

СЗЛ.559
Б-24
72856

В. Д. БАРАНОВ
И. Г. ТАРАКАНОВ

**ПРОГРАММИРОВАНИЕ УРОЖАЕВ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР**

631.569
Б-24

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР
ПО НАРОДНОМУ ОБРАЗОВАНИЮ

В. Д. БАРАНОВ, И. Г. ТАРАКАНОВ

ПРОГРАММИРОВАНИЕ УРОЖАЕВ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

Учебное пособие



Москва
Издательство Университета дружбы народов
1990

42856

ББК 42.47
Б 24

Утверждено
Редакционно-издательским советом
Университета

Рецензенты:

докт. с.-х. наук *В. С. Никлаев*,
канд. хим. наук *А. В. Кузнецов*

Баранов В. Д., Тараканов И. Г.

Б 24 Программирование урожая сельскохозяйственных культур: Учеб. пособие. — М.: Изд-во УДН, 1990. — 71 с., ил.

ISBN 5-209-00249-7

Даны теоретические основы программирования урожая полевых культур, приведены методы расчета уровня урожайности и методы определения норм внесения удобрений. Экологические, биологические и агротехнические основы программирования урожая рассмотрены с учетом достижений ученых СССР, Болгарии, США и других стран.

Для студентов специальности «Агрономия», специалистов сельского хозяйства и экономистов, занимающихся вопросами управления, организации, планирования и программирования сельскохозяйственного производства.

Б $\frac{06010000000-046}{093(02)-90}$ 07-90

ББК 42.47

ISBN 5-209-00249-7

© Баранов В. Д., Тараканов И. Г., 1990 г.

ВВЕДЕНИЕ

Выполнение Продовольственной программы СССР предполагает интенсификацию сельскохозяйственного производства, более рациональное использование почвы, воды, потенциала новых сортов растений, а также внедрение интенсивных технологий возделывания и новых форм организации труда.

Интенсификация сельскохозяйственного производства требует развития новых представлений как об уровне продуктивности посевов, так и о самом процессе формирования урожаев. Теоретическим и экспериментальным фундаментом разработки конкретных агрономических рекомендаций и методик для решения указанных задач является программирование урожая.

Цель научных исследований по программированию урожаев состоит в том, чтобы дать колхозам и совхозам научно обоснованные технологические рекомендации, которые обеспечат максимальный выход продукции высокого качества, резкое повышение производительности труда и снижение себестоимости единицы продукции на основе разработки системы типовых моделей высокопродуктивных агрофитоценозов. Этому будет способствовать широкое использование достижений фундаментальных наук в агрономических исследованиях и переход к высокому уровню проведения научно-исследовательских работ, направленных на наиболее полное использование генетического потенциала возделываемых сортов и гибридов, на получение предельно достижимых, экономически оправданных урожаев по зонам страны.

Как важнейшая проблема времени программирование урожаев объединяет новейшие достижения растениеводства, земледелия, агрохимии, почвоведения, физиологии и биохимии растений, физики, кибернетики, метеорологии, экономики и других наук.

Основная цель программирования состоит в том, чтобы перейти к широкому использованию в агрономии количественных моделей и электронно-вычислительной техники для быстрой обработки большого объема информации о факторах, влияющих на рост и разви-

тие растений. Результаты обработки информации должны быть использованы при выборе оптимального варианта агрономических мероприятий, обеспечивающих получение программируемых урожаев.

Программированное возделывание сельскохозяйственных культур в своем развитии должно пройти два этапа: первый — программирование под имеющиеся ресурсы хозяйства сегодня и второй — технологические рекомендации, которые обеспечат максимальный расчет ресурсов под программируемый урожай.

Внедрение методов программирования урожаев означает интенсификацию технологических процессов в растениеводстве и постепенный перевод земледелия на промышленную основу со значительно более высоким уровнем производительности труда.

Метод программированного выращивания урожая не отрицает разработанных научными учреждениями и практикой приемов технологии возделывания культур, а предусматривает их использование с точным научным обоснованием всех слагаемых урожая.

ПРОГРАММИРОВАНИЕ УРОЖАЯ — АКТУАЛЬНАЯ ЗАДАЧА АГРОНОМИЧЕСКОЙ НАУКИ И ПРОИЗВОДСТВА

Постановление XXVII съезда КПСС (март 1986 г.) «Основные направления экономического и социального развития СССР на 1986—1990 годы и на период до 2000 года» в VI разделе «Развитие агропромышленного комплекса и реализация Продовольственной программы» определяет основные задачи агропромышленного комплекса как достижение устойчивого роста сельскохозяйственного производства, надежное обеспечение страны продуктами питания и сельскохозяйственным сырьем, объединение усилий всех отраслей комплекса для получения высоких конечных результатов в соответствии с Продовольственной программой СССР.

В сельском хозяйстве поставлена задача неуклонно наращивать производство зерна, увеличить производство твердых и сильных пшениц, крупяных культур, особенно гречихи, повысить валовой сбор зернобобовых культур и кукурузы. Продолжить создание крупных зон гарантированного производства зерна, особенно кукурузы на орошаемых землях. Довести в 1990 г. валовой сбор зерна до 250—255 млн т, сахарной свеклы до 92—95, подсолнечника до 7,0—7,1, картофеля до 90—92, овощей и бахчевых культур до 40—42, плодов и ягод до 14,5—15,5 млн т.

Обеспечить получение в 1990 г. 2,8—3 млн т хлопковолокна. Расширить посевы хлопчатника с более высокими технологическими свойствами волокна, повысить его выход и снизить потери. Наращивать выпуск и улучшить качество льноволокна, довести промышленную переработку льяной соломы до 50—60% общего объема ее производства. Увеличить сбор чайного листа, субтропических, эфиромасличных и других культур.

Усилить на основе использования биотехнологии и генной инженерии работу по созданию и внедрению в производство новых высокопродуктивных сортов и гибридов сельскохозяйственных культур, отвечающих требованиям интенсивных технологий и устойчивых к неблагоприятным воздействиям внешней среды, пригодных к машинной уборке и удовлетворяющих запросам пищевой промышленности. Принять меры к повышению сахаристости сахарной свеклы, устранению потерь. Совершенствовать организацию семеноводства и улучшать качество семян. Комплексно применять биологические, агротехнические и химические приемы борьбы с сорняками, вредителями и болезнями растений.

Продолжить реализацию долговременной программы мелиорации земель. Ввести за пятилетие в эксплуатацию за счет государственных капитальных вложений 3,3 млн га орошаемых и 3,6 млн га осушенных земель, выполнить культурно-технические работы на площади 8,3 млн га, улучшить техническое состояние действующих оросительных систем на площади 5,6 млн га, иметь к 2000 г. площадей орошаемых земель до 30—32 млн га и осушенных земель до 19—21 млн га.

Комплексно решать вопросы мелиорации земель и их сельскохозяйственного освоения. Повысить эффективность использования орошаемых и осушенных земель, добиваться получения на этих землях проектной урожайности. Программа мелиорации определяет выращивание в 1990 г. сельскохозяйственных культур на орошаемых землях с программированием урожаев на площади 6490 тыс. га.

На основе химизации сельского хозяйства и расширения применения органических удобрений планомерно проводить работы по повышению плодородия почв. Довести в 1990 г. использование органических удобрений до 1,5 млрд т. Эффективнее использовать в этих целях торф, сапропель и другие местные ресурсы. Улучшить хранение, совершенствовать способы внесения в почву, повысить эффективность применения удобрений и химических средств защиты растений. Целенаправленно осуществлять техническое перевооружение сельскохозяйственного производства.

Постоянное увеличение степени насыщенности сельского хозяйства тракторами и сельскохозяйственными машинами, минеральными удобрениями и ядохимикатами, развитие ирригации и достижения науки настоятельно выдвигают необходимость дальнейшего совершенствования технологии производства, чтобы получать максимальные урожаи.

В условиях экстенсивного земледелия агроном опирался лишь на знание простых однофакторных зависимостей типа «лимитирующий фактор — урожай». На современном же этапе при внедрении сортов интенсивного типа ему необходимо иметь четкое представление о взаимодействии многих важнейших характеристик продукционного процесса: фотосинтеза и дыхания, роста и развития растений, архитектоники посевов, их водного и теплового режимов, минерального питания и др. Только знание и учет взаимодействия этих факторов позволяют получать гарантированно высокие и сверхвысокие (по современным представлениям) урожаи при одновременном удовлетворении требований к повышению плодородия почв и охране окружающей среды.

Понятие «предельно достижимый уровень» будет все время изменяться в сторону увеличения по мере интенсификации земледелия, повышения эффективного плодородия почв, создания высокопродуктивных сортов и гибридов, новых средств защиты растений от вредителей, болезней и др.

Программирование урожая — это разработка комплекса взаимосвязанных мероприятий, своевременное и качественное выполнение

которых обеспечивает получение рассчитанного уровня урожайности сельскохозяйственных культур заданного качества при одновременном повышении плодородия почвы и удовлетворении требований охраны окружающей среды. При этом ход формирования урожая предопределяется составленной заранее программой с учетом почвенно-климатических условий района и биологических особенностей культуры. В установленной последовательности и оптимальные сроки применяются агроприемы, необходимые для достижения на каждом этапе предусмотренных количественных и качественных показателей роста, развития растений и продуктивности агрофитоценозов. Программирование урожаев предусматривает также корректировку хода формирования фитоценоза по этапам органогенеза растений на основании оперативно получаемой информации.

Программирование урожаев предполагает развитие интегрированного (комплексного) подхода к оценке роли и значимости различных факторов среды и их взаимодействия в процессе формирования урожая с целью принятия оптимальных хозяйственных решений. Практика планирования урожаев «от достигнутого уровня» не обеспечивает всестороннего учета факторов формирования урожая и оценки потенциально возможной продуктивности агрофитоценоза. Поэтому первая задача программирования урожая заключается в выявлении в данной почвенно-климатической зоне лимитирующего урожай комплекса факторов и обоснование действительно возможного уровня урожайности. Это обоснование производится на основе модели урожая, уровень сложности которой определяется как требованиями к необходимой точности расчетов, так и уровнем современных представлений о процессах формирования урожая. Программирование урожаев не является единовременным мероприятием, а должно рассматриваться как постоянно действующая и развивающаяся научная и опытно-производственная система ведения сельского хозяйства с использованием всей суммы знаний, методов анализа, расчетов и приемов земледелия.

За последние годы научно-исследовательскими учреждениями и вузами разработаны и внедряются методы получения программированных урожаев. Наиболее активно внедряются интенсивные технологии с элементами программирования урожаев в хозяйствах Молдавии, Украины, Северного Кавказа, Нижнего Поволжья. Существенный вклад в разработку теории и практики программирования урожаев вносят ученые Московской сельскохозяйственной академии им. К. А. Тимирязева, Ленинградского, Ивановского, Волгоградского, Башкирского, Казанского и других сельскохозяйственных вузов. Рекомендованные ими методы широко внедряются в учебно-опытных хозяйствах, обеспечивая получение урожая на поливных землях: озимой пшеницы — 55—60 ц/га, зерна кукурузы — 100 ц/га и более, зеленой массы — 1100 ц/га, сена люцерны — более 120 ц/га, зеленой массы однолетних кормовых культур за 2—3 урожая в год — свыше 1500 ц/га, капусты — до 1000 ц/га.

ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ПРОГРАММИРОВАНИЯ УРОЖАЯ

Получение высоких рассчитанных урожаев с одновременным повышением эффективности плодородия почвы — это новый шаг в агрономической науке. Всесторонний учет факторов, определяющих уровень урожайности, позволяет подойти к этой проблеме с научных позиций. Программирование урожая отличается как от прогнозирования, так и от планирования.

Планирование урожая — это первый этап программирования. Планирование предусматривает решение долгосрочных (перспективных), текущих (одного года) и оперативных (по этапам) задач. Исходит из запросов населения страны в продуктах питания и промышленности в сырье. Использует экономические методы в расчетах уровня урожайности.

Прогнозирование урожая строится на расчетах его формирования в определенных почвенно-климатических условиях. Цель прогнозирования — дать научное обоснование величины урожая при разработке планов производства сельскохозяйственной продукции.

Процесс программирования урожая состоит из нескольких этапов:

1. Определение максимально возможного, но реально достижимого уровня урожайности для конкретного случая (хозяйство, отделение, бригада, поле, участок) с учетом почвенного плодородия, климатических и экономических факторов.

2. Разработка научно обоснованной программы получения расчетного урожая.

3. Практическая реализация разработанной программы в производственных условиях.

В свою очередь решение каждого этапа программирования включает ряд элементов:

анализ агроклиматических условий района возделывания культуры с целью выявления лимитирующих факторов и определения потенциально возможного уровня урожайности;

расчет доз удобрений на запрограммированный урожай;

разработку технологических карт, предусматривающих проведение всех необходимых агрономических мероприятий с указанием способов и оптимальных сроков их проведения; своевременное и качественное выполнение разработанной технологии;

контроль за состоянием посевов и фактически складывающимися агрометеорологическими условиями;

учет урожая и анализ полученных результатов с целью накопления данных для последующего уточнения используемой методики программирования;

корректировку принятой агротехники.

Программирование — составная часть науки об управлении. Управление формированием урожая включает три основных этапа:

1. Сбор и обработка информации о состоянии посева и факторах внешней среды.

2. Оценка информации и принятие решения по дальнейшему осуществлению технологических приемов.

3. Практическая реализация принятых решений. Основная трудность, которая возникает при оценке продуктивности конкретной культуры, сорта, гибрида на данном поле, обусловлена непредсказуемостью погодных условий. Поэтому для оценки величины урожая должны быть использованы устойчивые статистические характеристики метеорологических условий, что позволит рассчитать не только уровень продуктивности посевов, но и вероятность его достижения.

Количественная оценка величины урожая и обеспеченности его агроклиматическими ресурсами дает возможность перейти к следующему шагу — разработке комплекса агротехнических мероприятий, обеспечивающих его получение. При этом должен быть выбран конкретный количественный критерий эффективности. В зависимости от поставленной задачи этот критерий может носить либо валовой (максимально возможный урожай), либо экономический характер (максимальный доход или минимальные затраты при получении заданного урожая). Заключительная стадия работы — обеспечение оперативных наблюдений за ходом формирования урожая и внесение необходимых уточнений в систему запланированных агротехнических мероприятий.

При программировании урожаев следует различать две группы факторов и условий, необходимых для получения любого урожая. К ним относятся:

1) группа биологических факторов — растение, посев (посадка) сельскохозяйственных культур, их состояние, структура агроценоза и урожая;

2) энергия и питательные вещества, непосредственно входящие в состав органической массы растения, в урожай.

Следует отметить, что изложенный подход к процессу программирования подразумевает тщательный учет особенностей каждого поля, и программирование урожая может эффективно проводиться только на тех полях, где имеется исходная информация по агрохимической характеристике почвы и другие сведения.

Зародившись в СССР в конце 30-х годов, метод программирования урожаев быстро стал достоянием научной мысли, а затем внедрился в практику. Первые опыты по программированию урожаев были проведены известным селекционером-картофелеводом Д. Г. Лорхом. Основу его программы для выращивания 500 ц/га картофеля в условиях Подмосковья составлял график нарастания биологической массы картофеля. В соответствии с графиком регулировались питание, водоснабжение и углекислотный обмен растения, фактический урожай в опыте составил 528 ц/га.

В те же годы проводил опыты с озимой пшеницей М. С. Савицкий. Он заранее составил структурную формулу урожая, которая включала густоту стояния растений, число продуктивных стеблей, колосьев, зерен в колосе, массу 1000 зерен. Далее он рассчитал норму удобрений на заданный урожай и систему орошения. Факти-

ческий урожай 99,8 ц/га зерна оказался близким к запрограммированному.

В настоящее время в СССР сформировалось несколько крупных центров в этой области и ими достигнуты значительные успехи: Московская сельскохозяйственная академия им. К. А. Тимирязева и Институт почвоведения и фотосинтеза АН СССР, Волгоградский сельскохозяйственный институт, Институт физики атмосферы АН Эстонской ССР, Агрофизический институт в Ленинграде, Белорусский НИИ почвоведения и агрохимии и ряд других.

Уровень исследований по получению высоких запрограммированных урожаев позволяет уже сегодня перейти к широкой производственной проверке и внедрению рекомендаций ученых. Так, если в нашей стране в 1978 г. урожаи программировались на площади 850 тыс. га, то в 1984 г. по программе возделывались около 4,0 млн га, в том числе на 2,7 млн га при орошении. По интенсивной технологии с использованием элементов программирования успешно выращиваются зерновые культуры, в том числе рис, кукуруза, сахарная свекла, картофель, подсолнечник, соя, хлопчатник и др.

Ученые социалистических стран (ВР, ГДР, ЧССР, НРБ и др.) совместно с советскими исследователями комплексно работают над созданием таких технологий, которые позволят экономично и эффективно использовать каждый гектар пашни. Программирование — это широкая и всесторонняя научная и практическая проблема, которая требует больших и целенаправленных усилий ряда научно-исследовательских центров различного профиля.

За рубежом интенсивные исследования по программированию урожаев сельскохозяйственных культур проводятся в Нидерландах на факультете теории продукционной экологии Сельскохозяйственного университета в Вагенингене, где под руководством проф. Ц. Т. де Вита и Ф. В. Т. Пеннинг де Фриза создан крупный коллектив, а также в Центре агробиологических исследований (Вагенинген и Амстердам). Здесь же практикуется проведение международных курсов по разработке количественных моделей продукционного процесса. В Великобритании наиболее фундаментальные исследования в данной области осуществляются на Ротамстедской опытной станции, а также в Научно-исследовательском институте тепличных культур (GCRI) в Литтлгэмптоне.

Помимо национальных научных учреждений важная роль в разработке передовых интенсивных технологий возделывания сельскохозяйственных культур в тропических и субтропических странах принадлежит ряду международных исследовательских центров, созданных во время «зеленой революции» в 60-е и начале 70-х годов. Вместе с крупными селекционными программами, организацией банков зародышевой плазмы здесь также работают над созданием «технологических паспортов» новых сортов и гибридов. Специализация отдельных центров определяется доминирующими сельскохозяйственными культурами, а также климатическими условиями регионов, которые они обслуживают. На Филиппинах в г. Лос-Баньос расположен Международный исследовательский ин-

ститут риса (IRRI), в Мексике в г. Эль-Батан — институт селекции кукурузы и пшеницы (CIMMYT). Два института организованы в Южной Америке: в Перу (г. Лима) работает центр исследований по картофелю (CIP), в Колумбии (г. Пальмира) — Центр тропического сельского хозяйства (CIAT). Международный институт тропического сельского хозяйства также организован в Нигерии в г. Ибадане (IITA). В г. Хайдарабаде (Индия) размещен центр по сельскохозяйственным исследованиям в полусухих тропиках (ICRISAT). На о. Тайвань работает Азиатский центр по исследованиям в области овощеводства (AVRDC).

НА КАКОЙ УРОВЕНЬ УРОЖАЙНОСТИ ОРИЕНТИРОВАТЬСЯ ПРИ ПРОГРАММИРОВАНИИ

До настоящего времени научные исследования по агротехнике велись и ведутся по отдельным вопросам: обработка почвы, густота стояния растений, норма и способы полива, дозы удобрений, физиологические и биохимические процессы, происходящие в растении под влиянием того или иного фактора, и т. д. Благодаря этим исследованиям разработаны рекомендации и агроуказания. Но это не удовлетворяет запросы производства. Задача состоит в том, чтобы уже сейчас на основе обобщения проведенных научных исследований и производственных опытов составить цельную научно обоснованную программу и вести работу к тому, чтобы эта программа была представлена в виде математической модели.

Конечно, первые программы являются упрощенными, недостаточно полными и хорошо математизированными. Но, как показывает опыт, даже эти простые программы позволяют получать урожай в 2—3 раза выше. Необходимо помнить, что получение высокого урожая требует больших знаний и усилий.

Исследовательские работы по усовершенствованию программ получения высоких урожаев должны идти по двум направлениям: во-первых, постановка и проведение многофакторных опытов по уточнению оптимальных уровней каждого фактора (доз и способов внесения удобрений, орошения, густоты посевов и посадок, размещения растений в пространстве и т. д.) с выделением эффекта взаимодействия этих факторов при их совместном применении; во-вторых, разработка математических моделей для программирования урожаев и коррекции программ.

В практической работе необходимо устанавливать более конкретные (обоснованные) уровни урожаев, на которые и следует ориентироваться при программировании. В связи с этим можно выделить три уровня урожая:

1) потенциальный урожай (ПУ), или максимально возможный урожай (МВУ);

2) действительно возможный урожай (ДВУ);

3) урожай в производстве (УП).

Потенциальный урожай — это урожай, который можно получить в идеальных метеорологических условиях (воды и тепла достаточно). Он может зависеть от прихода фотосинтетически активной радиации (ФАР), плодородия почвы, биологических свойств культуры и сорта. ПУ может быть определен при помощи ряда математических моделей, которые рассматриваются в разделе «Методы расчета уровня урожайности».

При программировании урожая ориентироваться на потенциальный, максимально возможный урожай нельзя, так как метеорологические условия за вегетацию обычно отличаются от идеальных.

Действительно возможный урожай — это максимальный урожай, который может быть получен в существующих метеорологических и почвенных условиях. Он может быть определен в результате постановки балансовых опытов. На основе многочисленных опытов по нашей стране можно считать, что действительно возможный урожай составляет около 60—80% от потенциального урожая.

Урожай в производстве — это урожай, полученный ниже действительно возможного урожая по причине упущений в агротехнике, поражения растений вредителями и болезнями, недостатков в организации производства. Все это приводит к тому, что ФАР и существующие погодные условия для создания урожая используются не максимально.

Рассмотрим это на примерах. Потенциальный урожай может быть в абсолютном значении довольно низким, например 10 ц/га. Но если плодородие почвы, климатические условия и агротехника не позволяют получить больший урожай и фактическая урожайность действительно составит 8—10 ц/га, то в таком случае оценка результата программирования урожая будет хорошая. Если же при потенциальном урожае 60 ц/га реально получится 30—40 ц/га, то этот результат с точки зрения программирования можно считать неудовлетворительным.

Качество программирования урожая в производстве следует оценивать не по абсолютному значению полученного урожая, а по разности между потенциальным урожаем и урожаем производства.

Программирование урожая начинается с обоснования величины возможного урожая: потенциального — по приходу солнечной энергии, действительно возможного — по биоклиматическим показателям, продуктивности почвы, по влагообеспеченности посевов и использованию ими влаги в течение периода вегетации.

Понятие «действительно возможный урожай» может меняться в сторону увеличения по мере возрастания интенсификации земледелия, повышения эффективного плодородия почвы, создания высокопродуктивных сортов, новых средств защиты растений от вредителей и болезней и других достижений.

Совершенно очевидно, что для получения урожая зерна порядка 100—120 ц/га и более следует составить научно обоснованный проект или программу, в которой должна быть предусмотрена вся технология, все потребности растения по периодам его роста и развития.

Задачей программирования урожаев является разработка мероприятий, позволяющих приблизить урожай в производстве (УП) к действительно возможному урожаю (ДВУ) и действительно возможного урожая к потенциальному (ПУ): УП→ДВУ→ПУ.

В идеальном случае урожай производства должен быть равен действительно возможному (Тоолинг, 1984).

МЕТОДЫ РАСЧЕТА УРОВНЯ УРОЖАЙНОСТИ

Программирование урожая сельскохозяйственных культур перестало быть только теоретической проблемой. В настоящее время оно вышло за пределы лабораторий и опытных полей и внедряется в производство в качестве научно обоснованной методики дальнейшего повышения эффективности земледелия.

Как же определить возможный уровень урожайности, который может быть получен в любой географической точке страны или на различных полях хозяйства?

При расчетах планируемых урожаев (определение уровня урожайности) еще недостаточно разработаны нормативы и в настоящее время предлагаются различные методы.

В производственных условиях возможны два решения: 1) изучить фактический уровень урожайности за последние несколько лет, проанализировать, за счет чего выращены наиболее высокие урожаи и в какой мере можно создать эти условия в целом по хозяйству; 2) использовать опыт и достигнутые результаты опытных станций, сортоучастков и т. д., расположенных в сходных почвенно-климатических условиях. В этом случае задача сводится к изучению тех мероприятий и условий, в которых выращены высокие урожаи, и к определению срока, когда такие условия можно создать в данном хозяйстве.

Общим существенным недостатком такого подхода к планированию урожайности является то, что наряду с более или менее полным перечнем факторов, влияющих на урожайность, здесь не указывается, как количественно соизмерить и учесть влияние этих факторов, какие из них являются определяющими, какова доля их влияния.

Показатель урожайности является величиной случайной (зависящей от множества факторов), а связь, существующая между случайными величинами, называется вероятностной. Обнаружить закономерности в случайных величинах позволяют статистические методы исследований.

Метод экстраполяции сложившихся закономерностей в динамике урожайности

До настоящего времени основное место в планировании урожайности культур занимают методы, в основе которых лежит принцип использования средних величин и темпов роста. Сущность этих методов заключается в экстраполяции сложившихся закономерностей в динамике урожайности на плановый период.

Средняя за последние 3—5 лет урожайность прошлого периода используется как базисная, а сложившиеся темпы роста экстраполируются для нахождения плановой урожайности. Годы с резкими отклонениями от среднего урожая исключаются.

Закономерность в динамике урожайности можно выразить количественно, найдя среднегодовой темп роста \bar{x} по формуле

$$\bar{x} = \sqrt[n-1]{\frac{x_n}{x_1}},$$

где x_1 — урожайность начального года; x_n — урожайность конечного года; n — количество лет изучаемого периода.

Пример. Нахождение среднегодового темпа роста урожайности за 5 лет.

$$\bar{x} = \sqrt[4]{\frac{18,4}{16,9}} \text{ (величина под корнем логарифмируется)}$$

$$\lg \bar{x} = \frac{\lg 18,4 - \lg 16,9}{4} = \frac{1,2648 - 1,2279}{4} = \frac{0,0369}{4} = 0,0092$$

$$\lg \bar{x} = 0,0092 \text{ или } \bar{x} = 1,021.$$

Темп роста урожайности составляет 102,1%. Умножая базисную урожайность на 102,1%, получаем плановую урожайность: в примере $18,4 \times 102,1 = 18,9$ ц/га.

Точность метода зависит от того, какая фактическая урожайность будет взята за базисную. Метод наиболее приемлем для текущего планирования.

Биологические методы

Биологической основой моделирования продуктивности посевов зерновых культур является формула М. С. Савицкого:

$$y = \frac{C \cdot B}{10},$$

где Y — урожайность, ц/га; C — густота продуктивных растений (стеблей) на 1 м²; B — средняя продуктивность одного растения (стебля); 10 — коэффициент для перевода урожая в центнеры с 1 га. Например, при густоте продуктивных стеблей озимой пшени-

цы 320 стеблей на 1 м² и массе зерна с одного колоса 1 г урожайность зерна составит 32 ц.

Структура урожая показывает, из каких элементов складывается его величина. Воздействие элементов на формирование урожая различно. В связи с этим выделяют шесть групп элементов.

Основные элементы, которые определяют урожай при любой его величине: число растений на единице площади при уборке, продуктивная кустистость, число зерен в колосе (метелке), масса 1000 зерен.

Элементы, формирующие количество растений на единице площади к уборке урожая: норма посева, полевая всхожесть (для пшеницы равна примерно 70%), процент перезимовавших растений (для озимых составляет примерно 90%), процент растений, сохранившихся к уборке урожая (70—80%), общая выживаемость — процентное отношение растений, сохранившихся к моменту уборки урожая на единице площади, к числу высеянных на ту же площадь всхожих семян (для озимой пшеницы составляет примерно 50%).

Элементы, определяющие продуктивный стеблестой на единице площади к моменту уборки урожая: число растений по фазам вегетации, общая кустистость, продуктивная кустистость, густота продуктивного стеблестоя.

Элементы продуктивности колоса (метелки): число колосков в колосе (метелке), число зерен в колоске, масса зерна в колосе (метелке).

Элементы, определяющие величину биологического урожая на единице площади: масса зерна в колосе (г), количество продуктивных стеблей на 1 м² при уборке урожая.

Элементы, определяющие выход хозяйственной части урожая: фактическая урожайность (ц/га) зерна, урожайность соломы, процент выхода зерна в общей массе урожая, потери зерна при уборке урожая.

Агробиологическое обоснование величины урожая зерновых культур по стеблестоя и содержанию питательных веществ в почве весной, по И. С. Травину (1974), позволяет определить норму посева семян (НП) для каждого уровня урожайности по формуле

$$\text{НП} = \frac{У \cdot 100}{(П \cdot К \cdot В) Пв} \text{ млн зерен/га,}$$

где У — величина программируемой урожайности, ц/га; П — продуктивность одного соцветия, г; К — продуктивная кустистость, шт. стеблей/раст.; В — выживаемость, %; Пв — полевая всхожесть, %.

Агрономический прогноз по густоте стеблестоя и трем агрохимическим факторам (азоту, фосфору и калию) обеспечивает высокую точность.

Высокопродуктивные сорта зерновых культур в общей массе урожая формируют примерно 40% зерна и 60% соломы и мякны.

Отношение урожая основной продукции (ц/га) к массе корневых и пожнивных остатков (ц/га) можно принять как 1 : 1.

Критерием оптимальной густоты продуктивного стеблестоя, обеспечивающего высокую урожайность, является сочетание оптимальной нормы посева и оптимальной продуктивной кустистости (табл. 1).

Таблица 1

Оптимальное количественное выражение элементов структуры урожая зерновых культур для нечерноземной зоны СССР (по Каюмову, 1977)

Культура	Количество растений на 1 м ² при уборке, шт.	Продуктивная кустистость, стеблей/раст.	Количество продуктивных стеблей на 1 м ² , шт.	Число зерен в колосе	Масса 1000 зерен, г	Возможная урожайность, ц/га
Пшеница озимая	400—450	1,5—2,0	600—700	32—42	35—45	100—150
Пшеница яровая	400—500	1,2—1,6	600—800	32—42	30—40	70—120
Ячмень яровой	300—400	1,5—2,0	600—800	21	50—60	70—110
Ячмень яровой многорядный	250—350	1,5—2,0	500—600	42	40—50	80—120

В зависимости от величины листовой пластинки при высоком уровне агротехники наиболее оптимальными установлены следующие показатели продуктивных стеблей озимой пшеницы на 1 м²: для сортов с широкой листовой пластинкой — 500—700, со средней по ширине — 700—800 и с узкой — 800—900 колосьев.

По проценту выхода зерна сорта озимой пшеницы разделены на три группы: 1) высокопродуктивные и малосоломистые (40—50% зерна); 2) среднепродуктивные и среднесоломистые (32—40% зерна); 3) малопродуктивные и высокосоломистые (25—32% зерна).

Для посева сахарной свеклы 12,5 растений на 1 м² при массе одного корнеплода 400 г биологический урожай составит 500 ц/га.

Для сахарного тростника одно растение на 1 м² и 10 продуктивных стеблей дает 100 тыс. стеблей/га и обеспечивает урожайность технических стеблей 100—120 т/га (масса 1 стебля 1—1,2 кг). При схеме посадки 1,6 м × 0,8 м это достигается посадкой примерно 3 растений на 2 м рядка, которые формируют по 8—12 продуктивных технических стеблей.

Разрабатывая вопросы программирования и программного управления урожаем риса на рисовых системах Кубани, ученые ВНИИ риса (Алешин, Руденко, Стомба, 1977) определили роль элементов структуры урожая (генотипных параметров) в формировании урожая основных сортов риса (табл. 2).

Таблица 2

Генотипные параметры основных сортов риса, возделываемых на Кубани
(данные ВНИИ риса, 1977)

Сорт	Генотип и продолжительность периода вегетации, дни	Некоторые особенности сорта	Генотипные параметры				Урожайность, ц/га	
			оптимальная густота, шт./м ²	кустистость, стеблей/раст.	средненность, шт. зерен	масса 1000 зерен, г	расчетная	максимальная зарегистрированная
Дубовский-129 Кубань-3	Скороспелый 97—110	Отзывчив на минеральные удобрения Устойчив к пониженным температурам, главному затоплению	250—350	2,5—3,0	70—100	32—36	240	80,4
	Среднепозднеспелый 105—115							
Краснодарский-424	Среднепозднеспелый 20—125	Чувствителен к низким температурам и пасмурной погоде	250—350	2,5—3,0	85—100	30—32	240	85,1
			250—350	2,5—3,0	120—130	31—34	320	108,7



Максимальные урожаи можно ожидать в том случае, когда густота стояния растений составляет 250—350 шт./м², продуктивная кустистость — 2,5—3 (600—800 метелок на 1 м²), озерненность каждой метелки — не менее 100 зерен, а масса зерна одной метелки в пределах 2,5—3,0 г.

Определение уровня урожайности по обобщенным агроклиматическим показателям

При программировании урожаев определение уровня урожайности является первым этапом работы. Этот уровень обуславливается прежде всего агроклиматическими ресурсами территории и плодородием почвы. Последнее позволяет определить величину урожайности для каждого конкретного поля, рассчитать нормы и дозы внесения удобрений и составить технологическую карту для получения программируемого урожая.

Оценка потенциальных урожаев в первом приближении может основываться на учете таких обобщенных агроклиматических показателей, как приход и усвоение растениями в посеве фотосинтетически активной радиации (ФАР), влагообеспеченность и теплообеспеченность посева.

Фотосинтетически активная радиация — часть солнечной радиации с длиной волны 380—710 нм, в пределах которой совершается процесс фотосинтеза. В географических широтах, где приход ФАР на посев не лимитирует урожайность сельскохозяйственных культур, расчет потенциального урожая по коэффициенту использования ФАР представляет интерес как определение предела урожайности, которая может быть получена при самых благоприятных режимах тепла и влаги.

Расчет потенциального урожая (максимально возможного) по приходу ФАР может быть проведен по формуле А. А. Ничипорвича:

$$ПУ = \frac{Q_{\text{ФАР}} \cdot K}{10^2 \cdot q \cdot 10^2},$$

где ПУ — урожайность сухой биомассы, ц/га; $Q_{\text{ФАР}}$ — приход ФАР за период вегетации культуры, млрд ккал/га; K — коэффициент использования ФАР, %; q — энергия, выделяемая при сгорании 1 кг сухой биомассы, ккал/кг; 10^2 — индекс перевода урожая в ц/га;

Например, запланировано усвоение посевом пшеницы 2% ФАР для района, где приход ФАР за период вегетации составляет около 2,0 млрд ккал/га:

$$У_{\text{биол.}} = \frac{2 \cdot 10^9 \cdot 2}{10^2 \cdot 4000 \cdot 10^2} = 100 \text{ ц/га.}$$

Если принять, что из общей массы урожая на долю соломы приходится 60%, то доля сухого зерна составит 40 ц/га. Указанное ко-

личество сухого вещества (100 ц) соответствует примерно 500 ц зеленой массы луговых травосмесей, картофеля и сахарной свеклы и 600 ц/га силосной массы кукурузы.

Использование в расчетах приведенной формулы предполагает наличие информации о приходе ФАР за период вегетации и допуск (выбор) заданного коэффициента ее накопления в урожае. Так, в условиях Подмосквы приход ФАР за вегетацию составляет около 2—2,5 млрд ккал/га, что достаточно для формирования биомассы 150—160 ц/га.

Коэффициент использования растениями ФАР в посевах зависит от биологических особенностей культуры, плодородия почвы, уровня минерального питания и применяемой агротехники. При достаточно высоком уровне агротехники процент усвоения ФАР посевом составляет 2—3, а при высоких урожаях он достигает 4—8. Между тем современные посевы используют 0,5—1,0% энергии.

На высоком агрофоне при КПД фотосинтеза 3—4% расчет ПУ по приходу ФАР дает для умеренных широт 10—15 т/га сухой биомассы. В районах с низким почвенным плодородием (пустыни Азии, Африки, Южной Америки) ПУ может варьировать от нуля до 3 т/га. Максимальное для планеты значение ПУ 28 т/га получено в окрестностях устья реки Нил. Очень высокие значения ПУ и в некоторых экваториальных областях (Buringh et al., 1975).

По международной программе «Фотосинтез и урожай» не менее 2% приходящей солнечной энергии за весь период вегетации, аккумулированной в биомассе, характеризует хороший урожай.

Расчет действительно возможного урожая по влагообеспеченности посева производится из соотношения:

$$ДВУ = \frac{100 \cdot W}{K_b},$$

где W — количество фактически доступной для растений продуктивной влаги, мм; K_b — коэффициент водопотребления, мм/ц, м³/т.

Величина продуктивной влаги (W) ориентировочно может быть найдена как разность между запасами ее на момент посева и перед уборкой плюс полезно используемая часть осадков, выпадающих за период вегетации. Для горизонтальной поверхности эта часть составляет 70—75% от общей суммы осадков.

Расчет урожая по влагообеспеченности посева целесообразно проводить дифференцированно по агроклиматическим районам, а в дальнейшем для каждого хозяйства и поля с учетом их микроклиматических особенностей и рельефа.

Действительно возможный урожай, определяемый по гидротермическому показателю продуктивности с учетом среднегодового баланса интегральной радиации, ресурсов тепла и влаги, может быть рассчитан по эмпирической формуле А. М. Рябчикова:

$$У = 22ГТП - 10.$$

В свою очередь $ГТП = 0,46 K_{увл.} \cdot n$, здесь

$$K_{увл.} = 0,06 \frac{W}{R},$$

где ГТП — гидротермический показатель (потенциал) продуктивности; n — число декад активной вегетации; W — ресурсы продуктивной влаги, мм; R — суммарный радиационный баланс интегральной радиации, ккал/см²; 0,06 — постоянный коэффициент, учитывающий удельную теплоту испарения; $K_{увл.}$ — коэффициент увлажнения.

Приведенные зависимости относят к случаю, когда $K_{увл.} \leq 1$. При $K_{увл.} > 1$ следует учитывать возможное снижение урожая по причине переувлажнения почвы и связанного с ним ухудшения условий аэрации.

Для перехода от урожая абсолютно сухой биомассы к урожаю зерна или другим видам хозяйственной части урожая может быть использована формула

$$Y_{хоз.} = \frac{100 \cdot Y_{биол.}}{(100 - \omega) \alpha},$$

где $Y_{хоз.}$ — хозяйственно полезный урожай, ц/га; $Y_{биол.}$ — урожай сухой биомассы, ц/га; ω — стандартная влажность основной продукции, %; α — сумма частей в отношении основной продукции к побочной в общем урожае сухой биомассы.

Коллективом ученых Волгоградского СХИ разработан метод оптимального программирования, который позволяет в конкретных условиях рассчитать и получить запланированные урожаи зерновых и кормовых культур в условиях орошения. Этот метод включает научно обоснованное прогнозирование урожая и поэтапного его формирования, целенаправленную оптимизацию (в возможном диапазоне) основных экологических, биологических и агротехнических факторов и управление формированием урожая на основе прогностической и оперативной информации (Листопад, Иванов, Филин, 1984). Метод предусматривает разработку и использование трех программ для получения программируемого урожая.

Прогностическая программа определяет планируемое нарастание органической массы урожая по этапам органогенеза (фазам развития) от всходов до полного созревания урожая. По фазам развития рассчитаны и элементы структуры урожая — оптимальная густота стояния, кустистость, а также слагаемые фотосинтетической деятельности посева — площадь листьев, фотопотенциал посева, коэффициент использования ФАР.

Оперативно-текущая программа (контролирующая) представляет собой фактический процесс нарастания урожая. Данные для контроля о состоянии посева по этапам органогенеза (фазам развития) получают методом «пробного снопа».

Корректирующая программа используется в случае расхождения данных прогностической программы и результатов фактического формирования урожая.

Приемы управления формированием урожая (полив, внесение удобрений, приемы ухода) используются в случае расхождения результатов свыше 10%.

Модель роста и развития посева по данному методу определяет выбор такого сорта и такой техники посева и обработки почвы, которые в совокупности обеспечивают 5—6% использования солнечной энергии и следующие показатели утилизации урожаем 60—70 ц/га зерна посевов озимой пшеницы 1,2—1,3 млрд ккал ФАР, 4 тыс. т воды для транспирации и испарения с почвы, 220—250 кг азота, 80—100 кг фосфора, 140—150 кг калия, 35—40 т CO₂ из воздуха.

Метод расчета уровня урожайности по качественной оценке почв предусматривает разработку шкалы бонитировки. Урожайность культуры повышается по мере приближения агрохимических показателей почвы к оптимальным (показатель pH, содержание гумуса, подвижных форм фосфора, калия).

Расчет действительно возможной урожайности проводится по формуле

$$ДВУ = B_n \cdot Ц_{б.п} \cdot K,$$

где ДВУ — действительно возможная урожайность; B_n — бонитет почвы, балл; Ц_{б.п} — урожайная цена балла почвы, кг; K — поправочный коэффициент на агрохимические свойства почвы (см.: Каюмов М. К. Справочник по программированию урожая. М., 1977).

Таблица 3

Шкала бонитировки дерново-подзолистой суглинистой почвы (B_n)

pH	Содержание P ₂ O ₅ на 100 г почвы	Баллы бонитета				
		яровые зерновые	озимая рожь	многолетние травы	картофель	кормовые корнеплоды
4,5	10	30—34	26—30	32—36	38—42	14—18
	10—20	42—46	38—42	40—44	42—46	18—22
	20	50—54	42—46	44—48	46—50	22—26
4,5—5,0	10	42—46	42—46	48—52	46—50	28—32
	10—20	50—54	58—62	62—66	50—54	32—36
	20	58—62	66—70	66—70	54—58	36—40
5,0—6,5	10	54—58	54—58	66—70	54—58	36—40
	10—20	66—70	70—74	82—86	58—62	44—48
	20	74—78	82—86	86—90	62—66	52—56
6,5	10	62—66	50—54	68—72	50—54	36—40
	10—20	74—78	66—70	86—90	54—58	44—48
	20	82—86	74—78	90—94	58—62	52—56

Бонитет пашни можно получить по данным бонитета почв хозяйства. В качестве примера приводим шкалу бонитировки дерново-подзолистой суглинистой почвы, разработанную В. А. Семеновым (табл. 3 и 4).

Таблица 4

Урожайная цена балла пашни,
кг продукции на 1 балл (Пб.п.)

Культура	Дерново-подзолистая почва				
	суглинистая	супесчаная на песке	супесчаная на морше	песчаная	торфяно-болотная
Озимая рожь	33	36	33	30	44
Озимая пшеница	36	23	34	25	36
Ячмень	39	35	38	25	43
Овес	33	30	30	28	35
Картофель	260	245	250	240	262

Принято считать, что хорошей окультуренности почвы соответствует $B_n > 60$, слабой — $B_n < 40$, средней — $B_n = 40-60$.

Урожайную цену балла пашни определяют для конкретных условий зоны путем статистического анализа данных урожайности по каждой культуре. Безусловно, цена балла пашни зависит от уровня плодородия почвы, ее агрохимических и агрофизических свойств.

Программирование урожая на основе использования математических методов

При программировании урожая на основе учета группы факторов необходимо:

использовать интегрированный (системный) подход к оценке влияния различных факторов среды на урожай с целью принятия оптимальных хозяйственных решений;

проводить учет балансовых соотношений по всем основным материальным и энергетическим компонентам, определяющим формирование урожая (радиация, тепло, влага, CO_2 , элементы минерального питания);

определять потенциально возможную урожайность по основным влияющим факторам;

разрабатывать модели формирования урожая, т. е. выразить все зависимости в количественной (математической) форме, позволяющей заранее, до проведения соответствующих мероприятий, рассчитывать величину и сроки предполагаемых управляющих воздействий (дозы и сроки внесения удобрений, сроки посева и уборки, оросительные нормы и др.);

планировать важнейшие агротехнические мероприятия с учетом статических закономерностей изменчивости неуправляемых метеорологических и гидрологических факторов — сумм активных температур, осадков, дат наступления первых и последних заморозков, запасов продуктивной влаги в корнеобитаемом слое почвы и других. Знание и правильный учет этих закономерностей позволяют разработать эффективные алгоритмы хозяйственного использования имеющейся в нашем распоряжении климатической и прогностической информации;

разрабатывать систему принятия агротехнических решений на основе выработанного количественного критерия.

Выращивание урожая по заданной программе предусматривает высокоэффективное использование знаний в области земледелия, растениеводства, агрохимии, физиологии растений и других наук, обработку и анализ результатов на ЭВМ и выдачу оптимальной технологии выращивания высоких урожаев.

По И. С. Шатилову (1977), программирование должно начинаться с определения величины возможного урожая биологической массы для каждого почвенно-климатического региона с последующим уточнением в конкретных местных условиях. Предварительно необходимо собрать следующую информацию по основным факторам роста и развития растений:

приход солнечной энергии на посев;

сумма активных температур;

количество продуктивной влаги;

осадки, выпадающие в течение периода вегетации;

водопотребление растений и режим орошения;

обеспеченность почвы гумусом;

наличие доступных для растений азота, фосфора, калия и микроэлементов;

оптимальная реакция почвенной среды;

вынос элементов питания культурами;

использование растением NPK из почвы и вносимых органических и минеральных удобрений;

структура посевов, обеспечивающая наибольшую продуктивность;

оптимальные сроки обработки почвы, внесения удобрений, посева и ухода за посевами;

продуктивность сортов;

меры борьбы с вредителями и болезнями;

мероприятия по ликвидации физических потерь при уборке.

Собрав максимальную информацию, необходимо выявить, какие из факторов жизни растений являются лимитирующими в получении рассчитанного уровня урожая и в какой степени их можно контролировать. Для количественной оценки связи между урожайностью и факторами, ряд из которых неизвестен, используются методы корреляционного и регрессионного анализов.

Построение математической модели для определения величины урожая включает ряд этапов:

- 1) отбор факторов, влияние которых будет учитываться;
- 2) отбор экспериментальных данных;
- 3) обоснование класса функций и выбор функции внутри класса;
- 4) вычисление коэффициентов регрессии;
- 5) оценка полученных результатов.

Абсолютное большинство наших агроприемов с достаточной точностью может быть описано в рамках линейных программ. При использовании регрессионного анализа проводятся исследования влияния агро- и других факторов на урожайность культуры.

Урожайность в этом случае рассматривается как искомая регрессионная зависимость от нескольких факторов (переменных)

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_n).$$

Общий вид уравнения регрессии, которое может рассматриваться как математическая модель урожая, представлен формулой

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + \dots + b_n X_n,$$

где Y — урожайность, ц/га; b_0 — свободный член уравнения, ц/га; b_1, b_2, b_n — коэффициенты регрессии, соответствующие независимым переменным (факторам урожая) X_1, X_2, X_n , ц/га.

Рассмотрим примеры решения подобной задачи. На южном черноземе Ингулецкой оросительной системы, в учебном хозяйстве Херсонского СХИ проведен многофакторный опыт с кукурузой ВИР-156, в котором изучались три глубины вспашки (X_1) — 20, 30 и 40 см; две нормы удобрения (X_2) — одна норма — 20 т/га навоза + $N_{60}P_{60}$ и поливы (X_3) — при влажности 60—70 и 70—80% ППВ (Лысогоров, Сухоруков, 1976).

В результате решения задачи, построенной по данным этого опыта, получено уравнение

$$Y = -658,62 + 2,872 X_1 + 95,639 X_2 + 15,585 X_3.$$

Коэффициент регрессии при X_1 указывает, что на каждый сантиметр углубления вспашки в изучаемых пределах урожай зеленой массы кукурузы возрастает в среднем на 2,872 ц/га, одна норма удобрений повышает урожай на 95,639 ц/га. Повышение влажности почвы на 1% ППВ при биологически активном ее уровне соответствует увеличению урожая на 15,585 ц/га.

Величина b_0 в этом уравнении отрицательная (—658,62). Это означает, что для получения самого низкого урожая необходимо превысить уровень непродуктивной влаги в почве (влажность завядания). Влажность завядания представляет собой биологический нуль этого фактора. В пределах от физического до биологического нуля, что составляет около 42% ППВ, вода не используется растениями для построения урожая. Рассчитанный на эту влагу урожай, равный 658,62 ц/га, в действительности не получается, его исключают при вычислении конечного прогноза урожая.

Построенная модель будет правильно характеризовать урожайность тогда, когда исходная информация получена в хозяйствах, работавших в нормальных условиях. Поэтому данные, характери-

зующие резкое изменение урожайности, из моделируемой совокупности исключаются.

Математическая модель позволяет управлять факторами (системой агротехнических мероприятий) с целью повышения урожая. Однако в практике возможности реализации приемов ограничены недостатком удобрений, воды для орошения, материально-технической базы.

Таким образом, возникает задача получения максимального урожая при ограниченных ресурсах, которая может быть решена методами математического программирования (Карманов, 1980).

Общая задача математического программирования ставится следующим образом:

$$\max f(X) = f(X_1, X_2, \dots, X_n),$$

при ограничениях

$$f_i(X_1, X_2, \dots, X_n) \leq b_i, \quad i = 1, 2, \dots, m \\ X_j \geq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n.$$

Целевая функция $f(X)$ представляет собой зависимость урожая от факторов. В системе неравенств записаны ограничения на ресурсы различных видов.

Задача математического программирования заключается в нахождении оптимального решения, т. е. среди множества значений переменных, удовлетворяющих системе ограничений, требуется найти такие значения, которые обращают целевую функцию в максимум.

В зависимости от вида целевой функции и функций, входящих в систему ограничений, задачи математического программирования подразделяются на задачи линейного и нелинейного программирования (Салмин, 1978).

Задачи линейного программирования наиболее изучены. В них определяют экстремум линейной функции при линейных ограничениях на переменные. В настоящее время для решения задач линейного программирования широко используется симплекс-метод.

Если целевая функция, или функция в системе ограничений, содержит нелинейные зависимости, то это — задачи нелинейного программирования.

Аппарат математического программирования в целом представляет собой комплекс математических моделей и методов решения задач оптимизации. Он является основой при построении математического обеспечения АСУ.

Сегодня объединенные усилия биологов, агрономов, математиков и физиков направлены на построение количественной теории продукционного процесса посева — на построение теории урожая. Работы в области математического моделирования продукционного процесса ведутся в СССР, Японии, Австрии, США, Голландии, Англии.

Любая математическая модель продукционного процесса со-

держит три основных крупных блока: гидрометеорологический, биофизический и физиологический.

С помощью гидрометеорологического блока рассчитывается микроклимат посева. При этом учитываются условия внешней среды: температура, влажность, скорость ветра, солнечная радиация и рассчитываются параметры внутри растительного покрова и в зоне почвы, прилегающей к корням.

Биофизический блок рассчитывает энерго- и массообмен между растением и внешней средой. Важнейшие звенья этого блока — расчет поглощения солнечной радиации, испарения, фотосинтеза, дыхания листьев в отдельных слоях посева. В этот блок входит и звено, определяющее снабжение растений элементами минерального питания. При решении задач первого и второго блоков в их условия обязательно включается «архитектура» растения и посева.

Первый и второй блоки уже в настоящее время позволяют рассчитать прирост массы растений за короткие интервалы времени (час, сутки) и взаимосвязь этого прироста с отдельными факторами внешней среды. Эти два блока дают возможность получить статическую модель продукционного процесса. Для этого учеными предложены упрощенные формулы, которые уже используются в практике. Для получения динамической модели необходимо в статический вариант модели продукционного процесса включить сведения о динамике развития растения и посева за период вегетации. Эту информацию возможно получить в третьем, физиологическом блоке.

Физиологический блок — самый сложный, включает сведения об основных физиологических процессах, определяющих в конечном итоге урожай. Данный блок предусматривает количественное описание закономерностей распределения и передвижения ассимилятов в растении, процессов роста и развития, регуляторных механизмов, учет и познание генетического кода растения.

При этом программирование урожаев как задача управления усложняется и, видимо, будет отнесена к новой ветви кибернетики, называемой ситуационным управлением. Но поскольку методы ситуационного управления еще не развиты до уровня, пригодного для применения в агрономии, то моделирование с параметризацией физиолого-биохимических и биофизических показателей остается наиболее приемлемым путем в программировании урожаев.

Недостаточность информации и знаний по вопросам физиологического блока является одной из главных причин, тормозящих создание динамической модели. Окончательная разработка полноценной динамической модели продукционного процесса, вероятно, задача XXI века, хотя фундамент ее закладывается уже сегодня.

Определение уровня урожайности для конкретного поля

Рассчитанные по агроклиматическим факторам потенциальные урожаи в реальных условиях могут быть получены только на по-

лях с достаточно высоким уровнем почвенного плодородия, на почвах менее плодородных урожаи будут соответственно ниже потенциальных. Чтобы определить уровень урожайности для конкретного поля, необходимо знать бонитет поля, который может быть определен на основе показателей агрохимических и физических свойств почвы и требований выращиваемой культуры к этим показателям.

Определение бонитета почвы может быть проведено по ряду признаков, например, тип почвы, механический состав, содержание гумуса, рН, содержание фосфора. При наличии данных по этим показателям в паспорте поля можно установить балл бонитета почвы для основных сельскохозяйственных культур.

Для определения уровня урожайности на конкретном поле с допустимой для практических целей точностью рассчитанную по агроклиматическим факторам величину потенциального урожая следует умножить на соответствующий данному полю почвенный бонитет. Например, потенциальная урожайность зерновых культур для агроклиматического района составляет в среднем 45 ц/га. Бонитет почвы поля прием равным 82 баллам (по 100-балльной шкале).

Программируемая урожайность поля в данном примере составит

$$\frac{45 \text{ ц/га} \cdot 82}{100} = 36,9 \text{ ц/га.}$$

В расчете на индивидуальную урожайность и определяются нормы внесения удобрений.

Ввиду отсутствия единой шкалы бонитета почв для всех зон при расчете ДВУ можно использовать информацию о полях с наиболее высоким и низким уровнем плодородия:

$$\text{ДВУ} = U_{\text{мин.}} + \frac{\text{ДВУ}_{\text{мин.}} - U_{\text{мин.}}}{B_{\text{макс.}} - B_{\text{мин.}}} \cdot (B - B_{\text{мин.}}),$$

где ДВУ — действительно возможная урожайность с учетом климатических условий и бонитета почвы; $U_{\text{мин.}}$ — среднегодовое значение урожайности на полях с низким бонитетом; $B_{\text{макс.}}$ и $B_{\text{мин.}}$ — наибольшее и наименьшее значение бонитета данной зоны; B — показатель бонитета почвы данного поля; $\text{ДВУ}_{\text{мин.}}$ — наименьшее значение действительно возможной урожайности, рассчитанное по различным климатическим факторам (влагообеспеченность, тепло).

По рекомендации Агрофизического института расчет ДВУ проводится различными методами. При программировании следует ориентироваться на минимальное значение урожайности.

УРОЖАЙ КАК РЕЗУЛЬТАТ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ РАСТЕНИЙ В ПОСЕВАХ

Физиология растений дала ряд критериев в определении высокого урожая. Растениеводство является системой мероприятий, нап-

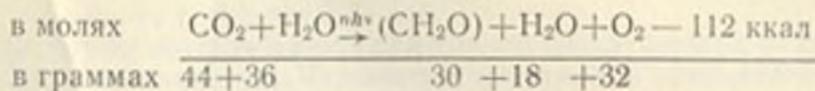
равненных на наилучшее использование процесса фотосинтеза зеленых растений.

Повышение валовых сборов продукции возделываемых растений возможно осуществить двумя путями. Первый путь — это расширение посевных площадей. В этом случае возможности ограничены, так как проведенные подсчеты показывают, что в результате мелиорации и освоения ряда территорий площади под сельскохозяйственными растениями могут быть увеличены в 2—3 раза. Увеличение же посевов на освещенных площадях одной культуры связано с сокращением посева другой.

Второй путь — повышение урожайности благодаря увеличению продуктивности фотосинтеза растений в посевах и, в частности, повышение чистой продуктивности фотосинтеза. Этот путь увеличения сборов продукции через фотосинтез таит в себе большие возможности, так как 90—95% биомассы растений составляют органические вещества, образуемые в процессе фотосинтеза. В то же время выяснено, что конечным решающим фактором, определяющим максимально возможную урожайность, может быть приход солнечной радиации.

Конкретной задачей на ближайшие годы в этой области является нахождение условий для повышения фотосинтетической активности растений в посевах, доведя использование ими солнечной энергии на фотосинтез вместо 0,5—1% падающей на поле до 3—5%, что соответственно повысит и накопление органической массы.

Главная особенность процесса фотосинтеза состоит в том, что, используя воду как источник водорода, зеленые растения переносят с помощью энергии солнечного света (ФАР 380—710 нм) водород на восстановление CO_2 , и в результате этого образуются свободный кислород и органические вещества, в частности углеводы (условно $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$):



Однако в процессе фотосинтеза образуются не только углеводы. В общий метаболизм вовлекаются также азот, фосфор, сера, магний, калий, железо, медь, молибден и другие элементы минерального питания. Многие из них участвуют в образовании неуглеводных продуктов фотосинтеза (аминокислот, белков, липидов, хлорофилла), в биосинтезе структур и агентов самого фотосинтетического аппарата (Ничипорович, 1977).

Фотосинтез является и первоисточником той биологически активной энергии, которая необходима для усвоения элементов минерального питания. Решающая роль фотосинтеза в формировании урожая определяется усвоением углерода и энергии, а также, прямо или косвенно, и элементов минерального питания растений.

Биологический предел продуктивности листа растений или посева может быть достигнут тогда, когда фотосинтез будет осуществ-

ляться с максимально возможным коэффициентом использования приходящей энергии ФАР.

Таким образом, показатели КПД ФАР в формировании биологических урожаев являются одними из важных критериев для оценки достигаемых уровней активности и в разработке принципов и приемов ее увеличения.

Положительные результаты в этом направлении могут быть получены при переходе от изучения отдельных сторон деятельности растений к физиологии целого растения. Изучение жизни целого растения в конкретных условиях внешней среды с неизбежностью приводит к созданию частной физиологии. В исследованиях по частной физиологии растений за последнее время достигнуты значительные успехи. В настоящее время разрабатывается вопрос о структуре посевов как оптической системе, т. е. о пространственном расположении листьев растений, распределении света внутри посевов, которые могли бы обеспечить наиболее высокие коэффициенты использования энергии солнечной радиации на фотосинтез. При такой системе представлений все возможные агротехнические приемы рассматриваются как средство создания посевов и насаждений, предназначенных для наилучшего использования энергии солнечной радиации на фотосинтез и формирование урожая.

Подобный подход, когда основные приемы системы земледелия подчинены центральной задаче использования энергии солнечной радиации с заданным коэффициентом для формирования урожая, хорошо увязывает весь комплекс агротехнических мероприятий в единую систему.

Рассматривая исторический путь повышения продуктивности растений, можно условно выделить три периода развития и прогресса земледелия.

Первый — период XVIII века, когда при отсутствии знаний о природе жизненных процессов и причинах разной продуктивности растений земледelec пользовался элементарными приемами их возделывания, накапливая знания в результате практического опыта.

Во второй период развития и прогресса земледелия главной движущей силой стали научные знания, хотя и практический опыт не потерял значения. Начиная с XVIII века у растений исследованы дыхание и водопотребление, процессы роста, развития и особенности их реакций на многочисленные факторы. Во многом стали ясны взаимоотношения растений с почвенной средой. При этом было установлено, что чаще всего и на большей части территории земли факторами, определяющими уровень урожайности по закону минимума, являются недостаточное водоснабжение и низкое плодородие почв. На этой основе были разработаны многие рациональные приемы по возделыванию растений: обработка почвы, посевов и посадок растений, вопросы орошения, применение удобрений и т. д.

Однако в последние десятилетия стала возникать ситуация, когда увеличение уровней водоснабжения и доз удобрений перестает давать положительный результат и рост урожайности от приемов агротехники выражается затухающей кривой.

Дальнейший прогресс земледелия потребовал новых принципов работы в растениеводстве, переход к которым знаменует следующий — третий период его развития и прогресса. Принципиально новой характеристикой третьего периода развития и прогресса земледелия является детальное изучение полного состава всех положительных и отрицательных факторов почвенной среды, их изменений и реального значения для повышения урожаев в разных зонах и на разных почвах.

Фотосинтез как фактор урожайности

Проблема фотосинтеза и использования солнечной радиации — одна из важнейших в международной биологической программе. В настоящее время существуют два направления в изучении процесса фотосинтеза.

С позиции физики, химии и физической химии познание процесса фотосинтеза может привести к синтезу ценных органических продуктов путем использования даровых источников сырья — углекислого газа, карбонатов, воды и энергии солнца.

С физиологической и экологической точек зрения исследователи имеют целью всестороннее и наиболее полное изучение фотосинтеза как физиологического процесса, чтобы научно обосновать приемы возделывания растений, обеспечивающие наилучшие условия питания, и получение максимальных урожаев продукции высокого качества.

Знания в области фотосинтеза в последнее время развиваются чрезвычайно интенсивно и многие вопросы даже классических трудов находят дополнительное или иное толкование. В то же время продолжает развиваться изучение действия внешних факторов на фотосинтез — экология фотосинтеза. Это направление избрало своей задачей исследовать фотосинтез с учетом всех других процессов, протекающих в растении в различных условиях внешней среды, а также изучить влияние на фотосинтез таких сочетаний факторов, которые имеют место в разнообразных естественных местообитаниях растений.

Развитие эколого-физиологических исследований фотосинтеза послужило той основой, на которой развернулось изучение фотосинтеза как фактора урожайности растений, и здесь большой вклад внесли советские физиологи растений Л. А. Иванов, А. А. Ничипорович, А. С. Оканенко и многочисленные их последователи.

В наиболее ранних работах исследователи пытались найти прямую зависимость урожая только от интенсивности фотосинтеза, но это не привело к ожидаемым результатам. Значительный шаг был сделан Л. А. Ивановым (1941), когда в балансовое уравнение урожайности показатель интенсивности был введен только в качестве одного из слагаемых.

Л. А. Иванов выразил соотношение между фотосинтезом и урожаем следующим уравнением:

$$M + m = FPT - AP_1T_1,$$

где M — прирост массы сухого вещества растений за учитываемый период; m — масса отмерших за время вегетации частей растений; F — интенсивность фотосинтеза; A — интенсивность дыхания; P — фотосинтезирующая площадь; T — продолжительность процесса фотосинтеза; P_1 — рабочая поверхность дыхания; T_1 — продолжительность процесса дыхания.

Показатель FPT в этом уравнении, представляющий собой произведение интенсивности фотосинтеза, величины фотосинтетической (листовой) поверхности и продолжительности процесса фотосинтеза, назван продуктивностью фотосинтеза и определяет урожай сухой массы.

Большой размер урожая и высокое его качество могут быть получены только в том случае, если суммарный фотосинтез будет перекрывать затраты пластических материалов на интенсивные ростовые процессы и дыхание. В этом случае возникнут некоторые излишки ассимилятов, являющихся источником повышения сахаристости, крахмалистости и т. д. Для выражения этой зависимости был введен показатель — коэффициент эффективности фотосинтеза:

$$K_{\text{эф.}} = \frac{\text{масса образовавшегося продукта}}{\text{масса усвоенной } CO_2} \cdot 100.$$

Причем для образования разных веществ данный коэффициент неодинаков и равен: для моносахаров — 68%, крахмала — 61%, белков — 51%, жиров — 36%.

С агрономической точки зрения представляет интерес не общий урожай сухого вещества, не биологический урожай, а выход хозяйственно полезной его части (зерно, стебли, листья, клубни и т. п.). Эта часть урожая дает значительные колебания в зависимости от климата, удобрения и других факторов.

С учетом вышеизложенного уравнение Л. А. Иванова, дополненное А. А. Ничипоровичем, имеет следующий вид:

$$Y_{\text{хоз.}} = \frac{Y_{\text{биол.}} \cdot K_{\text{хоз.}}}{100} = \frac{FPT \cdot K_{\text{эф.}}}{100} \cdot \frac{K_{\text{хоз.}}}{100},$$

где $Y_{\text{хоз.}}$ — хозяйственно полезная часть урожая; FPT — продуктивность фотосинтеза; $K_{\text{эф.}}$ — коэффициент эффективности фотосинтеза; $K_{\text{хоз.}}$ — процент хозяйственного урожая от биологического.

В дальнейшем начали развиваться представления о посевах и ценозах растений как о целостной динамической оптико-биологической системе, продуктивность которой зависит от количества поглощаемой ею энергии солнечного света и от коэффициента использования энергии на фотосинтез. Возникли представления об оптимальных ходах формирования площади листьев в течение вегетационного периода и о фотосинтетических потенциалах посевов.

Фотосинтетическая деятельность посева, в конечном счете определяющая размер и качество урожая, представляет собой сложное явление, включающее ряд следующих важных слагаемых.

Размер фотосинтетического аппарата, или площадь листьев, и графики ее роста. Именно от размеров площади листьев и пространственной структуры зависят количество поглощаемой посевом энергии, возможная первичная продукция органических веществ и суммарная транспирация. Выражается в $\text{м}^2/\text{га}$, достигает 60—80 тыс. $\text{м}^2/\text{га}$.

Иногда в литературе площадь листьев выражают индексом листовой поверхности, который представляет собой отношение суммарной площади листьев растений к той земельной площади, на которой они размещены.

Показатель фотосинтетического потенциала посева. Этот показатель является производным хода роста, размеров площади листьев и длины периода вегетации. Математически он представляет собой интеграл хода роста площади листьев в течение вегетации или сумму дневных показателей площади листьев (как основной рабочей единицы посева) за весь период вегетации. Практически может быть получен путем суммирования величин площади листьев в $\text{м}^2/\text{га}$ за каждые сутки в течение периода вегетации. Выражается в $\text{м}^2\cdot\text{с}$ или $\text{м}^2\cdot\text{сут}$, варьирует в пределах от 0,5 до 5 млн $\text{м}^2\cdot\text{с}/\text{га}$.

Показатель чистой продуктивности фотосинтеза, т. е. весовое количество общей сухой биомассы, фактически создаваемой растениями посева в течение суток в расчете на 1 м^2 площади листьев ($\text{г}/\text{м}^2/\text{сут}$). Изменяется в течение периода вегетации от 0 и даже отрицательных величин до 15—18 $\text{г}/\text{м}^2$ в сутки.

Потери органических веществ на дыхание, экзосмос в почву и отмирание органов. Резкие увеличения этого показателя могут наступать в периоды сильных повышений температур и засух. В связи с этим прирост общей биомассы урожая иногда не только приостанавливается, но она даже убывает.

Коэффициент хозяйственной эффективности фотосинтеза ($K_{\text{хоз.}}$), т. е. доли биомассы и энергии общего урожая, сосредоточенной в хозяйственной части урожая. Значение этого показателя чрезвычайно велико и он очень изменчив в зависимости от сопутствующих условий. Для примера можно указать, что у зерновых злаков $K_{\text{хоз.}}$ может варьировать от 0,25 до 0,55. Все агротехнические мероприятия, включая применение удобрений, поливы и т. д., должны быть направлены на получение наивысших значений $K_{\text{хоз.}}$.

Фотосинтетически активная радиация (ФАР)

Исследованиями еще в конце прошлого века было установлено, что процесс фотосинтеза, в результате которого образуется органическое вещество, составляющее 90—95% сухой биомассы растений, происходит при селективном поглощении лучистой энергии листьями растений. В результате лабораторных исследований было установлено, что растения в искусственных условиях могут нормально расти и развиваться в спектре излучения 300—800 нм при отсутствии ультрафиолетовых и инфракрасных лучей. Эту область спектра,

которая обуславливает важнейшие физиологические процессы — фотосинтез, синтез пигментов и фотопериодизм, называют физиологически активной областью излучения.

Фотосинтетически активными являются лучи спектра от 380 до 710 нм, с энергией моля квантов соответственно от 40 до 70 ккал. Солнечная радиация имеет длину волны 300—4000 нм, а видимая радиация 400—750 нм.

Для процесса фотосинтеза, в ходе которого растения поглощают атмосферный углекислый газ и создают органическое вещество, наиболее существенное значение имеет солнечная радиация участка спектра, ограниченного длинами волн 380—710 нм, которая получила название фотосинтетически активной радиации (ФАР). Кванты энергии этого диапазона волн способны приводить в возбужденное состояние молекулы хлорофилла.

Радиационный баланс земной поверхности представляет собой остаточную радиацию или разность между приходящими к земной поверхности и уходящими от нее потоками коротковолновой и длинноволновой лучистой энергии. В общем виде формула радиационного баланса имеет вид

$$R = Q(1 - \alpha) - I,$$

где R — радиационный баланс; Q — суммарная солнечная радиация; α — альbedo, или отражательная способность подстилающей поверхности. Для влажного тропического леса $\alpha = 0,12$; I — эффективное излучение.

Для количественной характеристики радиационного потока обычно используют данные плотности лучистого потока, или интенсивность радиации, которая поступает в единицу времени на единицу облучаемой поверхности и выражается в кал/см²·мин или в кал/см²·день (рис. 1).

В приближенном выражении для расчета можно считать, что доля ФАР (380—710 нм) в интегральном потоке суммарной солнеч-

Таблица 5

Сумма фотосинтетически активной радиации
на разных географических широтах
(Каюмов, 1977)

Географическая широта, град.	Приход ФАР, млрд ккал/га	5% возможного прихода, млн ккал/га	Возможные биологические урожаи, т/га
0—10	9—6	450—300	113—75
10—20	8—5	400—250	100—62
20—30	7—4,8	350—240	88—60
30—40	4,8—3,2	240—160	60—40
40—50	3,2—2,0	160—100	40—25
50—60	2,2—1,8	110—90	27—23
60—70	2,0—1,2	100—60	25—15

ной радиации (300—4000 нм) составляет 0,50 (К — для рассеянной радиации 0,57; К — для прямой солнечной радиации 0,43):

$$Q_{\text{ФАР}} = 0,43 S + 0,57 D,$$

где $Q_{\text{ФАР}}$ — ФАР (фотосинтетически активная радиация); S — прямая солнечная радиация на горизонтальную поверхность; D — рассеянная солнечная радиация.



Рис. 1. Учет прихода ФАР в полевых условиях

Годовой ход ФАР подобен годовому ходу суммарной радиации, а сумма радиации определяется географической широтой территории (табл. 5). Для условий Московской области суммарная ФАР (ккал/см²) за год составляет 44,4, за период вегетации с $t_{cp.} > 10^{\circ}\text{C}$ — 28,6 и за период вегетации — $t_{cp.} > 5^{\circ}\text{C}$ — 33,4.

Фактические и теоретически возможные коэффициенты использования солнечной энергии на фотосинтез и формирование урожая

Листья растений, несмотря на огромное разнообразие форм, характеризуются общими чертами, совокупность которых позволяет рассматривать листовую пластинку как весьма совершенный оптический аппарат, способный улавливать и целесообразно использовать ничтожную и избыточную интенсивность солнечной радиации. Характерные оптические свойства листьев определяются, в первую очередь, оптическими особенностями пигментов зеленых растений — хлорофилла и каротиноидов.

Интенсивность потока солнечной радиации выражается в различных единицах. Наиболее часто интенсивность светового потока характеризуется количеством энергии в калориях, падающей на 1 см² поверхности в 1 мин (кал/см²).

На границе земной атмосферы, где интенсивность солнечной радиации более или менее постоянна, поверхность, перпендикулярная солнечным лучам, получает 1,91 кал/см²/мин. Эта величина носит название солнечной постоянной. Максимальная интенсивность солнечной радиации для Москвы равняется 1,48 кал/см²/мин и составляет 79% к солнечной постоянной. Это соответствует освещенности порядка 80—100 тыс. люкс.

Во многих работах встречаются исчисления интенсивности радиации в люксах. Это наименее точный метод оценки интенсивности радиации при изучении фотосинтеза. Люксметры регистрируют только часть энергии солнечной радиации, которая не полностью совпадает с фотосинтетической активной частью солнечного спектра. Приблизительно можно считать, что 1000 люкс на прямом солнечном свете соответствует 70—80 кал/дм²/ч общей радиации и 35 кал/дм²/ч фотосинтетической активной радиации. Энергия фотосинтетической активной части солнечного спектра (380—710 нм) составляет примерно 40—50% от энергии общей радиации (включая инфракрасную часть).

В практической работе непосредственный интерес представляет суточная изменчивость интенсивности солнечной радиации. Последняя достигает максимума в полуденные часы и снижается при переходе к утренним часам и вечерним, практически достигая нуля с наступлением навигационных сумерек, т. е. при опускании солнца ниже горизонта на 12°.

Значительным суточным колебаниям подвержена и диффузная (рассеянная) радиация. Процент этой части радиации в потоке

физиологической радиации даже в ясный солнечный день составляет не менее 15%. Роль рассеянной радиации увеличивается еще более в туманные и облачные дни, когда солнечная радиация может полностью состоять из рассеянных лучей. Рассеянная радиация по своему составу более благоприятна для растений, чем прямые лучи солнца. По данным Л. И. Иванова (1946), в рассеянной радиации на долю физиологической приходится от 50 до 90%, тогда как в прямых лучах солнца — не более 37% (табл. 6).

Таблица 6

Значение радиации различных областей солнечного спектра
(по Росу, 1975)

Вид солнечной радиации	Об- ласть, мк	% от всего потока	Эффект действия на растение		
			тепло- вой	фото- синтез	рост и разви- тие
Ультрафиолетовая — УФР	0,28— 0,38	0—4	несуще- ствен- ный	несуще- ствен- ный	сущест- венный
Фотосинтетически актив- ная — ФАР	0,38— 0,71	21—46	сущест- венный	сущест- венный	сущест- венный
Ближняя инфракрасная — БИКР	0,71— 4,0	50—79	сущест- венный	несуще- ствен- ный	сущест- венная

Существует три основных пути превращения и использования листьями поглощаемой энергии.

1. Энергия используется на фотосинтез и превращается в энергию химических связей. Эта величина достигает при высоких интенсивностях света примерно 1% и только в очень благоприятных условиях может быть вдвое большей.

2. Энергия тратится на теплоотдачу в окружающий воздух. Эта величина в среднем составляет 5% поглощаемой солнечной радиации.

3. Энергия, идущая на нагревание листа и испарение воды из листьев, — транспирацию.

Подсчеты использования энергии на фотосинтез дают следующую картину. Е. Фог (Fog, 1958) указывает, что общая годовая продуктивность Земли, включая морской планктон, приблизительно составляет $5,6 \cdot 10^{10}$ т в год. Следовательно, коэффициент использования солнечной энергии в процессе фотосинтеза, по подсчетам автора, не превышает 0,2% от общей радиации, достигающей земли, в то время как в кратковременных лабораторных опытах он может достигать 25%. По подсчетам Е. Ц. Вассинк (Vassink, 1959), использование энергии на фотосинтез на земном шаре составляет: для суши $K=0,27$, для океанов $K=0,11$, а общий для всей Земли коэффициент примерно равен 0,17.

Согласно теории продуктивности фотосинтеза посевы по их усвоению ФАР можно разделить на группы, имеющие следующие величины КПД фотосинтеза: обычно наблюдаемые (0,5—1,5%), хорошие (1,5—3,0%), рекордные (3,5—5%), теоретически возможные (6—8%).

По А. А. Ничипоровичу, осуществление всего цикла фотосинтеза (восстановление углерода, активизация воды и в ряде случаев активирование и восстановление сульфатов и нитратов) требует не менее трех-четырех молекул АТФ и четырех молекул усвоенной углекислоты. Чтобы они образовались в описанном выше процессе мобилизации электрона и водорода, необходимо 7—8 элементарных фотохимических актов поглощения соответствующего числа квантов энергии света. Это значит, что в наилучших условиях фотосинтез может идти примерно с 8-квантовым расходом, т. е. с поглощением и полезным использованием на фотосинтетическую работу 8 квантов света для восстановления одной молекулы углекислоты. Другими словами, при фотосинтезе идет 8-квантовый расход энергии растениями.

Согласно основному уравнению фотосинтеза при усвоении одного грамм-моля CO_2 (44 г) в продуктах фотосинтеза запасается 112 ккал энергии.

Если бы процесс во всех случаях шел с 8-квантовым расходом энергии и с запасанием в продуктах фотосинтеза 112 ккал на грамм-моль CO_2 , то КПД фотосинтеза в разных участках спектра соответствовал бы разным показателям, которые менялись бы от 21% в области синих лучей (энергия грамм-моля квантов при длине волны 400 нм равна 70 ккал) и до 37% в области красных (энергия грамм-моля красных лучей с длиной волны 680 нм равна 39 ккал).

Солнечный свет характеризуется сложным спектральным составом и энергия грамм-моля его в среднем равна 50 ккал. Значит, на фотосинтез с 8-квантовым расходом на солнечном свете должно поглотиться $8 \cdot 50 = 400$ ккал, а запастись в продуктах 112 ккал. Таким образом, максимальный КПД при солнечном свете может быть равен 28%. Это и есть теоретически возможный коэффициент использования поглощаемой энергии на фотосинтез.

Если принять, что во всех реакциях процесса фотосинтеза происходят неизбежные траты энергии в количестве примерно 20%, то максимально возможный КПД поглощаемой ФАР может составлять 25% при 8-квантовом расходе поглощенного света на грамм-моль усвоенной CO_2 , но с образованием и всех других продуктов фотосинтеза.

При 12-квантовом расходе на восстановление 1 грамм-моля листья должны поглотить 600 ккал энергии фотосинтетической активной радиации ($12 \cdot 50$); коэффициент полезного использования энергии поглощенного света в этом случае составит 19%. КПД поглощения ФАР посевом ниже, чем у отдельных растений.

Главная задача отсюда состоит в том, чтобы обеспечить растениям такие условия, при которых фотосинтез шел бы с КПД, наиболее близким к максимально возможному, иначе говоря, соответ-

ствующему 8—12-квантовому расходу. Суммарно возможный КПД использования приходящей энергии несколько ниже и составляет 5—6, а в хороших условиях 12—14%. Остальная энергия превращается в тепло и либо сильно перегревает листья, либо вызывает усиленное испарение воды и удаляется из листьев вместе с ее парами.

Для зоны тропиков возможные сезонные количества энергии выражаются величинами 10—7 млрд ккал/га, для зоны субтропиков — 7—5 млрд и для умеренной зоны — 4—1 млрд ккал/га.

Основная задача земледелия — использование энергии солнечной радиации через фотосинтез для образования органических веществ с наиболее высоким коэффициентом полезного действия. Уровень этих коэффициентов — один из основных объективных показателей в повышении урожая.

На каждый миллиард килокалорий ФАР, приходящей на посев, за период вегетации и на каждый задаваемый процент использования ее на фотосинтез и запасание в урожае растения должны получить около 750 м³ доступной для транспирации воды, 25 кг/га доступного для усвоения азота, около 150 кг/га доступных элементов минерального питания в оптимальной их комбинации.

Таблица 7

Коэффициенты использования солнечной энергии на формирование урожая

Ценоз или посев	Средний приход энергии за вегетационный период, млрд ккал/га	Сезонные накопления		Коэффициент использования, %
		биомассы, т/га	энергии, млн ккал/га	
Тропические леса (0—20°)	10	60	240	2,5
Сахарный тростник (10—25°)	8	40	150	1,9
Кукуруза, сахарная свекла (40—50°)	4	20—25	84	2,0
Картофель (50—55°)	3	15	60	2,0

Приведенные в табл. 7 коэффициенты характеризуют высокие урожаи. В практике же коэффициенты использования солнечной энергии в урожаях составляют 0,5—1,0%. Обусловлено это многими причинами: недостаточной обеспеченностью посева влагой, элементами минерального питания, несовершенством техники и недостаточным умением создавать посева, способные использовать энер-

гию Солнца на фотосинтез с максимальными коэффициентами полезного действия.

Следовательно, солнечная радиация представляет собой один из крупнейших резервов повышения урожайности, поэтому основная задача — использовать этот резерв наиболее эффективно.

УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ ФОРМИРОВАНИЯ УРОЖАЯ ПРИ ЕГО ПРОГРАММИРОВАНИИ

Получение посевов с оптимальным ходом роста площади листьев

На основе изучения фотосинтетической деятельности растений в посевах как главного фактора урожайности возникла система представлений об оптимальной структуре посевов, оптимальных ходах роста в них площади листьев и показателях их работы. Существование этих представлений сводится к оценке тех условий, которые дают возможность создавать посева, поглощающие наибольшие количества энергии фотосинтетически активной части солнечной радиации и с наибольшим коэффициентом полезного действия использующие ее на фотосинтез и образование общей и хозяйственно полезной части урожая.

Первой ответной реакцией растения на приток лучистой энергии является создание оптического аппарата, позволяющего наиболее целесообразно использовать энергию падающих на растение лучей. Рабочей фотосинтетической единицей в посевах может считаться 1 м^2 площади листьев. За вычетом расходов на дыхание 1 м^2 в результате фотосинтеза образует за сутки в среднем 4—7 г общей сухой биомассы. Рядом работ установлено, что оптическая плотность посева прежде всего связана с площадью листьев на 1 га. Было также выяснено, что по мере того как площадь листьев в посевах увеличивается, процент поглощаемой энергии сильно возрастает. Но в то же время было замечено, что поглощение энергии увеличивается только при возрастании площади листьев до определенных размеров: 30—40 тыс. м^2 на 1 га, а на высокоплодородных почвах — 50—60 тыс. м^2 на 1 га.

Однако, как отмечает А. А. Ничипорович (1961), показатель площади листьев 40—50 тыс. м^2 на 1 га в период наибольшего ее размера нельзя считать безусловно оптимальным для всех растений и всех условий. Так, для получения наивысшего урожая у кормовых культур и культур, выращиваемых на силос, где листья представляют хозяйственно ценную часть урожая, нужно стремиться к обеспечению развития площади листьев до 60—80 тыс. м^2 на 1 га. Но чрезмерно раннее формирование в посевах большой площади листьев отрицательно сказывается в дальнейшем на образовании и развитии репродуктивных органов. Отсюда следует вы-

вод, что площадь листьев должна быть оптимальной как по размерам, так и по ходу роста во времени.

В первой половине вегетации растения идет усиленный рост листьев, которые работают главным образом на свой рост, а также на рост стеблей и корней, что обеспечивает им нужное минеральное питание и водоснабжение. Затем при нормальном ходе процессов рост листьев прекращается и они начинают усиленно работать на рост репродуктивных и запасающих органов. Чем больше в этот период площадь листьев, тем интенсивнее они работают, чем дольше продолжается период их работы на рост и заполнение хозяйственно ценных органов, тем выше может быть хозяйственный урожай.

До некоторых уровней размеры урожаев находятся в тесной связи с размерами площади листьев, длительностью и интенсивностью их работы, интенсивностью и рациональным использованием продуктов фотосинтеза на рост растений.

Однако наряду с положительными последствиями увеличения плотности посевов и размеров фотосинтетического аппарата постепенно нарастают и отрицательные явления: усиливается взаимное затенение листьев, снижается средняя их освещенность, ухудшается аэрируемость посева, затрудняется перенос к листьям CO_2 из масс воздуха.

В практике полезность учета площади листьев может быть большей, если его сочетать с учетом хода нарастания сухой массы биологического и хозяйственного урожаев. В этом случае можно получить показатели чистой продуктивности фотосинтеза.

Чистая продуктивность фотосинтеза (ЧПФ) — отношение суточного прироста массы урожаев всего растения (г) к площади листьев (м^2), «работавших» в течение суток. Данная величина может быть рассчитана по формуле Кидда, Веста и Бриггса:

$$\text{ЧПФ} = \frac{B_2 - B_1}{\frac{1}{2}(L_1 + L_2) \cdot T}$$

где B_2 и B_1 — сухая масса растений с 1 м^2 или с 1 га посева в конце и начале учитываемого периода; L_1 и L_2 — площадь листьев растений с той же площади посева в начале и конце того же промежутка времени; $\frac{1}{2}(L_1 + L_2)$ — средняя площадь листьев за данный промежуток времени T .

Показатели чистой суточной продуктивности составляют от 5—6 до 10—12 г сухого вещества на 1 м^2 площади листьев в сутки. Иначе говоря, при нормальном фотосинтезе 1 м^2 листьев может накапливать в сутки 5—12 г сухого вещества урожая.

В умеренном климате со сравнительно невысоким приходом солнечной радиации максимальные величины прироста сухой биомассы за сутки составляют у C_3 -растений около 20 г/ м^2 (коэффициент использования ФАР 3—4%). В районах умеренных широт с прохладным климатом урожайность C_4 -растений лишь немного превышает эту величину; при повышенной же температуре их продуктив-

ность может достигать $50 \text{ г/м}^2 \cdot \text{сут}$ (Соопер, 1975). Однако уже в субтропической зоне с большей инсоляцией и повышенной среднесуточной температурой продуктивность посевов таких C_4 -растений, как кукуруза и сорго, устойчиво держится на уровне не ниже $40 \text{ г/м}^2 \cdot \text{сут}$. Рекордная величина $54 \text{ г/м}^2 \cdot \text{сут}$ была отмечена в опытах (Австралия) с *Pennisetum typhoides* (Begg, 1965).

Около 20—40% ассимилятов, образующихся в растении за вегетацию, расходуется на формирование и функционирование корневой системы. Обычно расход ассимилятов на эти цели выше у часто подрезаемых растений (пропашные культуры).

Количество и в значительной мере качество урожая определяются структурой отдельных растений и всего посева, т. е. соотношением отдельных органов и частей растений, пространственным их размещением, одновременностью созревания и т. п. Структура растений формируется последовательно. После окончания периода формирования какого-либо элемента исправить его недостатки уже нельзя (например, увеличить число колосков в соцветии), но возможно улучшение последующего элемента, формирование которого еще не началось (например, увеличить массу 1000 зерен). Эта особенность формирования урожая требует, чтобы мероприятия, направленные на регулирование конкретного элемента структуры растений, проводились до начала его формирования.

Управление процессом формирования урожая при его программировании рассматривается как интегральный метод рационального применения комплекса факторов роста и развития растений. Ведущая роль в формировании урожая принадлежит водообеспечению (орошению) и удобрению сельскохозяйственных культур. В конечном счете производственная ценность любой предлагаемой технологии выращивания сельскохозяйственной культуры определяется тремя показателями: количеством урожая, качеством урожая и себестоимостью единицы производимой продукции (ККС). Научно обоснованное программирование урожаев является качественно новым этапом в развитии земледелия, обеспечивающим прогрессивно возрастающий уровень ККС и, как следствие, высокую рентабельность сельскохозяйственного производства.

Остановимся на отдельных элементах структуры растений и посева. Оптимальные размеры фотосинтезирующей поверхности формируются за счет всех зеленых частей растения. Так, у зерновых культур фотосинтезирующая поверхность формируется постепенно из разных элементов. В период от всходов до конца кущения она практически состоит из листовых пластинок. От выхода в трубку до начала колошения фотосинтез осуществляют листья: их пластинки влагалища. Затем в процесс фотосинтеза включаются зеленые стебли, выдвигающиеся из влагалищ листьев (ко времени цветения их поверхность составляет до 20% от общей зеленой поверхности). Поверхность соцветий во время цветения составляет 10—16%. При длинной солоmine (озимая рожь) поверхность открытых частей стебля составляет 30—35% от общей зеленой поверхности. Например, на долю поверхности (одной стороны) листовых пластинок

одного стебля озимой пшеницы сорта Мироновская-808 в период начала формирования зерна приходилось около 30% от общей зеленой поверхности, освещаемой солнцем. Площадь продольного (осевого) сечения стеблей кукурузы достигает 35% площади листовой поверхности.

Различия в площади поверхности одного стебля зерновых культур в обычном посеве в один и тот же год не превышают 25—30%. Размеры же общей фотосинтезирующей поверхности 1 га разных посевов могут отличаться в несколько раз и зависят в основном от густоты стеблестоя. Поэтому наиболее реальной возможностью управления площадью фотосинтезирующей поверхности посева является регулирование плотности посева.

Густота стеблестоя имеет наиболее существенное значение в современной системе программирования урожая. Объясняется это тем, что густота стеблестоя хорошо коррелирует с урожаем зерна, и направленно изменить ее значительно легче, чем другие элементы структуры растений.

В системе мероприятий по получению планируемых урожаев технически просто регулировать количество необходимых питательных веществ. Также хорошо разработана технология орошения, методика расчета количества воды и т. п.

Менее разработаны способы управления структурой растений. Для получения планируемого урожая на первых этапах в качестве решающего элемента структуры, определяющего фотосинтез, следует принять густоту стеблестоя и регулировать именно этот элемент урожая.

В практической и опытной работе в большинстве случаев найдены такие нормы посевов и посадок, которые обеспечивают в данных условиях рост площади листьев по графикам, близким к оптимальным. Однако вопрос о нормах посева и посадки для разных растений и в разных условиях еще не может считаться вполне решенным.

Ряд авторов (Майсурян, 1959; Синягин, 1975 и др.) считали главной причиной существующих противоречий в применении нормы посева семян и способов посева отсутствие научного обоснования по использованию этих двух агротехнических приемов. В работах последних лет можно встретить указания, что каждый сорт должен иметь свою агротехнику с учетом его биологических особенностей. В связи с этим и вопрос о норме посева не утрачивает своего значения.

Существуют различные способы установления норм посева, и в настоящее время наибольшее распространение в практике имеют весовые нормы, выраженные в весовых показателях (кг, ц) на 1 га, часто без поправки на массу 1000 семян. Значительно реже нормы посева рассчитываются в миллионах всхожих семян.

На установление нормы влияют три фактора: цель возделывания, условия выращивания и сортовые особенности. В работах ряда авторов рекомендуется норму посева дифференцировать по культурам в связи с условиями посева. Полевая всхожесть может состав-

лять 60, 70, 80% и более. При расчетах нормы посева кроме полевой всхожести семян необходимы нормативы по выживаемости растений, продуктивной кустистости, продуктивности одного соцветия.

Практическим приемом управления формированием урожая в посевах является и способ посева. Например, более высокая эффективность узкорядных посевов зерновых культур по сравнению с рядовыми при одной и той же норме посева связана с более равномерным размещением растений на площади.

Эффективность смешанных посевов наиболее высока там, где водные и пищевые ресурсы не лимитируют фотосинтез и рост растений. И все же продуктивность многоярусного посева превышает продуктивность чистых посевов не более чем на 10—15%.

Азот как средство активного регулирования хода фотосинтеза в посевах

Все элементы питания так или иначе, безусловно, влияют на фотосинтез растений и его продуктивность. Однако роль разных элементов питания как для жизни растений в целом, так и для фотосинтеза различна.

Особое место среди других элементов питания занимает азот. Это особое положение азота определяется прежде всего тем, что при общей сумме зольных элементов 5—10% в сухой биомассе растений азот составляет 1—2%, в то время как фосфор — только около 0,5%.

Азот активно влияет на работу фотосинтетического аппарата растений. Он входит в состав молекул хлорофилла и белков, благодаря чему достаточное питание азотом обеспечивает новообразование хлоропластов и накопление хлорофилла в листьях. Хорошее питание азотом способствует быстрому синтезу белков, что предотвращает избыточное накопление крахмала в хлоропластах. Усиливая ростовые процессы, азот содействует более полному использованию ассимилятов, а следовательно, и лучшему первичному их образованию.

При хорошей общей агротехнике в лесостепной зоне Подмосковья на некислых почвах можно пользоваться следующими нормативами прибавок урожаев по азоту, фосфору и калию (табл. 8).

Приемом управления процессом фотосинтеза в посевах, очевидно, может быть и ориентация посевных рядов относительно сторон света. Теоретически данный прием решает вопрос рационального светового режима внутри посева. В практику же данный агроприем не внедрен, возможно потому, что в балансовых опытах по программированию урожаев его доля в формировании урожая существующими методами достоверно не выделена, так же как, например, и роль атмосферного азота, поступающего в почву с осадками.

Возможные прибавки урожая зерна (ц)
от внесения 1 ц удобрений

Удобрение	Пше- ница озимая	Пше- ница яровая	Рожь	Ячмень	Овес
Аммиачная вода (20%)	4,0	3,4	4,5	4,8	3,7
Аммиачная селитра	6,8	5,8	8,0	8,0	6,4
Мочевина	9,0	7,8	10,8	10,8	8,0
Суперфосфат	3,0	3,3	3,2	3,5	3,0
KCl	16,0	16,0	15,0	18,0	14,6
Нитрофоска:					
по азоту	2,0	1,7	2,4	2,4	1,9
по фосфору	1,5	1,7	1,7	1,8	1,5
по калию	2,8	2,8	1,7	3,2	2,6
Аммофос:					
по азоту	2,0	1,7	2,4	2,4	1,9
по фосфору	7,5	8,5	8,5	9,0	7,5

Значение контролируемых условий для выяснения потенциальной продуктивности растений

Опыт последних лет показывает, что изучение изменчивости растений успешно осуществляется в специальных лабораториях искусственного климата, или фитотронах, где экспериментатор может воспроизводить различные сочетания многих факторов внешней среды, а также создавать комплексы внешних условий, приводящие к небывало высокой продуктивности изучаемых растений. Примером служат опыты лаборатории светофизиологии Института агрофизики (Ленинград), где в искусственных условиях получены урожай томатов 100—140 кг плодов с 1 м² в год, а планы ближайших исследований предусматривают увеличение этого урожая в два и даже четыре раза. Для сравнения отметим, что высокие урожай томатов до 15—25 кг с 1 м² теплицы получают в Болгарии.

Томаты в опытах Института агрофизики созревают за 60 суток от всходов, в год получают шесть урожаев. Каждый отдельный урожай дает 23—25 кг плодов с 1 м². Эти опыты показывают, что существующие агроправила для томатов в закрытом грунте являются агроправилами низких урожаев и поэтому должны быть решительно изменены.

Из всех внешних факторов среды свет играет наиболее активную роль в выявлении изменчивости. Он действует на растение как сложный физический фактор: имеют значение и спектральный состав света, и фотопериодические циклы, т. е. суточные чередования света и темноты.

Параллельное возрастание продуктивности фотосинтеза и урожая биомассы является идеальным случаем. Сравнивая урожай озимых и яровых культур, сформированные за различные по продолжительности сроки, растениеводы пришли к парадоксальному

выводу, что озимые сорта (как и вообще поздние) продуктивнее ранних яровых. Продуктивность и раннеспелость растений стали в агрономии антагонистическими понятиями. Такое сугубо утилитарное представление о продуктивности растений не вполне верно, а в практическом растениеводстве понятие продуктивности растения фактически подменяется продуктивностью ценоза — посева, где очень часто индивидуальная продуктивность растения сведена к минимуму.

ПРИНЦИПЫ ПРОГРАММИРОВАНИЯ УРОЖАЕВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

Многолетние экспериментальные исследования и обобщения результатов работ по фотосинтезу, минеральному питанию, водному режиму, продуктивности растений в посевах, использованию посевами ФАР на формирование урожаев позволили академику И. С. Шатилову (1970) обосновать экологические, биологические и агротехнические основы программирования урожаев. Им предложены десять принципов программирования.

Первый принцип программирования урожаев состоит в том, чтобы определить биогидротермический показатель продуктивности фитомассы по приходу радиации, продуктивной влаги, сумме температур и периоду вегетации для конкретной географической зоны или даже на различных полях хозяйства.

Известно, что на земном шаре колебания в урожайности биомассы достигают от 2—3 (аридные районы) до 500 ц с 1 га в год (во влажных тропиках). Биогидротермический показатель позволяет определить количество биологической массы, которое может быть получено в конкретной местности. Например, для Московской области приход суммарной радиации (Q) составляет 25,5 ккал/см², продуктивная влага (W) — 385—420 мм, период вегетации (T) — 10 декад (ряд формул по определению биологической продуктивности рассмотрен ранее в разделе «Методы расчета уровня урожайности»).

Второй принцип программирования урожаев заключается в том, что его уровень определяется по коэффициенту использования растением фотосинтетически активной радиации (ФАР). Каждый килограмм сухой органической массы в среднем аккумулирует 4 тыс. ккал (с небольшим различием по видам). Для удобства расчетов можно принять за эту величину 4 тыс. ккал на 1 кг абсолютно сухой органической массы.

Зная приход ФАР за период вегетации, можно поставить задачу усвоения (накопления) культурными растениями, например 2 или 3% ФАР, а на основе этого показателя определить потенциальную урожайность культуры (сорта). Например, в Подмосковье приход ФАР с конца апреля по октябрь месяц составляет около 2 млрд ккал на 1 га. При усвоении 2% ФАР в урожае должно содержаться 40 млн ккал, что соответствует получению примерно 100 ц абсолютно сухой массы с 1 га.

В районах Средней Азии величина ФАР за вегетационный период достигает 8 млрд ккал на 1 га, что позволяет при усвоении 1% ФАР в урожае накопить 80 млн ккал. Это соответствует получению 200 ц абсолютно сухой массы с 1 га.

Для каждой культуры известна доля хозяйственно-полезной части урожая в общем урожае биомассы ($K_{хоз.}$). Последнее позволяет определить величину планируемой хозяйственно полезной части урожая.

В период быстрой интенсификации земледелия проблема повышения фотосинтетической деятельности посевов приобрела особое значение. Биологи различных стран, обсуждая проблему увеличения производства зерна и другой продукции, пришли к выводу, что необходимо применительно к различным почвенно-климатическим зонам планеты разработать приемы и методы агротехники, вывести сорта, которые при высокой агротехнике обеспечивали бы использование 2—3% ФАР, приходящейся на единицу поверхности за весь период вегетации.

В научных центрах СССР и других стран начаты исследования, направленные на разработку приемов и способов, обеспечивающих усвоение посевами 3% и даже 5% ФАР за период со среднесуточными температурами выше 10°C. В этом случае ПУ биомассы (сухая масса, ц/га) может составить для широты Ленинграда 250, Москвы — 312, а Ташкента и Душанбе — более 600.

В настоящее время таких урожаев пока не получают и приведенные расчеты являются постановочными на перспективу. Здесь перед сельскохозяйственной наукой возникает ряд крупных проблем, которые необходимо интенсивно изучать.

Одним из центральных является вопрос об изменении свойств почвы в связи с систематическим применением высоких доз удобрений. Получение высоких урожаев, конечно, связано с оптимизацией условий водоснабжения. Многочисленные экспериментальные данные по минеральному питанию, водному режиму, чистой продуктивности фотосинтеза и агротехнике дают возможность разработать такой комплекс мероприятий, который обеспечивает усвоение посевом заданного процента ФАР и получение запланированного урожая. Так, например, в опытах Г. П. Устенко по получению запрограммированных урожаев при орошении получены следующие урожаи: озимая пшеница — 73 ц/га при рассчитанном уровне урожайности 75 ц/га, кукуруза на силос — 1570 ц/га при рассчитанном уровне 1500 ц/га.

Третий принцип программирования урожаев состоит в том, чтобы определить потенциальные возможности культуры или сорта применительно к условиям, где предполагается возделывать культуру или сорт. Для получения запрограммированных урожаев необходимо знать и потенциальные возможности сорта. Эти данные можно получить путем непосредственного эксперимента или использовать характеристики сорта по результатам сортоиспытания.

Известно, что растения с высоким и ярусным расположением листьев способны лучше использовать солнечную энергию. В пре-

делах вида сорта, которые характеризуются острым углом отхождения листьев от стебля, лучше поглощают солнечную радиацию, чем те, у которых этот угол близок к прямому (пшеница, рис).

Четвертый принцип программирования урожая заключается в том, чтобы на поле, занятом растениями, сформировать такой фотосинтетический потенциал (ФП), который будет способен обеспечить запрограммированный уровень урожайности. Например, в условиях Подмосквы каждая тысяча единиц фотосинтетического потенциала обеспечивает получение 2,5—3 кг зерна.

По данным ученых Болгарии на орошаемых землях для урожая зерна кукурузы в 100 ц/га необходимо сформировать фотосинтетический потенциал, равный 3,0—3,3 млн единиц.

По данным И. С. Шатилова и сотрудников (1975), в агроклиматических условиях Подмосквы на экспериментальной базе ТСХА «Михайловское» на одну тысячу фотосинтетического потенциала (ФП) формируется: зерна 2,3—4,0 кг; клубней картофеля — 11,4—15,3; сена многолетних трав — 1,9—2,3 или биологического урожая зерновых — 7,0—9,8; картофеля — 4,3—5,4; многолетних трав — 2,3—2,9 кг.

В исследованиях Г. В. Чаповской и А. Г. Замараева (1967—1975) также установлено, что в формировании биологического и хозяйственного урожая озимой пшеницы, ячменя и овса большое значение имеет размер ассимиляционной поверхности. Величина урожая наиболее тесно коррелирует с фотосинтетическим потенциалом (ФП). Коэффициент корреляции составил: у озимой пшеницы $0,92 \pm 0,1$; ячменя — $0,81 \pm 0,1$; овса — $0,78 \pm 0,2$.

Пятый принцип программирования урожая состоит в необходимости правильно применять основные законы земледелия и растениеводства.

Урожайность — величина интегральная. Она обуславливается как биологическими особенностями культуры и сорта, так и условиями выращивания культуры. При программировании урожая необходимо учитывать следующие основные законы земледелия и растениеводства:

1) закон равнозначности, или незаменимости, факторов. Для нормальной жизнедеятельности растений исключение какого-либо даже незначительного фактора не может быть ничем компенсировано;

2) закон ограничивающего фактора, или закон минимума. Любые дополнительные затраты в земледелии без учета фактора, находящегося в минимуме, не могут дать должного эффекта. Закон минимума определяет систему земледелия, способы обработки почвы, проведение работ по мелиорации земель и т. д.;

3) закон возврата. Для поддержания плодородия почвы в нее необходимо вносить питательные элементы, потребляемые растением на создание урожая. Правильно определенные дозы дополнительно вносимых удобрений способствуют повышению плодородия почвы;

4) закон оптимума, или закон совокупного действия факторов.

Наивысшую продуктивность растений обеспечивает только оптимальное соотношение ряда факторов, различное в каждой зоне. При учете конкретных условий необходимо планировать систему удобрений, сроки посева, норму посева семян и т. д.;

5) закон плодосмена. При прочих равных условиях урожай более высокие в севообороте, чем при повторных посевах или монокультуре. Но при этом необходимо учитывать, что эффективность плодосмена различных культур неодинакова;

6) закон критического периода полевых культур по отношению к фосфору. Если злаковые культуры в начале развития перенесли фосфорное голодание, то высокий урожай зерна даже при хорошей обеспеченности фосфором в последующий период сформироваться не может;

7) закон физиологических часов. В зависимости от долготы дня и интенсивности освещения растения ускоряют или замедляют свое развитие. У растений короткого дня период вегетации в условиях длинного дня удлиняется, а у растений длинного дня, наоборот, сокращается;

8) закон регуляторной системы растений. Наивысший урожай можно получить лишь в том случае, если условия среды соответствуют требованиям растений, т. е. характеру внутренних процессов, обусловленных генотипом. Районирование культур построено на учете наличия у растений регуляторной системы. Успехи современной физиологии растений позволяют надеяться, что такие приемы, как поливы и подкормки, будут проводиться по сигналам, поступающим от растений.

Шестой принцип программирования урожаев состоит в том, чтобы разработать систему удобрений с учетом эффективного плодородия почвы и потребностей растений в питательных веществах, обеспечивающих получение планируемого урожая высокого качества. Для успешного выполнения этой задачи необходимы точные сведения о поступлении питательных веществ в растения по фазам развития и их распределении по отдельным органам растения. Количество же питательных веществ в почве по каждому полю в хозяйстве определяет агрохимическая служба. При разработке системы удобрения встречаются три возможных случая:

1) получение более высоких урожаев при внесении небольших доз удобрений с одновременным обеднением почвы питательными веществами;

2) получение сравнительно высоких урожаев и поддержание уровня эффективного плодородия почвы на исходном уровне;

3) получение предельно возможных урожаев для данного сорта в конкретной местности при одновременном повышении эффективного плодородия почвы.

Полевые опыты, проведенные в ТСХА и других научных центрах, показали перспективность применения расчетного метода определения доз удобрений для получения запрограммированного уровня урожайности.

Седьмой принцип программирования урожаев — разработка

комплекса агротехнических приемов исходя из специфических требований культуры и сорта. Успехи селекции последних лет определили разработку сортовой агротехники, так как новые сорта характеризуются иным ходом поступления питательных веществ и более экономным расходом влаги на формирование урожая.

Существующие сорта многих культур при увеличении плотности посева и размеров листовой поверхности снижают чистую продуктивность фотосинтеза в связи с затенением нижнего яруса листьев, ухудшением воздухообмена, а следовательно, и ухудшением снабжения листьев углекислотой. В результате снижается эффективность внесения высоких доз удобрений и орошения.

Поэтому во многих странах мира ученые разных специальностей разрабатывают модели растений, способных аккумулировать 5% и более фотосинтетически активной радиации. Например, обсуждается модель растения кукурузы высотой 30—35 см, на котором должен сформироваться один початок длиной 5—7 см и диаметром 2—3 см. Такую кукурузу предполагают (в случае ее создания) высевать сплошным способом, убирать обычным комбайном и получать 200 ц/га и более сухого зерна. Ведется работа и в противоположном направлении — по созданию многопочатковой кукурузы. Высказывается мнение о целесообразности создания пшеницы с мощным стеблем, содержащим много хлорофилла, но без листьев.

Особое место в создании высокоурожайных сортов и гибридов могут занять работы по интродукции и акклиматизации так называемых C_4 -растений. При фотосинтезе по типу C_4 (сахарный тростник, кукуруза, марь белая и др.) фотодыхание практически равно нулю, в то время как у растений с типом фотосинтеза C_3 на фотодыхание расходуется 20—25% ассимилятов.

В СССР по целенаправленной программе выведения высокопродуктивных сортов и гибридов уже с 1980 г. в производство переданы сорта с потенциальной урожайностью озимой пшеницы 80—90 ц/га, озимой ржи — 60 ц/га и более и сорта по другим культурам.

Для реализации потенциальных возможностей новых сортов необходимо знать их биологические и физиологические особенности и на основе этого строить агротехнику.

Восьмой принцип программирования урожаев заключается в том, чтобы в орошаемом земледелии обеспечивать потребность растений в воде в оптимальных размерах, а в богарных условиях определять уровень урожайности исходя из сложившихся климатических условий. Этот принцип основан на научной разработке режимов орошения с учетом обеспечения оптимальной влажности почвы. В умеренной зоне на образование 1 кг зерна требуется 1 т воды.

Для большинства культур оптимальной влажностью почвы считается 65—80% от предельной полевой влагоемкости. В условиях богарного земледелия представляется возможным определить вероятный водный режим растений на основе метеоданных и по ним рассчитывать водный баланс и уровень урожайности.

Конечно, при существующих изменениях погодных условий будут наблюдаться колебания в уровне урожайности. Но учет погод-

ных условий данного года позволит внести коррективы в разработку системы удобрения под следующую культуру с учетом последствий использованных удобрений.

Девятый принцип программирования урожаев состоит в том, чтобы обеспечить выращивание здоровых растений, исключив отрицательное влияние на их рост и урожайность болезней и вредителей.

Накопление достоверных экспериментальных данных по получению заранее рассчитанной урожайности позволит подойти к математическому моделированию программирования урожайности.

Десятый принцип программирования урожаев предусматривает использование математического аппарата для определения оптимального варианта комплекса агроприемов, выполнение которого обеспечит получение планируемого урожая.

По мере накопления фактов будут сформулированы новые принципы и отброшены устаревшие. Повышение культуры земледелия, выведение новых сортов, создание более эффективных форм удобрений, несомненно, в будущем приведет к получению и более высоких урожаев.

Ф. Энгельс писал: «Производительная сила, находящаяся в распоряжении человечества, беспредельна. Урожайность земли может быть бесконечно повышена приложением капитала, труда и науки» (Маркс К., Энгельс Ф. Соч. Т. 1, с. 563). Опыт мирового земледелия подтвердил правильность этих положений.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОГРАММИРОВАНИЯ УРОЖАЕВ

Основной экологический принцип повышения продуктивности — согласование потребности растения с условиями внешней среды. Он может быть достигнут за счет мелиорации и агротехники, оптимального районирования сортов и гибридов и возделывания сортов, в наибольшей степени соответствующих данным почвенно-климатическим условиям.

В настоящее время для прогнозирования урожая следует использовать те факторы, связь которых с урожаем достаточно определена, хотя такой прогноз и будет носить временный характер. С развитием работ по экологии фотосинтеза появилась потребность найти такую характеристику структуры растительного покрова, которую можно было бы непосредственно связать с элементами радиационного режима, а именно — с поглощением и рассеиванием потоков радиации внутри травостоя. В первую очередь эта структура зависит от характера распределения листьев и стеблей в занимаемом ими объеме.

Структуру посева создают следующие биометрические (фитометрические) показатели:

- 1) высота растений;
- 2) густота стояния;
- 3) индексы листовой и общей поверхности;
- 4) характер распределения площадей элементов растений по высоте;
- 5) пространственная ориентация листьев;
- 6) угол отхождения листа.

В США были поставлены опыты прогнозирования урожая сельскохозяйственных культур по данным температуры воздуха и количества осадков, при этом для расчетов широко использовалась вычислительная техника. Математические методы при расчетах системы удобрений применяются в ГДР, ФРГ, Голландии.

В СССР вопросы математического моделирования продукционного процесса разрабатываются учеными Эстонской академии наук. Дифференциальное уравнение Х. Г. Тооминга позволяет рассчитать уровень урожайности для любой точки СССР.

Краткий обзор публикаций в литературе дает возможность сделать заключение, что в настоящее время уже имеются необходимые условия для получения запланированных (запрограммированных) урожаев. Современная сельскохозяйственная наука располагает достаточным уровнем знаний для программирования урожая с довольно высокой степенью достоверности. В настоящее время происходит накопление новых экспериментальных данных в балансовых опытах для разработки научного подхода к программированию урожая сельскохозяйственных культур в различных районах нашей страны.

Установившееся мнение физиологов растений и агрономов о расходовании 80% поглощенной солнечной энергии на транспирацию (испарение через устьичный аппарат) требует определенной корректировки. В длительных опытах (Шатилов, 1978) получены следующие данные: посевы озимой пшеницы испаряли на удобренном фоне 316 мм воды, на что расходовалось 53,6% от поглощенной посевом радиации; в опытах с дозами удобрений на запланированный урожай суммарное испарение посевом озимой пшеницы составило 362 мм, на что расходовалось около 2 млрд ккал/га. или 54,7% приходящей солнечной энергии, или около 70% поглощенной посевом. В посевах ячменя на суммарное испарение было израсходовано 38,8% поглощенной интегральной радиации, у картофеля — 55% без удобрений и 66,4% — при внесении удобрений. Как показали эти опыты, расход воды непосредственно на транспирацию по вариантам и культурам составлял от 20 до 47% суммарного испарения.

В связи с этим очевидно, что принятые ранее величины транспирационных коэффициентов и приведенные в учебниках и монографиях есть не что иное, как суммарное испарение, или эвапотранспирация, а не собственно транспирация растений. Как ранее отмеча-

лось, урожай сельскохозяйственной культуры — величина интегральная, она определяется комплексом факторов внешней среды, агротехникой и биологией выращиваемого сорта.

Одной из биологических характеристик возделываемых растений (вида, сорта) является реакция на длину дня (фотопериодическая реакция). Большинство сортов и гибридов сельскохозяйственных культур реагируют на фотопериодические условия. В условиях неблагоприятного фотопериодического режима у злаков, например, усиливается кущение, причем возрастает, как правило, лишь общая кустистость, задерживается (з у растений с качественной реакцией не происходит вовсе) формирование генеративных органов и т. д. Фотопериодическая реакция может сильно ограничивать широтный ареал сорта или гибрида. Создание интенсивных сортов риса, пшеницы, других культур базируется на передаче им признака нейтральной фотопериодической реакции. Во время «зеленой революции» выведение малочувствительных к фотопериодическим условиям сортов позволило, например, продвинуть выращивание пшеницы в низкие широты (тропики), а риса — в районы со сравнительно большей продолжительностью дня (Evans, 1975).

Характер фотопериодической реакции (количественная, качественная) определяет уровень скороспелости. Скороспелые сорта и гибриды фотонейтральны или обладают количественной фотопериодической реакцией. Поскольку в пределах каждого вида существуют сорта с разной степенью фотопериодической чувствительности, этот факт следует учитывать при их районировании.

На продуктивность растения оказывает влияние тип фотосинтеза. Преимущества C_4 -растений проявляются в районах с повышенным приходом солнечной радиации и высокой температурой, т. е. в тропиках и субтропиках. Важно также подчеркнуть, что большинство C_4 -растений обладают и чрезвычайно высокой устойчивостью к засухе (например, африканское просо, сорго, амарант). Абсолютными рекордсменами по биологической продуктивности в низких широтах являются сахарный тростник (*Saccharum officinarum*) и слоновая трава (*Pennisetum purpureum*). В более удаленных от экватора районах наивысшая урожайность сухой биомассы отмечается уже у пастбищных видов сорго (*Sorghum bicolor*, *Sorghum Sudanense*), а также их гибридов. Сюда же относится и бермудская трава (*Cynodon dactylon*). Единственным видом среди культурных C_4 -растений, имеющих высокую урожайность в районах с широтой выше 40° , является кукуруза. Хотя ареал сорго достигает широты 50° , урожайность здесь уже сравнительно невысокая (Loomis, Gerakis, 1975).

Среди C_3 -растений в тропиках наивысшей продуктивностью, по видимому, обладает маниока (*Manihot esculenta*). Другой высокоурожайной корнеплодной культурой, но уже в умеренной зоне, является сахарная свекла. На широте выше 50° среди многолетних травянистых растений выделяется райграсс (*Lolium* sp.), а среди однолетних полевых культур — пшеница.

АГРОТЕХНИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОЛУЧЕНИЯ ПРОГРАММИРУЕМЫХ УРОЖАЕВ

Агротехническое обоснование уровня урожайности для каждого поля севооборота является первой частью программы по созданию посевов высокой продуктивности, имеющих оптимальное сочетание всех факторов жизнедеятельности растений. Программирование урожая требует своевременного выполнения всего комплекса работ согласно технологической карте от подготовки почвы и семян до уборки урожая.

Обработка почвы должна обеспечить улучшение ее агрофизических свойств, накопление влаги и действенную борьбу с сорняками, болезнями и вредителями. Предпосевное выравнивание и прикатывание полей способствует равномерности заделки семян и сокращает испарение воды.

Определение оптимальных сроков и способов внесения удобрений (органических, минеральных и извести) имеет особое значение при программированном выращивании урожая. Внесение удобрений требует соблюдения следующих правил: оптимальная глубина заделки, оптимальное пространственное размещение относительно корневой системы и равномерное распределение по полю. Локальное (внутрипочвенное) внесение удобрений имеет преимущество перед другими способами. В этом случае ленточным способом лучше вносить потребные нормы азота, фосфора и калия одновременно. Например, ленточное внесение основного минерального удобрения под картофель проводится одновременно с посадкой и удобрения располагаются одной лентой на 3—5 см ниже клубня или на той же глубине двумя лентами по сторонам от рядка клубней на расстоянии около 5 см от центра.

Сроки сева — также важный элемент технологии программирования урожая. Здесь имеет значение время начала посева и его продолжительность. Технологическая карта должна содержать все, включая и общеизвестные, но не всегда используемые агроприемы.

Технология программированного выращивания урожая полевых культур по обобщенным почвенно-климатическим показателям предусматривает (Шатилов, Замараев, Чаповская, 1985):

1. Определение продуктивности и уровня возможного урожая по лимитирующему фактору с учетом окультуренности и плодородия конкретного поля.

2. Расчет нормы внесения органических и минеральных удобрений с учетом выноса питательных веществ урожаем, использования их из почвы и удобрений, а также расширенного воспроизводства плодородия почвы.

3. Составление технологической карты, включающей обязательные агротехнические приемы, способы и сроки их выполнения, а также затраты труда и средств и себестоимость продукции.

4. Оперативную корректировку технологии или приемов управления формированием урожая с учетом реально складывающихся и

прогнозируемых погодных условий для поддержания в оптимальном режиме основных факторов, определяющих продуктивность посева.

5. Систематическую регистрацию условий выращивания урожая и изменений свойств почвы для последующего уточнения расчетов и совершенствования теории и методов получения высоких урожаев с одновременным улучшением плодородия почвы и охраны окружающей среды.

Метод программирования урожая требует высокой культуры земледелия и строгой производственной дисциплины, как и любая другая технология, основанная на точном расчете (рис. 2).

В настоящее время накоплен обширный экспериментальный материал, характеризующий ход поступления питательных веществ у различных видов растений. Известно и количество питательных веществ, необходимое на единицу хозяйственной части урожая. Например, в условиях Подмоскovie доступные для растений формы фосфора используются примерно на 5—7%, калия — на 10—12%, легкогидролизуемого азота — на 20% от их количества в почве. Учитывая эти данные, легко рассчитать количество удобрений для запланированного урожая.

Ведущая роль в управлении процессом формирования урожая принадлежит водообеспечению (орошению) и удобрению полевых культур. Коэффициент водопотребления (расход продуктивной влаги в м³/ц продукции) — величина непостоянная: он увеличивается или уменьшается в зависимости от всего комплекса агротехники.

Для получения запланированного урожая сельскохозяйственных культур важно иметь сорта, которые способны создать то количество органической массы, которое рассчитано по влагообеспеченности и питанию растений. Вопросы уплотнения каждого гектара пашни во времени (выращивание двух-трех урожаев в год на единице площади) и в пространстве (совместные посевы культур с разным уровнем расположения листьев) имеют важное агротехническое значение. Самые совершенные модели программируемых урожаев сельскохозяйственных культур имеют практическое значение в том случае, если весь процесс формирования урожая будет реально управляем.

Технологические основы программирования урожаев требуют четкого осуществления в заданной последовательности специально разработанного комплекса технологических операций, необходимых для достижения на каждом этапе формирования урожая заранее рассчитанных количественных и качественных показателей роста, развития и продуктивности растений в агрофитоценозе. Технология получения программируемых урожаев основана на точном расчете и требует строгой производственной дисциплины при выполнении всех без исключения операций. Только в этом случае удастся осуществлять эффективное управление формированием заданного урожая сельскохозяйственных культур в соответствии с составленной программой.

В программированной технологии все основные приемы направ-

лены прежде всего на решение главной задачи — использование заданного по программе количества ФАР на формирование урожая.



Рис. 2. Программированное выращивание кукурузы в Подмоскowie

Исследования по разработке технологии программированного возделывания культуры начинаются с определения ее потенциальной продуктивности в конкретных экологических условиях. При этом ставится задача наиболее полного использования генетического потенциала сорта или гибрида.

Программированное возделывание сельскохозяйственных культур требует четкого осуществления в заданной последовательности специально разработанного комплекса технологических операций, необходимых для достижения на каждом этапе формирования урожая заранее рассчитанных количественных и качественных показателей роста, развития и продуктивности растений. Следовательно, речь идет о принципиально новой технологии выращивания урожая, при которой определяющее значение наряду с общей оптимизацией основных регулирующих факторов жизни растений приобретает фактор времени — точное соблюдение временных параметров проведения технологических операций: сроков посева, поливов, внесения удобрений, обработки почвы, уборки и других приемов.

В связи с тем, что технология программированного выращивания урожая, обеспечивающая резкое повышение урожайности, требует некоторых дополнительных материально-технических затрат и привлечения дополнительных трудовых ресурсов, возможности широкого внедрения нового метода в хозяйствах могут различаться и определяться уровнем материально-технической базы хозяйства. Следовательно, на данном этапе развития земледелия (богарного и орошаемого) целесообразно вести по каждой культуре разработку нескольких типовых технологий, рассчитанных на получение разных уровней урожайности (от средней до максимальной экономически оправданной). Наличие таких технологий позволит внедрить программированное выращивание урожая практически в любом хозяйстве и существенно увеличить валовые сборы зерна и кормов.

Важным этапом программирования является составление обоснованной технологической карты получения запрограммированного урожая. Технологическая карта — это технический проект урожая. В нем закладываются детальный план мероприятий, отражающий последовательность, сроки, количество и качество всех работ от подготовки семян к посеву до завершения уборки.

В технологической карте должны быть учтены общеизвестные, но не всегда используемые агроприемы:

выбор наилучшего варианта размещения культуры в полях севооборота с учетом предшественника и состояния окультуренности контура;

подбор высокоурожайного для данного хозяйства, устойчивого к полеганию и заболеваниям сорта;

посев высококачественными семенами;

предпосевная калибровка семян (клубней) с использованием на посев семян средней фракции, предпосевное прогревание семян; предпосевное протравливание семян всех культур;

определение оптимальной нормы посева семян данной партии для программируемого урожая с учетом показателя массы 1000 семян и посевной годности;

обеспечение более равномерного распределения семян по поверхности почвы за счет перекрестного или узкорядного посева зерновых, широкорядного посева многолетних трав на семена;

борьба за сохранение и оптимальное использование почвенной влаги в весенний период;

равномерное внесение органических и минеральных удобрений; шлейфованье (выравнивание) поверхности почвы, совмещенное с предпосевной культивацией;

предпосевное (в рядки) внесение сложных гранулированных удобрений;

прикатывание посевов зерновых, многолетних трав, силосных культур;

боронование посевов озимых и яровых при уплотнении почвы и образовании корки;

использование гербицидов для подавления сорняков на посевах зерновых и многолетних трав в период кущения, на участках картофеля за 7—10 дней до всходов;

использование ретардантов в целях предупреждения полегания зерновых, применение некорневых подкормок.

В практической работе по программированному возделыванию сельскохозяйственных культур возможны некоторые отклонения от указанной технологической карты, связанные с погодными условиями, ресурсами рабочей силы, техники и т. п. В этих условиях опыт и квалификация специалистов и механизаторов при творческом выполнении запланированных мероприятий являются важнейшими факторами обеспечения урожая.

При планировании урожая сельскохозяйственных культур и связанных с этим технологических и других операций важно знать сроки их проведения и условия, которые могут сложиться к этому моменту. С целью правильной регламентации всех работ рекомендуется использовать сетевые графики, описывающие последовательность событий и операций при возделывании любой культуры. Это позволяет правильно выбрать тип рабочего органа, ориентировочно назначить сроки готовности техники к выполнению запланированных работ.

Вся система агротехнических приемов при программировании урожая должна способствовать улучшению физических свойств почвы, регулированию теплового и водно-воздушного режимов, созданию наилучших условий для роста и развития растений.

Крайне необходима система учета и контроля за выполнением запланированных в технологической карте мероприятий по каждому полю с фиксацией в контрольном журнале отклонений по срокам, приемам и техническому обеспечению. Элементы программирования урожая в настоящее время являются необходимой частью интенсивных технологий возделывания сельскохозяйственных культур.

РАСЧЕТ ДОЗ УДОБРЕНИЯ НА ПРОГРАММИРУЕМЫЙ УРОЖАЙ

Агрохимические основы получения программируемого урожая заключаются в обеспечении оптимальных условий минерального пи-

тания растений. Это значит, что необходимо создать оптимальную концентрацию питательных веществ в почве и оптимальный показатель рН.

При рассмотрении принципов программирования урожаев среди других законов земледелия и растениеводства был отмечен закон возврата: для поддержания плодородия почвы в нее необходимо вносить питательные элементы, потребляемые растением на создание урожая; правильно определенные дозы дополнительно вносимых удобрений способствуют повышению плодородия почвы.

Чрезвычайная сложность определения оптимальных доз питательных веществ, вносимых с удобрениями, обусловила появление различных методов расчета, но идеальные методы пока еще не найдены. Сегодня, по-видимому, целесообразно использовать отдельные положения из разных методов. Существует более 40 методов определения доз удобрений.

В настоящее время имеются два направления в разработке оптимальных доз удобрений.

Первое обосновано непосредственными результатами полевых опытов с удобрениями по ведущим культурам. На основании результатов полевых опытов географической сети и даны рекомендации по применению удобрений.

Второе направление предусматривает установление доз удобрений исходя из потребности растений в элементах минерального питания. Определение оптимальных доз удобрений на планируемые урожаи является одним из сложных вопросов современной агрономической науки и практики.

Все расчетные методы условно подразделяют на четыре группы по следующим признакам:

1) расчет доз удобрений на запланированный урожай по выносу питательных веществ с учетом эффективного плодородия почвы и использования элементов питания из вносимых удобрений;

2) расчет доз удобрений на планируемую прибавку урожая, когда известна его величина без внесения удобрений, т. е. урожай за счет эффективного плодородия почвы;

3) расчет доз удобрений по показателям первой и второй групп, но с учетом дальнейшего повышения плодородия почвы;

4) расчет доз удобрений по балльной оценке почв, цене одного балла в продукции культуры и возможной прибавки от удобрений.

Зная содержание питательных веществ в органах растений, определяют вынос элементов планируемым урожаем. Для этого величину урожая по отдельным частям умножают на химический состав. Общий вынос элементов питания с урожаем получают как сумму выносов отдельными частями. Разделив общий вынос питательных веществ на запланированный урожай основной продукции, получают вынос элементов питания с 1 ц или 1 т основной и соответствующего количества сопутствующей продукции.

При расчете доз удобрений на уровень программируемого урожая необходимо учитывать, что общий вынос азота, фосфора и калия возрастает с увеличением урожая, а вынос отдельных элементов

может изменяться в зависимости от предшественника. Формы же удобрений практически не влияют на вынос элементов питания.

Если удобрения внесены в дозах, необходимых для получения планируемого урожая, а другие факторы (влагообеспеченность, сумма активных температур) не соответствуют потребностям растений, то ожидаемый вынос питательных веществ не будет обеспечен из-за нарушения структуры урожая.

Одна из методик расчета нормы удобрений на программируемый урожай основана на балансовом учете главных статей прихода и расхода питательных веществ в почве. При этом расчет нормы удобрений производится по формуле

$$Д = \frac{100 В - П K_n - D_0 C_0 K_0}{K_y C_y},$$

где $Д$ — требуемая норма минеральных удобрений в туках, ц; $В$ — вынос элементов минерального питания с программируемым урожаем, кг/га; $П$ — содержание доступных питательных веществ в почве, кг/га; K_n — процент использования питательных веществ из почвы; D_0 — количество вносимых органических удобрений, т/га; C_0 — содержание питательных веществ в органических удобрениях, кг/т; K_0 — процент использования питательных веществ из органических удобрений; K_y — процент использования питательных веществ из удобрений; C_y — процент действующего вещества минеральных удобрений.

Существенным недостатком метода является допущение в расчетах средних коэффициентов использования питательных веществ из почвы и удобрений без учета особенностей культуры, сорта, почв разного генезиса и механического состава. Однако отдельные элементы данного метода в большей или меньшей степени используются во всех других методах расчета доз удобрений.

Метод определения доз удобрений по количеству питательных веществ для увеличения урожая на 1 ц (на прибавку урожая)

Метод основан на учете фактических урожаев за последние годы (3—4) и обеспечении запланированной прибавки урожая элементами питания за счет внесения удобрений. По справочным данным определяется потребность культуры в азоте, фосфоре и калии на единицу урожая и запланированное его увеличение, затем с учетом коэффициента использования питательных веществ удобрения рассчитывают количество.

Например, урожайность озимой пшеницы за последние годы составила 18 ц с 1 га, планируемый урожай — 30 ц с 1 га, прибавка — 12 ц. По справочным данным находим, что с дополнительным урожаем 12 ц пшеница из почвы вынесет:

азота	—	12·3,5 = 42 кг,
фосфора	—	12·1,0 = 12 кг,
калия	—	12·2,4 = 28,8 кг.

Зная процент использования питательных веществ растением из удобрений, определяем их дозу:

$$\text{азота} \quad \frac{42 \cdot 100}{65} = 64 \text{ кг,}$$

$$\text{фосфора} \quad \frac{12 \cdot 100}{20} = 60 \text{ кг,}$$

$$\text{калия} \quad \frac{28,8 \cdot 100}{70} = 41 \text{ кг.}$$

В примере даны коэффициенты использования питательных веществ из удобрений: 60—65% из азотистых; 20% — из фосфорных; 70—80% из калийных (Магницкий, 1972).

Для определения дозы удобрений может быть использована формула

$$D_n = \frac{100 \cdot B}{K_y \cdot C},$$

где D_n — доза удобрений на планируемую прибавку урожая, ц/га; B — вынос питательных веществ на данную прибавку, кг/га; K_y — коэффициент использования питательного вещества удобрения, %; C — содержание действующего вещества удобрения, %.

Недостатком метода является применение в расчетах стандартных коэффициентов использования питательных веществ органических и минеральных удобрений. Метод применим при общих перспективных расчетах потребности в удобрениях.

Высокие урожаи не могут быть получены при недостатке в почве тех или иных микроэлементов. Потребность в них может быть рассчитана также по содержанию соответствующих элементов в почве и потребности культуры.

Эффективность действия минеральных удобрений резко снижается на кислых почвах. Создание оптимального рН почвы и правильное сочетание органических удобрений, макро- и микроэлементов обеспечивает получение максимальных урожаев.

Пример расчета нормы удобрений на программируемый урожай кукурузы в 100 ц/га зерна рассмотрим по данным Краснодарского НИИ сельского хозяйства (1981). На фомирование 1 т зерна кукурузы в условиях орошения азота требуется 29 кг, фосфора — 13 кг и калия — 26 кг. Для определения запасов подвижных форм питательных веществ показатель их содержания в расчетном корнеобитаемом слое почвы (60 см) умножают на показатель объемной массы.

Коэффициенты использования питательных веществ из почвы в условиях орошения, по данным КНИИСХ, составляют (%): по азо-

ту — 63, фосфору — 58 и калию — 8, а из вносимых удобрений — 33, 19 и 48% соответственно. Процент использования NPK навоза составляет 20, 15 и 29 или 50, 21 и 81 кг при внесении 60 т/га (табл. 9).

Таблица 9

Расчет норм удобрений
на получение урожая зерна кукурузы 100 ц/га
(по данным КНИИСХ)

Показатели	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Выносятся на 1 ц зерна	2,9	1,3	2,6
Выносятся планируемым урожаем, кг/га	290	130	260
Вносятся с навозом (60 т/га), кг/га	250	140	280
Используется из навоза, %	20	15	29
Используется из навоза, кг/га	50	21	81
Возможное использование из корневых и пожнивных остатков предшественника (оз. пшеница), кг/га	15	3	7
Возможное использование из почвы, кг/га	183	92	144
Всего поступлений, кг/га	248	116	232
Требуется внести с минеральными удобрениями, кг/га	42	14	28
Используется из удобрений, %	33	19	48
Необходимо внести с учетом коэффициента использования, кг/га	127	74	58
Содержание д. в. в удобрении, %	34	19,5	40
Требуется в туках, ц/га	3,7	3,8	4,5

Применять рассчитанные нормы удобрений рекомендуется следующим образом: две трети нормы азотных, большую часть фосфорных, всю норму калийных удобрений и навоз вносить только осенью под глубокую зяблевую вспашку, часть азотных и фосфорных удобрений внести весной в рядки при посеве или под культивацию зяби. Как показали расчеты, на карбонатном черноземе внесение в стандартных туках 3,7 ц азотных, 3,8 фосфорных и 1,5 ц калийных удобрений совместно с 60 т/га навоза при строгом соблюдении агротехники возделывания кукурузы обеспечивает получение урожая, близкого к программируемому, — 100 ц/га зерна.

ОСОБЕННОСТИ ПРОГРАММИРОВАНИЯ УРОЖАЕВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР В УСЛОВИЯХ ОРОШЕНИЯ

В условиях орошения сельскохозяйственных посевов многие факторы жизнедеятельности растений поддаются регулированию, управлению и контролю. Это позволяет полнее использовать потенциальную продуктивность сорта, гибрида и культуры (рис. 3).

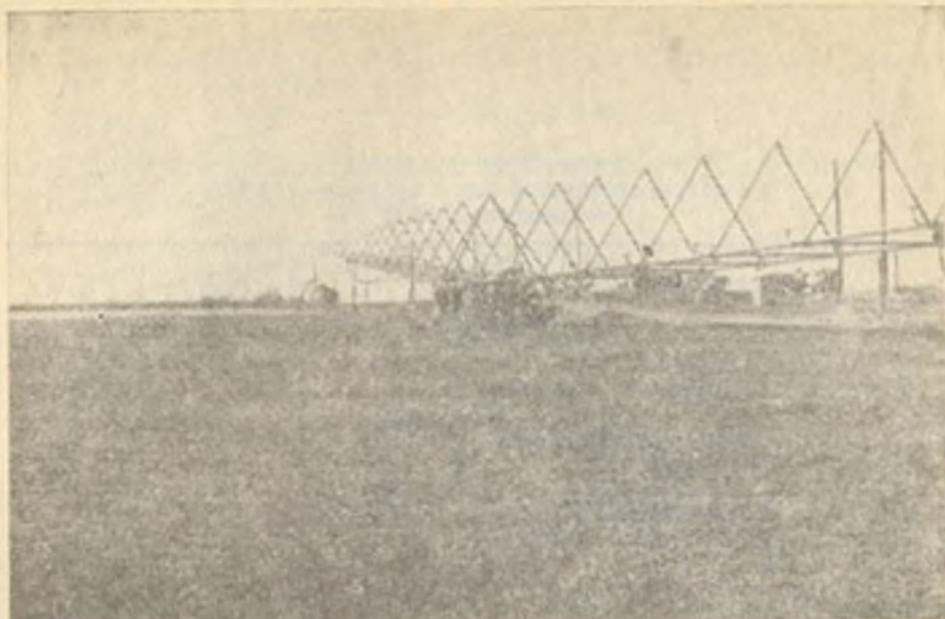


Рис. 3. Орошение посевов люцерны. Станция по программированию урожаев Волгоградского СХИ

Потенциальная продуктивность — это урожай, который обеспечивается приходом энергии ФАР при оптимальном в течение периода вегетации режиме метеорологических факторов. Имея данные прихода ФАР за период вегетации культуры и принимая различные коэффициенты ее использования посевом на формирование урожая, рассчитывают возможный урожай сухой биомассы.

Так, например, для условий Кабардино-Балкарской АССР (Каюмов, 1977) за период вегетации озимой пшеницы приход ФАР составил 2,22 млрд ккал/га. При коэффициенте использования посевом ФАР в диапазоне от 0,5 до 5,0% в урожае может быть аккумулировано от 11,1 до 111 млн ккал/га, что равноценно получению урожая сухой биомассы от 27,75 до 277,5 ц/га и от 128,75 до 1287,5 ц/га зеленой.

Показатели урожая получены по формуле

$$Y_{\text{биол.}} = \frac{2,22 \text{ млрд ккал} \cdot 2\%}{100 \cdot 4000 \text{ ккал} \cdot 100} = 111 \text{ ц/га сухой биомассы.}$$

При 2% использовании ФАР урожайность зерна составит 51,6 ц/га. Абсолютно сухая масса переводится на биомассу при 14% влажности по формуле

$$Y_{\text{биол.}} = \frac{100 \cdot 111}{100 - 14} = 129,07 \text{ ц/га.}$$

При соотношении зерна к соломе в биомассе 1 : 1,5 (или 2,5 части) возможный урожай зерна будет равен 51,6 ц/га ($129,07 : 2,5 = 51,6$ ц/га).

Для получения заданных урожаев (озимой пшеницы) на орошаемых землях выбирают наиболее благоприятные сроки посева, оптимальную норму посева семян, приемы обработки почвы, внесения удобрений и поливов, создают оптимальные условия для фотосинтетической деятельности растений в посевах в течение всего периода вегетации.

Лучшим критерием и мерой успехов в деле повышения урожайности на орошаемых площадях должны быть прежде всего размеры коэффициента использования приходящей солнечной энергии на фотосинтез и формирование урожаев при оптимальных условиях водного и пищевого режимов.

В основу метода последовательной оптимизации агротехнических приемов положена фотосинтетическая деятельность растений в посевах. Максимальный урожай рассчитывается по использованию растениями ФАР при обеспечении оптимального корневого и воздушного питания, влажности, температуры и других условий, не-

Таблица 10

Основные показатели фотосинтетической деятельности и урожайность кукурузы сорта ВР-156

Показатели	Расчитанные	Фактические	
		1967 г.	1968 г.
Сырая надземная масса, ц/га	1000	840	1120
Максимальная площадь листьев, тыс. м ² /га	52	49	55
ФП, млн м ² -дней/га	3620	3316	3876
ЧПФ, г/м ² /сут	8,5	8,96	7,6
Приход ФАР, млн ккал/га	2080	2994	3097
Поглощение ФАР, % от приходящей млн ккал/га	53,6	47,4	52,3
Накоплено энергии в урожае, млн ккал	1543	1419	1620
КПД ФАР, %:			
приходящей	177,4	118,6	118
поглощенной	4	3,96	3,81
	7,6	8,36	7,28
Поступление суммарной радиации, млн ккал/га	5890	6111	6358
Поглощение суммарной радиации, % от поступающей	49	43,4	48,2
млн ккал/га	2885	2653	3063
Транспирация, т/га	4849	4320	5030
Транспирационный коэффициент	162	146	170
Урожайность, ц/га:			
сухой биомассы	300	297	295
зерна	120	120,2	97
Коэффициент хозяйственной эффективности, %	35	34	27

обходимых для формирования урожаев высокого качества. Данный метод осуществляет целенаправленное согласование основных показателей, характеризующих почву, климат и биологические особенности самого растения. Посевы растений с учетом их биологических свойств рационально планируются в пространстве и времени.

Опыты Волгоградского СХИ показали, что в условиях орошения кукуруза при программированном возделывании может использовать на формирование урожая 5—6% поступающей за вегетацию солнечной энергии и давать урожай силосной массы в 3—4 раза выше обычных (табл. 10). При достижении высоких урожаев кукурузы посевы должны получить из почвы около 5000 м³ воды, около 500 кг азота, 180 кг фосфора и 500 кг калия.

Использование расчетного водопотребления для программирования урожаев

Для ряда районов причиной низких урожаев сельскохозяйственных культур является превышение расхода влаги почвой и растениями (суммарное водопотребление) над приходом ее с осадками. При программировании урожая наиболее важным и сложным моментом является определение водопотребления с целью установления дефицита водного баланса.

Режим потребления воды растениями (Алпатьев, 1954) необходимо рассматривать с учетом двух взаимосвязанных факторов: в связи с ритмами развития растений и с учетом влияния экологических факторов.

Суммарное водопотребление выражается формулой

$$E = E_{\text{исп.}} + E_{\text{тр.}}$$

где $E_{\text{исп.}}$ — испарение воды почвой, мм; $E_{\text{тр.}}$ — расход воды на транспирацию, мм.

Соотношение между указанными величинами постоянно меняется и зависит от густоты стояния растений, техники полива, механического состава почвы, прихода солнечной радиации и т. д.

С целью расчета потребности растений в воде используют коэффициент водопотребления, который является отношением суммарного водопотребления (эвапотранспирация) к величине урожая:

$$K = \frac{E}{Y} \text{ м}^3/\text{т},$$

где E — эвапотранспирация за период вегетации, м³/га; Y — величина урожая, т/га.

Применяются следующие модификации коэффициента водопотребления (K_n):

$$\text{фазовый коэффициент водопотребления} — K_{\text{н.ф.}} = \frac{\sum E_{\text{ф.}}}{\Delta Y_{\text{ф.}}}$$

$$\text{биологический коэффициент водопотребления} — K_{\text{н.б.}} = \frac{\sum E_{\text{н.}}}{Y_{\text{биол.}}}$$

продуктивный коэффициент водопотребления — $K_{вт.} = \frac{\Sigma E_n}{Y_{хоз.}}$,

где ΣE_n — расход воды на суммарное испарение за период, фазу или вегетацию; ΔY_{ϕ} — прирост вегетативной массы за период фазы; $Y_{биол.}$ — масса биологического урожая за период вегетации; $Y_{хоз.}$ — масса товарной (хозяйственной) части урожая.

В свою очередь суммарное водопотребление определяют по формуле

$$E = K_n \cdot Y,$$

где E — суммарное водопотребление за период вегетации, $m^3/га$; K_n — коэффициент водопотребления, $m^3/т$; Y — расчетная (планируемая) величина урожайности, $т/га$.

Например, при $K_n = 550 m^3/т$ и планируемой величине урожайности зерна $5 т/га$ суммарное водопотребление составит

$$E = 550 \cdot 5 = 2750 m^3/га.$$

Коэффициент водопотребления любой сельскохозяйственной культуры зависит от ряда факторов: он уменьшается или увеличивается в зависимости от уровня всего комплекса агротехники, в том числе от режима орошения, минерального питания, содержания междурядий у пропашных культур, от сорта и т. д.

Пример расчета орошения рассмотрим по рекомендациям Краснодарского НИИ сельского хозяйства по выращиванию урожая зерна кукурузы при орошении (1981). В связи с повышенной требовательностью к теплу и свету и высокой транспирацией кукуруза очень отзывчива на орошение. Суммарное водопотребление ее на программируемый урожай определяется по формуле

$$E = K_n \cdot Y,$$

где E — суммарное водопотребление, $m^3/га$; K_n — коэффициент водопотребления, $m^3/ц$; Y — программируемый урожай, $ц/га$.

При программируемой урожайности зерна $100 ц/га$ и коэффициенте водопотребления $50-60$ суммарное водопотребление составит $E = 60 \cdot 100 = 6000 m^3/га$. Для условий Кубани потребность кукурузы в воде на $45-50\%$ обеспечивается атмосферными осадками и запасом продуктивной влаги в почве.

Нормы и сроки поливов определяются по влажности почвы:

$$n = 100 \cdot h \cdot \alpha (ППВ - B),$$

где n — поливная норма, $m^3/га$; h — активный слой почвы, $м$; α — объемная масса почвы, $г/см^3$; ППВ — предельная поливная влажность к массе абсолютно сухой почвы, $\%$; B — влажность почвы перед поливом к массе абсолютно сухой почвы, $\%$.

Наиболее активный корнеобитаемый слой почвы для кукурузы составляет $0,6-0,7 м$. Для поддержания оптимальной влажности не ниже $75-80\%$ от ППВ в указанном горизонте необходимо четыре — шесть поливов с нормой $500-600 m^3/га$.

Особое внимание должно быть уделено поддержанию оптимальной влажности почвы в период роста и развития кукурузы, который начинается за 7—10 дней до выметывания метелок и продолжается до конца молочной спелости зерна.

Сроки поливов устанавливаются по состоянию влажности почвы. Этот метод определения сроков полива является относительно точным и наиболее эффективным.

Тщательное планирование оросительных и поливных норм (по дозам и срокам проведения поливов) необходимо для оптимального водоснабжения посевов, поскольку всякое как недостаточное, так и избыточное количество влаги отрицательно сказывается на росте и развитии растений. При невозможности расчетного определения сроков поливов их назначают прежде всего в критические фазы роста и развития, когда растения особенно болезненно реагируют на недостаток влаги.

Водный режим почвы находится в тесной связи с погодными условиями года. Информация по слагаемым водного баланса поля имеет важное значение при программированном выращивании урожая. Например, в работах А. Г. Замараева и Г. В. Чаповской (1981) показано, что в условиях Подмосквья в годы, когда почва промерзает глубоко, талые воды весной смывают до 40—70% калия, 30—40% кальция, 20—30% фосфора и всю аммиачную селитру, если эти удобрения внесены поздно осенью, зимой или рано весной. Авторы считают, что принятое в производстве известкование полей и внесение фосфорно-калийных удобрений по снегу недопустимо, а весенняя подкормка озимых азотом должна проводиться после сброса избытка воды из 10—15-сантиметрового слоя почвы.

Качественно новыми способами водообеспечения растений являются методы подпочвенного орошения и капельного полива. Их следует рассматривать как составную часть программирования урожая.

ПРОГРАММИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА УРОЖАЯ

Программирование урожая должно предусматривать получение продукции заданного качества. Качество урожая связано как с возделыванием культуры, так и с первичной обработкой.

В сельском хозяйстве очень многое зависит от первичной обработки продукции, осуществляемой сразу же после снятия урожая,— сушки, сортировки, очистки, ферментации. Сельскохозяйственное производство нельзя рассматривать изолированно от системы заготовок, транспорта, хранения, переработки и торговли продуктами питания. Все это — единый продовольственный комплекс. Как единое целое он должен и планироваться.

Рассмотрим ряд положений на примере Краснодарского края. Здесь намечена долгосрочная программа, разработана стройная технология увеличения производства и заготовок сильных и ценных

пшениц. Основу ее составляют внедрение сортов с высокими технологическими свойствами, обоснованная система удобрений, строгий подбор предшественников и высокое качество подготовки почвы, своевременный посев пшеницы с обязательным соблюдением норм посева и глубины заделки, комплексное применение средств защиты посевов от вредителей и болезней и, наконец, высококачественная уборка урожая в сжатые сроки, крупногрупповое использование техники в составе специализированных комплексов, применение различных форм материальной заинтересованности работников всех звеньев.

В целях повышения качества уборки выращенного урожая повсеместное распространение получило применение контрольных обмолотов. Раньше комбайнеру выплачивалось за намолоченный вал зерна, а теперь в колхозах и совхозах утверждены меры поощрения за качество обмолота. Материальная заинтересованность комбайнера направлена на получение урожая с данного поля при контрольном обмолоте. По определению специалистов, это позволяет ежегодно за счет повышения качества уборки сохранить от потерь около 100 тыс. т зерна. Контрольные обмолоты теперь применяются не только на колосовых культурах, но и на уборке кукурузы, риса, подсолнечника, а на свекловичных плантациях — контрольные сборы корней. В крае разработаны прогрессивные технологические приемы производства продукции. Разработка нормативных требований и методов оценки качества продукции осуществляется во ВНИИ масличных культур, ВНИИ риса, Кубанском филиале ВНИИ зерна, Краснодарском НИИ сельского хозяйства, Кубанском сельскохозяйственном институте и других научных, учебных и научно-производственных учреждениях края.

Полив и удобрения относятся к главным факторам, определяющим величину урожая и его качество.

Показателями качества пшеницы являются: масса 1000 зерен, натура, стекловидность, содержание и качество клейковины, содержание белка, набухаемость белков, физические свойства теста. В Краснодарском НИИ сельского хозяйства имеет направление селекция пшеницы на качество зерна. По показателям качества зерна мягкой пшеницы выделяют:

пшеница сильная — клейковины не менее 28%, белок более 14%, стекловидность не менее 50%;

пшеница ценная — клейковины не менее 25%, белок 13—14%, стекловидность до 50%.

В настоящее время представляется возможным прогнозировать некоторые показатели продукции (содержание белка в зерне и кормах и др.). В основу таких расчетов могут быть положены заданное внесение азота и его вынос единицей урожая.

В условиях орошения урожай зерна озимой пшеницы увеличивается, однако при этом происходит снижение некоторых показателей качества, в частности, стекловидности, содержания белка и клейковины в зерне (Жемела, 1974). Относительное снижение со-

держания белка и клейковины в зерне при поливах является следствием меньшей обеспеченности растений азотом, так как при одинаковом исходном его запасе в почве у растений при поливе формируется более высокий урожай зерна и соломы.

Такие показатели качества, как масса 1000 зерен, натура и хлебопекарные свойства, у орошаемой озимой пшеницы остаются практически такими же, как и у пшеницы без орошения. Поэтому режим орошения должен быть направлен на получение максимального урожая зерна, качество же его можно регулировать (управлять) применением азотных удобрений.

Сроки и дозы внесения удобрений при орошении пшеницы имеют исключительно важное значение. Установлено, что использование небольших доз азота (60 кг азота/га) перед посевом озимой пшеницы в основном способствует увеличению урожая, а качественные показатели меняются мало. Наиболее устойчивое повышение качества зерна установлено при внесении азота под предпосевную культивацию в более высоких дозах (например, 90 и 120 кг/га).

На формирование 1 ц зерна и соломы в опытах (Жемела, 1974) в условиях Днепропетровской области УССР шло 1,1 кг азота как при отсутствии (без внесения) удобрений, так и при внесении под предпосевную культивацию N_{60} и N_{90} на 1 га, а при внесении 120 кг азота на 1 га расходовалось несколько больше — 1,2 кг. Во всех случаях внесения азотных удобрений азот использовался растениями примерно в одинаковых количествах — на 30—33%.

При помощи некорневой подкормки в поздние фазы развития растений озимой пшеницы можно значительно улучшить качество зерна. Так, например, некорневой подкормкой мочевиной пшеницы в начале восковой спелости можно восстановить и увеличить стекловидность зерна (на 15—20% по сравнению с контролем). Эффективность некорневой подкормки в условиях орошения, если оценивать по накоплению белка в зерне и клейковины в муке, выше, чем в богарных условиях.

Таким образом, для получения высокого урожая хорошего технологического качества зерна орошаемой озимой пшеницы необходимо азотные удобрения использовать следующим образом: перед посевом вносить 90—120 кг/га, при весенней подкормке — 60—90 кг/га и при некорневой подкормке — 30—45 кг на 1 га азота.

Главными показателями качества зерна *кукурузы* являются содержание белка и его аминокислотный состав. В опытах в неполивных условиях усилением азотно-фосфорного питания (на средневыщелоченном черноземе при содержании азота 0,16%, фосфора 5,0 и калия 17,5 мг/100 г почвы) белковость зерна удалось повысить на 2,1% (от 12,6 до 14,7%). Полив во всех опытах ухудшал качество урожая, прежде всего понижал содержание белка.

В опытах не обнаружено существенных закономерных изменений фракционного состава белков от поливов и применения удобрений. Мало менялся и аминокислотный состав белков. Но было отмечено, что при поливах на неудобранных участках в белках зерна кукурузы уменьшается содержание всех трех основных аминокислот —

аргинина, гистидина и лизина, а также метионина и валина и увеличивается количество лейцина.

В практике давно установлена обратная связь между содержанием белков и жиров в семенах масличных культур.

Для ассимиляции углеводов и биосинтеза жира необходима фосфорная кислота. Отсюда понятна роль фосфорных удобрений в повышении накопления жира у растений.

Исследования ВНИИ масличных культур по влиянию режима орошения и доз удобрений на урожай и качество семян сои в условиях Краснодарского края показали, что на создание 24—28,9 а семян сои с 1 га соя из почвы выносит азота 222—262,5 кг, фосфора — 46,3—56,0 и калия — 109,7—117,2 кг.

Азотные удобрения и особенно применение нитрагина повышали содержание белка в семенах на 5,0—6,4% и снижали содержание жира на 2—2,8%. Высокую прибавку урожая семян давало применение нитрагина в сочетании с фосфорным удобрением.

Опыт, накопленный в разных сельскохозяйственных районах нашей страны и за рубежом, показывает, что программирование урожаев сельскохозяйственных культур является эффективным методом перевода земледелия на более высокую научно-техническую основу и что в ближайшем будущем оно займет достойное место в производственной деятельности совхозов и колхозов. Разработку методических рекомендаций по программированию урожаев отдельных сельскохозяйственных культур для условий конкретных областей ведут всесоюзные и зональные научно-исследовательские институты под руководством ВАСХНИЛ.

Объем пособия не позволил рассмотреть программирование урожаев отдельных культур. Авторы остановили свой выбор на общих теоретических вопросах программирования урожая. Рекомендации по программированию ведущих полевых культур (пшенице, рису, кукурузе, картофелю, хлопчатнику, многолетним травам и др.) изданы. Ряд из них приведен в списке литературы.

ЛИТЕРАТУРА

- Материалы XXVII съезда КПСС. — М., 1986, с. 296—302.
Алешин Е. П., Руденко В. Ф., Стомба Л. И. Программирование высоких урожаев риса. — Краснодар, 1977.
Афендулов К. П., Лантухова А. И. Удобрения под планируемый урожай. — М., 1978.
Биологические основы орошаемого земледелия. — М., 1974.
Баранов В. Д. Программирование урожаев сельскохозяйственных культур. — М., 1983.
Бондаренко Н. Ф., Жуковский Е. Е. и др. Моделирование продуктивности агроэкосистем. — М., 1982.
Галямин Е. П. Оптимизация оперативного распределения водных ресурсов в орошении. — Л., 1981.
Гриценко В. В., Долгодворов В. Е. Основы программирования урожаев сельскохозяйственных культур. — М., 1986.

Замараев А. Г., Чаповская Г. В. Водный баланс и урожай. — Земледелие, 1981, № 6, с. 47—49.

Зиганшин А. А., Шарифуллин Л. Р. Факторы запрограммированных урожаев. — Казань, 1974.

Карманов В. Г. Математическое программирование. — М., 1980.

Каюмов М. К. Справочник по программированию урожаев. — М., 1977.

Каюмов М. К. Программирование урожаев. — М., 1981.

Кулаковская Т. Н. Программирование высоких урожаев сельскохозяйственных культур. — Минск, 1975.

Кулаковская Т. Н. Почвенно-агрохимические основы получения высоких урожаев. — Минск, 1978.

Листопад Г. Е., Иванов А. Ф., Филин В. И. Программирование урожаев зерновых и кормовых культур в орошаемом земледелии. В кн.: Программирование урожаев сельскохозяйственных культур. Казань, 1984, с. 20—30.

Лысогородов С. Д. Прогнозирование и программирование урожаев сельскохозяйственных культур на поливных землях: Лекция. — Херсон, 1978.

Методические рекомендации по программированию урожаев сельскохозяйственных культур в условиях Ленинградской области. — Л., 1978.

Моделирование роста и продуктивности сельскохозяйственных культур / Пер. с англ. — Л., 1986.

Научные основы программирования урожаев сельскохозяйственных культур. — Тр. ВАСХНИЛ / Под ред. И. С. Шатилова, М. К. Каюмова. М., 1978.

Ничипорович А. А. Теория фотосинтетической продуктивности растений: Физиология растений. Т. 3. — М., 1977.

Полевой А. Н. Теория и расчет продуктивности сельскохозяйственных культур. — Л., 1983.

Постановка опытов и проведение исследований по программированию урожаев полевых культур: Методические рекомендации ВАСХНИЛ. — М., 1978.

Программирование урожая: Сб. научн. тр. — Волгоград, т. 36 (1971), т. 5 (1975), т. 67 (1978).

Рекомендации по выращиванию планируемых урожаев зерна кукурузы при орошении. — Краснодар, 1981.

Росс Ю. К. Радиационный режим и архитектура растительного покрова. — Л., 1975.

Салмин И. Д. Математическое программирование. — Ч. I. — М., 1978.

Семенов В. А. О разработке моделей плодородия почв. — В кн.: Модели плодородия почв и методы их разработки. М., 1982, с. 36—44.

Сиротенко О. Д. Математическое моделирование водно-теплового режима и продуктивности агроэкосистем. — Л., 1981.

Тооминг Х. Г. Экологические принципы максимальной продуктивности посевов. — Л., 1984.

Травин И. С. Агробиологический прогноз урожаев зерновых культур и его применение. — В кн.: Биология агротехники, селекция и семеноводство озимой ржи. Уфа, 1974.

Формирование урожая основных сельскохозяйственных культур / Пер. с чешск. — М., 1984.

Шатилов И. С. Принципы программирования урожайности. — Вестник сельскохозяйственной науки, 1973, № 3.

Шатилов И. С., Чудновский Д. Ф. Агрофизические, агрометеорологические и агротехнические основы программирования урожая. — Л., 1980.

Шатилов И. С., Замараев А. Г., Чаповская Г. В. Программирование урожая и воспроизводство плодородия почв. — Докл. симпозиумов VII съезда Всесоюзного общества почвоведов. Ч. 6. Ташкент, 1985, с. 102—115.

Шульгин А. М. Агрометеорология и агроклиматология. — Л., 1978.

Modelling of agricultural productivity: weather, soils and crops. Keulen H. van, Wolf J. (eds.). — Wageningen, PUDOC, 1986.

Photosynthetic mechanisms and the environment. Barber J., Baker N. R. (eds.). — Amsterdam e. a., Elsevier, 1985.

Simulation of ecological processes. De Wit C. T., Goudriaan J. (eds.). — Wageningen, PUDOC, 1978.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
Программирование урожая — актуальная задача агрономической науки и производства	5
Основные элементы программирования урожая	8
На какой уровень урожайности ориентироваться при программировании	11
Методы расчета уровня урожайности	13
Урожай как результат фотосинтетической деятельности растений в посевах	27
Управление процессом формирования урожая при его программировании	39
Принципы программирования урожаев сельскохозяйственных культур	45
Экологические и биологические основы программирования урожаев	50
Агротехнические и технологические основы получения программируемых урожаев	53
Расчет доз удобрений на программируемый урожай	57
Особенности программирования урожаев сельскохозяйственных культур в условиях орошения	61
Программирование и прогнозирование качества урожая	66
<i>Литература</i>	69

Виктор Дмитриевич Баранов,
Иван Германович Тараканов

Программирование урожаев
сельскохозяйственных культур

Учебное пособие

Редактор *Ж. В. Медведева*
Художественный редактор *Е. А. ИONOBA*
Технический редактор *Ю. В. Михалева*
Корректор *Т. В. Алтабаева*

ИБ № 684

Сдано в набор 28.09.89 г. Подписано в печать 7.05.90 г. Формат 60×90^{1/16}.
Бумага тип. № 2. Гарнитура литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 4,5.
Усл. кр.-отг. 4,75. Уч.-изд. л. 4,85. Тираж 7000 экз. Изд. № 1850.
Заказ № 1150. Цена 40 коп.

Издательство Университета дружбы народов
117923, ГСП-1, Москва, В-419, ул. Орджоникидзе, 3

Типография Издательства УДН. 117923, ГСП-1, Москва, В-419,
ул. Орджоникидзе, 3