

Література

1. Пат. 4317441 США, МКИ А 47 J 37/00. Broiler apparatus. Устрій для жарення м'яса [Текст] / Roger M. Berg (США). – № 67368; заявл. 17.08.79; опубл. 02.03.82, НКИ 126/41. – 12 с.
2. Пат. 4664923 США, МКИ А 23 L 1/01. Method of infrared tunnel oven cooking of food products. ІК-апарат для приготування піци [Текст] / Wagner Dennis, Wells Harold D. (США). – № 778350; заявл. 24.10.85; опубл. 12.05.87, НКИ 426/233. – 14 с.
3. Lawson, D. A. An accurate program for radiation modelling in the desigh of high-temperasature furnaces [Text] / D. A. Lawson, C. D. Ziesler // IMA J Management Math. – 1996. – № 7(2). – С. 109–116.
4. Sheridan, P. Application of far infra-red radiation to cooking of meat products [Text] / P. Sheridan, N. Shilton // Journal of Food Engineering. – 1999. – Vol.41(3). – С. 203–208.
5. Плевако, В. П. Фрагментований рефлектор для рівномірного опромінювання приймача з напівеліптичною формою перерізу [Текст] / В. П. Плевако, С. М. Костенко, І. П. Педорич // Прогресивна техніка та технології харчових виробництв, ресторанного господарства і торгівлі : зб. наук. пр. / Харківський держ. ун-т харчування і торгівлі. – Харків : ХДУХТ, 2008. – Вип. 2(8). – С. 266–275.
6. Плевако, В. П. Геометричне моделювання поверхні рефлектора з урахуванням втрат теплоти [Текст] / В. П. Плевако, С. М. Костенко, І. П. Педорич // Прикладна геометрія та інженерна графіка. Праці Таврійського державного агротехнічного університету. – Вип. 4, т. 47. – Мелітополь : ТДАТУ, 2010. – С. 51–60.
7. Плевако, В. П. Комп'ютерне моделювання процесу опромінювання приймача напівеліптичного перерізу [Текст] / В. П. Плевако, С. М. Костенко; голов. ред. О. О. Шубін; Донец. нац. ун-т економіки і торгівлі ім. М. Туган-Барановського // Обладнання та технології харчових виробництв : темат. зб. наук. пр. – 2009. – Вип. 22. – С. 269–273.
8. Dowdy, S. M. Statistics for research [Text] / S. M. Dowdy, Stanley Wearden. – New York : Wiley, 1991. – 629 с.
9. Student. The probable error of a mean [Text] / Student // Biometrika. – 1908. – № 6(1). – С. 1–25.
10. Driggers, R. G. Encyclopedia of Optical Engineering [Text] / Ronald G. Driggers. – New York: Marcel Dekker, 2003. – 3 тома.

Запропоновано технологію опромінення насіння. Показано тепловий і осциляторний вплив електромагнітного поля на елементи насіння. Розроблено математичну модель розподілу температур в шарі насіння при опроміненні високочастотним електромагнітним полем та розроблено відповідний спосіб з наступною оптимізацією режимів та експериментальною перевіркою його ефективності

Ключові слова: технологія, опромінення насіння, модель, температура, електромагнітне поле, спосіб, схожість, вплив

Предложена технология облучения семян. Показано тепловое и осциляторное влияние электромагнитного поля на элементы семян. Разработана математическая модель распределения температур в слое семян при облучении высокочастотным электромагнитным полем и разработан соответствующий способ с последующей оптимизацией режимов и экспериментальной проверкой его эффективности

Ключевые слова: технология, облучение семян, модель, температура, электромагнитное поле, способ, всхожесть, влияние

УДК 631.53.027.34

ТЕХНОЛОГІЯ ПЕРЕДПОСІВНОЇ СТИМУЛЯЦІЇ НАСІННЯ ВИСОКО- ЧАСТОТНИМ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИМ ПОЛЕМ

О. М. Петровський

Старший викладач

Кафедра фізики, автоматизації та механізації
виробничих процесів

Полтавська державна аграрна академія
вул. Сковороди, 1/3, Полтава, Україна, 36003

E-mail: sapetr23@rambler.ru

1. Вступ

Підвищення урожайності сільськогосподарських культур, виробництво достатньої кількості екологічно чистої сільськогосподарської продукції є вкрай важливим питанням, як в Україні, так у всьому світі. Проблема

росту населення планети вимагає збільшення виробництва продуктів харчування при постійному зменшенні придатних сільськогосподарських угідь. Значна частка продукції рослинництва, близько 25-30 %, втрачається за рахунок неякісного посівного насіння [1]. Понад 30 % посівного матеріалу є непридатним

для посіву за рахунок низької схожості і недостатньої енергії проростання [2]. Часткове вирішення цієї проблеми полягає в впровадженні сучасних, економічно вигідних, енергозберігаючих, екологічно безпечних технологій передпосівної стимуляції насіння.

2. Актуальність досліджень

Відомо багато способів впливу на посівний матеріал. Одним із таких способів є опромінення насіння сільськогосподарських культур високочастотним електромагнітним полем. Таке опромінення позитивно впливає на схожість і ріст рослин. В свою чергу рання схожість насіння призводить до зменшення часу вегетації рослин, а стимуляція обмінних процесів дозволяє одержувати гарно розвинені рослини, що в кінцевому результаті призводить до збільшення врожаю і одержання його в скорочені строки. Електромагнітна стимуляція дозволяє не використовувати хімічні стимулятори росту, що позитивно позначається на екологічній чистоті вихідної продукції і довкілля.

Незважаючи на ряд переваг технології передпосівної стимуляції насіння електромагнітним полем не набули широкого вжитку. Це пов'язано з відсутністю вітчизняного промислового обладнання. Експериментальне обладнання відзначається великою вартістю, складнощами в експлуатації. Також не до кінця зрозумілими є процеси, що відбуваються в насінні під час опромінення. Грунтовно не вивчені зміни біологічних і фізичних властивостей на різних структурних рівнях біологічного об'єкту, що спричинені електромагнітним випромінюванням.

Тому розробка нових та удосконалення існуючих способів і засобів передпосівної стимуляції насіння високочастотним електромагнітним полем, які були б універсальними, дешевими, конструктивно і технологічно простими, екологічно чистими, представляє собою актуальну, важливу, складну науково-практичну задачу, вирішення якої покращить процес виробництва продукції рослинництва.

3. Аналіз останніх досліджень і публікацій

Проведення передпосівної обробки насіння різними чинниками впливу позитивно позначається на процесах його проростання, вегетації рослин, і як наслідок покращується формування колосу, плодів, підвищується врожайність. Існує багато технологій передпосівної обробки насінневого матеріалу, які включають хімічні, біологічні, фізичні фактори впливу на стан насіння з метою стимуляції фізіологічних процесів проростання і розвитку. Зміна біофізичних властивостей насіння, стимуляція обміну речовин, інтенсифікація проростання, збільшення поглинання води і добрив є вирішальними задачами передпосівної обробки.

Найбільш прогресивними технологіями передпосівної обробки є застосування електромагнітних способів стимуляції, як найбільш

економічно вигідних, технічно досконалих і екологічно безпечних.

Сформувалися два основних уявлення про вплив електромагнітних полів радіочастотного діапазону на матеріали і речовини. Для високочастотної області (міліметровий діапазон) перевага віддається «інформаційному впливу» [3 – 6], а для низькочастотної області (сантиметровий, дециметровий, метровий діапазони) зміни пояснюють за рахунок теплового впливу.

Трансформація електромагнітної енергії у матеріалах і речовинах приводить до нагрівання, однак наслідки цього ефекту можуть бути різними, починаючи з чисто фізичних змін у речовині (плавлення, прискорення розчинення), чи супроводжуватися хімічними реакціями (утворення складних ефірів, розщеплення крохмалів) [6 – 8]. У рослинах і біологічних об'єктах електромагнітні поля проводять до оборотних і необоротних процесів, що використовуються для прискорення проростання насіння і збільшення врожайності рослин [5], знищення комах і їхніх личинок [9]. Неоднозначність одержуваних результатів після впливу ЕМП обумовлена багатofакторністю систем, а також змінними зовнішніми умовами. Найбільш істотними є: вихідна вологість і температура зразка, що опромінюється, відношення рівня потужності до маси, стан зразка (щільність і рухливість).

В основі механізму дії поля ВЧ лежить первинна дія на електрично заряджені частинки (іони, електрони, атоми, молекули), з яких складаються тканини біологічного об'єкту. Це дія обумовлена як тепловим, так і нетепловим осциляторним ефектом високочастотних коливань. Під впливом поля ВЧ за рахунок трансформації високочастотної енергії в теплову всередині тканин утворюється тепло. Утворення цього тепла залежить від електричних властивостей тканин, головним чином від питомої електропровідності і діелектричної проникності, а також від частоти застосованого струму. Тканини насіння дуже різні за своїми властивостями. В цілому насіння можна розглядати як недосконалий діелектрик, просочений розчином електроліту, як структуру елементів, що володіють як омичним (провідники), так і ємнісним (діелектрики) складовими повного електричного опору (імпедансу) [10].

В тканинах, що добре проводять електричний струм під впливом поля ВЧ заряджені частки переміщуються лінійно то в одну, то в іншу сторону, як би коливаються біля середнього положення. За рахунок такого коливання заряджених частинок у провіднику виникає струм провідності. Оскільки ці коливання відбуваються у в'язкому середовищі, то відбуваються певні втрати енергії, пов'язані з подоланням даного опору, які отримали назву омичних втрат. Омичні втрати викликають виділення тепла. При розміщенні в поле ВЧ діелектрика в його атомах і молекулах заряди зміщуються, і утворюються полярні молекули (диполі), які будуть змінювати свою орієнтацію залежно від частоти зміни напруженості поля. Струм, що виникає в діелектрику за рахунок обертання дипольних частинок, отримав назву струму зміщення, а втрати, пов'язані з подоланням опору навколишнього середовища обертовими частинками, на-

зиваються діелектричними втратами. У недосконалих діелектриках при цьому також утворюється тепло, але в значно менших кількостях, ніж в провідниках.

У ідеальних діелектриках (повітря, скло, гума тощо) струм зміщення не викликає утворення тепла [11]. Якщо величина омичної складової імпедансу не залежить від частоти застосованого струму, то величина ємнісної складової зі збільшенням частоти до певної межі зменшується. При низьких частотах у зв'язку з великою величиною ємнісної складової більша частина струму буде струмом провідності. У міру збільшення частоти до певних меж величина ємнісної складової імпедансу знижується, діелектрична проникність підвищується і починає збільшуватися частка струму зміщення. При високих частотах частка струму зміщення буде переважати над часткою струму провідності. Що стосується тепла, пов'язаного з діелектричними втратами, то воно при дії поля ВЧ буде незначним, проте ці теплові втрати будуть більш рівномірними для всіх тканин, які мало відрізняються за своїми діелектричними властивостями. При подальшому збільшенні частоти коливаль, як це спостерігається при використанні хвиль сантиметрового діапазону, діелектрична проникність знижується і починає збільшуватися кількість тепла, пов'язаного з діелектричними втратами, що виникають за рахунок релаксаційних коливаль молекул води.

Оскільки при дії поля ВЧ переважає струм зміщення, а тепловий ефект в основному залежить від струму провідності, то абсолютна кількість тепла при одній і тій же силі струму при високих частотах буде значно меншим, ніж при застосуванні більш низьких частот. Однак величина ємнісної складової повного електричного опору струмів більш низьких частот дуже велика, внаслідок чого переважає струм провідності, і такі струми не чинитимуть глибокої дії. Для струмів ВЧ електропровідність системи в цілому більше, що полегшує проходження енергії в більш глибокі тканини. Таким чином, при впливі поля ВЧ за рахунок струму зміщення не так утворюється тепло в тканинах, скільки накопичується енергія в тканинах, що погано проводять електричний струм і передається майже без всяких втрат більш глибоким тканинам.

4. Мета і задачі досліджень

Метою роботи є створення технології передпосівної стимуляції насіння шляхом його опромінення електромагнітним полем високочастотного діапазону.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- розробити фізико-математичну модель теплового розігріву насіння при його опроміненні електромагнітним полем;
- розробити технологічно простий, екологічно безпечний і економічно вигідний спосіб передпосівного опромінення насіння високочастотним електромагнітним полем;
- провести експериментальні і польові випробування технології опромінення насіння електромагнітним полем;

5. Розробка фізико-математичної моделі розігріву насіння

Під час обробки насіння електричним полем високої частоти відбувається його нагрівання, в основному завдяки наявності в клітинах молекул води і розчинених у воді іонів. Рух молекул води і іонів під дією змінного електричного поля високої частоти і спричиняє нагрівання. При цьому температура є одним з факторів, який впливає на наслідки передпосівної обробки насіння. Однак поряд з нагріванням присутні і інші процеси. Перетворення структур білків, поляризація клітинних мембран, інтенсифікація обмінних процесів під дією опромінення можуть призводити до зміни електричних властивостей насіння і як наслідок до впливу на фізіологічний стан, схожість і енергію росту рослин.

При обробці насіння ВЧ полем воно знаходиться між конденсаторними пластинами. При цьому площа бокової поверхні шару насіння набагато менша, ніж площа торцевих поверхонь. Тому теплопередачею через бокові поверхні можна знехтувати. В такому випадку функція розподілу температур у шарах насіння буде залежати тільки від однієї координати і має вигляд.

$$\frac{\partial T_{(x,t)}}{\partial t} = \alpha \frac{\partial^2 T_{(x,t)}}{\partial x^2} + q, \quad (1)$$

де $T_{(x,t)}$ – різниця між температурою в точці з координатою x , в час t і температурою навколишнього середовища, К;

α – коефіцієнт температуропровідності, m^2/s ;

q – кількість теплоти, що виділяється в одиниці об'єму за одиницю часу, $Вт/м^3$.

Загальний шар насіння, що знаходиться між конденсаторними пластинами, має товщину $2l$. Координати торцевих поверхонь (країв) шару насіння відповідно: $x_1 = -l$ і $x_2 = +l$.

Умови теплообміну на кінцях шару насіння повинні відповідати крайовим умовам Ньютона

$$\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=-l} = h(T|_{x=-l} - T_0), \quad (2)$$

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=+l} = h(T|_{x=+l} - T_0), \quad (3)$$

де λ – ефективний коефіцієнт теплопровідності насипного насіння, $Дж/м^2К$;

h – коефіцієнт теплообміну на краях шару насіння, $Вт/(м К)$;

T_0 – температура зовнішнього середовища, К.

Рівняння теплового балансу для випадку, який розглядається, має вигляд

$$c\rho S\Delta x \cdot \Delta T = \lambda S \left(\frac{dT}{dx} \Big|_{x+\Delta x} - \frac{dT}{dx} \Big|_x \right) \Delta t + \frac{P}{2l} \Delta x \cdot \Delta t, \quad (4)$$

де c – середня питома теплопровідність насипного насіння, $Дж/кг^{\circ}К$;

ρ – щільність шару насіння, кг/м³;
 P – активна потужність, яка виділяється у вторинному контурі генератора ВЧ, Вт;
 S – площа бічної поверхні, м².

Таким чином поставлена задача зводиться до рішення нестационарного неоднорідного диференціального рівняння другого порядку в частинних похідних з граничними умовами (2, 3)

Розв'язок задачі має остаточний вигляд

$$T(x,t) = \frac{2PtI}{\lambda S} \left[\frac{1}{4} \left(1 - \frac{x^2}{l^2} \right) + \frac{\lambda}{2lh} - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{e^{-\gamma_n^2 \frac{t}{l^2}} \sin \gamma_n}{\gamma_n^3 \left(1 + \frac{\sin 2\gamma_n}{2\gamma_n} \right)} \cos \left(\gamma_n \frac{x}{l} \right) \right], \quad (5)$$

де γ_n – позитивні корені рівняння

Згідно аналізу моделі температурного режиму, при достатній тривалості обробки ($t \rightarrow \infty$) ВЧ полем температура насіння T досягає свого максимального значення і далі практично не змінюється. Цей висновок ілюструється результатами, представленими на рис. 1. Одержані результати достатньо добре можуть бути апроксимовані рівнянням

$$T = T_{\infty} (1 - e^{-\frac{t}{t_0}}), \quad (6)$$

де T_{∞} – асимптотичне значення температури, коли $t \rightarrow \infty$, К;

t_0 – коефіцієнт, який має розмірність часу, с.

Температура T_{∞} відповідає усталеному режиму, коли одержане тепло і його втрати рівні. Значення перевищення температури насіння, що опромінюється над температурою навколишнього середовища, можуть бути зображені на графіку (рис. 1).

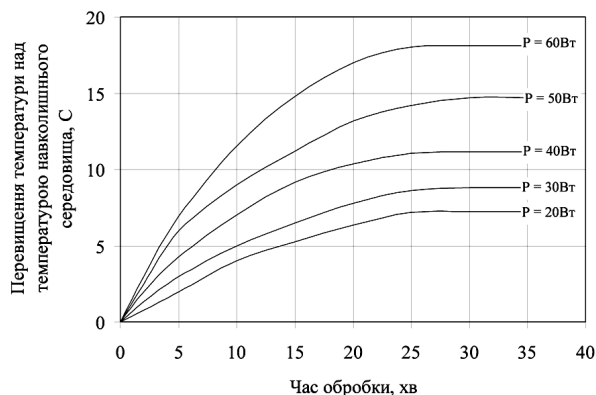


Рис. 1. Залежність зміни температури насіння пшениці відносно температури навколишнього середовища від часу обробки полем ВЧ різної потужності

6. Розробка способу передпосівної стимуляції насіння

Спосіб опромінення реалізується наступним чином. Підготовлені партії насіння згідно ДСТУ 4138-

2002 [12, 13] масою 0,05 кг відносною вологістю 12...15 %, з визначеним видом, сортом, строком врожаю, умовами зберігання поміщаються між опромінюючими електродами за допомогою відповідної ємності, (кювета розміром 0,13×0,09×0,01м), або завантажуються в бункер-опромінювач в разі, якщо одноразова партія перевищує 0,1 кг.

Температура оточуючого середовища при зберіганні і опроміненні насіння складає +15...18°С. Опромінення проводиться з вихідною потужністю 20, 30, 40, 60 Вт. Під час опромінення контролюється температура насіння за допомогою спиртового термометра, а після вимкнення апарату за допомогою терморезистора ТР-1 і приладу ДТ9208А. Було проведено ряд експериментів для перевірки впливу ВЧ опромінення на схожість і енергію росту насіння. Також визначено оптимальні режими опромінення для різних видів і сортів насіння.

Після опромінення з кожної партії масою 0,05 кг випадковим чином відбирається 200 насінин, включаючи контрольну партію. Це насіння поміщається в чашки Петрі на фільтрувальний папір по 100 штук в одну чашку в двократному повторенні. Після чого насіння в кожній чашці зволожується, чашки закриваються.

Чашки з насінням поміщаються в термостат для пророщування насіння ТР-1. Термостат герметизується. Пророщування проходить при температурі +24±0,5 °С.

Через одну добу після опромінення насіння виймається з термостату. Визначаються електричні характеристики насіння, а також проводиться зважування насіння.

Під час пророщування на зволоженому папері насіння поглинає воду, при цьому його маса збільшується. З метою визначення ступеня водопоглинання проводиться зважування кожних 100 насінин відповідних партій до опромінення і через одну добу після опромінення. Таким чином визначається водопоглинання насіння.

Після зважування насіння повертається в термостат де продовжується його пророщування. На третю добу після опромінення визначається енергія росту, як кількість насіння, що проросло від загальної кількості. На 14 добу після опромінення визначається загальна схожість насіння, як кількість насіння, що проросло від загальної кількості насіння експериментальної партії.

7. Результати експериментальних досліджень передпосівної стимуляції насіння

Схожість, яка визначається процентом насіння, що проросло, до посіяного, екстремально залежить від тривалості при фіксованій потужності випромінювача (рис. 2, 3). Максимум спостерігається при різних тривалостях опромінення (рис. 4). При цьому схожість зростає в середньому на 20 % в порівнянні з насінням, що не опромінюється перед посівом.

Під дією ВЧ опромінення температура насіння, спочатку, збільшується, а згодом виходить на усталене значення, це свідчить про те, що кількість теплоти, яка надана насінню, дорівнює кількості теплоти, яка розсіюється в навколишнє середовище. Таким чином,

з точки зору термодинаміки, ця система виходить на усталений режим, а опромінення насіння доцільно проводити в температурних межах від +18 °С до + 36 °С. Крім того, під дією змінного електричного поля насипне насіння нагрівається рівномірно, тобто температура в усіх точках однакова.

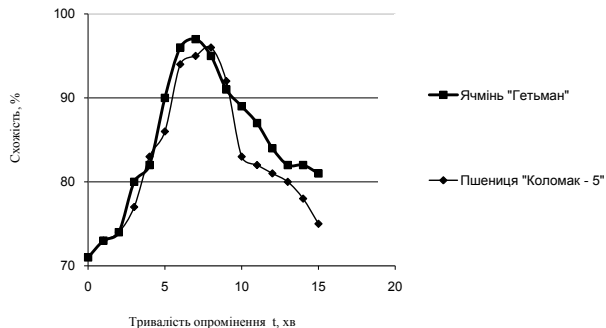


Рис. 2. Залежність схожості насіння пшениці і ячменю від тривалості опромінення

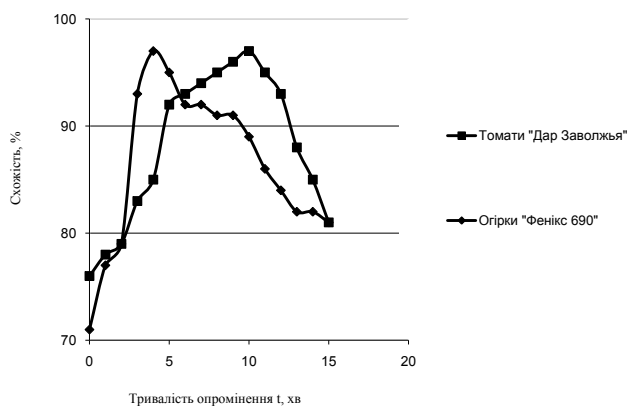


Рис. 3. Залежність схожості насіння томатів і огірків від тривалості опромінення

Аналіз отриманих експериментальних даних показав, що схожість усього насіння має максимум, який в 1,2...1,35 рази більше в порівнянні з контрольними. При цьому оптимальне значення часу опромінення для різного насіння змінюється від 2 до 12 хвилин [14, 15]. Оптимальні значення температури нагрівання насіння, при якому досягається максимальна схожість, знаходяться в діапазоні температур від 23 до 31 °С.

При цьому температура нагріву насіння T пов'язана з тривалістю їх опромінення t , що описується співвідношенням:

$$T = T_n + 17,5(1 - e^{-\alpha t}), \quad (7)$$

де $T_n = 18^\circ\text{C}$ – початкова температура;
 $\alpha = 0,1 \text{ хв}^{-1}$ – постійна часу нагріву.

Зменшення схожості насіння після досягнення максимальних значень при подальшому підвищенні температури можливо обумовлене локальним перегріванням клітинних мембран і денатурацією білків-переносників у зародку.

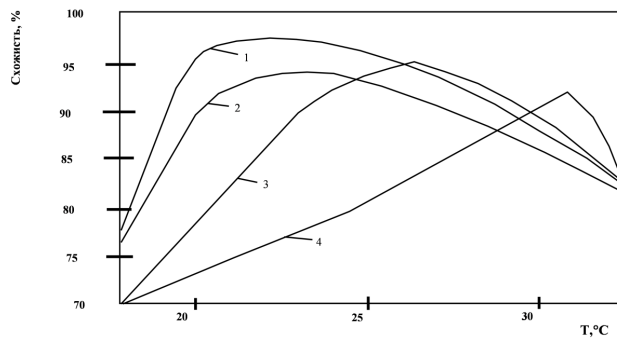


Рис. 4. Залежність схожості різного насіння від температури нагріву: 1 – насіння огірків; 2 – насіння пшениці; 3 – насіння ячменю; 4 – насіння томатів

8. Висновки

Запропонована нова математична модель розподілу температур в шарі насипного насіння під час опромінення його високочастотним електромагнітним полем, яка враховує залежності між геометричними параметрами опромінювача, вихідною потужністю, часом опромінення та біофізичними властивостями зерна, що дозволило провести моделювання об'єкту досліджень і встановити необхідні технічні параметри обладнання та режими опромінення.

Розроблено та експериментально апробовано новий ефективний спосіб передпосівної стимуляції насіння, який може застосовуватись для передпосівної обробки будь якого насіння без застосування хімічних стимуляторів росту і, як наслідок, дозволяє одержати більшу кількість екологічно чистої продукції рослинництва.

Проведено експериментальні дослідження, які підтверджують доцільність застосування технології передпосівної стимуляції насіння. Схожість насіння різних культур збільшилась на 10 – 27%.

Наведена технологія може бути реалізована при обробці насіння лікарських рослин [16], квітів, дерев.

Література

1. Березін, О. В. Ефективне функціонування сільськогосподарського виробництва [Текст] / О.В. Березін // Економіка АПК. – 2010. – № 2. – С. 26 – 31.
2. Адамень Ф. Состояние и направления развития семеноводства в Украине [Текст] / Ф. Адамень // Междунар. с.-х. журнал, 1997. – №2. – С.49 – 50.
3. Черенков, А. Д. Применение информационных процессов электромагнитных полей в технологических процессах сельского хозяйства [Текст] / А. Д. Черенков, Н. Г. Косулina // Світлотехніка та електроенергетика. Міжнародний науково-технічний журнал. – Харків: ХНАМГ. – 2005. – № 5. – С. 77 – 80.
4. Интенсификация тепловых процессов подготовки семян к посеву энергией ВЧ и СВЧ (рекомендации) [Текст] / [подготовил к.т.н. Н.В. Цугленко]. – М.: Агропромиздат, 1989. – 40с.

5. Батыгин, Н. Ф. Комплексная оценка процесса воздействия электромагнитного поля высокой частоты на семена [Текст] / Н. Ф. Батыгин, С. И. Ушакова, Н. Д. Никонова // Применение энергии высоких и сверхвысоких частот в технологических процессах сельскохозяйственного производства : тез. докл. – Челябинск, 1983. – С. 71.
6. Исмаилов, Э. Ш. Биофизическое действие СВЧ излучений [Текст] / Э. Ш. Исмаилов. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 306 с.
7. Мікрохвильові технології в народному господарстві. Втілення. Проблеми. Перспективи. (Промисловість, агропромисловий комплекс, медицина – формація). [Текст] Випуск 2 – 3. [36. ст. ред. акад. МАІ Калінін Л. Г.] Міжнар. акад. інформ.; Півен. філ. від-ня пром. радіоелектроніки МАІ, Український науково-технологічний центр. – Одеса, Київ, ТЕС, 2000 р. – 192 с.
8. Девятков Н. Д. Роль синхронизации в воздействии слабых сигналов миллиметрового диапазона волн на живые организмы [Текст] / [Н. Д. Девятков, М. Б. Голант, А. С. Тагер] ; под. ред. академика Н.Д. Девяткова // Эффекты нетеплового воздействия миллиметрового излучения на биологические объекты. – М.: ИРЭ АН СССР. – 1983. – С. 7 – 17.
9. Черепнев, И. А. Использование импульсного электромагнитного излучения для обеззараживания зерновой смеси [Текст] / А. С. Черепнев, И. А. Черепнев, Г. А. Ляшенко // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба. – 2008. – вип. 2 (17). – С 53 – 55.
10. Thomasset A. Proprietes bioelectriques des tissus. Mesure de l'impedance en clinique [Текст] / A. Thomasset // Lyon Med. – 1962 – № 28. – P. 107 – 109.
11. Перельмутер В. М. Медико-биологические аспекты взаимодействия электромагнитных волн с организмом [Текст] / В. М. Перельмутер, В. А. Ча, Е. М. Чуприкова. – Учеб. пособие. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 128 с.
12. Насіння сільськогосподарських культур. Методи визначення якості. [Текст] (ISO 4138:2002, IDT) : ДСТУ ISO 4138:2002. – [Чинний від 2004-01-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2003. – 173 с. – (Національні стандарти України).
13. Пат.51700 UA МПК (2009) A01C 1/00 (2010. 07), Спосіб передпосівного опромінення насіння зернових. [Текст] / Петровський О.М., Смердов А.А., Жемела Г.П., Волков С.І., Ландар А.А. // власник Петровський О.М. Патент на корисну модель №51700. заявлено 15.02.2010; опубліковано 26.07.2010. Бюл. № 14 2010р.
14. Петровський, О. М. Температурний режим УВЧ опромінення, як фактор впливу на схожість насіння пшениці [Текст] / О. М. Петровський, С. І. Волков, В. М. Калініченко // Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: Технічні науки Випуск № 7. м. Вінниця. – 2011. – С. 24 – 28.
15. Смердов, А. А. Визначення оптимальних режимів передпосівної обробки насіння електромагнітним полем [Текст] / А. А. Смердов, О. М. Петровський // «Актуальні питання біологічної фізики і хімії» БФФХ- 2011, VII Міжнародна науково-технічна конференція. м. Севастопіль. – 2011. – С. 44 – 46.
16. Григоришин, Е. В. Эффективность УВЧ-облучения семян Эхинацеи бледной [Текст] / Е. В. Григоришин, А. Н. Петровский, С. В. Поспелов, А. А. Смердов // Инновационные подходы к изучению эхинацей: Материалы Международной научной конференции. г. Полтава. – 2013. – С. 26 – 30.