

ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ РАЗЛИЧНЫХ КОНФИГУРАЦИЙ НА ВСХОЖЕСТЬ СЕМЯН ЧЕЧЕВИЦЫ

С.М. ОРЕХОВА, Email: smorekhova@ncfu.ru

СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ, СТАВРОПОЛЬ

Целью данной работы является исследование влияния предварительной и постоянной обработки семян бобовых магнитным полем на их всхожесть. Рассмотрены результаты воздействия различных пространственных и временных конфигураций магнитного поля. Обнаружено наиболее благоприятное влияние предварительной обработки в течение 9 минут магнитным полем индукцией 8 мТл, частотой 16 Гц, с направлением силовых линий против силы тяжести на всхожесть семян чечевицы. Установлено, что ускоряет процесс прорастания семян и увеличение их вегетативной массы обработка постоянным магнитным полем индукцией 12 мТл. Выяснено, что ингибирует процесс прорастания влияние магнитного поля частотой 100000 Гц.

Ключевые слова: чечевица, магнитное поле, обработка семян, всхожесть.

Для цитирования: Орехова С.М. Влияние магнитного поля различных конфигураций на всхожесть семян чечевицы. *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2023; 2(46): 66-73. DOI: 10.24412/2309-348X-2023-2-66-73

EFFECT OF MAGNETIC FIELDS OF DIFFERENT CONFIGURATIONS ON LENTIL SEED GERMINATION

S.M. Orekhova

NORTH-CAUCASUS FEDERAL UNIVERSITY, STAVROPOL'

Abstract: *The purpose of this work is to study the effect of preliminary and permanent treatment of legume seeds with a magnetic field on their germination. The results of the influence of various spatial and temporal configurations of the magnetic field are considered. The most favorable effect of pretreatment for 9 minutes by a magnetic field with an induction of 8 mT, a frequency of 16 Hz, with the direction of force lines against gravity on lentil seed germination was found. It was found that treatment with a permanent magnetic field induction of 12 mT accelerates the process of seed germination and increases their vegetative mass. It was found out that a magnetic field with a frequency of 100000 Hz inhibits the germination process.*

Keywords: lentil, magnetic field, seed treatment, germination.

Введение

В настоящее время бобовые культуры широко распространены в пищевой промышленности. В связи с чем, возникает необходимость наиболее оптимального их выращивания. Одним из возможных способов решения данной проблемы является воздействие на семена магнитным полем. Существует несколько гипотез, пытающихся объяснить клеточные реакции магнитного и электромагнитного поля на биологические системы. Первая из них – это магнитное поле может влиять на неспаренные электронные спины пары радикалов таким образом, чтобы изменять выход продуктов реакции, даже несмотря на то, что взаимодействия намного меньше, чем тепловые энергии. Спин-коррелированные пары радикалов – короткоживущие промежуточные продукты в различные химические реакции проходят через когерентное взаимное преобразование или смешивание

между их электронными синглетными (S) и триплетными (T) состояниями. Если пары S и T вступают в реакцию с образованием различных химических продуктов, выходы этих продуктов становятся чувствительными к приложенным магнитным полям, которые изменяют степень и/или эффективность перемешивания ST [1]. Данная гипотеза является наиболее вероятной, исходя из ранее проведенных работ различных исследователей (Адриан, 1977; Герхард, 1969; Каптейн, 1969). Вторая – это ориентация частиц, которые обладают ферромагнитными свойствами (способно спонтанно намагничиваться без внешнего магнитного поля, например Fe) в живых системах. При этом вне зависимости от механизма воздействия магнитного поля было выявлено, что под его воздействием увеличиваются: водопоглощение; содержание некоторых водорастворимых витаминов; скорость диффузии молекул кислорода через клеточную мембрану; усиливается транспорт ионов, что ускоряет развитие растений и способствует повышению всхожести семян; происходит образование свободных радикалов, также при образовании их критического числа происходит ингибирование роста растения и понижение всхожести семян [2-8]. Анализ научных работ указывает на разнообразность результатов данного влияния на процессы эффективности проращивания и роста растений в гетерогенной среде. Внешнее магнитное поле изменяет траектории движения заряженных частиц в структуре семян и в результате может оказать как положительное, так и отрицательное влияние на жизненные процессы в растениях [9]. Корреляция между всхожестью семян и определенной конфигурацией воздействующего на них магнитного поля в настоящее время неполно исследована, в связи с чем, возникает необходимость изучения данного вопроса.

Цель исследований – получить аналитические зависимости, характеризующие параметры поля, воздействующего на ферромагнитные частицы и результаты данного влияния.

Материалы и методы исследования

Для проведения исследования выбраны семена чечевицы алтайской, работа проводилась на протяжении 2022 года. Были проведены серии экспериментов для изучения влияния предварительной обработки семян перед проращиванием и постоянного воздействия на них магнитным полем различных конфигураций на всхожесть, результаты сравнивались с контрольным образцом, пророщенным без дополнительного воздействия. В целях достижения репрезентативности эксперимента каждая серия была повторена на 5 образцах. В представленных материалах анализируется среднее значение. Образцом считается выборка из 20 семян. Конфигурацией магнитного поля в данной работе является: - пространственной – различие направления силовых линий, проходящих через плоскость, в которой располагаются семена, относительно направления силы тяжести; - временной – различие времени предварительной обработки семян. Методика эксперимента, направленного на изучение влияния различных пространственных конфигураций на всхожесть заключалась в следующем: семена чечевицы подверглись воздействию однородного поля, создаваемого электромагнитом (рис. 1.). Для изменения направления силовых линий магнитного поля производилось изменение положения электромагнита в пространстве (поворот).



Рис. 1. Экспериментальная установка для предварительной обработки семян магнитным полем

В первой серии экспериментов были заданы следующие неизменяемые параметры обработки: $B = 8$ мТл, $t_{об} = 9$ мин, где $t_{об}$ – время обработки. Использовались следующие экспериментальные группы и соответствующие им параметры:

- экспериментальная группа 1. $\nu = 16$ Гц, силовые линии направлены против силы тяжести;
- экспериментальная группа 2. $\nu = 16$ Гц, силовые линии направлены вдоль силы тяжести;
- экспериментальная группа 3. $\nu = 16$ Гц, силовые линии направлены перпендикулярно силе тяжести;
- экспериментальная группа 4. $\nu = 100$ Гц, силовые линии направлены против силы тяжести;
- экспериментальная группа 5. $\nu = 100$ Гц, силовые линии направлены вдоль силы тяжести;
- экспериментальная группа 6. $\nu = 100$ Гц, силовые линии направлены перпендикулярно силе тяжести;
- экспериментальная группа 7. $\nu = 100$ кГц, силовые линии направлены против силы тяжести;
- экспериментальная группа 8. Без влияния магнитного поля, контрольная группа.

Затем семена были помещены в гидропонный проращиватель на 54 часа. В течение всего эксперимента определяется всхожесть всех групп по формуле (1):

$$X = \left(\frac{N}{20}\right) * 100\% \quad (1)$$

X – всхожесть семян, N – количество проросших семян.

Также была проведена серия экспериментов, направленная на изучение влияния различных временных конфигураций магнитного поля на величину всхожести семян. Методика данной серии заключалась в следующем: семена чечевицы подвергались воздействию однородного поля, создаваемого электромагнитом (рис. 1), после этого семена помещались в гидропонный проращиватель на 54 часа. Были заданы следующие постоянные параметры обработки: $B = 8$ мТл, $\nu = 16$ Гц, направление силовых линий: против силы тяжести. Использовались следующие экспериментальные группы:

- экспериментальная группа 1. $t_{об} = 3$ минуты, $\nu = 16$ Гц;
- экспериментальная группа 2. $t_{об} = 6$ минут, $\nu = 16$ Гц;
- экспериментальная группа 3. $t_{об} = 9$ минут, $\nu = 16$ Гц;
- экспериментальная группа 4. Без влияния магнитного поля, контрольная группа.

В течение всего эксперимента рост семян контролировался, и определялась всхожесть всех групп по формуле (1). Затем проводился эксперимент по исследованию влияния постоянного воздействия магнитного поля на прорастание семян чечевицы алтайской. Семена были помещены в экспериментальные установки (рис. 2-3), представляющие из себя влажную среду на ниодимовом ($B = 12,6$ мТл) и ферритовом ($B = 0,5$ мТл) магнитах соответственно. Использовались следующие экспериментальные группы:

- экспериментальная группа 1. Под влиянием магнитного поля ниодимового магнита, $B = 12,6$ мТл;
- экспериментальная группа 2. Под влиянием магнитного поля ферритового магнита, $B = 0,5$ мТл;
- экспериментальная группа 3. Группа во влажной среде без влияния магнитного поля, контрольная группа.



Рис. 2. Экспериментальная установка для постоянной обработки семян магнитным полем неодимового магнита



Рис. 3. Экспериментальная установка для постоянной обработки семян магнитным полем ферритового магнита

Для исключения влияния на эксперимент внешних параметров все образцы находились в одном хорошо освещаемом и проветриваемом месте, но установки располагались на достаточном расстоянии друг от друга, вследствие чего не происходило смешения воздействия магнитных полей установок на образцы, и не нарушалась чистота эксперимента. В течение всего опыта определяется всхожесть всех групп по формуле (1).

Результаты и их обсуждение

Результаты исследования влияния предварительной обработки семян магнитным полем различных пространственных конфигураций на их всхожесть представлены в виде средних значений в таблице 1.

Таблица 1

Всхожесть семян в зависимости от пространственной конфигурации магнитного поля, 2022 г.

Время проращивания	Номер экспериментальной группы							
	1	2	3	4	5	6	7	8
24 ч	95 %	55 %	75 %	65 %	30 %	45 %	25 %	50 %
36 ч	100 %	65 %	90 %	80 %	55 %	60 %	45 %	65 %
54 ч	100 %	90 %	100 %	100 %	75 %	85 %	59 %	85 %

Также был проведен дисперсионный анализ данных, полученных по окончании эксперимента, его результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты обработки полученных данных методом дисперсионного анализа, 2022 г.

Номер экспериментальной группы	Количество проросших семян, шт.	Разность с контрольной группой, шт.	Заключение о существенной разности
1	20	3	Существенная
2	18	1	Несущественная
3	20	3	Существенная
4	20	2	Несущественная
5	15	-2	Несущественная
6	17	-	-
7	12	-5	Существенная
8	17	-	-
НСР _{0,5}	-	2	-

В ходе проведенной работы было выявлено, что наиболее благотворно на семена влияет предварительная обработка магнитным полем с параметрами: $B = 8$ мТл, $\nu = 16$ Гц, с направлением силовых линий против силы тяжести. При данной предварительной обработке величина всхожести увеличилась в среднем на 15% по прохождении 54 часов от момента помещения в проращиватель, по сравнению с контрольной группой. Также способствует увеличению всхожести предварительная обработка магнитным полем с параметрами: $B = 8$ мТл, $\nu = 16$ Гц, силовые линии направлены перпендикулярно силе тяжести. Но данное увеличение несущественно, так как составляет в среднем 5% по прохождении 54 часов от момента помещения в проращиватель, по сравнению с контрольной группой. Было выявлено, что существенное пагубное влияние на семена чечевицы алтайской оказывает магнитное поле $\nu = 100$ кГц, с направлением силовых линий против силы тяжести при воздействии в течение 9 минут, вследствие чего уменьшается всхожесть семян на 26% через 54 часа. В связи с этим возникла необходимость рассмотреть более продолжительное воздействие магнитным полем данной частоты на семена. Далее было проведено изучение воздействия в течение 30 минут, и выяснено, что такая предварительная обработка вызывает снижение всхожести семян на 35, 45, 50% (по сравнению с контрольной группой) через 24, 36, 54 часов после помещения в проращиватель соответственно. Предположительно, при данной конфигурации магнитного поля происходит ингибирование обильным количеством свободных радикалов, превышающим некоторое критическое значение.

Результаты исследования влияния предварительной обработки семян магнитным полем различных временных конфигураций на их всхожесть представлены в виде средних значений в таблице 3.

Таблица 3

Всхожесть семян в зависимости от временной конфигурации магнитного поля

Время проращивания	Номер экспериментальной группы			
	1	2	3	4
24 ч	55 %	69 %	95 %	51 %
36 ч	70 %	90 %	100 %	65 %
54 ч	90 %	100 %	100 %	85 %

В ходе эксперимента было выявлено, что с увеличением времени предварительной обработки семян магнитным полем увеличивается их всхожесть. Также был проведен дисперсионный анализ данных, полученных по окончании эксперимента, его результаты представлены в таблице 4.

Таблица 4

Результаты обработки полученных данных методом дисперсионного анализа, 2022 г.

Номер экспериментальной группы	Количество проросших семян, шт.	Разность с контрольной группой, шт.	Заключение о существенной разности
1	18	1	Несущественная
2	20	3	Существенная
3	20	3	Существенная
4	17	-	-
НСР _{0,5}	-	1,5	-

По результатам математической обработки данный рост является существенным. Вследствие чего возникла необходимость проведения эксперимента по постоянному нахождению семян в магнитном поле на протяжении всего времени прорастания. Результаты исследования влияния постоянного воздействия магнитного поля на прорастание семян представлены в таблице 5.

Таблица 5

Всхожесть семян в зависимости от величины магнитной индукции магнитного поля, 2022 г.

Время проращивания	Номер экспериментальной группы		
	1	2	3
24 ч	5 %	2 %	0 %
48 ч	53 %	28 %	21 %
72 ч	65 %	41 %	57 %
96 ч	78 %	55 %	68 %
120 ч	93 %	76 %	85 %

Также был проведен дисперсионный анализ данных, полученных по окончании эксперимента, его результаты представлены в таблице 6.

Таблица 6.

Результаты обработки полученных данных методом дисперсионного анализа

Номер экспериментальной группы	Количество проросших семян, шт.	Разность с контрольной группой, шт.	Заклучение о существенной разности
1	19	2	Несущественная
2	15	-2	Несущественная
3	17	-	-
НСР _{0,5}	-	2	-

Исходя из данной таблицы можно сделать вывод, что ферритовый магнит с индукцией 0,5 мТл несущественно уменьшает величину всхожести семян, по сравнению с контрольной группой через некоторое время после начала эксперимента. Но вопреки предположению об усилении угнетения всхожести семян в магнитном поле большей индукции неодимового магнита, оно уменьшается. Вследствие данного парадокса был введен дополнительный параметр оценки качества прорастания семян, а именно масса проростков, измеренная на аналитических весах по окончании эксперимента. Полученные данные представлены в таблице 7.

**Вегетативная масса семян в зависимости от величины магнитной индукции
постоянного магнитного поля
(экспериментальные значения всех повторностей), 2022 год**

Номер повторности	Номер экспериментальной группы		
	1	2	3
1	0,3754±0,0002 г	0,3029±0,0002 г	0,2708±0,0002 г
2	0,3680±0,0002 г	0,2223±0,0002 г	0,3050±0,0002 г
3	0,4082±0,0002 г	0,3437±0,0002 г	0,2981±0,0002 г
4	0,3326±0,0002 г	0,2978±0,0002 г	0,2563±0,0002 г
5	0,3144±0,0002 г	0,3087±0,0002 г	0,2999±0,0002 г

Анализируя полученные данные можно сказать, что обработка семян постоянным магнитным полем на протяжении всего процесса прорастания ускоряет процесс прорастания и способствует увеличению их вегетативной массы, что видно по таблице 7. Вегетативная масса семян, растущих под воздействием магнитного поля больше, чем вегетативная масса контрольных групп.

Выводы

В ходе проделанной работы было выявлено, что наиболее благотворно на семена влияет предварительная обработка в течение 9 минут магнитным полем индукцией 8 мТл, частотой 16 Гц, с направлением силовых линий против силы тяжести, увеличивая их всхожесть на 15%. Также ускоряет процесс прорастания семян и увеличение их вегетативной массы постоянная обработка магнитным полем индукцией 12 мТл на протяжении всего периода проращивания. Но также магнитное поле определенных параметров способно ингибировать процесс роста. А именно магнитное поле с характеристиками: $\nu = 100$ кГц, направление силовых линий против силы тяжести способствует образованию чрезмерного количества свободных радикалов, что замедляет прорастание семян, снижая их всхожесть на 50% при предварительной обработке в течение 30 минут и на 26% при 9-ти минутной обработке.

Благодарность. Автор выражает благодарность за помощь в написании данной работы научному руководителю, доктору физико-математических наук, заведующему кафедрой теоретической и математической физики физико-технического факультета СКФУ Закиняну Артуру Робертовичу.

Литература

1. Van D.B. Magnetic field effects on the recombination kinetics of radical pairs // Phys. Chem. – 2014. – № 102. – С. 464-470.
2. Kozyrsky V., Savchenko V. Effect of magnetic field on seeds water absorption // Науковий вісник НУБіП України. Серія: Техніка та енергетика АПК. – 2014. – №. 194-1. – С. 16-20.
3. Егорова И.В. Влияние обработок зерна пшеницы электромагнитным полем на содержание водорастворимых витаминов // Рациональное питание, пищевые добавки и биостимуляторы. – 2014. – № 1. – С. 148-157.
4. Kozyrsky V.V. Influence of a magnetic field on diffusion of molecules through a cellular membrane of seeds of crops // Vestnik VIESH. 2014, №. 2 (15). – С. 16-19.
5. Kozyrsky V.V. Influence of a magnetic field on transport of ions in a cage of plants of cultures // Vestnik VIESH. 2014, №. 3 (16). – С. 18-22.
6. Куценко Ю.Н. Воздействие магнитного поля на ферромагнитные частицы в гетерогенной почвенной среде // Вісник Українського відділення Міжнародної академії аграрної освіти. – 2013. – №. 1. – С. 148-157.

References

1. Van D.B. Magnetic field effects on the recombination kinetics of radical pairs. *Phys. Chem.*, 2014, no. 102, pp.464-470.
2. Kozyrsky V., Savchenko V. Effect of magnetic field on seeds water absorption. *Naukovii visnik NUBiP Ukraïni. Seriya: Tekhnika ta energetika APK*, 2014, no. 194-1, pp. 16-20.
3. Egorova I.V. Vliyanie obrabotok zerna pshenitsy ehlektromagnitnym polem na sodержanie vodorastvorimykh vitaminov [Influence of wheat grain treatment by electromagnetic field on the content of water-soluble vitamins]. *Ratsional'noe pitanie, pishchevye dobavki i biostimulyatory*, 2014, no. 1, pp.148-157. (In Russian)
4. Kozyrsky V.V. Influence of a magnetic field on diffusion of molecules through a cellular membrane of seeds of crops. *Vestnik VIESH*. 2014, no. 2 (15), pp.16-19.
5. Kozyrsky V.V. Influence of a magnetic field on transport of ions in a cage of plants of cultures. *Vestnik VIESH*. 2014, no. 3 (16), pp.18-22.
6. Kutsenko Yu. N. Vozdeistvie magnitnogo polya na ferromagnitnye chastitsy v geterogennoi pochvennoi srede [Effect of a Magnetic Field on Ferromagnetic Particles in a Heterogeneous Soil Environment]. *Visnik Ukraïns'kogo viddilennya Mizhnarodnoï akademii agrarnoi osviti*, 2013, no.1, pp.148-157.