

УДК 57.03

DOI: 10.18384/2310-7189-2015-4-46-50

Холманский А.С.¹, Ситанская И.Ю.², Зайцева Н.В.²¹ВНИИ электрификации сельского хозяйства РАН (г. Москва)²Московский государственный медико-стоматологический университет

ПРОЯВЛЕНИЕ АНОМАЛЬНЫХ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВОДЫ В ФИЗИОЛОГИИ СЕМЯН

Аннотация. Исследовано проявление аномальной термодинамики воды на кинетике набухания и прорастания семян пшеницы. В качестве контролируемого параметра использована скорость прироста веса зерновки. Оценивались энергии активации прорастания и набухания, и была установлена линейная зависимость второй величины от доли гидрофильных веществ в семенах овса, пшеницы и фасоли. С переходами между льдоподобными и спиральными кластерами воды связывается оптимизация температур стратификации и прорастания семян большинства растений. Магнитное поле не влияло на кинетику набухания и незначительно снижало скорость прорастания. Негативный эффект поля объясняется действием силы Лоренца на протоны при их движении в плазмалемме щитка.

Ключевые слова: семена пшеницы, кинетика, аномалии воды прорастание, магнитное поле.

A. Kholmanskiy¹, I. Sitanskaya², N. Zaytseva²¹All-Russian Scientific Research Institute for Electrification
of Agriculture, Russian Academy of Agriculture Sciences, Moscow²Moscow State University of Medicine and Dentistry

THE ROLE OF THE ANOMALOUS PROPERTIES OF WATER IN THE PHYSIOLOGY OF PLANT SEEDS

Abstract. The manifestation of anomalous thermodynamics of water on the kinetics of swelling and germination of wheat seeds is studied. As a controlled parameter use is made of speed weight gain of weevils. The activation energy of germination and swelling is estimated and a linear dependence of the second value on the proportion of hydrophilic substances in the seeds of oats, wheat and beans is found. The transitions between ice-like and spiral water clusters are explained by optimization of temperature stratification and germination of seeds of most plants. It is found that the magnetic field does not affect the kinetics of swelling and slightly reduces the speed of germination. The negative field effect is explained by the action of the Lorentz force on the protons as they move in the plasmalemma scutellum.

Key words: wheat seeds, kinetics, anomalies of water, germination, magnetic field.

Вода в физиологии растений играет роль матрицы и ключевого мета-

© Холманский А.С., Ситанская И.Ю., Зайцева Н.В., 2015.

болита [2; 3]. В процессе филогенеза аномальные физические свойства воды отобразились на термодинамике живых организмов и механизме адап-

тивной физиологии. Экстремальные точки (T_{ex}) температурных зависимостей (ТД) плотности (ρ) и изобарной теплоемкости (C_p) воды при 4, 25 и 35° С [8] предопределили диапазон T жизнедеятельности большинства организмов. Семена многих растений во влажной среде пробуждаются при 3-5° С (стратификация), а распределение оптимальных T прорастания их семян имеет максимум в районе 20-30° С [5]. Анатомия и физиология семян в миниатюре воспроизводят ключевые элементы и этапы онтогенеза живых существ [2; 3]. Учитывая также проявление T_{ex} воды на физиологии семян, их вполне можно использовать в качестве моделей для изучения механизма адаптации живых организмов.

Важную роль в чувствительности живых организмов к внешним физическим факторам играют квантово-кооперативные эффекты в воде, которые обусловлены перестройками в тетраэдрической сетке водородных связей (НВs) и переходами между спин-изомерами воды [8]. В диапазоне 0-40° С за аномалии воды ответственна в основном термодинамика флуктуирующих НВs, входящих в состав льдоподобных (W_6) и спиральных (W_a) кластеров [8]. Данные кластерные структуры воды могут сенсibilизировать живые системы к воздействиям слабых физических факторов.

Адекватной характеристикой метаболизма семян является скорость прироста веса семени (V_G) на начальных этапах набухания и прорастания [10]. Физико-химический механизм влияния постоянного и переменного МП на физиологию растений до сих пор не установлен [1; 7]. Большинство работ по магнитобиологии посвящено мо-

делированию влияния геомагнитного поля (ГМП) на скорость удлинения корней и проростков [1; 7]. Неоднозначность такого способа не позволяет выявлять невыраженные зависимости физиологии семян от МП [9]. В литературе встречаются противоречивые результаты по влиянию МП на прорастание семян [7]. Учитывая это в настоящей работе, для выяснения роли воды в механизме адаптации растений к внешним воздействиям исследовали зависимость V_G семян пшеницы от T и постоянного магнитного поля.

Материалы и методы

Использовались семена пшеницы «Отборной для проращивания» урожая 2014 г. и водопроводная вода, выстоянная в течение суток. Зерновки располагали в чашках Петри горизонтально, ориентации их осей были случайными. Вес семян (~6 г) измеряли на лабораторных весах с точностью 20 мг. Чашки Петри располагали над магнитами с зазором в 0.5-1.0 см. Применяли магнитную мешалку ММ-3, скорость вращения $\omega \sim 1000$ об/мин. Использовали прямоугольные неодимовые магниты B_1 (3Ч2Ч1 см³) и B_2 (4Ч1Ч1 см³) с индукцией $\sim 10^4$ Гс. Индукция магнита B_1 была направлена вдоль ребра 1 см, а B_2 вдоль ребра 4 см. Контрольные образцы были удалены от магнитов на ~3 м. Магнит B_2 размещали на магните мешалки (WB_2) таким образом, что его вектор индукции вращался в горизонтальной плоскости. Магниты B_1 устанавливали под образцами двумя способами – вектор индукции направлен по Z-компоненте ГМП (ZB_1) или по H-компоненте (HB_1).

Скорости набухания и прорастания зерновок определяли в расчете на

одно семя. При набухании суммарный вес семян делили на начальное число семян, а при прорастании учитывали только живые семена, долей которых определялась всхожесть. Методика обработки кинетических кривых и оценки эффективных энергий активаций процессов сушки (E_s) и прорастания (E_G) аналогична [10]. Для построения, аппроксимации и обработки кинетических кривых использовали программу Microsoft Office Excel.

Результаты и обсуждение

Распределение по видам растений T , при которых скорость прорастания семян (V_G) имеет максимум в районе 20-30 °С. При этом $TD V_G$ для многих растений аппроксимируются полиномом второй степени [6]. В работе [8] установлено, что $TD \rho$ и C_p воды вблизи точек $T_{ex} = 4, 25$ и 35°C аппроксимируются квадратичными функциями $\Delta T = (T - T_{ex})$. Очевидно, что параболическая форма $TD V_G$ в диапазоне 4 и 40°C есть проявление на метаболизме прорастания семян термодинамики переходов между W_6 - и W_α -кластерами воды. Данные перестройки кластерной структуры воды и аномальные флуктуации хиральности растворов сахаров при $T < 15^\circ\text{C}$ [5] указывают также на возможность участия внешнего хирального фактора [8] в механизме стратификации семян.

Из кинетических кривых (см. рис.) аналогично [10] получили константы скоростей набухания (K_s) и прорастания (K_G) для 10, 14, 21, 25 °С. Применяв аррениусовские аппроксимации к $TD K_s$ и K_G , оценили значения $E_s = 47.5$ и $E_G = 43.5$ кДж/моль. Кинетика набухания семян не чувствительна к внешнему магнитному полю. Величины E_s семян

овса (30) [8], пшеницы (47.5) и фасоли (55 кДж/моль) [8] линейно зависят от массовой доли в них гидрофильных веществ (крахмал, белок, сахара), которая составляет 58.3, 70.6 и 72.5% [4].

Близость величин E_s и E_G указывает на то, что и кинетика биохимических реакций семени пшеницы лимитируется не только аномалиями физических свойств воды, но и тем, что вода является донором протонов, играющих ключевую роль в процессах дыхания и активации ферментов [2; 3]. Зародыш отделен от эндосперма щитком, который выполняет секреторную и транспортную функции. Плоскость щитка составляет с осью зерновки угол $\varphi \sim 30-90^\circ$. В плазмалемме эпителиальных клеток щитка работает H^+ -помпа, снабжающая эндосперм протонами. Перенос питательных веществ через плазмалемму происходит в симпорте с H^+ .

Эти данные можно привлечь для объяснения незначительного снижения V_G семян на начальном этапе в магнитных полях HB_1 , ZB_1 и WB_2 . Сила Лоренца, действующая на протон перпендикулярно его движению в плазмалемме, будет зависеть от угла между вектором индукции и направлением движения протонов через плазмалемму (φ_B). Данный угол определяется углом φ и направлением индукций полей HB_1 , ZB_1 и WB_2 . При хаотическом распределении зерновок на плоскости приблизительно у половины из них угол φ_B будет близок к 90° в случае поля HB_1 и для всех семян в случае поля ZB_1 . Вследствие этого и наблюдается изменение величины отрицательного эффекта МП в ряду: $ZB_1 > HB_1 \gg WB_2$.

Исследование показало, что аномальная термодинамика воды лимити-

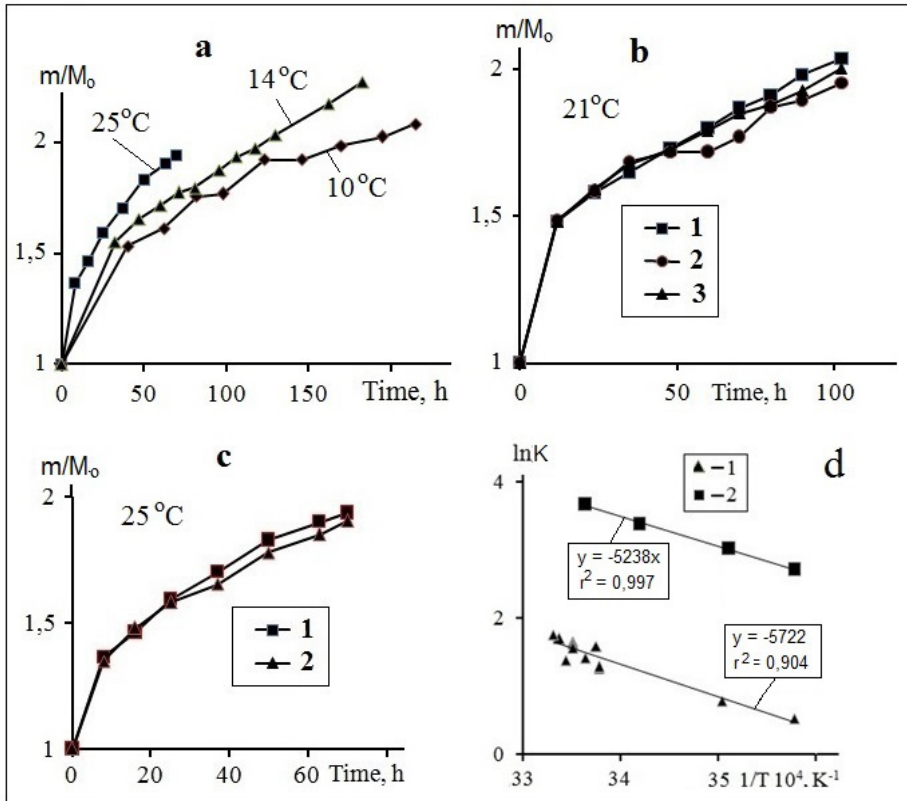


Рис. Кинетики набухания и прорастания семян пшеницы при температурах 10, 14, 21, 25 °C (a, b, c) и их аррениусовские аппроксимации (d): 1 – набухание, 2 – прорастание. На б): 1 – контроль, 2, 3 – образцы в магнитных полях ZB_1 и NB_1 , соответственно. На с): 1 – контроль, 2 – образец в вихревом магнитном поле WB_2 .

тирует скорость набухания и прорастания семян растений. Наряду с гидратацией гидрофильных веществ в составе семени важную роль в механизме чувствительности метаболизма к действию внешних факторов играют коррелированные состояния спин-изомеров воды в ее надмолекулярных структурах, образованных из льдоподобных и спиральных кластеров. Слабое негативное влияние магнитного поля на кинетику прорастания семян связали с действием силы Лоренца поперек движению протонов воды в плазмалемме щитка.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Богатина Н.И. Определение порога чувствительности проростков и корней пшеницы к величине магнитного поля / Н.И. Богатина, Б.И. Веркин, В.М. Кулабухов и др. // Доклады АН УССР. Серия: Биологическая. 1979. № 7. С. 620–624.
2. Прокофьев А.А. Физиология семян. М.: Наука, 1982. 318 с.
3. Полевой В.В. Физиология растений: учеб. для биолог. спец. ВУЗов. М.: Высшая школа, 1989. 464 с.
4. Химический состав пищевых продуктов [Книга 1: Справочные таблицы содержания основных пищевых веществ и энергетической ценности пищевых

- продуктов] / под ред. И.М. Скурихина. М.: Агропромиздат, 1987. 224 с.
5. Холманский А.С. Фактор хиральности в физиологии семян // Научный фонд «Биолог». 2015. № 3 (7). С. 22–25.
 6. Balkaya A. Modelling the Effect of Temperature on the Germination Speed in Some Legume Crops // J. of Agronomy. 2004. № 3. P. 179–183.
 7. Galland P., Pazur A. Magnetoreception in plants // J. Plant Res. 2005. Vol. 118 (№ 6). P. 371–389.
 8. Kholmanskiy A. Activation energy of water structural transitions // J. of Molecular Structure. 2015. Vol. 1089. P. 124–128.
 9. Kholmanskiy A. Modeling of Growth Kinetics of Conifer Trees // Open J. of Forestry. 2015. № 5. P. 21–27.
 10. Kholmanskiy A. S., Tilov A.Z. Drying Kinetics of Plant Products: Dependence on Chemical Composition // J. of Food Engineering. 2013. 117. P. 378–382.