

ИССЛЕДОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СТИМУЛЯЦИИ ВСХОЖЕСТИ СЕМЯН ЗЕЛЕННЫХ КУЛЬТУР

В.С. Корко, канд. техн. наук, доцент, Е.А. Городецкая, канд. техн. наук (БГАТУ)

Аннотация

Приведены результаты исследования и моделирования процессов предпосевной обработки и проращивания семян зеленых культур с использованием электрофизических и электрохимических методов.

The results of the study and simulation of pre-treatment and germination green crops using electrical and electrochemical methods were performed.

Введение

Существует объективная потребность в разработке экономически и технологически обоснованных методов повышения урожайности сельскохозяйственных культур, в первую очередь за счет более полного раскрытия и использования их генетического и физиологического потенциала. Центральным звеном в решении этой проблемы являются семеноводство и методы предпосевной подготовки. Семена, носители биологических свойств, в решающей степени определяют качество и количество получаемого урожая. В общей структуре затрат на производство зерна в Республике Беларусь расходы на семена составляют в разные годы 10...14%, на удобрения – 17...24% [1].

Естественные условия не всегда благоприятны для нормального развития зародыша, особенно в начальный период, в результате большое количество жизнеспособных семян не прорастает. У кондиционных семян зерновых и овощных культур полевая всхожесть обычно составляет 60-70% от лабораторной. В связи с этим применяют комплекс мероприятий, направленных на повышение продуктивности. В сельскохозяйственной практике для улучшения посевных качеств семян и продуктивности будущих растений используют химические и биологические стимуляторы, разнообразные приемы предпосевной обработки семян: обогрев, воздействие постоянным током, токами промышленной и высокой частоты, ультразвуковыми колебаниями, обработка электрическими и магнитными полями, облучение ультрафиолетовыми и инфракрасными лучами и т.п. [2-5]. В то же время для семян зеленых культур в тепличном овощеводстве не предложены достаточно эффективные режимы электротехнологических воздействий, отсутствует их теоретическое описание и математическое моделирование.

Целью данной работы являлось обоснование, экспериментальная проверка определяющих факторов электротехнологических процессов и разработка математической модели электротехнологической стимуляции всхожести семян.

Основная часть

Ранее авторами предложена технология обработки семян неоднородным переменным электрическим полем высокой напряженности, которое создается с помощью бифилярной обмотки на диэлектрической плоскости. При экспериментальной проверке режимов установлено [2], что в опытных партиях семян укропа по сравнению с необработанными семенами на 2...3 суток раньше начали появляться первые и более дружные ростки. Подтверждена определенная зависимость скорости прорастания и количества проросших семян от режимов обработки: напряжения и экспозиции.

В соответствии с поставленной целью и методикой опыта, для проращивания проводили следующую предпосевную обработку партий семян салата листового: 1 – (контроль) замачивание в обычной воде без обработки; 2 – обработка переменным электромагнитным полем при напряжении 3500В и замачивание в обычной воде; 3 – замачивание в электрохимически активированной воде (катодите с pH=8); 4 – комбинированная обработка: вначале переменным электромагнитным полем при напряжении 3500В и затем замачивание в катодите с pH=8. Проращивание семян осуществляли в чашках Петри на субстрате из минеральной ваты при одинаковых тепличных условиях, в осенний период.

Анализ результатов исследования (табл. 1) показывает, что в контрольной партии семян первые ростки начали появляться на 6-е сутки, более дружно – на 7...8-е сутки. Во всех опытных партиях наблюдается положительный эффект стимуляции всхожести семян. Первые ростки в 4-й партии появились уже на 4-е сутки, во 2-й и 3-й партиях – на 5-е сутки.

Кроме ускорения сроков прорастания, увеличивается количество проросших семян на каждом из замеров. Общая всхожесть семян контрольной партии составила всего 71%, что соответствует показателю их кондиции. В опытных партиях общая всхожесть в конце эксперимента выше, т.е. электрофизические и электрохимические факторы повышают кондиционность семян. Семена, которые находились в глубоком покое и не прорастали в обычных условиях, в результате стимуляции, пусть и с некоторой задержкой, но дали всходы.

Таблица 1. Количество проросших семян салата листового в зависимости от способов обработки и времени проращивания

Время проращивания, сутки	Партии образцов			
	1 (контроль)	2	3	4
4	0	0	0	2
5	0	4	2	4
6	4	16	10	14
7	14	27	14	32
8	34	38	38	41
9	40	55	48	59
10	55	68	68	71
11	71	72	71	79
12	71	79	79	86
13	71	86	87	94

Вегетативный период салата листового составляет в среднем 30...35 суток, и урожайность его определяется выходом зеленой массы листьев. Для сравнительной оценки интенсивности роста корешков, проростков и листьев в начальный период после проращивания произвели фотографирование образцов (рис. 1). По своему биологическому развитию проросшие семена в каждой партии имеют определенные различия по длине корешков, проростков и по фазе развития листьев, причем, в пользу стимулирующих видов обработки. Во всех опытных партиях происходит более интенсивный рост корешков и биологической массы листьев.

Таким образом, улучшение посевных качеств се-

менного материала под действием электротехнологических факторов выражается в более быстром и полном выходе семян из состояния покоя (на 1...2 сутки), возрастании лабораторной всхожести (на 15...22%), увеличении энергии прорастания, размеров корешков и проростков. Очевидно, что под действием электрофизических и электрохимических факторов в семенах происходит ряд процессов, приводящих к повышению проницаемости семенных оболочек, ускоряется поступление воды и кислорода в семена. Кроме того, усиливается ферментативная активность, прежде всего гидролитических и окислительно-восстановительных ферментов [4-5]. Это обеспечивает более быстрое и полное поступление питательных веществ к зародышу, ускорение темпа клеточного деления и активизацию ростовых процессов в целом.

Результаты экспериментальных исследований показали, что применение комбинированной обработки (сочетание обработки переменным электромагнитным полем высокой напряженности с последующим замачиванием для проращивания в электрохимически активированной воде) обеспечивает наибольшую эффективность по основным показателям стимулирующего воздействия на семена. При этом установлено, что эффективность обработки электромагнитным полем при используемом конструктивном исполнении установки существенно зависит от величины напряжения и времени воздействия. Соответственно, при использовании электрохимически активированной воды определяющее значение имеет величина водородного показателя pH.

Для установления взаимного влияния определя-

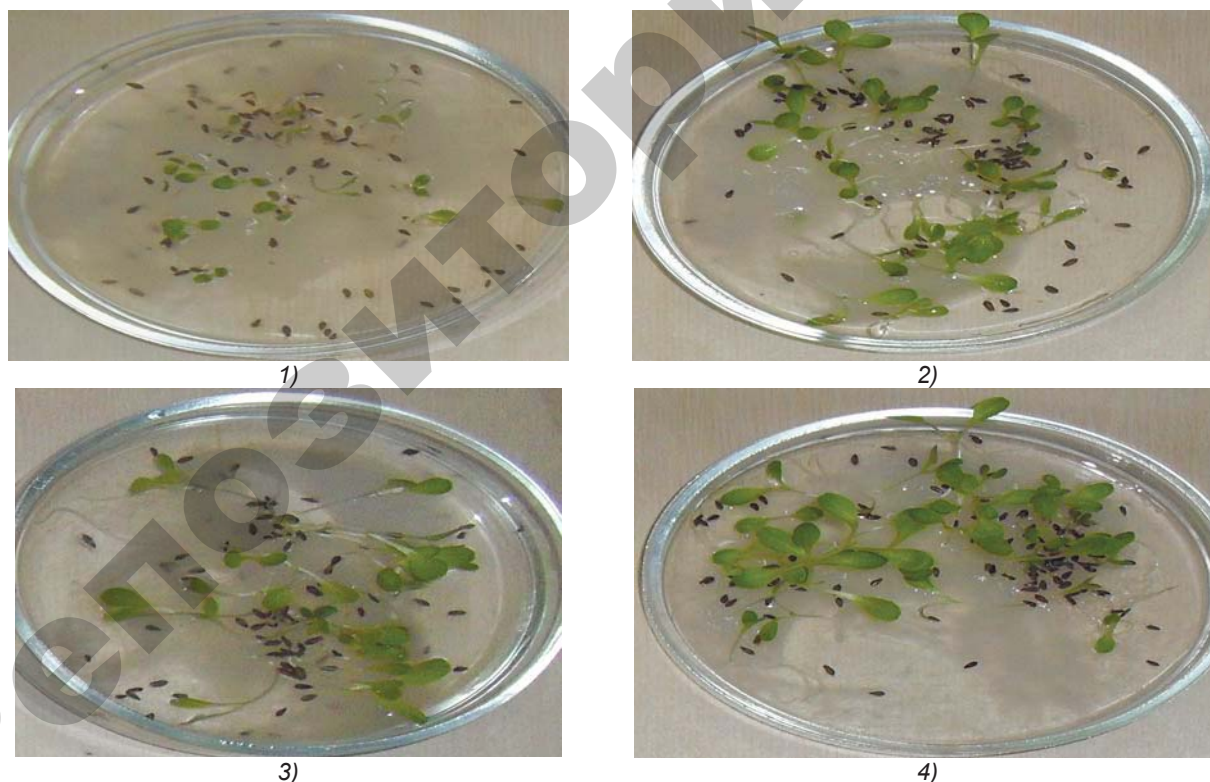


Рисунок 1. Опытные образцы Салата листового на 8-е сутки проращивания: 1 – контроль; 2 – обработка переменным электромагнитным полем; 3 – замачивание в электрохимически активированной воде; 4 – комбинированная обработка

ющих факторов, получения математической модели процесса электротехнологической стимуляции семян применена методика многофакторного эксперимента, в соответствии с которой был реализован план центрального композиционного ротатбельного планирования второго порядка [6].

Принятые в исследовании уровни и интервалы варьирования определяющих факторов указаны в табл. 2.

Центральный композиционный ротатбельный план второго порядка для трех факторов (табл. 3) состоит из плана полного факторного эксперимента типа 2^3

(опыты 1...8 в табл. 2), шести опытов в «звездных точках» (опыты 9...14) и шести опытов в центре плана (опыты 15...20).

Уравнение регрессии по результатам опытов в общем случае имеет вид:

$$y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_{12}X_1X_2 + b_{13}X_1X_3 + b_{23}X_2X_3 + b_{11}X_1^2 + b_{22}X_2^2 + b_{33}X_3^2, \quad (1)$$

где y - функция отклика (всхожесть семян);

$b_0, b_1, b_2, b_3, b_{12}, b_{23}, b_{11}, b_{22}, b_{33}$ - коэффициенты уравнения, определяющие степень влияния фактора или их сочетаний на величину функции отклика.

Таблица 2. Уровни и интервалы варьирования факторов

Факторы	Размерность	Обозначение		Интервалы варьирования	Натуральные уровни факторов, соответствующие кодированным				
		натуральное	кодированное		+1,682	+1	0	-1	-1,682
Напряжение	В	U	X_1	1500	5523	4500	3000	1500	477
Экспозиция	с	τ	X_2	2	7,364	6	4	2	0,636
Уровень рН	-	pH	X_3	2	3,63	5	7	9	10,36

Таблица 3. Матрица планирования и результаты опытов

№ опыта	X_0	X_1	X_2	X_3	X_1X_2	X_1X_3	X_2X_3	X_1^2	X_2^2	X_3^2	$y, \%$
1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	91
2	+1	+1	+1	-1	+1	-1	-1	+1	+1	+1	89
3	+1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	+1	+1	+1	86
4	+1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	+1	87
5	+1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	+1	+1	+1	84
6	+1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1	+1	+1	85
7	+1	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	+1	+1	84
8	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	85
9	+1	-1,682	0	0	0	0	0	2,829	0	0	74
10	+1	1,682	0	0	0	0	0	2,829	0	0	81
11	+1	0	+1,682	0	0	0	0	0	2,829	0	82
12	+1	0	-1,682	0	0	0	0	0	2,829	0	79
13	+1	0	0	+1,682	0	0	0	0	0	2,829	80
14	+1	0	0	-1,682	0	0	0	0	0	2,829	78
15	+1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	87
16	+1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	84
17	+1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	83
18	+1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	85
19	+1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	83
20	+1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	84

Коэффициенты уравнения (1) определяли по формулам [6]:

$$b_0 = \frac{A}{N} \left[2\lambda^2 (k+2) \sum_{j=1}^N y_j - 2\lambda C \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^N x_{ij}^2 y_j \right];$$

$$b_i = \frac{C}{N} \sum_{j=1}^N X_{ij} y_j; \quad b_{il} = \frac{C^2}{N\lambda} \sum_{j=1}^N X_{ij} X_{lj} y_j;$$

$$b_{ij} = \frac{A}{N} \left\{ [C^2 (k+2)\lambda - k] \sum_{j=1}^N x_{ij}^2 y_j + C^2 (1-\lambda) \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^N x_{ij}^2 y_j - 2\lambda C \sum_{j=1}^N y_j \right\},$$

где $A = \frac{1}{2\lambda[(k+2)\lambda - k]}$; $C = \frac{N}{\sum_{j=1}^N x_{ij}^2}$;

$n_n = N - n_0$;

N - число опытов в матрице;

k - число факторов;

y_j - значение функции отклика в j -м опыте;

X_{ij}, X_{lj} - кодированные значения i -го и l -го факторов в j -м эксперименте;

n_0 - число опытов в центре плана;

$n_n = N - n_0$.

После расчета коэффициентов уравнения, дисперсии воспроизводимости, доверительных интервалов, проверки адекватности модели по критерию Фишера в соответствии с методикой [6]

уравнение регрессии (1) принимает вид:

$$y = 83,41 + 0,3592X_1 + 0,8819X_2 +$$

$$+ 0,875X_1X_2 + 0,375X_1X_3 -$$

$$- 0,5218X_1^2 + 0,303X_2^2. \quad (2)$$

Кодированные значения факторов связаны с натуральными следующими зависимостями:

$$X_1 = \frac{U - U_0}{\varepsilon_1} = \frac{U - 3000}{1500};$$

$$X_2 = \frac{\tau - \tau_0}{\varepsilon_2} = \frac{\tau - 4}{2};$$

$$X_3 = \frac{pH - pH_0}{\varepsilon_3} = \frac{pH - 7}{2},$$

где U, τ, pH - натуральные значения основных уровней факторов; $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ - интервалы варьирования факторов.

Переходя от кодированных X_1, X_2, X_3 к натуральным значениям U, τ, pH , получим зависимость всхожести семян от основных определяющих факторов:

$$y = 83,41 + 0,3592 \left(\frac{U-3000}{1500} \right) + 0,8819 \left(\frac{\tau-4}{2} \right) + 0,875 \left(\frac{U-3000}{1500} \right) \left(\frac{\tau-4}{2} \right) + 0,375 \left(\frac{U-3000}{1500} \right) \cdot \left(\frac{pH-7}{2} \right) - 0,5218 \left(\frac{U-3000}{1500} \right)^2 + 0,303 \left(\frac{\tau-4}{2} \right)^2 \quad (3)$$

После преобразования математическая модель процесса электротехнологической стимуляции всхожести семян салата листового имеет вид:

$$y = 86,18 - 41 \cdot 10^{-5} U - 1,04\tau - 0,375 pH + 29 \cdot 10^{-5} U\tau + 125 \cdot 10^{-6} UpH - 23 \cdot 10^{-8} U^2 + 0,076\tau^2. \quad (4)$$

По вышеприведенной методике многофакторного эксперимента получена также математическая модель процесса электротехнологической стимуляции всхожести семян укропа:

$$\gamma_y = 79,6 - 0,0086U - 1,11\tau - 0,275 pH + 0,0031U\tau + 225 \cdot 10^{-6} UpH - 0,27 \cdot 10^{-6} U^2 + 0,144\tau^2. \quad (5)$$

Полученные уравнения регрессии (4) и (5) адекватны и их можно использовать в качестве интерполяционных формул для вычисления всхожести семян при различных значениях определяющих факторов в пределах, указанных в табл. 2.

Выводы

Анализ экспериментальных данных и полученных математических моделей позволяет сделать следующие выводы:

1. Семена овощных зеленных культур после определенного срока хранения теряют способность к пробуждению и всхожест при обычных условиях окружающей среды, т.е. полевая всхожесть заметно ниже лабораторной даже у кондиционных партий. Это означает, что заложенный в них биологический и генетический потенциал более глубоко «законсервирован» и менее доступен действию факторов среды.

2. Поскольку биологические процессы имеют физико-химическую природу, и их интенсификация определяется структурой и энергетическим состоянием живого организма, обменно-восстановительными реакциями, то электрофизикохимические технологии имеют дополнительные возможности углублять процессы, активно ими управлять для достижения необходимого технологического эффекта.

3. Определяющими факторами всхожести семян при обработке переменным электромагнитным полем является напряженность и экспозиция, а при использовании электрохимически активированной воды – значение водородного показателя (величины pH).

4. Электрофизические факторы в большей степени проявляют стимулирующее действие при выводе семян из состояния покоя и в начале прорастания, а электрохимическое воздействие также является стимулирующим при прорастании. При этом в результате каждого вида воздействия происходит общее увеличение всхожести и кондиционности семян.

5. Интегральный технологический эффект электрофизикохимической стимуляции семян проявляется в более раннем появлении проростков, увеличении интенсивности их роста (возрастании энергии прорастания), более быстром наборе биомассы.

6. Наибольшей эффективностью обладает технология комбинированного сочетания определяющих факторов, поэтому предлагается следующий алгоритм стимуляции: обработка сухих семян переменным электромагнитным полем высокой напряженности и последующее прорастание в субстрате с электрохимически активированной водой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агропромышленный комплекс: т. 1. – Минск, 2004. – С. 32.
2. Корко, В.С. Стимулирование всхожести семян зеленных культур электромагнитным полем: матер. междунар. научно-практич. конф. «Энергосбережение – важнейшее условие развития АПК» / В.С. Корко, Н.И. Ермалицкий. – Минск: БГАТУ, 2009. – С. 162-165.
3. Корко, В.С. Предпосевная обработка семян злаковых культур электрофизическими методами / В.С. Корко, А.Е. Лагутин, Е.А. Городецкая // Агропанорама. – 2009 – №6. – С. 16.
4. Ирха, А.П. Повышение эффективности использования электрофизических способов предпосевной обработки семян сельскохозяйственных культур: автореф. ...дисс. канд. техн. наук / А.П. Ирха. – Краснодар, 1998. – 23 с.
5. Кожокару, А.Ф. Механизм действия электрохимически активированной воды и водных растворов на скорость прорастания семян / А.Ф. Кожокару, А.И. Мирошников // II междунар. Конгресс «Слабые и сверхслабые поля и излучения в биологии и медицине»: сб. тезисов. – 2000. – С. 57.
6. Спиридонов, А.А. Планирование эксперимента при исследовании и оптимизации технологических процессов / А.А. Спиридонов, Н.Г. Васильев. – Свердловск: УПИ им. Кирова, 1975. – 140 с.