

90-151



СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

С 56

P19-90-151

П. Совински, Л. В. Быкова, М. Шепанковска,
Б. Бельцаж

К ВОПРОСУ О МЕХАНИЗМЕ ДЕЙСТВИЯ
ПОСТОЯННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ
НА ПРОРОСТКИ КУКУРУЗЫ,
ВЫЯВЛЯЕМОГО ПО ПОВЫШЕНИЮ
УСТОЙЧИВОСТИ К ХОЛОДУ

1990

ВВЕДЕНИЕ

В предыдущих работах нами установлено, что постоянное магнитное поле вызывает уменьшение холодоповреждения проростков холодоустойчивого гибрида кукурузы F7 x C0151 и холодочувствительного F72 x C0125. Аналогичного эффекта не обнаружено у проростков кукурузы холодоустойчивого гибрида F7 x F2^{16/}.

Целью настоящей работы является изучение механизма воздействия постоянного магнитного поля на клеточные мембраны кукурузы, которые являются ответственными за проявление повреждений при температуре ниже 9°C^{2,3/}.

ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ И МЕТОДИКА РАСТИТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ

В работе использовали два гибрида кукурузы: F7 x C0151 /холодоустойчивый/ и S72 x C0125 /холодочувствительный/, у которых ранее был показан эффект воздействия постоянного магнитного поля^{16/}.

В качестве объекта исследования использовали пятидневные проростки кукурузы, проращивание которых производилось в чашках Петри, в темноте и при температуре $26 \pm 1^\circ\text{C}$.

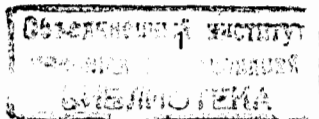
МЕТОДИКА ОМАГНИЧИВАНИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО МАТЕРИАЛА

Установка для омагничивания была описана ранее^{15/}.

Проростки кукурузы подвергались воздействию постоянного магнитного поля напряженностью 100 Э, а в одном из вариантов - 50 и 500 Э. Для гибрида F7 x C0151 время экспозиции составляло 10^3 с, а для гибрида S72 x C0125 - 10^4 с.

УСЛОВИЯ ОХЛАЖДЕНИЯ РАСТЕНИЙ И ОЦЕНКА ХОЛОДОПОВРЕЖДЕНИЙ

Для выявления холодоповреждений проростки кукурузы подвергались воздействию низкой положительной температуры $1,5 \pm 0,5^\circ\text{C}$ в течение 48 часов. Омагничивание растений проводилось



непосредственно до их охлаждения, кроме варианта, в котором исследовалось выявление эффекта магнитного поля в зависимости от времени промежутка между омагничиванием и охлаждением. Охлаждение проростков кукурузы проводилось через 0, 10³ и 10⁴ с после омагничивания. Скорость охлаждения проростков становилась 2°С/мин, а в одном из вариантов - 0,1°С/мин.

Для оценки холодоповреждения был применен кондуктометрический тест^{/4-6/}. Результаты, после трансформации Блисса, оценивали дисперсионным анализом. За уровень значимости принимали P = 0,05. Степень выявления холодоповреждения оценивали, используя коэффициент повреждений^{/5,6/}.

ИССЛЕДОВАНИЯ СОВМЕСТНОГО ЭФФЕКТА МАГНИТНОГО ПОЛЯ, ХОЛОДА, Ca²⁺ И EDTA

Проростки в чашках Петри заливали раствором CaSO₄ в концентрации 50, 100, 200 и 500 мкМ или 100 и 1000 мкМ EDTA-Na. Контрольные проростки заливали дистиллированной водой. Растения инкубировали в указанных растворах в течение двух часов в темноте. После этого раствор выливали, а проростки кукурузы подвергали воздействию постоянного магнитного поля и охлаждению, как описано выше.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В табл. 1 представлена зависимость выявленного эффекта действия постоянного магнитного поля от промежутка времени между омагничиванием и охлаждением растений. В экспериментах использовали только проростки кукурузы гибрида F7 x C0151. Статистически достоверные уменьшения холодоустойчивости проростков наблюдалось только в том случае, если охлаждение растений следовало непосредственно после омагничивания, если же растения переносили в холод через 10³ и 10⁴ с после омагничивания, то наблюдалось исчезновение статистически достоверного эффекта действия магнитного поля. Эти результаты позволяют нам сделать вывод о том, что используемое нами постоянное магнитное поле влияет на клеточные мембраны в проростках таким образом, что повышает их холодоустойчивость, но лишь на короткий срок.

На этом основана предложенная нами гипотеза, из которой следует, что наблюдаемое уменьшение повреждений холодом не является результатом повышения устойчивости проницаемости клеточных мембран /контрольных образцов/ к холоду per se, но и к другому роду стресса - быстрому понижению температуры, которое происходило в наших опытах со скоростью около 1°С/мин и следовало

Таблица 1. Относительный выход внутриклеточных электролитов и коэффициент повреждений холодом у проростков кукурузы гибрида F7 x C0151 в зависимости от интервала времени между омагничиванием и охлаждением растений

	К	КМ 0	КМ 1000	КМ 10000	Х	ХМ 0	ХМ 1000	ХМ 10000
ВЭ% /%/	16,0	16,8	16,5	17,3	24,5	21,9	23,7	23,2
П /%%/					45	30	40	37
ВЭОБ /ОБ/	24,3	24,2	24,0	24,6	29,9	27,5	29,1	28,2
С	±0,9	±1,1	±0,5	±1,3	±3,0	±2,0	±2,0	±2,0
						д	н.д.	н.д.

Обозначения: 0, 1000, 10000 - интервал времени между омагничиванием и охлаждением, К - температура (26±0,5)°С, Х - температура /1,5 ± 0,3/°С, М - постоянное магнитное поле напряженностью 100 Э, ВЭ% - относительный выход внутриклеточных электролитов, выраженный в процентах, ВЭОБ - относительный выход внутриклеточных электролитов после трансформации Блисса, С - стандартное отклонение, н.д. - различия статистически не достоверные, д - различия статистически достоверные.

Таблица 2. Относительный выход внутриклеточных электролитов и коэффициент повреждений холодом у проростков кукурузы гибрида F7 x C0151, в зависимости от скорости охлаждения

	К	КМ	К 1	КМ	Х 0,1	ХМ 0,1	Х 2	ХМ 2
ВЭ% /%/	16,3	16,3	15,9	15,8	21,5	21,6	22,2	20,5
П /%%/					32	33	40	29
ВЭОБ /ОБ/	23,8	23,8	23,5	23,4	27,6	27,7	28,1	26,9
С	±0,9	±0,7	±0,7	±0,9	±1,3	±1,2	±1,3	±1,8
						н.д.		д.

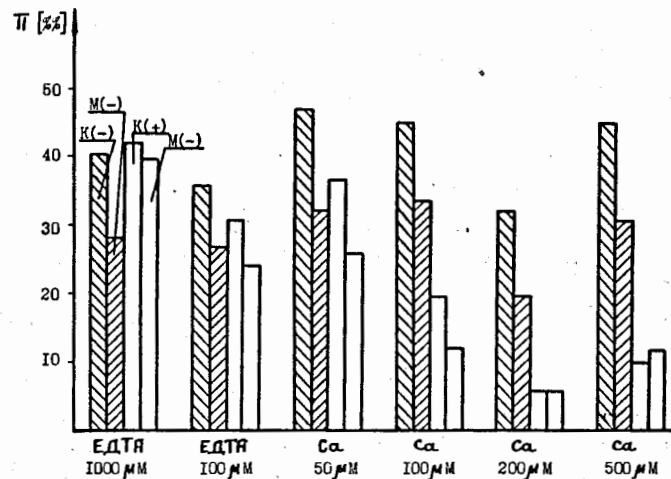
Обозначения: 1, 2 - скорость охлаждения относительно 0,1°С/мин и 2°С/мин, другие обозначения те же, что и в табл.1.

непосредственно после омагничивания. Быстрое понижение температуры является сильным стрессом для чувствительных к холоду растений, в том числе для кукурузы /1,7,9/.

Для проверки этой гипотезы мы сравнили эффект воздействия постоянного магнитного поля на проростки гибрида F7 x C0151 для разных скоростей охлаждения: 2°C/мин и 0,1°C/мин. Результаты этих экспериментов показаны в табл. 2. Увеличение холодоустойчивости в результате воздействия магнитного поля отмечено только в том случае, если только растения охлаждались со скоростью 2°C/мин. При более медленном охлаждении /0,1°C/мин/ повреждаемость проростков, подвергнутых омагничиванию, не отличалась от таковой неомагниченного контроля. Надо также заметить, что повреждения, проявляющиеся у медленно охлаждаемых проростков, оказались меньшими, чем у проростков, охлаждаемых с большей скоростью. Эти результаты свидетельствуют о том, что быстрое охлаждение является стрессом для проростков кукурузы, а наблюдаемый нами эффект воздействия постоянного магнитного поля реализуется через приспособления клеточных мембран к такому рода стрессу.

Возникает вопрос о механизме приспособления клеточных мембран к быстрому охлаждению. Как показано для корней, выявленные нарушения, являющиеся следствием быстрого охлаждения, можно частично предотвратить повышением концентрации Ca^{2+} в среде /1/, что, вероятно, каким-то образом стабилизирует структуру клеточных мембран. Поэтому мы предположили, что магнитное поле вызывает освобождение ионов кальция, связанных в каких-то клеточных структурах /например, в клеточных стенках/, что приводит к повышению концентрации этих ионов в клетке. Для проверки этой гипотезы нами был проведен ряд экспериментов, в которых исследовали эффект действия постоянного магнитного поля у проростков гибрида F7 x C0151 в зависимости от концентрации ионов кальция в среде. Проростки инкубировали в растворах $CaSO_4$ с концентрациями 50, 100, 200, 500 мкМ и в растворах EDTA-Na /100 и 1000 мкМ/, вещества, проявляющего сильные хелатирующие свойства к двухвалентным ионам, в том числе и к ионам кальция. Результаты этих экспериментов показаны на диаграмме.

При инкубации проростков кукурузы в растворе 200 и 500 мкМ $CaSO_4$ мы обнаружили сильное уменьшение степени повреждения холодом. При этом не наблюдалось различия между растениями, не подвергавшимися /контроль + Ca^{2+} / и подвергавшимися /омагничивание + Ca^{2+} / влиянию постоянного магнитного поля. Особенно интересными оказались результаты по влиянию постоянного магнитного поля на проростки, инкубируемые в растворах $CaSO_4$ с концентрациями 50 мкМ и 100 мкМ. В таких условиях наблюдалось не только понижение холодоповреж-



Коэффициент повреждений у проростков, подвергавшихся влиянию холода /1,5 + 0,3°C/ и постоянного магнитного поля /100 Э, время экспозиции 1000 с/ в зависимости от концентрации $CaSO_4$ и EDTA. Обозначения: П - коэффициент повреждений, К - проростки неомагниченные, М - проростки омагниченные, (-) - проростки, инкубированные в дистиллированной воде, (+) - проростки, инкубированные в растворе $CaSO_4$ или EDTA.

дений у проростков, но также суммирование эффектов инкубации проростков в растворе $CaSO_4$ и воздействия магнитного поля. С другой стороны, нам удалось отметить исчезновение влияния постоянного магнитного поля при понижении концентрации двухвалентных ионов, в том числе Ca^{2+} , при инкубации проростков в 1000 мкМ растворе EDTA-Na. Эти результаты показывают, что воздействие используемого нами магнитного поля имеет характер, аналогичный действию ионов кальция, а может быть, и других двухвалентных ионов. В данном случае эффект воздействия магнитного поля примерно равнялся эффекту действия 50 мкМ Ca^{2+} и мог быть нивелирован инкубацией в 1000 мкМ растворе EDTA-Na. Возникает вопрос, можно ли усилить наблюдаемый эффект воздействия магнитного поля. Так, например, ранее мы показали, что степень проявления эффекта зависит, в частности, от времени экспозиции проростков в постоянном магнитном поле /6/.

Для проверки того, зависит ли эффект постоянного магнитного поля от его напряженности, мы провели серию экспериментов. Мы изучали влияние постоянного магнитного поля с напряженностью

Таблица 3. Относительный выход внутриклеточных электролитов у проростков кукурузы гибрида F7 x C0151 для разных значений напряженности магнитного поля

	К	КМ 50	КМ 100	КМ 500	Х	ХМ 50	ХМ 100	ХМ 500
ВЭ% /0/	15,7	15,4	16,2	15,9	26,7	23,5	23,7	24,4
П /%/					70	50	51	59
ВЭОБ /°Б/	23,3	23,1	23,7	23,5	31,1	29,0	29,2	29,6
С	±2,2	±1,3	±1,4	±1,4	±3,1	±3,7	±1,9	±1,9
		н.д.	н.д.	н.д.		д.	д.	д.

Обозначения: 50, 100, 500 – напряженность постоянного магнитного поля /в Э/. Другие обозначения, как в табл. 1.

Таблица 4. Относительный выход внутриклеточных электролитов у проростков кукурузы гибрида S72 x C0125 для разных значений напряженности постоянного магнитного поля

	К	КМ 50	КМ 100	КМ 500	Х	ХМ 50	ХМ 100	ХМ 500
ВЭ% /%/	12,6	12,0	11,6	11,8	20,8	16,7	17,9	18,1
П /%/					65	33	42	44
ВЭОБ/°Б/	20,8	20,3	19,9	20,1	27,1	24,1	25,0	25,2
С	±1,0	±0,7	±1,1	±0,5	±2,0	±1,4	±1,3	±0,7
		н.д.	н.д.	н.д.		д.	д.	д.

Обозначения как в табл. 3.

50, 100 и 500 Э на выявление повреждений клеточных мембран у проростков кукурузы гибридов F7 x C0151 и S72 x C0125 в условиях холода. Результаты показаны в табл. 3 и 4. Как мы ранее наблюдали, постоянное магнитное поле не вызывало изменений в проницаемости клеточных мембран у растений обоих гибридов, не подвергавшихся влиянию холода. Уменьшение холодоповреждений, как результат воздействия постоянного магнитного поля, оказалось весьма значительным, но мы не обнаружили зависимости эффекта магнитного поля от его напряженности. Вероятно, пул ионов кальция, который может выделяться в результате воздействия постоянного магнитного поля, является ограниченным.

Обнаруженный нами эффект воздействия постоянного магнитного поля, проявляющийся в понижении холодочувствительности некоторых гибридов кукурузы, можно объяснить описанным выше механизмом: понижение чувствительности к холоду происходит вследствие освобождения ионов кальция, защищающих структуру клеточных мембран при охлаждении. Надо отметить, что неясным остается не только механизм освобождения ионов кальция, но также и роль ионов кальция, а возможно, и других двухвалентных ионов, в стабилизации структуры клеточных мембран в неперемиссивных условиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Christiansen M.N. - In: Low Temperature Stress in Crop Plants. New York, Acad. Press, 1979, p.119.
2. Lyons M.I. et al. - In: Low Temperature Stress in Crop Plants. New York, Acad. Press., 1979, p.1.
3. Pike C.S., Berry J.A. - Plant Physiol., 1980, v.66, p.238.
4. Rikin A. et al. - Plant and Cell Physiol., 1979, v.20, p.1937.
5. Совински П. и др. - Сообщение ОИЯИ P19-88-131, Дубна, 1988.
6. Совински П. и др. - Сообщение ОИЯИ P19-89-249, Дубна, 1989.
7. Zocchi C., Hanson I.R. - Plant Physiol., 1982, p.318.
8. Zsoldos F., Karvaly B. - Low Temperature Stress in Crop Plants. New York, Acad. Press, 1979, p.123.

Рукопись поступила в издательский отдел
1 марта 1990 года.