
ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ, МИКРОБИОЛОГИЯ

Известия ТСХА, выпуск 3, 1990 год

УДК 581.17:532.71:577.2.25

БИОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ РАСТЕНИЙ ПРИ РАЗЛИЧНОЙ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ ЭЛЕМЕНТАМИ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ

Ю. К. КАРМАДОНОВ, Н. В. ПРИХОДЬКО

(Кафедра физиологии растений)

Изучали влияние различного уровня обеспеченности растений элементами минерального питания на физиологические и биофизические параметры, характеризующие их состояние. Обсуждается вопрос о коррелятивных связях изучаемых параметров и возможности использования биоэлектрической активности растений в качестве экспресс-показателя состояния растений при нарушении водного режима, обусловленном повышением концентрации элементов питания в почвенном растворе вследствие интенсивного использования минеральных удобрений.

Важным моментом при изучении роли какого-либо фактора в регуляции продуктивности растений является определение их физиологического состояния. При этом использование биофизических методов исследований наряду с традиционными методами физиологии и биохимии дает возможность создать более полную картину элементарных и интегральных процессов в растительном организме [3]. Одним из способов получения информации о физиологическом состоянии растений является его оценка по биоэлектрической реакции на температурное воздействие [2, 4, 9]. Данный метод позволяет не только характеризовать физиологическое состояние растения в конкретный момент, но и судить об условиях произрастания. При этом изменение параметров реакции растений на раздражение, очевидно, может служить достаточно корректным показателем нарушения данных условий [8].

Повышение продуктивности растений путем интенсивного использования минеральных удобрений при недостаточной водообеспеченности нередко приводит к торможению, а иногда и к прямому снижению ее роста, что объясняется увеличением концентрации ионов в почвенном растворе и ростом его осмотического давления [6, 15]. Поэтому установление оптимального соотношения между обеспеченностью растений элементами минерального питания и осмотическим давлением почвенного раствора представляет определенный практический интерес, а использование показателей биоэлектрической активности растений (БЭА) в качестве экспресс-информации о физиологическом состоянии растений и условиях их произрастания значительно облегчает процесс исследования.

В данной работе изучали особенности формирования биоэлектрической активности растений в условиях различной обеспеченности их элементами минерального питания; сделана попытка оценить физиологическое состояние растений и их продуктивность по параметрам биоэлектрической активности.

МЕТОДИКА

Растения яровой пшеницы сорта Ранняя 73 выращивали в условиях вегетационного домика на темно-серой супесчаной почве, имеющей следующие характеристики: содержание гумуса — 2,1 %, легко гидролизуемого азота — 4,3 мг, подвижного фосфора — 19,2 мг, обменного калия — 9,5 мг на 100 г; Н₊ — 2,68 мг·экв на 100 г, рН_{соль} — 5,6, степень насыщенности основаниями — 74,9 %, полная влагоемкость — 23,25 %. В опытах использовали сосуды Вагнера емкостью 8 л. В каждом сосуде выращивали по 20 растений. Повторность 6-кратная. Различную обеспеченность растений элементами минерального питания создавали путем внесения от 1 до 5 норм нитроаммофоски. За норму принимали такое количество удобрений, которое обеспечивало внесение на 1 кг почвы по 0,1 г азота, фосфора и калия.

Были проведены два параллельных опыта. В 1-м опыте удобрения вносили в сосуды во время их заполнения почвой, во 2-м — по 2 нормы

во время заполнения и 1, 2 и 3 нормы дополнительно в фазу колошения, как наиболее чувствительную к засухе, а также с целью максимального влияния на ростовые процессы [13]. Влажность почвы во всех вариантах поддерживали на уровне 65 % ПВ. Уборку зерна проводили после его полного созревания.

БЭА растений оценивали по величине пика ответной биоэлектрической реакции (БЭР) флагового листа в фазу молочной спелости зерна на импульсное температурное воздействие [8, 9]. Методические особенности измерения БЭР, а также методики, использованные для определения оводненности, водного дефицита растений, осмотического давления почвенных растворов и получения последних, описаны нами ранее [6]. Средние величины, приводимые в статье, рассчитаны по 6 измерениям, данные по БЭА — по 18. Корреляционный анализ взаимосвязи физиологического состояния и продуктивности растений проводили с использованием методов математической статистики [5, 10].

Результаты

Использование минеральных удобрений значительно повышает возможности реализации растениями своей потенциальной продуктивности. Однако возрастание осмотического давления почвенного раствора в результате увеличения в нем концентрации элементов питания может привести к торможению процессов роста и развития растений. Продуктивность последних в данном случае будет определяться соотношением между этими двумя эффектами элементов питания — стимулирующим рост растений и подавляющим его [1]. Действие осмотического фактора, связанного с концентрированием элементов питания в почвенном растворе, очевидно, имеет некоторые особенности, так как хорошо известно, что улучшение питания растений способствует повышению их устойчивости к неблагоприятным факторам. При увеличении количества используемых удобрений осмотическое давление почвенного раствора существенно возрастает (табл. 1). При этом снижается обводненность растений, однако изменение водного дефицита носит несколько иной характер. Так, использование трех норм удобре-

Таблица 1

Изменение осмотического давления почвенного раствора и его влияние на физиологическое состояние яровой пшеницы Ранняя 73

| Вариант (норма НРК, г/кг почвы) | Осмотическое давление растворов, МПа | БЭР, мВ | Оводненность, % | Водный дефицит, % |
|---------------------------------|--------------------------------------|---------|-----------------|-------------------|
| <i>1-й опыт</i> | | | | |
| 1 (0,1) | 0,24±0,04 | 34±3 | 71,8±0,4 | 7,8±0,1 |
| 2 (0,2) | 0,46±0,03 | 51±4 | 71,4±0,3 | 5,2±0,2 |
| 3 (0,3) | 0,62±0,02 | 60±3 | 70,7±0,3 | 4,4±0,1 |
| 4 (0,4) | 0,78±0,02 | 48±4 | 69,5±0,5 | 5,6±0,2 |
| 5 (0,5) | 0,82±0,03 | 28±4 | 67,8±0,5 | 7,3±0,2 |
| <i>2-й опыт</i> | | | | |
| 1 (0,2±0,1) | 0,55±0,02 | 49±4 | 71,2±0,3 | 5,1±0,1 |
| 2 (0,2±0,2) | 0,64±0,03 | 47±3 | 70,5±0,3 | 5,0±0,2 |
| 3 (0,2±0,3) | 0,68±0,02 | 44±3 | 69,8±0,3 | 5,4±0,2 |

ний не только не приводит к его росту, но способствует понижению величины данного показателя. Объясняется это способностью растений к осморегуляции, в результате которой усиливается синтез органических осмотиков, а также повышается содержание неорганических ионов в клетках растений [17]. Снижение же оводненности прежде всего идет за счет потери свободной воды межклетников и, очевидно, непосредственно связано с уровнем осмотического воздействия на корневую систему [11].

Измерение БЭР флагового листа также указывает на падение БЭА растений при значениях осмотического давления почвенного раствора выше 0,62 (1-й опыт) или 0,64 МПа (2-й опыт). Вероятно, такое осмотическое давление является критическим для растений пшеницы данного сорта. Если оно не превышает 0,6—0,7 МПа, БЭА сохраняется на достаточно высоком уровне (2-й опыт). Дальнейшее увеличение давления почвенного раствора вызывает снижение БЭА.

Учитывая тесную связь физиологического состояния растений

Таблица 2

Продуктивность яровой пшеницы при различных уровнях осмотического давления почвенного раствора

| Вариант | Масса флагового листа, мг/лист | Масса надземной части | Масса корней | Урожай зерна |
|-----------------|--------------------------------|-----------------------|--------------|--------------|
| <i>1-й опыт</i> | | | | |
| 1 | 340±4 | 20,8±0,4 | 5,3±0,2 | 15,6±0,4 |
| 2 | 360±6 | 23,1±0,2 | 4,5±0,3 | 16,0±0,3 |
| 3 | 370±4 | 22,7±0,6 | 3,3±0,2 | 14,5±0,4 |
| 4 | 330±4 | 20,8±0,6 | 3,1±0,2 | 9,7±0,4 |
| 5 | 320±3 | 18,6±0,4 | 3,0±0,2 | 7,8±0,3 |
| <i>2-й опыт</i> | | | | |
| 1 | 410±6 | 23,8±0,2 | 4,2±0,1 | 16,2±0,3 |
| 2 | 480±8 | 25,6±0,4 | 4,2±0,2 | 16,3±0,3 |
| 3 | 460±4 | 24,6±0,3 | 3,1±0,2 | 15,2±0,2 |

и их БЭА [2, 8, 9], можно предположить существование определенной корреляции последней с продуктивностью. Как видно из табл. 2, масса флагового листа, надземной части и корней, а также урожай зерна существенно изменяются при повышении обеспеченности растений элементами питания и росте осмотического давления почвенного раствора.

Увеличение массы флагового листа, очевидно, обусловлено усилением ростовых процессов и улучшением обеспеченности растений азотом в доступной форме [11, 16], что подтверждается результатами наших исследований, особенно данными 2-го опыта. Омоложение тканей и активизация метаболических процессов, характерные для растущих клеток, вероятно, стали основной причиной повышения ответной БЭР на температурное воздействие.

Развитие и масса флагового листа во многом определяют зерновую продуктивность растений [7, 14]. Однако осмотический фактор существенно влияет на эту взаимосвязь. В нашем опыте наибольший урожай зерна наблюдался лишь при внесении двух норм удобрений, т. е. при значении осмотического давления раствора не более 0,46 МПа; дальнейшее повышение обеспеченности элементами питания и осмотического давления почвенного раствора вызывало понижение урожая. Значительное уменьшение урожая зерна в вариантах 4 и 5 1-го опыта, очевидно, обусловлено не только снижением интенсивности физиологических процессов в растениях, отражением которых является БЭА, но и нарушением процессов реутилизации в конце вегетационного периода под влиянием высокого осмотического давления почвенного раствора [12].

Изменение массы корней, по-видимому, в большей степени связано с влиянием осмотического давления почвенного раствора, чем изменение массы надземной части растений.

Ранее нами было показано, что при интенсивном использовании удобрений за счет элементов питания может формироваться до 80 % осмотического давления почвенного раствора [6]. Эта особенность, очевидно, и стала причиной расхождений полученных нами результатов с известными данными о преимущественном угнетении надземной части растений в условиях повышения осмотического давления почвенного раствора при засолении. Таким образом, нельзя полностью согласиться с мнением об однотипной реакции растений на дефицит влаги и засоленность почвы [18]. Тем не менее использование данной предпосылки на первом этапе исследования роли осмотического фактора в регуляции продуктивности растений, вероятно, может быть вполне оправданным.

С целью определения степени зависимости между физиологическими и агрономическими показателями (табл. 1, 2), а также их взаимосвязи с БЭА растений нами был проведен корреляционный анализ. Известно, что разброс агрономических характеристик (таких, как урожайность и масса отдельных частей растения) подчиняется нормальному закону распределения [10]. Физиологические характеристики с известной степенью допущения также можно счи-

тать нормально распределяемыми случайными величинами. Взаимосвязь между двумя случайными величинами с нормальным законом распределения может быть установлена с помощью выборочного коэффициента корреляции

$$r = \frac{\sum_{n=1}^n xy - \sum_{n=1}^n x \sum_{n=1}^n y/n}{\sqrt{\left[\sum_{n=1}^n x^2 - \left(\sum_{n=1}^n x \right)^2 / n \right] \left[\sum_{n=1}^n y^2 - \left(\sum_{n=1}^n y \right)^2 / n \right]}}$$

где x и y — значения двух рассматриваемых параметров; n — число измерений.

Расчет коэффициента проводили по программе, разработанной для микроЭВМ [5].

Анализ показал, что наиболее тесная связь наблюдается между БЭА и величиной водного дефицита ($r = -0,92$), а также между БЭА и массовой флагового листа ($r = 0,83$). Между БЭА и урожайностью и БЭА и оводненностью отмечена корреляция средней степени (r равен соответственно 0,46 и 0,43). Максимальный коэффициент корреляции получен для пары признаков оводненность растений — осмотическое давление почвенного раствора ($r = -0,999$).

Таким образом, проведенные нами расчеты полностью подтвердили предположения о тесной связи БЭА с ростовыми процессами, усиление которых наблюдается при повышении обеспеченности растений элементами минерального питания. Высокая степень корреляции БЭА с массой флагового листа является отражением взаимосвязи минерального питания и ростовых процессов и не может характеризовать конечную продуктивность растений. Последнее подтверждается слабой корреляцией между БЭА растений и их урожайностью.

Выводы

1. БЭР флагового листа на температурное воздействие может служить достаточно корректным показателем физиологического состояния растений в условиях развивающегося осмотического стресса при интенсивном использовании минеральных удобрений. Она тесно связана с ростовыми процессами.

2. Высокая степень корреляции БЭА с водным дефицитом позволяет использовать ее в качестве экспресс-показателя водного режима растений.

3. При расчете корреляции между величинами БЭР флагового листа и показателями продуктивности растений не было установлено сильной взаимосвязи ни с одним из контролируемых параметров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вахмистров Д. Б. Ионный режим растений: эволюция и проблемы. Новые направления в физиологии растений.— М.: Наука, 1985, с. 214—230.— 2. Голодрига П. Я. Биоэлектрическая реакция листьев на изменение температуры.— Биоэлектрогенез и транспорт веществ у растений. Горький: Изд-во ГГУ, 1986, с. 79—83.— 3. Гродзинский Д. М. Биофизические идеи и методы в исследованиях физиологических процессов растений.— Физиол. и биохим. культ. растений, 1984, вып. 16, № 2, с. 107—109.— 4. Гунар И. И., Паничкин Л. А., Маслов А. П. Ответная биоэлектрическая реакция проростков как показатель сортовых отличий озимой пшеницы.— Докл. АН СССР, 1970, вып. 195, № 5, с. 1230—1232.— 5. Дьяков В. П. Справочник по расчетам на микрокалькуляторах.— М.: Наука, 1985.— 6. Кармадонов Ю. К., Гудков И. Н. Роль осмотического фактора в регуляции биоэлектрической активности и водного режима растений.— Физиол. и биохим. культ. растений, 1987, вып. 19, № 1, с. 81—87.— 7. Кумаков В. А. Физиологическое обоснование моделей сортов пшеницы.— М.: Колос, 1985.— 8. Петренко Н. И. Биоэлектрическая активность листьев яровой пшеницы в условиях засухи.— Регуляция физиол. функций растений. Киев: Наук. думка, 1986, с. 78—84.— 9. Теренть-

ев П. В., Ростова Н. С. Практикум по биометрии. Учебное пособие.— Л.: Изд-во ЛГУ, 1977.— 10. Ткачук Е. С. Физиология водопотребления при оптимизации минерального питания растений.— Киев: Наук. думка, 1986.— 11. Удовенко Г. В., Давыдова Г. В. Интенсивность фотосинтеза и утилизация ассимилятов у растений пшеницы в условиях засоления.— Физиол. и биохим. культ. растений, 1983, вып. 15, № 3, с. 240—245.— 12. Чернышева С. В. Реакция фотосинтетического аппарата различных видов яровой пшеницы на действие засухи.— Тр. по прикладной ботанике, генетике и селекции. Л.: ВАСХНИЛ, 1985, вып. 94, с. 47—55.— 13. Шматько И. Г., Григорюк И. А., Шведова О. Е., Петренко Н. И. Определение физиологической реакции зерновых культур на ухудшение водообеспеченности и повышение температуры. Метод. рекомендации.— Киев, 1985.— 14. Blum A.— J. exper. Bot., 1985, vol. 36, N 164, p. 432—440.— 15. Giedrojć B., Wilzynski A. W.— Zesz probl. post. nauki rol, 1985, N 294, p. 33—39.— 16. Mishra D. P., Nanda S. S. K.— J. Indian Soc. Soil. Sci., 1985, vol. 33, N 2, p. 372—379.— 17. Morgan J. M.— Ann. Rev. Plant Physiol, 1984, vol. 35, p. 299—319.— 18. Solomon K.— Trans. ASAE, St. Joseph, Mich., 1985, vol. 28, N 6, p. 1975—1980.

Статья поступила 20 июля 1989 г.

SUMMARY

The effect of different supply of mineral elements on physiological and biophysical parameters of plants which define their condition was studied. The problem of correlation of the parameters and possibility to use bioelectric activity of plants as express-indicator for condition of plants with broken water regime caused by higher concentration of nutrient elements in soil solution with intensive use of mineral fertilizers is discussed.