

CLIM-NET/HUN tananyag: Magyarországi hatások

- 1 -

Magyarországi hatások

A fejezet tartalma

- I. Magyarország időjárása a meteorológiai mérések és megfigyelések alapján
- II. Hazai regionális klímadinamikai kutatások (forgatókönyvek és modellek)
- III. Esettanulmányok a klímaváltozás ökológiai hatásairól Magyarországon
- IV. A klímaváltozás legfontosabb magyarországi hatásainak listája

A klímaváltozás magyarországi hatásainak bemutatását a Harnos Zsolt – Gaál Márta – Hufnagel Levente szerkesztésében 2008-ban megjelent Klímaváltozásról mindenkinek c. könyv nyomán ismertetjük, melynek meteorológus szerzői Bartholy Judit és Kern Anikó voltak. Felhasználjuk továbbá Torma Csaba és Horváth Levente klímamodellzés című online tananyagát [<http://kertesztananyag.hu/klimavaltozas/klimamodellezes>], valamint a Hufnagel Levente – Sipkay Csaba szerkesztésében 2012-ben megjelent A Klímaváltozás hatása ökológiai folyamatokra és közösségekre c. könyv idevágó anyagát. (A szerzők engedélyével.)

A Kárpát-medence éghajlatában eddig megfigyelt változások jól illeszkednek a globális tendenciákhoz. Ennek értelmében a mi térségünket is a léghőmérséklet emelkedése és a szélsőséges időjárási események gyakoriságának növekedése jellemzi.

I. Magyarország időjárása a meteorológiai mérések és megfigyelések alapján

„Az 1961–1990 közötti referencia időszakban az évi középhőmérséklet hazánk területének legnagyobb részén 10-11 °C volt. A napi minimumhőmérséklet téli átlaga az ország területének nagy hányadán -4 °C és -2 °C közé esett és csak az ország északkeleti régióiban találhatunk -6 °C és -4 °C közötti átlagértékeket. A napi maximumhőmérsékletek nyári átlaga 24 °C és 27 °C közé esett, az Alföldön 26 °C fölötti átlagértékek voltak jellemzők. Az E-OBS adatbázis alapján hazánk átlagos évi csapadékösszege 430 mm és 700 mm közé esik (2. ábra), de az ország területének legnagyobb részén 450-600 mm a jellemző. Az 500 mm alatti legalacsonyabb évi csapadékösszeg az ország középső részén és az alföldi régióban jellemző. Az átlagos évszakos csapadékösszegek térbeli szerkezete alapvetően az átlagos évi csapadékösszeg szerkezetét követi. A legalacsonyabb (80-160 mm) csapadékösszegek télen, a legmagasabbak (150- 260 mm) nyáron jelentkeznek.” (MásodikNÉS 2013)

Budapest XX. századi idősorait elemezve egyértelmű a hőmérséklet növekedése (+0,95 °C/100 év), valamint a lehullott éves csapadékösszegek csökkenése (-16%/100 év).

Az utóbbi 150 év globális melegedésének egyik következménye a hóhullámok gyakoriságának növekedése. Nyugat-Európában 2003 nyarán jelentkező hosszan tartó hóhullám számos országban követelt emberéleteket és súlyos gazdasági következményekkel is járt. Lecsökkent a növényzet produktivitása, melyet nemcsak a sokáig tartó magas hőmérséklet, hanem a vele párosult csapadékhiány is okozott. A 2003-as nagyon szélsőséges nyári hóhullám bekövetkezése, illetve megismétlődése statisztikailag nagyon kis valószínűségű esemény, még akkor is, ha figyelembe vesszük a melegedő tendenciát. Magyarországon – Nyugat-Euróához hasonlóan – 2003-ban hosszú és forró volt a nyár, az országos havi középhőmérsékletek 3-4 °C-kal haladták meg a sokévi átlagot. Ez a hóhullám

CLIM-NET/HUN tananyag: Magyarországi hatások

- 2 -

példa volt arra, hogy az üvegházhatású gázok okozta globális változásokkal nemcsak a globális hőmérséklet-emelkedéssel kell számolni, hanem a változékonyság és az extrémumok gyakoriságnövekedésével is.

Magyarországon megfigyelhető éghajlati tendenciák közé tartozik a csapadék mennyiségének csökkenése és időbeli eloszlásának változása. A csökkenő csapadékmennyiség szárazságokat és aszályt okoz, melyek súlyos károkat eredményeznek a mezőgazdaságban.

Az utóbbi évtizedből csupán két példát emelünk ki. A 2003-as extrém meleg nyár alatt összességében a sokévi átlagnál kevesebb csapadék hullott, mely a forró időjárás mellett vízhiány-stresszt okozott a növényeknek. A 2007-es év időjárása Magyarországon több szempontból is szokatlan volt, melyről korábban már említést tettünk. A júliusi több napon át tartó páratlan hóhullám alatt egyáltalán nem volt csapadék az országban. Ennek következtében nagyon erős aszály helyzet alakult ki, mely mind a mezőgazdasági és erdei, mind a városi növényzetet károsan érintette. A növényzet állapotára (klorofill tartalmára), zöld tömegére gyakran használt mutató az ún. vegetációs index. A növényzet hóhullám utáni és előtti vegetációs indexének jelentős különbsége jelzi a hóhullám okozta állapotromlást, klorofill-vesztést. A bemutatott térképen a kék szín az adott időszak alatti zöldtömeg-csökkenést, míg a helyenként megjelenő piros árnyalatok a zöldtömeg növekedését jelentik. A fehér szín a hiányzó adatokat jelöli.

1. táblázat: Szélsőséges csapadékok alakulása az 1901-2000 időkazban
(Második NÉS, 2013)

csapadékindex neve, meghatározása	vizsgált állomás	hosszú távú trend			
		tavas	nyár	ősz	tél
Csapadékos napok száma (Azon napok évszakos száma, amikor a napi csapadékösszeg meghaladja az 1 mm-t)	Budapest	--	?	--	--
	Debrecen	-	--	--	--
	Szeged	--	?	--	--
	Szombathely	--	--	-	--
10 mm-nél nagyobb csapadékú napok száma (Azon napok évszakos száma, amikor a napi csapadékösszeg meghaladja az 1 mm-t)	Budapest	--	?	?	?
	Debrecen	?	?	-	?
	Szeged	--	?	-	?
	Szombathely	?	-	-	--
Szár	Budapest	?	++	++	++
	Debrecen	?	++	+	+
	Szeged	+	?	++	+
	Szombathely	+	?	+	?

Jelmagyarázat:

- Jelentős mértékű, csökkenő tendencia
- Kisebb mértékű, csökkenő tendencia
- + Kisebb mértékű, növekvő tendencia
- ++ Jelentős mértékű, növekvő tendencia
- ? Bizonytalan irányú változás
- Piros háttér: statisztikailag szignifikáns változás

Forrás: ELTE Meteorológia Tanszék

Erdő- és bozóttüzek

A hőséggel, a csapadékszegény időjárással, az alacsony relatív páratartalommal és az erős széllel megnő a többségében emberi gondatlanság vagy szándékos gyújtogatás által okozott erdő- és bozóttüzek létrejöttének valószínűsége.

CLIM-NET/HUN tananyag: Magyarországi hatások

- 3 -

2007 júliusának utolsóelőtti napjáig az ország nagy részén a megszokottnál kevesebb csapadék hullott, melynek következtében a vegetáció egyre jobban kiszáradt. Ezt fokozta a július második felében megfigyelt hőhullám, mely száraz levegőt hozott a Kárpát-medencébe. Ennek a következtében 2007 júliusában a tűzgyújtási tilalom ellenére Dél-Európához hasonlóan erdő- és bozóttüzek alakultak ki az ország számos területén, pl. Budapesten, Pilisszentivánon és Kunfehértónál. 2007 augusztusáig az országban közel 2400 hektárnyi erdő esett áldozatul a tűznek, melynek nagy része júliusra esett.

Árvizek és özönvízszerű esők

A megváltozó éghajlat nemcsak a hőmérséklet emelkedésében jelentkezik, hanem a csapadék mennyiségének és eloszlásának módosulásában is. A rövid idő alatt lehulló nagy mennyiségű csapadék hatására számos árhullám vonult le az ország folyóin az elmúlt időkben is, azonban a növekvő gyakoriságú szélsőséges helyzetek a súlyos árvizek gyakoribbá válását eredményezhetik.

A Balaton vízszintjének jelentős csökkenése, 2003

A Balaton vízgyűjtő területén 2000 és 2003 között az átlagosnál sokkal kevesebb csapadék hullott, melynek következtében a tó térfogata 20%-kal, a vízszint pedig 70 cm-rel süllyedt. A riasztó változások hatására felmerült a vízutánpótlás kérdése is, mely sokat vitatott témává vált, de végül kellő indokoltság hiányában nem került rá sor és a tó vize fokozatosan újra feltöltődött. A vízutánpótlás súlyos ökológiai problémákat okozott volna a Balatonon, illetve vízgyűjtőterületén és valószínűsíthető, hogy a vízpótlásra használni kívánt Rába vízrendszerében is. A klímaváltozásnak a balatoni vízháztartásra gyakorolt hatásáról nehéz előre bármit is mondani, ugyanis számos nehezen előre jelezhető tényező együttesen befolyásolja – az egyébként nagyon sérülékeny – egyensúlyt.

Mátrakeresztesi árvíz, 2005

A Mátra fölött erős zivatartevékenység alakult ki 2005. április 18-án. Ennek következtében nagy mennyiségű csapadék hullott a hegységre Ágasvár körzetében, megduzzadt a Csörgő-patak, s északkeleti irányból az óriási víz és sár zúdult Mátrakeresztesre. A faluban az áradás hidakat sodort el és számos házat rongált meg.

A 2006-os dunai és tiszai árvíz

Hosszan elhúzódó árvízhelyzet alakult ki 2006 tavaszán a Kárpát-medencében. Szinte egyidőben volt árvízkétség a Dunán és a Tiszán is, s a Duna vízállása Budapesten 860 cm magassággal megdöntötte az eddigi budapesti rekordot (2006.04.04). A Tisza vízállása 1009 cm magassággal pedig megdöntötte az addigi szegedi rekordot (2006.04.21).

Heves szélviharok: 2006.08.20. és 2007.08.20.

Váratlan vihar zavarta meg 2006. augusztus 20-án a Duna-parton ünneplő tömegeket. Este 21 órakor egy hidegfronttal heves zivatarlánc érkezett Budapestre, a legerősebb szellőkések elérték a 123 km/h sebességet az Eötvös Loránd Tudományegyetem Lágymányosi épületénél. A vihar óriási károkat okozott Budapesten és Pest megyében egyaránt, számos személyi sérülés történt, sok száz fa kidőlt, épületek megrongálódtak. Sajnálatos módon öt halálos áldozata is volt a heves viharnak.

2007. augusztus 20-án is hasonlóan erős zivatarok vonultak át az országon, de ennek hatása a jobb felkészülés és az eltérő időzítés miatt nem volt olyan drámai, így a budapesti esti ünnepi tűzijátékot sem zavarták meg.

II. Hazai regionális klímadinamikai kutatások (forgatókönyvek és modellek)

Ha a magyarországi klímaváltozás jövőbeli alakulásáról reális képet szeretnénk alkotni, akkor a konkrét jövőre vonatkozó predikciókat megelőzően mindenképp ezen szakterület belső logikájával, gondolkodásmódjával és módszereivel kell megismerkednünk.

A klímamodellek között jelenleg nem létezik egyetlen, mindenképp felett álló, minden változó vonatkozásában legjobbnak mondható, legkisebb hibákat felmutató klímamodell (Lambert és Boer, 2001). A lehetséges változások átfogóbb feltérképezése, az előrejelzésekben meglévő bizonytalanságok csökkentése történhet több, egymástól független előrejelzés együttes kiértékelésével. Az elgondolás, mely szerint például egy évszakos előrejelzés javítható, megbízhatóbbá tehető azáltal, hogy több modelledményt átlagolunk (vagy azok kombinációját képezzük), azon alapszik, hogy az együttes, vagy átlagos hiba kisebb, ha a modellek függetlenek (Yun et al., 2003).

Bizonytalanságok további forrásai lehetnek egyes folyamatok helytelen leírásai, eddig figyelmen kívül hagyott folyamatok, hatások. Vannak ismert problémák, melyek több modell esetében közösnek tekinthetők. Például a legtöbb klímamodell a rövidhullámú fluxust alul, míg a hosszúhullámú fluxust felülbecsli (Wild et al., 2006). A legfőbb bizonytalansági források közé tartoznak továbbá: a kezdeti feltételekben megbúvó pontatlanságok (nem kellő lefedettségű mérőhálózat, rosszul kalibrált mérőműszerek, stb...), a regionális leskálázás során, pedig a választott globális és regionális klímamodellek közötti inkonzisztencia. A jövőre vonatkozó éghajlati forgatókönyvek készítése során a legnagyobb bizonytalanság talán az emberi hatások jövőbeli alakulásának megfogalmazásában rejlik. Az éghajlatváltozás és a társadalmi-gazdasági folyamatok (gazdasági fejlődés térbeli megoszlása és annak üteme, népességszám és antropogén üvegházhatású gázok kibocsátásának várható alakulása) közötti kapcsolatok nehezen modellezhetők, akár évtizedes időskálán is. Az éghajlatkutatás egyik sarkalatos pontja, hogy a jövőbeli antropogén üvegházhatású gázok kibocsátása hogyan befolyásolja a klímát, illetve a változó éghajlat milyen válaszreakciókat vált ki az emberiség részéről.

A felsorolt bizonytalanságokat ugyan nem tudjuk megszüntetni, azonban jelentős mértékben csökkenthetők abban az esetben, ha nem egyetlen modellre alapozva fogalmazzuk meg a közeli és távolabbi jövőre vonatkozó várható változásokat. Ebben a folyamatban nyújt segítséget a középtávú időjárás előrejelzések készítése során operatív módon 1992. óta alkalmazott ún. ensemble technika klímamodellezésben kifejlesztett változata. Napjainkban a regionális klímamodellezés terén egyre szélesebb körben alkalmazott ensemble technika során több, különböző kezdeti- és peremfeltételekkel futtatott regionális klímamodell eredményeinek együttes kiértékeléséről van szó. Az ensemble módszerben az egyes szimulációk jellemzően azonos rácsfelbontáson, egy, vagy két éghajlati forgatókönyvre, egy közös régióra készülnek. Európa térségére több nemzetközi projekt is megvalósult az elmúlt években:

PRUDENCE (Predicting of Regional Scenarios and Uncertainties for Defining European Climate Change Risks and Effects, 2001-2004; Christensen és Christensen, 2007),

ENSEMBLES (Ensembles-Based Predictions of Climate Changes and Their Impacts, 2004-2009; Hewit és Griggs, 2004),
 CECILIA (2006-2009; Halenka, 2007). A CORDEX (Coordinated Regional climate Downscaling Experiment; Giorgi et al., 2009) az egyik legújabb kezdeményezés, mely során a Föld minden lakott kontinensére készítenek tranziens éghajlati szcenáriókat egységes, 50 km-es horizontális rácsfelbontású regionális klímamodellek 1950-2100. időszakra történő futtatásával.

Az elmúlt évek hazai regionális klímadinamikai kutatásai négy partner intézet, iroda bevonásával 2005-ben vette kezdetét. A közös munka, melyben az Országos Meteorológiai Szolgálat (konzorciumvezető intézményként), az ELTE Meteorológiai Tanszéke, a Pécsi Tudományegyetem, valamint az Env-in-Cent Kft. vett részt, egyik legfontosabb feladata különböző regionális éghajlati modellek adaptálása volt. Az adaptált regionális éghajlati modellek szolgáltatják az alapot a Kárpát-medencében várható éghajlatváltozás becslésére. Ezen regionális éghajlati modellek a következők: az ALADIN-Climate (mely az ALADIN projekt (1991) keretében került kifejlesztésre), a korábban említett hamburgi Max Planck Meteorológiai Intézet által kifejlesztett REMO modell, - ezeket a modelleket az Országos Meteorológiai Szolgálatnál (OMSZ) adaptálták -, míg az Eötvös Loránd Tudományegyetem (ELTE) Meteorológiai Tanszékén a Hadley Központ PRECIS regionális klímamodelljét és a RegCM-et alkalmazzák. A kutatások sorában fontos mérföldkőnek számított a 25 európai intézet munkáját összefogó PRUDENCE projekt eredményeinek hazai feldolgozása (Bartholy et al., 2006a). Az ELTE Meteorológiai Tanszékének aktív közreműködésével a CECILIA projekt (Central and Eastern Europe Climate Change Impact and Vulnerability Assessment, Halenka 2007) keretein belül folytak regionális klímadinamikai kutatások. A CECILIA (2006-2009) európai projektben 12 európai ország 16 intézete vett részt. A projektben az OMSZ a fent említett regionális klímamodellekkel, míg az ELTE a PRECIS-el és a RegCM-el vett részt. A program elsődleges célja, hogy szélesítse ismereteinket a Közép- és Kelet-Európában várható helyi klímaváltozásról és annak erdészetre, mezőgazdaságra, vízháztartásra és levegőtminőségre gyakorolt hatásairól. Az elmúlt évek nemzetközi munkáihoz (magyar részvétellel) kapcsolódik továbbá a CLAVIER (Climate Change and Variability: Impact on Central and Eastern Europe) program.

Magyarországon regionális klímamodellezés céljára használt modellek eredményeinek együttes kiértékelése rendelkezésre áll hazánk térségére (Bartholy et al., 2006b; 2006c; 2009a; 2009b; Torma et al., 2008; 2011; Csima és Horányi, 2008; Szépszó és Horányi, 2008; Szépszó et al., 2008; Pieczka et al., 2009). Az eredmények együttes kiértékelése történhet egyszerűen átlagok képzésével, vagy akár az egyes modellek eredményeinek súlyozott figyelembevételével is (ez az ún. „REA” eljárás; Giorgi és Mearns, 2002). Az általunk választott eljárás az előbbit követi. Megjegyezzük azonban, hogy a „REA” (reliability ensembles averaging, megbízhatósági ensemble átlagolás) eljárás azt a célt szolgálja, hogy az egyes modellek bizonytalansági korlátait, azaz a megbízhatóságát számszerűsítse. Így lehetőség nyílik, hogy az egyes modelleket különböző súllyal lehessen számításba venni az ensemble átlagának meghatározásakor. Egy modell megbízhatósága a múltra vonatkozó hibáiból, a jövőre vonatkozó megbízhatósága, pedig az ensemble átlaghoz vett viszonyából állapítható meg. Az esetlegesen rosszul meghatározott súlyok a hibák és a bizonytalanságok növekedéséhez, és ezzel egyidejűleg a megbízhatóság csökkenéséhez vezethetnek, ebben az esetben az ensemble tagok egyszerű átlaga jobb eredményt képezhet. A fentebb említett négy regionális klímamodell és az általuk elvégzett szimulációk legfontosabb jellemzőit az alábbi táblázat foglalja össze:

Meghajtó modell	ARPEGE- Climat	HadCM3	ECHAM5	ECHAM5
Regionális klímamodell	ALADIN	PRECIS	RegCM	REMO
Időszak	1961-2100	1961-1990 2071-2100	1961-1990 2021-2050 2071-2100	1951-2100
Forgatókönyv	A1B	B2	A1B	A1B
Felbontás	10 km	25 km	10 km	25 km

Magyarországon alkalmazott regionális klímamodellekkel készített szimulációk legfontosabb jellemzői. (Horányi et al., 2010 alapján.)

Minden szimuláció felbontástól függetlenül (10 km, vagy 25 km) teljes terjedelmében magában foglalta a Kárpát-medencét. A táblázatból leolvasható, hogy az alkalmazott modellekkel a XXI. századra várható éghajlatváltozást szimulálták eltérő forgatókönyvek alkalmazásával. A modellek alapján a XXI. század középső és utolsó három évtizedére is adhatunk becsléseket. Az eltérő fizikai eljárásokkal, különböző éghajlati forgatókönyvek felhasználásával alkalmazott klímamodellek eredményeinek együttes kiértékelése lehetőséget nyújt, hogy a projekciókban lévő bizonytalanságokat számszerűsítsük. Abban az esetben ugyanis, ha a modellek bizonyos változásban jó egyezést mutatnak, akkor a projekciók biztosabbnak vehetők, abban az esetben azonban, ha az eredmények eltérőek, akkor a várható változás kisebb bizonyossággal állapítható meg. A következőkben a rendelkezésre álló eredmények alapján a hőmérsékletre és a csapadékra vonatkozó várható változásokat mutatjuk be a 2021-2050 (három modell alapján) és 2071-2100 közötti (négy modell alapján) időszakokra vonatkozóan. A változások minden esetben a referenciául vett szimulált 1961-1990 bázisidőszak átlagaitól vett eltéréseket jelentik. Minden modell esetében a saját szimulált bázisidőszakhoz viszonyított változása került felhasználásra a számítások során.

A 2. táblázat foglalja össze a Magyarország területére eső rácsponti eredmények alapján a várható átlagos átlaghőmérséklet változásokat a fenti két időszakra vonatkozóan. Minden modell alátámasztja, hogy a XX. században tapasztalt átlaghőmérséklet emelkedése folytatódni fog a XXI. században is. A modellek statisztikailag szignifikáns átlaghőmérséklet emelkedést jeleznek mind éves, mind pedig évszakos szinten (Horányi et al., 2010). Az évszázad végére átlagosan nagyobb mértékű melegedés várható, mint az évszázad közepére. Az átlagos melegedés 2021-2050 közötti időszakban éves szinten átlagosan 1,5 °C, míg 2071-2100 között ez az érték 3,5 °C. Az éves melegedés értéke a modellek szerint 1,1-1,9 °C (2021-2050), illetve 3,1-4,0 °C (2071-2100) közötti. A legnagyobb szórást mindkét időszakban a nyár mutatja: 0,7 és 2,6 °C (2021-2050), valamint 3,5-6,0 °C (2071-2100) közötti változás értékekkel. A bizonytalanság a tél tekintetében a legalacsonyabb. A század közepére a modellek a teleket átlagosan 1,2 °C-kal melegebbnek jelzik előre. A téli évszakban várható melegedést a modellek 1,1 °C és 1,3 °C közötti értékekben prognosztizálják. A 2021-2050 közötti időszakra vonatkozóan a projekciók tavaszra 1,1-1,6 °C, míg őszi 0,8-2,0 °C közötti átlagos melegedést vetítenek előre. A modellek alapján a 2071-2100 közötti időszakra a téli,

tavaszi és őszi melegedés mértékei rendre a következő hőmérsékleti értékekkel jellemezhetőek: 2,5-3,9 °C, 2,3-3,1 °C és 3,0-3,9 °C. A melegedés területi eloszlását tekintve

a modellek egyértelműen maximumot jeleznek az ország déli, délkeleti területeire, míg minimumot az ország északnyugati régióira.

	Éves	Tél	Tavaszi	Nyár	Ősz
2021-2050	1,1-1,9	1,1-1,3	1,1-1,6	0,7-2,6	0,8-2,0
2071-2100	3,1-4,0	2,5-3,9	2,3-3,1	3,5-6,0	3,0-3,9

Magyarországi rácsponti adatok alapján várható éves és évszakos átlaghőmérséklet átlagos megváltozása.

A mértékegység: °C. (A változás minden esetben emelkedést jelent, ezért egységesen nincsenek külön feltüntetve a + jelek az értékek előtt. Horányi et al., 2010 alapján.)

Míg a várható hőmérsékletváltozás terén a modellek egyetértettek a változás irányában (melegedés), s csupán a változás mértékében mutattak eltérő eredményeket, addig a csapadék várható megváltozásában az eredmények lényegesen nagyobb bizonytalanságot mutatnak. A csapadék megváltozása tekintetében nemcsak a változás mértékében mutatnak eltérő eredményeket a modellek, hanem a változás irányában is.

	Éves	Tél	Tavaszi	Nyár	Ősz
2021-2050	(-7) - 0	(-10) - (+7)	(-10) - (+3)	(-5) - (-2)	(-4) - (+14)
2071-2100	(-21) - (+3)	(-6) - (+31)	(-8) - (+2)	(-43) - (-18)	(-18) - (+19)

Magyarországi rácsponti adatok alapján várható éves és évszakos csapadékösszeg megváltozása. A mértékegység: %.

(Az egyes intervallumok az adott időszakban rendelkezésre álló 3 modell eredményei (2021-2050), illetve 4 modell eredményei (2071-2100) alapján meghatározott értékeket jelölik. Horányi et al., 2010 alapján.)

Az éves eredmények alapján inkább csapadékösszeg csökkenést, mint növekedést vetítenek előre a modellek, melynek a mértéke a század közepére kisebb, mint a század végére. A globális modellekből származó eredményekhez hasonlóan az éves csapadékösszeg változása nagyon kismértékű lesz előreláthatóan. A változás irányának meghatározása, azaz, hogy kevesebb vagy több csapadék várható éves szinten Magyarországon, még regionális klímamodellek alkalmazásával is elég bizonytalan. Jelenlegi tudásunk alapján azonban megállapítható, hogy a csapadékösszeg nagy valószínűséggel 5%-ot meghaladóan csökkenni fog az évszázad végére. A modellek a legnagyobb bizonyossággal a nyári csapadékösszeg csökkenését mutatják mind a 2021-2050, mind pedig a 2071-2100 közötti időszakra vonatkozóan. A 2021-2050 közötti időszakban a nyári csapadékösszeg csökkenése kismértékű: 2 és 5% közötti, ugyanakkor 2071-2100 közötti időszakban valószínűsíthetően ennél nagyobb mértékű csapadékösszeg csökkenéssel kell számolnunk, melynek mértéke 18-43% közötti lesz. Mind a két időszakban kisebb bizonyossággal ugyan, de a tavaszi és az őszi csapadékösszeg csökkenése, illetve növekedése valószínűsíthető. A század végére azonban a modellek nagyobb bizonyossággal mutatják a téli csapadékösszeg növekedését, mint a többi évszakban. Figyelemre méltó, hogy a téli csapadékösszeg 2021-2050 közötti időszakra várható változása előjelet vált az évszázad végére, tehát a változás időben nem lineáris. A Kárpát-medencében (kitüntetett figyelmet szentelve Magyarországnak) várható változásokkal kapcsolatos ismeretanyag részletes összefoglalóját nyújtja a Klímaváltozás – 2011: klímaszcenáriók a Kárpát-medence térségére című kiadvány (2011, szerk.: Bartholy et al.).

III. Esettanulmányok a klímaváltozás ökológiai hatásairól Magyarországon

Az itt közölt esettanulmányok a jelen tananyag szerkesztőinek saját eredeti tudományos munkái, amelyeket korábbi műveikben már publikáltak. Az összeállításhoz a Hufnagel Levente és Sipkay Csaba szerkesztésében 2012-ben megjelent „A Klímaváltozás hatása ökológiai folyamatokra és közösségekre” c. könyv idevágó anyagát használtuk (a szerzők és szerkesztők engedélyével.)

Faunisztika, földrajzi analógia, área-klíma elemzés

A klímaváltozásnak a magyar faunára gyakorolt hatásának elemzéséhez indikátorcsoportnak a Lepidoptera rendet (Lepkék) választottuk, munkánkban a biodiverzitásra gyakorolt hatás szempontját emeltük ki, és klímaszcenáriókra vonatkozóan a földrajzi analógiák módszere alapján elemeztük a várható következményeket. Kutatómunkánk alapján összefoglalva azt a következtetést vonhatjuk le, hogy az általunk vizsgált szcenáriók bekövetkezése esetén ennek hatása a magyar Lepidoptera fauna 55-81%-át nem érintené. A mai fauna vesztesége fajokban 19-45% közötti lehet maximálisan, ezek nagyrészt északias elterjedésű fajok. Ugyanakkor az új fajok megjelenésére maximálisan a mai lepkefauna mintegy 19-36%-át kitevő mértékben számíthatunk, ezen a fajok areája jellemzően délkeleti jellegű.

Hasonló vizsgálatokat végeztünk, különböző gerinces csoportok áreatérképei alapján, oly módon, hogy értékeltük a fajoknak egy pontban az áreahelyzetét (központi helyzet, peremhelyzet, áreán kívüli helyzet stb.). majd ez alapján értékeltük az adott földrajzi analógiával jellemzett klímaváltozás által nem érintett, kárt szenvedett és előnyben részesülő fajok arányát. (Bartholy et al 2012)

Taxa	Nem érintett	Veszteség	Új fajok
Lepke	55-81%	19-45%	19-36%
Emlős	54-21%	36-48%	10-31%
Madár	78-23%	15-59%	8-18%
Hüllő	51-13%	18-21%	28-69%
Kétéltű	75-50%	17-25%	8-25%

Megállapítottuk, hogy a fauna jelenleg megfigyelhető éves változékonyságánál a szezonális változások és a területi különbségek is nagyobb mintázatgeneráló tényezőt jelentenek. (Publikációk: Petrányi –Hufnagel – Horváth 2007, Bartholy et al 2012)

Klimatikus profilindikátorok kukorica ökoszisztéma

A klímaváltozásnak a kártevődinamikai viszonyokra gyakorolt hatását a kukorica-ökoszisztéma kártevői, kórokozói és gyomnövényei alapján elemeztük, többféle klímaszcenárió és modellfuttatás alapján, havi klimatikus profil-indikátorokkal.

A vizsgált 37 fontos kórokozó és kártevő közül 9 mutatott erős növekedést a növekvő intenzitású klímaváltozási szcenáriók irányába, ezek a meleg tavaszt és nyarat igénylő, de csapadékra nem igényes indikátorok a jelenleg tapasztalt 0-10% közötti relatív gyakoriságról 84-100%-ra növekedtek a legmelegebb szcenáriókra. 11 olyan fajt találtunk, amelyek kisebb mértékű növekedési tendenciát mutattak 35-61%-ig (ezek az egész évben tavasztól ősziig melegt és szárazságot igénylő fajok). A potenciális kártételi veszélyhelyzetek kockázata

mindkét esetben a historikus viszonyoknál nagyobbra várható. A maradék 17 faj nem mutatott lényeges változást, ezek azok a fajok, amelyek magas csapadékot igényeltek.

A változás tehát a kártevő fajok több mint 50%-át érinti. A klímaváltozási scenáriók, profilindikátorok által kiértékelt gyakorisági adatsorai egymással összehasonlítva a következő hasonlósági mintázatot mutatják: A historikus és baseline adatsorok egymáshoz közel helyezkednek el, tőlük legtávolabb a drasztikus változásokat mutató egyensúlyi UKLO, UKHI, scenáriók és tőlük elkülönülve a modernebb HC-A2, HC-B2 és MPI-A2 scenáriók találhatóak, a két szélsőség (jelen és távolabbi jövő) között helyezkednek el a mérsékelt változásokat mutató GF2, GF5 és UKTR scenáriók.

Látunk-e máris változásokat a nagy monitoring rendszerek adatsoraiban?

Lepidoptera monitoring

Az 1952-től napjainkig működő országos növényvédelmi és erdészeti fénycsapdahálózat adataiban hosszútávú tendenciaként enyhe egyedszámcsökkenést és ezzel összefüggésben enyhe diverzitásnövekedést észleltünk, ami a domináns fajok dominanciájának csökkenéséből származik. (a jelenség mögött élőhelyváltozás, módszertani változások is állhatnak, bár a vizsgálatok során ezek hatását igyekeztünk kiszűrni) Megállapítottuk, hogy a fauna jelenleg megfigyelhető éves változékonyságánál a szezonális változások és a területi különbségek is nagyobb mintázatgeneráló tényezőt jelentenek. GIMESI, L. – HUFNAGEL, L. (2010)

Alga monitoring

Az 1980-tól napjainkig működő országos gödi fitoplankton monitoring adataiban hosszútávú tendenciaként egyedszámcsökkenést és ezzel összefüggésben enyhe diverzitásnövekedést észleltünk, ami itt is domináns fajok dominanciájának csökkenéséből származik. (A jelenség mögött a duna vízének tápanyagtúlkínálatában bekövetkezett változások is szerepet játszhatnak) VERASZTÓ, CS. – KISS, K.T. – SIPKAY, CS. – GIMESI, L. – VADADI-FÜLÖP, CS. – TÜREI, D.– HUFNAGEL, L. (2010)

Taktikai modellezés és statisztika

Vízi ökoszisztémák

A klímaváltozás különösen érzékenyen érintheti a vízi ökoszisztémákat, így modellezési esettanulmányainkat vízi rendszerekre fejlesztettük ki. (Hufnagel –Gaál 2005, Sipkay-Hufnagel-Gaál 2005, Sipkay-Hufnagel 2006, Mészáros et al 2007, Vadadi-Sipkay-Hufnagel 2007, Sipkay et al 2007, Sipkay-Hufnagel 2007, Vadadi et al 2008, Hufnagel et al 2008.)

A probléma vizsgálatára diszkrét időszemléletű, determinisztikus modelleket fejlesztettünk és a modellek viselkedését (mint indikátorokat) vizsgáltuk eltérő klímascenáriók és historikus adatsorok eseteire. Egyes zooplankton esettanulmányainkban a maximális egyedszám elérésének időpontja az évben egy-másfél hónappal előbbre tolódik más esetekben például az évenkénti összes mennyiség alapján azonban nem tapasztalható semmilyen szignifikáns eltérés a scenáriók és a valós adatok között. Több tanulmány is korábbi maximumokat prediktál az alga biomasszában, azonban ez általában a biomassza növekedésével jár együtt, különösen a téli félévben. Míg az időzítés megváltozása bizonyos fitoplanktonikus csoportok esetén rendszerint a korábbi megjelenés irányába mutat, addig az alga biomassza növekedése mellett a produktivitás csökkenésére is találunk példákat, ebből következően az alga biomassza változása különböző vízterekben más és más lehet.

A szilas-patak vizipoloska fajainál (makrogerinctelen fajegyüttes), szimulációs modellezéssel vizsgáltuk a klímaváltozás lehetséges hatásait. Az illesztéshez használt adatsor -2 és +2 fokalós lineáris homogén manipulációjával, azt találtuk, hogy a hőmérséklet csökkenés az egyedszám és biomassza maximumokat nem csökkenti, sőt nyáron még növelheti is, de az év során a nagy abundanciájú időszakot szűkíti, a melegedés viszont robbanásszerű növekedést eredményezne, ha más források nem limitálnák.

Amikor a lineáris manipulálás helyett klímaszenáriókat használtunk, hasonló eredményeket kaptunk, itt azonban a egyes szenárióknál a maximumhelyek elmozdulása is bekövetkezett, a robbanásszerű abundancianövekedés mellett. Az elemzések azt mutatták, hogy a fajok arányában is jelentős változások mutatkoznak. (Hufnagel-Gaál 2005)

Egy dunai zooplankton faj a Cyclops vicinus szimulációs modellezésén alapuló vizsgálatával összehasonlítottuk a Hadley Centre A2 és B2, valamint a Max Planck Institution A2 szenáriójának Budapestre leskálázott adatait és fő vonalakban azt találtuk, hogy mindegyik adatsor szignifikánsan különböző jóslást ad a Cyclops faj populációdinamikájára, ha a historikus meteorológiai adatokkal vetjük össze, ugyanakkor a szenáriók jóslatai nem különböznek lényegesen egymástól. Összefoglalóan elmondható, hogy vizsgálatunk szerint egy ilyen klímaváltozás hatására az abundanciamaximum helye, mintegy másfél hónappal tolódna korábbra, továbbá az éves összegyedszám évek közötti fluktuációja válik jóval nagyobb mértékűvé mint a historikus adatsorok esetén megfigyelhető.

Egy mesterséges kertitavas rendszer monitoringjára alapozott négyelemű táplálékhálózat szimulációs modellezésén alapuló vizsgálattal összehasonlítottuk 8 különböző budapestre leskálázott klímaváltozási szenárió időjárási adatsorának szimulált ökológiai hatásait. A vizsgálatok során azt találtuk, hogy a modellek baseline futtatásai nem különböztek szignifikánsan a historikus adatsorok futtatásaitól, de a különböző szenáriók jóslataitól legalább egy változóban mindig szignifikánsan különböztek. A cyclopidák és a fitoplankton éves abundanciacsúcsának helye, az enyhe változást leíró (UKTR, GFDL2 és GFDL5) szenárióknál nem változik lényegesen, míg a drasztikusabb változásokkal számoló (UKHI, UKLO, HC-A2, HC-B2, MPI-A2) szenáriók esetén jelentősen (160-280 nappal) korábbra tolódnak. Egy Eudiaptomus fajnál hasonló mintázatok mellett mindössze 20 napos előretolódás figyelhető meg. Az Ischnura pumilo szitakötő fajnál az enyhe változást mutató szenáriók 40 napos későbbretolódást, míg a drasztikusabb szenáriók 40 napos korábbretolódást mutatnak a historikus és a baseline adatokhoz képest. (Vadadi et al 2009)

A dunai fitoplankton adatbázisra illesztett szimulációs modellünk alapján lineáris hőmérsékletemelések hatását elemeztük és megállapítottuk, hogy a felmelegedés csak a 1990 előtti évekre jellemző kiemelkedően magas tápanyagtúlkínálatot feltételező szimulációkban vezet a nyári algaprodukciónövekedéshez. (Sipkay et al 2012)

Szárazföldi ökoszisztémák populációi és fajegyüttese

Rovarak taktikai modellezése, fenológia és populáció dinamika

A különböző rovarfajok fenológiai és populációdinamikai viselkedésének elemzésére számos esettanulmányt és modellt dolgoztunk ki (Ladányi-Hufnagel 2003, 2006, Ladányi et al 2003, Horváth et al 2003, Senteleki et al 2007, Hufnagel et al 2008).

A platánfa-csipkésposloska szimulációsmodellezésére alapuló vizsgálataink szerint az enyhébb klímaváltozást leíró scenáriók (GFDL2, GFDL5, UKTR) a saját baseline-jukhoz hasonlóan a terepen megfigyelt időzítésű szezonális dinamikát eredményezik, az összabundancia jelentős (csúcsnál négyszeres) megemelkedésével, a drasztikus klímaváltozást jósoló scenáriók (UKHI, UKLO) viszont a faj összeomlását jósolják és a jelenlegi 2 nemzedékből kizárólag az első (az év 150. napja körüli) realizálódik, míg a 225. nap körül szokásos igazi nagy abundancia-csúcs teljesen eltűnik. (Ladányi-Hufnagel 2006)

A kis téliaraszoló fénycsapdás adatsorára illesztett populációdinamikai modellünk alapján elemeztük a RegCM3 modell 1961-90, 2021-2050 és 2071-2010 évekre vonatkozó időjárási adatsorainak hatásait. (Kúti et al 2011) A vizsgálatok a XXI század közepére enyhe összegyedszám csökkenést, majd a végére drasztikus egyedszám növekedést (megduplázódást) jósolnak.

IV. A klímaváltozás legfontosabb magyarországi hatásainak listája

A magyarországi éghajlat megfigyelt és várható változásai alapvetően befolyásolják a kiemelten fontos természeti erőforrásokat, melyek a következők (Második NÉS –szakpolitikai vitaanyag):

1. vizek,
2. talajok,
3. erdők és a
4. biológiai sokféleség

A változó klimatikus tényezők következményeként fellépő, a vizsgált természeti erőforrásokat érintő legfontosabb várható hatások ismerete és azok további vizsgálata nélkülözhetetlen ahhoz, hogy a települési önkormányzatok szintjén is tudjuk, hogy mire kell számítanunk. A természeti erőforrásokat érintő várható hatások a fenntarthatóság felé való átmenet megvalósítását is befolyásolhatják, különös tekintettel a négy legfontosabb nemzeti erőforrásra (Második NÉS).

A hatások összefoglaló listája:

1. Folyóink átlagos vízhozama csökken, mert téli vízhozamuk enyhén nő, nyári azonban erősebben csökken. Csökken az átlagos évi lefolyás. A tavaszi (olvadási) árvizek korábbra tolódnak, tetőző vízhozamuk viszont nőhet vagy csökkenhet is, az esőeredetű árvizek kockázata nő. (Ezt a kockázatot növelik a vízgyűjtőn letarolt erdők révén csökkenő növényzeti vízretenció) A kisvízgyűjtők villámárvizei gyakoribbá válnak. A nagytavak és tározók gyakrabban lesznek alacsony vízállásúak, vízmérlegük és vízminőségük is romolhat, a felszín alatti vizek utánpótlása csökken. A talaj nedvességtartalma csökken, az aszály veszélyesebb lesz. A talajba való vízbeszivárgás csökken, kevesebb lehet a felszín alatti vizek utánpótlása. A vízhőmérsékletek emelkednek, a jégjelenségek csökkenhetnek. Nő a lakosság csúcsvíz-fogyasztása, a vízfolyások terhelhetősége csökken, gyakoribb vízkárok keletkeznek települési szinten.
2. A talajoknál növekszik a csapadék okozta erózió, és szél okozta defláció, valamint az aszály hatásai, a szervesanyag csökkenése. A talaj romló nedvesség-ellátottsága növeli az aszályhajlamot, az aszály nagyobb területre terjed ki és nő az aszályos évek gyakorisága. A belvizek alakulása szélsőségessé válik. A klímaváltozásra különösen érzékenyek a vázaltalajok, a közethatású talajok, a szikes talajok, a réti talajok, a láptalajok és az

öntéstalajok. Az ezekhez a talajtípusokhoz kapcsolódó védett területekre fokozottan érdemes figyelni a természetvédelmi károk megelőzése miatt.

- 3.A** biodiverzitás csökkenni fog, fajok az országból eltűnnek, mások megjelennek, a közösség szerkezet megváltozik, invazív fajok elterjednek. Ökoszisztéma-szolgáltatások és az évszakos mintázatok módosulnak. Mindezek következtében felbomolhatnak (vagy deszinkronizálódhatnak) fontos populációk közötti kapcsolatok, mint például a virágmegporzás, gazda-parazita kapcsolatok, szimbiotikus vagy más kölcsönösen előnyös kölcsönhatások és így az ökoszisztémák egyes funkciói kiesnek a korábbi szabályozottsági helyzetükből. „Mivel Magyarország alapvetően két nagy életföldrajzi övezet (a mérsékelt övi lombos erdők és az erdőssztyep biom) határvidékén helyezkedik el, így várható hogy élőhelyeink jó része különösen érzékenyen fog reagálni az éghajlati övek eltolódására. Az éghajlatváltozás élőhely-alakító hatása hosszabb távon a hazai természetes és természetközeli élőhely-típusok túlnyomó többségét, mintegy – 80%-át (75 vizsgált élőhelyből 60-at) veszélyezteti.” (Második NÉS)

A klímaváltozás a fontosabb hazai közösségek (ökoszisztémák, élőhelyek) közül

a klímazonális erdőtársulások (bükkösök, gyertyános tölgyesek, cseres tölgyesek), az üde gyepek (hegyi rétek, kaszálórétek)

a lápi élőhelyek (láprétek, láperdők) valamint

részben a mocsári élőhelyek és az

ártéri élőhelyek fennmaradását is veszélyezteti.

A tüzek esetleges gyakoribbá válása számos élőhely előfordulásai számára fokozhatja a veszélyeztetettséget. (Második NÉS)

Az ökológiai rendszerek reakciói a klímaváltozásra nem lassú átalakulásokkal, hanem hosszabb tolerancia utáni hirtelen összeomlásokkal jellemezhető.

- 4.** Erdőtüzek, erdei szélkárok, csökkenő erdei biodiverzitás, csökkenő édesvízmegkötés, csökkenő talajvédelem, csökkenő szénmegkötés várható. „Magyarországon jelenleg 2 millió hektár az erdőgazdálkodásba bevont terület, amelynek 94%-át (1,9 millió ha) borítja faállomány. A faállománnyal borított területet alapul véve az ország erdőszültsége 20,6%, amely alacsonynak tekinthető az Európai Unió átlaghoz viszonyítva, amely hozzávetőleg 40%.” (Második NÉS) A klímaváltozás következtében sérülnek az erdők olyan ökoszisztéma szolgáltatásai, mint például a biodiverzitás fenntartó képesség, szénmegkötő képesség, édesvíz tárolási képesség, talajvédő hatás. A vegetációs időszak növekszik, de a fagykár iránti érzékenység nő, növekszik a tavaszi árvízkárosodás, a klímaváltozás aszálykárokhoz és az erdők nitrogénforgalmának zavaraihoz vezethet, ami a fák pusztulását okozhatja. Növekszik a szélkárok és a biotikus károk nagysága. Különösen érzékenyek az egykorú, monokultúras bükk és lucfenyő állományok.

- 5.** Hőhullámok okozta halálozás növekedés, katasztrófa-stressz, nyári szmog, allergén pollenek, vektor (szúnyog, lepkeszúnyog, kullancs, rágcsáló) terjesztette betegségek (malária, leishmaniasis, Lyme-kór, kullancsencephalitis, hantavírusok, nyugat-nílusi láz, féregfertőzések, Chikungunya-láz, Dengue-láz, Rift-völgyi láz), bőrrák, gombatoxinok. (Túl meleg (25°C feletti) napok miatti többlethalálozás a referencia időszakban 121 volt, 2020-2050 között 267-nek várható, 2070-2100 között pedig 1060-nak.) Többlethalálozást okozhatnak élelmiszerellátási zavarok és élelmiszer eredetű megbetegedések, valamint a nyári szmog és az allergén növények és gombaspórák is.

- 6.** Mezőgazdaságban: árvíz, belvíz, ónos eső, özvívizeső, sárlavina, földcsuszamlás, jégverés, köd, zúzmara, hófúvás, hőségnapok, aszály, UVB, korai és kései fagyok, erdő-bozót- és tarlótüzek, új kórokozók, kártevők várhatók. A mezőgazdaság rendkívüli módon kitett a klímaváltozás hatásainak, nagyon megnövekszenek a termelési kockázatok. Változhat a

károk kár-nemenkénti gyakorisági eloszlása is. Jelenleg az aszálykár 42%-ot, a jégkár 21%-ot, a vízkár 18%-ot, a fagykár 16%-ot tesz ki.

7. Épületekben: özönvízeső és vihar okozhat kárt. (A hóhullámok idején fontos az épületek megfelelő kialakítása)
8. Közlekedést veszélyeztetheti a hóhullám, aszfaltkárosodás, síkos utak, köd, hóakadályok, kátyusodás.
9. Hulladéklerakók, szennyvíztisztítók: járványkockázatot jelenthetnek extrém nagy csapadékoknál
10. Napenergia inkább alkalmazható lesz, vízenergia kevésbé, szélenergia változó, energiaszállító rendszerek sérülése következhet be, növekvő nyári energiaigény merülhet fel.
11. A turizmus keresleti és kínálati oldala is változhat.
12. Biztonságpolitika és katasztrófavédelem: erdőtüzek, nemzetközi konfliktusok eszkalálása, infrastruktúra biztonság, ipari biztonság, ökológiai biztonság, egészség és élelmiszer biztonság kerülhet veszélybe, a klíma-migráció tekintetében pedig forrás-, cél- vagy tranzitország is lehetünk (ki- és bevándorlás is növekedhet az átmenőforgalom mellett).
13. Munkaerőpiacon változások következhetnek be, vállalkozások csődje, kivonulása, teljes gazdasági szektorok átrendeződése miatt, munkaerő hiány és többlet is jelentkezhet

Irodalomjegyzék:

1. Adem, J., 1965: Experiments aiming at monthly and seasonal numerical weather prediction. Monthly Weather Review, 93: 495-503.
2. Attila Trájer, Ákos Bede-Fazekas, Levente Hufnagel, Levente Horvath, János Bobvos, Anna Páldy (2013): The effect of climate change on the potential distribution of the European Phlebotomus species - APPLIED ECOLOGY AND ENVIRONMENTAL RESEARCH 11:(2) pp. 189-208. (2013)
3. Bartholy J., Pongrácz R., Nagy J., Pieczka I., Hufnagel L. (2012): Regional Climate Change Impacts on Wild Animals' Living Territory in Central Europe - APPLIED ECOLOGY AND ENVIRONMENTAL RESEARCH 10:(2) pp. 107-120. (2012)
4. Bartholy, J., G. Csima, A. Horányi, A. Hunyady, I. Pieczka, R. Pongrácz, Cs. Torma, G. Szépszó, 2009b: Regional climate models for the Carpathian basin: validation and preliminary results for the future. EGU2009-12509. Geophysical Research Abstracts, 11, 12509. CD-ROM. EGU General Assembly 2009.
5. Bartholy, J., R. Pongrácz, Cs. Torma, A. Hunyady, 2006b: A PRECIS regionális klímamodell és adaptálása az ELTE Meteorológiai Tanszékén. In: 31. Meteorológiai Tudományos Napok - Az éghajlat regionális módosulásának objektív becslését megalapozó klímadinamikai kutatások (Weidinger T., szerk.) Országos Meteorológiai Szolgálat, Budapest. 99-114.
6. Bartholy, J., R. Pongrácz, Cs. Torma, A. Hunyady, 2006c: A regionális klímaváltozás becslése a Kárpát-medence térségére. VAHAVA-zárókonferencia. In: A globális klímaváltozás: hazai hatások és válaszok. KvVM-MTA "VAHAVA" project. (Láng I., Jolánkai M., Csete L., szerk.) CD-ROM. Akaprint, Budapest. 5p.
7. Bartholy, J., R. Pongrácz, Cs. Torma, I. Pieczka, P. Kardos, A. Hunyady, 2009a: Analysis of regional climate modeling experiments for the Carpathian Basin. Int. J. Global Warming, 1: 238-252.
8. Bartholy, J., R. Pongrácz, Gy. Gelybó, 2006a: Regionális éghajlati szcenáriók a PRUDENCE projekt eredményei alapján. In: Napjaink környezeti problémái - globálistól lokálisig: Sérülékenység és alkalmazkodás, CD-ROM. Pannon Egyetem Georgikon Mezőgazdaságtudományi Kar, Keszthely. 6p.
9. Beniston, M., D.B. Stephenson, O.B. Christensen, C.A.T. Ferro, C. Frei, S. Goyette, K. Halsnaes, T. Holt, K. Jylhä, B. Koffi, J. Palutikof, R. Schöll, T. Semmler, K. Woth, 2007:

- Future extreme events in European climate: An exploration of regional climate model projections. *Clim. Change*, doi:10.1007/s10584-006-9226-z.
10. Budyko M., 1969: The effect of solar radiation variations on the climate of the Earth. *Tellus* 21: 611-661.
 11. Caires, S., V.R. Swail, X.L. Wang, 2006: Projection and analysis of extreme wave climate. *J. Clim.*, 19: 5581-5605.
 12. Christensen J.H., O.B. Christensen, 2007: A summary of the PRUDENCE model projections of changes in European climate by the end of this century. *Climatic Change*, doi:10.1007/s10584-006-9210-7.
 13. Christensen, O.B., J.H. Christensen, 2004: Intensification of extreme European summer precipitation in a warmer climate. *Global Planet Change*, 44: 107-117.
 14. Collins, W. D., C. M. Bitz, M. L. Blackmon, G. B. Bonan, C. S. Bretherton, J. A. Carton, P. Chang, S. C. Doney, J. J. Hack, T. B. Henderson, J. T. Kiehl, W. G. Large, D. S. McKenna, B. D. Santer, R. D. Smith, 2006: The Community Climate System Model Version 3 (CCSM3). *J. Climate*, 19(11), 2122-2143.
 15. Csima, G., A. Horányi, 2008: Validation of the ALADIN-Climate regional climate model at the Hungarian Meteorological Service. *Időjárás*, 112: 155-177.
 16. Déqué, M., A.L. Gibelin, 2002: High versus variable resolution in climate modelling. In: *Research Activities in Atmospheric and Oceanic Modelling* [Ritchie, H. (ed.)]. WMO/TD No. 1105, Report No. 32, World Meteorological Organization, Geneva, pp. 74-75.
 17. Déqué, M., D.P. Rowell, D. Lüthi, F. Giorgi, J.H. Christensen, B. Rockel, D. Jacob, E. Kjellström, M. de Castro, B. van den Hurk, 2007: An intercomparison of regional climate simulations for Europe: assessing uncertainties in model projections. *Clim. Change*, doi:10.1007/s10584-006-9228-x.
 18. Déqué, M., P. Marquet, R.G. Jones, 1998: Simulation of climate change over Europe using a global variable resolution general circulation model. *Clim. Dyn.*, 14: 173-189.
 19. Déqué, M., R.G. Jones, M. Wild, F. Giorgi, J.H. Christensen, D.C. Hassell, P.L. Vidale, B. Rockel, D. Jacob, E. Kjellström, M. de Castro, F. Kucharski, B. van den Hurk, 2005: Global high resolution versus Limited Area Model climate change scenarios over Europe: results from the PRUDENCE project. *Clim. Dyn.*, 25: 653-670, doi:10.1007/s00382-005-0052-1.
 20. Dickinson, R.E., R.M. Errico, F. Giorgi, G.T. Bates, 1989: A regional climate model for the western United States, *Climatic Change*, 15: 383-422.
 21. Diós Nikoletta, Szenteleki Károly, Ferenczy Antal, Petrányi Gergely, Hufnagel Levente (2009): A climate profile indicator based comparative analysis of climate change scenarios with regard to maize cultures - *APPLIED ECOLOGY AND ENVIRONMENTAL RESEARCH* 7:(3) pp. 199-214.
 22. Drégelyi-Kiss Á, Drégelyi-Kiss G, Hufnagel L (2008): Ecosystems as climate controllers - biotic feedbacks (a review) - *APPLIED ECOLOGY AND ENVIRONMENTAL RESEARCH* 6:(2) pp. 111-134.
 23. Drégelyi-Kiss Á, Gimesi L, Homoródi R. (2010): Examination the Interaction between the composition of a Theoretical Ecosystem and the increase in the Atmospheric CO₂ Level *HUNGARIAN JOURNAL OF INDUSTRIAL CHEMISTRY* 38:(2) pp. 201-206. (2010)
 24. Drégelyi-Kiss A, Hufnagel L (2009): Simulations of Theoretical Ecosystem Growth Model (TEGM) during various climate conditions - *APPLIED ECOLOGY AND ENVIRONMENTAL RESEARCH* 7:(1) pp. 71-78.
 25. Drégelyi-Kiss Á, Hufnagel L (2010): Effects of temperature-climate patterns on the production of some competitive species on grounds of modeling *ENVIRONMENTAL MODELING & ASSESSMENT* 15:(5) pp. 369-380. (2010)
 26. Drégelyi-Kiss, Ágota, & Hufnagel, L. (2011): Changes in the Composition of a Theoretical Freshwater Ecosystem Under Disturbances In: Juan Blanco and Houshang Kheradmand (ed): *Climate Change - Geophysical Foundations and Ecological Effects*, InTech - Open Access Publisher, Rijeka, Croatia, ISBN 978-953-307-419-1, URL: <http://www.intechopen.com/articles/show/title/changes-in-the-composition-of-a-theoretical-freshwater-ecosystem-under-disturbances>

27. Eppich B , Dede L , Ferenczy A , Garamvölgyi Á , Horváth L , Isépy I , Priszter Sz , Hufnagel L (2009): Climatic effects on the phenology of geophytes - APPLIED ECOLOGY AND ENVIRONMENTAL RESEARCH 7:(3) pp. 253-266.
28. Farman, J.C., B.J. Gardiner, J. Shanklin, 1985: Large losses of total ozone in Antarctica reveal seasonal ClOx/NOx interaction. Nature, 315: 207-210.
29. Ferenczy A, Eppich B, Varga R.D., Bíró I, Kovács A, Petrányi G, Hirka A, Szabóki Cs, Isépy I., Priszter Sz, Türei D, Gimesi L, Garamvölgyi Á, Homoródi R., Hufnagel L (2010): Comparative Analysis of the Relationships between Phenological Phenomena and Meteorological Indicators Based on Insect and Plant Monitoring - APPLIED ECOLOGY AND ENVIRONMENTAL RESEARCH 8:(4) pp. 367-376. (2010)
30. Garamvölgyi Ágnes , Hufnagel Levente (2013):): Impacts of Climate Change on Vegetation Distribution No.1- Climate Change Induced Vegetation Shifts in the Palearctic Region - APPLIED ECOLOGY AND ENVIRONMENTAL RESEARCH 11:(1) pp. 79-122.
31. Gergócs V , Homoródi R , Hufnagel L (2012): Genus lists of Oribatid mites - A unique perspective of climate change indication in research -In: Gbolagade Akeem Lameed (Ed.):Biodiversity Conservation and Utilization in a Diverse World . Rijeka: InTech, 2012. pp. 175-208. (ISBN:978-953-51-0719-4)
32. Gergócs, V. -Homoródi, R - Hufnagel, L. (2012): Genus lists of Oribatid mites - A unique perspective of climate change indication in research In: Dr. Gbolagade Akeem Lameed (ed): Biodiversity Conservation and Utilization in a Diverse World, InTech, Rijeka, Croatia ISBN 978-953-51-0719-4 <http://www.intechopen.com/books/biodiversity-conservation-and-utilization-in-a-diverse-world/genus-lists-of-oribatid-mites-a-unique-perspective-of-climate-change-indication-in-research>
33. Giambelluca T, A. Henderson-Sellers, 1996: Climate Change: Developing Southern Hemisphere Perspectives. Wiley: Chichester.
34. Gibelin, A.L., M. Déqué, 2003: Anthropogenic climate change over the Mediterranean region simulated by a global variable resolution model. Clim. Dyn., 20: 327-339.
35. Gimesi L , Homoródi R , Hirka A , Szabóki Cs , Hufnagel L (2012): The effect of climate change on the phenology of moth abundance and diversity - APPLIED ECOLOGY AND ENVIRONMENTAL RESEARCH 10:(3) pp. 349-363. (2012)
36. Gimesi László , Homoródi Réka , Hirka Anikó , Szenteleki Károly , Hufnagel Levente (2012):The Effect of Climate Change on Light Trap Capturing Data of Lepidoptera - INTERNATIONAL PROCEEDINGS OF CHEMICAL BIOLOGICAL AND ENVIRONMENTAL ENGINEERING 28: pp. 255-259.
37. Giorgi, F., C. Jones G. Asrar , 2009: Addressing climate information needs at the regional level: The CORDEX framework. WMO Bulletin, 58:3.
38. Giorgi, F., L. O. Mearns , 2002: Calculation of average, uncertainty range and reliability of regional climate changes from AOGCM simulations via the "Reliability Ensemble Averaging (REA)" method, J. Climate, 15: 1141-1158.
39. Gordon, C.; C. Cooper, C.A. Senior, H. Banks, J.M. Gregory, T.C. Johns, J.F.B. Mitchell, R.A. Wood, 2000: " The simulation of SST, sea ice extents and ocean heat transports in a version of the Hadley Centre coupled model without flux adjustments " Climate Dynamics, 16: 147-168. doi: 10.1007/s003820050010
40. Gordon, H. B., S.P. O'Farrell, M.A. Collier, M.R. Dix, L.D., Rotstayn, E.A. Kowalczyk, A.C. Hirst, I.G. Watterson, 2010: The CSIRO Mk3.5 Climate Model, Technical Report No. 21, The Centre for Australian Weather and Climate Research, Aspendale, Vic., Australia, 62 pp.,
41. Götz Gusztáv , 2004: A klímadinamika alapjai. Meteorológiai Tudományos Bizottság Légkördinamikai Munkabizottság, Budapest.
42. Halenka, T., 2007: On the Assessment of Climate Change Impacts in Central and Eastern Europe - EC FP6 Project CECILIA. Geophysical Research Abstracts, 9, 10545.
43. Hanssen-Bauer, I., C. Achberger, R.E. Benestad, D. Chen, E.J. Foland, 2005: Statistical downscaling of climate scenarios over Scandinavia: A review. Climate Research 29: 255-268.
44. Harnos, Zs, Csete, L. (szerk) (2008): Klímaváltozás: Környezet-Kockázat-Társadalom . - Szaktudás Kiadó Ház, Budapest (1-377 oldal). ISBN 978-963-9736-87-0

45. Harnos, Zs., Gaál, M., Hufnagel, L. (szerk) (2008): Klímaváltozásról mindenkinek - Budapesti Corvinus Egyetem, Budapest. (1-197 oldal) ISBN 978-963-503-384-3
46. Hasumi, H. , S. Emori (Eds.) 2004: K-1 Coupled GCM (MIROC) Description. K-1 Technical Report No. 1, CCSR, NIES and FRCGC, September 2004.
47. Hayhoe, K., D. Cayan, C.B. Field, P.C. Frumhoff, E.P. Maurer, N.L. Miller, S.C. Moser, S.H. Schneider, K.N. Cahill, E.E. Cleland, L. Dale, R. Drapek, R.M. Hanemann, L.S. Kalkstein, J. Lanihan, C.K. Lunch, R.P. Neilson, S.C. Sherinda, J.H. Verville , 2004: Emissions pathways, climate change, and impacts on California. Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A., 101: 12422-12427.
48. Hewitt, C. D., D. J. Griggs , 2004: Ensembles-Based Predictions of Climate Changes and Their Impacts, Eos Trans. AGU, 85(52), doi:10.1029/2004EO520005.
49. Hill, G. E ., 1968: Grid telescoping in numerical weather prediction. J. Appl. Meteor., 7: 29-38
50. Horányi, A., G. Csima, I. Krüzselyi, P. Szabó, G. Szépszó, J. Bartholy, I. Pieczka, R. Pongrácz, Cs. Torma, 2010: Összefoglaló Magyarország éghajlatának várható alakulásáról. OMSZ kiadvány
51. Hufnagel L , Gaál M (2005): Seasonal dynamic pattern analysis in service of Climate Change Research - APPLIED ECOLOGY AND ENVIRONMENTAL RESEARCH 3:(1) pp. 79-132. (2005)
52. Hufnagel L , Garamvölgyi Á (2014): Impacts of Climate Change on Vegetation Distribution No.2- Climate Change Induced Vegetation Shifts in the New World -APPLIED ECOLOGY AND ENVIRONMENTAL RESEARCH 12:(2) pp. 355-422.
53. Hufnagel L, Sipkay Cs (szerk) (2012): A klímaváltozás hatása ökológiai folyamatokra és közösségekre - Budapesti Corvinus Egyetem, Budapest (1-530 oldal) ISBN 978-963-503-511-3
54. Inman , Mason 2011: Opening the future. Nature Climate Change 1, 278-281 doi:10.1038/nclimate1205
55. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Third Assessment Report, 2001: The Scientific Basis.
56. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2007: Climate Change: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC. (<http://www.ipcc.ch>)
57. Kleinn, J., C. Frei, J. Gurtz, D. Lüthi, P.L. Vidale, C. Schär, 2005: Hydrological simulations in the Rhine basin, driven by a regional climate model. J. Geophys. Res., 110, D04102, doi:10.1029/2004JD005143.
58. KLÍMAVÁLTOZÁS - 2011. Klímaszcenáriók a Kárpát-medence térségére, MTA, ELTE Meteorológiai Tanszék (szerk.: Bartholy, J., Bozó, L., Haszpra, L.), Budapest., 281 p.
59. Kocsis M , Hufnagel L (2011): Impacts of climate change on lepidoptera species and communities - APPLIED ECOLOGY AND ENVIRONMENTAL RESEARCH 9:(1) pp. 43-72.
60. Kopp, G ., and J. L. Lean 2011: A new, lower value of total solar irradiance: Evidence and climate significance, Geophys. Res. Lett., 38, L01706, doi:10.1029/2010GL045777.
61. Kúti Z , Hirka A , Hufnagel L , Ladányi M (2011): A population dynamical model of Operophtera brumata, L. extended by climatic factors - APPLIED ECOLOGY AND ENVIRONMENTAL RESEARCH 9:(4) pp. 433-447.
62. Ladányi M , Hufnagel L (2006): The effect of climate change on the population of sycamore lace bug (Corythuca ciliata, SAY, Tingidae Heteroptera) based on a simulation model with phenological response - APPLIED ECOLOGY AND ENVIRONMENTAL RESEARCH 4:(2) pp. 85-112.
63. Lambert, S. J., Boer, G. J. 2001: CMIP1 evaluation and intercomparison of coupled climate models. Clim. Dynam., 17: 83-106. (doi:10.1007/PL00013736)
64. Lorenz, Edward N. 1975: Climatic predictability. GARP Publications Series, April, pp. 132-136.
65. Lorenz, P., D. Jacob , 2005: Influence of regional scale information on the global circulation: a two-way nested climate simulation. Geophys. Res. Lett., 32, L18706, doi:10.1029/2005GL023351.

66. MacKay RM, M.K.W. Ko, S. Zhou, G. Molnar, R-L. Shia, Y. Yang, 1997: An estimation of the climatic effects of stratospheric ozone losses during the 1980s. *Journal of Climate*, 10: 774-788.
67. Major György , 1979: Mennyi energiát kapunk a napsugárzásból? *Élet és Tudomány* 35. szám, 1093-1097.
68. Manabe, S ., K. Bryan, 1969: Climate Calculations with a Combined Ocean-Atmosphere Model, *Journal of the Atmospheric Sciences*, 26: 786-789.
69. Manabe, S., R.F. Strickler, 1964: Thermal equilibrium of the atmosphere with a convective adjustment. *J. Atmos. Sci.*, 21: 361-385.
70. Mics F, Rozak A H , Kocsis M , Homoródi Réka , Hufnagel L (2013): Rainforests at the beginning of the 21st Century - *APPLIED ECOLOGY AND ENVIRONMENTAL RESEARCH* 11:(1) pp. 1-20.
71. Mizuta, R., K. Oouchi, H. Yoshimura, A. Noda, K. Katayama, S. Yukimoto, M. Hosaka, S. Kusunoki, H. Kawai, M. Nakagawa , 2006: 20km-mesh global climate simulations using JMA-GSM model. Mean climate states. *J. Meteorol. Soc. Japan.*, 84:165-185.
72. Moss Richard, Mustafa Babiker, Sander Brinkman, Eduardo Calvo, Tim Carter, Jae Edmonds, Ismail Elgizouli, Seita Emori, Lin Erda, Kathy Hibbard, Roger Jones, Mikiko Kainuma, Jessica Kelleher, Jean Francois Lamarque, Martin Manning, Ben Matthews, Jerry Meehl, Leo Meyer, John Mitchell, Nebojsa Nakicenovic, Brian O'Neill, Ramon Pichs, Keywan Riahi, Steven Rose, Paul Runci, Ron Stouffer, Detlef van Vuuren, John Weyant, Tom Wilbanks, Jean Pascal van Ypersele , and Monika Zurek, 2008: *Towards New Scenarios for Analysis of Emissions, Climate Change, Impacts, and Response Strategies* . Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change. pp. 132.
73. Nagy J , Bartholy J , Pongrácz R , Pieczka I , Hufnagel L (2011): Regional climate change impacts on wild animal's living territory in Central Europe. -*GEOPHYSICAL RESEARCH ABSTRACTS* 13: Paper 11530.
74. Önl , B., 2012: Effects of coastal topography on climate: high-resolution simulation with a regional climate model. *Clim Res* 52:159-174
75. Pal, J. S., F. Giorgi, X. Bi, 2004: Consistency of recent European summer precipitation trends and extremes with future regional climate projections. *Geophysical Research Letters* 31: L13202, doi:10.1029/2004GL019836.
76. Phillips, N. A ., 1956: The general circulation of the atmosphere : a numerical experiment, *Q. J. Roy. Meteor. Soc.*, 82: 123-164.
77. Pieczka I., J. Bartholy, R. Pongrácz, P. Kardos, A. Hunyady, 2009: Analysis of expected climate change in the Carpathian Basin using a dynamical climate model. In: *Numerical Analysis and Its Applications* (eds: Margenov, S., Vulkov, L.G., Wasniewski, J.). Lecture Notes in Computer Science 5434. Springer, Berlin Heidelberg NewYork. pp. 176-183.
78. Roeckner, E., K. Arpe ,1995: AMIP-Experiments with the new Max Planck Institute model ECHAM4. *Proceedings of the First International AMIP Scientific Conference*, Monterey, California, USA, 15-19 May 1995, WCRP-92, WMP/TD-No.732, 307-312.
79. Sasaki, H., K. Kurihara , I. Takayabu, 2006: Comparison of climate reproducibilities between a super-high-resolution atmosphere general circulation model and a Meteorological Institute regional climate model. *Scientific Online Letters on the Atmosphere*, 1: 81-84.
80. Scott, D., G. McBoyle , B. Mills, 2003: Climate change and the skiing industry in southern Ontario (Canada): exploring the importance of snowmaking as a technical adaptation. *Clim. Res.*, 23: 171-181.
81. Sipkay Cs , Horváth L , Nosek J , Oertel N , Vadadi-Fülöp Cs , Farkas E , Drégelyi-Kiss Á , Hufnagel L (2008): Analysis of climate change scenarios based on modelling of the seasonal dynamics of a Danubian copepod species - *APPLIED ECOLOGY AND ENVIRONMENTAL RESEARCH* 6:(4) pp. 101-109.
82. Sipkay CS , Kiss KT , Vadadi-Fülöp CS , Hufnagel L (2009): Trends in research on the possible effects of climate change concerning aquatic ecosystems with special emphasis on the modelling approach -*APPLIED ECOLOGY AND ENVIRONMENTAL RESEARCH* 7:(2) pp. 171-198.

83. Sipkay Cs , Tihamér Kiss K T , Vadadi-Fülöp Cs , Homoródi R , Hufnagel L (2012): Simulation modeling of phytoplankton dynamics in a large eutrophic river, Hungary, Danubian Phytoplankton Growth Model (DPGM) - BIOLOGIA (BRATISLAVA) 67:(2) pp. 323-337. (2012)
84. Sipkay Cs, , Kiss K.T. , Vadadi-Fülöp, Cs. , Hufnagel, L. (2010): The possible effects of climate change on the phytoplankton communities in the Danube river, Hungary In: International Association For Danube Research - 38th IAD Conference: Book of Abstracts: Large River Basins - Danube meets Elbe: Challenges - Strategies - Solutions . Dresden , Germany , 2010.06.22 -2010.06.25. Dresden: International Association for Danube Research, pp. 69-72.
85. Sipkay, Cs, Á., Drégelyi-Kiss, L., Horváth, Á., Garamvölgyi, K., Tihamér Keve & L., Hufnagel (2010). Community ecological effects of climate change. In: Suzanne W. Simard and Mary E. Austin (Ed.) Climate Change and Variability. Sciyo. p. 139-162. ISBN: 978-953-307-144-2, Available from: <http://sciyo.com/articles/show/title/community-ecological-effects-of-climate-change>
86. Smagorinsky, J., S. Manabe, J.L. Holloway, 1965: Results from a nine-level general circulation model of the atmosphere. Monthly Weather Review, 93: 727-768.
87. Szenteleki, K és Szilágyi, K (szerk): Fenntartható fejlődés, élhető régió, élhető települési táj 3. kötet - Budapesti Corvinus Egyetem, Budapest, ISBN 987-963-503-506-2
88. Szépszó, G., A. Horányi, 2008: Transient simulation of the REMO regional climate model and its evaluation over Hungary. Időjárás, 112: 213-232.
89. Tebaldi, C., K. Hayhoe, J.M. Arblaster, G.E. Meehl, 2006: Going to the extremes: an intercomparison of model-simulated historical and future changes in extreme events. Climatic Change, 79: 185-211.
90. Torma, Cs., E. Coppola, F. Giorgi, J. Bartholy, R. Pongrácz , 2011: Validation of a high resolution version of the regional climate model RegCM3 over the Carpathian Basin. Journal of Hydrometeorology. 12. (No 1.), pp 84-100.
91. Torma, Cs., J. Bartholy, R. Pongrácz, Z. Barcza, E. Coppola, F. Giorgi , 2008: Adaptation and validation of the RegCM3 climate model for the Carpathian Basin. Időjárás, 112. (No.3-4.): 233-247.
92. Trájer A , Bede-Fazekas A , Hufnagel L , Bobvos J , Páldy A (2014): The paradox of the binomial Ixodes ricinus activity and the observed unimodal Lyme borreliosis season in Hungary - INTERNATIONAL JOURNAL OF ENVIRONMENTAL HEALTH RESEARCH 24:(3) pp. 226-245.
93. Trenberth, KE ., 1992: Coupled Climate System Modelling. Cambridge University Press: Cambridge.
94. Vadadi-Fulop Cs , Sipkay Cs , Meszaros G , Hufnagel L (2012): Climate change and freshwater zooplankton: what does it boil down to? - AQUATIC ECOLOGY 46:(4) pp. 501-519. (2012)
95. Vadadi-Fülöp Cs , Hufnagel L , Sipkay Cs , Verasztó Cs (2008): Evaluation of climate change scenarios based on aquatic food web modeling - APPLIED ECOLOGY AND ENVIRONMENTAL RESEARCH 6:(1) pp. 1-28.
96. Vadadi-Fülöp CS , Türei D , Sipkay CS , Verasztó CS , Drégelyi-Kiss Á , Hufnagel L (2009): Comparative Assessment of Climate Change Scenarios Based on Aquatic Food Web Modeling - ENVIRONMENTAL MODELING & ASSESSMENT 14:(5) pp. 563-576.
97. Vadadi-Fülöp Csaba , Hufnagel Levente (2014): Climate change and plankton phenology in freshwater: current trends and future commitments - JOURNAL OF LIMNOLOGY 73:(1) pp. 1-16. (2014)
98. Wang, YH, DJ. Jacob, 1998: Anthropogenic forcing on tropospheric ozone and OH since pre-industrial times. Journal of Geophysical Research, 103: 31123-31135.
99. Weyant, John Christian Azar, Mikiko Kainuma, Jiang Kejun, Nebojsa Nakicenovic, P.R. Shukla, Emilio La Rovere and Gary Yohe, 2009: Report of 2.6 Versus 2.9 Watts/m² RCPP Evaluation Panel . Geneva, Switzerland: IPCC Secretariat.

100. Wilby, R.L., S.P. Charles, E. Zorita, B. Timbal, P. Whetton, L.O. Mearns , 2004: Guidelines for Use of Climate Scenarios Developed from Statistical Downscaling Methods. IPCC Task Group on Data and Scenario Support for Impact and Climate Analysis (TGICA), http://ipcc-ddc.cru.uea.ac.uk/guidelines/StatDown_Guide.pdf.
101. Wild, M., C.N. Long, A. Ohmura, 2006: Evaluation of clear-sky solar fluxes in GCMs participating in AMIP and IPCC-AR4 from a surface perspective. *J. Geophys. Res.* 111,
102. Xue, M., K.K. Droegemeier, V. Wong , 2000: The Advanced Regional Prediction System (ARPS) - A multi-scale nonhydrostatic atmospheric simulation and prediction model. Part I: Model dynamics and verification. *Meteorol. Atmos. Phys.*, 75(3 - 4): 161-193.
103. Yasunaga, K., M. Yoshizaki, Y. Wakazuki, C. Muroi, K. Kurihara, A. Hashimoto, S. Kanada, T. Kato, S. Kusunoki, K. Oouchi, H. Yoshimura, R. Mizuta, A. Noda, 2006: Changes in the Baiu frontal activity in the future climate simulated by super-high-resolution global and cloud-resolving regional climate models. *J. Meteorol. Soc. Japan*, 84: 199-220.
104. Yun, W. T., L. Stefanova, T. N. Krishnamurti, 2003: Improvement of the multimodel supersensembles technique for seasonal forecasts. *J. Clim.* 16, 3834-3840. <http://pubs.usgs.gov/fs/2009/3046/index.html>