



Механізація, електрифікація

УДК 632.08

© 2017

В.П. Лисенко,

*доктор
технічних наук*

*Національний
університет біоресурсів
і природокористування
України*

І.С. Чернова

*Інженерно-технологічний
інститут
«Біотехніка» НААН*

АЛГОРИТМ ОПТИМІЗАЦІЇ ВИРОБНИЦТВА ЕНТОМОФАГІВ ЗА КРИТЕРІЄМ ЯКОСТІ

Мета. Розробити алгоритм забезпечення заданої якості виробництва ентомофагів на основі використання нечіткої логіки.

Методи. Нечітка логіка, теорія Е. Харрінгтона.

Результати. Розроблено алгоритм оптимізації виробництва ентомофагів за критерієм якості на прикладі ентомологічного препарату бракон (*Nabrobrason hebetor*). Вихідними даними для оптимізації були значення біологічних і комплексних показників якості, отриманих за різних параметрів мікроклімату. За допомогою функції Е. Харрінгтона встановлено рівні бажаності комплексного показника якості ентомофага бракон. Критерієм оптимізації виробництва ентомофагів є наближеність бажаності комплексного показника якості до лінгвістичної оцінки «дуже добра». Проведено нечітку оцінку бажаності комплексного показника якості ентомофага бракон. Середня помилка апроксимації — в допустимих межах.

Висновки. На основі теорії нечіткої логіки розроблено алгоритм оптимізації виробництва ентомофагів за критерієм якості — ентомологічній продукції з показником якості «дуже добре» відповідають такі параметри мікроклімату: температура повітря (26–29°C) і відносна вологість повітря (70–80%). Ці параметри мікроклімату можуть бути використані під час формування відповідних стратегій керування відповідною системою автоматизації.

Ключові слова: виробництво ентомофагів, оптимізація, якість, функція бажаності Е. Харрінгтона, нечітка логіка.

Питання оптимізації ентомологічних виробництв нині є актуальним через потребу отримання максимальної

кількості ентомопродукції гарантованої якості за мінімальних енергетичних витрат. Спрямованість досліджень щодо оптимізації

виробництва ентомофагів має бути такою:

- перехід на заміники природних кормів; відмова від вегетуючих рослин; підбір технологічних субстратів для збирання яєць і лялечок ентомофагів [1];
- раціональне співвідношення паразит–живитель;
- створення сприятливих умов вирощування комах [2];
- оптимізація корму [3, 4];
- контроль над якістю процесу виробництва [5];
- збереження мінімального рівня різноманітності та функціональної сталості штучних популяцій [2, 6, 7];
- розробка енергоефективних систем керування якістю ентомофагів [8];
- використання інтелектуальних технологій, зокрема, оптимізації живильного середовища на основі використання генетичного алгоритму [9].

Мета роботи — розробити алгоритм забезпечення заданої якості виробництва ентомофагів на основі використання нечіткої логіки.

Матеріали та методи досліджень. Об'єктом досліджень є виробництво ентомофага бракон. Матеріалами були результати експериментальних досліджень, отримані науковцями Інженерно-технологічного інституту «Біотехніка» за результатами виконання науково-дослідної роботи № 35.00.01.05П «Розробити технологічне забезпечення культивування маточної культури бракона». Методи досліджень — нечітка логіка, теорія Е. Харрінгтона.

Результати досліджень. Особливостями сучасних технологій масового розведення ентомофагів є заданий вихід кінцевого продукту високої якості з одиниці виробничої площі [10].

Якість ентомофагів у техноценозі оцінюється за біологічними показниками (плодючістю самок, відсотком відродження імаго, статевим індексом, кількістю деформованих особин та ін.) і залежить від точності підтримання температури та відносної вологості повітря в зоні їх розвитку [8].

Розроблено алгоритм оптимізації виробництва ентомофагів за критерієм якості (рис. 1) на прикладі ентомологічного препарату бракон. Вихідними даними

для оптимізації були значення біологічних показників якості (P_1 — кількість самок, %; P_2 — кількість імаго, отриманих з однієї самки, шт.; P_3 — кількість заражених гусениць млинової вогнівки, %), отримані за різних параметрів мікроклімату. Досліди з браконом, який розводили у чашках Петрі, проводили в термостаті, де температура повітря змінювалась у діапазоні 17–29°C, а відносна вологість становила 60–80%. Для визначення показників якості ентомокультур застосовували чашки Петрі, пробірки скляні, лупи ручні, пінцети медичні, мікроскоп біологічний, термостат, ваги для зважування яєць [11].

Комплексний показник якості ентомокультур через неоднорідність біологічних показників розраховано за виразом [12]:

$$K = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n \frac{P_j}{P_j^6}}, \quad (1)$$

де P_j — абсолютне значення j -го біологічного показника якості ентомокультур; P_j^6 — його базове значення; n — кількість показників.

Базові значення показників якості бракона становлять: P_1^6 — не менше 45 %; P_2^6 — не менше 20 шт.; P_3^6 — не менше 40 % [11].

Для встановлення відповідності між значеннями комплексних показників якості ентомофага бракон за різних параметрів мікроклімату та їх бажаністю використано функцію Е. Харрінгтона D [13]:

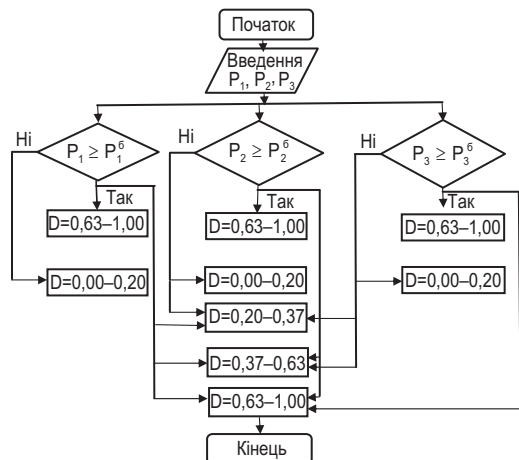


Рис. 1. Алгоритм оптимізації виробництва ентомофагів

1. Стандартні відмітки за шкалою бажаності Е. Харрінгтона [14]

Бажаність	Відмітки на шкалі бажаності
Дуже добра	1,00–0,80
Добра	0,80–0,63
Задовільна	0,63–0,37
Погана	0,37–0,20
Дуже погана	0,20–0,00

$$D = \exp(-\exp(-K)). \quad (2)$$

Критерієм оптимізації виробництва ентомофагів є наближеність бажаності D комплексного показника якості K до лінгвістичної оцінки «дуже добра» відповідно до шкали бажаності Е. Харрінгтона (табл.1), тобто цільова функція має вигляд:

$$D \rightarrow (0,08 \dots 1,0). \quad (3)$$

Визначено рівні бажаності комплексного показника якості ентомофага бракон залежно від ступеня наближеності показників (кількості самок та імаго з однієї самки,

заражених гусениць млинової вогнівки) до базових значень за різних параметрів мікроклімату (табл. 2).

Як свідчать дані табл. 2, експериментальні дослідження проводили за обмежених значень температури повітря: так, відсутні дані щодо якості ентомокультури за температури 18, 19, 21, 22 °C та ін. (не завжди є можливість провести експериментальну оцінку ступеня впливу чинників). Особливість біологічного об'єкта бракон полягає в його різній поведінці під дією значної кількості чинників (абіотичних, біотичних, технологічних). Для оцінки їх впливу на якість виробленої продукції можна, вважаємо, застосувати теорію нечіткої логіки, яка ґрунтується на використанні знань про об'єкт досліджень, наведених у вигляді правил типу «якщо–то». Нечітку логіку, що належить до однієї з сучасних інтелектуальних технологій, можна використовувати і для розробки моделі оптимального керування процесом [15].

2. Рівні бажаності комплексного показника якості ентомофага бракон

$R_1^6, \%$	$R_2^6, \text{шт.}$	$R_3^6, \%$	R_1 — кількість самок бракона, %	R_2 — кількість імаго бракона з однієї самки, шт.	R_3 — кількість заражених гусениць млинової вогнівки, %	θ — температура повітря, °C	φ — відносна вологість повітря, %	K — комплексний показник якості ентомофага бракон	Експериментальна бажаність D^e	Лінгвістична оцінка D^e
Не менше 45	Не менше 20	Не менше 40	49	10	12	17	60	0,55	0,56	Погана
			52	3	14	17	70	0,39	0,51	»
			50	8	15	17	80	0,55	0,56	»
			50	11	15	20	60	0,61	0,58	»
			55	16	19	20	70	0,77	0,63	»
			51	15	18	20	80	0,73	0,62	»
			50	21	32	23	60	0,98	0,69	Задовільна
			50	28	32	23	70	1,08	0,71	»
			52	28	30	23	80	1,07	0,71	»
			51	24	51	26	60	1,20	0,74	Добра
			51	32	52	26	70	1,33	0,77	Дуже добра
			55	33	51	26	80	1,37	0,78	»
			49	21	51	29	60	1,13	0,72	Добра
			53	33	53	29	70	1,37	0,78	Дуже добра
			51	35	53	29	80	1,38	0,78	»

3. Дані для створення бази знань

Вхідні та вихідні змінні	Діапазон змінювання вхідних і вихідних змінних	Терм множини	Лінгвістична оцінка	Тип і параметри функції належності
T, °C	17–29	T1	Низька температура	Gaussmf [2,038; 17]
		T2	Середня »	Gaussmf [2,038; 23]
		T3	Висока »	Gaussmf [2,038; 29]
W, %	60–80	W1	Низька вологість	Gaussmf [3,397; 60]
		W2	Середня »	Gaussmf [3,397; 70]
		W3	Висока »	Gaussmf [3,397; 80]
D	0,51–0,78	D1	Погана бажаність	Trimf [0,54; 0,63; 0,72]
		D2	Задовільна »	Trimf [0,62; 0,71; 0,8]
		D3	Добра »	Trimf [0,65; 0,74; 0,83]
		D4	Дуже добра »	Trimf [0,69; 0,78; 0,87]

Для нечіткої оцінки бажаності комплексного показника якості ентомофага бракон використано пакет розширення Fuzzy Logic Toolbox Matlab і систему нечіткого висновку типу Мамдані [16]. За результатами рівнів бажаності комплексного показника якості ентомофага бракон створено нечітку базу знань, яка містить дані (табл. 3) та правила (табл. 4).

На рис. 2–6 показано вигляд редактора Fuzzy Inference System; редактора функцій належності для термів змінної D; поверхні

нечіткого висновку та редактора правил стосовно бажаності комплексного показника якості ентомофага бракон; вигляд програми перегляду правил нечіткої системи.

У табл. 4 наведено базу знань нечіткої системи оцінки бажаності комплексного

5. Нечітка оцінка бажаності комплексного показника якості ентомофага бракон

4. База знань

№	T	W	D
1	T1	W1	D1
2	T1	W2	D1
3	T1	W3	D1
4	T2	W1	D2
5	T2	W2	D2
6	T2	W3	D2
7	T2	W1	D3
8	T2	W2	D4
9	T2	W3	D4
10	T3	W1	D3
11	T3	W2	D4
12	T3	W3	D4

Температура повітря, °C	Відносна вологість повітря, %	Експериментальна бажаність D ^e	Нечітка бажаність D ⁿ
17	60	0,56	0,63
17	70	0,51	0,63
17	80	0,56	0,63
20	60	0,58	0,63
20	70	0,63	0,63
20	80	0,62	0,63
23	60	0,69	0,71
23	70	0,71	0,71
23	80	0,71	0,71
26	60	0,74	0,72
26	70	0,77	0,72
26	80	0,78	0,72
29	60	0,72	0,72
29	70	0,78	0,72
29	80	0,78	0,72

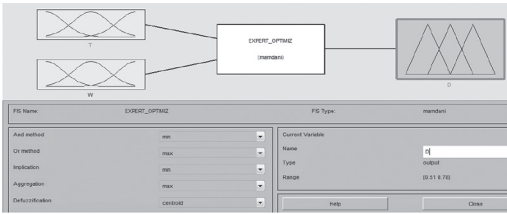


Рис. 2. Редактор Fuzzy Inference System нечіткої системи оцінки бажаності комплексного показника якості ентомофага бракон

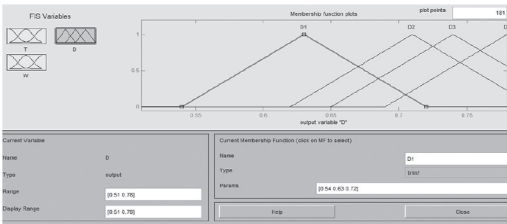


Рис. 3. Редактор функцій належності для термів змінної D

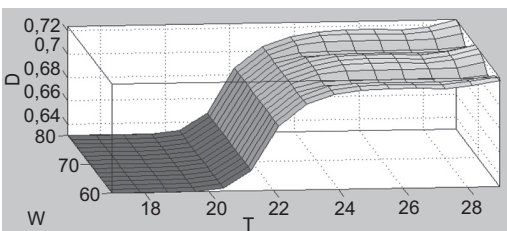


Рис. 4. Поверхня нечіткого висновку стосовно бажаності комплексного показника якості ентомофага бракон $D = f(T, W)$

показника якості ентомофага бракон; кожному рядку табл. 4 відповідає одне правило: якщо T = «Низька температура» і W = «Низька вологість», то D = «Погана бажаність».

У табл. 5 наведено нечітку оцінку бажаності комплексного показника якості ентомофага бракон.

За нечітким висновком бажаність 0,72

1. If (T is T1) and (W is W1) then (D is D1) (1)
2. If (T is T1) and (W is W2) then (D is D1) (1)
3. If (T is T1) and (W is W3) then (D is D1) (1)
4. If (T is T2) and (W is W1) then (D is D2) (1)
5. If (T is T2) and (W is W2) then (D is D2) (1)
6. If (T is T2) and (W is W3) then (D is D2) (1)
7. If (T is T2) and (W is W1) then (D is D3) (1)
8. If (T is T2) and (W is W2) then (D is D4) (1)
9. If (T is T2) and (W is W3) then (D is D4) (1)
10. If (T is T3) and (W is W1) then (D is D3) (1)
11. If (T is T3) and (W is W2) then (D is D4) (1)
12. If (T is T3) and (W is W3) then (D is D4) (1)

Рис. 5. Вигляд редактора правил (Rule Editor) нечіткої системи оцінки бажаності комплексного показника якості ентомофага бракон

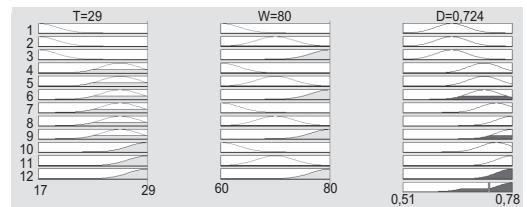


Рис. 6. Вигляд програми перегляду правил нечіткої системи оцінки бажаності комплексного показника якості ентомофага бракон

комплексного показника якості ентомофага бракон (1,13) відповідає оцінці «дуже добре» за температури повітря 25–29°C та відносної вологості повітря 60–80%.

Середня помилка апроксимації між експериментальною та нечіткою бажаністю комплексного показника якості ентомофага бракон розраховується за формулою (4) [17] і становить 6,7 % :

$$\bar{A} = \frac{1}{n} \sum \left| \frac{D^e - D^h}{D^e} \right| 100\%, \quad (4)$$

де n — кількість вимірювань; D^e — експериментальна бажаність K; D^h — нечітка бажаність K.

Середня помилка апроксимації не перевищує 8–10 % [17].

Висновки

На основі теорії нечіткої логіки розроблено алгоритм оптимізації виробництва ентомофагів за критерієм якості — ентомологічній продукції з показником якості «дуже добре» відповідають такі параметри мікроклімату: температура повітря,

що становить 26–29°C, та відносна вологість повітря 70–80%. Зазначені параметри мікроклімату можна використати під час формування відповідних стратегій керування відповідною системою автоматизації.

Бібліографія

1. *Белякова Н.А.* Производство энтомофагов для тепличного растениеводства/Н.А. Белякова// Защита и карантин растений. — 2013. — Вып. 5. — С. 9–12.
2. *Маркина Т.Ю.* Изменения структурных параметров популяций тутового шелкопряда *Bombyx mori* L. (*Lepidoptera, Bombycidae*) при оптимизации культивирования/Т.Ю. Маркина// Вісник Харківського Національного аграрного університету. — Серія Біологія. — 2009. — Вип. 1(16). — С. 99–105.
3. *Молчанова Е.Д.* Оптимизация корма для выращивания мельничной огневки/Е.Д. Молчанова, Е.Б. Шейкина, С.А. Городецкий//Науч.- практ. Центр НАН Беларуси по земледелию: сб. науч. труд. — Минск, 2015. — Вып. 39. — С. 191–196.
4. *Білоусов Ю.В.* Вплив виду імагінального корму на демографічні показники штучної популяції звичайної золотоочки/Ю.В. Білоусов, М.М. Сапожнікова, Н.М. Анісімова//Вісник аграрної науки Південного регіону. — Одеса. — 2012. — Вип.12–13. — С. 156–163.
5. *Красавина Л.П.* Оптимизация процесса разведения *Aphidius colemani*/Л.П. Красавина// Защита и карантин растений. — 2009. — № 1. — С. 39–42.
6. *Маркина Т.Ю.* Структурированность искусственных популяций насекомых как основа их функциональной устойчивости/Т.Ю. Маркина// Изв. Харьк. энтомол. общ., 2007 (2008). — Т. XV. — Вып.1–2. — С.197–200.
7. *Бачинская Я.А.* Оптимизация пространственной структуры культур непарного шелкопряда, *Lymantria dispar* L. (*Lepidoptera: Lymantriidae*) и зерновой моли, *Sitotroga cerealella oliv.* (*Lepidoptera: Gelechiidae*)/ Я.А. Бачинская, А.З. Злотин, Т.Ю. Маркина//Изв. Харьк. энтомол. общ., 2003 (2004). — Т. XI. — Вып. 1–2. — С.197–201.
8. *Лысенко В.Ф.* Формирование требований к энергоэффективным системам управления качеством энтомофагов/В.Ф. Лысенко, И.С. Чернова// Матер. Міжн. наук.-практ. конф. — Одеса, 2016. — Інф. бюл. СПРС МОББ 49. — С.155–160.
9. *Optimization of a feed medium for fed-batch culture of insect cells using a genetic algorithm/ R.C.L. Marteiijn, O. Jurrius, J. Dhont et. al.//Biotechnology and Bioengineering. — 2003. — V. 81. — Iss. 3. — P. 269–278.*
10. *Белякова Н.А.* Особенности современных технологий массового разведения энтомофагов/Н.А. Белякова//Защита и карантин растений. — 2010. — № 8. — С. 18–20.
11. *Масове розведення ентомофага бракона.* Тимчасовий технологічний ТТР00495929-021:2013/ІТІ «Біотехніка» НААН. — Одеса. — 2013. — 51 с.
12. *Азгальдов Г.Г.* О кваліметрії/Г.Г. Азгальдов, Э.П. Райхман. — М.: Изд-во стандартов, 1973. — 172 с.
13. *Лисенко В.П.* Оптимізація вирощування томатів в теплиці з використанням функції бажаності Харрінгтона/В.П. Лисенко, В.О. Мірошник, Т.І. Лендел//Автоматизація технологічних і бізнес-процесів. —2015. — Т. 7, № 4. — С. 33–39.
14. *Булгакова И.Н.* Использование «функции желательности для формализации комплексного показателя конкурентоспособности промышленного предприятия/И.Н. Булгакова, А.Н. Морозов// Вестник ВГУ. — Серия Экономика и управление. — 2009. — № 2. — С. 54–56.
15. *Сулейменов Б.А.* Методы создания интеллектуальных и гибридных систем управления технологическими процессами/Б.А. Сулейменов// Инженерное образование и наука в XXI веке: проблемы и перспективы: Тр. Междунар. форума, посв. 80-летию КазНТУ им. К.И. Сатпаева. — 2014. — Т.ІІ. — С. 290–295.
16. *Мазорчук М.С.* Применение методов и моделей нечеткой логики для моделирования экономических процессов/М.С. Мазорчук, К.А. Симонова, Л.Д. Греков//Системы обработки інформації. — 2007. — № 9 (67). — С.159–162.
17. *Шалабанов А.К.* Эконометрика. Учебно-методическое пособие/А.К. Шалабанов, Д.А. Роганов. — Казань: Академия управления «ТИСБИ», 2008. — 203 с.

Надійшла 20.06.2017.