

Hazai csernozjom talajok vízforgalmának klímaérzékenységi vizsgálata a MARTHA adatbázis és a SWAP szimulációs modell felhasználásával

Hernádi Hilda¹ – Farkas Csilla² – Makó András¹ – Máté Ferenc¹

¹Pannon Egyetem GMK, Növénytermesztéstani és Talajtani Tanszék

²MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézet

E-mail: hhilduci@freemail.hu

Összefoglaló

Jelen tanulmányban két klímaváltozási forgatókönyv lehetséges hatásait értékeltük a hazai csernozjom talajok nedvességforgalmára. E célból elvégeztük a SWAP matematikai modell futtatását kilenc referencia talajszelvény és kilenc előzetesen leválogatott mintaév meteorológiai adatainak kombinációira. Vizsgálataink során a Hadley Centre 2007-ben kiadott A2 és B2 klímaszcenárióját, valamint az 1961-1990-es referencia időszak napi leskálázott meteorológiai adatait használtuk fel. A mintaévek leválogatása során a szélsőségesen száraz illetve nedves, valamint az átlagos évek kiválasztására törekedtünk. Ennek megfelelően, a 30-30 éves időszakos éves csapadék-összegének relatív gyakorisága (RFΣP) alapján megkerestük azokat a konkrét éveket, amelyek a legkevesebb, a legtöbb és az átlagos csapadékösszeget reprezentálták. A tanulmányba bevont 49 talajszelvény leválogatása altípusuk, valamint fizikai féleségük alapján történt a MARTHA adatbázis felhasználásával. Az azonos csoportba tartozó – azonos fizikai féleségű – talajszelvények víztartóképeség függvényeinek változatosságát a skálázási eljárás segítségével vettük figyelembe a modellben. Ezzel a módszerrel a talaj hidrofizikai tulajdonságainak változékonyságát egy paraméterrel, a skálázási koefficienssel (SF) fejezhetjük ki. Eredményeink alapján igazoltuk a csernozjom talajok vízforgalmának nagyfokú klímaérzékenységét. Megállapítottuk, hogy a talaj víztartóképeség függvényei közötti különbségek főként a talaj összes vízkészletének mennyiségében okoztak eltéréseket, míg a texturális különbségek elsősorban a talaj nedvességtartalmának dinamikáját határozták meg.

Summary

In this study the possible effects of two predicted climate change scenarios on soil water regime of Hungarian Chernozem soils was investigated. Scenario analyses were performed, validating the SWAP soil water balance simulation model for nine reference soil profiles and nine representative years. The possible extreme events and the expected “average” soil water regime situations were analyzed. The selection of the 49 examined soil profiles was based on their subtype (Calcic Chernozem) and texture (sandy loam, loam and loamy clay) using the MARTHA soil physical database. The soil water retention curves were scaled separately for each of the three textural classes, using similar media scaling in order to represent the variability of soil hydrophysical data with one parameter, the scaling factor (SF). Reference soil profiles were chosen according to the cumulative distribution function of the scaling factor, three for each textural group. Daily downscaled meteorological data from A2 and B2 climate scenarios of the Hadley

Centre (2071-2100) as well as data for a reference period (1961-1990) were used in this study. Three representative years were selected in case of all the three scenarios, using the cumulative probability function of the annual precipitation sum. Our results proved the large climate sensitivity of Chernozem soils water regime. We concluded that differences in soil water retention curves mainly caused variation in the total amount of water stored in the soil profile, while differences in soil texture resulted in variation in soil water content dynamics.

Bevezetés

A klímakutatók körében egyre kevésbé vitatott az antropogén hatásra visszavezethető globális felmelegedés ténye. A globális klímaváltozás során a hőmérséklet emelkedése mellett a szélsőséges időjárási jelenségek gyakoriságának növekedésével is számolnunk kell (MIKA, 1996; HARNOS, 2005; IPCC, 2007).

A léghőmérséklet, valamint a felszínre érkező csapadék mennyiségének, eloszlásának és intenzitásának változása jelentősen befolyásolhatja a talaj hő-, víz- és tápanyagforgalmát, tehát termékenységét is (VÁRALLYAY, 1992; NÉMETH, 1996; KOVÁCS & DUNKEL, 1997). Az éghajlati tényezők változása jelentős eltéréseket eredményezhet az időjárás természetes ciklusában. Egyes kutatások szerint például az évi középhőmérséklet 1°C-os növekedése 10-14 napos változást eredményezhet a vegetációs periódus hosszában és 6-8 napos eltolódást annak kezdetében (VARGA-HASZONITS & VARGA, 2004). A klímaváltozás iránya és hatásai azonban nehezen becsülhetőek (VÁRALLYAY, 2005). A különböző kutatások eredményei az éghajlati elemek eltérő változását prognosztizálják, abban viszont egyetértenek, hogy a lehetséges változások következményeit nehéz előrejelezni. Bármelyik lehetőséggel is számolunk (éves csapadékmennyiség csökkenése vagy növekedése), az elmúlt évek tapasztalatai arra mutatnak, hogy Magyarországon egyre gyakoribbá válhatnak a szélsőséges időjárási és vízháztartási helyzetek (SZÁSZ et al., 1994). Figyelembe kell vennünk azt is, hogy ennek következtében a jövőben megnőhet a talajok ár- és belvív, valamint aszályérzékenysége.

Az aszály és a belvív kialakulásában a klimatikus (kevés csapadék, magas hőmérséklet, nagy párolgás, stb.), a hidrológiai (felszíni lefolyás, talajvízszint) és az agronómiai (sűrű növényállomány, helytelen talajművelés, rossz tápanyagellátás) okok mellett kiemelkedő lehet a talajtani tényezők (fizikai féleség, a talaj víztartó- és vízvezetőképessége, szervesanyag-tartalom stb.) szerepe is. A különböző talajtulajdonságok befolyásolhatják a szélsőséges időjárási helyzetek okozta vízhiány kialakulását, valamint az aszályos időszak időtartamát is.

A fentiek alapján megállapítható, hogy napjainkban egyre fontosabbá válnak azok a kutatások, amelyek a klímamodellek által előrejelzett klímaszcenáriók talajvízforgalomra és növényállományok vízmérlegére gyakorolt hatására irányulnak (BIRKÁS & GYURICZA, 2004; TUBA et al, 2004). A vizsgálatokban

sok a bizonytalanság, hiszen csak a globális klímamodellek által előrejelzett klímaszcenáriókra előállított, térben leskalázott meteorológiai adatsorok állnak rendelkezésünkre. Az időjárási elemek hatását és a talaj-víz-növény rendszerben végbemenő folyamatokat rendkívül sok tényező határozza meg. A szimulációs modellek lehetővé teszik az ilyen összetett folyamatok tanulmányozását, így a klímaváltozásnak a talaj víz- és hőforgalmára gyakorolt hatásának vizsgálatát is. Ezek a matematikai modellek fizikai, félempirikus és empirikus összefüggésekre épülnek, tükrözik a vizsgált rendszer elemei közötti kölcsönhatásokat és folyamatokat, ezért alkalmasak eltérő tényezők és összefüggések talajvízforgalomra gyakorolt együttes hatásának matematikai jellemzésére (FARKAS & RAJKAI, 2002; KONCSOS et al., 2004).

FARKAS (2004) a SZIE talajművelési tartamkísérleteiben vizsgálta a prognosztizált klímaváltozás hatását a talajvízmérleg egyes elemeire. A SWAP (Soil-Water-Plant-Atmosphere) (VAN DAM, 2000) szimulációs modellre épülő kutatási eredmények szerint a megfelelő talajművelési rendszer megválasztásával egy meghatározott mértékig kompenzálhatjuk az időjárási szélsőségek káros hatásait (FARKAS et al., 2008). Ezek az eredmények összhangban voltak a témában korábban megjelent vizsgálatok eredményeivel (LÁNG et al., 1983; CSETE & VÁRALLYAY, 2004), azonban egy mintaterületre korlátozódtak, és nem nyújtanak információt az egyes talajfélésegek klímaérzékenységéről.

Jelen tanulmányban két lehetséges klímaváltozási scenárió hatását vizsgáltuk a hazai csernozjom talajok nedvességforgalmára. Vizsgálatainkat a MARTHA adatbázisban (MAKÓ et al., 2007) található, mészlepedékes csernozjom altípusú talajok adataival végeztük. Modelllezési eredményeinket egy, a jelenlegi klímát reprezentáló meteorológiai adatsorral elvégzett futtatás eredményeivel hasonlítottuk össze. Vizsgálatainkkal a hazai talajok klímaérzékenységének eddigi kutatási eredményeihez kívánunk hozzájárulni.

Vizsgálati anyag és módszer

Munkánk során két klímaváltozási scenárió hatását értékeltük a talaj vízforgalmára a jelenlegi klimatikus viszonyok tükrében. Az alkalmazott IPCC SRES A2 és B2 scenáriók a 2071-2100-ig, a jelenlegi klímát reprezentáló meteorológiai adatsor az 1961-1990-ig terjedő időszakra vonatkozott.

A klímaszcenáriókat jellemző 30 éves meteorológiai adatsorokat a Hadley Centre (Anglia) által használt globális klímamodellel állították elő. Az adatok területi leskalázása az ELTE TTK Meteorológiai Tanszékén történt (BARTHOLY et al. 2007). A SWAP modell bemenő adatait a Budapestre vonatkozó, napi felbontású adatokból (napi minimum és maximum hőmérséklet, napi csapadékösszeg) hoztuk létre. A referencia időszakra és a klímaszcenáriókra elvégzett modellfuttatások során a meteorológiai tényezők variabilitását idősoronként 3-3 kiválasztott évvel jellemeztük. Ezeket a referencia éveket az

éves csapadékösszeg eloszlásfüggvényének jellegzetes pontjai alapján választottuk ki. Mivel elsősorban a szélsőségekre és az „átlagos” évekre voltunk kíváncsiak, a 30-30 éves idősorok éves csapadékösszegének relatív gyakorisága ($RF_{\Sigma P}$) alapján megkerestük azokat a konkrét éveket, amelyek a legkevesebb, legtöbb és átlagos csapadékösszeget reprezentálták, ($RF_{\Sigma P} \approx 0\%$ (min), 50% és 100% (max)), majd ezekre végeztünk szcenárió-analízist (1. táblázat).

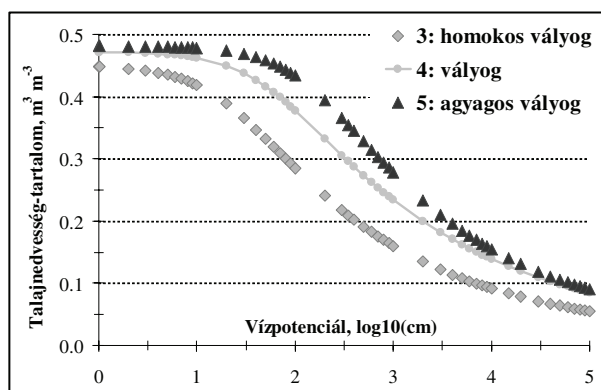
1. táblázat. A vizsgálat során alkalmazott klímaszcenáriók és a referencia évek jellemző meteorológiai adatai

	Referencia időszak			Klímaszcenáriók					
	REF (1961-1990)			A2 (2071-2100)			B2 (2071-2100)		
		T (°C)	ΣP (mm)		T (°C)	ΣP (mm)		T (°C)	ΣP (mm)
Átlag		11,8	466,1		16,8	396,5		15,7	395,8
CV (%)		0,4	21,2		0,4	21,1		0,4	29,2
A klímaszcenáriók összehasonlítására kiválasztott évek									
Relatív gyakoriság	Év	T (°C)	ΣP (mm)	Év	T (°C)	ΣP (mm)	Év	T (°C)	ΣP (mm)
$RF_{\Sigma P} \approx 0.0$	1988	13,3	233,0	2081	17,4	183,0	2098	13,6	183,0
$RF_{\Sigma P} \approx 0.5$	1990	12,6	483,0	2074	17,5	376,0	2083	15,7	390,0
$RF_{\Sigma P} \approx 1.0$	1961	9,7	584,0	2076	14,5	520,0	2097	13,3	597,0

RF – relatív gyakoriság; T – évi átlaghőmérséklet; ΣP – éves csapadékösszeg

A talajok vízforgalmát a kiválasztott években a SWAP szimulációs modellel becsültük. A futtatás során használt bemenő talajfizikai adatok a van-Genuchten - Mualem modell paraméterei (MUALEM, 1976; VAN GENUCHTEN, 1980). A növényi paramétereket (búza: LAI, gyökéreloszlás- és mélység stb.) szakirodalmi adatok alapján határoztuk meg. A modell paraméterezése előzetes kalibráció alapján történt (FARKAS, 2007), mely során egy reprezentatív termőhely kísérleti adataira építve beállítottuk a magyarországi viszonyokra jellemző paraméter-értékeket. Ezt követően már csak a talajfizikai adatokat változtattuk a modellben a célból, hogy a mészlepedékes csernozjom talajok minél szélesebb spektrumát reprezentáljuk.

A bemenő talajfizikai adatok kiválasztása a MARTHA adatbázis (MAKÓ et al., 2007) felhasználásával történt. Mészlepedékes csernozjom altípusú, különböző fizikai féleségű (3: homokos-vályog - 11db, 4: vályog - 17db, 5: agyagos-vályog - 21db) talajok adatait válogattuk le az adatbázisból (1. ábra).



1. ábra. A három textúra-csoport átlagos ($SC = 1$) víztartóképeség függvénye a skálázás alapján

Az azonos fizikai féleségű talajok víztartóképeség függvényeit (pF-görbéit) beskáláztuk. A skálázás során kiszámoltuk az egyes csoportok átlaggörbéjének van Genuchten paramétereit, majd ezt követően minden egyes görbéhez skálázási együtthatót rendeltünk. A skálázási együttható jellemzi az egyes görbék eltérését a csoport átlaggörbéjétől. A módszert FARKAS (2001) részletesen ismerteti.

A SWAP modellt a skálázási együttható eloszlásfüggvénye alapján annak legkisebb, legnagyobb és átlagos értékére futtattuk.

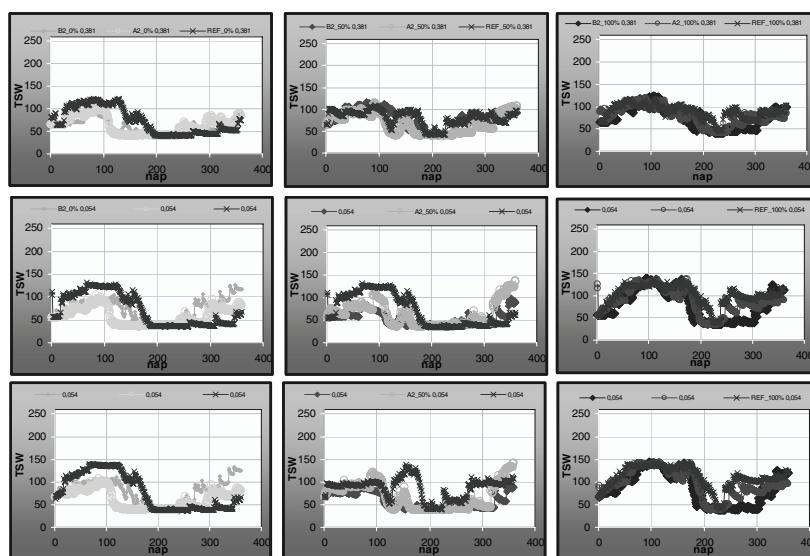
Tekintettel arra, hogy a felszín alatti rétegek adatai hiányosak voltak, csak a feltalaj paramétereit változtattuk a modellezés során. A mélyebben elhelyezkedő rétegeket azonos talajtulajdonságokkal vettük figyelembe.

Az eredmények értékelése során összehasonlítottuk a talaj nedvesség-tartalmának és összes vízkészletének éves alakulását a referencia időszak és a két klímaszcenárió különböző éveiben. Tanulmányoztuk, hogy mennyiben határozza meg a talaj nedvességforgalmát és összes vízkészletét a talaj fizikai félesége és víztartóképesége eltérő klímaszcenáriók esetében. Megvizsgáltuk, hogy átlagosan milyen változásokra számíthatunk, illetve miként tolódhatnak el időben az időjárás szélsőséges jelenségei (pl. az aszályos időszak), és azok milyen hatást gyakorolhatnak a talaj vízforgalmára.

Vizsgálati eredmények

A modellmódszerrel becsült talajnedvesség-dinamikák arra engednek következtetni, hogy az azonos relatív gyakorisággal rendelkező években a talaj felső 100 cm-es rétegében elraktározott összes vízkészlet nagyobb a jelenlegi klíma (REF) esetében, mint a két klímaszcenárióra (A2 és B2) vonatkozó időszakokban (2. ábra).

A klímaszenáriók alapján becsült talajnedvesség-forgalom változékonyabb, mint a referencia időszaké. A téli hónapok alatt a talajban tárolt csapadék mennyisége - a növekvő hőmérséklet és csökkenő csapadék hatására – mindkét szenárió éveiben kisebb, mint a referencia időszakban. A talaj összes víztartalmának csökkenése időben előbb következik be. A legszárazabb években ($RF_{\Sigma P} = 0\%$) a talaj által az őszi csapadékból elraktározott víz mennyisége a B2 szenárió esetében több, mint az A2 szenárió éveiben. A leghosszabb viszonylagosan száraz időszak az A2 szenárió esetében prognosztizálható. A csapadékosabb években viszont a B2-szenárió éveiben lehet hosszabb ez az időszak. Ennek oka feltehetően a csapadék eltérő eloszlásában keresendő: a nagyobb mennyiségű ám egyben nagyobb intenzitású csapadék (B2 szenárió) egy része a felszíni lefolyással távozik. A talaj nem tud elegendő nedvességet befogadni és eltárolni a nyári száraz időszakra. A talaj összes víztartalmának éves változása az A2 szenárió esetében hasonlít jobban a referencia időszak vízforgalmához, amikor is a kisebb mennyiségű csapadék és a magasabb átlaghőmérséklet okozza a talaj összes víztartalmának csökkenését. A B2 szenárió szélsőségesebb hőmérsékletet és csapadékeloszlást, intenzitást, stb. feltételez. Ez a talaj víztartalmának szélsőségesebb változását eredményezheti.



2. ábra. A talaj összes vízkészletének (TSW, mm) alakulása a 0-100 cm-es rétegben a referencia időszak (REF) és a különböző klímaszenáriók (A2, B2) eltérően csapadékos éveiben

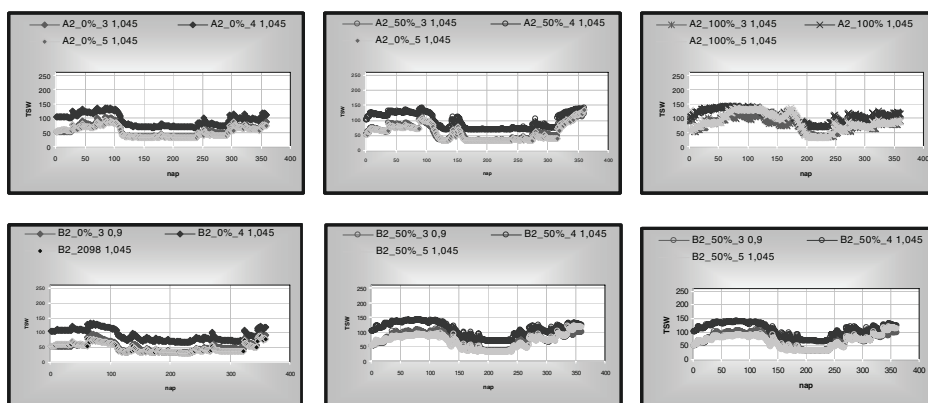
Eredményeink igazolták azt a feltételezést, hogy a szélsőséges csapadékösszegű években ($RF_{\Sigma P}=0\%$, $RF_{\Sigma P}=100\%$) a talajok vízforgalma közötti különbség jelentősebb, mint az átlagos csapadékú ($RF_{\Sigma P}=50\%$) években. Az eltérő talajtulajdonságokkal rendelkező csoportokra végzett modellfuttatások eredményei alapján elmondható, hogy a talaj fizikai félesége és víztartóképesége egyaránt meghatározza a talaj nedvességforgalmának alakulását (3. ábra).

A különböző *víztartóképeségű* talajok nedvességforgalma leginkább a talaj összes vízkészletének mennyiségében tér el. A talaj által az őszi csapadékból elraktározott vízkészlet vályog fizikai féleségű talajoknál a közepes csapadékú években a legjelentősebb. Az A2 scenárió szerint prognosztizált években a talaj víztartalmának csökkenése hamarabb következik be, és az így kialakuló alacsony víztartalmú időszak hosszabb ideig is eltarthat, mint a referencia években.

A különböző *textúrájú* talajok összes víztartalma különbözőképpen alakul az év folyamán. A talaj összes víztartalma a vályog fizikai féleségű (4. csoport) talajoknál az átlagos pF-görbéjű és az ehhez leginkább hasonló talajszelvények ($SC \approx 1$) esetében, míg az agyagosabb talajoknál (5. csoport) az átlagostól eltérő pF-görbéjű talajszelvényekben ($SC > 1$, vagy $SC < 1$) volt a legnagyobb. Megállapítottuk, hogy egy adott fizikai féleségű talajra becsült nedvességdinamika egy meghatározott tartományban változhat, melyet az adott szelvényre jellemző pF-görbe szélső értékei határoznak meg. A tartomány értékeit a fizikai féleség mellett más talajtulajdonságok is befolyásolják (térfogattömeg, humusztartalom stb.). A talaj textúrájában megmutatkozó különbözőség is meghatározzák a talaj összes vízkészletének éven belüli változását. A homokos vályog talajok összes víztartalma időszakonként nagyobb lehet, mint a vályog fizikai féleségűeké. Ennek oka részben az, hogy a homokos-vályog talaj vízkészlete gyorsabban változik a környezeti tényezők változásaival (csapadék, hőmérséklet), ami jelentős mértékben meghatározza a talaj nedvességforgalmát a tavaszi / őszi hónapokban.

Eredményeink arra engednek következtetni, hogy a talaj fizikai félesége nagyobb mértékben meghatározza a talajok nedvességdinamikáját, mint az egyéb - a talaj víztartóképeségét meghatározó - tulajdonságok.

Emellett az egyes scenáriók esetében a talaj nedvességtartalmának különbségeit más – nem talajtani - tényezők is jelentősen befolyásolhatják (pl. a kiválasztott évek csapadékeloszlása nagyon eltérő lehet). Esetünkben ez a B2 scenárióra volt jellemző.



3. ábra. A különböző fizikai féleségű talajok vízkészletének alakulása a 0-100 cm-es rétegben a legszárazabb, közepesen csapadékos és a legcsapadékosabb években

(A2 és B2 scenárió)

A2, B2, REF – klímascenárió;

0%, 50%, 100% - az éves csapadékösszeg relatív gyakorisága ($RF_{\Sigma P}$);

0,381, 0,9, 2,061 – a skálázási koefficiens (SC) értékei

Következtetések

A vizsgált mészlepedékes csernozjom talajok vízforgalmát alapvetően meghatározzák az időjárási feltételek. A különböző klímascenáriók különböző mértékben változó éghajlati tényezői eltérő mértékben befolyásolják a talaj összes vízkészletének (TSW) éves alakulását. A vizsgált éghajlati elemek szélsőséges változása a talaj vízforgalmában is szélsőségesebb változást eredményezhet. A szélsőséges csapadékösszegű években nagyobb eltérést tapasztaltunk a különböző scenáriók vízforgalma között, mint az átlagos csapadékmennyiséggel rendelkező években. A megváltozott klimatikus viszonyokat tükröző években a talaj víztartalmának csökkenése tavasszal hamarabb következik be, az aszályos időszak pedig hosszabb ideig is eltarthat, mint a jelenlegi klímára jellemző években.

A talaj pF- görbéi közötti különbségek főként a talaj összes vízkészletének mennyiségében okoztak eltéréseket, míg a texturális különbségek elsősorban a talaj nedvességtartalmának dinamikáját határozzák meg.

A továbbiakban vizsgálatainkat a talaj összes víztartalmának alakulása mellett a talaj hasznosítható vízkészletének éves alakulására is kiterjesztjük, hiszen az adott esetben jobban meghatározhatja a talaj termőképességét. Emellett fontosnak tartjuk a talajban tárolt vízmennyiség változásának részletes tanulmányozását a téli hónapokban, a tenyészidőszak alatt, illetve a termesztett növény szempontjából kritikus időszakban.

Mivel a talajok klímaérzékenysége típusonként eltérő lehet, a továbbiakban modellkísérleteinket más talajféleségekre is ki kívánjuk terjeszteni annak megállapítására, hogy miként befolyásolja a klíma változása más talajféleségek vízforgalmának alakulását (pl. ahol egy talajtípuson belül nagyobb eltérések lehetnek az olyan talajtulajdonságokban, mint pl. mélytartalom, PH, stb.)

Fontos megemlíteni, hogy jelen tanulmányban a kiválasztott mintaévek száma nem elegendő a lehetséges változások teljes tartományának (pl. azonos csapadékösszegű de eltérő csapadékeloszlású évek, valamint a szélsőséges időjárási helyzetek hatásának) értékeléséhez. A tendenciákra azonban lehet következtetni, ezáltal lehetőség nyílik megfelelő megelőző, illetve a káros hatásokat csökkentő beavatkozási stratégiák kidolgozására a szélsőséges vízforgalmi helyzetek negatív következményeinek enyhítése céljából.

Köszönetnyilvánítás

A kutatásokat az OTKA (62436 és 048302) és az Oktatási Minisztérium (NKFP6-00079/2005) támogatta. A klímaváltozási scenáriókra vonatkozó adatok az EU által létrehozott PRUDENCE adatbázisból származtak.

Irodalomjegyzék

- BARTHOLY J., PONGRÁCZ R., GELYBÓ GY., (2007): Regional climate change expected in Hungary for 2071-2100. Submitted to Applied ecology and Environmental Research., **5**. 1-17.
- BIRKÁS M. & GYURICZA Cs., (2004): A talajhasználat és a klimatikus hatások kapcsolata. In: Talajhasználat – Műveléshatás – Talajnedvesség. (Szerk.: BIRKÁS M., GYURICZA Cs.). 10-47. SZIE, Gödöllő.
- CSETE L. & VÁRALLYAY GY., (2004): Agroökológia. Az agroökoszisztémák környezeti összefüggései és szabályozásának lehetőségei. AGRO-21 Füzetek, **37**. 217.
- FARKAS Cs.,(2002): A talajnedvesség-forgalom modellezése a talajfizikai tulajdonságok területi inhomogenitásának és szezonális dinamikájának tükrében. Ph.D. dolgozat, ELTE TTK., Budapest, 150 o.
- FARKAS, Cs. & RAJKAI, K., (2002): Moisture regime with respect to spatial variability of soil hydrophysical properties. Agrokémia és Talajtan **51**. 1-2. 7-16.
- FARKAS Cs., (2004): Effect of soil tillage on soil properties and soil water regime. In: Soil management – Tillage effects – Soil water. (Eds.: BIRKÁS M. & GYURICZA Cs.). 61-81. Szent István Egyetem, Gödöllő.
- FARKAS Cs. & MAJERČAK J., (2007): Soil water storage under conventional and soil conserving tillage practices. ISSPA Conference, Budapest, June 2007, Conference Abstract)
- FARKAS Cs., HAGYÓ A., HORVÁTH E., VÁRALLYAY GY., (2008): A Chernozem Soil Water Regime Response to Predicted Climate Change Scenarios. Soil and Water Research, Vol.3. S58-S67. <http://journals.uzpi.cz:8050/uniqueFiles/01658.pdf>
- HARNOS Zs., (2005): A klímaváltozás és lehetséges hatásai a világ mezőgazdaságára. Magyar Tudomány 7. 826.

- IPCC, (2007): *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (Eds.: SOLOMON, S., D. QIN, M. MANNING, Z. CHEN, M. MARQUIS, K.B. AVERYT, M. TIGNOR & H.L. MILLER). 996. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- KONCSOS L., FLACHNER ZS., FONYÓ GY., (2004): Dynamic modelling for water retention based floodplain management at Bodrogek. Hungary. Proc. Of the 7th INTERCOL Wetland Conference, 2004.
- KOVÁCS G.J. & DUNKEL Z., (1997): A klímaváltozás várható következményei Magyarország szántóföldjein a következő félszázadban. Meteorológiai Tudományos Napok Kiadványa, Nov. 20-21, 1997, Budapest, 181-193 o.
- LÁNG I., CSETE L., HARNOS ZS., (1983): A magyar mezőgazdaság agroökológiai potenciálja az ezredfordulón. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- MAKÓ A., MARTH P., FARKAS Cs., & TÓTH B., (2007): MARTHA: az első országos talajfizikai adatbázis. „Agrárgazdaság a vidékért, a környezetért, az életminőségért” XLIX. Georgikon Napok. Keszthely 2007. szeptember 20-21.
- MIKA J., (1996): Regionális éghajlati forgatókönyvek. Változások a légkörben és az éghajlatban. Természet Világa 1996/I. **Külszám**. 69-74.
- MUALEM, Y. (1976): A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. *Water Res. Res.* **12**. 513-522
- NÉMETH T. (1996): Nitrogen balances in long-term field experiments. *Fertilizer Research* **43**. 13-19.
- SZÁSZ G., CSELŐTEI L., KOVÁCS G.J., (1994): Az időjárás és a növénytermesztés. In: *Az agrárgazdaság jövőképe*. (Eds.: LÁNG I., CSETE L., DOHY J., HARNOS ZS., KOCSIS K., VÁRALLYAY GY.). 50-87. „AGRO-21” Füzetek, 1994. **1** „AGRO-21” Kutatási Programiroda.
- TUBA Z., NAGY Z., CZÓBEL SZ., (2004): Hazai gyeptársulások funkcionális ökológiai válaszai, C-körforgalma és üvegházhatású gázainak mérlege jövőbeni várható éghajlati viszonyok, illetve eltérő használati módok mellett. *AGRO 21 Füzetek*. **37**. 123–138.
- VAN DAM J., (2000): Field-scale water flow and solute transport. Ph.D. thesis, Wageningen University, The Netherlands, 167p.
- VAN GENUCHTEN M.TH., (1980): A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soil. *Soil Sci.Soc. Am J.*, **44** 892-898
- VARGA-HASZONITS Z. & VARGA Z., (2004): Az éghajlati változékonyság és a természetes periódusok. „AGRO-21” Füzetek, 2004. **37**. 23-32
- VÁRALLYAY GY., (1992): Globális klímaváltozások hatása a talajra. *Magyar Tudomány* **9**. 1071-1076.
- VÁRALLYAI GY., (2004): Agroökológia és vízgazdálkodás. *AGRO-21 Füzetek*, **37**. 33-49
- VÁRALLYAY GY., (2005): Magyarország talajainak vízraktározó képessége. *Agrokémia és Talajtan*, **54**. 1-8.