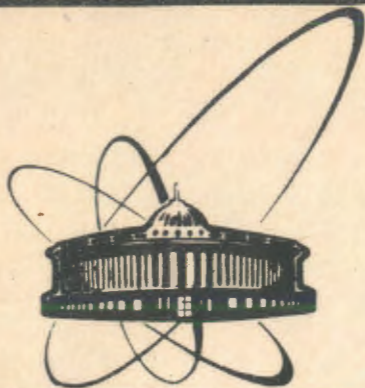


91-576



СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

P19-91-576

А. С. Сапогов

СКОРОСТЬ ПРОПУСКАНИЯ СЕМЯН
ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР ЧЕРЕЗ МАГНИТНОЕ ПОЛЕ
КАК СУЩЕСТВЕННЫЙ ПАРАМЕТР ЭФФЕКТИВНОГО
ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЭНЕРГИЮ ПРОРАСТАНИЯ

1991

В последние годы, в отличие от некоторых других физических методов воздействия, улучшающих качество посевного и посадочного материала в условиях сельскохозяйственного производства, предпосевная обработка магнитным полем (МП) неизменно подтверждает свою эффективность^{/1-3/}. Среди важных особенностей данного метода можно назвать следующие:

а) хорошее сочетание с технологиями посевных работ, без их нарушений и усложнений;

б) относительно устойчивую воспроизводимость эффекта;

в) безвредность для обслуживающего персонала и окружающей среды.

Однако, несмотря на несомненные достоинства метода, необходимо отметить, что устройства для его осуществления создаются, как правило, без достаточно надежного изучения роли той или иной характеристики (сочетания характеристик) МП при воздействии на разные виды семян в лабораторных условиях. Нет сомнений, что применяемые в настоящее время режимы промышленной обработки семян в МП далеки от оптимальных. Это является серьезным недостатком при работе, например, с зерновыми культурами, где известна прямая зависимость между лабораторной энергией прорастания (ЭП) семян, полевой густотой стояния и ожидаемой урожайностью при нормальных условиях выращивания^{/4,5/}. ЭП является весьма важным показателем качества семян и, кроме того, чрезвычайно чувствительным индикатором их состояния, используемым для изучения различных воздействий на семена^{/6/}. В большинстве известных работ роль определяющей эффект характеристики действующего на посевной материал МП отводят диапазону напряженностей^{/7,8/}, направлению силовых линий^{/9/}, пространственной неоднородности^{/10/}, длительности экспозиции^{/11/}, плотности энергии поля^{/12/}.

При оценке же эффективности обработки водных систем в МП на первое место, как правило, выносят сочетание напряженности поля и скорости прохождения через него исследуемого раствора^{/13/}.

ЦЕЛИ, ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКИ

С учетом того факта, что даже сухие семена содержат до 15% воды, т.е. в определенной степени являются водными системами, представляется важным проверить, не является ли скорость прохождения семян в МП при прочих равных условиях существенным фактором для эффективности их обработки. Значит, есть вполне достаточное основание для экстраполяции традиционного

для магнитной обработки водных систем подхода на посевной материал. Кроме того, известно, что именно сочетание действующей напряженности МП со скоростью движения объекта в поле определяет при прочих равных условиях величину индуцируемой в данном объекте электродвижущей силы.

Целями работы являются:

- 1) проверка значимости скорости пропускания семян зерновых культур через МП при одинаковой действующей максимальной напряженности для влияния на ЭП этих семян;
- 2) проверка значимости действующей напряженности МП при одинаковых скоростях пропускания семян для влияния на их ЭП;
- 3) попытка дифференцирования определяющих эффект характеристик МП, действующего на данные объекты.

В качестве объектов исследований для первой части работы использованы семена пшеницы сорта Заря, овса сорта Гамбо, ячменя сорта Московский-3. Индикатором эффективности воздействующего фактора выбрана ЭП, измеряемая по методике ГОСТа 12038-84. Причем предварительная оценка используемых семян по всхожести показала, что в соответствии с ГОСТами 10467-76, 10469-76, 10470-76 семена пшеницы и ячменя относятся ко II классу, овса — к III классу.

Все семена подвергались воздействию МП в суховоздушном состоянии за 30—40 минут до высева. Источником МП служил бариево-ферритовый брусок размером 120X80X65 мм с полюсами по большим плоскостям. Семена, помещенные в жесткие пластиковые пакеты размером 50X32X6 мм, перемещались в поле данного магнита с установленными скоростями. Во время перемещения плоскости пакетов двигались параллельно плоскости северного полюса на таком расстоянии от последнего, чтобы максимальная напряженность МП в зоне прохождения семян составляла 4,0 кА/м. Погрешность измерения напряженности не превышала 0,05 кА/м.

График изменения максимальной действующей напряженности МП по траектории прохождения семян, представлен на рис. 1.

Различие между режимами обработки состояло в разных скоростях движения семян в МП. Исследовано 7 скоростей пропускания семян через МП: от 1 до 4 м/с с интервалами 0,5 м/с. Погрешность воспроизведения скоростей — 0,05 м/с.

Проращивание семян для определения ЭП осуществлялось в чашках Петри, в соответствии с названным методом, в темноте, при постоянной температуре 20 °С, между слоями увлажненной до полного насыщения фильтровальной бумаги (для овса и ячменя с постоянной подачей воды).

Измерение ЭП у пшеницы и ячменя проводили через 3 суток, у овса — через 4 суток после высева. ЭП определялось как отношение числа нормально проросших семян к общему числу семян, выраженное в процентах. У данных культур к числу нормально проросших относят семена, имеющие не менее двух нормально развитых корешков размерами более длины семени и росток

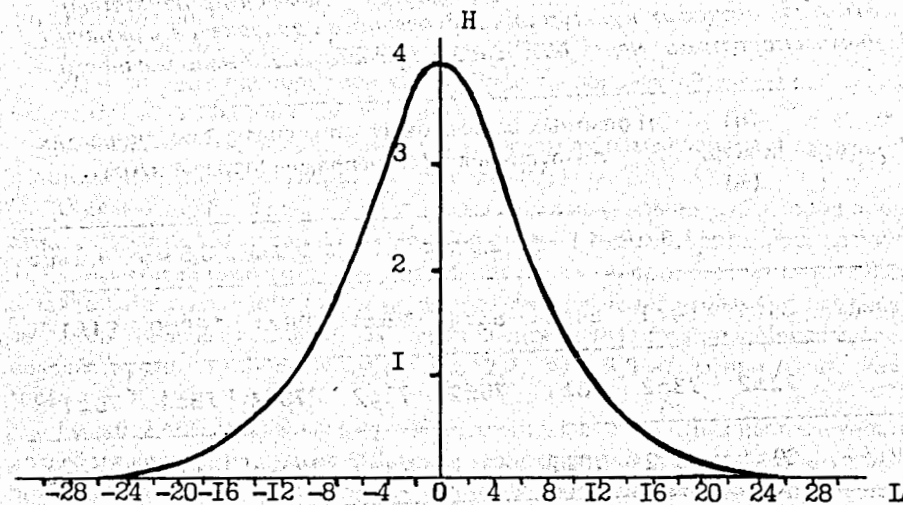


Рис. 1. График изменения максимальной напряженности МП по траектории движения семян. H — напряженность воздействующего МП (кА/м), L — расстояние от точки над центром источника МП по траектории (см).

размером не менее половины его длины с просматривающимися первичными листочками, занимающими не менее половины длины coleoptily. У ячменя и овса длину ростка учитывают по той его части, которая вышла за пределы цветковых чешуй^{14/}.

В каждой чашке высевалось по 100 семян. На один вариант отдельного опыта приходилось по 4 чашки, т.е. ЭП в каждом опыте измерялась на основании обследования 400 семян для каждого варианта. Всего с семенами пшеницы, ячменя и овса проведено по 8-10 независимых опытов. В соответствии с требованиями указанного ГОСТа точность измерения ЭП — до целых чисел. Для статистических расчетов применен параметрический тест Стьюдента^{15/}. За расчетную единицу для каждого варианта серии принималась ЭП отдельного опыта. Преобразование (логарифмирование, трансформация) процентов в данном случае не требуется ввиду достаточной статистической однородности материала.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В табл. 1 представлены результаты данных серий опытов. Главное, что обращает на себя внимание — факт наличия в одном из вариантов каждой серии достоверного увеличения ЭП по сравнению с контролем. Причем для ячменя и для овса эффективной оказалась скорость 3 м/с, а для пшеницы довольно

Таблица 1. Результаты опытов по проверке влияния на показатели ЭП семян зерновых культур их предпосевного пропускания с различными скоростями через МП одной действующей напряженности

Культура	ЭП контр. (%)	ЭП опытных вариантов (%) при следующих скоростях пропускания в МП напряженностью 4 кА/м						
		1,0 м/с	1,5 м/с	2,0 м/с	2,5 м/с	3,0 м/с	3,5 м/с	4,0 м/с
Пшеница	84±1	84±1	84±1	85±1	85±1	86±1	*88±0	84±1
Овес	72±2	73±2	73±1	75±2	75±2	*78±1	75±1	75±1
Ячмень	69±1	68±2	70±2	69±2	73±2	*76±1	71±1	71±2

* Варианты, статистически отличающиеся от контроля.

близкая к ней – 3,5 м/с. Для указанных вариантов опытов при данных объемах выборок оценка по критерию Стьюдента существенности разности средних независимых выборок опровергает нуль-гипотезу с уровнем вероятности не ниже 0,99. Следует отметить, что в других вариантах серий опытов (с семенами овса и ячменя) есть лишь недостоверная тенденция к повышению ЭП по сравнению с контролем. Можно предположить, что значительное увеличение объемов серий опытов с данными семенами овса позволит получить достоверное подтверждение эффективности скоростей от 2 до 4 м/с. Характерно, что семена овса по всхожести отнесены к III классу, т.е. классифицируются ниже двух других партий. Но, очевидно, наиболее важны те режимы магнитной обработки, которые позволяют получить достоверную стимуляцию ЭП в относительно небольших сериях опытов, т.е. дают хорошо воспроизводимый эффект.

Следует особо остановиться на том общем результате всех трех серий опытов, что сама по себе величина напряженности (Н) действующего на семена МП не является достаточным фактором для получения эффекта. Только при сочетаниях ее с определенными скоростями движения (V) семян получены достоверные повышения исследуемых показателей.

Что касается прикладного значения работы, известно, что полевая густота стояния растений зерновых культур и их урожайность коррелируют с лабораторной ЭП^{14,51}.

Поскольку полученные результаты дают основание утверждать о значимости величины скорости перемещения семян в МП для ускорения их прорас-

тания, представляется важным оценить более конкретно значения отдельных факторов воздействия, являющихся производными от скорости. К ним относятся следующие:

- 1) длительность экспозиции семян в МП (T_3);
- 2) величина индуцируемой силой Лоренца поперечной электродвижущей силы (U_n) в живых клетках зародышей семян;
- 3) величина индуцируемой в тех же клетках изменяющимся магнитным потоком вихревой электродвижущей силы (U_B).

С целью дифференциации влияния каждого из указанных факторов проведена дополнительная серия опытов на семенах ячменя сорта Московский-2 (III класса по всхожести). Источник МП прежний, но семена в различных вариантах опыта проходили над ним по четырем разноудаленным от плоскости северного полюса параллельным этой плоскости траекториям. Максимумы Н действующего МП составляли: 1,3; 2,7; 4,0; 5,3 кА/м при сочетаниях с V семян: 1, 2, 3 и 4 м/с.

На рис.2 представлены графики изменений максимальных напряженностей действующего на семена МП при их прохождении по указанным траекториям. Заметим, что график при Н = 4 кА/м идентичен таковому в предшествующих сериях опытов. Дополнительная серия включала в себя 10 независимых опытов, каждый из которых состоял из 16 опытных и 1 контрольного вариантов. Методики проращивания, регистрации, расчетов те же, что и в предыдущих опытах.

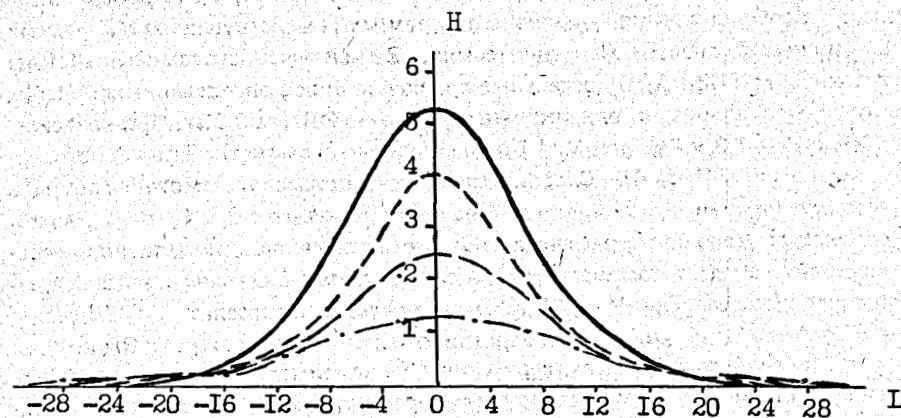


Рис.2. График изменений максимальных действующих напряженностей МП при прохождении семян по разноудаленным от источника траекториям. Н — напряженность действующего МП (кА/м), L — расстояние от точки над центром источника МП (см) по траектории.

Таблица 2. Результаты опытов по проверке значимости для стимуляции ЭП семян ячменя (методом предпосевного пропускания через МП) определенных сочетаний напряженности воздействующего поля и скорости движения семян

ЭП конт- роля (%)	Напря- жен- ность воздей- ствующе- го МП (кА/м)	ЭП опытных вариантов (%) при следующих скоростях движения через МП и при следующих уровнях вероятности отличия от контроля (не ниже 0,95)							
		Уро- вень вероят. 1,0 м/с	Уро- вень вероят. 2,0 м/с	Уро- вень вероят. 3,0 м/с	Уро- вень вероят. 4,0 м/с	Уро- вень вероят. 5,0 м/с	Уро- вень вероят. 6,0 м/с	Уро- вень вероят. 7,0 м/с	Уро- вень вероят. 8,0 м/с
52±2	1,3	56±2	—	56±2	—	53±2	—	53±2	—
	2,7	53±2	—	61±2	0,999	52±2	—	55±2	—
	4,0	51±2	—	52±2	—	60±2	0,999	55±2	—
	5,3	53±2	—	54±2	—	55±2	—	60±2	0,999

В табл.2 представлены результаты дополнительной серии. Первое, что обращает на себя внимание — наличие при разных H действующего МП разных эффективных скоростей движения семян. За исключением самой низкой из испытанных H (1,3 кА/м), остальные при сочетаниях с определенными V дали достоверные и примерно одинаковые повышения ЭП (на 8-9%). При воздействии МП с $H = 1,3$ кА/м при $V = 1$ и 2 м/с получено статистически недостоверное повышение ЭП на 4%. Следовательно, в данном случае можно говорить только о тенденции к стимуляции. Следует отметить, что при $H = 4,0$ кА/м и на семенах данного сорта ячменя в отношении эффективной V в точности воспроизведен результат предшествующей серии опытов с семенами ячменя другого сорта и класса. При $H = 2,7$ кА/м эффективной оказалась $V = 2$ м/с, при $H = 5,3$ кА/м — $V = 4$ м/с. Уровни вероятности отличия от контроля ЭП во всех трех эффективных вариантах серии опытов не ниже 0,99. При некоторых других сочетаниях H и V имеются лишь статистически недостоверные тенденции к повышению ЭП.

ОБСУЖДЕНИЯ

Итак, мы получили три эффективных сочетания максимальной воздействующей напряженности МП со скоростью движения объекта в этом поле. Зная их, а также графики изменения H_{max} по траекториям движения семян (рис.2), дифференцируем вклад в получаемый эффект каждого из упомянутых факторов.

Рассмотрим роль длительности экспозиции объектов в МП. Основываясь на графиках изменений H , нетрудно рассчитать, что, например, при $V = 2$ м/с в сочетании с $H = 2,7$ и 4,0 кА/м T_3 составляют соответственно 0,26 и 0,25 с, т.е. различаются всего на 0,01 с. Однако в первом сочетании мы имеем повышение ЭП на 9% с высшим уровнем вероятности, в то время как во втором ЭП не отличается от контроля даже на 1%. При $V = 3$ м/с в сочетаниях с $H = 2,7$ и 4,0 кА/м T_3 равны с точностью до 0,01 с и составляют 0,17 с. Но, подобно предшествующему примеру, в первом случае ЭП не отличается от контроля ни на 1%, а во втором увеличилась на 8% с высшим уровнем вероятности. Приведенные факты позволяют утверждать, что само по себе время экспозиции данных объектов в МП не является определяющим фактором для получения эффекта.

Затем выделим значение поперечной ЭДС, индуцируемой силой Лоренца в живых клетках зародышей при движении семян в МП. Известны работы, связывающие именно с ее воздействием влияние МП на биологические объекты^{16/}. U_n рассчитывается по формуле:

$$U_n = -\mu_0 \mu H V l,$$

где μ_0 — магнитная постоянная, μ — относительная магнитная проницаемость вещества, l — поперечный размер объекта, содержащего подвижные заряды, V — скорость движения объекта перпендикулярно силовым линиям МП. Как видим, в правой части уравнения переменными величинами в наших случаях являются только \vec{H} и \vec{V} . Причем эти векторы взаимно перпендикулярны при максимальных значениях H , т.е. при прохождении объектов над центральной частью магнитного бруса. Если в данную формулу подставить пары значений: $H = 2,7$ кА/м при $V = 2$ м/с и $H = 5,3$ кА/м при $V = 1$ м/с, мы получим одинаковые величины U_n . Но если первое сочетание привело к достоверной стимуляции ЭП, то второе совершенно не повлияло на этот показатель. Следовательно, можно констатировать, что величина индуцированной в живых клетках U_n не является для данных объектов фактором, определяющим стимулирующий эффект.

И, наконец, оценим возможный вклад в получаемое увеличение ЭП вихревых ЭДС, наведенных в тех же клетках зародыша изменяющимся МП. Многие авторы склонны ставить именно их во главу угла при объяснении биологического действия МП^{17/}. Запишем известную зависимость:

$$U_v = \frac{\Delta(\mu_0 \mu H S)}{\Delta t},$$

где S — площадь поперечного сечения проводника, нормальная к направлению вектора \vec{H} , Δt — время изменения магнитного потока, пронизывающего данную площадь.

В этом случае возникновение U_B связано с изменением либо H , либо S . Поскольку в наших опытах семена проходят через МП в жестких пакетах, т.е. фиксированы относительно плоскости полюса, максимум U_B в цитоплазме клеток может быть индуцирован только изменением действующей на них величины H . Снова обратимся к графикам изменений H действующего МП при прохождении семян по разным траекториям. Практически одинаковые значения $\Delta H/\Delta t$ можно получить при следующих сочетаниях H и V : 2,7 кА/м и 4 м/с; 4,0 кА/м и 3 м/с; 5,3 кА/м и 2 м/с. Но, как видно из табл.2, только второе из приведенных сочетаний позволило получить эффект, в то время как первое и третье не повлияли на ЭП. Отсюда можно заключить, что величина вихревой ЭДС, по всей видимости, не является самостоятельной причиной воздействия МП на семена. Легко рассчитать, что в данных опытах U_B по абсолютной величине намного уступает U_n (с учетом размеров растительных клеток).

Отдельные авторы еще в 70-х годах высказали предположение о возможной зависимости эффективности обработки водных систем в МП от соответствия напряженности поля и скорости потока радиусам циклотронных окружностей ионов, содержащихся в данном растворе^{18,19}. В последние годы с позиции циклотронного резонанса группа американских исследователей предпринимает попытки обосновать влияние МП на скорость прохождения ионов кальция и калия через мембраны растительных клеток^{20,21}.

Приняв к сведению эти гипотезы, попробуем взглянуть на полученные нами результаты. Но, в отличие от группы ЛибOFFа, будем учитывать не резонансные сочетания индукции и частоты действующего на ионы МП, а сочетания индукции поля со скоростью движения через него заряженных частиц (в частности, ионов). При этом необходимо принять во внимание величину радиуса витка ларморовской траектории, на которую стремится выйти свободный заряд, движущийся в МП. Запишем формулы:

$$BqV = mV^2/r, \text{ откуда } m = Bqr/V,$$

где B — индукция МП, действующего на свободный заряд; q — величина этого заряда; V — скорость движения заряда в МП перпендикулярно вектору \vec{B} ; m — масса заряженного тела; r — радиус окружности, описываемой свободным зарядом при данных условиях.

Так как форма клеток зародыша семени близка к сферической, средний радиус растительной клетки $5 \cdot 10^{-6}$ м, а величина заряда подавляющего большинства ионов живой клетки $1,6 \cdot 10^{-19}$ К, учитывая, что в наших опытах при максимальных значениях H действующего на объект МП векторы \vec{B} и \vec{V} перпендикулярны, мы получим все необходимые данные для нахождения массы искомого иона. С учетом магнитной проницаемости наших объектов переведем значения H в соответствующие значения B : 2,7 кА/м — 3,3 мТл; 4,0 кА/м — 5,0 мТл; 5,3 кА/м — 6,7 мТл. Подставив в приведенную формулу одну из пар эффективных сочетаний B и V , а также принятые значения q и r , попытаемся приблизительно установить массу предполагаемого иона:

$$m = \frac{5,0 \cdot 10^{-3} \text{ Тл} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \cdot 5 \cdot 10^{-6} \text{ м}}{3 \text{ м/с}} = 1,33 \cdot 10^{-27} \text{ кг}.$$

Подстановка других, полученных в наших опытах сочетаний B и V , стимулирующих ЭП, дает практически тот же результат. По рассчитанной массе предполагаемого иона, вовлекаемого в резонансное движение, несложно идентифицировать ион водорода (H^+). Отличие от его реальной массы ($1,67 \cdot 10^{-27}$ кг) составляет около 20% и связано, по-видимому, с приблизительным значением принятого радиуса клеток.

Что же можно было ожидать, опираясь на известные закономерности, если искомыми компонентами живой клетки, реагирующими на МП, в действительности бы оказались находящиеся на плазматической мембране или вблизи нее ионы H^+ ?

Во-первых, известно, что данные ионы и в самом деле концентрируются на наружной поверхности мембраны, благодаря чему рН здесь на 0,3—0,4 единицы ниже, чем в окружающей среде²².

Во-вторых, известно, что на величину рН не влияют ионы H^+ , находящиеся в химических связях, следовательно, в данном случае мы имеем дело с динамической физической адсорбцией этих ионов наружными участками клеточных мембран. Следует добавить, что значения тепловой энергии атомов при благоприятных для живых объектов температурах и энергии связи атомов при физической адсорбции примерно равны.

В-третьих (поэтому), процесс адсорбции находится в динамическом равновесии с десорбцией, т.е. за счет энергии тепловых колебаний некоторое количество адсорбированных молекул (ионов) отрывается и находится в свободном состоянии. Таким образом, в любой отрезок времени вблизи активной поверхности адсорбента имеется некоторое количество свободных молекул (ионов).

В нашем конкретном случае на наружной поверхности плазматической мембраны клеток зародыша семени должна иметь место некая термопротонная эмиссия.

Ясно, что МП не могут существенно влиять на хаотические тепловые движения протонов, но в наших опытах последние в составе семян принимают участие в направленном движении с определенной скоростью относительно источника МП. Поскольку при максимальных значениях H действующего на семена поля векторы \vec{B} и \vec{V} перпендикулярны, а пространственный градиент B в объемах отдельных клеток незначителен, при прохождении этих зон свободные протоны, получив импульс, направленный по касательной к окружности с радиусом r , ось которой параллельна \vec{B} , будут стремиться к выходу на траекторию Лармора. То же происходит с протонами, движущимися в циклотроне. При уменьшении величины B (что в наших опытах имеет место после прохождения объектами над центральной частью магнита) радиусы этих окружностей увеличиваются. В этом случае протоны получают центробежный импульс и могут выйти за пределы действия сил адсорбционного взаимодействия. Понятно, что в отличие от вакуума циклотрона в межклеточном прост-

ранстве свободные протоны реально не могут двигаться по окружностям. Их траектории движения детерминируются взаимодействиями с молекулами и другими ионами, содержащимися, например, в клеточной стенке. И тем не менее за счет указанного центробежного импульса при данных условиях движения в МП свободные ионы H^+ за ничтожные доли секунды способны выйти из зоны адсорбции клеточной мембраны. Для сравнения нетрудно рассчитать, что за каждый период тепловых колебаний при нормальных температурах ионы H^+ успевают пройти расстояния меньше 10^{-10} м и в большинстве случаев не выходят из зоны действия сил адсорбционного взаимодействия.

Как следствие ухода части ионов H^+ с поверхности мембраны, здесь происходит некоторое повышение рН, что должно включить комплекс биофизических и биохимических изменений, каждое из которых неоднократно наблюдалось многими магнитобиологами. Заметим, что предположение о воздействии на живой объект слабого электромагнитного сигнала как триггера, запускающего целую последовательность явлений, довольно очевидно и высказывалось уже давно^{/23/}. Но подобные предположения пока оставались неконкретными и бездоказательными. Доказательство же существования постулированного нами триггера — ухода части ионов H^+ из зоны адсорбционного взаимодействия с поверхностью клеточной мембраны — может основываться, кроме известных законов и упомянутых результатов собственных опытов, еще и на целом ряде известных фактов как логичных следствиях этого явления.

1) Имеются результаты опытов, согласно которым при эффективном воздействии МП на живые растительные клетки, последние довольно существенно понижают рН окружающей среды^{/24/}. Известно, что подкисление эндосперма является ключевым этапом прорастания зерновок, т.к. настраивает всю систему внеклеточного пищеварения на рабочий ритм^{/25/}. Понятно, что выброс за пределы живых клеток эпителия щитка зерновок в прилегающие слои эндосперма ионов H^+ приведет к указанному подкислению.

2) В эндосперме зерновок содержатся кислые гидролазы, в первую очередь, α -амилазы, способные активизироваться ионами H^+ ^{/25/}. Эта активизация и наблюдается при магнитной обработке сухих семян зерновых культур перед высевом^{/26/}, ускоряя разложение α -амилазой крахмала до мальтозы и глюкозы.

3) Ускорение образования глюкозы в клетках эндосперма стимулирует ее проникновение в живые клетки зародыша и вовлечение в процесс гликолиза, служащий в первые сутки прорастания зерновок основным генератором АТР^{/27/}. Закономерно предположить, что у активизированных в МП семян усиливается гликолиз по сравнению с контролем, а соответственно, быстрее расходуются углеводы. Так оно и есть на самом деле^{/12,28/}.

4) Известно, что при гидролизе запасных веществ эндосперма образуются осмотически активные продукты. Поэтому стимуляция активности гидролаз в зерновках, обработанных МП, должна через некоторое время после начала набухания привести к повышению содержания в них воды. Это в действительности и регистрируется в опытах^{/29/}.

5) Известно, что выход из покоя и начало прорастания семян, подобных исследуемым, контролируется уровнем усвоенной ими воды при набухании^{/27/}. Следовательно, ускорение потребления воды набухающими зерновками, прошедшими эффективную магнитную обработку, должно ускорить их прорастание и, соответственно, повысить их ЭП, что и происходит^{/26,30/}.

6) Мембранная H^+ -АТРаза клеток растений максимально активна при рН $\sim 6,5$ ^{/31/}, что обычно и имеет место на наружной поверхности живых клеток^{/22/}. Следовательно, после эффективного воздействия МП можно ожидать временное снижение активности этой АТРаза. И, действительно, давно известно, что понижение активности АТРаза является одной из наиболее чувствительных реакций биологических объектов на действие слабых МП^{/32/}.

7) Временное снижение активности H^+ -АТРаза должно повлечь за собой понижение рН цитоплазмы^{/31/}, которое, в свою очередь, вызовет изменения энергетики, скоростей биохимических реакций и всего метаболизма клетки, что постоянно и наблюдается при действиях МП на растения^{/33/}.

8) Мембранный электрический потенциал до определенной степени обусловлен работой систем активного трансмембранного транспорта ионов^{/25/}. Ввиду временного снижения активности H^+ -АТРаза следует ожидать временное уменьшение величины указанного потенциала. Это и происходит при действии МП на клетки растений^{/34/}.

9) Поскольку мембранный электрический потенциал клеток растений при прочих равных условиях способствует прохождению внутрь через мембрану ионов K^+ по электрическому градиенту, против концентрационного градиента^{/35/}, то очевидно, что при эффективном воздействии МП скорость прохождения ионов K^+ через мембрану внутрь должна уменьшиться. Это и зафиксировано в опытах с клетками растений^{/20/}.

10) Известно, что умеренные стрессы могут запускать способность к прорастанию семян^{/36/}. Индуцированные предпосевной активизацией в МП отклонения от нормы, проявляющиеся при набухании зерновок (активности ферментов, синтеза АТР, транспорта ионов, скорости поступления воды), неизбежно приведут к временному функциональному рассогласованию нормальных процессов, предшествующих прорастанию, т.е. могут рассматриваться как метаболический стресс слабой или умеренной интенсивности. Следовательно, есть основания ожидать повышение способности к прорастанию (а значит и ЭП) при активизации МП в первую очередь у ослабленных семян с пониженной всхожестью, что и наблюдается в действительности^{/37/}.

На рис.3 приведена схема комплекса явлений, происходящих в зерновке после предпосевого эффективного воздействия на нее МП и посева.

Вероятность того, что изложенные результаты в сочетании с известными законами физики и физической химии есть случайное совпадение, представляется незначительной. В отличие от существующих гипотез, предлагаемая не только легко проверяема, но и дает необходимые основания для подбора эффективных сочетаний напряженности МП, воздействующего на биологический

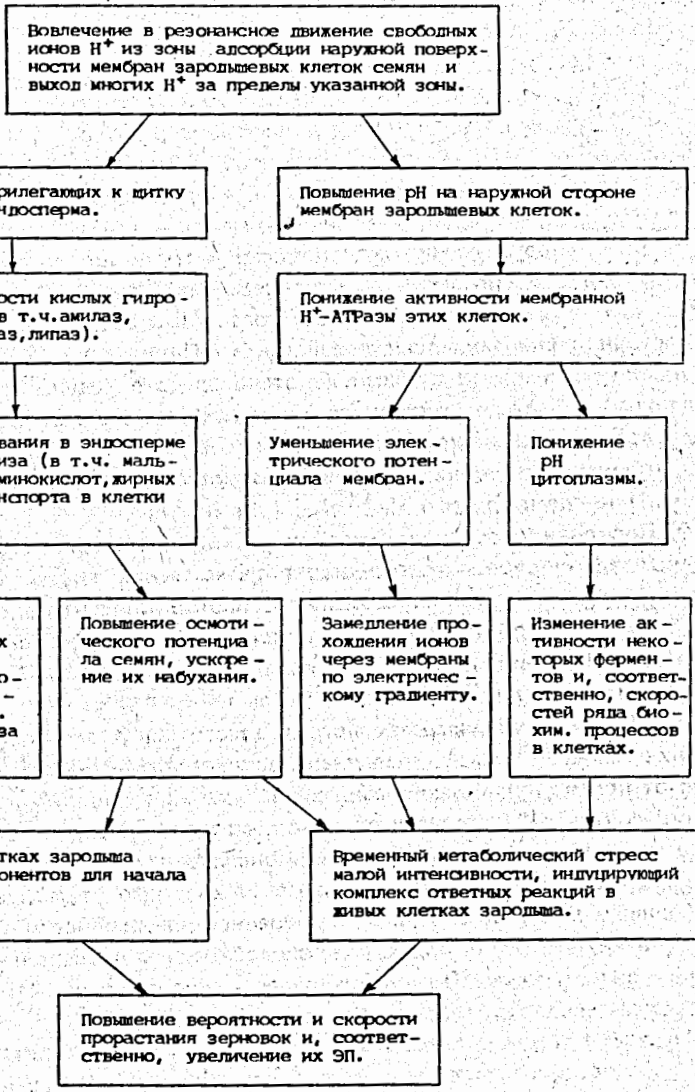


Рис.3. Схема комплекса последовательных явлений в прорастающих зерновках после их эффективной предпосевной обработки в магнитном поле и посева.

объект, со скоростью движения этого объекта относительно силовых линий поля, при учете средних радиусов клеток, воспринимающих воздействие.

Вполне очевидно, что и в клетках животных индуцируемое выходом части ионов H^+ за пределы внешней поверхности мембран повышение pH в этой зоне временно изменит активность K^+/Na^+ -АТФазы, что также повлечет за собой комплекс соответствующих изменений. Практически все отдельные этапы указанного комплекса неоднократно приведены разными авторами как результаты опытов по изучению действия МП на животных, но их конкретное описание выходит за рамки данной работы.

В заключение отметим, что предложенный механизм действия МП на живые клетки проливает свет на ряд хорошо известных эмпирических закономерностей, не имевших до этого каких-либо аргументированных объяснений:

1) МП не оказывает существенного влияния на активность ферментов в растворе *in vitro*, в то же время активизируя одни и ингибируя другие ферменты в живых клетках и органоидах^{138/};

2) обработка в МП, осуществляемая при температуре жидкого азота, также оказывает некоторое влияние на сухие семена растений, несмотря на практически полное отсутствие обмена веществ при данных условиях^{139/};

3) хотя влияние МП на биологические объекты не вызывает сомнений, невоспроизводимость результатов остается основным препятствием развития магнитобиологии^{139/};

4) несмотря на то, что энергия, вносимая при обработке биологических объектов в МП, как правило, в 10^4 – 10^7 раз меньше тепловой энергии атомов, входящих в их состав, или электрической энергии ионов в живых мембранах, имеются достаточные свидетельства о влиянии МП на процессы присоединения ионов к клеточным мембранам и перекомпоновку зарядов на их поверхности^{140/};

5) после эффективной обработки в МП стимулирующий эффект у сухих семян зерновых культур сохраняется по крайней мере несколько недель^{137/}.

ВЫВОДЫ

1. При пропускании сухих семян зерновых культур через магнитное поле с последующим их высевом и измерением энергии прорастания скорость движения семян при прочих равных условиях является существенным фактором воздействия на данный показатель.

2. При использовании источника магнитного поля из бариевого феррита размером 120X80X64 мм с полюсами по большему плоскостям и движении семян перпендикулярно главной оси магнита, параллельно северному полюсу и на таком расстоянии от последнего, что максимальная воздействующая напряженность составляла 4,0 кА/м, эффективной для пшеницы оказалась скорость прохождения 3,5 м/с, для ячменя и овса 3,0 м/с.

3. Результаты опытов показывают, что во всех эффективных режимах пропускания семян ячменя через магнитное поле (напряженностью 2,7; 4,0; 6,3 кА/м) отношения скорости движения объектов к величине воздействующей напряженности практически одинаковы.

4. Воздействие магнитного поля напряженностью 1,3 кА/м при сочетании с исследованными скоростями пропускания данных семян существенно не повлияло на их энергию прорастания.

5. Сравнительное изучение влияния предпосевного воздействия магнитным полем на энергию прорастания семян ячменя позволило установить следующее:

а) время экспозиции семян в магнитном поле само по себе не является детерминирующим фактором воздействия;

б) получаемый эффект не имеет однозначной зависимости от значения электрического потенциала, индуцируемого силой Лоренца в направлении, перпендикулярном векторам скорости и напряженности;

в) эффект не имеет определяющей зависимости от значения вихревой ЭДС, наводимой в плоскостях, перпендикулярных силовым линиям магнитного поля.

6. Основываясь на результатах данных опытов, фактах, установленных предшествующими исследователями, а также некоторых известных законах, есть основание предложить новую гипотезу об одном из возможных механизмов действия магнитного поля на биологические объекты. Суть ее сводится к следующему: триггером эффективного воздействия магнитного поля на пересекающие его силовые линии живые клетки является выход за пределы зоны адсорбционного взаимодействия с наружной поверхностью клеточных мембран части ионов H^+ , вовлекаемых в резонансное движение.

ЛИТЕРАТУРА

1. Батыгин Н.Ф. и др. — Сообщение ОИЯИ, Р19-85-964, Дубна, 1985.
2. Орлов В.М., Щедрина З.В. — В сб.: Магнитные поля в биологии, медицине и сельском хозяйстве. (Тезисы докладов научно-практической конференции). Отв. ред. проф. Чернов В.Н. Ростов-на-Дону, 1985, с.158-159.
3. Ботнарюк В.Г., Жидачевский Л.И. — В сб.: Методы предпосевной обработки семян сельскохозяйственных культур электромагнитными полями. (Тезисы докладов конференции), М., 1989, с.31-32.
4. Кулешов Н.Н. — Агрономическое семеноведение, М., 1963, с.227.
5. Промышленное семеноводство (под ред. И.Г.Строны), М.: Колос, 1980, с.8.
6. Овчаров К.Е. — Физиологические основы всхожести семян. М.: Наука, 1969, с.6.
7. Лебедев С.И. — Физиология растений. М.: Агропромиздат, 1988, с.435.

8. Harold Forster Industries LTD. Technical report, Canada, Alberta, Lethbridge, 1975, p.8.
9. Абдуллина З.М. — Биологическое действие магнитных полей на живой организм. Фрунзе, 1975, с.11-12.
10. Филиппов А.С. и др. — В сб.: Влияние естественных и слабых искусственных магнитных полей на биологические объекты. Белгород, 1973, с.89-90.
11. Батыгин Н.Ф., Серегина М.Т., Орлов В.В. — Методические рекомендации по использованию физических факторов для улучшения посевных качеств семенного и посадочного материала в условиях северо-западной зоны РСФСР, Л.: АФИ ВАСХНИЛ, 1985, с.8-9.
12. Батыгин Н.Ф. и др. — Перспективы использования факторов воздействия в растениеводстве, М.: ВАСХНИЛ, 1978, с.18.
13. Классен В.И. — Омагничивание водных систем, М.: Химия, 1982, с.113.
14. Семена сельскохозяйственных культур. — Методы определения всхожести. ГОСТ 12038-84, М., 1985, с.8.
15. Терентьев П.В., Ростова Н.С. — Практикум по биометрии, Л., 1977, с.44-45.
16. Холодов Ю.А., Шишло М.А. — Электромагнитные поля в нейрофизиологии. М.: Наука, 1979, с.28-29.
17. Dall'oglio J., Inzoli L. — Bioelectrochemistry and Bioenergetics, 1985, v.14, N.1-3, p.133.
18. Золотов Е.В., Сапогин Л.Г., Смыслов П.А. — В сб.: Вопросы теории и практики магнитной обработки водных систем, Новочеркасск, 1975, с.18-22.
19. Семенов Г.А. — Там же, с.37-40.
20. McLeod B.R., Smith S.D., Liboff A.R. — Journal of Bioelectricity, 1987, v.6, N.2, p.153-168.
21. Smith S.D. et al. — Bioelectromagnetics, 1987, v.8, p.215-227.
22. Финан Дж., Колман Р., Мичелл Р. — Мембраны и их функции в клетке. М.: Мир, 1977, с.82.
23. Adey V.R. — Physiol. Review, 1981, v.61, N.2.
24. Новицкий Ю.Н. — В сб.: Реакции биологических систем на магнитные поля. М.: Наука, 1978, с.125.
25. Полевой В.В. — Физиология растений, М.; 1989, с.287, 284, 49.
26. Лебедев С.И. и др. — Физиология растений. АН СССР, 1975, т.22, в.1, с.103-109.
27. Данович К.Н., Соболев А.М. и др. — Физиология семян, М.: Наука, 1982, с.286, 185.
28. Pittman U.J., Ormrod D.P. — Canadian Journal of Plant Science, 1970, v.50, N.3, p.215.
29. Сиротина Л.В. и др. — В сб.: Влияние естественных и слабых искусственных магнитных полей на биологические объекты. Белгород, 1973, с.150.
30. Кутис С.Д., Гуськова М.Ю., Гак Е.В. — Научно-технический бюллетень по агрономической физике. Л.: АФИ ВАСХНИЛ, 1989, №75, с.50-53.
31. Скулачев В.П. — Биоэнергетика. Мембранные преобразователи энергии. М., 1989, с.125.

32. Реакции биологических систем на магнитные поля (Отв. ред. Холодов Ю.А.), М.: Наука, 1978, с.55-56.
33. Батыгин Н.Ф. — Онтогенез высших растений. М., 1986, с.56-57.
34. Петрушенко В.В. — Адаптивные реакции растений. Киев, 1981, с.73.
35. Гэлстон А., Девис П., Сэттер Р. — Жизнь зеленого растения. М.: Мир, 1983, с.222-225.
36. Физиология и биохимия покоя и прорастания семян. (Под ред. Кана А.А.), М.: Колос, 1982, с.312.
37. Масленкова Г.Л. — Научно-технический бюлл. по агрономической физике. Л.: АФИ ВАСХНИЛ, 1985, №60, с.33-37.
38. Евтушенко Г.И. и др. — Влияние импульсного электромагнитного поля низкой частоты на организм. Киев, 1978, с.110.
39. Бучаченко А.Л., Сагдеев Р.З., Салихов К.М. — Магнитные и спиновые эффекты в химических реакциях. Новосибирск: Наука, 1978, с.171.
40. Биологическое действие электромагнитных полей. БИНТИ ТАСС, 1990, №48, с.43-46. ("Science" (USA), 1990, v.249, N.4975, p.1318-1381).

Рукопись поступила в издательский отдел
28 декабря 1991 года.