

SZÁNTÓFÖLDI NÖVÉNYEK TÁPELEMFELVÉTELI DINAMIKÁJÁNAK SZÁMITÓGÉPES MODELLEZÉSE

Biczók Gyula, Békéssy András, Ruda Mihály

MÉM NAK, MTA SZTAKI

1. Bevezetés

A növény ásványi tápelemfelvételének bruttofolyamatát a talaj /forrás/ felvehető és a növény /nyelő/ felhalmozott tápelemkészlete egyaránt szabályozza. E leggyakrabban közvetett és összetett, kétoldali szabályozás következtében az egyéves szántóföldi növények és a talaj tápelemforgalma a Titljanova [13] által rendszerezett biogeocönótikus folyamatok harmadik típusával analóg. A tápelemfelvétel sebessége valamint a forrás és a nyelő tápelemkészlete között egyszerű arányosságot feltételezve, a tápelemfelhalmozódás folyamata az autokatalikus kinetikával rokon. Ha mindezt feltételezzük a növényi tápelemvesztések /reflux/ esetében is, akkor egy olyan egyszerű /minimális paraméterszámú/ biomatematikai modell adódik, amely különböző, egyéves szántóföldi növények szárazanyag- és tápelemfelhalmozódásának adataira eltérő körülmények esetén is egyaránt jól illeszkedik. A modell paramétereit növénytáplálkozási fogalmakkal azonosíthatók, hasonlóan a talaj kalciumszolgáltató képességét leíró modell Biczók [5] által értelmezett együtthatóihoz.

Vizsgálataink fő célja, hogy magát a növényt mint "műszert" alkalmazzuk olyan talajjellemzők meghatározására, amelyeket az eddig ismert legjobb fizikai kémiai módszerekkel [8], [11] sem sikerült elméletileg is kielégítő módon becsülni.

2. A növénytáplálkozás modellezésének néhány alapkérdése

A talaj-növény rendszer tápelemforgalmának, mint sorosan illetve párhuzamosan kapcsolt folyamatok eredőjének összetettsége /ld. [4]/ nagy paraméterszámú, magas kísérleti és számítástechnikai költségekkel verifikálható modellek vizsgálatához vezet /ld. pl. [12], [7], [6]/. Mindezeket, valamint a biológiai növekedésmélettan klasszikusainak eredményeit /pl. [14], [3]/ figyelembevéve kísérletet tettünk egy az eddigi kutatási eredményeket optimális módon magába foglaló - azaz a lehető legkevesebb, de még értelmezhető paraméterrel és korlátozó feltétellel, kis számú mérés alapján is adaptálható, kettős szubkompartment modell [1] kialakítására, felhasználva a biológiai növekedés matematikai modellezésében elért legújabb eredményeket is / [12], [15] /.

3. Egy kettős szubkompartment modell

A jelzett bonyolult mechanizmusok részletezése nélkül, egy olyan fenomenológiai modellt adunk, amely a különböző tápelemek felvételére és a szárazanyag felhalmozódására azonos formában alkalmazható. Általánosan elfogadott elképzelés [10], hogy a talaj különböző sebességgel felvehető tápelemfrakciókkal rendelkezik, amelyek között dinamikus kapcsolatok állnak fenn. Ha először elsősorban a könnyebben felvehető tápelemkészlet kerül a növénybe, akkor az idő /t/ múlásával - a növény növekedtével - egyre kevésbé felvehető tápelemfrakciók maradnak a talajban. Így a talaj tápelemszolgáltató sebességét a talajban még vissz-

szamaradt tápelemkészlet $|A-U_1|$ nagysága befolyásolja. Másrészt a tápelemfelvétel fenofázisfüggő, függ az adott növényi fejlődési időszakig már felvett tápelemkészlettől $|U_1|$ is. Egyszerű arányossági kapcsolatokat feltételezve, a növény növekedésével párhuzamos felhalmozódási bruttofolyamatot a következő differenciálegyenletként megadott első szubkompartment írja le:

$$\frac{dU_1}{dt} = k \cdot U_1 \cdot (A - U_1) \quad (1)$$

ahol k egy arányossági tényező. Az egyenlet megoldása:

$$U_1 = \frac{A}{1 + e^{-b(t-t_g)}} \quad (2)$$

Az A a felhalmozódási folyamat határértéke /available nutrient quantity/, b a pufferkapacitás /buffer capacity/ - ez arányos a fenti k paraméterrel, t_g azt az időpontot adja meg, ahol a maximális felhalmozási ütem fellép /inflexiós pont/ - ez a generatív fázis kezdete.

Az így adódó logisztikus görbe jól leírja a még fejletlen fiatal növény lassu fejlődését, majd a később /pl. buzánál a bokrosodással/ kezdődő extrém sebességű tápelemfelhalmozást, és a kifejlett növény-nél a talaj-növény tápanyagtranszferben kialakuló kvázistacioner állapotot.

A (2) szubkompartment telítődési szakasza időben korlátozott. Az idő múlásával lép előtérbe a második szubkompartment, amely egy a végtéstől számított t_s időcsuszással tetőző sebességű tápelem-reflux $|U_2|$, a növény tápelemvesztésének folyamatát írja le. Ezt a növekedéssel azonos formában modellezzük:

$$U_2 = - \frac{R}{1 + e^{-s(t-t_s)}} \quad (3)$$

ahol R a teljes reflux /a növény teljes vesztesége/, s a növénynek a vizsgált tápelemre vonatkozó tompító képessége a szénészencia által okozott veszteségekkel szemben, t_s a szénészencia által fenntartott reflux folyamat inflexiós pontja.

A reflux összetett folyamatának modellezésekor /ld. [4]/ feltételeztük, hogy a folyamat sebessége jó közelítéssel arányos a teljes refluxból $|R|$ még visszamaradt tömeggel $|R-U_2|$, és arányos a környezetbe már visszaáramlott anyagmennyiséggel $|U_2|$ is. Az utóbbi arányosságot azért tételezhetjük fel, mert a szénészencia növényi részek az öregedés előrehaladtával /az U_2 növekedésével/ fokozott ütemben dekomponálódnak. Az (1) formulához hasonlóan tehát:

$$\frac{dU_2}{dt} = k_r \cdot U_2 \cdot (R - U_2) \quad (4)$$

Ebből integrálással kapjuk (3)-at.

A továbbiakban feltételezzük, hogy a növekedés és a tápelemreflux folyamata, bár időben átfedi egymást, mégis független komponensek-

ként kezelhető, és eredményüket a két folyamat összegeként kaphatjuk meg:

$$U = \frac{A}{1 + e^{-b(t-t_g)}} - \frac{R}{1 + e^{-s(t-t_s)}} \quad (5)$$

4. A modell verifikálása

Az általunk vizsgált esetek nagy többségében a mérési pontok száma négy vagy öt volt, a modellparaméterek száma viszont hat /A, R, b, t_g, s, t_s/. A mért értékek mellett még korlátozó feltételeket is figyelembe kell venni:

1. A modellparaméterek értelemszerűen pozitívok.
2. A > R, U > 0.
3. Az U idő szerinti deriváltjának csak egy lokális minimuma és maximuma lehet.

Természetesen ez az utóbbi feltétel a növekedés mindenkor fellépő ingadozásai miatt csak közelítőleg teljesülhet.

Négy vagy öt pont esetén a teljes modell illesztését az tette lehetővé, hogy a vizsgálatot mindig csak egy rögzített A értékre végezzük el. Az R értéket, mivel A-R leolvasható az adatokról, szintén rögzíthetjük. A valódi A érték alsó korlátját a mért adatok maximuma adja, felső korlátját pedig a genetikai törvények szabják meg. Az így adódó intervallumon újra és újra becsültük a modellparamétereket, miközben az A értékét lépésről lépésre növeltük. A görbeillesztésnél a legkisebb négyzetek módszerét követtük. A megoldást a Newton-féle módszer Marquardt-féle változatával [9] kaptuk. A különböző A értékekhez tartozó becslések közül kiválasztottuk a legjobb közelítést adót.

Az előző 2. és 3. feltétel a növekedési és a reflux folyamat kapcsolatát szabályozza. A reflux tetőzése nem előzheti meg a növekedési folyamat telítődését, és a reflux sohasem haladhatja meg a növekedést /U > 0/. A görbék emelkedő szakaszait egyenesekkel /az inflexió pontokon átmenő érintőkkel/ helyettesítve az aktuális A, R, T_g és b paraméterek függvényében könnyen adható egy jól használható korlát a t_s és s paraméterekre /ahhoz, hogy a 2. és 3. feltétel teljesüljön/.

A modell megalkotásánál és verifikálásánál is számos elhanyagolással, egyszerűsítéssel éltünk, ezért általa nem is tartunk igényt egy-egy konkrét esetben lejátszódó akkumuláció-reflux folyamatpár pontos leírására. Olyan eszközt kívánunk létrehozni, amely minden, normálisan termesztett, egyéves szántóföldi kultúra talaj-növény rendszerének tápelemforgalmi dinamikáját kvantitatív módon leírja, ha nem volt elemi kár.

A modell verifikálását a legfontosabb magyarországi szántóföldi kultúrákra: buza, kukorica, burgonya, cukorrépa, árpa, rozs, borsó, csillagfűrt, cirok, repce elvégeztük, valamennyi lényeges tápelemre s a szárazanyag felhalmozódására, az ország különböző pontjain, különböző években felvett mintegy 3000 adatsoron.

5. Az eredmények alkalmazása

Az (5) modell a talaj-növény rendszer ásványi tápelemforgalmát leíró egyenlet, amely a szántóföldi növények fő fenofázisaira érvényes. E modell már négy vagy öt mérési pont esetén is egy, a gyakorlat számára kielégítő, átfogó jellemzést ad a valóságos talaj-növény rendszerekkel kapcsolatban. Pontossága megfelel a tényleges technológiai követelményeknek. Ujabb kompartmentekkel történő kiegészítésével hozzáigazítható a változó technológiai követelményekhez. E modell mint mérlegegyenlet - önmagában is - lehetővé tesz egy olyan, adott táblára szabott tápanyaggazdálkodást, amelynek eredménye a termesztés jobb hatékonysága mellett a minimális környezetkárosítás.

Ezen túlmenően az (5) modellt kalibrációs egyenletként alkalmazhatjuk a szántóföldi területekről felvett multispektrális távérzékelési /remote sensing/ adatok denzitás idősoraira [2]. E kalibráció birtokában a denzitás adatokból egy naprakész információs rendszert hozhatunk létre számítógéppel segített műtrágyázási szaktanácsadás biztosítására.

Modellünk teljesértékű alkalmazása érdekében azonban még többváltozós statisztikai analízisek segítségével kapcsolatokat kell keresnünk a modellparaméterek és a megfelelő talajjellemzők között, figyelembe véve a klimatikus és agrometeorológiai hatásokat is.

Hivatkozások

- [1] Atkins, G.L. /1969/, Multicompartment Models for Biological Systems, Science Paperbacks, Methuen and Co.
- [2] Badhwar, G.D. and Henderson, K.E. /1981/, Estimating Development Stages from Spectral Data - An Initial Model, Agronomy Journal, Vol. 73, pp. 748-755.
- [3] Bertalanffy, L. von /1960/, Principles and theory of growth, In: Fundamental aspects of normal and malignant growth, Elsevier, P.C., Amsterdam, pp. 137-259.
- [4] Békéssy, A., Biczók, Gy., Ruda, M. /1982/, Modelling the Dynamics of Arable Crop Nutrient Uptake, MTA SZTAKI, Working Paper, IV/21 /paper presented at the BIOMETRIA'82 Conference, Toulouse, 1982/.
- [5] Biczók, Gy. /1980/, A quantitative description of calcium supplying process in soil-plant system under the conditions of pot experiments /in Russian/, "Izvestija" Siberian Dep. Acad. Sci. USSR, Series Biol. Sci., Vol. 2, pp. 10-20.
- [6] de Wit, C.T., Brouwer, R., Penning de Vries, F.W.T. /1970/, The simulation of photosynthetic systems, In: Prediction and Measurement of Photosynthetic Productivity, ed. J. Setlik, Pudoc, Wageningen, pp. 47-70.
- [7] Gilmanov, T.G. /1975/, Plant submodel in the holistic model of biogeochemical cycles in grassland ecosystem, Trans. XII-th Int. Bot. Congr., Nauka, Leningrad, Vol. 1, 146.
- [8] Khasawneh, F.E. /1971/, Solution Ion Activity and Plant Growth, Soil Science Society of America, Proceedings, 35, pp. 426-436.

- [9] Marquardt, D.W. /1963/, An algorithm for least squares estimation of non-linear parameters, SIAM J. Appl. Math., Vol. 11, pp. 431-437.
- [10] Mengel, K. /1972/, Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze, VEB Gustav Fischer Verlag, Jena, DDR.
- [11] Németh, K. /1971/, Möglichkeiten zur Bestimmung massgeblicher Faktoren der Bodenfruchtbarkeit mittels Elektro-Ultrafiltration, Landwirtschaftliche Forschung, Frankfurt a. Main, 26, pp. 192-198.
- [12] Thornley, J.H.M. /1976/, Mathematical Models in Plant Physiology, A quantitative approach to problems in plant and crop physiology, Experimental Botany: An International Series of Monographs, Vol. 8, Academic Press, Amsterdam, New York, San Francisco.
- [13] Titljanova, A.A. /1977/, Biological cycle of carbon in grassland biogeocenosis, Publ. Novosibirsk, USSR, Nauka, pp. 20-23 /in Russian/.
- [14] Verhulst, P.F. /1844/, Recherches mathématiques sur la loi d'accroissement de la population. Mem. Acad. r. Bruxelles, 18, pp. 1-58.
- [15] Zelawski, W., Lech, A. /1980/, Logistic growth functions and their applicability for characterizing dry matter accumulation in plants. Acta Physiologiae Plantarum, Vol. 2. pp. 187-194.