

УДК 632.654+632.7

© 2013 А. В. Фокін

ДВНЗ «Київський університет управління та підприємництва»

ОЦІНЮВАННЯ РІВНІВ ШКІДЛИВОСТІ ҐРУНТОВИХ ФІТОФАГІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ТЕОРЕМИ МІНІМАКСА

Оцінювали за допомогою теореми мінімакса шкідливість капусти звичайної (*Gryllotalpa gryllotalpa* (L.) на томатах. Використаний підхід полягає у пошуку рішень, що мінімізують можливі втрати, яких неможливо уникнути у випадку розвитку подій за найгіршого сценарію. Для розрахунків були взяті значення чисельності капусти звичайної — личинок третього (L₃), четвертого (L₄) і п'ятого (L₅) віків та німф (Nim), яким відповідали втрати 3, 5, 7 і 12 % томатів у зоні Лісостепу. Доведено, що оптимальна стратегія гри двох «гравців» — фітофага та рослин (а через них урожаю та людини) визначається чисельністю Nim, за якої рівень втрат урожаю сягає 12 % (0,000262 особ./м²), оскільки потреби у живленні особин саме цієї стадії максимальні (потреби імаго у моделі не розглядалися, оскільки вони можуть використовувати кормові ресурси як рослинного, так і тваринного походження). Рівновага між інтересами двох «гравців» може бути досягнута, якщо якнайдовше уникати застосування інсектицидів, даючи можливість фітофагу підтримувати певний рівень чисельності популяції.

Ключові слова: фітофаги, капуста звичайна, урожай, оптимальні стратегії.

Сучасна теорія інтегрованого управління комахами-фітофагами передбачає, що використання концепції економічних рівнів шкідливості має обмеження для таких випадків:

- залежність «рівень пошкодження — втрати урожаю» не може бути доведеною;
- моніторинг шкідника неможливий (зокрема, це характерно для ґрунтових шкідників, трудомісткість моніторингу яких часто взагалі виключає можливість його проведення);
- за дуже низьких рівнів економічної шкідливості фітофага;
- у випадках застосування профілактичних заходів регулювання чисельності шкідників [11, 16].

Наслідком цього є різноманіття порогових значень втрат урожаю (табл. 1).

Зважаючи на антагоністичний характер впливів у системі «фітофаг-урожай» (більший вплив фітофага — менший урожай), для її дослідження й аналізу, зокрема для визначення оптимального значення порогового рівня шкідливості можна використати методи теорії ігор [12]. Одним із підходів теорії ігор є теорема мінімакса, сутність якої полягає у пошуку рішень, що мінімізують можливі втрати, які неможливо відвернути у випадку розвитку подій за найгіршого сценарію.

Мета досліджень. Оцінити за допомогою теореми мінімакса роль особин окремих віків і стадій ґрунтових фітофагів на прикладі капусти звичайної у втратах урожаю томатів.

Матеріали та методи. Матеріалом для розрахунків було взято значення чисельності різних стадій капусти звичайної (*Gryllotalpa gryllotalpa* L.) — личинок третього (L₃), четвертого (L₄) і п'ятого (L₅) віків та німф (Nim), яким відповідали втрати 3, 5, 7 і 12 %

урожаю культури томатів у зоні Лісостепу. Вказані показники розраховані нами на підставі визначення енергетичних показників потреби в живленні особин капустянки різних віків і стадій з урахуванням їх маси [10].

1. Існуючі порогові значення втрат від ентомологічних об'єктів

Рівень втрат урожаю, %	Культура	Фітофаг	Країна	Джерело
3	польові культури	комплекс фітофагів	Україна, Росія	[2, 13]
	томати	совка <i>Helicoverpa armigera</i>	США	[14]
5	томати	совка <i>Helicoverpa armigera</i>	Австралія, Нова Зеландія	[14]
	цибуля	цибулева міль <i>Acrolepiopsis assectella</i>	Німеччина	[15]
5,5	польові культури	комплекс фітофагів	Росія	[9]
10	зернові	личинки хлібного туруна	Росія	[8]
12	польові культури	дротяники	Росія	[6]
50	зернові	трипси	Німеччина	[15]
		пшенична муха <i>Phorbia securis</i>	Росія	[1]

Використовували загальний алгоритм розв'язання ігрових задач, який передбачає такі елементи:

— приведення гри до нормальної або стратегічної форми (гра має складатися з трьох елементів: множини гравців; множини чистих стратегій кожного гравця; множини платіжних функцій кожного гравця; її можна представити у вигляді n -вимірної матриці — таблиці, елементи якої є n -вимірними платіжними векторами);

— приведення платіжної матриці гри до форми, зручної для аналізу;

— знаходження максимальної ціни гри;

— знаходження мінімальної ціни гри;

— знаходження чистої ціни гри;

— аналіз платіжної матриці на наявність сідлової точки — елементу матриці, який одночасно є і максимальним елементом у відповідному стовбці матриці, і мінімальним — у відповідному її рядку (існує за умови їх тотожності):

— у випадку її існування («так») визначити оптимальні чисті стратегії та обчислити ціни похідної гри;

— у випадку її відсутності («ні») визначити й викреслити домінуючі та підпорядковані стратегії;

— розв'язання отриманої скороченої гри;

— перевірка знайденого рішення;

— визначення оптимальних стратегій гравців [3, 4, 5, 7].

Результати досліджень та їх обговорення. Систему «фітофаг-урожай» можна розглядати як гру двох «гравців».

З одного боку — фітофаг, який залежно від погодних умов, кормової бази, наявності конкурентів, ентомофагів, рівня стійкості сортів до пошкодження тощо, тобто всієї сукупності біотичних та абіотичних факторів, до яких додається антропогенний у вигляді

певного пестицидного навантаження на агроценоз. Фітофаг робить певні «ходи», які виявляються через динаміку чисельності популяції.

З другого боку — рослини, а через них урожай і людина «відповідають» на чисельність фітофагів певними рівнями втрат (рослина втрачає приріст біомаси, репродуктивний потенціал, людина витрачає кошти на захист рослин).

Результати приведення платіжної матриці означеної гри до форми, зручної для аналізу, наведені у таблиці 2.

Наведена ситуація належить до класу ігор з повною інформацією, тобто таких, в яких кожний гравець знає всі можливі стратегії суперника і перед кожним ходом володіє інформацією про всі попередні ходи як свої, так і суперника. Такі ігри завжди мають сідлову точку.

2. Платіжна матриця гри «фітофаг-урожай» на прикладі капусти звичайної в овочевому агроценозі (культура томатів у лісостеповій зоні)

Рівні втрат, %	Чисельність комах різних стадій, що викликає зменшення урожаю на ... %, особ./м ²				
	L ₃	L ₄	L ₅	Nim	min
3	0,00021	0,00014	0,0000776	0,0000656	0,0000656
5	0,00035	0,00023	0,000129	0,000109	0,000109
7	0,00049	0,00032	0,000181	0,000153	0,000153
12	0,00084	0,00054	0,00031	0,000262	0,000262
max	0,00084	0,00054	0,00031	0,000262	

Оптимальна стратегія знаходитиметься у межах

$$v_1 \leq \xi_{opt} \leq v_2, \quad (1)$$

де v_1 — мінімальне значення ціни гри;

v_2 — максимальне значення ціни гри;

ξ_{opt} — значення оптимальної стратегії.

Як видно з таблиці 2, мінімальне значення v_1 і максимальне значення v_2 дорівнюють 0,000262. Отже, гра має сідлову точку, тобто має елемент матриці (табл. 2), який одночасно є максимальним елементом у відповідному стовбці матриці і мінімальним — у відповідному її рядку. Це означає, що гра має рішення у так званих «чистих» мінімакських стратегіях, а його значення (0,000262) співпадає з чистою ціною гри v . Тобто, у нашому випадку для людини оптимальною є стратегія 12 %-вих втрат, а для фітофага — стратегія «німфи».

Стосовно розглянутої матриці — пара оптимальних стратегій: чисельність Nim за 12 %-вого рівня втрат легко екстраполюється — якщо б ми продовжили стовпчик «Рівні втрат» до 100 %, то сідлова точка відповідала б максимальному значенню чисельності німф капусти звичайної при 100 %-вих втратах. Це говорить про те, що оптимальна стратегія лімітується втратами, які спричинить фітофаг на стадії, що має максимальну потребу у живленні на момент обліку.

Іншими словами, при повній відмові від засобів захисту рослин людині слід очікувати максимально можливі втрати урожаю під впливом особин найбільш шкідливої стадії фітофага, які знаходяться у максимально можливій чисельності.

Якщо розглядати сідлову точку як стан рівноваги системи, то рівновага між чисельністю фітофага та втратами урожаю за умови відсутності регулюючих факторів виявляється при максимальному значенні чисельності особин, обумовленому обсягом

кормової бази. Теоретично втрати можуть сягати 100 %, але фактично завжди менші у зв'язку із впливом регулюючих факторів (ентомофагів, ентомопатогенів, міжвидової конкуренції тощо) на певному рівні щільності популяції фітофага. Прогноз втрат можливий за розрахунку потреби фітофага у живленні (на основі значень маси) за рівнянням А. Ф. Зубкова [10]:

$$ПЖ = \sum 16,54 W_i^{0,75} A B C K^{-1} \text{ мг/м}^2 \text{ добу, при } 20^\circ\text{C}, \quad (2)$$

де $16,54 W_i^{0,75}$ — пасивний енергообмін особи при масі її у грамах;

A = 2,5; B = 2 і C = 2 — поправки на активний обмін, засвоєння та споживання (частка спожитої маси від сумарної маси, відторгнутої у рослини або жертви відповідно);

K — калорійність корму (0,45 ккал/мг сирової маси рослин або 1,2 ккал/мг — тварин);

Σ — сума за множиною n особин (1, ..., n).

Висновки. Оптимальна стратегія гри двох «гравців» — фітофага та рослин (а через них урожаю та людини) визначається чисельністю Nim, за якої рівень втрат урожаю сягає 12 %, оскільки потреби у живленні особин саме цієї стадії максимальні. Сенс результату «гри» — вибір рішення стосовно проведення заходів захисту рослин за найгіршого розвитку подій. Тому людина має орієнтуватися на максимально можливий рівень втрат урожаю — 12 %, а фітофаг — на максимальну чисельність особин у стадії з найбільшими потребами у живленні. Рівновага між інтересами двох «гравців» може бути досягнута, якщо якнайдовше уникати застосування інсектицидів, даючи можливість фітофагу підтримувати певний рівень чисельності популяції.

Бібліографічний список. 1. *Артохин К.С.* Оценка вредоносности пшеничной мухи *Phorbia securis* Тен. (Diptera, Anthomyiidae) в Ростовской области / К. С. Артохин // Тезисы докладов на 12 Съезде Русского Энтомологического общества. Санкт—Петербург. 19–24 августа 2002 г. — СПб, 2002. — С. 20–21. 2. *Васильев В. П.* Расчетный метод определения эффективности химических мер борьбы с вредителями / В. П. Васильев, В. А. Зацерковский // Вредители сельскохозяйственных культур и лесных насаждений: В 3-х т. — К.: Урожай, 1989. — Т.3. — С. 400–402. 3. *Вилкас Э. Й.* Оптимальность в играх и решениях / Э. Й. Вилкас. — М.: Наука, 1990. — 256 с. 4. *Вітлінський В. В.* Економічні ризики: ігрові моделі. Навч. посібник / В. В. Вітлінський, П. І. Верченко, А. В. Сігал, Я. С. Наконечний. — К.: КНЕУ, 2002. — 446 с. 5. *Демьянов В. Ф.* Введение в минимакс / В. Ф. Демьянов, В. Н. Малоземов. — М., 1972. — 368 с. 6. *Иващенко И. И.* Применение аттрактивно-патогенной композиции для контроля численности шелкоунов с учетом экономического порога вредоносности / И. И. Иващенко // Материалы докладов международной научно-практической конференции «Биологическая защита растений — основа стабилизации агроэкосистем» Краснодар, 29 сентября — 1 октября 2004. Выпуск 3. — Краснодар, 2004. — С. 169–170. 7. *Карлин С.* Математические методы в теории игр, программировании и экономике / С. Карлин. — М.: Мир, 1964. — 838 с. 8. *Орлов В. Н.* Планирование химической борьбы против хлебной жужелицы / В. Н. Орлов // Защита и карантин растений (Москва). — 2004. — №10. — С. 23–24. 9. *Танский В. И.* Биологические основы вредоносности насекомых / В. И. Танский. — М.: Агропромиздат, 1988. — 184 с. 10. *Фокін А. В.* Ґрунтові фітофаги: енергетична концепція визначення рівнів та порогів шкідливості / А. В. Фокін. — К.: Колобiг, 2008. — 152 с. 11. *Фокін А. В.* Оптимальный уровень потерь урожая для определения порогов вредности грунтовых фитофагов / А. В. Фокін // Науковий вісник Національного аграрного університету. Вип. 109. — 2007. — С. 139–145. 12. *Фокін А. В.* Защита растений с позиции теории игр / А. В. Фокін // Защита и карантин растений. — 2008. — №6. — С. 14–15. 13. *Чайка В. М.* Екологічне обґрунтування прогнозу розповсюдження основних шкідників польових культур в агроценозах України: дис. на здобуття уч. ступеня докт. с.-г. наук: спец. 03.00.16

«Екологія» / В.М. Чайка. — К., 2003. — 363 с. **14. Cameron P. J.** Development of economic thresholds and monitoring systems for *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) in tomatoes / P. J. Cameron, G. P. Walker, T. J. B. Herman, A. R. Wallace // J. Econ. Entomol. — 2001. — Vol. 94. — No 5. — P. 1104–1112. **15. Hommes M.** Entwicklung und Erprobung von Bekämpfungsschwellen für Schädlinge an Porree. 48. Dtsch. Pflanzenschutz-Tag., Göttingen, 5–8 Okt., 1992 / M. Hommes // Mitt. Biol. Bundesanst. Land- und Forstwirtschaft. Berlin – Dahlem. — 1992. — No 283. — S. 185. **16. Stejskal V.** Economic Injury Level and preventive pest control / V. Stejskal // Anz. Schadlingsk. — 2003. — Vol. 76. — No 6. — P. 170–172.

UDC 632.654+632.7

Fokin A.V. Evaluation of levels of harmfulness for soil phytophages using «min-max» theorem // The Bulletin of Kharkiv National Agrarian University. Series "Phytopathology and Entomology". — 2013. — № 10 — P. 171–175.

Harmfulness of mole cricket (*Gryllotalpa gryllotalpa* (L.)) on tomato crops was assessed using «min-max» theorem. Approach consists in search of decisions, which minimize the probable losses that cannot be avoided in the development of events by the worst scenario. For calculations, abundance values of mole cricket larvae of the third (L3), fourth (L4) and fifth (L5) ages, and nymphs (Nim) were taken, which corresponded to the losses of 3, 5, 7 and 12 % of tomato crops in the Forest-Steppe zone.

It was proved that the optimal game strategy for two participants — phytophage and plant (by means of crop and man) is determined by abundance of Nim, at which crop losses come up to 12 % (0.000262 individuals/m²), as far as demands in nutrition just for this stage of insect are maximal (demands of adults are not considered in the model, because they can consume food supply of both phytogenic and animal origin). Equilibrium between the interests of two "players" can be achieved, if as long as possible to avoid the use of insecticides, which gives the possibility for phytophage to support certain population level.

Key words: *phytophages, mole cricket (Gryllotalpa gryllotalpa (L.)), crop, optimal strategy.*

Tab. 2. Bibl. 16

E-mail: iya_anna@mail.ru

Одержано редколегією 5.09.2013 р.