

Salgó András

■ BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszer-tudományi Tanszék

# Az élelmiszeripar kihívásai: a klímaváltozás hatásai az élelmiszer-biztonságra

## Bevezetés

A globális klímaváltozás és annak intenzív variabilitása az élelmi láncra és az élelmiszer-biztonságra, valamint az ellátás-biztonságra is jelentős veszélyeket hordoz az elsődleges nyersanyagtermeléstől a fogyasztóig.

Egy sor olyan klímfüggő tényezőt említhetünk, amelyek döntően befolyásolják az élelmi lánc biztonságát, mint a hőmérséklet-változás (felmelegedés), a csapadékeloszlás és gyakoriság extrémizációi, a természetes állóvizek felmelegedése és elsavanyodása (a pH csökkenése), a szennyező komponensek migrációja, transzportja, hogy csak a legfontosabbakat említsük.

A klímaváltozás társadalmi-gazdasági következményei is egyre inkább beláthatatlanok. Ezek megjelennek a növénytermesztés és az állattenyésztés, a feldolgozás, a globális kereskedelem, a demográfiai változások, a migráció és az emberi viselkedésformák területén egyaránt.

Az élelmiszerláncok klímaváltozás okozta sérülékenysége miatt kétirányú „védekezési” törekvéscsoportra van/lesz szükség. Egyrészt javítani szükséges az „adaptációs” készséget, másrészt minden erővel törekedni kell az „enyhítés” módzatainak kimunkálására.

Ezen „kettős feladat” – bár globális folyamatok következtében alakult ki – erősen lokális, specifikus megoldásokat igényel, s finom beavatkozásokat követel és kényszerít ki régióként, országonként, azok adottságai, képességei, kulturális viszonyai, táplálkozási szokásai stb. függvényében.

Jelen írás célja azon körülmények és veszélyek bemutatása, amelyek egyrészt az elsődleges nyersanyagtermelést alapvetően befolyásolják, másrészt az élelmiszer-biztonságra és a táplálkozási körülményekre döntő módon hatni képesek.

Összeállításunk a klímaváltozások okozta „események” modellezésére és várható hatásainak előjelzésére szolgáló módszerek potenciális alkalmazási lehetőségeit és a jelenleg látható és pozitív hatásának becsülhető javaslatokat is megkísérli összegezni.

## A klímaváltozás hatásai a nyersanyagtermelésre

Ebben a fejezetben azon körülmények hatásait és kilátásait elemezzük, amelyek az élelmiszer-előállítás feltételeit leginkább befolyásolják. Ezek a következők: vízhiány, légszennyezés, nyersanyagok jellege, peszticidhasználat és növényi adaptáció.

## A vízhiány körülményei és hatásai

2050-re, az előjelzések szerint, az élelmiszerek iránti igény 70–90%-kal nő egyrészt a népességnövekedés, másrészt a bevételek növekedése miatt. Az ehhez szükséges, élelmiszer-biztonságot befolyásoló feltételeket (termelés, kereskedelem, hozzáférés, ellátási stabilitás, hasznosítás stb.) a következő lépések megtételével nagy valószínűséggel meg lehetne teremteni [1]: gyorsan növekvő fajok és fajták nemesítése, fejlesztése, kevesebb vizet és műtrágyát igénylő növényi anyagok előállítása, hozamnövelés, produktivitásjavítás, gyenge minőségű, másodlagos vizek és gyenge minőségű talajok használata.

Ezen igények egyidejű elérése azonban egyelőre utópia. Reálisan azzal kell számolni, hogy növekedni fog az egy főre jutó vízhiány, ugyanakkor a megművelhető föld nagysága csökken, vagy jó esetben stagnál. Ennek ellenére a termelés globálisan növekszik, de óriási lokális különbségek alakulhatnak ki. A helyzet enyhítését és esetleges megoldását alapvetően a technológiai fejlesztésektől és az ún. indukált innovációktól remélhetjük [2].

A problémakezelés kulcskérdése a vízellátás és -használat, amelyek sokféle vízhiány-, illetve vízhozzáférési mutatóval jellemezhetők [3,4]. Közülük széles körűen az ún. Water Stress Index (WSI) az elfogadott: ez azt mutatja, hogy adott területen (ország, régió) mennyi az egy főre jutó visszanyert (tisztított) víz mennyisége [5]. Ezt az indexet használják a leggyakrabban a környezeti változások becslésére, a trend kijelölésére és a vízhiány, valamint annak éves változásai jellemzésére.

Az élelmiszerekhez való hozzáférést azonban a népességnövekedés, a föld- és vízhasználat és a termelési trendek is befolyásolják.

A népességnövekedésben, Európa kivételével, aránytalan, exponenciális emelkedés tapasztalható.

A föld- és vízhasználatot tekintve, mivel a művelhető terület közel állandó, az öntözés növelése jelentheti a megoldást, amihez az infrastruktúra megléte esetén is hozzáférhető vízforrás kell, ez a döntő tényező [6]. Itt kell megjegyezni, hogy globálisan a vízhez való hozzáférés és annak tendenciája rossz, ugyanakkor Magyarország helyzete ebben a tekintetben kiemelkedően jó. A problémák csak finom helyi szabályozásokkal és megoldásokkal kezelhetők.

A termelési trendeket vizsgálva látható, hogy az össztermelés és a hozamok (t/ha) folyamatosan javulnak, az egy főre jutó energiaszükséglet (kcal/fő/nap) növekszik, de ez az adat az egyes ré-

giók között akár 1000 kcal/fő/nap különbséget is mutat (EU, USA vs. Afrika és Ázsia).

Kérdés, hogy a fenti pozitív trend a technológiai változások eredményei és ezen technológiai változtatások, fejlesztések elemei-e a népességnövekedés és a klímaváltozás hatásainak kompenzálására.

A klímaváltozás vízellátásra és hozamokra gyakorolt hatásainak vizsgálata azt jelzi, hogy a csapadékváltozást és a változékonyságot tekintve Európa, Közép-Amerika és Óceánia mérsékeltlen változékony, míg Észak-Amerika, Ázsia és Afrika nagy változékonyságú kontinensként jellemezhető, és a változékonyság mértéke növekvő tendenciát mutat [7].

A várható hozamokra vonatkozó becslések szerint a kiváló mezőgazdasági viszonyokkal rendelkező Kaliforniában is, amennyiben a jelenlegi trendek megmaradnak, jelentős hozamcsökkenésekkel kell számolni 2010 és 2090 között (kukorica 5–10%, rizs 3–10%, búza 8–15%, napraforgó 10–25%) [8]. A relatív vízhiány miatt a déli régiók (Kanada és Észak-Európa vs. Dél-Európa vagy délebbre fekvő területek) hozamvesztései akár 50%-ot is elérhetnek.

A klímaváltozás több szempontú, a vízellátás változásai (egyetlen csapadékeloszlás, árvizek, hosszabb és gyakoribb szárazság) másodlagosan is hatnak a produktivitásra [9], a növekvő kártevő-aktivitás, a rezisztenciacsökkenés, a talaj növekvő sótartalma, a növényi adaptáció megváltozása [10] és a növényi légzés gátlása révén.

A vízellátás és -kezelés javítására, illetve a változások modellezésére egy sor javaslat fogalmazódott meg [11,12,13], amelyek lényege:

- a természetes vizek gyűjtése, tartalékképzés, tárolás, újrahasználat, öntözés,
- hulladékvizek és kezelt (szenny-) vizek öntözési hasznosítása (re-use),
- „more crop per drop” koncepció [14],
- „trade of water”, a használók közötti időleges vízmegosztás [15],
- „joint management” a vízforrásokra vonatkozóan [16].

A tartalékok legfontosabb eleme mindenképp az öntözési hatékonyság javítása [17].

A vízhiánnyal összefüggő technológiai módosítások lehetséges útjai:

- GM-növények alkalmazása, gond a sterilitás (Európában ez nem szempont),
- szárazságtűrő növények nemesítése (DRCs drought resistant crop), csak csökkenteni képesek a veszteségeket,
- CAM (crassulacean acid metabolism) fotoszintézis-növények használata [18],
- víztűrő (flood resistant) növényi kultúrák használata,
- gyomkontroll, rovar- és betegségrezisztencia javítása [19,20].

### A légszennyezés viszonyai és hatásai

1961 és 2014 között a világ népessége 136%-kal nőtt, miközben a növényi anyagok termelése 188%, a hústermelés 345%-kal emelkedett, jelezve a „human well beeing” törekvések alapjait [21]. Ugyanakkor a termelés intenzifikálása, az agro-ipari fejlesztések, a műtrágyahasználat, a növényvédők szerek alkalmazása és a gépesítés radikális növelése óhatatlanul jelentősen emeli a légszennyezést. Ennek okait jól érzékelteti, hogy például 2010-ben a világon 100 millió tonna nitrogénműtrágyát használtunk fel és a mezőgazdaság energiafogyasztása 8728 PJ volt.

A primer légszennyezésen túl az üvegházhatást okozó gázok

(GHG) egynegyede származik a mezőgazdaságból [22]. A mezőgazdaságból származó NH<sub>3</sub>-emisszió (ami műtrágyákból, állati hulladékokból származik) pedig 75%-át teszi ki a globális NH<sub>3</sub>-emisszióknak [23].

Emellett a finom szállópor- (PM) kibocsátás jelent óriási környezeti veszélyt, mivel az atmoszférikus kölcsönhatások révén nagy letalitású szennyezések képződhetnek. Az USA-ban és az EU-ban sajnos a mezőgazdasági eredetű légszennyezés mértéke kifejezetten magas [24]. A légszennyező komponensek nemcsak primer hatásúak, de módosítják a fajok viselkedését és indirekt módon hatnak az élelmi láncra és a működési körülményekre is.

A légszennyezés hatásai számos módon csökkenthetők: az öntözés finom szabályozása, menedzsmenete alapvető lehet a GHG-kibocsátásban, a megfelelő időben történő öntözés a CH<sub>4</sub>-, NO- és N<sub>2</sub>O-emissziót jelentősen csökkentheti [25], az alkalmazott kemikáliák hatékony használata, a felesleg kerülése és a hatékony permetezési technológiák csökkentik az emissziót [26], a termelési hatékonyság javításával a GHG-csökkentés alapvetően javítható, csökkenthető a légszennyezés és a mezőgazdasági hulladékok égetésmentes újrahasznosításával, a „vissza a takarmányozásba” elv érvényesítésével, táplálkozási változtatások is csökkenthetik a kibocsátást, bár erről szinte „hitviták zajlanak”. Vagyis a vörös húsk helyett tejtermék, baromfi, hal, tojás, növényi táplálékok fogyasztásával („low meat diet”) csökkenthető a nemkívánatos gázok emissziója [27,28].

### Az élelmi nyersanyagok változékonysága, klímahatások

A technológiai, biotechnológiai fejlődés eredményeként 1961 és 2014 között az egyes növényfajokra mint nyersanyagokra vonatkozó hozamok jelentősen javultak: búza esetében 204%, a rizsnél 144%, a kukoricánál 189%-os hozamnövekedéseket detektáltak [21]. A jövőbeli változási trendeket (2050-ig), nyersanyag típusonként elemzi az a munka [29], amely az agro-biotechnológiai perspektíva jövőbeli fejlődési irányait és a fenntartható intenzifikálás fő csapásait is taglalja.

Az egyes növényi nyersanyagokra vonatkozó, a klímaváltozás okán várható trendek összefoglalását találhatjuk Olesen és Bindi [30] munkájában, amelyben Európa területeire vonatkozóan a természetes és öntözéses területek jelenlegi és kétszeres CO<sub>2</sub>-terhelésű természetek esetén várható változásait elemzik, 2050-ig előre jelezve az adatokat.

Az egyes nyersanyagokra az alábbi fontos megállapítások tehetők:

- A gabonaféléknél, az olajmagvaknál és a hüvelyeseknél a klímaváltozás hatására növekedési periódus-csökkenés és hozamcsökkenés várható; megváltozik vagy meg kell változtatni a vetési időt, várható a hosszabb tenyészidejű fajták előretörése és a használható tenyészterületek északra tolódása. Európa északi területein nagyobb hozamok, míg a déli területeken kisebb hozamok és nagyobb instabilitások várhatók.
- A gumós és gyökérnövények erősen reagálnak a légköri CO<sub>2</sub>-növekedésre; a felmelegedés csökkenti a tenyészidő hosszát és növeli a vízigényt. A burgonyánál nő a hozamvariabilitás és instabilitás, vagyis növekszik a termelési kockázat, míg a cukorrépánál a növekvő CO<sub>2</sub>-koncentráció és hőmérséklet meghosszabbítja a termesztési periódust.

Általánosan igaz az a megállapítás, hogy a gabonafélék jobban tűrik a szárazságot, mint a hüvelyesek és a gumósok, aminek oka a gyökérrendszer-különbségekből eredeztethető [19]. Fontos a fenológiai fázis állapota is, ha a növényi növekedés második felében következik be a szárazság, az sokkal

nagyobb veszteségeket eredményez, mint a korai fázisú szárazság.

- A zöldségek és a kertészeti növények erős, fajfüggő, CO<sub>2</sub>- és hőmérsékletfüggő érzékenységet mutatnak, amiben fajként néha ellentétes hatások figyelhetők meg. (Hagyma esetén a magas hőmérséklet tenyészidő- és hozamcsökkenést okoz, sárgarépa esetén ugyanez a hatás hozamnöveléssel jár. Saláta esetében a hőmérséklet hatása csekély, ugyanakkor a CO<sub>2</sub>-növekedés hozamnövelő hatású [31].)
- Az évelő növények közül a szőlő termesztése a növekvő hőmérséklet következtében északi és keleti irányba „tolódik”, ugyanakkor az instabilitás és a változékonyság növekszik, bár a növekvő CO<sub>2</sub>-terhelés pozitív hatású [32]. A globális felmelegedésnek pozitív hatása lehet az olajbogyó termesztésére is.
- A takarmánynövényeknél a növekvő légköri CO<sub>2</sub>-koncentráció és hőmérséklet hozamnövekedést, ugyanakkor emésztetőségsökkenést eredményez; az északi területeken növekedni fog a kukoricaalapú takarmányanyagok mennyisége.
- A legelőterületek „hozama” óriási változékonyságot mutat attól függően, hogy monokultúrás vagy fajgazdag területről beszélünk; a talajtípus és annak vízháztartása szintén meghatározó. Általában igaz, hogy a fajgazdag, jól öntözött és tápanyagellátott területek jól tűrik a magas CO<sub>2</sub>-koncentrációt és a magasabb hőmérsékletet.
- A hőmérséklet növekedése az állattartás viszonyait is befolyásolja. A meleg periódusok csökkenő hatékonyságot, ugyanakkor csökkenő takarmányfogyasztást is eredményeznek. A növekvő hőmérséklettel növekszik az NH<sub>3</sub>-kibocsátás [33]. A takarmányozás változtatásával a CH<sub>4</sub>-kibocsátás csökkenthető és hatékony trágyakezeléssel (biogázcélú hasznosítás, N<sub>2</sub>O-csökkentés előntőzéssel, a növényi hulladék visszaforgatása, rotáció, vetésforgó-optimalás) a veszteségek csökkenthetők.

A klímaváltozási hatások kezelésében várható jövőbeli tendenciák kiváló összefoglalását és kezelési módszereit bemutató munka [34] egyesíti az adaptáció és a veszteségcsökkentés 13 fontos stratégiai szempontját, kezdve a termőterületek módosulásától, a növelt toleranciájú és adaptív nemesítési módszereken át, a növényi akklimatizációs képességek fokozásán túl, a helyi termelési politikák finom szabályozásáig.

## Peszticidhasználat

A növényi nyersanyagtermelés hatékonysága alapvetően függ a gyomokkal és a kórokozókkal szembeni védelemtől, ami a termelési biztonságot növeli. A klímaváltozás hatásai, köztük a hőmérséklet-növekedés, a csapadék mennyiségének, gyakoriságának és eloszlásának extrém változásai, valamint a különféle gyomok, kórokozók, patogének váratlan megjelenése erősen befolyásolja a peszticidek használatát, felhasználásuk kémiai formáját, mennyiségét, dózisát, frekvenciáját és fajspecifikusságát.

A klímaváltozás miatti magas hőmérséklet, nagy nedvességtartalom és az intenzív napsugárzás gyorsítja a szerek degradációját, az extrém csapadékmennyiség pedig hígító hatású. Mindez csökkenti a peszticidek környezeti koncentrációját, növeli illékonyságukat és gyorsítja lebomlásukat. A klímaváltozás a kórokozók közötti interspecifikus változékonyságot is indukálja (kompetíció, predáció), ezzel a peszticidek hatását is befolyásolja [35].

A cél a kórokozók prevenciója, hatáscsökkentés, hozam- és minőségjavítás. Potenciális toxicitásuk ellenére ezekre a szerekre elengedhetetlenül szükség van az élelmiszer-biztonság és ellátásbiztonság érdekében.

A peszticidhasználat gazdasági, technológiai, szabályozási, valamint környezeti összefüggéseit kiválóan foglalja össze Delcour és munkatársai [36] munkája.

Az egyes nyersanyagoknál alkalmazható peszticidek használatát a hőmérsékleti és CO<sub>2</sub>-viszonyok, az anyag-kártevő kölcsönhatások és az adaptációs körülmények határozzák meg.

A peszticidek eliminálódásának, „eltűnésének” mechanizmusa sokféle lehet:

- A peszticidtranszport párolgás útján gyorsan bekövetkezhet pl. magas hőmérséklet, nagy talajnedvesség, napsugárzás esetén [37]. Az elpárolgott szermaradvány ún. wet-deposition formában az extrém csapadékban újra megjelenhet [38].
- Az elsodródás, légárammal, csapadékkal történő transzfer [39] erős hatású lehet, amit az emelkedett hőmérséklet és magas talajnedvesség felerősít [40].
- A kilügződés, vagyis a szerek mélyebb talajrétegbe (és vízrétegbe) vándorlása szintén bekövetkezhet az extrém csapadék és hőmérséklet hatására [41].

A peszticidek normál degradációját a globális felmelegedés szintén gyorsítja, ami fototranszformáció, mikrobiológiai és kémiai degradáció révén még inkább felgyorsul. Általában a melegebb klíma nagyobb peszticidhasználatot igényel [42].

A peszticidek ökotoxikológiai viszonyai is megváltoznak, amennyiben pozitív korreláció tapasztalható a magas hőmérséklet és az ökotoxikológiai hatás között [43], kivéve a piretroidokat és a DDT-t, amelyek alacsony hőmérsékleten toxikusabbak [42].

Összefoglalóan elmondható, hogy

- új peszticid hatóanyagokra lenne szükség, amelyek jobban bírják a klímaváltozás körülményeit,
- mivel a klímaváltozás a növényi növekedési periódus hosszát megváltoztatja, a fenológiai változásokhoz alkalmazkodni kell a kezeléseknél (a nagyobb hozam, kisebb kockázat érdekében),
- kulcskérdés a gyomok, kártevők, betegségek gyakoriságváltozása és a peszticidhasználat kapcsolatának az extrém fel tételekhez igazodó finomhangolása.

## Adaptáció

A növényi nyersanyagok környezeti stresszadaptációjának óriási irodalmából [44] itt csak két szempontot szeretnénk említeni:

- A fenológiai alapú stresszadaptációs vizsgálatok a növények gyökérrendszerének, a növény más különféle morfológiai részeinek stresszre adott válaszát, ennek diagnózisát tűzik célul, és olyan szenzor alapú fenotipizálást használnak, amivel a várható hatások becsülhetők [45].
- A genetikai alapon történő adaptáció gyorsítása a genetikai diverzitás növelése, „egzotikus” genetikai források (germplasm) alkalmazása segítségével, ún. célzott javított adaptációt eredményez, ami megnyilvánulhat például a szárazságtűrésben, a fokozott sótoleranciában, az elárasztás- vagy foszforhiány-toleranciában, esetleg a hatékonyabb biofortifikációs tulajdonságokban [46].

A cél mindenképp adaptációképes, ún. klímaellenálló növénykultúrák fejlesztése, amelyek termesztési régiókhöz igazodva alkalmazhatók, és ezzel az ún. „atlas of climate sensitivities” koncepció [44] megvalósítását szolgálják.

## A klímaváltozás hatásai az élelmiszer-biztonságra

Ebben a fejezetben azokat a hatásokat elemezzük, amelyek az élelmiszer-minőséget és -biztonságot közvetlen vagy közvetve befolyásolhatják. Idesorolhatók a mikrobák, a zoonózisok és para-

zíták, a toxikus gombák, a mikotoxinok, az algák, a környezet-szennyező komponensek és a szermaradványok.

### Mikrobiológiai változások, következmények

A klímaváltozás hatásai az epidemiológiai triád mindhárom elemére, a transzmisszió forrására és módjára, a patogének növekedésére és túlélésére a környezetben és az élelmiszer-mátrixra egyaránt hatással vannak [45].

A mikrobiológiai hatások legelső és talán enyhébb megjelenése a hasmenéses tünetcsoport, ami a hőmérséklet emelkedésével erősen növekszik, és a gastroenteritisz-típusú tünetek erős fozkodásával jár [46].

A szalmonellózis várható gyakorisága, minden 1 °C-os hőmérséklet-növeléssel 5–10%-os mértékben nő Európában és Ausztráliában egyaránt [47, 48].

A campilobakteriózis erős szezonális és regionális különbségeket mutat, a hőmérséklet-emelkedés okozta gyakoriságnövekedése kisebb a szalmonellózishoz viszonyítva [49,50,51].

A patogén *Vibrio* fajok az emelkedett környezeti és víz hőmérséklet, az áradások és sótartalom-változások miatt elsősorban a kagyló- és osztrigafogyasztók számára jelentenek nagyobb veszélyt [52].

Brit eredmények hívják fel a figyelmet a *Clostridium* és az *Aeromonas* fajok erős hőmérséklet- és klímaváltozási érzékenységre, amelyek súlyos, élelmiszer okozta betegségeket idézhetnek elő [53].

A virális eredetű élelmiszer-fertőzés növekedése nem várható, ha a szennyvízkezelés megfelelő és a zoonotikus vírusok kizárhatóak (napjaink égető és válaszra váró kérdése a Covid19 pandémia kapcsán éppen ez).

A paraziták okozta potenciális veszélyek, tünetek intenzív csapadék és annak abnormális eloszlása esetén protozoák által lehetséges (cryptosporidiosis, giardiasis) [54].

Az élelmiszer-eredetű trematódák (szívóérgék) átvitele a globális felmelegedés következtében felgyorsulhat, és főleg a nyers vagy nem megfelelően hőkezelt vízi élőlények élelmiszerként való használatát veszélyeztetik [55].

Léteznek ún. vektor okozta betegségek, amelyek emelkedett hőmérséklet esetén megjelenhetnek az élelmi láncban, mint a kullancs eredetű encefalitisz, ahol a vírus a kecsketej révén jut a fogyasztóba, vagy a Chagas-kór, amit a *Trypanosoma cruzi* parazita okoz, és ivóvíz esetében fordul elő [56].

### Zoonózisok, paraziták

A zoonózisok, vagyis az állatokról emberre terjedő betegségek és patogének hatásai, ezek variabilitásai a klímaváltozás következtében jelentősen megváltoznak [47]. Ennek oka egyrészt az, hogy a paraziták életciklusa nagyon különböző és ez különböző mértékben változik, másrészt megváltoznak az expozíciós utak és a transzmisszió sebessége. A klímaváltozás e két utóbbi körülményt döntően, fajfüggő mértékben és módon befolyásolja. Ez óriási élelmiszer-biztonsági kockázatot jelent elsősorban a fejletlen régiók zoonózis (nyugat-nílusi láz, kullancseredetű betegségek) és nem zoonotikus (kék nyelv, afrikai sertésláz) betegségei esetében is [57]. A klímaváltozás a zoonózis-viszonyokat az alábbi módon képes befolyásolni: növekszik az állatok betegséggel szembeni érzékenysége, növekszik a fertőző vektorok száma, tartománya és transzmissziós ciklusa, megváltoznak/megváltoztandó a tartási, kezelési és védekezési technológia.

### A mikotoxinok változásai

A mikotoxinok legszélesebb körben vizsgált komponensei az *Aspergillus*, *Penicillium* és *Fusarium* penészgombák másodlagos

metabolitjai, amelyekre a klímaváltozás specifikus hatásokkal bír. A fuzáriumtoxinok (trihotecének, fumonizinek, moniliformin és zearalenonok) egy sor fuzáriumfaj (*F. verticilloides*, *F. proliferatum*, *F. sporotrichoides*, *F. graminearum*, *F. culmorum*) révén, növények szennyezéseként jelentkeznek.

A kukorica jellemző endofitája az *F. verticilloides*, ami mérsékelt égövi hőmérséklet esetén termel toxint, ugyanakkor magasabb hőmérsékleten (>25–28 °C) az *F. graminearum*, míg alacsony hőmérsékleten az *F. culmorum* toxinjai dominálnak. Búza, árpa és rozs esetében az *F. graminearum* és az *F. culmorum* jelenléte tipikus. A *graminearum* deoxinivalenolt (DON), nivalenolt (NIV) és zearalenont (ZER) termel, míg a *culmorum* csak DON-és ZER-termelő [58].

Európában a hőmérséklet-emelkedés következtében határozott *culmorum-graminearum* fertőzéssel-telődés tapasztalható, ami a DON/ZER-től NIV/ZER-felé mutató összetétel-változást eredményez. Amerikában a *graminearum* fajok DON-termelők, és emelkedett hőmérsékleten döntően fumonizint (FM) és moniliformin (MON) toxinokat termelnek. Szárazság-stressz hatására a magas FM toxintermelés tipikus kukorica esetén Dél- és Kelet-Afrikában is.

Az *Aspergillus* és *Penicillium* toxinok fontos képviselői az aflatoxinok (AF), az ochratoxin (OTA) és a patulin. Az *A. flavus*, *parviticus*, *nomius* fajok által termelt genotoxikus karcinogének a kukoricában, a földimogyoróban, a dióban, a fügében, a datolyában, egyes olajmagvakban és a gyapotban mutathatók ki. Ezen toxinok magas szintje korrelál a különféle növényi stresszekkel és sérülésekkel. Kukorica és búza esetében a rovarátadások és szárazság okoz emelkedett AF-szintet. A földimogyoró virágzás alatti fertőzése magas AF-szintet eredményez, míg gyapot esetében a magas hőmérséklet és nedvességtartalom emeli a toxinszintet [59]. Az OTA és patulin toxinok szintje és a növényi stresszállapotok között nincs szignifikáns összefüggés [47].

A klímaváltozás két tekintetben lehet még hatással a penész-kolonializációra és a mikotoxintermelésre: a rovarok és a kártevők nagyobb gyakoriságú előfordulása és az ún. posztharvest folyamatok (tárolás alatti változások, vízaktivitás változás, tisztítás) révén.

### Az algák változásai

Röviden szólni kell a táplálékláncban helyenként használatos algaeredetű toxikus komponensekről. A toxintermelő HAB-ok (harmful algal blooms) egy sor súlyos, esetenként halálos tünetcsoport (légzési, emésztőrendszeri, idegrendszeri, keringési problémák) kiváltásáért felelősek. Ráadásul íztelenek, szagtalanok, hő- és savtűrők, ezért óriási veszélyt jelentenek a táplálkozásban. Kiterjedten vizsgálják a két fő funkcionális algacsoport, a diatomok (kovamoszatok) és dinoflagellák (ostorosok) klímaváltozaskor várható növekedés- és toxicitásváltozásait. A tengervíz hőmérsékletének alakulása a két csoport relatív arányait, helyspecifikusan és vízrétegtől függően, lényegesen befolyásolja. A hőmérséklet-emelkedés alapvetően növeli a HAB-terhelést [60], és az algaközösségek vegetációs periódusa 2100-ra emiatt elérheti a jelenlegi 3-szorosát [61]. Az egyes algafajok és területi változékonyságaik óriásiak lehetnek [62, 63].

A klímaváltozás további hatása, hogy az extrém csapadék és gyors áradások következtében, a megnövekedő N- és P-kimosódás miatt a fitoplankton-közösségek biomasszatömege (vagyis a HAB-terhelés) erősen növekszik és változik. A változások leginkább aggasztó körülménye, hogy a toxikus algatömeg növekedése mellett az algák inkorporációs kapacitása is megnő.

**Környezetszennyezők, szermaradványok**

A környezetszennyező és szermaradvány-komponensek különböző „útvonalakon” válnak veszélyessé és jutnak az élelmi láncba. A klímaváltozás során bekövetkező áradások révén a folyóüledékekből remobilizált dioxinok és dibenzofuránok (PCDD /PCDF) a termőföldre, illetve a táplálékláncba kerülnek [64]. A Katrina hurrikán idején az áradás eredményeképp a finomító primer hulladékain túl peszticidek, fémionok, veszélyes hulladékok, hatértékű krómvegyületek, p-krezol, toluol, fenol, 2,4-D, Ni-, Al-, Cu-, V-, Zn-, Pb-vegyületek, benzidin és illékony szerves savak [65] jutottak a környezetbe. A vizek műtrágya-, peszticid-, szervesanyag- és nehézfém-szennyezése, az intenzív esők, a hőmérséklet-emelkedés és a talajból való kimosódás miatt növekszik [66]. E hatás még fokozottabb, ha szárazság előzi meg az intenzív csapadékot. A tengerek és óceánok felmelegedése felgyorsítja az élelmi láncra veszélyes Hg-vegyületek metilációs folyamatait és ezek halakba, tengeri emlősökbe, algákba való beépülését.

A talaj klímaváltozás okozta degradációja a szárazság-áradás frekvenciájának növekedése miatt gyorsulhat elsősorban a hibás mezőgazdasági technológiák (monokultúra, peszticidfelesleg, túlöntözés stb.) miatt.

A peszticidhasználatot és a környezeti maradványok alakulását a klímaváltozás úgy is befolyásolja, hogy megváltozhat a kártevők fejlődési ciklusa és éves generációs periódusa (esetleg hidegtűrése) vagy a gazdanövény kártevővel szembeni érzékenysége.

Egy sor peszticid például száraz körülmények között kevésbé hatékony (illetve magasabb hőmérsékleten gyorsabban degradálódik), így a szükséges, nagyobb dózisú és frekvenciájú használat túlterhelést okozhat kukoricánál, búzánál, burgonyánál, gyapottonál és szójánál [67]. Ezért a Jó Mezőgazdasági Gyakorlat (GAP) ilyen tekintetben is döntő; pontos, lokális finomhangolást igényel.

A peszticidek mellett az állatgyógyszer-maradványokkal mint módosuló környezeti szennyezőkkel is számolni kell, hisz a zoonózis-viszonyok és érzékenységváltozás következtében főleg a vektoreredetű betegségek és makroparaziták, valamint vízkultúrák esetében alkalmazott szerek maradványai jelentenek új élelmiszer-biztonsági kockázatot.

**A klímaváltozás élelmezési és táplálkozástani vonatkozásai**

A klímaváltozás a kis GDP-vel rendelkező országokban (alapvetően az ún. Global South régió) nyilvánvalóan alultápláltságot okoz, ami vízhiánnyal, illetve rossz vízminőséggel tetézve súlyos ellátási, közegészségügyi, járványügyi állapotokat eredményez. Az alultápláltság hosszú távú hatásai különösen az első 5 életévben kritikusak (magas mortalitás, fertőzöttség, fejletlenség, kognitív zavarok). Közepes várható klímaváltozás esetén 2050-ig a világon további 4,8 millió alultáplált gyermekkel kell számolni [68]. A hőstressz következtében extrém magas az éretlen, kis súlyú csecsemők aránya és fertőzöttsége [69], a klímaváltozás tehát azonnal sokkhatást jelent és hosszú távú stresszforrásként hat [70].

A tápanyaghiány, vagyis a diéták változása következtében 2050-ig további félmillió halálesettel lehet számolni, aminek a diétában bekövetkező változások (csökkent zöldség- és gyümölcsfogyasztás, egyoldalú diéta, hiánykomponensek növekedése) lesznek az okai [71]. Az élelmi lánc jellemző változása lesz, hogy a klímaváltozás eredményeképp a nedves területek még nedvesebbé, a szárazok még szárazabbá válnak, ami miatt csökken a kórokozók és a betegségekkel szembeni ellenállás [72]. A növekvő

CO<sub>2</sub>-terhelés csökkent fehérje-, Fe- és Zn-szintekhez vezet a diétában [73]. A klímaváltozás a tárolás, feldolgozás, szállítás „útvonalán” is veszteségeket okoz, és növeli a fertőzésveszélyt.

Ugyanakkor a táplálkozási szokások, diéták befolyásolják a klímaváltozást. Az élelmi láncok az antropogén üvegházhatást kb. 20–25%-kal növelik, sőt egyes „ortodox zöld” megállapítások szerint az állati eredetű élelmiszerek (elsősorban a szarvasmarha) a légszennyezés, a talaj- és talajvízszennyezés [72,74] fő okozói. A negatív környezeti hatás a szarvasmarha, sertés, baromfi „útvonal” mentén jelentősen csökken [75]. Az állati eredetű termékek „túlfogyasztása” (USA, Európa) tehát alapvető kiváltója a klímaváltozásnak, aminek hatásai aránytalanul nagyok a Global South régióban [76]. Globális szinten pedig az állati termékek iránti ilyen mértékű, növekvő igény fenntarthatatlan, sőt táplálkozási anomáliákhoz vezet [77].

Az ún. klímaérzékeny élelmi láncok a következő három lehetőséggel alakíthatók ki [78]: az élelmiszer-termelés hatékonyságának növelése, a veszteségek minimalizálása, az üvegházhatású gázok csökkentése, új adaptációs stratégiák kialakítása a sérülékeny populációk számára. Az ehhez szükséges „eszközök” között olyan technológiák jöhetnek számításba, mint például a hűtést vagy hűtve tárolást kerülő módszerek, a tápértéket megtartó, kémleletes feldolgozási eljárások vagy a klímaérzékeny, adaptált mezőgazdasági módszerek.

A klímaváltozás okozta, táplálkozási szempontból kritikus változások csökkentésére irányuló lehetséges akciótervek 7 legfontosabb irányát foglalja össze Fanzo és munkatársai (2018) munkája [79], amelynek fő pontjai: az élelmi lánc inputjai, a termelés, a posztharvest-technológiák, elosztás és kereskedelem, fogyasztás és hasznosulás, korai riasztórendszerek és a célirányos kutatások.

**Modellezési lehetőségek, módszerek**

A klímaváltozás élelmi láncra gyakorolt primer és további szocioökonómiai és környezeti hatásainak modellezése és prediktív előjelzése egyelőre kevés valós eredménnyel kecsegtet. Széleskörűen alkalmazott prediktív modellek léteznek az élelmiszer-eredetű betegségek, a mikotoxin-kontamináció, az algák és a kémiai szennyezők mint elemek becslésére [47], ugyanakkor a komplex modellezés (ún. scenario-based projection) rengeteg bizonytalansággal terhelt.

Széleskörűen terjednek a rövid távú, 3–10 éves periódusú prediktív, lokális korlátokat tartalmazó modellek [80]. Módszertanukban a dinamikus szimuláció, a matematikai programozás és a többváltozós ún. agent-based modellezés terjedtek el. Bármelyik módszer és/vagy kombinációik alkalmazása esetén a modellek bár elég dinamikusak és flexibilisek, mégsem képesek a klímaváltozás integrált hatásainak kvantitatív becslésére. A modellek segítik a helyes döntéshozást, de nem elég robusztusak a hatások és az adaptációs opciók kijelöléséhez. A modellezés prediktív értékének javításához fontos lehet: a meglévő információforrások kihasználása, információcserre, együttműködés, a szennyezések célzott felügyeletének fejlesztése, adatcserék, adatbázis-fejlesztés, stressz-tesztek, expozíciós modellek fejlesztése az egyes szennyezők és környezeti változók becslésére [81].

**Feltételezések, kitekintés, következtetések, javaslatok**

A klímaváltozás rendkívül komplex „esemény sorok” összessége, így felismerése, megértése, kezelése interdiszciplináris közelíté-

seket igényel (környezetvédelem, mezőgazdasági, állat-, növény-, humán egészségügyi hatások, higiénia stb.).

A különféle Jó Gyakorlatok (mezőgazdasági, higiéniai, állattartási, egészségügyi, vízkultúra stb.) iránymutatásainak betartása a változási „dinamikák” követését, az adaptációt könnyebbé tehetik.

A folyamatos felügyeleti és monitoring tevékenységek révén (növény, állat, élelmiszer, humán, környezet) nemcsak a korai felismerés és trendmeghatározás, az egészségvédelem lesz hatékony, hanem adatok generálódnak a prediktív modellezés és a kockázatbecslés céljaira is.

A nemzeti és nemzetközi szintű kockázatbecslési módszerek és eljárások, a különféle veszélykritériumok határait és mértékét definiálva, lehetővé teszik a gyors beavatkozást.

A nagy frekvenciájú, pontos adatgyűjtés és adatmegosztás révén, a prediktív modellezési módszerek fejlesztésével, a modellek komplexitása és robusztussága javítható, a bizonytalansági tényezők csökkenthetők.

A gyors, korai riasztórendszerek hazai és nemzetközi alkalmazása alapvetően csökkenti az élelmiszer-biztonsági kockázatot. Ezek azonnali, készenléti állapota alapvető fontosságú.

A fogyasztó tájékoztatása és felvilágosítása alapvetően fontos, hisz a „láthatatlan” veszély, illetve annak kezelése alapvetően egészségmeghatározó (lásd Covid19).

Az új tudományos és technológiai innovációk bevezetése révén (pl. új molekuláris biológiai módszerek alkalmazása komplex mikrobiológiai közösségek jellemzésére, patogének vagy szennyezők gyors kimutatása, nanotechnológiai eljárások alkalmazása az analitikai eljárásokban) a környezetvédelmi és élelmiszer-biztonsági veszélyek sokkal gyorsabban ismerhetők fel.

A változások gyors és hatékony felismeréséhez a tudományos és technikai infrastruktúra, a kapacitások bővítése elengedhetetlen.

Mivel a klímaváltozás és hatásai „határtalanok”, a nemzetközi együttműködés, információ és adatcsere, valamint ezen együttműködés nemzetközi keretei és szervezetei alapvető fontosságúak.

Végezetül szólni kell a magyar élelmiszer-egészségügyi, élelmiszer-biztonsági rendszerről és szervezetekről, amelyek tradicionálisan magas szakmai és technikai színvonalon gondoskodnak a hazai élelmiszer-ellátás és élelmiszer-biztonság feltételeiről és a környezeti vagy klímaváltozás okozta anomáliák hatékony kezeléséről.

**Köszönetnyilvánítás.** Köszönettel tartozom Besenyő Gabriella tanszéki mérnöknek a cikk elkészítéséhez nyújtott irodalmazási munkájáért.

#### IRODALOM

[1] C. C. Mann, Can Planet Earth Feed 10 Billion People. The Atlantic (2018) March.  
 [2] Y. Hayami, V. W. Ruttan, in: Agricultural Development: An International Perspective. John Hopkins University Press, Baltimore, 1985.  
 [3] S. Damkjaer, R. Taylor, The measurement of water scarcity: defining a meaningful indicator. *Ambio* (2017) 46, 513–531.  
 [4] H. Xu, M. Wu, Water availability indices – a literature review. U.S Department of Energy, Energy Systems Division Report ANL/ESD-17/5 February. 2017.  
 [5] M. Falkenmark, Fresh water: time for a modified approach. *Ambio* (1986) 15, 192–200.  
 [6] FAO AQUASTAT (2016) Japan. Retrieved from: [http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries\\_regions/JPN/](http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries_regions/JPN/).  
 [7] IPCC, in: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Cambridge University Press, Cambridge, 2013, 1535.  
 [8] T. B. Pathak et al., Climate change trends and impact on California agriculture: a detailed review. *Argonomy* (2018) 8, 1–27.  
 [9] D. Zilbernam et al., in: Innovation in Response to Climate Change. Springer and FAO, Berlin, 2018, 49–74.  
 [10] H. Turrall et al., Climate Change, Water and Food Security. In: FAO Water Reports 36. FAO, Rome, 2008.  
 [11] M. Giordano et al., Beyond more crop per drop: Evolving thinking on agricultural water productivity. In: IWMI Research Report 169. Colombo, Sri Lanka, 2017.  
 [12] T. Wheeler, J. von Braun, Climate change impacts on global food security. *Science* (2013) 341, 508–513.  
 [13] K. McNeill et al., Food and water security: analysis of integrated modeling reforms. *Agric. Water Manag.* (2017) 194, 100–112.

[14] S. M. Scheierling, D. O. Tréguer, Beyond crop per drop: Assessing agricultural water productivity and efficiency in a maturing water economy. In: International Development in Focus, Washington, DC World Bank, 2018. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/29922>  
 [15] J. Wang et al., Impacts of groundwater markets on agricultural production in China. In: Managing water on China's farms, institutions, policies and the transformation of irrigation under scarcity. Elsevier, 2016, 123–132.  
 [16] E. Ostrom, Beyond markets and states: polycentric governance of complex economic systems. *Am. Econ. Rev.* (2010) 100, 641–672.  
 [17] M. F. Acevedo, Food security and the environment: Interdisciplinary research to increase productivity while exercising environmental conservation. *Glob. Food Secur.* (2018) 16, 127–132.  
 [18] X. Yang et al., The *Kalanchoë* genome provides insights into convergent evolution and building blocks of crassulacean acid metabolism. *Nat. Commun* 8, (2017) 1899.  
 [19] S. Daryanto et al., Global synthesis of drought effects on cereal, legume, tuber and root crops production: A review. *Agric. Water Manag.* (2017) 179, 18–33.  
 [20] A. Dinar et al., Water scarcity impacts on global food production. *Global Food Security* (2019) 23, 212–226.  
 [21] F. Sun et al., Air pollution, food production and food security: A review from the perspective of food system. *Journal of Integrative Agriculture* (2017) 16, 2945–2962.  
 [22] <http://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>  
 [23] A. N. Hristov, Contribution of ammonia emitted from livestock to atmospheric fine particulate matter (PM<sub>2.5</sub>) in the United States. *Journal of Dairy Science* (2011) 94, 3130–3136.  
 [24] S. E. Bauer et al., Significant atmospheric aerosol pollution caused by world food cultivation. *Geophysical Research Letters* (2016) 43, 5394–5400.  
 [25] H. Hou et al., Seasonal variations of CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O emissions in response to water management of paddy fields located in Southeast China. *Chemosphere* (2012) 89, 884–892.  
 [26] J. Ricker-Gilbert et al., What are the effects of subsidy programs on maize prices? *Agricultural Economics* (2013) 44, 671–686.  
 [27] L. C. Weber, H. S. Matthews, Food-miles and the relative climate impacts of food choices in the US. *Environmental Science and Technology* (2008) 42, 3508–3513.  
 [28] T. Garnett, Where are the best opportunities for reducing greenhouse gas emissions in the food system (including the food chain)? *Food Policy* (2011) 36, S23–S32.  
 [29] A. Tyczewska et al., Towards food security: Current state and future prospects of agrobiotechnology. *Trends in Biotechnology* (2018) 36, 1219–1229.  
 [30] J. E. Olesen, M. Bindi, Consequences of climate change for European agriculture productivity, land use and policy. *European Journal of Agronomy* (2002) 16, 239–262.  
 [31] S. Pearson et al., A validated model to predict the effects of environment on the growth of lettuce (*Lactuca sativa* L.): implication for climate change. *J. Hortic. Sci.* (1997) 72, 503–517.  
 [32] M. Bindi, L. Fibbi, Modeling climate change impacts at the site scale of grapevine. In: Climate change, climatic variability and agriculture in Europe. Environmental Change Unit. University of Oxford, UK, 2000, 117–134.  
 [33] S. G. Sommer, J. E. Olesen, Modelling ammonia volatilization from animal slurry applied to cereals. *Atmos. Environ.* (2000) 34, 2361–2372.  
 [34] A. Tripathi et al., Agriculture, Paradigms of climate change impacts on some major food sources of the world: A review on current knowledge and future prospects. *Ecosystems and Environment* (2016) 216, 356–373.  
 [35] V. Lepetz et al., Biodiversity monitoring: Some proposal to adequately study species' responses to climate change. *Biodiversity and Conservation* (2009) 18, 3185–3203.  
 [36] I. Delcour et al., Literature review: Impact of climate change on pesticide use. *Food Research International* (2015) 68, 7–15.  
 [37] P. O. Otieno, Impacts of climate-induced changes on the distribution of pesticides residues in water and sediment of Lake Naivasha, Kenya. *Environmental Monitoring and Assessment* (2013) 185, 2723–2733.  
 [38] D. B. Donald et al., Pesticides in surface drinking water supplies of the northern Great Plains. *Environmental Health Perspectives* (2007) 115, 1183–1191.  
 [39] D. P. Oliver et al., The off-site transport of pesticide loads from two land uses in relation to hydrological events in the Mt. Lofty Ranges, South Australia. *Agricultural Water Management* (2012) 106, 70–77.  
 [40] M. Carere et al., Potential effects of climate changes on the chemical quality of aquatic biota. *Trends in Analytical Chemistry* (2011) 30, 1214–1221.  
 [41] E. Lewan et al., Implications of precipitation patterns and antecedent soil water content for leaching of pesticides from arable land. *Agricultural Water Management* (2009) 96, 1633–1640.  
 [42] P. D. Noyes et al., The toxicology of climate change: Environmental contamination in a warming world. *Environmental International* (2009) 35, 971–986.  
 [43] A. Seeland et al., Aquatic ecotoxicity of the fungicide pyrimethanil: Effect profile under optimal and thermal stress conditions. *Environmental Pollution* (2012) 168, 161–169.  
 [44] S. L. Dwivedi et al., Food, nutrition and agrobiodiversity under global climate change. *Advances Agronomy* (2013) 120, 62–87.  
 [45] A. Hartmann et al., HTPheno: an image analysis pipeline for high-throughput plant phenotyping. *BMC Bioinf.* (2011) 12, 148.  
 [46] S. L. Dwivedi et al., Nutritionally enhanced staple food crops. *Plant Breed. Rev.* (2012) 36, 169–291.  
 [47] M. C. Tirado et al., Climate change and food safety: A review. *Food Research International* (2010) 43, 1745–1765.  
 [48] H. Bambrick et al., The impacts of climate change on three health outcomes: Temperature related mortality and hospitalizations, salmonellosis and other bacterial gastroenteritis, and population at risk from dengue. In: Garnaut climate change review, Australia, 2008, 59.

[49] R. S. Kovats et. al., The effect of temperature on food poisoning: Time series analysis in 10 European counties. *Epidemiology Infection* (2004) 132, 443.

[50] P. Bi et. al., Climate variability and Salmonella infection in an Australian temperate climate city. In: Conference of the international society of environmental epidemiologists, Dublin, 2009.

[51] R. S. Kovats, Climate variability and campylobacter infection: An international study. *International Journal of Biometeorology* (2005) 49, 207–214.

[52] M. Zimmermann et. al., Variability of total and pathogenic vibrio parahaemolyticus densities in Northern Gulf of Mexico water and oysters. *Applied and Environmental Microbiology* (2007) 73, 7589–7596.

[53] I. R. Lake et. al., A re-evaluation of the impact of temperature and climate change on foodborne illness. *Epidemiol. Infect.* (2009) 137, 1538–1547.

[54] U. Confalonieri et. al., in: *Climate change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of working group II. to the fourth assessment report of the inter-governmental panel on climate change.* Cambridge University Press, 2007, 391–431.

[55] R. Poulin, K. N. Mouristen, Climate change, parasitism and the structure of intertidal ecosystems. *Journal of Helminthology* (2006) 80, 183–191.

[56] K. S. Pereira et. al., Transmission of Chagas disease by food. *Advances in Food and Nutrition Research* (2010) 59, 63–85.

[57] K. S. Utaaker, L. J. Robertson, Climate change and foodborne transmission of parasites: A consider of possible interactions and impacts for selected parasites. *Food Research International* (2015) 68, 16–23.

[58] J. D. Miller, Mycotoxins in small grains and maize. *Food Additives and Contaminants* (2008) 25, 219–230.

[59] Synthesis and assessment product 4.3, USDA. The effects of climate change on agriculture, land resources, water resources and biodiversity in the United States. USDA, 2008.

[60] L. Bopp et. al., Response of diatoms distribution to global warming and potential implications: A global model study. *Geophysical Research Letters* (2005) 32, 1–4.

[61] S. K. Moore et. al., Impacts of climate variability and future climate change on harmful algal blooms and human health. *Environmental Health* (2008) 7 (Suppl. 2), S4.

[62] M. J. Edwards et. al., Regional climate change and harmful algal blooms in the northeast Atlantic. *Limnology and Oceanography* (2006) 51, 820–829.

[63] G. Hallegraeff et. al., Recent range expansion of the red-tide dinoflagellate in Australian coastal waters. *IOC–UNESCO Harmful Algae Newsletter* (2008) 38, 10–11.

[64] G. Umlauf et. al., The situation of PCDD/Fs and dioxin-like PCBs after the flooding of river Elbe and Mulde in 2002. *Acta Hydrochimica et Hydrobiologica* (2005) 33, 543–554.

[65] J. Manuel, In Katrina’s wake. *Environmental Health Perspectives* (2006) 114, 32–39.

[66] Soil erosion and run-off cropland. In: Report from the USA, Soil and Water Conservation Society, 2003, 63.

[67] C. Rosenzweig et. al., Climate change, crop pests and diseases. In: *Climate change futures: Health, ecological and economic dimensions.* 2005, 70–77.

[68] Global food policy report. In: *Extended results of the IMPACT model.* IFPRI, Washington, DC, 2017.

[69] K. Grace et. al., Linking climate change and health outcomes: Examining the relationship between temperature, precipitation and birth weight in Africa. *Glob. Environ. Chang.* (2015) 35, 125–137.

[70] J. Fanzo et. al., Climate change and variability. What are the risk for nutrition, diets and food systems? In: IFPRI discussion paper 1645. Washington, DC, 2017.

[71] M. Springmann et. al., Global and regional health effects of future food production under climate change: a modelling study. *Lancet* (2016) 387, 1937–1946.

[72] J. Ranganathan et. al., Shifting diets for a sustainable food future. In: *Creating a sustainable food future.* Washington, DC, 2016.

[73] S. S. Myers et. al., Effects of increased concentration of atmospheric CO2 on the global threat of Zn deficiency: a modelling study. *Lancet Glob. Heal.* (2015) 3, e639–e645.

[74] L. Bouwman et. al., Exploring global changes in nitrogen and phosphorus cycles in agriculture induced by livestock production over the 1900–2050 period. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* (2013) 110, 20882–20887.

[75] J. A. Foley. A five-step global plan could double food production by 2050 while greatly reducing environmental damage. *Sci. Am.* (2011) 305, 60–65.

[76] J. de Boer et. al., Help the climate, change your diet: a cross-sectional study on how to involve consumers in a transition to a low-carbon society. *Appetite* (2016) 98, 19–27.

[77] W. You, M. Henneberg, Meat consumption providing a surplus energy in modern diet contributes to obesity prevalence: an ecological analysis. *BMC Nutr.* (2016) 2, 22.

[78] L. Lipper et. al., Climate-smart agriculture for food security. *Nat. Clim. Chang.* (2014) 4, 1068–1072.

[79] J. Fanzo et. al., The effect of climate change across food systems: Implications for nutrition outcomes. *Global Food Security* (2018) 18, 12–19.

[80] M. T. van Wijk et. al., Farm household models to analyse food security in a changing climate: A review. *Global Food Security* (2014) 3, 77–84.

[81] H. J. P. Marvin et. al., Proactive system for early warning of potential impacts of natural disasters on food safety: Climate-change-induced extreme events as case in point. *Food Control* (2013) 34, 444–456.

**ÖSSZEFOGLALÁS**

SALGÓ ANDRÁS: AZ ÉLELMISZERIPAR KIHÍVÁSAI: A KLÍMAVÁLTOZÁS HATÁSAI AZ ÉLELMISZERBIZTONSÁGRA

A globális klímaváltozás és annak intenzív variabilitása az élelmiszerláncra és az élelmiszer-biztonságra, valamint az ellátásbiztonságra vonatkozóan jelentős veszélyeket hordoz az elsődleges nyersanyagtermeléstől a fogyasztóig. Cikkünk a klímaváltozás hatásai-ként az élelmiszernyersanyag-termelésre gyakorolt hatásokkal (vízellátás, légszennyezés, nyersanyag-változékonyság, védekezésben használt anyagok); az élelmiszer-biztonságra kifejtett hatások változásaival (mikrobiológiai változások, paraziták, mikotoxinok, egyéb környezet szennyezők); és a táplálkozástani következményekkel, a humán hatások várható következményeivel foglalkozik. Összefoglaljuk a klímaváltozás lehetséges modellezési módszereinek fejlődési tendenciáit és kitekintést adunk a várható tendenciák és javaslatok tekintetében.

Nagyházi Márton – Tuba Róbert

■ Természettudományi Kutatóközpont, Anyag- és Környezetkémiai Intézet | tuba.robort@ttk.hu

# A zöld kémia válasza az éghajlatváltozásra

A történelem minden időszakában voltak már világméretű válságok. Mára talán elég bölcs és érett az emberiség arra, hogy a tudomány eszközeivel előre jelezze az efféle vészterhes korszakokat, és azokra idejében megfelelő válaszokat adjon. S bár tudjuk jól, hogy a természet is ezer veszedelemmel leselkedik az emberi életre, a legnagyobb veszélyt kétségkívül mégis maga az ember jelentheti saját magára. Ennek legutóbbi s vélhetően legnagyobb kicsúcsosodása a bolygóméretű éghajlatváltozás.

Földünkön az élet azért alakulhatott ki, mert paradís légkör lehetővé tette a víz körforgásának beindulását. A légkörünket alkotó gázokból néhány ugyanis képes a beérkező napfényből kép-

ződő hőenergiát (infravörös sugárzást) megkötni, és így szabályozni a Föld légkörének hőmérsékletét. Ezért többek között ezeknek a gázoknak is köszönhető, hogy olyan klíma jött létre a Föld felszínén, amely lehetővé tette az élet kialakulását. Ezt nevezzük üvegházhatásnak. E jelenség hiányában bolygónkon nap és árnyék közt akár kétszáz fok hőmérséklet-különbség is lehetne, ahogyan ez a Holdon vagy a Merkúron is van [1]. Ha viszont a jelenség túlszalad, és a légkör túl sok energiát köt a felszínhez, akkor az időjárás a Vénuszon uralkodóhoz válik hasonlónak, amelyen 4–500 °C-os forráság tombol (itt a légkör több mint 90%-a szén-dioxid). S bár ez a bolygó nyilvánvalóan közelebb kering a