

# Az éghajlatváltozás lehetséges hatásai a mezőgazdasági szénmérlegre és produktivitásra Magyarországon

Doktori értekezés tézisei

**Dobor Laura**

**Eötvös Loránd Tudományegyetem  
Természettudományi Kar**

Környezettudományi Doktori Iskola

Doktori iskola vezetője: **Dr. Jánosi Imre**, egyetemi tanár

Környezeti földtudomány program

Doktori program vezetője: **Dr. Szabó Csaba**, egyetemi docens



Témavezetők:

**Dr. Barcza Zoltán**, egyetemi docens

Eötvös Loránd Tudományegyetem

Meteorológiai Tanszék

**Dr. Havasi Ágnes**, egyetemi adjunktus

Eötvös Loránd Tudományegyetem

Alkalmazott Analízis és Számításmatematikai Tanszék

Budapest, 2016

## **1. Bevezetés és célkitűzések**

Az éghajlatváltozás jelentős hatással lehet az élelmezésbiztonságra, mivel a gabonanövények produkciója szoros összefüggésben áll a fennálló meteorológiai viszonyokkal. A tudomány jelenlegi állása szerint éghajlati modellek segítségével kaphatunk számszerű becsléseket különböző meteorológiai változók lehetséges jövőbeli alakulására, melyekkel további modelleket meghajtva hatásvizsgálatokat végezhetünk többek között a mezőgazdasági produkció vonatkozásában.

Hazánkban a hőmérséklet növekedésére, a nyáron lehullott csapadék csökkenésére valamint a szélsőséges időjárási jelenségek gyakoriságának növekedésére lehet számítani a jövőben. E változásoknak jelentős hatása lehet a mezőgazdasági produkcióra és szénmérlegre (azaz a felszín-légkör rendszerben zajló szén ciklusban betöltött szerepére).

Doktori munkám célja, hogy modellezés segítségével vizsgáljam az éghajlatváltozás lehetséges hatásait a két legelterjedtebb hazai gabonára, a kukoricára és a búzára. Kutatásom során két növénymodell és több éghajlati modell eredményének felhasználásával egy olyan ún. multi-modell ensemble szimulációs rendszert alkottunk, mellyel robosztus becsléseket adhatunk a mezőgazdasági produktivitás és szénmérleg jövőben várható változásaira.

## 2. Adatok és módszerek

Két különböző logikájú modellt, a biogeokémiai Biome-BGCMuSo, és a mezőgazdasági 4M modellt használtunk. A növénymodellek bemenő meteorológiai adatigényének kielégítése végett létrehoztuk és a tudományos közösség számára is elérhetővé tettük szabad felhasználásra az 1951-2100 időszakot napi léptékben lefedő FORESEE adatbázist, amely a múltbeli időszakra megfigyeléseket, a jövőre vonatkozóan pedig 10 különböző hibakorrigált regionális klímamodell-eredményt tartalmaz. A hőmérséklet és csapadékatokat eloszlásfüggvény-illesztésen alapuló módszerrel korrigáltuk, utóbbi esetén gyakorisági korrekciót is végeztünk. A FORESEE célterülete Közép-Európa, és  $1/6 \times 1/6$  fokos horizontális rácsfelbontással rendelkezik. Az adatbázis hazai rácspontjait használtuk a termésátlag és szénmérleg modellezés során.

A meteorológiai adatbázison kívül a növénymodellek egy másik bemenő adatára, a vetés időpontjának becslésére dolgoztunk ki és validáltunk időjárásfüggő módszereket. A jövőre vonatkozó szimulációk során a fennálló meteorológiai- és talajviszonyok alapján időzítettük a vetést. A hazánkban alkalmazott műtrágyázási szokásokon kívül négy-négy alternatív művelési scenáriót vezettünk be búzára és kukoricára. Mivel a kukorica a nyári aszályos időszakoknak jobban kitett, így három öntözési scenáriót is kidolgoztunk annak érdekében, hogy vizsgáljuk azok termésátlagokra kifejtett hatását.

A 4M és a Biome-BGCMuSo modellek kalibrációját az ún. GLUE módszerrel végeztük el, mely során az ismeretlen ökofiziológiai paraméterek randomizálásával nagyszámú (10-20 ezer), Monte Carlo alapú szimulációt végeztünk. Az így kapott termésátlag eredményeket a Központi Statisztikai Hivatal (KSH) megyei szintű feljegyzéseivel hasonlítottuk össze, és optimalizáltuk a paraméterértékeket. A GLUE módszerrel a paraméterértékek kiválasztásából adódó bizonytalanságot is becsültük.

A validációt követően a szimulációkat mindkét gabonára, minden hazai rácsontra, mind a két növénymodellel és mind a tíz éghajlati modelleredménnyel, valamint a különböző művelési scenáriókkal végeztük el. A várható termésátlag változásokat a növénymodellek szisztematikus hibáinak kiküszöbölése érdekében a múltbeli (1986-2013) és jövőbeli (2014-2100) modellszimulációk összevetésével becsültük. A várható változásokat a 10 klímamodellel meghajtott szimuláció eredményeinek az átlagával és szórásával jellemeztük (multi-klímamodell átlag). Kiszámítottuk a várható változások trendjét és t-próbával különböző szinteken végeztünk szignifikancia vizsgálatot. Becsültük a modelleredmények bizonytalanságát, és összevetettük a két növénymodell eredményeit.

### **3. Eredmények: tézisek**

A doktori kutatásom eredményei az alábbi tézispontokban foglalhatók össze:

1. Létrehoztuk egy napi léptékű, 150 éves időszakot lefedő rácsponti éghajlati adatbázist (FORESEE), ami a múltra vonatkozóan megfigyelt meteorológiai adatokat, a jövőre

vonatkozóan pedig 10 hibakorrigált regionális klímamodell-eredményt tartalmaz. Hasonló hazai adatbázisról nincs tudomásunk. A FORESEE adatbázist szabadon hozzáférhetővé tettük a tudományos közösség részére, továbbá létrehoztunk egy honlapot a FORESEE részére és egy térképes lekérő felületet, ahol pontbeli adatok tölthetők le.

2. Kukoricára és őszi búzára teszteltük és validáltuk az irodalomban fellelhető időjárásfüggő vetési időpont becslő módszereket, melyek hazánkra nem adtak elfogadható eredményeket. Új vetési időpont becslő módszereket dolgozunk ki, melyek nem csak a léghőmérsékletet, hanem a talajnedvességet és a talajhőmérsékletet is figyelembe vesznek. Az új módszerek jelentősen pontosabban becsülték a vetésidőt, mint a szakirodalmi módszerek.
3. A két növénymodellt GLUE módszerrel kalibráltuk búzára és kukoricára. A kalibráció eredményeképpen a szimulált termésátlagok a KSH megyei feljegyzéseihez viszonyítva jelentősen javultak. A 4M modell az 1986-2013 időszak átlagában a megfigyelések változékonyságának 62%-át tudta megmagyarázni a kukorica ( $0,12 \text{ t ha}^{-1}$  átlagos szisztematikus hibával), és 49%-át az őszi búza esetén ( $0,06 \text{ t ha}^{-1}$  átlagos szisztematikus hibával). A Biome-BGCMuSo modell eredményei a megfigyelések változékonyságának 10%-át magyarázták meg kukoricára, és 50%-át búzára; a szisztematikus hiba ez esetben  $0,47 \text{ t ha}^{-1}$  volt kukoricára, és  $-0,73 \text{ t ha}^{-1}$  őszi búzára. A Biome-BGCMuSo által szimulált szénmérlegre pontbeli

validációt végeztünk a hegyhátsági eddy-kovariancia mérésekkel. Az eredmények a modellkalibráció hatására javulást mutattak.

4. A 4M modell szerint szokásos művelési mód mellett a kukorica termésátlagainak évtizedenkénti  $0,15 \text{ t ha}^{-1}$  csökkenésére, míg a búza esetén  $0,07 \text{ t ha}^{-1}$  növekedésére számíthatunk a multi-klímamodell átlag tekintetében. Ugyanezen beállításokkal a Biome-BGCMuSo modell szerint a kukorica termésátlagainak  $0,06 \text{ t ha}^{-1}$  évtized<sup>-1</sup> csökkenésre, míg a búza esetén  $0,05 \text{ t ha}^{-1}$  évtized<sup>-1</sup> növekedésére számíthatunk a multi-klímamodell átlag tekintetében.
5. Összevetettük a 4M és Biome-BGCMuSo modellek eredményeit. Az alábbiak tekintetében konzisztens eredményt kaptunk:
  - a. A két modell ugyanolyan irányú termésátlag-változásokat jelez a gabonák esetén.
  - b. A búza termésátlagainak szignifikáns várható növekedését jelzik, nagyságrendileg hasonló trenddel.
  - c. A 10 klímamodell-eredmény használatából adódó termésátlagok szórása a búza esetén kisebb, mint kukorica esetén.
  - d. A gyakoribb, de kevesebb mennyiségű (20mm) és a ritkább, de nagyobb mennyiségű (40mm) öntözési szcenárió alapján kapott termésátlag eredmények között csak csekély különbség fedezhető fel.
  - e. A kukorica esetén öntözéssel nagyobb mértékű termésátlag növekedés érhető el, mint a műtrágya mennyiségének növelésével.

- f. A búza a műtrágya mennyiségének változtatására kevésbé érzékeny, mint a kukorica.
  - g. A modelleredmények bizonytalansága a kukoricára vonatkozóan nagyobb, mint a búzára.
6. A 4M és Biome-BGCMuSo modellek eredményei az alábbiak tekintetében mutatnak eltérést:
- a. A 4M modell minden esetben nagyobb várható változást prognosztizál, mint a Biome-BGCMuSo, valamint a művelési módok változtatására is érzékenyebb.
  - b. A kukorica esetén a 4M modell szignifikáns csökkenő trendet mutat ( $p < 0,001$  mellett), míg a Biome-BGCMuSo esetén a trend sem  $p < 0,001$  mellett, sem  $p < 0,01$  mellett nem szignifikáns, melynek oka a modellstruktúrákban fennálló eltérésekben keresendő.
7. A 4M és Biome-BGCMuSo modellek (multi-növénymodell) eredményeinek átlagát tekintve a becsült kukorica termésátlag csökkenés az 1986-2013 időszakhoz képest 2021-2050-re  $0,43 \pm 0,58 \text{ t ha}^{-1}$ , míg 2071-2100-ra  $0,96 \pm 0,5 \text{ t ha}^{-1}$ . Búza esetén  $0,20 \pm 0,12 \text{ t ha}^{-1}$  növekedésre számíthatunk a közeljövőben és  $0,51 \pm 0,19 \text{ t ha}^{-1}$  növekedésre a távoli jövőben<sup>1</sup>.
8. Kukorica esetén vizsgáltuk az öntözött (I30), valamint az öntözött és egyben fokozottan műtrágyázott, kombinált (I30+F3) szcenárióra történő fokozatos áttérés hatását a termésátlagokra a multi-növénymodell és multi-klímamodell átlagában. Mindkét

---

<sup>1</sup> A feltüntetett  $\pm$  értékek a 10 klímamodell-eredményből adódó szórást jelölik.

esetben szignifikáns ( $p < 0,001$ ) termésátlag növekedés érhető el, melynek mértéke évtizedenként  $0,09 \text{ t ha}^{-1}$  az I30-as és  $1,7 \text{ t ha}^{-1}$  az I30+F3-as szcenárió esetén a 2014-2100 időszakra vonatkozóan.

9. Országos átlagban a bruttó elsődleges produkció (GPP) és a teljes ökoszisztéma respiráció (Reco) csökkenése várható a jövőben mindkét gabona esetén. A két szénáram mérlege, a nettó ökoszisztéma szén-dioxid csere (NEE) tekintetében nem várható szignifikáns változás, tehát a légkörből évente felvett szén-dioxid mennyisége előreláthatóan nem változik a jövőben.

#### **4. Következtetések**

A hazai viszonylatban előzmény nélküli, általunk felállított multi-klímamodell és multi-növénymodell szimulációs rendszer rámutatott az egyes becslések robusztusságára és bizonytalanságaira. Az eredmények alapján egyértelművé vált, hogy mindkét növénymodellnek vannak előnyei és hátrányai, így a jövőben érdemes a két modellt együtt fejleszteni. A Biome-BGCMuSo-val eddig még nem modelleztek mezőgazdasági kultúrnövényeket országos szinten, csak más természetes ökológiai rendszereket. A modell használata során arra a következtetésre jutottunk, hogy néhány – a 4M modellből átvehető – strukturális átalakítás után jelentősen javulhat a mezőgazdasági kultúrnövények szimulációja.



## Az értekezés témakörében készült publikációk

### Lektorált cikkek:

- Dobor, L., Barcza, Z., Hlásny, T., Árendás, T., Spitkó, T., Fodor, N., 2016. Crop planting date matters: estimation methods and effect on future yields. *Agricultural and Forest Meteorology* 223: 103-115. doi:10.1016/j.agrformet.2016.03.023 [IF: 3.762]
- Horemans, J.A., Bosela, M., Dobor, L., Barna, M., Bahyl, J., Deckmyn, G., Fabrika, M., Sedmak, R., Ceulemans, R. 2016. Variance decomposition of stem biomass increment predictions for European beech: contribution of selected sources of uncertainty. *Forest Ecology and Management* 361:46-55. doi:10.1016/j.foreco.2015.10.048 [IF: 2.660]
- Hlásny, T., Trombik, J., Dobor, L., Barcza, Z., Barka, I., 2016. Future climate of the Carpathians: Climate change hot-spots and implications for ecosystems. *Regional and Environmental Change* 16:1495-1506. doi:10.1007/s10113-015-0890-2 [IF: 2.628]
- Dobor, L., Barcza, Z., Hlásny T., Havasi Á., Horváth F., Ittész P., Bartholy J., 2015. Bridging the gap between climate models and impact studies: The FORESEE Database. *Geoscience Data Journal* 2:1-11. doi:10.1002/gdj3.22
- Hlásny, T., Mátyás, Cs., Seidl, R., Kulla, L., Merganicová, K., Trombik, J., Dobor, L., Barcza, Z., Konopka, B., 2014. Climate change increases the drought risk in Central European forests: what are the options for adaptation? *Lesnícky časopis - Forestry Journal* 60:1-14
- Farkas, Cs., Gelybó, Gy., Bakacsi, Zs., Horel, Á., Hagyó, A., Dobor, L., Kása, I., Tóth, E., 2014. Impact of expected climate change on soil water regime under different vegetation conditions. *Biologia* 69:1510-1519. doi:10.2478/s11756-014-0463-8 [IF: 0.83]
- Horváth, F., Ittész, P., Ittész, D., Barcza, Z., Dobor, L., Hidy, D., Marosi, A., Hardisty, A., 2014. Supporting environmental modelling with Taverna workflows, web services and desktop grid technology. In: Ames, D.P., Quinn, N.W.T., Rizzoli, A.E. (Eds.), Proceedings of the 7th International Congress on Environmental Modelling and Software, June 15-19, San Diego, California, USA. <http://www.iemss.org/society/index.php/iemss-2014-proceedings>

Nemzetközi konferenciákon a disszertáció témájában bemutatott posztterek:

- Dobor, L., Barcza, Z., Fodor, N., Hidy, D., Horváth, F., Tóth, E., Gelybó, Gy., Farkas, Cs., 2014. Preparation for estimating climate change effects on agriculture in Central Europe: creation of climatic database and model selection. *Spitzenforscherwerkstatt – Environmental Science Summit*. Garmsich-Partenkirchen, Germany, 2014. Július 14-16.
- Dobor, L., Barcza, Z., Hidy, D., Horváth, F., Ittész, P., Gelybó, Gy., Suyker, A.E., Verma, S.B., 2014. Statistical calibration of the Biome-BGC MuSo biogeochemical model for croplands. *Science and Solutions for a Sustainable Environment Conference*. Dublin, Ireland, 2014. December 11-12.
- Dobor, L., Barcza, Z., Hidy, D., Fodor, N., Horváth, F., Tóth, E., Gelybó, Gy., Farkas, Cs., 2014. Modeling water and carbon balance of managed agricultural lands in Hungary. *4th iLEAPS Science Conference: Terrestrial ecosystems, atmosphere, and people in the Earth system*. Nanjing, China, 2014. Május 12-16.
- Dobor, L., 2013. Climate change related impact study in Hungary using a large ensemble of climate projections. *TORCH Summer School: Challenges in measurements of greenhouse gases and their interpretation*. Hyytiälä, Finland, 2013. Szeptember 30. – Október 11.
- Barcza, Z., Dobor, L., Hlásny, T., Galvánek, D., 2013. Assessment of future production and carbon sequestration of grasslands in the Carpathians. *Open Science Conference: Greenhouse Gas Management in European Land Use Systems*. Antwerp, Belgium, 2013. Szeptember 16-18.
- Dobor, L., Barcza, Z., Havasi, Á., Fodor, N., 2012. Preparation of high resolution climate scenarios for agricultural impact analysis in Hungary. *European Geosciences Union, General Assembly 2012*. Vienna, Austria, 2012. Április 22-27.
- Dobor, L., Barcza, Z., Havasi, Á., Fodor, N., Hlásny, T., 2012. Impact of climate change on agricultural production in Hungary. *12th EMS Annual Meeting / 9th European Conference on Applied Climatology (ECAC)*. Lodz, Poland. 2012. Szeptember 10-14.