

## ВЛИЯНИЕ ГУМИНОВЫХ КИСЛОТ НА БИОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ У РАСТЕНИЙ

*Л. А. ХРИСТЁВА, доктор сельскохозяйственных наук,*

*В. А. РЕУТОВ, кандидат сельскохозяйственных наук, А. Н. СТАРОСТИН*

Еще К. А. Тимирязев (1911) считал, что жизнеспособность организма может найти свое отражение в электрофизиологических измерениях. Аналогичной точки зрения придерживался и известный индийский ботаник Бозе (1913).

В 1951 г. Л. А. Христева показала, что под влиянием ионодисперсных форм гуминовых кислот у растений усиливаются дыхание и процессы метаболизма, а также высказала предположение, что при этом увеличивается и энергетический потенциал.

Важнейшим показателем электрофизиологических явлений в клетках является величина биоэлектрического потенциала (БЭП), которая, благодаря созданию осциллографов, ламповых потенциометров и усилителей, может быть легко измерена.

На основании многочисленных сообщений в отечественной и зарубежной литературе можно считать установленным, что процессы метаболизма вызывают возникновение соответствующих электротоков, величина которых находится в прямой зависимости от интенсивности этих процессов. Она может быть определена при помощи измерения БЭП. Поскольку БЭП, по существу, отражает электродвижущую силу, а электродвижущая сила — свободную энергию химических реакций, а значит, и возможную полезную работу, мы решили воспользоваться этим показателем, чтобы хотя бы косвенно судить о влиянии гуминовых кислот на энергетический потенциал растения.

### МЕТОДИКА РАБОТЫ

Изучение влияния гуминовых кислот на величину биоэлектрических потенциалов проводили на проростках пшеницы, ячменя, кукурузы и гороха.

Семена проращивали на дистиллированной воде и 0,003-процентном растворе гумата натрия или на дистиллированной воде, а затем инфильтрировали: контрольные — водой, а опытные — раствором гумата натрия той же концентрации.

Измерение разности потенциалов проводили, когда длина проростков достигала 10—15 см, считая от семени до вершины листа. Инфильтрировали растения по методу А. Л. Курсанова за 18 часов до начала измерений. Экспозиция для кукурузы — 30 мм рт. ст. в течение 30 мин., для пшеницы и ячменя — 20 мм рт. ст. в течение часа.

После инфильтрации растения пересаживали в проращиватель на дистиллированную воду, где они и находились до момента измерения.

Разности потенциалов определяли у злаков между верхушкой и основанием влагалища первого листа и у гороха — между основанием и верхушкой стебля при помощи платиновых, хлорсеребряных и каломельных электродов.

Измерение величины БЭП проводили польским ламповым рН-метром и милливольтметром типа РСР завода «PIDAN» и выражали в милливольтгах.

Хлорсеребряные и каломельные электроды соприкасались с наружной поверхностью влагалища и листа при помощи фитилька из хлопчатобумажной нити, смоченной в 0,01 н. растворе KCl, а платиновые вводили внутрь ткани в указанных выше точках. Замеры делали у 20—30 растений, повторяя их от 3 до 5 раз с интервалом в полминуты, в одно и то же время суток в связи с тем, что БЭП имеет суточную ритмичность (М. А. Хведелидзе, 1958).

По наиболее распространенному мнению биотоки, а следовательно, и БЭП возникают в результате неравномерного распределения ионов и наличия клеточных мембран.

А. Г. Пасынский, Уссинг, Гольдман и другие считают, что биопотенциалы являются некоторой векторной величиной. Эту величину можно рассчитать, если применить формулу Гельмгольца—Нернста.

$$\Delta F = -nF \cdot \Delta E = -23,062 \cdot n \Delta E \text{ ккал}$$

где  $\Delta F$  — изменение свободной энергии в системе, ккал;

$n$  — валентность ионов;

$F$  — число Фарадея;

23,062 — переводный множитель из джоулей в ккал;

$\Delta E$  — разность потенциалов, в.

Результаты измерений подвергали математической обработке. При этом определяли: величину  $M$  — среднесрифметическое и  $m$  — среднеквадратическое отклонения.

В абсолютном большинстве случаев вершина листа имела отрицательный заряд по отношению к основанию.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В таблице 1 приводятся данные, характеризующие влияние гуминовых кислот на БЭП проростков, пророщенных на воде и растворе

Таблица 1. Влияние гуминовой кислоты на биоэлектрические потенциалы проростков, пророщенных в растворе гумата натрия (по опытам 1961—1962 гг., среднее из 100 измерений)

| Культура           | Электроды                             |               |                                       |               |                                       |               |
|--------------------|---------------------------------------|---------------|---------------------------------------|---------------|---------------------------------------|---------------|
|                    | каломельные                           |               | хлорсеребряные                        |               | платиновые                            |               |
|                    | БЭП, $m \pm t$ семян, пророщенных на: |               | БЭП, $m \pm t$ семян, пророщенных на: |               | БЭП, $m \pm t$ семян, пророщенных на: |               |
|                    | воде                                  | гумате натрия | воде                                  | гумате натрия | воде                                  | гумате натрия |
| Пшеница . . . . .  | —                                     | —             | 29 ± 2,8                              | 34 ± 2,7      | —                                     | —             |
| » . . . . .        | —                                     | —             | 54 ± 2,5                              | 69 ± 2,5      | —                                     | —             |
| » . . . . .        | —                                     | —             | 43 ± 3,8                              | 54 ± 3,0      | —                                     | —             |
| » . . . . .        | —                                     | —             | —                                     | —             | 47 ± 3,1                              | 75 ± 4,8      |
| Кукуруза . . . . . | 26 ± 1,3                              | 48 ± 1,7      | —                                     | —             | —                                     | —             |
| » . . . . .        | 18 ± 1,6                              | 37 ± 3,5      | —                                     | —             | —                                     | —             |
| Ячмень . . . . .   | —                                     | —             | —                                     | —             | 58 ± 3,3                              | 257 ± 8,6     |
| » . . . . .        | —                                     | —             | 45 ± 2,8                              | 51 ± 2,3      | —                                     | —             |
| » . . . . .        | 17 ± 1,3                              | 20 ± 1,3      | —                                     | —             | —                                     | —             |
| Горох . . . . .    | —                                     | —             | —                                     | —             | 68 ± 6                                | 189 ± 13      |
| » . . . . .        | 22 ± 1,3                              | 43 ± 2,8      | —                                     | —             | —                                     | —             |

гумата натрия, а в таблице 2 — инфильтрованных водой и раствором гумата натрия.

Из приведенных данных видно, что выращивание проростков на гумате натрия повышает их БЭП, хотя величина его и колеблется в зависимости от вида растений и электрода.

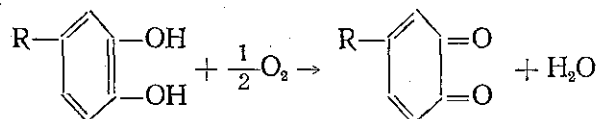
Аналогичный вывод напрашивается из таблицы 2.

Таблица 2. Влияние гуминовой кислоты на биоэлектрические потенциалы проростков, инфильтрованных раствором гумата натрия (по опытам 1961—1962 гг., среднее из 100 измерений)

| Культура           | Электроды                          |                |                                    |                |
|--------------------|------------------------------------|----------------|------------------------------------|----------------|
|                    | хлорсеребряные                     |                | платиновые                         |                |
|                    | БЭП, мв ± m семян, инфильтрованных |                | БЭП, мв ± m семян, инфильтрованных |                |
|                    | водой                              | гуматом натрия | водой                              | гуматом натрия |
| Пшеница . . . . .  | 38 ± 2,3                           | 45 ± 2,2       |                                    |                |
| »                  | 30 ± 2,6                           | 59 ± 2,4       |                                    |                |
| Кукуруза . . . . . |                                    |                | 61 ± 5,5                           | 195 ± 4,2      |
|                    |                                    |                | 118 ± 8,6                          | 294 ± 12,4     |

При определении количества электронов, участвующих в процессе, мы исходили из следующих соображений.

По исследованиям С. С. Драгунова (1957), гуминовые кислоты являются оксиксополикарбоновыми кислотами. По теории Л. А. Христовой (1957), стимулирующее действие гуминовых кислот связано с их участием в окислительно-восстановительных процессах клетки и образованием при окислении оксихиноидных структур:



Очевидно, можно принять, что этот процесс связан с переносом двух электронов ( $n = 2$ ).

Исходя из представлений, что химическая энергия, освобождающаяся в растениях в процессе дыхания, используется не только для синтеза различных органических веществ, но и для переноса ионов, мы сочли возможным пересчитать экспериментально найденную величину БЭП на изменение свободной энергии.

Результаты расчетов для пшеницы, ячменя, гороха и кукурузы при определении БЭП на платиновых электродах приводятся в таблице 3.

Таблица 3. Изменение свободной энергии в растениях под влиянием гумата натрия

| Показатели  | Пшеница | Ячмень | Горох | Кукуруза |
|---|---------|--------|-------|----------|
| Увеличение БЭП под влиянием гуминовой кислоты, мв . . . . . | 134,0   | 199,0  | 121,0 | 175,1    |
| Изменение свободной энергии, ккал/моль . . . . .            | -6,18   | -9,18  | -5,58 | -8,07    |

Хотя вычисление изменения свободной энергии в растениях на основе измерения величины разности биопотенциалов и не носит строго количественного характера, но все же и эти расчеты достаточно убедительно показывают, что гуминовые кислоты повышают энергетический потенциал растений.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Пасынский А. Г. «Биофизическая химия», Изд. «Наука», М., 1963.
2. Драгунов С. С. Органо-минеральные удобрения и химическая характеристика гуминовых кислот. Сб. «Гуминовые удобрения. Теория и практика их применения», ч. I. Харьков, Изд. Харьковского ун-та, 1957.
3. Христева Л. А. Физиологическая функция гуминовой кислоты в процессах обмена веществ высших растений. Сб. «Гуминовые удобрения. Теория и практика их применения», ч. I. Харьков, Изд. Харьковского ун-та, 1957.
4. Bose I. Ann. Bot. London, 27, S. 759—779, 1913.

*Проблемная лаборатория по гуминовым удобрениям при Днепропетровском сельскохозяйственном институте.*