

TDK DOLGOZAT

Kántor Andrea

Debrecen

2014

Debreceni Egyetem
Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és
Környezetgazdálkodási Kar
Élelmiszertudományi Intézet
Prof. Dr. Kovács Béla Róbert

**Kukorica (*Zea mays* L.) és napraforgó (*Helianthus annuus* L.) növények fiziológiai
paramétereinek változása eltérő szelénformák hatására**

Kántor Andrea
élelmiszermérnök jelölt

Konzulensek:

Dr. Kovács Béla Róbert, egyetemi tanár

Dr. Veres Szilvia, egyetemi docens

Bódi Éva, tanszéki mérnök

Debrecen

2014

Tartalomjegyzék

Bevezetés	1
1. Célkitűzések.....	3
2. Szakirodalmi áttekintés.....	4
2.1. A szelén felfedezésének története	4
2.2. A szelén kémiai tulajdonságai.....	5
2.3. A szelén előfordulása	6
2.3.1. A szelén előfordulása talajban.....	6
2.3.2. A szelén előfordulása az emberi szervezetben	7
2.3.3. A szelén szerepe az élettani folyamatokban.....	8
2.4. Szelénhiány és tünetei	8
2.5. A szelén felesleg és tünetei	10
2.6. A szelén, mint antioxidáns	10
2.7. A szelén előfordulás az élelmiszerekben	11
2.8. Szelén előfordulása a növényekben	12
2.9. A szelén felhasználhatósága mindennapjainkban	13
3. Anyag és módszer	14
3.1. Magvak csíráztatása	14
3.2. A növények nevelése tápoldaton.....	15
3.2.1. A tápoldatos kísérlet.....	16
3.3. Rhizobox kísérlet talaj előkészítése	16
3.3.1. Rhizoboxos kísérlet	17
3.4. Elemtartalom meghatározása	18
3.5. Minták előkészítése	18
3.6. Növényi minták roncsolása	19
3.7. Analitikai készülék bemutatása.....	19

4. Eredmények és értékelésük.....	21
4.1. Tápoldatos kísérlet eredményei.....	21
4.1.1. Szárastömeg produkció	21
4.1.2. Relatív klorofilltartalom (SPAD-index)	25
4.1.3. Tápoldatok pH-ja.....	27
4.1.4. Összes szeléntartalom.....	28
4.2. Kukorica és napraforgó növények nevelése eltérő szelén koncentrációjú talajon.....	30
4.2.1. Szárastömeg produkció	31
4.2.2. Eltérő szelén-módosulatok hatása kukorica és napraforgó növények kezdeti növekedésére	34
5. Következtetések és javaslatok.....	37
Összefoglalás.....	39
6. Irodalomjegyzék	41
7. Köszönetnyilvánítás.....	45
8. Nyilatkozat.....	46

Bevezetés

Napjainkban a szelén az egyik leginkább kutatott mikroelemek közé tartozik. A felfedezését követő években a közvélemény egyértelműen toxikusnak és kedvezőtlen hatásúnak tartotta. Schwarz és Foltz (1957) kutatásai azonban pozitív változást eredményeztek, ugyanis patkánykísérletek során bebizonyították, hogy a szelén a máj-nekrózis megelőzésében fontos szerepet tölt be.

A világ tudósainak és kutatóinak munkája alapján a ma embere már másként vélekedik erről az elemről.

A szelén esszenciális elem és antioxidáns hatással bír. A Földön szinte mindenhol megtalálható, a szervezetünkben a vesében, a májban, a hasnyálmirigyben, a herében és a szívizomban is jelen van. Rengeteg egészségügyi vonatkozásban említik meg. Többek között a szív- és vázizomrendszer, az agy-, a pajzsmirigy, az immunrendszer és a máj megfelelő működéséhez, a növekedéshez, a látáshoz, a bőr és a haj karbantartásához is szükség van a szelénre. Szerepe van a férfi és női termékenység biztosításában is. Csökkenti továbbá a rák kialakulását, valamint a glutation-peroxidáz enzim részeként a szívizomgyulladást. Az egészséges szívműködés érdekében napi bevitelét E-vitaminnal együtt ajánlják.

Az Egészségügyi Világszervezet (WHO), az Egyesült Nemzetek Szervezetének Élelmezésügyi és Mezőgazdasági Szervezete (FAO) és a Nemzetközi Atomenergiái Ügynökség (IAEA) legutóbbi kiadványában 20-70 µg/nap értékben határozta meg azt a szelén mennyiséget, amelynek egészségmegőrző hatása van, és amelyet jól felszívódó formában egy egészséges embernek magához kell vennie, azonban 400 µg-nyi mennyiség már szelenózist (szelén mérgezést) okozhat, melynek tünetei között megemlíthetjük, például az idegességet, a depressziót, a fokhagyma szagú lehetetet, valamint a hajhullást is.

Azonban a szelénhiány is ismert fogalom, mely ellen több módon is védekezhetünk, például szelénben gazdag, valamint szelénrel dúsított élelmiszerek, illetve étrend-kiegészítők fogyasztásával. Nagy mennyiségben találunk szelént a brazil dióban, az avokádóban, a citrusfélékben, a paradicsomban, a búzában, a lencsében, a hagymában, a brokkoliban, különféle húsokban és belsőségekben, valamint a tenger gyümölcseiben is.

A felsorolt élelmiszerek szelén tartalma azonban nagyban függ attól, hogy a termőföldben mennyi szelén található, milyen mennyiségben képes felvenni azt az adott növény, az elfogyasztott állat milyen termőterületen legelt, illetve milyen takarmányt kapott. Több európai országban, ugyanis a talajok szelén tartalma nem elegendő ahhoz, hogy a szervezetünk egészséges működéséhez szükséges szelént az itt termesztett növényekből, illetve tenyésztett állatokból pótolni tudjuk. Hazánk is szelénhiányos területnek számít, ezért is fontos kutatási terület napjainkban a szeléntartalmú élelmiszerek vizsgálata. Lényeges megvizsgálni a környezet szelénterhelését, a talajba juttatott szelénvegyületek mozgását, átalakulását a talajban, valamint a növényekben. A napraforgó és a kukorica gazdaságilag és élelmezés szempontjából is fontos növények. Mindkét növény közvetlen fő szerepet kap, mint állati és növényi élelmiszer, valamint fontos alapanyag további feldolgozott élelmiszerek számára. Szelén tartalmuk, annak esetleges növelése kiemelkedő a funkcionális élelmiszer előállítása terén.

1. Célkitűzések

Kísérleteink során két gazdaságilag és élelmezési szempontból is fontos növény a kukorica és napraforgó esetében vizsgáltuk a különböző szelénformák (Na_2SeO_3 és Na_2SeO_4) hatását a korai fejlődési stádiumban.

Úgy véltük, szükség van ezekre a kísérletekre, hiszen meg kell tudnunk, hogy milyen koncentráció alkalmazása mellett érhetjük el a legmegfelelőbb szelénellátottságot mind a növények, mind az állatok és az emberek tekintetében, ugyanis antioxidáns szerepe mellett, a túlzott bevitel toxikus hatású is lehet.

Munkánk során a következő kérdésekre kerestük a választ:

- ✓ Tápoldatos és rhizoboxos kísérlet keretében az eltérő szelénformák különböző koncentrációban alkalmazott mennyisége, hogyan hat egy egyszikű (kukorica, *Zea mays* L. cv. DKC 5007), illetve egy kétszikű (napraforgó, *Helianthus annuus* L. cv. P63LE13) növény száraztömeg produktumára?
- ✓ A teszt növények a tápoldatos kísérletünk során milyen relatív klorofilltartalmat eredményeztek eltérő szelénformák és eltérő koncentrációk alkalmazásakor?
- ✓ A tápoldatok pH-ját hogyan befolyásolták a szelénformák, illetve azok felvehetősége?
- ✓ Hogyan befolyásolták a különböző koncentrációjú szelén módosulatok, a tápoldatos kísérleti növények összes szeléntartalmát?
- ✓ A rhizoboxban nevelt növények gyökerei milyen mértékben fejlődtek eltérő mennyiségben alkalmazott szelenit és szelenát esetében?

2. Szakirodalmi áttekintés

2.1. A szelén felfedezésének története

Jöns Jacob Berzelius (1. kép) svéd vegyészt 1817-ben felkérték, hogy vizsgálja meg egy gripsholmi kénsavgyár dolgozóinak folyamatos rosszullétét. Berzelius arra következtetett, hogy a kénforrás szennyezettsége okozhatja a dolgozók egészségének romlását. Elsősorban az arzént és a tellúrt vélte lehetséges szennyezőnek. Azonban megvizsgálva a savkádak üledékét, egy új, addig még ismeretlen elemet fedezett fel, melyet a Hold görög istennőjéről, szelénnek nevezett el (Kápolna, 2006; Whanger, 2002).



1. kép
Jöns Jacob Berzelius
(I.)

Bár ezt az elemet Berzelius izolálta először, nem ő fedezte fel ténylegesen. A XIII. században egy olasz tudós, Arnold of Villanova már említést tett „A filozófusok rózsakertje” című könyvében, egy „vörös kén” nevet viselő vegyületről, azonban az akkori módszerek még nem tették lehetővé az elem tanulmányozását, illetve annak azonosítását. A szintén olasz nemzetiségű Marco Polo is a XIII. században tett megfigyeléseket a szelén tulajdonságait illetően. Fiatal férfiként csatlakozott egy kereskedelmi expedícióhoz, melynek célja Kína volt. Úgy döntött, hogy ott marad, ugyanis magas állami hivatalt kapott Kublaj kán udvarában, és tisztségének megfelelően különböző utazásokon is részt vett a kán nevében. Az utazásokról szóló feljegyzésekben, olyan mérgező növényekről olvashatunk, melyekből, ha a patás állatok ettek, elvesztették a patájukat és a szőrzetüket. A leírt mérgező növények, a kutatók szerint szelén „akkumulátorok”, ugyanis nagy koncentrációban képesek felvenni a szelént a talajból, ezáltal toxicitást figyelhetünk meg a növényekben. A pata elvesztését a kutatók tipikus tünetnek tekintik a szelénrel mérgezett állatoknál (Reilly, 1996).

2.1.1. A szelénről kialakult vélemény

Marco Polo és Berzelius tapasztalatai, a csekély kutatói munka, valamint az 1960-as években történt nagy szenzációhangzatú események sorozata miatt - mely a szeléngőzőket rendszeresen belélegző munkások egészségkárosodásáról szólt (Bankhofer, 1994) - a laikusok és a szakemberek véleménye is negatív irányba tolódott a szelénnel kapcsolatban.

1957-ben változás következett be. Schwarz és Foltz patkánykísérleteikkel bizonyították be a mikroelem esszenciális jellegét. Az állatok étrendjét szelénnel dúsították és eredményeik alapján arra következtettek, hogy fontos szerepe van a máj-nekrózis megelőzésében (Schwarz és Foltz, 1957). Az eredményes felfedezés után, a szelén egyre inkább a kutatások középpontjába került.

2.2. A szelén kémiai tulajdonságai



2. kép
A szelén
(I₂)

A szelén (Se) (2. kép) egy nemfémes elem, melynek rendszáma 34, relatív atomtömege 78,96 g. A periódusos rendszerben a kén (S) alatt, a tellúr (Te) felett, valamint a bróm (Br) és az arzén (As) között található, a 4. periódusban és a VI. főcsoportban. Forráspontja: 685°C. Hat stabilis izotópja ismert. A leggyakoribb a ⁸⁰Se-izotóp, melynek relatív gyakorisága: 49,96%, valamint a ⁷⁸Se-izotóp, melynek relatív gyakorisága: 23,61%. Ismerjük még a ⁷⁶Se, ⁸²Se, ⁷⁷Se és a ⁷⁴Se- izotópokat. Ezek természetes előfordulása kisebb az előtűk

említett izotópoknál. A szelén kémiai hasonlóságot a periódusos rendszerben fölötte elhelyezkedő kénnel mutat, ugyanis a két elemnek hasonló az atommérete, a kötési energiája és a külső vegyértékhéj elektronszerkezete is (Skinner, 1999). A szelén oxidációs állapotai: -2 (szelenid Se²⁻), 0, +4 (szelenit SeO₃²⁻), +6 (szelenát SeO₄²⁻). Vegyületei a +4-es oxidációs állapotban a legstabilabbak (Marschner, 1995; Tinggi, 2003).

A szelén sói a szelenitek és a szelenátok. Fontos jellegzetességük, hogy vízben oldhatóak és vezetőképeségük a fény hatására megnő (Takács, 2001).

A szelén többféle módosulatban fordul elő a környezetünkben. Erre az egyik példa az amorf vörös por, továbbá az ehhez hasonló, de sárga színű kénes anyag, amit ha felmelegítünk szürke szelénné alakul. Van még egy üvegszerű formája, ami szintén akkor változik szürke szelénné, ha melegítjük azt. Ismeretes még a fémes szelén, melynek háromszöghöz hasonló alakja van és normál hőmérsékleten instabil. Ez a leggyakoribb módosulata, mely félvezető tulajdonsággal bír. A vörös szelénnek van olyan formája is, mely hasonlít a kristályos kénre. Ezenkívül a szelén fekete módosulata is ismert (Reilly, 1996).

2.3. A szelén előfordulása

A szelén a környezetünkben szinte mindenhol jelen van. Az összes élő szervezetben, a talajban, a talajvízben és az egyéb felszíni és felszín alatti vizeinkben is megtalálható. Az elemi szelén biológiailag nem hozzáférhető, ritkán fordul elő természetes körülmények között, azonban a talajban stabil formában fellelhető. Vízben nem, vagy csak kissé oldható. Az elemi szelén szelén-dioxiddá oxidálódhat, melyek leginkább a talaj felszínén fordulnak elő. Anaerob körülmények között, a szelén elemi formában van jelen (Craig, 1986). A szelenátok (SeO_4^{2-}) és a szelenitek (SeO_3^{2-}) vízoldékony vegyületek, így a vizekben a szelén leginkább ilyen módosulataiban található meg (Gómez-Ariza et al., 1998).

2.3.1. A szelén előfordulása talajban

A talajban a szelén eloszlása nem egyenletes. A Föld egyes területein a szelén-koncentráció $1 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ (Reilly, 1996). Azonban a Föld nagy részén jellemzően olyan talajok vannak, melyeknek a szeléntartalma nagyon kevés. Ez az érték $0,005\text{-}2,0 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ között van (Takács, 2001). Egyes termőtalajon csak később alakult ki szelénhiány, melynek oka, hogy sok műtrágyát alkalmaztak, illetve ammónium-szulfáttal való túltrágyázás történt. A talajban lévő szelént ugyanis megköti a műtrágya. További szelénhiányt kialakító és befolyásoló tényezőként kell megemlíteni a savas esőt, mely kémiai változást idéz elő, ugyanis nagy mennyiségben juttat a talajba kénsavat, valamint kéntartalmú fosszilis termékeket, melyek

hatására a növények nem tudják felvenni a szelént, mert ezek az anyagok megkötik azt (Bankhofer, 1994). A talaj szelén tartalmát ezen kívül még számos tényező befolyásolja. A legmeghatározóbb a talaj alapköze, valamint a csapadék mennyisége. A száraz talajokban például magasabb szelén értéket mérnek (Aubert és Pinta, 1977).

A szelén mobilitása is sok tényezőtől függ. Meg kell említenünk a talaj hőmérsékletét, a talaj víz-, és szerves anyag tartalmát, az évszaki jellemzőket, illetve a talajban lejátszódó mikrobiális folyamatokat is (Kádár, 1998). Megállapításra került, hogy a szelénformák közül a szelenát a legmobilisabb, mégpedig a komponens oldékonysága és a talaj szemcséin való gyenge adszorpció alapján. A jobb biológiai hozzáférhetőség miatt, a vízoldékony szelén vegyületek veszélyesebbek, mint az oldhatatlanok. Az elemi szelén kevésbé mobilis és oldékony (Kápolna, 2006).

A szelénben szegény talajoknál nátrium-szelenáttal, vagy nátrium-szelenittel történő kezelés során körültekintően kell eljárni. A takarmánynövényekbe ugyanis toxikus mennyiségű szelén kerülhet be. A szennyeződést úgy tudjuk elkerülni, ha a szelénsókat a levelekre permetezzük, vagy ha a magvakat szeléntartalmú oldatban áztatjuk (Simon, 1999).

2.3.2. A szelén elfordulása az emberi szervezetben

A szelén a szervezetünkbe három lehetséges módon juthat be, mégpedig a légutakon, a bőrön és a tápcsatornán keresztül. Bőrön át csak a szelenitek kerülnek a szervezetbe, míg a szelén a vékonybélből szívódik fel, melynek abszorpciója 95% körüli. A felszívódás mértéke természetesen függ a szelén formájától. Például a kutatások arra mutatnak rá, hogy a szeleno-metioninból 75%, szelenitből 48% szelén szívódik fel. Mindezek alapján az azonos tömegben bevitt szelén lehet toxikus, vagy nem toxikus is. Szervezetünkben, a legnagyobb mennyiségben, a vese kéregállományában, a májban, a herében, a szívizomban, a hasnyálmirigyben és a lépben raktározódik el. A vér szelén koncentrációja igen változó (Takács, 2001). Az egészséges emberi vérben $50-280 \mu\text{g dm}^{-3}$, a vizeletben $34 \mu\text{g dm}^{-3}$ szelén van (Bankhofer, 1994).

2.3.3. A szelén szerepe az élettani folyamatokban

A szelénnek nagyon fontos szerepe van az élettani folyamatokban. Többek között alkotója a 21. aminosavnak, a szelenociszteinnek (SeCys) (Stadtman, 1996), melyet szeléntartalmú fehérjékből sikerült kimutatni (több mint 30 félé) a mitokondriumokban, a prosztatában és a herékben (Behne et. al., 1998).

A szelén továbbá részt vesz az immunrendszer működésében, melyet 1959-ben bizonyítottak először. Számos tanulmány állítja, hogy megfelelő szelénfelvétel szükséges az optimális immunműködés biztosításához, és a daganatképződés megelőzéséhez is (Rayman, 2012). Ennek bizonyítására állatkísérletek során szelént juttattak be a kutyák szervezetébe, amely egy fehérvérsejt-fehérjébe épült be. Eredményeik szerint ez a mikroelem nélkülözhetetlen a fejlődéshez, valamint a növekedéshez, továbbá képes megelőzni a háziállatok tápláltsági állapotával összefüggő myopathiákat (izombántalom). (Tamás, 2000).

Hazánkban a szelén ajánlott napi bevitele egy 70 kg-os embernél 80 µg (RDI). Ezt a mennyiséget testtömeg kg alapján állapítják meg. Eltérés van azonban a nők, illetve a férfiak részére ajánlott mennyiség között. Nőknél 60 µg, férfiaknál 75 µg van megállapítva Magyarországon (Magyar Élelmiszerkönyv, 2001).

2.4. Szelénhiány és tünetei

Mind a szelén hiánynak, mind a feleslegnek súlyos következményei vannak.

Az egyik legismertebb betegség a Keshan-kór, amely megegyezik az endémiás cardiomyopathiával (szívizombántalom) (Birringer et al., 2002). Ez a kór Közép-Kína bizonyos hegyvidéki területein söpört végig gyermekeken és fiatal asszonyokon. Súlyos szív működési zavarokat, akut szívelégtelenséget, elváltozásokat okoz a szívizomszövetben. Továbbá szívnagyobbodást, szapora pulzust, szabálytalan szívritmust és arcvizenyőt is eredményez. 1966-ban megállapították, hogy ez nem egy speciális betegség, amit Keshan-tartomány környezeti hatásai váltanak ki, hanem a szelénhiány miatt alakul ki. Vizsgálatokkal igazolták, hogy a talaj szeléntartalma igen csekély, ezért a lakosság szelénbevitel sem megfelelő (Bankhofer, 1994). A lakosság táplálékát ezután nátrium-szelenittel egészítették ki, és ezzel állították meg a halálos betegséget. Jóval később azonban arra is fény derült, hogy nem közvetlenül a szelénhiány okozta ezt a betegséget, hanem egy különleges kórokozó,

mégpedig a Coxsackie-vírus fertőzés, melynek a sejten belüli reprodukcióját a szelén szelektíven gátolja (Dernovics, 2003). Európa több országában is megjelent ez a betegség. Azok a csecsemők betegedtek meg, akik nem anyatejen, hanem tehéntejen nevelkedtek, ugyanis a tehéntej eredetileg is kevés szelént tartalmaz. Ezt a tejet azonban még lefőlőzték, és ennek hatására a szeléntartalom még tovább csökkent (Bankhofer, 1994). Mindez arra mutatott rá, hogy a csecsemőknek a legmegfelelőbb tápláléka az anyatej, mivel számos makrokomponenst, rengeteg vitamint és esszenciális mikroelemet is tartalmaz, mely magában foglalja a megfelelő mennyiségű szeléntartalmat is (Stavroula et al., 2005).

A szelénhiány másik elterjedt betegsége a Kashin-Beck elnevezést kapta, melyet az ízületi porc degenerációja jellemez. Ennek kialakulása főleg a szelénhiányos Észak-Kína, Észak-Korea és Kelet-Szibéria régióit érinti. Leginkább az 5 és 13 év közötti gyerekeket támadja meg. Szélsőséges esetekben ízületi elváltozást vagy akár törpességet is eredményezhet, melyet a porcokat alkotó sejtek deformációja idéz elő. A betegség kialakulását a szelénbevitel nem előzi meg, ebből adódóan a szelénhiány szerepe nem egyértelmű. Azért kötik mégis ehhez az elemhez ezt a betegséget, mert az említett régiók szelénhiányos területein fordulnak elő (Foster és Sumar, 1997). A szelénhiány tünetei között lehet még említeni továbbá a szív- és vázizomzat gyengeségét, a csont- és ízületi rendszer rendellenességét, a kreténizmust, a hajhullást, a hajritkulást, illetve a bőrbetegséget. Azonban nem lehet egyértelműen kijelenteni, hogy a szelénhiány felelős-e a fent említett tünetek kialakulásáért, ugyanis egyik tünet sem specifikus. A szelén hiányát úgy tudjuk megállapítani, ha megvizsgáljuk a szervezet Selen-tartalmát. Ezt a vér, a plazma, a vörösvérsejtek, a köröm, a haj, valamint a vizelet szelén koncentrációjának meghatározásával lehet megbecsülni (Cser és Sziklai-László, 1998). A szelénhiány a rákos betegeknél is kimutatható (Takács, 2001). Szelén adagolásával lassítható a tumor növekedése, és egy része visszafejlődik (Bankhofer, 1994).

Az emberek szaporodásában is nagy szerepet játszik ez a mikroelem, ugyanis a férfiak szervezetében megtalálható szeléntartalom kb. 50%-a a spermában található. Szelénhiány esetében termékenységi problémákat tapasztaltak, valamint látásélesség csökkenést is megállapítottak (Takács, 2001).

2.5. A szelén felesleg és tünetei

Habár a szelén esszenciális nyomelem, nagy mennyiségben toxikussá válik. Ezt nevezzük szelenózisnak, melynek során a szervezetben először gyenge, majd egyre erősödő mérgezési tüneteket tapasztalhatunk (Arthur, 1991). Krónikus mérgezési tünetei között kell megemlítenünk a bőr- a szaruhártya- a körömváltozást, a hajhullást, a fáradtságot, a szédülést, a fogazat romlását, a gyomor- és a bélműködési zavarokat attól függően, hogy mennyi szelén jutott be a szervezetbe (Johnson et al., 2010). A halálos adag 5-10 mg/testsúly kg-tól kezdődik. Pár óra lefolyása alatt beáll a halál (Széles, 2007).

2.6. A szelén, mint antioxidáns

Az antioxidánsok olyan anyagok és vegyületek, amelyek védelmet nyújtanak a szabadgyökökkel szemben, hatástalanítják őket, segítik a sejtek megújulását és a szervezet védőaktivitását. Elősegítik továbbá a káros anyagok lebontását, fokozzák az E-vitamin transzportot a sejtfalon keresztül, illetve kölcsönhatásba lépnek a toxikus nehézfémekkel is (Bankhofer, 1994).

A szabadgyökök (I_3) olyan molekulák és molekularészletek, amelyek párosítatlan elektront tartalmaznak külső elektronhéjukon. Molekulákhoz kapcsolódnak, amiktől elektront szerezhetnek (László, 2004). Rendkívüli reakcióképességük miatt megtámadják a sejteket,

Szabadgyök-források és következményei



3. kép
(I_3)

károsítják annak szerkezetét és gyulladáskeltő anyagokat szabadítanak fel. Alapjában a teljes immunrendszer működését csökkentik le. A szabad gyökök megfázást, allergiát, gyulladást, rákot, tumoros betegségeket okozhatnak (Bankhofer, 1994).

A szelén jótékony hatása más antioxidánsokkal felerősödik. Ilyen például az E-vitamin. Szelén adagolással az antitestek termelődése harmincszorosára fokozható (Bankhofer, 1994).

A szelén antioxidáns természetű enzimek alkotója, szemben akár az E-, illetve a C-vitaminnal, melyek nem enzimes módon működő antioxidánsok (Burk, 2002).

2.7. A szelén előfordulás az élelmiszerekben

A legtöbb élelmiszerünk alacsony szeléntartalmú. Azért, hogy több szelént tudjunk bevinni a szervezetbe, nem elegendő az, ha bizonyos élelmiszercsoportokat fokozottan fogyasztunk, habár elterjedtek a szelén tartalmú étrend-kiegészítők, valamint a szelénrel dúsított élelmiszerek (Kápolna, 2006). A legtöbb élelmiszerünk tartalmaz szelént, de ennek mennyiségét számos tényező befolyásolja, mint például a talaj szeléntartalma (Navarro-Alcarón és Cabrera-Vique, 2008; Bíró és Bíró, 2000).

A hazánkban forgalomba kerülő hazai és import élelmiszerek a termesztési, a tenyésztési körülményei, az eredete, a talaj, az éghajlat és a fajtabeli különbségek eltéréseit eredményeznek a szeléntartalomban. A nyersanyagok feldolgozása során a szeléntartalom jelentősen változik, több százalékkal is csökkenhet (Gergely és Kontraszti, 1998). Például Bankhofer (1994) megállapította, hogy a teljes búzaszem őrlésekor 50% szelénveszteség lép fel, külső rétegétől megszabadítva 75%, főzéskor 45%, míg a fehér liszt előállításakor a teljes szeléntartalom 80%-avész el.

A szelén leginkább a következő élelmiszerekben fordul elő: hántolatlan magvak, barna rizs, kenyér, búzacsíra, gabonafélék, tengeri élőlények, szárnyas és egyéb húsfélék. Legjobb



4. kép
Brazil dió
(I₄)

szelénforrás a diófélék. Ide tartozik pl. a brazil dió (I_4), amely akár 100 μg szelént is tartalmaz szemenként. A napi szükségletet ezen élelmiszerekből tudjuk fedezni. A magvakban és gabonafélékben inkább aminosav formájában fordulnak elő (Széles, 2007).

2.8. Szelén előfordulása a növényekben

A növények szelénfelvételét meghatározza az elem alakja, a koncentrációja, a talajtényezők, mint például a pH, a só és a CaCO_3 tartalom, a talajban jelenlévő egyéb elemek és ionok koncentrációja, továbbá, hogy a növény hogyan képes metabolizálni. Például a Ca^{2+} ionok koncentrációjának növekedésével, a Se szorpciója is megemelkedik (Kabata Pendias, 2001). Megkülönböztetünk akkumuláló és nem-akkumuláló növényeket. A nem-akkumuláló növények, mint például a káposzta, a répa, a paradicsom, a burgonya, az uborka kevesebb, mint 1-2 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ szelént tartalmaz szárazanyagra nézve. Ritkán lépik túl a 10 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ mennyiséget (Bell et. al., 1992; Ellis és Salt, 2003). A nagyobb szelén tartalmú talajon ezek a növények maximum 6-17 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ szelént tartalmaznak (Whanger, 1989). Az akkumuláló növények azonban a megemelt szeléntartalmú talajon természetve nagy mennyiségben képesek felvenni és elraktározni a szelént. Az akkumuláló növények csoportjába tartoznak az indikátornövények, melyek akár 1000-10000 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ mennyiséget is képesek felhalmozni (Pilon-Smits és Quinn, 2010). Ezek javarészt nem fehérje jellegű szelenoaminosavakat szintetizálnak, melyek ezekben a növényekben 80%-ban metil-szeleno-ciszteinként vannak jelen. Az akkumuláló növények, a toxikus szelén mennyiséget tartalmazó talajok azonosítására és tisztítására kiválóan alkalmasak. Például Észak-Amerikában, ahol a szeléntartalom a kifejlett búzában, az árpában vagy a rozsban akár 30 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ is lehet (Oldfield, 1999).

A növények számára a szelén nem esszenciális mikroelem, azonban kis koncentrációban kedvező hatást fejt ki. Kutatások bizonyítják, hogy 1,5 mg dm^{-3} koncentrációval kezelt tök (*Cucurbita pepo*) hozamnövekedést eredményezett. A tanulmányokban említést tesznek még a rozs és saláta növényekről, miszerint 0,1 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ koncentráció szintén kedvezően hatott, azonban az 1 és 10 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ kezelések már kedvezőtlennek bizonyultak, (Germ et. al., 2005; Hartikainen et. al., 2000; Xue et. al., 2001) ugyanis ha szelénfölség lép fel, az gátolja a növekedést és kénanyagcserét zavaró tünetek alakulnak ki (Kádár, 1998).

Kísérletek alapján a szelén módosulatok közül a szelenát jobban hasznosuló szelénforma, a növények nagyobb mennyiségben képesek ezt felvenni, mint a szelenitet.

2.9. A szelén felhasználhatósága mindennapjainkban

A szelént igen sok helyen használják fel a mindennapjainkban. Az iparban napelemek, félvezetők, fotoelektromos cellák, fénymérők, fénymásoló gépek részeként (George, 2003). Továbbá a korpásodás elleni samponokban és többféle kozmetikai szerben találhatunk szelént. Hatása a karotinoidhoz hasonló, így például a naptejben is előfordul (Széles, 2007).

A szelén a természetben előforduló elem. Megeshet, hogy felhalmozódik egy-egy helyen és ennek következtében az ott lévő élővilágra kedvezőtlenül hat. Különböző ipari és mezőgazdasági tevékenységek során a nagy mennyiségben lévő szelén szennyezheti a vizeket, valamint azok élővilágát (Shardendu et al., 2003). Ez elsősorban a halakra és a vadon élő állatokra jelent veszélyt. A halak nem pusztulnak el a szennyezéstől azonnal, hanem akumulálják a szelént. Ennek következtében az emberek is veszélynek vannak kitéve ez által, mivel a halakban dúsuló toxikus mennyiségű elem az emberi szervezetbe juthat (Lemly, 2004). Ezért kell hangsúlyt fektetni a környezetvédelemre, mert az egészségünk is károsodhat.

3. Anyag és módszer

Kísérleti növényként egy egyszikű (kukorica, *Zea mays* L. cv. DKC 5007), illetve egy kétszikű (napraforgó, *Helianthus annuus* L. cv. P63LE13) növényt választottunk. A szelént nátrium-szelenit ($\text{Na}_2\text{SeO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) és nátrium-szelenát (Na_2SeO_4) formájában alkalmaztuk. A szükséges koncentrációt szelénre vonatkoztatva számoltuk ki.

3.1. Magvak csíráztatása

A kukorica és napraforgó magvak csíráztatása előtt csapvízzel mostuk le őket, melyre a csávázószer eltávolítása miatt volt szükség. Ezután ötszörös hígítású cc. H_2O_2 oldatban áztattuk 15-20 percig, majd ötször átmostuk desztillált vízzel. Végül 0,1 M CaSO_4 oldatban kb. 2 órán keresztül áztattuk (5. kép) a magvakat, a szemek duzzadása és egyenletesebb csírázása érdekében.



5. kép
A 0,1 M CaSO_4 oldatban lévő kukorica magvak
(Kántor, 2013)



6. kép
Napraforgó magvak nedves szűrőpapír között
(Kántor, 2013)

A magvakat nedves szűrőpapír közé helyeztük (6. kép), úgy hogy a csíranövények polaritása természetes legyen, mely így egyenes növekedésű hajtásokat és gyökereket eredményezett, amely megkönnyítette a további munkavégzést. A csíráztatást a Növénytudományi Intézet, Mezőgazdasági Növényteni, Növényélettani és Biotechnológiai Tanszék klímaszobájában, kontrollált feltételek között végeztük.

3.2. A növények nevelése tápoldaton

A kísérletünk során a kicsírázott növényeket 1,7 literes edényekbe helyeztük el. Egy edényben 4 növényt neveltünk, és a csíranövényeket sterilizált szivacsok segítségével rögzítettük összesen 24 edénybe.

Az egyszikű növények neveléséhez az alábbi összetételű tápoldatot használtuk: 2,0 mM $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, 0,7 mM K_2SO_4 , 0,5 mM MgSO_4 , 0,1 mM KH_2PO_4 , 0,1 mM KCl, 0,1 μM H_3BO_3 , 0,5 μM MnSO_4 , 0,5 μM ZnSO_4 , 0,2 μM CuSO_4 , 0,01 μM $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$.

A kétszikű növények tápoldatának összetétele a következő volt: 2,0 mM $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, 0,7 mM K_2SO_4 , 0,5 mM MgSO_4 , 0,1 mM KH_2PO_4 , 0,1 mM KCl, 10 μM H_3BO_3 , 0,5 μM MnSO_4 , 0,5 μM ZnSO_4 , 0,2 μM CuSO_4 , 0,01 μM $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$.

A növények a vasat 10^{-4} M Fe-EDTA formában kapták.

A növények nevelésére a Növénytudományi Intézet, Mezőgazdasági Növénytani és Növényélettani Tanszékcsoport Klímaszobájában került sor (7. kép).



7. kép
Kukorica növények nevelése tápoldaton klímaszobában
(Kántor, 2013)

A környezeti feltételek szabályozottak voltak: a fényintenzitás $300 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, a hőmérséklet periodicitása 25/20°C (nappal/éjjel), a relatív páratartalom (RH) 65-75%, a megvilágítás/sötét periódus 16 óra/8 óra. A tápoldatok levegőztetése folyamatos volt.

3.2.1. A tápoldatos kísérlet

A tápoldatos kísérleteink során a kukorica növényeket 14 napig, míg a napraforgó növényeinket 21 napig neveltük. Különböző kezeléseket alkalmaztunk. A kontroll oldat,



8. kép
SPAD 501 mérőműszer
(Kántor, 2013)

kizárólag törzsoldatot, vasat, valamint ioncserélt vizet tartalmazott. Szelenit kezelés esetén: 0,1; 1; 10; 100 mg·kg⁻¹, szelenát kezelés során 0,1; 1 és 10 mg·kg⁻¹ szelénre vonatkoztatott koncentrációt alkalmaztunk. A tápoldat cseréje hetente 2-3 alkalommal történt.

Mind a tápoldatos, mind a rhizoboxos kísérleti növényeink gyökereit 0,1 M-os HCl-val, és desztillált vízzel mostuk át, elválasztottuk a hajtás és gyökér részt, kibélelt alumínium edénybe tettük a mintákat, majd szárítószekrényben 85°C-on tömegállandóságig szárítottuk. Miután a minták szobahőmérsékletűre hűltek vissza, analitikai mérlegen (OHAUS, Svájc) mértük le a hajtások és a gyökerek tömegét.

A kísérletünk részét képezte, hogy a növényeink leveleinek relatív klorofill tartalmát is mértük, melyet az utolsó napon végeztük el MINOLTA SPAD 501 típusú hordozható relatív klorofill tartalommérő műszerrel (8. kép). Levelenként 5 mérést átlagoltunk, melyet háromszor ismételtünk. A kísérleti növények felszámolásával egyidejűleg mértük a tápoldatok pH-ját is Mettler Toledo típusú pH mérővel, továbbá vizsgáltuk a növények száraz tömegét is.

3.3. Rhizobox kísérlet talaj előkészítése

A rhizoboxos kísérlethez a DE-ATK Látóképi Kísérleti Telepéről származó mészlepedékes csernozjom talajt használtunk fel, melynek legfontosabb paraméterei a következők:

Mélység	0-0,3 m
pH (KCl)	5,71
pH (H ₂ O)	6,58
Arany-féle kötöttség K _a	43
Vízoldható összes só	0,015 %
CaCO ₃	0,202 %

Humusz	3,54 %
KCL-oldható $\text{NO}_3\text{-N}+\text{NO}_2\text{-N}$	8,04
AL-oldható P_2O_5	199 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$
AL-oldható K_2O	451 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$
AL-oldható Na	332 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$
KCl-oldható Mg	176 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$
KCl-oldható $\text{SO}_4^{-2}\text{-S}$	6,04 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$
KCl-EDTA oldható Cu	5,79 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$
KCl-EDTA oldható Zn	7,9 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$
KCL-EDTA oldható Mn	262 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$

A kontroll talajhoz nem adtunk szelént, a kísérleteinkben pedig az alkalmazott kezelések (szelenit, szelenát) a következők voltak: 30, 90, 270 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$.

Mielőtt a talajt a rhizoboxokba raktuk, az egyes boxok aljára ioncserélt vízzel benedvesített szűrőpapírt helyeztünk el, mely által biztosítottuk az egyenletes vízfelvételt a növények számára.

3.3.1. Rhizoboxos kísérlet

A talajt megfelelő előkészítés után a rhizoboxokba helyeztük a magvakkal együtt. Ezután műanyag átlátszó fedelet tettünk rá, melyet csavarral rögzítettünk. Az átlátszó oldalt fekete fóliával borítottuk be, majd lemértük az egyes rhizoboxok tömegét és ezt követően 45°-os



9. kép
Rhizoboxos kísérlet kukorica növényen
(Kántor, 2014)

szögben helyeztük el azokat, a geotrópos növekedés biztosítása érdekében (9. kép). Így a gyökerek a műanyag fedőlap mentén növekedtek, ezáltal figyelemmel tudtuk kísérni a gyökér növekedését és napi ritmusát is. Továbbá naponta mértük az egyes boxok tömegét, és a leadott vízmennyiséget pótoltuk.

Az rhizoboxos kísérleteinkben kezelésként három ismétlést alkalmaztunk, és egy boxba három csíranövény került. A kísérletünk befejezésekor a növényeket szárítószekrénybe helyeztük, súlyállandóságig szárítottuk, és a szárazanyag tömegüket feljegyeztük.

3.4. Elemtartalom meghatározása

A tápoldatos kísérlet során nevelt növényekből elemtartalmát is meghatároztuk. A minták előkészítését és mérését, a Debreceni Egyetem, Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar, Élelmiszertudományi Intézetében végeztük el műszeres méréssel.

3.5. Minták előkészítése



10. kép
Millipore víztisztító berendezés
(Kántor, 2014)

A mosogatáshoz, továbbá az oldatok előkészítéséhez használt nagytisztaságú vizet egy kétlépcsős Millipore (Millipore, Párizs, Franciaország) víztisztító berendezés segítségével állítottuk elő (10. kép). A csapvízből az első lépcsőben egy fordított ozmózis elvén működő MILLI-RO 5 PLUS berendezés 10-15 μS vezetőképességű vizet állít elő, a második lépcsőben pedig a MILLI-Q RG egy ioncserés, baktériumszűrővel ellátott készülék ezt tisztítja tovább. A MILLI-Q RG készülékből 0,05 μS vezetőképességű, gyakorlatilag baktérium- és sómentes vizet kapunk.

3.6. Növényi minták roncsolása

Kísérletünk során az elemtartalom meghatározásához a mintákat homogenizáltuk, majd ezekből ezredgramm pontossággal 0,5 g-ot mértünk be analitikai mérlegen 100 és 50 ml-re kalibrált, hőálló roncsoló csövekbe. Ezt követően a mintákhoz 5 ml cc. HNO_3 -at (65m/m%,



11. kép
Roncsoló csövek az előroncsolás után
(Kántor, 2014)

Scharlau) adtunk. Az így elkészült mintákat egy éjszakán át állni hagytuk vegyi fülkében. Másnap 60°C-on 45 percig melegítettük, ún. előroncsolást végeztünk. Ezután hűlni hagytuk (11. kép) a mintákat, majd 1,5 ml H_2O_2 -ot (30 %, Merck, Németország) tettünk hozzájuk és 90°C-on 120 percig főroncsolást végeztünk. Miután lehűltek, ioncserélt vízzel töltöttük fel a hőálló kémcsöveket jelig. A mintákat 100 ml-es Erlenmeyer lombikokba szűrtük le FILTRAK 388-as típusú szűrőpapíron keresztül. A lombikból a mintákat a mérés elvégzéséig 25 ml-es műanyag szcintillációs edényekbe öntöttük. A minták feltárásánál roncsolási vakpróbát is készítettünk.

3.7. Analitikai készülék bemutatása

A mintákban lévő szelént egy X7-es típusú, Thermo Elemental gyártmányú készülék segítségével határoztuk meg.

A készülék mérési paraméterei:

(A *-gal jelölt kifejezéseknek nincs magyar megfelelője)

RF kicsatolt teljesítmény	1400 W
Plazmagáz áramlási sebesség	13 $\text{dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$
Porlasztógáz áramlási sebesség	0,84 $\text{dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$
Segédgáz áramlási sebesség	1,1 $\text{dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$
Mintabetáplálás sebessége	0,87 $\text{cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$
Pole Bias*	-10 V
Hexapole Bias*	-7 V

Extrakció	-149 V
Fókusz	0 V
Analóg detektor	1850 V
PC detektor	2170 V
CCT gáz (H ₂ :He) áramlási sebesség (7% H ₂ +93% He)	7 ml·min ⁻¹
Integrációs idő	0,1 s
Stabilizációs idő	40 s
Mintaszállító pumpacső típusa	narancssárga

Az ICP-MS készülék tömeg/töltés szerint detektál. A mintákban, kis koncentrációban jelen lévő elemek ICP-MS technikával jól mérhetőek. A kis koncentrációk meghatározásakor fellépő, poliadduktumoktól származó zavaróhatások kiküszöbölésére úgynevezett ütközési cellás (CCT) mérési módszert alkalmaztunk. Az analízis során belső standard alkalmazására is szükség volt, hogy az egyéb zavaró hatásokat tudjuk csökkenteni. A belső standard olyan elemet vagy elemeket jelent, melyek előfordulási koncentrációja a vizsgált mintában nagyon alacsony. Az általunk, belső standardként alkalmazott elem a Rh volt. A leronsolt mintákból 1,0 ml-t mértünk be ICP készülékekben használt kémcsövekbe, továbbá 0,1 ml Rh-ot és 3,9 ml ioncserélt vizet. Így a készülékbe összesen 5 ml mennyiségű mintákat helyeztünk el.

4. Eredmények és értékelésük

4.1. Tápoldatos kísérlet eredményei

A tápoldaton nevelt növényeknél (12. kép) elemeztük a száraztömeg produkciót, a relatív klorofilltartalmat, a tápoldatok pH-ját és külön-külön a gyökerek és a hajtások által felvett összes szeléntartalmat.



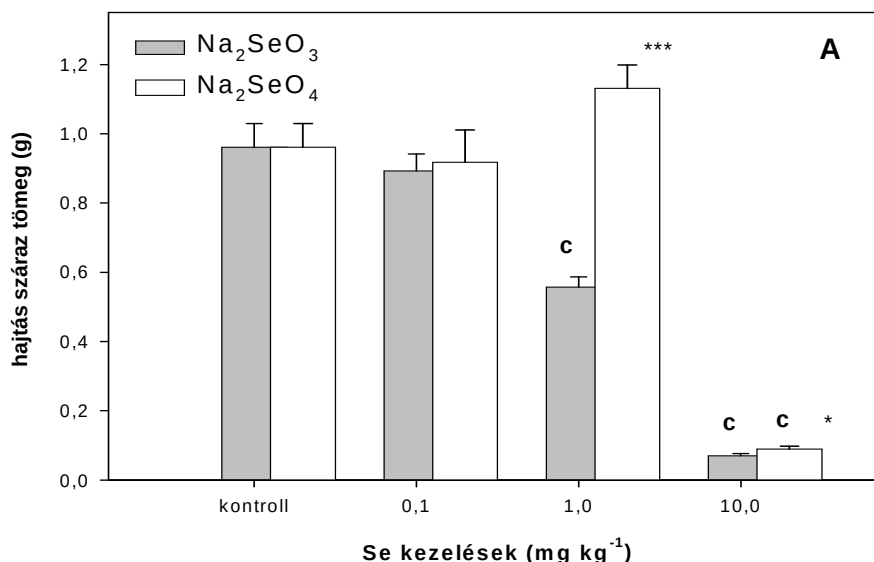
12. kép

Kukorica növények különböző koncentrációjú nátrium-szelenittel való kezelés után
(Kántor, 2013)

4.1.1. Száraztömeg produkció

Napraforgó növényeknél a Na_2SeO_3 -es kezelésnél a hajtás tömege csökkent (1. ábra). A szelénre vonatkoztatott $0,1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ koncentrációjú szelenit kezelés száraztömeget csökkentő hatása nem szignifikáns. Ugyanakkor mind az 1 és $10 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, koncentrációjú szelenit nagymértékű szárazanyag mennyiségbeli csökkenést eredményezett.

A Na_2SeO_4 -tal való kezelés a napraforgóhajtásokra kedvezőbb hatású, mint a szelenit. Eredményeink szerint az $1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ -os kezelés hatására szignifikánsan nőtt a száraztömeg értéke. A $10 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ -os szelenát ugyancsak nagymértékben (90%-ra) redukálta a szárazanyag

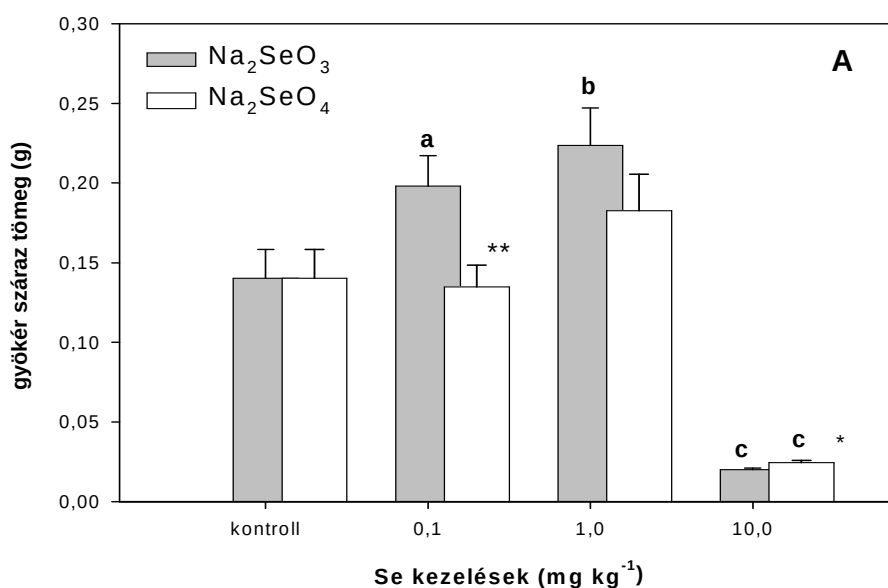


1. ábra: A hajtás száraz tömegének (g) változása különböző koncentrációjú (kontroll: $0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ szelén; 0, 1: $0,1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ szelén; 1: $1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ szelén; 10: $10 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ szelén) és formájú szelén (nátrium-szelenit: Na_2SeO_3 és nátrium-szelenát: Na_2SeO_4) kezelés hatására napraforgó (A) esetében. $n=12 \pm \text{s.e}$ (a különböző formájú szelén kezelések szignifikáns különbsége: $p < 0,05^*$, $p < 0,001^{***}$; kontrollhoz képest a szelén kezelés hatása: $p < 0,001^c$

produkciót. Ennél a koncentrációnál szignifikáns különbséget mértünk az eltérő szelénformák hatása között a hajtás szárazanyag tartalmát befolyásoló hatása tekintetében.

Ezenkívül azt is megállapítottuk, hogy az azonos koncentrációjú szelenát kedvezőbb hatásúnak bizonyult, mint a szelenit.

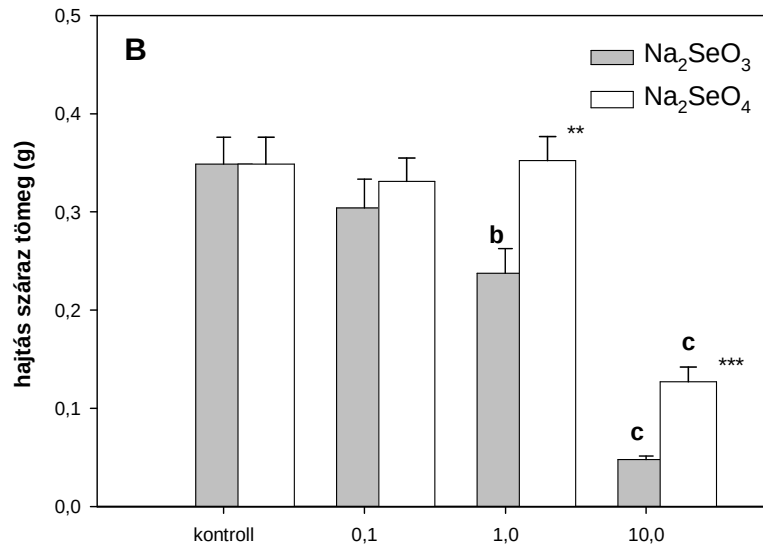
A gyökér szárazanyag tartalma ugyanakkor szignifikánsan nőtt $0,1$ és $1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ -os szelenit kezelésekre, ami tendenciáját tekintve a szelenát kezelésekre is igaz (2. ábra). A $10 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ -os szelenát és szelenit kezelés mintegy 90%-ra redukálta a gyökér szárazanyag tartalmát, és a hajtáshoz hasonlóan a gyökérben is szignifikáns különbség figyelhető meg az eltérő szelénformák hajtásának tekintetében. A 2. ábrából ezenkívül az is kitűnik, hogy a $10 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ -os szelenát kezelés kisebb csökkenést eredményezett a gyökér szárazanyag tartalmában az ugyanolyan koncentrációjú szelenithez képest.



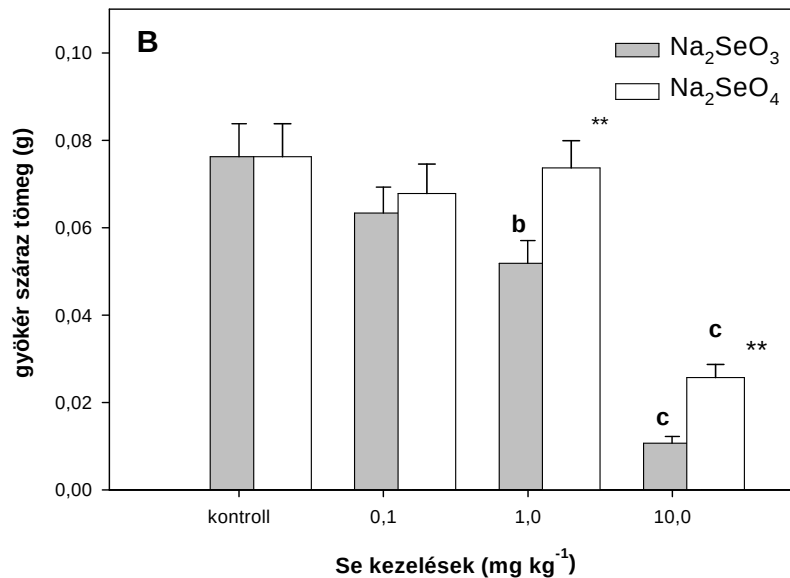
2. ábra: A gyökér száraz tömegének (g) változása különböző koncentrációjú (kontroll: 0 mg·kg⁻¹ szelén; 0,1: 0,1 mg·kg⁻¹ szelén; 1: 1 mg·kg⁻¹ szelén; 10: 10 mg·kg⁻¹ szelén) és formájú szelén (nátrium-szelenit: Na₂SeO₃ és nátrium-szelenát: Na₂SeO₄) kezelés hatására napraforgó (A) esetében. n=12±s.e (a különböző formájú szelén kezelések szignifikáns különbsége: p<0,05*, p<0,01**; kontrollhoz képest a szelén kezelés hatása: p<0,05^a, p<0,01^b, p<0,001^c

A kukorica hajtás száraztömegéről elmondható a 3. ábra alapján, hogy az eltérő szelén-módosulatok alkalmazása esetén a 0,1 mg·kg⁻¹-os kezeléseknél nem tapasztaltunk szignifikáns különbséget, azonban az 1 és 10 mg·kg⁻¹-os szelenit, valamint a 10 mg·kg⁻¹-os szelenát már szignifikáns csökkenést okozott a kontrollhoz képest, melynek értéke több mint 60% volt.

Ugyanezt a tendenciát követte a kukorica gyökere is (4. ábra). A gyökér esetében is megfigyelhető, hogy a kontroll és a legkisebb koncentrációjú (0,1 mg·kg⁻¹) kezelésnél mért száraztömeg eredmények között nincs szignifikáns különbség. Azonban az 1, valamint 10 mg·kg⁻¹-os szelén-módosulatok alkalmazásával, a gyökérnél is szignifikáns csökkenést tapasztaltunk.



3. ábra: A hajtas száraz tömegének (g) változása különböző koncentrációjú (kontroll: 0 mg·kg⁻¹ szelén; 0,1: 0,1 mg·kg⁻¹ szelén; 1: 1 mg·kg⁻¹ szelén; 10: 10 mg·kg⁻¹ szelén) és formájú szelén (nátrium-szelenit: Na₂SeO₃ és nátrium-szelenát: Na₂SeO₄) kezelés hatására kukorica (B) esetében. n=12±s.e (kontrollhoz képest a szelén kezelés hatása: p<0,01^{**}, p<0,001^{***}; a különböző formájú szelén kezelések szignifikáns különbsége: p<0,01^b, p<0,001^c

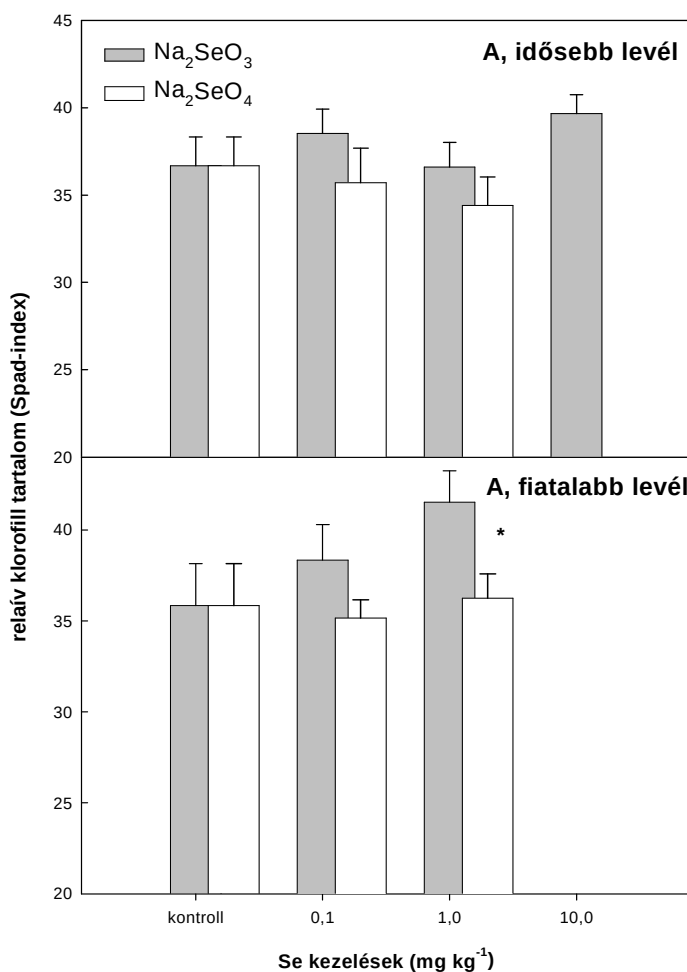


4. ábra: A gyökér száraztömegének (g) változása különböző koncentrációjú (kontroll: 0 mg·kg⁻¹ szelén; 0,1: 0,1 mg·kg⁻¹ szelén; 1: 1 mg·kg⁻¹ szelén; 10: 10 mg·kg⁻¹ szelén) és formájú szelén (nátrium-szelenit: Na₂SeO₃ és nátrium-szelenát: Na₂SeO₄) kezelés hatására kukorica (B) esetében. n=12±s.e (kontrollhoz képest a szelén kezelés hatása: p<0,01^{**}, p<0,001^{***}; a különböző formájú szelén kezelések szignifikáns különbsége: p<0,01^b, p<0,001^c

4.1.2. Relatív klorofilltartalom (SPAD-index)

A szárazanyag produkció szempontjából a fotoszintetikus pigmentek mennyiségi és minőségi összetétele meghatározó. A fotoszintetikus pigmentek közül is a klorofill molekulák szerepe rendkívül fontos a fotoszintetikus hatékonyság szempontjából. Kísérleteink során mértük a növények relatív klorofill tartalmát, 8-9 napos korukban.

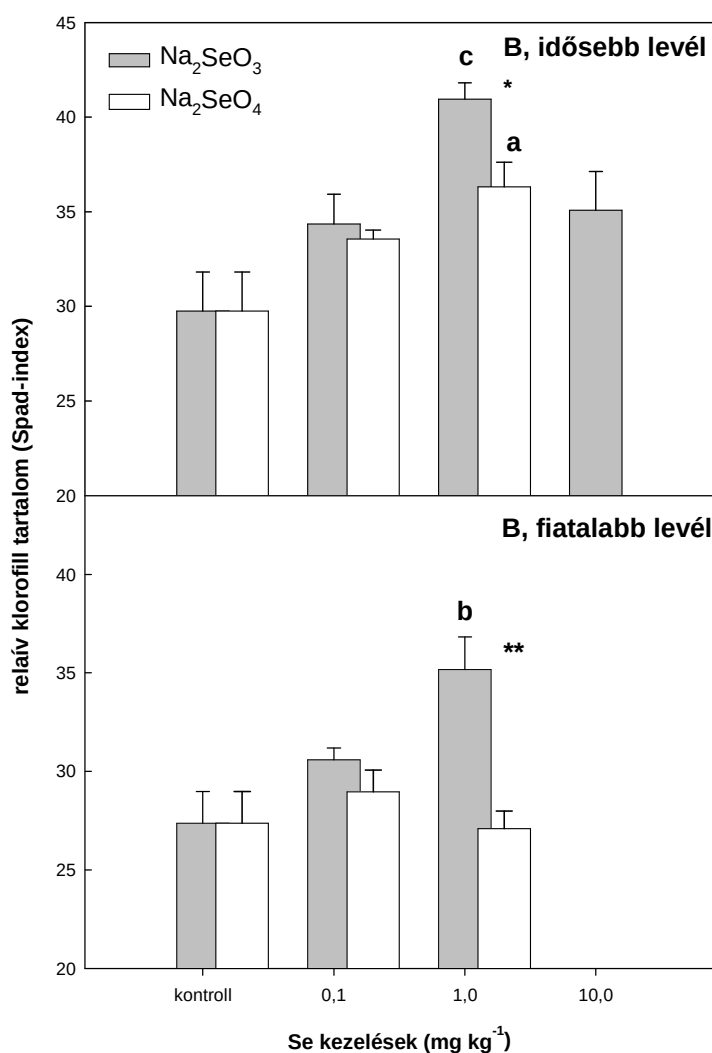
A napraforgó növény relatív klorofill tartalmának változását a fiatalabb és az idősebb levelekben, a különböző szelénformák eltérő koncentrációjának hatására az 5. ábra mutatja.



5. ábra: Napraforgó (A) növény relatív klorofill tartalmának (Spad-index) változása eltérő korú levelekben (fiatalabb, idősebb) a különböző szelénformák (nátrium-szelenit: Na₂SeO₃ és nátrium-szelenát: Na₂SeO₄) eltérő koncentrációjának (kontroll: 0 mg·kg⁻¹ szelén; 0,1: 0,1 mg·kg⁻¹ szelén; 1: 1 mg·kg⁻¹ szelén; 10: 10 mg·kg⁻¹ szelén) hatása. n=30±s.e. A különböző formájú szelén kezelések szignifikáns különbsége: p<0,05*, p<0,01**)

Ezen az ábrán jól látható, hogy a Na_2SeO_3 -el kezelt növényeknél a kontrollhoz képest magasabb értékeket kaptunk. A fiatalabb levélnél egyértelmű növekedést figyelhetünk meg, sőt az $1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ koncentrációnál már szignifikáns különbség is kimutatható. A Na_2SeO_4 -tal kezeltéknél a kontrollhoz közeli, illetve attól alacsonyabb értékek voltak. Az idősebb levélnél méréseink alapján, egyértelműen csökken a relatív klorofill tartalom, viszont a fiatalabb levélnél ez nem mondható el Na_2SeO_4 kezelés esetében.

Eredményeink szerint a kukorica növény idősebb levelének klorofill tartalma a szelenittel,



6. ábra: Kukorica (B) növény relatív klorofill tartalmának (Spad-index) változása eltérő korú levelekben (fiatalabb, idősebb) a különböző szelénformák (nátrium-szelenit: Na_2SeO_3 és nátrium-szelenát: Na_2SeO_4) eltérő koncentrációjának (kontroll: $0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ szelén; 0,1: $0,1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ szelén; 1: $1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ szelén; 10: $10 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ szelén) hatása. $n=30 \pm \text{s.e.}$ (kontrollhoz képest a szelén kezelés hatása: $p < 0,01^b$, $p < 0,001^c$; a különböző formájú szelén kezelések szignifikáns különbsége: $p < 0,05^*$, $p < 0,01^{**}$)

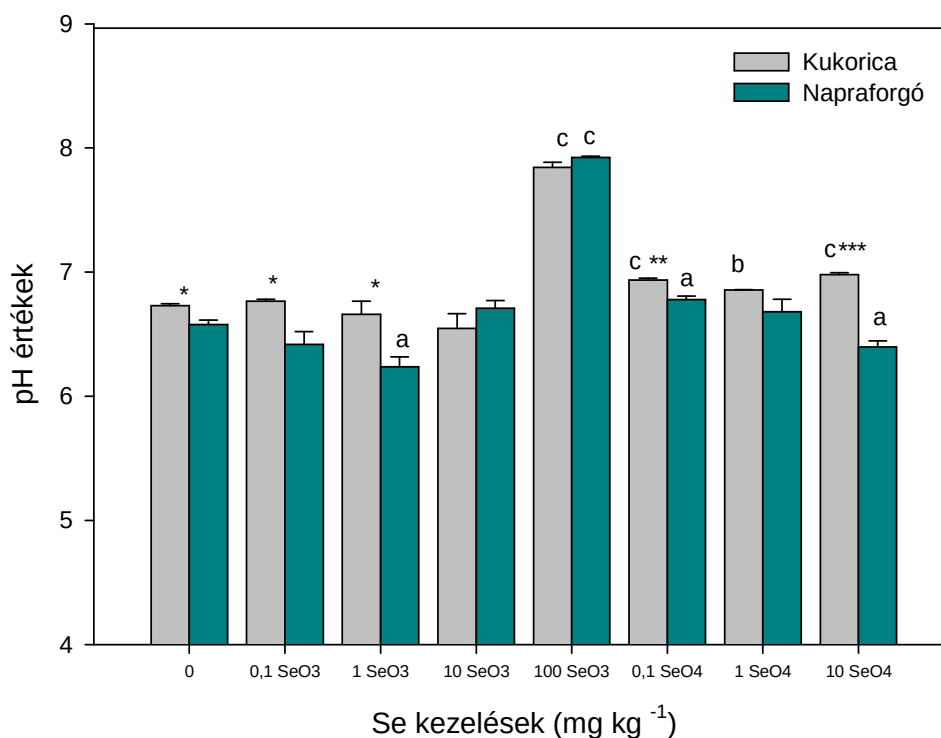
valamint a szelenáttal történő $1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ -os kezelés esetében szignifikáns növekedést mutatott a kontrollhoz képest (6. ábra). A $0,1$ és $10 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ -os koncentrációknál nem tapasztaltunk jelentős eltérést. Az ábra alapján elmondható, hogy a fiatalabb levél esetén mért relatív klorofilltartalom az $1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ -os szelenit kb. 20%-os érték növekedést eredményezett.

A nátrium-szelenit kezeléssel a tesztnövényeinknél magasabb klorofilltartalmat mértünk, mint a kontroll növényeknél, vagy a nátrium-szelenát alkalmazása során.

4.1.3. Tápoldatok pH-ja

A kísérlet végén, a tápoldatok pH értékét is mértük. Az eredményekből láthatjuk, hogy az eltérő szelénformák hogyan módosították a pH értéket a napraforgó és a kukorica növények fejlődése során.

A tápoldatok pH-ját 3 ismétlésben mértük, melyet a 7. ábra mutat.



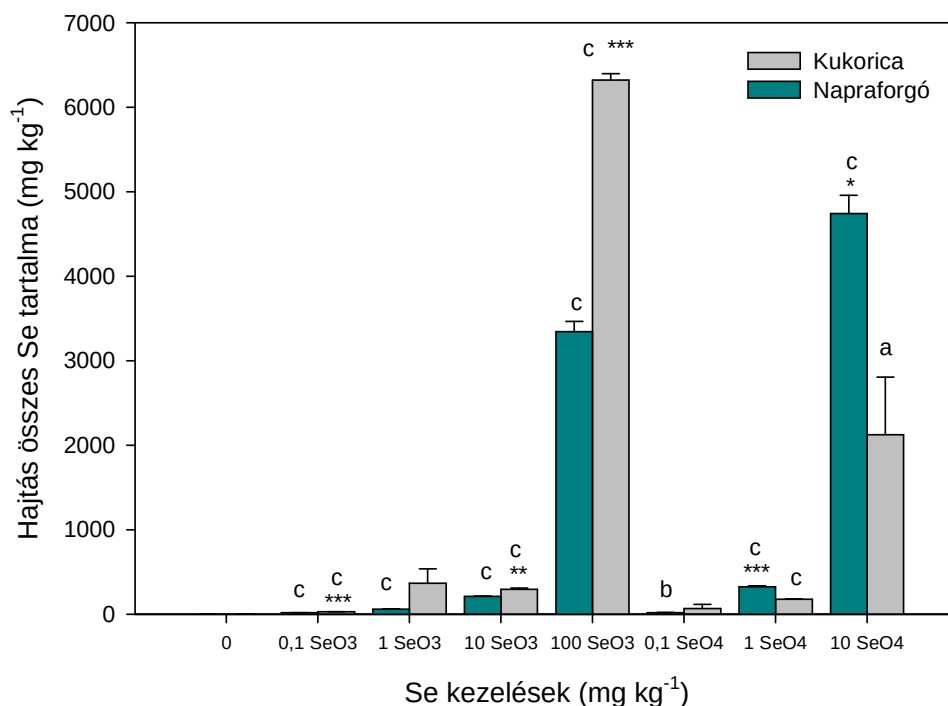
7. ábra: Tápoldatos kísérlet során a tápoldatok pH értékének változása egyszikű (kukorica) és kétszikű (napraforgó) növényeknél, a különböző szelénformák (nátrium-szelenit: Na_2SeO_3 és nátrium-szelenát: Na_2SeO_4) eltérő koncentrációban (kontroll: $0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ szelén; 0,1: $0,1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ szelén; 1: $1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ szelén; 10: $10 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ szelén) történő alkalmazása esetén. $n=3 \pm \text{s.e.}$ (kontrollhoz képest a szelén kezelés hatása: $p < 0,05^a$, $p < 0,01^b$, $p < 0,001^c$; a különböző formájú szelén kezelések szignifikáns különbsége: $p < 0,05^*$, $p < 0,01^{**}$, $p < 0,001^{***}$)

Eredményeink szerint a kukorica esetében a kontrollhoz képest szignifikáns eltérést tapasztaltunk a $100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ Na_2SeO_3 koncentrációnál, valamint a 0,1; 1 és $10 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ Na_2SeO_4 -tal kezelt növények tápadatainál.

Napraforgó növényeknél az 1 és $100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ Na_2SeO_3 , valamint a 0,1 és $10 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ Na_2SeO_4 kezeléseknél figyeltünk meg szignifikáns különbséget, szintén a kontrollhoz képest. A különböző formájú szelénkezelések eredményei alapján elmondhatjuk, hogy a 10 és a $100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ Na_2SeO_3 , valamint az $1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ Na_2SeO_4 kivételével az egyszikű növényeink tápdatának pH értékei kezelésenként szignifikáns növekedést mutatott a kétszikű napraforgónál mért pH-hoz képest.

4.1.4. Összes szeléntartalom

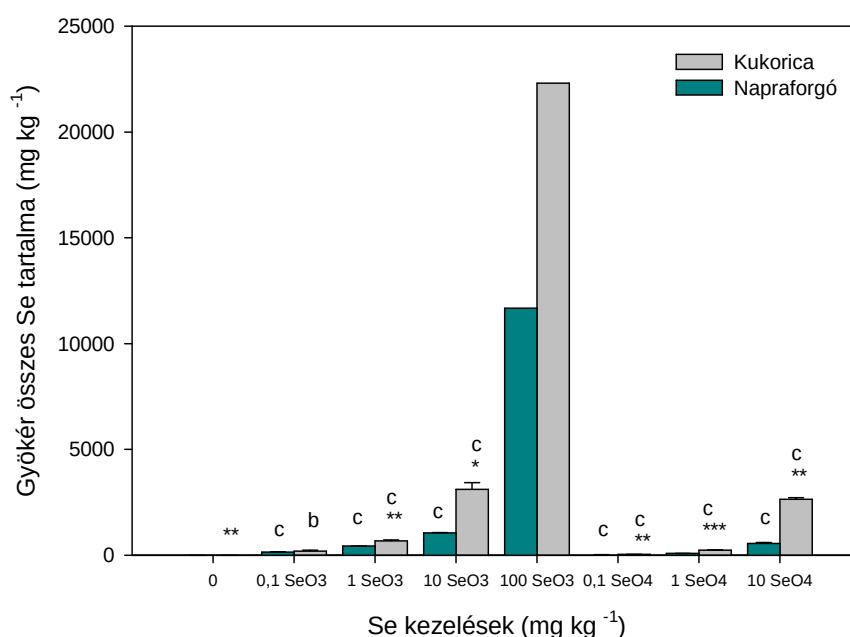
Az összes Se-tartalmat vizsgáltuk a tápoldatos kísérlet teszt növényein, külön a hajtásban (8. ábra) és a gyökérben.



8. ábra: Az összes-szeléntartalom változása kukorica és napraforgó hajtásokban a különböző szelénformák (nátrium-szelenit: Na_2SeO_3 és nátrium-szelenát: Na_2SeO_4) eltérő koncentrációban (kontroll: $0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ szelén; 0,1: $0,1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ szelén; 1: $1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ szelén; 10: $10 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ szelén) történő alkalmazása esetén. $n=12 \pm \text{s.e.}$ (kontrollhoz képest a szelén kezelés hatása: $p < 0,05^a$, $p < 0,01^b$, $p < 0,001^c$; a különböző formájú szelén kezelések szignifikáns különbsége: $p < 0,05^*$, $p < 0,01^{**}$, $p < 0,001^{***}$)

Megállapítottuk, hogy a kontroll növények szeléntartalma ($2,2\text{--}2,5 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) közel azonos értéket mutatott. A Na_2SeO_3 -tel kezelt növények esetében a kukoricában magasabb szelén-tartalmat mértünk a hajtásokban. Na_2SeO_4 -tal történő kezelésnél, azonban a napraforgó mutatott szignifikáns eltérést. A kontrollhoz viszonyítva a különböző koncentrációknál szintén szignifikáns különbséget tapasztaltunk.

A gyökérnél (9. ábra) megállapítható, hogy a kontroll esetében, illetve a nátrium-szelenit és a nátrium-szelenát alkalmazása során a kukoricában mértünk nagyobb szelén-tartalmat. A kontroll növényekhez képest, pedig mindegyik kezelés szignifikáns eltérést mutatott. A $100 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ -es Na_2SeO_3 koncentráció esetében, a minta roncsolását csak egyszer tudtuk



9. ábra: Az összes-szeléntartalom változása a kukorica és a napraforgó gyökereiben a különböző szelénformák (nátrium-szelenit: Na_2SeO_3 és nátrium-szelenát: Na_2SeO_4) eltérő koncentrációban (kontroll: $0 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ szelén; $0,1$: $0,1 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ szelén; 1 : $1 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ szelén; 10 : $10 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ szelén) történő alkalmazása esetén. $n=12\pm\text{s.e.}$ (kontrollhoz képest a szelén kezelés hatása: $p<0,01^b$, $p<0,001^c$; a különböző formájú szelén kezelések szignifikáns különbsége: $p<0,05^*$, $p<0,01^{**}$, $p<0,001^{***}$)

elvégezni, ugyanis nem volt kellő mennyiségű száraztömeg, hogy az elemtartalom mérését megfelelő pontossággal és precizitással végezhesük.

Az adatok alapján elmondható, hogy a kukoricánál mindkét szelén-módosulat kezelésével a gyökérben, míg napraforgó esetében a nátrium-szelenit alkalmazása során a gyökérzetben, nátrium-szelenáttal kezelteknél pedig hajtásokban halmozódott fel több szelén, kivételt képez

a $0,1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, nátrium-szelenát kezelés. A kontroll növényeknél szintén nagyobb mennyiséget mértünk a gyökérben.

Vizsgálataink során kijelenthetjük, hogy mindkét növénynél a növekvő koncentrációjú Na_2SeO_3 , és Na_2SeO_4 hatására az összes-szeléntartalom szignifikánsan növekedett.

4.2. Kukorica és napraforgó növények nevelése eltérő szelén koncentrációjú talajon

A rhizoboxban nevelt növényeknél (13. kép) elemeztük a száraztömeg produkciót, valamint a gyökérnövekedést is.

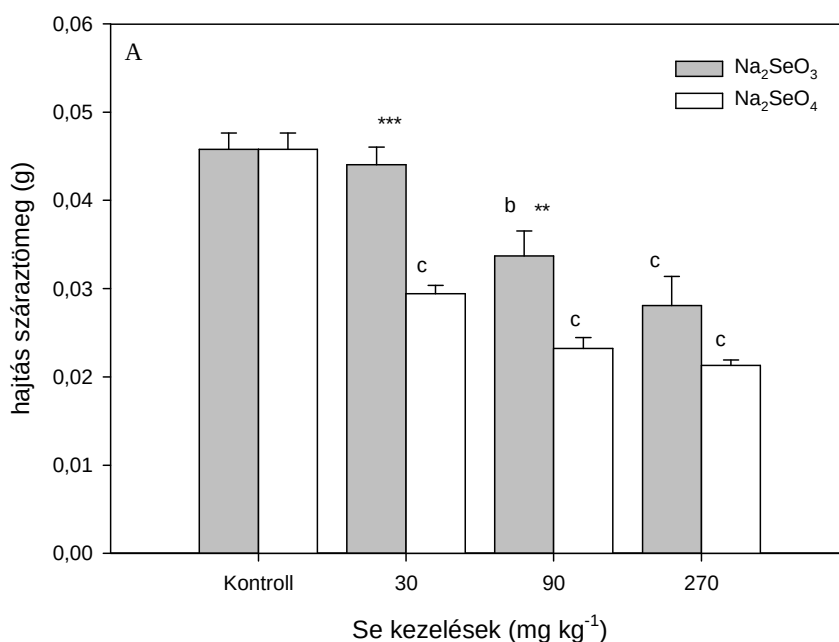


13. kép

Rhizoboxban nevelt napraforgó eltérő koncentrációjú szelénmódosulatokkal 7 naposan
(Kántor, 2013)

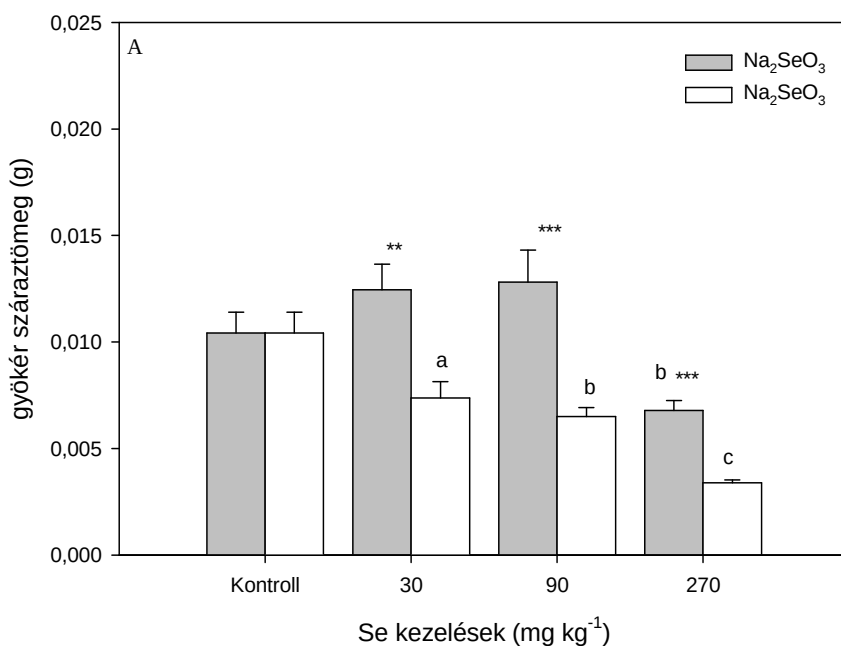
4.2.1. Száraztömeg produkció

A 10. ábra alapján elmondhatjuk, hogy a napraforgó (A) növény hajtásának száraztömegében a különböző Se-módosulatok alkalmazása csökkenést eredményezett. A Na_2SeO_3 -es kezelés kedvezőbb száraztömeget produkált, mint a Na_2SeO_4 -os. Azonos mértékű kezelésnél is tapasztaltunk szignifikáns különbséget, melyet a 30 és 90 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ -nál figyeltünk meg. A kontrollhoz képest a 30 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ Na_2SeO_3 koncentráció nem okozott szignifikáns csökkenést. A Na_2SeO_3 hozzáadása során azonban a 90 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ -os 27%-kal, míg a 270 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ -os 39%-kal, Na_2SeO_4 alkalmazása során a 30 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ -os 37%-kal, a 90 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ -os 49%-kal és a 270 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ -os koncentráció 54%-kal redukálta a hajtás száraztömegét a kontrollhoz képest.



10. ábra: A hajtás száraztömegének (g) változása különböző koncentrációjú (kontroll: 0 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ szelén; 30: 30 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ szelén; 90: 90 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ szelén; 270: 270 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ szelén) és formájú szelén (nátrium-szelenit: Na_2SeO_3 és nátrium-szelenát: Na_2SeO_4) kezelés hatására napraforgó (A) esetében. $n=9\pm s.e$ (a különböző formájú szelén kezelések szignifikáns különbsége: $p<0,05^*$, $p<0,001^{***}$; kontrollhoz képest a szelén kezelés hatása: $p<0,01^b$, $p<0,001^c$

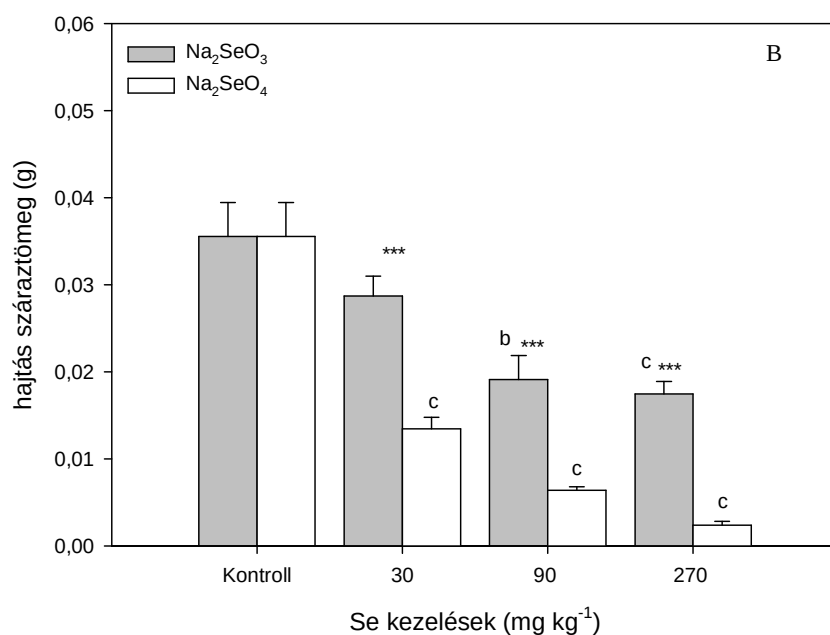
A gyökér száraztömege (11. ábra) a $270 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, Na_2SeO_3 -es, valamint a 30 , 90 és $270 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ Na_2SeO_4 -os kezelés esetében mutat szignifikáns eltérést a kontrollhoz képest. Ezek a különbségek 30%-os tömegvesztéseget meghaladóak. Ugyanazt a koncentrációt alkalmazva a nátrium-szelenit kedvezőbb hatást eredményez.



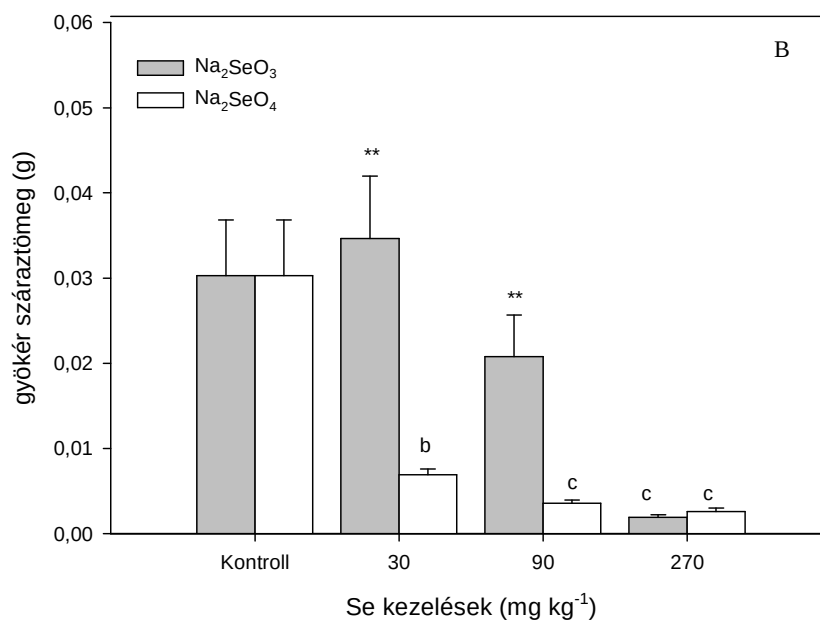
11. ábra: A gyökér száraztömegének (g) változása különböző koncentrációjú (kontroll: $0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ szelén; 30: $30 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ szelén; 90: $90 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ szelén; 270: $270 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ szelén) és formájú szelén (nátrium-szelenit: Na_2SeO_3 és nátrium-szelenát: Na_2SeO_4) kezelés hatására napraforgó (A) esetében. $n=9 \pm s.e$ (a különböző formájú szelén kezelések szignifikáns különbsége: $p < 0,05^{**}$, $p < 0,001^{***}$; kontrollhoz képest a szelén kezelés hatása: $p < 0,05^a$, $p < 0,01^b$, $p < 0,001^c$

A kukorica (B) hajtásának száraztömege (12. ábra) a napraforgó hajtásának tendenciáját követi. Szintén elmondható, hogy a Na_2SeO_3 kedvezőbb hatású a Na_2SeO_4 -nál. Szignifikáns eltérést a 90 és $270 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, Na_2SeO_3 -nél, valamint a 30 , 90 és $270 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ Na_2SeO_4 -nál mértünk a kontrollhoz képest. A csökkenés mértéke a legkisebb szignifikáns eltérésnél is már 40%-ot meghaladó volt. A kukorica gyökerénél, mint ahogyan a 13. ábrán is látható, a $270 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, Na_2SeO_3 , valamint a 30 , 90 és $270 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ Na_2SeO_4 kezelés mutatott szignifikáns eltérést, a kontrollhoz képest. A nátrium-szelenittel kezelt növények gyökerei a 30 és $90 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ -os koncentráció esetében mutattak nagyobb száraztömeget.

Az adatok és a kukorica növény ábrái alapján elmondhatjuk, hogy a leginkább toxikus hatást a $270 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ -os koncentráció fejtette ki, ugyanis a szárazanyag mennyiségét több mint 90 %-ra redukálta, mindkét szelén-módosulat esetében.



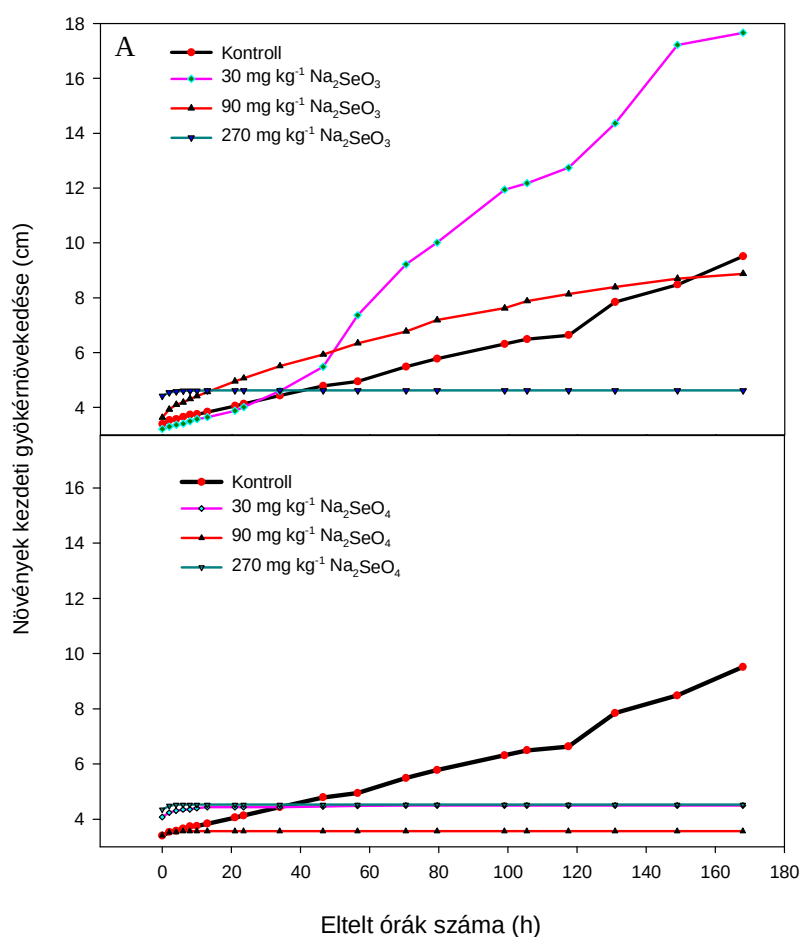
12. ábra: A hajtás száraztömegének (g) változása különböző koncentrációjú (kontroll: 0 mg · kg⁻¹ szelén; 30: 30 mg · kg⁻¹ szelén; 90: 90 mg · kg⁻¹ szelén; 270: 270 mg · kg⁻¹ szelén) és formájú szelén (nátrium-szelenit: Na₂SeO₃ és nátrium-szelenát: Na₂SeO₄) kezelés hatására kukorica (B) esetében. n=9±s.e (a különböző formájú szelén kezelések szignifikáns különbsége: p<0,001***; kontrollhoz képest a szelén kezelés hatása: p<0,01^b, p<0,001^c



13. ábra: A gyökér száraztömegének (g) változása különböző koncentrációjú (kontroll: 0 mg · kg⁻¹ szelén; 30: 30 mg · kg⁻¹ szelén; 90: 90 mg · kg⁻¹ szelén; 270: 270 mg · kg⁻¹ szelén) és formájú szelén (nátrium-szelenit: Na₂SeO₃ és nátrium-szelenát: Na₂SeO₄) kezelés hatására kukorica (B) esetében. n=9±s.e (a különböző formájú szelén kezelések szignifikáns különbsége: p<0,001***; kontrollhoz képest a szelén kezelés hatása: p<0,01^b, p<0,001^c

4.2.2. Eltérő szelén-módosulatok hatása kukorica és napraforgó növények kezdeti növekedésére

Mindkét növény esetében kezelésenként 9 növényt vizsgáltunk. Az ábrák alapján láthatjuk, hogy a teszt növények gyökereinek a kísérlet kezdetekor nem volt egyenlő az átlaghosszuk.

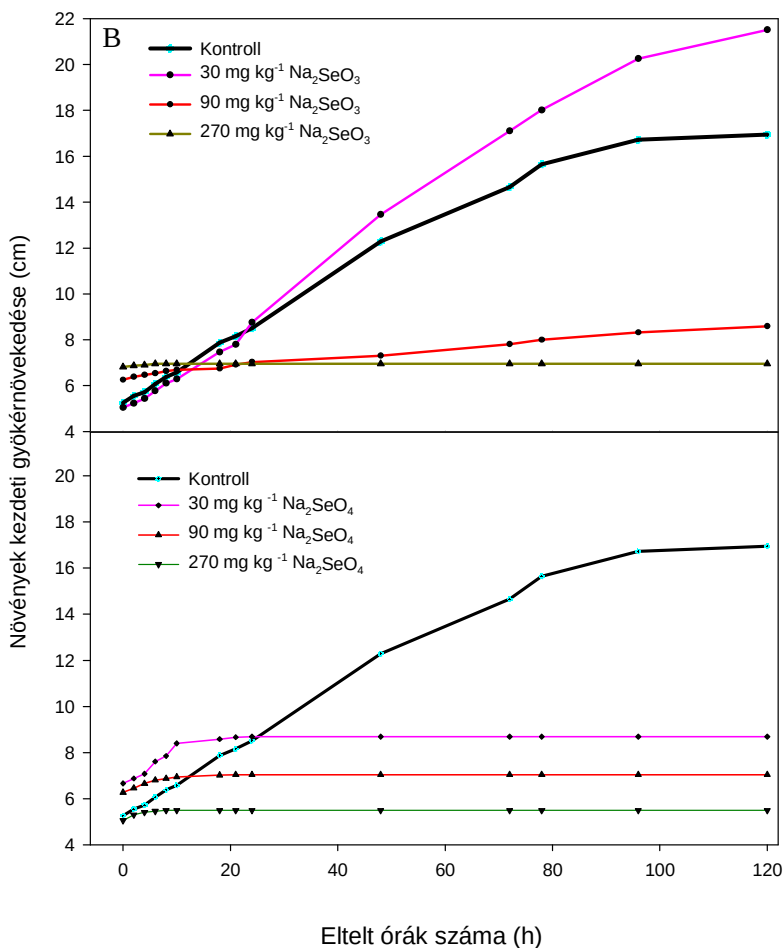


14. ábra: Napraforgó (A) növény gyökernövekedésének (cm) változása különböző koncentrációjú (kontroll: 0 mg · kg⁻¹ szelén; 30: 30 mg · kg⁻¹ szelén; 90: 90 mg · kg⁻¹ szelén; 270: 270 mg · kg⁻¹ szelén) és formájú szelén (nátrium-szelenit: Na₂SeO₃ és nátrium-szelenát: Na₂SeO₄) kezelés hatására.

A növekedés a napraforgónál (A) 7, a kukoricánál (B) 5 napig tartott.

A 14. ábra a napraforgóra vonatkozó adatokat mutatja meg, mely alapján elmondhatjuk, hogy a kontrollhoz képest a $30 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{Na}_2\text{SeO}_3$ -es koncentráció alkalmazásával értünk el nagyobb növekedést. A 90 és a $270 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{Na}_2\text{SeO}_3$ -tel kezelt növényeknél a kezdeti átlaghossz nagyobb volt a kontrollnál. Az első órákban még tapasztaltunk növekedést, azonban a $270 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, koncentráció toxikusnak bizonyult, ugyanis pár nap elteltével a növények elhaltak. Ezt a tendenciát figyelhetjük meg a nátrium-szelenát alkalmazása esetén is, itt azonban valamennyi kezelés toxikus volt. Kezdeti növekedést ezeknél a kezeléseknél is láthattunk.

A kukorica (15. ábra) hasonló tendenciát követ, mint a napraforgó. A nátrium-szelenit $30 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ -os kezelése szintén nagyobb gyökernövekedést eredményezett, mint a kontroll. A 90



15. ábra: Kukorica (B) növény gyökernövekedésének (cm) változása különböző koncentrációjú (kontroll: $0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ szelén; 30: $30 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ szelén; 90: $90 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ szelén; 270: $270 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ szelén) és formájú szelén (nátrium-szelenit: Na_2SeO_3 és nátrium-szelenát: Na_2SeO_4) kezelés hatására.

és a $270 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ -os koncentráció kevésbé volt hatásos, sőt a $270 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ adagolása toxikus volt. A nátrium-szelenát különböző koncentrációinak hozzáadása kezdeti növekedést, majd a növény elhalását eredményezte.

5. Következtetések és javaslatok

A szelén antioxidáns hatású mikroelem. Mivel az emberi szervezet számára nélkülözhetetlen, de túlzott fogyasztása esetén mérgező, ezért fontos vizsgálnunk a jelenlétét a környezetben, a talajban, a növényekben és az élelmiszereinkben, ugyanis, ezekből képes az emberi szervezet hozzájutni a szelénhez.

Kísérletünk során vizsgáltuk a kukorica és a napraforgó növények fiziológiai paramétereinek változását eltérő szelénformák esetén tápoldatos és rhizoboxos körülmények között.

Eredményeink közül a legfontosabbakat kiemelve elmondható, hogy a hidropónikus körülmények között nevelt növényeink esetében a nátrium-szelenittel kezelt napraforgó gyökerek nagyobb száraztömeget eredményeztek a 0,1 és 1 mg·kg⁻¹, koncentráció alkalmazása során. Ezek a kezelések szignifikáns eltérést mutatnak a kontrollhoz képest. A napraforgó hajtására, valamint a teljes kukorica növényre a nátrium-szelenát mutatott kedvezőbb hatást azonos koncentrációk mellett. A szelénadagok növelésével toxikus hatás lépett fel mindkét növénynél. Rhizoboxos kísérleteink során, a tápoldatos kísérletben használtaktól nagyobb koncentrációkat alkalmaztunk. Eredményeink alapján elmondható, hogy mindkét növény esetén a nátrium-szelenit alkalmazása volt kedvezőbb, és a szelén módosulatok mennyiségi növelésével szintén toxikus hatást értünk el.

Ezek alapján javasolnánk a kísérlet folytatását, további megfigyelések és következtetések megállapítása céljából.

A hidropónikus körülmények között vizsgált növények esetében a relatív klorofilltartalmat is mértük, mely a szárazanyag produkció szempontjából fontos. Mindkét növény esetében a fiatalabb és az idősebb levelek SPAD indexét vettük figyelembe. Eredményeink alapján a nátrium-szelenittel kezelt növények leveleiben mértünk magasabb relatív klorofilltartalmat, mind a kontrollhoz, mind a nátrium-szelenáttal kezeltékhez képest.

Eredményeink alapján megállapítható, hogy a száraztömeg esetében a szelenát volt a jobban hasznosuló szelénforma, ennek ellenére nagyobb klorofilltartalmat a szelenit kezelés hatására értünk el.

A pH vizsgálata azért fontos, mert ahogyan a pH csökken, a kationok felvétele javul, ha viszont a pH növekszik, akkor az anionok felvétele nő. Az eltérő koncentrációjú szelén módosulatok (szelenit és szelenát) anionok. Alkalmazásuk során mindkét növénynél a

legnagyobb kezelés ($100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) hatására tapasztaltunk pH növekedést, valamint a kukorica tápoldatai magasabb értékeket mutattak, mint a napraforgóé.

Az összes-szeléntartalom vizsgálatakor, az adatok alapján a napraforgónál az 1 és $10 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ koncentrációjú Na_2SeO_4 kezelés kivételével, a kukoricához hasonlóan, a gyökérben mértünk nagyobb szeléntartalmat, mely arra enged következtetni, hogy a gyökérben jobban akkumulálódik a szelén.

További kísérleteket lehetne végezni a növények kezelési időtartamának meghosszabbításával, hogy megvizsgáljuk a növények szelén felhalmozódását.

A rhizoboxos kutatásunk során azt a következtetést vontuk le, hogy a $30 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ nátrium-szelenit kezelések kedvezően hatottak a kontrollhoz képest mindkét növény esetében. A szelenit növekvő koncentrációi, valamint a szelenát alkalmazása, a kezdeti növekedés után már toxikusnak bizonyultak és a $270 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ -os kezelés a növények elhalását eredményezte.

Kísérleteinkben a tápoldatba és a talajba juttatott szelén vegyületek hasznosulását vizsgáltuk. Az eddigi eredmények valamint a további kutatások alkalmasak lehetnek, hogy a szelén hiányos területeken viszonylag csekély ráfordítással, biológiailag értékes termékeket állítsunk elő.

Összefoglalás

Kísérletünk során vizsgáltuk, hogy a különböző koncentrációjú szelénellátottság, milyen hatást fejt ki a tápoldattal és a talajjal végzett vizsgálatok során az egyszikű és kétszikű növényekre. Dolgozatomban, az eddigi eredményeinket foglaltam össze.

A szelén az elemek közül az egyik legszűkebb toleranciatartománnyal jellemezhető, azaz a szükséges és a toxikus mennyiség között kis eltérés van. Mivel esszenciális mikroelem és antioxidáns hatással is rendelkezik, melynek következtében védelmet nyújt a szabadgyökök okozta károsító hatásokkal szemben, valamint hozzájárul az immunrendszer egészséges működéséhez, ezért is vált napjaink egyik leginkább tanulmányozott elemévé. Kutatómunkánk a növények szelénfelvételére összpontosult, ugyanis szeléntartalmuk, többek között, a talaj szeléntartalmától is függ. Földünk számos területén, így Magyarországon is, a talajok meglehetősen szegények szelénben, ezért a növényi eredetű élelmiszeripari termékek fogyasztásával biztosítható szelénbevitel csak töredéke a szükséges mennyiségnek. Ennek alapján úgy véltük, hogy fontos megvizsgálunk a növények szelénfelvételét és fiziológiai paramétereit a növény-tápoldat, valamint a növény-talaj rendszerben.

Kísérleti növényként egy egyszikű (kukorica, *Zea mays* L. cv. DKC 5007), illetve egy kétszikű (napraforgó, *Helianthus annuus* L. cv. P63LE13) növényt választottunk, majd tápoldatos és rhizoboxos kísérleteket is végeztünk. Mindkét kísérleti módszernél vizsgáltunk kontroll növényeket. A szelént nátrium-szelenit ($\text{Na}_2\text{SeO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), illetve nátrium-szelenát (Na_2SeO_4) formájában alkalmaztuk, amely során a szükséges koncentrációt szelénre vonatkoztatva számoltuk ki.

A tápoldatos kísérletünk során, a kukorica 14, míg a napraforgó 21 napig növekedett a Növénytudományi Intézet, Mezőgazdasági Növénytani és Növényélettani Tanszékcsoport Klímaszobájában, szabályozott körülmények között. A hidropónikus körülmények között végzett kísérleteinkben szelenit esetén 0,1; 1; 10 és 100 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, szelenát esetén pedig 0,1, 1 és 10 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ szelén koncentrációt alkalmaztunk. A tápoldatok cseréje heti 2-3 alkalommal történt, és a levegőztetés folyamatos volt. Tápoldatos kísérleteink során meghatároztuk a kukorica és napraforgó növények hajtásainak és gyökereinek száraz tömegét, relatív klorofill tartalmát, az összes szeléntartalmat, illetve a kísérlet befejezésekor megmértük a tápoldatok pH értékét is.

A rhizoboxos alkalmazott kezelései (szelenit, szelenát) a következők voltak: 30, 90 és 270 mg·kg⁻¹.

A kukorica 5, a napraforgó 7 napig növekedett a Növénytudományi Intézet, Mezőgazdasági Növényteni és Növényélettani Tanszékcsoport Klímaszobájában. Naponta mértük az egyes boxok tömegét, és a leadott vízmennyiséget pótoltuk. A rhizoboxos kísérleteink során az alkalmazott tesztnövények száraz tömegének meghatározása mellett a növények gyökereinek növekedését és napi ritmusát is nyomon követtük.

A szárazanyag produktumot értékelve, eredményeink alapján elmondható, hogy a hidropónikus körülmények között nevelt növényeink esetében a napraforgó hajtására, valamint a teljes kukorica növényre a nátrium-szelenát mutatott kedvezőbb hatást azonos koncentrációk mellett. A napraforgó gyökerére a nátrium-szelenit 0,1 és 1 mg·kg⁻¹, kezelése szignifikáns növekedést mutatott a kontrollhoz képest. A tápoldatos kísérletben használt szelénadagok többszörös mennyiségeit használtuk fel a rhizoboxos kutatások során, melynek eredményeként a nátrium-szelenit alkalmazása volt kedvezőbb hatású a száraztömegre, azonos koncentrációjú nátrium-szelenát mellett. Mindkét módszernél megállapítható, hogy a szelénadagok mennyiségi növelésével toxikus hatást értünk el a növényeknél.

Vizsgálva a relatív klorofilltartalmat a szelenit kezelés hatására, a kukorica és napraforgó növények fiatalabb és idősebb leveleiben nagyobb relatív klorofill tartalmat állapítottunk meg, mint a kontroll növényekben.

A tápoldatok pH-ját értékelve megállapítottuk, hogy 100 mg·kg⁻¹ mennyiségű szelén alkalmazása esetén az oldatok kémhatása emelkedni kezdett.

Az összes-szeléntartalmat vizsgálva elmondható, hogy mindkét növény esetében a gyökérben halmozódott fel több szelén. Kivételt képez a napraforgó 1 és 10 mg·kg⁻¹, koncentrációjú Na₂SeO₄-os kezelése, ahol a hajtásban mértünk nagyobb elemtartalmat.

A rhizobox kísérletben a szárazanyag produkción kívül megfigyelhettük még, hogy a napraforgó és kukorica legintenzívebb gyökérnövekedését a nátrium-szelenit 30 mg·kg⁻¹-os koncentrációja eredményezte. A növekvő szelénadagok alkalmazása kezdeti növekedést eredményezett, a 270 mg·kg⁻¹-es kezelés pedig már az első nap után a növények elhalását okozta.

6. Irodalomjegyzék

- ARTHUR J. R. (1991): The role of selenium in thyroid hormone metabolism. *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology* 69. 1648-1652 p.
- AUBERT H., PINTA M. (1977): Trace elements in soils. Elsevier scientific publishing company. New York 70. p.
- BANKHOFER H. (1994): Bio-szelén. Golden Book Kiadó, Budapest 140 p.
- BEHNE D., HAMMEL C., PFEIFER H., RÖTHLEN D., GESSNER H., KYRIAKOPOULOS A. (1998): Speciation of selenium in the mammalian organism. *The Analyst* 123. 871-873. p.
- BELL P. F., PARKER D. R., PAGE A. L. (1992): Contrasting selenate sulfate interactions in selenium accumulating and nonaccumulating plant species. *Soil Science Society of America Journal*, 56. 1818-1824 p.
- BIRRINGER M., PILAWA S., FLOHE I. (2002). Trends in selenium biochemistry. *Natural Product Reports*, 19. 693–718.
- BÍRÓ G., BÍRÓ GY. (2000): Élelmiszer-biztonság, táplálkozás-egészségügy. Agroiinform Kiadó és Nyomda Kft., Budapest 285. p.
- BURK R. F. (2002): Selenium, an antioxidant nutrient. *Nutrition in Clinical Care* 5. 75-79. p.
- CHENGYI Z., REN J., XUE C., LIN E. (2005): Study on the relationship between soil selenium and plant selenium uptake. *Plant and Soil* 277. 197–206.
- CRAIG P. J. (1986): *Organometallic Compounds in the Environment*. Longman Group Ltd., London, 255-277. p.
- CSER M. Á., SZIKLAI-LÁSZLÓ I. (1998): A szelén szerepe a humán medicinában. In: Cser M. Á. és Sziklai-László I. (Szerk.): *A szelén szerepe a környezetben és egészségvédelemben*. Frag Bt., Budapest 139. p.
- DERNOVICS M. (2003): Mintaelőkészítési módszerek kidolgozása és referenciaanyagok előállítása, módosulatanalitikai célokra. Doktori disszertáció, Szent István Egyetem, Alkalmazott Kémiai Tanszék, Budapest 142. p.
- ELLIS D.R., SALT D. E. (2003): Plants, selenium and human health. *Current opinion in plant biology*, 6. 273-279. p.
- FOSTER L. H., SUMAR S. (1997): Selenium in health and disease: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 37. 211-228. p.

- GEORGE M. W. (2008): Selenium and Tellurium. US Geological Survey, Washington DC 112 p.
- GERGELY A., KONTRASZTI M. (1998): Szelénbevitel élelmiszerekkel 130. p. In: Cser M. Á. és Sziklai-László I. (Szerk.): A szelén szerepe a környezetben és egészségvédelemben. Frag Bt., Budapest 139. p.
- GERM M., KREFT I., OSVALD J. (2005): Influence of UV-B exclusion and selenium treatment on photochemical efficiency of photosystem II. Yield and respiratory potential in pumpkins (*Cucurbita pepo* L.), Plant Physiology and Biochemistry 43. 445-448.
- GÓMEZ-ARIZA J. L., POZAS J. A., GIRALDEZ I., MORALES E. (1998): Speciation of volatile forms of selenium and inorganic selenium in sediments by gas chromatography-mass spectrometry. Journal of Chromatography A 823. 259-277. p.
- HARTIKAINEN H., XUE T., PIIRONEN V. (2000): Selenium as an antioxidant in ryegrass. Plant and Soil 225. 193-200.
- JOHNSON C. C., FORDYCE F. M., RAYMAN M. P. (2010): Symposium on 'Geographical and geological influences on nutrition': factors controlling the distribution of selenium in the environment and their impact on health and nutrition Proceedings of the Nutrition Society 69: 119-132.
- KABATA PENDIAS A. (2001): Trace Elements in Soils and Plants (3rd Edn.) CRC Press, Boca Raton, FL 287 p.
- KÁDÁR I. (1998): Szelén forgalma a talaj-növény rendszerben. In: Cser M. Á. és Sziklai-László I. (Szerk.): A szelén szerepe a környezetben és egészségvédelemben. Frag Bt.,
- KÁPOLNA E. (2006): Mérési eljárások kidolgozása és alkalmazása szeléntartalmú élelmiszerek és étrend kiegészítők módosult analitikai vizsgálatára. Doktori Disszertáció, Budapesti Corvinus Egyetem, Alkalmazott Kémia Tanszék, Budapest 151. p.
- LÁSZLÓ I. (2004): Nagy egészségkönyv. Kossuth Kiadó, Budapest 1024 p. László I. (Szerk.): A szelén szerepe a környezetben és egészségvédelemben. Frag Bt., Budapest 139. p.
- LEMLY, D.A. (2004): Aquatic selenium pollution is a global environmental safety issue. Exotoxicology and Environmental Safety, 95. 44-56. p.
- MAGYAR ÉLELMISZERKÖNYV: 1-1-90/496. számú előírás. Az élelmiszerek tápértékének jelölése. 2001. módosított kiadás.
- MARSCHNER H. (1995): Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press. London 431 p.

- NAVARRO-ALARCÓN M., CABRERA-VIQUE C. (2008): Selenium in food and the human body: A review. *The Science of the Total Environment*. 400. 115-141.
- OLDFIELD J.E. (1999): „Selenium (Se) World Atlas”. Grimbergen, Belgium: Selenium-Tellurium Development Association.
- PILON-SMITS E. A. H., QUINN C. F. (2010): Selenium metabolism in plants. In: Hell R, Mendel R, eds. (2010): *Plant Cell Monographs*, “Cell Biology of Metals and Nutrients”, 17. 225-241.
- RAYMAN M. P. (2012): Selenium and human health. *The Lancet* 379. 1256–1268.
- REILLY C. (1996): *Selenium in Food and Health*. Chapman and Hall, London 155. p.
- SCHWARZ K., FOLTZ C. M. (1957): Selenium as an integral part of Factor 3 against dietary
- SIMON L. (1999): A talajok szennyeződése szerves anyagokkal. In: *Talajszennyeződés, talajtisztítás. Környezetgazdálkodási Intézet Környezet- és Természetvédelmi Szakkönyvtár és Információs Központ*, Budapest 21. p.
- SKINNER C. P. (1999): *Environmental Chemistry of Selenium Soil*. Science Society of American Journal 164. 70-72. p.
- SHARDENDU S. N., SALHANI N., BOULYGA S. F., STENGEL E. (2003): Phytoremediation of selenium by two helophyte species in subsurface flow constructed wetland. *Chemosphere*. 50. 8. 967-973.
- STADTMAN C. (1996): Selenocysteine. *Annual Review of Biochemistry* 65. 83-100. p.
- STAVROULA T., THOMAIDIS N. S., EFROSINI P. (2005): Determination of selenium in human milk by electrothermal atomic absorption spectrometry and chemical modification. *Analytica Chimica Acta* 547. 132-137. p.
- SZÉLES É. (2007): Szelénvegyületek átalakulásának vizsgálata tartamkísérletből származó talaj- és növénymintákban, Doktori disszertáció, Debreceni Agrártudományi Egyetem, Mezőgazdaságtudományi Kar, Műszerközpont, Debrecen 137. p.
- TAKÁCS S. (2001): *A nyomelemek nyomában*. Medicina Könyvkiadó Rt., Budapest 265 p.
- TAMÁS L. (2000): *A szelén betegség-megelőző szerepe*. Komplementer Medicina. Budapest, TDC Alapítvány, Naturamed Kft. 4. 4. 16-20. p.
- TINGGI U. (2003): Essentiality and toxicity of selenium and its status in Australia: a review. *Toxicology Letter* 137. 103-110.

WHANGER P.D. (1989): Selenocompounds in plants and their effects on animals. In Cheeke PR (ed): „Toxicants of Plants Origin Vol. III. Proteins and Amino Acids” Boca Raton, FL: CRC Press, pp. 141-167.

WHANGER P. D. (2002): Selenocompounds in plants and animals and their biological significance. Journal of the American College of Nutrition. 21. 3. 223-232.

XUE T., HARTIKAINEN H., PIIRONEN V. (2001): Antioxidative and growth-promoting effect of Selenium in Senescing lettuce. Plant and Soil 237. 55-61.

Internetes oldalak:

I₁: <http://kids.britannica.com/comptons/art-169532/Jons-Jacob-Berzelius-detail-of-an-oil-painting-by-Olof> 2013.október 05. 19:06

I₂: <http://www.egeszsegkalauz.hu/taplalkozas/szelen-ezerarcu-csodaszer-112495.html> 2013. október 06. 10:19

I₃: <http://users.atw.hu/imuneinfo/bovebben.php> 2014. szeptember 28. 22:49

I₄: <http://www.xn--szphaj-cva.hu/wp-content/uploads/2012/10/brazil-di%C3%B3.jpg> 2014. október 06. 21:59

7. Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretném megköszönni konzulenseimnek Dr. Veres Szilviának, Bacskainé Bódi Évának és Dr. Kovács Béla Róbertnek a kutatásom elvégzéséhez szükséges feltételek biztosítását, a sok türelmet, a támogatást, a jó tanácsokat és a dolgozatom elkészítésének segítségét.

Köszönettel tartozom továbbá a Növényélettani kutatócsoport tagjainak Csákyné Faragó Erzsébet és Oláhné Tóth Ibolya laboránsoknak, valamint az Élelmiszertudományi Intézet dolgozóinak, többek között Andrási Dávidnak a kísérletek kivitelezésében nyújtott segítségükért.

Továbbá szeretném megköszönni a családomnak és a barátaimnak a támogatást, a biztatást, valamint mindazoknak, akik hozzájárultak munkámhoz és dolgozatom létrejöttéhez.

Köszönöm!

8. Nyilatkozat

Kántor Andrea büntetőjogi és fegyelmi felelősségem tudatában kijelentem és aláírásommal igazolom, hogy a diplomadolgozat saját munkám eredménye. A felhasznált irodalmat korrekt módon kezeltem, az irodalmi források korrekt kezelésének módját a szabályzatból megismertem, a TDK dolgozatra vonatkozó jogszabályokat betartottam. Tudomásul veszem, hogy ezen követelmények megszegése esetén a dolgozatom visszautasításra kerül.

.....

aláírás

Születési idő:.....