



# A légköri állapotváltozók és a változó éghajlat hatása a háziméhekre

Vincze Csilla, Leelőssy Ádám, Mészáros Róbert

Eötvös Loránd Tudományegyetem, Meteorológiai Tanszék, vcsicsi222@gmail.com

DOI: 10.56474/lsgkor.2023.3.4

Az utóbbi években felértékelődött a méhészetek és a háziméhek (*Apis mellifera*) alkalmazkodásának vizsgálata a változó környezeti feltételekhez, ami egy kiemelt probléma a társadalom számára. A háziméhek nagy részt képviselnek a beporzás terén, ezért létük különösen fontos. Vizsgálatukkor szembevetőd, hogy alkalmazkodásuk rendkívül gyors, ezáltal indikátorai az őket körülvevő környezetnek. Cikkünkben egy hosszabb áttekintést adunk a méhek nektárgyűjtési tevékenysége, valamint az időjárási helyzet közötti összetett összefüggésekről. Ezután röviden bemutatjuk elsődleges hazai eredményeinket egy debreceni méhészetből származó adatbázis alapján.

## The effects of atmospheric variables and changing climate on honey bees (*Apis mellifera*)

In recent years, the study of apiaries and the adaptation of honey bees (*Apis mellifera*) to changing environmental conditions has become a major concern for society. Their existence is of particular importance as they represent a large part of pollination. When studying them, it is striking that their adaptation is extremely rapid and making them indicators of the environment around them. In this article, we provide a longer overview of the complex relationship between the nectar gathering activity of bees and the weather situations. We then briefly present our primary domestic results based on a database from a Debrecen apiary.

### Bevezetés

A méhészet az egyik legősibb mezőgazdasági ágazat, ami rendkívül fontos szerepet tölt be az ökoszisztémában és a társadalomban (Williams *et al.*, 1991). Már a XX. század elején felismerték, hogy a méhészetek termelésében meghatározók az időjárási viszonyok (Mace, 1912), ezért elengedhetetlen a légköri változások méhek viselkedését befolyásoló hatásainak a vizsgálata (Williams *et al.*, 1991). A kutatások fon-

tosságát hangsúlyozza, hogy a gyümölcsfák és a pillangósvirágúak (Fabaceae) beporzásának legnagyobb részét a méhek végzik el (Ricketts *et al.*, 2008; Aizen and Harder, 2009; Potts *et al.*, 2010; Sparks *et al.*, 2010).

A rovarok az emberi táplálék 35%-ának beporzásáért felelősek, amelyből a méhek 90%-ot képviselnek, ezáltal jelentős szerepet töltenek be élelmezésbiztonságban (Klein *et al.*, 2007; Genersch, 2010; Tarczay and Feiler, 2017). Az élelmezési célú növények beporzását 75%-ban a háziméhek (*Apis mellifera*) végzik

(Ollerton et al., 2011; Rader et al., 2013; FAO, 2018), ami 9,5%-ot tesz ki a világ mezőgazdasági termeléséből (Gallai et al., 2009). Mindemellett hazánkban és külföldön is többek jövedelemforrása függ a méhek beporzási tevékenységétől és a különböző méhészeti produktumoktól. Mindezen okok miatt a méhek egészsége és viselkedése közvetlenül szerepet játszik az emberi jólétben, egészségben és gazdaságban (Gill et al., 2012; Rader et al., 2016).

A beporzás térben és időben nagy változékonyságot mutat. A trópusi területeken 90%, míg Európában 84% a rovar, illetve állati eredetű beporzás (Klein et al., 2007). Ollerton et al. (2011) szerint a mérsékelt szélességeken az állati eredetű beporzás közel 78%-ot, míg a trópusi területeken 94%-ot képvisel. Ricketts et al. (2008) áttekintő cikke részletesen elemzi a természetes élőhelyek és a beporzók (mint az *Apis mellifera*) közötti térbeli kapcsolatot.

A háziméheket több évtizede alkalmazzák számos kutatásban a környezeti terhelések, változások nyomon követésére is. Elterjedésük, aktivitásuk és életjelenségeik is felhasználhatók indikátorként a megfigyelt terület változásainak elemzéséhez, mivel gyűjtésükkel információt tárolnak el az adott térségről. Így például radioaktív anyagok (Celli and Maccagnani, 2003), szennyeződések (Svoboda, 1962) és nehézfém szennyezések (Thimmegowda et al., 2020) is kimutathatók a különböző méhészeti produktumokból (viaszból, mézből, propoliszból és pollenből), ami nem csak az emberi egészségre, de a méhek állapotára is hatással van. 2011-es lengyel és tunéziai mézmintákban elsőként mikrofoszforokat is analizáltak, melyek jelenléte a légkörben zajló portranszportra visszavezethető (Magyar et al., 2021).

Összességében: az időjárási és éghajlati körülmények rendkívül összetett módon befolyásolják a méhek viselkedését és állapotát. Ezen komplex kapcsolatrendszer elemzése hozzásegíthet egy rendkívül jelentős és egyre sérülékenyebb mezőgazdasági tevékenység, a méhészetek hatékonyságának megőrzéséhez és javításához.

## Szakirodalmi áttekintés

### A klímaváltozás hatása a fenológiai periódusokra és a méhészetekre

Az elmúlt évszázad során a témával kapcsolatos kutatások a rovarok viselkedésének, a mezőgazdaságnak, a vegetációnak és a földhasználatnak a megváltozásával foglalkoztak (Ricketts et al., 2008), ami

különösen fontos a méhészetek számára is. 1961 óta a népességrobbanás és a mezőgazdasági fejlesztések hatására a haszonnövények termés hozama 1,5%-kal növekedett évente, emellett a háziméhek szerepe is megnőtt (Aizen et al., 2008). Egyenletes növekedés mutatkozik a világ méztermelésében is, mivel az 1960-as évektől a XXI. század elejéig a méhcsaládok száma 45%-kal nőtt (Aizen and Harder, 2009).

A klímaváltozással összefüggésbe hozható események azonban egyre nyugtalanítóbbnak ígérkeznek a mezőgazdasági ágazatok, főként a méhészetek számára (Menzel et al., 2006; Hegland et al., 2009; Lever et al., 2014). A megfigyelt változások szerint a virágzási időszakok sokkal korábbi időpontra tolódtak, ami nagy hatással van a méhekre és a méhészetekre is. Észak-Amerikában, az elmúlt évtizedben megfigyelték, hogy a pollenkoncentráció +21%-kal, a pollenszórási időszak pedig +21 nappal növekedett meg (Anderegg et al., 2021). E hatások antropogén eredetét rendre 8 és 50%-nak határozták meg. Ezzel szemben Bock et al., (2014) azt találták, hogy a nyugat-európai Csatorna-szigeteken a pollenszórási periódus néhány fajnál várhatóan rövidül a klímaváltozás hatására. Fitter and Fitter (2002) az Egyesült Királyságban közel 400 növényfajt vizsgálva azt találták, hogy 10 év alatt a virágzás átlagosan 4,5 nappal korábbra tolódott. A cukorösszetétel is módosul a hőmérséklet változásával (Bock et al., 2013), ami nem elhanyagolható tényező, mivel a méhek gyűjtésében meghatározó a nektár minősége (Ion et al., 2007). Rader et al. (2013) szerint a háziméhek beporzó képessége akár 14,5%-kal is csökkenhet 2099-re az emelkedő hőmérséklet és a változó körülmények hatására. A magasabb hőmérséklet akár a kora tavaszi populáció korai növekedését is eredményezheti, ami a méhcsalád életébe is kerülhet egy hideg időszak beköszöntével. Ezzel csökken a család gyűjtési képessége és a fejlődésének a mértéke, amely mind a beporzás, mind a méhész számára nagy gondot jelent (Le Conte and Navajas, 2008).

A melegebb és szárazabb periódusok valószínűségének növekedése (Flores et al., 2019), a téli és nyári magasabb hőmérséklet, a tavaszi fagyok, a csökkenő csapadék, vagy éppen a hirtelen lezúduló kiadós záporok ugyancsak nagy befolyással lehetnek a méhcsaládokra és ezáltal az előállított méz mennyiségére is (Vercelli et al., 2021). Annak ellenére, hogy a méhek gyors alkalmazkodó képességgel rendelkeznek (Csóka et al., 2018), így a hőhullámokhoz is jól tudnak alkalmazkodni, a gyűjtést módosítják a változó körülmények. Egyes kutatások szerint (pl. Bordier et al., 2017) a gyűjtés időtartamát akár 70%-kal is megnövelheti

a magasabb hőmérséklet, viszont ilyenkor sokkal több energiát kell fordítaniuk a vízutánpótlásra, így összességében kevesebb nektárt gyűjtenek a méhek.

### Az időjárás hatása a nektárképződésre és a gyűjtésre

A méz alapanyaga a nektár. A mézelő növények nektárkiválasztását erősen befolyásolják a meteorológiai állapothatározók, melyekkel szoros kapcsolatban áll a talaj és a vegetáció. A nektárkiválasztást szignifikánsan befolyásoló faktorok többek között a talaj állapota, szerkezete és vízellátottsága, a levegő hőmérséklete és páratartalma, a besugárzás, a csapadék és a szél (Benedek, 1983; Gulyás, 1983; Pinzauti, 1986; Crane, 2009; Márton, 2011). A nektár cukortartalma befolyásolja a méhek gyűjtését, mivel csak arról a növényről gyűjtenek, mely nektárjának cukortartalma legalább 8–10% (Frisch, 1947; Gulyás, 1983), a leghatékonyabban viszont az 50–55% közötti cukortartalmú nektárt tudják gyűjteni. A cukortartalom azt is befolyásolja, hogy mely kultúráról kezdenek el gyűjteni (Ion et al., 2007).

A légkör állapota közvetlenül is hat a gyűjtésre. A méhek nektárgyűjtésének optimális hőmérséklete 18–25 °C. 10 °C alatt nem, vagy csak kivételesen repülnek ki, ez szorosan összefügg a növények nektárkiválasztásával is. A kirepüléshez minimum 9 °C-os léghőmérséklet szükséges. A gyűjtés felső határa 35 °C (Lundie, 1925), de egyes irodalmak szerint akár 40 °C (Abou-Shaara et al., 2017). Ez viszont már nemcsak a méhekre, hanem a nektárképződésre is káros hatással lehet. A hőmérsékleti határértékeken kívüli tartományban a méhek fürtbe rendeződnek, hogy megvédjék a fiasítást és a családot (Örösi, 1955).

A hőmérséklet mellett a víznek, a csapadéknak is kiemelt szerepe van a méhek életében. Esős időben a méhek nem gyűjtenek nektárt. Ilyenkor csak a meglévő mézkészletet fogyasztják vízzel hígítva. Ezzel szemben forró, nyári napokon a víz párologtatásával hűtik a kaptárt (Faluba, 1983; Márton, 2011).

A méhek időjárásfüggő aktivitásával kapcsolatban kissé eltérő értékeket találunk a szakirodalomban, mivel az aktivitás a földrajzi környezettől és a vegetációtól is függ. Jiang et al. (2016) szerint az aktivitás maximuma 25 °C-nál magasabb hőmérsékleten és 60–70%-os páratartalom között található. Rader et al. (2016) kutatása alapján az aktivitás 24–30 °C hőmérséklet között a legintenzívebb. Puškadija et al. (2007) a napraforgó-nektár gyűjtésében az optimumot 20–25 °C-os nappali középhőmérséklet és 65–70% relatív nedvesség között határozta meg. Clarke and Robert (2018) az Egyesült

Királyságban végzett méréseik során perces gyakoriságú mintavételezést alkalmazva azt tapasztalták, hogy a méhek kirepülésének gyakorisága júniustól szeptemberig erős pozitív kapcsolatot mutatott a hőmérséklettel ( $R = 0,83$ ) és a globálsugárzással ( $R = 0,81$ ), ugyanakkor negatív volt kapcsolat a csapadékkal ( $R = -0,74$ ). Devillers et al. (2004) kutatásukban megállapították, hogy a kirepülést meghatározó tényezők a globálsugárzás és a hőmérséklet, míg a légnyomás csak kevésbé befolyásolja azt. Ngo et al. (2021) gépi tanulás módszertannal elemezték az Apis mellifera pollengyűjtésének periódusait rövid- és hosszútávon. A vizsgálatok során a csapadéknál 3 csoportot különítettek el (csendes, közepes, intenzív eső). A megfigyelések szerint a hordás az intenzitás növekedésével csökkent. A szélesebbég 3,5 m/s felett volt hatással a gyűjtésre, ez alatt az érték alatt nem találtak szignifikáns változást a gyűjtés intenzitásában. Komasilova et al. (2021) a méhek gyűjtésének aktivitását modellezték, és a mézhozamot jelezték előre meteorológiai állapothatározók (hőmérséklet, nedvesség, csapadékintenzitás és szél) függvényében. Modelleredményeik a valós hozamtól 9%-os eltérést mutattak.

### A kaptártömeg és a mézhozam kapcsolata a meteorológiai elemekkel

A mézhozamot a tavaszi, kora nyári hőmérsékleti értékek jelentősen befolyásolják (Holmes, 2002). A méhek egyedszámának növekedését és gyűjtését kaptármérleggel is mérhetjük. A napi növekmény megállapításához a kaptármérleg leolvasásának megfelelő időpontja a kora reggeli, vagy késő esti időpont. A begyűjtött méz és a kaptártömeg között McLellan (1977) szerint igen erős korreláció áll fenn ( $R = 0,87-0,99$ ). Hambleton (1925) Washingtontól nem messze lévő telephelyén kutatásában a kaptártömeg méréseket óras felbontásban végezte, amit a tavaszi szezonban egy reggeli kaptártömeg minimum és egy déli csökkenés jellemezett. Az őszi szezonban sokkal nagyobb reggeli veszteségről számolt be. A kolónia tömege és a meteorológiai elemek között tavaszi időszakban korrelációs számításokat végzett, és a következő eredményekre jutott: a nappali átlagos léghőmérséklet ( $R = 0,75$ ), a napsütéses órák száma ( $R = 0,61$ ), a nappali átlagos hőmérsékletingás ( $R = 0,6$ ), a napsugárzás ( $R = 0,55$ ), a nappali átlagos páratartalom változása ( $R = 0,42$ ) pozitív, míg a nappali átlagos relatív légnedvesség ( $R = -0,38$ ) negatív kapcsolatban állt a nettó kaptártömegeg. Burrill and Dietz (1981) tanulmányukban egy április 22. és május 15. közötti időszakot vizsgálva



hasonló eredményre jutottak. Eszerint a kirepülési hajlam a hőmérséklettel és a napsugárzással erős pozitív korrelációt mutatott (rendre  $R = 0,71$  és  $0,87$ ), a páratartalommal pedig negatív kapcsolatban állt ( $R = -0,65$ ) – a korrelációkat különböző periódusokra számították, ezek közül a legmagasabbat értékeket emeltük ki. *Lecocq et al.* (2015) Dánia környéki kolóniákat vizsgáltak a 2010–2013 közötti időszakban, és negatív korrelációt állapítottak meg a kolóniatömeg változása, valamint a júniusi ( $R = -0,65$ ;  $P < 0,001$ ), illetve júliusi ( $R = -0,36$ ;  $P < 0,002$ ) csapadékmennyiség között, ezzel szemben pozitív összefüggést találtak a júniusi ( $R = +0,39$ ;  $P < 0,001$ ) és a júliusi ( $R = +0,57$ ;  $P < 0,001$ ) átlaghőmérséklet és a kolóniatömeg változása között.

A kaptártömeg napi változása erősen függ a földrajzi helytől is, ami szintén éghajlati okokra vezethető vissza. A kezdeti mérések során *Hambleton* (1925) azt javasolta, hogy a méhek kaptártömeg vizsgálatát a gyűjtési időszakban helyi idő szerint 5:00 órától érdemes vizsgálni, mivel így a reggeli kaptártömegvesztés nyomon követhető. *Szabo* (1980) szerint Kanadában, júniusban és júliusban a kirepülés helyi idő szerint 9:00-tól kezdődik, maximumát 14:00 és 16:00 között éri el, és 21:00 óráig térnek vissza a méhek a kaptárba. *McLellan* (1977) Kelet-Skóciában, a gyűjtési időszakban a kaptártömegben 7:00 és 8:00, valamint 20:00 és 22:00 között tapasztalt növekedést. *Rader et al.* (2013) egy New Jersey környékén végzett kutatás alapján a gyűjtés maximumát 9:00 és 11:00 óra között határozta meg. *Meikle et al.* (2018) Kaliforniában végzett méréseik alapján a napi menetben a kora tavaszi és nektárgyűjtési időszakban (március 12. – április 12.) 4 különböző szakaszt különböztettek meg (A-B: inaktív szakasz (hajnal); B-C: aktív szakasz, a kirepülő méhek össztömege nagyobb a kaptártömeg növekményénél; C-D: aktív szakasz, de a kirepülő méhek össztömege már kisebb a kaptártömeg növekményénél; D-E: inaktív szakasz, szürkület, késő este). A vizsgálat során megfigyelték, hogy a kirepülés március és áprilisban helyi idő szerint 7:00 óra után indul, viszont a tömegnövekedés 9:00 óra után kezdődik és egészen este 8:00 óráig tart. *Szabo*, (1980) a kirepülési aktivitás és a kaptártömeg-változás között 30 perces eltolódásról számolt be. *He et al.* (2016) azt vizsgálták, hogy egy esős időszak mennyire befolyásolja a méhek előző napi teljesítményét. Vizsgálataik során azt találták, hogy egy csapadékos periódus előtt (ahol a napi csapadékösszeg 5 mm-nél nagyobb), a méhek több nektárt gyűjtenek. A gyűjtési hajlam, a kaptártömeg, az aktivitás és a meteorológiai elemek közötti kapcsolatot néhány szakirodalmi adat alapján az 1. táblázat foglalja össze.

|                   | (Hambleton, 1925) kaptártömeg | (Burrill and Dietz, 1981) gyűjtési hajlam | (Clarke and Robert, 2018) gyűjtési hajlam | (Szabo, 1980) aktivitás | (Lecocq et al., 2015) kolóniatömeg |
|-------------------|-------------------------------|---|---|-------------------------|------------------------------------|
| Hőmérséklet       | 0,75                          | 0,71                                      | 0,83                                      | 0,53-0,95               | 0,39-0,57                          |
| Napsugárzás       | 0,55                          | 0,87                                      | 0,81                                      |                         |                                    |
| Relatív nedvesség | -0,38                         | -0,65                                     |   |                         |                                    |
| Csapadék          |                               |   | -0,74                                     |                         | (-0,65)-(-0,36)                    |

1. táblázat. Korrelációs együtthatók értékei a méhészeti és a meteorológiai változók között.

### Saját vizsgálatok egy Debrecen környéki méhészetben

Kutatásunkban egy Debrecen és egy Biharugra környéki méhészeti telephelyekről származó kaptártömeg adatbázist állítottunk elő, amely 2016-tól áll rendelkezésre. A meteorológiai adatokat az Országos Meteorológiai Szolgálat legközelebbi (kb. 12,5 km-re lévő), debreceni meteorológiai állomásának éghajlati adatsora szolgáltatta 2016. június 14-től 2020. december 31-ig. [1]. Emellett 2017. június 27.–július 31., valamint 2018. június 20.–augusztus 9. között, mikor a méheket átszállították napraforgóra Biharugra környékére, a körösszakálli meteorológiai állomás (kb. 5,2 km-re lévő) adatsorát használtuk [2]. A vizsgálatok során napi léptékű adatokat használtunk fel, mivel a kaptártömeg adatok is napi bontásban álltak rendelkezésre, ezek a napi közép-, minimum- és maximumhőmérséklet [ $^{\circ}\text{C}$ ], a napi csapadékösszeg [mm], és a globálsugárzás napi összege [ $\text{J}/\text{cm}^2$ ]. Az éghajlati adatsorból új változóként előállítottuk a fagyos napok számát, a hőségnapok számát és a száraz napok számát.

A méhészeti adatbázisban az alábbi adatokat rögzítettük: napi kaptártömeg, kiépített keretek száma, fias keretek száma, mézes keretek száma, mülépes keretek száma, gyógyszeres kezelések, cukorszirupos etetések, pergetések során elvett méz mennyisége és a vegetáció állapota. Az üres kaptártömeg és a keretek számításával megkaptuk a méz- és méhtömeg változót, amelyet már nem befolyásolt az esetleg hozzáadott, vagy elvett farészek tömege. Mivel a kaptártömegre vonatkozó adatok nem egyenletes időközönként álltak rendelkezésre, így a napi átlagos kaptártömeget a két mérés közötti időszak átlagos meteorológiai állapotváltozóival vetettük

Eredmények

A kaptártömeg és a méhészeti időszakok változásai 2016 és 2020 között

össze. A mérések során két kaptártípust használtunk fel. 2019. január 9-től váltottunk rakodókaptárra NB 18 keretes fekvőkaptárról, így az adatbázisban új változóként megjelent a fél NB keretek száma és a fél és egész fiókok száma.

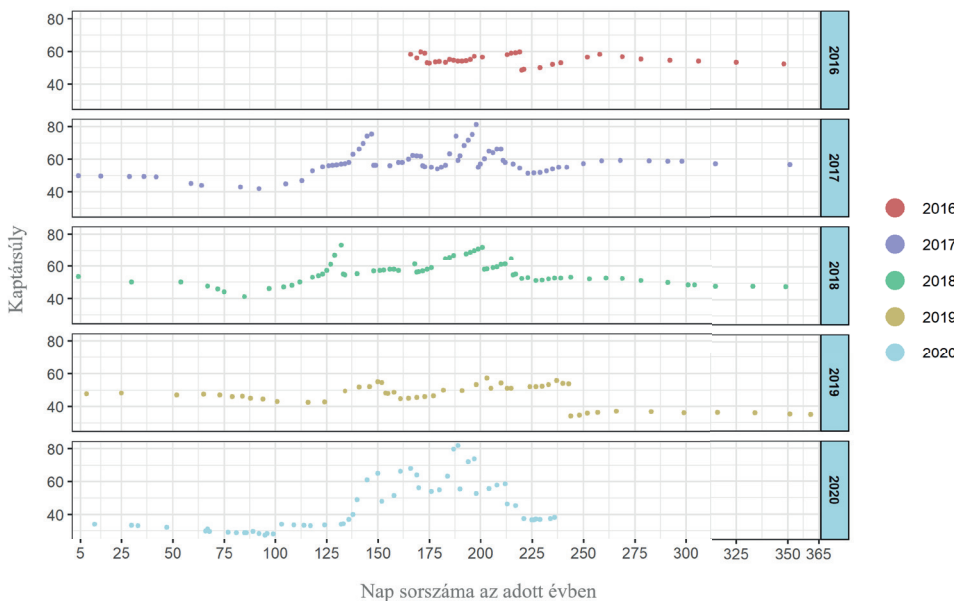
A kaptártömeg méréseket négy helyszínen végeztük, a méhcsaládokat megadott időközönként költöztetve: ez három helyszínt jelentett a Debrecen környéki méhészet körül (akác, hárs, mezei és erdei vadvirágok) és egy helyszínt Biharugra környékén (napraforgó). A meteorológiai adatokat szolgáltató meteorológiai állomás előbbiektől 15 km-en belül, míg utóbbtól kb. 5 km-re helyezkedett el. Ez a különbség okozhat eltéréseket az eredményekben, viszont a vizsgálatok során napi léptékű adatokat használtunk, továbbá a vizsgált terület tengerszint feletti magassága, illetve jellege is homogénnek tekinthető, ezért jellege is homogénnek tekinthető, ezért azzal a feltételezéssel élünk, hogy a napi meteorológiai adatokban ekkora távolságban nincs számottevő eltérés. A továbbiakban a részletesebb időbeli vizsgálatoknál mindenképpen szükséges lenne az adott pontban történő folyamatos meteorológiai mérésekre az eredmények pontosítása érdekében.

Vizsgálataink során a fenti helyszíneken az időjárás hatását vizsgáltuk a méztermelésre és a kaptártömeg, illetve méz- és méhtömeg növekményre, melynek során korrelációs számításokat és Granger tesztet végeztünk.

A kaptártömeg ingadozása az egyes években jól mutatja a méhek hordását és fejlettségét, a populáció sokaságát, továbbá indikátora a méhésztől kipergetett mézből származó jövedelmének is. A Debrecen környéki méhészetben 2016. június 14-től kezdtük meg a kaptártömeg méréseket (1. ábra). A tömegnövekedés az egyes években körülbelül a 100–110. naptól kezdődik és a 225–250. napig tart, ezután a méhésztől már a télre készíti fel a méhcsaládokat. Az intenzívebb tömegnövekmények a gyűjtési és raktározási időszakokat jelölik az adott vegetációról. A nagyobb visszaesések a pergetések időpontjai, ahol a méhésztől mézet vesz el a család. Az egyes évek között nagy különbségek is megfigyelhetők. A 2019-es évben például kisebb volt a növekmény, mivel egy gyéresebb akácidőszak után nem lehetett a méheket napraforgóra szállítani. A 2020-as év a rakodókaptár előnyeit mutatja meg, ami a méheknek nagyobb teret biztosít a gyűjtésre és a méhésztől könnyebben bővítheti az életterüket.

Az egyes éveket Faluba (1983) nyomán méhésztileg meghatározó időszakokra bontottuk, ahol az egyes kódok a főbb méhlegelők, a gyűjtési periódusok és méhészeti munkálatok alapján osztják fel az évet (A: tavaszi felkészülés időszaka, B: akác virágzásának időszaka, C: vegyes virágok időszaka, D: napraforgó virágzásának időszaka, E: téli felkészülés időszaka, F: nyugalmi időszak) (2. ábra).

A méhészek számára a legfontosabbak a gyűjtési időszakok (akác, vegyes virágok és napraforgó). Ezekben a periódusokban akár több mézelvétel is történhet, attól függően, hogy a méhek mennyi többletmézet képesek elraktározni. Az időszakok kezdete és hossza évről évre változó, mivel azokat nagymértékben befolyásolja az időjárás. A legfontosabb az akác virágzásának időszaka, mivel a méhésztől a fő bevételt az akácméz



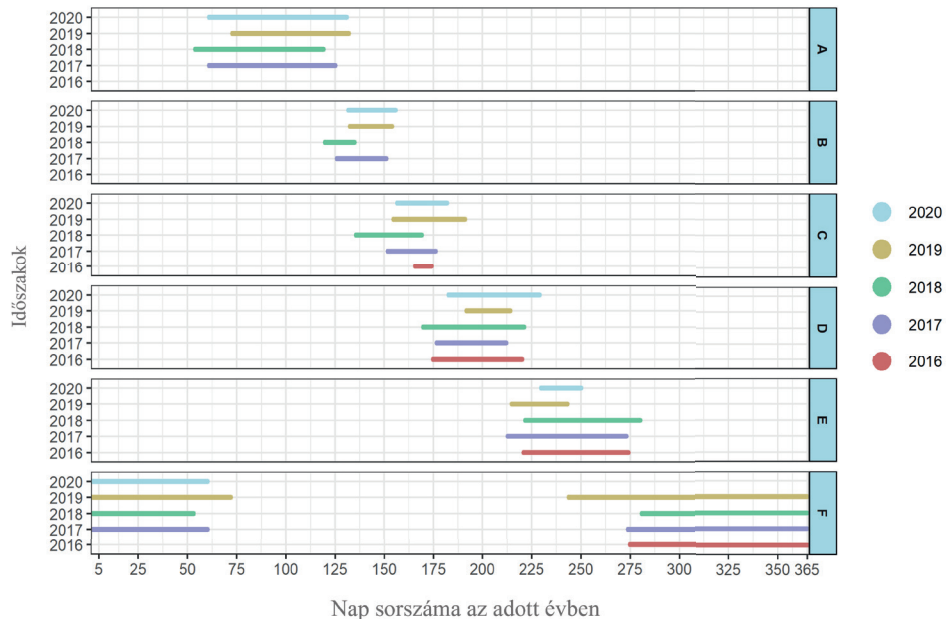
1. ábra. Kaptártömeg (kg) időszora 2016-tól 2020-ig.

jelenti, viszont ez a hozam a vizsgált években meglehetősen szélsőséges volt az eltérő időjárásnak köszönhetően. Az akác nektárképződésére a legoptimálisabb a szélsőséges, borult időjárás, a 20–25 °C-os nappali hőmérséklet és a párás, 80–90%-os páratartalmú levegő (Kardos, 1974; Sajermann, 1983). A fagykár ugyanakkor negatív hatással van a nektárképződésre (Farkas and Zajác, 2007). Márton (2011) szerint, ha megfelelőek a feltételek, az akác mézhozam kaptáranként akár 50 kg felett is lehet, viszont gyengébb években alig éri el az 5–10 kg-ot. A vizsgált kaptár esetén az egyes évek mézhozamát a 2. táblázat mutatja.

A 2. táblázat adatai alapján a vizsgált területen a legtöbb mézet 2017-ben gyűjtötte a méhcsalád. Ebben az évben ötször tudtak pergetni, ami annak is köszönhető, hogy az akácról hosszú ideig tudtak gyűjteni a méhek. 2017-ben az akác május 6-án már babos állapotban volt, melyről összesen 26 kg mézet tudtak behordani a méhek, amiből május 28-án 19 kg mézet pergettek. Ezt akác szempontjából egy közepesen jó évnak értékeltük, hasonlóan a 2018-as évhez. A 2017-es és 2018-as év közötti nagyobb mézhozam különbséget az okozta, hogy míg 2017-ben három alkalommal tudtak napraforgóról pergetni, addig 2018-ban csak kétszer (Vincze, 2019). A vizsgált időszakban a 2. legnagyobb mézhozamot 2020-ban kaptuk, ami a megfelelő időjárás mellett az ekkor bevezetett rakodó kaptároknak is köszönhető.

|                       | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 |
|-----------------------|------|------|------|------|------|
| Pergetések száma (db) | 2    | 5    | 4    | 3    | 5    |
| Összes mézhozam (kg)  | 15,5 | 73   | 49,5 | 15   | 67,7 |
| Akác mézhozam (kg)    | -    | 19   | 18   | 6    | 11   |

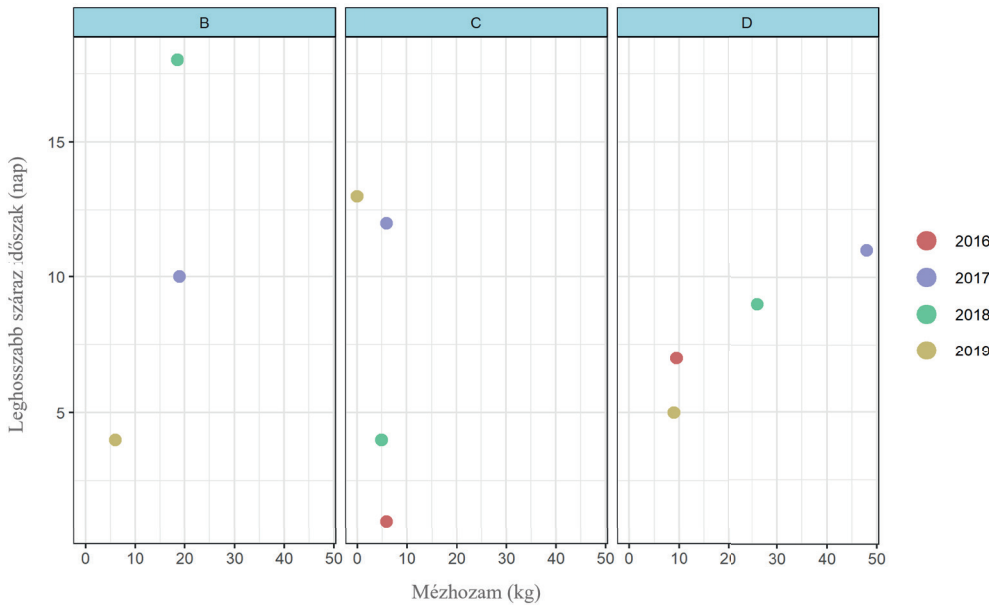
2. táblázat. Pergetések száma és a mézhozam változása az egyes években.



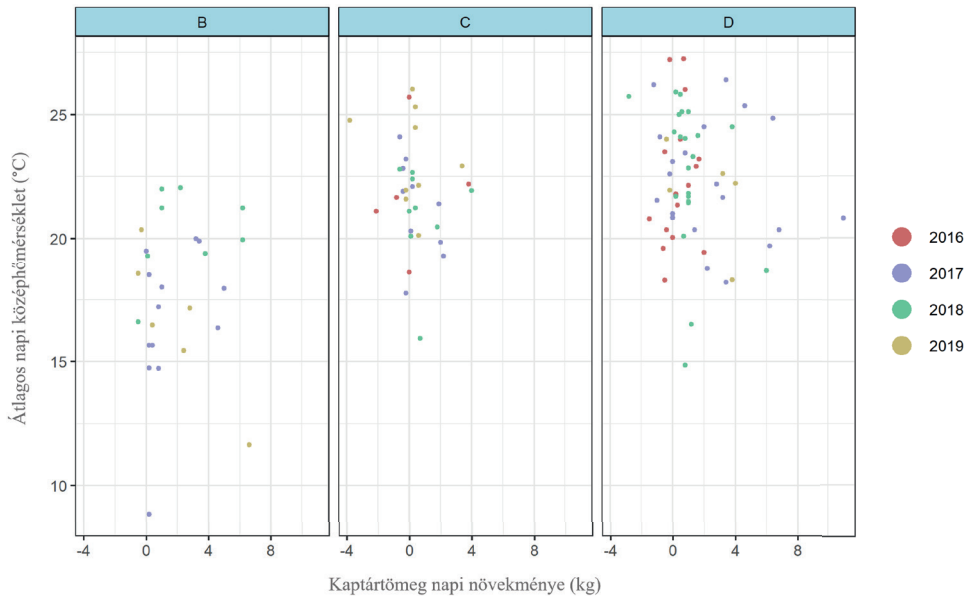
2. ábra. Időszakok hossza 2016-tól 2020-ig (A=tavaszi felkészülés időszaka, B=akác virágzásának időszaka, C=vegyes virágok időszaka, D=napraforgó virágzásának időszaka, E=téli felkészülés időszaka, F=nyugalmi időszak).

### A meteorológiai viszonyok hatása a kaptártömegre

A kapcsolatok elemzését a vegetációs periódusokban (B, C, D) végeztük el, rendre az akác, a vegyes virágok és a napraforgó mézelésének idején. Elsőként arra kerestük a választ, hogy az adott időszakokat jellemző meteorológiai viszonyok (átlagos, maximum- és minimum-hőmérsékletek, csapadékösszeg, átlagos globálisugárzás, száraz napok száma, leghosszabb száraz periódus az időszak során), valamint a mézhozam között megfigyelhető-e valamilyen összefüggés. Mivel a kipergethető méz mennyiségét több hatás együttesen befolyásolja, ezért az egyes meteorológiai változók önállóan általában nem mutattak egyértelmű összefüggést a mézhozammal, ráadásul esetenként a különböző periódusok között is eltérőnek adódott ugyanannak a tényezőnek a hatása. A vizsgált mennyiségek közül a leghosszabb száraz időszak (száraz napok száma) és a mézhozam között találtunk pozitív kapcsolatot a B és D időszakban (akác és napraforgó virágzás idején), vagyis a száraz napok növekedésével a kipergethető méz mennyisége is emelkedett az akác és a napraforgó virágzásának időszakában, viszont a vegyes virágok idején a kapcsolat nem volt ennyire egyértelmű (3. ábra). Ugyanakkor azt is meg kell jegyezni, hogy a vizsgált néhány év adatsora még



3. ábra. Éves mézhozam változása a leghosszabb száraz időszak függvényében (B=akác virágzásának időszaka, C=vegyes virágok időszaka, D=napraforgó virágzásának időszaka).



4. ábra. Kaptártömeg napi növekményének változása az átlagos napi középhőmérséklet függvényében. (B=akác virágzásának időszaka, C=vegyes virágok időszaka, D=napraforgó virágzásának időszaka).

nem feltétlenül elegendő megfelelő következtetések levonására, de információt nyújthat arra vonatkozóan, hogy a jövőben mely változókat érdemes közelebbről megvizsgálni.

A továbbiakban a meteorológiai állapotjelzők és a kaptártömeg napi változásait vizsgáltuk. A 4. ábra az átlagos napi középhőmérséklet, valamint a kaptártömeg

napi növekménye közötti kapcsolatot mutatja az egyes években és különböző vegetációs periódusokban (B, C, D). Az ábra alapján szoros kapcsolatot nem találtunk; adott hőmérsékleti értékek esetén a különböző években gyakran jelentősen eltérő kaptártömeg változás volt megfigyelhető, sőt, az adott éven belüli periódusoknál is nagy szórást mutatott a napi tömegváltozás. A továbbiakban ezért mindenképpen részletesebb időbeli felbontásban érdemes majd a változók együttes hatását elemezni, továbbá hosszabb adatsorokat vizsgálni.

### Statistikai elemzések

A következőkben statisztikai vizsgálataink eredményeit mutatjuk be. Az adatsoron elvégeztük a kaptártömeg és a méz- és méhtömeg növekmény és a meteorológiai elemek napi értékpárjainak korrelációs vizsgálatát.

A kaptártömeg növekménye és a középhőmérséklet, valamint a maximumhőmérséklet között a teljes időszakra nézve a Pearson-féle korrelációs együttható egyaránt  $R = 0,18$ , ami elmarad a szakirodalomban található értékektől. Valamivel nagyobb korrelációs együtthatót kaptunk a kaptártömeg napi növekménye és a globálisugárzás között  $R = 0,24$ . Méz és méhtömegre elvégezve a kor-

relációt, a legjobb eredményt ez esetben is az átlagos globálisugárzással kaptuk ( $R = 0,29$ ). A korrelációnál is hasonló következtetéseket vontunk le, mint a mintázatok elemzésénél. Az alacsony korrelációs együttható értékeket okozhatja a kaptártömeg, valamint méz és méhtömeg növekmény változó komplexitása és a különböző környezeti abiotikus és biotikus folyamatok



egyidejű hatása. Nagyobb korreláció eléréséhez valószínűleg növelni kell az elemzések időbeli felbontását, és nagyobb mennyiségű adatra lenne szükség. Ugyanakkor az eredmények egy elsődleges becslésre hasznosak lehetnek.

A továbbiakban az egymást követő mintavételek összefüggése miatt Granger-oktságot vizsgáltunk, amely két vagy több állapothatározó között vizsgál meg kapcsolati viszonyt egy idősorban (Leamer, 1985). A teszt során nem ok-okozatiságot vizsgálunk, hanem azt, hogy egy idősor hogyan jelezhető előre egy másik idősor alapján. Tesztjeink kapcsán azt vizsgáltuk, hogy a meteorológiai adatsornak  $x(t)$  egy változója milyen mértékben magyarázza a méhészeti adatsor értékeinek  $y(t)$  változását. Másképpen, hogy az  $x$  minta megelőző megfigyelései mennyiben tartalmaznak hasznos információt az  $y$  sorozat előrejelzésében. A nullhipotézisünk az, hogy az  $x(t)$  meteorológiai állapothatározó nem magyarázza az  $y(t)$  méhészeti adatsor változását, tehát  $x(t)$  nem okozza  $y(t)$ -t a Granger-teszt alapján. A nullhipotézis akkor vetendő el, ha a  $p$ -érték, jelen esetben  $Pr$  érték, egy kiválasztott szignifikancia szintnél alacsonyabb. Ellenhipotézisként pedig azt fogalmazhatjuk meg, hogy  $x(t)$  meteorológiai változó magyarázza  $y(t)$ -nek a változását (Granger, 1969). A Granger-teszt  $x(t)$  és  $y(t)$  változóra:

$$y_t = \hat{y}_t + \epsilon_{1t} = \beta_{01} + \sum_{p=1}^P (\beta_{11,p}y_{t-p} + \beta_{12,p}x_{t-p}) + \epsilon_{1t}, \quad (1)$$

$$x_t = \hat{x}_t + \epsilon_{2t} = \beta_{02} + \sum_{p=1}^P (\beta_{21,p}y_{t-p} + \beta_{22,p}x_{t-p}) + \epsilon_{2t}, \quad (2)$$

ahol  $P$  a figyelembe vett múltbeli megfigyelések száma és a  $\beta$  mátrix tartalmazza azok együtthatóit. Az  $\epsilon_1$  és  $\epsilon_2$  maradványtagok az  $x(t)$  és  $y(t)$  előrejelzett értékeinek hibái (Chen et al., 2004). Ha a  $(\beta_{12,1}, \dots, \beta_{12,P})$  nem nullvektor és  $(\beta_{21,1}, \dots, \beta_{21,P})$  nullvektor, akkor azt mondhatjuk, hogy  $x(t)$  Granger okozza  $y(t)$ -t. Ha  $\beta_{(12,1, \dots, 12,P)}$  és  $\beta_{(21,1, \dots, 21,P)}$  sem nullvektor, akkor függetlenség van a két adatsor között. Ha mindkét vektor nullvektor, akkor nincs Granger-féle értelemben vett ok-okozati összefüggés (Kodra et al., 2011). A teszt során a kaptártömeg növekményt és néhány légköri állapotjelző napi átlagos értékeit vizsgáltuk. A késleltetés növelésével egyre csökkent a F-teszt statisztika és a  $Pr$  (valószínűségi) érték közötti távolság, amely a szignifikáns eredmény záloga. A tesztnél fontos az irányt megválasztani, tehát, hogy mely adatsor változásai vannak hatással a másikra. A tesztet R programnyelven végeztük el az „lmtest” csomag segítségével (Zeileis and Hothorn, 2002). A Granger-teszt függvény okozat-ok

sorrendben írható fel, ahol megadható az „order” paraméter segítségével a késleltetés mértéke. A  $p$ -értéket a Wald-teszt alapján számítottuk (Lafontaine and White, 1986).

A teszt eredményeit a 3–4. táblázatokban jelenítettük meg, ahol a napi kaptártömeg növekményét (3. táblázat), illetve a napi méz- és méhtömeg napi növekményét vizsgáltuk a napi átlagos globálsugárzással, napi átlagos közép-, maximum- és minimumhőmérséklettel a teljes időszakra (2016–2020), illetve periódusokra bontva (4. táblázat). A periódusokra bontásnál vizsgáltuk az összeillesztett akác és napraforgó időszakokat 2016–2020 között, illetve külön megvizsgáltuk az egyes éveket is különböző hordási időszakokban. A táblázatokban a szignifikáns eredményeket pipával jelöltük. A teljes vizsgált időszakot tekintve legjobb eredményre a globálsugárzással jutottunk ( $F = 17,6$ ;  $Pr = 0,00004$ ) a méz- és méhtömeg növekményt tekintve. Az időszakokat leválogatva meghatározók voltak a hőmérsékletek (az átlagos napi közép-, maximum- és minimumhőmérséklet). Az eredményeket egyidejű ok-okozatiságra a 95%-os szignifikancia szinten vizsgáltuk.

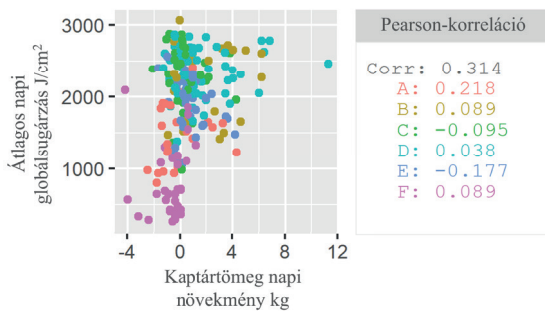
| Kaptártömeg napi növekménye |        | Átl. globálsugárzás | Átl. $T_{közép}$ | Átl. $T_{max}$ | Átl. $T_{min}$ |
|-----------------------------|--------|---------------------|------------------|----------------|----------------|
| Teljes adatsor              |        | ✓                   |                  |                |                |
| Akác                        | Teljes | ✓                   |                  |                |                |
|                             | 2019   |                     |                  | ✓              |                |
| Napraforgó                  | 2018   |                     | ✓                | ✓              | ✓              |
|                             | 2019   |                     | ✓                | ✓              | ✓              |

3. táblázat. Szignifikáns eredmények a kaptártömeg napi növekménye vizsgálatokor (Átl. globálsugárzás = napi átlagos globálsugárzás [ $J/cm^2$ ], Átl.  $T_{közép}$  = napi átlagos középhőmérséklet [ $^{\circ}C$ ], Átl.  $T_{max}$  = napi átlagos maximumhőmérséklet [ $^{\circ}C$ ], Átl.  $T_{min}$  = napi átlagos minimumhőmérséklet [ $^{\circ}C$ ]).

| Méz- és méhtömeg napi növekménye |        | Átl. globálsugárzás | Átl. $T_{közép}$ | Átl. $T_{max}$ | Átl. $T_{min}$ |
|----------------------------------|--------|---------------------|------------------|----------------|----------------|
| Teljes adatsor                   |        | ✓                   | ✓                | ✓              | ✓              |
| Akác                             | Teljes |                     |                  |                |                |
|                                  | 2019   |                     |                  |                |                |
| Napraforgó                       | 2018   |                     | ✓                | ✓              | ✓              |
|                                  | 2019   |                     | ✓                | ✓              | ✓              |

4. táblázat. Szignifikáns eredmények a méz- és méhtömeg napi növekményének vizsgálatokor (Átl. globálsugárzás = napi átlagos globálsugárzás [ $J/cm^2$ ], Átl.  $T_{közép}$  = napi átlagos középhőmérséklet [ $^{\circ}C$ ], Átl.  $T_{max}$  = napi átlagos maximumhőmérséklet [ $^{\circ}C$ ], Átl.  $T_{min}$  = napi átlagos minimumhőmérséklet [ $^{\circ}C$ ]).





5. ábra. A kaptártömeg napi növekménye (kg) és az átlagos napi globálsugárzás ( $J/cm^2$ ) Pearson-korrelációja a teljes, illetve a leválogatott időszakokra.

## Összefoglalás

A változók kapcsolatának elemzése, illetve a statisztikai vizsgálatok (korrelációk, Granger-teszt) eredményei rámutattak az időjárás elemek háziméhekre gyakorolt hatására. A legjobb eredményt a méhészeti változók a globálsugárzással mutatták. A vegetációs periódusokat tekintve, melyek során kevesebb volt a méhészeti beavatkozás, a hőmérsékleti értékek is jobb egyezést és szignifikáns kapcsolatot mutattak a vizsgált változókkal. A későbbiekben további fontos meteorológia változónak tartjuk a hőségnapok és a száraznapok számát, továbbá több meteorológiai állapotjelző egyidejű vizsgálatát, különböző időjárás helyzetek elemzésével. A méhek a környezeti feltételekhez, az időjáráshoz való gyors alkalmazkodását számításaink is bizonyították. A közeljövőben célszerűnek tartjuk több kaptár bevonását, időszakok leválogatását, továbbá kellően nagy adatmennyiséggel az emberi tevékenység kiszűrését. Az időbeli felbontást célszerű 1 órára vagy 10 percesre növelni, továbbá több tér- és időskálán elvégezni a számításokat. Digitális automata kaptár-mérlegekkel az adatmennyiség növelése a későbbiekben felgyorsulhat és további méhészetek bevonásával nőhet az adatmennyiség is. Ezentúl érdemes összetett agrometeorológiai változókat vizsgálni és további állapothatározókat bevonni a vizsgálatokba. A jövőben céljaink között szerepel a hatások további komplex vizsgálata és a kaptártömeg változások modellezése az időjárás állapothatározók függvényében.

## Köszönetnyilvánítás

A kutatás az Éghajlatváltozás Nemzeti Multidiszciplináris Laboratórium RRF-2.3.1-21-2022-00014 számú projekt keretében valósult meg.

A szerzők köszönetüket fejezik ki Vincze Ferencnek, debreceni méhésznek és családjának, akik adataikkal és szakmai tapasztalatukkal hozzájárultak a kutatásunkhoz.

## Irodalomjegyzék

- Abou-Shaara, H.F., Owayss, A.A., Ibrahim, Y.Y., and Basuny, N.K., 2017: A review of impacts of temperature and relative humidity on various activities of honey bees. *Insectes Sociaux* 64, 455–463. doi:10.1007/s00040-017-0573-8
- Aizen, M.A., Garibaldi, L.A., Cunningham, S.A., and Klein, A.M., 2008: Long-Term Global Trends in Crop Yield and Production Reveal No Current Pollination Shortage but Increasing Pollinator Dependency. *Curr. Biol.* 18, 1572–1575. doi:10.1016/j.cub.2008.08.066
- Aizen, M.A. and Harder, L.D., 2009: The Global Stock of Domesticated Honey Bees Is Growing Slower Than Agricultural Demand for Pollination. *Curr. Biol.* 19, 915–918. doi:10.1016/j.cub.2009.03.071
- Anderegg, W.R.L., Abatzoglou, J.T., Anderegg, L.D.L., Bietlor, L., Kinney, P.L., and Ziska, L., 2021: Anthropogenic climate change is worsening North American pollen seasons. *Proc. Nat. Acad. Sci* 118. doi:10.1073/pnas.2013284118
- Benedek, P., 1983: A méhészet és a mezőgazdasági növénytermesztés. In: (Szerk. Nikovitz A.): A méhészet kézikönyve I–II. Allattenyésztési és Takarmányozási Kutatóközpont, Hungaronektár, Budapest, 577–672 p.
- Bock, A., Sparks, T.H., Estrella, N., and Menzel, A., 2013: Climate-Induced Changes in Grapevine Yield and Must Sugar Content in Franconia (Germany) between 1805 and 2010. *PLOS ONE*, 8, e69015. doi:10.1371/journal.pone.0069015
- Bock, A., Sparks, T.H., Estrella, N., Jee, N., Casebow, A., Schunk, C., Leuchner, M., and Menzel, A., 2014: Changes in first flowering dates and flowering duration of 232 plant species on the island of Guernsey. *Glob. Change Biol.* 20, 3508–3519. doi:https://doi.org/10.1111/gcb.12579
- Bordier, C., Dechatre, H., Suchail, S., Peruzzi, M., Soubeyrand, S., Pioz, M., Péliissier, M., Crauser, D., Conte, Y.L., and Alaux, C., 2017: Colony adaptive response to simulated heat waves and consequences at the individual level in honeybees (*Apis mellifera*). *Sci. Rep.* 7, 3760. doi:10.1038/s41598-017-03944-x
- Burrill, R.M. and Dietz, A., 1981: The response of honey bees to variations in solar radiation and temperature. *Apidologie* 12, 319–328. doi:10.1051/apido:19810402
- Celli, G. and Maccagnani, B., 2003: Honey bees as bioindicators of environmental pollution. *Bull. Insectol.* 56, 137–139.
- Chen, Y., Rangarajan, G., Feng, J., and Ding, M., 2004: Analyzing multiple non-linear time series with extended Granger causality. *Phys. Lett. A* 324, 26–35. doi:10.1016/j.physleta.2004.02.032
- Clarke, D. and Robert, D., 2018: Predictive modelling of honey bee foraging activity using local weather conditions. *Apidologie* 49, 386–396. doi:10.1007/s13592-018-0565-3
- Crane, E., 2009: Chapter 19 - Beekeeping. In: (Eds. Resh, V.H., and Cardé, R.T.) *Encyclopedia of Insects*. Academic Press, San Diego, 66–71. doi:10.1016/B978-0-12-374144-8.00019-9
- Csóka, G., Csókáné Hirka, A., Csepelényi, M., Szöcs, L., Molnár, M., Tuba, K., Hillebrand, R., and Lakatos, F., 2018: Response of forest insects to the climate change (case studies). *Erdészettudományi Közlemények* 8, 149–162.
- Devillers, J., Doré, J.C., Tisseur, M., Cluzeau, S., and Maurin, G., 2004: Modelling the flight activity of *Apis mellifera* at the hive entrance. *Comput. Electron. Agricult.* 42, 87–109. doi:10.1016/S0168-1699(03)00102-9
- Edward E. Leamer, 1985: Vector autoregressions for casual inference? *Carnegie-Rochester Conf. Ser. Publ. Policy* 22, 255–304.
- Faluba, Z., 1983: *Méhek, méhészkedés*. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
- FAO, 2018: Why bees matter: The importance of bees and other pollinators for food and agriculture.
- Farkas, Á. and Zajác, E., 2007: Nectar Production for the Hungarian Honey Industry. *Eur. J. Plant Sci. Biotechnol.* 125–151.
- Fitter, A.H. and Fitter, R.S.R., 2002: Rapid Changes in Flowering Time in British Plants. *Science* 296, 1689–1691. doi:10.1126/science.1071617
- Flores, J.M., Gil-Lebrero, S., Gámiz, V., Rodríguez, M.I., Ortiz, M.A., and Quiles, F.J., 2019: Effect of the climate change on honey bee colonies in a temperate Mediterranean zone assessed through remote hive weight monitoring system in conjunction with exhaustive colonies assessment. *Sci. Total Environ.* 653, 1111–1119. doi:10.1016/j.scitotenv.2018.11.004
- Frisch, K.W., 1947: *Duftgelenkte Bienen im Dienste der Landwirtschaft und Imkereien*. Springer Verlag, Wien, 189 p.
- Gallai, N., Salles, J.-M., Settele, J., and Vaissière, B.E., 2009: Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline. *Ecol. Econom.* 68, 810–821. doi:10.1016/j.ecolecon.2008.06.014
- Genersch, E., 2010: Honey bee pathology: current threats to honey bees and beekeeping. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 87, 87–97. doi:10.1007/s00253-010-2573-8

- Gill, R.J., Ramos-Rodriguez, O., and Raine, N.E., 2012: Combined pesticide exposure severely affects individual- and colony-level traits in bees. *Nature* 491, 105–108. doi:10.1038/nature11585
- Granger, C.W.J., 1969: Investigating Casual Relations by Econometric Models and Cross-spectral Methods. *Econometrica* 37, 424–438.
- Gulyás, S., 1983: *A méhekészítés. A méhészet kézikönyve I-II. Állattenyésztési és Takarmányozási Kutatóközpont, Hungaronektár, Budapest*, 826 p., 510 p.
- Hambleton, J.J., 1925: *The Effect of Weather Upon the Change in Weight of a Colony of Bees During the Honey Flow*. U.S. Department of Agriculture, 60 p.
- He, X.-J., Tian, L.-Q., Wu, X.-B., and Zeng, Z.-J., 2016: RFID monitoring indicates honeybees work harder before a rainy day. *Insect Sci.* 23, 157–159. doi:10.1111/1744-7917.12298
- Hegland, S.J., Nielsen, A., Lázaro, A., Bjerknes, A.-L., and Totland, Ø., 2009: How does climate warming affect plant-pollinator interactions? *Ecol. Lett.* 12, 184–195. https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2008.01269.x
- Holmes, W., 2002: The influence of weather on annual yields of honey. *J. Agricult. Sci.* 139, 95–102. doi:10.1017/S0021859602002277
- Ion, N., Stefan, V., Ion, V., Fota, G., and Coman, R., 2007: Results concerning the melliferous characteristics of the sunflower hybrids cultivated in Romania. *Zootecnie și Biotehnologii* 40, 80–90.
- Jiang, J.-A., Wang, C.-H., Chen, C.-H., Liao, M.-S., Su, Y.-L., Chen, W.-S., Huang, C.-P., Yang, E.-C., and Chuang, C.-L., 2016: A WSN-based automatic monitoring system for the foraging behavior of honey bees and environmental factors of beehives. *Comput. Electron. Agricult.* 123, 304–318. doi:10.1016/j.compag.2016.03.003
- Kardos, I., 1974: Megfigyelések az akácrol. *Méhészet*, 66–67.
- Klein, A.-M., Vaissière, B.E., Cane, J.H., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S.A., Kremen, C., and Tscharntke, T., 2007: Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proc. Roy. Soc. B: Biol. Sci.* 274, 303–313. doi:10.1098/rspb.2006.3721
- Kodra, E., Chatterjee, S., and Ganguly, A.R., 2011: Exploring Granger causality between global average observed time series of carbon dioxide and temperature. *Theor. Appl. Climatol.* 104, 325–335. doi:10.1007/s00704-010-0342-3
- Komasilova, O., Komasilovs, V., Kviesis, A., and Zacepins, A., 2021: Modeling of the Potential Honey Bee Colony Foraging Activity Based on the Agrometeorological Factors. *Baltic J. Modern Comput.* 9, 280–289. doi:https://doi.org/10.22364/bjmc.2021.9.3.04
- Lafontaine, F. and White, K.J., 1986: Obtaining any Wald statistic you want. *Econ. Lett.* 21, 35–40. doi:10.1016/0165-1765(86)90117-5
- Le Conte, Y. and Navajas, M., 2008: Climate change: impact on honey bee populations and diseases. *Revue scientifique et technique*, 13.
- Lecocq, A., Kryger, P., Vejsnaes, F., and Jensen, A.B., 2015: Weight Watching and the Effect of Landscape on Honeybee Colony Productivity: Investigating the Value of Colony Weight Monitoring for the Beekeeping Industry. *PLOS ONE* 10, e0132473. doi:10.1371/journal.pone.0132473
- Lever, J.J., van Nes, E.H., Scheffer, M., and Bascompte, J., 2014: The sudden collapse of pollinator communities. *Ecology Letters*, 17, 350–359. doi:10.1111/ele.12236
- Lundie, A.E., 1925: *The Flight Activities of the Honeybee*. United States Department of Agriculture.
- Mace, H., 1912: The Influence of Weather on Bees. *Nature* 89, 62–65. doi:10.1038/089062c0
- Magyar, D., Dumitrica, P., Mura-Mészáros, A., Medzihradský, Z., Leelösy, Á., and Martin, S.S., 2021: The Occurrence of Skeletons of Silicoflagellata and Other Siliceous Bioparticles in Floral Honeys. *Foods* 10, 421. doi:10.3390/foods10020421
- Márton, Á., 2011: *Méhészet. Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest*.
- McLellan, A.R., 1977: Honeybee Colony Weight as an Index of Honey Production and Nectar Flow: A Critical Evaluation. *J. Appl. Ecol.* 14, 401–408. doi:10.2307/2402553
- Meikle, W.G., Holst, N., Colin, T., Weiss, M., Carroll, M.J., McFrederick, Q.S., and Barron, A.B., 2018: Using within-day hive weight changes to measure environmental effects on honey bee colonies. *PLOS ONE* 13, e0197589. doi:10.1371/journal.pone.0197589
- Menzel, A., Sparks, T.H., Estrella, N., Koch, E., Aasa, A., Ahas, R., Alm-Kübler, K., Bissolli, P., Braslavská, O., Briede, A., Chmielewski, F.M., Crepinsek, Z., Curnel, Y., Dahl, Á., Defila, C., Donnelly, A., Filella, Y., Jatczak, K., Mäge, F., Mestre, A., Nordli, Ø., Peñuelas, J., Pirinen, P., Remišová, V., Scheffinger, H., Striz, M., Susnik, A., Vliet, A.J.H.V., Wielgolaski, F.-E., Zach, S., and Züst, A., 2006: European phenological response to climate change matches the warming pattern. *Glob. Change Biol.* 12, 1969–1976. https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2006.01193.x
- Ngo, T.N., Rustia, D.J.A., Yang, E.-C., and Lin, T.-T., 2021: Automated monitoring and analyses of honey bee pollen foraging behavior using a deep learning-based imaging system. *Comput. Electron. Agricult.* 187, 106239. doi:10.1016/j.compag.2021.106239
- Ollerton, J., Winfree, R., and Tarrant, S., 2011: How many flowering plants are pollinated by animals? *Oikos* 120, 321–326. https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2010.18644.x
- Örsi, P.Z., 1955: *Méhek között. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest*.
- Pinzauti, M., 1986: The influence of the wind on nectar secretion from the melon and on the flight of bees: the use of an artificial wind-break. *Apidologie* 17, 63–72.
- Potts, S.G., Biesmeijer, J.C., Kremen, C., Neumann, P., Schweiger, O., and Kunin, W.E., 2010: Global pollinator declines: trends, impacts and drivers. *Trends Ecol. Evolut.* 25, 345–353. doi:10.1016/j.tree.2010.01.007
- Puškadija, Z., Štefanić, E., Mijić, A., Zdunić, Z., Paradiković, N., Florijančić, T., and Opačak, A., 2007: Influence of weather conditions on honey bee visits (*Apis mellifera carnica*) during sunflower (*Helianthus annuus* L.) blooming period. *Poljoprivreda* 13, 230–233.
- Rader, R., Reilly, J., Bartomeus, I., and Winfree, R., 2013: Native bees buffer the negative impact of climate warming on honey bee pollination of watermelon crops. *Glob. Change Biol.* 19, 3103–3110. https://doi.org/10.1111/gcb.12264
- Rader, R., Bartomeus, I., Garibaldi, L.A., Garatt, M.P.D., Howlett, B.G., Winfree, R., Cunningham, S.A., Mayfield, M.M., Arthur, A.D., Andersson, G.K.S., Bommarco, R., Brittain, C., Carvalho, L.G., Chacoff, N.P., Entling, M.H., Foully, B., Freitas, B.M., Gemmill-Herren, B., Ghazoul, J., Griffin, S.R., Gross, C.L., Herberitson, L., Herzog, F., Hipólito, J., Jaggard, S., Jauker, F., Klein, A.-M., Kleijn, D., Krishnan, S., Lemos, C.Q., Lindström, S.A.M., Mandelik, Y., Monteiro, V.M., Nelson, W., Nilsson, L., Pattimore, D.E., Pereira, N. de O., Pisanty, G., Potts, S.G., Reemer, M., Rundlöf, M., Sheffield, C.S., Scheper, J., Schiepp, C., Smith, H.G., Stanley, D.A., Stout, J.C., Szentgyörgyi, H., Taki, H., Vergara, C.H., Viana, B.F., and Wojciechowski, M., 2016: Non-bee insects are important contributors to global crop pollination. *PNAS* 113, 146–151.
- Ricketts, T.H., Regetz, J., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S.A., Kremen, C., Bogdanski, A., Gemmill-Herren, B., Greenleaf, S.S., Klein, A.M., Mayfield, M.M., Morandin, L.A., Ochieng, A., and Viana, B.F., 2008: Landscape effects on crop pollination services: are there general patterns? *Ecol. Lett.* 11, 499–515. https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2008.01157.x
- Sajermann, G., 1983: *Méhészetünk alapja az akác. Méhészet* 4–5.
- Sparks, T.H., Langowska, A., Glazacow, A., Wilkaniec, Z., Bieńkowska, M., and Tryjanowski, P., 2010: Advances in the timing of spring cleaning by the honeybee *Apis mellifera* in Poland. *Ecol. Entomol.* 35, 788–791. https://doi.org/10.1111/j.1365-2311.2010.01226.x
- Svoboda, J., 1962: Teneur en strontium 90 dans les abeilles et dans leurs produits. *Bull. Apicole* 5, 101–103.
- Szabo, T.I., 1980: Effect of Weather Factors on Honeybee Flight Activity and Colony Weight Gain. *J. Apicult. Res.* 19, 164–171. doi:10.1080/00218839.1980.11100017
- Tarczay, K. és Feiler, J., 2017: Az éghajlatváltozás kihívásai a méhekre és a méhészetekre. *Léggör* 62, 171–174.
- Thimmegowda, G.G., Brockmann, A., Dhandapani, P.S., and Olsson, S.B., 2020: Reply to Negri et al.: Air pollution and health impacts on bees: Signs of causation. *Proc. Nat. Acad. Sci.* 117, 26578–26579. doi:10.1073/pnas.2017972117
- Vercelli, M., Novelli, S., Ferrazzi, P., Lentini, G., and Ferracini, C., 2021: A Qualitative Analysis of Beekeepers' Perceptions and Farm Management Adaptations to the Impact of Climate Change on Honey Bees. *Insects* 12, 228. doi:10.3390/insects12030228
- Vincze, C., 2019: *A méhészet és a klíma (változás) összefüggései. Szakdolgozat. Debreceni Egyetem, Debrecen*.
- Williams, I.H., Corbet, S.A., and Osborne, J.L., 1991: Beekeeping, Wild Bees and Pollination in the European Community. *Bee World* 72, 170–180. doi:10.1080/0005772X.1991.11099101
- Zeileis, A. and Hothorn, T., 2002: Diagnostic Checking in Regression Relationships. *R News* 2, 7–10.

[1]: [https://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag\\_eghajlata/eghajlati\\_adatsorok/Debrecen/leirasok/szamitasok/](https://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/eghajlati_adatsorok/Debrecen/leirasok/szamitasok/)

[2]: <https://odp.met.hu/>