

A SZŐLŐTERMESZTÉS HŐMÉRSÉKLETHEZ KÖTHETŐ KLIMATIKUS VISZONYAINAK VÁLTOZÁSA A HAZAI BORVIDÉKEKEN

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 emberi tevékenység okozta globális felmelegedés a földi élet szinte minden területét érinti, hiszen a meteorológiai változók eloszlásai megváltoznak, ezáltal az éghajlati indikátorok intenzitás-tartam-gyakoriság értékei is jelentősen módosulnak. Különösen a hőmérséklethez köthető indikátorok esetében mutatható ki egyértelműen az emberi tevékenység szerepe (azaz pl. a hőhullámok egyre gyakrabban, egyre hosszabban jelentkeznek, és az előforduló hőmérsékletek is egyre magasabbak). A doktori kutatás keretében ebben a tanulmányban arra keressük a választ, hogy a hazánk mezőgazdaságában fontos szerepet játszó szőlőtermesztést az antropogén tevékenység mennyire befolyásolja már jelenleg is, illetve három különböző kibocsátási forgatókönyv esetén mire számíthatunk a jövőben. Ehhez többféle, hőmérséklethez kötődő indikátort választottunk ki, melyek mind a terméshozamot, mind a cukorfokot, savasságot jelentősen befolyásolják. Így tehát a vegetációs időszak alatti hőösszegeket, a tavaszi fagyokat és a forró napokat elemezzük a tanulmányban.

Adatok és módszertan

A szőlő egy melegigényes növény, ugyanakkor több klímaméter is befolyásolja a bor különböző jegyeit. Az egyik legfontosabb, minőséget meghatározó mérőszámmal, a cukorfokkal a hőösszeg erősen összefügg: 0,7 körüli (Navrátilová et al., 2021), azaz magas a korreláció. Ugyanakkor megjegyezzük, hogy hazánkon belül Czigány et al. (2020) a Villányi borvidékre ennél kissé alacsonyabb, 0,6-os értéket határozott meg. Az elemzéseinkhez a hőösszegeből származtatható mérőszámot, nevezetesen egy francia szakember által létrehozott, a 40-50° földrajzi szélességi zónában található borvidékekre (tehát hazánkban is) alkalmazható, ún. Huglin-indexet [1 – Huglin] tekintettük. Ezen index alapján meghatározható, hogy mely szőlőfajtának milyen hőösszeg az ideális. Az így számolt hőösszeg a melegigényes vegetációs időszak alatt megadja a nappali hőviszonyokat a nappalok hosszával korrigálva. A bázishőmérséklet 10 °C, hiszen a szőlő e felett fejlődik, és ugyanígy a 10 °C-os küszöbértéket vesszük figyelembe az évente változó melegigényes vegetációs időszak megadásakor is: akkor indul, amikor legalább 5 napon át $T_{\text{átlag}} > 10\text{ °C}$ az év elejétől, és addig tart, ameddig ugyancsak legalább 5 napon át $T_{\text{átlag}} < 10\text{ °C}$ július 1. után. Az elemzést kiegészítettük még két, a szőlőre negatívan ható tényezővel: a tavaszi fagyokkal és a forró napokkal. A szőlőre szintén negatívan ható egészen extrém hidegeket (amikor $T_{\text{min}} < -21\text{ °C}$) most nem vizsgáltuk, hiszen azok országos átlagban már most is csupán 18 évente egyszer fordulnak elő [2 – masfelfok.hu]. A napi adatokból számított indikátorok definícióit az 1. táblázat foglalja össze.

Az elemzéseket a megfigyelésekkel kezdjük. Az 1971-től elérhető napi minimum-, maximum- és középhőmérsékleti adatokat az ún. HuClim adatbázisból vettük, melyet az Országos Meteorológiai Szolgálat állított elő a lehető legtöbb hazai meteorológiai állomás homogenizálásával és 0,1°-os (közel 10 km-es felbontású) rácsra interpolálásával (az adatok online letölthetők [3 – met.hu]).

1. táblázat: Az elemzéshez kiválasztott indikátorok definíciói és egységei.

Név	Definíció	Egység
Huglin index (HI)	$korr * \sum_{veg.kezdet}^{veg.vége} \frac{T_{\text{átlag}} + T_{\text{max}}}{2} - 10$	°C
	ahol: $korr(lat) = (1,06 * (lat - 40)/10 + 1,02 * (50 - lat)/10)$ lat : földrajzi szélesség (°)	
Tavaszi fagyos napok	$T_{\min} < -1$ °C, veg. kezdetétől júniusig	nap
Forró napok	$T_{\max} > 35$ °C	nap

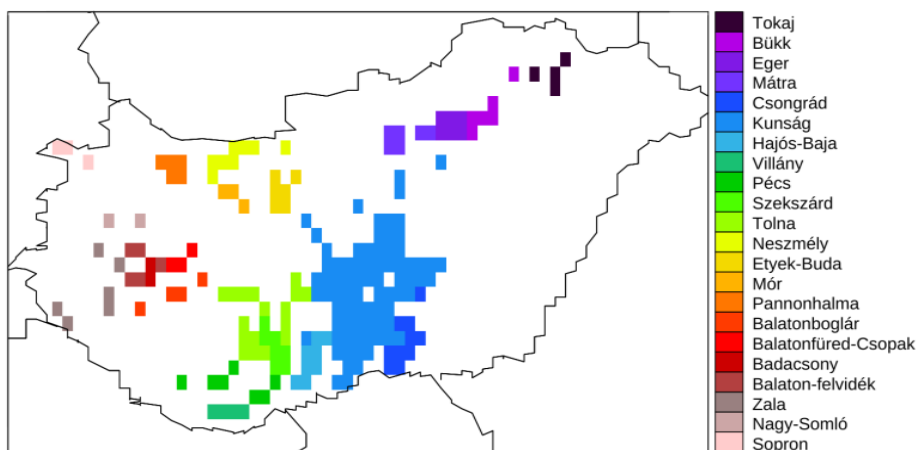
A teljes földi éghajlati rendszert és az azokat meghatározó fizikai folyamatokat globális klímamodellek (GCM) tudják megfelelő módon leírni, ugyanakkor pl. hazánk éghajlatának részletesebb vizsgálatához regionális klímamodellekre (RCM) van szükség, hiszen azok a légköri folyamatokat pontosabban és finomabb térbeli felbontással írják le, mint a globális modellek. A regionális modellek historikus szimulációi nagy számban továbbra is csak 2005-ig állnak rendelkezésünkre. A jövőre vonatkozóan, 2006-tól indítva 2100-ig három hipotetikus üvegházgáz-kibocsátási forgatókönyvet tekintettünk az RCP szcenárió-családból (van Vuuren et al., 2011): az azonnali, 2020 utáni kibocsátáscsökkentést jelentő, optimista RCP2.6-ot, a fosszilis energiafelhasználás leállításával 2040 után számoló RCP4.5-öt, illetve a század végéig töretlen kibocsátással számoló, pesszimista RCP8.5-öt. Az elemzésben használt forgatókönyvekre az Európa egészét 10 km-es rácsfelbontással lefedő, Euro-CORDEX együttműködés keretében futtatott különböző, de ugyanazon hat-hat regionális klímamodell-szimulációt tekintettünk (Kotlarski et al., 2014). Ezen hat különböző RCM-ből és három GCM-mel meghajtott modellegyüttes (2. táblázat) már megfelelően tudja reprezentálni a modellek eltéréséből eredő bizonytalanságot, illetve ezeket háromféle forgatókönyvvel meghajtván az emberi tevékenység jövőbeli alakulásából származó nagyfokú bizonytalanságot is, mely hazánk térségében jelentős a hőmérsékletre (Szabó & Szépszó, 2016).

2. táblázat: Az elemzéshez 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

Az elmúlt évtizedek fejlesztései ellenére az éghajlati szimulációk még ma sem tökéletesek, a meteorológiai változóktól függően kisebb-nagyobb hibával terheltek a megfigyelésekkel szemben. Nem mindegy, hogy milyen megfigyeléshez hasonlítjuk a szimulációinkat (Kotlarski et al., 2019), ezért a hibák javításához a legjobb minőségű megfigyeléseken túl hibakorrektíós módszerre is szükségünk van. A szimulációs eredmények elemzésekor a standardizálás módszerét (Wilby et al., 2004) használtuk, mely az eloszlások szórását és átlagát is figyelembe véve végzi a hibák javítását. A korrekciós referencia-időszak egy megfigyelésekkel közös múltbeli időszakot kell, hogy tekintsen. Ahhoz, hogy a jövőre vonatkozó szimulációkban (2006-tól) a megfigyelésekben detektált trendet és változást megkaphassuk, a HI és a forró napok esetében a 2001–2021 időszakot vettük, míg a tavaszi fagyok esetében az 1971–2005-öt.

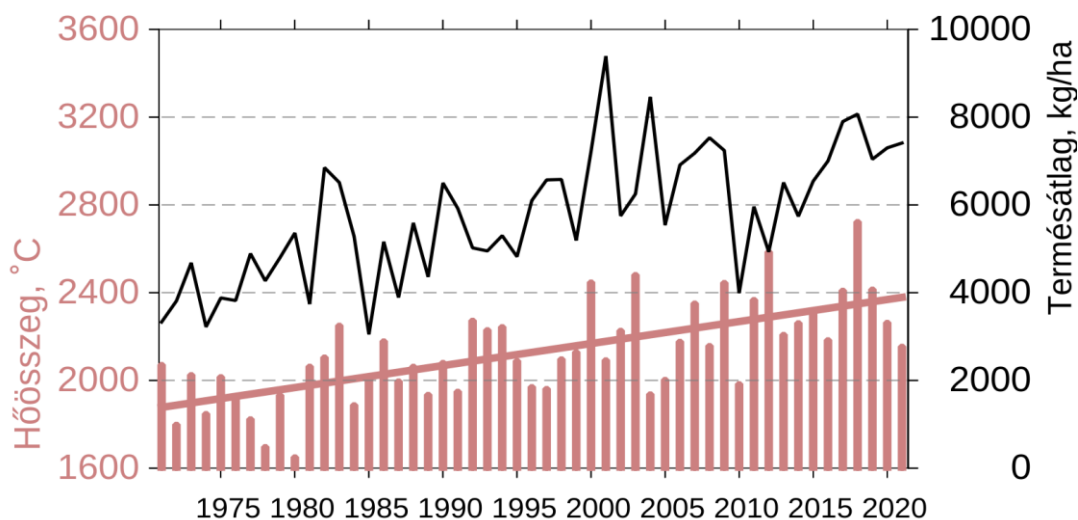
Az elemzéseket nem a teljes országra végeztük el, hanem csak a jelenlegi 22 borvidékre (1. ábra), melyet úgy határoztunk meg raszteres forrásból a 0,1°-os felbontású megfigyelési adatbázis rácshálózatára, hogy azon rácspontokat tekintettük, amelyek a cella 50%-át lefedték. Megvizsgáltuk azt is, hogy a kapott eredmények statisztikailag szignifikánsnak tekinthetők-e, melyhez 0,9-es konfidencia-intervallumot alkalmaztunk. A változásoknál a Welch-tesztet (Welch, 1951), míg a trendvizsgálatnál a klasszikus t-próbát (Student, 1908) használtuk.



1. ábra: A 22 jelenlegi borvidék elnevezése és elhelyezkedése 0,1°-os rácsfelbontáson.

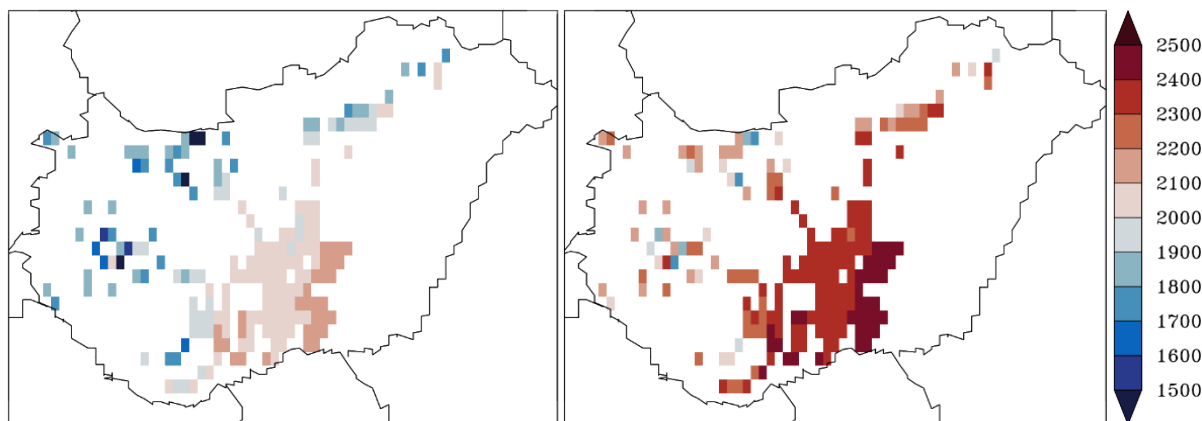
Eredmények

Szőlőt jelenleg 62 ezer hektáron termesztnek, összesen 22 hazai borvidéken: a Kunsági a legnagyobb, míg a Nagy-Somlói a legkisebb borvidék. A 2. ábrán a hazai borvidékek átlagára láthatjuk a hőösszeget és a termésátlagokat. A hőösszegben egy 20-35%-os növekvő trend figyelhető meg 1971 és 2021 között, mely mindenhol statisztikailag is szignifikáns. Ugyanezen időtávon a termésátlagban is egy emelkedő tendencia rajzolódik ki, ám az évről évre való nagy ingadozás mellett – akár hosszabb – növekedési és csökkenési szakaszok is megfigyelhetők. A nagy területi újratelepítések és a borvidékeken kívüli területek kizárása következtében 2001 óta 30%-kal csökkent a művelt terület nagysága, viszont egyértelműen javult a bor minősége. A legutóbbi évtizedben éppen egy emelkedő időszakot látunk, melyen belül a legbőségebb termést 2018-ban szüretelték, s ebben az évben volt a hőösszeg is a legmagasabb. Ugyanakkor ez magával hozta a fehér szőlőnek nem kedvező magas alkoholtartalmat, a közepes savasságot, a túl korai érést és szüretet is (Bucur et al., 2019). Összességében a termésátlag és a hőösszeg között egy szignifikáns, közepes erősségű (0,5-ös korrelációs együtthatójú) kapcsolatot találtunk.



2. ábra: Évi hőösszegek időszora (az illesztett lineáris trenddel) a 22 hazai borvidék átlagára, illetve azok termésátlaga ([4 – KSH], [5 – KSH]) az 1971–2021 időszakban.

Nézzük meg, hogy az egyes hőösszegek a borvidékeken belül hogyan változtak az elmúlt 51 év alatt! A 3. ábra térkép-párján egyértelműen látszik, hogy míg az 1970-80-as években inkább csak az alföldi vidékeken volt 2000 °C körüli a hőösszeg, addig 2002-2021-ben szinte az ország egészén 2000 °C feletti értékeket találunk, de a Csongrádi, Hajós-Bajai és Kunsági vidéken 2300–2400 °C-ot is. A legkisebb (még ott is szignifikáns) változást Tokajban mérhettük, míg a legnagyobbat az észak- és közép-dunántúli régiókban (Pannonhalma, Neszmély, Tolna nyugati fele és Balatonfüred-Csopak). Jelenleg a hazai borvidékek 70%-án fehér borszőlő van, ugyanakkor a fajták közül a kékfrankost művelik a legnagyobb területen. Ez persze nagyban eltér az egyes borvidékeken: míg Tokajban 100%-ban fehér szőlő van, a Móri és Nagy-Somlói vidékeken 90-95%-ban, addig a másik oldalon nagy vörös borszőlő többséggel a Szekszárdi, Villányi és Soproni vidékek állnak 80-85%-os aránnyal. A hőösszegek értelmezését segíti a 3. táblázat, amiben a legfőbb szőlőfajtának ideális hőösszegeket tüntettük fel. Néhány kivétellel a fehér borszőlő az alacsonyabb összegeket kedveli, míg 2000 °C hőösszeg felett inkább vörös fajtákat találunk. Érdeemes elgondolkodni, hogy vajon a globális felmelegedés következtében növekvő hőösszegeknek megfelelő fajtákat termesztene-e az adott borvidéken. A hagyományosan fehérboros osztrák és német területeken is megkezdtek a vörös cabernet és merlot fajták nemesítését – mellyel a híres osztrák zöldveltelini is háttérbe került ([6 – reuters.com]).

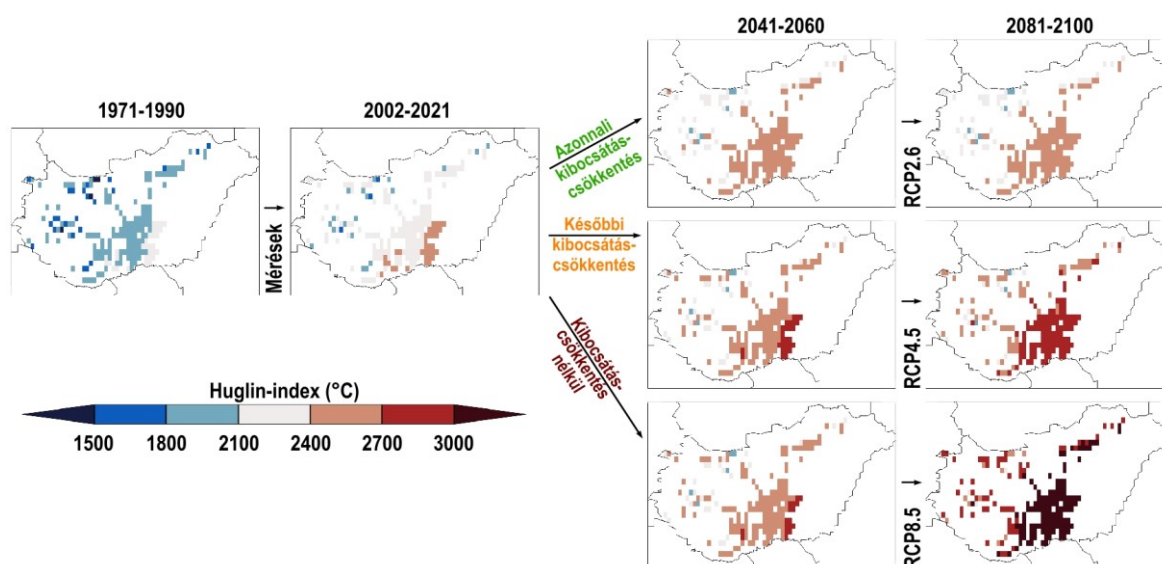


3. ábra: Megfigyelt évi átlagos hőösszegek [°C] a hazai borvidékek felett az 1971–1990 (balra) és a 2002–2021 (jobbra) időszakban.

3. táblázat: Az egyes szőlőfajtáknak ideális hőösszegek
(pirossal: vörös szőlők, feketével: fehér szőlők).

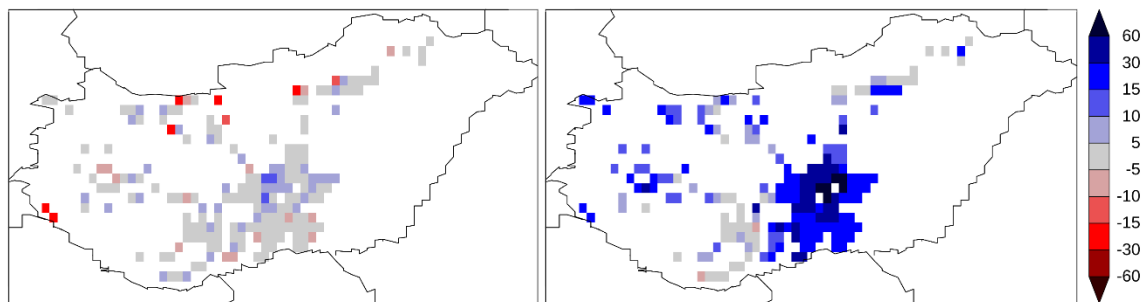
2300-2400	Aramon					
2200-2300	Carignan	Zinfandel				
2100-2200	Cinsaut	Grenache	Syrah	Sangiovese		
2000-2100	Ugni blanc					
1900-2000	Chenin blanc	Welschriesling	Sémillon	Merlot	Cabernet Sauvignon	
1800-1900	Cabernet franc	Blaufränkisch				
1700-1800	Chardonnay	Rhine Riesling	Silvaner	Grüner Veltliner	Sauvignon blanc	Pinot noir
1600-1700	Pinot blanc	Pinot Grigio	Aligoté	Gewürztraminer	Gamay noir	
1500-1600	Müller-Thurgau	Blauer Portugieser				
1400-1500	Irsai Olivér					

A hőösszegek jövőbeli alakulását felosztottuk a nagyon hűvös ($< 1500\text{ }^{\circ}\text{C}$, és gyakorlatilag nem alkalmas szőlőművelésre) és a forró kategóriák közé ($> 3000\text{ }^{\circ}\text{C}$). A 4. ábrán a jelenlegi és múltbeli megfigyelt értékekhez való viszonyításképpen láthatjuk, hogy mi várható a 21. század közepére és végére. Az bizonyos, hogy egy-két évtizeden belül a jelenleg csak az ország középső részén egy kis déli területet elfoglaló meleg kategória a borvidékek legalább felét érinti majd (ez megfelel ma Valencia, Malaga és Masala vidékeinek), illetve a század közepére már kissé jelentkezhet az azonnali kibocsátás-csökkentés hatása is. Több évtized múlva, a 21. század végét vizsgálva még nagyobb különbséget láthatunk az optimista és a pesszimista forgatókönyv között: a borvidékek nagy része a nagyon meleg, míg fele a forró kategóriába kerülhet (mely főleg a nem túl jó trópusi szőlővidékeken fordul most elő). Ha 2040-től megkezdjük az üvegházhatású gázok antropogén kibocsátásnak csökkentését, akkor a borvidékek délkeleti fele a nagyon meleg kategóriába kerül, mely megfelel a délspanyolországi vagy tunéziai borvidékek jelenlegi hőösszegeinek.



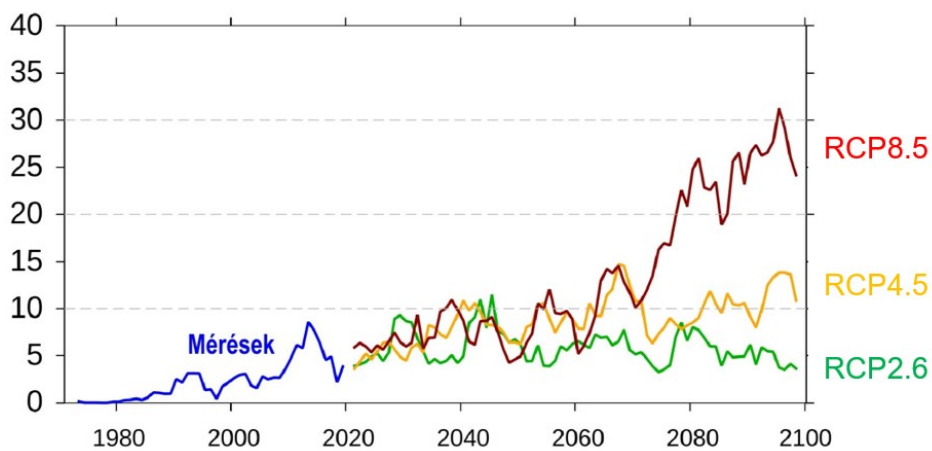
4. ábra: HI megfigyelt értékei 1971–1990-ben és 2002–2021-ben, illetve háromféle jövőbeli forgatókönyvet figyelembe vevő 6-6 regionális modellszimuláció átlaga alapján 2041–2060-ra és 2081–2100-ra.

Végezetül megvizsgáltuk a forró napok és a tavaszi fagyok jövőbeli alakulását is. A vegetáció-fejlődés megindulása utáni tavaszi fagyok a kifakadt rügyek, hajtások károsodása miatt azok elvesztéséhez vezethet. Ez jelenleg nagy évközi és térbeli változékonysággal fordul elő, és néhány évtizedig egyik forgatókönyv szerint sem fog jelentősen változni. Ugyanakkor a modellszimulációk egyértelműen jelzik, hogy a 21. század végére az RCP8.5 forgatókönyv szerint a jelenlegi borvidékeken a tavaszi fagyok gyakorisága 3–10-szeresére nőhet (5. ábra), amely egyértelműen csökkenti majd a hozamokat. Ez annak hatására jelentkezik, hogy a melegigényes növények vegetációs időszaka az erősödő globális felmelegedéssel sokkal gyorsabban tolódik az évben előre.



5. ábra: A tavaszi fagyok megfigyelt változása [nap/20 év] 1971–1990 és 2002–2021 között (balra), illetve az RCP8.5 forgatókönyvet figyelembe vevő 6-6 regionális modellszimuláció átlaga alapján becsült változása 2002–2021 és 2081–2100 között (jobbra).

A 35 °C feletti hőség a levelek és bogyók megperzselődéséhez vezet, valamint a fotoszintézis is erősen gyengül. Greer & Weedon (2013) tanulmánya szerint ez akár 50%-kal is lassíthatja az érés folyamatát és 35%-kal a fotoszintézist. A forró napok száma egyértelműen növekszik a megfigyelések szerint (6. ábra): míg az 1970–80-as években alig fordult elő forró nap a jelenlegi borvidékeken, addig az utóbbi 20 évben már átlagosan évi 4 napra számíthattunk, és a legutóbbi 10 évben már évi 6 naphoz közelített. A 21. század közepére a jelenlegihez képest még csupán évi egy-két napos növekedésre számíthatunk, ugyanakkor a szőlőt jellemzően hosszabb távra tervezik, ezért számunkra inkább az ezutáni időszak az érdekes. A század végére az RCP8.5 hatalmas növekedést vetít előre a forró napokban, és a borvidékeken elérheti ezek száma az éves átlagban vett 25 napot. Az RCP4.5 ennek felét jelzi előre, 11 napot, míg a jelenlegi értékekre térünk vissza, ha az RCP2.6-ot követjük.



6. ábra: A forró napok gyakorisága [nap/év] a megfigyelések, illetve a jövőbeli szimulációk mediánja alapján a jelenlegi borvidékeken. Az eredményeken öt éves simítást végeztünk.

Köszönetnyilvánítás

A kutatás megvalósításához hozzájárult a European Climate Foundation G-2208-64555 számú projektje, a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alap K-129162 és K-120605 számú projektje, valamint az Éghajlatváltozás Nemzeti Multidiszciplináris Laboratórium (RRF-2.3.1-21-2022-00014 számú projekt). Az elemzések technikai háttérét az IS-ENES 3 Analysis Platforms bk1088 tette lehetővé.

Hivatkozások

- Bucur, G. M., Cojocaru, G. A., Antocea, A. O., 2019: The climate change influences and trends on the grapevine growing in Southern Romania: A long-term study. 42nd World Congress of Vine and Wine, BIO Web of Conferences (15), 01008.
<http://dx.doi.org/10.1051/bioconf/20191501008>
- Czigány, S., Novák, T.J., Pirkhoffer, E., Nagy, G., Lóczy, D., Dezső, J., Fábrián, S.Á., Świtoniak, M., Charzyński, P., 2020: Application of a topographic pedosequence in the Villány Hills for terroir characterization. *Hungarian Geographical Bulletin*, 69(3): 245–261. <https://doi.org/10.15201/hungeobull.69.3.2>
- Greer, D.H., Weedon, M.M., 2013: The impact of high temperatures on *Vitis vinifera* cv. Semillon grapevine performance and berry ripening. *Frontiers in Plant Sciences*, 4: 491. <https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00491>
- Kotlarski, S., Keuler, K., Christensen, O.B., Colette, A., Déqué, M., Gobiet, A., Goergen, K., Jacob, D., Lüthi, D., van Meijgaard, E., Nikulin, G., Schär, C., Teichmann, C., Vautard, R., Warrach-Sagi, K., 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., Cardoso, R.M., Bosshard, T., Pagé, C., Boberg, F., Gutiérrez, J.M., Isotta, F.A., Jaczewski, A., Kreienkamp, F., Liniger, M.A., Lussana, C., 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>
- Navrátilová, M., Beranová, M., Severová, L., Šrédli, K., Svoboda, R., Abrhám, J., 2021: The Impact of Climate Change on the Sugar Content of Grapes and the Sustainability of their Production in the Czech Republic. *Sustainability*, 13(1): 222. <https://doi.org/10.3390/su13010222>
- „Student” Gosset, W., 1908: The probable error of a mean. *Biometrika*, 6(1): 1–25. <https://doi.org/10.1093/biomet/6.1.1>
- 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., Hurtt G.C., Lamarque J.-F., Meinshausen M., Smith S., Granier C., Rose S.K., and Hibbard K.A., 2011: Representative concentration pathways: An overview. *Climatic Change*, 109: 5–31. <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0148-z>
- Welch, B.L., 1951: On the Comparison of Several Mean Values: An Alternative Approach. *Biometrika*, 38(3/4): 330–336. <https://doi.org/10.2307/2332579>

Wilby, R.L., Charles, S.P., Zorita, E., Timbal, B., Whetton, P., Mearns, L.O., 2004: Guidelines for Use of Climate Scenarios Developed from Statistical Downscaling Methods. IPCC Task Group on Scenarios for Climate Impact Assess., Geneva, Switzerland, 27p.

Internetes hivatkozások

- [1 – Huglin] https://www-juem.univ-brest.fr/wapps/letg/adviclim/BDX/PDF/CR_Acad%C3%A9mie_agriculture_1978_64_Huglin.pdf
[2 – masfelfok.hu] <https://masfelfok.hu/2022/01/07/harmadaval-csokkent-a-fagyos-napok-szama-az-elmult-120-evben-magyarorszagon-a-klimavaltozas-miatt/>
[3 – met.hu] <https://odp.met.hu>
[4 – KSH] https://www.ksh.hu/docs/hun/agraar/html/tabl1_4_3_7.html
[5 – KSH] https://www.ksh.hu/stadat_files/mez/hu/mez0026.html
[6 – reuters.com] <https://www.reuters.com/article/us-austria-wine-idUSKBN1WV185>
-

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>