

образуют твердые семена. По данным ВНИИМК, наиболее склонны к этому сорта Херсонская 2, Днепроовская 12, Терезинская 2, многие номера коллекции ВИР, относящиеся к мелкосемянным полукультурным формам сои. Остальные сорта образуют очень небольшое число твердых семян (Перестова, 1980).

Большинство твердых семян — здоровый полноценный посевной материал, что обусловлено герметичностью, непроницаемостью их оболочки не только для воды, но и для патогенов.

Отбор твердых семян для оздоровления партий следует проводить после 24-часового замачивания в воде. Перед анализом на определение их посевных качеств твердые семена сои следует скарифицировать.

Посев скарифицированными твердыми семенами дал возможность получить в среднем за три года урожай выше, чем при посеве «мягкими» семенами или семенами общей партии.

## ТРЕБОВАНИЯ К ФАКТОРАМ ЖИЗНИ

**Температурный фактор.** По мнению большинства исследователей, соя относится к растениям с повышенной требовательностью к теплу. Отмечается, что нижний порог активных среднесуточных температур для сои не 10, а 15 и даже 16—17°C.

По данным В. Б. Енкена (1959), сумма активных температур (свыше 10°C) за вегетацию составляет для очень ранних сортов (град. С) 1700—1900, ранних — 2000—2200, среднеспелых — 2600—2750 и очень поздних — 3000—3200. Для большинства современных сортов сумма активных температур колеблется от 1700 до 3000°C. Имеются сорта отечественной селекции, дающие полноценный урожай при сумме активных температур 1600—2000°C (Рязанцева, Малыш, 1974; Кузин, 1976; Лавриненко и др., 1978; Лещенко, 1978).

Потребность сои в тепле возрастает от прорастания семян к всходам, затем к цветению и формированию семян; во время созревания она уменьшается.

Для различных географических пунктов сумма активных температур периода посев—всходы является величиной довольно постоянной и составляет 120—130°C (Енкен, 1959). При оптимальной влажности почвы полное

набухание семян при 10°C происходит только в течение 62 ч, в то время как при температуре 15°C — 48 ч, а при температуре 30°C — 24 ч (данные Лосиковой, цит. по Лещенко, 1962). Низкие температуры при набухании семян снижают всхожесть и задерживают появление проростков даже при последующей высокой температуре (20—30°C) в фазу прорастания. У некоторых сортов замачивание семян в холодной воде приводит к снижению их всхожести на 75%, значительному уменьшению сухой массы (на 38%) и высоты надземной части проростков (на 50%).

По мнению большинства исследователей, минимальная температура для прорастания семян должна быть на глубине 5—7 см не менее 6—7°C, достаточная 12—14 и оптимальная 15—20°C (Енкен, 1959; Новак, 1964; Бурлака, 1970; Лавриненко и др., 1978; Лещенко, 1978; Parr, Szabo, 1979).

Для роста проростков температура должна быть на 1—3° выше, чем для прорастания семян (Носатовский, Вертела, 1933; Енкен, 1959; Лещенко, 1962): минимальная температура для этой фазы 8—10°C, достаточная 15—18°C, оптимальная 20—22°C.

Чем ниже температура почвы и воздуха, тем более продолжителен период посев—всходы. Так, при температуре 15°C всходы появляются на 7—10-й день, при 21—32°C — на 3—5-й день (Runge, Odell, 1960). По данным В. М. Степановой (1972), средняя температура воздуха 15—17°C способствует появлению всходов через 7—12 дней, а температура 19—22°C — через 6—7 дней. В опытах В. Б. Енкена (1959) нарастание тепла свыше 20,6°C не приводило к заметному сокращению периода посев—всходы. Delouche (1953) приводит данные о том, что семена сои прорастают при 20°C в 2 раза медленнее, чем при 30°C. Кажущаяся противоречивость объясняется, вероятно, особенностями сортов, с которыми работали исследователи. На сортовую специфичность в периоды прорастания семян и появления всходов указывают И. Н. Гальченко (1953), А. И. Громова (1975). В опытах университета штата Висконсин (США) сырая масса проростков у сорта Чиплева возрастала по мере того, как температура прорастания увеличивалась от 10 до 35°C и достигала максимума при 35°C. У сорта Уэллс нарастание сырой массы проростков происходило медленнее и достигало максимума при 25°C (Henson et al., 1981).

Рост всходов начинается при 12—13°C и увеличивается прямо пропорционально нарастанию среднесуточной температуры до 21—22°C. Повышение среднесуточной температуры в начале вегетации до 24—25°C приводит к некоторому снижению ростовых процессов (Енкен, 1959). Даже кратковременное повышение в этот период дневной температуры до 35—37°C отрицательно влияет на рост растения и образование клубеньков (Лещенко, 1978). Резкое падение скорости роста у сои зафиксировано при 37,8°C (Норман и др., 1970). Рост вегетативных органов зависит и от температуры почвы. При повышении температуры в зоне корней с 12 до 32°C надземная масса увеличивалась, достигая максимума при 27°C. Высота растений при этом почти не менялась (Норман и др., 1970).

На рост корней температура в пределах 7,7—37,2°C и 12,2—37,2°C оказывала незначительное влияние. Наибольшая масса корней образовалась при 27,2° и 32,2°C, однако различия с другими вариантами были очень малы (Норман и др., 1970).

Оптимальная температура для роста сои 18—22°C, для формирования репродуктивных органов 21—23°C, для цветения 22—25°C, для формирования бобов 20—23°C, для созревания 18—20°C (Енкен, 1959). Большинство отечественных исследователей, работающих с соей, приводят близкие значения температуры по периодам развития сои. Наибольшая напряженность тепла требуется растениям сои от начала цветения до начала созревания семян.

Формирование репродуктивных органов может протекать и при температуре 16—17°C. При меньшем количестве тепла этот процесс приостанавливается. Если среднесуточная температура воздуха после того, как появились бутоны, снижается до 15—16°C, то они не раскрываются и не растут. При 17—18°C цветение замедленно, цветки полностью не раскрываются, но оплодотворение происходит и бобы образуются (Енкен, 1959). Во время созревания потребность сои в тепле заметно снижается, но при более высокой температуре этот процесс ускоряется. От напряженности тепла зависит продолжительность и всего периода вегетации, и отдельных фаз. Сокращение или растягивание какого-либо периода зависит от реакции сорта на температурный фактор (Новак, 1964; Беликов, 1965; Губанов, 1976; Лещенко, 1978). —

Соя довольно устойчива к высоким и низким температурам. Растения сои меньше страдают от заморозков, чем кукуруза и некоторые зернобобовые. Сравнительно легко переносит соя весенние заморозки до  $-2,5^{\circ}\text{C}$ ; осенние заморозки до  $3^{\circ}\text{C}$  обычно не оказывают отрицательного действия на урожай семян. Заморозки  $4-4,5^{\circ}\text{C}$  приводят к сильному подмерзанию листьев, гибели цветков и растущих бобов, но их влияние малозаметно на зеленых сформировавшихся бобах и недозревших семенах (Енкен, 1959; Oizumi, Katura, 1958).

Очень сильно страдают растения при похолодании в период цветения; при температуре  $2^{\circ}\text{C}$  в эту фазу отмечается полная их гибель (Лещенко, 1978).

**Свет. Реакция на длину дня.** Соя — типичное короткодневное растение, очень чувствительное к изменению светового дня (Gagner, Allard, 1920, 1923; Borthwick, Parker, 1938a, 1938b, 1938в; Псарев, Веселовская, 1941; Клешнин, 1954; Енкен, 1959). Увеличение светового дня замедляет развитие, отодвигает сроки зацветания, растягивает период цветения, приводит к сильному опадению цветков, удлиняет период вегетации. Уменьшение светового дня ускоряет цветение, сокращает вегетационный период. Для сокращения периода всходы — начало цветения сое требуется всего от 2 до 6 коротких дней, в то время как другим короткодневным культурам — от 7 до 40 дней. В некоторых случаях ускоряет цветение сои даже один короткий день (Енкен, 1959).

Первые сведения об изменении продолжительности цветения у сои при разных сроках сева были получены Муэрсом (Moors, 1908). Классическими работами Гарнера и Алларда (1920, 1923, 1930) было показано, что при затенении растений в утренние и вечерние часы соя начинает цвести раньше, чем на естественном световом дне. Исследователи установили, что для каждого сорта существует определенная критическая продолжительность фотопериода, при переходе через которую растение уже не вступает в репродуктивную фазу. Продолжительность критического периода зависит от протяженности темного периода. Максимальное цветение наблюдалось при чередовании 12 ч света и темноты.

У сои, так же как и у других растений, реакция на изменение длины светового дня проявляется только с развитием листьев (Эгиз, 1928). Растения реагируют на изменение длины дня в период от появления всходов до

окончания массового цветения. Наибольшее ускорение цветения происходит при коротком дне в период одного—трех тройчатых листьев.

Для большинства сортов сои оптимальная длина дня 13—16 ч. Это обусловлено расположением основных центров происхождения и основным ареалом культуры (Клешнин, 1954; Енкен, 1959) и примерно соответствует 35—45° с. ш. Современное распространение сои гораздо шире — от 40 до 60° с. ш. (Горанов и др., 1981).

У сои имеется значительная внутривидовая изменчивость по реакции на длину дня. Оптимальная длина дня для каждого сорта обусловлена его происхождением, причем большинство сортов адаптировано к узким поясам широт. Реакция сорта на длину дня тесно связана с вегетационным периодом. Скороспелые сорта менее отзывчивы на длину дня, чем среднеспелые и особенно поздние. По данным В. Б. Енкена (1959) и А. К. Лещенко (1978), в условиях Краснодарского края и северной степи УССР очень слабореагирующие сорта имеют вегетационный период 80—115 дней и изменяют вегетационный период под влиянием длинного дня на 2—5 дней; слабореагирующие созревают за 110—135 дней, при изменении длины дня период всходы — начало цветения изменяется у них на  $\pm 2$ —8 дней, общий период вегетации — на  $\pm 4$ —10 дней; отклонения по началу зацветания у среднереагирующих с вегетацией 120—140 дней составляют  $\pm 8$ —17 дней, по вегетационному периоду —  $\pm 7$ —16 дней; сильнореагирующие с периодом вегетации 140—160 дней изменяют сроки зацветания и созревания соответственно на  $\pm 15$ —33 дня и  $\pm 15$ —29 дней.

Имеются данные, показывающие, что очень скороспелые сорта могут образовывать репродуктивные органы при непрерывном освещении (Бортвик, Паркер, 1939). Этими же авторами установлено, что сорта с сильновыраженной фотопериодической реакцией образуют больше всего цветков и плодов при 10—12-часовом дне, слабореагирующие — при 14—16-часовом.

Под воздействием короткого дня ускоряется развитие, но ослабляются ростовые процессы. Хороший урожай семян при достаточной водообеспеченности и питании может быть получен лишь в том случае, если длина дня соответствует биологическим требованиям сорта (Гранер, Аллард, 1920; Дорошенко, Разумов, 1929; Демиден-

ко, Голле, 1937; Енкен, 1959; Кашманов, 1963; Hawell, 1963; Горанов и др., 1981).

Распространение сортов в географическом разрезе, а также выбор сортов для повторных посевов тесно связаны с их реакцией на длину дня.

*Отношение к интенсивности освещения.* Растения сои обладают высокой светочувствительностью. Имеются данные о влиянии на сроки зацветания лунного света, интенсивность которого составляет  $1/465000$  интенсивности солнечного света (Гарнер, Браунрот, 1935, цит. по Енкену, 1939). У растений сорта Билокси освещение в ночные часы всего 0,2 лк снижало число бутонов на одно растение на 12,8%, 1 лк — на 43,2%, при 10 лк растения совсем не цвели (Borthwick, Parker, 1939). Для нормального развития растения сои нуждаются в освещенности не ниже 1076 лк (Бортвик, Паркер, 1938). Эта величина является для сои критической (Кашманов, 1963; Joshida, 1952). При искусственном освещении для нормального роста и развития растений достаточно 6500—8000 лк (Клешнин, 1954).

При длине дня, отвечающей биологическим требованиям сорта, растения нуждаются в свете высокой интенсивности. При снижении интенсивности солнечного света на 50% у растений сои образуется значительно меньше узлов, ветвей, бобов. Особенно требовательны растения сои к высокой интенсивности светового потока на четвертой стадии развития, что по классификации Ф. М. Куперман соответствует VII—VIII этапам органогенеза (Лопаткина, 1976). Затенение растений на поздней стадии цветения и в начале образования бобов вызывало снижение числа бобов на 16% и их массы на 29%. Усиление же уровня освещенности в этот период, наоборот, способствовало значительному увеличению числа бобов, их массы, массы зрелых семян (Schou I. et al. и др., 1978).

В посевах сои после смыкания рядков только листья верхнего яруса получают свет высокой интенсивности. Освещенность листьев остальных ярусов может быть намного ниже в течение продолжительного периода. Интенсивность света под пологом растений даже в период бутонизации составляет 2—3% общей (Норман и др., 1970). В наших опытах у сорта Ранняя 10 освещенность средних листьев при густоте стояния 100 000 растений на 1 га составила 4,8% освещенности на открытом месте,

нижних листьев — 1,3%; при густоте 200 000 снижение освещенности было таким же, при 300 000 соответственно 3,6 и 1%, при 400 000 — 2,3% и 1,0%. Для раннеспелого сорта Волна, растения которого имеют меньшую облиственность и продолговатую листовую пластинку, при густоте 100 000, 200 000, 300 000 растений на 1 га освещенность на уровне средних листьев составила соответственно 34,5; 19; 15%, на уровне нижних — 10; 9,5; 8%. Снижение числа бобов и семян на растении связывают с понижением продуктивности затененных нижних и средних узлов, обусловленным локальным распределением продуктов фотосинтеза лист — бобы в пазухе листа (Беликов, 1955, 1963). Позднее было показано, что большая часть ассимилятов транспортируется в ниже расположенные бобы. Утилизация ассимилятов зависит от площади, возраста и степени освещенности листа, от числа и возраста плодов в узле, от условий выращивания растений (Бартков и др., 1970; Беликов, 1972; Бартков, 1978; Холупенко, Медяников, 1978, и др.).

В 1978—1981 гг. во ВНИИМК (г. Краснодар) проводилось сравнительное изучение изменения продуктивности в условиях искусственного затенения новых и перспективных сортов сои. В опыт были включены сорта Комсомолка (среднепоздний), Пламя (среднеспелый), Ранняя 10, ВНИИМК 9186, Кубань (раннеспелые), Волна и Быстрица (скороспелые). Затенение создавалось светозащитными экранами с начала цветения и до созревания. В течение опыта было затенено  $\frac{2}{3}$  растения (нижние и средние ярусы), их освещенность составляла 8—19% освещенности на открытом месте.

У всех изучавшихся сортов затенение затягивает созревание, увеличивает за счет растяжения междоузлий длину центрального стебля, изменяет распределение бобов на растении, снижает количество бобов и массу семян, влияет на химический состав семян. Степень наблюдаемых изменений, в том числе и уровень снижения продуктивности, зависит от реакции сорта на изменение условий освещения. У изучавшихся сортов сои чувствительность к интенсивности света не связана с вегетационным периодом. Так, при одинаковом затенении снижение массы семян с одного растения у сорта Ранняя 10 составляло 10—13%, у сорта Быстрица — 21—23%.

Условия освещенности вызывают изменения в содержании хлорофиллов *a* и *b* и суммарного в листьях всех

ярусов. На третий день после затенения снижается содержание хлорофилла в освещенных верхних листьях и на 2—7% повышается в листьях нижних ярусов. В последующие дни содержание хлорофилла увеличивается в листьях всех ярусов, но в различной степени в зависимости от чувствительности сорта к интенсивности светового потока. Различия между сортами отчетливо проявляются с шестого-седьмого дня после затенения. Чем выше адаптация сорта к условиям затенения и, следовательно, чем меньше снижение продуктивности, тем быстрее и в большей степени образуется хлорофилл при затенении растений в листьях всех ярусов, в том числе в верхних незатененных. Генетические особенности растений определяют не только скорость адаптации к затенению, но и «предельный» уровень затенения, после которого в листьях растений сои начинается разрушение хлорофилла.

Скорость и особенно степень накопления хлорофилла при затенении зависят от водообеспеченности растений сои, а также от температуры и влажности воздуха. Высокая температура воздуха (выше 38—40°C), воздушная засуха (относительная влажность воздуха ниже 30%), суховеи резко снижают уровень накопления хлорофилла. При одной и той же степени затенения в листьях растений сорта Ранняя 10 при оптимальной температуре и влажности почвы и воздуха содержание хлорофилла составило 183% к контролю, при воздушной засухе — всего 130%.

*Отношение к спектральному составу света.* Помимо длины светового дня и интенсивности светового потока, на рост и развитие растений сои большое влияние оказывает спектральный состав света.

В. И. Разумовым (по Енкену, 1959) было установлено, что длинноволновые красные лучи задерживают цветение, коротковолновые ускоряют.

На красном свете растения интенсивно растут, увеличиваются высота, число листьев и их площадь. При освещении синим светом растения низкорослые, со сближенными междоузлиями, листочки утолщенные, однако нарастание органической массы происходит интенсивно. При зеленом свете задерживается формирование листьев, вытягиваются междоузлия, стебли становятся этиолированными, накопление органического вещества за-

медленно. Доказано, что проявление таких характерных признаков зависит от продолжительности светового дня (Норман и др., 1970; Чжу Чжи-инь, 1959, 1961).

При оптимальной длине светового дня соя, как и другие короткодневные растения, требовательна с начала вегетации к преобладанию в спектре коротковолновой части. Особую чувствительность к свету определенного спектрального состава проявляют растения сои на третьей стадии развития — V и VI этапах органогенеза, точнее, при переходе из подэтапа V<sub>2</sub> в VI, т. е. при начале формирования пыльцы (Лопаткина, 1976). Выращивание короткодневных растений на второй и особенно третьей стадии в неестественных для них условиях спектрального света приводит к различным аномалиям в росте и развитии (Куперман, 1968).

Внутривидовое формирование сои происходило под влиянием не только широтных изменений длины светового дня, но и солнечного света различного спектрального состава. Низкорослые, карликовые формы горных районов создавались под влиянием коротковолновой части спектра, особенно ультрафиолетовых лучей, а высокорослые равнинные формы — под влиянием более длинноволновой части спектра (Енкен, 1959).

Солнечный свет, обогащенный коротковолновой радиацией (полуденное освещение), способствует увеличению числа пигментов на единицу листовой поверхности растений сои, повышению интенсивности фотосинтеза, высокой активности каталаз в листьях. Под влиянием утреннего и вечернего освещения с преобладанием длинноволновой части спектра содержание зеленых и желтых пигментов остается на уровне контроля (полное дневное освещение), а интенсивность фотосинтеза значительно снижается (Станко и др., 1971).

Требования к влаге. Соя как растение муссонного климата на формирование урожая зерна расходует значительное количество воды — больше, чем зерновые колосовые и другие зернобобовые культуры. Это связано с высокими требованиями ее к влагообеспеченности. Общий расход воды посевом сои за вегетацию может достигать 5000—6000 м<sup>3</sup>/га. При этом для сои характерно неравномерное водопотребление по фазам развития растений. Для нормального набухания и прорастания семена поглощают 95—150% воды к сухой их массе (Енкен, 1959). Оптимальная для прорастания семян сои и нормального

роста растений влажность почвы, по нашим наблюдениям, составляет 28—36 об. %, или 80—100% НВ.

В начальные фазы развития (всходы, листообразование, ветвление, бутонизация) соя потребляет мало воды (15—30 м<sup>3</sup>/га в сутки) и отличается достаточно высокой засухоустойчивостью. С нарастанием вегетативной массы расход воды увеличивается. Наиболее интенсивное водопотребление у сои происходит в фазы цветения, формирования бобов и налива семян; это отмечают А. М. Алпатьев, С. Д. Лысогоров и В. С. Снеговой (1968), Н. И. Огрызкова (1967), В. П. Черноголовин и В. Н. Лукашев (1976) и другие исследователи. За этот период, продолжающийся около двух месяцев, соя потребляет 60—70% суммарного расхода воды за вегетацию, а среднесуточная величина эвапотранспирации достигает 50—75 м<sup>3</sup>/га. В наших опытах в среднем за 1976—1978 гг. соей было расходувано до цветения 29,8%, а в фазу цветение—созревание 70,2% воды от суммарного водопотребления (табл. 8). Среднесуточный расход воды в период цветение—формирование бобов составил 45,3 м<sup>3</sup>/га.

8. Водопотребление сои по фазам развития растений (ВНИИМК, 1976—1978 гг.)

Периоды наблюдений по фазам развития растений	Продолжительность периода, дней	Расход воды по периодам		
		общий	среднесуточный	% от общего расхода за вегетацию
Всходы — ветвление	19	350	18,0	7,9
Ветвление — цветение	35	965	28,4	21,9
Цветение — формирование бобов	30	1360	45,3	30,8
Формирование бобов — созревание	54	1728	31,8	39,4
Всходы — созревание	138	4403	31,9	100

Проявляющийся в естественных условиях дефицит влаги в эти критические по водопотреблению фазы развития растений приводит к резкому снижению урожая.

Транспирационный коэффициент как показатель расхода воды на формирование единицы сухого вещества колеблется у сои в зависимости от биологических особенностей сортов и конкретных условий выращивания от

390 до 1000. Так, для условий Приморского края, по данным Е. А. Старостина (1932), он составляет 391—500, для условий Украины, по сведениям А. К. Лещенко (1978) — 600—700, в Китае он достигает 600—1000, что отмечает Сунь Син-дун (1958). Характерны значительные колебания в показателях транспирационного коэффициента по фазам вегетации. Так, В. Б. Енкен (1959) приводит следующие показатели транспирационного коэффициента по фазам развития растений: от появления всходов до ветвления (4-й лист) — 915, от ветвления до начала цветения — 457, от начала цветения до образования бобов — 239, от формирования семян до созревания — 989.

Такие различия зависят не только от условий увлажнения, но и характера накопления вегетативной массы растений и формирования репродуктивных органов.

Коэффициент водопотребления, характеризующий общий расход воды на единицу урожая семян, у сои колеблется в значительных пределах в зависимости от сорта и условий выращивания. В условиях оптимального увлажнения почвы он, как правило, ниже, чем при недостатке воды в критические фазы развития, снижающем урожай зерна. В Краснодарском крае, по данным наших опытов, он составлял 1440—2160; на орошаемых землях юга Украины, по результатам исследований Украинского научно-исследовательского института орошаемого земледелия (Заверюхин, 1981) — 1150—2532 при урожайности от 22 до 29,8 ц/га; в условиях Поволжья, по данным П. Е. Губанова (1977), — 2077—3740 на поливных землях и 2981—4074 в неорошаемых условиях.

Важное значение для сои имеют количество выпадающих осадков и относительная влажность воздуха в критические по водопотреблению фазы цветения и налива семян. Суховеи особенно губительны для урожая сои в этот период, так как приводят к осыпанию цветков и завязей. Оптимальные условия для сои создаются при относительной влажности воздуха 75—80%. В приземном слое сомкнутого травостоя сои относительная влажность воздуха увеличивается на 9—15% по сравнению с открытыми местами (Енкен, 1959). Таким образом, для получения высокого урожая сои важна не только оптимальная влажность почвы, но и достаточное содержание водяных паров в воздухе.

Отношение к газовому составу воздуха. Соя требовательна к аэрации почвы. Разрастание корневой системы, увеличение высоты растений, массы листьев, числа цветков и семян находятся в тесной зависимости от пористости почвы, особенно некапиллярной и общей. Оптимальная для сои аэрация почвы создается при некапиллярной пористости 20—22% и общей около 50%. Нижняя критическая граница аэрации почвы при достаточной влажности — около 9% (Конова, Христов, 1975). Клубеньковые бактерии также требуют хорошей аэрации почвы, в противном случае их развитие подавлено или они совсем не образуются.

Для растений сои небезразличен состав почвенного воздуха, в частности корни сои чувствительны к содержанию кислорода. При отсутствии растворенного кислорода в питательном растворе в опытах Джильберта и Шива (Норман и др., 1970) рост корней был почти в 2 раза меньше, чем при оптимальном уровне кислорода. Высокая отзывчивость корней на содержание кислорода сочетается у сои со способностью поддерживать ростовые процессы при очень низком уровне кислорода в газовой смеси, всего 1,5%.

Имеются данные, показывающие, что способность сои расти при таких низких концентрациях кислорода обуславливается наличием дополнительного донора  $O_2$  в корнях —  $NO_3$ .  $O_2$  образуется при разложении  $NO_3$  (Норман и др., 1970). Накаяма и Ота (1980) считают, что выделение этилена из почвы играет важную роль в регулировании роста проростков сои. При высоком содержании этилена (продуцирование этилена незатопляемой почвой в 7 раз выше, чем почвы, высушенной после 2-дневного затопления) подавляется рост корней в длину, но увеличивается их сухая масса.

Влияние газового состава воздуха, вернее, влияние повышенной концентрации  $CO_2$  в воздухе на продуктивность растений было известно давно, и впервые попытки использовать это практически были предприняты еще в начале века (Чесноков, Степанова, 1955). В условиях повышенной концентрации  $CO_2$  (0,3—0,5%, что примерно в 10 раз выше содержания углекислого газа в атмосферном воздухе) возрастает интенсивность фотосинтеза, ослабляется фотодыхание, усиливаются ростовые процессы, увеличивается накопление биомассы и в конечном итоге возрастает урожай.

Виды растений неодинаково реагируют на «удобрение» углекислым газом. Но все исследователи при сравнительном изучении отмечают особенно благоприятное воздействие повышенных концентраций  $\text{CO}_2$  на сою. Соя, как и другие бобовые культуры, активно использует «подкормку»  $\text{CO}_2$ , причем при повышенной концентрации  $\text{CO}_2$  наблюдаются не только увеличение интенсивности фотосинтеза и накопление биомассы, но и резкая оптимизация скорости фиксации азота (Hardy, Havelka, 1975). Крамер (1981) приводит данные о значительном возрастании у сои интенсивности фотосинтеза (в 4 раза) при высокой освещенности и повышении концентрации  $\text{CO}_2$  до 1670 мкМ. Выращивание растений сои при концентрации  $\text{CO}_2$  660 мкМ в течение 12 недель увеличивало интенсивность фотосинтеза на 41%, листовую поверхность на 180%, накопление биомассы на 382%.

При повышенной концентрации  $\text{CO}_2$  возрастает эффективность использования растениями воды, но обогащение воздуха углекислым газом почти не оказывает положительного влияния при засухе или дефиците минерального питания (Крамер, 1981). При водном дефиците или при действии холодных ночных температур (ниже  $12^\circ\text{C}$ ) наблюдается уменьшение поглощения растениями сои  $\text{CO}_2$  и в естественных условиях выращивания (Hatfield, Carlson, 1978).

**Питательные вещества.** Соя отличается специфичностью питания, потребляя на формирование урожая больше питательных веществ, чем многие другие культуры, неравномерно поглощая элементы пищи по фазам развития растений, обладая способностью как бобовая культура ассимилировать азот из воздуха посредством симбиоза с клубеньковыми бактериями.

А. Демолон (1961) отмечает, что при урожайности зерна 20 ц/га соя выносит из почвы азота, фосфора, серы, кальция и магния значительно больше, чем пшеница при урожайности 35 ц/га и кукуруза — 50 ц/га, уступая в то же время этим культурам по выносу калия. Среди зернобобовых соя, как и фасоль, больше, чем другие культуры (горох, вика, кормовые бобы), выносит из почвы азота, фосфора, калия, кальция. Р. W. Howell и R. Z. Bergard (1961) считают, что по энергоспособности урожай сои 30,2 ц/га равен 62,7 ц/га кукурузы.

В растениях сои обнаружено более 35 химических элементов, значение которых в жизнедеятельности рас-

### 9. Потребление основных элементов питания соей

Место проведения опытов, авторы	Урожай- ность зерна, ц/га	Вынос питательных элементов (в кг) на 1 ц семян		
		азота	фосфора	калия
США, А. Демолон (1961)	20	9,0	4,0	4,0
Украинская ССР, А. К. Лещенко (1962)	18	8,7	3,6	6,2
США, Ewans, Ebert, Moorby (1963)	33	9,5	1,0	3,0
Кировоградская с.-х. оп. станция, А. К. Лещенко (1978)	15	8,2	2,5	3,6
Приморская с.-х. оп. станция, А. К. Лещенко (1978)	22,5	7,7	1,7	3,2
Амурская с.-х. оп. станция, А. К. Лещенко (1978)	15,0	10,0	2,7	3,3
Казахская ССР, Ю. Г. Карягин (1978)	27,2	7,4	2,2	4,5
Амурская область, В. Т. Куркаев (1965)	20,0	7,2	1,7	2,2
Амурская область, М. Д. Салтанов (1971)	33,2	7,5	1,9	3,0
Краснодарский край, ВНИИМК, 1975—1977, А. И. Лебедевский (1979)	26,5	9,1	1,9	4,3
Среднее	23,0	8,4	2,3	3,7

тений еще малоизвестно. Как видно из данных таблицы 9, на формирование 1 ц семян соя потребляет в среднем 8,4 кг азота, 2,3 кг фосфора и 3,7 кг калия (Демолон, 1961; Лещенко, 1962, 1978; Карягин, 1978; Куркаев, 1965; Салтанов, 1971; Лебедевский, 1979). Общий вынос указанных элементов питания надземной частью зависит от уровня урожайности сои и при формировании 33,2 ц/га достигает 250 кг азота, 63 кг фосфора, 101 кг калия (Салтанов, 1971).

Характерная особенность сои — неравномерное потребление питательных элементов по фазам развития растений. В. Б. Енкен (1959), В. Ф. Кузин, 1976), А. К. Лещенко (1979), обобщив результаты исследований многих авторов, выделяют три периода по интенсивности потребления питательных веществ и отмечают, что наибольшее потребление азота, фосфора, калия соей проис-

ходит в период цветения—формирования бобов—налива семян. По данным опытов М. Д. Салтанова (Кузин, 1976), в первый период—от всходов до цветения (40 дней)—соя усваивает 5,9—6,8% азота, 4,6—4,7%  $P_2O_5$  и 7,6—9,4%  $K_2O$  от общего потребления за вегетацию; во второй—от начала цветения до начала налива семян (49 дней)—соответственно 57,9—59,7%; 59,4—64,7%; 66,0—70,7%; в третий период—от начала налива семян до конца созревания (22 дня)—33,7—36,3; 30,6—36,0; 18,9—26,4%. Наиболее интенсивное потребление этих элементов происходило в фазу образования бобов, когда за 10 дней соя усваивала 19,4—19,9% N, 20,5—20,9%  $P_2O_5$  и 21,4—25,7  $K_2O$  от суммарного потребления их за вегетацию.

А. И. Кононович (1980) на основании результатов специальных вегетационных опытов по характеру потребления питательных элементов выделяет три периода в питании сои: первый относится к I—IV этапам органогенеза, когда растениям для лучшего развития корней, клубеньков и надземной массы необходимо наличие фосфора, кальция, кобальта и молибдена и важно преобладание фосфора над азотом; второй (V—VIII этапы органогенеза), когда больше требуется азота, калия и бора; третий (IX—XII этапы органогенеза), когда проявляется максимальная потребность в элементах питания, особенно в азоте, фосфоре, сере, магнии. Это свидетельствует о необходимости дифференцированного подхода к срокам внесения минеральных удобрений с учетом биологических особенностей культуры по потребностям в питательных элементах в различные фазы развития.

Для характеристики потребности растений в элементах питания определенная роль отводится такому показателю, как максимальное суточное поглощение; для сои этот показатель следующий: азота — 4,9, фосфора — 0,45 и калия — 1,93 кг/га (Хеммонд и др., 1951).

Максимальное поглощение того или иного элемента растениями не всегда совпадает с критическим периодом потребности в нем. Для сои критический в отношении азотного питания период, согласно исследованиям Ивата и Утада (по Калдвеллу, 1973) — две-три недели до цветения и две недели после цветения. Недостаток азота в этот период ведет к заметному снижению урожайности сои и не может компенсироваться внесением азотных удобрений в более поздние фазы роста и развития ра-

стений. В фосфорном питании сои критическим периодом является первый месяц ее жизни (Авдонин, 1936). В опытах этого исследователя выдерживание растений сои в течение 1 месяца на дозе фосфора, равной  $\frac{1}{3}$  нормы, с последующим переводом на полную дозу дало 56% урожайности от контроля, в котором соя в течение всей вегетации находилась на полной дозе фосфора. Интересен и тот факт, что резкое снижение фосфорного питания или даже его исключение через два месяца вегетации сои не уменьшили ее продуктивности. Аналогичные результаты получены позднее Медерским (1950).

Недостаток азота в период роста сои проявляется в изменении окраски листьев и замедлении темпов роста растений. При этом листья сои приобретают желто-зеленую окраску, и они мелкие. В фазе тройчатых листьев первый лист имеет при азотном голодании светло-зеленую окраску, равномерную по всему листу, второй — желто-зеленую неравномерную. При дальнейшем развитии в условиях азотного голодания окраска новых образующихся листьев также желто-зеленая неравномерная.

При недостатке фосфора растения сои зеленые или темно-зеленые, но рост их замедлен; листья же мелкие, удлиненные, при этом они рано отмирают, становясь полностью бурыми. На примордиальных листьях быстро появляются бурые пятна отмершей ткани. При дальнейшем фосфорном голодании побурение и отмирание листьев проявляются все выше по растению.

При калийном голодании растения сои также развиваются слабее. По краям нижних листьев появляются пожелтевшие участки, которые в дальнейшем сливаются и образуют сплошную каемку. Края листьев закручиваются, отмершая ткань выпадает (Куркаев, 1968).

Несмотря на значительные потребности сои в азоте, фосфоре и калии для формирования высокого урожая, а также на наличие в питании критических периодов, она слабее некоторых других культур реагирует на внесение минеральных удобрений. Это объясняется симбиозом сои с клубеньковыми бактериями, за счет которого на 50—75% может удовлетворяться потребность в азоте, а также повышенной усваивающей способностью растений к почвенному фосфору и калию: для получения максимального урожая соя требует меньшего запаса усвояемых элементов питания, чем кукуруза, пшеница, люцер-

на и овес (Брэй, 1961). Положительный эффект от фосфорных удобрений можно ожидать при содержании в почве усвояемого фосфора менее 45, от калийных — при содержании усвояемого калия менее 85 кг/га (по Картер, Хартвиг, 1970).

## СИМБИОТИЧЕСКАЯ АЗОТФИКСАЦИЯ

Высокое содержание белка в вегетативной массе и в зерне сои определяет большую ее потребность в азоте, которая в большей мере удовлетворяется за счет потребления его из атмосферы.

Связывается молекулярный азот воздуха в результате симбиоза растений со специфической группой клубеньковых бактерий — *Rhizobium japonicum* (Kirchner) Buchanan (1926). В молодом возрасте это подвижные палочковидные мелкие клетки. Заражение ими корневой системы сои происходит через корневые волоски или поврежденные клетки эпидермиса. Инфицированные клубеньковыми бактериями, а также соседние незараженные клетки коры корня начинают активно делиться, что приводит к образованию вздутия — клубенька. Число клубеньков на одном растении сои может варьировать в значительных пределах — от единичных до нескольких сотен.

Некоторое время бактерии в клубеньке продолжают делиться, приобретают неправильную форму, сильно увеличиваются в размерах, переходят в стадию бактериоидов. Считают, что бактериоидные формы играют ведущую роль в связывании атмосферного азота путем его восстановления в аммиак. Клетки бактерий осуществляют этот процесс благодаря наличию у них специфических ферментных систем — нитрогеназ, активизирующих инертную молекулу азота, и дегидрогеназ, которые катализируют реакции дегидрирования органических соединений и влияют на доставку водорода и электронов к активизированной молекуле азота. Образующийся аммиак быстро трансформируется в аминокислоты, которые затем идут на синтез белков и бобового растения и клубеньковых бактерий (Мишустин, Шильникова, 1973).

Процесс азотфиксации в молодых клубеньках начинается рано, примерно через 15—20 дней после их появления, и продолжается вплоть до старения растений. Но