

A klímaváltozás lehetséges hatásai az élelmiszer-biztonságra

Farkas József^{1,2} és Beczner Judit¹

¹Központi Élelmiszer-tudományi Kutató Intézet

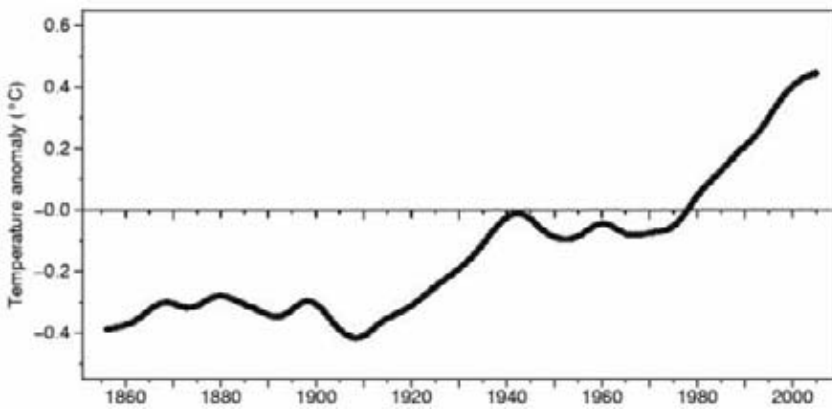
²Budapesti Corvinus Egyetem Élelmiszer-tudományi Kar

Érkezett: 2010. augusztus 23.

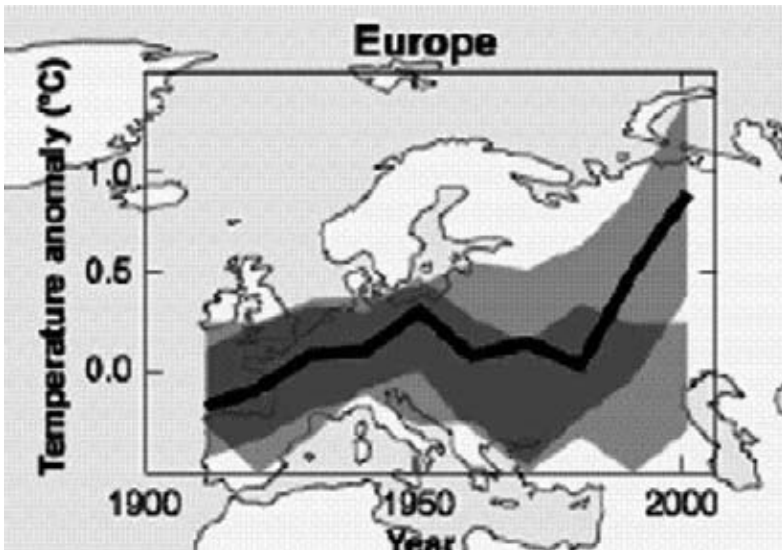
„Jósolni nehéz, különösen a jövőt illetően”

Az élelmiszer-ellátás alapjául szolgáló mezőgazdaság és az élelmiszerek fogyasztásra való alkalmassága/ártalmatlansága, az élelmiszer-biztonság, nagyon sokirányú kapcsolatban van az emberi társadalom minden más meghatározó tevékenységi területével és a környezettel. A környezetnek pedig kimagasló jelentőségű alkotóeleme az éghajlat. A XX. században összegyűlt megfigyelések alapján mértékadó szakmai-tudományos testületek megállapítása és következtetései szerint globális klímaváltozás (globális melegedés, az időjárási szélsőségek szaporodása) van folyamatban és e változások fokozódása várható a következő évtizedekben, ami a XXI. század egyik legnagyobb kihívása. Többek között ezek a megállapítások olvashatók az ENSz Kormányközi Éghajlatváltozási Szakértő Bizottsága (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) jelentéseiben. Ha vannak is viták a változások okait illetően, az IPCC 2007-ben közzétett jelentése (IPCC, 2007), összhangban a meteorológiai szervezetek adataival a melegedő éghajlatot és annak következményeit illetően, egyértelmű megállapításokat fogalmazott meg, amelyeknek a lényege például az 1. és a 2. ábrával szemléltethető.

Számunkra az különösen figyelemre méltó, hogy a Kárpát-Medence Európának e változásokra fokozottan érzékeny régiói közé tartozik. Ezt tette egyértelművé hazánkban is a Láng István akadémikus által vezetett VAHAVA (Változás – Hatás – Válaszadás) elnevezésű KvVM–MTA projekt, valamint az annak folytatásaként a Klímaváltozás – Környezet – Kockázat – Társadalom (Klíma KKT) című program keretében végzett munkálatok eredményei, továbbá a KvKM által kidolgozott, majd az Országgyűlés által 2008-ban elfogadott Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégia (NÉS).



1. ábra: A globális felszíni hőmérséklet alakulása az 1961 és 1990 közötti évek átlagától való eltéréssel ábrázolva (WMO, 2005 nyomán)



2. ábra: Az Európára jellemző éves átlaghőmérsékletek változásának konfidencia (5-95%) intervallumai számos klímamoddellel végzett becslés alapján. A sötétebb sávok jelzik az antropogén hatásokat (főként a fosszilis energiahordozók „elégetésének” figyelembe vétele nélküli becslést) (IPCC, 2007 nyomán)

Ezek széles körben történő megismertetését szolgálja az időközben elhunyt Harnos Zsolt akadémikus, a Klíma KKT program vezetője és munkatársai „Klímaváltozásról mindenkinek” című könyve (Harnos et al., 2008). Az e könyvben bemutatott és az Országos Meteorológiai Szolgálat kiadványaiban (pl. OMSz, 2008) lévő adatok világosan

illusztrálják, hogy Magyarországon a nyár a legjobban melegező évszak, a nyári hőhullámok gyakorisága/terjedelme növekszik, és a „szárazodás” (NÉS, 2008) mellett a növényekre súlyos stressz-hatást gyakorolnak az egyéb szaporodó időjárási extrémítások (felhőszakadások, áradások, belvizek kialakulása). Mindezek alapján az MTA Környezettudományi Elnöki Bizottságának (KÖTEB) az éghajlatváltozásról és az ezzel összefüggő hazai feladatokról írott állásfoglalása (MTA-KTEB, 2009), miszerint

„... fontos az éghajlatváltozás hatásainak számításba vétele az érintett ágazati fejlesztési programokban...”, és

„... kiemelkedő jelentőségű a hatásokra való felkészülés kapcsán is a klímatudatosság fejlesztése, mindenekelőtt az oktatás és a tájékoztatás eszközeivel...”, tehát kívánatos az élelmiszer-biztonságra gyakorolt hatások mérlegelése is.

A felmelegedés és a szélsőséges időjárási viszonyok növekvő gyakoriságának és terjedelmének várható hatásai ugyanis egyaránt kiterjednek az élelmiszergazdaság „pre-harvest” és „post-harvest” problémaköreire. Ilyenek egyebek között:

- korábban nem honos növények/gyomok megjelenése,
- fokozott rovarkártétel,
- új növényi (és állati) kórokozók megjelenése, a meglévő betegségek eltérő/megnövekvő intenzitása,
- növekvő peszticid- és állategészségügyi szerigény és -használat,
- a termények rövidebb tárolhatósága,
- a hűtlánc fenntartása nehezebb, költségesebb,
- fokozott mikrobás szennyezettség,

A zoonózisok fokozott kockázata (1 °C-os hőmérséklet-növekedés 2%-kal növeli a szalmonellózisok gyakoriságát (NÉS, 2008).

Mindezekből következik, hogy romolhat az élelmiszereink mikrobiológiai és kémiai biztonsága. Ilyen megfontolásból született az elmúlt években a FAO-nak egy konzultációs jelentése (FAO, 2008) és az Európai Unió Bizottságának egy „Fehér Könyve” (CEC, 2009). A jelen tanulmányban e problémakörből röviden a mikrobiológiai élelmiszer-biztonság bakteriológiai, valamint a kémiai élelmiszer-biztonság mikológiai vonatkozásait, s az ezekből levonható következtetések szerinti alkalmazkodási feladatokat kíséreljük meg áttekinteni, különös tekintettel az élelmiszer-tudományi kutatást érintő egyes kérdésekre.

A klímaváltozás hatása a bakteriológiai élelmiszerbiztonságra

A fentiek szerint élelmiszereink mikrobás szennyeződésének és az „ételfertőzések” valószínűségének növekedésére kell számítanunk. A bakteriológiai élelmiszer-biztonság jelenlegi helyzetét jellemezhetjük az Európai Élelmiszer-biztonsági Hivatal (EFSA) egyik 2009. évi kiadványában lévő ételfertőzések gyakoriságaival (1. táblázat).

1. táblázat: Az EU tagországok által 2007-ben jelentett, megerősített főbb zoonózis esetek összesítése (EFSA, 2009 nyomán)

Zoonózis	Esetszám
Kampilobakteriózis	200507
Szelmonellózis	151995
Yerziniózis	8792
<i>Escherichia coli</i> (VTEC)	2905
Liszteriózis	1554

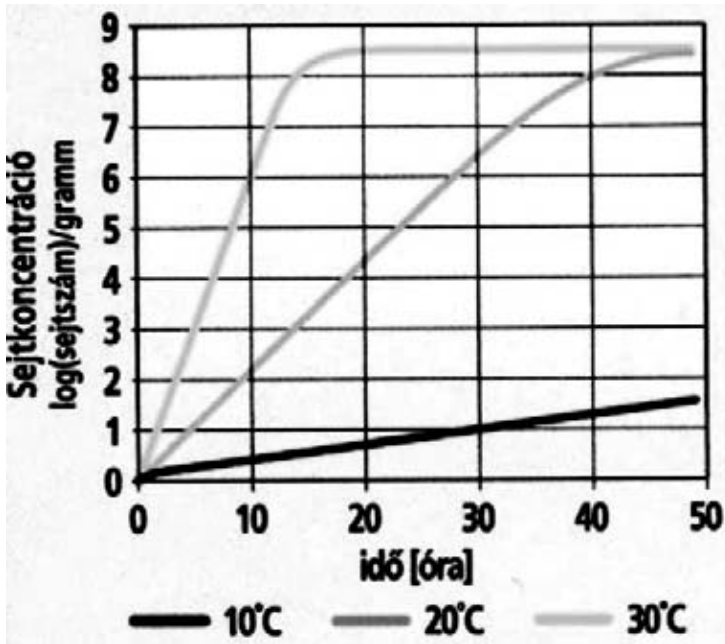
A mikrobiológiai ismeretanyagunk szerint a klímaváltozás szempontjából hazánkban még mindig a legjelentősebb, élelmiszerekkel közvetíthető zoonózis okozói a szalmonellák, ugyanakkor a *Campylobacter* sp. által kiváltott megbetegedések száma az EU országaiban már meghaladta a szalmonellák által kiváltott megbetegedések arányát, s a hazai felmérések szerint Magyarországon is erőteljesen növekszik a baromfiállományok kampilobakter szennyezettsége, és nő a humán megbetegedések száma is. A kevesebb, de lényegesen súlyosabb megbetegedést okozó, ubiquiter patogén baktérium, a *Listeria monocytogenes* is különösen nagy figyelmet érdemel.

A szalmonellák szaporodásának hőmérséklet-függését a Harnos és munkatársai által bemutatott ábrán (Harnos et al., 2008) szemléltetjük (3. ábra). Ugyanebből a forrásból származik a 4. ábra, ami a bejelentett magyarországi szalmonellózisok gyakoriságának és a heti átlaghőmérsékletek alakulásának a kapcsolatát mutatja (4. ábra).

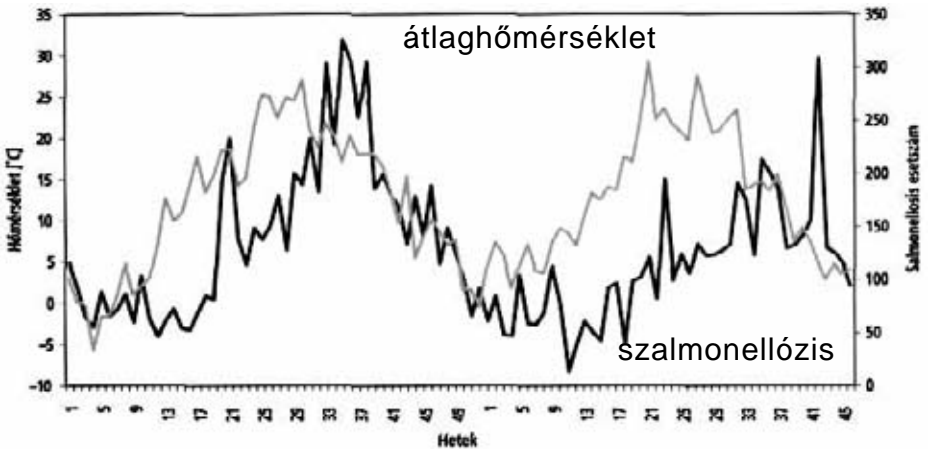
A 4. ábrával összhangban vannak korábbi brit (Bentham & Langford, 2001), ausztrál (Hall et al., 2002) és japán (Onozuka et al., 2010) közlések is. Ezek szerint a szalmonellózisok számának növekedése kisebb-nagyobb késéssel követi a környezeti hőmérséklet-változást.

A hidegtűrő, sótűrő és az élelmiszer feldolgozó üzemekben is megtelepedni képes és élelmiszer-szennyező forrást jelentő biofilmet képező *Listeria monocytogenes* szaporodásának hőmérséklet-függését

egy saját, korábbi vizsgálataink (Farkas et al., 1995) alapján készített táblázattal (2. táblázat) szemléltetjük.



3. ábra: Szalmonellák szaporodása hőmérséklet-függésének becslése a COMBASE nemzetközi adatbázis (Baranyi és Tamplin, 2003) szoftverjének segítségével (Harnos et al., 2008)



4. ábra: A bejelentett magyarországi megbetegedések gyakoriságának kapcsolata a heti ek alakulásával 2006-2007-ben (Harnos et al., 2008)

2. táblázat: Egy *Listeria monocytogenes* törzs tápoldatban végbemenő szaporodása sebességének hőmérséklet-függése (Farkas et al., 1994)

pH	3 °C	8 °C	20 °C	30 °C
7,1	27	1	1	1
5,6	-	8	2	1
5,3	-	27	2	1
5,1	-	44	3	2
4,9	-	-	-	3
4,7	-	-	-	8
4,6	-	-	-	17

Nyilvánvaló ezeknek a megállapításoknak az élelmezés-egészségügyi jelentősége.

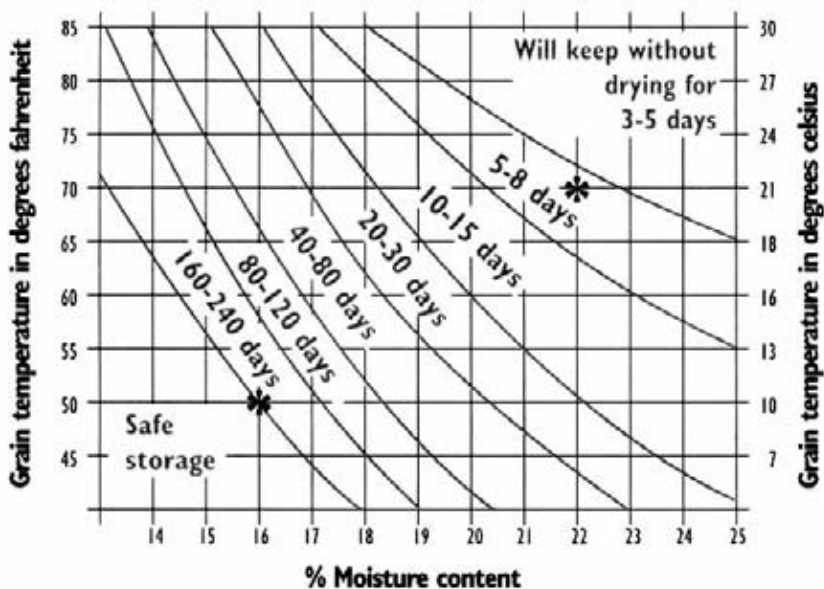
A klímaváltozás hatása a mikológiai élelmiszer- és takarmány-biztonságra

Hazai mezőgazdaságunk és élelmiszer-fogyasztásunk szempontjából is kiemelkedően fontos a terményeink penészgombáknak, s közöttük a toxinogén fajoknak való kitettsége is.

A frissen aratott búza „penészmentes” tárolhatóságának időtartamát a termény hőmérséklete és nedvességtartalma függvényében az 5. ábra mutatja Ziggers (2009) nyomán.

Különbéféle termények kémiai biztonságának világszerte meghatározó jelentőségű problémája a sokféle toxinogén penészgomba okozta szennyeződés. Az ilyen penészgombák másodlagos anyagcsere-termékeiként képződő mikotoxinok élelmiszer- és takarmány-biztonsági jelentősége eléggé nem hangsúlyozható (Kovács, 1998). A fejlettebb országokra nem az igen ritkán előforduló akut mikotoxikózisok jellemzők, hanem az, hogy a globalizált élelmiszerkereskedelem révén a mindenütt előforduló csekély mértékű mikotoxin-szennyezők okozhatnak „hosszú távon” akkumulált hatásként különféle igen súlyos krónikus megbetegedéseket (Kovács, 2010). Ezért kell nagy figyelmet fordítanunk arra a tényre, hogy a „klíma-stresszelt” gazdanövények fokozottan érzékenyek a toxinogén penészgombák megtelepedésére és ezzel a mikotoxinok előfordulási lehetősége jelentősen megnő (Guo et al., 2008). A klímaváltozás következményei szempontjából a „post-harvest” toxinképzőként számon tartott fajokat tartjuk igen fontosnak

(Farkas és Beczner, 2009). Ilyenek az aflatoxinokat és az ochratoxin-A mikotoxint képzők. Ezek szaporodásának és toxin-termelésének meghatározó környezeti tényezői a hőmérséklet és a vízkiválasztás (egyensúlyi relatív páratartalom). Ezt szemléltetik Northolt és Bullerman (1982) vizsgálatai alapján az aflatoxint és ochratoxin-A-t képző néhány penészgomba szaporodásának és toxin-képzésének jellegzetes ökofiziológiai hőmérséklet- és vízkiválasztás-tartományai (6. ábra).



5. ábra: Frissen aratott búza „penésztmentes” tárolhatósági időtartamai a termény nedvességtartalma és hőmérséklete függvényében (Ziggers, 2009)

A Központi Élelmiszer-tudományi Kutató Intézet Mikrobiológiai Osztályán folyó vizsgálatok (Beczner et al, 2010) is arra mutatnak, hogy a penészgombáknak megfelelő táptalajon bekövetkező szaporodása az eredetileg baktériumok szaporodására leírt prediktív matematikai modellel (Baranyi & Roberts, 1994) jellemezhető (7. ábra).

A 6. és 7. ábrák jól előrejelzik, hogy egy-egy földrajzi környezetben, így hazánkban is, idővel változhat a toxinogén fajok kockázatának relatív jelentősége. Látható, hogy éghajlatunk „mediterránizálódása” következtében egyre jobban előtérbe kerülhetnek nálunk is a melegkedvelőbb *Aspergillus* fajok, míg a jelenleg elterjedt *Penicillium*-ok északabbra húzódása várható.

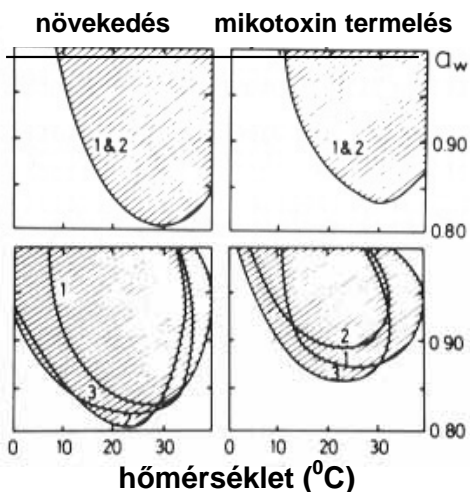
MIKOTOXIN ÉS GOMBAFAJ

AFLATOXIN B₁

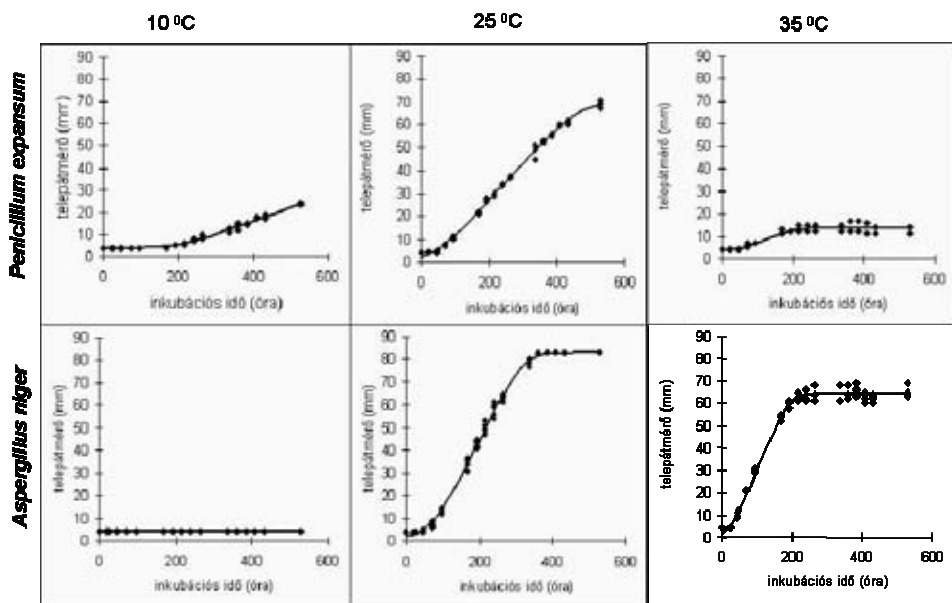
- 1 *Aspergillus flavus*
- 2 *Aspergillus parasiticus*

OCHRATOXIN A

- 1 *Aspergillus ochraceus*
- 2 *Penicillium verrucosum* var. *cyclopium*
- 3 *Penicillium verrucosum* var. *verrucosum*



6. ábra: Néhány toxinogén penészgomba faj szaporodásának és toxinképzésének hőmérséklet- és vízáktívitás tartományai (Northolt és Bullerman, 1982 nyomán)



7. ábra: *Penicillium expansum* (A) és *Aspergillus niger* (B) penészgombák telepátmérőjének (mm) növekedése $a_w=0.90$ vízáktívitású táptalajon az inkubáció hőmérséklete és időtartama függvényében. (A mérési adatokra a Baranyi féle dinamikus szaporodási modellt (Baranyi és Roberts, 1994) illetve (Beczner et al., nem publikált)

Következtetések, javaslatok

Az élelmiszertermelés, -ellátás és az élelmiszerbiztonság bonyolult hálózatot jelentő rendszer részei (8. ábra, McMeekin & Ross, 2008). Ezért az ebben a rövid áttekintésben vázolt problémakör multidiszciplináris, integratív hálózat-kutatási szemléletben mérlegelendő. A bio-matematikai megközelítés és a modellezés, mind „pre-harvest”, mind „post-harvest” tekintetben fontos kockázat-előrejelzési, kockázat-becslési értékű. A klímaváltozáshoz való alkalmazkodás is a preventív minőségbiztosítási szemléletre és az un. „Jó Gyakorlatok”-ra (Good Agricultural, Manufacturing, Hygienic and Distribution Practices) alapozva, a veszély-elemzés és kritikus szabályozási pontok (HACCP) alapelvei szerinti kockázat-kezelés megvalósítását igényli.



8. ábra: Az élelmiszerbiztonság kapcsolati hálózata (McMeekin, 2008 nyomán)

Irodalom

- Baranyi, J., Roberts, T. A. (1994): A dynamic approach to predicting bacterial growth in food. *Int. J. Food Microbiol.*, **23**, 277-294.
- Baranyi, J., Tamplin, K. (2003): Combase: a common database on microbial responses to food environments. *J. Food Protection*, **67**, 1840.
- Beczner J., Farkas J., Korbász M., Batáné Vidács I. (2010): A környezeti tényezők hatása a penészgombák szaporodására. (In preparation)
- Bentham, G., Langford, I. H. (2001): Environmental temperatures and the incidence of food poisoning in England and Wales. *Int. J. Biometeorology*, **45**, 22-26.
- CEC (2009): Adapting to climate change. Towards a European framework for action. White Paper. COM (2009) 147 final. Commission of the European Communities, Brussels.
- EFSA (2009): The Community Summary Report on Trends and Sources of Zoonoses and Agents in the European Union in 2007. *The EFSA Journal*, **223**, 1-215.
- Farkas J., Beczner J. (2009): A klímaváltozás és a globális felmelegedés várható hatása a mikológiai élelmiszer-biztonságra. „KLÍMA-21” Füzetek – Klímaváltozás-Hatások-Válaszok. 2009. **56.** szám, 3-17.
- Farkas, J., Andrassy, É., Mészáros, L., Bánáti, D. (1995): Growth of untreated and radiation damaged *Listeria* as affected by environmental factors. *Acta Microbiol. et Immunol. Hung.*, **42** (1), 19-28.
- Guo, B., Chen, Z-Y., Dewey Lee, R., Scully, B. T. (2008): Drought stress and preharvest aflatoxin contamination in agricultural commodity: genetics, genomics and proteomics. *J. Integrative Plant Biology*, **50**, 1281-1291.
- Hall, G. V., D'Souza, R. M., Kirk, M. D. (2002) Food-borne disease in the new millenium: out of the frying pand and into the fire? *Medical J. Australia*, **177**, 614-618.
- Harnos Zs., Gaál M., Hufnágel L. (szerk.) (2008): Klímaváltozásról mindenkinek. BCE Kertészettudományi Kar, Matematika és Informatika Tanszék, Budapest.
- IPCC (2007): Climate Change 2007. The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the Intergovernmental Panel on Climate Change. Fourth Assessment Report. <http://www.ipcc.ch>.
- Kovács F. (szerk.) (1998): Mikotoxikózisok a táplálékláncban. Stratégiai Kutatások a Magyar Tudományos Akadémián. MTA Agrártudományok Osztálya, Budapest.
- Kovács M. (szerk.) (2010): Aktualitások a mikotoxin kutatásban. Agroinform Kiadó, Budapest.
- McMeekin, T. A. (2008): Predictive microbiology: an integral part of the food safety jigsaw. In: Conference „Future Challenges to Microbial Food Safety”, The Netherlands. Food and Consumer Product Safety Authority (VWA), Den Haag, and European Food Safety Authority (EFSA), Parma. Pp. 94-104.

- MTA-KTEB (2009): MTA-KTEB állásfoglalás az éghajlatváltozásról és az ezzel összefüggő hazai feladatokról. (Kézirat) Budapest, 2009. február 11.
- NÉS (2008): Globális klímaváltozás – Nemzeti Éghajlat-változási Stratégia. Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium, Budapest.
- Northolt, M. D., Bullerman, L. B. (1982): Prevention of mold growth and toxin production through control of environmental condition. *J. Food Protection*, **45**, 519-526.
- Onozuka, D., Hashizume, M., Hagihara, A. (2010): Effects of wheather variability on infectious gastroenteritis. *Epidemiol. Infect.*, **138**, 236-243.
- WMO (2005): A Meteorológiai Világszervezet állásfoglalása az éghajlat 2004. évi állapotáról. WMO-No.983. Hungarian Edition. World Meteorological Organization, Geneva.
- Ziggers, D. (2009): Fighting fungi in grain storage preserves cereal quality. *Feed Tech.*, 13/03/2009. pp. 14-16.

A klímaváltozás lehetséges hatásai az élelmiszerbiztonságra

Összefoglalás

Mértékadó információk jelzik, hogy globális klímaváltozás (globális melegedés és időjárási szélsőségek növekvő gyakorisága) van folyamatban, a Kárpát-medence pedig Európának e változásokra fokozottan érzékeny régiói közé tartozik. A változások kihatnak az élelmiszergazdaságnak mind a „pre-harvest”, mind a „post-harvest” tevékenységi területére. Az egyik lehetséges következmény, hogy romolhat az élelmiszereink mikrobiológiai és kémiai biztonsága. A jelen tanulmány rövid áttekintésben érinti a klímaváltozás lehetséges hatásait a bakteriológiai élelmiszerbiztonságra, különös tekintettel a szalmonellák és a *Listeria monocytogenes* szaporodásának hőmérséklet-függésére, továbbá a toxinogén penészgombák és mikotoxin képzésük környezeti tényezőktől való függésére. A Szerzők saját laboratóriumi vizsgálati eredményei előre vetítik annak a lehetőségét, hogy a hazai éghajlatváltozások következtében változhat a különféle toxinogén penészgomba-fajok egymáshoz viszonyított jelentősége: fokozottan előtérbe kerülhetnek olyan melegkedvelő *Aspergillus* fajok, amelyek

korábban a hazai termékek élelmiszer-biztonsági kockázatában kisebb szerepet játszottak, szemben az eddig inkább jelentős *Penicillium* fajokkal. A mikroba-szaporodást előre-jelző matematikai modellezések és a hálózat-kutatási megközelítésre alapozott, rendszer-szemléletű kockázatkezelés alkalmazása szükséges ahhoz, hogy a klímaváltozással kapcsolatos lehetséges scenáriók (forgatókönyvek) alapján a szükséges lépéseket meg tudjuk tenni az élelmiszerek mikrobiológiai biztonsága érdekében.

Potential Effects of Climate Change on the Safety of Foods

Abstract

It has been shown by reliable informations that we are living in the age of a global climate change (global warming and increasing frequency of wheather extremities), and the Karpatean Basin is one of the most vulnerable regions of Europe. The changes shall affect both the pre-harvest and the post harvest areas of food economy. One of the possible consequences might be the deterioration of microbiological and chemical safety of foods, with particular reference to the possible increase of zoonotic diseases caused by the more intensive growth of salmonellae and *Listeria monocytogenes* as a function of temperature, as well as an increased possibility of growth and mycotoxin production of toxigenic moulds as a function of changing environmental factors. On the basis of the Authors' own laboratory results, it is presumable that – due to the climate change in this region – also the relative importance of various toxigenic moulds might change, and genera of toxigenic moulds like *Aspergillus* may gain ground as compared to *Penicillium* being more important up to now. Assisting the adaptation to the climate change, application of predictive mathematical modelling of microbial growth and a system-like approach of the risk management are needed, relying on the application of the tools of network-science.