

A VÍZGAZDÁLKODÁS VÁRHATÓ VÁLTOZÁSA A PROGNOSTIZÁLT KLÍMAVÁLTOZÁS FÜGGVÉNYÉBEN CSERNOZJOM TALAJON

FARKAS CSILLA – HAGYÓ ANDREA – HORVÁTH ESZTER –
VÁRALLYAY GYÖRGY

Kulcsszavak: klímaváltozás, SWAP modell, talajnedvesség, talajművelési rendszerek, csernozjom.

ÖSSZEFOGLALÓ MEGÁLLAPÍTÁSOK, KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

A napjainkban jellemző földhasználati és növénytermelési rendszerek évtizedes tapasztalatok alapján alakultak, és alapvetően a klímához, valamint az arra jellemző talajnedvesség- és talajhőforgalomhoz alkalmazkodtak. A változó klimatikus körülményekhez igazodó növénytermelésben fontosak az egyes prognosztizált klímaváltozási scénáriók hatásai a talaj-növény-atmoszféra rendszer víz- és hőforgalmára. Jelen tanulmányban két lehetséges klímaváltozási scénárió hatását tanulmányoztuk egy hazai csernozjom talaj vízforgalmára. E célból szimulációs modellel becsültük a talaj nedvességforgalmát különböző talajművelési rendszerekben és elemeztük az eltérő talajművelési rendszerek és klímascenáriók együttes hatását a talaj vízforgalmára. A klímascenáriókat az éves csapadékösszeg eloszlásfüggvényével jellemeztük. A SWAP vízmérleg modellt a reprezentatív talajszelvényekben mért referencia adatokra kalibráltuk. A tanulmányban két eltérő klímascenárió lehetséges hatását vizsgáltuk a talaj nedvességforgalmára talajművelési tartamkísérletben. Modellezési eredményeinket egy, a jelenlegi klímát reprezentáló meteorológiai adatsorral elvégzett futtatás eredményeivel hasonlítottuk össze. Az évszázad végére mindkét klímascenárió a jelenleginél szárazabb, melegebb és változékonnyabb éghajlatot prognosztizál a Kárpát-medence területére. Vizsgálataink igazolták, hogy talajkímélő talajművelési rendszerek nagymértékben képesek kompenzálni az időjárási szélsőségek káros hatásait a talajból történő vízvesztesség csökkentése révén. A több szempontot is figyelembe vevő értékelés alapján megállapítottuk, hogy a kultivátoros kezelés hozta létre a legkedvezőbb talajállapotot a vizsgált termőhelyen.

Eredményeink alapján elmondható, hogy a helyi adottságokhoz igazodó, lazítással és talajtakarással kombinált talajművelési rendszerek jelentős nedvességmegőrző hatással rendelkeznek, és kiemelt szerepük lehet a növények által felvehető vízkészlet megőrzésében.

BEVEZETÉS

Adott terület klimatikus, hidrológiai viszonyai és növényzete között szoros kapcsolat mutatható ki (Kovács – Dunkel, 1997). A fentiek alapján egyre fontosabb szerephez jutnak

a feltételezhető klímascenáriók talajvízforgalomra és növényállományok vízmérlegére gyakorolt hatásaira irányuló kutatások.

A szimulációs modellek alkalmasak eltérő tényezők és összefüggések talajvízforgalomra gyakorolt hatásának integrált matematikai

jellemzésére (Flachner *et al.*, 2004). Ebben legfontosabb bizonytalansági tényezők az éghajlati változékonyság, valamint a talaj víztározó kapacitásában és a talajtermékenységet befolyásoló talajtulajdonságokban bekövetkező változások (Sirotenko *et al.*, 1997). Számos tanulmány igazolta, hogy a kontinentális klímájú területeken a növénytermelés legfontosabb limitáló tényezői a megváltozott klímaviszonyok között a vízstressz és az aszály (Kovács – Dunkel, 1997; Farkas *et al.*, 2005). Štekauerová és munkatársai (2006) a talajhidrológiai jellemzők alapján számítható ún. hidrolimitek fontosságára hívták fel a figyelmet a változó körülmények közötti mezőgazdasági termelésben.

Magyarországon a természetes viszonyok általában kedvezőek a biomasz-előállításához, de ezek a körülmények szélsőségesen nagy tér- és időbeli változékonyságot mutatnak, valamint érzékenyen reagálnak a különböző természeti, illetve emberi tevékenység okozta stresszhatásokra (Láng *et al.*, 1983; Csete – Várallyay, 2004). Az agroökológiai potenciált alapvetően három talajtényező korlátozza: a talajdegradációs folyamatok (Szabolcs – Várallyay, 1978; Várallyay, 2000), a szélsőséges vízgazdálkodás (Várallyay, 2004), valamint – elsősorban a növényi tápelemek és környezetszennyező elemeket érintő – biogeokémiai körforgások kedvezőtlen változásai (Láng *et al.*, 1983).

A Kárpát-medencére kidolgozott klímaváltozási scenáriók alapján nagy valószínűséggel elmondható, hogy a jövőben Magyarországon a víz lesz az élelmiszer-ellátás és a környezeti biztonság meghatározó tényezője. A kockázatok csökkentése és a termékbiztonság növelése elsődleges fontosságú feladatok, melyek három fő elemet tartalmaznak: a víz talajba szivárgásának elősegítését, a talaj vízraktározó képességének növelését a növények számára hozzáférhető tartományban és a felesleges víz elvezetését a talajból és a területről (függőleges és vízszintes vízelvezetés). Ezzel összefüggésben kiemelten fontos

a különböző talajművelési rendszerek (Kroulik *et al.*, 2007) és klímascenáriók együttes hatásának vizsgálata a talaj hidrofizikai tulajdonságaira és vízforgalmára.

Jelen munka célja két új klímaváltozási scenárió hatásának számszerű értékelése egy hazai csernozjom talaj vízmérlegére és nedvességdinamikájára, eltérő talajművelési rendszerekben.

ANYAG ÉS MÓDSZER

Vizsgálatainkat a Szent István Egyetem 2002-ben létrehozott talajművelési tartamkísérleteiben végeztük (Birkás – Gyuricza, 2004a). A Józsefmajori Kísérleti Terület (tsz. f.m. 110 m, N47°40', E19°40') Hatvan közelében található. Az évi átlaghőmérséklet 7,9 °C, az éves csapadékösszeg átlagosan 580 mm, melyből 323 mm a vegetációs időszak alatt hullik a területre. A területet löszön kialakult mészszepekes csernozjom talaj borítja, mely közepesen érzékeny a talajtömörödéssre. A talaj pH-ja gyengén savas (pH H₂O: 6,38 és pH KCl: 5,43). A felső 20 cm-es talajréteg homok-, vályog- és agyagtartalma 23%, 42% és 35%. A 0-20 cm és a 20-40 cm-es réteg szervesanyag-tartalma 3,2% és 2,5%; a teljes N-, P₂O₅- és K₂O-tartalma 0,13 és 0,082%; 270 és 214 ppm, és 110 és 85 ppm. A kísérlet egytényezős sávos elrendezésű, melyet 13 m × 150 m-es kísérleti parcellákon állítottak be, 4 ismétlésben. A vizsgált talajművelési rendszerek és a művelési mélység az alábbiak: szántás (SZ, 26-30 cm); tárcsázás (T, 16-20 cm); mélylazítással kombinált tárcsázás (LT, L: 40-45 cm, T: 16-20 cm), két kultivátoros kezelés (K1, 12-16 cm és K2, 16-20 cm) és direktvetés (DV) (Birkás – Gyuricza, 2004b). Jelen tanulmányban vizsgálatainkat a DV, az SZ és a K2 kezelésekre terjesztettük ki. A növényi sorrend 2001 és 2003 között kukorica, búza és kukorica voltak, melyeket köztes növényekkel (mustár, rozs és borsó) egészítettek ki.

Talajmintavétel, laboratóriumi vizsgálatok és terepi monitoring

Bolygatott és 100 cm³ térfogatú bolygatatlan talajmintákat szedtünk mindegyik talajművelési rendszerből 3-3 ismétlésben 2003 áprilisában. A mintákat a 0-5, 5-10, 15-20 és 45-50 cm-es talajrétegekből vettük, ezáltal jellemezzük a felszíni réteget, a művelt réteget, a művelési talpat és a nem művelt réteget. A víztartó görbe jellemző értékeinek (a 0,01 m, 0,025 m, 0,1 m, 0,3 m, 1 m, 2 m, 5 m, 25 m és 150 m magas vízoszlop nyomásának megfelelő szívóerő ellenében a talajban visszatartott vízmennyiségnek) meghatározása az *MTA TAKI* talajfizikai laboratóriumában történt a *Várallyay-féle* módszerrel (*Várallyay, 1973*). A talaj nedvességtartalmát szárítószekrényes módszerrel határoztuk meg, a mintákat 105 °C-on tömegállandóságig szárítva. A térfogattomeget a bolygatatlan minták térfogatából és a száraz talajtömegből (105 °C, 48 h)

számítottuk. A mechanikai összetételt pipettás módszerrel határoztuk meg. A talajmátrix telített vízvezető képességét a *Wösten és mtsai (1995)* által javasolt módszerrel becsültük (*Tóth et al., 2006*). A három talajművelési rendszerre meghatározott talajjellemzőket az 1. táblázatban mutatjuk be.

A mintaterületen valamennyi talajművelési rendszerben folyamatos talajnedvesség-tartalom- és talajhőmérséklet-méréseket végeztünk 3T-System típusú, kapacitív nedvességmérő szondákkal (*Szőllősi, 2003*), melyeket 80 cm mélységig telepítettünk a talajba. A szondák naponta négy alkalommal, 10 cm-es felbontásban mérték és tárolták el a talaj hőmérsékletét és nedvességtartalmát 2003. május 13. és szeptember 11. között. Az elemzésekhez a napi átlagértékeket használtuk. A legfontosabb növényjellemzőket (vetés és aratás időpontja, gyökérmélység, növényzet magassága) monitoroztuk a vegetációs időszak alatt.

1. táblázat

A talajművelési tartamkísérletben meghatározott talajtulajdonságok
(Józsefmajor, 2002-2003)

	Talajművelési rendszer					
	DV		SZ		K2	
	Talajréteg (m)					
Talajtulajdonság	0,15-0,20	0,45-0,50	0,15-0,20	0,45-0,50	0,15-0,20	0,45-0,50
Tt (g cm ⁻³)	1,54	1,41	1,22	1,45	1,23	1,37
HUM (%)	3,40	2,53	3,42	2,53	3,45	2,53
Homok (%)	23,0	20,0	23,0	20,0	23,0	20,0
Vályog (%)	42,0	43,4	42,0	43,4	42,0	43,4
Agyag (%)	35,0	36,6	35,0	36,6	35,0	36,6
Ks (cm nap ⁻¹)	1,70	3,07	3,10	2,85	3,51	3,35
TVT (m ³ m ⁻³)	0,44	0,42	0,52	0,37	0,49	0,44
SZVK (m ³ m ⁻³)	0,38	0,35	0,33	0,35	0,36	0,36
HVP (m ³ m ⁻³)	0,20	0,20	0,16	0,17	0,17	0,18

DV – direktvetés; SZ – szántás; K2 – kultivátoros kezelés; Tt – térfogattömeg; HUM – humusztartalom; Ks – telítettségi vízvezető képesség; TVT – telítettségi víztartalom; SZVK – szabadföldi vízkapacitás; HVP – hervadáspont

A SWAP modell adaptációja a mintaterületre

A SWAP modell (*van Dam, 2000*) a telítetlen zónában történő vízmozgást szimulálja a növényi növekedéssel összefüggésben a teljes vegetációs időszakra. A modell bemenő adatai között szerepelnek meteorológiai, növényi és talajadatok, továbbá kezdeti és határfeltételek. A talajhidrológiai függvényeket a *van Genuchten és Mualem* analitikus összefüggések paramétereivel adják meg a modellben (*van Genuchten, 1980*). A talajhidrológiai függvények paramétereit a RETC (*van Genuchten, 1980*) programmal számítottuk a mért víztartóképeség-értékek és a telítettségi vízvezető képesség alapján. A talaj hidrofizikai adataira illesztett talajhidrológiai függvények paramétereit a 2. táblázat tartalmazza. A SWAP szimulációs modell paraméterezését a kísérleti területről gyűjtött talaj- és növényi adatok felhasználásával végeztük el (*Farkas, 2007*). A növényi növekedést – kukoricára – a modell egyszerűsített növényi alprogramjával szimuláltuk. A meteorológiai bemenő adatok az *Országos Meteorológiai Szolgálat* hatvani meteorológiai állomásán mért léghőmérséklet-, szél-

sebesség-, besugárzás-, légpáratartalom- és csapadékadatok voltak. Ez utóbbiakat a közvetlenül a kísérletben mért csapadékadatokkal korrigáltuk. A kezdeti feltételeket a május elején mért talajnedvességtartalom-értékek szerint állítottuk be. A felső határfeltételt a modell számítja a bevitt meteorológiai adatok alapján. Tekintettel arra, hogy a talajvízszint nagyon mélyen van, alsó határfeltételenként szabad mélybeszivárgást állítottunk be.

A modell adaptációjához a monitoring-hálózat segítségével mért talajnedvességtartalom-értékeket használtuk referenciaként. A modell kalibrációja során a modellparamétereket a mért és a szimulált talajnedvességtartalom-értékek közötti különbség minimalizálásával állítottuk be.

A klímascenáriók

Munkánkban két klímaváltozási szcenárió hatását értékeltük a talaj vízforgalmára a jelenlegi klimatikus viszonyok tükrében. Az alkalmazott IPCC SRES A2 és B2 szcenáriók a 2071-2100-ig, a jelenlegi klímát reprezentáló meteorológiai adatsor az 1961-1990-ig terjedő időszakra vonatkozott. Az A2 szcenárió-család (*Nakicenovic –*

2. táblázat

A józsefmajori kísérlet talajművelési rendszereiben mért talajhidrológiai függvényekre illesztett van Genuchten–Mualem függvények paramétere

		van Genuchten–Mualem paraméterek				
Talajréteg cm	Kezelés	Θ_{SAT} $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$	Θ_{RES} $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$	alpha cm^{-1}	n g cm^{-3}	K cm nap^{-1}
15-20	DV	0,418	0,001	0,0072	1,1472	1,70
	SZ	0,583	0,001	0,0738	1,0843	3,10
	K2	0,493	0,001	0,3791	1,0992	2,59
40-45	DV	0,415	0,001	0,0738	1,0843	3,07
	SZ	0,393	0,001	0,0148	1,1009	2,85
	K2	0,466	0,001	0,3757	1,0805	2,85

DV – direktvetés; SZ – szántás; K2 – kultivátoros kezelés; Θ_{SAT} – telítettségi víztartalom; Θ_{RES} – reziduális víztartalom; alpha, n – a van Genuchten analitikai függvény illesztési paraméterei – talajspecifikus paraméterek; K – telítettségi vízvezető képesség

Swart, 2000; IPCC, 2007) által képviselt jövőkép nagyon heterogén világot ír le, melynek alapja az önbizalom és a helyi identitás megőrzése. A termékenység mintázatok régiókon át nagyon lassan konvergálnak, ami nagy populációnövekedést okoz. A gazdasági fejlődés elsősorban regionálisan irányított, így az egy főre jutó gazdasági növekedés és a technológiai változások elszigeteltebbek és lassabbak, mint a többi szcenárió által elképzelt jövőképben. A B2 szcenárió-család jövőképe egy olyan világot ír le, ahol a gazdasági, szociális és környezeti fenntarthatósággal kapcsolatban a helyi megoldásokra helyezik a hangsúlyt. Emellett közepes a populációnövekedés és a gazdasági fejlődés. A technológiai változások kevésbé gyorsak és változatosabbak, mint az A1-es szcenáriókban (Nakicenovic – Swart, 2000; IPCC, 2007). Ez a szcenárió szintén a környezetvédelemre és a szociális méltányosságra irányul, viszont a helyi és regionális léptékekre koncentrál.

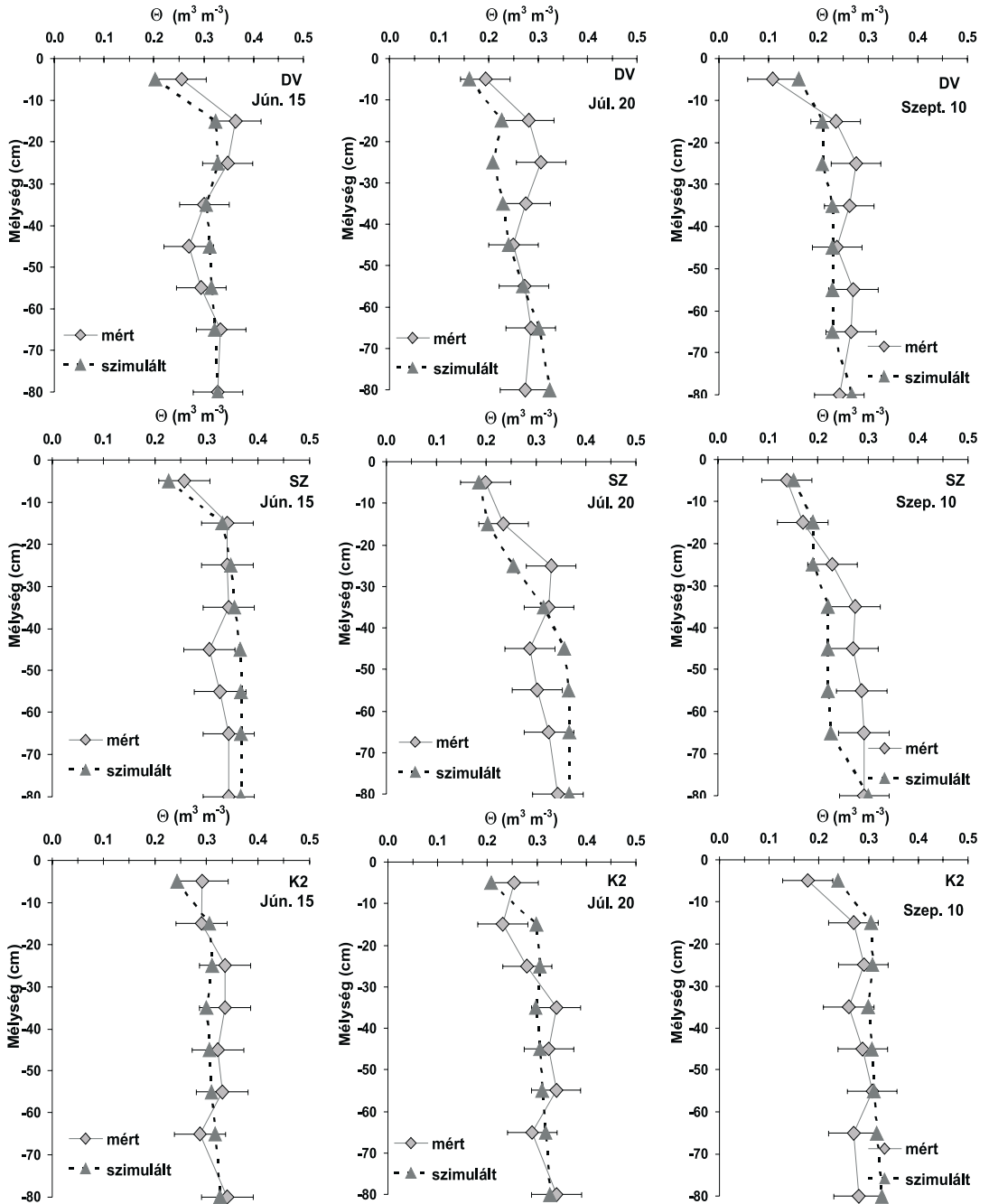
A klímaszcenáriókat jellemző napi felbontású meteorológiai adatsorokat a Hadley Centre által használt globális klímamoddellel állították elő. Az adatok területi leskalázása az ELTE TTK Meteorológiai Tanszékén történt (Bartholy et al., 2007). A SWAP modell bemenő adatait a mintaterületre legközelebb eső nagyvárosra (Miskolc) vonatkozó leskalázott adatokból (minimum, maximum és éves átlag léghőmérséklet, csapadék) 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 kumulatív eloszlásfüggvényének jellegzetes pontjai (minimum, maximum, 50%) alapján választottuk ki. A kiválasztott évekre hatásvizsgálatot végeztünk a SWAP modell futtatásával a referencia évekre és a két klímaszcenárióra az előzetesen kalibrált modellparaméterek felhasználásával, melyeket a futtatások során nem változtattunk.

AZ EREDMÉNYEK

A hatvani tartamkísérletben elvégzett korábbi vizsgálataink során statisztikailag kimutatható különbségeket találtunk az eltérő talajművelési rendszerek talajfizikai tulajdonságai között, valamint igazoltuk a talajhidrológiai függvények szezonális változékonyságát is (Farkas, 2004, 2007). Ezért a SWAP modell kalibrációját a talajhidrológiai függvények szezonális dinamikájának figyelembevételével végeztük el (Farkas, 2004; Farkas – Majercak, 2007). A három eltérő kezelésben, négy kiválasztott időpontban mért és szimulált talajnedvesség-profilokat az 1. ábrán mutatjuk be. Megfigyelhető, hogy az eltérő talajművelési rendszerekben mért talajnedvesség-profilok alakja a művelt talajrétegben szignifikánsan különbözik. Ennek oka feltételezhetően az, hogy a feltalaj eltérő szerkezete következtében jelentős különbségek alakulnak ki a párolgási és beszivárgási viszonyok között. A talajnedvesség-tartalom (Θ , $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$) és a 0-80 cm-es réteg összes vízkészlete (TSW, mm) szimulált értékeinek standard hibáit (SD) a 3. táblázatban tüntettük fel. A legjobb illesztést a legkisebb talajbolygatással járó direktvetéses kezelésre (DV) kaptuk. Összességében megállapítható, hogy a mért és a szimulált értékek jó egyezést mutattak, ami arra enged következtetni, hogy a talajvízmérleg-elemeket (párolgás, evapotranszpiráció, növényi vízfogyasztás, mélyebb rétegekbe történő elszívargás stb.) megfelelő pontossággal tudtuk becsülni a talaj felső 80 cm-es rétegére. Az egyes talajrétegek közötti vízeloszlás számítása azonban nem volt mindig pontos a teljes szimulációs periódus alatt. Ez arra enged következtetni, hogy a talajszelvény mélység szerinti felbontását tovább kell finomítani és lehetőség szerint minél pontosabban össze kell hangolni az egyes kezelések művelési mélységével.

A referencia időszak és a két klímaszcenárió éves csapadékösszegeinek (ΣP) és átlaghőmérsékletének (T) eloszlásfüggvénye alapján kiválasztott, a jellemző gyakoriságú

1. ábra



DV – direktvetés; SZ – szántás; K2 – kultivátoros kezelés; Θ ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) – talajnedvesség-tartalom

A mért és szimulált talajnedvesség-profilok három eltérő talajművelési rendszerben, három kiválasztott időpontban (Hatvan, 2003)

3. táblázat

A talajnedvesség-tartalom és a talajban tárolt összes vízkészlet mért és szimulált értékei, valamint négyzetes hibája

Kezelés	Talajréteg cm	Θ_{SIM} $m^3 m^{-3}$	Θ_M $m^3 m^{-3}$	SE $m^3 m^{-3}$	TSW_{SIM} mm	TSW_M mm	SE mm
DV	0-80				210,88	219,19	12,82
	0-20	0,227	0,244	0,035			
	20-50	0,261	0,281	0,035			
	50-80	0,292	0,286	0,017			
SZ	0-80				227,21	206,49	14,45
	0-20	0,224	0,233	0,046			
	20-50	0,281	0,253	0,040			
	50-80	0,325	0,314	0,120			
K2	0-80				206,50	212,28	13,13
	0-20	0,229	0,195	0,051			
	20-50	0,277	0,249	0,040			
	50-80	0,301	0,300	0,013			

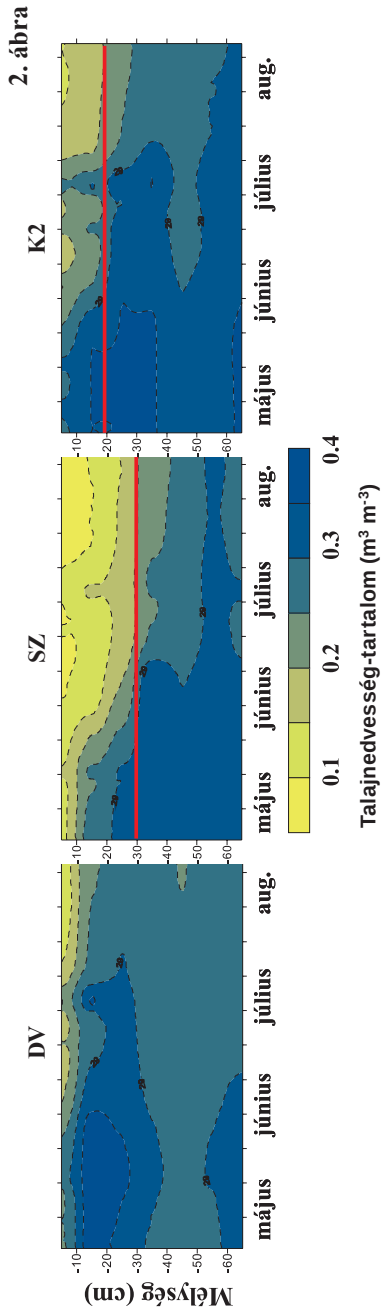
Θ_{SIM} – a szimulált talajnedvességtartalom-értékek átlaga; Θ_M – a mért talajnedvességtartalom-értékek átlaga; SE – a szimulált értékek standard hibája; TSW_{SIM} – a talaj felső 80 cm-es rétegében tárolt összes vízkészlet szimulált értékeinek átlaga; TSW_M – a talaj felső 80 cm-es rétegében tárolt összes vízkészlet mért értékeinek átlaga; DV – direktvetés; SZ – szántás; K2 – kultivátoros kezelés

4. táblázat

Az átlaghőmérséklet (T) és csapadékösszeg (SP) átlagértékei, variációs koefficiensei (CV) és a modellfuttatások során használt referencia értékei a 30 éves adatsorok statisztikai elemzése alapján

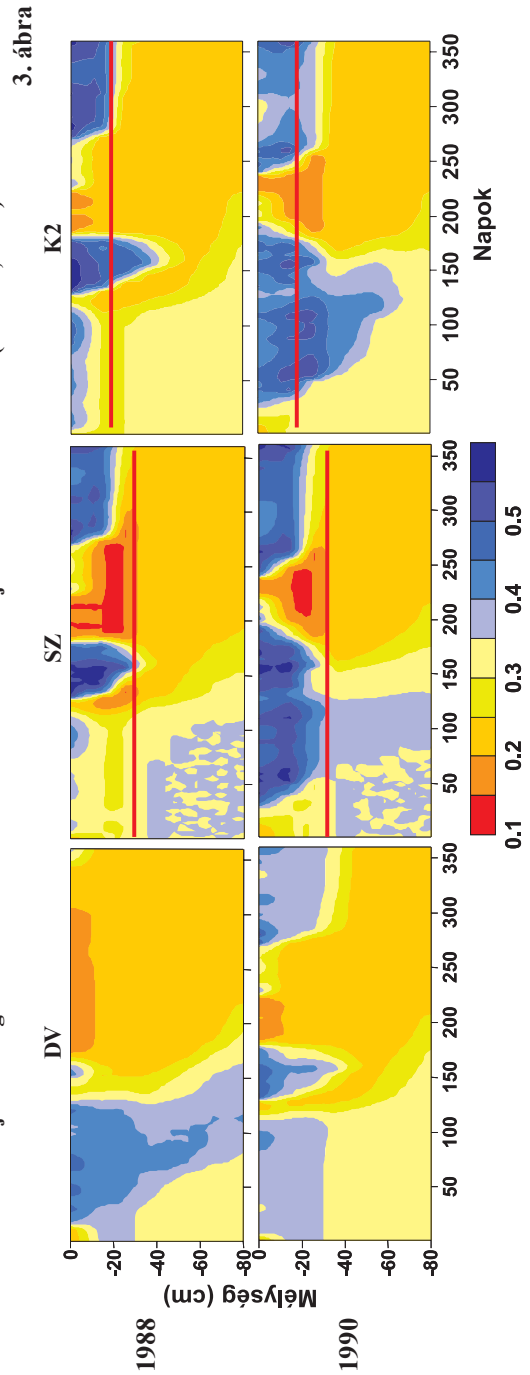
	Referencia időszak		Klímaszenáriók			
	REF (1961–1990)		A2 (2071–2100)		B2 (2071–2100)	
	T (°C)	ΣP (mm)	T (°C)	ΣP (mm)	T (°C)	ΣP (mm)
A 30 éves adatsorok statisztikai jellemzői						
Átlag	11,8	466,1	16,8	396,5	15,7	395,8
CV (%)	0,4	21,2	0,4	21,1	0,4	29,9
A szenáriók összehasonlítása során használt referencia évek jellemzői (3. és 4. ábra)						
RF ≈ 0,0	13,3	233	17,4	183	13,6	183
RF ≈ 0,5	12,6	483	17,5	376	15,7	390
RF ≈ 1,0	9,7	584	14,5	520	13,3	597
Az eltérő kezelések összehasonlítása során használt referencia évek jellemzői (2. ábra)						
RF ≈ 0,10 (1988)	9,2	239				
RF ≈ 0,55 (1990)	10,9	488				
RF ≈ 1,00 (1961)	11,8	584				

T – éves átlaghőmérséklet; ΣP – éves csapadékösszeg; CV – variációs koefficiens; RF – a T és a ΣP eloszlásfüggvényéről leolvasott relatív gyakoriság (RF)



DV – direktvetés; SZ – szántás; K2 – kultivátoros kezelés

A talajnedvesség-tartalom mért értékei három eltérő talajművelési rendszerben (Hatvan, 2003)



Talajnedvesség-tartalom ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)

DV – direktvetés; SZ – szántás; K2 – kultivátoros kezelés; a művelés maximális mélységét piros vonallal jelöltük

A referencia időszak (REF) egy száraz (1988) és egy csapadékos (1990) évre szimulált talajnedvesség-dinamika három eltérő talajművelési rendszerben

(RF = 0,0; 0,5 és 1,0) csapadékösszegeknek és átlaghőmérsékleteknek megfelelő referencia évek meteorológiai jellemzőit a 4. táblázat szemlélteti. Látható, hogy az A2 és B2 szcenárió között a ΣP tekintetében nem volt számottevő eltérés. Az évszázad végére mindkét szcenárió a klíma szárazodását prognosztizálja a vizsgált termőhelyre, és éves szinten átlagosan 70 mm csapadékkieséssel számol. Az A2, illetve B2 szcenárió forgatókönyve szerint az évi átlaghőmérséklet 5, illetve 4 °C-kal fog megnőni.

Azonban míg az A2 szcenárió alapján a ΣP és a T eloszlásfüggvényei egyszerűen eltolódnak az x tengely mentén a melegebb és szárazabb klíma irányába, addig a B2 szcenárió az extrém időjárási helyzetek gyakoriságának jelentős növekedésével számol.

A jelenlegi klímaviszonyokat jellemző referencia időszak egy száraz (1988) és egy nedves (1990) évére a DV, SZ és K2 kezelésekre szimulált talajnedvesség-dinamikát a 2. ábra szemlélteti. Jelentős különbségek figyelhetők meg az eltérő talajművelési rendszerek talajnedvesség-forgalmai között, melyek a különböző művelési rendszereknek a talaj szerkezetére és a talajhidrológiai függvényeire gyakorolt hatásának különbségeit tükrözik. A mintaterületen kiépített talajnedvesség-tartalom monitoring-rendszer kapacitív szondái által a vizsgált kezelésekből regisztrált talajnedvesség-dinamikák hasonló eltéréseket mutatnak az egyes kezelések között (3. ábra). A fentiek alapján elmondható, hogy mérési eredmények alátámasztották a modellfuttatások eredményeinek hitelességét. A talajnedvesség-profilok a vegetációs időszak alatt viszonylag szárazabb állapotokat mutató direktvetéssel kezelésben voltak a legkiegyenlítettebbek. A szántásos kezelésben jól megfigyelhető volt az eketalp hatása. Látható, hogy ez a vékony tömődött talajréteg gátolta a víz beszívódását a mélyebb talajrétegekbe és megnövelte a párolgási veszteségeket, szélsőségesen száraz körülményeket teremtve a nyári időszakban. A kultivátoros kezelésben a csapadékvíz szabadon be tudott szivárogni a művelés alatti talajrétegekbe a

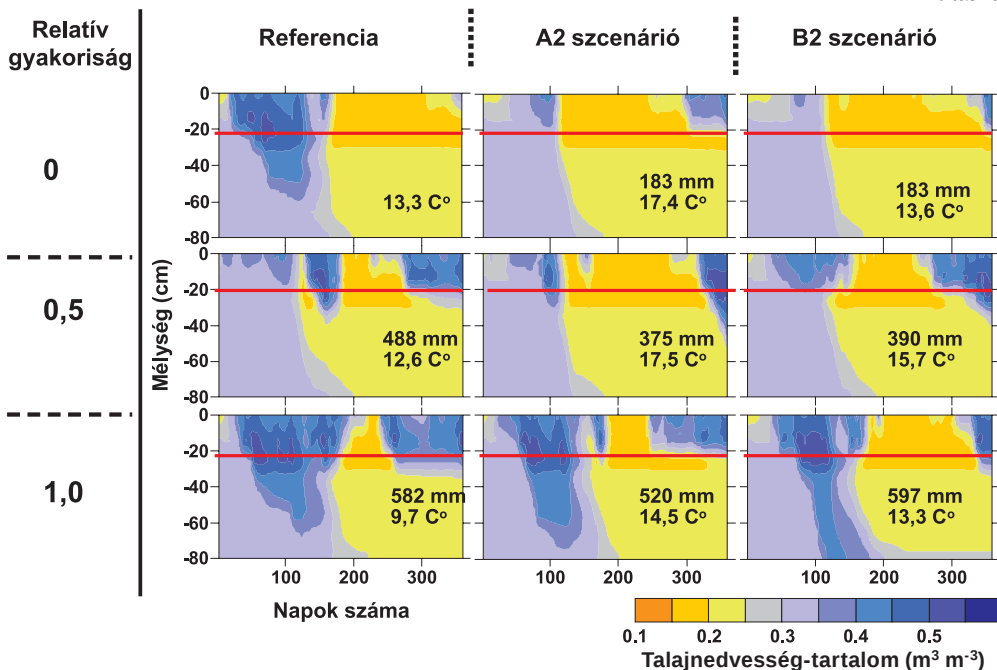
vegetációs időszak elején, értékes víztartalékok képezve ezáltal a szárazabb időszakokra.

A referencia időszak egy-egy száraz, illetve csapadékos évére szimulált talajnedvesség-dinamikák jelentős variabilitást mutatnak mind a talajnedvesség-értékekben, mind pedig a szélsőségesen száraz periódusok hosszában (3. ábra).

A K2 kezelésben az A2 és a B2 szcenáriók, valamint a referencia időszak reprezentatív éveire szimulált talajnedvesség-dinamikákat a 4. ábra szemlélteti. Jelentős eltérések figyelhetők meg a különböző szcenáriók eltérő relatív gyakoriságú éveire becsült talajnedvesség-értékek között. Eredményeink arra engednek következtetni, hogy az évszázad végére a jelenlegieknél hosszabb és nagyobb vízhiánnyal járó aszályok kialakulására kell számítani. Megfigyelhető, hogy az A2 és B2 klímaszcenáriók átlagos (RF = 0,5) éveiben a csapadékvíz nem tudott beszivárogni a felső 20 cm-es réteg alá, ezért az altalaj száraz maradt. Ez ismételten felhívja a figyelmet az olyan talajkímélő és nedveségmegőrző talajművelési rendszerekre, melyek megkönnyítik a víz elraktározódását az aszályos időszakokra az őszi és téli csapadék mélyebb rétegekbe történő beszivárgásának elősegítése és a párolgási veszteségek csökkentése révén.

A szélsőségesen nedves évekre (RF $\approx$ 1) becsült talajnedvesség-dinamikák tanulmányozása során (4. ábra alsó három képe) megállapítottuk, hogy az egyenetlen csapadékeloszlás és a magas léghőmérséklet kedvezőtlen hatásait sem az összességében nagyobb csapadék mennyisége, sem pedig a nedveségmegőrző talajművelési eljárások alkalmazása nem tudta kompenzálni. Így például annak ellenére, hogy a referencia időszakban (REF) az 1-es értékhez közeli relatív gyakoriságú év csapadékösszege (583 mm) kisebb volt, mint a B2 szcenárió esetében (597 mm), az erre a két évre szimulált talajnedvesség-dinamika merőben eltérő képet mutatott. Az aszályos időszak lényegesen hosszabb a B2 szcenárió esetében, mint a referencia időszakban. Ennek oka az, hogy a B2 szcenárió szélsősé-

4. ábra



Magyarázat: Az ábrákon az éves átlaghőmérsékletet (T) és csapadékösszeget (ΣP) tüntettük fel; a művelés maximális mélységét piros vonallal jelöltük

Az A2 és a B2 Szenáriók és a referencia időszak (REF) három különböző relatív gyakoriságú (RF) csapadékösszeeggel (ΣP) jellemezhető évére szimulált talajnedvesség-dinamika a kultivátoros kezelés (K2) esetében

séges csapadékeloszlása következtében nagy mennyiségű és intenzitású csapadék érkezik a talajfelszínre a tavaszi időszakban, azonban a megnövekedett felszíni elfolyás miatt ennek csak kisebb hányada raktározódik el a talajban. A nyári időszak ugyanakkor szélsőségesen száraz, emiatt a talajba nem érkezik csapadék-utánpótlás.

Mindhárom Szenárió esetében a direktvetéses kezelésben volt a legkiegyenlítettebb a talajnedvesség-forgalom (5. táblázat). A csapadék akadálytalanul be tudott szivárogni a talaj mélyebb rétegeibe is, ezáltal kiegyenlítettebb nedvességeloszlás jött létre átlagosan valamivel kisebb talajnedvesség-értékekkel, mint az SZ és a K2 kezelésben. A száraz időszakokban a direktvetésben a talaj nem szá-

radt ki annyira, mint a szántásos és kultivátoros kezeléseknél, azonban ez nem feltétlenül jelenti azt, hogy a növények számára mindig a DV biztosította a legkedvezőbb nedvesség-állapotokat. A direktvetésben ugyanis magasabb volt a hervadáspont (HVP) értéke ($0,20 \text{ m}^3 \text{m}^{-3}$), mint a szántásos, illetve kultivátoros kezeléseknél (1. táblázat), ami arra enged következtetni, hogy a direktvetés talaja azért maradt viszonylag nedves a száraz időszakokban, mert itt a növényzet kevesebb vizet tudott felvenni, mint a szántásos és kultivátoros kezeléseknél. A fentiek alapján valószínűsíthető, hogy a növényzet vízfogyasztása az SZ és K2 kezeléseknél hatékonyabb volt. A szántásos kezelésre becsült talajnedvesség-dinamikák azonban jól tükrözik az eke-

5. táblázat

Az eltérő talajművelési rendszerekben az A2 scenárió felhasználásával szimulált talajnedvesség-tartalom ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) értékek minimum, maximum és átlagértékei

	Talajréteg								
	0,0–0,2 m			0,2–0,4 m			0,4–0,8 m		
	Talajművelési rendszer								
	DV	SZ	K2	DV	SZ	K2	DV	SZ	K2
	RF 0,0 ΣP=183 mm								
Min.	0,19	0,15	0,16	0,24	0,20	0,23	0,24	0,20	0,23
Max.	0,44	0,50	0,48	0,34	0,31	0,35	0,34	0,35	0,34
Átlag	0,26	0,27	0,27	0,27	0,23	0,26	0,28	0,28	0,27
	RF 0,5 ΣP=375 mm								
Min.	0,18	0,15	0,17	0,24	0,20	0,22	0,24	0,20	0,22
Max.	0,44	0,52	0,49	0,45	0,38	0,45	0,38	0,32	0,33
Átlag	0,28	0,27	0,27	0,29	0,24	0,26	0,28	0,24	0,26
	RF 1,0 ΣP=520 mm								
Min.	0,18	0,15	0,16	0,24	0,21	0,23	0,24	0,20	0,23
Max.	0,44	0,52	0,49	0,44	0,41	0,42	0,42	0,37	0,42
Átlag	0,32	0,32	0,33	0,30	0,26	0,29	0,30	0,28	0,30

DV – direktvetés; SZ – szántás; K2 – kultivátoros kezelés; ΣP – éves csapadékösszeg; RF – a ΣP eloszlásfüggvényéről leolvasott relatív gyakoriság (RF)

talp kedvezőtlen hatásait. Ez a vékony, tömör réteg megakadályozta a víz beszívargását a 20 cm alatti talajrétegekbe, ezáltal szélsőségesen nedves, illetve száraz talajállapotokat teremtve a csapadékos, illetve aszályos időszakokban. A csapadékvíz felsőbb talajrétegekben történő időszakos pangása feltételezhetően megnövelte a párolgási veszteségeket a szántásos kezelésben.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatásokat az OTKA (62436 és 048302), a MEH-MTA VI. 11. sz. kutatási projektje és az Oktatási Minisztérium (NKFP6-00079/2005) támogatta. A klímaváltozási scenáriókra vonatkozó adatok az EU által létrehozott PRUDENCE Európai Unió EVK2-CT2001-00132 számú projekt adatbázisából származtak.

FORRÁSMUNKÁK JEGYZÉKE

(1) BARTHOLY J. – PONGRÁCZ R. – GELYBÓ GY. (2007): Regional climate change expected in Hungary for 2071-2100. Submitted to Applied Ecology and Environmental Research. (manuscript) (2) BIRKÁS M. – GYURICZA CS. (2004a): Tillage–Climate change–Technology. Szent István Egyetem, MKK Földműveléstani Tanszék, Gödöllő. 177 p. (3) BIRKÁS M. – GYURICZA CS. (2004b): Interrelations between elements of the agro-ecosystem in a soil tillage trial. „AGRO-21” Füzetek, 37:97–110. pp. (4) CSETE L. – VÁRALLYAY GY. (eds.) (2004): Agroecology – Environ-

mental interactions of agro-ecosystems and possibilities of their control. „AGRO-21” Füzetek, 37, 217 p. (5) FARKAS Cs. (2004): Effect of soil tillage on soil properties and soil water regime. In: Birkás M., Gyuricza Cs. (eds.): Soil management – Tillage effects – Soil water. Szent István University, Gödöllő, 61-81. pp. (6) FARKAS Cs. (2007): Extension of the validity of a soil water balance simulation model for intensively tilled soils with time-dependent soil physical properties. HNSF Project Report No. 042996, 15. p. (7) FARKAS Cs. – MAJERÉAK J. (2007): Soil water storage under conventional and soil conserving tillage practices. ISSPA Conference, Budapest, June 2007, (Conference Abstract) (8) FARKAS Cs. – RANDRIAMAMPINANINA R. – MAJERÉAK J. (2005): Modelling impacts of different climate change scenarios on soil water regime of a Mollisol. Cereal Research Communications, 33:185-188. pp. (9) FLACHNER Zs. – FONYÓ Gy. – KONCSOS L. (2004): Dynamic modelling for water retention based floodplain management at Bodrogek. Hungary. Proc. of the 7th INTERCOL Wetland Conference, 2004. (10) HASKETT J.D. – PACHEPSKY Y.A. – ACOCK B. (2000): Effect of climate and atmospheric change on soybean water stress: a study of Iowa. Ecological Modelling, 135: 265-277. pp. (11) IPCC (2001): Climate Change. Third Assessment Report. Cambridge Univ. Press, New York (12) 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 (Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.) Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996. pp. (13) KOVÁCS G. – DUNKEL Z. (1997): Expectable results of the climate change on the Hungarian arable land. Proc. of the Meteorológiai Tudományos Napok, Nov. 20-21, 1997, Budapest, Hungary: 181-193. pp. (14) KROULÍK M. – HÜLA J. – ŠINDELAR R. – FRANTIŠEK I. (2007): Water infiltration into soil related to the soil tillage intensity. Soil & Water Res., 2: 15–24. pp. (15) LÁNG I. – CSETE L. – HARNOS Zs. (1983): Agro-ecological potential of Hungarian agriculture. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest (16) NAKICENOVIC N. – SWART R. (eds.) (2000): IPCC Special Report on Emissions Scenarios. Cambridge University Press, UK; Available at: <http://www.grida.no/climate/ipcc/emission/index.htm> (17) SIROTENKO O.D. – ABASHINA H.V. – PAVLOVA V.N. (1997): Sensitivity of the Russian agriculture to changes in climate, CO₂ and tropospheric ozone concentration and soil fertility. Climate Change, 36: 217-732. pp. (18) ŠTEKAUEROVÁ V. – NAGY V. – KOTOROVÁ D. (2006): Soil water regime of agricultural field and forest ecosystem. Biologia, Bratislava, vol. 61/Suppl. 19:S300-S304. (19) SZABOLCS I. – VÁRALLYAY Gy. (1978): Limiting factors of soil fertility in Hungary. Agrokémia és Talajtan, 27:181–202. pp. (20) SZÖLLŐSI I. (2003): Relationship between the soil penetration resistance and soil water content, measured on a loamy soil using 3T SYSTEM equipment. Agrokémia és Talajtan, 52,:263-274. pp. (21) TÓTH B. – MAKÓ A. – RAJKAI K. – MARTH P. (2006): Study the estimation possibilities of soil hydraulic conductivity. Cereal Res. Comm. 34: 327–330. pp. (22) VAN DAM J. (2000): Field-scale water flow and solute transport. Ph.D. thesis, Wageningen University, the Netherlands, 167 p. (23) VAN GENUCHTEN M.T.H. (1980): A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soil. Soil Sci. Soc. Am. J., 44: 892-898. pp. (24) VÁRALLYAY Gy. (1973): 1973. A new apparatus for the determination of soil moisture potential in the low suction range. Agrokémia és Talajtan, 22:1-22. pp. (25) VÁRALLYAY Gy. (2000): 2000. Risk assessment and prevention of soil degradation processes in Hungary. In: Cottam, Harvey, Pape and Tait (eds.): Foresight and Precaution, Balkema, Rotterdam: 563–567. pp. (26) VÁRALLYAY Gy. (2004a): Soil as a fundamental medium of agro-ecosystems. „AGRO-21” Füzetek, 37. 33–49. pp. (27) VÁRALLYAY Gy. (2004b): Agro-ecology and water management. „AGRO-21” Füzetek, 37:33–49. pp. (28) VÁRALLYAY Gy. (2005): Water storage of Hungarian soils. Agrokémia és Talajtan, 54:1-8. pp. (29) WÖSTEN J.H. – FINKE P.A. – JANSSEN M.J. (1995): Comparison of class and continuous pedotransfer functions to generate soil hydraulic characteristics. Geoderma, 66:227- 237. pp.