

# Глава 15. ПОЛЕВЫЕ, ВЕГЕТАЦИОННЫЕ И ЛИЗИМЕТРИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ В АГРОХИМИИ

## 15.1. ПОЛЕВОЙ ОПЫТ

### 15.1.1. ЗНАЧЕНИЕ И ВИДЫ ПОЛЕВОГО ОПЫТА С УДОБРЕНИЯМИ

Исследования жизни растений в полевых условиях широко используются в растениеводстве, земледелии, селекции, агрохимии и других науках. *Полевой опыт с удобрениями проводится для определения влияния удобрений на урожайность культур, качество растительной продукции, а также плодородия почв.* Данные полевых опытов используются для обоснования государственной политики по развитию туковой промышленности, организации снабжения удобрениями сельского хозяйства, разработки рекомендаций по применению удобрений и повышению плодородия почвы.

Полевые опыты классифицируются в зависимости от цели проведения, места и продолжительности постановки, размера делянок, количества изучаемых факторов, охвата объектов. По месту проведения и цели полевые опыты подразделяются на *стационарные* и *производственные*.

**Стационарный опыт с удобрениями** — это полевой опыт с систематическим внесением удобрений на одном участке, в севообороте, в звене севооборота или при бесменной культуре. Стационарные опыты проводятся в основном на специально выделенных участках, опытных полях научно-исследовательских учреждений и вузов или на опытных участках в хозяйствах. Особенно ценны в научном и практическом плане *длительные стационарные опыты* — продолжающиеся более одной ротации севооборота. В них изучается воздействие длительного применения удобрений на урожайность культур и качество сельскохозяйственной продукции, плодородие почвы, анализируется влияние степени окультуренности почвы на эффективность удобрений, устанавливаются оптимальные параметры агрохимических свойств почвы.

**Производственный полевой опыт с удобрениями** проводится в хозяйствах для проверки рекомендаций и экономической оценки влияния удобрений на урожай и каче-

ство сельскохозяйственных культур. Производственные опыты обязательно предусматривают широкую внедренность нововведений в практику сельскохозяйственного производства.

**В краткосрочных опытах** с удобрениями изучается действие удобрений не менее трех лет в аналогичных почвенных условиях.

В зависимости от количества изучаемых приемов, факторов различают однофакторные (простые) и многофакторные (комплексные) полевые опыты. **Однофакторными** называют опыты, в которых изучается один простой количественный фактор в нескольких градациях (дозы удобрений), а также опыты, где сравниваются различные приемы (например, разбросной и ленточный способы внесения удобрений).

Опыты, в которых изучается действие и устанавливается характер и степень взаимодействия двух и более факторов, называют **многофакторными**.

**Мелкоделительный полевой опыт** проводится на деланках площадью от 1 до 10 м<sup>2</sup>. Главное в мелкоделительных опытах — исследование динамики почвенных процессов, изучение превращения удобрений в почве или реакции растений на используемые приемы. Если в таких опытах нельзя выдерживать традиционную агротехнику, то урожайность показывают на площадь деланки, не переводя в центнеры на 1 га.

Особое место занимают **микрополевые опыты**, или, как их еще называют, **вегетационно-полевые**. Микрополевые опыты с удобрениями проводятся в полевых условиях с использованием сосудов (кшиков) без дна или на микроделанках площадью до 1 м<sup>2</sup>. Большие сосуды или кшики без дна зарывают на специальной площадке в условиях, близких к полевым (температура, густота посевов и т.д.). Часто микрополевые опыты ставят со стабильными и радиоактивными изотопами.

**Массовые полевые опыты** с удобрениями проводятся одновременно по одинаковым схемам во многих регионах. Они широко практикуются в системе агрохимической службы.

**Географическая сеть опытов** — это полевые опыты с удобрениями, которые проводились в бывшем Советском Союзе в различных географических зонах по согласованной программе.

## 15.1.2. МЕТОДИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ПРОВЕДЕНИЮ ПОЛЕВОГО ОПЫТА

К основным требованиям закладки и проведения полевого опыта относятся принцип *единственного различия, типичности, достоверности, документирования*.

Сравнение результатов различных вариантов полевого опыта возможно при соблюдении **принципа единственности различия**, иначе — тождества всех условий, кроме изучаемого. Например, в полевом опыте, где изучаются дозы фосфорных удобрений, все варианты должны различаться только дозами фосфора, а остальные условия (обработка почвы, предшественник, сорт, посев, уход) быть одинаковыми. Однако соблюдение этого требования не должно ограничивать условия проведения опыта. Например, в длительном стационарном опыте принцип тождества всех условий чрезвычайно трудно выдерживать и необходимо регулярно (один раз за ротацию) корректировать комплекс изучаемых условий его проведения (сорт, приемы обработки почвы, севооборот и т.д.).

**Типичность, или репрезентативность**, — важнейшая характеристика полевого опыта. Она означает, что полевой опыт должен проводиться в типичных для региона почвенно-климатических, производственных и организационно-хозяйственных условиях (на самых распространенных почвах с типичными агрохимическими показателями, районированными сортами типичных для данной зоны культур).

Результаты полевого опыта должны быть достоверными. Принято различать **достоверность полевого опыта по существу, или агрономическую, и математическую**. При оценке достоверности опыта по существу анализируют обоснованность его схемы и программы, методики и техники закладки и проведения опыта. Об агрономической достоверности можно говорить, если схема и методика проведения опыта соответствуют целям его проведения, когда правильно выбраны объекты и условия эксперимента, отсутствуют нарушения в технике его проведения. Если полевой опыт методически и технически проведен без нарушений, результаты его математически обрабатываются, чтобы определить величину случайной ошибки и степень достоверности (существенности) результатов опыта.

Под **существенностью** результатов понимают статистическую доказанность полученной в опыте разницы уро-

жайности по сравниваемым вариантам. Математическая обработка результатов опыта — обязательный и очень важный элемент методики проведения опыта.

Данные каждого опыта должны быть полны, точно и объективно документироваться. Основной документ — журнал полевого опыта, куда в хронологическом порядке заносят характеристики опытного участка, агротехнические приемы, а также данные учета и измерений при проведении опыта.

### 15.1.3. ВЫБОР И ПОДГОТОВКА УЧАСТКА

Участок для постановки полевого опыта по рельефу, почвенным условиям (генезису, морфологии, свойствам почвы) должен быть однородным. Необходимо знать и историю поля. Однородность участка оценивают по данным агрохимического обследования почв. Опытный участок должен быть горизонтальным или с односторонним равномерным уклоном до  $0,025^\circ$  ( $2,5$  м на  $100$  м длины). В последнем случае деланки должны располагаться длинными сторонами вдоль склона. Стационарные опыты с овыми культурами нельзя закладывать на склонах с сильным потоком талых вод. Микрорельеф опытного участка должен быть ровным, без воронок, западин, бродов, бугров, свальных и развальных борозд и т.д.

Почва опытного участка подвергается агрохимическому анализу на содержание гумуса, подвижных форм питательных элементов и т.д. Она должна быть однородной по агрохимическим свойствам: содержание элементов питания должно находиться в пределах двух смежных групп, кислотность — одной группы.

До закладки опыта изучается история участка (севооборот, система обработки почвы, применение органических и минеральных, особенно фосфорных, удобрений, посевы многолетних бобовых трав и т.д.). На участке, предназначенном для проведения опыта, последние 3–4 года должна возделываться одна культура и применяться одна система обработки почвы. Приемы, оказывающие длительное влияние на плодородие почвы (известкование, углубление пахотного горизонта, дренаж), должны быть одинаковыми в течение 6–8 предшествующих опыту лет. На участках, где проводились земельные работы, были расположены дороги, стоянки скота, бурты органических удобрений, т.е. все, что оказывает длительное влияние на плодородие почвы, закладка опытов не допускается.

Опытный участок располагают не ближе чем в  $100$  м от жилых домов, животноводческих построек и водоемов,  $50$  м — от оврагов, леса и лесозащитных полос,  $25$  м — от отдельных деревьев,  $10$  м — от плотных изгородей и дорог, поскольку близость этих объектов сказывается на достоверности опыта.

Специальная подготовка участка для постановки стационарного опыта обычно включает выравнивание плодородия участка **уравнительными посевами**, а в отдельных случаях изучение пестроты почвенного плодородия путем рекомпозиционных (разведочных) посевов. Идея уравнительных посевов заключается в том, что более плодородные части участка дают большие урожаи и почва на них сильнее истощается, чем на менее плодородных. Уравнительными посевами в течение нескольких лет можно сгладить неоднородность плодородия почв земельного участка. Кроме того, с помощью уравнительных посевов можно создать общий фон для будущего опыта (одинаковый вид обработки, предшественник и т.д.). По визуальной оценке уравнительных посевов на поле можно выбрать для опыта наиболее выровненный участок.

**Рекомпозиционный посев** — это сплошной посев культуры на предназначенном для полевого опыта участке с целью выявления неоднородности его по плодородию путем дробного учета урожайности. При небольшой площади и значительной пестроте плодородия участка площадь деланки дробного учета равна  $10$  м<sup>2</sup>, на крупных и более однородных участках площадь дробного учета может быть больше, но в пределах площади деланок будущего опыта. Результаты рекомпозиционного посева с дробным учетом урожаев математически обрабатывают с использованием методов вариационной статистики. По полученным данным строят кривую нормального распределения вероятностей (кривую Гаусса) и определяют коэффициент вариации. Изменчивость вариационного ряда принято считать незначительной, если коэффициент вариации менее  $10\%$ , средней — при коэффициенте от  $10$  до  $20\%$  и значительной, если коэффициент вариации больше  $20\%$ . По коэффициенту вариации можно судить о пригодности или непригодности участка для закладки опыта. Однако так как рекомпозиционный посев с дробным учетом урожая сопряжен со значительными материальными затратами, его используют лишь в исключительных случаях: если известна история участка или при постановке опытов на

участках, где уже проводились опыты, после "загущания" последствий изучавшихся в них приемов.

#### 15.1.4. ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕНИЯ ПОЛЕВОГО ОПЫТА

Под методикой полевого опыта понимают совокупность составляющих ее элементов: число вариантов, площадь деланок, их форма, продолжительность опыта, повторность, схема размещения повторений деланок и вариантов на площади, способ учета урожая и организация опыта во времени.

**Число вариантов** в схеме зависит от темы и цели опыта. Чем больше вариантов, тем большая площадь нужна для опыта, а следовательно, тем больше вероятность неоднородности почвенного плодородия, а значит, и увеличения ошибки опыта. Поэтому схемой опыта должно предусматриваться оптимальное число вариантов, обычно не больше 12-15. Опыт с большим числом вариантов требуют специальных, более сложных методов постановки.

**Размер деланок** зависит от цели опыта, условий его проведения и культуры. В стационарных опытах деланки обычно больше, чем в краткосрочных, чтобы при необходимости можно было разделить их на две-три части и ввести новые варианты.

Каких-либо нормативов для определения размеров деланок нет, величина их устанавливается для каждого конкретного опыта. Опыт с культурами сплошного сева обычно закладывают на деланках площадью 50-100 м<sup>2</sup>, соевым — 25-50 м<sup>2</sup>, с пропашными культурами — 100-200 м<sup>2</sup>. В стационарных опытах деланки больше — 200-300 м<sup>2</sup>. Только при проведении полевых опытов в системе государственной агрохимической службы размер деланок регламентируется: для зерновых и зернобобовых культур обща площадь деланки — 120-200 м<sup>2</sup>, пропашных культур — 100-150 м<sup>2</sup>.

Различают **общую (посевную)** и **учетную площади деланки** (рис. 15.1). Площадь деланки, включающая защитные полосы, называется общей (посевной). На общую площадь деланки рассчитывают и вносят удобрения, планируют работы по обработке, севу и уходу за посевами. Площадь, с которой учитывается урожай, называют учетной. Она меньше общей площади деланки на площадь защитных полос, которые обычно убираются раньше и в учете урожайности не участвуют.

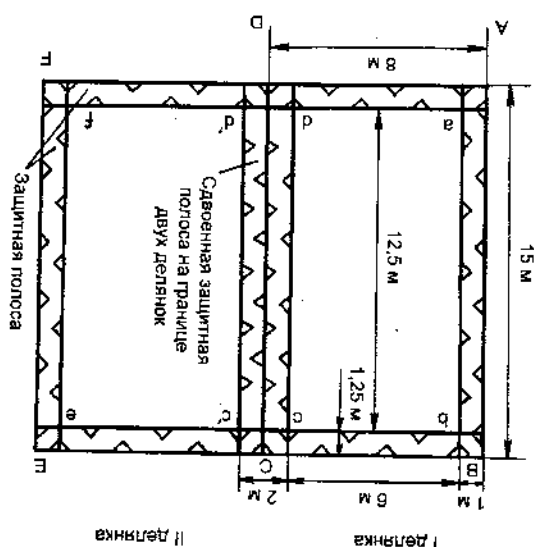


Рис. 15.1. Общая и учетная площадь деланки: ABCD и DCEF — общая площадь деланки (120 м<sup>2</sup>); abcd и d'c'e'f — учетная площадь (75 м<sup>2</sup>).

Опытные деланки должны иметь боковые и торцевые (концевые) **защитные полосы**. Боковые (вдоль длинной стороны деланки) выделяют, чтобы исключить влияние соседних деланок (перенос почвы при обработке, удобрений при внесении и др.), торцевые — чтобы предохранить учетную площадь деланки от случайных влияний. В опытах с зерновыми и зернобобовыми культурами, льном, коноплей, однолетними и многолетними травами ширина защитных полос не менее 0,5-1 м, с пропашными и овощными культурами в зависимости от ширины междурядий — 0,7-2 м, двоянная защитная полоса между опытными деланками — соответственно 1-2 и 1,4-4 м.

Кроме защитной полосы деланки выделяют защитную полосу вокруг всего опытного участка (5-10 м), которая не входит в площадь деланок. Для развота деланки выделяют защитные полосы шириной не менее 5 м.

Наиболее удобна прямоугольная **форма деланки** с отношением ширины к длине 1:5-10 — так полнее охватывается неурода почвенного плодородия, а значит, достигается большая достоверность опыта. Вытянутые деланки (1:15-20) предпочтительнее, если каждую деланку обраба-

тывают и засевают отдельно (при изучении способов внесения удобрений). Особенно удобны деланки вытянутой формы, если плодородие или свойства почвы изменяются в определенном направлении. Недостатком "вытянутых" деланок является большой периметр — это увеличивает площадь защитных полос и снижает точность опыта. Вытянутая форма используется при площади деланок не менее 50 м<sup>2</sup>. При меньших размерах деланки (10–20 м<sup>2</sup>) удобнее квадратная форма. Повышение точности опыта и снижение коэффициента вариации в этом случае достигается увеличением повторности.

Когда агротехнические работы выполняются на каждой деланке отдельно, а также в опытах с пропашными культурами ширина деланки должна быть кратной ширине захвата сельскохозяйственных машин (числу рядков для пропашной культуры).

Достоверность опыта во многом зависит от его повторности во времени и на территории. *Территориальная повторность* позволяет нивелировать влияние пестроты почвенного плодородия на его результаты. Чем больше повторность, тем меньше ошибка опыта. В практике опытного дела чаще используется четырехкратная повторность, шестидесятикратную повторность применяют в мелкоделаночных опытах и на неразрывных по плодородию земельных участках. Так как результаты полевых опытов зависят от погодных условий, их *повторяют во времени*. В зависимости от темы исследований опыты могут быть краткосрочными (не менее 3 лет) и длительными (более одной ротации севооборота).

Варианты опытов обычно компонуют по повторениям. **Повторение** — часть площади опытного участка, включающая все варианты схемы опыта. Тем самым повторение можно рассматривать как миниатюрный опыт, позволяющий сравнивать входящие в него варианты. Такое расположение вариантов называют *организованными повторениями*. В практике опытного дела оно наиболее распространено.

Варианты могут размещаться на земельном участке случайно, без территориального объединения в повторения. Такое размещение называют *неорганизованными повторениями, или полевой рандомизацией*. Такое размещение можно использовать только при проведении небольших опытов на выровненных по плодородию почвы земельных участках.

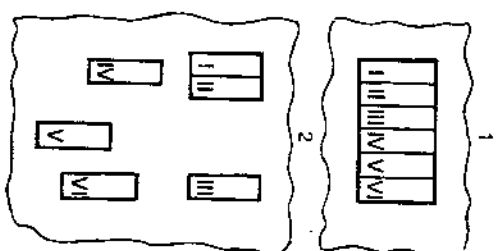


Рис. 15.2. Сплошное I и разбросанное II расположение шести повторений в опыте.

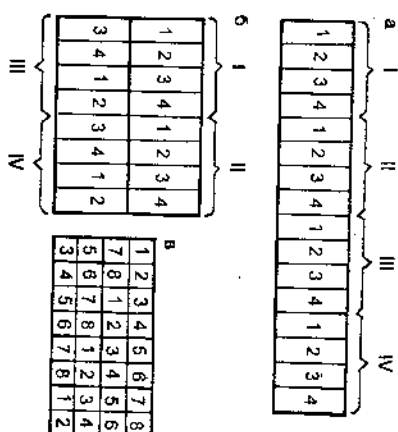


Рис. 15.3. Систематическое расположение вариантов и повторений в опыте: а — однократное последовательное; б — двухкратное; в — многократное ступенчатое; I–8 — номера вариантов, I–IV — повторения опытов.

Оптимальная форма территории, отведенной для опыта, — близкая к квадрату, так как при любом расположении деланок расстояние между вариантами в этом случае наименьшее.

В полевых опытах с удобрениями размещение повторений может быть *сплошным* и *разбросанным*. При сплошном размещении повторения соседствуют друг с другом, при разбросанном они располагаются по одному или по несколько в различных частях поля и опытный участок не имеет общей границы (рис. 15.2). Второй способ чаще вытянутый, к нему прибегают, если нет земельного участка, на котором можно было бы разместить все повторения.

Повторения можно располагать в *одном, двух и более* вариантах (рис. 15.3). В один ряд они идут, если невелико число повторений, а также при изучении способов внесения удобрений, при равномерном изменении плодородия участка (деланки располагают в направлении изменения свойств почвы). Двухрядное (двухъярусное) и многорядное (ярусное) расположение повторений используют при большом числе вариантов и деланок в опыте и сравнительно небольшом размере деланок.

4	2	1	3	1	4	3	2	4	3	1	2	3	1	2	4	2	3	4	1	4	2	3	1
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

3	2	1	4	1	3	4	2	4	1	3	2	3	1	2	4	2	3	4	1
2	1	4	3	4	2	1	3	1	2	4	3	4	3	1	2	3	2	1	4

Рис. 15.4. Размещение вариантов методом случайных блоков (1-4 - варианты опытов, I-VI - повторности).

**Расположение деленок (вариантов) внутри каждого повторения может быть систематическим и случайным (рэндомизированным).** В первом случае варианты внутри повторений размещают в установленном экспериментальном порядке. При размещении повторений в один ряд чаще варианты располагают последовательно (рис. 15.3, а), а при двух- и многорядном расположении повторений варианты располагают либо ступенчато, либо в шахматном порядке или другим способом. Однако в любом случае нельзя размещать по соседству одинаковые варианты.

Случайно, или рэндомизированно, варианты в повторении располагают по жребью или по таблицам случайных чисел. Многие исследователи считают, что рэндомизированное размещение дает более объективную информацию, так как все методы вариационного анализа основаны на принципе случайного отбора. Из случайных способов размещения вариантов наиболее распространен *метод случайных блоков или повторений* (рис. 15.4) и *метод латинского квадрата* (рис. 15.5). При размещении вариантов случайными блоками число блоков определяется количеством опыта, а в каждом блоке варианты располагаются по жребью.

Рис. 15.5. Размещение вариантов методом латинского квадрата: а - систематическое; б - рэндомизированное.

При методе латинского

квадрата число повторений ( $n$ ) равно числу вариантов ( $l$ ), а общее число деленок - квадрату числа повторений ( $n^2$ ). Этот метод используют при числе вариантов от 4 до 8. Земельный участок квадратной или прямоугольной формы разбивают по горизонтали и вертикали на столько рядов и столбцов, сколько вариантов в опыте. Расположение деленок методом латинского квадрата в значительной мере устраняет влияние постепенного изменения плодородия почвы опытного участка по двум перпендикулярным направлениям.

### 15.1.5. ПОСТРОЕНИЕ СХЕМ ПОЛЕВЫХ ОПЫТОВ С УДОБРЕНИЯМИ

Выбору направления исследования по какой-либо теме предшествует изучение отечественной и зарубежной литературы по данному вопросу (монографий, обзоров, журнальных статей). Это помогает создать рабочую гипотезу, разработать программу и методику исследований.

**Рабочая гипотеза** - это научное предположение о развитии изучаемого явления. Иными словами, экспериментатор должен вынасле смоделировать весь ход эксперимента и после этого приступить к разработке программы исследований.

**Программа исследований** включает схему опыта, условия и методику его проведения. В процессе экспериментатора программа исследований может дополняться или частично меняться. Самый сложный этап разработки программы исследований - составление схемы опыта. Методически очень важно при разработке схемы определить контрольные

A	B	C	D	E	F
B	C	D	E	F	A
C	D	E	F	A	B
D	E	F	A	B	C
E	F	A	B	C	D
F	A	B	C	D	E

C	E	B	A	D	F
B	F	E	D	A	C
A	D	F	C	B	E
F	B	D	E	C	A
D	A	C	F	E	B
E	C	A	B	F	D

варианты, чтобы правильно оценить реакцию культуры на удобрения. В опытах с удобрениями в качестве контрольного обычно используется вариант без удобрений; если изучаются новые формы удобрений, контролем может быть вариант с уже изученной формой удобрений; в опытах по изучению способов внесения удобрений — вариант с обычным способом заделки удобрений.

В качестве примерной схемы для изучения видов удобрений может служить схема Жоржа Вилля: 1) 0; 2) N; 3) P; 4) K; 5) NP; 6) NK; 7) PK; 8) NPK. Недостатком этой схемы является ее громоздкость. К тому же во многих случаях применяются несколько видов удобрений. Лучше такая схема: 1) 0; 2) NP; 3) NK; 4) PK; 5) NPK.

Опыты, в которых сравниваются формы удобрений, требуют высокой точности и должны проводиться на строго однородном участке при оптимальном фоне, так как различия в действии форм одного вида удобрений обычно невелики. В опытах с формами удобрений контрольными могут быть вариант без удобрений или фон, а при изучении новых форм удобрений также фон + стандартное удобрение. Например, сравнение форм фосфорных удобрений проводят по такой схеме: 1) без удобрений; 2) NK-фон; 3) NK + суперфосфат двойной 0,5 дозы; 4) NK + суперфосфат двойной полная доза; 5) NK + суперфосфат полная доза; 6) NK + полифосфат кальция полная доза; 7) NK + фосфат полная доза. При изучении форм фосфорных удобрений, не содержащих водорастворимого фосфора, стандартная форма вносится в полной и половинной дозе.

Изучение форм азотных удобрений можно проводить по такой схеме: 1) без удобрений; 2) PK-фон; 3) PK + мочевины; 4) PK + KAC; 5) PK + мочевины капсулированная; 6) PK + мочевины с покрытием фосфолипсом; 7) мочевины медленнодействующая.

В опытах со сложными удобрениями обычно применяется следующая схема: 1) контроль (без удобрений); 2) сложные удобрения; 3) эквивалентная смесь однокомпонентных удобрений; 4) смесь однокомпонентных удобрений в рекомендуемых дозах; 5) сложное + однокомпонентные для получения рекомендуемой дозы.

При изучении доз и соотношений минеральных удобрений, вносимых под разные культуры, необходимо, чтобы разрыв между дозами был достаточно велик, а прибавки в разных вариантах различались на величину, большую, чем ошибка опыта. В таких опытах достаточно четырех-пяти

доз. Например, опыт с возрастающими дозами азотных удобрений можно провести по схеме: 1) 0; 2) PK (фон); 3) PK + N, I доза; 4) PK + N, II доза; 5) PK + N, III доза; 6) PK + N, IV доза.

Так как действие любых удобрений и доз зависит от уровня снабжения другими элементами питания, важно определить наиболее благоприятное их соотношение. Например, схема такого опыта с яровыми зерновыми может включать следующие варианты: 1) контроль (без удобрений); 2)  $P^{60}K^{60}$ ; 3)  $N^{60}P^{60}$ ; 4)  $N^{60}P^{60}K^{60}$ ; 5)  $N^{90}P^{60}K^{60}$ ; 6)  $N^{90}P^{60}K^{60}$ ; 7)  $N^{120}P^{60}K^{60}$ ; 8)  $N^{90}P^{60}K^{60}$ ; 9)  $N^{90}P^{90}K^{60}$ ; 10)  $N^{60}P^{90}K^{90}$ ; 11)  $N^{120}P^{90}K^{90}$ .

При изучении способов внесения удобрений используются два контрольных варианта: без удобрений и с удобрением, внесенным стандартным способом.

Эффективность ленточного внесения возрастающих доз минеральных удобрений под зерновые и картофель можно изучать по такой схеме: 1) контроль (без удобрений); 2) NPK, 0,5 дозы вразброс; 3) NPK, 0,5 дозы лентами; 4) NPK, 1 доза вразброс; 5) NPK, 1 доза лентами; 6) NPK, 2 дозы вразброс; 7) NPK, 2 дозы лентами.

В многофакторных опытах одновременно изучаются несколько видов удобрений в различных дозах, сорта, способы обработки почвы, средства защиты растений и т.д. Они проводятся по факториальным и комбинированным схемам. *Факториальная схема* должна предусматривать испытание всех возможных сочетаний изучаемых факторов и доз. Эксперимент, в котором каждая доза одного из факторов сочетается со всеми дозами остальных, называется *полным факториальным экспериментом* (ПФЭ). При совместном действии (взаимодействии) изучаемых факторов возникают *дополнительные эффекты*: дополнительная прибавка (или снижение) урожайности. *Взаимодействие факторов* считается *положительным*, если прибавка больше арифметической суммы прибавок при раздельном действии факторов, и *отрицательным*, если она меньше.

Опыт по восьмигранной схеме (0, N, P, K, NP, NK, PK, NPK) является многофакторным, поскольку в нем определяются эффекты от N, P, K по отдельности при взаимодействии двух (NP, NK, PK) и трех (NPK) факторов. В опыте каждый из факторов (N, P, K) имеет две дозы — 0 и 1. Число вариантов определяет произведение  $2 \times 2 \times 2 = 8$ , где число множителей — это число факторов, а каждый из множителей указывает на число вариантов с данным фактором.



Если варианты доз увеличить до четырех (0, 1, 2, 3), то число вариантов опыта возрастает до 64 ( $4 \times 4 \times 4$ ), при пяти дозах их будет 125 ( $5 \times 5 \times 5$ ). Поставить такие промозкие опыты просто невозможно, необходимо использовать *неполные факториальные схемы*, которые содержат меньше вариантов, но равномерно охватывают всю область взятых для изучения возрастающих доз.

Планирование факториальных схем облегчается при введении кодирования вариантов. Так, в опытах с удобрениями вместо символов N, P, K записываются варианты доз этих элементов. Например, вариант с дозами N<sub>2</sub>, P<sub>1</sub>, K<sub>4</sub> кодируется числом 214, а вариант N<sub>1</sub>, P<sub>3</sub>, K<sub>2</sub> — 132 и т.д.

Даже при сокращенных факториальных схемах из 36, 45 вариантов опыты занимают большую территорию, что значительно увеличивает ошибку эксперимента. Поэтому используются специальные приемы. Один из них — блокировка вариантов внутри повторений. При этом сравнимые варианты объединяются в территориальные компактные блоки, входящие в повторения. В этом случае точность опыта определяется варьированием почвенного плодородия не по всему повторению, а только внутри части повторения — внутри блока.

Факториальные опыты с большим числом вариантов доз проводятся в двух-трех повторениях.

Рассмотрим схему, предложенную ВИА. Схема опыта состоит из трех факторов (N, P, K) в трех вариантах доз каждого фактора:  $3 \times 3 \times 3 = 27$ . 27 вариантов опыта размещены тремя блоками:

I блок: 102 012 210 111 120 201 000 222 221;  
II блок: 101 002 122 110 011 020 212 221 200;  
III блок: 220 211 010 121 202 112 100 001 022.

Блоки включают разный набор вариантов, но обязательно из трех факторов и их парных взаимодействий. Сумма доз каждого фактора во всех блоках также одинакова. Теоретически средние урожаи по каждому блоку должны быть близки. Однако в полевых условиях этого не происходит из-за различия плодородия почвы блоков. Блокировка вариантов внутри повторений позволяет контролировать различия и исключать их из общего варьирования путем корректировки урожайности. Блокировка в зависимости от схемы может выполняться в одном или двух направлениях. Когда опытное поле имеет квадратную форму, блоки создают в двух направлениях — го-

I блок	331-313-022-111-220-000-202-132
II блок	113-131-131-333-020-222-002-200-4

☐ Первый сорт  
(или система  
обработки почвы)

☒ Второй сорт  
(или система  
обработки почвы)

Рис. 15.6. Размещение вариантов в двух равноценных блоках опыта ( $4 \times 4 \times 4$ ).

ризонгальным (блоки-строки) и вертикальным (блоки-столбцы).

Такие факторы, как сорт, способы обработки почвы и применения химических средств, могут быть изучены в четырехфакторном опыте (рис. 15.6). В схему входят три фактора (например, удобрение, гербицид, фунгицид). Для введения четвертого фактора (второго сорта или способа обработки почвы) оба блока расчленяются вдоль на две полосы.

#### 15.1.6. ЗАКЛАДКА И ПРОВЕДЕНИЕ ПОЛЕВОГО ОПЫТА

Имея программу опыта и подготовленный участок, составляют план опыта с границами повторений и вариантов (деленок) (рис. 15.7). Две смежные деленки со двойной защитной полосой вычерчивают в ботве крупном масштабе с обозначением боковых и концевых защитных полос.

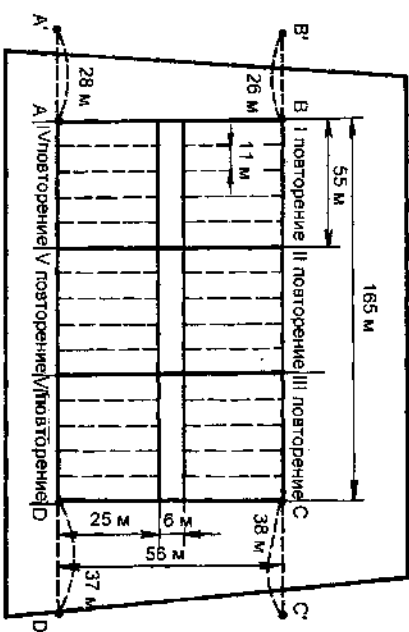


Рис. 15.7. План полевого опыта.



(см. рис. 15.1). По плану делают разбивку деланок, повторений, защитных полос и фиксируют границы участка. Для работы на местности необходимы экер, тонометр или теодолит для построения прямых углов, три-четыре вешки высотой 2-2,5 м для провешивания прямых линий, деревянные колышки 35-40 см (по 4 колышка на каждую деланку или, как минимум, на 10-15 больше удвоенного числа деланок), реперы или большие колья для фиксирования границ участка и привязки опыта, шнур, топор и молоток для забивки колыбев.

Разбивку опытного участка начинают с общего контура опыта. На одной из длинных сторон отмечают вешками прямую линию A'D' (рис. 15.7), натягивая шнур. Затем, отступив от границы поля не менее 5-10 м, мерной лентой или рулеткой отмеряют расстояние до точек A и D и ставят в них колышки. Из этих точек угломерными приборами отбивают прямые углы относительно линии A'D'. При правильной отбивке углов расстояние AD=BC и AB=CD. Допустимое отклонение - 10 см на 100 м, если оно не соблюдено, работу повторяют.

Нанеся основной контур участка, делают разбивку повторений и отдельных деланок, дорожек и защитных полос. Колышки на границах деланок нужно вбивать возле отметок все время с одной стороны шнура. На стороне колышка, обращенной внутрь деланки, пишут ее номер (лучше черным лаком).

Так как рабочие колышки при обработке почвы убирают, а без фиксации границ невозможно восстановить деланки, по окончании разбивки опытного участка его необходимо надежно закрепить. Для этого две основные линии AD и BC (можно и все четыре) продолжают за пределы обрабатываемой площади, чтобы не мешать проведению работ на опытном участке. На пересечении линий (точки A', B', C', D' - рис. 15.7) устанавливают реперы - трубы, бетонные или железобетонные столбы и т.д. Расстояние от реперов до угловых колыбев крайних деланок тщательно измеряют и заносят в журнал. Места установки реперов отмечают на плане.

В стационарных опытах реперами фиксируют не только границы опытного участка, но и отдельных повторений, что облегчает ежегодную разбивку опытного участка.

Очень удобна подземная разбивка - она не мешает проезду машин и орудий. В стационарных опытах ее используют как для повторений, так и для деланок. Для подзем-

ной разбивки буром делают отверстия, в которые вставляют металлические, каменные или пластмассовые столбики длиной 30-40 см, так чтобы до поверхности они не доходили на 8-10 см. Чтобы их легко можно было отыскать, над ними насыпают кучки битого кирпича, известь или песок.

От правильной подготовки и внесения удобрений зависит надежность исследований. Устранить ошибки, допущенные при расчете и внесении удобрений, а часто и обна-ружить их, бывает невозможно. Содержание питательных элементов в минеральных и органических удобрениях опре-делается по стандартизированной методике на соответ-ствующие удобрения.

Количество удобрений для каждой деланки (X, кг - физическая масса) рассчитывают по формуле

$$X = \frac{100AC}{10000B}, \text{ или } \frac{AC}{100B},$$

где A - доза элемента питания, кг/га; B - содержание эле-мента питания в удобрениях, %; C - площадь деланки, м<sup>2</sup>; 10 000 - площадь 1 га, м<sup>2</sup>.

Удобрения взвешивают в лаборатории (сарее) либо в поле перед внесением. Погрешность взвешивания - не бо-лее 0,001% (навески до 1 кг взвешивают с точностью до 1 г и т.д.). Перед взвешиванием удобрения тщательно пере-мешивают.

Рассеивают удобрения в безветренную погоду (чтобы они не переносились ветром с одной деланки на другую), вруч-ную или туковыми и комбинированными сеялками. Глав-ное требование - равномерное распределение удобрений по поверхности. При использовании туковых сеялок их тща-тельно проверяют и устанавливают на норму высева. Что-бы хорошо были заметны границы деланки, их обгиптывают шнуром. Вручную удобрения вносят за два прохода по цен-тру вдоль деланки: вначале рассеивают по одной половине, а возвращаясь - по другой. После двух проходов должны остаться удобрения, которые равномерно распределяют по деланке. Если удобрений не хватило на какую-то часть де-ланки, последняя считается испорченной.

Большие деланки перед внесением делят на несколь-ко равных частей (карт), каждая часть удобряется отдель-но, соответствующим количеством удобрений.

Органические удобрения предварительно один-два раза перелопачивают, добываясь большей однородности. Дозы рассчитывают в тоннах на 1 га или, как и минеральных

удобрений, по содержанию питательных элементов. Доzy бесподстилочного навоза определяются по азоту. Во избежание потерь аммиачного азота органические удобрения сразу заделывают в почву.

Все работы по обработке почвы, севу (посадке), уходу за растениями должны выполняться в оптимальные сроки, рекомендованные зональными научно-исследовательскими учреждениями, и в течение одного дня. Нельзя допускать отклонений при обработке почвы на опытном участке. Вспахивка и другие приемы выполняются перпендикулярно длинным сторонам, чтобы случайные факторы одинаково влияли на все варианты опыта.

Для сева (посадки) используется высококачественный посевной материал из одной партии. Все повторения опыта засеваются в один день. Число растений пропашных культур на всех деланках должно быть строго одинаковым. Это учитывается при определении размеров деланок.

Уход за растениями на опытном поле такой же, как на обычных посевах, но все работы выполняются одновременно на всех повторениях и более тщательно. К специальным работам по уходу относятся разбивка и почистка дорожек, поддержание их и запашочных участков в чистоте, отбивка защитных полос, расстановка этикеток с обозначением опыта и вариантов.

В опытах с зерновыми культурами, льном, коноплей, однолетними травами через 5-6 дней после массового появления всходов выделяют учетную площадь деланок. Для этого по шнуру, натянутому по границе между учетной площадью и защитной полосой деланок, пробивают полосу шириной 15-20 см (за счет защитных полос), срезая растения или удаляя их как-нибудь иначе. Это удобнее, чем отбивка защитных полос перед уборкой. В опытах с однолетними культурами учетные площади деланок выделяют за 2-3 дня до уборки.

Весь вегетационный период на участке проводят наблюдения в соответствии с программой опыта. Как правило, регистрируются метеорологические условия, агрохимические и агрофизические свойства почвы, учитываются прирост зеленой массы и накопление сухого вещества, определяют высоту растений, интенсивность роста и разлития, рассчитывают запасы продуктивной влаги. В опытах с зерновыми культурами, однолетними и многолетними травами оценивают устойчивость растений к полеганию по пятибалльной шкале: "5" — полегших растений

нет; "4" — местами встречается полегание растений, стебли слегка наклонены; "3" — растения наклонены примерно на 45° по всей деланке, но механизированная уборка возможна; "2" — сильное полегание, затрудняющее механизированную уборку; "1" — сплошное полегание, исключаящее механизированную уборку урожая.

Образцы растений культур сплошного сева отбирают с квадратных площадок 0,25 м<sup>2</sup> или рядками. Длину ряда рассчитывают по формуле  $X \approx 10000 : 16n$ , где  $X$  — длина каждого из четырех рядков на пробной площади 0,25 м<sup>2</sup>,  $n$  — ширина междурядий, см. Пробы отбирают с четырех площадок, расположенных не менее чем в двух смежных повторениях.

Образцы картофеля, средних и поздних сортов капусты, подсолнечника, кукурузы составляют из 10, сахарной свеклы — из 20 растений, отбирая их по диагонали деланки.

Согласно исследованиям кафедры земледелия ТСХА, смешанный почвенный образец с деланки до 20 м<sup>2</sup> нужно составлять не менее чем из 5 проб, при площади от 20 до 100 м<sup>2</sup> — из 10-15 проб, при более 100 м<sup>2</sup> — не менее чем из 20 проб. В опытах агрохимической службы, где приняты деланки площадью 100-200 м<sup>2</sup>, смешанные образцы составляют из 30 индивидуальных проб, равномерно отбирая их со всей площади деланки.

За два-три дня до уборки, если этого не было сделано раньше, восстанавливают границы учетных деланок, тщательно осматривают каждую и при необходимости делают выкючки. **Выкючка** — это часть учетной площади деланки, исключенная из учета из-за повреждений, вследствие стихийных явлений природы (вымокши и т.п.), случайных повреждений (потравы скотом, грызунами, птицами и т.д.) или допущенных ошибок. В опытах с зерновыми и зернобобовыми культурами, льном, коноплей, однолетними и многолетними травами, сахарной свеклой и некоторыми овощными культурами (столовые корнеплоды, лук) выкючки делают при выпадении растений в рядках на отрезке 50 см и более, в опытах с картофелем, кукурузой, капустой, томатами и другими культурами ширококородного сева — при выпадении под ряд трех и более растений при рядковом посеве (посадке). В этих случаях в выкючки включают также соседние с выпавшими растениями: в опытах с пропашными культурами — по одному растению, в опытах с культурами сплошного сева — на полосе шириной 25-30 см. Если выкючки составляют более 50% площади

щадя учетной деланки, деланка бракуется. Из соображений удобства выключки лучше делать правильной формы: прямоугольной или квадратной.

Урожай можно учитывать **сплошным (прямым)** или **косвенным (по пробному снопу)** способом. Более точен сплошной учет урожая всех культур: урожай учетной площади каждой деланки собирают в мешки, помещают их этикетками, взвешивают и учитывают отдельно. Зерновые культуры чаще убирают малогабаритным комбайном. Ширина учетной деланки должна быть кратной захвату жатки комбайна. Чтобы зерно с разных деланок не смешивалось, после уборки каждой деланки комбайн останавливают и после 3-4 минут работы на холостом ходу снимают и навешивают мешки.

Для определения влажности, засоренности, а при необходимости химического состава и качества зерна в стандартную посуду или подстиленный мешок отбирают средний образец зерна — 1,5-2 кг, в мешки из ткани отбирается образец соломы — 0,3-0,5 кг. Урожай привозят к стандарту: для зерна зерновых культур влажность 14% и чистота 100%, влажность льнопродукции — 19, семян льна — 12, сена трав — 16%. Для клубней и корнеплодов, убранных в дождливую погоду, вводится поправка на загрязненность земель.

**При учете урожая по пробному снопу** в сушку и учетный обмолот поступает не весь урожай деланки, а средняя проба — пробный сноп. Каждая деланка, как и при сплошном учете, убирается полностью, а затем из растений, взятых в 15-20 точках, равномерно расположены на учетной площади, составляют два пробных снопа. На каждый из них должно приходиться 1-2% урожая деланки: снопы зерновых и зернобобовых культур, трав обычно весят 4-5 кг, льна — до 15 кг. Весь урожай деланки (включая пробные снопы) взвешивают, затем отдельно взвешивают пробный сноп с точностью до 5 г. Делением урожая всей деланки на массу пробного снопа находят коэффициент пересчета урожая деланки по пробному снопу.

Чаще пробными снопами пользуются в опытах со льном. Пробные снопы подсушивают, чешывают и обмолачивают и определяют выход соломы и семян. Затем вес соломы и семян умножают на коэффициент пересчета и получают урожай с учетной площади деланки. Данные учета урожая заносят в журнал полевого опыта (табл. 15.1) и проводят их первичную обработку.

15.1. Форма учета урожая по пробному снопу льна-долгунца

№ деланки	Взвешивание деланки, кг	Урожай деланки, кг	Объем деланки, м³	Сухая масса снопа при обмолоте, кг	Сухая масса урожая деланки, кг	Урожайность, ц/га
1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14
15	16	17	18	19	20	21
22	23	24	25	26	27	28
29	30	31	32	33	34	35
36	37	38	39	40	41	42
43	44	45	46	47	48	49
50	51	52	53	54	55	56
57	58	59	60	61	62	63
64	65	66	67	68	69	70
71	72	73	74	75	76	77
78	79	80	81	82	83	84
85	86	87	88	89	90	91
92	93	94	95	96	97	98
99	100	101	102	103	104	105

**При учете урожая по пробному снопу** так же, как и при сплошном учете, отбираются образцы как основной, так и побочной продукции для определения ее качества. Преимущество учета урожая по пробному снопу заключается в возможности в небольших помещениях учитывать урожай большого числа деланок, а также в меньших затратах на перевозку учитываемой продукции.

Ценность результатов опыта выше, если кроме влияния удобрений на урожайность изучается их действие на качество продукции. Основными показателями качества продукции зерновых и зернобобовых культур являются сухое вещество, содержание азота, фосфора и калия в зерне и побочной продукции, белка в зерне, масса 1000 зерен, а также содержание крахмала в пивоваренном ячмене, клейковины — в зерне озимой пшеницы и ржи и другие показатели; сахарной свеклы — сухое вещество, азот, фосфор, калий в корнях и побочной продукции, сахар в корнях, щелочная зола, потери сахара в мелассе; картофеля — сухое вещество, азот, фосфор, калий, крахмал, витамин С, нитраты, вкус, потери при хранении; прядильных культур — выход волокна и его номер, а в семенах — сухое вещество и жир.

По содержанию в основной и побочной продукции элементов питания можно рассчитать хозяйственный вынос каждого элемента питания по формуле

$$B = \frac{Y_0 C_0 (100 - W_0) + Y_n C_n (100 - W_n)}{100},$$

где  $B$  — вынос элемента питания, кг/га;  $Y_0$  и  $Y_n$  — урожайность основной и побочной продукции при стандартной влажности, ц/га;  $C_0$  и  $C_n$  — содержание элемента в основной и побочной продукции, % к абсолютно сухой массе;  $W_0$  и  $W_n$  — стандартная влажность основной и побочной продукции.

Данные хозяйственного выноса используются при определении коэффициентов усвоения питательных элементов из почвы и удобрений. Для определения выноса питательных элементов на единицу основной продукции с учетом побочной хозяйственный вынос делит на урожай основной продукции (кг на 1, 10 или 100 ц зерна, клубней, корней, волокна, зеленой массы).

Все данные опыта обрабатываются статистически, чтобы установить достоверность различий между средними результатами по вариантам опыта. По любому эксперименту составляется краткий отчет.

## 15.2. МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МИКРОПЛОЩАДОК (ПРЯМОГО УЧЕТА)

Метод исследований с использованием микроплощадок (прямого учета) предложен БелНИИПА для изучения связи урожайности и плодородия почвы в стационарных и краткосрочных опытах с удобрениями. Микроплощадки (от 1 до 10 м<sup>2</sup> для культур сплошного посева и от 4 до 20 м<sup>2</sup> для пропашных) выделяются на одной почвенной разновидности, как правило, в пределах одного поля с одинаковой агротехникой. Опыты на микроплощадках так же, как и полевые, проводятся несколько лет на фоне с оптимальными дозами удобрений. В регионах, где под изучаемую культуру удобрения обычно не вносятся, исследования проводятся на фоне без внесения удобрений и по оптимальной дозе. Для каждой изучаемой культуры на каждом фоне фиксируется 20–30 площадок. Для этого на план опыта (1:100) накладывается сетка с нумерацией углов и мето-

дом рендомизации определяется, в каких углах сетки закладываются микроплощадки.

После обработки полученных за несколько лет данных методом корреляционного анализа устанавливается связь урожайности и плодородия почвы (содержание гумуса, подвижных форм фосфора и калия и др.).

## 15.3. ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ОПЫТЫ С УДОБРЕНИЯМИ

Производственные опыты с удобрениями проводятся в хозяйствах для проверки рекомендаций научных учреждений и оценки их экономической эффективности и представляют собой завершающий этап эксперимента, который окончательно решает судьбу того или иного приема, формы удобрений. Для проведения производственных опытов подбирают типичные для региона хозяйства по разновидностям почв, их агрохимическим свойствам, специализации, технической оснащенности и технологии возделывания культур.

Схемы производственных опытов с удобрениями включают два-три варианта, они должны иметь, как минимум, трехкратную повторность. Приведем несколько схем *производственных опытов*. Испытание *оптимальных доз и соотношений минеральных удобрений*: 1) контроль; 2) рекомендуемые дозы и соотношение удобрений; 3) близкие к рекомендуемым дозы и соотношение удобрений.

Испытание *интенсивной технологии* возделывания сельскохозяйственных культур: 1) контроль — технология, принятая в хозяйстве; 2) рекомендуемая интенсивная технология; 3) технология с минимальными или сниженными дозами удобрений и минимальным насыщением пестицидами.

В производственных опытах с зерновыми культурами, кукурузой, травами площадь деланки — 1–2 га, картофелем, сахарной и кормовой свеклой, льном-долгунцом — 0,2–0,5 га, овощными культурами — 0,05–0,2 га. На мелкоконтурных почвах площадь деланок можно уменьшить в два раза. Лучше, если опытный участок и деланки прямоугольной формы, а ширина деланки кратна ширине рабочих органов машин — для зерновых это 8–16 м, пропашных — 5–10 м. Удобнее, если длина деланок совпадает с шириной или длиной поля.

Методика и техника проведения производственных опытов те же, что и полевых опытов с удобрениями. Программой опыта предусматриваются также фенологические, метеорологические и другие доступные наблюдения. Кроме агрономической определяют экономическую эффективность применения удобрений (себестоимость, чистый доход, рентабельность и другие показатели).

При экспериментальной оценке принципиально новых приемов использования удобрений размер деланки производственного опыта, а также методика и техника его проведения ничем не отличаются от используемых в научно-исследовательских учреждениях.

Для определения эффективности удобрений в условиях производства в качестве контроля оставляют три-четыре неудобренных полосы. Почва контрольных полос должна быть типичной для поля. Их размещают по направлению движения туктовых селенок и уборочных машин, отступив от края поля 20–30 м. Ширина контрольной полосы культур сплошного сева – 8–16 м, площадь – не больше 0,25 га, соответственно пропашных – 5–10 м и 0,1 га. Размеры должны учитывать ширину захвата уборочных машин (не менее двух проходов) и длину тона. Боковые стороны учетной площади провешиваются, а границы надежно фиксируются. Все приемы ухода за растениями на контрольных полосах и удобренном участке должны быть одинаковыми. За ростом и развитием растений ведутся наблюдения, данные заносятся в журнал.

Перед уборкой урожая восстанавливают границы контрольных полос. Отступив от них 10–15 м, выделают полосу на удобренном участке поля, они должны идти параллельно контрольным полосам. Количество и площади контрольных и удобренных полос должны быть строго одинаковыми, убирать их должны в один день. Урожай обычно учитывается сплошным методом, а иногда для льна и зерновых – способом пробного снопа. Урожайность переводят в центнеры с 1 га и приводят к стандарту (см. выше), для чего отбирают пробы.

Сопоставляя урожайность, стоимость продукции и затраты на удобренных и неудобренных полосах, рассчитывают агрономическую и экономическую эффективность удобрений.

## 15.4. ВЕГЕТАЦИОННЫЕ ОПЫТЫ

### 15.4.1. ЗНАЧЕНИЕ И ОБОРУДОВАНИЕ ВЕГЕТАЦИОННЫХ ОПЫТОВ

Вегетационный метод широко используется в растениеводстве, физиологии растений, селекции, земледелии, почвоведении, агрохимии при изучении самых разных проблем. Вегетационные опыты с удобрениями проводятся в искусственных условиях (в сосудах) с целью изучения питания растений и обмена веществ в них.

Первый вегетационный опыт был проведен в 1629 г. голландским естествоиспытателем Ван Гельмонтом. Основоположением вегетационного опыта в области агрохимии является Ж. Буссено (1837 г.). Первое использование вегетационного метода в России, где в 1896 г. впервые был построен вегетационный домик, связано с именем К. А. Тимирязева.

Вегетационный метод позволяет отделить и выявить роль отдельных факторов в жизни растений при регулируемых условиях влажности, освещенности, температуры и питательного режима. С помощью вегетационного метода в агрохимии были определены необходимые для жизни растений элементы, проводилось сравнение аммиачного и нитратного питания растений, различных форм фосфатов, решены другие кардинальные проблемы. Вегетационный метод незаменим при изучении физиологической роли микроэлементов, новых форм удобрений, особенностей питания растений, оптимальных условий их питания и т.п. В последнее время в вегетационных опытах широко применяют радиоактивные и стабильные изотопы.

Вместе с тем такие проблемы агрохимии, как использование удобрений в севообороте, сочетание их с системой обработки почвы, ухода за растениями и т.д., можно исследовать только в полевых опытах. В вегетационном опыте влияние отдельных факторов на растения изучается в искусственных условиях и его результаты могут не совпадать с данными полевого опыта. При углубленных агрохимических исследованиях необходимо сочетание полевых, вегетационных и лабораторных методов.

В зависимости от темы исследования в вегетационном опыте в качестве искусственной среды (субстрата) используются: почвенные культуры; водные культуры; разделенные культуры; стерильные культуры; гидропоника; аэропоника. Для проведения вегетационных опытов применя-

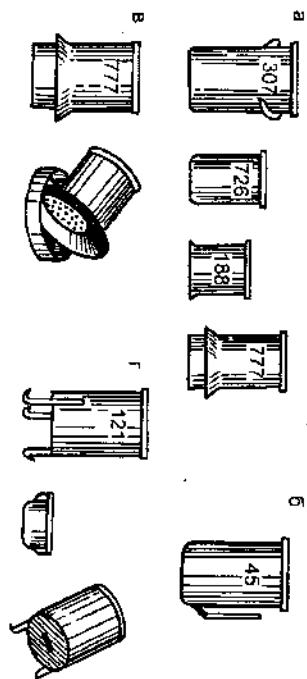


Рис. 15.8. Вегетационные сосуды:  
а — эмалированные сосуды для различных культур; б — сосуд Вапнера; в —  
сосуд Митуряна (с поддоном); г — сосуд Кирпичова (с поддоном).

ются вегетационные домики, сетчатые павильоны, фитотро-  
ны (лаборатории искусственного климата) и другие соору-  
жения.

**Вегетационные домики (теплицы)** — самые распро-  
страненные сооружения для проведения вегетационных опы-  
тов. Их делают из деревянного или железного каркаса и  
стекла. Для проветривания устраиваются жалюзи внизу и  
форточки на крыше. Вегетационные домики оборудуются  
стеллажами или ватонетками, на которых размещаются  
сосуды.

**Сетчатый павильон** защищает растения от птиц и по-  
вреждений. Для его сооружения используется сетка с ячей-  
ками 1,5×1,5 и 2×2 см, при меньших размерах ячеек сни-  
жается освещенность растений, при больших — она не за-  
щищает от птиц. Условия выращивания под сеткой  
приближены к естественным.

Для вегетационных опытов используют сосуды двух  
типов, различающиеся по способу полива — без отверстий  
и с отверстиями в дне (рис. 15.8). Сосуды без отверстий  
поливают по массе, а с отверстиями — по объему. Первые  
применяют в более точных опытах. Сосуды с отверстиями  
в дне имеют поддоны, их можно использовать в сетчатых  
павильонах. После дождя воду из поддона, в которую пе-  
решли питательные элементы из сосуда, вливают обратно.  
В вегетационных опытах используются пластмассовые, стек-  
лянные и металлические сосуды. Металлические для пре-  
дотравнения коррозии должны быть эмалированными или  
покрытыми консервантами (внутри — асфальтовым лаком,  
снаружи — белой краской). Стеклозные сосуды обычно

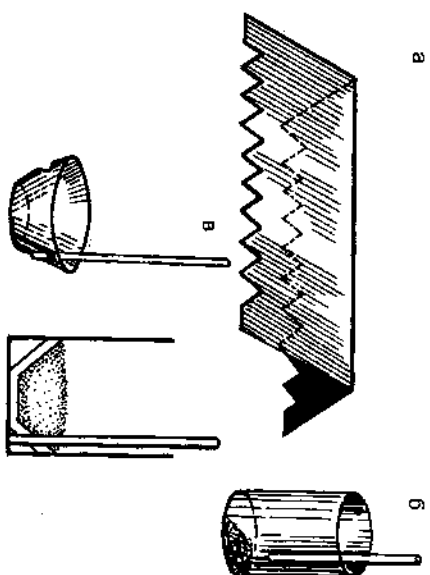


Рис. 15.9. Воды дренажа для вегетационных опытов:  
а — дренаж (жесткой) для вегетационных сосудов Кирпичова; б, в — дренаж в  
вегетационных сосудах для повышения и понижения культур.

используются в опытах с водной, стерильной и разделен-  
ной культурой.

Размер сосуда зависит от выращиваемой культуры. Для  
зерновых культур, льна, гороха, гречихи используются со-  
суды диаметром 15 или 20 см и высотой 20 см, для расте-  
ний с глубоко растущей корневой системой (клевер, лю-  
церна) соответственно 15 и 30 см, картофеля, корнеплодов,  
кукурузы — 25×30 или 30×30 см. Для нормального разви-  
тия зерновых и зернобобовых культур сосуды должны  
вместить 5–7 кг почвы, картофеля и капусты — 25–30 кг,  
сахарной свеклы и других корнеплодов — 15–25 кг. Сосу-  
ды должны иметь дренаж — свободное пространство для  
воды, откуда она могла бы всасываться почвой или нескон-  
и поступать к растениям. Для создания дренажа исполь-  
зуют битое стекло, гравий (диаметром 3–4 см), специально  
изготовленный железный пребошок или желоб (рис. 15.9).  
Битое стекло или гравий насыпают на дно горшка со скла-  
ном 30°, они должны занимать не более 70% площади дна  
сосуда. На один сосуд берут 200–350 г стекла. В горку дре-  
нажного материала вставляется трубочка диаметром 1,2–  
1,7 см и длиной на 3–5 см выше сосуда. В металлических  
сосудах роль дренажа выполняет пилюобразный желоб.

Основные принципиальные подходы к разработке схем  
опытов, а также стандартные схемы опытов с удобрениями  
были рассмотрены в разделе 15.1 "Почвенный опыт". Схемы

вегетационных опытов могут быть более детальными, а дозы удобрений значительно выше, чем в полевых опытах.

#### 15.4.2. ВЕГЕТАЦИОННЫЕ ОПЫТЫ С ПОЧВЕННОЙ КУЛЬТУРОЙ

Первый опыт с почвенной культурой (субстратом) был проведен П. Вагнером в 1879 г. Это самая распространённая модификация вегетационного опыта и наиболее приближенная к естественным условиям и полевому опыту.

Постановка опыта с почвенной культурой включает подготовку почвы, сосудов, удобрений и семян, наливку соев, посев, уход за посевами, наблюдение, уборку и учет урожая, составление отчета. Вегетационные опыты с зерновыми культурами и льном обычно имеют три-четыре повторности, с картофелем, кукурузой, сахарной свеклой и другими культурами, выращиваемыми по одному растению в сосуде, — шесть — восемь.

Почву для опыта обычно берут со всей глубины пахотного горизонта, но если того требует задача опыта, она может быть взята из любого горизонта почвенного профиля. При постановке опытов с азотными удобрениями почву лучше заготовить весной, с фосфорными удобрениями — летом для будущего года. Нельзя брать почву, в которую недавно вносились органические и минеральные удобрения. Перед наливкой сосудов почву очень тщательно перемешивают и пропускают через сито или грохот с ячейками 2–3 см. Перед закладкой опыта берут образец почвы около 1 кг и определяют гравиметрическую влажность, гравиметрический состав и основные агрохимические показатели.

Для каждого опыта сосуды тарируют, т.е. подбирают близкие по высоте, объему и массе; по массе они не должны отличаться более чем на 100 г, по диаметру — более чем на 0,5 см. Отобранные сосуды тщательно моют водопроводной водой, ополаскивают дистиллированной и высушивают. Металлические сосуды после просушки покрывают лаком. Аналогично готовят дренаж и поддоны сосудов.

В вегетационных опытах могут использоваться как готовые минеральные удобрения, так и химические соли различной степени очистки. Из водорастворимых азотных и калийных удобрений удобнее готовить растворы, содержащие в 50 мл (или другом определенном объеме) необ-

ходимую дозу азота и калия на сосуд. Фосфорные удобрения, даже водорастворимые, полностью в воде не растворяются, поэтому растворы с ними не готовят.

Дозы удобрений зависят от цели опыта, культуры, размера сосуда. Обычно на сосуд с 5–8 кг почвы вносят 0,35–0,75 г азота и по 0,3–0,5 г фосфора и калия. В расчете на 1 кг почвы дозы (г) НРК следующие: в опытах с зерновыми культурами: 0,1–0,15; 0,1; 0,1; с картофелем — 0,12; 0,2; 0,28; с сахарной свеклой — 0,15; 0,22; 0,22; со льном — 0,05–0,07; 0,10–0,12; 0,06–0,1; бобовыми — 0,04–0,1; 0,1–0,15; 0,1–0,15.

Дозы известки в вегетационных опытах рассчитываются по гидролитической кислотности. В расчете на 1 мэкв Н<sup>+</sup> в 100 г почвы требуется 1 мэкв СаСО<sub>3</sub> или 50 мг СаСО<sub>3</sub>, а на 1 кг — 50х10=500 мг, или 0,5 г. Если гидролитическая кислотность почвы, взятой для опыта, 3 мэкв на 100 г почвы, доза известки будет в три раза больше: 3х0,5=1,5 г на 1 кг почвы. Следовательно, чтобы рассчитать дозы известки в граммах на 1 кг почвы, необходимо величину гидролитической кислотности (в мэкв на 100 г) умножить на 0,5 или разделить на 2. Дозы известки в зависимости от цели исследования могут быть разными.

Семена зерновых и зернобобовых высевают, как правило, проращенными. Перед проращиванием семена зерновых культур протравливают в течение 5 мин в 1%-ном растворе формалина и промывают водой. Можно использовать и другой протравитель. Глубин картофеля подбирают по массе и с одинаковым количеством глазков.

Главное требование при наливке сосудов — однородность и плотность почвы во всех сосудах. Поэтому наливку сосудов опыта должен проводить один человек.

На дно оттарированного и подготовленного сосуда аккуратно кладут кружок из марли или фильтровальной бумаги такого же диаметра. После этого на дно сосуда насыпают дренаж, а поверх него опять кладут кружок из марли или фильтровальной бумаги, диаметр которых на 2–3 см больше диаметра сосуда. Кружок прижимается к стенкам и дну сосуда точно отвешенным (300–500 г) увлажненным кварцевым песком (15 мл воды на 100 г песка). Если в качестве дренажа используется битое стекло, граней, керамзит, то строго вертикально на расстоянии 1–1,5 см от стенки сосуда в нем закрепляется стеклянная трубочка.

Наливку сосудов проводят в один день. Удобнее это



делать втроем: один взвешивает почву, другой вносит удобрения, третий тщательно перемешивает почву и набивает сосуды. Чтобы установить навеску почвы, вначале набивают один пробный сосуд, не доходя до верха 2–2,5 см. К этой навеске добавляют удобрения и тщательно перемешивают. Оптимальной при набивке считается влажность почвы 40–50% от полной влагоемкости. При такой влажности почва при сжатии в руке образует ком, легко распадающийся при выпадении из ладони.

Первые 3–4 см почвы укладывают более плотно, чем остальную. Уплотнение должно быть одинаковым во всех сосудах, уровень почвы — на 2–2,5 см ниже края сосуда. Сосуды нумеруют и закрепляют этикетки с указанием темы опыта.

В опыте используются только сортовые семена, пророщенные (наклонувшись) или сухие. Проращивают семена в кюветках или противнях на кварцевом песке (1,5–2 см). Песок увлажняют до полного насыщения, покрывают фильтровальной бумагой, семена распределяют тонким слоем и равномерно смачивают. Сверху семена также покрывают одним-двумя листами мокрой фильтровальной бумаги и оставляют при температуре 20–25 °С.

Наклонувшись семена высевают по трафарету в выровненную и увлажненную почву, верхний слой которой (от 0,5 до 2 см в зависимости от выращиваемой культуры) предварительно снимают, чтобы сделать семена. Зерновые заделывают на глубину 1–1,5 см, лен и другие мелкозерновые культуры — на 0,5–1 см. Количество семян в сосудах должно быть одинаковым и на 5–10 больше, чем число растений, необходимое для опыта.

Всхожесть сухих семян должна быть близкой к 100%. Чтобы не образовывалась корка и почва меньше нагревалась солнцем, поверхность почвы в сосудах насыщается кварцевый песок (200 г), после чего сосуды укрывают бумагой, которую снимают после появления всходов. Ежедневно до появления всходов сосуды слегка поливают.

В сосудах диаметром 15–20 см в опытах с зерновыми оставляют 20 растений, горохом, бобовыми — 10–15 (по общему равному количеству растений во всех сосудах), гречихи — 10–12, льна — 35–40, огурца, редиса, моркови — 2–3, клевера — 6–12. Растения пропашных культур выращивают по одному и в сосудах большого диаметра. Лишние растения удаляют через два-три дня после всходов (прежде всего поврежденные, слабо или чрезмерно развитые).

В соответствии с программой исследований растения поливают волопроводной или дистиллированной водой. Сосуды, не имеющие отверстия в дне (Вагнера и др.), поливают по массе до уровня 60–70% от полной влагоемкости почвы. Для определения массы сосуда к поливу суммируют: тарированный сосуд + песок внизу и сверху + навеска почвы и масса воды, соответствующая 60–70% от полной влагоемкости (за минусом влажности почвы при набивке) + масса каркасов или палочек для поддержания растений, если их устанавливают в сосуды. Для полива сосуды ставят на весы и доводят до необходимой массы водой. Поливают сосуды один раз (утром или вечером), а в жаркую погоду два раза: один раз по массе, второй — по объему (столько же воды, сколько влиялось при взвешивании). В сосудах Вагнера половину воды вливают через трубочку вниз сосуда, половину — сверху.

Сосуды с отверстиями в дне (Митчерлиха, Кирсанова и др.) не взвешивают, а поливают по объему, распределяя воду поровну по сосудам до появления воды в поддоне. После больших дождей сосуды поливают дождевой водой из поддонов, чтобы исключить потери питательных элементов. Чтобы все растения получили одинаковое количество света, во время полива сосуды крайних и средних рядов меняют местами. Если сосуды установлены на ватонетках, в асбестовую подложку их выкатывают из вегетационного домика под сетку, в дождевую погоду и на ночь их помещают в домик. Сорняки в сосудах сразу же удаляют. При заболелении растений или появлении вредителей принимают необходимые меры.

За растениями ведут фенологические наблюдения и проводят биометрические измерения, результаты которых записывают в журнал. Регистрируют дату наступления фаз, разницу в развитии растений фиксируют измерениями или фотографиями. Если предусмотрено программой, отбирают растительные и почвенные пробы (в определенные фазы или периодически — через 15, 20, 30 дней). Пробы берут не менее чем с двух повторностей опыта, после взятия проб сосуды ликвидировать. Поэтому, если программой предусмотрен отбор растительных и почвенных проб, число повторностей должно быть 10–12, чтобы к уборке осталось не менее трех-четырех повторностей.

За 3–4 дня до уборки растений поливы прекращают. В программе опыта могут быть заложены разные сроки уборки, но обычно она приходится на фазу полной зрелости

растений. Зерновые и зернобобовые культуры, а также травы срезают ножницами на высоте 1–2 см от корневой шейки, подсчитывают число растений, стеблей, колосьев (стручков), измеряют высоту растений, длину колоса и укладывают в пакеты с указанием номера сосуда. Затем растения высушивают до воздушно-сухого состояния в помешении (ветерационном домике, лаборатории и т.д.), взвешивают общий урожай, а после обмолота у зерновых и зернобобовых культур учитывают массу зерна, а по разности — соломы.

Растения картофеля и корнеплодов извлекают из сосуда, срезают ботву, клубни и корнеплоды очищают и отдельно взвешивают. Проводя уборку, отбирают средние пробы почвы и растений для агрохимических анализов.

После уборки сопоставляют данные по повторностям каждого варианта. При больших абсолютных урожаях допускаются расхождения между сосудами одного варианта 5–10%, при низких — 25%. Большие расхождения указывают на грубые нарушения в методике и технике проведения вегетационного опыта и такие опыты бракуются. Результаты опыта статистически обрабатываются для установления степени их достоверности и величины ошибки опыта.

### 15.4.3. ВЕГЕТАЦИОННЫЕ ОПЫТЫ С ПЕСЧАНОЙ И ВОДНОЙ КУЛЬТУРОЙ

В опытах с песчаной культурой субстратом является песок, с водной — дистиллированная, бидистиллированная, иногда водопроводная вода. Песок и вода в отличие от почвы — бесплодные среды и их применяют, чтобы создать при изучении питания растений строго контролируемые условия.

С помощью песчаной культуры определяют, какие элементы необходимы растениям, какова роль каждого элемента, устанавливают их оптимальное соотношение, формы и дозы внесения, изучаются явления антагонизма и синергизма различных элементов и др. В опытах используют кварцевый или белый речной песок с частицами от 0,2 до 0,5 мм, отмытый от илестых частиц. Когда в опыте нужна особая чистая среда, песок 3–5 дней выдерживают в концентрированной соляной кислоте, после чего промывают сначала водопроводной, а затем дистиллированной водой до отрицательной реакции на хлор (с  $\text{AgNO}_3$ ).

Для зерновых, трав, бобовых используют сосуды, вме-

щающие 4–8 кг песка, для корнеплодов и клубнеплодов — 10–20 кг. Техника закладки и проведения опытов с песчаной культурой такая же, как и с почвенной, с той только разницей, что в песчаную культуру питательные элементы вводят с питательной смесью.

Питательная смесь содержит все необходимые элементы питания в усвояемой форме (соли) и в количествах, достаточных для нормального роста и развития растений. Питательная смесь должна обеспечивать физиологическую уравновешенность раствора и оптимальную, желательную нейтральную, реакцию на протяжении вегетационного периода. Существует множество разнообразных по составу питательных смесей, отличающихся набором солей, реакций, концентрацией питательных элементов. Приведем некоторые универсальные питательные смеси для песчаных и водных культур (соли, отмеченные звездочкой, лучше растворять отдельно, так как они образуют осадок).

Смесь Гельригеля (г/л):  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  безводный\* — 0,492 или  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  — 0,708;  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  — 0,025;  $\text{KCl}$  — 0,075;  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ \* — 0,136;  $\text{MgSO}_4$  безводный — 0,060 или  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  — 0,123.

Смесь Кюппа (г/л):  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  безводный\* — 1,00 или  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  — 1,44;  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  (5%-ный раствор) — 1 капля;  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ \* — 0,25;  $\text{KCl}$  — 0,12;  $\text{MgSO}_4$  безводный — 0,25 или  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  — 0,51.

Смесь Гильгнера (г/л):  $\text{KNO}_3$  — 0,0368;  $\text{NaNO}_3$  — 0,0512;  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$  — 0,25;  $\text{Fe}_2(\text{PO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  — 0,25;  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  — 0,064;  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  — 0,25;  $\text{KCl}$  — 0,25;  $\text{FeCl}_3$  (3,5%-ный раствор) — 3 капли.

Смесь Принципикова (г/л):  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  — 0,24;  $\text{CaHPO}_4$  — 0,172;  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  — 0,025;  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  — 0,344;  $\text{MgSO}_4$  безводный — 0,060 или  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  — 0,123;  $\text{KCl}$  — 0,160.

Смесь Велюсова для сахарной свеклы (г/л):  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  — 1,1;  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  — 0,36;  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  — 0,43;  $\text{MgSO}_4$  безводный — 0,054;  $\text{FeCl}_3$  — 0,010;  $\text{NaCl}$  — 0,1;  $\text{H}_3\text{BO}_3$  — 0,005;  $\text{MnSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  — 0,005.

Смесь Ягодина для гречихи (мг/л):  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  — 343;  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  — 263;  $\text{K}_2\text{SO}_4$  — 166;  $\text{Fe}(\text{SO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$  — 40;  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  — 716;  $\text{H}_3\text{BO}_3$  — 2,86;  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  — 0,197;  $\text{ZnSO}_4 \cdot 0,44$ ;  $\text{MgSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  — 2,63;  $\text{CaSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  — 0,095;  $\text{NaMoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  — 0,77;  $\text{CaCO}_3$  — 500,5;  $\text{CaCO}_3$  (дополнительно через 20 дней) — 55,5.

Смеси Кнопа, Гельригеля составлялись главным образом эмпирически, Припинникова, Белоусова, Ягодина — на основании теоретических предположков.

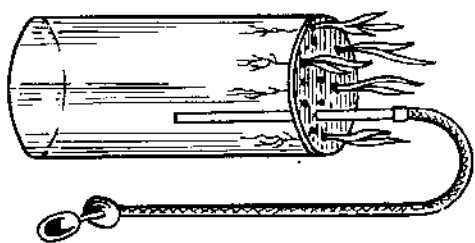
Главные отличия между питательными смесями состоят в выборе источников азота и фосфора, влияние которых на реакцию раствора должно быть уравновешено. Если в состав смеси входит аммонийная соль (физиологически кислот), то смесь со временем будет подкисляться, а если  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  — подщелачиваться. Однозамещенные фосфаты ( $\text{K}_2\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_7$ ,  $\text{NaH}_2\text{P}_2\text{O}_7$  и др.) обладают буферным свойством против подщелачивания, а двухзамещенные [ $\text{K}_2\text{HPO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ ,  $\text{CaHPO}_4$ , а также  $\text{Ca}_2(\text{PO}_4)_2$ ] — против подкисления. Так, в смесь Гельригеля азот введен в форме  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  — соли физиологически щелочной, а  $\text{K}_2\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_7$  служит буфером против подщелачивания.

Устойчивую реакцию среды сохраняют питательные смеси Припинникова и Белоусова, включающие труднорастворимые соли. При использовании хорошо очищенной воды и питательных смесей, в состав которых первоначально не включены микроэлементы, в раствор добавляют микроэлементы. Растворы микроэлементов по Хогланду для универсальных питательных смесей готовят из 18 мл воды и следующих солей:  $\text{H}_2\text{BO}_3$  — 11 г;  $\text{MnCl}_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  — 7 г;  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{ZnSO}_4$ ,  $\text{Al}(\text{SO}_4)_3$ ,  $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  — по 1 г;  $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{TiO}_2$  — по 1 г;  $\text{LiCl}$ ,  $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{KJ}$ ,  $\text{KBr}$  — по 0,5 г. Раствор микроэлементов добавляют по 1–1,5 мл к 1 л питательной смеси или песка.

В качестве водной культуры обычно используется дистиллированная вода и лишь в специальных опытах биодистиллированная. Вода по сравнению с песком более чистый субстрат, но опыты с водной культурой более трудоемки. Эту модификацию вегетационного опыта применяют при изучении периодичности питания растений (для определения оптимальных условий в разные периоды вегетации), особенностей развития корневых систем, влияния реакции и буферности питательной среды на развитие растений.

Опыты с водной культурой проводят в широкогорлых стеклянных или полиэтиленовых сосудах вместимостью 3–5 и более литров, закрытых пробками с отверстиями, в которых растения закрепляются с помощью ватных тампонов или других приспособлений. Крепится каркас, через него пропускают трубки для насыщения питательного ра-

Рис. 15.10. Стеклянный вегетационный сосуд для водной культуры с трубкой и трущей для насыщения воды воздухом.



створа воздухом (рис. 15.10). Удобно закреплять растения в широких цилиндрах из пластмассы или других не ржавеющих материалов с сетчатым дном, наполненным гравием или гранулированным полистиролом. Способы укрепления растений в водной культуре показаны на рис. 15.11. Сосуды наполняются водой на три четверти объема.

В опытах с водной культурой готовят питательные растворы высокой концентрации (в 100–200 раз выше, чем нормальной питательной смеси) и вносят их пипеткой или мерным цилиндром по схеме опыта. Семена про-

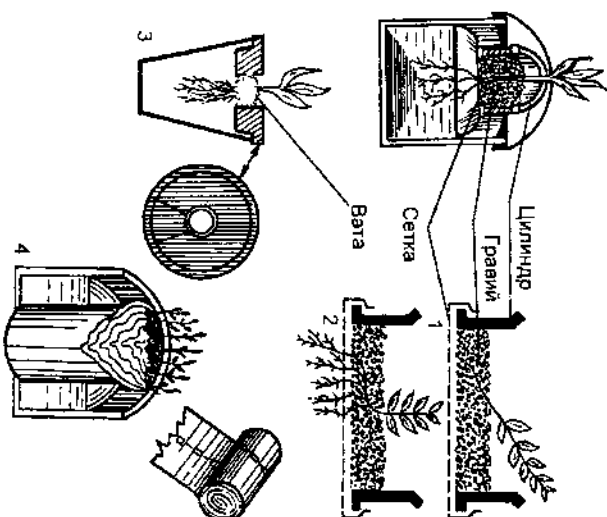


Рис. 15.11. Способы закрепления растений в водной среде: 1 — в момент посадки; 2 — после укоренения; 3 — кружок из парафинированного дерева; 4 — питательная среда из фильтровальной бумаги.

рашивают в кюветках с песком, опилками, фильтровальной бумагой. Когда у растений образуются корни длиной 6–7 см, их закрепляют в крышке вегетационного сосуда. Во избежание перерыва сосудов и появления водорослей на сосудах надевают двойные чехлы (темные внутри и светлые снаружи).

Уход за растениями в опытах с водной культурой включает аэрацию питательного раствора. Резиновой грушей или воздушной подушкой воздух продувают через воду один-два раза в сутки по 5–10 мин. Аэрация необходима, если корни не полностью погружены в раствор (примерно на две трети). В соответствии со схемой опыта 3–4 раза за вегетацию питательные растворы меняют. 2–3 раза в неделю определяют реакцию питательного раствора и добавляют щелочные или кислотные растворы, чтобы значение pH находилось в нужных пределах. По мере испарения жидкости в сосудах доливают дистиллированную воду.

Убирают и учитывают урожай в опытах с водной культурой так же, как с почвенной, но кроме основной и побочной продукции учитывается масса корней, анализируются части растений. Данные опыта статистически обрабатывают.

**Метод изолированного питания, или разделенной культуры,** используется при изучении значения разных солей в питании растений, передвижения элементов питания по корневой системе, выделения питательных элементов растениями, влияния внешних условий (температуры, реакции и др.) на питание растений, влияния взаимодействия двух или нескольких солей на усвоение элементов питания. В опытах с разделенной культурой растения одновременно выращивают на двух субстратах. Для этого один сосуд помещают в другую и заполняют их разными субстратами. Проростки растений закрепляют так, чтобы одна часть корней растения получила питание из внешнего сосуда, другая — из внутреннего. Этот метод называют еще методом "всадника" — растение "сидит" на стенке внутреннего сосуда, как всадник на лошади (рис. 15.12). В опытах с изолированным питанием в качестве субстрата используют песок, пемзу, песчано-почвенные, водные и другие культуры с нормальными или измененными питательными смесями.

**Метод текущей песчаной культуры, или протекающих растворов** (капельная культура по Демолону), применяют

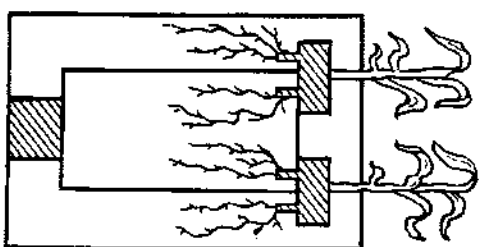


Рис. 15.12. Метод изолированного питания.

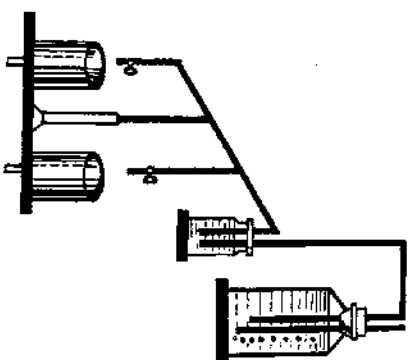
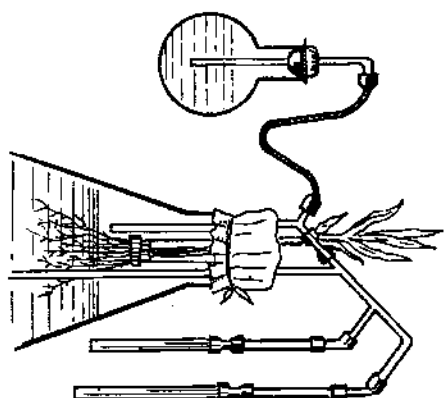


Рис. 15.13. Метод текущей песчаной культуры.

ся, когда для исследования надо иметь постоянную концентрацию элементов или постоянное соотношение элементов, а также стабильную реакцию среды. В опытах с текущей песчаной культурой питательный раствор из бутылей вместимостью 16–20 л, помещенных на верхней полке установки, с помощью сифона подается в промежуточный сосуд, откуда он под постоянным давлением через сифоны с краями или зажимами поступает в сосуды с растениями на нижней полке установки (рис. 15.13). Раствор проходит через песок, омывает корни и вытекает из отверстия в нижней части сосуда. При набивке сосудов питательная смесь в песок не вносится. Питательные смеси (Кнопа, Гельригеля и др.) разбавляют в 5–10 раз и пропускают через сосуды с растениями со скоростью 4 л в день — такой скорости достаточно, чтобы полностью обновить раствор в сосудах и поддерживать на одном уровне состав и реакцию питательной среды.

В опытах со стерильной культурой изучаются роль микроорганизмов в питании растений, корневые выделения, питание растений органическими соединениями. Эта модификация вегетационного опыта очень сложна, так как в сосудах субстрат и корневая система должны быть стерильными. Надземная часть растений находится в обыч-

Рис. 15.14. Стерильная культура.



ных условиях (рис. 15.14). Стеклянную посуду и песок стерилизуют при температуре 150 °C в течение двух часов, для обработки семян и материалов нагрева, используют антисептики (спирт и др.). Опыты со стерильной культурой ставятся редко, поэтому на технике их проведения мы останавливаться не будем.

#### 15.4.4. ГИДРОПОННОЕ ВЫРАЩИВАНИЕ РАСТЕНИЙ

Гидропоника — это выращивание растений на питательных растворах без почвы. Первые опыты по гидропонике были проведены в 20-х годах XX в. Тогда же был введен термин "гидропоника". Гидропонный метод широко используется как в научно-исследовательской работе, так и в производстве при выращивании овощных культур, цветочных, лекарственных и других растений.

Различают три модификации метода в зависимости от используемой культуры (субстрата): *азрегатопоника* — когда используются твердые, преимущественно инертные субстраты, периодически увлажняемые питательным раствором; *гидропоника* — когда используется водная культура (питательный раствор), в которую постоянно погружены корни растений; *аэропоника*, или воздушная культура, — когда корни растений находятся во влажном воздухе и периодически опрыскиваются питательным раствором. Для выращивания однолетних и других культур, а также в исследованиях наибольшее распространение получила культура твердых субстратов.

Для товарного выращивания растений в гидропонных сооружениях используются поддоны, стеллажи, лотки из бетона, железобетона, покрытые битумом, пластмассами и другими материалами различных размеров в зависимости

от выращиваемой культуры. Наполнитель (субстрат) должен быть химически инертным, хорошо удерживать воду и воздух. Чаше всего используются гравий (2–20 мм), щебенка (3–150 мм) из гранита, диорита и других магматических пород; вулканические туфы, перлит, вермикулит, керамзит, кирпич, торф. Белорусские ученые в качестве субстрата предпочли ионитные смолы, с которыми можно создать среду в 100 раз питательнее чернозема.

Пригодность субстрата определяют, проращивая на нем в чашках Петри семена или анализируя субстрат после взаимодействия с субстратом. Если находят субстрат пригодным, его сортируют, тщательно промывают водой и насыпают слоем 20–30 см в ящики на стеллажах (шириной 70–150 см) или поддоны (шириной 3–10 м и более), дно которых имеет уклон и отверстие для стекания растворов.

Для питательных растворов используется водопроводная вода, содержащая не более 200 мг/л хлора и 150–300 мг/л  $\text{CaO}$ . Общая концентрация солей не должна превышать 0,2%. Реакция раствора должна поддерживаться на благоприятном для выращиваемой культуры уровне (рН 5–6).

Существует много рецептов питательных растворов (Телера, В. А. Чеснокова и др.). Рецепт В. А. Чеснокова: на 1000 л воды 500 г калийной селитры, 550 — двойного суперфосфата, 300 — сульфата магния, 200 — аммиачной селитры, 6 — хлорного железа, 0,72 — борной кислоты, 0,02 — сернокислой меди, 0,45 — сернокислого марганца, 0,06 — сернокислого цинка, 0,5 г — йодистого калия. Анализ и корректировку питательного раствора проводят 1–2 раза в неделю. Наряду с питательными растворами в гидропонике используют и сухие смеси, в том числе промышленного производства.

Питательные растворы в субстрат могут подаваться различными способами: одновременно с поливом; дождеванием (периодически); капельным способом (постоянно); способом поддона — когда нижняя часть субстрата постоянно залита раствором. Сухие удобрительные смеси можно распылять по субстрату, поливая водой (бенгальский способ).

Раскладку отупцов высаживают в фазе 3–4 настоящих листьев, помидоров — в фазе 9 листьев. При выращивании на зеленую массу для подкормки порослят и кур-неушек зерновых и зернобобовых (пшеница, ячмень, овес, горох или вики в смеси с овсом или ячменем и др.) на 1 м<sup>2</sup> стеллажа

или поддона высевается 4,5–5 кг семян. За один оборот можно получить с 1 м<sup>2</sup> 25 кг зеленой массы; этого достаточно для ежедневной подкормки 800 порослят или 1600 кур-несушек.

При воздушной культуре (аэропоника) растения растут и развиваются быстрее, чем на других культурах. Растения высаживаются в стакан с перфорированными стенками и небольшим объемом гранулированного субстрата. Корни проходят через отверстия и свободно свисают в специально предназначенном пространстве. Глубина резервуара для корневой системы – 20–25 см. В резервуаре размещены форсунки для опрыскивания корней: в начале роста и развития форсунки включаются на 5–10 с через каждые 5 мин, позже, когда корневая система достаточно разовьется, – через 10 мин на более продолжительное время (не менее 10 с). Растения впитывают питательные элементы из задерживающихся на корнях капель, поэтому концентрация раствора должна быть примерно в 10 раз ниже, чем водной культуры. Раствор, стекающий с корней, возвращается в запасной бак.

## 15.5. ЛИЗИМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД

Лизиметрический метод так же, как полевой и ветвационный, относится к биологическим и используется в ряде естественных наук. Лизиметрический опыт с удобрением – опыт с удобрением с использованием лизиметрической установки для изучения питательного режима почвы и передвижения минеральных и органических веществ по профилю почвы, баланса питательных элементов.

Лизиметр (от греч. *lysos* – растворение) впервые использовал французский исследователь де Ла Хира в 1688 г. при изучении количества и скорости просачивания атмосферных осадков через почву. В агрохимических исследованиях его первыми использовали англичане Джон Дэлтон, выясняя роль атмосферных осадков в питании грунтовых вод (1795), и Уэй, опубликовавший в 1850 г. данные об изменении химического состава растворов, просачивающихся через почву.

Лизиметрическим методом пользуются при изучении потерь питательных элементов при различных дозах, сроках и способах внесения удобрений, на пару и занятых

посевами почвах, при наблюдении за скоростью передвижения атмосферных осадков, динамикой влажности почвы, изучения влияния удобрений на свойства почвы и т.д. В опытах с лизиметрами создаются условия, близкие к естественным. Лизиметры устанавливаются вблизи лабораторий, чтобы одновременно проводить анализ, рядом с ними располагают дождемер. В лизиметрах должны поддерживаться условия, близкие к моделируемым природным. Для защиты растений от животных и птиц над лизиметрами устанавливают сетки.

Для исследований почву в лизиметры или насыпают с сохранением естественной последовательности генетических горизонтов, или лизиметры заполняют, вводя в почву и сохраняя естественное строение почвенных слоев. Лизиметры могут быть металлическими, бетонными или кирпичными, а также из пластмассовой пленки. Для многолетних исследований их делают из бетона или бетонированного кирпича площадью от 1 до 4 м<sup>2</sup> и глубиной обычно в 1 м. В них используется насыпная почва. Такие лизиметры есть в научно-исследовательских институтах республики (ВетНИИЦА, ВетНИИЗК).

Размещают лизиметры рядами, через каждые два ряда делают подземный коридор, в который выходят трубки каждого лизиметра со сменными приемниками, куда собирают фильтрующийся вод (рис. 15.15). Для стока просачивающейся воды дно лизиметра имеет уклон в сторону отверстия с трубкой, ведущей в приемник. Для улучшения стока на дне каждого лизиметра укладывается дренарующий слой из гравия, песка, щебня и т.д.

Почва в лизиметрах должна быть на одном уровне с поверхностью участка.

Современные лизиметрические бетонные устройства имеют автоматическую измерительную систему для учета в динамике количества просочившихся через почву вод. Изучаются также температурный и барометрический режимы, в выводных трубках монтируются специальные устройства, препятствующие заплыванию дренажного слоя. Лизиметрические устройства могут быть оснащены аппаратурой для отбора проб газа и т.д.

Металлические и пластмассовые лизиметры применяются для работы как с насыщенными, так и с почвами естественного сложения. Они значительно меньше, чем стационарные бетонные или кирпичные лизиметры, и разнообразнее по форме и конструкции. Для опытов с насыпной

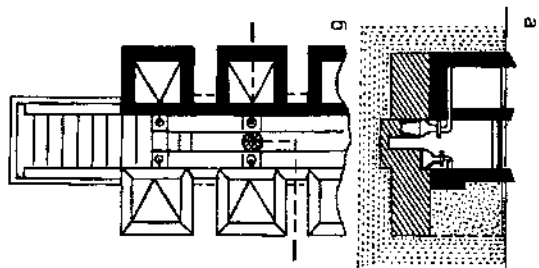


Рис. 15.15. Насыщенные бетонные лизиметры: а - вертикальный разрез; б - горизонтальный разрез.

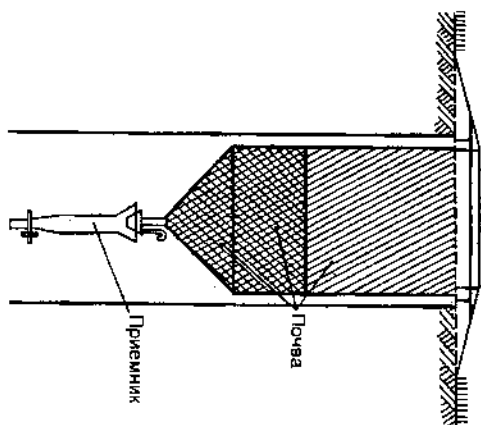


Рис. 15.16. Металлический лизиметр А. В. Ключарова (разрез).

почвой обычно используются лизиметры цилиндрической формы и в форме параллелепипеда из листового оцинкованной стали. На дно насыпают песок или травий, а через отверстия трубками присоединяют приемники для сбора фильтрата. Наполненные почвой лизиметры либо закапывают прямо в грунт, либо помещают в другой металлический цилиндр или ящик немного большего размера, предварительно вкопанные в грунт на одном уровне с поверхностью участка. Во втором случае лизиметры можно доставать и взвешивать.

Чтобы заполнить металлические лизиметры без нарушения естественного строения почвы, их заостренными нижними концами врезают в почву и, достав наполненный лизиметр, прикрепляют дно - воронку с дренарующим материалом. Затем лизиметр переносят на подготовленное место и системой труб соединяют с приемником. Таким способом заполняют небольшие лизиметры (диаметром 10-20 см и высотой 20-30 см), при больших размерах нарушается естественное сложение почвы. Классическим примером такого лизиметра является лизиметр профессора

ра А. В. Ключарова. Это стальной цилиндр диаметром 11 см и высотой 20 см, к которому термически прикрепляется дно в виде цинковой воронки (рис. 15.16), заполненное дренарующим материалом. Фильтрат через пробку с трубками поступает в воронку с делениями. Обычно такие лизиметры помещаются в закопанные в грунт тонкостенные железные цилиндры высотой 50 см, назначение которых - закрепить стенки ямы и плотно удерживать на крышках лизиметр. Зазоры между лизиметром и внешним сосудом (если они есть) закрывают специальными щитами из водонепроницаемых материалов.

Лизиметрические воронки не имеют боковых стенок и позволяют проводить исследования с почвой естественно-то сложения в условиях, максимально приближенных к естественным. Изготавливаются из оцинкованного железа, винипласта, флексигласа и других материалов.

Впервые лизиметрические воронки применил Эбермайер в 1879 г. Воронки Эбермайера изготавливаются из оцинкованного железа диаметром 25 см или 50 см, края загнуты и заострены, выходное отверстие покрыто цинковым кружком с отверстиями 2 мм, вся воронка заполнена дренарующим материалом (рис. 15.17). Для опыта роют траншею глубиной на 50 см больше, чем высота воронки, в одной стенке траншеи делают ниши и острым краем врезают в потолок ниши воронки. Расстояние между воронками - 30-100 см. Трубки воронки соединяются с приемниками, помещенными на дне траншеи. Пустоты в ни-

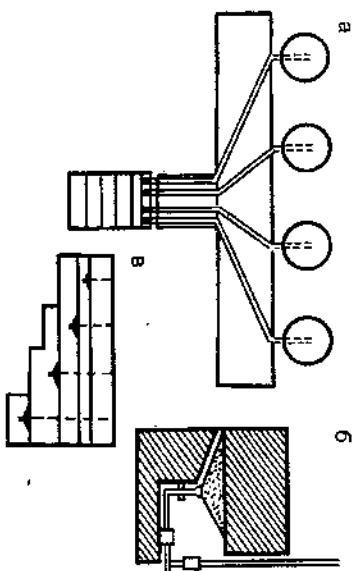


Рис. 15.17. Лизиметрические воронки Эбермайера: а - план; б - разрез одного лизиметра воронки; в - схема расположения воронок на разной глубине.



шак засыпают почвой, стенки траншеи закрепляют досками. Траншею накрывают досками, затем изолирующим материалом и засыпают землей. Чтобы спускаться к приемникам, делают люк с крышкой и лестницей.

Е. И. Шилова предложила упрощенную конструкцию лизиметрических воронок-щитков, позволяющую отсасывать из приемников собранную воду через трубки. Благодаря удобству эта конструкция лизиметров широко распространена.

**Водный режим почвы в лизиметрах** несколько иной, чем в естественных условиях, несмотря на все усилия их приблизить. Корпуса лизиметров любой конструкции нагружают естественный водный, термический и воздушный режимы почвы — исключается поверхностный и боковой стоки, возможна пристеночная фильтрация. В силу этих причин в лизиметры со стенками осадков попадает на 20–25% больше, чем в тот же объем почвы без лизиметра. К тому же в лизиметрах с дном и дренажной системой создается воздушная прослойка, мешающая свободному движению гравитационной воды и тем самым увеличивающая влажность почвы. Лизиметрические воронки-щитки имеют здесь некоторое преимущество, так как в них сохраняется естественное сложение почвы. Однако после сильных дождей в воронки может попасть вода с соседних участков или, наоборот, уйти на соседние участки почвы.

Количество просачивающейся сквозь почву в лизиметрах влаги зависит от гранулометрического состава почвы, способа наложения лизиметра (в насыпных почвах уплотняется и скорость фильтрации уменьшается по сравнению с лизиметрами, где почва сохраняется естественное сложение), времени года (весной и осенью больше, чем зимой и летом), от наличия растений и фазы развития, температурного режима. Кроме того, есть еще одно обстоятельство, делающее лизиметрический метод условным, — из большого почвенного массива испытывается небольшая площадь, а и полученные данные экстраполируются на большую территорию.

Тем не менее лизиметрические опыты позволяют фактически определить величину одной из расходных статей баланса питательных элементов, а это очень важно. Представления о потерях питательных элементов из почвы из-за вымывания базируются пока в основном на результатах лизиметрических исследований. По количеству просочившейся воды и ее химическому составу можно

определить возможные потери питательных элементов из разных горизонтов почвы.

Уровень потерь питательных элементов зависит от степени насыщенности ими почвы, ее гранулометрического состава, количества просачивающихся за год осадков, доз удобрений. По данным М. А. Бобринской, азот от вымывания теряет больше всего пар. На разных почвах потери нитратов варьируют от 3 до 160 кг/га, особенно велики они на легких почвах при внесении азотных удобрений в дозах, значительно превышающих биологическую потребность в них сельскохозяйственных культур. На суглинистых почвах при внесении умеренных доз потери азота от вымывания невелики — 5–10 кг/га. Потери фосфора, как уже отмечалось, незначительны на всех почвах, обычно не более 0,5–1,2 кг/га. Вымывание калия из суглинистых и глинистых почв невелико даже при внесении высоких доз удобрений, тогда как на легких почвах они существенны.

По данным БелНИИПА, на дерново-подзолистой супесчаной почве потери калия на известкованном фоне при применении  $N_{60}P_{40}K_{100}$  составляли 13,3 кг, а  $N_{120}P_{80}K_{200}$  — 24,8 кг. На известкованном фоне потери соответственно были 8,3 и 16,5 кг  $K_2O$ . В этом опыте больше всего вымылось кальция. При известковании из почвы потери кальция составили в зависимости от доз удобрений 167–253 кг  $CaO$ .

Таким образом, лизиметрические исследования дают возможность изучать приближенно питательных элементов и влаги в максимально приближенных к природным условиям, не косвенно, а прямо определять потери питательных элементов из почвы.

### Вопросы для самоконтроля

1. Для чего проводятся опыты с удобрениями?
2. Какие виды полевых опытов вы знаете?
3. Назовите основные методические требования проведения полевого опыта.
4. Что такое программа и схема опыта? Как они составляются?
5. Какие требования предъявляются к опытному участку и как его готовят для проведения полевого опыта?
6. Какие размеры и формы деленок используются в полевых опытах? Что такое повторения опыта?

7. Как могут размещаться варианты опыта в повторениях?
8. Как рассчитывается доза и вносятся удобрения на деленку?
9. Расскажите об особенностях посева, ухода и наблюдения за посевами на опытных участках.
10. Что такое выкопки?
11. Как может учитываться урожай в полевых опытах?
12. Для чего и как проводятся производственные опыты удобрениями?
13. Каковы возможности вегетационного метода?
14. Расскажите о технике проведения опытов с почвенно-водной и песчаной культурами. Назовите питательные смеси для водной и песчаной культур.
15. Что такое гидропоника, где она используется и на каких видах подразделяется?
16. Для чего используется лизиметрический метод исследований? Какие лизиметры вы знаете?