

**Pannon Egyetem
Georgikon Kar
Meteorológia és Vízgazdálkodás Tanszék**

Pollermann Dominika
MSc I. évfolyam

**KADMIUMSZENNYEZÉS HATÁSÁNAK VIZSGÁLALAT
KUKORICÁN**

Témavezető:
Dr. habil. Anda Angéla, egyetemi tanár

Keszthely, 2012.

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés	4
2. A kadmium felfedezése, fizikai és kémiai tulajdonságai.....	5
3. A kadmium előfordulása.....	6
3.1. A talajban	6
3.2. A felszíni és a felszín alatti vízben.....	7
3.3. A légkörben	8
4. Kadmium emisszió	9
4.1. Természetes kadmium emisszió.....	9
4.2. Antropogén eredetű kadmium emisszió	9
4.2.1. Az antropogén emisszió mértéke	9
4.2.2. Az emberi eredetű kibocsátás forrásai	12
5. Kadmium az élőszervezetekben	16
5.1. Kadmium növények általi felvétele, akkumulációja és fitotoxikus hatásai	16
5.1.1. Növények kadmium felvétele, befolyásoló tényezők	16
5.1.2. Kadmium növények általi akkumulációja.....	17
5.1.3. Kadmiumstressz a növényekben.....	18
5.2. Állatok és emberek kadmium felvétele, akkumulációja, valamint a hatások	19
5.2.1. Állatok és emberek kadmium felvétele.....	19
5.2.2. Kadmium felhalmozódása az állati és a humán szervezetben	20
5.2.3. Kadmium hatása az állati és az emberi szervezetre	21
6. A kadmiumra vonatkozó jogi szabályozás	23
6.1. Földtani közegre, felszíni és felszín alatti vizekre, levegőre vonatkozó rendeletek	23
6.2. Takarmányokra vonatkozó rendeletek	24
6.3. Élelmiszerekre és ivóvízre vonatkozó rendeletek	24
6.4. Egyéb rendeletek	25
7. Anyag és módszer.....	27
7.1. Kísérlet helye, ideje, körülményei.....	27
7.2. Öntözés és tápanyag utánpótlás.....	28
7.3. Kezelés és mérés	29
8. Eredmények és értékelésük.....	31
8.1. Évjáráthatás értékelése	31
8.1.1. Tenyészidőszak időjárásának bemutatása	31

8.1.2.	Az évjárat kukoricára gyakorolt hatása.....	32
8.2.	Növények növekedése, érése.....	33
8.3.	Az evapotranszpiráció értékelése.....	34
8.4.	Vízkezelés növényekre gyakorolt hatása	35
8.4.1.	A termés magasabb tömege	36
8.4.2.	A kadmium által kifejtett káros hatás mérséklése.....	37
8.5.	A termés értékelése	37
8.5.1.	Rendellenes csövek száma	37
8.5.2.	Növekedésbeli visszamaradás, szárazanyag-tartalom változása.....	38
8.6.	A vízhasznosulás értékelése	43
9.	Következtetések.....	45
10.	Összefoglalás	47
11.	Köszönetnyilvánítás.....	49
12.	Irodalomjegyzék	49

1. Bevezetés

Napjainkban számos, egyre súlyosbodó környezeti problémával kell szembenéznünk. Bár környezetünk megóvása egyre nagyobb hangsúlyt kap, az intézkedések és a társadalmi hozzáállás továbbra sem tűnik elegendőnek. Így az olyan környezeti problémák, mint a globális felmelegedés, a biodiverzitás csökkenése, az élőhelyek pusztulása, környezeti elemeink szennyezése továbbra is megoldásra várnak.

A levegő, a talaj, a vizek egyre romló állapotáért, valamint az élővilág károsodásáért, több más hatás és szennyezőanyag mellett, a kémiai elemek egy különösen veszélyes csoportja, a nehézfémek okolhatók. Valamennyi nehézfém természetes körülmények között is előfordul környezetünkben, de azoknak nagyobb mennyiségben való felhalmozódása már emberi tevékenységre, elsősorban az ipari és a bányászati tevékenységre vezethető vissza. A nehézfémek bekerülnek a felszíni és a felszín alatti vizeinkbe, a légkörbe, a talajba, onnan pedig a táplálékláncba: növények, állatok, majd emberek szervezetébe.

Bár bizonyos nehézfémek, mint például a vas vagy a cink, az élőszervezetek számára nélkülözhetetlenek, a nehézfémek egy másik csoportja már kis koncentrációban is toxikus. A kadmium az utóbbi csoportba tartozik. Esszenciális elem voltát egyértelműen még nem bizonyították, humán szervezetre gyakorolt káros hatását azonban már 1858-ban leírták (SAVOT, 1858). A kadmium a szervezetbe jutva elváltozásokat, egészségkárosodást, akár rákot is okozhat (KOVÁCS et al., 1998).

Az utóbbi időben a környezet kadmium szennyezettsége az emberi tevékenység következtében erősen megnövekedett. A helyzetet súlyosbítja a hazai talajok savasodása, ami fokozza a toxikus nehézfémek növények általi felvehetőségét (KOVÁCS et al., 1998). A kadmium gátolja a növények megfelelő növekedését, fotoszintézisét, csökkenti a transpirációt, majd az egész táplálékláncon végigvonulva kifejti káros hatását az állatok és az emberek szervezetében is (BURZYNSKI és BUCZEK, 1994; FODOR, 2003; VASSILEV et al., 1998; KOVÁCS et al., 1998).

A vizsgálat célja a kadmium, mint környezetet terhelő anyag, hatásának szimulációja volt. Mivel a kadmium növényi hatásainak vizsgálata eddig többnyire laboratóriumi megfigyelésekre szorítkozott, vizsgálatunkat szabadföldi körülmények között végeztük, a teljes tenyészidőszak lefedésével, annak érdekében, hogy a laboratóriumi megfigyeléseknél pontosabb képet kapjunk a kadmium által okozott növényi hatásokról.

2. A kadmium felfedezése, fizikai és kémiai tulajdonságai

A kadmium egy két vegyértékű, rákkeltő nehézfém. A cink csoportba, vagyis a periódusos rendszer IIB csoportjába (cink, kadmium, higany) tartozik. (EFSA, 2009).

Az elem puha, szemcsés, halványszürke színű. Természetben ritkán, elsősorban ólommal, cinkkel vagy kéntartalmú ércekben fordul elő (<http://www.kockazatos.hu/anyag/kadmium>).

Felfedezése Friedrich Stromeyer (1776-1835) német kémikus nevéhez fűződik. Stromeyer a Göttingeni Egyetem orvosprofesszora és a hannoveri gyógyszerészek főfelügyelője volt. 1817-ben, cink-oxid vizsgálata során arra lett figyelmes, hogy amikor a fehér cink-karbonátot (ZnCO_3) hevíti, sárga termék keletkezik. A kémikus a keletkező anyagot feloldotta savban, ami hatására sárga csapadék képződött. A kinyert, új fémeket pedig kadmiumnak nevezte el a gálma (cink-karbonát) régi neve, a kadmia után (<http://www.kfki.hu/chemonet/hun/tudakozo/szavak/cd.html>).

A kadmium az átmenetifémek közé tartozik. „Az átmeneti fémek definíciószerűen olyan fémek, amelyek elemi állapotban részben betöltött d-, illetve f-héjjal rendelkeznek.” (PAPP, 1983. p.202.) Közös jellemzőik PAPP (1983) összefoglalása szerint:

- fémes tulajdonságokat mutatnak
- kemény, magas olvadáspontú és forráspontú, nagy sűrűségű elemek
- a hőt és az elektromosságot jól vezetik
- egymással és más fémekkel ötvözeteket képeznek
- változó oxidációfokúak.

A legfontosabb kadmiumra vonatkozó tulajdonságokat a következő táblázat foglalja össze.

Tulajdonság	Érték
Vegyjel	Cd
Rendszám	48
Atomtömeg	112,4 g/mol
Elektronegativitás	1,7
Sűrűség (20°C)	8,65 g/cm ³
Olvadáspont	320,9 °C
Forráspont	765 °C
Izotópok száma	22

1. táblázat: A kadmium legfontosabb tulajdonságai
(<http://www.muszeroldal.hu/assistance/kemiaielemek.html>)

3. A kadmium előfordulása

Igen ritka elemnek számít, de kis mennyiségben a talajban, a vizekben, valamint a légkörben egyaránt előfordul a kadmium (EFSA, 2009).

3.1. A talajban

A kadmium gyakorisága a földkéregben csupán $10^{-5}\%$ nagyságrendű. Fém formájában csak kevés lelőhelye ismert. Elsősorban a vele kémiaiilag szoros rokonságban álló cinkkel együtt fordul elő, ritkábban az ólmot helyettesíti annak ásványaiban (<http://www.mafi.hu/static/microsites/geokem/Cd.htm>).

A kadmium önálló ásványai ritkák. Közülük a legismertebb a greenockit (CdS), mely cink-, ólom-, esetleg ónércekben van jelen (<http://www.mafi.hu/static/microsites/geokem/Cd.htm>).

A fém mobilitása a talajban jóval alacsonyabb, mint a légkörben vagy a vizekben (OECD, 1994).

Az átlagos kadmium koncentráció Európa talajaiban 0,5 mg/kg (DAVISTER, 1996; UNDERWOOD és SUTTLE, 1999).

A hazai kőzetekben szokásos kadmium mennyiségek a Magyar Állami Földtani Intézet adatai alapján a következők:

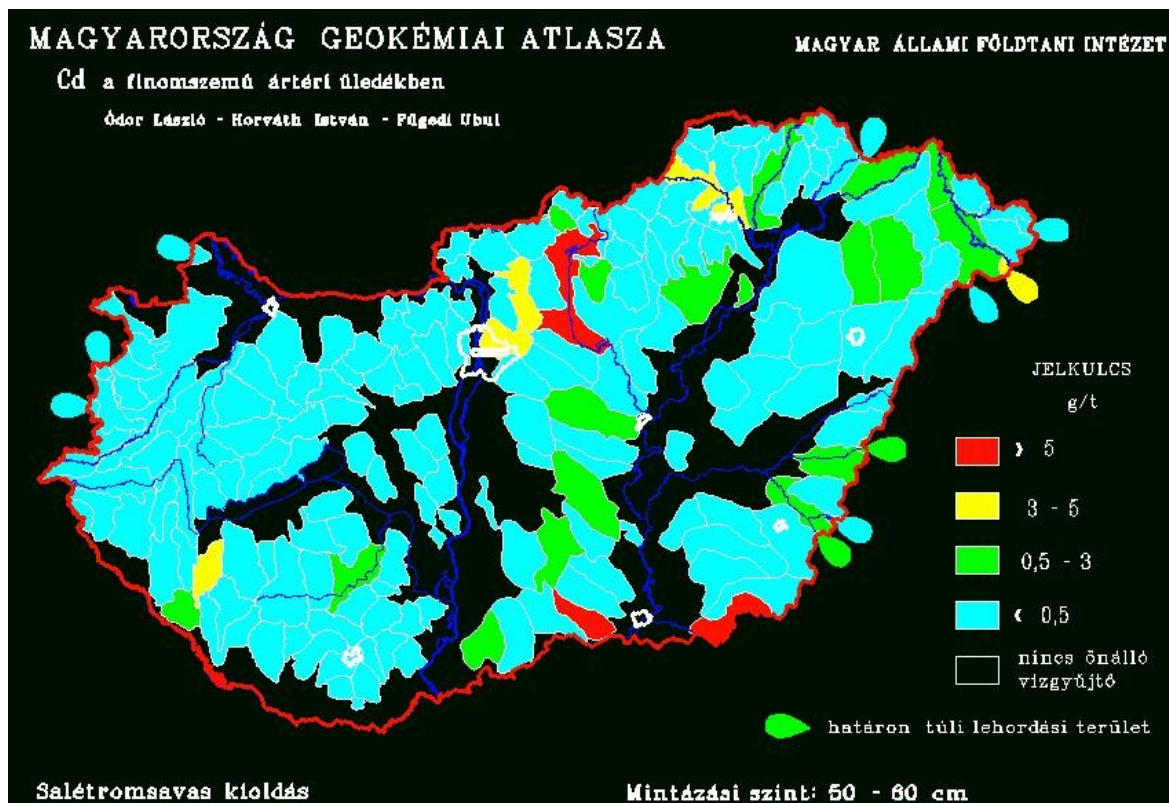
- Gránit: 0,04 g/t
- Andezit: 0,13 g/t
- Bazalt: 0,22 g/t
- Mészkö: 0,035 g/t
- Agyag: 0,03 g/t
- Homokkö: <0,01 g/t.

A hazai talajokra jellemző értékekről a Magyar Állami Földtani Intézet geokémiai atlasza ad tájékoztatást (1. ábra).

A geokémiai térképről könnyen leolvasható, hogy hazánk jelentős részén 0,5 g/t alatti a talaj kadmium tartalma. Magasabb értékekkel főként a Duna-Tisza közében, valamint a Tiszántúlon találkozhatunk, de nagyobb, összefüggő területek itt sem alakulnak ki.

Az anomális vízgyűjtőterületek a következők:

- Zagyva vízgyűjtője
- Széksóstói főcsatorna vízgyűjtője
- Maros vízgyűjtője
- Szilas és Rákos patak vízgyűjtője
- Csukás-éri főcsatorna vízgyűjtője.



1. ábra: Kadmium előfordulása a talajban
(<http://www.mafi.hu/static/microsites/geokem/Cd.htm>)

A két legfontosabb terület a Zagyva és a Maros vízgyűjtője, hiszen ezek esetében 5 g/t-nál magasabb kadmium tartalommal kell számolnunk. Ez az érték pedig jóval az elfogadható koncentráció felett van (<http://www.mafi.hu/static/microsites/geokem/Cd.htm>).

3.2. A felszíni és a felszín alatti vízben

A felszíni és a felszín alatti vizekben a kadmium szabad ionként (Cd^{2+}), vagy más szerves vagy szervetlen anyagokkal alkotott ionos komplexként található meg. Tengervízben CdCl_2 és CdCl^+ a leggyakoribbak; míg édesvizekben, a kémhatástól függően CdOH^+ vagy CdCO_3 dominál (EFSA, 2009). Talajvízben főként szabad ion formájában van jelen, valamint CdCl^+ , CdSO_4 , magasabb pH-nál CdOH^+ és CdCO_3 formájában (WHO-IPCS, 1992).

A kadmium a vizekben hatalmas távolságokat tehet meg, a folyók által eljut egészen az óceánokig, melyekben tartózkodási idejét 15000 évre becsülik (EFSA, 2009).

A hazai felszíni vizekben mérhető éves átlagértékek kadmiumra és vegyületeire vonatkozóan, 10/2010. (VIII. 18.) VM rendelet szerint, vízkeménységi osztálytól függően az alábbiak szerint alakulnak:

- 1. osztály: $\leq 0,08 \mu\text{g/l}$
- 2. osztály: $0,08 \mu\text{g/l}$
- 3. osztály: $0,09 \mu\text{g/l}$
- 4. osztály: $0,15 \mu\text{g/l}$
- 5. osztály: $0,25 \mu\text{g/l}$

(http://www.complex.hu/jr/gen/hjegy_doc.cgi?docid=A1000010.VM).

3.3. A légkörben

Európa lakott területein a kadmium légköri koncentráció $1-10 \text{ ng/m}^3$ (EFSA, 2009). Részecskéinek mérete alacsony, $10 \mu\text{m}$ -nál is kisebb. A levegőben főként kadmium-oxid formájában van jelen, de különböző kadmium sók is előfordulhatnak, mint például a kadmium-klorid (IARC, 1993).

A kadmium szennyezés a légkörben száztól akár néhány ezer kilométeres távolságokra is elszállíthat. Az elem tartózkodási ideje 1 és 10 nap közötti, ezt követően száraz vagy nedves ülepedéssel kerül ki az atmoszférából (ELINDER, 1985; ATSDR, 1999).

4. Kadmium emisszió

A kadmium emisszió eredetét tekintve kétféle lehet: megkülönböztethetünk természetes, illetve antropogén eredetű kibocsátást. A szennyezés mindkét típusa érintheti a talajt, a légkört, valamint a vizeket. (http://www.cadmium.org/pg_n.php?id_menu=7).

4.1. Természetes kadmium emisszió

A természetes eredetű kadmium kibocsátás három fő forrásra vezethető vissza:

- üledékes kőzetek eróziója
- vulkáni tevékenység
- erdőtüzek

(WHO, 1992; OECD 1994; NRIAGU, 1980; NRIAGU, 1989).

Míg a földkéreg kadmium tartalma átlagosan 0,1-0,5 ppm között mozog, addig az üledékes kőzetekben mérhető kadmium szint ennek a mennyiségnek a többszöröse, akár az 500 ppm-et is elérheti. Az ilyen üledékes kőzetek eróziója révén becslések szerint évi mintegy 15000 tonna kadmium kerül a Föld óceánjaiba (WHO,1992; OECD, 1994).

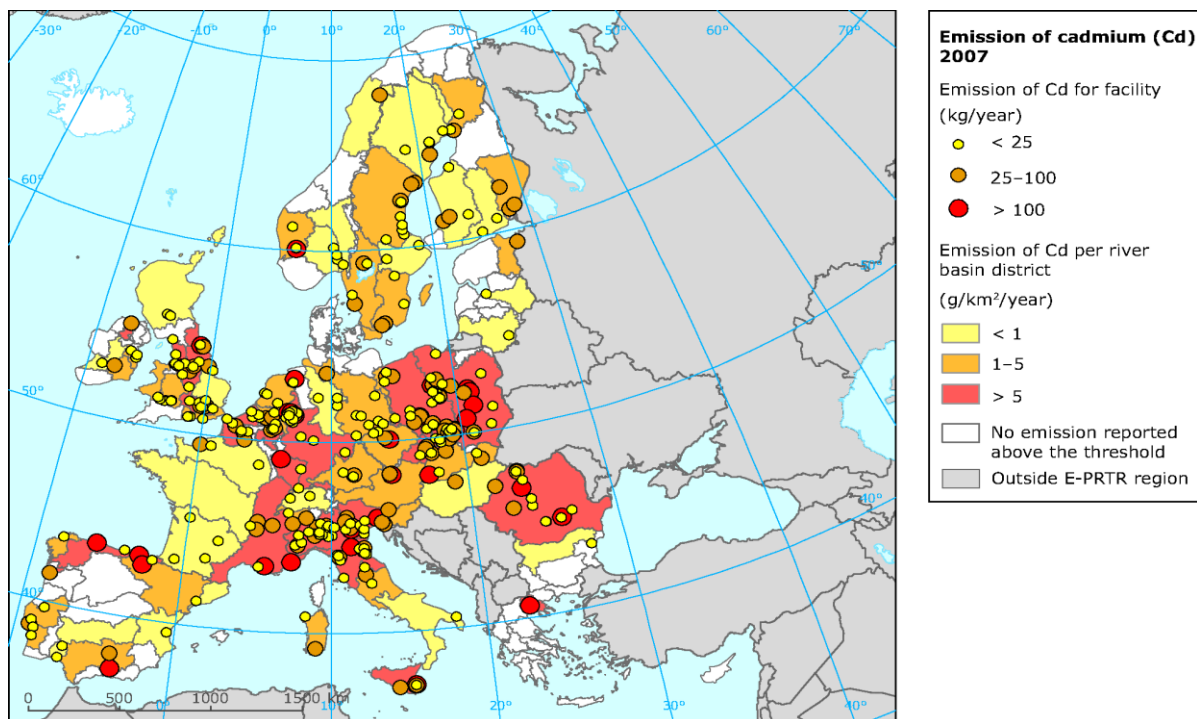
A vulkáni tevékenység szintén hozzájárul a természetes kibocsátáshoz, a becslések szerint évente 820 tonnával (WHO, 1992; OECD 1994; NRIAGU, 1980; NRIAGU, 1989). A harmadik természetes emisszió forrásként pedig az erdőtüzeket emelhetjük ki, melyek évente 1-70 tonna közötti mennyiséggel növelik a légkör kadmium koncentrációját (NRIAGU, 1980).

4.2. Antropogén eredetű kadmium emisszió

4.2.1. Az antropogén emisszió mértéke

Az emberi eredetű kibocsátás nagymértékben hozzájárul környezetünk kadmium terheléséhez. Számos európai nagyváros esetében például a kadmium vizekbe történő bevezetése meghaladja 100 kg/év mennyiséget, mely kibocsátásért elsősorban az ipari tevékenységek, valamint a tönkrement horganyzott csövek a felelősek. Budapest esetében évi 25-100 kg közötti kibocsátással kell számolnunk (<http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/emissions-of-cadmium-to-water>; <http://www.ervrt.hu/cgi-bin/index.php?hlid=33>).

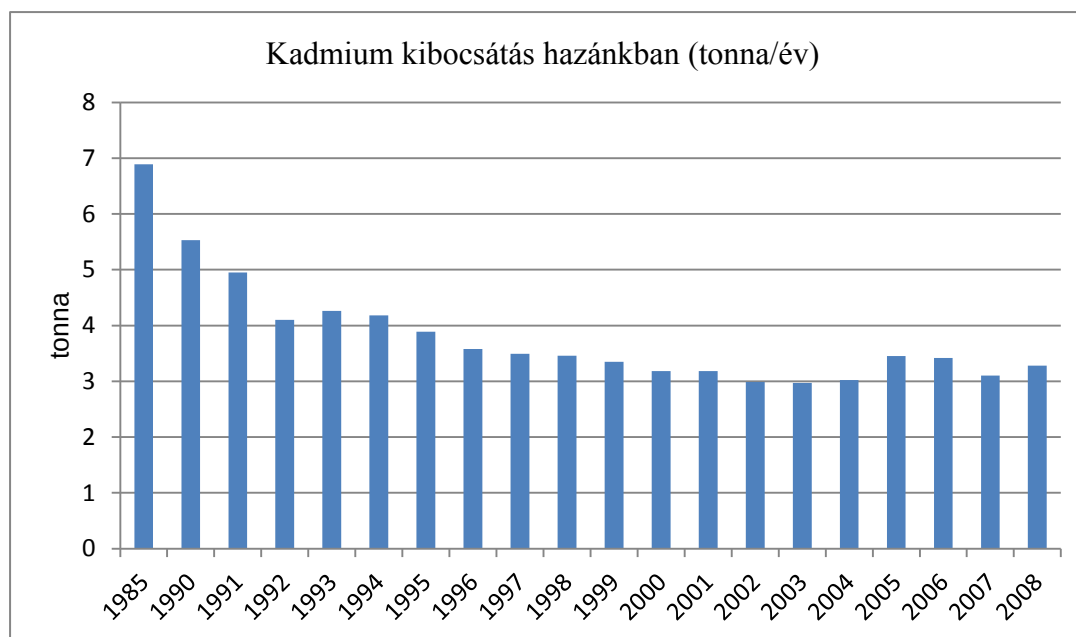
Az Európában jellemző kibocsátási értékekről a 2. ábra ad bővebb tájékoztatást.



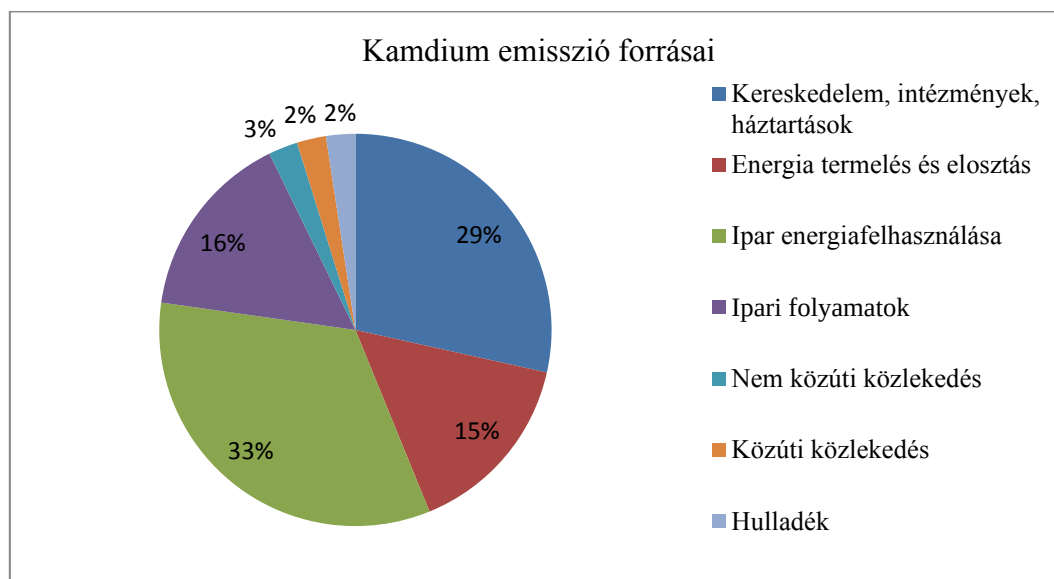
2. ábra: Kadmium vizekbe történő emissziója az EEA tagországokban (2007)
 (<http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/emissions-of-cadmium-to-water>)

Emberi tevékenységek következményeképp 1995-ben globálisan körülbelül 3000 tonna kadmium került az atmoszférába, ami meghaladja a 150-2600 t/év természetes légköri emissziót (NORDIC COUNCIL OF MINISTRES, 2003).

Európához és Észak-Amerikához hasonlóan a kadmium légköri emissziója Magyarországon is csökkent az utóbbi időszakban (PACYNA és PACYNA, 2001; <http://statinfo.ksh.hu/Statinfo/haViewer.jsp>). Hazánkban a legmagasabb értéket 1980-ban mérték, amikor az éves kibocsátás 7,3 tonna volt. Az ezt követő éveket már alacsonyabb emisszió jellemezte. A legalacsonyabb éves kibocsátás 2,97 tonna volt 2003-ban. Ezt követően azonban az emisszió újra növekvő tendenciát mutat (3. ábra) (<http://statinfo.ksh.hu/Statinfo/haViewer.jsp>). Az Európai Környezetvédelmi Ügynökség (EEA) tagországaiban mért légköri kadmium emisszió források szerinti megoszlását a 4. ábra mutatja be.



3. ábra: Kadmium emisszió Magyarországon (tonna/év)
(<http://statinfo.ksh.hu/Statinfo/haViewer.jsp>)



4. ábra: Kadmium emisszió megoszlása az EEA tagországokban (2009)
(<http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/sector-split-of-emissions-of-selected-heavy-metals-eea-member-countries-1>)

4.2.2. Az emberi eredetű kibocsátás forrásai

4.2.2.1. Ipari és bányászati tevékenységek

A kadmium szintjét fokozó legfontosabb ipari tevékenységek a következők: vas- és cinkkohászat, acélgyártás, szemétiégetés, foszfor műtrágyák gyártása, festékgyártás, akkumulátorgyártás (nikkel-kadmium akkumulátorok), csapágyfémgyártás, PVC-gyártás (CSATHÓ, 1994; DEBRECZENI, 1999; <http://www.med-courier.com/index.phtml?pid=230000&id=121>; <http://www.kockazatos.hu/anyag/kadmium>).

2003-as adatok szerint az ipar évente mintegy 16,9 millió tonna kadmiumot használt fel, ennek 78-86%-át nikkel-kadmium akkumulátorok előállításához. Egy AA-típusú nikkel-kadmium elem akár 4 g-ot is tartalmazhatott a nehézfém-ből, de 2004-ben az EU valamennyi műszaki cikkben betiltotta a kadmium használatát (<http://www.kockazatos.hu/anyag/kadmium>).

Arról, hogy az ipari tevékenységek valóban a környezet nehézfém-szennyezettségét okozzák, számos vizsgálati eredmény árulkodik.

HORVÁTH (1980) vizsgálatai kimutatták, hogy a nagytétényi ólomkohó hulladéktárolója mellett 115 mg/kg kadmium tartalom mérhető a felszínen. A kadmium tartalom ugyan a mélységgel folyamatosan csökkent, de még 185-190 cm-es mélységen is kimutatható volt 0,9 mg/kg kadmium.

SZABÓ (1990) tíz évvel később szintén Nagytétényen végzett kutatásokat. A vizsgálat során a talajmintákat a Metallochemia gyárat körülvevő konyhakertekből vették 0-10 cm, 10-20 cm és 20-40 cm mélységekből. A minták többségében a megengedhető koncentrációnál magasabb értékeket kaptak, helyenként annak kétszeresét, háromszorosát. A legnagyobb szennyeződés a talaj felső 0-10 cm-es mélységében jelentkezett, ami légköri kiülepedésre utal. A szennyezés mértéke a gyártól távolodva, az uralkodó széliránynak megfelelően csökkent.

4.2.2.2. Közlekedés

A közlekedés okozta kadmium szennyeződés főként a gumiköpenyek porlására és a fém alkatrészek kopására vezethető vissza (CSATHÓ, 1994). A szennyezés légköri kiülepedés útján a talajba kerül.

Az M7-es autópálya menti talaj nehézfém tartalmát KÁDÁR (1993) ismertette. A mintavétel 1991. október 30-31-én történt. A kadmium tartalom az úttól 1 méterre 0,24 mg/kg szárazanyag volt. Az úttól 10 méterre 0,12 mg/kg-ot, 100 méteres távolságban pedig 0,1 mg/kg-ot mértek.

4.2.2.3. Tüzelőberendezések

A kadmium légköri koncentrációjának növekedéséhez a fosszilis tüzelőanyagok, elsősorban a szén égetése is hozzájárul. A szénerőművek porkibocsátásának mérséklése, valamint az olajtüzelésről gáztüzelésre való átállás következtében azonban az utóbbi időben csökkent az ilyen forrásból származó emisszió

(<http://www.med-courier.com/index.phtml?pid=230000&id=121>).

4.2.2.4. Műtrágyázás

A termésmenvelő anyagok közül elsősorban a foszforműtrágyákat kell kiemelni, mivel ezek esetében figyelhető meg bizonyos mértékű kadmium szennyezettség.

A foszfor a növényi szervezetek életében meghatározó szereppel bír, nagy mennyiségben igényelt tápelem, ennek megfelelően az esszenciális makroelemek közé soroljuk. Részt vesz szinte minden növényi anyagcsere-folyamatban, a légzésben, a fotoszintézisben, serkenti a virág- és magképződést, valamint meghatározó szerepet játszik olyan fontos vegyületekben, mint például DNS, RNS, ATP, ADP stb. Foszfor utánpótlással mérsékelhető a termés-ingadozás, javítható a talajtermékenység és a termésminőség (FÜLEKY, 1999).

A foszfor műtrágyák növényre, talajra gyakorolt kedvező hatásai mellett, azonban nem szabad megfeledkeznünk arról, hogy nem megfelelő termésmenvelő választása, és tartós alkalmazása esetén kadmium felhalmozódással számolhatunk (CSATHÓ, 1994).

Foszfor műtrágyák esetében a maximálisan megengedhető kadmium koncentráció 20 mg/P₂O₅ kg. NPK műtrágyák esetében szintén legfeljebb 20 mg/P₂O₅ kg lehet a kadmium tartalom, míg kálium műtrágyák, mikroelem műtrágyák, szerves trágyák, gilisztahumuszok, talajjavító anyagok, növény- és talajkondicionáló készítmények esetében ennél alacsonyabb, 2 mg/kg az előírás (NÖVÉNYVÉDŐ SZEREK, TERMÉSMENVELŐ ANYAGOK, 2010).

A magyarországi előállítású foszfor műtrágyák 1,1-1,4 mg/kg kadmium tartalommal jellemezhetőek. Ez az alacsony érték az alacsony kadmium tartalmú nyersfoszfátok (például: Kóla-foszfát) felhasználásnak köszönhető. Egyes országokban azonban előfordul, hogy magas, akár 40-60 mg/kg kadmium tartalmú foszforit alapú műtrágyákat alkalmaznak (például korábban Svédországban is). A legmagasabb kadmium szinttel a Thomasfoszfát, a Hyperfoszfát és a Fini foszfát jellemezhető (2. táblázat) (CSATHÓ, 1994; FÜLEKY, 1999).

Kálium műtrágyák elhanyagolható mennyiségben tartalmaznak kadmiumot, a nitrogén műtrágyák pedig vagy egyáltalán nem, vagy csak nyomokban (CSATHÓ, 1994.) KÁDÁR (1991) vizsgálatai alapján a hazai és külföldi előállítású NPK műtrágyák kadmium tartalma 0,1-102 mg/kg között mozog.

Magyarország mezőgazdasági területein műtrágyázás következtében csupán minimális kadmium felhalmozódás következett be (CSATHÓ, 1994).

Műtrágya	Cd-tartalom (mg/kg)
Pétisó	-
Karbamid	-
Szuperfoszfát	1,2
Hyperfoszfát	29,8
Termofoszfát	22,3
Thomasfoszfát	101,8
Fini foszfát	40,5
Kálisó	1,2

2. táblázat: Műtrágyák kadmium tartalma (KÁDÁR, 1992)

4.2.2.5. Szennyvizek, szennyvíziszapok

A szennyvizek és szennyvíziszapok nagy mennyiségű nehézfémeket tartalmazhatnak. Ennek jelentősége elsősorban szennyvíztisztítás hiányában, valamint mezőgazdasági hasznosítás esetén van. A lakosság 37 %-a csatornázatlan területen él, szennyvizük közvetlenül a talajba kerül. Bizonyos települések szennyvize pedig szinte teljes mértékben tisztítatlanul jut folyóinkba. A szennyvíz magas nehézfém koncentrációja következtében a környezet súlyosan károsodik (<http://www.foraqua.hu/karos-anyagok-a-vizben.html>).

A szennyvíz tisztítása után visszamaradó iszap elhelyezése napjainkban egyre inkább előtérbe kerül. Egy lehetséges alternatívát jelent az iszap mezőgazdasági hasznosítása, mellyel nem csak a hulladék elhelyezésének problémája oldható meg, hanem még az érintett talajok művelhetősége, vízgazdálkodási tulajdonságai is javíthatók, emellett gazdag tápelem- és szervesanyag tartalma biztosítja a növények tápelemigényének kielégítését. A mezőgazdasági felhasználás szabályozását a következő rendelet tartalmazza: 50/2001. (IV. 3.) Korm. rendelet a szennyvizek és szennyvíziszapok mezőgazdasági felhasználásának és kezelésének szabályairól. A rendelet az Európai Közösségek kapcsolódó jogszabályával (a Tanács 86/278/EGK irányelv a környezet, és különösen a talaj védelméről a szennyvíziszap mezőgazdasági felhasználásával kapcsolatban) összhangban készült (HORVÁTH, 2004).

A szabályozás célja, hogy a szennyvizek és szennyvíziszapok szakszerű mezőgazdasági felhasználásával elkerülhetővé váljon a talaj, a felszín alatti és felszíni vizek, valamint élőlények egészségének károsodása (HORVÁTH, 2004).

Magyarországon a szennyvíziszap mezőgazdasági célú felhasználásában növekedés következett be. A kezelt területek nagysága 1998-ban összesen 4376 hektár volt. Ez az érték 2002-re 6698 hektárra emelkedett. Az ebben az időszakban felhasznált szennyvíziszap kadmium tartalma

Bács-Kiskun megye (0,16 mg/kg) és Veszprém megye (0,81 mg/kg) esetében meglehetősen alacsony volt. A legmagasabb kadmium tartalmat a Zala megyében felhasznált szennyvíziszap esetében mérték, 3,31 mg/kg-ot, de még ez is jelentősen a 10,00 mg/kg-os határérték alatt marad (HORVÁTH, 2004).

Néhány szennyvíziszap kijuttatásos tartamkísérlet alapján azonban bebizonyosodott, hogy megfelelő hatásfokú tisztítás hiányában, az adott területre szennyvíziszappal kijuttatott fémmennyiség igen magas is lehet. A tartamkísérletek a kijuttatott fémek mélységi elmozdulását is vizsgálták. A nehézfémek legnagyobb mennyiségben a talaj felső 0-20 cm rétegében halmozódtak fel. A vizsgált fémek közül a kadmium mosódott le a legmélyebbre: a kijuttatott mennyiség 6%-át a 60-80 cm, 3%-át pedig a 80-100 cm talajrétegben mutatták ki (JUSTE és MENCH, 1992).

4.2.2.6. Öntözés

OBERCASH és PAL (1979) mérései szerint a mezőgazdasági területekre kijuttatott öntözővíz esetében 0,01 mg/l kadmium koncentrációval kell számolnunk, míg tisztított szennyvíz esetében ennek felével.

4.2.2.7. Száraz és nedves ülepedés az atmoszférából

A talajok nehézfém szennyezettségét a száraz és a nedves légköri kiülepedés is növeli.

A kadmium atmoszférából történő ülepedését a K-pusztai mérőállomáson 1981 és 1986 között tanulmányozták. A légköri aeroszolk kadmium tartalmát 1981-től, a csapadék kadmium tartalmát pedig 1984-től mérték. Az évi átlagos kadmium ülepedés 0,72 mg/m² volt (CSATHÓ, 1994). A mérési adatokról a 3. táblázat ad részletesebb tájékoztatást.

Időszak	Száraz Cd ülepedés (mg/m ²)	Nedves Cd ülepedés (mg/m ²)	Száraz+nedves Cd ülepedés (mg/m ²)
1981. VI-XII.	0,005	-	-
1982	0,006	-	-
1983	0,004	-	-
1984	0,004	0,712	0,716
1985	0,004	0,552	0,556
1986. I-VIII.	0,005	0,871	0,876

3. táblázat. Száraz és nedves Cd ülepedés (MÉSZÁROS, 1988)

5. Kadmium az élőszervezetekben

A kadmium rendkívül toxikus hatású nehézfém. Már kis koncentrációban is veszélyt jelent növények, állatok és emberek számára is (DEBRECZENI, 1999).

5.1. Kadmium növények általi felvétele, akkumulációja és fitotoxikus hatásai

5.1.1. Növények kadmium felvétele, befolyásoló tényezők

A kadmium növények általi felvételének két módja létezik:

- felvétel a levegőből
- felvétel a talajból (FODOR, 2003).

Az atmoszférikus felvétel a levelek epidermisz sejtfalának és kutikuláris membránjának határán lévő, plazmát nem tartalmazó csatornácskákon keresztül megy végbe, mértéke pedig függ a kutikula permeabilitásától (GREGER et al., 1993).

A növények nehézfém felvétele ugyan a leveleken keresztül is számottevő (FODOR, 2003), elsődleges akkumuláló szervnek mégis a gyökeret tekintjük, hiszen a felvétel elsősorban a talajoldatból történik (HERNÁNDEZ et al., 1998; SIMON; 1998, JIANG et al., 2000; ZHANG et al., 2000; FARGASOVÁ, 2001; PIECHALAK et al., 2002).

A növények kadmium felvétele a talaj kadmium tartalmával arányos, de több tényező is alakítja (KOVÁCS et al., 1998; DEBRECZENI, 1999).

A növények általi felvehetőséget befolyásoló tényezők:

- talajtulajdonságok
- növény, növényi rész
- agrotechnika
- környezeti tényezők.

A talajtulajdonságok közül elsősorban a talaj pH-ja, valamint szervesanyag tartalma és tápanyag ellátottsága van hatással a növények kadmium felvételére. A savanyú talajon termesztett növények ugyanis valamivel több kadmiumot vesznek fel, mint a semleges talajon termesztettek. Ennek oka, hogy a pH hatást gyakorol a nehézfémek mozgására, gyökér általi hozzáférhetőségére és a felvétel folyamataira. A megfelelő tápanyagellátás szerepe pedig a növényvigor javításában nyilvánul meg, ami a nehézfémekkel szembeni jobb ellenállást eredményezheti (CSATHÓ, 1994; KOVÁCS et al., 1998).

RUETHER és LABANAUKAS (1966) kutatásai azt bizonyítják, hogy a nehézfémek felvétele függ a gyökér lejutási mélységétől és eloszlásától, illetve attól, hogy élő vagy egyéves növényről van-e szó. Az élő növények ugyanis az alacsonyabb fémtartalommal jellemezhető talajzónában terjesztik ki gyökérzetüket.

Megfelelő agrotechnikai eljárások révén javítható a növényvigor és a nehézfémekkel szembeni tolerancia. Ügyelnünk kell azonban arra is, hogy a helytelenül megválasztott agrotechnikai eljárások fel is erősíthetik a fémek toxikus hatását (CSATHÓ, 1994).

A környezeti tényezők befolyásolhatják a fémek mozgását, a növényvigort. Magasabb talajhőmérséklet mellett például nagyobb a növények kadmium felvétele, amit JUSTE, GOMEZ és DESENFANTS (1989) vizsgálatai is bizonyítanak. A hőmérsékleten kívül hatással lehet még a fémfelvételre a sugárzás és a csapadék mennyisége is (CSATHÓ, 1994).

5.1.2. Kadmium növények általi akkumulációja

A felvételt követően a kadmium a növények gyökerében felhalmozódik és megkötődik a látszólagos szabadhelyeken (CIESLINSKI et al., 1996; SIMON, 1998). A felhalmozott kadmium jelentős része a növények gyökerében marad (FODOR, 2003). ZHANG et al., (2000) 16 búza genotípus bevonásával végzett vizsgálatai során a felvett kadmium 78%-át visszatartotta a gyökér, az összes felvételnek csupán tizede jutott a hajtásba. A kadmium hajtásba való transzlokációját a transpiráció stimulálja (SALT et al., 1995).

HINSLEY et al. (1982) szabadföldi kísérletben vizsgálta a kadmium felhalmozásra és a kadmium kizárásra szelektált kukorica hibridek különböző föld feletti részeinek kadmium tartalmát. A kísérlet során kadmium tartalmú szennyvízöntözés történt. A vizsgálat érzékelteti a különböző növényi részek eltérő nehézfém felhalmozását. A kísérlet 12. éve után, évi 6,4 mm szennyvíz kijuttatás mellett, a felső 0-15 cm talajrétegben 9 mg/kg volt a kadmium tartalom. A kadmium felhalmozó hibrid esetében a kadmium koncentráció a virágzáskori levélben 9,5 mg/kg, a szemekben 1,0 mg/kg, a szárban 14,2 mg/kg volt. Ezek az értékek kadmium kizáró kukorica hibrid esetében a következőképp alakultak: virágzáskori levélben 0,8 mg/kg, szemekben kevesebb, mint 0,06 mg/kg, a szárban pedig 1,9 mg/kg.

A felvett kadmium legkisebb mennyiségben a szemtermésekben, illetve gyümölcsökben fordul elő. A gyökér- és gumós növények, néhány kivételtől eltekintve (például: sárgarépa), pedig ehető részeikben nem halmoznak fel nagy mennyiséget a toxikus fémből (CSATHÓ, 1994).

Átlagosan 0,15-0,3 mg/kg szárazanyag kadmium koncentráció jellemzi a növényeket, azonban a különböző növényfajok eltérő toleranciát mutatnak a nehézfémekkel szemben, így különböző mértékű kadmium felhalmozódást figyelhetünk meg esetükben (DEBRECZENI, 1999). A

legerőteljesebb kadmium akkumulációval libatopfélék, keresztesvirágúak, burgonyafélék és fészkesek esetében kell számolnunk. Ezeket követik a közepes kadmium felhalmozók: az ernyősök, a liliomfélék, a pázsitfűvek és a tökfélék, végül a csekély felhalmozó pillangósvirágúak (KUBOI et al., 1986). Vizsgálatok árulkodnak továbbá arról is, hogy a tavaszi gabonák kadmium tartalma alacsonyabb, mint az őszié (DEBRECZENI, 1999).

5.1.3. Kadmiumstressz a növényekben

A kadmium növényekre gyakorolt mérgező hatása az alábbi tényezők függvénye:

- talajtulajdonságok
- koncentráció
- mérgezés időtartama
- növényfaj
- rizoszféra komplexképző anyagai (FODOR, 2003).

A növények számára kritikus kadmium koncentráció DEBRECZENI (1999) adatai szerint 5-10 mg/kg szárazanyag.

Ha a növényekben túl sok kadmium akkumulálódik, az növekedésük és fotoszintézisük gátlásával, a vízháztartás felborulásával, az ionfelvétel zavarával járhat. Kadmiumtoxicitás léphet fel, melynek tünetei KABATA-PENDIAS és PENDIAS (1989) szerint a következők:

- gátolt növekedés
- barnuló szélű levelek
- összekunkorodó levelek
- vöröses levélér és levélnyel
- klorózis.

Több nehézfémét összehasonlítva (kadmium, nikkel, ólom, réz) a kadmium akkumulálódása okozza a legnagyobb mértékben a növények gátolt növekedését (BURZYNSKI és BUCZEK, 1994). Elsősorban a kezelt növények gyökerének növekedése mérséklődik, de csökken a hajtások víztartalma és friss tömege is (WÓJCIK és TUKENDORF, 1999). Emellett a gyökerek hossznövekedése is gátolt, melynek oka, hogy csökken a mitózis, a gyökérsejtek nyúlásának mértéke, valamint a sejtfalalkotók szintézise (ERNST et al. 1992; PUNZ és SIEGHARDT, 1993). A legnagyobb mértékű növekedésgátlást káliumhiányos növényeknél figyeltek meg, a hatás tehát összefüggésben van a növények kálium ellátottságával (TRIVEDI és ERDEI, 1992).

A gátolt fotoszintézis a fotoszintetikus pigmentek számának csökkenésével magyarázható (FODOR, 2003). Borsó csíranövényben a kadmium a klorofill tartalom és a fotoszintetikus enzimek

működésének csökkenését okozta, aminek következtében visszaesett a fotoszintetikus aktivitás (CHUGH és SAWHNEY, 1999). Kadmiumstressz hatására csökkent a szénhidrátok és szabad aminosavak mennyisége is (GADALLAH, 1995; COSTA és SPITZ, 1997).

A kadmiummal kezelt növények friss tömegének és fotoszintetikus aktivitásának csökkenése a vízpotenciál és a transzspiráció csökkenésével jár (VASSILEV et al., 1998). A mérsékelt transzspiráció oka, hogy kadmium hatására csökken a sztómák megvilágítás melletti nyitódása (PERFUS- BARBEOCH et al., 2002). A sztómaelzáródás következményeképp csökken a nitrát- és a káliumtranszport is (FODOR, 2003).

A növények ionfelvételét és leadását a membránokban működő transzport mechanizmusok határozzák meg, melyek nehézfémek jelenlétére különösen érzékenyek (MARSCHINER és RÖMHELD, 1983). ZHANG et al. (2000) 16 búza genotípus bevonásával végzett vizsgálata során a kadmium bor, foszfor, magnézium, molibdén, mangán és kén koncentrációjának csökkenését idézte elő a kezelt növények gyökerében és hajtásában, míg vas esetén növekedés következett be. A kalcium koncentráció a gyökérben növekedett, a hajtásban csökkent, káliumnál pedig épp ellenkezőleg változott.

Kadmiumstressz során megváltoznak a membrán struktúrák, csökken az ATP-áz aktivitás (FODOR, 1995) és a gyökérlégzés (LLAMAS et al., 2000).

5.2. Állatok és emberek kadmium felvétele, akkumulációja, valamint a hatások

5.2.1. Állatok és emberek kadmium felvétele

Születéskor sem az állatok, sem az emberek szervezetében nincs kadmium, az évek során folyamatosan halmozódik fel (UNDERWOOD, 1977).

A kadmium szervezetbe jutása történhet a levegőből, az ivóvízből, takarmányok/élelmiszerek útján, a dohányzás és kozmetikai szerek alkalmazásának hatására (KOVÁCS et al., 1998). A nem dohányzók körében a kadmium expozíció 90 %-áért felelősek az élelmiszerek, a fennmaradó 10 % a levegőből és az ivóvízből kerül a humán szervezetbe (VAHTER et al., 1991; OLSSON et al., 2002; UNEP, 2008). Az élelmiszereken belül pedig leginkább a zöldségeket, a cereáliákat és az állati eredetű termékeket nevezhetjük meg forrásként (KOVÁCS et al., 1998).

Az EFSA (European Food Safety Authority) 2009-ben felmérte a különböző élelmiszer típusok kadmium tartalmát. A kapott értékeket a 4. táblázat foglalja össze.

2009-ben a EFSA 2,5 µg/ttkg-os tolerálható heti beviteli értéket (TWI) állapított meg kadmiumra vonatkozóan. Felméréseik alapján az európai átlag expozíció ettől nem sokkal marad el:

2,27 µg/ttkg hetente, Magyarországon 2,16 µg/ttkg/hét (EFSA, 2009). A kadmium felvétel azonban világszerte tág határok között változhat, például Japánban, Tajvanban, Szingapúrban az európai átlagot jelentősen meghaladva, egy felnőtt ember esetében összesen akár napi 200 µg is lehet (a napi teljes expozíció Európában 15-30 µg közötti) (MASIRONI et al., 1977, SUZUKI et al., 1980).

Élelmiszer kategória	Előfordulás (mg/kg)	Korrigált előfordulás (mg/kg)
Gabonák és gabonakészítmények	0,0231	0,0163
Cukrok és édességek	0,0312	0,0264
Zsírok (növényi és állati)	0,0062	0,0062
Zöldségek és diófélék	0,0670	0,0189
Gumósok, burgonya	0,0211	0,0209
Gyümölcsök	0,0039	0,0039
Zöldség- és gyümölcslevek, üdítők, palackozott víz	0,0016	0,0010
Kávé, tea, kakaó	0,0041	0,0018
Alkoholos italok	0,0021	0,0042
Húsok, húskészítmények és belsőségek	0,0974	0,0165
Halak és tenger gyümölcsei	0,0923	0,0268
Tojás	0,0030	0,0030
Tejek és tejtermék alapú termékek	0,0046	0,0039
Élelmiszer különleges táplálkozási célra és vegyes	0,0941	0,0244
Csapvíz	0,0004	0,0004

4. táblázat: Kadmium előfordulása különböző élelmiszerekben (EFSA, 2009)

5.2.2. Kadmium felhalmozódása az állati és a humán szervezetben

A kadmium a rosszul felszívódó elemek közé sorolandó. Állatok esetében 2%-a, embernél pedig 6%-a szívódik fel, a többi a bélsárral távozik. Ha a felvétel belégzéssel történt, akkor 10-40%-os felszívódással számolhatunk (FRIBERG et al., 1974; FLANAGAN et al., 1978; MCLELLAN et al., 1978).

A kadmium mozgása a szervezetben lassú, biológiai tartózkodási ideje pedig meglehetősen hosszú, emberi szervezetben 10-30 évre becsülhető. Lassan ürül ki a szervezetből, ezért kumulatív

terhelést okoz (FOX, 1982; FRIBERG, 1984; KÁDÁR, 1995). Mennyisége az emberek 50. életévéig nő, majd csökkenni kezd (PAIS, 1980).

Az évek során akkumulálódó kadmiumnak kb. fele a vesébe és a májba kerül (KJELLSTRÖM, 1979; LIVINGSTONE, 1979). Emberi vese kadmium tartalma például 15-60 µg/kg nedves súly (KOVÁCS et al., 1998). Az Országos Élelmiszervizsgáló Intézet adatai szerint (1991-1995) viszont szarvasmarhák veséjében ez az érték akár 450-560 µg/kg is lehet. Ezzel szemben a csontszövet, a zsírszövet, a vázizomzat és az agy igen alacsony koncentrációval jellemezhető (KOVÁCS et al., 1998).

KOVÁCS és munkatársai (1998) vizsgálatai kimutatták, hogy a nők vérében mért kadmium szint a szülést követően minimálisra csökken, a tejben azonban növekszik. Ezt a jelenséget tejelő tehenek esetében is megfigyelték, ahol a kadmium tartalom még a laktációs csúcstermelés időszakában is 10-20 nmol/l volt.

5.2.3. Kadmium hatása az állati és az emberi szervezetre

A kadmium állati és emberi szervezetben egyaránt toxikus lehet (KOVÁCS et al., 1998). A nehézfém károsan befolyásolja az enzimek működését. Veszélyessége elsősorban abból fakad, hogy a hozzá kémiaiilag hasonló cinket az enzimekben helyettesíteni képes. Ilyen körülmények között azonban az enzimek nem képesek betölteni funkcióikat (PAPP, 1983). Az elem DNS-hez vagy aminosavakhoz (például: hisztidinhez) kötődhet, és már alacsony koncentráció mellett is gátolhatja az oxidatív foszforilációt, a citokróm P450 szintézisét és a sejtosztódást (FOX, 1982).

A kadmium közvetlenül nem módosítja a DNS-t, viszont gátolja a DNS regeneráló enzimek működését, így a sejtek a külső hatásokkal szemben érzékenyebbekké válnak, valamint egyes káros tényezők mutagén hatása is növekszik (GIAGINIS et al., 2006).

A kadmium szervezetben kiváltott hatása különböző lehet attól függően, hogy az adagolás egyszeri nagy mennyiségben, vagy kis dózisok formájában, elnyújtva történt-e (MERTZ, 1986).

A kadmium akut hatásaként különböző szervek és szövetek elváltozása jelentkezhet (BERNARD és LAUWERYS, 1986). Rövid idejű belégzés során a kezelt állatok tüdőelváltozása tapasztalható, nagy dózis esetén letális ödéma. Embereknél 5 mg/m³ kadmium nyolc órán keresztüli inhalációja okozhat mortalitást (FRIBERG et al., 1974).

Nagy adagú perorális felvétel esetén patkányoknál elsősorban májkárosodás, embereknél gastrointestinális elváltozás lép fel. Tünetként jelentkezhet rosszullét, hányás, hasi görcs, émelygés (VERSIECK et al., 1982).

Egyszeri, szájon át történő felvételnél a legmagasabb bevihető mennyiség, melynél káros hatás még nem észlelhető, 3 mg kadmium/fő, a letális dózis pedig 350 és 8900 mg közötti. A

halálozás oka lehet túlzott folyadékvesztés, ödéma, illetve szervi elégtelenség (BERNARD és LAUWERYS, 1986).

Takarmányok magas kadmium koncentrációja az állatoknál fejlődési visszamaradást és rendellenességet, csontnövekedési-zavart, vesekárosodást válthat ki (VERSIECK et al., 1982).

A kadmium krónikus hatásaként embereknél és állatoknál egyaránt vesekárosodás jelentkezik, melyet a vesetubulusok strukturális elváltozása okoz (FRIBERG, 1984). Emellett vérnyomásváltozás, cardiotoxicitás és tüdőkárosodás is jelentkezhet (PETEGING et al., 1979).

Az állati és az emberi méhlepényben is akkumulálódik a kadmium, a magzathoz azonban csak minimális mennyiségben jut el (KOVÁCS et al., 1998). Nagy adagú kadmiuminjekció vemhes patkányok placentájának szétesését, a vemhesség megszakadását okozta (PAIS, 1980). Kadmium túlsúllyal összefüggő tünetek KÁDÁR (1995) szerint:

- csontlágyulás
- csonttritkulás
- ízlelési és szaglási zavarok
- fehérjevizelés
- hányinger
- étvágytalanság
- magas vérnyomás
- alacsony vérnyomás.

TAKENAKA és munkatársai (1983) állatkísérleteik során rákkeltő hatást gastrointestinális felvétel esetén nem tapasztaltak. Inhalációs úton történő felvétel esetén azonban már észlelhető volt az elem karcinogén hatása.

6. A kadmiumra vonatkozó jogi szabályozás

6.1. Földtani közegre, felszíni és felszín alatti vizekre, levegőre vonatkozó rendeletek

A kadmium földtani közegben, valamint felszín alatti vizekben megengedhető koncentrációit meghatározó rendelet a 6/2009. (IV. 14.) KvVM-EüM-FVM együttes rendelet a földtani közeg és felszín alatti víz szennyezéssel szembeni védelméhez szükséges határértékekről és a szennyezések méréséről.

Szennyezettségi határérték:

- földtani közeg: 1 mg/kg szárazanyag
- felszín alatti víz: 5 µg/l

(http://www.complex.hu/jr/gen/hjegy_doc.cgi?docid=A0900006.KVV).

A nehézfém felszíni vizekbe történő bevezetését a 10/2010. (VIII. 18.) VM rendelet a felszíni víz vízszennyezettségi határértékeiről és azok alkalmazásának szabályairól szóló rendelet korlátozza.

A rendelet kadmiumra és vegyületeire vonatkozóan, a vízkeménységi osztálytól függően az alábbi maximálisan megengedhető kadmium koncentrációkat határozza meg:

- 1. osztály: $\leq 0,45$ µg/l
- 2. osztály: 0,45 µg/l
- 3. osztály: 0,6 µg/l
- 4. osztály: 0,9 µg/l
- 5. osztály: 1,5 µg/l.

(http://www.complex.hu/jr/gen/hjegy_doc.cgi?docid=A1000010.VM).

A levegőben megengedhető maximális kadmium koncentrációt megfogalmazó rendelet a 4/2011. (I. 14.) VM rendelet a levegőterheltségi szint határértékeiről és a helyhez kötött légszennyező pontforrások kibocsátási határértékeiről. Ez a rendelet a kadmiumot, mint rákkeltő anyagot, a különösen veszélyes légszennyező anyagok csoportjába sorolja. A nehézfémre és vegyületeire vonatkozó éves légköri határérték $0,005$ µg/m³, az ökológiai rendszerek védelmében meghatározott megengedett ülepedés pedig évi $0,05$ kg/ha (<http://www.kozlonyok.hu/nkonline/MKPDF/hiteles/mk11004.pdf>).

6.2. Takarmányokra vonatkozó rendeletek

Az 58/2006 (VIII. 11.) FVM rendelet szabályozza a különböző nem kívánatos anyagok és vegyületek takarmányokban elfogadható mennyiségét. A kadmiumra megállapított határértékek a következők (12%-os nedvességtartalom mellett).

- növényi eredetű takarmány-alapanyagok: 1 mg/kg
- állati eredetű takarmány-alapanyagok: 2 mg/kg
- ásványi eredetű takarmány-alapanyagok: 2 mg/kg
 - kivéve foszfátok: 10 mg/kg
- nyomelemek funkcionális csoportjába tartozó adalékanyagok: 10 mg/kg
 - kivéve réz-oxid, mangán-oxid, cink-oxid és mangán-szulfát monohidrát: 30 mg/kg
- kötőanyagok és csomósodásgátló anyagok funkcionális csoportjába tartozó adalékanyagok: 2 mg/kg
- előkeverékek: 15 mg/kg
- kedvtelésből tartott állatok kiegészítő takarmányai: 2 mg/kg
- egyéb kiegészítő takarmányok: 0,5 mg/kg
- teljes értékű szarvasmarha-, juh- és kecsketakarmányok, valamint haltakarmányok: 1 mg/kg, kivéve:
 - kedvtelésből tartott állatok teljes értékű takarmányai: 2 mg/kg
 - borjak, bárányok és kecskegidák teljes értékű takarmányai és egyéb teljes értékű takarmányok: 0,5 mg/kg

(http://www.agraroldal.hu/58-2006-viii-11-fvm_rendelet.html)

6.3. Élelmiszerekre és ivóvízre vonatkozó rendeletek

Az ivóvízzel kapcsolatos előírásokat megfogalmazó rendelet a 201/2001. (X. 25.) Korm. rendelet az ivóvíz minőségi követelményeiről és az ellenőrzés rendjéről. A rendelet értelmében a kadmiumra vonatkozó határérték 5,0 µg/l (<http://www.foraqua.hu/ivoviz-szabvany.html>).

Az élelmiszerekre vonatkozó határértékeket az élelmiszerekben előforduló egyes szennyezőanyagok felső határértékeinek meghatározásáról szóló 1881/2006/EK rendelet, valamint annak módosításai, a 629/2008/EK és a 420/2011/EU rendeletek szabályozzák. A különböző élelmiszerek megengedhető kadmium tartalmát az 5. táblázat mutatja be.

6.4. Egyéb rendeletek

- 25/2000. (IX. 30.) EüM-SzCsM együttes rendelet: munkahelyek kémiai biztonságára vonatkozóan $0,015 \text{ mg/m}^3$ megengedhető koncentrációt fogalmaz meg
- 94/2002. (V. 5.) Kormányrendelet: csomagolásra és csomagolási hulladéokra vonatkozóan 100 ppm-es maximálisan tolerálható értéket ír elő
- 2002/95/EK irányelv: tiltja a kadmium használatát a legtöbb újonnan forgalomba hozott elektronikai eszközben, a kadmium tartalom a kivételek esetében sem lehet 0,002 % felett
- 1907/2006/EK rendelet: kadmium és vegyületeinek műanyagokban, festékekben, valamint bizonyos fém cikkekben való felhasználását korlátozza

(<http://www.kockazatos.hu/anyag/kadmium>).

Élelmiszer	Felső határérték (mg/kg nedves tömeg)
Szarvasmarhafélék, juh, sertés, baromfi húsa (belsőségek kivételével)	0,050
Lóhús (belsőségek kivételével)	0,20
Szarvasmarhafélék, juh, sertés, baromfi és ló mája	0,50
Szarvasmarhafélék, juh, sertés, baromfi és ló veséje	1,0
Halak színhúsa (bizonyos fajok kivételével)	0,050
Szardella, tonhalfélék színhúsa	0,10
Kardhal színhúsa	0,30
Rákfélék: végtagok és has színhúsa. Tarisznyarágók és tarisznyarászerű rákfélék esetén végtagok színhúsa	0,50
Kéthéjú kagylók és lábasfejúk	1,0
Gabonafélék (kivéve: korpa, csíra, búza és rizs)	0,10
Korpa, csíra, búza, rizs	0,20
Szójabab	0,20
Zöldség és gyümölcs (kivéve: leveles zöldségek, friss fűszernövények, leveles káposzta, gombák, szárúért termesztett zöldségek, gyökérzöldségek és burgonya)	0,050
Leveles zöldségek, friss fűszernövények, leveles káposzta, zellerfélék és a következő gombák: közöséges gomba, kagylógomba, Shiitake gomba	0,20
Szárúért termesztett zöldségek, gyökér- és gumózöldségek (kivéve gumós zeller). Burgonya esetében hámozott burgonyára alkalmazható	0,10
Főként vagy kizárólag szárított tengeri algákból/moszatokból származó termékekből vagy szárított kétféjú kagylókból álló étrend-kiegészítők	3

5. táblázat: Élelmiszerek megengedhető Cd-tartalma ([http://eur-](http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:111:0003:0006:HU:PDF)

[lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:111:0003:0006:HU:PDF](http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:111:0003:0006:HU:PDF), [http://eur-](http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2006:364:0005:0024:HU:PDF)

[lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2006:364:0005:0024:HU:PDF](http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2006:364:0005:0024:HU:PDF)

7. Anyag és módszer

7.1. Kísérlet helye, ideje, körülményei

A kísérlet Keszthelyen, a tanyakereshti Agrometeorológiai Kutatóállomáson zajlott 2010 és 2011 tenyészidőszakában.

A meteorológiai hálózat aktív részét képező Agrometeorológiai Kutatóállomás szakmai felügyeletét az Országos Meteorológia Szolgálat és a Meteorológia és Vízgazdálkodás Tanszék látja el (KOCSIS és ANDA, 2006).

Az állomás pontos helyzete:

- szélesség: 46°44'
- hosszúság: 17°14'
- magasság: 114,2 m

(KOCSIS és ANDA, 2006).

Az állomáson különböző klímaadatok - mint a léghőmérséklet, a légnedvesség, a szélesebbesség, a szélirány, talajfelszín hőmérséklet, talajhőmérséklet, csapadékmennyiség, párolgás - gyűjtése mellett, a növények vízháztartásával kapcsolatos kutatások is folynak. Számos agrometeorológiai kutatás helyszínéül szolgált már a tanyakereshti kutatóállomás, mint például szilárd szennyezőanyag növényi hatásvizsgálata, növényi stressz-index alkalmazhatósági elemzése, kukorica fajta-összehasonlító vizsgálata, jégverés szimuláció, mikroklíma megfigyelés és azok szimulációs modellezése stb. (KOCSIS és ANDA, 2006; <http://www.georgikon.hu/szervezeti-egysegek/meteorologia-es-vizgazdalkodas-tanszek>).

Az állomáson elhelyezett 24 darab talajba süllyesztett Thornthwaite-féle kompenzációs evapotranszpirométerrel mértük a növényállományok párolgását. Az evapotranszpirométerek kádjai 4m³-es tenyészedenyek, 2 m x 2 m-es felülettel és 1 m-es mélységgel, melyekben a növények számára ad libitum vízellátás biztosított (<http://www.georgikon.hu/szervezeti-egysegek/meteorologia-es-vizgazdalkodas-tanszek>).

A kadmium hatását mindkét évben kétféle vízellátás mellett vizsgáltuk. A növények egyik csoportja öntözetlen parcellákon termett, ahol csak a természetes csapadék állt rendelkezésükre, míg másik csoportjuk az evapotranszpirométerek kádjaiban vagy az öntözött parcellákon a csapadékon felül is részesült vízellátásban. Az öntözést csepegtető eljárással hajtottuk végre, ahol egy alkalommal 20-40 mm vizet juttattunk ki, 4-6 mm/óra intenzitással.

Az első évben az evapotranszpirációs kádakban és öntözetlen parcellákon folyt a kísérlet, mivel ez az év humid volt, öntözéssel nem volt szükség. A második évben öntözött

parcellákkal egészült ki a vizsgálatunk. Így bár 2011-ben kádakban, öntözött parcellákon és öntözetlen parcellákon is folytak a kezelések, szakdolgozatomban a 2011. évi kádak terméseredményeire nem térek ki, azoknak csupán evapotranszpirációját ismertetem. Az ok a 2010-es év csapadékos össze, mely valószínűleg kimosta a tápanyagokat a kádból, s a növénytáplálás és a vízellátás összhangjának megbomlása az eredmények interpretálását nem tette megfelelővé.

A parcellák mintavételi területe a kádak területéhez igazodva 4 m^2 volt. Az ismétlések száma a kádak esetében 4, a parcelláknál pedig 5 volt.

Alkalmazott kukoricahibrid a rövid tenyészidejű Sperlona (FAO-340) volt, mely egy svájci csemegekukorica. A hazai klimatikus viszonyok mellett alkalmazott hektáronkénti 70000 tónél valamivel magasabb került alkalmazásra. Ez azt jelenti, hogy a kádakban és a parcellák mintavételi területeinek 4 m^2 -én 28-31 közötti volt a tőszám.

7.2. Öntözés és tápanyag utánpótlás

A kísérlet első évében az evapotranszpirációs kádakban nevelt növények a csapadékon felül korlátozás nélkül vehették fel a megfelelő fejlődésükhöz szükséges vízmennyiséget. A parcellákon nevelt kukorica ezzel szemben nem részesült öntözésben, egyedül a csapadékot tudta hasznosítani, bár ez 2010 vegetációs időszakában a sokéves átlaghoz viszonyítva meglehetősen sok, 681 mm volt.

2011-ben az öntözött parcellákon összesen 4 alkalommal történt öntözés 1-1 hetes intervallumokban. Az első öntözésre június 23-án került sor. A kijuttatott mennyiség ekkor 15,6 mm volt. A következő öntözés alkalmával 26,6 mm, majd 30 mm, végül az utolsó öntözésnél ismét 15,6 mm víz kijuttatása történt. Így az öntözött parcellákon nevelt növények júniusban 42,2 mm-rel, júliusban 45,6 mm-rel több vizet vehettek fel, mint amennyi csapadék hullott.

A nem öntözött parcellák növényei csak a csapadékot tudták hasznosítani, más vízellátásban nem részesültek.

Műtrágya kijuttatás a kísérlet mindkét évében történt, a kijuttatott hatóanyagok a következők:

- NH_4NO_3 : 100 kg/ha
- P_2O_5 : 100 kg/ha
- K_2O : 80 kg/ha.

7.3. Kezelés és mérés

A kezelések során 10 ml/5l koncentrációjú kadmium-nitrát oldat kipermetezése történt mind a kádák, mind pedig a parcellák esetén. A kezelésekre heti rendszerességgel került sor, június elejétől augusztusig, az első évben 8, a második évben pedig 11 alkalommal.

A betakarítást 2010-ben október 12-én és 13-án, 2011-ben szeptember 21-én és 22-én végeztük.

A kádákban minden csövet betakarítottunk, a parcellákon pedig öt 2 m x 2 m-es területet jelöltünk ki, melyekről szintén minden csövet leszedtünk. A 4 m²-re jutó csövek darabszámát feljegyeztük, valamint lemértük friss tömegüket. Ez után minden ismételtsből 3-3 átlagos méretű kukoricacsövet választottunk ki, melyeknek nedves súlyát lemértük, majd a szárítószekrénybe helyeztük őket.

A mintavételi területek mindegyikéről begyűjtöttük az összes kukoricaszárát, nedves tömegüket megmértük, majd minden ismételtsből egy szárközép mintát vágunk. A szárminta friss tömegét meghatároztunk, majd a szárítószekrénybe kerültek. A szárítás 60°C-on történt súlyállandóságig.

A szárminták, valamint a kukoricacsövek kiszárítását követően lemértük és feljegyeztük azok száraz tömegét. Mivel így már ismert volt a szárminták és a csövek nedves, valamint száraz tömege is, kiszámíthattuk az adott ismételtsre jellemző, átlagos szár, illetve cső szárazanyag-tartalmat százalékban kifejezve.

A szármintákra jellemző szárazanyag-tartalom és az adott ismételtsre jellemző nedves szártömeg segítségével meghatároztuk a teljes száraz szártömeget. Az értéket a jellemző tőszámmal elosztva pedig megkaptuk egy tő átlagos száraz tömegét. A száraz száraz tömegének meghatározásához hasonlóan, a mintavételi területre jutó nedves csőtömegből és a csőminták átlagos szárazanyagtartalmából, megállapítottuk a mintavételi területekre jutó száraz csőtömeget is. A 4m²-re vonatkozó értéket az adott csőszámmal elosztva pedig megkaptuk egy cső átlagos tömegét, az ismételtsre jellemzően.

Miután a kiszárított csövekről a szemeket lemorzsoltuk, lemértük a csutkák tömegét. A csövek száraz tömegéből, valamint csutkájuk tömegéből kiszámíthatjuk a cső/szem arányt, mely meghatározza, hogy az adott ismételtsre jellemző száraz csőtömegnek hány százalékát teszi ki a száraz szemtermés tömege. Az arány segítségével tehát már a száraz szemtermés tömegét is meg tudtuk határozni 4 m²-re vonatkozóan.

A 4 m²-re számított száraz szártömeget négyfel osztva megkaptuk az 1 m²-re jutó száraz szártömeget, majd hasonlóképpen meghatároztuk a négyzetméterenkénti száraz szemtömeget is. A

száraz szártömeg és a száraz szemtömeg összeadásával pedig a teljes szárazanyagot (TDM) kaptuk meg.

Az adatok statisztikai értékelését két-mintás t-próbával végeztük el Excel táblázat segítségével.

A növények vízgazdálkodását a vízhasznosulási értékkel (VH), vagy a vízhasznosítási együtthatóval (WUE = water use efficiency) fejezhetjük ki. A vízhasznosulási érték megmutatja, hogy egységnyi termés felépítéséhez a növény mennyi vizet használt fel. Vagyis a felhasznált vízmennyiség, ami lehet az evapotranszspiráció, vagy a teljes vízbevitel (csapadék és öntözés), és a növényi produkció hányadosa.

$$VH \approx WUE = P/Y, \text{ vagy}$$

$$VH \approx WUE = ET/Y$$

Ahol: VH = vízhasznosulási érték, WUE = vízhasznosítási együttható, P = csapadék és öntözés, ET = evapotranszspiráció, Y = termés.

(RAJKAINÉ VÉGH és SZUNDY, 2004)

A vízhasznosulási értéket az 1 m²-re jutó teljes szárazanyagból, valamint kádak esetén az evapotranszspirációból, parcellák esetén a csapadék és az öntözés mennyiségéből számoltam. A WUE érték tehát megmutatja, hogy 1 kg szárazanyag felépítéséhez a növény mennyi liter vizet hasznosított.

8. Eredmények és értékelésük

8.1. Évjáráthatás értékelése

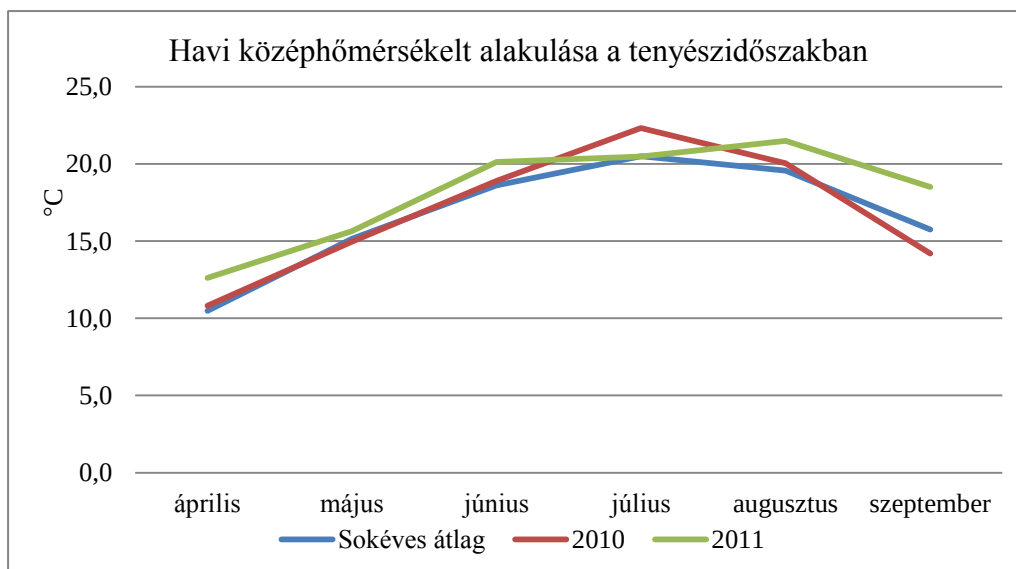
8.1.1. Tenyészidőszak időjárásának bemutatása

A 2010-es év tenyészidőszakának középhőmérséklete a sokéves átlagtól nagymértékben nem tért el, a csapadékmennyiség viszont jelentősen, 272 mm-rel haladta meg a korábbi évek átlagát.

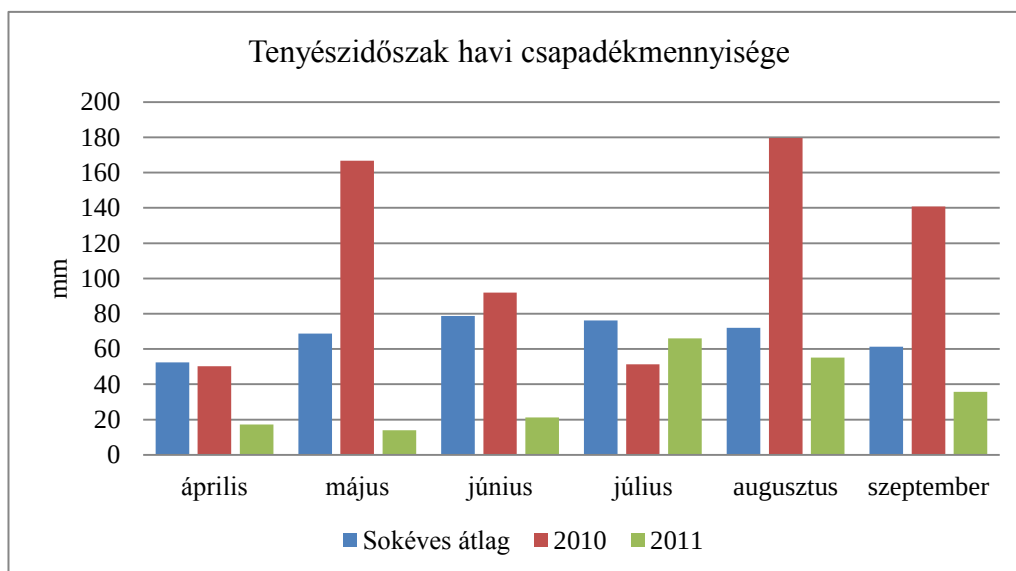
2010 áprilisában mind a havi középhőmérséklet, mind a csapadékmennyiség a sokéves átlaghoz hasonlóan alakult. A május viszont egy rendkívül csapadékos hónapnak bizonyult. Közel 100 mm-rel meghaladva a korábbi évek havi átlagát, 167 mm csapadék hullott ebben a hónapban. Júniusban a csapadékmennyiség 14 %-kal haladta meg a szokásos értéket. Ezután egy száraz és meleg hónap következett. A júliusi középhőmérséklet 22,3 °C volt, 1,8°C-kal magasabb a sokéves átlagnál, míg a csapadékmennyiség az átlagos 76 mm-nél alacsonyabb, 51 mm volt. Az augusztusi középhőmérséklet 0,4°C-kal haladta meg, a korábbi években tapasztaltat, a havi csapadékösszeg pedig ismét kiugróan magas értéket mutatott. Míg a sokéves augusztusi átlag 72 mm, addig 2010. nyolcadik hónapjában 180 mm csapadék hullott. Az esős időszak szeptemberben folytatódott. A havi csapadékösszeg 57%-kal magasabb, a havi középhőmérséklet pedig 1,5°C-kal alacsonyabb volt, mint a korábbi évek átlaga.

2011 tenyészidőszaka melegnek és száraznak bizonyult. A vegetációs időszak alatt 1,4°C-kal volt magasabb a középhőmérséklet a sokévi átlagnál, és csupán 209 mm csapadék hullott, ami 200 mm-rel az átlag alatt van.

2011 áprilisa 2,1°C-kal múlta felül a korábbi évek áprilisainak átlagát, a csapadékmennyiség pedig még a 20 mm-t sem érte el. A meleg és száraz időszak májusban is folytatódott. Ebben a hónapban 80%-kal kevesebb csapadék hullott, a középhőmérséklet pedig 0,4°C-kal volt magasabb, mint a sokévi átlag. Csapadék tekintetében a következő hónap sem hozott javulást, a hőmérséklet pedig továbbra is átlagérték feletti volt. Július hónapban több csapadék hullott, mint az azt megelőző három hónapban együttevve, de még ez az érték is 10 mm-rel alacsonyabb, mint a korábbi évek hetedik hónapjában. A havi középhőmérséklet júliusban a sokévi átlaggal megegyező, augusztusban és szeptemberben viszont annál jóval magasabb volt. Augusztusban 1,9°C-kal melegebb, a csapadékösszeg pedig közel 17 mm-rel kevesebb volt az augusztusi átlagnál. Meleg és száraz szeptember következett. 41 %-kal kevesebb csapadék hullott, a középhőmérséklet pedig 2,8°C-kal haladta meg a sokéves átlagot (5. és 6. ábra).



5. ábra: A havi középhőmérséklet alakulása a 2010-es és a 2011-es tenyészidőszakban



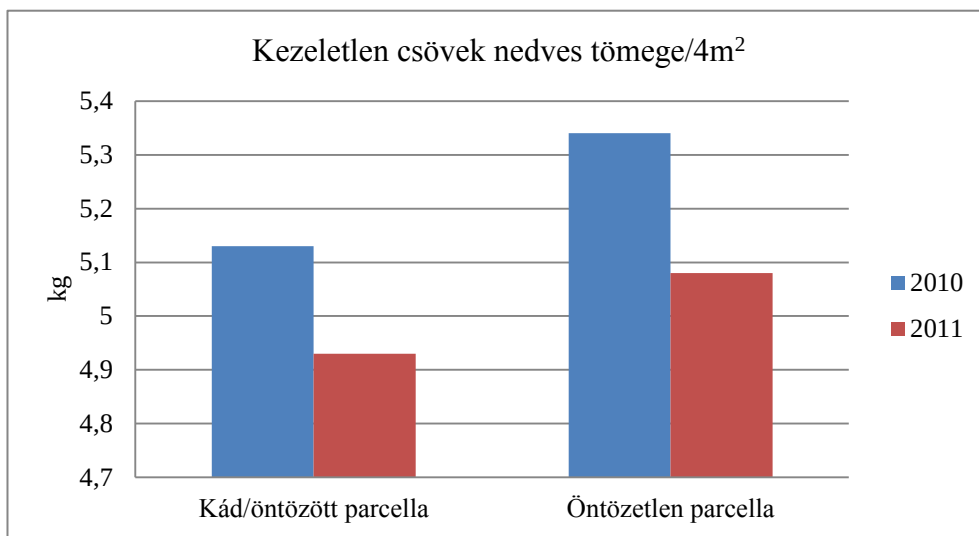
6. ábra: A havi csapadékmennyiség alakulása a 2010. és a 2011. évi tenyészidőszakban

8.1.2. Az évjárat kukoricára gyakorolt hatása

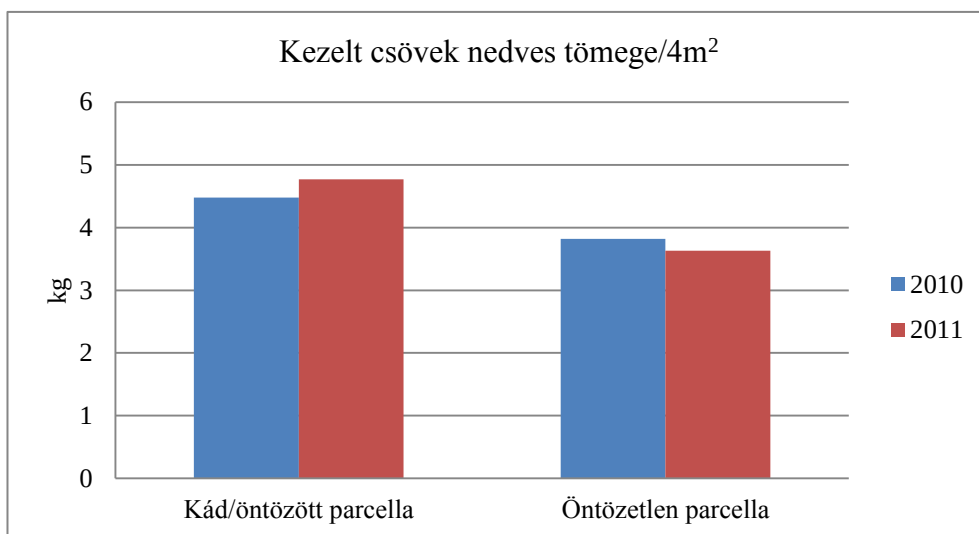
A 2010-es év csapadékos tenyészidőszakának hatása megmutatkozik a 4 m²-re jutó kezeletlen kukoricacsövek nedves tömegének vizsgálatakor. A kádak és az öntözött parcella adatait összehasonlítva kiderül, hogy a kezelés első évében 3,9 %-kal magasabb lett a csövek nedves tömege, mint a következő évben. Az öntözetlen parcellák esetén valamivel nagyobb a különbség, 4,87 %, az eltérés azonban egyik esetben sem szignifikáns (7. ábra).

A kadmiummal kezelt és a csapadékon felül vízellátásban részesített növényeknél a kísérlet második évében kaptunk nagyobb nedves csőtömeget 4 m²-en. Az eltérés a két év csőtömege között 6,08 %, ami nem jelent szignifikáns különbséget. Az öntözetlen parcelláknál, a kezeletlen

növényeknél kapott eredményekhez hasonlóan, a több csapadék hatására, a kísérlet első évében lett magasabb a kukoricacsövek nedves tömege, mégpedig 4,98 %-kal, amely szintén nem tekinthető szignifikáns különbségnek (8. ábra).



7. ábra: Kezeletlen kukoricacsövek nedves tömege/4m²



8. ábra: Kezelt kukoricacsövek nedves tömege/4m²

8.2. Növények növekedése, érése

A vetés a kísérlet mindkét évében április második felében történt, 2010-ben április 23-án, 2011-ben pedig április 22-én. A növények mindkét évben május 2-ára keltek ki 100%-osan. A címerhányás az első évben július 9-én kezdődött, 9 nappal később, mint ahogy az a következő évben történt. A késedelem ellenére a teljesérés a kísérlet első évében hamarabb kezdődött, mint a másodikban. Míg 2010-ben július 26-án, 15 nappal a címerhányás kezdete után már megkezdődött a

tejes érés, addig 2011-ben 28 nap telt el a címerhányás és a tejes érés kezdete között. A viaszérés és a teljes érés azonban már a második évben hamarabb kezdődött. Az első évben 23, a második évben 13 nap telt el a tejes és a viaszérés között. A teljes érés mindkét évben két héttel a viaszérés kezdete után következett. 2010-ben ez szeptember 2-a, 2011-ben pedig augusztus 25-e volt (6. táblázat).

A kukorica vegetációs időszaka 2010-ben 161 nap volt, a következő évben ennél 6 nappal kevesebb, 155 nap.

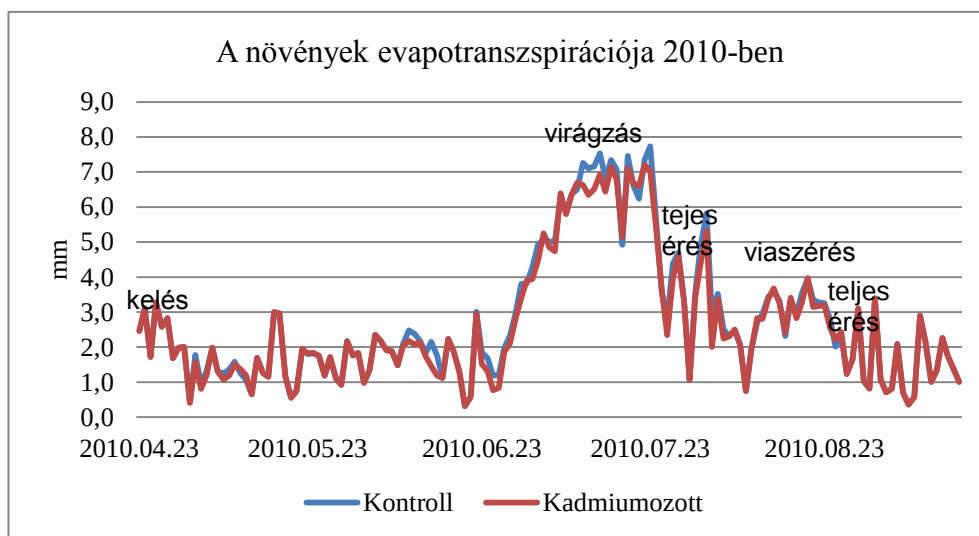
	Vetés	Kelés	Címerhányás	Tejes érés	Viaszérés	Teljes érés
2010	04. 23.	05. 02.	07. 09.	07. 26.	08. 19.	09. 02.
2011	04. 22.	05. 02.	06. 30.	07. 28.	08. 11.	08. 25.

6. táblázat: Fenofázisok kezdete

8.3. Az evapotranszpiráció értékelése

A növények és talajuk által elpárologtatott víz mennyiségének mérését az evapotranszpirométer teszik lehetővé, mely segítségével a kádakba vetett kukorica párologtatását a kísérlet mindkét évében meghatározhattuk.

2010-ben áprilistól júniusig az evapotranszpiráció átlagosan napi 1,5 és 2,5 mm között mozgott, majd júliustól meredek növekedésnek indult. Júliusban a kezeletlen növények átlagosan napi 5,6 mm, a kezelt növények valamivel kevesebbet, napi 5,4 mm vizet párologtattak el. A következő hónapban az evapotranszpiráció 50%-kal csökkent, szeptemberben pedig már csak 1,5 mm volt a napi párologtatás.



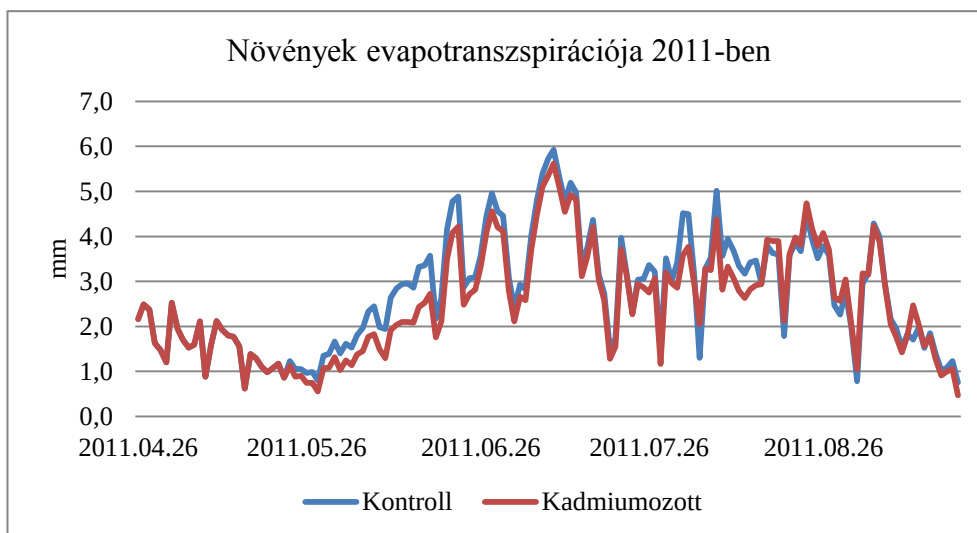
9. ábra: Kukorica evapotranszpirációja 2010-ben

A teljes evapotranspiráció a 2010-es év tenyészidőszakában a kezeletlen növényeknél 403,7 mm volt. Ez az érték a kadmiummal kezeltéknél 3,59 %-kal alacsonyabb, 389,7 mm lett, a különbség azonban nem szignifikáns (9. ábra)

2011-ben, az előző évhez képest, nagyobb különbség mutatkozik a kezelt és a kezeletlen növények által elpárologtatott víz mennyiségében, valamint az értékek szétválása is előbb jelentkezik.

Május végéig átlagosan napi 1,6 mm volt az evapotranspiráció mértéke mind a két csoport esetében. Júniustól azonban az értékek egyre emelkedő tendenciát mutatnak. Az átlagos napi párologtatás az év hatodik hónapjában a kezeletlen növények esetében 3 mm, a kezeltéknél 2,5 mm volt. A következő hónapban a kontroll növények által elpárologtatott vízmennyiség átlagosan napi 3,6 mm volt, így a havi párologási összegük 111,5 mm lett, 7,2 %-kal magasabb, mint a kezelt növények párologtatása. Az augusztusi értékek valamivel alacsonyabbak voltak, valamint a kezelt és a kontroll növények közötti különbség is kisebb lett. Kontrollnál 3,4 mm, a kezelt növényeknél pedig 3,3 mm volt a napi átlagpárologtatás. Szeptemberben mind a kezelt, mind a kezeletlen növényeknél átlagosan napi 2 mm-re esett vissza az evapotranspiráció (10. ábra).

2011 tenyészidőszakában a kezeletlen növények összesen 399,7 mm vizet párologtattak el, míg a kezelt növényeknél ez az érték közel 8 %-kal alacsonyabb, 370,4 mm. A különbség nem szignifikáns.

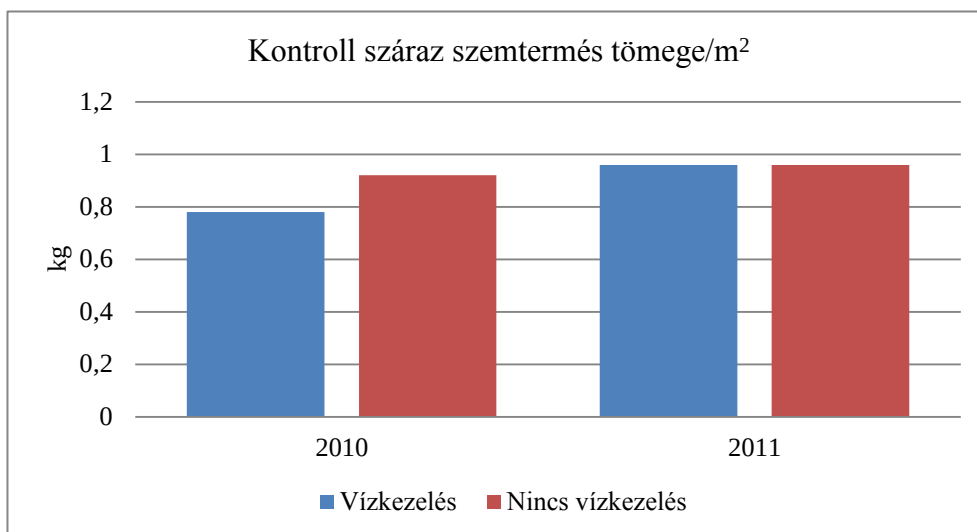


10. ábra: Kukorica evapotranspirációja 2011-ben

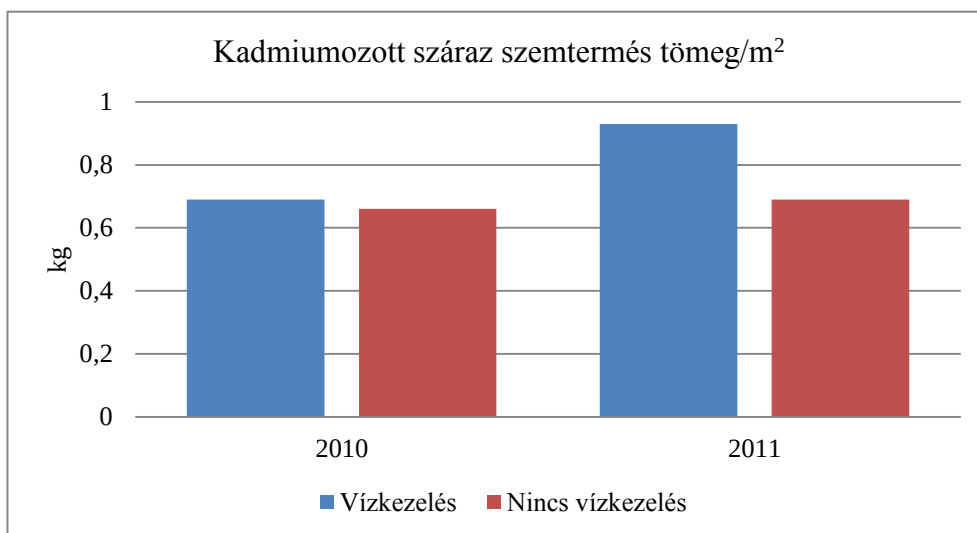
8.4. Vízkezelés növényekre gyakorolt hatása

A vízkezelés hatása a termés magasabb tömegében, valamint a kadmium által kifejtett káros hatás mérséklődésében nyilvánult meg.

8.4.1. A termés magasabb tömege



11. ábra: Száraz szemtermés tömegének alakulása kezeletlen növényeknél



12. ábra: Száraz szemtermés tömegének alakulása kezelt növényeknél

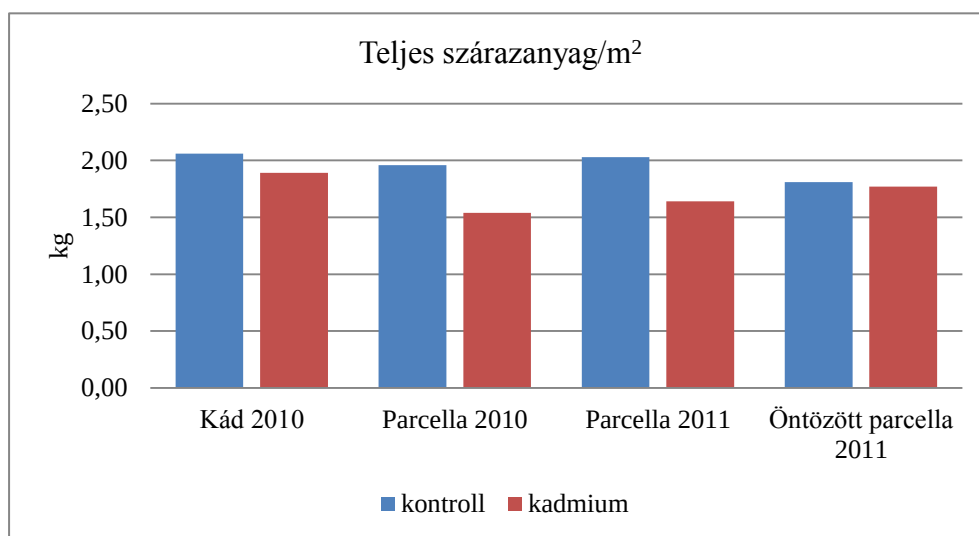
Az öntözött kultúrák esetében a négyzetméterenkénti száraz szemtömeg növekedése figyelhető meg. 2010 csapadékos tenyészidőszakának köszönhetően a kísérlet első évében nem minden esetben mutatkozik a termésnövekedés az öntözött és az öntöztelen kultúrák között. A kezelt növényeknél 4,5 %-os növekedés figyelhető meg. A kezeletlen növények esetében ugyan magasabb volt a nem öntözött parcella négyzetméterenkénti száraz szemtermése, de a különbség nem szignifikáns.

A kísérlet második évében viszont az öntözött és kadmiummal kezelt növények esetében már jelentős, 25,8%-os a száraz szemtermés növekedése négyzetméterenként a szintén kezelt, de öntözésben nem részesített parcella terméséhez képest (11. és 12. ábra).

8.4.2. A kadmium által kifejtett káros hatás mérséklése

A kadmium által kifejtett káros hatás az öntözetlen parcellák esetében volt a legmeghatározóbb. Itt a kontroll és kezelt növények teljes szárazanyaga között szignifikáns különbség áll fenn. A 2010-es évben mintegy 21,5%-kal, a következő évben pedig 19%-kal volt alacsonyabb a kadmiumozott növények teljes szárazanyagának tömege.

Ezzel szemben az öntözött kultúrák esetében jóval alacsonyabb, szignifikáns eltérés nem figyelhető meg. Az evapotranszpirációs kádak esetében 8%, az öntözött parcellánál pedig 2% differencia mutatkozik a kezelt és a kezeletlen növények szárazanyaga között (13. ábra).



13. ábra: A teljes szárazanyag-tartalom alakulása/m²

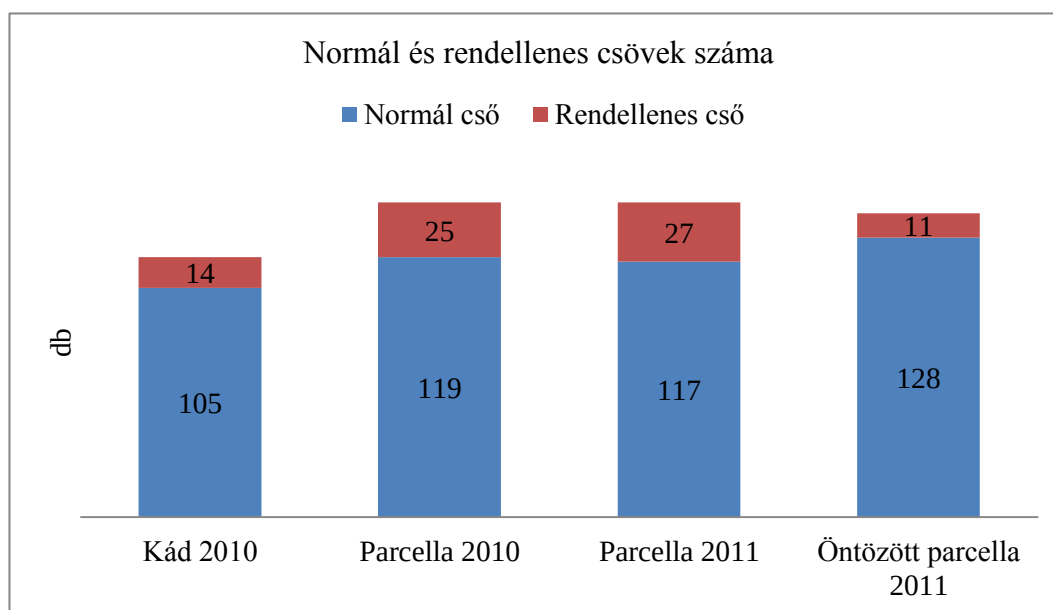
8.5. A termés értékelése

8.5.1. Rendellenes csövek száma

A kísérlet mindkét évében előfordultak a kadmiummal kezelt kukoricacsövek között olyanok, melyeknél rendellenes fejlődés figyelhető meg, ugyanakkor a kontroll csövek közt egy ilyen sem volt.

A rendellenes csövek száma a két évjáratban hasonlóan alakult. Az öntözött és nem öntözött állományok összehasonlításánál azonban már eltérést tapasztalhatunk. Mind 2010-ben, mind 2011-ben a nem öntözött parcellák esetében több cső minősült abnormálisnak.

A kísérlet első évében az evapotranszpirációs kádakban összesen 119 kadmiummal kezelt cső termett, melyeknek 11,76 %-a rendellenes volt. Ugyanebben az évben a parcellán termett 144 cső 17,36 %-a, azaz 25 cső nem volt ép. 2011-ben a nem öntözött parcellán a csövek 18,75 %-a, az öntözött parcellán pedig 7,91 %-uk esetében tapasztaltunk fejlődési rendellenességet (14. ábra).



14. ábra: Kadmiummal kezelt kukoricacsövek fejlődési rendellenességének mértéke

8.5.2. Növekedésbeli visszamaradás, szárazanyag-tartalom változása

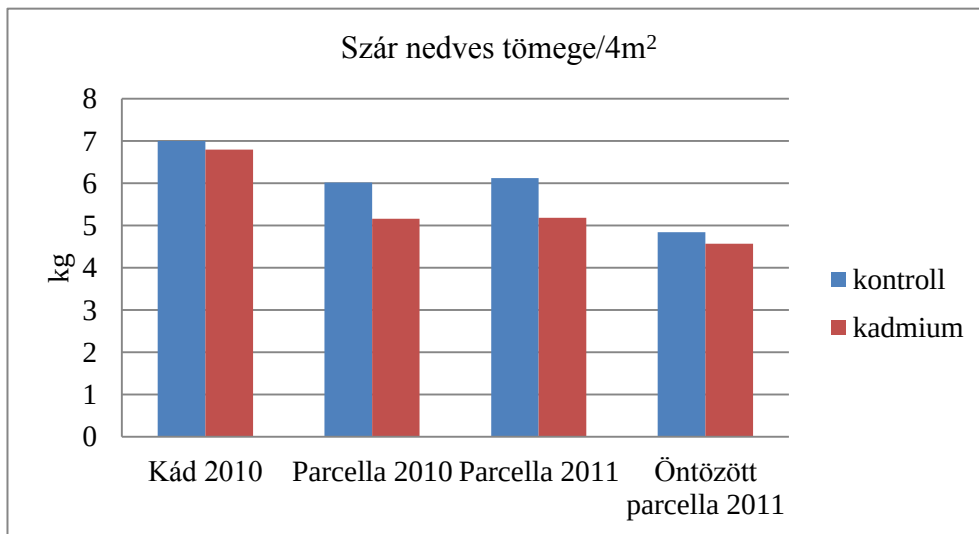
A kadmiummal való kezelés káros hatásaként említhetjük meg a növekedésbeli visszamaradást is, mely a kezelt növények kontrollhoz viszonyított alacsonyabb tömegében nyilvánul meg.

A teljes száraz anyag (TDM), a szár, a kukoricacső és a szemtermés tömegének csökkenése egyaránt megfigyelhető. A tömeg csökkenése, akárcsak a rendellenes kukoricacsövek száma, az öntözetlen parcellákban volt a legerőteljesebb. Az öntözés jótékony hatásának köszönhetően azoknál a növényeknél, melyek a csapadékon kívül részesültek vízellátásban, kisebb differencia alakult ki.

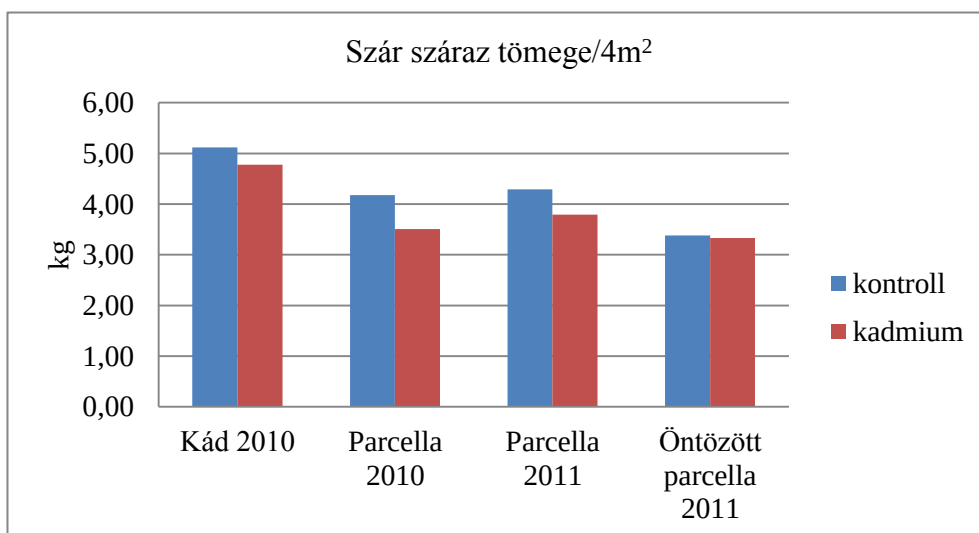
Az első vizsgált paraméter az összes kukoricaszár nedves tömege a kádakban, illetve a parcellák 4 m²-es mintavételi területén. A kezelt növények szárának nedves tömege a kádaknál 2,83 %-kal, az öntözött parcelláknál 5,58 %-kal volt alacsonyabb, mint a kezeletleneké, de a különbség nem szignifikáns. Az öntözetlen parcellákon ennél nagyobb differenciával számolhatunk. 2010-ben 14,29 %, 2011-ben pedig 15,36 % volt az eltérés. Így az öntözetlen parcellák esetében már szignifikáns különbségről beszélhetünk (15. ábra).

A szárazok száraz tömege 4m²-en átlagosan 1,65 kg-mal volt alacsonyabb, a nedves tömegnél. A kontroll és a kadmiummal kezelt kukoricák szárának száraz tömege közötti különbség a nedves tömeghez hasonlóan alakult. A kádak és öntözött parcellák esetében kisebb, csupán néhány százalékos különbség alakult ki, míg a nem öntözött parcelláknál 12-15 %-os tömegcsökkenést

váltott ki a kezelés. A 2010. évi öntözetlen parcelláknál a különbség szignifikáns, a többi esetben nem (16. ábra).



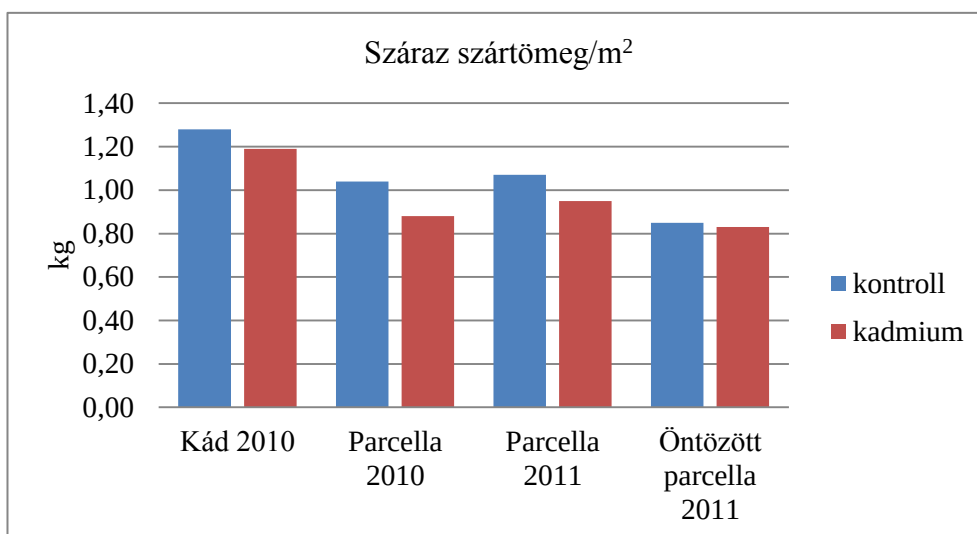
15. ábra: Kukoricaszárak nedves tömege/4m²



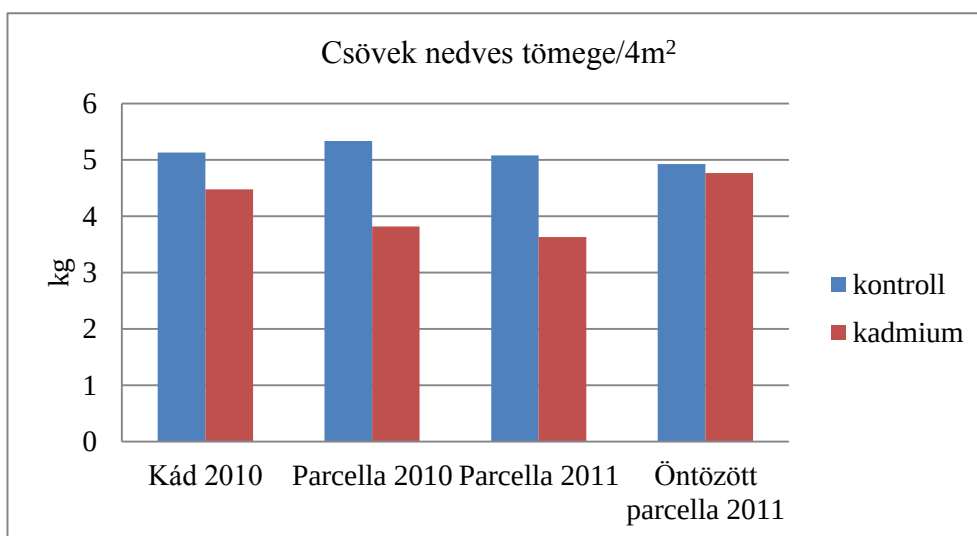
16. ábra: Kukoricaszárak száraz tömege/4m²

A kukoricaszár négyzetméterenkénti száraz tömege a kádakban nevelt növényeknél 7 %-kal csökkent a kezelés hatására. Ugyanez az érték 2011-ben az öntözött parcellák esetében 2,4 % lett. A különbség se a kádaknál, se az öntözött parcelláknál nem szignifikáns. A nem öntözött parcellák esetében már nagyobb különbség volt a kezelt és a kezeletlen növények 1 m²-re jutó szártömege között. A kísérlet első évében 15,4 %-kal, a második évben 11,2 %-kal volt alacsonyabb a kezelt növények szárának száraz tömege. A különbség a kísérlet mindkét évében szignifikáns (17. ábra).

A kukoricacsövek tömegének vizsgálatakor hasonló jelenséget tapasztalhatunk, mint a száraz esetében: a kontroll és a kezelt növények összevetésében a kezelt csövek tömege minden esetben alacsonyabb, a legnagyobb különbség pedig a nem öntözött parcelláknál mutatkozik.



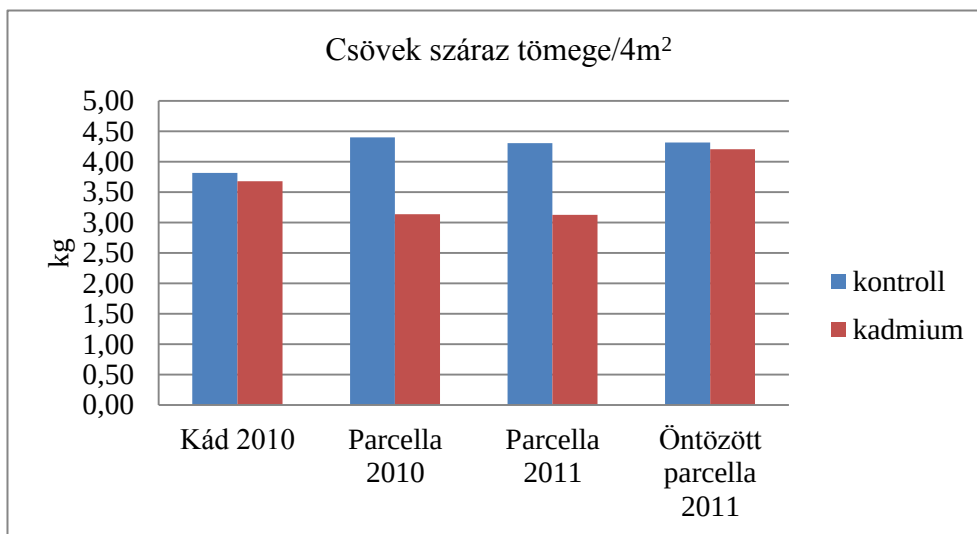
17. ábra: 1m²-re jutó szár száltömeg



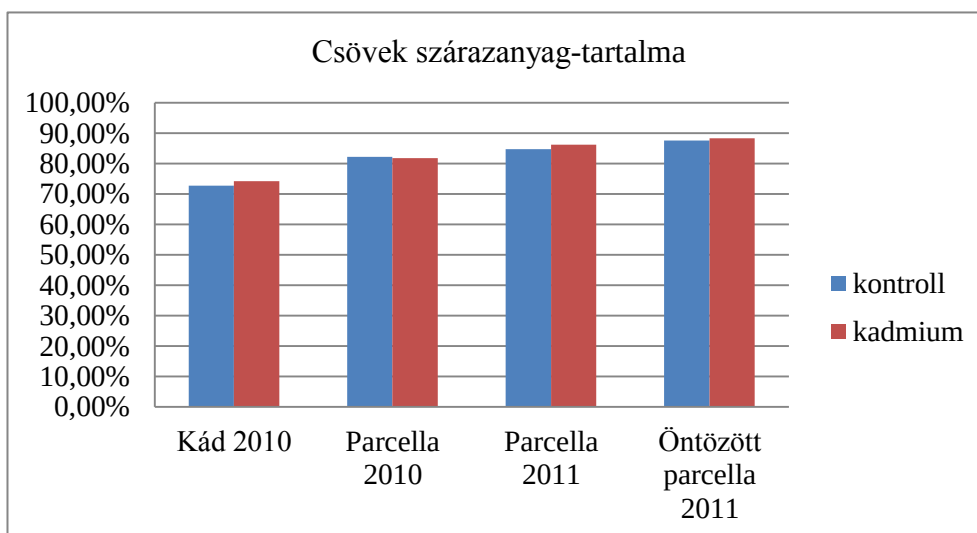
18. ábra: Csövek nedves tömege/4m²

A mintavételi területek 4 m²-én betakarított 28-31 darab kukoricacső átlagos tömege a kezeletlen növényeknél 4,77 kg, míg a kezeltéknél csupán 3,94 kg. A kádakban nevelt, kadmiummal kezelt kukorica csöveinek nedves tömege 12,7 %-kal bizonyult alacsonyabbnak a kontrollhoz viszonyítva. Ez az érték az öntözött parcellánál 3,3 % volt. Sem a kádak, sem az öntözött parcelláknál tapasztalt különbség nem szignifikáns. A nem öntözött parcellákon körülbelül 1,5 kg különbség alakult ki a kezelt és a kezeletlen csövek nedves tömege között, a kezelés első évében 28,47 %-os, második évében 28,55 %-os volt a csökkenés, az eltérés mindkét esetben szignifikáns (18. ábra).

A 4m^2 -re jutó csövek tömege szárazon átlagosan 0,66 kg-mal alacsonyabb, mint frissen. Öntözés mellett 2,6-3,7 %-os eltérés mutatkozik a kezelt és a kezeletlen növények csövei között, öntözés nélkül 27,4 %-os, illetve 28,7 %-os (19. ábra).



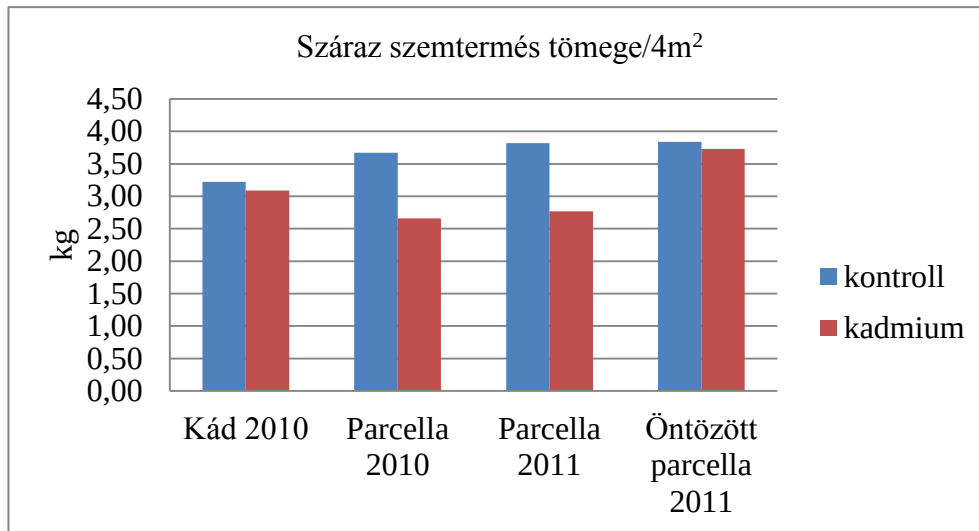
19. ábra: A kukoricacsövek száraz tömege/ 4m^2



20. ábra: A kukoricacsövek szárazanyag-tartalma

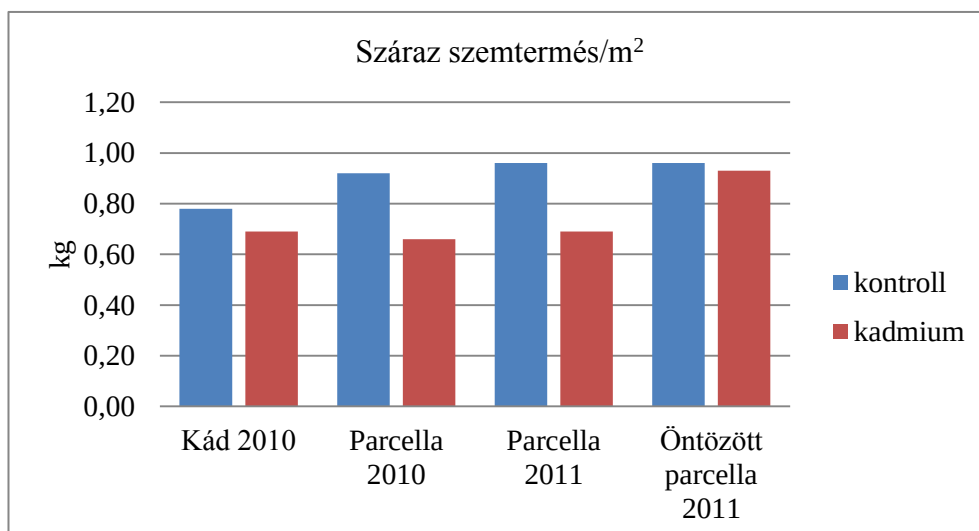
WÓJCIK és TUKENDORF (1999) szerint kadmium szennyezés hatására csökken a hajtások víztartalma. Vizsgálataink során megállapítottuk a csövek szárazanyag-tartalmát, mely a kezelés hatására általában minimálisan emelkedett, de a különbség egyik esetben sem szignifikáns. Egyedül a 2010-es parcella esetében lett magasabb a kontroll csövek szárazanyag-tartalma, de csupán 0,4%-kal. Az összes többi esetben a kezelt növények csöveinek szárazanyag-tartalma lett magasabb. Az eltérés a kádban nevelt kukoricánál és a 2011. évi parcellán 1,5 %, az öntözött parcellán 0,8 % (20. ábra).

A szemtermés száraz tömege kezeletlen kukorica esetén átlagosan $3,41 \text{ kg/4m}^2$ lett. Kezelt növények esetén ez az érték közel fél kg-mal alacsonyabb, $2,95 \text{ kg/4m}^2$. Míg az öntözött állományoknál a differencia csak néhány százalék, addig a nem öntözött parcelláknál szignifikáns különbség áll fenn. Az első évben 27,53 %-kal, a második évben pedig 27,49 %-kal csökkent a szemtermés száraz tömege a kezelés hatására, ami több mint 1 kg-os csökkenést jelent (21. ábra).



21. ábra: Száraz szemtermés tömege/4m²

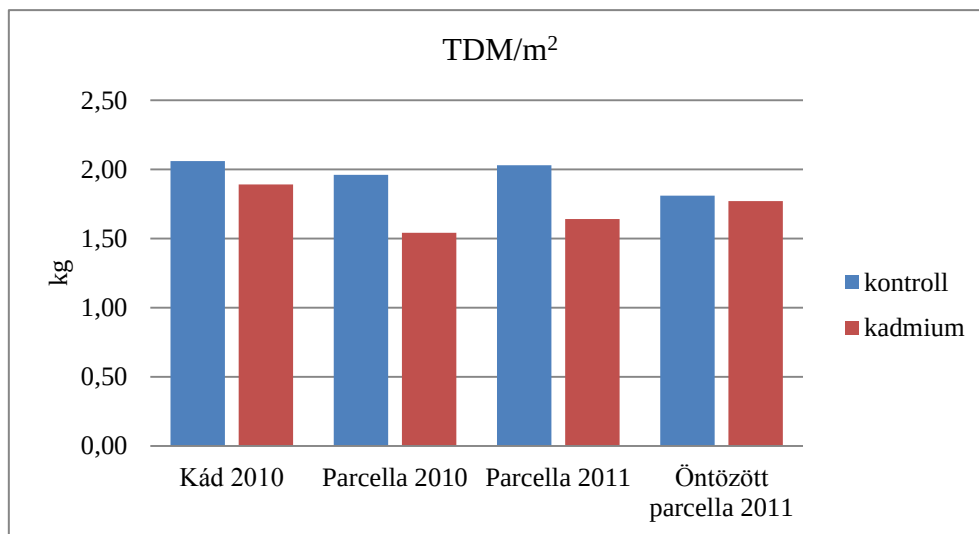
Az 1m²-re jutó száraz szemtermés tömege a kádakban nevelt növényeknél 11,5 %-kal, az öntözött parcellákban 3,1 %-kal csökkent a kezelés miatt. A nem öntözött parcelláknál mindkét évben körülbelül 28 %-kal lett alacsonyabb a kezelt kukoricák száraz szemtömege, a különbség szignifikáns (22. ábra).



22. ábra Száraz szemtermés tömege/m²

A teljes szárazanyagot tekintve a kádaknál 8,3 %-os különbség alakult ki a kezelt és a kezeletlen növények között. Ez az érték az öntözött parcellák esetében 2,2 %. A nem öntözött

parcelláknál a kontroll és a kadmiumozott kukorica teljes szárazanyaga közötti különbség szignifikáns. 2010-ben 21,4 %-kal, 2011-ben pedig 19,2 %-kal csökkentette a kezelés a növények teljes száraz tömegét (23. ábra).



23. ábra: Teljes szárazanyag/m²

8.6. A vízhasznosulás értékelése

A WUE érték a kadmiummal kezelt növényeknél minden esetben magasabb lett, mint a kezeletlen növényeknél, azaz a kezelt növényeknek nagyobb mennyiségű vízre volt szükségük ugyanannyi termés felépítéséhez. Ez azt jelenti, hogy a kezelés hatására romlott a növények vízgazdálkodása is.

A kezelt és a kontroll növények vízhasznosulási értékei közötti különbség a kádaknál 5,22 %, az öntözött parcellákon 2,26 %. Az öntöztelen parcelláknál ettől jóval nagyobb eltérés mutatkozott. A kísérlet első évében 27,28 %-kal, a második évben 23,78 %-kal volt kedvezőtlenebb a kezelt növények vízfelhasználásának hatékonysága a kontrollhoz képest (7. táblázat).

Kezelés	TDM/m² (kg)	ET (mm)	P (mm)	WUE (l/kg)
Kád 2010 kontroll	2,06	403,7	x	195,97
Kád 2010 kadmium	1,89	389,7	x	206,19
Parcella 2010 kontroll	1,96	x	681	347,44
Parcella 2010 kadmium	1,54	x	681	442,21
Parcella 2011 kontroll	2,03	x	209	102,96
Parcella 2011 kadmium	1,64	x	209	127,44
Öntözött parcella 2011 kontroll	1,81	x	296,8	164,09
Öntözött parcella 2011 kadmium	1,77	x	296,8	167,8

7. táblázat: A vízhasznosítás hatékonysága

9. Következtetések

Fejlődési rendellenesség

A kadmiummal kezelt kukoricacsöveknek átlagosan 14 %-ánál tapasztaltunk fejlődési rendellenességet, ezzel szemben a kontroll növényeknél egy olyan cső sem volt, melyet abnormálisnak minősítettünk. A kezelés tehát a kukoricacsövek fejlődésének zavarát eredményezte.

Szárazanyag-tartalom növekedés

A kezelés hatására a kukoricacsövek szárazanyag-tartalma megnövekedett. Az eltérés a kezelt és a kezeletlen csövek szárazanyag-tartalma között azonban csak néhány százalék, szignifikáns különbséget nem jelent.

Tömegcsökkenés

A kezelt és a kezeletlen növények tömegének összehasonlításakor azt tapasztalhatjuk, hogy legyen szó akár száraz, akár nedves tömegről, a kezelt növények tömege mindig alacsonyabb volt, mint a kezeletleneké. Ez a jelenség egyértelműen arra utal, hogy a kadmium gátolta a növények növekedését.

Bár a tömegcsökkenés a kukoricaszár esetében is jelentős volt, (öntözetlen parcellákon kb. 15 %) a szemtermés tömegét tekintve még nagyobb eltérés mutatkozott a kezelt és kezeletlen növények között (öntözetlen parcellákon 27-28 %).

Mérsékelt evapotranszpiráció

A kadmiummal való kezelés csökkentette az evapotranszpiráció mértékét. A kísérlet mindkét évében mutatkozott néhány százalékos eltérés a kezelt és a kontroll növények által elpárologtatott víz mennyiségében, a különbség azonban nem szignifikáns.

Kedvezőtlen vízhasznosulás

A kezelt növényeknek nagyobb mennyiségű vízre volt szükségük 1 kg szárazanyag felépítéséhez, mint a kontroll növényeknek. A kezelés tehát negatívan befolyásolta a növények vízhasznosítását.

Mérsékelt hatás vízkezelés mellett

A kezelt és a kezeletlen növények fejlődése, tömege és evapotranszpirációja közötti különbség minden esetben az öntözetlen parcellákon volt a legnagyobb. A kádak és az öntözött

parcellák esetében már jóval kisebb eltérés alakult ki, ami a csapadékon felüli vízellátásnak köszönhető. A vízkezelés ugyanis mérsékelte a kadmium által kiváltott káros hatást.

10. Összefoglalás

A vizsgálat célja a kadmium, mint környezetet terhelő anyag, hatásának szimulációja volt. Mivel a kadmium növényi hatásainak vizsgálata eddig többnyire laboratóriumi megfigyelésekre szorítkozott, vizsgálatunkat szabadföldi körülmények között végeztük, a teljes tenyészidőszak lefedésével, annak érdekében, hogy a laboratóriumi megfigyeléseknél pontosabb képet kapjunk a kadmium által okozott növényi hatásokról.

A kísérlet Keszthelyen, a tanyakereszti Agrometeorológiai Kutatóállomáson zajlott 2010 és 2011 tenyészidőszakában. Az alkalmazott kukoricahibrid a rövid tenyészidejű Sperlona (FAO-340) volt, mely egy svájci csemegekukorica. A növények kezelése során kadmium-nitrát oldat kipermetezése történt júniustól augusztusig, heti rendszerességgel.

A kadmium hatását mindkét évben különféle vízellátás mellett vizsgáltuk. A kísérlet első évében az evapotranszspirációs kádakban és öntözetlen parcellákon folyt a megfigyelés, majd a második évben öntözött parcellákkal egészült ki vizsgálatunk. Az ismétlések száma a kádak esetében 4, a parcelláknál pedig 5 volt.

A kukorica érését követően elvégeztük a méréseket, melyek a szemtermés, a csövek és a szárak nedves, illetve száraz tömegére, valamint a csövek szárazanyag-tartalmára terjedtek ki.

Az elemzés során az évjárat, az evapotranszspiráció, a vízkezelés-hatás, a terméseredmények és a vízhasznosulás értékelésére került sor. A kapott eredmények statisztikai értékelését kétmintás t-próbával végeztük.

A terméseredmények értékelése során azt tapasztaltuk, hogy a kadmiummal kezelt csövek között nagy számban voltak olyanok, melyeknél a kezelés fejlődési rendellenességet okozott. Míg a kezelt csöveknek átlagosan 15 %-a rendellenesnek bizonyult, addig a kontroll csövek között egy ilyen sem volt.

Következő lépésként a kukoricaszár tömegét vizsgáltuk. A szárak nedves tömegét a betakarítás során közvetlenül mértük meg, száraz tömegüket az adott ismétlésből választott szárközép minta szárazanyag-tartalma alapján számítottuk. A természetes csapadékon felül vízellátásban részesített növényeknél néhány százalékkal csökkentette a kezelés a szártömeget. A kezelt és a kezeletlen növények szártömege között az öntözetlen parcellákon azonban már szignifikáns különbség alakult ki.

A kukoricacsövek vizsgálatakor hasonló jelenséget figyelhetünk meg, mint a száraz esetében, annyi különbséggel, hogy az öntözetlen parcellákon a kezelt és a kontroll csövek közötti különbség még magasabb, 27-28%.

A kadmiummal való kezelés hatására megnövekedett a kukoricacsövek szárazanyag-tartalma, de az eltérés nem szignifikáns.

Akárcsak a száraz és a csövek tömege, a száraz szemtermés tömege is csökkent a kezelés hatására. A vízkezelés jótékony hatása ebben az esetben is megfigyelhető.

Következő lépésként a teljes szárazanyag változását vizsgáltuk. A kádaknál 8 %-os, az öntözött parcelláknál 2 %-os csökkenést idézett elő a kezelés. Az öntözetlen parcellákon ebben az esetben is szignifikáns különbség jelentkezett. A kísérlet első évében 21 %, a második évben 19 % volt az eltérés a kezelt és a kezeletlen növények teljes szárazanyagának tömege között.

A kezelés hatására azonban nem csak tömegcsökkenés jelentkezett, hanem az evapotranszspiráció is mérséklődött a kontrollhoz képest.

Az eredmények értékelésének utolsó lépéseként a vízhasznosulási értéket (WUE) fejeztük ki, mely megmutatja, hogy a növény 1 kg szárazanyagának felépítéséhez mennyi vizet használt fel. A WUE érték a kezelt növények esetében magasabb lett, mint a kontroll növényeknél, ami azt jelenti, hogy a rendelkezésükre álló vízzel kedvezőtlenebbül gazdálkodtak, ugyanannyi szárazanyag felépítéséhez több vizet fogyasztottak. A különbség a kezelt és a kezeletlen növények között ebben az esetben is az öntözetlen parcelláknál a legnagyobb, 23-27 %.

Az eredmények kiértékelését követően megállapíthatjuk, hogy a növények kadmiummal való kezelése, az alábbi hatásokkal járt:

- fejlődési rendellenesség
- tömeg csökkenése, növekedés gátlása
- szárazanyag-tartalom növekedése
- evapotranszspiráció csökkenése
- vízhasznosulás romlása.

A fejlődési rendellenesség és a tömegcsökkenés mértékét a vízellátás csökkentette.

11. Köszönetnyilvánítás

TAMOP-4.2.1/ B-09/1/KONV-2010-0003

Mobilitás és környezet: Járműipari, energetikai és környezeti kutatások a Közép- és Nyugat-Dunántúli Régióban

A projekt a Magyar Állam és az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

Köszönöm témavezetőmnek, Dr. habil. Anda Angélának, valamint a Meteorológia és Vízgazdálkodás Tanszék dolgozóinak, hogy munkámat segítették.

12. Irodalomjegyzék

CSATHÓ P. /1994/: A környezet nehézfém szennyezettsége és az agrártermelés. Magyar Tudományos Akadémia Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete, Budapest. 9-55. 86-112. 153-154. pp.

FODOR F. /2003/: Ólom- és kadmiumstressz növényekben. Bot. Közlem. 90 (1-2). 107-120. pp.

FÜLEKY GY. (szerk.) /1999/: Tápanyag-gazdálkodás. Mezőgazda Kiadó, Budapest. 45-57. 77-78. 185-186. 243-245. 687. pp.

KÁDÁR I. /1995/: A talaj- növény- állat- ember tápláléklánc szennyeződése kémiai elemekkel Magyarországon. Magyar Tudományos Akadémia Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete, Budapest. 157. p.

KOCSIS T.- ANDA A. /2006/: A keszthelyi meteorológiai megfigyelések története. Pannon Egyetem Georgikon Mezőgazdaságtudományi Kar, Keszthely. 36-43 pp.

KOVÁCS F.- BRYDL E.- BERTA E.- ZOMBORSZKYNÉ KOVÁCS M.- SSA B.- TEGZES L.-NÉ- SARUDI I. /1998/: A kadmium mozgása a talaj- növény- állat- ember biológiai láncban. Állattenyésztés és takarmányozás, 1998. Vol. 47. No. 4. 315-323 pp.

Növényvédő szerek, termésnövelő anyagok 2010 II. /2010/: Agrinex Bt, Budapest. 12. p.

PAIS I. /1980/: A mikrotápanyagok szerepe a mezőgazdaságban. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest. 107-109. pp.

PAPP S. /1983/: Szervetlen kémia II. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest. 202. 488. pp.

Internetes anyagok

European Food Safety Authority /2009/: Cadmium in food. The EFSA Journal. <http://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/980.htm>

- HORVÁTH I. /2004/: A szennyvizek, szennyvíziszapok mezőgazdasági hasznosításának hazai jogi szabályozása az EU jogharmonizáció tükrében. Debreceni Egyetem Agrártudományi Centrum, Mezőgazdaságtudományi Kar, Víz- és környezetgazdálkodási Tanszék, Debrecen.
http://www.date.hu/acta-agraria/2004-13/horvath_imre.pdf
- Magyar Közlöny /2011/: A levegőterheltségi szint határértékeiről és a helyhez kötött légszennyező pontforrások kibocsátási határértékeiről. 2011. évi 4. szám. 487. p.
<http://www.kozlonyok.hu/nkonline/MKPDF/hiteles/mk11004.pdf>
- RAJKAINÉ VÉGH K. és SZUNDY T. /2004/: Kukorica genotípusok vízellátottsága és vízhasznosítása. MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézete, Budapest és MTA Mezőgazdasági Kutatóintézete, Martonvásár. Agrokémia és Talajtan 53 (2004) 1-2. 49-50 pp.
<http://www.akademiai.com/content/n77325r552217h46/>

Egyéb internetes források

- <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2006:364:0005:0024:HU:PDF>
<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:111:0003:0006:HU:PDF>
<http://statinfo.ksh.hu/Statinfo/index.jsp>
http://www.agraroldal.hu/58-2006-viii-11-fvm_rendelet.html
http://www.cadmium.org/pg_n.php?id_menu=7
http://www.complex.hu/jr/gen/hjegy_doc.cgi?docid=A0900006.KVV
http://www.complex.hu/jr/gen/hjegy_doc.cgi?docid=A1000010.VM
<http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/emissions-of-cadmium-to-water>
<http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/sector-split-of-emissions-of-selected-heavy-metals-eea-member-countries-1>
<http://www.foraqua.hu/ivoviz-szabvany.html>
<http://www.georgikon.hu/szervezeti-egysegek/meteorologia-es-vizgazdalkodas-tanszek>
<http://www.kfki.hu/chemonet/hun/tudakozo/szavak/cd.html>
<http://www.kockazatos.hu/anyag/kadmium>
<http://www.mafi.hu/static/microsites/geokem/Cd.htm>
<http://www.muszeroldal.hu/assistance/kemiaielemek.html>