

MTA DOKTORI ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

**KÜLÖNBÖZŐ TAXONOK POLLENJEINEK
KOMPLEX STATISZTIKAI ELEMZÉSE
A METEOROLÓGIAI ELEMekkel
ÖSSZEFÜGGÉSBEN, KÜLÖNÖS
TEKINTETTEL A PARLAGFŰ POLLENJÉRE**

Makra László

Szeged, 2012

1. Bevezetés

A kémiai légszennyezők mellett a biológiai légszennyezőknek (pollen) is jelentős szerepe van a légúti megbetegedések kialakulásában. Azonban fontos különbség köztük, hogy míg előbbiek az egész év során előfordulnak, a koncentrációjuk eltérő évi menettel jellemezhető, s feldúsulásuk csak nagyobb települések, illetve ipartelepek levegőjében számottevő, addig utóbbiak időszakosak, a megjelenésük az adott taxon virágzásához kötött, s nem településekhez, hanem élőhelyekhez kapcsolódnak.

Különböző taxonok pollenjeit gyakran összefüggésbe hozzák a légúti allergiás tünetekkel. A pollenekhez kapcsolódó egészségi kockázat egyre növekszik, hiszen a légúti megbetegedések világméretű növekedése tapasztalható az elmúlt évtizedekben (D'Amato et al., 2011). Továbbá bizonyíték van arra, hogy a közlekedési eredetű légszennyező anyagok kölcsönhatásba léphetnek a pollenekkel, s még hevesebb légúti allergiás tüneteket idézhetnek elő (Motta et al., 2006).

Világviszonylatban Magyarországon, s különösen a Dél-Alföldön a legnagyobb a levegő parlagfűpollen koncentrációja. Mai árakon évi kb. 113-137 milliárd forint az a gazdasági veszteség, amely a parlagfű tenyésztésével járó helytelen gazdálkodással kapcsolatos termés kiesésből, a közvetlen védekezési ráfordításokból, illetve a táppénzen töltött napok számából, a gyógyszerkiadásokból és a betegápolásból származik. Az egyéb közvetlen és közvetett hatások (munkaerő-kiesés, turisztikai, és természetvédelmi károk, a parlagfű-magvakkal szennyezett vetőmag, stb.) további – nehezen megbecsülhető – veszteségekkel járnak, s az összes okozott kár valószínűleg elérheti az évi kb. 120-200 milliárd forintot (Mányoki et al., 2011). Ezek alapján a parlagfű pollennel, illetve általában a pollenekkel kapcsolatos kutatásoknak fontos gyakorlati jelentősége van.

Különböző taxonok pollenjei fenológiai és mennyiségi jellemzői meteorológiai elemekkel való kapcsolatának statisztikai vizsgálata viszonylag új tudományterület a szakirodalomban, hiszen a pollencsapdás észlelések csupán az 1960-es években kezdődtek Európában, s kb. három évtized elteltével jelentek meg az első cikkek a témakörben (Declavijo et al., 1988; Emberlin és Norrishill, 1991; Peeters et al., 1994). Magyarországon ez a tudományterület teljesen új, ez idáig még senki nem foglalkozott a pollenklimatológiával.

2. Célkitűzés

Különböző taxonok, különösen a parlagfű pollenjének statisztikai analízise és meteorológiai összefüggéseinek a feltárása hatékony segítséget nyújthat a súlyos pollenterhelések időszakára való felkészülésben, illetve azok egészségi következményeinek a mérséklésében. A dolgozat célja a következő.

(a) Rövid áttekintést adunk a parlagfű történetéről, pollenjének egészségi hatásairól, majd elemezzük a parlagfű pollen napi átlagos koncentrációi időbeli menetének statisztikai jellemzőit, kapcsolatát a kritikus értékekkel, továbbá meghatározzuk azt az időszakot, amelyben a legsúlyosabb pollenterhelés várható.

(b) Azonosítjuk azokat a kulcsfontosságú földrajzi régiókat, ahonnan nagy távolságú transzport révén jelentős mennyiségű parlagfű pollen érkezik Szeged térségébe.

(c) Elemezzük a meteorológiai elemegyüttesek napi átlagértékeinek homogén csoportjaiként általunk előállított objektív időjárás-típusok, illetve a Péczely által definiált szubjektív időjárás-típusok szerepét, illetve hatékonyságát a vizsgált taxonok napi átlagos pollenszámainak az osztályozásában.

(d) Meteorológiai elemek napi értékeinek a clusteranalízisével megvizsgáljuk a kapott clusterek szerinti napi átlagos Poaceae pollenkoncentrációkat, s azok nagytérségű légcirkulációs összetevőit. Tanulmányozzuk továbbá a meteorológiai elemeknek az egyes clusterek szerinti napi átlagos Poaceae pollenszámokra gyakorolt hatását, amikor hidegfront, illetve melegfront halad át Szeged fölött. Azokat a napokat, amikor nincs front és esik; illetve nincs front és nem esik, szintén figyelembe vesszük. Végül mindegyik fenti kategória esetében kísérletet teszünk a napi átlagos Poaceae pollenszámok egy nappal előre történő megbecslésére.

(e) Időfüggő lineáris regressziós és időfüggő nemparaméteres regressziós modelleket, valamint egy időfüggő nemparaméteres medián regressziót fejlesztünk ki a napi pollenkoncentráció elő-

rejelzésére Szegeden, a meteorológiai paraméterek és a pollenkoncentráció előző napi értékeinek a felhasználásával. A kifejlesztett modelleket mind csapadékos, mind nem-csapadékos napokra alkalmazzuk. A medián regresszió kiterjesztéseként egy nemparaméteres kvantilis regressziót is bevezetünk.

(f) Elemezzük a biológiai (pollen) és a kémiai légszennyezőknek, valamint a meteorológiai változóknak a légúti megbetegedésekre gyakorolt hatását különböző korcsoportokban, illetve eltérő időszakok szerint Szeged térségére.

(g) Egy 19 taxont átfogó kiterjedt szegedi pollen adatbázis felhasználásával meghatározzuk a pollenszezon fenológiai karakterisztikáinak (a pollinációs időszak kezdőnapja, utolsó napja, tartama), és mennyiségi jellemzőinek (évi összes pollenszám, éven belüli maximális napi pollenszám) évi, illetve napi trendjeit minden egyes taxonra. Az egyes taxonok klímaváltozással szembeni érzékenységének a jellemzésére új statisztikai jellemzőket – nevezetesen az ún. kapcsolati mérőszámot, valamint a többszörös kapcsolati mérőszámot, továbbá két új taxonspecifikus kategóriát, azaz a kockázati potenciált és a terjeszkedési potenciált – vezetünk be, majd ezeket elemezzük.

Az ilyen irányú kutatások javíthatják a pollenszennyezettség kezelésének a hatékonyságát azáltal, hogy statisztikai módszerek felhasználásával feltárjuk a felhasznált adatok közötti komplex kapcsolatokat, illetve azáltal, hogy a kapott eredményeket világosan és praktikusán bocsátjuk a döntéshozók elé, továbbá egyszerűen hozzáférhetővé és könnyen alkalmazhatóvá tesszük azokat a laosság számára.

3. Adatbázis

A felhasznált adatok az alábbi mérőhelyekről származtak. (a-b) A meteorológiai és levegőtisztasági monitoring állomás Szeged belvárosában, egy forgalmi csomópontban (a Kossuth Lajos sgt., valamint a Damjanich u. - Teréz u. kereszteződése) – található, amely Szeged egyik legforgalmasabb közlekedési csomópontja. (c) Az aerobiológiai állomás a Szegedi Tudományegyetem Bölcsészettudományi Kari épületének a tetején, a város szintjétől kb. 20 m magasságban található. (d) A légúti betegségekben szenvedők napi adatai Deszkről, a Mellkasi Betegségek Szakkórházából származik, amely Szegedtől kb. 10 km-re található.

A mért adatok a következők. (a) 12 meteorológiai változó (középhőmérséklet: T_{mean} , °C; maximum hőmérséklet: T_{max} , °C; minimum hőmérséklet: T_{min} , °C; napi hőmérsékleti terjedeleme: $\Delta T = T_{\text{max}} - T_{\text{min}}$, °C; szélsősebesség: WS, $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; relatív nedvesség: RH, %; globálisugárzás: I, $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$; telítettségi gőznyomás: E, hPa; gőznyomás: VP, hPa; potenciális párolgás: PE, mm; harmatpont hőmérséklet: T_d , °C; és a légnyomás: P, hPa) napi adatai, amelyekre a vizsgálat alapidőszaka az 1997. január 1. – 2006. december 31. közötti 10 év, illetve ezen időszak részperiódusai; (b) 6 kémiai változó (CO , NO , NO_2 , SO_2 , O_3 és PM_{10}) 1999. január 1. – 2007. december 31. közötti 9 évre, illetve ezen időszak részperiódusaira vonatkozó napi átlagos tömegkoncentrációi ($\mu\text{g m}^{-3}$). (c) 24 taxon napi átlagos pollenszámai (pollenszem / m^3 levegő / nap) az 1989-2010 közötti 22 éves periódus február 1. – október 31. közötti időszakára, illetve ezen időszak részperiódusaira. A vizsgált 24 taxon latin (magyar) nevükkel a következők. *Acer* (juhar), *Alnus* (éger), *Ambrosia* (parlagfű), *Artemisia* (üröm), *Betula* (nyír), *Cannabis* (kender), *Carpinus* (gyertyán), *Chenopodiaceae* (libatopfélék), *Corylus* (mogyoró), *Fraxinus* (kőris), *Juglans* (dió), *Morus* (eperfa), *Pinus* (fenyő), *Plantago* (útifű), *Platanus* (platán), *Poaceae* (fűfélék), *Populus* (nyár), *Quercus* (tölgy), *Rumex* (lórom), *Salix* (fűz), *Taxus* (tiszaafa), *Tilia* (hárs), *Ulmus* (szil), *Urtica* (csalán). (d) A légúti betegségekben szenvedők napi adatait a gyermek páciensek (0-14 év) igen alacsony száma miatt csupán három korcsoportra vizsgáltuk: felnőtt betegek (15-64 év), idős betegek (65 év, vagy afölött), illetve összes beteg beleértve a gyermek korosztályt is. A vizsgált összes betegszám 133.464 fő volt.

4. Módszerek

Makra-próba: Bemutatjuk a klasszikus kétmintás próba egy új interpretációját, melynek alapkérdése, hogy kimutatható-e szignifikáns eltérés valamely adatsor tetszőleges részmintájának az átlaga és a teljes mintaátlag között? Ennek a próbának az alkalmazása lehetővé teszi, hogy meghatározzuk azt az időszakot, amelyben a leg súlyosabb pollenterhelés várható. *Az adatkészlet simítása*: A

pollenkonzentráció, mint bármely olyan változó, melyet a meteorológiai elemek befolyásolnak, erős évi menetet mutat, sőt az év bizonyos szakában egyáltalán nincs pollen a levegőben. Emiatt előzetesen eltávolítottuk a pollen adatokból az évi menetet, majd standardizáltuk azokat. Az ily módon standardizált adatokban nincsen évi ciklus, garantálva, hogy az adott változók clustereinek az átlagos pollenkonzentrációi közötti eltérés magukkal a típusokkal magyarázható, és nincsen kapcsolatban azzal, hogy az évnek éppen melyik szaka van. A kriging eljárás: egy interpolációs módszer, melyet azon célból alkalmaztuk, hogy egy szabályos gridhálózathoz mezőt készítve előállítsuk a tengerszinti légnyomás izovonalas térképeit. Ilyen szabályos gridhálózaton a kriging eljárással generált mező lényegében nem tér el a lineáris interpolációval létrehozott mezőtől. Faktoranalízis: Ahhoz, hogy a kiindulási adatkészlet dimenzióját csökkentjük, s a vizsgált változók közötti kapcsolatokat megmagyarázzuk, a faktoranalízis többváltozós statisztikai módszerét alkalmaztuk. Faktoranalízis speciális transzformációval: A faktoranalízis végrehajtása után a megtartott faktorok összes súlyát mind a magyarázó változók, mind pedig a célmenyiség helyén egy faktorra transzformáltuk azon célból, hogy megállapítsuk, a magyarázó változók milyen mértékben befolyásolják a célváltozót, illetve megadjuk azok befolyásának fontossági sorrendjét. Backward trajektóriák: A backward trajektóriákat a HYSPLIT 4.8 modell segítségével az NCEP/NCAR (National Centers for Environmental Prediction / National Center for Atmospheric Research) révén rendelkezésre álló adatbázisból határoztuk meg Szegedre. Clusteranalízis: A megfigyelt változók természetes szerkezetének vizsgálatára a nem-hierarchikus clusteranalízist alkalmaztuk a k-közép algoritmussal, s a Mahalanobis metrikát használtuk két elem hasonlóságának a meghatározására. Egyszempontú variancia analízis (ANOVA) és Tukey-teszt: Az ANOVA-t azon célból alkalmaztuk, hogy kiderítsük, vajon a bizonyos szempontok szerint meghatározott clusterek napi átlagos pollenkonzentrációi szignifikánsan eltérnek-e egymástól. Ha ez az eltérés szignifikáns, akkor az alkalmazott teszt alapján elutasítjuk a 0-hipotézist. Ekkor a Tukey-féle tesztet hajtjuk végre annak megállapítására, hogy a pollenkonzentrációk clusterek szerinti átlagai konkrétan mely clusterek között mutatnak szignifikáns eltérést. A pollenküszöb túllépési epizódok statisztikai jellemzése: A különböző trajektória clusterekhez kapcsolódó napi pollenküszöb túllépési epizódokra két statisztikai indexet, nevezetesen egy valószínűségi (INDEX1: az i -edik clusterben a pollenküszöb túllépésének a valószínűsége) és egy gyakorisági (INDEX2: az i -edik clusterben a pollenküszöb túllépésének a valószínűsége a pollenküszöböt meghaladó koncentrációjú napokon) indexet határoztunk meg. Időjárási frontok objektív azonosítása: A figyelembe vett meteorológiai paraméterek az RT 500/850 hPa relatív topográfiák (a levegőréteg vastagságának a kiszámítására), 700 hPa hőmérsékleti mezők (a hőmérsékleti advekció kiszámítására, a front előjelének a meghatározása céljából), valamint a 700 hPa szélmezők (az advekció figyelembe vételére a termál front paraméter (TFP) kiszámításakor. Az algoritmus alapján azon napok adatait, amelyeken front vonult át Szeged fölött, hatóránkénti felbontásban állítottuk elő. Időfüggő lineáris regresszió, időfüggő nemparaméteres regresszió, időfüggő nemparaméteres medián regresszió: A modellek kifejlesztésének az a célja, hogy előrejelezhessük a napi pollenkonzentrációt Szegedre az előző napi meteorológiai paraméterek és az előző napi pollenkonzentráció segítségével. Időfüggő többváltozós lineáris regresszió, időlépcsővel: Célszerű időlépcsőket megadni a légszennyezettség koncentrációk és a légúti megbetegedések száma között. Az időfüggő lineáris regresszió egyváltozós verzióját hajtottuk végre minden egyes magyarázó változóval, s azok különböző időbeli késéseivel, beleértve a 0-adik időlépcsőt is. Trendanalízis és Mann-Kendall teszt: A trendek létezését általában a becsült meredekségek és azok varianciáin alapuló t -próba segítségével vizsgáljuk. Ugyanakkor a t -próba csak normális eloszlású adatokra alkalmazható. Nem normális eloszlású adatok monoton trendjeit nemparaméteres próbákkal, mint pl. a Mann-Kendall teszttel lehet vizsgálni. Aszimmetrikus eloszlású adatokra – mint pl. az évi csúcs pollenszámok (évi maximális napi pollenszámok) – ez utóbbi módszer szignifikánsan hatékonyabb, mint a t -próba. Többszörös kapcsolati mérőszám (multiple association measure = MAM): Azt írja le, hogy a pollenkonzentráció napi trendjei meredekségének az évi ciklusa mennyire jól reprezentálható az éghajlati változók napi trendjei meredekségei évi ciklusainak egy lineáris kombinációjával. Klímaváltozás miatti kockázati potenciál (risk potential = RP): A különböző taxonok fajainak a veszélyeztetettségét írja le azok jelenlegi élőhelyén. Klímaváltozás miatti terjeszkedési potenciál

(*expansion potential = EP*): A fajok azon képességéről tájékoztat, hogy elvándorolnak a tájban és így élnek túl a klímaváltozást, vagy alkalmazkodnak élőhelyükhöz, esetleg terjeszkednek.

3. Eredmények

Különböző taxonok pollenjei fenológiai és mennyiségi jellemzői meteorológiai elemekkel való kapcsolatának statisztikai vizsgálata viszonylag új tudományterület a szakirodalomban, hiszen a pollencsapdás észlelések csupán az 1960-es években kezdődtek Európában, s kb. három évtized elteltével jelentek meg az első cikkek a témakörben (Declavijo et al., 1988; Emberlin és Norrishill, 1991; Peeters et al., 1994). Magyarországon ez a tudományterület teljesen új, ez idáig még senki nem foglalkozott a pollenklimatológiával.

1) Egy új statisztikai próbát állítottunk föl, amelyet Magyarország leghosszabb (22 éves) szegedi parlagfűpollen adatsorára alkalmaztunk. A Makra-próba (Makra et al., 2000; Makra et al., 2002; Makra et al., 2005) segítségével – amely a klasszikus kétmintás próba egy speciális esete – megállapítottuk, hogy a vizsgált adatbázisra az augusztus 18. – szeptember 13. közötti időszakban a legsúlyosabb Szeged levegőjének parlagfűpollen terhelése, következésképp ez a legveszélyesebb időszak a szénanátha kialakulására (11. ábra) (Makra et al., 2004; Makra et al., 2005). A legsúlyosabb napi parlagfűpollen terhelés Makra-próba által meghatározott időszaka (aug. 18. – szept. 13.) jól egyezik a maximális napi pollenkoncentrációknak (>100 pollenszem / m^{-3} levegő) a bordó árnyalataival jelzett OKI szerinti (Bobvos et al., 2010; Mányoki et al., 2011) periódusával (aug. 15. – szept. 12.) (11. ábra). A Makra-próba gyakorlati jelentőségét az adja, hogy alkalmazása segíti a légúti betegségekben szenvedők felkészülését a parlagfűpollen terhelés legkritikusabb időszakára.

2) Meghatároztuk a parlagfűpollen transzport szempontjából legfontosabb forrásterületeket, illetve backward trajektóriákat Szeged térségére. Megállapítottuk, hogy a legfontosabb forrásterület a Kárpát-medence (7. cluster), melyet ÉK-Európa (2. cluster), É-Európa (4. cluster) és ÉNy-Európa (1. cluster) követ a mért átlagos pollenkoncentrációk csökkenő sorrendjében. Jóllehet a backtrajektóriák utóbbi három származási területén igen alacsonyok a parlagfű pollenszámok, mégis, azok a Kárpát-medence fölött több száz km utat megtéve, ottani forrásokból számottevő mennyiségű *Ambrosia* pollent fölvéve jelentős mértékben hozzájárulhatnak a célterület helyi parlagfűpollen koncentrációihoz (Makra et al., 2010b).

Egy heurisztikus megközelítés alkalmazásával elkülönítettük egymástól egyrészt a helyi pollenszórást is magába foglaló közepes távolságú pollentranszportot, másrészt pedig a nagy távolságú pollentranszportot. Azt kaptuk, hogy Szegeden a lokális pollenszórást is magába foglaló közepes távolságú transzportnak nagyobb a súlya a napi pollenszintek kialakulásában mind a nem-csapadékos, mind a csapadékos napokon. Eredményeink összhangban vannak Juhász és Juhász (1997) megállapításaival, miszerint Szegeden a napi pollencsúcsok 8,00-16,00 óra között lépnek fel, ami a pollen helyi eredetére utal. Az eredmények pontosíthatják a nagy távolságú transzport szerepét a mért pollen-koncentrációkban, illetve finomíthatják a napi pollenkoncentráció előrejelzését (Makra et al., 2010b).

A clusteranalízis végrehajtása során a Mahalanobis metrikát használtuk két elem hasonlóságának a meghatározására, amelynek révén elkerülhető a kétszintű clusterezés (Borge et al., 2007) alkalmazása. Ez nem új eredmény, azonban rávilágít a clusteranalízis végrehajtásával kapcsolatosan egy elméleti félreértésre. Ugyanakkor a backtrajektóriák háromdimenziós (3D) clusterezése új eredmény a szakirodalomban, amit ez idáig még nem alkalmaztak a pollentranszport légcirkulációs pályáinak meghatározására. Az egyes clustereknek a „convhull” függvénnyel való 3D körülhatárolása, a 3D konvex testjeikkel körülhatárolt trajektória clusterok vertikális kiterjedésének a bemutatása, továbbá a pollentranszport két komponensének elkülönítése szintén új eredménynek számít (Makra et al., 2010b).

- 3) Megvizsgáltuk az Észak-atlanti–európai térségre meghatározott objektív időjárási típusok, valamint a Péczely-féle szubjektív időjárási típusok szerepét a 24 taxon napi átlagos pollenkoncentrációinak osztályozásában.

Megállapítottuk, hogy Szegeden az objektív típusok közül sorrendben a 2. (anticiklonális helyzet), 6. és 4. (mindkettő ciklonális helyzet), míg a szubjektív típusok közül a 4. (mCw) és a 7. (zC) (mindkettő ciklonális helyzet) a legjellegzetesebb a napi átlagos pollenkoncentrációk osztályozásában.

Meghatároztuk, hogy a pollenkoncentráció a 2. (anticiklonális helyzet) és a 6. (ciklonális helyzet) objektív típusokban, illetve a 11. (AF, anticiklon peremhelyzet és a 13. (C, ciklon centrum helyzet) szubjektív típusokban a legnagyobb, továbbá az 5. (anticiklon centrum helyzet) és a 7. (anticiklonális helyzet) objektív típusok, illetve a 6. (CMw) és a 7. (zC) szubjektív típusok (mindkettő ciklonális helyzet) fennállásakor a legalacsonyabb.

Megállapítottuk, hogy mind az objektív, mind a szubjektív tipizálás esetén azok a típuspárok, amelyek a legtöbb taxon napi átlagos pollenszámaiban jeleznek szignifikáns eltérést, különböző légnyomási rendszerekkel rendelkeznek.

Megállapítottuk, hogy mind az objektív, mind a szubjektív tipizálás esetében akkor lép fel magas pollenkoncentráció, ha magas a hőmérséklet. A globálsugárzás jóval kisebb súllyal vesz részt a napi pollenszámok alakításában, mint a hőmérséklet (Gioulekas et al., 2004a; Makra et al., 2004; Rodríguez-Rajo et al., 2004a; 2004b; Makra és Matyasovszky, 2011c). Megjegyzendő, hogy csapadékos és csapadékmentes napokon egyaránt az előző napi pollenkoncentráció a legfontosabb prediktor. Ezenkívül a meteorológiai paraméterek közül csapadékos napokon a napi átlagos globálsugárzás a legjelentősebb, míg csapadékmentes napokon a napi középhőmérséklet határozza meg jelentősen a becslés pontosságát (Makra és Matyasovszky, 2011c). Mindezek összhangban vannak a maximális/minimális pollenkoncentrációt mutató objektív/szubjektív időjárási típusok jellemző meteorológiai paramétereivel. Továbbá a magas szélsebességnek pozitív hatása lehet a pollenkoncentrációra akkor, ha a nagy távolságból érkező légáramlások a pollenben gazdag forrásterületükről, vagy ilyen térségek fölött áthaladva nagy mennyiségű pollent szállítanak a célterület fölé (Makra et al., 2004; 2007a; Makra és Pálfi, 2007b; Makra et al., 2010b). Másrészt az alacsony pollenszámokat általában elősegíthetik az alacsony szélsebesség és a légnedvesség paraméterek magas értékei.

Mindkét tipizálás esetében nem várt eredményt kaptunk a tekintetben, hogy ciklonális típusokhoz is magas pollenkoncentrációk tartoznak. Ez azzal magyarázható, hogy e típusok fennállásakor a hőmérséklet és/vagy a hozzájuk tartozó napok nyári gyakorisága magas. A fentiek alapján arra következtethetünk, hogy mindkét tipizálás légnyomási rendszerei önmagukban nem, csak a hozzájuk tartozó meteorológiai elemek révén magyarázzák átlagos pollenszámaikat (Makra et al., 2006b; Makra et al., 2007c).

Megállapítottuk továbbá, hogy az objektív tipizálás számottevően nagyobb teljes hatékonyságot mutat a pollenkoncentrációk osztályozásában, mint a Péczely-féle szubjektív osztályozási rendszer. Ez azzal magyarázható, hogy az előbbi esetében 12 meteorológiai változó napi elemegyütteseinek a leginkább homogén csoportjai határozták meg az objektív clustereket, míg az utóbbinál csupán egyetlen változó, a légnyomás figyelembe vételével történt a szubjektív csoportok létrehozása (Makra et al., 2006b; Makra, 2006c; Makra et al., 2007a; Makra és Pálfi, 2007b; Makra et al., 2007c).

- 4) Megállapítottuk, hogy mind a szubjektív, mind pedig az objektív osztályozás esetében az anticiklon peremhelyzetek elősegítik a magas átlagos Poaceae pollenszámok kialakulását (Matyasovszky et al., 2011a).

A Poaceae pollenkoncentráció becslésekor a teljes adatkészletet használva csupán az előző napi pollenkoncentráció volt szignifikáns legalább a 90%-os valószínűségi szinten.

Az eredeti adatok clusterezését, a standardizált adatok clusterezését, illetve a szubjektív időjárási típusokat tekintve az eredeti adatokkal történő objektív osztályozás bizonyult a leghatékonyabbnak a pollenkoncentráció osztályozása szempontjából.

A szubjektív osztályozás esetében a legjobb becslést a „melegfront esővel” kategória napjaira kaptuk, míg a leggyengébb becslés a „hidegfront eső nélkül” kategória napjaira született. A pollenkoncentráció varianciáját nagyobb mértékben magyarázta meg a vizsgált 6 magyarázó változó az objektív időjárási típusokra, mint a szubjektív kategóriák esetében, ami megfelel várakozásainknak (Makra, 2006c).

A pollenkoncentráció becslése akkor jobb, ha olyan térséget vizsgálunk, amelynek a klímája megfelel a Poaceae klímaoptimumának (Matyasovszky et al., 2011a).

A pollenszámok és a hat magyarázó változó fenti kapcsolata lehetővé teszi a pollenkoncentrációnak a magyarázó változók függvényében történő előzetes vizsgálatát. Ahhoz, hogy megbízhatóan előrejelezzük a Poaceae pollenkoncentrációt, fejlettebb módszerek szükségesek. Ugyanakkor mind az objektív, mind a szubjektív időjárási típusok hasznos információt nyújtanak az előrejelzés pontosságáról. Pl. a Poaceae pollenkoncentráció egy melegfronti esőt követően pontosan előrejelezhető, míg ha hidegfront halad át eső nélkül, akkor a leggyengébb becslést kapjuk a pollenkoncentrációra (Matyasovszky et al., 2011a).

- 5) Időfüggő lineáris regressziós és időfüggő nemparaméteres regressziós modelleket, továbbá egy időfüggő nemparaméteres medián regressziós modellt fejlesztettünk ki a napi parlagfűpollen koncentráció előrejelzésére Szegedre, előző napi meteorológiai paraméterek, valamint előző napi pollenszámok felhasználásával. A modelleket csapadékos és nem-csapadékos napokra alkalmaztuk. A számításokat saját fejlesztésű számítógépes programokkal hajtottuk végre (Makra és Matyasovszky, 2011c).

Időfüggő lineáris regresszió alkalmazásával a legfontosabb prediktornak az előző napi pollenkoncentrációt találtuk, mely a célváltozó varianciájának a 48,6%-át, illetve 45,3%-át magyarázta rendre a csapadékos és nem-csapadékos napokon. A lépésenkénti regresszió végrehajtásával ezen kívül mindössze egy-egy prediktort tartottunk meg mindkét esetben, nevezetesen az előző napi átlagos globálsugárzást a csapadékos napokra, valamint az előző napi középhőmérsékletet a nem-csapadékos napokra. A két-két prediktor által együttesen megmagyarázott relatív variancia (az előrejelzés relatív pontossága) nagyobb a nem-csapadékos napokon (55,2%), mint a csapadékos napokon (51,9%). Ugyanakkor a varianciákat megvizsgálva, az előrejelzési teljesítmény valamivel jobb a csapadékos napokra, mint a nem-csapadékos napokra. A nem-csapadékos napokon a napi középhőmérséklet szerepe nyilvánvaló: a parlagfű meleg és száraz éghajlaton fejlődik a legjobban. A csapadékos napokon az alacsony globálsugárzás a hőmérséklet csökkenését vonja maga után, ami mérsékli a pollenszórás intenzitását.

Időfüggő nemparaméteres regresszió alkalmazása a korábban említett két-két prediktorra lényegesen jobb becsléseket eredményez, különösen a csapadékos napokra, amely világosan jelzi, hogy nemlineáris kapcsolat van a prediktorok és a pollenkoncentráció között. Nevezetesen, a prediktorok a célváltozó varianciájának 71,4%-át, illetve 64,6%-át magyarázzák meg rendre a csapadékos, illetve a nem-csapadékos napokra.

Az időfüggő nemparaméteres medián regressziós modell átlagos abszolút hibája lényegesen (20,9%-kal) alacsonyabb, mint a nemparaméteres regresszió alkalmazásával kapott átlagos abszolút hiba. A nemparaméteres medián regressziós modell adja a legjobb becslést a vizsgált három előrejelzési modell közül.

Ami az év során fellépő legmagasabb kvantilis értékeket illeti, a kvantilis regresszió kisebb kvantiliseket ad (főként a 0,9 kvantilisre) a csapadékos napokon, mint a nem-csapadékos napokon, ami a pollenszórás kevésbé kedvező feltételeivel, valamint a pollenszemek levegőből való kimosódásával magyarázható. A napi parlagfűpollen koncentráció valószínűségi eloszlása jóval torzultabb a nem-csapadékos napokon, melyek a legnagyobb napi pollenszámokat mutatják, míg a valószínűségi eloszlás a csapadékos napokon koncentráltabb, és viszonylag kiegyensúlyozott parlagfűpollen koncentrációkat biztosít. A lehetséges koncentrációk alsó határai a választott prediktorok különböző értékei mellett a csapadékos napokon 350 pollenszem

/ m³ levegő fölötti pollenszámok, míg a nem-csapadékos napokon 450 pollenszem / m³ levegő fölötti értékek (Makra és Matyasovszky, 2011c).

- 6) A légúti megbetegedések többváltozós analízise az egyik legnagyobb beteg adatbázisra épül a szakirodalomban, továbbá egyedi a tekintetben, hogy a légúti betegségeket előidéző magyarázó változók (5 meteorológiai, 6 kémiai és 2 biológiai változó) három kategóriáját elemzi (egyéb tanulmányok legfeljebb a meteorológiai változókat és a kémiai légszennyezőket veszik figyelembe, a pollent figyelmen kívül hagyják) (Matyasovszky et al., 2011d).

A faktoranalízis speciális transzformációval, illetve az időfüggő többváltozós lineáris regresszió alkalmazása a magyarázó változók légúti betegségekből játszott szerepének, illetve fontossági sorrendjüknek a meghatározására és hatásaik értékelésére új eljárásnak számít a szakirodalomban.

Az *Ambrosia* pollenszezonjában a faktoranalízis és a speciális transzformáció végrehajtásával feltártuk, hogy a légúti betegségeket előidéző legfontosabb paraméterek csökkenő sorrendben az *Ambrosia*, PM₁₀, CO, O₃ és a szélsébség a felnőtt betegekre, továbbá az O₃, szélsébség, NO₂, globálsugárzás és PM₁₀ az idős betegekre, valamint az *Ambrosia*, PM₁₀, O₃, CO és a szélsébség az összes korcsoportra. A betegszámok és a fenti változók közötti kapcsolat előjele negatív, kivéve az *Ambrosiát* minden egyes korcsoportra, valamint az NO₂-t az idős betegek (15a. táblázat). Ebben az időszakban az időfüggő lineáris regresszió révén kapott legfontosabb változók az O₃ negatív hatással minden egyes korcsoport betegségeire; illetve a hőmérséklet, globálsugárzás, NO és a szélsébség a felnőtt betegek és az összes korcsoport betegeire; továbbá a hőmérséklet, NO₂, szélsébség és a PM₁₀ az idős betegek. Hatásaik előjele változó (17. táblázat). A szélsébség regressziós együtthatói meglehetősen nagyok, s ez megerősíti ennek a változónak a fontosságát (18. táblázat). A pollenmentes időszakban a faktoranalízis speciális transzformációval a következő magyarázó változókat találta a legfontosabbnak: NO₂, hőmérséklet, PM₁₀, SO₂ és O₃ a felnőtt betegek; O₃, szélsébség, NO₂, hőmérséklet és NO az idős betegek; míg NO₂, hőmérséklet, O₃, PM₁₀ és NO az összes korcsoportra (15b. táblázat). E kapcsolatok előjele pozitív az O₃ és SO₂ kivételével. A magyarázó változóknak az időfüggő lineáris regresszió révén kapott fontossági sorrendje erősen változik az egyes korcsoportok szerint, azonban az O₃ ez esetben szintén kulcsfontosságú magyarázó változónak számít. A szélsébség szerepe lényegesen kisebb, ám a relatív nedvesség fontosabb, mint az *Ambrosia* pollenszezonjában.

Azt tapasztaltuk, hogy az ózonkoncentráció statisztikailag szignifikáns negatív kapcsolatot mutatott a betegszámokkal mindhárom életkor kategóriára és mindkét vizsgált időszakra (15a-b. táblázat). Ez a legjellegzetesebb kapcsolat a légúti betegségek száma és a kémiai légszennyezők koncentrációi között. E paradox ózon kapcsolatnak (POA = Paradoxical Ozone Association, Joseph, 2007) nevezett jelenség a motor üzemanyagában található metiléterek, illetve -észterek égése során keletkező metil-nitritnek tulajdonítható. A metil-nitrit (CH₃NO₂) erősen mérgező vegyület, amely akut reakciókat vált ki a légutakban (Joseph és Weiner, 2002). Mivel a napsugárzásnak a fotokémiai oxidáció révén fontos szerepe van az ózonnépződésben, a POA valószínűleg ezzel a nitrit szennyezőanyaggal magyarázható, amely a napsugárzás hatására gyorsan lebomlik.

Egyrészt a faktoranalízis (15a-b. táblázat), másrészt a lépésenkénti regresszió (17. táblázat) és a regressziós együtthatók (18. táblázat) eltérő eredményeket adnak a magyarázó változóknak a betegségek előfordulásában játszott fontossági sorrendjére, ami a változók közötti multikollinearitásnak tulajdonítható. A legnyilvánvalóbb erre az *Ambrosia* példája annak pollenszezonjában. A faktoranalízis alapján ez a legfontosabb – a betegszámokat befolyásoló – változó a felnőtt betegek és az összes korcsoportra, míg a lépésenkénti regresszió csupán a 6-8. legfontosabb paraméterként kezeli azt. Ugyanakkor a 18. táblázat azt mutatja, hogy 10 pollenszem / m³ levegő *Ambrosia* pollen koncentráció növekedés 28-30 fő betegszám emelkedést (24%) von maga után az idős betegek kivételével. Ez azzal magyarázható, hogy a betegszámokat szignifikánsan befolyásoló hőmérséklet, globálsugárzás, relatív nedvesség és

szélsébség jól korrelálnak az *Ambrosia* pollen szintekkel, ily módon a lépésenkénti regressziós módszer előnyben részesíti a fent említett változókat az *Ambrosiával* szemben. Egy másik lényeges körülmény az, hogy amikor elvégezzük a faktoranalízist, ez esetben két tetszőleges változó közötti kapcsolat részben azok évi ciklusainak a hasonlóságával, részben pedig a centralizált adatok (az eredeti adatok és azok évi ciklusa közötti különbség) közötti korrelációval magyarázhatók. Továbbá, a tényleges magyarázó változók és a betegszámok közötti időlépcső bevezetésére – amelyet a faktoranalízis esetében nem alkalmaztunk – a regressziós megközelítés lehetőséget ad. Ezenkívül, ez a kapcsolat a faktoranalízis esetében időben állandó, míg az időfüggő lineáris regresszió megenged különböző típusú kapcsolatokat az év folyamán. Összegezve, az időfüggő regresszió a faktoranalízis révén nyert átfogó képnek egy finomítását adja.

Ami az őzont, mint az *Ambrosia* pollenszezonjában a leginkább szignifikáns változót illeti, $10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ koncentráció növekedés a relatív betegszámban -17% változást idéz elő a szezon elején, illetve $+11\%$ változást a szezon végén. A hőmérséklet és a szélsébség gyengén szignifikáns magyarázó változók: 1°C hőmérséklet emelkedés $7-8\%$ relatív betegszám növekedést von maga után a szezon elején, illetve annak 5% -os csökkenésével jár a szezon végén; míg a szélsébség $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ -al való növekedése $42-45\%$ betegszám csökkenést okoz (az idős betegek kivételével). A szignifikáns magyarázó változók száma nagyobb a pollenmentes időszakban. A magyarázó változóknak az összes betegszámhoz való relatív hozzájárulása az év során a következő arányokon belül változik: $-1,5\%$ - $+1,5\%$ a globálsugárzásra, 0% - $+8\%$ az O_3 -ra, -10% - $+5\%$ a relatív nedvességre, -9% - $+6\%$ az NO_2 -re és -3% - $+6\%$ az NO -ra, a fent említett változók rendre $10 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, $10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 10% és $10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ növekedése esetén (Matyasovszky et al., 2011d).

- 7) Az allergén pollenek jellemzőinek trendvizsgálatával a regionális pollenflóra egyik legnagyobb spektrumát elemezzük a szakirodalomban, továbbá e kutatás egyedi a tekintetben, hogy a vizsgált taxonok pollenszámainak és a 7 éghajlati változónak a napi trendjeit határozza meg. Ez a fajta trendanalízis információt nyújt a trendek napi meredekségeinek évi ciklusairól (Makra et al., 2011d).

Az évi trendeket tekintve megállapítottuk, hogy csökkenő sorrendben a *Populus*, *Taxus* és *Urtica* évi összes pollenszámai szignifikáns növekedést mutatnak. Továbbá az évi csúcs pollenszámkra a *Populus* és *Juglans* jelzi a legnagyobb növekedést, míg az *Alnus* mutatja a legnagyobb csökkenést. A pollenszezon hossza csupán a Poaceae és *Urtica* esetében növekszik számottevően. A napi lineáris trendekből számított évi összes pollenszám változás az 5% -os valószínűségi szinten 19 taxon közül 11 esetében mutat szignifikáns trendet, s ezen 11 taxon közül 7 jelez növekvő trendet.

Az *Ambrosia* pollenszámai csekély növekedést mutatnak az évi lineáris trendek alapján (19. táblázat), ami összhangban van azzal, hogy egy mérsékelt melegedés kedvez a melegtűrő *Ambrosiának*. Azonban csökkenő napi lineáris trendek (20. táblázat; 25. ábra, augusztus második fele) is megfigyelhetők, amelyek a legmelegebb nyári időszakban a vízhiánnyal magyarázhatók (25. ábra, a csapadék napi lineáris trendjei meredekségeinek évi ciklusa). Mivel a parlagok legeltetése, kaszálása még csak kivételes, így a parlagfű élőhelye nem zsugorodik a fiatal parlagokon. A Poaceae a regenerálódó parlagok következtében növekvő pollenszámkat mutat, azonban a trend nem szignifikáns. Az idős parlagokon a fűfélék a jellemzőek, ami a fű borította területek kiterjedését eredményezi. A *Populus* pollenszámkok szignifikánsan növekvő trendeket mutatnak, ami ezen fajok széles klímátűrésének köszönhető. Ezenkívül az utóbbi évtizedek során ültetett állományok mára már kifejlődtek, így ezeknek jelentős a pollenszórása, ami a többihez hozzáadódik. Az *Urtica* évi pollenszámainak számottevő emelkedése a következőkkel magyarázható: (1) az alig hasznosított városi élőhelyekkel, (2) a parlagon hagyott területek növekedésével, (3) hatalmas akácfa (*Robinia pseudo-acacia*) ültetvények létesítésével, amelyek a nitrogéntermelésüknek köszönhetően hozzájárulnak az *Urtica* fejlődéséhez,

valamint (4) a maximum hőmérsékletek emelkedésével, ami elősegíti a pollenszezon korábbi indulását és későbbi befejezését (Haraszty, 2004) (19-21. táblázat).

Bevezettünk egy kapcsolati mérőszámot (AM), valamint egy többszörös kapcsolati mérőszámot (MAM) egyrészt a pollenkoncentrációk, másrészt az éghajlati változók trendjei napi meredekségeinek évi ciklusai közötti kapcsolat erősségének a jellemzésére, majd az AM értékei alapján az egyes taxonokat a többszörös AM (MAM) értékek segítségével három kategóriába soroltuk. Ezek a következők: (1) magas érzékenység: $MAM > 0,950$, 11 taxon tartozik ide (*Artemisia*, *Cannabis*, *Alnus*, *Taxus*, *Rumex*, *Morus*, *Betula*, *Tilia*, *Chenopodiaceae*, *Pinus* és *Poaceae*); (2) közepes érzékenység: $0,900 < MAM \leq 0,950$, 5 taxonnal (*Platanus*, *Plantago*, *Ulmus*, *Juglans* és *Quercus*); és (3) alacsony érzékenység: $MAM \leq 0,900$, amely 3 taxont tartalmaz (*Populus*, *Ambrosia* és *Urtica*) (21. táblázat).

Bevezettünk két új fogalmat a klímaváltozással kapcsolatos kényszerekre, nevezetesen a klímaváltozás miatti kockázati potenciált (RP), illetve terjeszkedési potenciált (EP), melyeket összehasonlítottuk a MAM értékekkel minden egyes taxonra (22. táblázat). A MAM önmagában nem tartalmazza, illetve nem fejezi ki teljes egészében a klímaváltozás miatti kényszereket, azonban a legkisebb klímaérzékenységgű három taxon (*Ambrosia*, *Populus* és *Urtica*) egyike sem veszélyeztetett (*), és az *Ambrosia* kivételével mérsékelt terjeszkedési potenciál ($EP=1$) jellemzi őket. Ugyanakkor az összes veszélyeztetett taxonra (***) (még akkor is, ha csupán egyetlen faj veszélyeztetett egy adott taxonon belül) a MAM értékek magas érzékenységet (+++) jeleznek. Ennélfogva a MAM értékek jól jellemzik a klímaváltozás miatti kényszereket, és arról tájékoztatnak, hogy az éghajlati paraméterek a vizsgált taxonok környezeti feltételeinek fontos elemei (21-22. táblázat).

Az *Ambrosia* klímaérzékenysége alacsony (+) a MAM értéke szerint (21-22. táblázat). Emiatt populációjának jelentős potenciális növekedése várható a bioklimatológiai indikátor értékei (Horváth et al., 1995) alapján. Nevezetesen, ez a nemzetség jól alkalmazkodhat a száraz és meleg klímafeltételekhez. Ha nagyobb parlagon hagyott területek és elhagyott humán élőhelyek jelennek meg a tájban, további terjeszkedésük várható, különösen a homokos talajokon. A *Poaceae* klímaérzékenysége magas (+++) a MAM értéke szerint, mivel a vízhiány és a magas hőmérsékletek nehézséget okozhatnak számukra, ami a populációik regionális csökkenéséhez vezethet. Ugyanakkor ehhez a családhoz tartozik a legtöbb faj a vizsgált taxonok közül, így lesznek olyan fajok, amelyek pótolni fogják az itteni fűféléket, sőt a jövőben a mediterrán, illetve a kifejezetten kontinentális régiókból származó fajok is elérhetik a Kárpát-medencét. Természetesen ez a folyamat a jelen fajok némelyikének az eltűnéséhez vezethet. Széles klímaturúsuk miatt az *Urtica* és a *Populus* nem klímaérzékenyek (+) a MAM értékeik alapján. Mindkét nemzetség növelheti populációját a jövőben. Őket nem veszélyezteti a globális felmelegedés (*), illetve csupán bizonyos fajok mérsékeltен veszélyeztetettek (**). A *Populus* klímaturése a különböző fajainak széles adaptációjával magyarázható (21-22. táblázat).

Mivel Szegedre a lokális pollenszórást is magába foglaló közepes távolságú pollentranszport szerepe nagyobb a teljes pollenkoncentrációban, mint a nagy távolságú transzporté (Makra et al., 2010b), ezért a Szeged térségében mért pollenkoncentrációk egyéb faktorait is figyelembe kell venni. A pollenkoncentrációkat a meteorológiai változókon kívül mezőgazdasági, illetve társadalmi faktorok (Makra et al., 2005), többek között pl. az urbanizáció, ún. „zöld mezős” beruházások, autópálya építési munkálatok miatti földhasználat változások is befolyásolják. Az építkezések az elhanyagolt területek bővülését vonhatják maguk után, ami hozzájárul a gyomok élőhelyeinek a kiterjedéséhez, s ennélfogva a pollentermelés növekedéséhez (Makra et al., 2011d).

- Makra, L.,** Tar, K., Horváth, Sz., 2000: Some statistical characteristics of the wind energy over the Great Hungarian Plain. *International Journal of Ambient Energy*, 21(2), 85-96.
- Makra, L.,** Horváth, Sz., Pongrácz, R., Mika, J., 2002: Long term climate deviations: an alternative approach and application on the Palmer Drought Severity Index in Hungary. *Physics and Chemistry of the Earth*, 27, 1063-1071.
- Makra, L.,** Juhász, M., Borsos, E., Béczi, R., 2004: Meteorological variables connected with airborne ragweed pollen in Southern Hungary. *International Journal of Biometeorology*, 49(1), 37-47.
- Makra, L.,** Juhász, M., Béczi, R., Borsos, E., 2005: The history and impacts of airborne Ambrosia (*Asteraceae*) pollen in Hungary. *Grana*, 44(1), 57-64.
- Makra, L.,** Baglyas, V., 2006a: Temporal Distribution of Extreme Airborne Pollen Grain Concentrations in Szeged, Southern Hungary. *Epidemiology*, 17(6), S292-S293.
- Makra, L.,** Juhász, M., Mika, J., Bartzokas, A., Béczi, R., Sümeghy, Z., 2006b: An objective classification system of air mass types for Szeged, Hungary with special attention to plant pollen levels. *International Journal of Biometeorology*, 50(6), 403-421.
- Makra, L.,** 2006c: Comparison of Objective Air-mass Types and the Peczely Weather Types and their Ability of Classifying Airborne Pollen Grain Concentrations in Szeged, Hungary. *Epidemiology*, 17(6), S292-S292.
- Makra, L.,** Pálfi, S., Gál, A., Bíró, L., 2007a: Long Distance Transport of Ragweed Pollen to Southern Hungary. *Epidemiology*, 18(5), S8-S8.
- Makra, L.,** Pálfi, S., 2007b: Intra-regional and long range ragweed pollen transport over Southern Hungary. *Acta Climatologica et Chorologica. Universitatis Szegediensis*, 40-41, 69-77.
- Makra, L.,** Juhász, M., Mika, J., Bartzokas, A., Béczi, R., Sümeghy, Z., 2007c: Relationship between the Péczy's large-scale weather types and airborne pollen grain concentrations for Szeged, Hungary. *Grana*, 46(1), 43-56.
- Makra, L.,** Tombácz, Sz., Bálint, B., Sümeghy, Z., Sánta, T., Hirsch, T., 2008: Influences of meteorological parameters and biological and chemical air pollutants to the incidence of asthma and rhinitis. *Climate Research*, 37(1), 99-119.
- Makra, L.,** Tombacz, Sz., Eotvos, T., Kadocsa, E., 2009: Weather and Pollutants Related Incidence of Asthma and Rhinitis. *Epidemiology*, 20(6), S97-S98.
- Makra, L.,** Mayer, H., Mika, J., Sánta, T., Holst, J., 2010a: Variations of traffic related air pollution on different time scales in Szeged, Hungary and Freiburg, Germany. *Physics and Chemistry of the Earth*, 35(1-2), 85-94.
- Makra L.,** Sánta T., Matyasovszky I., Damialis A., Karatzas K., Bergmann K.C., Vokou D., 2010b: Airborne pollen in three European cities: Detection of atmospheric circulation pathways by applying three-dimensional clustering of backward trajectories. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 115, D24220, doi:10.1029/2010JD014743
- Makra, L.,** Matyasovszky, I., Guba, Z., Karatzas, K., Anttila, P., 2011a: Monitoring the long-range transport effects on urban PM10 levels using 3D clusters of backward trajectories. *Atmospheric Environment*, 45(16), 2630-2641.
- Makra, L.,** Matyasovszky, I., Thibaudon, M., Bonini, M., 2011b: Forecasting ragweed pollen characteristics with nonparametric regression methods over the most polluted areas in Europe. *International Journal of Biometeorology*, 55(3), 361-371.
- Makra, L.,** Matyasovszky, I., 2011c: Assessment of the Daily Ragweed Pollen Concentration with Previous-Day Meteorological Variables Using Regression and Quantile Regression Analysis for Szeged, Hungary. *Aerobiologia*, 27(3), 247-259.
- Makra, L.,** Matyasovszky, I., Deák, J.Á., 2011d: Trends in the characteristics of allergenic pollen circulation in Central Europe based on the example of Szeged, Hungary. *Atmospheric Environment*, 45(33), 6010-6018.

- Makra, L.**, Matyasovszky, I., Páldy, A., Deák, J.Á., 2012: The influence of extreme high and low temperatures and precipitation totals on pollen seasons of *Ambrosia*, Poaceae and *Populus* in Szeged, southern Hungary. Grana (accepted on January 18, 2012; Manuscript ID: SGRA-2011-0034.R1)
- Matyasovszky, I., **Makra, L.**, Guba, Z., Pátkai, Zs., Páldy, A., Sümeghy, Z., 2011a: Estimating the daily Poaceae pollen concentration in Hungary by linear regression conditioning on weather types. Grana, 50(3), 208-216.
- Matyasovszky, I., **Makra, L.**, 2011b: Autoregressive modelling of daily ragweed pollen concentrations for Szeged in Hungary. Theoretical and Applied Climatology, 104(1-2), 277-283.
- Matyasovszky, I., **Makra, L.**, 2011c: Estimating extreme daily pollen loads for Szeged, Hungary using previous-day meteorological variables. Aerobiologia, DOI: 10.1007/s10453-011-9238-7
- Matyasovszky, I., **Makra, L.**, Bálint, B., Guba, Z., Sümeghy, Z., 2011d: Multivariate analysis of respiratory problems and their connection with meteorological parameters and the main biological and chemical air pollutants. Atmospheric Environment, 45(25), 4152-4159.

- Gál, A., Vitányi, B., **Makra, L.**, 2003: A parlagfű pollen koncentráció és meteorológiai összetevői a Dél-Alföldön. In: Természettudományi Közlemények, Nyíregyházi Főiskola, Természettudományi Főiskolai Kar, Nyíregyháza (ed: Kókai, S.), 3, 59-79. ISSN 1587 7922
- Guba, Z., Matyasovszky, I., **Makra, L.**, Sümeghy, Z., 2011: Multivariate analysis of respiratory disorders in relation to environmental factors. *Acta Climatologica et Chorologica. Universitatis Szegediensis*, 44-45, 135-153.
- Juhász M., **Makra L.**, Juhász I.E., 2003: Az időjárás és a parlagfű pollenszámának alakulása a Dél-Alföldön. In: Szabó T., Bártfai, I., Somlai, J. (szerk.): Környezeti ártalmak és a légzőrendszer, XIII. kötet, pp. 161-180. F & F Press, Zalaegerszeg, p. 411. ISBN 963 04 3904 2.
- Juhász M., **Makra L.**, Juhász I.E., 2003: Éghajlati tényezők hatása a parlagfű pollentermelésére. *Allergológia és Klinikai Immunológia (AKI)*, Budapest, 6(3), 108-109.
- Makra, L.**, 2008: A parlagfű Magyarországon. Meteorológiai és klimatikus összefüggések. *Természet Világa*, 139(11), 502-505.
- Makra, L.**, Gál, A., Vitányi, B., 2006: A parlagfű pollen koncentráció és a meteorológiai elemek kapcsolata Szegeden. pp. 233-248. In: Földrajz és turizmus. Tanulmánykötet Dr. Hanusz Árpád 60. születésnapjának tiszteletére. (Szerk: Dr. Kókai Sándor), Nyíregyháza, 2006. 395 p. ISBN 963 7336 31 1
- Makra, L.**, Juhász, M., Borsos, E., Béczi, R., 2003: Ragweed pollen concentration and its meteorological components in Szeged, Hungary. *EURASAP Newsletter*, 51, 2-14, November 2003, ISSN-1026-2172; <http://www.meteo.bg/EURASAP/51/contents.html>
- Makra, L.**, Juhász, M., Borsos, E., Béczi, R., 2004: A parlagfű pollen koncentrációi Szegeden és kapcsolata a meteorológiai elemekkel. *Légkör*, 49(1), 22-28.
- Makra, L.**, Juhász, M., Gál, A., Vitányi, B., 2003: A parlagfű pollenkoncentráció és a meteorológiai elemek kapcsolata a Dél-Alföldön. *A földrajz tanítása*, 11(3), 9-16.
- Makra, L.**, Juhász, M., Horváth, Sz., Lencsés, Gy., Motika, G., 2003: Analysis of ragweed pollen concentrations in Southern Hungary, with special interest to meteorological elements. The 4th International Conference on Urban Air Quality – Measurement, Modelling and Management, 25-28 March 2003, Carolinum University, Prague, Czech Republic. *Proceedings, Personal Exposure and Impacts*. pp. 363-366. Eds: Ranjeet S Sokhi and Josef Brechler, University of Hertfordshire, ISBN 075 0309 547
- Makra, L.**, Matyasovszky, I., 2011: Trends in the characteristics of allergenic pollen in Szeged, Hungary. *Acta Climatologica et Chorologica. Universitatis Szegediensis*, 44-45, 111-125.
- Mohl, M., Gaskó, B., Horváth, Sz., **Makra, L.**, Szabó, F., 2002: Szeged II. környezetvédelmi programja, 2003-2007. Szeged Megyei Város Polgármesteri Hivatala, kézirat
- Tombácz, Sz., Eötvös, T., **Makra, L.**, 2009: Environmental and social conditions of asthma and rhinitis. *Acta Climatologica et Chorologica. Universitatis Szegediensis*, 42-43, 159-173.
- Tombácz, Sz., **Makra, L.**, 2007: Relation of meteorological elements to respiratory diseases. *Landscape & Environment. Acta Geographica Debrecina, Landscape & Environment Series*, 1(1), 1-15.
- Tombácz, Sz., **Makra, L.**, Bálint, B., Sümeghy, Z., Motika, G., Hirsch, T., 2007: Relation of meteorological elements and biological and chemical air pollutants to respiratory diseases. *Acta Climatologica et Chorologica. Universitatis Szegediensis*, 40-41, 135-146.
- Tóth, F., Matyasovszky, I., **Makra, L.**, Guba, Z., Sümeghy, Z., 2011: Assessment of daily Poaceae pollen levels by linear regression for two Hungarian cities in association of different weather types. *Acta Climatologica et Chorologica. Universitatis Szegediensis*, 44-45, 155-164.
- Vitányi, B., **Makra, L.**, Juhász, M., Borsos, E., Béczi, R., Szentpéteri, M., 2003: Ragweed pollen concentration in the function of meteorological elements in the south-eastern part of Hungary. *Acta Climatologica et Chorologica. Universitatis Szegediensis*, 36-38, 121-130.