

HOGYAN MÓDOSUL A HAZAI GYÜMÖLCSFÁK TAVASZI ELFAGYÁSA A VÁLTOZÓ ÉGHAJLATI VISZONYOK KÖZÖTT?

Szabó Péter , Bartholy Judit , Pongrácz Rita 

ELTE Eötvös Loránd Tudományegyetem, Földrajz- és Földtudományi Intézet,
Meteorológiai Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/A
e-mail: szabo.p.elte@gmail.com, bartholy.judit@ttk.elte.hu, pongracz.rita@ttk.elte.hu

Bevezetés

Az antropogén globális felmelegedés jelentős hatást gyakorol az ökoszisztémákra, különösen a mezőgazdaságra. Magyarország területének 55%-án mezőgazdasági célú termelés folyik, amelynek mindössze 3%-át teszi ki a nagyobb gazdasági haszonnal bíró szőlő- és gyümölcstermesztés. A gyümölcsfák hozamát és termésminőségét számos tényező befolyásolja, azonban a hazai termés kiesés 80%-a fagykára vezethető vissza. A téli, mélynyugalmi időszakban fellépő, $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ alatti fagyok a globális felmelegedés következtében szinte teljesen megszűntek, viszont a tavaszi virágzás alatti fagyok továbbra is komoly veszélyt jelentenek. Ezek a $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ körüli fagyok a gyümölcsfák legérzékenyebb fenológiai fázisában lépnek fel, és védekezési stratégia hiányában akár 50%-os termésvesztést is okozhatnak (Szabó et al., 2005).

Adatok és módszertan

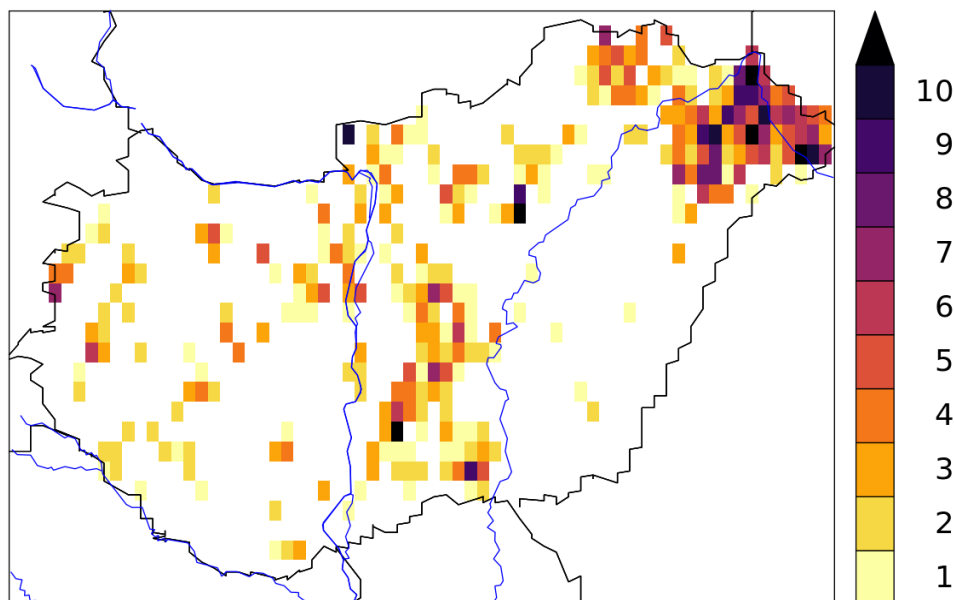
A 2015–2017-es állapotokat tükröző országos ökoszisztéma alaptérkép adatbázisa alapján [1 – természetem.hu], melynek térbeli felbontása 20 m, azonosítottuk a hazai gyümölcsösök elhelyezkedését (anélkül, hogy az egyes fajtákat azonosítani tudnánk). Ezt követően az adatokat összekapcsoltuk a rendelkezésre álló, $0,1^{\circ}$ -os rácsfelbontású meteorológiai változókkal, és csak azokat a ráscellákat tekintettük, melyek területének legalább 1%-át gyümölcsös borítja (1. ábra). A gyümölcsös térségek közel 40%-a Szabolcs-Szatmár-Bereg-ben található, ahol elsősorban az almatermesztés dominál. További jelentős területek találhatók az Ipoly völgyében és Bács-Kiskun megyében.

A gyümölcsfák a 2003–2022-es KSH adatok alapján a teljes gyümölcstermés 95%-át adják [2 – KSH], így vizsgálataink kizárólag ezekre fókuszáltak. Két évtizede a málna, szamóca és ribiszke is számottevő volt, de mára termesztésük jelentősen visszaszorult. Az alma teszi ki az össztermés 69%-át, ezt követi a meggy (9,2%), a szilva (6,4%), az őszibarack (5,5%), majd a kajszli (3,4%), a körte (3,1%), és a cseresznye (1,3%).

A gyümölcsfák fejlődéséhez, így a virágzáshoz is meghatározott hőösszeg elérése szükséges, amit az alma esetében $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ -os bázishőmérséklettel számoltunk (Sepsi, 2016). Ehhez háromféle számítást is teszteltünk, de a klímodellek hibáinak csökkentése végett az egyváltozós számítást tekintettük ($\sum(T_{\text{átlag}} - 5)$, amikor $T_{\text{átlag}} > 5\text{ }^{\circ}\text{C}$) – mely egyébként a legalacsonyabb átlaggal és szórással is bírt a további számítások során. Az alma 2007–2011 közöttre és 60 fajtára megadott fenológiai megfigyeléseiből (Király, 2013) megadtuk a virágzások kezdetét, végét és időtartamát: az egyes fajták legalább 4, legfeljebb 15 napig virágoztak. Majd az így kapott legalacsonyabb ($185\text{ }^{\circ}\text{C}$) és legmagasabb ($310\text{ }^{\circ}\text{C}$) kezdeti hőösszeg közötti időszakban, továbbá az azutáni 15 napon belül fellépő fagyos napok számát ($T_{\text{min}} < 0\text{ }^{\circ}\text{C}$) összegeztük évente.

A többi gyümölcs esetében is az $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ -os bázishőmérsékletet tekintettük, és ebből számoltuk a 100 és $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ közötti, $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ -os lépésekben meghatározott hőösszeg elérése utáni 20 napon belül fellépő fagyos napok számát, majd a 2003–2022-es termésátlag adatokkal korreláltattuk.

Megállapítottuk azt a küszöböt, ahol a legerősebb kapcsolat áll fenn az egyes gyümölcsök termésátlagaival, amely statisztikailag is szignifikáns (a korrelációs együttható nagysága legalább -0,45). Eredményeink szerint a kajszi, az őszibarack, a szilva és a cseresznye esetében a 110 °C hőösszeg adódott a legmegfelelőbb küszöbértéknek. A körte és a meggy esetében külön-külön ugyan nem találtunk szignifikáns kapcsolatot, azonban a többi gyümölcsfajjal együtt vizsgálva a fagyos napok száma és a termésátlag között szignifikánsan korreláló kapcsolatnak bizonyultak.



1. ábra: A hazai gyümölcsösök területi aránya [%-ban] a 0,1°-os felbontású rácscellákban.

Az 1971-től elérhető, megfigyelt napi minimum-, maximum- és átlaghőmérsékleti adatokat a HuCLIM adatbázisból nyertük, amelyet a HungaroMet állított össze. Az adatbázis a hazai meteorológiai állomások mérési idősorait homogenizálja, majd 0,1°-os rácshálóra interpolálja [3 – odp].

A globális klímamodellek (GCM) képesek az éghajlati rendszer és a fizikai folyamatok átfogó leírására, azonban hazánk éghajlatának elemzéséhez regionális klímamodellekre (RCM) van szükség, melyek finomabb térbeli felbontással és pontosabb légköri folyamatleírással rendelkeznek. Az RCM-ek historikus szimulációit 2005-ig elemeztük, míg a jövőre, 2006-tól 2100-ig, három egymástól jelentősen eltérő forgatókönyvet vizsgáltunk (van Vuuren et al., 2011): (1) RCP2.6: azonnali kibocsátáscsökkentést feltételez, a párizsi klímacélok teljesítésével, és a globális felmelegedés 2 °C alatt tartását célozza; (2) RCP4.5: mérsékelt forgatókönyv, amely 2040-től kezdi az antropogén kibocsátások csökkentését; (3) RCP8.5: pesszimista forgatókönyv, amely az üvegházhatású gázok kibocsátásának további növekedésével számol. Elemzésünk az Euro-CORDEX együttműködés keretében (Kotlarski et al., 2014) Európára 10 km-es rácsfelbontással futtatott, forgatókönyvenként hat-hat RCM-szimuláción alapul (1. táblázat), melyek a hőmérséklet vonatkozásában jól reprezentálják a modellek közötti és az emberi tevékenységből eredő bizonytalanságot hazánkra (Szabó & Szépszó, 2016).

Az éghajlati szimulációk a változóktól függően eltérő nagyságú hibákkal terheltek, illetve a szimulációk megbízhatósága nagymértékben függ attól, hogy melyik megfigyelési adatbázist használunk referenciaként (Kotlarski et al., 2019). A jövőbeli eredmények bemutatásakor általában a változásokra koncentrálnak, vagy a nyers adatokra hibakorrekciós módszereket

alkalmazunk az utófeldolgozás során. Jelen elemzésben a jövőre vonatkozó eredményeket az ún. relatív delta módszerrel korrigáltuk:

$$\text{KORRIGÁLT}_{2061-2100} = \frac{\text{MODELL}_{2061-2100}}{\text{MODELL}_{1981-2020}} \cdot \text{MEGFIGYELÉS}_{1981-2020}, \quad (1)$$

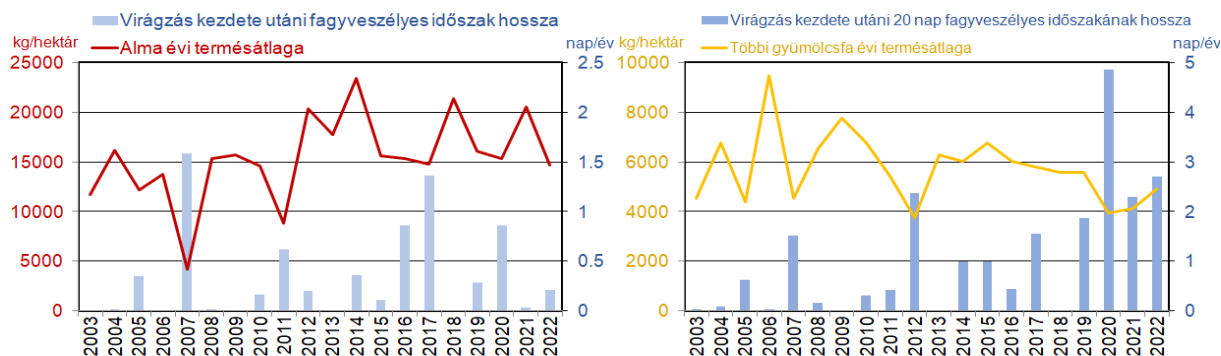
majd az 1971–2022-re elvégzett validáció alapján négy modell átlagára mutatjuk be (a CCLM4-8-17 és a HIRHAM5 modellszimuláció eredményeit elhagytuk azok megfigyelésnél jóval alacsonyabb átlag- és szórásértékei miatt).

1. táblázat: A felhasznált regionális (RCM) szimulációk az azokat meghajtó globális modellekkel (GCM) együtt.

RCM\GCM	CNRM-CM5	EC-EARTH	NorESM1-M
ALADIN63	x		
CCLM4-8-17		x	
HIRHAM5		x	
RACMO22E	x		
RCA4			x
REMO2015			x

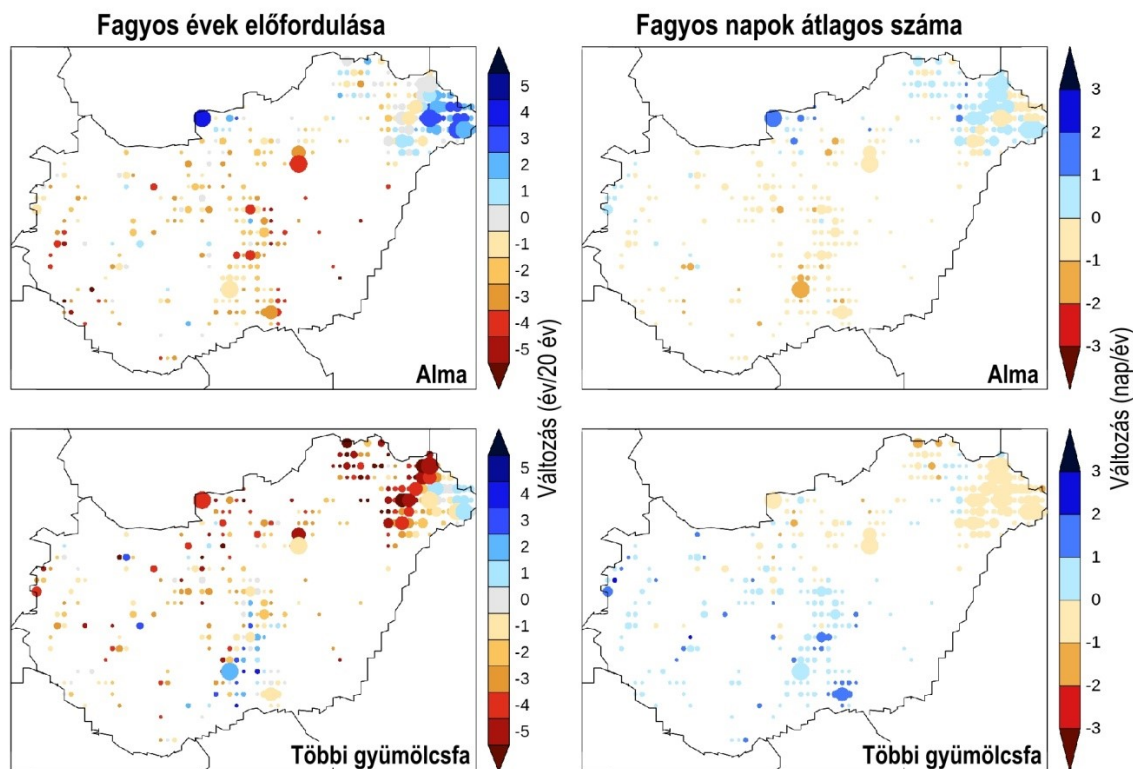
Eredmények: a múltban detektált és a jövőben várható változások

A 2. ábrán az almafa virágzási időszakában előforduló fagyok gyakorisága és a terméshozam közötti kapcsolat látható. A legtöbb fagy 2007-ben történt, amely az elmúlt 20 év legkisebb almahozamát is eredményezte, míg egyes években ennél akár négyszer nagyobb hozam is előfordulhatott. A teljes vizsgált időszakra jellemző negatív korreláció -0,5-ös értéket mutat. A többi gyümölcsfaj (meggy, szilva, őszibarack, kajszi, körte, cseresznye) esetében az alma virágzásánál korábbi időszakot vettünk figyelembe, amikor a fagyok visszatérő jelenléte nagyobb valószínűséggel okoz károkat. Például 2012-ben a fagyok több napon át érintették a gyümölcsösöket rekord alacsony hozamot eredményezve. Emellett a 2020–2022 időszak hűvös tavaszai szintén jelentős terméseszkökenést okoztak ezeknél a gyümölcsöknél. Erősebb, -0,6-os átlagos korrelációt kaptunk a termésátlag és a fagyos napok száma között, de a korán virágzó kajszi és őszibarack esetében -0,7-eset is.



2. ábra: Az alma és a többi gyümölcsfa hazai termésátlaga 2003–2022 folyamán, illetve a virágzás kezdetétől összegzett fagyos napok száma.

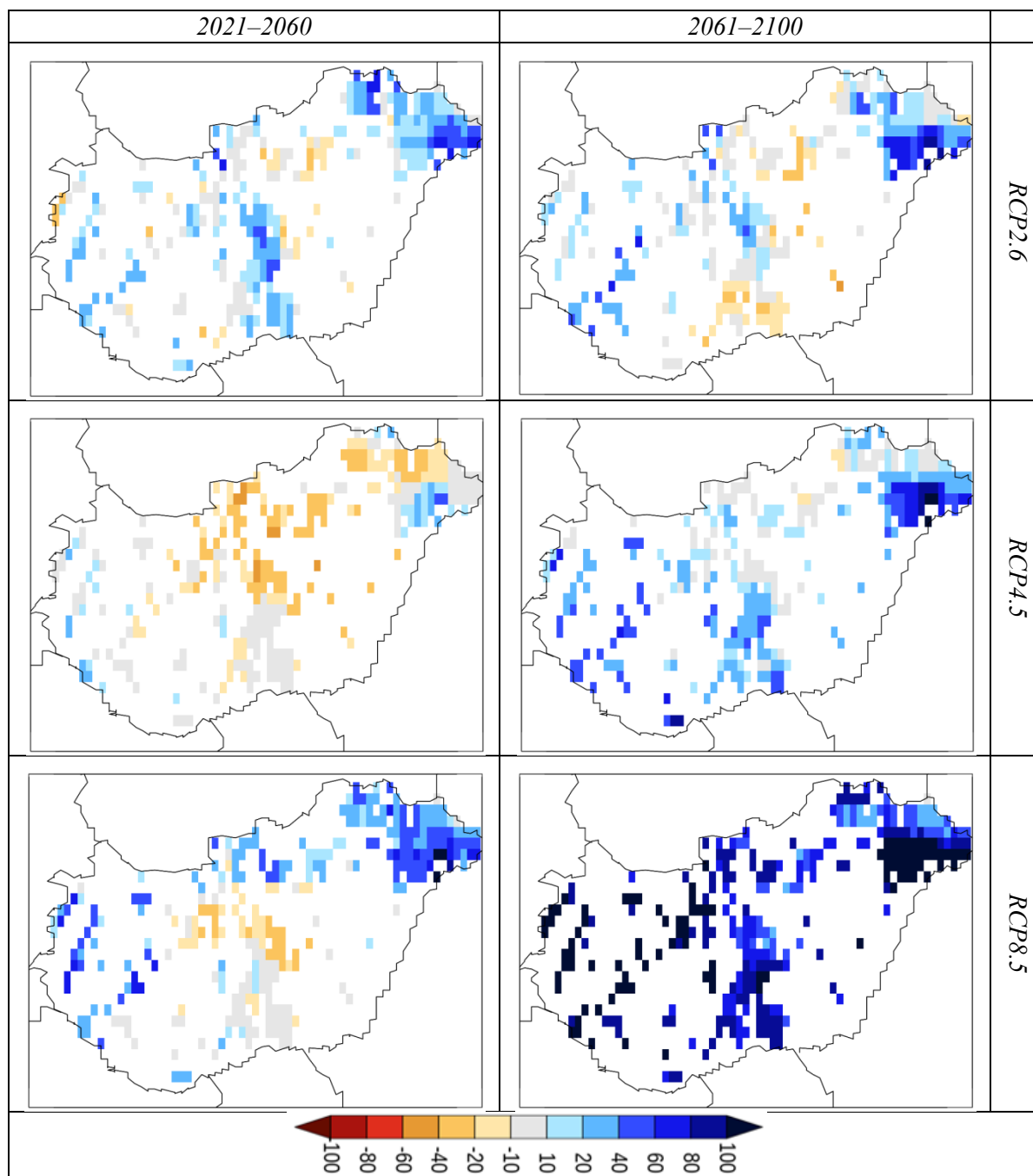
A 3. ábra szemlélteti a 2003–2022 és az 1971–1990 közötti változásokat: 20 év alatt hány évben fordult elő fagy a virágzás alatt, valamint ezekben az években átlagosan hány fagyos nap volt. Az almafák esetében a fagyos évek gyakorisága a legtöbb cellában csökkent, de az Ipoly völgyében és Északkelet-Magyarországon növekedett. A többi gyümölcsfa esetében az ország nagy részén szintén csökkenés figyelhető meg, míg a Kiskunság déli részén enyhe növekedés volt. Az átlagos fagyos napok száma az almánál gyengén csökkent, főként az ország középső részein, de a fagyzugos területeken (pl. Ipoly völgye, északkeleti országrész) enyhén nőtt. A többi gyümölcsfánál viszont a potenciális fagykárok által érintett napok száma inkább növekedett a Duna-Tisza közén és a Dunántúlon.



3. ábra: Az alma és a többi gyümölcsfa virágzása idején előforduló fagyos évek gyakoriságának változása 1971–1990-ról 2003–2022-re, illetve az ilyen években a fagyos napok átlagos számának változása. A körök nagysága a cellán belüli gyümölcsös terület nagyságával arányos.

A jövőbeni tavaszi fagyok gyakoriságának változása a vegetációs időszak előre tolódásával összefüggésben vizsgálható, hiszen bár a fagyok gyakorisága csökken, a korábbra tolódó virágzás miatt ezek együttes hatása továbbra is kérdéses [4 – masfelfok.hu]. A 4. ábra azt mutatja, hogy az almafa virágzása idején fellépő fagyveszélyes évek gyakorisága a jelenlegi termőterületeken a század közepéig csak mérsékelten fog változni: egyaránt valószínű a gyakoriság csökkenése és növekedése is. A század második felére (2061–2100-ra) vonatkozó eredmények azt jelzik, hogy Északkelet-Magyarországon, ahol az almatermesztés jelenleg legnagyobb területe található, minden forgatókönyv alapján növekvő fagyveszély várható. Például az RCP8.5 forgatókönyv esetén a fagyveszélyes évek gyakorisága akár a jelenlegi duplájára is nőhet a század végére, leginkább a Dunántúlon és a Nyírség déli részén. Az RCP2.6 szerint azonban sokkal kisebb mértékű gyakoriságnövekedés várható a jelenlegihez képest, sőt Heves és Bács-Kiskun megyében inkább kevesebb fagyos év várható a virágzás időszakában. A többi gyümölcsfára is ugyanezen tendenciákat valószínűsíthetjük, de jóval kisebb mértékű

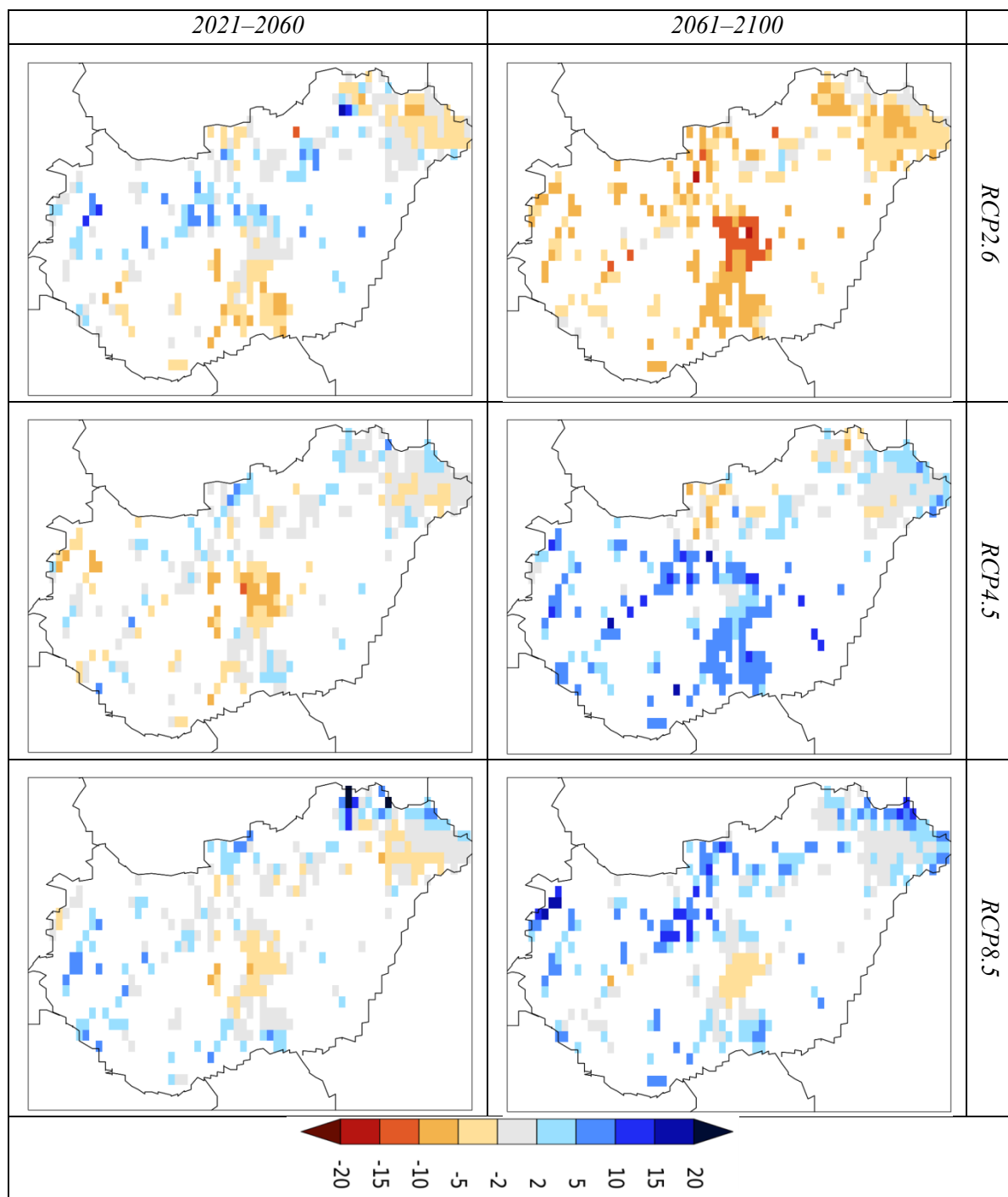
gyakoriságnövekedéssel – ennek oka, hogy az almához képest alacsonyabb hőösszeg küszöböt alkalmaztunk.



4. ábra: Az almafa virágzása idején előforduló fagyos évek gyakoriságának várható változása [%] a három forgatókönyv szerint 2021–2060-ra és 2061–2100-ra az 1981–2020 referencia időszakhoz viszonyítva 4-4 regionális modellszimuláció átlaga alapján.

Az 5. ábra alapján a többi gyümölcsfa virágzása idején a fagyos években tapasztalható fagyos napok száma a jelenlegi gyümölcsös területeken a század közepéig (2021–2060) nem mutat jelentős különbséget a forgatókönyvek között; mind kisebb csökkenés, mind növekedés lehetséges. A század második felére vonatkozó eredmények szerint az RCP2.6 forgatókönyv esetében a fagyos napok száma jelentősen csökkenhet, különösen a Duna-Tisza közén. Ezzel szemben az RCP4.5 és az RCP8.5 forgatókönyv azt mutatja, hogy a fagyos években a fagyos

napok száma növekedni fog. A nagyobb globális felmelegedés tehát nemcsak a fagyos évek gyakoriságát növeli, hanem ezen években a fagyos napok számát is. Az alma esetében a szimulációk kisebb változásokat jeleznek, vagyis itt inkább a fagyos évek gyakorisága, nem pedig a fagyos napok száma növekedhet – különösen az RCP8.5 forgatókönyv szerint.



5. ábra: A többi gyümölcsfa virágzása idején a fagyos években a fagyos napok számának változása [nap/10 év] a három forgatókönyv szerint 2021–2060-ra és 2061–2100-ra az 1981–2020 referencia időszakhoz viszonyítva 4-4 regionális modellszimuláció átlaga alapján.

Összefoglalás

A hazai gyümölcstermés csökkenéséért mára leginkább a tavaszi fagyok a felelősek. Ennek oka, hogy bár a fagyos napok száma itthon is mérséklődik, a vegetációs időszak és így a virágzás korábbra tolódása miatt a tavaszi fagyok továbbra is súlyos károkat okozhatnak. Az alkalmazkodási stratégiák (pl. fagyűrő fajták, más termőterület választása) mellett elengedhetetlen a kibocsátások csökkentése. Az elemzett jövőbeli forgatókönyvek szerint a párizsi klímacélok teljesítése esetén a század második felében csökkenhet a fagyveszély, míg elmaradásuk jelentősen növekvő fagykárokat eredményezhet.

Köszönetnyilvánítás

A kutatás megvalósításához hozzájárult a European Climate Foundation (G-2309-66801), a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alap (K-129162), valamint az Éghajlatváltozás Nemzeti Multidiszciplináris Laboratórium (RRF-2.3.1-21-2022-00014). Az elemzések technikai háttérét részben az IS-ENES 3 Analysis Platforms bk1088 tette lehetővé.

Hivatkozások

- Király, I., 2013: Kárpát-medencei almafajták jellemzése pomológiai vizsgálatokkal és mikroszatellit alapú molekuláris markerezéssel. Doktori értekezés. Budapesti Corvinus Egyetem, Kertészettudományi Doktori Iskola. 145p. <https://doi.org/10.14267/phd.2013042>
- Kotlarski, S., Keuler, K., Christensen, O.B., Colette, A., Déqué, M., Gobiet, A., ... & Wulfmeyer, V., 2014: Regional climate modeling on European scales: a joint standard evaluation of the EURO-CORDEX RCM ensemble. *Geoscientific Model Development*, 7: 1297–1333, <https://doi.org/10.5194/gmd-7-1297-2014>
- Kotlarski, S., Szabó, P., Herrera, S., Rätty, O., Keuler, K., Soares, P.M., ... & Pianko-Kluczynska, K., 2019: Observational uncertainty and regional climate model evaluation: A pan-European perspective. *International Journal of Climatology*, 39: 3730–3749. <https://doi.org/10.1002/joc.5249>
- Sepsi, P., 2016: A hőmérséklet és a csapadék hatása az alma fenológiai jelenségeire hazai történeti adatsorok alapján. Doktori értekezés. Szent István Egyetem, Kertészettudományi Doktori Iskola. 142p. <https://doi.org/10.14751/SZIE.2016.047>
- Szabó, Z., Nyéki, J., Racskó, J., Lakatos, L., Harsányi, G., Soltész, M., 2005: Téli és tavaszi fagykárok előfordulása és csökkentésének lehetőségei a gyümölcsültetvényekben. „AGRO-21” Füzetek, 45: 64–76.
- Szabó, P., Szépszó, G., 2016: Quantifying Sources of Uncertainty in Temperature and Precipitation Projections over Different Parts of Europe. In: *Mathematical Problems in Meteorological Modelling. Mathematics in Industry* (eds.: Bátkai, A., Csomós, P., Faragó, I., Horányi, A., Szépszó, G.), Springer International Publishing, 207–237. https://doi.org/10.1007/978-3-319-40157-7_12
- van Vuuren D.P., Edmonds J., Thomson A., Riahi K., Kainuma M., Matsui T., ... & Hibbard K.A., 2011: Representative concentration pathways: An overview. *Climatic Change*, 109: 5–31. <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0148-z>

Internetes hivatkozások

- [1 – természetem.hu] <https://www.termeszetem.hu/hu/okoszisztema-szolgalattasok/okoszisztema-alapterkep>
[2 – KSH] https://www.ksh.hu/stadat_files/mez/hu/mez0086.html
[3 – odp] <https://odp.met.hu/>
[4 – masfelfok.hu] <https://masfelfok.hu/2022/05/24/magyarorszag-utolso-tavaszi-fagyok-eltolodnak-klimavaltozas-mezogazdasag-fagykar-vegetacio/>
-

ORCID

Szabó P.  <https://orcid.org/0000-0002-5921-5036>
Bartholy J.  <https://orcid.org/0000-0002-3911-7981>
Pongrácz R.  <https://orcid.org/0000-0001-7591-7989>