

ВЛИЯНИЕ СЛАБОГО ПОСТОЯННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА СОСТАВ И СОДЕРЖАНИЕ ЛИПИДОВ В ПРОРОСТКАХ, ЛИСТЬЯХ ВЗРОСЛЫХ РАСТЕНИЙ И СЕМЕНАХ РЕДИСА

Новицкая Г.В., Молоканов Д.Р., Новицкий Ю.И.

Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН; Москва, Россия
e-mail: yinov@ippras.ru

Изменение магнитосферы Земли в последние столетия характеризуется падением напряженности геомагнитного поля (ГМП), смещением его полюсов и изменением спектра электромагнитного излучения (ЭМИ) и потока его мощности в объеме биосферы и за ее пределами. Изменения напряженности ГМП практически целиком относятся к явлениям естественного хода геофизических процессов, в то время как возрастание ЭМИ почти целиком следует отнести на долю антропогенного фактора. Существуют различные мнения по поводу значимости воздействия изменяющихся параметров ГМП, ЭМИ и переменного магнитного поля (ПеМП) промышленных частот на биоту и, в частности, на растения и тем более на способности последних накапливать возможные изменения в обмене веществ под влиянием слабого постоянного магнитного поля в ходе онтогенеза на физиологическом, биохимическом и генетическом уровнях.

Изучали влияние слабого горизонтального постоянного магнитного поля (ПМП) напряженностью ~ 400 А/м (~5Э) на состав и содержание липидов в 5-дневных проростках, листьях взрослых растений магнитоориентационных типов (МОТ) редиса (*Raphanus sativus L. var. radícula D.C.*) сорта "Розово-красный с белым кончиком" северо-южного (СЮ) и западно-восточного (ЗВ), у которых плоскости ориентации корневых борозд на корнеплоде расположены вдоль и поперек магнитного меридиана, а также в семенах первого поколения редиса, выросшего в ГМП и ПМП.

5-дневные проростки выращивали на водопроводной воде в чашках Петри в оранжерее ИФР на естественном свете. Взрослые растения также выращивали в оранжерее в почве в винипластовых ящиках на естественно возрастающей длине дня, освещенности и температуры до 39-дневного возраста и в течение 3.5 месяцев для получения семян. Для анализов использовали 4-ый лист растений редиса без явных признаков старения. Отбор растений СЮ и ЗВ МОТ производили с помощью секторной рамки, ориентированной относительно стрелки компаса.

Слабое горизонтальное ПМП создавали с помощью колец Гельмгольца, питаемых постоянным током. Контрольные растения выращивали в таких же кольцах, ток через которые не пропускали. Контрольные растения выращивали в ГМП, напряженность которого составляла ~ 31А/м, вектор ее направлен под углом 73° к горизонту.

Полярные (ПЛ) и нейтральные (НЛ) липиды определяли с помощью метода тонкослойной хроматографии. Большую часть липидов проростков (90%) в контроле составляли НЛ. Основная масса НЛ (80%) приходилась на триацилглицерины (ТАГ), 6-9% - на долю эфиров стероидов (ЭС) и 2-5% - на долю свободных стероидов (СС). На долю полярных липидов приходилось 10% от общего содержания липидов (ОСЛ). Среди ПЛ обнаружены гликолипиды (ГЛ) – 4.4% и фосфолипиды (ФЛ) – 6%.

Среди гликолипидов проростков идентифицированы моногалактозилдиацилглицерины (МГДГ), дигалактозилдиацилглицерины (ДГДГ), сульфацилинозилдиацилглицерины (СХДГ). ФЛ были представлены – фосфатидилхолинами (ФХ), фосфатидилэтаноламинами (ФЭ), фосфатидилглицеринами (ФГ), фосфатидилинозитами (ФИ),

дифосфотидилдиацилглицеринами (ДФГ), а также фосфатидилсеринами (ФС) и фосфатидной кислотой (ФК).

Под влиянием слабого ПМП в проростках редиса на 18% уменьшилось общее содержание липидов (ОСЛ), в том числе НЛ ~20% по сравнению с контролем. В то же время содержание ПЛ увеличилось на 11%, а количество ФЛ уменьшилось на 10%. Несмотря на уменьшение содержания ФЛ и СТ, их отношение ФЛ/СТ – показатель жидкостности липидного бислоя мембран - под действием ПМП увеличилось. Это типичный защитный ответ растений на действие неблагоприятного фактора внешней среды, каким является в данном случае слабое магнитное поле.

Изучение состава и содержания липидов листьев взрослых растений редиса показало, что ПЛ и НЛ в них представлены теми же классами, что и липиды 5-дневных проростков. В контроле в листьях СЮ МОТ содержание ПЛ было в 4.5 раза ниже, чем НЛ. Среди ПЛ количество ГЛ оказалось в 3.7 раза больше чем, ФЛ.

В контроле ОСЛ в листьях ЗВ МОТ в 1.7 раза ниже, чем в листьях СЮ МОТ, в том числе меньше содержание НЛ и ПЛ. Таким образом, при длительном выращивании редиса в ГМП произошло возрастание различий в содержании липидов разных фракций у растений различных МОТ.

Под влиянием ПМП ОСЛ, а также содержание НЛ и ПЛ в листьях СЮ МОТ уменьшилось, а содержание тех же фракций в листьях ЗВ МОТ увеличилось, в том числе ТАГ. Содержание ФЛ у СЮ МОТ увеличилось, а у ЗВ МОТ не изменилось. Отношение ФЛ/СТ у СЮ МОТ увеличилось, а у ЗВ МОТ – уменьшилось. Налицо различная реакция в изменении содержания липидов растений СЮ и ЗВ МОТ на повышение напряженности ПМП. Изменения в составе и содержании липидов у различных МОТ коснулись и семян редиса первого поколения редиса, сформировавшихся в магнитном поле. В семенах редиса липиды представлены теми же классами, которые обнаружены в листьях взрослых растений. В семенах ЗВ МОТ в контроле общее содержание липидов и содержание нейтральных липидов было в 1.5 раза ниже, чем в семенах СЮ МОТ, как в липидах листьев взрослых растений редиса, а количество ПЛ в 1.2 раза выше по сравнению с липидами семян СЮ МОТ. Под влиянием ПМП ОСЛ в семенах СЮ МОТ уменьшилось главным образом за счет снижения количества НЛ, а именно ТАГ; содержание ПЛ, наоборот, увеличилось за счет значительного повышения содержания ГЛ, а именно МГДГ. ОСЛ, а также содержание ПЛ, НЛ, ГЛ и ФХ семян редиса ЗВ МОТ под влиянием ПМП также уменьшилось. Однако под влиянием ПМП ОСЛ и содержание НЛ в семенах у ЗВ МОТ снизилось значительно больше, чем у СЮ МОТ, а изменение содержания ПЛ оказалось разнонаправленным: увеличилось у СЮ МОТ и уменьшилось у ЗВ МОТ.

Отношение ФЛ/СТ под влиянием ПМП осталось без изменения в липидах семян СЮ МОТ и значительно понизилось в липидах семян ЗВ МОТ.

Независимо от принадлежности растений редиса к определенному МОТ, ПМП уменьшило содержание ТАГ в семенах обоих МОТ и увеличило количество свободных стероидов у ЗВ МОТ.

В целом, в ПМП состав и содержание липидов в листьях взрослых растений и в семенах СЮ и ЗВ МОТ изменилось не одинаково, часто противоположно, что, по-видимому, вызвано их различной чувствительностью к действию поля, связанной с особенностями их физиологического статуса.

Из приведенных данных следует, что воздействие слабым ПМП в условиях оранжереи оказало влияние уже на липидный состав 5-дневных проростков, но наибольшее влияние оно оказало на содержание липидов листьев взрослых растений редиса, когда поле действовало на растения вплоть до образования корнеплода, а также семян. Общность в действии ПМП на содержание липидов в 5-дневных проростках, листьях взрослых растений и семенах состояла в том, что оно уменьшало содержание ФЛ и СТ, но увеличивало почти во всех случаях отношение ФЛ/СТ, косвенно указывая на увеличение жидкостности липидного бислоя мембран, что свидетельствует о повышении устойчивости к неблагоприятным факторам внешней среды. В частности, у растений редиса оно может указывать на мобилизационную реакцию в ответ на неблагоприятные изменения магнитной обстановки, какой, по-видимому является возрастание напряженности магнитного поля.

EFFECT OF WEAK PERMANENT MAGNETIC FIELD ON THE COMPOSITION AND CONTENT OF LIPIDS IN THE SEEDLINGS, LEAVES AND SEEDS OF RADISH PLANTS.

Novitskaya G.V., Molokanov D.R., Novitskiy Yu.I.

Timiryazev Institute of Plant Physiology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
e-mail: yinov@ippras.ru

The effect of permanent horizontal magnetic field (PMF) with intensity of ~ 403 A/m on the composition and content of polar and neutral lipids was investigated in the seedlings, leaves and seeds of radish plants (*Raphanus sativus* L. var. *radicula* D.C.) cv. Rozovo-krasnyi s belym konchikom, with belong to two major types of magnetic orientation (TMO) North-South (NS) and West-East (WE), with the plants of the root groves oriented along and across the magnetic meridian respectively (by leaves and seeds).

PMF has induced dissimilar response of lipid content and composition in leaves and seeds of plants NS and WE orientation often in opposite ways. These changes appear to be caused by their different sensitivity to PMF due to the specific features of their physiological status.

The effect of weak PMF on lipid composition in plants grown in greenhouse was evident on seedlings, but the strongest effect it exerted on mature radish leaves as well on the produced seeds. The common effect of PMF on seedlings, leaves and seeds was the following: it decreased the contents of phospholipids and sterols, but increased the ratio of phospholipids to sterols. The latter indicates higher fluidity of lipid membrane bilayer related to plant tolerance to external factors.

ВЛИЯНИЕ СЛАБОГО ПОСТОЯННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ПЕРЕКИСНОЕ ОКИСЛЕНИЕ ЛИПИДОВ В ПРОРОСТКАХ РЕДИСА

Новицкий Ю.И., Новицкая Г.В., Сердюков Ю.А., Кочешкова Т.К., Добровольский М.В., Молоканов Д.Р.

Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН; Москва, Россия
e-mail: yinov@ippras.ru

Изменения геомагнитного поля (ГМП) в истории Земли вплоть до возможного полного его исчезновения, обращения и возрастания не раз привлекали внимание исследователей из-за влияния этого фактора на жизнедеятельность организмов. В настоящее время напряженность ГМП снова падает и неизвестно, каким образом и насколько существенно скажется это падение H на эволюции биосферы Земли.

Механизмы воздействия слабого постоянного магнитного поля (ПМП) на биоту до сих пор окончательно не выяснены. Настоящая работа была предпринята в связи с гипотезой о действии слабого ПМП на выход конечных продуктов в реакциях перекисного окисления ненасыщенных жирных кислот фосфолипидов мембран с участием свободных радикалов на примере липосом куриного желтка [1]. В основе ее теоретических положений лежит механизм влияния магнитного поля на скорость рекомбинации радикальных пар при индуцировании синглет-триплетных переходов за время жизни этих пар. При этом предполагается наличие нескольких магниточувствительных стадий в перекисном окислении липидов (ПОЛ), влияющих на баланс липидов и их метаболизм. В этом случае выход конечного продукта ПОЛ – малонового диальдегида (МДА) оказывается зависимым от напряженности магнитного поля и температуры.

В группе магнитобиологии Института исследовали влияние слабого постоянного горизонтального магнитного поля (ПМП) напряженностью ~ 400 A/m на содержание малонового диальдегида (МДА) в 5-дневных проростках редиса (*Raphanus sativus* L. var. *radicula* D.C.) сорта Розово-красный с белым кончиком, выращенных в камере фитотрона при температуре 18-20°C на 14- часовом световом дне и в темноте.

Опыты по воздействию ПМП на содержание МДА в проростках при низкой освещенности (1000 лк) проводили в осенне-зимнее время 2005г. В марте-апреле 2007 и 2008г. проводили 2-

ую и 3-ую серию опытов для выявления влияния ПМП на зависимость выхода МДА от различной интенсивности освещения в диапазоне 2000-6000 лк в ГМП и ПМП. В 2011 году изучали динамику изменения содержания малонового диальдегида на 1,2,3,4 и 5-ые сутки прорастания семян редиса в слабом ПМП и ГМП. Семена для опытов отбирали по массе в пределах 9-13мг, что соответствовало 95% доверительному интервалу репрезентативной выборки. В чашку Петри диаметром 10 см помещали 100 семян на фильтровальную бумагу, смоченную водопроводной водой.

В опытах 2005-08гг для анализа МДА использовали развернутые семядоли 5-дневных проростков, количество которых к этому дню составляло более 70% от их общего числа в каждом варианте: контроль-свет, контроль-темнота, ПМП-свет, ПМП- темнота. В опытах 2011г. проростки использовали целиком.

Слабое горизонтальное ПМП создавали с помощью колец Гельмгольца, питаемых постоянным током. Контрольные растения выращивали в такой же установке в ГМП, ток через которую не пропускали, напряженность поля в этом случае составляла ~ 31А/м и была направлена под углом 73° к горизонту.

Показано, что под действием ПМП наибольшее содержание МДА наблюдали при выращивании проростков при освещенности 2000-4000 лк. Однако явной зависимости в накоплении МДА от освещенности в исследуемом диапазоне не обнаружено. Результаты действия ПМП на содержание МДА в процессе прорастания семян редиса в динамике с 1-ых по 5-ые сутки при освещенности 1000 лк показали уменьшение содержания МДА в поле на 1-ые, 3-ьи и максимально 5-ые сутки в фазе развернутых семядолей в пределах 17-25% по сравнению с ГМП. В темноте достоверные различия в содержании МДА между контролем и ПМП отсутствовали. ПМП изменило соотношение между световыми и темновыми (С/Т) реакциями ПОЛ, снизив его в магнитном поле. ПМП уменьшило содержание МДА в процессе прорастания семян при освещенности 1000 лк, выступая в качестве корректирующего фактора.

Сравнительный анализ состава и содержания липидов в 5-дневных проростках редиса показал [2], что под действием ПМП на свету наибольшие изменения происходили в содержании хлоропластных липидов – гликолипидов, но не фосфолипидов, а именно в содержании моногалактозилдиацилглицеринов – МГДГ. По-видимому, с действием света связано увеличение разнообразия биохимических реакций с участием свободно-радикальных процессов, на которые может воздействовать слабое ПМП.

Литература

1. Пирузян Л.А., Аристархов В.М. Спиновые и магнитные эффекты в биосистемах – это привилегия фосфолипидов биомембран. Доклады РАН. 2004. Т. 401. С. 560-562.
2. Новицкая Г.В., Молоканов Д.Р., Кочешкова Т.К., Новицкий Ю.И. Влияние слабого постоянного магнитного поля на состав и содержание липидов в проростках редиса при различных температурах. Физиология растений. 2010. Т.57. С.57-67.

EFFECT OF WEAK PERMANENT MAGNETIC FIELD ON THE LIPID PEROXIDATION IN RADISH SEEDLINGS

Novitskii Yu.I., Novitskaya G.V., Serdyukov Yu. A., Kocheshkova T.K., Dobrovolskii M.V., Molokanov D.R.

Timiryazev Institute of Plant Physiology Russian Academy of Science, Moscow, Russia
e-mail: yinov@ippras.ru

The effect of weak permanent horizontal magnetic field (PMF) with the strength of ~ 400A/m on the lipid peroxidation was investigated in the radish (*Raphanus sativus* L. var. *radicula* D.C., c.v. *Rosovo-krasnyi s belym konchikom*) seedlings. The seedlings were grown in the phytotron chamber at 18-20°C under a 14-h photoperiod at an illuminance of 1000-6000 lx and in the darkness. Control seedlings were grown in geomagnetic field GMF). Under the influence of weak PMF, the greatest content of final POL product – malonic dialdehyde (MDA) was observed in the seedlings at an illuminance of 2000-4000 lx. However, no clear dependence of MDA accumulation on the illuminance within the range, applied was shown. PMF changed the ratio of dark to light POL responses and decreased it in PMF. PMF decreased MDA content during seeds germination at an