

# Grūdinių kultūrų ontogenezės taikomųjų modelių identifikacijos algoritmas

Vitalijus DENISOVAS, Natalija JUŠČENKO (KU)

el. paštas: vitalij.denisov@ik.ku.lt

**Reziumė.** Straipsnyje nagrinėjami taikomųjų augalų ontogenezės modelių, skirtų igyvendinimui integruotoje agroekosistemų imitacinio modeliavimo sistemoje DIASPORA, kūrimo ir adaptacijos regiono klimato ir dirvožemio sąlygoms klausimai. Pasiūlytas ir aprobuotas sudaryto taikomojo modelio parametrinės identifikacijos algoritmas. Konkretus modelio adaptacijos Vidurio Lietuvos sąlygoms (Dotnuva) procesas iliustruojamas taikant Lietuvos žemdirbystės instituto lauko bandymų duomenis ir Lietuvos hidrometeorologinės tarnybos agrometeorologinius duomenis.

*Raktiniai žodžiai:* augalų ontogenezė, imitaciniai modeliai, modelių identifikacija.

## 1. Įvadas

Pagrindinis taikomojo augalų ontogenezės modelio uždavinys – augančių kultūrinių augalų kokybinių ir morfologinių pokyčių imitacija prognozės ir valdymo tikslams. Taikomojoje biologijoje tokie pokyčiai dažniausiai siejami su perėjimais į naują augalo brandos stadiją – vystymosi tarpsnį.

Yra pasiūlyta nemažai skirtingo detalumo vystymosi tarpsnių klasifikacijų (skalių), iš kurių grūdinėms kultūroms taikyti dažniausiai rekomenduojamos Haun [4], Feekes [7] ir Zadoks [12] skalės. Pirmos dvi skalės orientuotos į detalų atskirų kultūrinio augalo organų morfologijos pokyčių fiksavimą, todėl reikalauja išsamių ir ilgalaikių stebėjimų lauko sąlygomis. Autorių žiniomis tokie išsamūs grūdinių kultūrų morfologijos pokyčių duomenų masyvai Lietuvoje nėra sukaupti. Todėl, atsižvelgiant į Lietuvos žemdirbystės instituto (LŽI) tipinių lauko bandymų duomenis ir standartinę Lietuvos hidrometeorologinės tarnybos (LHMT) teikiamą agrometeorologinę informaciją (forma AML-5), kuriant modelį ir diskretizuojant augalų vystymosi tempą buvo pasirinkta unifikuota šimtabalė Zadokso skalė. Joje augalų ontogenezėje išskiriama 10 pagrindinių vystymosi tarpsnių nuo dygimo iki pilnos brandos, esant reikalui kiekvienas pagrindinis tarpsnis detalizuojamas kaip susidedantis iš 10 detalių vystymosi fazių.

Nors kultūrinių augalų vystymosi proceso tempas yra genetiškai nusakytas (t.y. priklauso nuo kultūros, veislės ir vystymosi tarpsnio), jam didelę įtaką turi ir tokios abiotinės aplinkos sąlygos kaip oro temperatūra, fotoperiodas ir ateinančios saulės radiacijos kiekis, dirvožemio drėgmės ir maistmedžiagių dinamika vegetacinio laikotarpio eigoje [1, 3, 5, 11]. Taip pat pažymėtina, kad minėtų faktorių reikšmingumas ir optimalių reikšmių intervalai gali keistis priklausomai nuo augimo tarpsnio. Taip, dygimo

stadijoje galima neatsižvelgti į ateinančios saulės radiacijos įtaką, tačiau vėlesniuose tarpsniuose šis faktorius gali tapti lemiančiu [5].

Išsamiuose bazinėse agroekosistemų dinamikos modeliuose stengiamasi atsižvelgti į visų minėtų faktorių visumą [8]. Tačiau tokių išsamių modelių taikymas praktinių uždavinių sprendimui yra labai kompliktuotas dėl duomenų, reikalingų modelio identifikacijai, stokos. Atsižvelgiant į tai, integruotoje agroekosistemų imitacinio modeliavimo sistemoje DIASPORA numatyta galimybė bazinio modelio pagrindu kurti parametrizuotus taikomuosius modelius, skirtus konkrečių praktinių uždavinių sprendimui [2]. Tokio pobūdžio taikomojo grūdinių kultūrų ontogenezės modelio formulavimas ir jo parametru įvertinimo algoritmas aprašytas žemiau.

## 2. Taikomieji grūdinių kultūrinių augalų ontogenezės modeliai

Nuo besikeičiančių oro ir dirvožemio drėgmės sąlygų priklausantis augalų vystymosi tempas neleidžia sieti atskirų vystymosi tarpsnių trukmės su astronominiu laiku. Todėl imitaciniuose grūdinių kultūrų ontogenezės modeliuose augalų vystymasis aprašomas taikant biologinio laiko koncepciją. Daugelyje pusiau empirinių augalų vystymosi modelių jo dinamika apskaičiuojama remiantis efektyvių temperatūrų principu [9, 10, 11]. Jis reiškia, kad 1) vystymasis neįmanomas esant oro temperatūrai žemiau kritinės reikšmės; 2) augalo biologinio laiko (efektyvių temperatūrų sumos) prieauglis tiesiogiai proporcingas realios ir kritinės oro temperatūrų skirtumui; 3) perėjimas į naują vystymosi tarpsnį įvyksta augalui surinkus tam tikrą sumą efektyvių temperatūrų. Šį principą išreiškia modelis (2.1):

$$\tau(i) = \sum_{i=1}^n (T_{vid}(i) - T_{krit}^j) \text{sign}(T_{vid}(i) - T_{krit}^j), \quad (2.1)$$

$$\text{sign}(T_{vid}(i) - T_{krit}^j) = \begin{cases} 1, & T_{krit}^j < T_{vid}(i), \\ 0, & T_{vid}(i) \leq T_{krit}^j, \end{cases}$$

kur  $i$  – paros numeris nuo einamojo  $j$ -tojo vystymosi tarpsnio pradžios,  $j$  – vystymosi tarpsnio numeris,  $\tau(i)$  –  $i$ -tajai dienai sukauptų efektyvių temperatūrų suma,  $T_{vid}(i)$  –  $i$ -tos paros vidutinė oro temperatūra,  $T_{krit}^j$  –  $j$ -tojo vystymosi tarpsnio kritinė temperatūra.

Efektyvių temperatūrų prieauglių sumavimas pagal (2.1) vyksta tol, kol nėra sukaupta perėjimui į kitą vystymosi tarpsnį būtina efektyvių temperatūrų suma  $B^j$ . Tuomet vyksta perėjimas į naują vystymosi tarpsnį, o  $\tau(i)$  skaičiuojamas iš naujo.

Yra pasiūlyta nemažai lygties (2.1) modifikacijų, kuriose bandoma atsižvelgti į fotoperiodą, drėgmės režimą ir kitus faktorius. Konkretaus modelio parinkimas sąlygojamas modeliavimo tikslais ir turima eksperimentine informacija. Autorių kuriamas modelis skirtas prognozuoti ir valdyti Lietuvoje kultivuojamų grūdinių kultūrų (miežiai, rūgiai, kviečiai) vystymosi tarpsnius konkrečių Lietuvos regionų klimato ir dirvožemio sąlygomis. Toks modelio kryptingumas reikalauja aprašyti augalų vystymosi reakciją į šilumos režimą pasėlyje, kritines temperatūras, saulės radiaciją, dirvožemio savybes, vandens stresą bei sausrą, sėjos ir laistymo datas ir pan.

Atsižvelgiant į pateiktus reikalavimus modelis (2.1) yra papildytas vandens streso funkcija  $f$ , kuri pagreitina augalų vystymąsi, kai dirvožemyje yra nepakankamas drėgmės kiekis (dirvožemio drėgmės potencialo reikšmė yra žemiau kritinės ribos) [13]:

$$\tau(i) = \sum_{i=1}^n (T_{vid}(i) - T_{krit}^j) \text{sign}(T_{vid}(i) - T_{krit}^j) f(i), \quad (2.2)$$

$$f(i) = \begin{cases} 1 + \frac{p_{krit}^j - p(i)}{p_{krit}^j - p_{vyt}}, & p(i) < p_{krit}^j, \\ 1, & p_{krit}^j \leq p(i), \end{cases}$$

čia  $p$  – dirvožemio drėgmės potencialas,  $p_{krit}^j$  –  $j$ -tojo vystymosi tarpsnio dirvožemio drėgmės potencialo kritinė reikšmė, žemiau kurios augalai pradeda justis stresą pagal vandenį,  $p_{vyt}$  – augalų vystymo dirvožemio drėgmės potencialas.

### 3. Identifikacijos algoritmas

Modelio (2.2) atveju identifikacijos uždavinys susiveda į parametų vektorių  $P_{krit}$ ,  $T_{krit}$ ,  $B$  (3.1)–(3.3) reikšmių, minimizuojančių optimizacijos kriterijų (3.4) kiekvienam vystymosi tarpsniui, reikšmių įvertinimą.

$$P_{krit} = (p_{krit}^1, p_{krit}^2, \dots, p_{krit}^n), \quad (3.1)$$

$$T_{krit} = (T_{krit}^1, T_{krit}^2, \dots, T_{krit}^n), \quad (3.2)$$

$$B = (B^1, B^2, \dots, B^n), \quad (3.3)$$

$$Q(T_{krit}^j, p_{krit}^j) = \sigma^2(B^j) = \frac{1}{k-1} \sum_{l=1}^k (B_l^j - \bar{B}^j)^2, \quad (3.4)$$

$$\bar{B}^j = \frac{\sum_{l=1}^k B_l^j(T_{krit}^j, p_{krit}^j)}{k},$$

kur  $n$  – vystymosi tarpsnių skaičius,  $k$  – stebimų metų skaičius. Optimizacijos sritis  $G$  apibrėžiama atsižvelgiant į nagrinėjamų procesų fizikinę prasmę:

$$G = \{p_{krit}^j: -14000 \leq p_{krit}^j < 0; T_{krit}^j: 5 \leq T_{krit}^j \leq 15, j = \overline{1, n}\}.$$

Identifikacijos uždavinio(3.1)–(3.4) sprendimą siūloma atlikti dviem etapais. Pirmajame etape parenkamos pradinės vektorių  $T_{krit}$  ir  $P_{krit}$  reikšmės ir kaupiamos atskirų augimo tarpsnių biologinio laiko statistikos (3.5)–(3.6) naudojant standartinę LHMT bei LZI teikiamą meteorologinę ir fenomenologinę informaciją:

$$B_l^j(T_{krit}^j, p_{krit}^j) = \sum_{i=1}^{i_l^j} (T_{vid}^l(i) - T_{krit}^j) \text{sign}(T_{vid}^l(i) - T_{krit}^j) f(i), \quad (3.5)$$

$$\bar{B}^j = \frac{1}{k} \sum_{l=1}^k B_l^j, \quad (3.6)$$

čia  $i_l^j$  –  $j$ -tojo tarpsnio trukmė  $l$ -tais metais, dienomis,  $T_{vid}^l(i)$  – vidutinė paros temperatūra  $l$ -tais metais  $i$ -tąją dieną nuo tarpsnio pradžios.

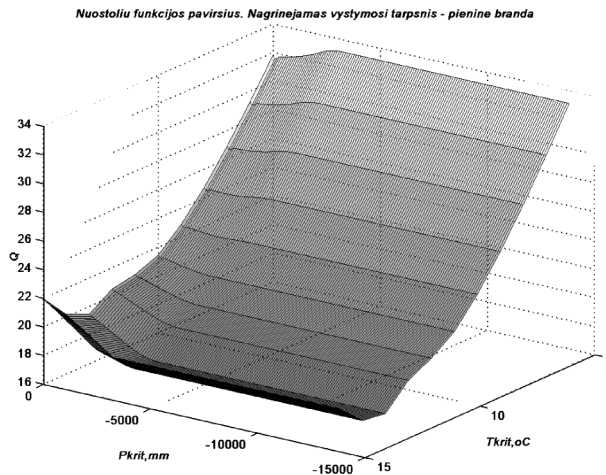
Antrajame identifikacijos etape parametų srityje  $G$  parenkamos vektorių  $T_{krit}$  ir  $B_{krit}$  reikšmės minimizuojančios kriterijų  $Q$ . Kadangi funkcijos  $B_l^j$  nėra tolydžios, funkcionalo (3.4) optimizacijai turi būti taikomi tiesioginės paieškos algoritmai.

Siūlomo algoritmo realizacijai autoriai taikė standartinę paketo MatLAB 7.0.4 funkciją *fminsearch* atliekančią funkcionalų minimizaciją remiantis Nelderio–Mido simplekso metodo modifikacija [6]. Algoritmo aprobacijos metu vektorių  $T_{krit}$ ,  $P_{krit}$ ,  $B_{krit}$  reikšmių įvertinimui buvo panaudoti LHMT Dotnuvos stoties 7 metų standartinių meteorologinių bei LŽI vasarinių miežių (*Hordeum sativum* L.) tipinių fenomenologinių stebėjimų duomenys. Dirvožemio drėgmės potencialo dinamikos masyvai buvo apskaičiuoti modeliavimo sistemoje DIASPORA realizuoto dirvožemio drėgmės bloko pagalba.

Algoritmo aprobacijos metu buvo pastebėta, kad nuostolių funkcijos (3.4) paviršius parametų srityje  $G$  daugelyje vystymosi tarpsnių neturi ryškių minimumo taškų. Ši heteroskediškumo problema buvo išspręsta optimizacijos kriterijui taikant normuotą dispersiją (3.7). 1 pav. pateiktas tipinis tokios nuostolių funkcijos grafikas.

$$Q(T_{krit}^j, p_{krit}^j) = \frac{\sigma^2(B^j)}{\bar{B}_j}. \quad (3.7)$$

Straipsnio apimtis neleidžia pateikti detalaus nagrinėjamo algoritmo verifikacijos rezultatų aptarimo. Paminėsime tik, kad maksimalus naujo vystymosi tarpsnio



1 pav. Nuostolių funkcijos paviršius parametų erdveje.

pradžios prognozės paklaidos dydis gautas tikrinant modelį (2.2) su nepriklausomų duomenų masyvu – 3 dienos, kas yra visiškai priimtina suformuluoto modeliavimo tikslo atveju.

### Literatūra

1. J.F. Angus, D.H. Mackenzie, R. Morton, C.A. Schafer, Phasic development in field crops. II. Thermal and photoperiodic responses of spring wheat, *Field Crops Researches*, **4**, 269–283 (1981).
2. V.V. Denisov, Development of the Crop Simulation System DIASPORA, *Agronomy Journal*, **93**, 660–666 (2001).
3. H.G. Jones, *Plants and Microclimate: a Quantitative Approach to Environmental Plant Physiology*, Cambridge University Press, Cambridge (1992).
4. J.R. Haun, Visual quantification of wheat development, *Agronomy Journal*, **65**, 116–119 (1973).
5. E.J.M. Kirby, J.H. Spink, D.L. Frost, R. Sylvester-Bradley, R.K. Scott, M.J. Foulkes, R.W. Clare, E.J. Evans, A study of wheat development in the field: analysis by phases, *European Journal of Agronomy*, **11**, 36–82 (1999).
6. J.C. Lagarias, J.A. Reeds, M.H. Wright, P.E. Wright, Convergence properties of the Nelder-Mead simplex method in low dimensions, *SIAM Journal of Optimization*, **9**, 112–147 (1998).
7. E.C. Large, Growth stages in cereals. Illustrations of the Feekes scale, *Plant Pathology*, **3**, 128–129 (1954).
8. J.T. Ritchie, A. Hanks (Eds.), *Modelling Plant and Soil Systems*, American Society of Agronomy, Madison (1991).
9. J.H.M. Thornley, I.R. Johnson, *Plant and Crop Modelling. A Mathematical Approach to Plant and Crop Physiology*, Oxford University Press, Oxford (1990).
10. D.L. Trudgill, A. Honek, D. Li, N.M.V. Straalen, Thermal time – concepts and utility, *Annals of Applied Biology*, **146**, 1–14 (2005).
11. W. Yan, D.H. Wallace, Simulation and prediction of plant phenology for five crops based on photoperiod and temperature interaction, *Annals of Botany*, **81**, 705–716 (1998).
12. J.C. Zadoks, T.T. Chang, C.F. Konzak, A decimal code for the growth stages of cereals, *Weed Researches*, **14**, 415–421 (1974).
13. P.A. Полуэктов, *Динамические модели агроэкосистемы*, Гидрометеоиздат, Ленинград (1991).

### SUMMARY

#### ***V. Denisovas, N. Juščenko. An algorithm of parameter identification in applied crop ontogenesis models***

The objective of the paper is to discuss the development and adaptation to selected region soil and climate conditions of applied grain crop development models considering possibilities of their incorporation to integrated information modelling system DIASPORA. The proposed parameter identification algorithm of applied crop development model was approved using standard meteorological and agrometeorological data obtained from Lithuanian Hydrometeorological Service and Lithuanian Institute of Agriculture.

**Keywords:** plant development, simulation models, model parameters identification.