

Лекция 6: Системность исследования.

1. Системный подход к изучению биологических объектов.
2. Ошибки несистемного подхода.
3. Выбор модельного объекта.
4. Выбор параметров для наблюдения в зависимости от изучаемого уровня организации.
5. Обработка результатов.

1. Системный подход к изучению биологических объектов.

Системный подход к изучению биологических объектов берет начало от работ Бергаланфи. Со второй половины 20-го века системная организация биологических объектов рассматривается как фундаментальное свойство (Анохин, 1978; Беликова, Ляпунов, 1971; Кастлер, 1968; Кремянский, 1969; Сержантов, 1972; Старостин, 1974; Шмальгаузен, 1982). При этом констатируется наличие фиксированных связей между частями целого, исчезновение некоторых свойств при включении их в систему, появление у возникшей системы новых свойств, которые отсутствуют у частей при изолированном существовании их.

Элементарной структурой любого организма, своеобразным «квантом жизни», является клетка [Журавлева, 1992]. Межклеточные взаимодействия наблюдаются уже в колониях микроорганизмов. У многоклеточных автотрофных организмов основную роль в регуляции высших уровней играют биоэлектрические сигналы, трофический транспорт, конкуренция между органами за метаболиты и гормональная регуляция. Известно, что фотосинтез, репарационные процессы и старение в отсеченном и прикрепленном к растению листе существенно различаются. Это очень затрудняет экстраполяцию результатов, полученных на изолированных органах, на те же структуры в системе организма.

Большинство используемых в физиологии и агрохимии методов анализа имеют в основе методы, заимствованные из классической физики, химии или биохимии, где роль системной организации объекта сравнительно мала. *Но реакции изолированных клеток и тканей на внешние воздействия значительно отличаются от поведения этих элементов, находящихся в системе организма.*

Причиной многих разногласий в современной биологии является огромная трудность, связанная с необходимостью одновременно думать о явлениях молекулярного и организменного уровней, для чего необходимо иметь минимум представлений о промежуточном между ними физиологическом уровне [Холдейн, 1966]. К этому следует добавить проблему биологической целесообразности, от которой свободны физика и химия.

Методы и стратегия исследования напрямую зависят от уровня организации изучаемого объекта.

Примеры.

1. Рассмотрим величину продуктивности фотосинтеза на клеточном и организменном уровнях. При определении ее на высеках листьев получают величины, во много раз превышающие фиксацию углекислого газа целым растением или посевом. В стандартных условиях определения фотосинтеза на высеках скорость ассимиляции зависит только от пропускной способности биохимических систем и диффузии газов из воздуха в клетки. Более низкие показатели фотосинтеза у целого растения обусловлены недостаточной скоростью транспорта ассимилятов, переполнением ими клеток мезофилла и торможением фотосинтеза собственными продуктами по принципу обратной связи. Депрессия фотосинтеза в целостной системе может зависеть и от других причин: недостаточной оводненности тканей (закрыты устьица), торможения роста (отсутствие потребления ассимилятов и др.). И напротив, стимуляция роста растения, образование различных "депо" для накопления метаболитов (плоды, семена, луковицы и т.д.), усиление транспорта веществ по сосудам способствуют быстрому оттоку ассимилятов из листьев и неизбежно приводят к повышению продуктивности фотосинтеза.

2. Изучая водный режим методом извлечения воды из тканей листа растворами сахарозы, исследователь определяет силу связи ее гидратированными коллоидами и осмотически активными веществами. Если же водоудержание определяется по скорости потери веса отсеченным листом (метод Ничипоровича), то полученные результаты характеризуют не только физическое водоудержание клеток, но и гидрофобность кутикулы и полноту закрытия устьиц. Водный режим растения в вегетационном сосуде в дополнение к этому будет зависеть от перераспределения воды между органами и эффективности подачи ее корневой системой. В естественной же обстановке глубина проникновения корней в почву и синхронизация онтогенеза с климатическими сезонами в оптимизации водного режима имеют большее значение, чем физическое водоудержание тканей листа.

2. Ошибки несистемного подхода

Эксперимент как диалог наблюдателя с изучаемым объектом будет иметь смысл только при установлении первичных связей, а не отдаленных последствий или вторичных несущественных эффектов.

Этот постулат раскрывает источник многих ошибок, особенно частых при экстраполяции результатов упрощенных экспресс-опытов на характеристики целого растения или посева. При работе с селекционным материалом желательно использовать достаточно быстрый метод, позволяющий с минимальными затратами труда дать массовую оценку образцов на ранних этапах отбора. Такая диагностика основана на корреляционной (но не всегда на функциональной) связи наблюдаемого биохимического или биофизического параметра с устойчивостью или продуктивностью. Но последние являются итогом многих физиологических процессов, молекулярных, генетических и морфологических особенностей растения. Часто их взаимодействия настолько переплетены, что трудно выделить главенствующий фактор. В таких случаях говорят о полигенной

детерминации признака. Вопрос о выборе сроков наблюдения и параметров, которые бы обеспечили корректность опыта и соответствие оценок процессам, протекающим в целом растении, должен решаться на основе системного подхода.

Периодичность наблюдения, взятия проб для анализа во всех случаях должна быть сопоставима со скоростью реагирования того уровня организации, который является объектом нашего исследования. Биология имеет дело с системами, для которых главным свойством является изменение, развитие, динамика во времени. И, чтобы зафиксировать ее, наблюдения следует проводить достаточно часто. В противном случае, мы рискуем обнаружить только два стационарных состояния (исходное и конечное) без перехода между ними. Если же интервалы между наблюдениями слишком малы, то мы не заметим существенных изменений, т.к. избранные периоды окажутся меньше, чем время реагирования данного уровня системы.

Следовательно, изучение молекулярных или клеточных процессов должно проводиться с малыми интервалами между наблюдениями (от нескольких секунд до одного часа), а при работе на уровне целостного растения - с суточными, недельными и даже месячными интервалами. Химический анализ растения, проведенный через несколько дней после воздействия на объект, отражает не столько клеточный уровень саморегуляции, сколько корректирующее влияние организма на физиологию клеток данного органа.

Допустим, экспериментатор изучает индукцию нитратредуктазы в связи с внесением в питательную среду нитрата. При исследовании индукции на биохимическом уровне (клетка) определение нитратредуктазной активности следует проводить в гомогенате или на высечках листа после различных по продолжительности экспозиций его в индуцирующей среде. В случае исследования тканевых процессов (ткань) используется отсеченный лист, и в процессе индукции могут быть применены ингибиторы синтеза белка, нуклеиновых кислот, разобщители дыхания от фосфорилирования и т.д. При исследовании организменного уровня (организм) экспериментатор помещает в питательный раствор корни растения, выращенного на безнитратной среде, а потом определяет количество восстановленного азота в листьях разного возраста. Для построения динамической кривой, как и в предыдущих случаях, следует провести достаточно длинный ряд определений, интервалы между ними будут измеряться уже не минутами, а многими часами и сутками.

Полная характеристика индукции этого фермента может быть получена только в том случае, когда определение скорости восстановления нитратов будет проведено в одни сроки во всех органах. В этом случае можно рассчитать баланс активности всего организма и установить долю отдельных его частей. Часто практикуется определение активности фермента только в наиболее молодом листе, но такой опыт ни в коей мере не может дать характеристик сорта.

Более или менее полный охват органов растения химическими анализами, да еще и при изучении временной динамики, очень трудоемок. По этой причине исследователь обычно определяет только те показатели, которые *интегрально* отражают общее состояние данного уровня организации. Применительно к целостному организму такими показателями являются сухой и сырой вес растения, площадь листьев, линейные размеры органов и др. Часто приходится сталкиваться с неуважительным отношением к подобным «несовременным» характеристикам как к чему-то несерьезному, недостойному науки.

Предположим, исследователь определил зимостойкость сортов, фиксируя температуру гибели клеток листа по вспышке сверхслабого свечения или по необратимому разобщению дыхания от фосфорилирования. *Несовпадение полевого испытания с этим экспериментом может иметь несколько причин.* Озимые культуры могут успешно отрастать и при полной гибели листьев. Использование последних в качестве объекта диагностики, дает заниженную оценку сортам, которые зимуют с потерей листьев, но с хорошей сохранностью узлов кущения. И дело не только в различной морозостойкости их тканей. Расположенные в почве узлы кущения зимуют при более благоприятной температуре по сравнению с надземными органами. И чем глубже они залегают, тем выше зимостойкость генотипа. В этом причина ошибок лабораторных оценок этого признака на изолированных узлах кущения. Определенную роль будет играть и ориентация листьев. Распростертость розетки обеспечивает лучшую сохранность листового аппарата во время зимовки. Указанные методы диагностики отражают морозостойкость клеток и тканей (но не организма), зависящую от генетически обусловленной конформации молекул биополимеров, структуры мембран и органелл. Морфологические же признаки растения относятся к организменному уровню приспособления.

Углубление в эту проблему приведет к выяснению роли такого организменного процесса, как осенняя закалка и связанное с ней торможение роста (Туманов, 1979), от влияния рецессивного состояния генов *Vrn* и *Rpd* в этом процессе и т.д. На каком-то этапе исследователь может обнаружить, что гибель озимых в данной зоне определяют не низкие, а повышенные (около 0°) температуры под толстым снежным покровом. И, значит, имеет место не вымерзание, а выпревание - процесс с другими защитными механизмами. Для не специалистов в этой области добавим, что причиной гибели могли быть вымокание, гибель весной от заморозков, осеннее повреждений цикадкой. Устойчивость к ним, конечно же, не тестировалась в описанном эксперименте и требовала иных условий испытания. Поэтому в самом начале работы необходимо изучить экологическую обстановку и выделить условия, которые играют определяющую роль в изучаемом явлении.

3. Выбор модельного объекта.

Этой проблеме многие экспериментаторы не уделяют должного внимания, несмотря на то, что правильный выбор объекта наполовину предрешает

успех работы. Представители сельскохозяйственных наук обычно используют реестровые сорта, почвоведы, физиологи растений, специалисты по микроклимату и многие другие используют семена «из мешка», совершенно не интересуясь их происхождением. В тех же случаях, когда исследователь задумывается над выбором объекта, решение принимается в пользу пристрастия и традиций коллектива, в котором он работает.

Главными критериями выбора объекта, на котором будет проводиться запланированное исследование, являются *удобство для работы и воспроизводимость получаемых результатов*.

Удобство модельного объекта. Если бы финансовые затруднения не заставили Т. Моргана отказаться от опытов на морских свинках (по некоторым данным - кроликов) и обратить внимание на дрозофилу, генетика, возможно, не стала бы лидером современной биологии. Дело в том, что последний объект давал возможность получить новое поколение в течение месяца и тем самым резко ускорить работу. И, напротив, именно использование неудобных для генетики плодовых культур Мичуриным и Бербанком помешало этим великим ученым понять глобальное значение законов Менделя.

Необходимо, чтобы выбранный нами модельный объект не затруднял, а облегчал решение поставленной задачи. В то же время, полученные результаты должны без натяжки экстраполироваться на возможно более широкий круг иных объектов и явлений. Поэтому избранная *модель должна иметь как можно меньше специфических свойств*, делающих ее несравнимой с другими интересующими нас растениями. С другой стороны, модели необходимы некоторые характеристики, облегчающие постановку эксперимента. Из этого следует, что не существует универсального модельного объекта на все случаи жизни. В каждой конкретной ситуации экспериментатор, взвешивая все *pro* и *contra*, находит оптимальный вариант. Поэтому все приведенные ниже соображения носят рекомендательный характер, и возможность их воплощения зависит от конкретной цели исследования.

Опыты в *лаборатории, климокамере или в теплице* требуют такого растения, которое легко переносило бы специфическую экологию помещения. Летом в лаборатории проводили серию опытов по устойчивости огурцов к охлаждению. Отдаленные эффекты охлаждения и закалки так и не удалось оценить по причине постоянного (в фазе 3-4 листьев) поражения растений паутиным клещом. По условиям эксперимента обработка растений ядохимикатами была крайне нежелательна, и следовало на старте работы в качестве модельного объекта взять не огурцы, а более устойчивые томаты.

Такого типа опыты часто проводятся при недостаточной интенсивности света, и потому в них следует использовать объекты, содержащие запасные фонды веществ, - прорастающие крупные семена, ростки картофеля. Для более поздних фаз онтогенеза прекрасным модельным растением являются бобы, отличающиеся весьма низким компенсационным пунктом фотосинтеза

в отношении света. Неплохим объектом для зимней работы в неосвещенной теплице или в лабораторном помещении является хризантема, которая достаточно вынослива к слабому освещению и может дать большое количество генетически идентичных растений благодаря легкому размножению черенками.

Возможность оперативно заложить новый эксперимент и проверить только что возникшие мысли требует быстрой подготовки объекта к работе. Здесь опять же можно рекомендовать проростки крупносемянных культур. Для быстрого проращивания свежесобранных покоящихся семян существуют специальные методы.

Для ускорения работы можно рекомендовать использование в качестве модели арабидопсиса, который заслуженно носит титул растительной дрозофилы. Наличие большого числа разнообразных мутантных и инбредных линий, высокая семенная продуктивность, короткая вегетация (от 1-2 месяцев) и издание специального международного журнала (*Arabidopsis servis*) делает этот объект весьма привлекательным. К его недостаткам относятся малая масса растения и достаточно тонкая технология проращивания крайне мелких семян. Имеется сообщение [Williams, Hill, 1986] о быстрорастущей капусте (*Brassica*), способной дать до 10 поколений в год, которая может быть моделью для исследований по генетике, защите растений, клеточной и молекулярной биологии. Для многих задач клеточной биологии очень удобна одноклеточная водоросль хлоридомонада (*Chlorella*), которая может легко культивироваться в лаборатории при питании как по автотрофному, так и по гетеротрофному типу. Это позволяет поддерживать мутанты с нарушенным фотосинтезом и получать уникальные результаты по биохимии и биофизике фотосинтеза. Наличие разнообразных мутантов и линий [Квитко и др., 1983], а так же компьютерной базы данных о штаммах [Чунаев, 1993] позволяет настоятельно рекомендовать этот модельный объект.

В большинстве опытов неполегающие и иммунные генотипы должны предпочитаться аналогичным неустойчивым образцам, т.к. требуют меньшей затраты сил на уход за ними. Равным образом следует предпочитать низкорослые растения высокорослым, если это не нарушает замыслов экспериментатора. Многие физиологические работы связаны с введением в растение тех или иных реагентов, метаболитов и т.д., что осуществляется опрыскиванием, инкубацией надземных частей в растворах или инфильтрацией их под давлением. В любом случае такая обработка не совсем надежна и может вызывать тяжелые побочные эффекты (особенно при контроле длительного последствия). По непонятной нам причине в экспериментах такого рода почти никогда не используются проростки риса, нормально развивающиеся под 2-7 сантиметровым слоем воды, который в любой момент можно заменить необходимым раствором. Аквариумные растения элодея и валлиснерия использовались еще в работах К.А. Тимирязева по изучению фотосинтеза и сейчас на них проводятся работы по исследованию биофизики и биохимии фотохимических реакций. В

специальных исследованиях фотосинтеза морских растений удобно использовать бурые водоросли, которые легко клонировать.

Воспроизводимость. Суть этого требования состоит в том, что при повторении эксперимента или его продолжении мы должны использовать тот же самый объект. Это, казалось бы, азбучное требование на деле совсем не просто выполнить. Большинство неразлиненных образцов имеют сложную популяционную структуру, и частоты отдельных генотипов в них могут сильно изменяться по поколениям [Агаев, 1987; Коваль, 1993]. При репродукции в различных регионах частоты генотипов в коммерческих сортах настолько изменяются, что спустя 8-10 лет под единой этикеткой оказываются совершенно различные образцы.

Качество семян сильно зависит от условий года и пункта репродукции. Даже элитные семена, выращенные в неподходящей зоне не реализуют всех возможностей своего генотипа.

При конструировании засушника необходимо предусмотреть возможность его перемещения (по рельсам). Опытный участок должен укрываться с помощью засушника, только на период дождя. После дождя засушник вновь передвигается на холостую стоянку. Передвижной засушник позволяет свести к минимуму влияние на растения «оранжерейного эффекта». При близком залегании грунтовых вод (1-1,5 м) возникает необходимость изоляции от них опытного участка. Без изоляции "эффект" засушника будет нулевой, так как корневая система проникает на глубину более 1 м, достигает грунтовые воды и эффективно их использует, что равносильно поливу.

4. Значение исходной гипотезы в выборе параметров для наблюдения.

Любой опыт должен планироваться и выполняться в рамках каких-то теоретических концепций. Концепциями в науке называются идеи или обобщенные понятия, направляющие наши размышления и исследования в определенном направлении. К концепциям относятся:

- определения, т.е. полезные понятия, получаемые из экспериментов (клеточное строение биологических объектов, зональное распространение растительности по земному шару, пищевые цепи в экологии, гомеостаз и др.). В частности, одной из концепций является постулат о различной скорости биологических процессов на разных уровнях организации;

- классификации объектов по тому или иному признаку;

- понятия, придуманные для облегчения анализа и осмысливания результатов наблюдений (полулетальная доза, К/хоз как доля ценной для нас части в общей биомассе, интенсивность фотосинтеза, транспирационный коэффициент);

В основе теории лежат *законы*, т.е. удобные соглашения, позволяющие привести в систему имеющиеся факты. Законом считается положение, которое имеет применение в наибольшем числе случаев и наилучшим образом соответствует теории, связывающей воедино огромное многообразие наших знаний о природе. Большинство законов - это отражение явлений природы, которые мы рассматриваем, абстрагируясь от

случайных факторов. Другой основой теории является набор *аксиом* - условий, которые не поддаются проверке и принимаются на веру в качестве отправного пункта наших рассуждений. Любая теория может быть справедливой только по отношению к лежащим в ее основе допущениям и аксиомам. При построении новой теории или при проверке существующей создаются гипотезы (в качестве удобных предположений), которые в отличие от аксиом поддаются проверке. Основное назначение гипотезы - служить отправной точкой для экспериментальной проверки теории.

Для чего ставят опыты? Опыт как искусственная упрощенная модель какой-то реальной ситуации, может преследовать две цели. Прежде всего, проверку тех или иных гипотез их уточнение и совершенствование. Именно к этой категории относится большинство экспериментальных работ в академических лабораториях. Но наибольшее число экспериментов проводится в плане разработки каких-то технологий, будь то испытание новых машин, лекарств или схем агротехники. При всей практической направленности эти опыты также являются проверкой теоретических предпосылок и уточнением наших знаний в данной области. Любой опыт на растении является вопросом, заданным нами объекту, на который мы желаем получить ответ. А этот вопрос должен быть поставлен с учетом всех наших знаний по данной проблеме.

Таким образом, цель эксперимента - проверка какой-то гипотезы с целью уточнения или опровержения теории. Замысел и планирование эксперимента должны быть полностью подчинены этой цели. Полученные в опыте результаты должны указать дальнейшее направление исследования, и потому корректно полученный результат не может допускать двусмысленного толкования. Но каждый факт нуждается в комментариях (критическом анализе степени точности, пределов применимости, воспроизводимости результатов, в новых гипотезах). По мере накопления фактов мы начинаем все больше зависеть от теории, в рамках которой рассматриваются результаты эксперимента. Из этого следует, что любой опыт должен планироваться и осуществляться только в рамках определенных гипотез, истинность которых он проверяет.

Выбор наблюдаемых параметров

Известно наличие у растений неспецифичной реакции на самые разнообразные экологические факторы. Но в любом случае мы можем обнаружить в пределах нормы реакции и специфические для данной группы воздействий изменения. Они, в первую очередь, и являются объектом наблюдения. Исследователь, выбирая для наблюдения тот или иной физиологический показатель, исходит из поставленной задачи. Параметр, по изменению которого предполагается контролировать состояние целого растения или отдельных физиологических систем, должен отвечать ряду условий. Важнейшими из них будут следующие:

а) данный показатель должен иметь как можно меньшее генетическое варьирование внутри изучаемой популяции или сорта. В ряде случаев это условие достигается использованием чистых линий;

б) при исследовании специфической реакции желателен выбор показателя, который мало зависит от колебания тех фоновых экологических условий, которые плохо поддаются стандартизации. В противном случае будет иметь место широкое варьирование по повторностям, и статистическая достоверность опыта снизится;

в) важным условием является удобство измерения наблюдаемого параметра и однозначное истолкование полученных результатов.

Всегда следует помнить, что с *увеличением технической сложности* метода или прибора возрастает и число возможных ошибок от некорректной подготовки образца, неправильной калибровки прибора, нарушения регулировки или в связи с недостаточным техническим уходом за установкой. Точность современного научного оборудования весьма притягательна, как и быстрота выполнения анализов. Возможности исследователя при этом возрастают во много раз, но он никогда не должен забывать, что самый совершенный прибор не исправит артефакта, возникшего от неправильного выращивания растений, служащих объектом опыта, или несоответствия запланированного и фактического режимов воздействия на объект. Поэтому следует принять за правило: никогда не пользоваться приборами и аналитическими методами, более сложными, чем это необходимо для достижения замысла исследователя.

Остановимся на вопросе о выборе параметров наблюдения в зависимости от изучаемого уровня организации. Уже отмечалась необходимость учета скорости протекания процессов на исследуемом уровне. В самом общем виде можно сказать следующее: чем выше уровень организации живой системы, являющейся объектом исследования, чем больше пестрота условий, тем более *интегральными* должны быть методы наблюдения и регистрируемые параметры.

В лабораторном опыте при работе на клеточном или тканевом уровне организации для исследования водного режима широко применяется определение связанности воды, диэлектрической проницаемости и коэффициента самодиффузии. При исследовании на уровне организма (вегетационный опыт) с этой целью используют показатели интенсивности транспирации и водного дефицита органов растения. А в случае изучения посева или естественного фитоценоза основными показателями водного режима становятся гидрометеорологические наблюдения, определение баланса поступления и испарения воды, а также исследование водного потенциала в системе почва - растение. Безусловно, определение основных параметров водообмена в ценозе не исключает дополнительного исследования в нем транспирации у доминантов сообщества. Такое наблюдение может дать ценную, но только дополнительную информацию. Определение же в полевом опыте биопотенциалов растения не дает иной информации, кроме как о факте освоения автором сложной методики.

Уже на этапе планирования эксперимента необходимо составить четкое представление о том, какие уровни организации играют основную роль в

интересующем нас явлении и в соответствии с этим выбрать наблюдаемые параметры и методы их регистрации.

Важно помнить о непригодности переходного периода между стационарными состояниями для регистрации наблюдений. Если накануне эксперимента с растениями, выращенными в факторостатных условиях, из-за неисправности регулирующих механизмов произойдет резкое повышение или понижение температуры, исследователь должен отложить опыт на несколько дней для восстановления равномерного течения физиологических процессов. В таких случаях не надо успокаивать себя тем что скачек условий был кратковременным, или ссылаться на соблюдение равенства условий в опыте, - все варианты подверглись незапланированному воздействию. Варианты опыта потому так и называются, что они разные, и, следовательно, будут различно реагировать на дополнительный фактор.

Часто в опытах, связанных с изучением устойчивости растений, отрицательное действие того или иного фактора принимают априорно, и при этом забывают, что один и тот же физический уровень фактора (температуры, освещения, водообеспечения) может восприниматься устойчивым генотипом как раздражение, а неустойчивым - как значительное повреждение. Поскольку норма реакции генотипа и уровень его адаптированности связаны не с физической, а с физиологической нагрузкой неблагоприятного воздействия, то для его оценки может оказаться полезным сравнение вариантов по изменению роста в последовательном ряду фитомеров.

В нормальных условиях на побеге злака длина каждой листовой пластинки, влагалища или междоузлия стебля примерно равна среднему между длиной выше и нижележащего органа. На побеге двудольных и ветвях голосемянных междоузлия в средней части годичного прироста фитомеры бывают примерно одинаковых размеров. Если, измеряя длину этих органов, мы находим отступления от данной закономерности, то правомерно предположить изменение условий в момент роста этих структур. Но о конкретной природе факторов, определивших усиление или подавление роста, мы не можем судить на основе только этой информации.

Когда ботаники делают вывод о засушливом периоде столетней давности на основании промеров толщины годичных колец на стволах деревьев, они превышают возможности данного метода. С таким же успехом эффект уменьшения толщины годичных колец мог быть результатом похолодания климата или стойкого уменьшения прозрачности атмосферы в результате катастрофического события (извержения вулканов, падения большого метеорита и др.).

5. Обработка результатов.

Запись результатов. Все результаты замеров и визуальные наблюдения должны записываться немедленно. Никогда не полагайтесь на свою память и не откладывайте записи "на потом". Запись должна производиться без какой-либо обработки. Если опыт длится более 1-2 дней, подсчет результатов

производите, не дожидаясь конца опыта, т.к. вычисления лучше делать по свежей памяти. При обработке результатов могут обнаружиться расхождения, которые приведут к необходимости внести изменения в опыт.

Не производите никаких (даже самых простых) вычислений в уме до записи измерений. Например, если для получения истинного отсчета на приборе показания на его шкале надо разделить на два, запишите показания шкалы прибора, а в соседней колонке результат деления. Помните, если при вычислении в уме, до записывания результата, вы допустите ошибку, то позднее ее уже не исправить. Избегайте переписывания. При перенесении первоначальной записи с черновика в "чистовую тетрадь" не только теряется время, но и возможны ошибки. Последние выявить очень трудно, а при уничтожении черновика - невозможно. Никогда не исправляйте ошибочно написанные цифры, чтобы потом не ломать голову над их расшифровкой. Лучше зачеркнуть неверную цифру и рядом написать правильную.

В большинстве работ используются не все результаты наблюдений. Часто мы приходим к выводу, что некоторые из них либо не очень показательны, либо не имеют отношения к делу. Иными словами мы отбираем результаты. Это совершенно правильно, если при отборе руководствоваться объективными критериями. Но первичные данные наблюдений надо обязательно сохранять, т.к. в дальнейшем они могут пригодиться.

В записях важна не красота, а ясность. Этому способствует подробное описание условий постановки опыта, календарных сроков его проведения, схемы, которые должны быть возможно проще и на которых следует указывать только то, что имеет отношение к эксперименту. Помните, описание условий опыта должно быть настолько подробно, чтобы любой квалифицированный экспериментатор мог его повторить, не прибегая к вашим пояснениям. Для сохранности результатов все данные, набранные на компьютере, полезно переписать на дискету - это спасет вашу работу в случае попадания в компьютер вирусов.

Заголовки таблиц должны быть достаточно подробными, иначе через несколько лет "слепая" таблица будет для вас немой. В каждой колонке надо указать наименование или символ и единицы измерения. В первичной записи группы данных необходимо разделить достаточно большими пробелами и каждой из них дать заголовок. Сводные результаты (например, средние по серии измерений) необходимо не только обозначить, но и подчеркнуть или как-то выделить. При ведении записи не нужно слишком экономить бумагу. В верхней части страницы следует оставить достаточно места для заглавия. После проведения нескольких наблюдений вы сможете уточнить заглавие или добавить к нему комментарий.

Вычисления. Производите все вычисления разборчиво и аккуратно, с четкой записью - неразборчивые записи являются источником арифметических ошибок. Проверяйте вычисления, особенно результаты сложных единичных обчислений. Старайтесь получить конечный результат различными способами вычисления. Чем сильнее ход и способ вычисления проверки отличается от первоначального расчета, тем лучше. Если при

проверке получен иной результат, то прежде всего нужно проверить верность первоначального расчета.

Все результаты одной серии наблюдений должны вычисляться с одинаковой точностью. Калькулятор способен выдать большое число знаков после запятой, но не имеет смысла вносить в таблицу число десятичных знаков, превышающее точность инструмента или прибора. Так, при измерении длины листьев линейкой (точность измерения 1 мм) не имеет смысла записывать среднюю величину с долями миллиметра.

Лукавые цифры. Значительная часть вычислений при обработке опытов имеет целью сделать результат наглядным, более доступным для осмысливания. На этом пути кроется немало подводных камней. Есть поговорка о том, что математика подобна жерновам - она перемелет все, что в нее подадут, но результат будет зависеть от качества вложенного.

Графическое изображение. Хорошей иллюстрацией будет такая, на которой результаты выражены полно и ясно, что нельзя передать словами на той же площади листа. Соотношение между текстом и иллюстрациями следует выбирать так чтобы передать наибольшее количество точной информации с наименьшей потерей времени и места. Ясно, что часть информации можно гтоедставить в виде таблиц. Состав питательных растворов, некоторые метеорологические данные и многое другое вообще нельзя представить в иной форме, кроме таблиц. В виде таблиц представляются и те результаты, которые читатель, возможно, пожелает подвергнуть проверке или какому либо пересчету. И, конечно, никогда не следует приводить одни и те же данные и в форме таблиц, и на рисунках.

Современная компьютерная техника дает большие возможности графического изображения цифровых данных, и экспериментатору совершенно необходимо освоить работу в соответствующих программах. Любая научная работа завершается написанием научного отчета или подготовкой публикации. Последний совет относится к изложению материала в этих итоговых документах. Не тоните в частностях, старайтесь выйти за пределы своих результатов и увидеть их место в общей картине. Читали ли Вы классиков экспериментальной биологии - Дарвина, Либиха, Чандра Боса, Тимирязева, Холодного, Докучаева, Костычева-младшего? Они не просто излагали результаты экспериментов, а развивали свои мысли на основе фактических данных. Они писали комментарии к точке зрения противников. Они излагали свои взгляды на картину мира вообще и в области их научных интересов в частности. И, кроме того, они владели хорошим литературным языком.

Литература:

1. К о в а л ь, С.Ф. Растение в опыте / С. Ф. Коваль, В.П. Шаманин. – Омск, 1999. – 201 с.