

УДК 581.1+58.03+519.876.5

А.І. ГЕРЦ, І.М. ЦІДИЛО

Тернопільський національний педагогічний університет ім. Володимира Гнатюка
вул. Кривоноса 2, Тернопіль, 46027

МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ СВІТЛОВОГО ПОЛЯ НА РІСТ І РОЗВИТОК РОСЛИН ЗАСОБАМИ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ

У статті показана можливість проектування нечіткої експертної системи, що дозволяє провести аналіз накопичення сухої речовини листками рослини *Brassica rapa* *Astroplants* за комплексної дії двох параметрів світлового поля: інтенсивності та періоду його зміни.

Ключові слова: ріст і розвиток рослин, світлове поле, нечітке моделювання

В природних умовах інтенсивність світла, як екологічний чинник, є непостійною величиною. Його зміни можуть носити як довготривалий, так і короткотривалий характер. Вони можуть бути швидкими і вимірюватись в секундах (при мінливій хмарності), годинами (зміни світлового режиму впродовж світлового дня), а також днями (при коливаннях погоди в межах сезону) чи місяцями (при зміні сезонів).

Відомо, що в досить нестабільних умовах зростання у рослин спостерігаються такі фізіологічні явища як індукція і пост-світлова фіксація CO₂, що може підвищити на 10-15 % фотосинтетичну ефективність фітоценозів [1, 7, 9]. Загалом, рослини у змінних світлових полях з короткими періодами зміни мінімальної та максимальної інтенсивностей світла (швидкі флуктуації світла), можуть бути, так звані, інтеграторами світла. Листки рослин у змінних світлових полях з тривалими періодами зміни інтенсивності світла (повільні флуктуації) інтегрують показники інтенсивності фотосинтезу [4, 9].

На сьогодні, більшість фотосинтетичних досліджень в екологічному аспекті проводились тільки за умов постійного освітлення із визначеним фотоперіодом [1]. Залишався поза увагою факт існування адаптації рослин *in vivo* до рівня освітлення, що змінюється в широкому діапазоні. Ця зміна не завжди пов'язана із фотоперіодом чи його сезонною динамікою.

Закономірно, що змінне опромінення викликатиме адаптаційні процеси. Ступінь адаптаційної відповіді буде видоспецифічним і залежатиме від інтенсивності, якості світла тощо. Невідомою залишається роль змінного світлового поля у фотохімічних процесах рослинних ценозів, хоча зрозуміло, що в природних умовах рослина знаходиться в динамічних світлових умовах. Для оцінки вищезгаданого процесу, наводимо наближену характеристику набору даних, що, в свою чергу, породжує кодування інформації елементами нечітких множин з точністю, достатньою для виконання завдання. У зв'язку з цим, постає проблема застосування теорії нечітких множин, запропонованої Л. Заде, для представлення незрозумілих або неточних понять з метою опису відношень між об'єктами або подіями, що частково висвітлено в роботі для моделювання складних біологічних процесів [10].

Нечітка логіка за суттю ближча до мислення людини і природних мов, ніж традиційні логічні системи. Вона, в основному, забезпечує ефективні засоби відображення невизначеностей і неточностей. Методи нечітких множин особливо корисні за відсутності точної математичної моделі функціонування системи. Теорія нечітких множин дає можливість використовувати неточні і суб'єктивні експертні знання про предметну галузь без формалізації їх у вигляді традиційних математичних моделей [3, 5]. Разом з тим, застосовувати лінгвістичний опис складних процесів, встановлювати нечіткі відношення між поняттями, прогнозувати поведінку системи, формувати множину альтернативних дій, виконувати формальний опис нечітких правил прийняття рішень. Вихідною інформацією під час розробки алгоритму є база експертних оцінок предметної галузі, за результатами якої, після спеціальної обробки, формується алгоритм [5].

Відтак, нами була здійснена спроба спроектувати структуру нечіткої системи для відображення залежності накопичення сухої речовини в листках рослини від рівня та періоду освітлення.

Матеріал і методи досліджень

Дослідження проведені на рослинах *B.rapa Astroplants*, що належить до серії швидкоростучих рослин [1].

Рослини вирощувалися у вегетаційно-кліматичних камерах при штучному освітленні. Умови вирощування та характеристика штучних джерел освітлення описані у попередніх роботах [1]. Частку сухої речовини у листках, вміст хлорофілів, морфометричні показники плодів визначали за загальноприйнятими методиками [2].

Для моделювання змін морфометричних характеристик рослин використовували програмне середовище MATLAB зі спеціальним програмним пакетом нечіткої логіки Fuzzy Logic Toolbox, що дозволило конструювати, так звані, нечіткі експертні або керуючі системи [5].

Результати досліджень та їх обговорення

Для створення моделі, як експертні, були використані дані [1], що відображають вплив періоду зміни світлового поля на фізіолого-біохімічні параметри рослин *B. rapa*.

Виходячи з того, що предметом вивчення були повільні світлові флуктуації [7,9], керувались рядом правил. По-перше, у відповідності з простою моделлю фотосинтезу, ведення світлової флуктуації завжди призводить до зниження середньої інтенсивності фотосинтезу [4,9]. По-друге, максимальна інтенсивність фотосинтезу спостерігається при постійному світловому потоці. По-третє, найменший вплив на фотосинтетичні процеси рослин мають флуктуації великої частоти. За таких умов середня інтенсивність фотосинтезу розраховується або через середню інтенсивність світлового потоку, або визначається середнім значенням інтенсивності фотосинтезу за певний період.

Результатами проведених експериментальних досліджень щодо впливу постійних та змінних світлових полів на ріст і розвиток швидкоростучої рослини *B. rapa* встановлено, що рівні опромінення ФАР в межах 40-80 Вт/м², які вважаються межею фізіолого-біохімічного оптимуму даного виду [1], можна вважати такими, що є достатніми і для змінних світлових полів.

При вищезгаданих рівнях освітлення спостерігається залежність виходу сухої біомаси та вмісту частки сухої речовини в листках (рис. 1) від періоду зміни світлового поля. Зменшення періоду від 170 до 70 с призводить до зростання накопичення сухої біомаси рослини *B. rapa*. Одночасно, в діапазоні періоду від 70 до 40 с різниця в частці та швидкості накопичення біомаси стає несуттєвою, а результати вимірювань істотно не відрізняються.

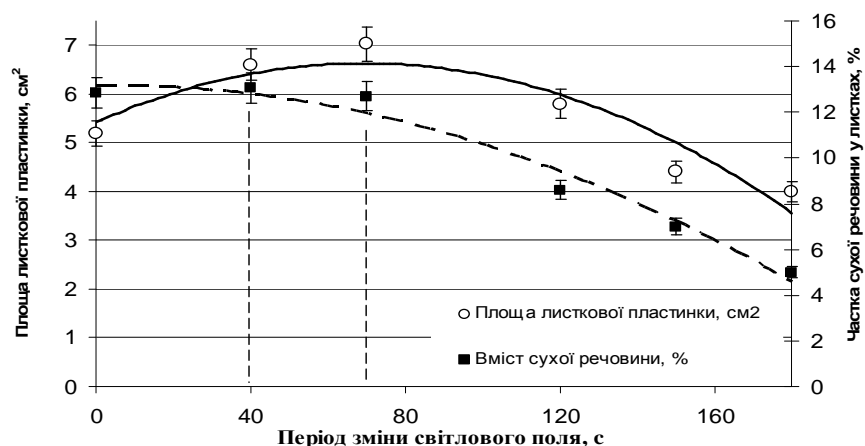


Рис. 1. Вплив періоду зміни світлового поля на площу листової пластинки та частку сухої речовини в листках *B. rapa* (ДНаТ-250, інтенсивність світла 80 Вт/м²) (етап бутонізації), $M \pm m$, $n=15$

Експериментальні дані щодо впливу періоду зміни світлового поля на вміст пігментів (рис. 2), аналогічно з попередніми, свідчать, що зі зменшенням періоду від 70 до 40 с спостерігається поступове збільшення їх концентрації в тканинах листків [1].

Зміна інтенсивності фотосинтезу у вегетативних органах рослини, зумовлена світловою флуктуацією, відображається на насінній продуктивності рослини. За рівнів опромінення і 40 Вт/м², і 80 Вт/м² існує діапазон зміни світлового поля, в якому морфометричні показники насіння плодів несуттєво різняться від таких у постійному світловому полі. Межі оптимального діапазону коливання світла становлять від 65 до 70 с (рис. 3).

Отже, дані щодо частки сухої речовини, вмісту хлорофілів у листках знаходяться у кореляційній залежності від періоду зміни світлового поля та рівня ФАР.

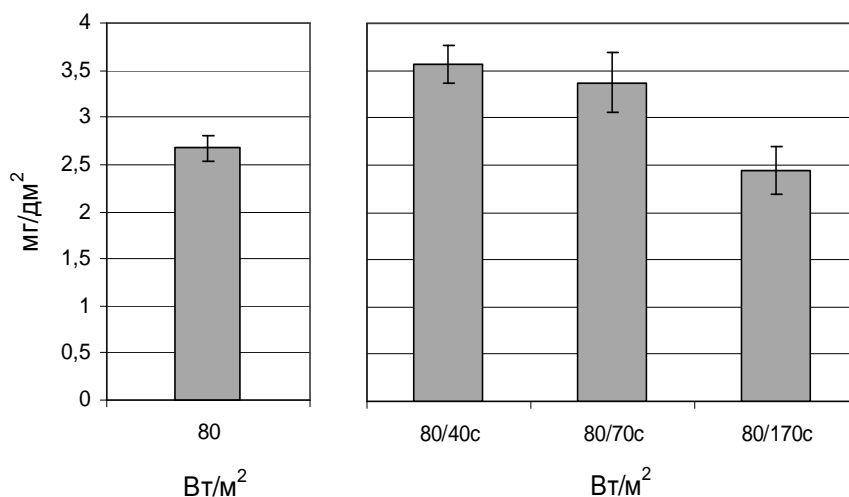


Рис. 2. Вміст хлорофілів (a+b) у листках *V. rapa* залежно від періоду зміни поля випромінювання ФАР (ДНАТ-250, інтенсивність світла 80 Вт/м²) (етап бутонізації), $M \pm m$, n=5

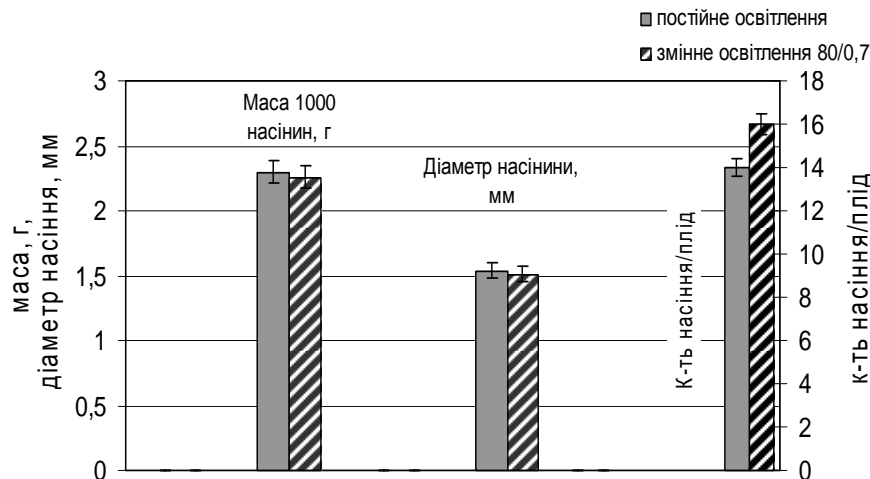


Рис. 3. Морфометричні характеристики насіння *V. rapa* за різних умов світлозабезпечення (ДНАТ-250, інтенсивність світла 80 Вт/м²), $M \pm m$, n=5

Змінні світлові поля з періодом в діапазоні 40–70 с несуттєво змінюють показники росту і розвитку рослин *V. rapa* (біомасу, розміри організму, термін вегетації) та морфометричні характеристики насіння у порівнянні з режимом постійного освітлення.

Поряд з цим, у змінних світлових полях слід враховувати спектральний склад світла [1] як одну із характеристик світлового поля, а також інтенсивність освітлення. Ці параметри залишаються важливими і будуть визначати продуктивність рослин. Зокрема, два спектрально відмінні джерела світла, показуючи однакову динаміку зміни показників частки сухої речовини та сухої біомаси рослини, водночас, суттєво різняться за кількісними характеристиками даних

показників (рис. 4). При цьому відмінності у спектральних характеристиках джерел випромінювання призводять до змін фотосинтетичної продуктивності рослин, а не визначеного нами оптимального періоду змінного світлового поля.

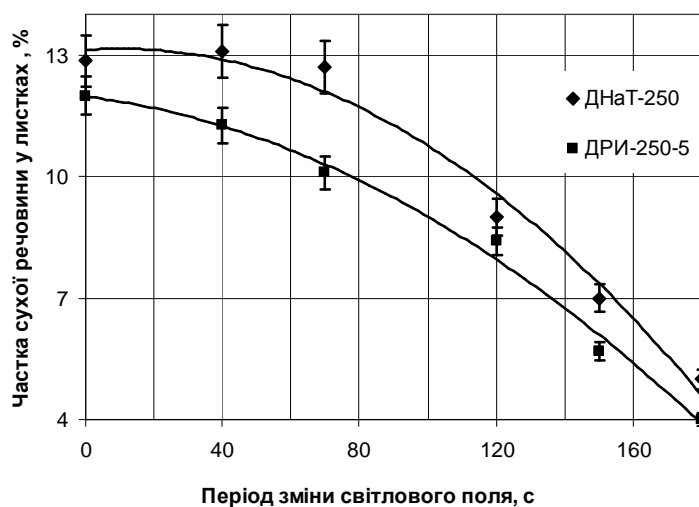


Рис. 4. Вплив спектрального складу світла змінного світлового поля на накопичення сухої речовини у листках *V. rapa* (інтенсивність світла 80 Вт/м²) (етап бутонізації), $M \pm m$, $n=5$

На основі отриманих даних, була побудована нечітка система, що відображає вплив як інтенсивності освітлення, так і періоду світлового поля на морфометричні показники рослини. Для прикладу представлена модель зміни частки сухої речовини в листках рослини *V. rapa* у відповідь на такі параметри світлового поля, як інтенсивність та період.

Щоб створити нечітку систему, яка б відтворювала залежність накопичення сухої речовини, вмісту хлорофілів або ж зміну площі листової пластинки від періоду зміни світлового поля та інтенсивності освітлення, було спроектовано систему нечіткого висновку типу Мамдані [4, 5] з двома входними та однією вихідною лінгвістичною змінною (рис. 5).

Входами системи є лінгвістичні змінні «Період зміни світлового поля» та «Інтенсивність освітлення», а виходом – змінна «Частка сухої речовини або площа листової пластинки тощо».

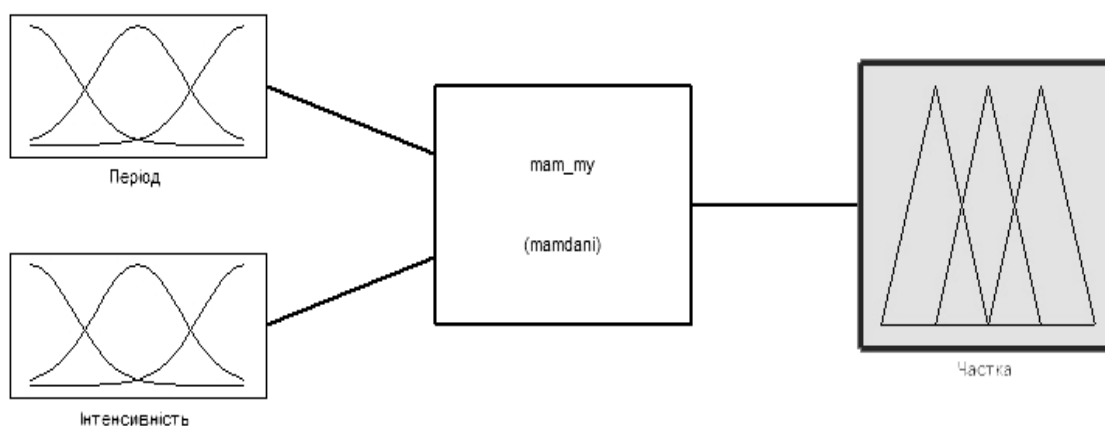


Рис. 5. Структурна схема нечіткої системи

Терм-множини [3-5, 8] нечітких змінних було поділено на терми. На кожен змінну по три терми: «Період зміни світлового поля» – "короткий", "довгий", "дуже довгий"; «Інтенсивність освітлення» – "потужна", "середня", "слабка"; «Частка сухої речовини, площа листової пластинки тощо» – "високий (-а)", "середній (-я)", "низький (-а)".

База правил системи має такий вигляд:

ЯКЩО "Період" Є "короткий" І "Інтенсивність освітлення" Є "потужна" **ТО** "Частка..." Є "висока"; **ЯКЩО** "Період" Є "довгий" І "Інтенсивність освітлення" Є "середня" **ТО** "Частка..." Є "середня"; **ЯКЩО** "Період" Є "дуже довгий" І "Інтенсивність освітлення" Є "слабка" **ТО** "Частка..." Є "низька".

На основі вищенаведених правил спроектовано нечітку систему типу Мамдані [3, 5].

Оцінка ефективності побудови системи нечіткого висновку здійснена на основі програми перегляду правил системи MATLAB (рис. 6).

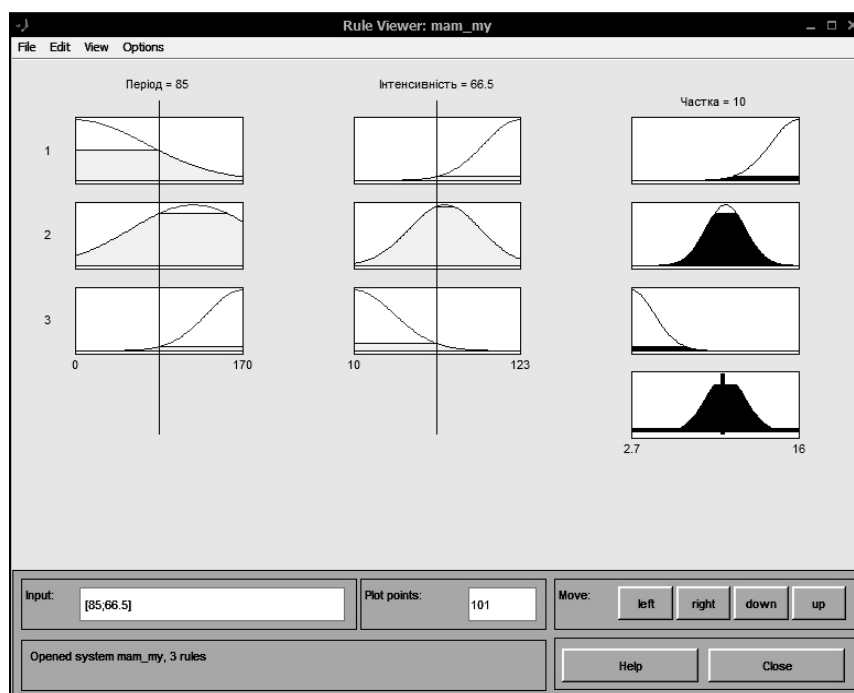


Рис. 6. Процес застосування нечітких правил програмою Matlab

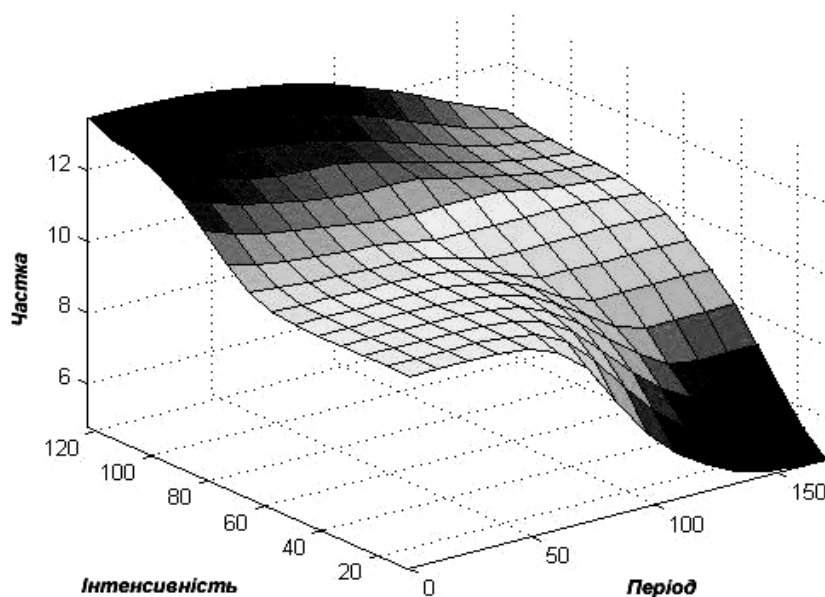


Рис. 7. Поверхня відгуку нечіткої системи Мамдані з ручним налаштуванням параметрів

Система Мамдані, за ручного налаштування її параметрів, показала похибку 0,1881. Після використання алгоритму автоматичної оптимізації, величина похибки знизилась до 0,0114, а поверхня відгуку стала цілком придатна для практичного застосування [5].

Для загального аналізу розробленої нечіткої системи була проведена процедура візуалізації відповідної поверхні нечіткого висновку [3, 5], що дозволяє встановлювати залежність значень показників вихідних змінних від значень вхідних змінних.

Аналіз величини похибки системи Мамдані та поверхні відгуку (рис. 7) призвів до висновку, що дана система, після налаштування її параметрів, придатна до практичного застосування для відображення залежності зміни морфометричних показників рослинного організму у відповідь на зміну світлового фактору середовища.

Висновки

На основі емпіричних даних та із застосуванням алгоритму Мамдані створено нечітку експертну систему, що дозволяє провести аналіз накопичення сухої речовини листками рослини *B. rapa* за комплексної дії двох параметрів світлового поля.

Дослідження створення і функціонування нечіткої експертної системи на основі алгоритму Мамдані, показали високу їх ефективність завдяки відносно простій програмі навчання і практичній реалізації.

Точнішого відображення впливу світлового фактору на ріст і розвиток рослинного організму можливо досягнути за рахунок додавання додаткових вхідних параметрів системи, зміною правил і їх вагових коефіцієнтів у базі знань.

Отже, запропонована нечітка система може бути взята за основу при розрахунку фотосинтетичної продуктивності рослин, їх посівів за умов гетерогенності світлового фактору. На її основі можна створити модель нечіткого контролера в середовищі Simulink [3, 5], а також порівняти з іншими можливими системами нечіткого логічного висновку, що становитиме перспективи подальших наших досліджень.

1. Герц А. І. Ріст і розвиток *Brassica rapa* L. var. *rapide cycling* у змінних світлових полях / А. І. Герц, В. А. Андрійчук, В. В. Грубінко // Вісн. Чернігів. держ. пед. ун-ту ім. Тараса Шевченка. Сер. Біол. науки. – 2006. – №1 (40). – С. 5–12.
2. Починок Х. Н. Методи биохимического анализа растений / Х.Н. Починок. – К.: Наук. думка, 1976. – 334 с.
3. Трухаев Р.И. Модели принятия решений в условиях неопределенности / Р. И. Трухаев. – М.: Наука, 1981. – 258 с.
4. Торнли Дж. Г. М. Математические модели в физиологии растений [Текст]= Mathematical Models in plant physiology / Дж. Г. М. Торнли; пер. с англ. Д. М. Гродзинского; под ред. Б. И. Гуляева. – К.: Наук. думка, 1982. – 310 с.
5. Штовба С. Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB / С. Д Штовба. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 288 с., ил.
6. Center B. A fuzzy photosynthesis model for tomato / B. Center, B. P. Verma // American society of Agricultural Engineers. –1997. – Vol. 40, №3. – P. 815–821.
7. Gaudillere J. P. Effects of periodic fluctuations of photon flux density on anatomical and photosynthetic characteristics of soybean leaves / J. P. Gaudillere, J. J. Drevon, J. P. Bernoud, F. Jardinnet, M. Euvrard // Photosynthesis Research. – 1987. – Vol. 13, №1. – P. 81–89.
8. Schmoldt D. Simulation of plant physiological processes using fuzzy variables / D. Schmoldt // AI Application. – 1991. – Vol 5, №1. – P. 3–16.
9. Yin Zu-Hua. Photosynthetic acclimation of higher plants to growth in fluctuating light environments/ Zu-Hua Yin, Giles N. Johnson // Photosynthesis Research. – 2000. – Vol. 63, №1. – P. 97–107.
10. Zadeh L. The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning: part 1 / L. Zadeh // Information Sciences. –1975a. – Vol. 8, №1. – P. 199–249.

А.И. Герц, И.Н. Цидыло

Тернопольский национальный педагогический университет им. Владимира Гнатюка

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ СВЕТОВОГО ПОЛЯ НА РОСТ И РАЗВИТИЕ РАСТЕНИЙ СРЕДСТВАМИ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

В статье обсуждается возможность проектирования нечеткой экспертной системы, которая позволяет провести анализ накопления сухого вещества листьями растениями *B. rapa* при комплексном воздействии двух параметров светового поля: интенсивности и периода его изменения. Предложенная модель может быть использована при расчете фотосинтетической продуктивности растений и их посевов при условии гетерогенности светового фактора.

Ключевые слова: рост, развитие растений, световое поле, переменное световое поле, спектральный состав света, нечеткое моделирование

A.I. Herts, I.M. Tsidylo

Volodimir Hnatiuk Ternopil National Pedagogical University, Ukraine

MODELLING OF INFLUENCE OF PARAMETERS OF THE LIGHT FIELD ON GROWTH AND DEVELOPMENT OF PLANTS BY MEANS OF FUZZY LOGIC

Possibility of planning of unclear consulting models is show in the article, that allows to conduct the analysis of accumulation of dry substance leaves the plants of *B. rapa* at the complex of two parameters of light fields: intensity and period of the change.

Based on empirical data and using Mamdani algorithm, it has been created unclear expert system which allows to analyze the accumulation of dry matter of the plant leaves *B. rapa* by two parameters of the complex light field. Research of creation and functioning of unclear expert system based on the Mamdani algorithm, showed their high efficiency due to the relatively simple training program and practical implementation. More exactly reflect the impact of daylight factor on the growth and development of plant body can be achieved by adding supplementary input parameters of the system, change the rules and their weight coefficients in the knowledge base. Consequently, the proposed unclear system can be used as the basis for calculating the photosynthetic productivity of plants their crops under conditions of light heterogeneity factor.

Key words: growth, development of plants, light fields, fluctuating light fields, spectral structure of light, fuzzy modelling

Рекомендує до друку

Надійшла 23.08.2012

В.В. Грубінко

УДК 598.2(477.83.21)

А.А. ЗИМАРОЄВА¹, О.В. МАЦЮРА²

¹Житомирський національний агроєкологічний університет

вул. Старий бульвар, 7, Житомир, 10008

²Мелітопольський державний педагогічний університет імені Богдана Хмельницького

вул. Леніна, 20, Мелітополь, 72312

ПРОСТОРОВИЙ РОЗПОДІЛ ВОРОНОВИХ ПТАХІВ (*CORVIDAE*) У МІСТІ ЖИТОМИРІ

В основу роботи покладено результати польових досліджень, проведених з вересня 2009 року по серпень 2012 року в місті Житомирі; об'єктами досліджень обрано грака (*Corvus frugilegus* L.), галку (*Corvus monedula* L.), сіру ворону (*Corvus cornix* L.), сороку (*Pica pica* L.), сойку (*Garrulus glandarius* L.) та крука (*Corvus corax* L.). Доведено, що розподіл та численність воронових у місті залежить від періоду року та ступеня антропогенного навантаження на