёт урожая и достоверность опыта.

При проведении опытов экспериментатор встречается с тремя видами ошибок – случайными, систематическими и грубыми.

Случайные ошибки – это ошибки, возникающие под воздействием очень большого числа факторов, эффекты, действия которых столь незначительны, что их нельзя выделить и учесть в отдельности.

Систематические ошибки – искажают измеряемую величину в сторону преувеличения или преуменьшения в результате действия вполне определённой постоянной причины.

Грубые ошибки – возникают чаще всего в результате нарушения основных требований к полевому опыту, недосмотра или неумелого выполнения работы.

Полевые опыты делятся на две большие группы: 1) *агротехнические* (сравнительная объективная оценка действия различных факторов жизни, условий, приёмов возделывания на урожай с/х культур и его качество. Это полевые опыты по изучению предшественников, обработки почвы, удобрений, норм и сроков посева и т.д.); 2) *опыты по сортоиспытанию с/х культур* (сравниваются при одинаковых условиях генетически различные растения, служат для объективной оценки сортов и гибридов с/х культур. Наиболее урожайные, устойчивые сорта и гибриды районировать и внедряют в с/х производство).

Если в опыте изучается один простой или сложный количественный фактор в нескольких градациях, например нормы посева семян, дозы удобрений или сравнивается действие ряда качественных факторов, например разные сорта, культуры, способы обработки, то такой эксперимент называют **простым**, или **однофакторным**. Опыты, в которых одновременно изучают действие и устанавливают характер и величину взаимодействия двух и более факторов, называют **многофакторными**.

Также опыты подразделяют на *мелкоделяночные* (проводят на опытных деланках площадью до 10 м²), *лабораторно-полевые* (11 – 50 м²) и *полевые* (51 – 200 м² и более). Опыты на производстве делят на опыты-пробы, точные сравнительные опыты, опыты по учёту эффективности новых агроприёмов, демонстрационные опыты и производственные. По длительности проведения опыты бывают временные, краткосрочные и многолетние.

3.3 Основные элементы методики полевого опыта

Методика полевого опыта – совокупность слагающих её элементов: число вариантов, площадь делянок, форма и направление делянок, повторность, система размещения повторений, делянок и вариантов на территории, метод учёта урожая и организация опыта во времени.

Подбирая варианты в схему опыта, исследователь должен обеспечить их оптимальное число для конкретной темы и условий опыта. Площадь делянок зависит от вида опыта, от темы исследований, изучаемой культуры в опыте, от числа изучаемых в опыте вариантов, от ширины её учётной части. Размер опытных делянок тесно связан с числом повторностей: чем больше повторность в опыте, тем меньше размер опытных делянок, при уменьшении повторности площадь делянок увеличивают. При большом числе вариантов увеличивается общая площадь опыта, а с ней и варьирование плодородия почвы, что снижает точность опыта. В таком случае целесообразно уменьшить размер делянок, но увеличить повторность, что приведёт к уменьшению общей площади под опытом и повышению точности. Более эффективны удлиненные делянки, чем короткие, так как точность исследований на них будет выше.

Для предотвращения влияния растений соседних делянок (одних вариантов на другие), между делянками предусматривают продольные и поперечные защитные полосы. Чем сильнее влияние агроприёмов или сортов, тем шире защитные полосы. Минимальная ширина поперечных защитных полос в большинстве опытов составляет 2 м.

Для того чтобы опыты были методически достоверными и точными, их повторяют в пространстве и во времени. **Повторность в пространстве** – это число делянок с одинаковыми вариантами в опыте. **Повторность во времени** – это число краткосрочных опытов в искусственных условиях, например в лабораториях, теплицах на протяжении одного года, нескольких лет. Для повышения достоверности опытов необходимо обеспечить минимальное варьирование плодородия почвы и по возможности предотвратить ошибки, кото-

рые могут возникать в исследованиях путём правильной закладки и проведения опыта.

3.4 Размещение вариантов в опытах

Метод размещения – это чередование вариантов на опытных делянках в зависимости от задач и конкретных условий внешней среды. Выделяют три основные группы методов: стандартные, систематические и рендомизированные (случайные).

Стандартный метод – частое, обычно через 1-2 опытных варианта, расположение контроля (стандарта). В каждом повторении варианты располагают в неизменном порядке. **Систематический метод** – размещение вариантов в последовательности, записанной в схеме опыта, поэтому его называют ещё последовательным. **Рендомизированный метод** – место вариантов определяют по таблице случайных чисел или по жребию. Данный метод имеет несколько разновидностей: рендомизированные повторения, полная рендомизация, латинский квадрат, латинский прямоугольник и метод смешивания.

Рендомизированные повторения – случайное размещение всех вариантов опыта в пределах отдельных повторений. В каждом повторении есть полный набор вариантов и каждый из них встречается в повторении лишь один раз. **Метод рендомизированных латинских квадратов** – это размещение вариантов таким образом, чтобы в каждой строчке и в каждом столбике присутствовали все варианты в соответствии со схемой опыта и ни один из них не повторялся. **Рендомизированный латинский прямоугольник** – случайное размещение всех вариантов в пределах каждого ряда и каждого отдельного блока. **Полная рендомизация** – рендомизированное размещение всех вариантов опыта без предварительного выделения повторений, то есть варианты по делянкам опытного участка распределяются совершенно случайно. Метод смешивания – способ размещения вариантов, при котором в каждом повторении все комбинации вариантов подразделяют на две или более групп (блоков).

3.5 Планирование полевого эксперимента

Планирование эксперимента – это определение задачи и объектов исследования, разработки схемы эксперимента, выбор земельного участка и оптимальной структуры полевого опыта. Период, предшествующий исследованию, включает выбор темы, определение задачи и объекта исследования, изучение современного состояния вопроса, выдвижение гипотезы и разработку схемы и методики эксперимента. Эта часть работы самая трудная и ответственная. Необходимо чётко сформулировать цель исследования, построить логическую модель изучаемого явления и правильно выбрать стратегию, которая определяет методы и приёмы исследования.

Следующий этап планирования – изучение литературы по избранной проблеме и выдвижение рабочей гипотезы, которая служит отправным пунктом для составления схемы опыта и разработки программы исследования. Сложным и ответственным этапом планирования является разработка схемы и методики опыта, выбор полевых и лабораторных наблюдений (анализов) и учётов для оценки и объяснения действия изучаемых факторов.

Особое внимание при планировании следует обратить на правильное сочетание основных элементов методики и в зависимости от целей исследования, схемы опыта, земельного участка, технических возможностей установить наиболее рациональное направление, форму и площадь делянки, повторность, систему расположения повторений, делянок и вариантов. Делянки необходимо расположить длинной стороной в том направлении, в каком сильнее всего изменяются не изучаемые в опыте условия жизни растений, например плодородие почвы земельного участка, ветер.

3.6 Планирование учётов и наблюдений

В опытах различного направления проводят множество разнообразных учётов и наблюдений. Наиболее важные среди них:

1) метеорологические наблюдения (количество осадков, температура воздуха, относительная влажность). Сравнивая результаты метеорологических наблюдений в годы проведения опыта с многолетними данными, экспериментатор может сделать вывод о типичности погодных условий года и установить характер взаимосвязей между урожаем и погодными условиями;

2) определение агрофизических и агрохимических показателей плодородия почвы. Наиболее важные показатели физического состояния почвы – влагообеспеченность, объёмная масса, строение пахотного слоя и его оструктуренность. Агрохимические показатели почвенной среды определяют в результате анализа образцов почвы по следующим показателям: суммы поглощённых оснований, реакции почвенного раствора, гидролитической кислотности, насыщенности почвы основаниями, содержание нитратного азота, подвижных форм фосфора и калия, содержание гумуса в почве;

3) учёт засорённости почвы и посевов глазомерным, количественным и количественно-весовым методами;

4) фенологические наблюдения (определение фаз развития растений). Началом фазы считается период, когда в неё вступило 10-15% растений; полной фазой считается период, когда в неё вступило 70-75% растений. Фенологические фазы определяют визуально одновременно на всём опыте. Данные этих наблюдений используют при оценке влияния погодных условий и почвенной среды на развитие растений, для расчёта длительности межфазных периодов и вегетационного периода в целом. Например, на зерновых культурах принято определять следующие фазы: всходы, начало кущения, колошение или выбрасывание метёлки, полное цветение, молочная, восковая и полная спелость. Для озимых также ещё определяется дата прекращения осенней вегетации и возобновление её весной;

5) оценка посевов по биометрическим показателям. Высоту растений измеряют в определённые фазы их развития мерной линейкой. В зависимости от величины делянки объём выборки составляет 50-100 растений, отбираемых в разных местах по диагонали учётной площади. При этом стебель измеряют от поверхности почвы до верхушки растения без учёта остей у остистых колосовых культур. Итоговый показатель такого учёта – средняя высота растений на делянке. При определении длины стеблей учитывают также число листьев и их площадь. Число листьев на растении определяют путём их подсчёта на всех растениях, входящих в выборку, с последующим выведением среднего арифметического. Площадь листьев можно определить несколькими способами. В исследовательской работе наиболее широко распространены следующие способы: *способ высечек, контурный способ расчётный*.

Также определяют интенсивность нарастания вегетативной массы. Этот показатель определяют путём взвешивания пробных растений в разные периоды вегетации, чаще всего в определённые фазы развития растений или в определённые календарные сроки. Для определения прироста сухого вещества после каждого взвешивания сырой пробы из неё отбирают средний образец массой около 100 г для определения процентного содержания сухого вещества. Растительную массу измельчают, помещают в бюксы, взвешивают и ставят в сушильный шкаф. Сушат при температуре 105°C.

6) учёт и анализ урожая растениеводческой продукции. Это наиболее ответственные операции, от качества которых зависят результаты исследований. Чаще всего урожай учитывают на всей учётной площади делянки. Затем определяют **массу 1000 зёрен (семян)**. Этот показатель определяют взвешиванием с точностью до 0,01 г двух навесок по 500 семян. Затем определяют среднее арифметическое всех взвешиваний.

Натуру (объёмную массу) зерна определяют с помощью специальных весов – пурок. Данный показатель характеризуется массой зерна или семян в объёме 1 л. Определяют всхожесть, посевную годность и силу роста семян.

Чтобы определить **всхожесть семян**, нужно из анализируемой партии семенного материала в четырёх повторностях отобрать пробы по 100 семян, разложить их на увлажнённую фильтровальную бумагу, помещённую на дно чашек Петри. Чашки Петри помещают для прорастания семян в термостат с температурой 20°C. Всхожесть семян определяют после постоянного для различных культур периода выдержки в термостате (сут): для семян мягкой пшеницы, ржи, ячменя, овса, проса, кукурузы, гороха, сои, подсолнечника – 7; твёрдой пшеницы, гречихи, фасоли – 8; риса, кормовых бобов, свёклы, моркови, тыквы, бобовых трав – 10. Число проросших семян в пробе из 100 семян характеризует всхожесть в процентах.

Посевная годность – показатель, который характеризуется процентным содержанием чистых и одновременно всхожих семян в пробе.

Сила роста – показатель качества семян, который позволяет оценить их по всхожести и способности ростков пробиться на поверхность для образования нормальных всходов.

4. Основы статистической обработки результатов исследований.

Основные понятия

Результаты агрономических исследований анализируют методами математической статистики, то есть систематизируют, обрабатывают и делают обоснованные выводы и предложения. Объекты исследований в агрономии – это отдельные растения, их группы и среда произрастания. Всем им свойственно явление изменчивости, которое называется **варьированием**. Степень варьирования, выраженную математически, называют **вариацией**. Варьирующими признаками у растений являются их высота, количество и масса зёрен в колосе, внешний вид, качество урожая и т.д.

Всю группу объектов, подлежащую изучению, называют совокупностью или **генеральной совокупностью**, а ту часть объектов, которая попала на проверку, исследование - **выборочной совокупностью** или просто **выборкой**. Главная цель выборочного метода – по статистическим показателям малой выборки (средней пробе) возможно точнее охарактеризовать всю совокупность объектов, которая в статистике и называется генеральной совокупностью. Возможные значения варьирующего признака называют **вариантами**. Полученный таким образом ряд варьирующих величин можно упорядочить – расположить значения признака (варианты) в порядке их возрастания или убывания. Такое упорядочение ряда называется его **ранжированием**.

Числа, которые характеризуют, сколько раз повторяется каждое значение признака у членов данной совокупности, называются частотами признака (f). Сумма всех частот ($\sum f$) равна объёму выборки, то есть числу членов ряда (n). В результате такой обработки первичных наблюдений получают вариационный ряд. **Вариационный ряд** – ряд данных, в которых указаны возможные значения варьирующего признака в порядке возрастания или убывания и соответствующие им частоты.

Различают два вида изменчивости: *количественную*, которая может быть измерена (различия между вариантами выражаются массой, высотой,

урожаем и т.д.) , и *качественную*, которая не поддаётся измерению (цвет, вкус, форма изучаемого объекта).

Основными статистическими характеристиками количественной изменчивости являются средняя арифметическая (X_{cp}), дисперсия (S^2), стандартное отклонение (S), ошибка средней арифметической (Sx_{cp}), коэффициент вариации (V) и относительная ошибка выборочной средней ($Sx_{cp}\%$).

Средняя арифметическая – обобщённая, абстрактная характеристика всей совокупности в целом. Средняя арифметическая определяется по формуле:

$$X_{cp} = \frac{\sum X}{n}$$

где $\sum X$ – сумма всех вариантов;

n – число всех вариантов

Основное свойство средней арифметической заключается в равенстве суммы всех положительных и всех отрицательных отклонений от неё, то есть сумма центральных отклонений всех отдельных вариантов от $x_{cp} = 0$. Если сумма оказалась неравной нулю, значит, допущена ошибка в вычислениях.

Дисперсия и стандартное отклонение служат основными мерами вариации.

Дисперсия – частное от деления суммы квадратов отклонений $\sum(X-x_{cp})$ на число всех измерений без единицы ($n-1$):

$$S^2 = \frac{\sum(X-x_{cp})^2}{n-1}$$

Дисперсия – квадрат стандартного отклонения.

Стандартное отклонение – мера разброса отдельных наблюдений вокруг среднего значения признака. Его получают извлечением квадратного корня из дисперсии:

$$S = \sqrt{S^2} = \sqrt{\frac{\sum(X-x_{cp})^2}{n-1}}$$

Если исходные наблюдения сгруппированы и частоты групп обозначены через f , то дисперсию и стандартное отклонение вычисляют по формулам:

$$S^2 = \frac{\sum f(X - x_{cp})^2}{n - 1}$$

$$S = \sqrt{S^2} = \sqrt{\frac{\sum f(X - x_{cp})^2}{n - 1}}$$

Для вычисления дисперсии следует определить отклонения всех вариантов (X) от среднего арифметического, возвести каждое такое отклонение в квадрат и сумму этих квадратов разделить на число всех измерений без единицы ($n-1$). Для вычисления стандартного отклонения необходимо извлечь квадратный корень из дисперсии.

Стандартное отклонение служит показателем, который даёт представление о наиболее вероятной средней ошибке отдельного, единичного наблюдения, взятого из данной совокупности. Поэтому его ещё называют основным отклонением вариационного ряда.

Средняя арифметическая и стандартное отклонение являются основными статистическими характеристиками, при помощи которых задаётся эмпирическое распределение частот.

При определении любых средних величин сумму всех показателей необходимо делить на число независимых друг от друга величин. В связи с этим в формулах сумму квадратов отклонений $\sum (X - x_{cp})^2$ делят не на общее число наблюдений, а на число без единицы, так как одно любое отклонение зависимое и может быть найдено из равенства $\sum (X - x_{cp}) = 0$. Остальные отклонения могут свободно варьировать, принимать любые значения. Число свободно варьирующих величин называется **числом степеней свободы** или **числом степеней свободы вариации (ν)** и в простейшем случае равно $n-1$.

При вычислении дисперсии и стандартного отклонения по основным формулам нередко возникают технические неудобства. Средняя арифметическая обычно получается в виде числа с дробью, поэтому центральные откло-

нения и особенно квадраты их получаются многозначными, что затрудняет счётную работу и ведёт к ошибкам. Поэтому разработан способ вычисления данных величин, который значительно упрощает арифметические расчёты. Он основан на том, что для получения суммы квадратов отклонений $\sum(X - x_{\text{ср}})^2$ достаточно взять отклонения от любого произвольного числа (А – условной средней, произвольного начала) и произвести с ними действия по формуле:

$$\sum(X - x_{\text{ср}})^2 = \sum(X - A)^2 - \frac{\sum(X - A)^2}{n} = \sum X_1^2 - \frac{\sum(X_1)^2}{n}$$

Эта формула сильно облегчает работу по вычислению дисперсии и стандартного отклонения для больших групп с многозначными числами. Условную среднюю (А) выбирают с таким расчётом, чтобы разности (X - А) были возможно меньше. Часто в качестве (А) берут целое число, близкое к предполагаемой средней. Среднюю арифметическую в этом случае вычисляют по формуле:

$$x_{\text{ср}} = A + \frac{\sum(X_1)}{n}$$

Для малых групп с малозначными числами сумму квадратов отклонений легче получить по формуле:

$$\sum(X - x_{\text{ср}})^2 = \sum X^2 - \frac{\sum(X)^2}{n}$$

Коэффициент вариации (V)- стандартное отклонение, выраженное в процентах к средней арифметической данной совокупности:

$$V = \frac{S}{x_{\text{ср}}} \times 100$$

Коэффициент вариации является относительным показателем изменчивости. Изменчивость принято считать незначительной, если коэффициент ва-

риации не превышает 10%; средней, если он выше 10%, но менее 20%, и значительной, если коэффициент вариации более 20%.

Ошибка выборочной средней или ошибка выборки (Sx_{cp}) является мерой отклонения выборочной средней от средней всей (генеральной совокупности). Величина ошибок зависит от степени изменчивости изучаемого признака и от объёма выборки. Ошибка выборочной средней прямо пропорциональна выборочному стандартному отклонению и обратно пропорциональна корню квадратному из числа измерений n :

$$Sx_{cp} = \frac{s}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{s^2}{n}}$$

Ошибка средней арифметической тем меньше, чем меньше варьирует опытный материал и чем из большего числа измерений вычислено среднее арифметическое. Ошибка выборки, выраженная в процентах от соответствующей средней, называется **относительной ошибкой выборочной средней**:

$$Sx_{cp}\% = \frac{Sx_{cp}}{x_{cp}} \times 100$$

Относительную ошибку средней ещё обозначают буквой (P) и называют **точностью опыта**. При одних и тех же значениях выборочных средних возрастание величины P свидетельствует о том, что опыт становится менее точным, так как чем больше абсолютная ошибка эксперимента, тем выше и относительная ошибка, то есть P . Если P меньше либо равно 3%, то точность опыта считается высокой; если превышает 5%, то рекомендуется совершенствовать методику, а опыты с $P > 7-8\%$ - браковать.

Основными статистическими показателями качественной изменчивости являются доля признака, показатель изменчивости, коэффициент вариации и ошибка выборочной доли.

Доля признака, или относительная численность (частота) отдельной варианты в данной совокупности. Это отношение численности каждого из

членов ряда p_1, p_2, p_3 и т.д. к численности совокупности N , то есть вероятность появления данного признака в изучаемой совокупности:

$$P_1 = \frac{n_1}{N}, \quad P_2 = \frac{n_2}{N}, \quad P_3 = \frac{n_3}{N}$$

Показатель изменчивости качественного признака (S) характеризует варьирование величин ряда относительно друг друга. Значение показателя изменчивости определяется по формуле:

$$S = \sqrt[k]{p_1 \times p_2 \times p_3 \dots \times p_k}$$

где p_1, p_2, p_3 – доли признака в общей совокупности;

k – число градаций признака.

Пользуясь величинами максимальных значений $S_{\text{макс}}$, можно вычислить **коэффициент вариации качественных признаков** – фактический показатель изменчивости, выраженный в процентах к максимально возможной изменчивости:

$$V_p = \frac{S}{S_{\text{макс}}} \times 100$$

Коэффициент вариации характеризует относительную степень изменчивости изучаемых признаков и широко используется для сравнительной оценки выравненности различных совокупностей.

Ошибка выборочной доли (Sp) – мера отклонения доли признака выборочной совокупности (p) от доли его по всей генеральной совокупности (P) вследствие неполной представительности выборки. Ошибку доли вычисляют по формуле:

$$Sp = \frac{S}{\sqrt{N}}$$

S – показатель изменчивости качественного признака;

N – объём выборки.

Практическая работа №1

Тема: Эмпирические и теоретические распределения. Распределение частот и его графическое изображение

Цель занятия: познакомиться с основными понятиями, терминами и символами, применяемыми в научной агрономии; научиться группировать данные и определять групповые варианты.

Методические указания. Многие исследования начинаются обычно со сбора обширного цифрового материала, понимание которого облегчается систематизацией и представлением исходных данных в виде таблиц и графиков. Допустим, что в результате измерения общей длины 30 растений пшеницы были получены следующие данные (см): 90, 76, 79, 45, 72, 70, 79, 77, 92, 89, 109, 82, 84, 59, 68, 67, 78, 76, 91, 85, 70, 79, 101, 90, 76, 72, 93, 80, 84, 94. В таком виде ряд измерений объёмом $n = 30$ мало приспособлен, чтобы характеризовать растения пшеницы по высоте. Поэтому необходимо сгруппировать значения $X_1, X_2, X_3 \dots X_n$ в k групп с интервалом каждой группы i . Ориентировочно число групп равно корню квадратному из объёма выборки, которое не должно быть меньше 5 и больше 20.

Величину интервала групп определяют по соотношению:

$$i = \frac{X_{\text{макс}} - X_{\text{мин}}}{\text{число групп}} = \frac{R}{k}$$

При выборе границ групп следует обращать внимание на то, чтобы верхняя граница группы была меньше, чем нижняя граница прилегающей соседней группы на цену деления, то есть единицу измерения.

Задание. В результате измерения длины 100 растений ячменя сорта Приморский 89 были получены следующие данные (см): 90, 109, 99, 100, 115, 68, 70, 72, 73, 70, 76, 82, 80, 68, 69, 74, 72, 69, 80, 79, 79, 84, 84, 108, 83, 84, 99, 98, 102, 101, 45, 59, 60, 63, 78, 87, 94, 91, 88, 90, 72, 68, 80, 81, 84, 77, 79, 81, 84, 76, 70, 67, 100, 103, 69, 72, 74, 66, 67, 72, 79, 78, 83, 92, 93, 81, 82, 86, 89, 93, 77, 76, 88, 89, 94, 82, 80, 81, 77, 80, 92, 91, 76, 79, 73, 84, 79, 84, 79, 84, 89,

85, 93, 90, 79, 83, 91, 87, 89, 94. Сгруппировать все значения в группы с интервалом каждой группы.

Порядок выполнения работы. Данные группируют в следующей последовательности:

1. Определяют размах варьирования результатов измерения, то есть разность между наибольшим и наименьшим значением ряда измерений:

$$R = X_{\text{макс}} - X_{\text{мин}};$$

2. Устанавливают число групп (k) и размер интервала группировки :

$$i = \frac{R}{k};$$

Число групп определяют по формуле :

$$k = \sqrt{n};$$

Как правило, когда n находится в пределах 30...60, берут 6 – 7 групп, 60...100 – 7 – 8 групп, более 100 – 8...15 групп. В нашем примере возьмём 7 групп.

3. Заполняют таблицу сгруппированного распределения частот результатов измерений:

Таблица 1 – Сгруппированное распределение частот по данным измерения длины 100 растений ячменя

Группы (интервал группировки)	Частота	Средние значения групп (групповые варианты)

В первой колонке записывают интервал группировки, а во второй - число результатов измерений, входящих в данный интервал, то есть частоту f. Подсчитывают число данных, соответствующих по своему значению каждому интервалу группировки, и результаты записывают в соответствующие графы таблицы. Указанный в таблице ряд пар чисел составляет эмпирическое

распределение частот – распределение частот (f) по значениям X_i . Сумма частот равна объёму совокупности $\sum f = n = 100$.

4. Изобразить графически вариационный ряд. Этот способ очень удобен, он позволяет сразу охватить важнейшие черты, закономерности распределения наблюдений. Графическое изображение вариационного ряда называется кривой распределения или вариационной кривой. Для построения кривой распределения на горизонтальной линии (ось абсцисс) наносят значения интервала группировки, а по вертикали (ось ординат) – численности этих значений или частоту f . Масштаб в обоих направлениях следует выбирать такой, чтобы весь график имел удобную и легко обозримую форму.

Ступенчатый график в виде столбиков, имеющих высоту, пропорциональную частотам, а ширину, равную интервалам классов, называется гистограммой, из которой легко получить полигон – кривую распределения, соединив линией средние значения групп.

5. Сделать вывод о характере распределения высоты растений ячменя, какие имеются закономерности.

Практическая работа №2

Тема: Вычисление статистических характеристик выборки при количественной изменчивости признака. Малые выборки

Цель занятия: изучить основные статистические характеристики количественной изменчивости и усвоить порядок их расчёта.

Методические указания. К количественным относят признаки, которые могут быть охарактеризованы количественно, - урожай с делянки, число, высота и масса растений, содержание белка и клейковины в зерне и т.д. Различают *два вида количественной изменчивости: непрерывную и прерывистую или дискретную*. В первом случае значения признака выражены мерами объёма, длины, массы; во втором – различия между единицами наблюде-

ния выражаются целыми числами, между которыми нет и не может быть переходов, например число зёрен в колосе и т.д.

Выборки, состоящие из 20 – 30 единиц наблюдения, называют **малыми**, а выборки большего объёма – **большими**. Статистические характеристики вычисляются по формулам, приведённым в таблице 2.

Таблица 2 – Формулы для вычисления статистических характеристик выборки при количественной изменчивости

Показатель	Малая выборка (несгруппированные дан- ные)	Большая выборка (сгруппированные данные)
Средняя ариф- метическая	$X_{cp} = \frac{\sum X}{n} = A + \frac{\sum(X1)}{n}$	$X_{cp} = \frac{\sum fX}{n} = A + \frac{\sum fX1}{n}$
Дисперсия	$S^2 = \frac{\sum (X - x_{cp})^2}{n - 1}$	$S^2 = \frac{\sum f(X - x_{cp})^2}{n - 1}$
Стандартное отклонение	$S = \sqrt{S^2}$	
Коэффициент вариации	$V = \frac{S}{x_{cp}} \times 100$	
Ошибка сред- ней	$Sx_{cp} = \frac{S}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{S^2}{n}}$	
Относительная ошибка средней	$Sx_{cp}\% = \frac{Sx_{cp}}{x_{cp}} \times 100$	
Доверительный интервал для среднего значе- ния	$x_{cp} \pm t Sx_{cp}$	
Степень свобо- ды	$n - 1$	

В таблице 2 через X обозначены отдельные значения признака в малых выборках и групповые средние в больших выборках; X_1 - преобразованные значения исходных дат; A – произвольное начало, условная средняя; f - частота, численность группы; n – объём выборки; t – теоретическое значение критерия Стьюдента.

Задание 1. При определении содержания фосфора в растительном материале получены следующие результаты (в г P_2O_5 на 100 г сухого вещества): 0,56; 0,53; 0,49; 0,57; 0,48. Необходимо вычислить $X_{ср}$, Sx – 95%-ные и 99%-ные доверительные интервалы для среднего значения совокупности.

Порядок выполнения работы.

1. По формулам, приведённым в таблице 2, рассчитывают все статистические характеристики для малой выборки.

2. Теоретические значения критерия Стьюдента берут из приложения 1 для 5%-ного и 1%-ного уровня значимости при степенях свободы $n-1$ и рассчитывают, в каком интервале находится средняя изучаемой совокупности.

3. Сделать вывод о точности опыта и о вероятности ошибочного заключения.

Задание 2.

Таблица 3 – Зависимость числа листьев кукурузы на одном растении от равномерности внесения удобрений

Внесение удобрений	Повторение				хср
	1	2	3	4	
равномерное	14	18	13	15	
очень неравномерное	16	7	20	17	

Рассчитать все статистические характеристики для малой выборки сделать вывод о точности опыта.

Практическая работа №3

Тема: Большие выборки (сгруппированные данные)

Цель занятия: научиться рассчитывать основные статистические характеристики больших выборок; научиться разными способами производить разnosку данных по группам.

Методические указания. Для больших выборок статистические характеристики можно вычислять способом произведений, но он трудоёмок, особенно при наличии многозначных чисел и очень большом объёме выборки. Более удобен способ условной средней, то есть от произвольного начала А. При этом способе все данные ранжируют, выделяют группы с определённым интервалом (i), определяют частоту (f), то есть число членов в каждой группе вариационного ряда.

Вариационный ряд – ряд ранжированных чисел, для которых указаны значения варьирующего признака и соответствующие им частоты (сколько раз повторяется тот или иной признак).

Число групп зависит от объёма выборки: при 30 – 60 наблюдениях рекомендуется выделить 6-7 групп, при 60-100 – 7-8 групп, а если число наблюдений более 100, то выделяют 8-15 групп. Ориентировочно число групп равно корню квадратному из общего числа наблюдений.

Необходимо иметь ввиду, что выделением большого числа групп можно затушевать общую картину распределения случайными отклонениями, а если взять слишком мало групп (меньше 5-6), то нельзя выяснить характерную особенность распределения изучаемого признака в совокупности.

После установления числа групп необходимо определить величину интервала, верхнюю и нижнюю границу каждой группы, групповые или средние значения вариант и частоты.

Величину интервала, то есть промежутки, на которые разбивается ряд варьирующих признаков, определяют по формуле:

$$i = \frac{X_{\text{макс}} - X_{\text{мин}}}{\text{число групп}} = \frac{R}{k}$$

Величина промежутка между границами соседних групп должна быть всегда одной и той же, границы групп необходимо наметить так, чтобы одно и то же значение не повторялось в двух классах. Конец каждой группы должен быть меньше начала следующей на величину, равную принятой точности измерения. Если, например, первая группа заканчивается величиной 2, то следующая должна начинаться цифрой 3, а если первая группа заканчивается цифрой 3,5, то следующая должна начинаться цифрой 3,6 и т.д.

При непрерывной изменчивости срединные или групповые значения вариант устанавливают прибавлением к началу каждой группы половины интервала. Например, признак варьирует от 45,4 до 115; значение интервала равно 10. Начала групп можно установить следующие: 40, 50, 60...100, 110, и т.д. Для первой группы срединное значение равно $40 + \frac{10}{2} = 45$, для второй - $50 + \frac{10}{2} = 55$ и т.д.

Иногда удобнее установить сначала групповые варианты, а затем определить границы классов. Начало группы находят вычитанием от групповой варианты половины значения интервала, а конец – прибавлением половины интервала, уменьшенного на величину, равную точности измерения. Например, если установлены групповые варианты, равные 45, 55, 65 и т.д., а $i=10$, то началами групп будут соответственно $45 - \frac{10}{2} = 40$; $55 - \frac{10}{2} = 50$; $65 - \frac{10}{2} = 60$ и т.д., а концами при точности измерения 1, будут $45 + (\frac{10}{2} - 1) = 49$; $55 + (\frac{10}{2} - 1) = 59$ и т.д.

Частоту встречаемости признака в каждой группе устанавливают путём разности исходных дат по классам. Чтобы избежать ошибок и сэкономить время при распределении вариант по группам, рекомендуется не искать одинаковые варианты в совокупности, а разносить их подряд по группам. Для разности целесообразно пользоваться одним из следующих способов.

Способ «штрихов». В исходных данных зачёркивают первую дату и заносят её в соответствующую строчку (группу) рабочей таблицы, отмечая вертикальной чертой. Затем зачёркивают вторую дату и также переносят её в таблицу. В таблице первые четыре даты в каждом классе отмечают вертикальными чёрточками, а пятую – в виде диагонали.

Способ «конвертиков». Первые четыре даты в каждой группе изображают точками по углам квадрата; следующие четыре даты 5 – 8 отмечают в виде сторон квадрата, соединяющих ранее нанесённые точки, 9-ю и 10-ю даты – в виде диагоналей. Таким образом, каждый десяток отмечают в виде «конвертика».

Чтобы наглядно представить закономерность распределения изучаемого признака в совокупности, вариационные ряды принято изображать графически в виде ступенчатого графика-гистограммы или полигона – ломаной линией, соединяющей средние значения групп. Графическое изображение вариационного ряда называется **кривой распределения**.

Задание 1. В результате измерения длины 100 растений пшеницы сорта Приморская 40 были получены следующие данные (см): 90,1; 76,2; 79,9; 45,4; 72,4; 70,7; 79,1; 77,0; 92,1; 89,4; 109,9; 82,2; 81,4; 59,1; 68,5; 67,0; 78,0; 76,1; 91,5; 85,4; 99,1; 80,0; 84,0; 60,1; 80,7; 100,4; 83,9; 88,1; 76,7; 93,1; 100,1; 68,4; 108,2; 63,3; 81,2; 103,4; 92,2; 89,7; 79,0; 90,0; 115,2; 69,4; 83,3; 78,2; 84,4; 69,0; 93,2; 94,1; 73,5; 79,0; 68,0; 74,4; 81,7; 87,0; 77,0; 72,4; 81,3; 82,0; 84,4; 83,0; 70,4; 72,2; 99,4; 94,7; 79,8; 74,4; 82,0; 80,1; 79,7; 91,0; 72,3; 69,4; 98,0; 91,5; 81,6; 66,1; 86,4; 81,0; 84,0; 87,2; 73,0; 80,0; 102,4; 88,2; 84,3; 67,3; 89,1; 77,0; 79,6; 80,3; 70,1; 59,2; 101,7; 90,1; 50,2; 52,0; 93,5; 80,0; 84,1; 54,7. Необходимо сгруппировать эти данные, определить статистические характеристики и на чертить ступенчатый график – гистограмму и полигон распределения 100 растений пшеницы по длине стебля. Разноску данных по группам сделать способом «штрихов» и «конвертиков».

Порядок выполнения работы.

1. Установить число групп (классов), величину интервала, начало и конец каждой группы и групповые варианты. Величину интервала находят делением размаха варьирования на число групп. Начало каждой группы находят последовательно, прибавляя к минимальному значению признака величины интервала. Конец предшествующей группы должен отличаться от начала следующей на величину, равную точности измерения, то есть на 0,1 см.

2. Составить рабочую таблицу и разнести исходные данные по группам, используя способ «штрихов» или «конвертиков».

Таблица 4 – Разноска исходных дат по группам

Группа	Способ «штрихов»	Способ «конвертиков»	Частота	Групповые варианты

Правильность разnosки проверяют повторным составлением аналогичной таблицы:

Таблица 5 – Группировка данных и вычисление средней арифметической и суммы квадратов отклонений при непрерывной изменчивости

Группа	Разноска дат	Частота f	Групповые варианты X	Вычисление суммы квадратов						
				По исходным датам			По преобразованным датам			
				X			X1 = (X-A):k=(X-85):10			
				fX	X ²	fX ²	X ₁	fX ₁	X ₁ ²	fX ₁ ²

После группировки получается короткий, легкообозримый вариационный ряд, позволяющий судить о характере изменчивости изучаемого признака.

3. Определяют среднее арифметическое и сумму квадратов отклонений по исходным датам и по преобразованным датам. Первый способ используется при наличии вычислительной машины, второй – при её отсутствии.

4. Определяют статистические характеристики вариационного ряда и доверительный интервал генеральной средней для 5%-ного уровня значимости.

5. Построить гистограмму и полигон распределения 100 растений пшеницы по длине стебля. По горизонтальной оси абсцисс наносят значения границ групп, а по оси ординат частоту f .

Задание 2. В опыте с яровой пшеницей сорта Приморская 40 взяли подряд 40 колосьев, измерили их длину в см и результаты разместили в возрастающем порядке: 4,2; 4,5; 4,6; 4,7; 4,9; 5,4; 5,5; 5,6; 5,8; 5,9; 6,0; 6,0; 6,3; 6,4; 6,5; 6,7; 6,7; 6,8; 6,9; 6,9; 7,1; 7,2; 7,2; 7,3; 7,3; 7,3; 7,4; 7,4; 7,8; 7,8; 7,9; 8,2; 8,5; 8,7; 8,8; 9,1; 9,6; 9,9; 10,1; 10,7. Необходимо сгруппировать эти данные, определить статистические характеристики и начертить график.

Порядок выполнения задания.

1. Определяют число групп и вычисляют интервал групп. Значения интервала группы для удобства расчётов округляют до целого числа.

2. Последующие расчёты проводят, записывая результаты в таблицу 6.

Таблица 6 – Таблица для обработки вариационного ряда

Группы, см	Среднее значение группы X	Частота f	Отклонения $X-A$	$f(X-A)$	$(X-A)^2$	$f(X-A)^2$
		$\sum f$		$\sum f(X-A)$		$\sum f(X-A)^2$

Первая группа начинается наименьшим числом, к которому прибавляют интервал группы i . Последующие группы образуются аналогично. Вычисляют среднее значение групп, одно из которых берётся за произвольное начало (А). Оно должно быть в середине групп и иметь наибольшую частоту. Вычитая значения из произвольного начала, получают отклонения $X-A$ со знаками «+» или «-».

3. Рассчитывают среднюю арифметическую, дисперсию, стандартное отклонение, коэффициент вариации, ошибку выборочной средней, относительную ошибку среднего арифметического и интервальную оценку средней арифметической дают на двух уровнях вероятности – 0,95 и 0,99.

4. Вариационный ряд изображают графически и делают выводы.

Семинарское занятие. Проведение коллоквиума

Вопросы к коллоквиуму

1. Наблюдение и эксперимент. Преимущества эксперимента перед наблюдением.
2. Требования, предъявляемые к научному наблюдению и эксперименту.
3. Перечислить методы научной агрономии.
4. Лабораторный метод исследования. Суть метода и область применения.
5. Вегетационный метод. Суть метода и область применения.
6. Вегетационно-полевые эксперименты. Их назначение и в чём их суть.
7. Лизиметрический метод. Суть метода и область применения.
8. Экспедиционный метод исследования. Его применение в агрономии.
9. Понятие об изменчивости, виды изменчивости.
10. Статистические характеристики количественной изменчивости.
11. Генеральная и выборочная совокупности.
12. Порядок группировки большой выборки.
13. Средняя арифметическая выборочной совокупности и её свойства.

14. Дисперсия и порядок её вычисления.
15. Порядок вычисления сумм квадратов отклонений.
16. Стандартное отклонение и его вычисление.
17. Коэффициент вариации, для чего он применяется. Привести формулу для вычисления.
18. Показатель изменчивости признака. Как его вычислить.
19. Ошибка средней арифметической, порядок вычисления.
20. Доверительный интервал для генеральной средней, что он означает и как записывается.
21. Что такое число степеней свободы.

Литература:

1. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта / Б.А. Доспехов - М.: ИД Альянс, 2011.– 352с.
2. Основы научных исследований в агрономии / В.Ф. Моисейченко, М.Ф. Трифонова, А.Х. Заверюха.- М.: Колос, 1996.- 336 с.

Практическая работа №4

Тема: Вычисление статистических характеристик выборки при изучении качественных признаков

Цель занятия: познакомиться с вычислением статистических характеристик при изучении качественных признаков.

Методические указания. К качественным относят такие признаки, которые выражаются в каких-то качествах, не поддающихся количественному измерению, - разные с/х культуры, разные виды болезней, окраска зерна, цветков, форма плодов, наличие или отсутствие признаков или реакции на воздействие и т.д. Наиболее часто при изучении качественных признаков встречается случай, когда изучаемая совокупность представлена объектами только с двумя градациями – признак есть и признака нет, то есть имеется две возможности, две альтернативы.

Статистические характеристики вычисляют по формулам таблицы 7.

Таблица 7 – Формулы для вычисления статистических характеристик выборки при качественной изменчивости

Показатель	Формула
Доля наличия признака	$p = \frac{n}{N}$
Доля отсутствия признака	$q = 1 - p$
Показатель изменчивости качественного признака (стандартное отклонение)	$S = \sqrt{pq}$
Коэффициент вариации	$V_p = \frac{S}{S_{max}} \times 100$
Ошибка выборочной доли	$S_p = \sqrt{\frac{pq}{N}}$
Доверительный интервал для доли признака в совокупности	$p \pm t S_p$

Доля наличия признака – это отношение числа объектов с данным признаком к общему числу объектов, то есть к объёму выборки.

Доля отсутствия признака – это разность между целым, то есть единицей, и долей наличия признака.

Коэффициент вариации – отношение показателя изменчивости к его максимальному значению, выраженное в процентах.

Ошибка выборочной доли – это мера отклонения от доли наличия признака.

Задание 1. При осмотре 500 растений пшеницы было обнаружено 50 растений, поражённых фузариозом. Определить 95%-ные и 99%-ные довери-

тельные интервалы для генеральной доли поражённых растений в совокупности.

Задание 2. В выборке из 100 клубней картофеля сорта Сантэ 30 поражены паршой, а в выборке из 100 клубней сорта Невский – 10. Определить 95%-ные и 99%-ные доверительные интервалы для генеральной доли поражённых растений в совокупности.

Порядок выполнения задания.

1. Исходные данные при альтернативной (двоично-возможной) изменчивости распределяют по двум группам. Первая группа – растения, имеющие признак, в нашем примере – поражённые растения (n_1) и вторая группа – растения, у которых этот признак отсутствует, то есть здоровые растения (n_2).

2. Вычисляют долю поражённых (p) и здоровых (q) растений, стандартное отклонение доли, коэффициент вариации, ошибку выборочной доли. При вычислении коэффициента вариации следует иметь в виду, что максимально возможная изменчивость при двух градациях признаков равна 0,500 (50,0%), трёх – 0,333 (33,3%), четырёх – 0,250 (25,0%), пяти – 0,200 (20,0%) и шести – 0,167 (16,7%).

3. Рассчитывают доверительный интервал генеральной доли поражённых фузариозом растений в совокупности.

Практическая работа №5

Тема: Статистические методы проверки гипотез

Цель занятия: познакомиться со статистическими методами проверки гипотез и освоить методику оценки существенности разности интервальным методом, по критерию существенности и по величине наименьшей существенной разности.

Методические указания. Вопрос о статистической проверке гипотез – один из основных при применении математической статистики в научных исследованиях. Статистические методы или критерии проверки гипотез – на-

дѣжная основа принятия тех или иных решений при некоторой неопределѣнности, обусловленной случайной вариацией изучаемых явлений. Они применяются всегда, когда необходимо использовать выборочное наблюдение для суждения о законе распределения совокупности, для решения вопроса о существенности разности между выборочными средними, для установления принадлежности варианты к данной совокупности и соответствия между фактическими и теоретическими распределениями частот.

Статистической гипотезой называют научное предположение о тех или иных статистических законах распределения рассматриваемых случайных величин, которое может быть проверено на основе выборки. В большинстве случаев задача сводится к проверке гипотезы об отсутствии реального различия между фактическими и теоретически ожидаемыми наблюдениями. Эту гипотезу называют **нулевой гипотезой** и обозначают символом H_0 .

Если в результате проверки H_0 различия между фактическими и гипотетическими показателями близки к нулю или находятся в области допустимых значений, то нулевая гипотеза не опровергается, а если различия оказываются в критической для данного статистического критерия области, которые при нашей гипотезе невозможны, а потому несовместимы с ней, H_0 опровергается. Принятие нулевой гипотезы означает, что данные наблюдений не противоречат предположению об отсутствии различий между фактическими и гипотетическими (теоретическими) или между двумя рядами фактических распределений, но не доказывают отсутствия такого различия. Отбрасывание гипотезы означает, что эмпирические данные несовместимы с H_0 , а верна другая, альтернативная гипотеза.

Справедливость нулевой гипотезы проверяется вычислением статистических критериев проверки для определѣнного уровня значимости. Уровень значимости определяется конкретными задачами исследования; он характеризует, в какой мере мы рискуем ошибиться, отвергая нулевую гипотезу. Чем меньше уровень значимости, тем меньше вероятность отвергнуть H_0 , когда она верна, или совершить ошибку.

Для проверки статистической гипотезы H_0 используют критерии двух видов: параметрические и непараметрические. Параметрическими называют критерии, которые основаны на предположении, что распределение признака в совокупности подчиняется закону нормального распределения. К таким критериям относятся критерий Стьюдента (t) и критерий достоверности Фишера (F). Непараметрическими называют критерии, использование которых не требует предварительного вычисления оценок неизвестных параметров распределения и даже приближённого значения закона распределения признака. Они могут применяться и тогда, когда распределение сильно отклоняется от нормального. С другой стороны, непараметрические критерии менее эффективны по сравнению с параметрическими, и поэтому их целесообразно использовать только в предварительных исследованиях.

Точечная и интервальные оценки параметров распределения

Статистические характеристики выборочной совокупности являются приближёнными оценками неизвестных параметров генеральной совокупности. Оценка может быть представлена одним числом или некоторым интервалом, в котором с определённой вероятностью может находиться искомый параметр. В общем виде доверительный интервал для генеральной средней записывается так: $x_{cp} - tS_{xcp} \leq \mu \leq x_{cp} + tS_{xcp}$ или $x_{cp} \pm tS_{xcp}$.

Крайние точки интервала – начало $x_{cp} - tS_{xcp}$ и конец $x_{cp} + tS_{xcp}$ называются доверительными границами. Интервальную оценку параметров распределения можно использовать для статистической проверки гипотез при сравнении выборочных средних.

Величина, указывающая границу предельным случайным отклонениям, называется **наименьшей существенной разностью (НСР)**. Её определяют по соотношению $НСР = tS_d$. Если фактическая разность между выборочными средними больше либо равна НСР, то нулевая гипотеза отвергается, а если меньше НСР, то не отвергается.

Оценка существенности разности выборочных средних по t-критерию

При сравнении средних величин необходимо иметь в виду два случая:

1) сравниваются средние двух независимых выборок, когда единицы наблюдения первой выборки не связаны никаким общим условием с единицами наблюдения второй выборки. По критерию Стьюдента оценивается существенность разности средних $d_{cp} = x_{cp1} - x_{cp2}$. 2) сравниваются две сопряжённые выборки, в которых единицы наблюдения первой выборки связаны (сопряжены) каким-то общим условием с единицами наблюдения второй выборки. По критерию Стьюдента оценивается существенность средней разности $d_{cp} = \sum d:n$.

В теории статистики доказывается, что ошибка выборок при одинаковом числе наблюдений $n_1 = n_2$ определяется соотношением:

$$Sd = \sqrt{Sx1cp^2 + Sx2cp^2},$$

где Sd – ошибка разности (или суммы); $Sx1cp$ и $Sx2cp$ - ошибки сравниваемых средних арифметических.

Гарантией надёжности вывода о существенности или несущественности различий между x_{cp1} и x_{cp2} служит отношение разности к её ошибке. Это отношение получило название критерия существенности разности:

$$t = \frac{x_{cp1} - x_{cp2}}{\sqrt{Sx1cp^2 + Sx2cp^2}} = \frac{d}{\underline{Sd}}$$

Если $t_{факт} \geq t_{теор}$, то нулевая гипотеза об отсутствии существенных различий между средними опровергается, а если $t_{факт} < t_{теор}$, то различия находятся в пределах случайных колебаний для принятого уровня значимости. Теоретические значения критерия t находят по таблице приложения 1 по числу степеней свободы и принятому уровню значимости. Число степеней свободы определяют по соотношению $\delta = n_1 + n_2 - 2$.

Проверить нулевую гипотезу можно также и по величине НСР, которую выражают в единицах варьирующего признака. Когда разность между сред-

ними $d \geq \text{НСР}$, она признаётся значимой и нулевая гипотеза опровергается, а когда она лежит в области случайных колебаний, то есть меньше НСР, то H_0 не опровергается.

Ошибку разности средних для сопряжённых выборок вычисляют разностным методом. Оценивается не разность средних, а существенность средней разности ($\pm d$). Для нахождения S_{dcp} вычисляют разности между сопряжёнными парами наблюдений d , определяют значение средней разности $d_{cp} = \sum d : n$ и ошибку средней разности по формуле:

$$S_{dcp} = \sqrt{\frac{\sum (d - d_{cp})^2}{n(n-1)}} \text{ или } S_{dcp} = \sqrt{\frac{\sum d^2 - (\sum d)^2 \div n}{n(n-1)}}$$

Критерий существенности вычисляют по формуле:

$$t = \frac{d_{cp}}{S_{dcp}}$$

Число степеней свободы находят по равенству $\delta = n - 1$, где n – число сопряжённых пар.

Задание 1. При определении содержания белка в зерне пшеницы найдены следующие значения: $x_{cp} = 14,80\%$, $S_{x_{cp}} = 0,20\%$, $n = 4$. Определить 95%-ный и 99%-ный доверительные интервалы для генеральной средней.

Задание 2. В двух образцах почвы определено содержание гумуса в четырёхкратной повторности и для каждого образца вычислена средняя и её ошибка (в %): $x_{1cp} \pm S_{x_{1cp}} = 2,36 \pm 0,08\%$; $x_{2cp} \pm S_{x_{2cp}} = 2,09 \pm 0,07\%$. Рассчитать фактическое значение критерия существенности и сопоставив его с теоретическим значением, сделать вывод о существенности разности.

Задание 3. При анализе зерна двух сортов яровой пшеницы получены данные о содержании белка в различных партиях, табл.8. Сравниваемые сорта возделывались в четырёх пунктах, при этом во всех пунктах сорта располагались всегда на соседних участках. Рассчитать ошибку средней разности и критерий существенности.

Таблица 8 – Обработка сопряжённых наблюдений

Пункт испытания сортов	Содержание белка, %		Разность d	Квадрат разности d ²
	Сорт Приморская 40	Сорт Приморская 14		
1	18,6	17,8		
2	16,2	15,4		
3	17,4	16,5		
4	20,2	19,5		
суммы				
средние				

Практическая работа №6

Тема: Дисперсионный анализ данных однофакторного вегетационного опыта

Цель занятия: изучить сущность дисперсионного анализа, этапы и условия его применения и освоить практические навыки проведения дисперсионного анализа урожайных данных однофакторных вегетационных опытов.

Методические указания. Дисперсионный анализ разработан и введён в практику Р.А. Фишером, который открыл закон распределения отношения

средних квадратов:
$$\frac{\text{средний квадрат выборочных средних}}{\text{средний квадрат объектов}} = \frac{S_1^2}{S_2^2} = F$$

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.

Вегетационные опыты чаще всего представляют собой статистические комплексы, состоящие из нескольких независимых выборок – вариантов. В вегетационных опытах обычно нет территориально организованных повторе-

ний, поэтому дисперсионный анализ данных необходимо вести как для несопряжённых выборок.

Перед дисперсионным анализом данных вегетационного опыта ставится задача проверить статистическую нулевую гипотезу H_0 , которая формулируется так: между средними по вариантам нет существенных различий, то есть $H_0: d=0$.

В однофакторном вегетационном опыте общее варьирование результативного признака разлагается на два компонента – варьирование вариантов и случайное варьирование: $C_y = C_v + C_z$. Статистический анализ данных проводят в три этапа:

1) составляют расчётную таблицу, располагая в ней исходные данные по рядам и столбцам, определяют суммы и средние по вариантам, общую сумму и среднее значение результативного признака по опыту;

2) вычисляют суммы квадратов отклонений по формулам таблицы 9 и определяют фактическое значение критерия $F_{ф}$;

3) определяют ошибку опыта и существенность частных различий.

Таблица 9 – Формулы для вычисления сумм квадратов отклонений, дисперсий и критерия $F_{ф}$

Дисперсия	Сумма квадратов	Степени свободы	Средний квадрат	$F_{ф}$	$F_{т}$
Общая C_y	$\sum X^2 - C$	$N - 1$	-	-	-
Вариантов C_v	$\sum V^2 : n - C$	$L - 1$	S^2_v	$S^2_v : S^2$	По таблице приложения 2
Остаток (ошибки) C_z	$C_y - C_v$	$N - L$	S^2	-	-

N – общее число наблюдений;

L – общее число вариантов;

C – корректирующий фактор, поправка и находится по формулам:

$$C = (\sum X)^2 : N \text{ или } C = x_{\text{ср}} \sum X.$$

Задание 1. Обработать данные вегетационного опыта по изучению действия соотношения N : P : K при питании рассады томатов на урожай плодов, табл.10. Все разности между средними по вариантам статистически незначительны.

Таблица 10 – Урожайность плодов томатов (г на сосуд)

Вариан- ты	Урожай, X	Число на- блюдений, n	Суммы V	Средние
1:1:1 (кон- троль)	454; 470; 430; 500			
1:2:1	502; 550; 490; 507			
1:2:2	601; 670; 550; 607			
2:1:1	407; 412; 475; 402			
2:2:1	418; 470; 460; 412			
	Общая сумма	$\sum n =$	$\sum X =$	$x_{\text{ср}} =$

Порядок выполнения задания.

1. В таблице 10 подсчитать суммы и средние по вариантам, определить общую сумму и средний урожай в опыте.

2. Вычислить суммы квадратов. Для этого исходные даты преобразовать в таблице 11 по соотношению $X_1 = X - A$, где A – условная средняя, число близкое к среднему урожаю по опыту.

Таблица 11 – Преобразование дат по опыту

Варианты	$X_1 = X - A$	Суммы V
1		
2		
3		
4		
5		
	Общая сумма	$\sum X_1 =$

Вычисление суммы квадратов отклонений ведут в такой последовательности:

- определяют общее число наблюдений $N = \sum n =$;
- корректирующий фактор $C = (\sum X_1)^2 : N$;
- общую сумму квадратов отклонений, сумму квадратов вариантов и остаточную сумму квадратов вычисляют, пользуясь формулами таблицы 9.

3. Составить таблицу дисперсионного анализа

Таблица 12 – Результаты дисперсионного анализа

Дисперсия	Сумма квадратов	Степени свободы	Средний квадрат	Fф	F _{05Г}
Общая C _y					
Вариантов C _v					
Остаток (ошибки) C _z					

Теоретическое значение F₀₅ находят по таблице приложения 2. Если

$F_{\text{ф}} > F_{05}$, то в опыте есть существенные различия по вариантам на 5%-ном уровне значимости, и нулевая гипотеза отвергается. Поэтому для оценки существенности частных различий вычисляют:

- ошибку опыта $S_{\text{хсп}} = \sqrt{\frac{S^2_{\text{д}}}{n}}$;

- ошибку разности средних $S_{\text{д}} = \sqrt{\frac{2S^2_{\text{д}}}{n}}$;

- НСР для 5%-ного (или 1%-ного) уровня значимости в абсолютных и относительных показателях:

$$\text{НСР}_{05} = t_{05} S_{\text{д}};$$

$$\text{НСР}_{05} = \frac{t_{05} \times S_{\text{д}}}{\text{хсп}} \times 100\%$$

Значение критерия t_{05} берут из таблицы приложения 1 для числа степеней свободы дисперсии остатка (ошибки).

4. Итоги результатов опыта и статистической обработки данных записать в таблицу 13.

Таблица 13 - Урожайность плодов томатов (г на сосуд)

Соотношение N : P : K	Урожайность (средняя)	Разность по отношению к контролю	
		г	%
1:1:1 (контроль)			
1:2:1			
1:2:2			
2:1:1			
2:2:1			
НСР ₀₅			

Затем сравниваются варианты между собой, и смотрится разница между их урожайностью. Если разница между урожайностью больше либо равна

НСР, то такая разница существенная и делается вывод, что она обусловлена влиянием варианта. Если разница в урожайности будет меньше НСР, то она признаётся несущественной и в опыте не доказано влияние варианта на изменение урожайности. В этом случае различие в урожайности могло быть вызвано влиянием варианта, а могло произойти и от влияния случайных ошибок.

Задание 2. Установить, значимо ли различие в действии форм азотных удобрений на урожай пшеницы. Исходные данные урожайности приведены в таблице 14.

Таблица 14 – Урожайность пшеницы (г на сосуд)

Варианты (формы азота)	Урожайность, X	Число на- блюдений n	Суммы V	Средние
Без удобре- ний (контроль)	16,0; 17,2; 14,4; 15,8; - -			
Сульфат аммония	29,4; 30,4; 30,3; 28,1; - -			
Аммиачная селитра	26,0; 29,2; 26,7; 27,1; 26,0; 28,1			
Мочевина	25,3; 24,8; 26,1; 23,2; 25,7; 24,0			
	Общая сумма	$\sum n =$	$\sum X =$	$\bar{x}_{ср} =$

Порядок выполнения задания.

Поскольку в опыте разная повторность по вариантам, необходимо производить вычисления нескольких значений НСР, так как не все средние равноточны. В данном примере варианты 1 и 2 опираются на четыре, а варианты 3 – 4 – на шесть наблюдений. Все расчёты производят аналогично преды-

дущему заданию 1. При вычислении суммы квадратов для вариантов пользуются следующей формулой: $C_v = \sum (\frac{v_1^2}{n_1} + \frac{v_2^2}{n_2} + \frac{v_3^2}{n_3} + \frac{v_4^2}{n_4}) - C$.

При оценке существенности частных различий в опыте с разной повторностью необходимо учесть неравноточность сравнения средних. Ошибки средних первых двух вариантов опираются на $n_1 = n_2 = 4$ наблюдения, а двух последних – на $n_3 = n_4 = 6$ наблюдений. Поэтому ошибку разности между средними нужно определять по формуле, учитывающей разную повторность по вариантам.

Ошибку разности средних при сравнении x_{1cp} с x_{2cp} ($n_1 = n_2 = 4$) находится по формуле:

$$Sd' = \sqrt{\frac{2S^2}{n}}$$

При сравнении x_{1cp} и x_{2cp} с x_{3cp} и x_{4cp} ($n_1 = 4$ и $n_2 = 6$) расчёт ведут по формуле:

$$Sd'' = \sqrt{S^2 \frac{n_1 + n_2}{n_1 n_2}}$$

При сравнении x_{3cp} с x_{4cp} ($n_3 = n_4 = 6$) пользуются формулой:

$$Sd''' = \sqrt{\frac{2S^2}{n}}$$

НСР рассчитывают по следующим формулам:

$$НСР'_{05} = t_{05} Sd'$$

$$НСР''_{05} = t_{05} Sd''$$

$$НСР'''_{05} = t_{05} Sd'''$$

Результаты опыта и статистической обработки записывают в таблицу 15, сравнивая данные с контрольным вариантом и лучшим по урожайности.

Таблица 15 – Урожайность пшеницы (г на сосуд)

Варианты	Урожайность средняя	Сравнение с контролем		Сравнение с лучшим вариантом	
		разность	НСР ₀₅	разность	НСР ₀₅
Без удоб- рений (контроль)					
Сульфат аммония					
Аммиачная селитра					
Мочевина					

Практическая работа №7 - №8

Тема: Дисперсионный анализ данных однофакторного полевого опыта с однолетними и многолетними культурами

Цель занятия: познакомиться с особенностями проведения дисперсионного анализа данных однофакторного полевого опыта с однолетними и многолетними культурами.

Методические указания. Обработку данных опыта с однолетними культурами проводят в следующей последовательности:

- 1) исходные даты заносят в таблицу урожаев, определяют суммы и средние;
- 2) вычисляют суммы квадратов отклонений для всех источников варьирования;
- 3) составляют таблицу дисперсионного анализа и проверяют нулевую гипотезу по F-критерию. Если $F_{\text{ф}} > F_{\text{т}}$, то определяют существенность част-

ных различий и группируют варианты на основе НСР. Если $F_{\phi} < F_T$ и H_0 не отвергается, то все разности между выборочными средними находятся в пределах случайных отклонений, и в этом случае вычисляют только ошибку опыта $S_{\text{хсп}}$.

Обработка данных опыта с однолетними культурами, проведённого методом рендомизированных повторений. Расчётную таблицу исходных данных для дисперсионного анализа составляют по форме таблицы 16.

Таблица 16 – Расположение данных в таблице

Варианты	Показатели по повторениям, X				Число наблюдений n	Суммы по вариантам V	Средние по вариантам
	1	2	...	n			
1	X_{11}	X_{12}		X_{1n}	n_1	V_1	$x_{\text{ср}1}$
2	X_{21}	X_{22}		X_{2n}	n_2	V_2	$x_{\text{ср}2}$
3	...	...	...	...	...	...	...
4	...	...	...	...	...	...	...
L	X_{L1}	X_{L2}	...	X_{Ln}	n_L	V_L	$x_{\text{ср} L}$
Сумма по повторениям P	P_1	P_2	...	P_n	$N = \sum n$	$\sum X = \sum P = \sum V$	$x_{\text{ср}} = \frac{\sum X}{N}$

Суммы квадратов отклонений, дисперсии и F-критерий вычисляют по формулам таблицы 17.

Таблица 17 – Формулы для вычисления

Дисперсия	Сумма квадратов	Степени свободы	Средний квадрат	Fф	F _т
Общая C _y	$\sum X^2 - C$	N-1	-	-	-
Повторений C _p	$\sum P^2:L - C$	n-1	-	-	-
Вариантов C _v	$\sum V^2:n - C$	L - 1	S ² _v	S ² _v : S ²	По таблице приложения 2
Остаток (ошибки) C _z	C _y – C _p - C _v	(L – 1) × (n – 1)	S ²	-	-

C – корректирующий фактор, поправка и находится по формулам:

$$C = (\sum X)^2 : N \text{ или } C = x_{ср} \sum X.$$

Задание. Провести дисперсионный анализ данных опыта с озимой пшеницей, табл. 18. Определить НСР₀₅ и сгруппировать сорта по отношению к стандарту.

Порядок выполнения задания.

1. В таблице 18 подсчитывают суммы и средние. Правильность расчётов проверяют по равенству: $\sum P = \sum V = \sum X$.

2. Для вычисления сумм квадратов исходные даты необходимо преобразовать по соотношению $X_1 = X - A$, где A – условное среднее, близкое к $x_{ср}$. Преобразованные даты записывают в таблицу 19. Правильность расчётов проверяют по равенству: $\sum P = \sum V = \sum X_1$.

Таблица 18 – Урожайность сортов озимой пшеницы (ц с 1 га)

Варианты (сорта)	Повторения, X				Суммы V	Средние
	1	2	3	4		
1 контроль	47,8	46,9	45,4	44,1		
2	53,7	50,3	50,6	48,0		
3	46,7	42,0	43,4	40,7		
4	48,0	47,0	45,9	45,7		
5	41,8	40,0	43,0	41,6		
Суммы P					$\sum X$	хср

Таблица 19 – Преобразование исходных дат

Варианты	$X_1 = X - A$				Суммы V
	1	2	3	4	
1					
2					
3					
4					
5					
Суммы P					$\sum X_1$

3. Вычисления сумм квадратов отклонений ведут в такой последовательности:

- находят общее число наблюдений по формуле $N = L \times n$;
- корректирующий фактор $C = (\sum X_1)^2 : N$;
- суммы квадратов отклонений $C_y = \sum X_1^2 - C$

$$C_p = \sum P^2 : L - C$$

$$C_v = \sum V^2 : n - C$$

$$C_z = C_y - C_p - C_v$$

4. Затем заполняют таблицу 20.

Таблица 20 – Результаты дисперсионного анализа

Дисперсия	Сумма квадратов	Степени свободы	Средний квадрат	Fф	F _{05т}
Общая Су					
Повторений Ср					
Вариантов Сv					
Остаток (ошибки) Сz					

Если $F_{\text{ф}} > F_{\text{т}}$, то делают вывод о существенности различий между вариантами в опыте и продолжают расчёт.

5. Для оценки существенности различий и группировки вариантов вычисляют ошибку опыта, ошибку разности средних и НСР в абсолютных и относительных величинах:

- ошибку опыта $S_{\text{хср}} = \sqrt{\frac{S^2}{n}}$;

- ошибку разности средних $S_d = \sqrt{\frac{2S^2}{n}}$;

- НСР для 5%-ного (или 1%-ного) уровня значимости в абсолютных и относительных показателях:

$$\text{НСР}_{05} = t_{05} S_d;$$

$$\text{НСР}_{05} = \frac{t_{05} \times S_d}{\text{хср}} \times 100\%$$

6. Результаты опыта и статистической обработки записывают в таблицу 21 и делают вывод.

Таблица 21 – Урожайность сортов озимой пшеницы (ц на 1 га)

Варианты (сорта)	Урожайность (средняя)	Отклонения от контроля		Группа
		ц/га	%	
1(контроль)				
2				
3				
4				
5				
НСР ₀₅				

Обработка опытов с многолетними культурами

При дисперсионном анализе данных опытов с многолетними культурами (многолетние травы, плодовые, ягодные), не меняющими местоположения в течение ряда лет, главное внимание сосредоточивается на выводах, вытекающих из обработки данных за весь период эксперимента. Обработка включает два основных этапа: анализ данных за каждый год и обработку суммарных урожаев за весь период опыта.

Задание. Существенно ли различаются урожаи многолетних трав по вариантам внутри каждого года и за двухлетний период опыта, табл.22?

Таблица 22 – Урожайность сена многолетних трав (ц с 1 га)

Годы	Варианты	Повторения, X					Суммы V	Средние
		1	2	3	4	5		
2011	1(контроль)	40,2	47,4	30,7	51,4	51,0		
	2	41,4	46,7	32,4	50,7	52,4		
	3	52,4	54,7	41,2	59,4	61,4		
	Суммы P						$\sum X =$	хср=
2012	1(контроль)	31,2	36,4	28,1	34,7	30,1		

	2	30,0	35,4	29,9	37,0	32,4		
	3	40,2	48,8	34,7	54,4	50,1		
	Суммы Р						$\sum X =$	$x_{ср} =$
за 2 года	1(контроль)	71,4	83,8	58,8	86,1	81,1		
	2	71,4	82,1	62,3	87,7	84,8		
	3	92,6	103,5	75,9	113,8	111,5		
	Суммы Р						$\sum X =$	$x_{ср} =$

Порядок выполнения задания.

1. В таблице 22 подсчитывают суммы и средние за каждый год учёта и в сумме за период опыта.
2. По формулам, приведённым выше, вычисляют суммы квадратов для каждого года и за 2 года.
3. Составляют таблицу дисперсионного анализа и вычисляют $F_{ф}$, табл. 23.

Таблица 23 – Результаты дисперсионного анализа

Дисперсия	Сумма квадратов	Степени свободы	Средний квадрат	$F_{ф}$	$F_{05т}$
Учёт 2011 года					
Общая S_y					
Повторений S_p					
Вариантов S_v					
Остаток (ошибки) S_z					
Учёт 2012 года					

Общая Су					
Повторений Ср					
Вариантов Сv					
Остаток (ошибки) Сz					
В сумме за 2 года					
Общая Су					
Повторений Ср					
Вариантов Сv					
Остаток (ошибки) Сz					

Если $F_{\text{ф}} > F_{\text{т}}$, то делают вывод о существенности различий между вариантами в опыте и продолжают расчёт.

4. Для оценки существенности различий вычисляют ошибку опыта, ошибку разности средних и НСР в абсолютных и относительных величинах отдельно по каждому году и в сумме за 2 года.

5. Результаты опыта и статистической обработки записывают в итоговую таблицу 24.

Таблица 24 – Урожайность сена многолетних трав (ц с 1 га)

Год	Варианты	Урожайность средняя	Разность по отношению к контролю	НСР ₀₅
2011	1(контроль)			
	2			
	3			
2012	1(контроль)			
	2			
	3			
за 2 года	1(контроль)			
	2			
	3			

Семинарское занятие. Проведение коллоквиума

Вопросы к коллоквиуму

1. Полевой опыт и его роль в агрономических исследованиях.
2. Что понимают под методикой полевого опыта. Влияние числа вариантов опыта на величину ошибки.
3. Вариант опыта. Схема опыта. Типы вариантов. Какие варианты применяются в качестве контрольного или стандартного. Повторность опыта.
4. Типичность (репрезентативность) полевого опыта.
5. Требование единственного логического различия при проведении полевого опыта.
6. Выбор опытного участка под опыт.
7. Требования к закладке полевого опыта на специально выделенном участке.
8. Почвенно-климатическая типичность – необходимое условие при проведении полевого опыта.

9. Объясните суть случайного варьирования плодородия почвы на земельном участке.

10. Типы варьирования плодородия почвы на земельных участках.

11. Влияние климатических условий на результаты полевого опыта.

12. Классификация полевых опытов.

13. Уравнительные посевы, их назначение. Рекогносцировочные посевы.

14. Виды ошибок и природа их возникновения.

15. Требования учёта урожая в полевом опыте. Достоверность опыта по существу.

16. В чём суть рендомизации и для чего она проводится?

17. Суть систематического варьирования (изменчивости) плодородия почвы земельного участка.

18. Случайные ошибки, их свойства.

19. Однофакторные и многофакторные полевые опыты.

20. Перечислите статистические характеристики качественной изменчивости.

21. Показатель изменчивости качественного признака, что он показывает и как вычисляется.

22. Коэффициент вариации качественных признаков, что он показывает и как вычисляется?

23. Коэффициент корреляции, ошибка и существенность прямолинейной корреляции?

24. Как вычислить НСР, что она означает?

Литература:

1. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта / Б.А. Доспехов - М.: ИД Альянс, 2011.– 352с.

2. Основы научных исследований в агрономии / В.Ф. Моисейченко, М.Ф. Трифонова, А.Х. Заверюха.- М.: Колос, 1996.- 336 с.

Практическая работа №9

Тема: Дисперсионный анализ данных многофакторного полевого опыта

Цель занятия: познакомиться с техникой и особенностями проведения дисперсионного анализа данных многофакторных полевых опытов.

Методические указания.

Многофакторный дисперсионный анализ – это совокупность исходных наблюдений (дат), позволяющих статистически оценить действие и взаимодействие нескольких изучаемых факторов на изменчивость результативного признака.

Статистическую обработку данных проводят в такой последовательности:

- 1) исходные даты заносят в таблицу урожаев, определяют суммы и средние;
- 2) вычисляют суммы квадратов для общего варьирования, варьирования повторений, вариантов и остатка, то есть обрабатывают данные так же, как и результаты однофакторного опыта;
- 3) общее варьирование вариантов разлагают на компоненты – главные эффекты изучаемых факторов и их взаимодействия;
- 4) составляют таблицу дисперсионного анализа и проверяют нулевую гипотезу о существенности действия и взаимодействия факторов по F-критерию.

Задание 1. В двухфакторном опыте изучено действие трёх градаций орошения (без орошения; 1 – умеренное; 2 - обильное) и четырёх доз азота (без азота; 1 – 60; 2 – 90; 3 – 120 кг д.в. на 1 га) на урожай семян пшеницы, табл. 25. Провести дисперсионный анализ данных.

Таблица 25 – Влияние орошения и доз азота на урожай семян пшеницы
(ц с 1 га)

Орошение А	Дозы азота В	Повторения, Х				Суммы V	Средние
		1	2	3	4		
без оро- шения	без азо- та	19	20	15	15		
	1	20	20	20	18		
	2	18	20	18	18		
	3	20	19	18	19		
1	без азо- та	32	29	18	21		
	1	40	39	33	34		
	2	39	38	40	37		
	3	44	42	40	39		
2	без азо- та	30	31	21	17		
	1	42	35	28	33		
	2	38	38	36	35		
	3	48	51	50	48		
Суммы Р						$\sum X =$	хср=

Порядок выполнения задания.

Дисперсионный анализ двухфакторного опыта с тремя градациями фактора А – орошения ($L_A=3$) и четырьмя градациями фактора В – доз азота

($L_B=4$), поставленного в четырёх повторениях ($n=4$), складывается из следующих этапов:

1. В таблице 25 определяют суммы и средние.
2. Определяют суммы квадратов отклонений.

$$N=L_A L_B n;$$

- корректирующий фактор $C = (\sum X)^2 : N$;

- суммы квадратов отклонений $C_y = \sum X^2 - C$

$$C_p = \sum P^2 : L - C$$

$$C_v = \sum V^2 : n - C$$

$$C_z = C_y - C_p - C_v$$

3. Определяют суммы квадратов для факторов А, В и взаимодействия АВ. Для этого составляют таблицу 26, в которую вписывают суммы урожаев по вариантам из табл. 25, и находят необходимые для расчёта главных эффектов суммы А и В.

Таблица 26 – Определение главных эффектов и взаимодействий

Орошение А	Доза азота, В				Суммы А
	без азота	1	2	3	
без орошения					
1					
2					
Суммы В					

$$C_A = \sum A^2 : L_B n - C;$$

$$C_B = \sum B^2 : L_A n - C;$$

$$C_{AB} = C_v - C_A - C_B.$$

4. Составляют таблицу дисперсионного анализа и определяют значимость действия и взаимодействия изучаемых факторов по F-критерию, табл. 27.

Значения F_{05} берут из таблицы приложения 2, исходя из степеней свободы для дисперсии главных эффектов А, В и взаимодействия АВ и степеней свободы дисперсии остатка.

Таблица 27 – Результаты дисперсионного анализа

Дисперсия	Сумма квадратов	Степени свободы	Средний квадрат	Fф	F_{05T}
Общая					
Повторений					
Орошения А					
Азота В					
Взаимодействия АВ					
Остаток (ошибки)					

5. Для оценки существенности частных различий вычисляют ошибку опыта, ошибку разности средних и НСР.

6. Вычисляют ошибку разности средних и $НСР_{05}$ для главных эффектов:

- для фактора А

$$Sd = \sqrt{\frac{2S^2}{nL_B}}; \quad НСР_{05} = t_{05}Sd;$$

- для фактора В и взаимодействия АВ

$$Sd = \sqrt{\frac{2S^2}{nL_A}}; \quad НСР_{05} = t_{05}Sd;$$

Практическая работа №10 - №11

Тема: Корреляция и регрессия

Цель занятия: познакомиться с сущностью корреляционного и регрессивного анализов, их значением в опытной работе.

Методические указания. Между варьирующими явлениями, объектами, условиями среды, ростом и продуктивностью растений существуют определённые взаимосвязи: значение средней величины одного признака изменяется при изменении другого признака. Взаимосвязи между варьирующими признаками называют **корреляцией**. По направлению корреляция может быть прямой или обратной. При **прямой корреляции** с увеличением значения признака X увеличивается значение признака Y. При **обратной корреляции** с увеличением значения признака X значение признака Y уменьшается. По форме корреляция бывает линейной и криволинейной. **Линейная корреляция** имеет место, когда с увеличением признака X соответственно увеличивается второй признак Y. При **криволинейной корреляции** значения X и Y изменяются сначала в одном направлении, а затем в противоположных. По числу связей корреляция может быть простой, когда имеется связь между двумя признаками, и множественной, когда связано три и более признака.

Регрессия – это характер и степень изменения одного из признаков X на единицу измерения другого Y.

После корреляционных и регрессионных анализов составляют уравнения регрессии, которые используют для вычисления неизвестного показателя по известному; для прогнозирования будущего урожая, например по числу цветков или завязей; для прогнозирования распространения вредителей и болезней по внешним условиям и т.д.

Задание 1. Проанализировать зависимость между длиной листьев пшеницы и их площадью. Данные представлены в таблице 28.

Таблица 28 – Вычисление корреляционной зависимости между длиной листьев пшеницы (см) и их площадью (см²)

Но- мер пар	Длина листь- ев, X	Пло- щадь листьев, Y	X-хср	Y-уср	(X-хср)× (Y-уср)	(X-хср) ²	(Y-уср) ²
1	15,0	6,21					
2	16,2	7,50					
3	17,5	9,10					
4	18,9	10,0					
5	20,2	11,7					
6	20,5	12,0					
7	20,7	12,5					
8	20,9	12,9					
9	21,3	13,1					
10	21,7	13,6					
11	22,0	14,0					
12	22,2	15,0					
13	22,2	15,5					
14	22,6	15,8					
15	22,9	16,2					
16	23,0	17,0					
17	24,1	18,1					
18	24,9	19,1					
19	25,4	20,2					
20	25,3	21,1					
n=20	хср=	уср=	Σ=	Σ=	Σ(X-хср)× (Y-уср)	Σ(X-хср) ²	Σ(Y-уср) ²

Порядок выполнения задания.

1. Вычисляют все показатели таблицы 28.
2. Определяют коэффициент корреляции по формуле:

$$r = \frac{\sum(X - x_{cp}) \times (Y - y_{cp})}{\sqrt{\sum(X - x_{cp})^2 \sum(Y - y_{cp})^2}}$$

3. Вычисляют ошибку коэффициента корреляции по формуле:

$$Sr = \sqrt{\frac{1 - r^2}{n - 2}}$$

4. Критерий достоверности коэффициента корреляции рассчитывается по формуле:

$$t_r = \frac{r}{Sr}$$

5. Теоретическое значение критерия Стьюдента находят по числу степеней свободы $\delta = n - 2$ и сравнивают с фактическим значением.

6. Делают вывод о силе связей: если коэффициент корреляции равен единице, то связь полная, если он составляет 0,66...0,99 – сильная, 0,33...0,66 – средняя, менее 0,33 – слабая. О направлении связи вывод делают в зависимости от знака коэффициента корреляции: «+» - корреляция прямая; «-» - обратная. Вывод о достоверности делают на основе такого правила: если критерий существенности коэффициента корреляции фактический больше критерия теоретического или равен ему, то связь достоверная (существенная).

7. При сильной и достоверной связи проводят регрессионный анализ, вычисляя коэффициент регрессии R_{yx} по формуле:

$$R_{yx} = \frac{\sum(X - x_{cp})(Y - y_{cp})}{\sum(X - x_{cp})^2}$$

8. Площадь листьев (Y) по их длине (X) рассчитывают по уравнению линейной регрессии:

$$Y = y_{cp} + R_{yx}(X - x_{cp})$$

Задание 2. Вычислить корреляционное отношение в опыте с горохом, где изучали нормы высева и урожай зелёных бобов.

Таблица 29 – Урожайность зелёных бобов гороха Y в зависимости от норм высева X , ц/га

Номер пар	X	Y	$уср_x$	$(Y-уср_x)$	$(Y-уср_x)^2$	$Y-уср$	$(Y-уср)^2$
1	0,8	44					
2	1,0	56					
3	1,2	62					
4	1,4	74					
5	1,6	88					
6	1,8	94					
7	2,0	91					
8	2,2	79					
9	2,4	69					
10	2,6	53					
		уср=		$\Sigma(Y-уср_x)=$	$\Sigma(Y-уср_x)^2=$	$\Sigma(Y-уср)=$	$\Sigma(Y-уср)^2=$

Порядок выполнения задания.

1. Заполняют графы таблицы 29.
2. Корреляционное отношение рассчитывают по формуле:

$$\mu_{yx} = \sqrt{\frac{\Sigma(Y-уср)^2 - \Sigma(Y-уср_x)^2}{\Sigma(Y-уср)^2}}$$

3. Число наблюдений в группах может быть разное. Десять норм высева целесообразно разбить на пять групп ($уср_x$).

4. Вычисляют ошибку корреляционного отношения по формуле:

$$s\mu = \sqrt{\frac{1-\mu_{yx}^2}{n-2}}$$

5. Вычисляют фактический критерий достоверности корреляционного отношения по формуле:

$$t_{\mu} = \frac{\mu_{yx}}{S_{\mu}}$$

6. Значение t теоретического берут из таблицы приложения 1 для степени свободы $\delta_{\mu} = n - 2$, сравнивают с фактическим значением и делают выводы.

Задание 3. В опыте изучали влияние фунгицида на поражённость растений ячменя головнёй. Установлено, что при опрыскивании фунгицидом из 100 растений (N_1) оказалось 95 непоражённых (n_1), а поражённых - 5 (n_2); без опрыскивания из 150 растений (N_2) непоражённых было 100 (n_3), а поражённых - 50 (n_4). Всего в двух вариантах непоражённых растений было 195 (N_3), а поражённых – 55 (N_4). Всего обследовано 250 растений (N). Необходимо определить, достоверна ли связь между применением фунгицида и уменьшением поражения растений ячменя головнёй.

Порядок выполнения задания.

1. Коэффициент корреляции качественных показателей рассчитывают по формуле:

$$r_p = \frac{n_1 n_4 - n_2 n_3}{\sqrt{N_1 N_2 N_3 N_4}}$$

2. Вычисляют ошибку коэффициента корреляции по формуле:

$$S_r = \sqrt{\frac{1 - r_p^2}{N - 2}}$$

3. Вычисляют критерий достоверности Стьюдента по формуле:

$$t_r = \frac{r_p}{S_r}$$

Теоретическое значение критерия Стьюдента находят по числу степеней свободы $\delta_{\mu} = N - 2$, сравнивают с фактическим значением и делают выводы.

Практическая работа №12

Тема: Ковариационный анализ

Цель занятия: познакомиться с сущностью и условиями применения ковариационного анализа при планировании и статистической обработке результатов опыта.

Методические указания. Нередки случаи, когда с/х культуры на делянках значительно различаются по силе роста и урожаю в самом начале опыта. В конце опыта они ещё больше различаются, поэтому оценка эффективности изучаемых вариантов без поправок на первоначальное состояние растений не будет объективной. В таких случаях необходимо установить соотношение между варьированием первоначального показателя, например урожая X и последующим урожаем Y с помощью ковариационного анализа. Данный анализ также используют тогда, когда отдельные растения в опыте выпадают из-за повреждения вредителями, болезнями, морозами. Но его не следует применять, когда сильное поражение при сортоиспытании является особенностью сорта или когда в агротехническом опыте растения выпадают под влиянием высоких доз удобрений или гербицидов.

Сочетание дисперсионного, корреляционного и регрессионного анализов для приведения фактических средних по ряду Y к полной выравненности условий опыта по ряду X называют **ковариационным анализом**.

Ковариация – это средняя из произведений отклонений двух переменных X и Y от их средних арифметических. Ковариацией называется совокупность трёх статистических показателей: средних арифметических $\bar{x}$ и $\bar{y}$, сумм квадратов отклонений $\sum(X-\bar{x})^2$ и $\sum(Y-\bar{y})^2$ и суммы произведений отклонений $\sum(X-\bar{x})(Y-\bar{y})$. Параллельное разложение этих величин по факторам варьирования составляет суть ковариационного анализа.

Задание 1. Урожайность яблонь в начале (X) и в конце опыта (Y) приведена в таблице 30. Провести ковариационный анализ результатов опыта.

Таблица 30 – Урожайность яблонь в начале и в конце опыта, т/га

Вариант		Урожайность по повторениям				Суммы	Среднее
		1	2	3	4		
1	X	1,0	1,2	0,9	1,3		
	Y	1,4	1,4	1,5	1,7		
2	X	1,2	1,0	1,4	1,6		
	Y	1,3	1,1	1,5	1,7		
3	X	1,6	1,0	1,6	1,4		
	Y	1,9	1,5	1,6	1,8		
P _x						$\sum X =$	х _{ср} =
P _y						$\sum Y =$	у _{ср} =
		n =	L =	N =			

Порядок выполнения задания.

1. Заполняем таблицу 30.

2. Проводим дисперсионный анализ для ряда X:

- корректирующий фактор $C = \frac{(\sum X)^2}{N}$

- суммы квадратов отклонений $C_y = \sum X^2 - C$

$$C_p = \sum P_x^2 : L - C$$

$$C_v = \sum V_x^2 : n - C$$

$$C_z = C_y - C_p - C_v$$

3. Аналогично проводим дисперсионный анализ для ряда Y.

4. Проводим дисперсионный анализ произведения XY:

$$C = \frac{\sum X \sum Y}{N}$$

$$C_y = \sum XY - C$$

$$C_p = \sum P_x P_y : L - C$$

$$C_v = \sum V_x V_y : n - C$$

$$C_z = C_y - C_p - C_v$$

5. Находим сумму квадратов регрессии:

$$C_R = \frac{\sum YX}{\sum X^2} = C_z^2 \text{ (для } XY) / C_z \text{ (для } X^2)$$

6. Находим коэффициент регрессии:

$$R_{yx} = C_z \text{ (для } XY) / C_z^2 \text{ (для } X^2)$$

7. Составляем таблицу результатов ковариационного анализа, (табл. 31) и корректировка урожайности, (табл. 32). Значения X^2 , XY , Y^2 и C_R берут по дисперсионным анализам соответствующего ряда. Вычисляем степени свободы (δ) по формулам, приведённым в таблице 31. Средний квадрат и фактическое значение критерия Фишера рассчитываются по формулам, приведённым в практическом занятии №7-8. Теоретическое значение критерия находят в приложении 2.

Таблицы 31 – Результаты ковариационного анализа

Дисперсия	Суммы квадратов и произведений			δ	S^2	Fфакт	$F_{0,95}$	R_{yx}
	X^2	XY	Y^2					
Общая				$N-1=$				
Повторений				$n-1=$				
Вариантов				$L-1=$				
Остаток I (Cz)				$(L-1) \times (n-1)=$				
Регрессия (C_R)				$X=1; Y=1;$				
Остаток II								

Таблица 32 – Корректировка урожайности

Вариант	Урожайность опыта (среднее по X)	$x_{cp} - X$	$R_{yx}(x_{cp} - X)$	Урожайность, т/га	
				Фактическая (среднее по Y)	скорректированная
1					
2					
3					
	$x_{cp}=$	$\sum (x_{cp} - X)=0$	$\sum=0$	$y_{cp}=$	$y_{1cp}=$

Семинарское занятие. Проведение коллоквиума

Вопросы к коллоквиуму

1. Какие этапы планирования полевого эксперимента вы знаете? Перечислите основные вопросы, входящие в этапы планирования.
2. Как выбрать тему исследования и определить задачи исследования?
3. Какие требования необходимо выполнить при разработке схем полевых опытов?
4. Как составить схему однофакторного полевого опыта с количественными вариантами?
5. Как составить схему однофакторного полевого опыта с количественными вариантами. Принципиальные отличия схем опытов с количественными и качественными вариантами.
6. Планирование схем многофакторных полевых опытов.
7. Основные требования к наблюдениям и учётам в полевом опыте и общие принципы планирования.
8. Основные требования к выборкам?
9. Сроки и частота проведения наблюдений и учётов.
10. Повторность при отборе проб с опытных делянок.
11. Требования к полевым работам на опытном участке.
12. Уборка и учёт урожая. Значение правильного учёта урожая.
13. Методы учёта урожая. Особенности учёта урожая отдельных культур (зерновых, картофеля, корнеплодов и кормовых культур).
14. Опыты с овощными культурами открытого грунта.
15. Опыты с овощными культурами защищённого грунта.
16. Особенности методики и техники постановки полевых опытов в условиях производства.
17. Первичные документы по полевому опыту, их заполнение и правила ведения.
18. Основные документы отчётности по полевому опыту.

Литература:

1. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта / Б.А. Доспехов - М.: ИД Альянс, 2011.– 352с.
2. Основы научных исследований в агрономии / В.Ф. Моисейченко, М.Ф. Трифонова, А.Х. Заверюха.- М.: Колос, 1996.- 336 с.

Вопросы к зачёту по дисциплине

1. Основные методы научной агрономии.
2. Требования к полевому опыту. Виды полевых опытов.
3. Выбор и подготовка земельного участка для опыта.
4. Число вариантов, повторность и повторения как основные элементы методики полевого опыта.
5. Площадь, направление и форма делянки. Классификация методов размещения вариантов.
6. Рендомизированные методы размещения вариантов.
7. Требования, предъявляемые к опытам.
8. Пути повышения точности и достоверности опытов.
9. Классификация методов размещения вариантов.
10. Выбор почв для основных опытных культур.
11. Рекогносцировочные посевы.
12. Изучение предшественников полевых культур.
13. Изучение использования удобрений.
14. Изучение обработки почвы.
15. Изучение сроков посева (посадки).
16. Изучение глубины заделки семенного материала.
17. Изучение способов посева (посадки).
18. Опыты с гербицидами.
19. Изучение химических средств защиты растений от болезней и вредителей.
20. Метеорологические наблюдения.

21. Фенологические наблюдения. Учёт биометрических показателей.
22. Задачи математической статистики. Совокупность и выборка.
23. Статистические характеристики количественной изменчивости.
24. Статистические характеристики качественной изменчивости.
25. Сущность дисперсионного анализа.
26. Корреляция, регрессия и ковариация.

Рекомендуемая литература

а) основная

1. Кирюшин Б.Д., Усманов Б.Д., Васильев И.П. Основы научных исследований в агрономии / Б.Д. Кирюшин, Б.Д. Усманов, И.П. Васильев. - М.: КолосС, 2009. - 398 с.
2. Глуховцев В.В., Кириченко В.Г., Зудилин С.Н. Практикум по основам научных исследований в агрономии / В.В. Глуховцев, В.Г. Кириченко, С.Н. Зудилин.- М.: Колос, 2006. - 240 с.
3. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта / Б.А. Доспехов - М.: ИД Альянс, 2011.– 352с.

б) дополнительная

1. Основы научных исследований в агрономии / В.Ф. Моисейченко, М.Ф. Трифонова, А.Х. Заверюха.- М.: Колос, 1996.- 336 с.
2. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта / Б.А. Доспехов. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.

Значения критерия Стьюдента (t) на 5, 1 и 0,1%-ном уровне значимости

Число степеней свободы	Уровень значимости			Число степеней свободы	Уровень значимости		
	0,05	0,01	0,001		0,05	0,01	0,001
1	12,71	63,66	-	18	2,10	2,88	3,92
2	4,30	9,93	31,60	19	2,09	2,86	3,88
3	3,18	5,84	12,94	20	2,09	2,85	3,85
4	2,78	4,60	8,61	21	2,08	2,83	3,82
5	2,57	4,03	6,86	22	2,07	2,82	3,79
6	2,45	3,71	5,96	23	2,07	2,81	3,77
7	2,37	3,50	5,41	24	2,06	2,80	3,75
8	2,31	3,36	5,04	25	2,06	2,79	3,73
9	2,26	3,25	4,78	26	2,06	2,78	3,71
10	2,23	3,17	4,59	27	2,05	2,77	3,69
11	2,20	3,11	4,44	28	2,05	2,76	3,67
12	2,18	3,06	4,32	29	2,05	2,76	3,66
13	2,16	3,01	4,22	30	2,04	2,75	3,65
14	2,15	2,98	4,14	50	2,01	2,68	3,50
15	2,13	2,95	4,07	100	1,98	2,63	3,39
16	2,12	2,92	4,02	~	1,96	2,58	3,29
17	2,11	2,90	3,97				

Значения критерия F на 5%-ном уровне значимости (вероятность 95%)

Степень свободы для меньшей дисперсии (знаменателя)	Степень свободы для большей дисперсии (числителя)													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	24	50	100
1	161	200	216	225	230	234	237	239	241	242	244	249	452	253
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	19,47	19,49
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	8,58	8,56
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	5,70	5,66
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	4,44	4,40
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	3,75	3,71
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	3,32	3,28
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	3,03	2,98
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	2,80	2,76
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	2,64	2,59
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	2,50	2,45
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	2,40	2,35
13	4,64	3,80	3,41	3,18	3,02	2,92	2,84	2,77	2,72	2,67	2,60	2,42	2,32	2,26

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	2,24	2,19
15	4,54	3,67	3,29	3,06	2,90	2,79	2,70	2,64	2,59	2,55	2,48	2,29	2,18	2,12
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	2,13	2,07
17	4,45	3,59	3,20	2,96	2,81	2,69	2,62	2,55	2,50	2,45	2,38	2,19	2,08	2,02
18	4,41	3,55	3,18	2,93	2,77	2,66	2,58	2,51	2,46	2,41	2,34	2,15	2,04	1,98
19	4,38	3,52	3,13	2,90	2,74	2,63	2,55	2,48	2,43	2,38	2,31	2,11	2,00	1,94
20	4,35	3,49	3,10	2,87	2,71	2,60	2,52	2,45	2,40	2,35	2,28	2,08	1,96	1,90
21	4,32	3,47	3,07	2,84	2,68	2,57	2,49	2,42	2,37	2,32	2,25	2,05	1,93	1,87
22	4,30	3,44	3,05	2,82	2,66	2,55	2,47	2,40	2,35	2,30	2,23	2,03	1,91	1,84
23	4,28	3,42	3,03	2,80	2,64	2,53	2,45	2,38	2,32	2,28	2,20	2,00	1,88	1,82
24	4,26	3,40	3,01	2,78	2,62	2,51	2,43	2,36	2,30	2,26	2,18	1,98	1,86	1,80
25	4,24	3,38	2,99	2,76	2,60	2,49	2,41	2,34	2,25	2,24	2,16	1,96	1,84	1,77
26	4,22	3,37	2,98	2,74	2,59	2,47	2,39	2,32	2,25	2,22	2,15	1,95	1,82	1,76
28	4,20	3,34	2,95	2,71	2,56	2,44	2,36	2,29	2,24	2,19	2,12	1,91	1,78	1,72
30	4,17	3,32	2,92	2,69	2,53	2,42	2,34	2,27	2,21	2,12	2,09	1,89	1,76	1,69
40	4,08	3,23	2,84	2,61	2,45	2,34	2,25	2,18	2,12	2,07	2,00	1,79	1,66	1,59
50	4,03	3,18	2,79	2,56	2,40	2,29	2,20	2,13	2,07	2,02	1,95	1,74	1,60	1,52
100	3,94	3,09	2,70	2,46	2,30	2,19	2,10	2,03	1,97	1,92	1,85	1,63	1,48	1,39

АСИНСКАЯ ЛЮБОВЬ АЛЕКСЕЕВНА

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

для проведения практических занятий и самостоятельной работы по дисциплине «Основы научных исследований в агрономии» для студентов очной и заочной формы обучения по специальности 110201.65 «Агрономия», 110305.65 «Технология производства и переработки с/х продукции» и направления подготовки 110400.62 «Агрономия», 110900. 62«Технология производства и переработки с/х продукции»

Художественный редактор Г. Ю. Гавриленко

Подписано в печать _____ 2013 г.

Формат 60 х 90 1/16. Бумага писчая. Печать офсетная.

Уч. – изд.л. 4,8. Тираж 60 экз. Заказ _____

ФГБОУ ВПО «Приморская государственная сельскохозяйственная академия»

692510, г. Уссурийск, пр. Блюхера, 44.

Участок оперативной полиграфии ФГБОУ ВПО «Приморская государственная сельскохозяйственная академия»

692500, г. Уссурийск, ул. Раздольная, 8.