

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ КОНТРОЛЯ ВСХОЖЕСТИ СЕМЯН ПШЕНИЦЫ ПО ИЗМЕНЕНИЮ МЕМБРАННОГО ПОТЕНЦИАЛА

Н. Н. Барышева, С. П. Пронин

ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет
им. И.И. Ползунова»,
г. Барнаул

Статья посвящена разработке модели контроля всхожести семян пшеницы, основанной на модифицированном уравнении Гольдмана-Ходжкина-Катца. Приведены результаты вычисления концентраций ионов и проницаемости мембран зерен пшеницы с всхожестью 97%.

Ключевые слова: метод контроля, мембранный потенциал, семена пшеницы, всхожесть.

В научных источниках [1,2] приведены методы и средства контроля всхожести семян пшеницы. Гипотеза о том, что всхожесть зерна можно оценить по мембранному потенциалу, подтверждена в статьях [2,3]. Однако теоретической базы контроля всхожести зерна пшеницы на сегодняшний день не существует.

Благодаря трудам А.Л. Ходжкина, А.Ф. Хаксли и Б. Катца, посвященным изучению механизма ионного обмена в обычном и в возбужденном состоянии мембраны гигантского аксона кальмара [4], было выявлено, что мембранный потенциал зависит от нескольких факторов. Первым фактором, определяющим мембранные потенциалы, является концентрация основных ионов внутри клетки и в окружающей среде и проницаемость мембраны для основных ионов, которая зависит от наличия в мембране ионных каналов. Вторым фактором, характеризующим значения биопотенциалов, является температура.

В качестве модели контроля всхожести выбраны изменения мембранного потенциала в зависимости от вышеперечисленных факторов:

Зависимость изменения МП от температуры $\varphi = f(T)$

Зависимость изменения МП от концентрации ионов и проницаемости мембраны $\varphi = f(P_K[K^+], P_{Na}[Na^+], P_{Cl}[Cl^-])$.

Так как зерно пшеницы состоит из нескольких анатомических частей, включая оболочку, которую можно рассматривать в качестве мембраны, то для количественного описания потенциала может быть применено уравнение Гольдмана-Ходжкина-Катца:

$$\varphi = \frac{RT}{F} \ln \frac{P_K[K^+]_{out} + P_{Na}[Na^+]_{out} + P_{Cl}[Cl^-]_{in}}{P_K[K^+]_{in} + P_{Na}[Na^+]_{in} + P_{Cl}[Cl^-]_{out}} \quad (1)$$

где R - универсальная газовая постоянная; T - абсолютная температура; F - постоянная Фарадея; P_K, P_{Na}, P_{Cl} - коэффициенты проницаемости для ионов K^+, Na^+, Cl^- ; $[K^+]_{out}, [Na^+]_{out}, [Cl^-]_{out}$ - концентрации ионов на внешней стороне мембраны; $[K^+]_{in}, [Na^+]_{in}, [Cl^-]_{in}$ - концентрации ионов на внутренней стороне мембраны.

Согласно уравнению (1), величина мембранного потенциала зависит от температуры, проницаемости мембраны и изменения концентраций ионов внутри и снаружи оболочки зерна пшеницы.

В соответствии с уравнением Гольдмана-Ходжкина-Катца с ростом температуры происходит увеличение мембранного потенциала.

Примем за постоянную в формуле (1):

$$C = \frac{R}{F} \ln \frac{P_K[K^+]_{out} + P_{Na}[Na^+]_{out} + P_{Cl}[Cl^-]_{in}}{P_K[K^+]_{in} + P_{Na}[Na^+]_{in} + P_{Cl}[Cl^-]_{out}} \quad (2)$$

В результате получим уравнение, которое дает возможность оценить воздействие температуры на изменение мембранного потенциала:

$$\varphi = C_0 T \quad (3)$$

Согласно теории ошибок погрешность измерения потенциала $\Delta\varphi$ в зависимости от изменения температуры составит:

$$\Delta\varphi_i = C_0 \frac{\partial T}{\partial T} \Delta T = C_0 \Delta T \quad (4)$$

а относительное значение изменения потенциала действия будет равно:

$$\delta\varphi_i = \frac{\Delta\varphi}{\varphi} 100\% = \frac{\Delta T}{T} 100\% \quad (5)$$

На основе формулы (5) решается задача о возможно допустимом изменении температуры. Чтобы изменение потенциала не превышало 2% при 25°C, необходимо обеспечить стабильность температуры при проведении эксперимента в пределах 0,5°C.

Согласно уравнению Гольдмана-Ходжкина-Катца, значение мембранного потенциала зависит также от внешней концентрации ионов. Таким образом, использование разных растворов с различной концентрацией (будь то дистиллированная вода или солевые растворы KCl, NaCl разной концентрации) для проращивания семян пшеницы позволяет определить новые методы контроля всхожести [2].

Применение дистиллированной воды на этапе проращивания зерен пшеницы при стабильных температурных условиях обеспечивает в соответствии с уравнением (1) внешнюю концентрацию ионов за счет ионов на внутренней стороне мембраны. Уравнение (1) в данном случае принимает следующий вид:

$$\varphi = \frac{RT}{F} \ln \frac{P_K [K^+]_{in} + P_{Na} [Na^+]_{in} + P_{Cl} [Cl^-]_{in}}{P_K [K^+]_{in} + P_{Na} [Na^+]_{in} + P_{Cl} [Cl^-]_{in}} = 0 \quad (6)$$

Поскольку числитель и знаменатель под знаком логарифма принимают одинаковые значения, то уравнение дает нам нулевое значение мембранного потенциала, что противоречит экспериментальным результатам. При использовании дистиллированной воды наблюдаются высокие значения мембранных потенциалов при любой всхожести зерен пшеницы. Причем чем меньше всхожесть зерен пшеницы, тем выше мембранный потенциал.

Поскольку экспериментальные результаты не соответствуют теоретическим заключениям внесем поправки в уравнение (1).

Пусть на внутренней стороне мембраны зерен пшеницы концентрации ионов K^+ , Na^+ , Cl^- составляют соответственно $[K^+]_{in}$, $[Na^+]_{in}$, $[Cl^-]_{in}$. При коэффициентах проницаемости P_K , P_{Na} , P_{Cl} на внешней стороне мембраны концентрации ионов составят $P_K [K^+]_{in}$, $P_{Na} [Na^+]_{in}$, $P_{Cl} [Cl^-]_{in}$. Тогда на внутренней стороне мембраны концентрация ионов K^+ будет определяться: $[K^+]_{in} -$

$P_K [K^+]_{in} = (1 - P_K) [K^+]_{in}$. Концентрация ионов Na^+ будет определяться: $[Na^+]_{in} - P_{Na} [Na^+]_{in} = (1 - P_{Na}) [Na^+]_{in}$, а концентрация ионов Cl^- : $[Cl^-]_{in} - P_{Cl} [Cl^-]_{in} = (1 - P_{Cl}) [Cl^-]_{in}$. Тогда для дистиллированной воды уравнение (1) примет вид:

$$\varphi = \frac{RT}{F} \ln \frac{P_K [K^+]_{in} + P_{Na} [Na^+]_{in} + (1 - P_{Cl}) Cl_{in}}{(1 - P_K) [K^+]_{in} + (1 - P_{Na}) [Na^+]_{in} + P_{Cl} [Cl^-]_{in}} \quad (7)$$

Слагаемые, стоящие в числителе под знаком логарифма, представлены концентрациями $P_K [K^+]_{in}$, $P_{Na} [Na^+]_{in}$, но $(1 - P_{Cl}) Cl_{in}$, а в знаменателе - $(1 - P_K) [K^+]_{in}$, $(1 - P_{Na}) [Na^+]_{in}$, но $P_{Cl} [Cl^-]_{in}$, так как ионы хлора отрицательно заряжены.

Данное уравнение формально позволяет вычислить и сравнить значения мембранного потенциала зерен пшеницы, проницаемости их мембран и концентрацию ионов.

Однако воспользоваться уравнением (7) для определения коэффициентов проницаемости и концентрации ионов невозможно, так как в уравнении содержится 6 неизвестных. Следовательно, должно быть не менее 6 уравнений.

Дополнительные уравнения можно составить, если будут известны внешние концентрации $[K^+]_{out}$, $[Na^+]_{out}$, $[Cl^-]_{out}$.

Получить внешние концентрации можно, если использовать солевые растворы различной концентрации при проращивании семян пшеницы. В эксперименте применяли дистиллированную воду и солевые растворы KCl с концентрациями (мг/л): 0,0005; 0,01; 0,05; 0,25; 0,5.

Расчеты, выполненные в среде Mathcad, дали следующие результаты.

Для зерен пшеницы со всхожестью 97 % коэффициенты проницаемости составили:

$$P_K = 0,510 \pm 0,080, P_{Na} = 0,020 \pm 0,003, P_{Cl} = 0,450 \pm 0,070$$

Относительные коэффициенты проницаемости: $P_K : P_{Na} : P_{Cl} = 1 : 0,04 : 0,88$

Полученные результаты для зерен пшеницы с высокой всхожестью очень близки к проницаемости мембраны аксона кальмара, где относительные коэффициенты проницаемости составляют:

$$P_K : P_{Na} : P_{Cl} = 1 : 0,04 : 0,45$$

Для зерен пшеницы со всхожестью 97 % концентрации ионов на внутренней стороне мембраны составляют:

$$[K^+]_{in} = 1 \cdot 10^{-5} \text{ мг/л}, [Na^+]_{in} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ мг/л}, [Cl^-]_{in} = 1 \cdot 10^{-4} \text{ мг/л}.$$

МОДЕЛЬ КОНТРОЛЯ ВСХОЖЕСТИ СЕМЯН ПШЕНИЦЫ ПО ИЗМЕНЕНИЮ МЕМБРАННОГО ПОТЕНЦИАЛА

Таким образом, модифицированное уравнение (7) позволяет учесть все факторы воздействия на изменение мембранного потенциала зерен пшеницы: температуру, концентрации ионов на внешней и внутренней стороне оболочки зерен пшеницы и значения проницаемости мембран.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 12038–84. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести. – М.: Изд-во стандартов, 1986.

2. Матлаев А.Г., Пронин С.П. Метод и средство контроля всхожести семян пшеницы // Естественные и технические науки, №3, 2009. С.308 – 311.

3. Пронин С.П., Зрюмова А.Г., Мерченко Н.Н. Исследование изменения потенциала действия семян пшеницы в зависимости от их всхожести при заданной температуре// Ползуновский Альманах. – 2011, - №1. – с.170 –172

4. Оприотов В.А., Пятюгин С.С. Биоэлектrogenез у высших растений. – М.: Наука, 1991. – 215с.

Барышева Надежда Николаевна – аспирантка,
тел.: (3852) 29-07-96, e-mail: mnn-t@mail.ru; Пронин Сергей Петрович, д.т.н. – профессор.