

УДК 664.7+664.7:658.562.6

ЗАВИСИМОСТЬ МЕМБРАННОГО ПОТЕНЦИАЛА ЗЕРЕН ПШЕНИЦЫ ОТ КОНЦЕНТРАЦИИ ИОНОВ НА ВНУТРЕННЕЙ СТОРОНЕ ОБОЛОЧКИ И ЕЕ ПРОНИЦАЕМОСТИ

Мерченко Н.Н., Пронин С.П.

ГОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»,
Барнаул, e-mail: mnn-t@mail.ru

Проведены экспериментальные исследования изменения мембранного потенциала зерен пшеницы с высокой и низкой всхожестью с использованием солевого раствора с различной концентрацией. В основе экспериментальных исследований использовалось уравнение Гольдмана-Ходжкина. Так как результаты исследований не соответствовали теоретическим заключениям, в уравнение Гольдмана-Ходжкина были внесены изменения с учетом концентрации ионов на внутренней и внешней стороне мембраны и ее проницаемости. Для достоверности результатов исследования проведены с использованием растворов KCl. В результате математического моделирования в среде Mathcad с использованием экспериментальных данных и измененного уравнения Гольдмана-Ходжкина были получены абсолютные значения коэффициентов проницаемости, а также концентрации ионов. Проницаемость для зерен пшеницы со всхожестью 87% значительно ниже, чем для зерен пшеницы с высокой всхожестью. Полученные результаты для зерен пшеницы со всхожестью 97% соответствуют фундаментальным исследованиям проницаемости мембраны аксона кальмара. На основании полученных результатов исследований были определены параметры контроля всхожести семян пшеницы.

Ключевые слова: мембранный потенциал, коэффициент проницаемости, концентрация ионов, контроль всхожести зерен пшеницы.

DEPENDENCE OF MEMBRANE POTENTIAL OF WHEAT SEEDS ON IONS CONCENTRATION ON THE COVER INSIDE AND ITS PERMEABILITY

Merchenko N.N., Pronin S.P.

Polzunov Altai State Technical University, e-mail: mnn-t@mail.ru

Were conducted experimental studies changing the membrane potential of wheat seeds with high and low germination using salt solutions with different concentrations. In the basis of experimental studies used Goldman-Hodgkin equation. Since the results of the studies did not meet the theoretical conclusions, the Goldman-Hodgkin equation was modified considering the concentration of ions on the inside and the outside of the membrane and its permeability. The reliability of the results of studies have been conducted using salt solutions of KCl. As a result of mathematical modeling in Mathcad using experimental data and the modified Goldman-Hodgkin equation were obtained absolute values of permeability coefficients and the concentration of ions. Permeability for wheat seeds with germination 87% is much lower than for grains of wheat with high germination. The results obtained for the wheat seeds with germination 97% correspond to the fundamental research in the permeability of the membrane of the axon of the squid. Based on the results of research were defined parameters control the germination of wheat seeds.

Keywords: membrane potential, permeability, concentration of ions, control germination of wheat seeds.

Знания о всхожести семян необходимы при расчете нормы высева семян на 1 га. При высокой всхожести семян пшеницы требуется их меньшее количество, при низкой всхожести – большее. Некондиционные семена к посеву не допускаются [1].

Современная методика определения всхожести включает в себя выведение семян из состояния покоя (от 4 до 7 дней), проращивание в течение 7 дней и подсчета нормально проросших зерновок из четырех проб по 100 штук в каждой [2].

Сокращение срока определения всхожести семян пшеницы в предпосевной период является актуальной задачей, так как на сегодняшний день предпосевной анализ занимает от 10 до 14 дней.

Зерно пшеницы состоит из нескольких анатомических частей, включая оболочку, которую можно рассматривать как мембрану. Следовательно, зерна пшеницы с раз-

личной всхожестью должны иметь разную концентрацию ионов с внутренней стороны мембраны, разную проницаемость мембраны, а, значит, и различные значения мембранного потенциала. Для подтверждения этой гипотезы были проведены исследования изменения мембранного потенциала от всхожести семян пшеницы.

В результате обработки экспериментальных данных были получены аппроксимирующие функции [7], которые по своей форме совпадали и с потенциалом действия, и переменным потенциалом [4].

Таким образом, была доказана гипотеза о том, что оболочку зерна можно рассматривать как мембрану. Следовательно, для количественного описания потенциала может быть использовано уравнение Гольдмана-Ходжкина, в котором учитываются коэффициенты проницаемости мембраны и концентрации ионов [4]:

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

где R – универсальная газовая постоянная, равная 8,31 Дж/(моль•К); T – абсолютная температура; F – постоянная Фарадея, равная 96485,35 Кл•моль⁻¹; 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 внутри мембраны.

Однако сравнить экспериментальные значения мембранного потенциала φ_э с теоретическими значениями φ_т, вычисленными по формуле (1), невозможно, потому что для зерен, во-первых, неизвестны проницаемости мембран, во-вторых, неизвестны концентрации ионов.

Цель: Определить коэффициенты проницаемости мембраны и концентрации ионов на внутренней стороне оболочки зерен пшеницы с высокой и низкой всхожестью и на основании полученных результатов исследований определить параметры контроля всхожести семян пшеницы.

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:

$$\varphi = \frac{RT}{F} \ln \frac{P_K[K^+]_{in} + P_{Na}[Na^+]_{in} + P_{Cl}[Cl^-]_{in}}{P_K[K^+]_{in} + P_{Na}[Na^+]_{in} + P_{Cl}[Cl^-]_{in}} = 0. \quad (2)$$

Таким образом, используя абсолютные значения коэффициентов мембранной проницаемости, согласно уравнению (2), получаем значение мембранного потенциала, равного нулю, что противоречит экспериментальным результатам. При использовании дистиллированной воды наблюдались высокие значения мембранных потенциалов.

$$\varphi = \frac{RT}{F} \ln \frac{P_K[K]_{in} + (1 - P_K)[K]_{out} + P_{Na}[Na]_{in} + (1 - P_{Na})[Na]_{out} + (1 - P_{Cl})[Cl]_{in} + P_{Cl}[Cl]_{out}}{(1 - P_K)[K]_{in} + P_K[K]_{out} + (1 - P_{Na})[Na]_{in} + P_{Na}[Na]_{out} + P_{Cl}[Cl]_{in} + (1 - P_{Cl})[Cl]_{out}}, \quad (4)$$

где [K]_{jout}, [Cl]_{jout}, Na_{jout} – концентрации ионов во внешних солевых растворах, используемых при проращивании зерен пшеницы, j – номер солевого раствора с заданной концентрацией.

$$\varphi = \frac{RT}{F} \ln \frac{P_K[K]_{in} + (1 - P_K)[K]_{out} + P_{Na}[Na]_{in} + (1 - P_{Cl})[Cl]_{in} + P_{Cl}[Cl]_{out}}{(1 - P_K)[K]_{in} + P_K[K]_{out} + (1 - P_{Na})[Na]_{in} + P_{Cl}[Cl]_{in} + (1 - P_{Cl})[Cl]_{out}} \quad (5)$$

Поскольку экспериментальные результаты не соответствуют теоретическому заключению, необходимо внести 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}. Концентрации ионов Na⁺ будет определяться: [Na⁺]_{in} - P_{Na}[Na⁺]_{in} = (1 - P_{Na})[Na⁺]_{in}, а концентрации ионов Cl⁻: [Cl⁻]_{in} - P_{Cl}[Cl⁻]_{in} = (1 - P_{Cl})[Cl⁻]_{in}. При замачивании зерен дистиллированной водой уравнение (1) примет вид (3):

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

В числителе выражения, стоящего под знаком логарифма, представлены концентрации 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 (3) 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}. Тогда с учетом внешних концентраций и вышеприведенных рассуждений о проницаемости ионов K⁺, Na⁺, Cl⁻ уравнение (3) примет вид:

Эксперименты были выполнены с использованием солевых растворов KCl с различной концентрацией, поэтому [Na]_{jout} = 0, и тогда уравнение (4) примет вид:

Для экспериментального исследования использовалась термоустановка с возможностью регулирования начальной температуры при подготовке зерен к эксперименту и проведения измерений мембранного потенциала. Экспериментальная установка состоит из двух частей: герметичного термощафа, позволяющего поддерживать постоянную температуру внутри, и измерительного блока [3].

Поскольку длина зерновки составляет всего 6 – 9 мм, для подключения зерна к измерительной установке были разработаны специальные регистрирующие электроды, выполненные из одинакового материала – стали. Первый электрод, закрепленный на текстолитовой площадке, представляет собой зажим с углублениями на каждой из сторон для более плотного контакта с поверхностью зерна. Второй электрод выполнен в форме тонкой иглы, длиной 4 мм.

Для экспериментальных исследований использовались две партии семян мягкой пшеницы сорта «Алтайский янтарь» с различными значениями всхожести – 87% и 97%.

Перед проведением исследований на всхожесть семена выводили из состояния покоя путем замачивания по методике ГОСТ 12038–84. Замачивание зерен пшеницы осуществлялось в специальных ячеистых поролоновых формах размером 150x20x20 мм. В каждую ячейку выкладывалось по одному зерну, расстояние между ячейками – 10 мм. В одной поролоновой форме помещается 25 зерновок.

Подготовленные формы выкладывались в специальные пластмассовые лотки для предотвращения протекания воды (в один лоток помещаются две формы) и заливались дистиллированной водой в объеме 100 мл.

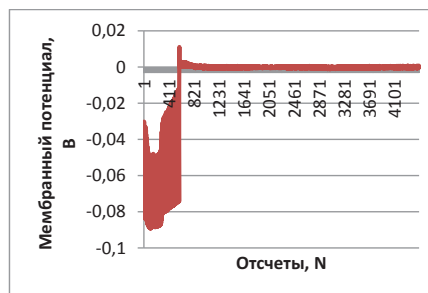
В термощаф с установленной температурой 20°C помещаются на 12 часов три пластмассовых лотка, в каждом из которых размещены две поролоновых формы. Таким образом, общее количество составляет 150 зерен.

По истечении 12 часов каждая зерновка поочередно помещается в электрод-зажим и протыкается вторым электродом-иглой в боковую поверхность в области хохолка.

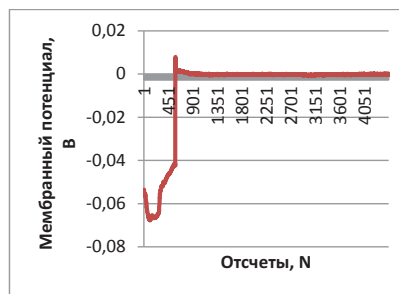
Программа Saver производит сохранение данных в файлы в формате .dat. Затем данные конвертируются для дальнейшей обработки в формат Microsoft Excel.

Для исследования были выбраны значения мембранного потенциала в начальный момент времени, т.е. мембранные потенциалы покоя.

На рис. 1а показана типичная форма сигнала для зерен пшеницы со всхожестью 97%, замоченных дистиллированной водой.



а)



б)

Рис. 1. Изменение мембранного потенциала зерна пшеницы со всхожестью 97%:

а – исходный сигнал;

б – отфильтрованный сигнал

Из 150 полученных сигналов 28% были исключены, так как они не соответствовали обобщенной типичной форме, что было вызвано ошибками оператора (неудачный прокол, зерно пшеницы разрушилось, не записали сигнал), а также вследствие присутствия легковесных и пустых семян в исследуемой партии.

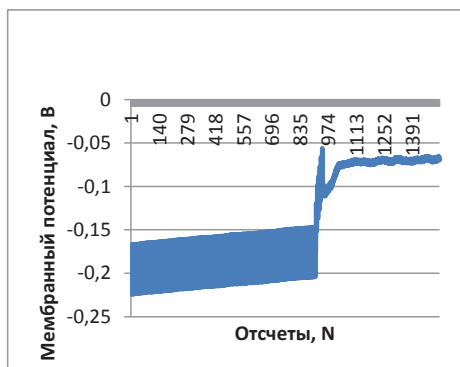
Таким образом, из общего количества в результате получили 117 сигналов для зерен пшеницы со всхожестью 97%. В таблице указано количество сигналов каждой исследуемой партии.

В регистрируемом сигнале присутствует высокий уровень шума. Для уменьшения шума был применен метод низкочастотной фильтрации, который был реализован в Microsoft Excel с помощью операции скользящего среднего с размером окна сглаживания в 60 отсчетов. Отфильтрованный сигнал показан на рис. 1б.

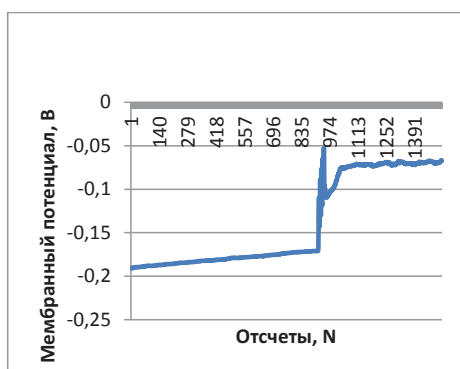
Использование низкочастотной фильтрации позволило снизить уровень шума до 1 мВ.

На рис. 2 показана типичная форма сигнала для зерен пшеницы со всхожестью 87%, замоченных дистиллированной водой.

Количество сигналов выборки при различной концентрации KCl в растворах и различных всхожестях семян показаны в таблице.



а)



б)

Рис. 2. Изменение мембранного потенциала зерен пшеницы со всхожестью 87%:
а – исходный сигнал;
б – отфильтрованный сигнал

На основе отфильтрованных сигналов построены гистограммы распределения для каждой исследуемой партии. На основе визуального анализа была сформирована гипотеза о законе распределения, вычислены основные характеристики и при уровне значимости 0,05 проверена гипотеза о том, что полученные значения имеют распределение Пуассона.

Оценка средних значений проводилась с помощью определения доверительных интервалов для параметра $\lambda = \varphi$ распределения Пуассона.

В таблице приведены концентрации солевых растворов, средние значения мембранных потенциалов, полученных в результате экспериментальных исследований, и доверительные интервалы средних значений φ распределения Пуассона. Величинами $\varphi_{87\%}$ и $\varphi_{97\%}$ обозначены средние значения мембранных потенциалов зерен пшеницы со всхожестью 87% и 97% соответственно.

Установлено, что значения мембранных потенциалов зерен пшеницы со всхожестью 97% и 87%, замоченных дистиллированной водой, находятся в области отрицательных значений. При этом мембранный потенциал покоя у зерен пшеницы с высокой всхожестью составляет -64 мВ, с низкой всхожестью составляет -187 мВ, то есть высокая всхожесть дает мембранный потенциал почти в три раза меньше, чем низкая.

Результаты экспериментальных исследований

j	КСl, мг/л	Количество сигналов выборки $\varphi_{j87\%}$	$\varphi_{j87\%}$, мВ	Доверительный интервал для $\varphi_{j87\%}$, мВ	Количество сигналов выборки $\varphi_{j97\%}$	$\varphi_{j97\%}$, мВ	Доверительный интервал для $\varphi_{j97\%}$, мВ
1	0,0000	103	-187,15	(-189,81;-184,52)	117	-64,00	(-65,46;-62,56)
2	0,0005	107	0,39	(0,28;0,52)	121	-10,46	(-11,04;-9,89)
3	0,0100	109	1,90	(1,65;2,17)	109	-5,05	(-5,48;-4,64)
4	0,0500	101	2,12	(1,84;2,41)	115	-4,80	(-5,21;-4,41)
5	0,2500	105	5,13	(4,70;5,57)	113	-0,63	(-0,78;-0,49)
6	0,5000	108	5,59	(5,15;6,04)	129	-0,21	(-0,30;-0,13)

Применение солевых растворов калия с различной концентрацией при замачивании семян обеспечивает положительные значения мембранных потенциалов для зерен пшеницы со всхожестью 87% и отрицательные значения со всхожестью 97%.

На основании экспериментальных данных, представленных в таблице, можно составить 6 уравнений, которые справедливы и для 87% всхожести, и для 97%.

Первое уравнение при нулевой внешней концентрации ионов $[K^+]_{out}, [Na^+]_{out}, [Cl^-]_{out}$ примет вид (6):

$$\varphi_1 = \frac{RT}{F} \ln \frac{P_K[K]_{in} + P_{Na}[Na]_{in} + (1 - P_{Cl})[Cl]_{in}}{(1 - P_K)[K]_{in} + (1 - P_{Na})[Na]_{in} + P_{Cl}[Cl]_{in}}$$

Следующее уравнение получено при использовании солевого раствора KCl с концентрацией 0,0005 мг/л:

$$\varphi_2 = \frac{RT}{F} \ln \frac{P_K[K]_{in} + (1 - P_K)0,00026 + P_{Na}[Na]_{in} + (1 - P_{Cl})[Cl]_{in} + P_{Cl}0,00024}{(1 - P_K)[K]_{in} + P_K0,00026 + (1 - P_{Na})[Na]_{in} + P_{Cl}[Cl]_{in} + (1 - P_{Cl})0,00024} \quad (7)$$

Следующие четыре уравнения составляются аналогично.

$$\varphi_3 = \frac{RT}{F} \ln \frac{P_K[K]_{in} + (1 - P_K)0,0052 + P_{Na}[Na]_{in} + (1 - P_{Cl})[Cl]_{in} + P_{Cl}0,0048}{(1 - P_K)[K]_{in} + P_K0,0052 + (1 - P_{Na})[Na]_{in} + P_{Cl}[Cl]_{in} + (1 - P_{Cl})0,0048} \quad (8)$$

$$\varphi_4 = \frac{RT}{F} \ln \frac{P_K[K]_{in} + (1 - P_K)0,0026 + P_{Na}[Na]_{in} + (1 - P_{Cl})[Cl]_{in} + P_{Cl}0,0024}{(1 - P_K)[K]_{in} + P_K0,0026 + (1 - P_{Na})[Na]_{in} + P_{Cl}[Cl]_{in} + (1 - P_{Cl})0,0024} \quad (9)$$

$$\varphi_5 = \frac{RT}{F} \ln \frac{P_K[K]_{in} + (1 - P_K)0,13 + P_{Na}[Na]_{in} + (1 - P_{Cl})[Cl]_{in} + P_{Cl}0,12}{(1 - P_K)[K]_{in} + P_K0,13 + (1 - P_{Na})[Na]_{in} + P_{Cl}[Cl]_{in} + (1 - P_{Cl})0,12} \quad (10)$$

$$\varphi_6 = \frac{RT}{F} \ln \frac{P_K[K]_{in} + (1 - P_K)0,26 + P_{Na}[Na]_{in} + (1 - P_{Cl})[Cl]_{in} + P_{Cl}0,24}{(1 - P_K)[K]_{in} + P_K0,26 + (1 - P_{Na})[Na]_{in} + P_{Cl}[Cl]_{in} + (1 - P_{Cl})0,24} \quad (11)$$

В результате математического моделирования в среде Mathcad с использованием экспериментальных данных и системы уравнений (6)-(11) были получены абсолютные значения коэффициентов проницаемости, а также концентрации ионов.

Изменение экспериментальных значений φ в указанных пределах доверительных интервалов влечет изменение коэффициентов на 15%, что подтверждено перебором различных вариантов значений мембранного потенциала в системе уравнений. Исключая средние значения, количество проверенных вариантов по границам доверительных интервалов составило 924.

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 фундаментальным исследованиям проницаемости мембраны аксона кальмара, где относительные коэффициенты проницаемости составляют: $P_K : P_{Na} : P_{Cl} = 1 : 0,04 : 0,45$ [5].

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

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

Для зерен пшеницы со всхожестью 87% коэффициенты проницаемости равны:

$$P_K = 0,02600 \pm 0,00400, P_{Na} = 0,00010 \pm 0,00002, P_{Cl} = 0,10000 \pm 0,02000$$

Относительные коэффициенты проницаемости составляют:

$$P_K : P_{Na} : P_{Cl} = 1 : 0,004 : 0,400.$$

Для зерен пшеницы с низкой всхожестью концентрации ионов на внутренней стороне мембраны

$$[K^+]_{in} = 1 \cdot 10^{-7} \text{ мг/л}, [Na^+]_{in} = 1 \cdot 10^{-5} \text{ мг/л}, [Cl^-]_{in} = 1 \cdot 10^{-9} \text{ мг/л}.$$

Заключение

В результате экспериментальных исследований с использованием солевых растворов KCl с различной концентрацией были определены коэффициенты проницаемости оболочки зерен пшеницы мягких сортов (Алтайский янтарь) для разной всхожести, а также концентрации ионов на внутренней стороне оболочки.

Исследования показали, что коэффициенты проницаемости и концентрации ионов для зерен пшеницы со всхожестью 87% значительно ниже, чем для зерен с высокой всхожестью.

Исходя из экспериментальных данных, получено, что при использовании дистиллированной воды значения мембранного потенциала покоя по модулю для зерен с высокой всхожестью значительно ниже,

чем для зерен с низкой всхожестью. Факт существенного различия потенциалов покоя объясняется высокой проницаемостью оболочки у зерен со всхожестью 97%. Согласно уравнению (6), числитель под знаком логарифма для зерен пшеницы со всхожестью 97% оказывается выше, чем для зерен пшеницы 87% всхожестью. Поэтому и мембранный потенциал получаем меньше: $|\varphi_{97\%}| < |\varphi_{87\%}|$.

Из приведенных в таблице экспериментальных данных с использованием солевых растворов KCl с различной концентрацией видно, что мембранные потенциалы зерен пшеницы со всхожестью 97% лежат в области отрицательных величин. С увеличением внешней концентрации ионов калия K^+ значения мембранного потенциала приближаются к нулю. У зерен пшеницы со всхожестью 87% наблюдаются положительные значения мембранных потенциалов, что связано с более низкой проницаемостью ионных каналов. Согласно уравнению (5), внешняя концентрация ионов увеличивается с каждым увеличением концентрации раствора KCl.

Полученные результаты исследований дают основание для формирования гипотезы о зависимости исследуемых параметров от всхожести зерен пшеницы мягких сортов и предполагают дальнейшие исследования в данной области.

В результате исследования на данный момент получаем, что контроль всхожести зерен пшеницы мягких сортов можно осуществлять по следующим методам:

1. Контроль по значениям мембранных потенциалов, полученных при проращивании зерен пшеницы дистиллированной водой.
2. Контроль по значениям мембранных потенциалов, полученных при проращивании зерен пшеницы в солевых растворах калия различной концентрации.

Список литературы

1. ГОСТ Р 52325-2005. Семена сельскохозяйственных растений. Сортовые и посевные качества. Общие технические условия. – М.: Стандартинформ, 2005. – 24 с.
2. ГОСТ 12038-84. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести. – М.: Изд-во стандартов, 1986. – 30 с.

3. Шереметьев М.В., Зырянов А.А., Мерченко Н.Н., Зрюмова А.Г., Пронин С.П.. Экспериментальная установка для исследования потенциала действия зерен пшеницы // Ползуновский Альманах. – 2011. – №1. – С.177–178.

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

5. Рубин А.Б. Биофизика. – М.: Университет, 1999. – 2 т.

6. Удовенко Г.В. Солеустойчивость культурных растений. – Л.: Колос, 1977. – 216 с.

7. Мерченко Н.Н., Пронин С.П., Зрюмова А.Г. Исследование и моделирование контроля всхожести зерна пшеницы с использованием формулы Нернста // Естественные и технические науки. – 2013. – №2. – С.189-192.

References

1. GOST R 52325-2005. Semena sel'skoxozhajstvennyh rastenij. Sortovye i posevnye kachestva. Obshhie tehicheskie uslovija. (GOST R 52325-2005. Seeds of agricultural plants. Varietal and sowing quality. General specifications.)– М.: Standartinform, 2005. – 24 p.

2. GOST 12038-84. Semena sel'skoxozhajstvennyh kul'tur. Metody opredelenija vshozhesti. (GOST 12038-84. Seeds of agricultural plants. Methods for determination of germination.)– М.: Izd-vo standartov, 1986. – 30 p.

3. Sheremetyev M.V., Zyryanov A.A., Merchenko N.N., Zryumova A.G., Pronin S.P. Jeksperimentalnaja ustanovka dlja issledovanija potenciala dejstvija zeren pshenicy (Experimental device for the study of the action potential of wheat seeds)// Polzunovskij Almanah. – 2011, – №1. – P. 177–178.

4. Opriotov V.A., Pjatygin S.S. Biojelektrogenез u vysshih rastenij (Bioelectrogenesis in higher plants). – М.: Nauka, 1991. – 215 p.

5. Rubin A. B. Biofizika – М. : Universitet, 1999. – 2 t.

6. Udovenko G.V. Salt tolerance of crop plants. L.: Kolos, 1977. – 216 p.

7. Merchenko N.N., Pronin S.P., Zryumova A.G. Issledovaniye i modelirovaniye kontrolya vskhozhesti zerna pshenitsy s ispolzovaniyem formuly Nernsta (Research and simulation of control wheat germination using the Nernst formula) // Yestestvennye i tehicheskiye nauki. 2013, – №2. – P. 189 – 192.

Рецензенты:

Беляев В.И., д.т.н., профессор, зав. кафедрой сельскохозяйственных машин ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный аграрный университет», г. Барнаул;

Букатый В.И., д.ф.-м.н., профессор, главный научный сотрудник Института водных экологических проблем СО РАН, г. Барнаул;

Пен Р.З., д.т.н., профессор, кафедра целлюлозно-бумажного производства и химических волокон, Сибирский государственный технологический университет (СибГТУ), г. Красноярск.

Работа поступила в редакцию 29.07.2014.