

**NYUGAT-MAGYARORSZÁGI EGYETEM
MEZŐGAZDASÁG- ÉS ÉLELMISZERTUDOMÁNYI KAR
MOSONMAGYARÓVÁR
KÉMIA TANSZÉK**

Doktori iskola vezető:

Dr. Kuroli Géza

MTA doktora

Programvezető:

Dr. Ördög Vince

egyetemi tanár, a biológiai tudomány kandidátusa

Témavezető:

Dr. habil Szakál Pál

egyetemi tanár, a mezőgazdasági tudomány kandidátusa

**A szelénkezelés hatása a termesztett csiperke (*Agaricus bisporus*)
termésmennyiségére és szeléntartalmára**

Írta:

Tóásó Gyula

Mosonmagyaróvár
2005

TARTALOMJEGYZÉK

KIVONAT	5
1. BEVEZETÉS	6
2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS	10
2.1. A szelénről általában	10
2.2. Szelén a talaj-növény rendszerben	11
2.3. A szelén szerepe az állatok életében	15
2.4. A szelén szerepe az ember életében	19
2.5. A gomba, mint lehetséges szelénforrás	26
2.7. Lehetőségek a szelén meghatározására	29
2.8. Emberi fogyasztásra szánt szeléntartalmú készítmények	30
3. ANYAG ÉS MÓDSZER	32
3.1. A csiperkegomba (Agaricus bisporus) termesztése	32
3.2. A komposzt szelénrel történő dúsítása	37
3.3. A gomba termésmennyiségének meghatározása	37
3.4. A gombaminták előkészítése mikroelem-vizsgálatokhoz	39
3.5. Az oldatok mikroelem-tartalmának meghatározása	39
3.7. A statisztikai értékelés során alkalmazott módszerek	40
4. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK	41
4.1. A gomba szeléntartalmának változása a komposzt szelénkoncentrációjának függvényében	41
4.4. A legnagyobb termésmennyiségét biztosító komposzt szelénkoncentrációjának meghatározása különböző fázisú komposztokon nátrium-szelenát alkalmazásával	57

4.5. A termésmennyiség változása nátrium-szelenát hatására	
különböző fázisú komposztokon	60
4.6. A mikroelemek felvételének időbeli tanulmányozása a	
termesztés során	64
4.7. A szelénkezelés hatásának elemzése a termesztés dinamikájára	
.....	68
4.8. A szelénnel dúsított termesztett csiperke felhasználásának	
lehetőségei	71
5. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK.....	76
6. ÖSSZEFOGLALÁS	79
7. SUMMARY	82
8. IRODALOMJEGYZÉK.....	85
KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS	98

A szelénkezelés hatása a termesztett csiperke (*Agaricus bisporus*) termésmennyiségére és szeléntartalmára

Értekezés doktori (PhD) fokozat elnyerése érdekében
a Nyugat-Magyarországi Egyetem Precíziós növénytermesztési
módszerek Doktori Iskolája Mikroszervezetek a növény-talaj rendszerben
programja

Írta: Tóásó Gyula

A jelölt a doktori szigorlaton % -ot ért el,

Mosonmagyaróvár, 2005.

.....
a Szigorlati Bizottság elnöke

Az értekezést bírálóként elfogadásra javaslom (igen /nem)

Első bíráló (Dr. Posta József.) igen /nem

.....
(aláírás)

Második bíráló (Dr. Albert Levente) igen /nem

.....
(aláírás)

A jelölt az értekezés nyilvános vitáján.....% - ot ért el

Mosonmagyaróvár, 2005.

.....
a Bírálóbizottság elnöke

A doktori (PhD) oklevél minősítése

.....
Az EDT elnöke

KIVONAT

A szelén létfontosságú az élőlények számára. Az emberben több mint huszonötféle szeleno-protein található. Kedvező élettani hatása miatt a kereskedelemben nagy választékban jelentek meg szeléntartalmú készítmények. Munkánk célja olyan nagy szeléntartalmú termesztett csiperke előállítás, mely alkalmas lehet szelénhiányos táplálkozásunk kiegészítésére. Tanulmányoztuk a gomba szelénfelvételének mechanizmusát különböző szelénformák esetén, különböző fázisú komposztokon és a hatásokat a gomba termésmennyiségére. A savas feltárással készült mintákat ICP-OES módszerrel határoztuk meg. Gombatermesztési kísérleteinket a Sampinyon Kft. (Máriakálnok) székhelyén végeztük.

ABSTRACT

The selenium is essential for human and animals. There are twenty-five different selenoproteins in the human. There are great variety of pharmaceutical products and foods which contain selenium in consequence of well-known favourable property of its. Our aim was to produce selenium rich cultivated champion which suitable to complete the selenium deficiency in nutrition. We studied the take up selenium element by cultivated champion on different phase of compost and the effect of different selenium forms to the yield of mushroom. The acidic fractured samples was analysed by using ICP-OES instrument. We made our experiences on the seat of Sampinyon Kft (Máriakálnok) company.

1. BEVEZETÉS

A szelént Berzelius már 1817-ben felfedezte, de az élettani szerepével kapcsolatos intenzív kutatások csak a múlt század közepén kezdődtek, amikor is bizonyítottá vált, hogy a kezdetben mérgező, rákkeltő anyagnak minősített elem valójában létfontosságú az állatok számára.

Az elmúlt néhány évtizedben a szelén élettani szerepének tisztázása került a mikroelem-kutatás középpontjába. Van Vleet 1984-ben kísérleteivel bizonyította, hogy a szelént szeleno-cisztein formában tartalmazó glutation-peroxidáz az E-vitaminnal együtt a vörösvértesteket, az izom- és májsejteket védi a vérben zsírokból és szerves savakból keletkező káros peroxidok hatásától. A szelén és az E-vitamin egymás szinergistái. A szelén bevétele enyhítheti az E-vitamin hiányát (Gavrilovic, Matesic (1984). Criqui és munkatársai 1992-ben csirázó magvak intenzíven osztódó sejtjeiben vizsgálták a glutation-peroxidáz képződését, és kísérleteikkel igazolták, hogy a szeleno-cisztein nem a transzlációt követő kénnel történő kicserélődés következménye, hanem egy újabb, genetikailag kódolt aminosav-féleség.

Da Silva és Williams 1993-ban végzett kutatási eredményei valószínűsítik, hogy a szelént már az alacsony fejlődési fokon álló sejtek is felhasználták az anyagcseréjük során. A szelenitek (SeO_3^{2-}) szabad

peroxid gyökök hatására alakulnak szelenátokká (SeO_4^{2-}), melyek a szulfát anyagcsere útján jutnak a sejtekbe. A szelént a növények a talajból, míg az állatok a növényi táplálékokból és a vízből veszik fel. A növényekben elsősorban fehérjékhez kötötten fordul elő.

Peterson és Bennett (1984) vizsgálataik alapján az elsődleges szelénfelhalmozók közé -melyek 1000 $\mu\text{g/g}$ szelént is képesek felhalmozni- sorolja a pillangósokat és a kalapos gombákat. Saját vizsgálataink is igazolják a fentieket. A termesztett csiperke szeléntartalma a nátrium-szelenittel végzett kísérleteink során 250 mg/kg komposzt szelénkoncentráció értéknél megközelítőleg 1000 mg/kg-nak adódott (Szederkényi és munkatársai, 1997). Peterson és Bennett (1984) a már említett közleményében megállapításai szerint a legtöbb termesztett gabonaféle szeléntartalma 30 $\mu\text{g/g}$ körüli érték. Saját vizsgálataink során a búza-gombacsíra szeléntartalmát 34,5 $\mu\text{g/g}$ -nak találtuk (Tóásó, Schmidt, Fodor, 1993).

A Föld egyes részeinek szelénellátottsága különböző. Magyarországé közepesnek mondható, viszont a somogyi és zalai területeké kifejezetten alacsony. Napi 20-120 μg szelén már elegendő a hiánytünetek elkerüléséhez. A FAO/WHO ajánlása alapján 1 μg /testsúly kg szelén bevitele ajánlott (Oster, 1996).

Számos publikáció jelent meg az emberi táplálékok szeléntartalmának vizsgálatával kapcsolatban. Többek között a burgonya és az árpa (Giessel-Nielsen, 1984), a káposzta és a paradicsom (Kajfosz, 1982) és számos gombafaj (Vetter, 1990) szeléntartalmát vizsgálták. Vetter jelentős szelén mennyiséget mért különböző vadon termő gombákban.

A különféle szelénformák élettani szerepét és analitikáját tanulmányozta Dernovics (2003).

A szakirodalomban nagyszámú vizsgálat foglalkozik a különféle szelénformák (szelenit(SeIV), szelenát(SeVI), szeleno-metionin, szeleno-cisztein hasznosulásának, feldúsulásának, élettani szerepének tisztázásával.

A kereskedelemben nagy választékban jelentek meg a szeléntartalmú gyógyszerek (Magyar Gyógyszerkönyv, 1992), gyógyszernek nem minősülő gyógyhatású készítmények, szeléntartalmú élelmiszerek és étrend-kiegészítők (Magyar Közlöny, 2004).

A gombák azon tulajdonsága, hogy a környezetükben található mikroelemeket jelentős mértékben képesek termőtestükben feldúsítani, lehetőséget ad arra, hogy az emberi táplálkozás szempontjából fontos, a szükséges szintnél alacsonyabb koncentrációban előforduló elemek pótlását -szükség esetén a szelén bevitelét- részben a segítségükkel oldjuk meg. A világon az egyik legnagyobb mennyiségben termesztett gomba, a termesztett csiperke (*Agaricus bisporus*), alkalmasnak tűnik arra, hogy magas szeléntartalmú élelmiszerként, étrend-kiegészítőként vagy gyógyhatású készítményként jelenjen meg a már említett kínálatban.

Az értekezés célkitűzései:

Munkánkban célul tűztük ki olyan nagy szeléntartalmú termesztett csiperke előállítását, mely élelmiszerként, étrend-kiegészítőként, vagy gyógyhatású készítményként alkalmas lehet az emberek számára szelénhiányuk csökkentésére.

Kísérleteink során a következő kérdésekre kerestük a választ:

- Hogyan változik a termesztett csiperke szeléntartalma a komposzt szelénkoncentrációjának függvényében?
- Hogyan változik a termesztett csiperke szeléntartalma a különböző szelénformák (Se(IV) és Se(VI)) alkalmazása esetén?
- A különböző szelénformák hogyan hatnak a gomba termésmennyiségére? Milyen szelénkoncentráció hat kedvezően és toxikusan a termésmennyiségre?
- A termesztés ideje alatt hogyan alakul a szelén különböző formáinak felvétele különböző fázisú komposztokon?
- Hat-e a szelénkezelés a termesztés dinamikájára?
- Milyen felhasználási módja lehet a szelénrel dúsított termesztett csiperkének?

2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

2.1. A szelénről általában

A szelén a periódusos rendszer hatodik oszlopának 34-es rendszámú eleme. A holdról (görögül selene) kapta nevét. A szelén a viszonylag ritka elemek közé tartozik. A földkéregbeli gyakoriság sorrendjében a hatvanhatodik, megközelítőleg 0,05 μg koncentrációban van jelen.

A szelénnek legalább nyolc szerkezetileg különböző allotrop módosulata, és hat stabilis izotópja van. Vegyületeiben leggyakrabban – 2, +4, +6 oxidációs állapotban fordul elő. Évente megközelítőleg 2000 tonnát állítanak elő. Elemi állapotában és vegyületeiben üvegek, műanyagok, festékek előállítására, tinták, lakkok színezésre is használatos. Elemi állapotban, hasznosítva a fotoelektromos tulajdonságát, fénymásoló berendezésekben és félvezetőkben alkalmazzák. Fémötvözőként és gumigyártási segédanyagként is hasznosítják. A szelén sok tulajdonsága -az ugyancsak a periódusos rendszer hatodik oszlopában található- kénhez hasonló. A szelén könnyebben redukálódik, mint a kén. Hasonlóan a kénhez, oxidjai vízzel reagálnak, és szelénessavat vagy szelénsavat hoznak létre. Ionsugaruk

nagyon hasonló (1,84 nm és 1,98 nm) ezért különböző viselkedésük ellenére is könnyen helyettesíthetik egymást biológiai rendszerekben.

A szelén biológiailag azért is lehet aktív, mert sokféle oxidációs számmal rendelkezik, elektront könnyen donál és akceptál. Aminosavakhoz könnyen kötődik, így biokémiai folyamatokba bekapcsolódhat. Lúgos talajban a szelén vízoldható szelenát formában található, s így a növényekbe könnyen beépül. Savas talajban szelenitként vas- és alumínium-oxidokhoz kötött állapotú, és alig oldódik. (Greenwood, Earnshaw, 1999).

2.2. Szelén a talaj-növény rendszerben

A talajok szelén-tartalma rendkívül tág határok között változik. A talajok átlagos szelén-tartalmát Girling (1984) 0,1-0,2 $\mu\text{g/g}$ -nak méri, de állítása szerint a szelénben gazdag talajokban 30-300 $\mu\text{g/g}$ szelénnel is számolni lehet. Combs és munkatársai (1984) a talajok szelén-tartalmát vizsgálva az előbb említett szerző eredményeinél még nagyobb eltéréseket tapasztaltak. Méréseik alapján a talajok szelén-tartalma 0,1 $\mu\text{g/g}$ értéktől 1000 $\mu\text{g/g}$ értékig változik. Művelt talaj felszínén a normál érték 0,1-2,0 $\mu\text{g/g}$, a tipikus 0,4 $\mu\text{g/g}$.

A legtöbb mag és a fűvek szelénből ritkán tartalmaznak 30 $\mu\text{g/g}$ -nál többet, az átlagos érték 0,05-1,0 $\mu\text{g/g}$. A szelenát-szelén hasonlóan a szeleno-metionin-szelénhez jobban felszívódik, mint a szelenit-szelén. A növények a szelént szelenát (SeO_4^{2-}), vagy szelenit (SeO_3^{2-}) ionként veszik fel. A szelenát felvételét a SO_4^{2-} kompetitív úton gátolja. A

növényi szárazanyag átlagos szelén tartalma 0,01 és 1,0 $\mu\text{g/g}$ között változik. Kis koncentrációban kedvezően hat a keresztesvirágúakra. A szelént akkumuláló növények közül az Astragalus (ázsiai növény, mely gumyszerű váladékot termel) kapott legnagyobb figyelmet.

Megállapították, hogy a toxikus foszfátkoncentrációnak kitett növények szelén jelenlétében kevesebb foszfátot vettek fel és ezért növekedésük serkentődött. Nagyobb koncentrációban a szelén növekedési zavart, klorózist okozhat. Ebben a tekintetben a növények jelentősen különböznek egymástól. Ennek oka a méregtelenítő mechanizmusuk különbségében rejlik. A szelenát-ionok nem csak a felvételben versengenek a szulfát-ionokkal, hanem abban is, hogy a kénasszimiláció különböző enzimeivel is reakcióba léphetnek. Ennek következtében szelén származékok képződhetnek egyes aminosavakból: szeleno-cisztein, abból pedig szeleno-metionin. Ezek a szelént nem akkumuláló növényekben proteidekbe épülhetnek be, amelyek vagy nem, vagy sokkal kevésbé funkcióképesek, mint a kén tartalmú megfelelőik.

A szelén felvételének csökkentése, illetve kizárása e növények számára igen fontos. A szelén-felhalmozó növények másként védekeznek. Nem képződik bennük szeleno-metionin, hanem fehérjékbe be nem épülő származékot, szeleno-metilciszteint képeznek szeleno-ciszteinekből. Végül pedig szeleno-metioninekből képződhet dimetil-szelenid is, amely illékony és a gázcsere nyílásokon át távozhat. (Láng, 2002).

Abuereish és Lahram (1987) a Jordán folyó völgyének vidékén a talaj és növények szeléntartalmát határozták meg. A hüvelyesek, a fűfélék és keresztesvirágú növények tartalmazzák mérésük szerint a legmagasabb szelénértékeket.

Gupta és munkatársai (1983) a lombtrágyaként alkalmazott szelén hatását vizsgálták a lucerna, a réti komócsin és az árpa termésére és szelén-tartalmára. A kísérletben 1, 2 és 4 kg szelént használtak hektáronként a permettrágyában és 16-37 % közé eső termés-csökkenést regisztráltak. A kezelések nagyobb része a növényekben toxikus szelénkoncentrációt eredményezett. A három növény közül a szövetek szelén tartalma a réti komócsin esetében volt legnagyobb. Ugyanez a kutatócsoport hasonló közleményt jelentett meg (1983) arról, hogy a lucerna és az angolperje magjainak szelénkezelése jelentősen segíti a növények szeléntartalmának növekedését. Tapasztalataik szerint a nátrium-szelenittel történő magkezelés –hektáronként 50-200 g szelént számítva- nagyon kedvező eredményeket ad.

A szelén mezőgazdasági jelentőségéről írtak összefoglaló cikket Gupta és Watkinson (1985). Megállapították, hogy ugyanazon talajtípuson a szelényűjtő növények (például keresztesvirágúak) lényegesen magasabb szeléntartalmat mutattak, mint a szelént nemgyűjtő növények. Az előbbieken néha 2 %-t is elérhet a szeléntartalom anélkül, hogy növényi toxikusság jelentkezne, viszont az ilyen szeléntartalom már veszélyes lehet az állatokra és emberekre.

Gissel-Nielsen és munkatársai (1984) nagyobb összefoglaló tanulmányt írtak a szelén szerepéről a talajokban és a növényekben, illetőleg annak hatásáról az állati és emberi táplálkozásban. Mintegy 300 közleményről készítettek áttekintést, és az alábbi következtetésekre jutottak: a szelénhiány lényegesen gyakoribb a Földön, mint a szelénfelesleg; a gabonafélék és a takarmányok kívánatos szeléntartalma a szárazanyagra számítva 0,05-2,0 mg/kg. A szelénhiányt akár a talajba

juttatott, akár lombtrágyaként alkalmazott, akár a magok kezelésére használt szelénvegyületekkel lehet korrigálni. Lényeges és egyben nyitott kérdésnek tekintik a szelén felvételét a különböző formákból, továbbá azt, hogy más tápelemek hogyan hatnak a szelén felvehetőségére.

Sima és Gissel-Nielsen (1985) arról írnak, hogy árpánál és burgonyánál a szelenit-, illetőleg szelenát-oldatokkal végzett lombtrágyázás nem javította ugyan a termés-mennyiséget, illetőleg a szárazanyag-tartalmat, de a szelenát-forma -más mikroelemekkel (Mn, B, Cu, Zn, Mo, Co, Mg) együtt adagolva- javította a növények, illetőleg a termés szeléntartalmát. A szelén alkalmazásának felső korlátjának az 50 g Se/ha értéket tartják.

Lengyelország fogyasztható gombáinak szeléntartalmát vizsgálta Borowska és Koper (1986). Huszonhat eltérő fajtából kettőszázötvenkettő mintát vizsgáltak és a *Boletus edulis* fajtában találtak magas: 16,6 µg/g szelénértéket. A Finnországból és Svájcól származó minták szeléntartalmát is összehasonlították az azonos fajtájú, lengyel gombamintákkal és átlagosan 2-3-szor nagyobb szeléntartalmat találtak a lengyel gombákban.

Chortyk és munkatársai (1984) szelénrel dúsított talajon vizsgálták a dohánynövény növekedését. Tapasztalataik szerint a lombtrágyázás sokszorosan eredményesebb, mint a talajhoz adagolt szelénvegyület. Cigarettafüst elemzésével bizonyították, hogy a felvett szelénnek közel 50 %-a megtalálható a dohányfüstben. Úgy gondolják, hogy a magasabb szeléntartalom csökkenti a dohányzás okozta egészségkárosítást.

Yokota és munkatársai (1988) megállapították, hogy a *Chlamydomonas reinhardtii* nevű zöld alga kultúrában a nátrium-szelenit hatására megszűnik az aszkorbát-peroxidáz enzim aktivitása és megnő a glutation-peroxidáz aktivitása. A kísérlet alapján arra a végkövetkeztetésre jutottak, hogy az alga zavartalan életműködéséhez szelénre van szükség.

Yasumoto és munkatársai (1988) az átlagos szeléntartalmú szójabab fehérjéinek összetételét vizsgálták proteolitikus enzimes hidrolízis után. Dializálható szelén vált szabaddá, amely a vizsgálatok szerint szeleno-metioninnak bizonyult. Ez volt az első kutatás, amely így mutatott ki szeleno-metionint.

Frausto da Silva és Williams (1993) szeleno-ciszteint mutattak ki a kukorica és búza mag hidrolizátumban, szeleno-cisztin-etanolt pedig a vöröshere és hagyma extraktumban. Dimetil-szelenidet találtak az *Astragalus* növényben és magjában (szelénfelhalmozó).

2. 3. A szelén szerepe az állatok életében

A szelénnel kapcsolatos vizsgálódások kiderítették, hogy valószínűleg már az alacsony fejlődési fokon álló, primitív sejtek is felhasználtak anyagcseréjükben szelént. A szabad peroxid gyökök az evolúció folyamán a szeleniteket szelenáttá alakították. Nem minden szelennel történhetett ez így, hiszen a fém-szelenitek nagy része vízben oldhatatlan. Az így képződött szelenát a szulfát anyagcsere útjain jutott a sejtekbe (Ornes és munkatársai, 1991), ahol enzimekhez kapcsolódva

oxigénszállítási központként funkcionált tovább. Így kiszorította a molibdént a sejtől, ezért az a sejten kívüli térben kezdett oxigénszállítóként működni. A különbség a molibdén és szelén között a kapcsolat kialakításában volt. A szelént a DNS által kódolt aminosav, a metionin vette fel és szeleno-metioninná alakult. A DNS-kódolta szelén tartalmú aminosav viszont nem a transláció utáni változások következménye, és nem is a kénnel történő kicserélhetőség eredménye (Da Silva, Williams, 1993).

Criqui és munkatársai 1992-ben stressz alatt álló növényi mezofil sejtekben, merisztéma sejtekben és csírázó magvak intenzíven osztódó sejtjeiben vizsgálták a glutation-peroxidázt (GSHP), melynek aktív centrumát szelén alkotja szeleno-cisztein formájában. A dohányban ismert a glutation-peroxidáz termelésért felelős génszakasz, melyben a szeleno-ciszteint nem a cisztein esetében univerzális TGT vagy TGC triplet kódolja, hanem TGA. Egérsejt klónokban is ugyanezt találták: a szeleno-cisztein termelésért a TGA triplet felel. Kétséget kizáróan sikerült tehát igazolniuk, hogy a szeleno-cisztein egy újabb, genetikailag kódolt aminosav és nem a „természet szeszélyének” eredménye.

A szelén felvételét vizsgálták csirke-kísérletben Laws és munkatársai (1986). Azt találták, hogy a nátrium-szelenitből jobb volt a szelénfelvétel, mint a szeleno-metionból. A tyúkok által termelt tojások sárgájában magas volt a szeléntartalom, de a fehérjerész kevés szelént tartalmazott.

A szelén hiánya is káros. Schwarz és Foltz 1957-ben bizonyították be először, hogy a patkányokban a májzsugor szelénadagolással megszüntethető. Rövidesen az is kiderült, hogy juhok

és tehenek izomsorvadása, amely Oregon államban (USA) és Új-Zélandban fordult elő, szelénhiányra vezethető vissza. Hasonló esetek a skandináv államokban is előfordultak.

Csirkéken bizonyították be először, hogy a szelén biológiai hatása az E-vitamin hatásával kapcsolatos. A szelén a növekedéshez és a szaporodáshoz szükséges tápelem, és segít az E-vitaminnal kapcsolatos betegségek megakadályozásában. Kiderült, hogy a szelénterápia előnyös a bárányok, borjak és csikók „fehér izom betegsége” valamint a sertések májgyulladásában. (Pais, 1980).

A szelénhiány új oldalát mutatta be különböző háziállatok esetében Szűcs (1984). A téli etetési periódusban az állatok takarmányának „peroxid-száma” magas volt, az ennek nyomán fellépő oxidatív stresszt lehetett kivédeni szelénadagolással.

Sani és munkatársai (1988) olyan specifikus fehérjéket találtak patkányok szöveteiben, amelyek a szelén-megkötésére alkalmasak. Olyan szérum-albumin bizonyult eredményesnek a kötés és a transzport szempontjából, amelynek móltömege mintegy 68 000 dalton. Ez a kötési hely a szelenit-formát részesíti előnyben a szelenáttal szemben. A szelenit-kötő helyek a szeleno-cisztein számára megfelelőbbek, mint a szeleno-metionin számára.

Néhány szelénvegyület vagy szeléntartalmú enzim előfordulását mutatták ki Frausto da Silva és Williams (1993); szeleno-metionint a kutyamájban és birka gyapjú hidrolizátumban, szeleno-ciszteint a glutation-peroxidázban, szeleno-cisztein-liázt a sertésmájban.

Nátrium-szelenit és nátrium-szelenát voltak a hetvenes években takarmány adalékként először engedélyezett szelén vegyületek. Azonban

a szerves szelén nem biztosítja azokat a kedvező hatásokat a napi súlygyarapodásban, szaporodásbiológiában, energiaellátottságban, ellenállóképességben, melyeket csak a szerves szelén (szelena-metionin) képes biztosítani.

A szelén az élelmiszerláncba a szerves formájában lép be. A szántóföldi növények és a szilárdtakarmányok a szelént a talajból veszik fel és elsősorban L(+)-szelena-metioninná alakítják. A szelén e formában található az élesztőben is (Schrauzer, 2004).

Mézes (2004) szerves szelén kiegészítőt (Sel-Plex, Alltech) alkalmazott baromfi etetési kísérleteiben, és vizsgálatai alapján arra a következtetésre jutott, hogy a hazai élelmiszerfogyasztásban jelentős hányadot képviselő étkezési tyúktojás, valamint baromfi-hús szelén tartalma megfelelő készítménnyel végzett kiegészítéssel jelentős mértékben növelhető. Ennek eredményeképpen a hazai lakosság szelén ellátottsága ezen a módon javítható.

Sarudi és munkatársai (2004) nátrium-szelenittal illetve szelén élesztővel végeztek baromfi etetési kísérleteket. Tapasztalataik szerint mindkét esetben jelentősen megnőtt a tojások szeléntartalma és nem tapasztaltak szignifikáns eltérést a tojás szeléntartalmában a szerves és szerves kötésű szelén alkalmazása esetén.

Lengyel és munkatársai (2004) ugyancsak azt tapasztalták japánfűj etetési kísérleteikben, hogy a takarmányba bevitt szerves szelén hatására jelentősen megnövekedett a tojás szeléntartalma.

2.4. A szelén szerepe az ember életében

Az emberi szervezetbe a szelén a következő utakon juthat be:

1. Légutakon keresztül.
2. Bőrön át (csak bizonyos vegyületei, mint a szelenitek vagy a szelén-oxi-klorid).
3. 3.A gyomor-bél rendszerből (a vékonybélből könnyen felszívódik).

Az emberi táplálkozásban a napi szelénfelvétel 6-220 µg között változik (Peterson, Bennett, 1984). A felszívódási ráta függ a szelén formájától: a szelено-metioninból 75 %, táplálékból (hal) 66 %, szelenitből 48 %. A felszívódás gyorsasága tekintetében fordított a helyzet: a szervetlen vegyületekből gyors, a szervesből lassú. Így az azonos tömegben bevitt szelén lehet toxikus vagy lassan felszívódva kevésbé toxikus. A felnőtt emberi szervezet becsült 3-15 mg szeléntartalma főként a vesében, májban, lépben, hasnyálmirigyben, herében, szívizomban raktározódik. A WHO humán biológiai anyagok vizsgálatán alapuló referenciaértékei: teljes vér 90-130, szérum 75-120, anyatej 10-25 µg/l, máj 250-400, haj 500-1100 µg/kg és a vizelet 25-50 µg/nap.

A szelén a glutation-peroxidáz (GSHP) enzim része, és annak aktivitásában nélkülözhetetlen. Az enzim a vérben (plazma, szérum, vörösvértest, trombociták) és szövetekben megtalálható. Hatása többirányú, de jellemző tulajdonsága az oxidációs folyamatok gátlása. E tekintetben erősíti az E-vitamin ilyen jellegű aktivitását. A szelén, mint a GSHP része véd az oxidatív stresszhatásokkal szemben akár úgy, hogy a

H₂O₂ bomlását katalizálja, akár úgy, hogy a lipid-hidroperoxidok leépülését elősegíti. Így gátolja (megszakítja) a szabad gyökök oxidatív reakcióit. Számos vizsgálat bizonyította, hogy szoros dózis-hatás összefüggés létezik a felvett szelén és GSHP-aktivitása között. Más adatok szerint nem csak a szelén befolyásolja a GSHP-aktivitását. Ha metionint adtak alacsony szeléntartalmú étrendhez, akkor is szignifikánsan emelkedett a GSHP-aktivitás. Megfigyelték, hogy azokon a területeken, ahol kevés a szelénbevitel, metionin adagolására a szelén bioaktivitása megemelkedett. Az emberben a szeléntől független GSHP-szintetizáló mechanizmus működik, viszont a pro-GSHP csak akkor válik aktívvá, ha szelénnel kapcsolódik.

Az bizonyított, hogy a szelénhiány és szeléntöbblet egyaránt valamilyen következménnyel jár az élő szervezetek működésében. A szelénhiányos vagy csekély szeléntartalmú környezetben élők ismert betegsége a Keshan- és Kashin-Beck kór.

1. Keshan-kór: bizonyos területeken jelentkező betegség (Kína, Keshan tartomány). A betegség főleg a gyerekeket érinti, és szezonális jellemzőkkel bír (téli északon, nyári délen van több eset). A szívműködés elégtelensége jellemzi az akut eseteket. A betegség szelénhiánnyal magyarázható. Nátrium-szelenit-adagolással (0,5 mg/hét az 1-5 éveseknek, 1 mg/hét a 6-9 éveseknek) a betegség felszámolhatóvá vált.
2. Kashin-Beck-kór: bizonyos területeken jelentkező ízületi megbetegedés (Kelet-Szibéria, Észak-Kína és Korea). Jellemzője a tartós elfajulás a végtagizületekben és a gerincben. A csontfejlődés zavart, rövidebbek a kéz- és lábujjak, extrém

esetben törpenövés, deformált ízületek is előfordulhatnak. Ahol nátrium-szelenit-tablettákat adagoltak az 1-10 éves gyermekeknek (heti 0,5, 1, 2 mg), ott a megbetegedés 42-ről 4 %-ra csökkent a 3-10 évesek korcsoportjában. A szelén kóroki szerepét a kutatók elismerik, a szelén adagolása pedig eredményes terápiának bizonyult. Más kutatók szerint fő ok a táplálékkal felvett extrém mértékű foszfát (Kashin-Beck), amely eléri a normál érték 3-5-szörösét. E teóriát látszik bizonyítani, hogy a foszfátbevitel csökkentésével párhuzamosan csökken a betegség mértéke.

A rákbetegségek és a környezet (táplálék) alacsony szeléntartalmának összefüggését számos kutató vizsgálta. Az eredmények nem egybehangzóak, bár többen megalapozottnak tartják azt, hogy az alacsony szelénfelvétel (nyilván évtizedeken át) nagy rákmortalitással társul. Szelénhiány okozhatja a látásélesség romlást, miután szelén-adagolásra a retina látásérzékenysége nő.

A szeléntöbblet következményei is széles spektrumot képviselnek. Két közismertebb kórkép: a kergekór és az ún. „alkáli betegség” jelzi a szelénmérgezést. Az extrém dózisok véletlen alkalmazása a szelénmérgezésre jellemző tüneteket, haj- és körömhullást eredményez.

Az emberben a szeléntől független GSHPx-szintetizáló mechanizmus működik. A proto-GSHPx viszont csak akkor válik aktívvá, amikor szelénnel kapcsolódik. Az élesztőgombában a szelén valószínűleg kovalens kötésben van az aminosavval (-2 oxidációs állapotban), így igen bioaktív. Az élesztőgomba szeléntartalmú (SeO₂) táptalajon nő, a fonalak

a szelént beépítik a testükbe, ezután a fonalakat összegyűjtik, hidrolizálják és porítják. A szerves szelén mint szeleno-metionin, a szelénben gazdag gabona és a szelén-élesztőgomba a legbioaktívabb formák.

A mikroelemek egymással és/vagy bizonyos szerves vegyületekkel kölcsönhatásban vannak, biológiai hatásukat erősítik vagy gátolják (szinergisták, antagonisták). E-vitaminnal együtt a szelén fokozott védelmet nyújt a széntetraklorid mérgezéssel szemben. A szelén gátolja több nehézfém (higany, arzén, kadmium, kobalt) toxikus hatását. (Takács, 2001).

A Keshan-kórról a felfedezése után csak hosszú idő után derült ki, hogy a szelénhiány csak közvetett okozója volt a betegségnek. Valójában a kórokozó egy olyan vírus volt, melynek sejten belüli szaporodását a szelén gátolja (Levander, Beck 1997).

A táplálkozástudomány évekig a szelén antioxidáns tulajdonságaira szűkítette le figyelmét. A jelenlegi RDA (Recommended Daily Allowance), vagyis a hivatalosan megállapított napi szelén szükséglet kizárólag a glutation-peroxidáz aktivitás telítéséhez szükséges mennyiségen alapulnak. Nagyobb mennyiségű szelén szükséges a többi szeleno-enzim telítéséhez és méregtelenítő funkcióinak teljes mértékű kihasználásához. Tehát a jelenleg javasolt napi szelén bevitel nem felel meg az optimális egészségi állapothoz és maximális ellenálló képességhez szükséges szelén mennyiségnek (Schrauzer, 2004).

A szelén annyira fontos az emlős sejtek számára, hogy kódoltan benne van minden emlős genomjában. Az emberi genomban huszonöt szelenoprotein van kódolva. (Kryukov és munkatársai, 2003).

A szelén nélkülözhetetlenül fontos az ember számára. Alapvetően szükséges alkotója számos anyagcsere folyamatnak. Többek között a pajzsmirigy-hormon anyagcsere folyamatnak, az antioxidáns rendszernek és az immun rendszernek (Brown, Arthur, 2001).

Dubois és Belleville (1988) áttekintő cikket írtak a szelén szerepéről az emberi szervezetben. Megemlítik, hogy hatására az immunrendszer megerősödik, továbbá a megfelelő szelénszint biztosításával néhány fém mérgező hatását csökkenteni lehet.

Kay és munkatársai (1986) az emberi vér T falósejtjeinek képződését és a szelén közötti kapcsolatot vizsgálták *in vitro*. Megítélésük szerint a szelén szignifikánsan pozitív hatást fejt ki és a daganatok elleni kemo-immunoterápiában is komoly szerepe lehet.

A szelén kedvező és káros hatásairól írtak cikket Koller és Exon (1986). Ebben felsorolják mindazokat az enzimeket, amelyekben a szelén kedvező élettani hatást fejthet ki, de azt is említik, hogy a szelénhatásnak sok részlete még nincs egyértelműen tisztázva és 400 ng/g érték fölött toxikus tünetekkel, szelenózissal kell számolnunk. A szelén szükséges mennyisége és toxikus adagja között nagyon kicsi a különbség. A napi szükségletnek néhányszoros bevitele már mérgezési tüneteket eredményez. Közel 10 mg/testsúly kg fölött halálos a szelén bevitele élő szervezetbe (Olson, 1986).

Többen beszámolnak a szelén rák megelőző vagy éppenséggel tumorelles hatásáról, a szelén és a szívinfarktus kapcsolatáról (Watson, Leonard 1986), (Popadiuk et al. 1986), (Thiegele et. al. 1989).

A szelénhiánnyal kapcsolatos megfigyeléseikről adtak áttekintést Néve és munkatársai (1985). Megállapították, hogy a húsok, a tengeri

eredetű ételek és a diófélék gazdagok szelénben, de a gyümölcsök és a zöldségek általában szegények. Néhány ország lakóinak átlagos szelénfelvételét $\mu\text{M}/\text{nap}$ - egységben az alábbiak szerint adták meg: Kína= 0,14, Svédország= 0,29-0,57, Belgium= 0,63-0,76, Amerikai Egyesült Államok= 0,76-2,79.

Átfogó összefoglaló dolgozatot írt a szelén szerepéről az emberi táplálkozásban Levander (1987). Részletesen tárgyalja a Keshan-betegség, Kashin-Beck betegség, a daganatos betegségek, valamint az érrendszeri betegségek kapcsolatát a szelén-ellátottsággal. A krónikus betegségek gyógyításában való szerepről a szakemberek „hívőkre” és „ellenzőkre” oszthatók. A szerző a szelén hasznosságának ad lényegesen nagyobb esélyt.

Casey (1988) „szelenofília” címmel tárgyalja különböző, szelénhiánnyal magyarázott betegségek kezelésének tapasztalatait és arra a végső következtetésre jut, hogy bár az állatkísérletek a daganatos betegségek elleni kedvező hatást bizonyítják, a Keshan-betegség kivételével egyetlen esetben sincs döntő bizonyíték az ember kezében a szelén orvostudományi alkalmazásának átütő sikeréről.

Shennan (1988) érdekes és fontos közleményében azt vizsgálta, hogy a szelenát- és a szulfát-anionok felvétele a méhlepény membránjában hogyan függ össze. A tetraédes szerkezetű anionok, mint a kromát, a molibdát, a wolframát és elsősorban a szulfát inhibitor hatást mutat a szelenát felvételére, az utóbbi esetében a versengő gátlást is megállapította.

A szelén pótlásra leggyakrabban alkalmazott szelénnel dúsított élesztő szeleno-metionin tartalma a fehérjék bomlási és építő

folyamataiba kerül, ebből adódóan szelén dúsulás jöhet létre, mely általában nemkívánatos, másrészt a rákellenes hatás nem érvényesül (Besser et al, 1993).

A szelén(IV) és szelén(VI) sók hatásainak összehasonlításával kapcsolatban Kobayashi és munkatársai (2001) arra a következtetésre jutottak, hogy a szerves szelén(IV) sót tartalmazó készítmények esetén szöveti felhalmozódás nem alakul ki, azonban ennek a szelén módosulatnak a felvételénél reaktív oxigéngyököt tartalmazó molekulák keletkezhetnek, amely a szelenitet a többi módosulathoz képest toxikusabbá teszik. A szelenát bevitele nem vált ki a másik szerves módosulathoz hasonló negatív hatásokat, azonban biológiai felvehetősége csupán 25 %-os a szelén (IV)-hez képest, és egy része változatlan formában azonnal kiürül a vizeleten keresztül.

2.5. A gomba, mint lehetséges szelénforrás

Korunk táplálkozási szokásai mindinkább az egészséges, értékes beltartalommal bíró élelmiszerek fogyasztását helyezik előtérbe. Ebbe a képbe viszonylag jól beleillenek a gombából készült táplálékok. Nagy nedvességtartalmuk mellett viszonylag sok fehérjét tartalmaznak. A csiperkegomba szárazanyag-tartalmának 22-24 %-a fehérje. A gombák összes aminosav tartalmuk 25-35 %-át szabad aminosavak és kisebb peptidek képezik, ami lényegesen növeli az értékesülés hatékonyságát. Mindezek mellett az összes esszenciális aminosavat is biztosítják számunkra. A gombák lipidtartalma 1-20 % lehet. Tartalmaznak még jelentős mennyiségű ergoszterint és ergoszterolt, továbbá szfingolipideket is. Szénhidrát-tartalmuk a szárazanyaguk 51-83 %-a, ebből 3-32 % rost (Gasztonyi, Lásztity, 1993).

Táplálkozás-élettani szempontból nem egyértelmű megítélés alá esik a gomba összetevőinek, beltartalmi értékeinek biológiai hozzáférhetősége. Az emberi szervezet csak áttételesen, a bélflóra bizonyos baktériumai által képes emészteni a részben kitinből és (hemi)cellulózából álló gombasejtfalat, és így gátolt a többi összetevő felvehetősége (Dernovics, 2003).

Stijve (1977) vadon termő gombák nyolcvanhárom fajtájának szeléntartalmát vizsgálta. A gombák szárazanyag-tartalmára vonatkoztatva 0,012-20 mg/kg közötti értékeket mért. Legnagyobb szeléntartalma volt a *Boletus edulis* példányainak. A gomba részeit

vizsgálva megállapította, hogy a tönk kevesebb szelént tartalmazott, mint a kalap.

A vadon termő gombák azon tulajdonságuk miatt, hogy a környezetükben megtalálható fémionokat akár százszoros dúsítási faktorról is képesek felvenni, élelmiszer-biztonsági kockázatot is jelenthetnek (Rácz és munkatársai, 2000a).

A brazil-dióban és a gombákban lévő szelén felvehetőségét vizsgálták patkány-kísérletekben Chansler és munkatársai (1986). A gomba (*Boletus edulis*) szelén-tartalma nagyon nehezen vehető fel. Az eredményeket fontosnak tartják az ember szelén-ellátása szempontjából is.

Mutanen (1986) Finnországban fiatal finn nőknek viszonylag magas szeléntartalmú gombát (*Boletus edulis*) adott 4 héten keresztül: a gomba összesen 150 µg szelénnek felelt meg. Az eritrociták Se-tartalma 26 %-kal magasabb lett, bár a vér-plazma szeléntartalma alig nőtt. Megállapításai szerint a gomba azért nem jó szelén-forrás, mert a szelén nagy része nincsen fehérjéhez kötve.

Mattila és munkatársai (2001) az *Agaricus* változatok szeléntartalmát magasnak találták (1-3 mg/kg). A *Pleurotus ostreatus*-ban (laskagomba) huszadannyit és a *Lentinus edodes*-ben (Shii-take) nyolcvanad részt talált, mint a szelénben gazdag *Agaricus* változatokban. A nők és férfiak számára a szelén napi kívánatos adagja 55 és 70 µg (National Research Council, 1989), így 100 g *Agaricus bisporus* elfogyasztása 46-58%-ban kielégíthetné a napi szükségletet.

Az általuk mért szelénszint megegyezett Piepponen és munkatársai (1983) adataival az *Agaricus bisporus* és a *Lentinus edodes*

tekintetében. Haldimann és munkatársai (1995) szintén magasabb szeléntartalmat mértek az *Agaricus bisporus*-ban, mint a *Pleurotus ostreatus*-nál.

Bár táplálkozás-élettani szempontból a gomba összetevőinek, illetve a gomba szeléntartalmának hasznosulását több kutató is csak viszonylag alacsony értékűnek tartja, a szelénrel dúsított gomba patkány kísérletekben tumorképződést gátló hatást mutatott, melynek mértéke összevethető volt a párhuzamos vizsgálatok során a szerves szelén által elért hatáshoz (Spolar és munkatársai, 1999).

Van Elteren és munkatársai (1998) radioaktív szelén- és cézium sókkal tanulmányozták e két elem beépülését a termesztett csiperkébe. Igazolták, hogy a szelén, felvétele után molekulákba épül be. A gomba tönkjéből négy, a kalapból öt különböző molekulatömegű, szeléntartalmú sejtalkotót mutattak ki.

Vetter (1993) különböző vadon termő gombafajták szeléntartalmát vizsgálta és hasonlította össze.

Rácz és munkatársai (2000b) különböző toxikus fémek és szelén felvételét tanulmányozták termesztett csiperkével.

Dernovics (2003) dolgozatában a különböző létfontosságú és/vagy toxikus elemekkel kapcsolatban áttekintést nyújt többek között a szelén különböző formáinak szerepéről és analitikai meghatározási lehetőségeiről, a módosulat analitika főbb kérdéseiről. Többek között a szelénrel dúsított termesztett csiperkében található különböző szelénformákat tanulmányozta. A különböző kinyerési módszerek alkalmazása alapján a gomba szerves szelén-módosulataránya -a szakirodalmi utalásokhoz képest- viszonylag nagy, 34-40 % közöttinek

adódott, melyből a szerző arra következtet, hogy a gomba a felvett szelént nem teljes mértékben vonta be az anyagcsere-folyamataiba. Az ioncserélt vízzel + pepszines bontással + legvégül tripszines kezeléssel sikerült elérnie a legnagyobb, 75%-os értéket. A szerző, a kinyert szelén mennyiségét, a minta teljes feltárásával kapott, ICP-OES technikával meghatározott szelén mennyiségéhez viszonyította. A szakirodalmi adatoknál jóval magasabb mértékben kinyert szelénformák magyarázatául a szerző a szárítás és őrlés szerepét is feltételezi és megjegyzi, hogy „...az élelmiszeripar nem csak frissen, hanem szárított gombaporként is felhasználja ezt az alapanyagot, tehát az esetleg szeléndúsított gombából készült por, mint funkcionális élelmiszer-kiegészítő minden bizonnyal nagyobb mennyiségű szelén felvételét teszi majd lehetővé.”

2.7. Lehetőségek a szelén meghatározására

Az analitikai módszerek és eszközök múlt század közepén bekövetkezett ugrásszerű fejlődése tette lehetővé a mikroelemek élettani szerepének tisztázását, az élő folyamatokban játszott szerepük megismerését. E folyamatnak köszönheti a szelén is az elmúlt néhány évtizedben tapasztalható kiemelt figyelmet.

A szelén fotometriás meghatározási lehetőségei után (Upor és munkatársai, 1978) új korszakot nyitott (a szelén és más elemek vonatkozásában is) egy új módszer, az atomabszorpciós spektrometria (AAS) -mely Walsh nevéhez fűződik- kidolgozása (Price, 1977). A szelén lángban történő atomabszorpciós vizsgálata esetén kevés zavaró

hatás tapasztalható és a kimutatási határ is jó, de az igazán nagy előrelépést a szelén (és arzén) analitikájában az elektrotermikus gerjesztésű grafitkemencén és a hidridképzésen alapuló eljárások jelentették (Fleming, Taylor, 1978).

Új lehetőséget jelentett a szelén meghatározására (is) egy új termikus sugárforrás, az induktív csatolású plazma (ICP) megalkotása. Az induktív csatolású plazma optikai emissziós módszer (ICP-OES) megközelítőleg nyolcvan elem meghatározására alkalmas a plazmában keletkező gerjesztett szabad atomok és ionok által létrehozott fény emisszió felhasználásával. Az ICP-OES kimutatási határai általában hasonlóak vagy kissé jobbak, mint a láng-AAS módszeré, de jó néhány elem esetében az ICP-OES módszeré sokkal kedvezőbbek. Az ICP-MS (az induktív csatolású plazma összekapcsolva egy igen érzékeny detektorral, a tömeg spektrométerrel) módszer megközelítőleg három nagyságrenddel jobb kimutatási határral rendelkezik, mint az ICP-OES.

2.8. Emberi fogyasztásra szánt szeléntartalmú készítmények

Az emberi fogyasztásra ajánlott szeléntartalmú készítményeket négy csoportba sorolták (Magyar Közlöny, 56 2004). Megkülönböztetünk: szeléntartalmú gyógyszereket (például: Materna szelénnel filmtabletta, Multivitamin-25 filmtabletta, Centrum Junior A-Z tablettá (Vademex, 2004) (Magyar Gyógyszerkönyv, 1992), gyógyszernek nem minősülő gyógyhatású készítményeket (például: Actival Max, Actival Senior tablettá, Basica, Béres csonterősítő filmtabletta, Béres Flu-Vit filmtabletta, E-vitamin, szelén, cink tablettá,

Humet-R szirup, Selen Plus tableta, Selenor tableta, Multi-Prevent (Pharminindex, 2003)), étrend-kiegészítőket (például: Bio-Szelenium 50, SelenoPrecise (Pharminindex, 2003)) és szelénrel dúsított élelmiszereket (például: szelénrel dúsított liszt, szelénes élesztővel készített kenyér, szelénrel dúsított tojás).

3. ANYAG ÉS MÓDSZER

A Nyugat-Magyarországi Egyetem Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Kar Kémia Tanszékén indított kutatásaink keretein belül kerestünk választ a termesztett csiperke (*Agaricus bisporus*) szeléntartalma növelésének lehetőségeire.

3.1. A csiperkegomba (*Agaricus bisporus*) termesztése

A vizsgálatainkhoz szükséges gomba (*Agaricus bisporus*) termesztését a Sampinyon Kft. székhelyén, Máriakálnokon végeztük.

A gombatermesztéshez szükséges komposztot a Sampinyon Kft. komposzt előállító üzeméből kaptuk.



1. ábra

A Sampinyon Kft. komposztüzemének egy részletete

Vizsgálatainkhoz második és harmadik fázisú komposztot használtunk. A harmadik fázisú komposzt a második fázisú komposzt (hőkezelt) gombacsírával történő beoltásával és 16-18 napos átszövetésével „keletkezik”. Zsákos termesztést alkalmaztunk.

A komposzt gombacsírával történő beoltását és bekeverését kézzel végeztük.

2. ábra

A komposzt előkészítése a gombacsíra bekeveréséhez

A munkaasztalon 15 kg komposztot terítettünk szét, melyhez 150 ml Ital Spawn gombacsírat adtunk. A becsírázott komposztot összekevertük és polietilén zsákokba töltöttük. Kísérleteink számára minden esetben külön termesztő helyiséget kaptunk. A helyiség fűtését és páratartalmának beállítását a gombatermesztő üzemben szokásos feltételekkel biztosították számunkra.

3. ábra

A micéliummal átszótt komposzt

Az így előállított (második fázisú) komposztra az átszövetés után (16-18 nap) helyeztük fel az üzem által is használt takarófldet.

4. ábra

A micéliummal átszótt komposztra takaró föld került

A takaró föld felhelyezése után egy héttel történt a „borzolás”. A termőtestek az ötödik héten jelentek meg, melyeket két-három héten keresztül folyamatosan szedtünk, igazodva a gombaüzemben szokásos munkarendhez.

3.2. A komposzt szelénnel történő dúsítása

A kimért mennyiségű komposztot a munkaasztalon szétterítettük és a gombacsíra hozzáadása után a megfelelő mennyiségű (nátrium-szelenit vagy nátrium-szelenát) oldatot finom porlasztással rápermeteztük, majd homogenizáltuk és betöltöttük a zsákba.

A kipermetezett oldat szelénkoncentrációja $10\ 000\ \text{mg/dm}^3$ volt. Azért használtunk ilyen töménységű oldatot, hogy a lehető legkevesebb folyadékot adjuk a komposzthoz, de a kipermetezés is még egyenletes terítést eredményezzen. A különböző mennyiségű szelénoldatok kipermetezése után a kevesebb térfogatú oldatot kapott komposztokra még annyi vizet permeteztünk, hogy a kijuttatott folyadékmennyiség minden esetben azonos legyen. Legalább három, de legtöbbször négy-öt párhuzamos kísérletet végeztünk.

A több év óta folyó munkánk során többféle komposzt szelénkoncentrációval (5 mg/kg, 10 mg/kg, 40 mg/kg, 50 mg/kg, 60 mg/kg, 100 mg/kg, 250 mg/kg, 500 mg/kg) végeztünk kísérleteket.

3.3 A gomba termésmennyiségének meghatározása

Megközelítőleg öt héttel a komposzt gombacsírával történt beoltása után megjelentek a termőtestek.



5. ábra

A termőtestek képződése

A gombákat szükség szerint, általában egy-két naponta szedték. A különböző napokon szedett gombákat külön gyűjtöttük, tömegüket azonnal lemértük és a további feldolgozás céljára szeleteltük, szárítottuk.

3.4. A gombaminták előkészítése mikroelem-vizsgálatokhoz

A levegőn szárított gombamintákat 105 C°-on tömegállandóságig szárítottuk, majd mozsárban porrá törtük, átszitáltuk és belőlük a szükséges mennyiséget (1-2,5 g) analitikai mérlegen bemértük. A gombaporhoz 50 cm³ 65 %-os Carlo Erba gyártmányú salétromsav oldatot adtunk. A roncsolást másnap kezdtük. Az elegyhez szükség szerint Reanal gyártmányú 30 %-os H₂O₂ oldatot is adtunk. A felhasznált vegyszerekből háttér oldatot is készítettünk. A mintákat feltöltés után 5500 fordulat/perc fordulatszám mellett 10 percig centrifugáltuk. A standard oldataink 1000 µg/ml koncentrációjú BDH (England) törzsoldatok voltak.

A komposztminták előkészítését a mikroelem-vizsgálathoz salétromsavas extrakcióval végeztük (Tóásó, 1985). Az oldatokat mérés előtt szűrtük.

3.5. Az oldatok mikroelem-tartalmának meghatározása

A gombákban található különböző szelénformák meghatározása későbbi vizsgálataink részét fogja képezni. Jelen vizsgálati sorozatunkban a minták összes szeléntartalmának meghatározását tűztük ki célul. E célra megfelelt az ICP-OES módszer alkalmazása.

A fenti módon előkészített minták vizsgálatát Jobin-Yvon 24 ICP-OES készülékkel végeztük. A mérés fontosabb paraméterei a következők voltak. Méréseinkhez üvegből készült koncentrikus C1 típusú Meinhard-féle porlasztó készüléket használtunk. Az általunk használt porlasztási sebesség 0,4 l/ min, az ehhez tartozó nyomás 3 bar volt. Az RF-generátor

frekvenciája: 40, 68 MHz, teljesítménye: 1000 W. A plazmagáz áramlási sebessége 12 l/min, a burkológáz áramlási sebessége 0,2 l/min volt. A porlasztógáz sebessége 0,35 l/min a mintabevitel: 1,5 ml/min volt.

3.7. A statisztikai értékelés során alkalmazott módszerek

A kísérletek értékeléséhez és az ábrák készítéséhez az Excel 97 táblázatkezelő programot használtuk fel. Kísérleteinkhez négy- illetve ötismétléses véletlen blokk elrendezést alkalmaztunk. A kiértékelést egytényezős varianciaanalízissel végeztük. Szignifikáns különbséget 95 %-os megbízhatósági szinten vettünk figyelembe (Sváb, 1981).

4. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

Gombatermesztési kísérleteinket több mint tíz éve folytatjuk Máriakálnokon a Sampinyon Kft. által biztosított körülmények között. A társaság több mint húsz éve termesztett csiperke, a gombatermesztéshez szükséges komposzt és néhány éve gombakonzerv előállításával foglalkozik. Terveztük, hogy emberi fogyasztás céljából egy magas szeléntartalmú élelmiszert, magas szeléntartalmú termesztett csiperkét állítunk elő. A gomba szeléntartalmának növelése céljából végzett kezdeti kísérleteink eredményeinek értékelése során újabb és újabb kérdésekre kívántuk a választ megismerni, ezért az egymást követő kísérletek során folyamatosan változtattuk a kísérletek körülményeit, bővítettük a vizsgált paraméterek számát. Jelen dolgozat az elmúlt időszak kérdéseit és válaszait foglalja össze. Az alábbiakban kísérleteink és eredményeink időrendben követik egymást.

4.1. A gomba szeléntartalmának változása a komposzt szelénkoncentrációjának függvényében

Kezdeti kísérleteink során célul tűztük ki annak tanulmányozását, hogyan változik a termesztett csiperke szeléntartalma, ha a termesztő közeg, a komposzt szeléntartalmát megnöveljük. E vizsgálatainkhoz második fázisú komposztot és nátrium-szelenit-oldatot használtunk. Megvizsgáltuk a termesztésre szolgáló komposzt, a gombacsíra, a kezeletlen komposzton termesztett gomba ásványianyag-tartalmát és

természetesen a szelénnel dúsított komposzton termesztett gombák szeléntartalmát is.

1. táblázat

A komposzt ásványianyag-tartalma (mg/kg)

Elem	Db	Átlag	Szórás	CV%	Minimum	Maximum
Al	3	890	67,3	7,4	808	966,5
B	3	13,6	2,7	19,7	11,3	17,4
Ba	3	49,7	6,7	13,5	42,5	58,7
Ca	3	32300	2162	6,6	29800	35100
Cd	3	1,0	1,14	112,0	0,170	2,6
Co	3	1,3	0,26	19,9	1,03	1,6
Cr	3	7,2	2,47	34,5	4,96	10,6
Cu	3	31,0	5,44	17,5	25,9	38,6
Fe	3	857	70,3	8,2	784	952
K	3	16000	3242	20,2	13000	20500
Li	3	2,1	0,35	16,6	1,7	2,5
Mg	3	4800	984	20,5	3,8	6,1
Mn	3	186	47,86	25,7	148	254
Na	3	1950	349	17,8	1650	2440
Ni	3	4,3	1,09	25,5	3,3	5,8
P	3	6350	905	14,2	5360	7540
Se	3	≥0,02				
Si	3	8,1	2,20	27,0	5,0	10,1
Sr	3	132	12,6	9,5	122	150
Ti	3	0,8	0,17	20,4	0,6	0,98
V	3	4,4	0,91	20,5	3,6	5,7
Zn	3	80,5	33,24	41,2	54	127

A táblázatban szereplő CV% jelölést a variációs koefficiens rövidítéseként használtam ($CV\% = \text{szórás}/\text{átlag} \times 100$).

A Sampinyon Kft. a gombatermesztéshez szükséges komposztot maga állítja elő tyúktrágya, szalma, lótrágya, karbamid és gipsz felhasználásával. A komposzt termesztés szempontjából fontos jellemzőinek vizsgálatát a Duna-Komposzt Kft. (Budapest) végzi.

Általában a következő paramétereket vizsgálják: pH, nedvességtartalom, ammóniatartalom, összes nitrogéntartalom, szervesanyag-tartalom, hamutartalom és szén-nitrogén arány. A sikeres termesztés egyik feltétele a komposzt optimális tápanyagtartamának és megfelelő kémiai jellemzőinek biztosítása. Mindezekon túl az egyik legfontosabb feltétele az eredményes gombatermesztésnek, az hogy a komposztban csak a termesztendő gomba számára szükséges mikroszervezetek maradjanak élve. Különbféle alacsonyabb rendű gombák életben maradása a komposzt előállítás során vagy későbbi megjelenésük jelentősen csökkentheti a termeszthető gomba mennyiségét. A 2. táblázat egy az általunk is felhasznált komposzt főbb jellemzőit tartalmazza.

2. táblázat

A komposzt tápanyagtartalmának vizsgálati eredményei
(Duna-Komposzt Kft.)

Laboratóriumi mérési eredmények			
	3. fázis	2. fázis	1. fázis
pH	5,81	6,97	7,87
Nedvesség %	65,6	73	72,9
NH ₃ %	-	-	0,604
Összes N %	2,33	2,4	1,46
Szerves a %	72	76	79
Hamu %	28	24	21
C / N	15,45	15,83	27,65

3. táblázat
A gombacsíra ásványianyag-tartalma (mg/kg)

Elem	Db	Átlag	Szórás	CV%	Minimum	Maximum
Al	3	14,7	1,28	8,7	13,8	16,6
B	3	1,55	0,01	5,3	1,46	1,66
Ba	3	2,79	0,19	6,7	2,53	2,96
Ca	3	3630	1956	53,9	971	5620
Cr	3	1,30	0,29	22,6	1,01	1,71
Cu	3	3,41	0,48	13,9	2,97	4,08
Fe	3	25,9	4,78	18,4	19,6	31,1
K	3	4690	443	9,4	4070	5087
Mg	3	947	79,99	8,4	834	1010
Mn	3	35,4	2,696	7,6	31,7	38,1
Mo	3	0,36	0,07	18,3	0,27	0,42
Na	3	26,8	5,65	21,6	18,9	31,4
Ni	3	0,29	0,06	22,2	0,23	0,38
P	3	3160	290	9,1	2750	3390
Se	3	34,5	9,11	26,4	22,0	43,4
Si	3	15,8	1,63	10,3	13,5	17,4
Sr	3	5,25	0,19	3,7	4,99	5,45
Ti	3	0,19	0,02	8,5	0,18	0,23
Zn	3	27,2	6,33	23,2	20,2	35,5

A gombatermesztéshez szükséges oltóanyagot általában búzaszemeken szaporítják. Ennek következtében a vizsgált gombacsíra ásványianyag-tartalma és ezen belül a szeléntartalma -a várakozásoknak megfelelően- hasonlónak adódott az irodalmi hivatkozásokban szereplő gabona magvak ásványianyag-tartalmával és szeléntartalmával (Peterson, Bennett 1984).

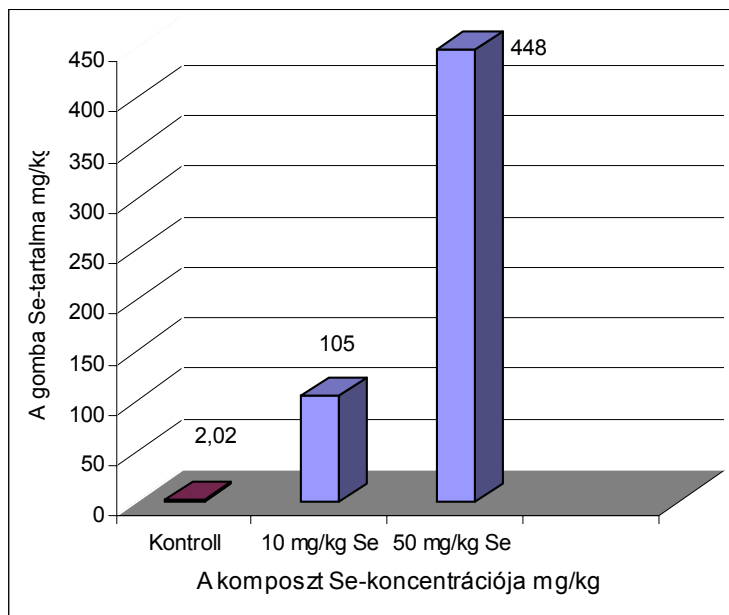
4. táblázat

A termesztett csiperke ásványianyag-tartalma

Elem	mg/kg
1. Al	21,4
2. B	13,0
3. Ba	6,80
4. Ca	668
5. Cd	0,31
6. Co	0,09
7. Cr	17,7
8. Cu	36,2
9. Fe	101
10. Hg	5,77
11. K	29700
12. Li	0,13
13. Mg	10000
14. Mn	11,4
15. Na	630
16. Ni	4,55
17. P	12100
18. Pb	0,67
19. Se	2,81
20. Si	14,6
21. Sr	3,18
22. Ti	2,24
23. V	0,14
24. Zn	79,8

A 4. táblázat a kezeletlen komposzton termesztett gombák ásványianyag-tartalmát mutatja. Az értékek igazolják a gombák azon ismert tulajdonságát, hogy a környezetükben található elemeket viszonylag nagy mennyiségben építik szervezetükbe, dúsítják (Vetter, 2001) (Van Elteren, 1998) (Mattila, 2001).

Az 6. ábrán látható, hogy a komposzthoz adagolt szelénből (nátrium-szelenit) a gombák jelentős mennyiséget akkumuláltak. A komposzt szelénkoncentrációjának növekedésével nőtt a gombák szeléntartalma is. A gombákban a szelénből a komposzt szelénkoncentrációjának többszöröse jelent meg. A kezelések $P=5\%$ -os szinten szignifikánsan befolyásolták a gomba szeléntartalmát ($SzD_{5\%} = 217,22$ mg/kg) (Tóásó és munkatársai, 1994).

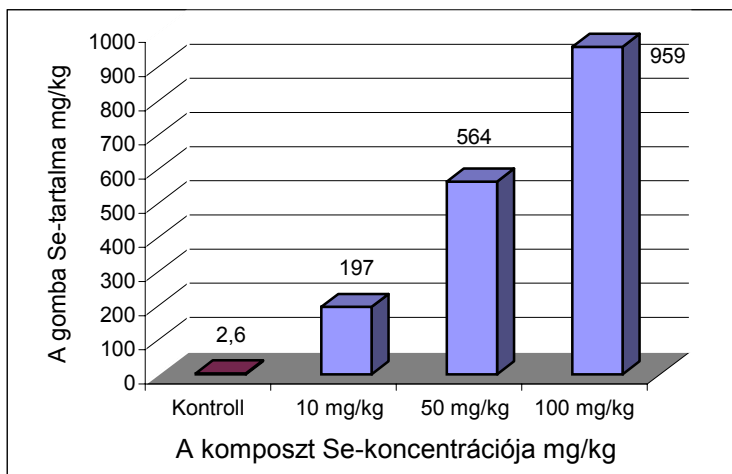


6. ábra

A gomba szeléntartalmának változása a komposzt szelénkoncentrációjának függvényében

4.2. A gomba szeléntartalmának változása a komposzt szelénkoncentrációjának függvényében 10 mg/kg - 500 mg/kg koncentrációtartományban

Az előző fejezetben szereplő kísérleti eredmények ismeretében következő vizsgálatunk megtervezése során újabb célokat tűztünk ki. Az előzőekhez hasonlóan vizsgálatainkhoz második fázisú komposztot alkalmaztunk és a komposzt szeléntartalmát ugyancsak nátrium-szelenit-oldat alkalmazásával változtattuk. Az előző kísérlethez képest többféle komposzt szeléntartalmat állítottunk be (0 mg/kg, 10 mg/kg, 50 mg/kg, 100 mg/kg és 500 mg/kg). Újabb kísérletünkkel választ kívántunk kapni arra a kérdésre, hogy milyen mértékben növelhető a gomba szeléntartalma a komposzt szelénkoncentrációjának növelésével és ugyancsak választ kívántunk kapni arra a kérdésre is, hogy a komposzt szelénkoncentrációjának növelése hatással lesz-e a gomba termésmennyiségére. Ugyancsak szükségesnek tartottuk a gomba számára toxikus szelénkoncentráció meghatározását, ezért terveztük be a az 500 mg/kg szelénkoncentrációjú komposzton is a gombatermesztési kísérletet.

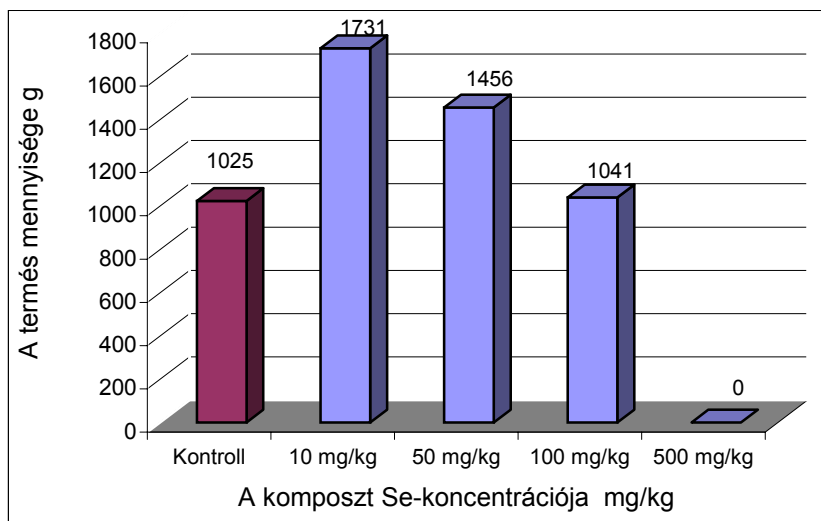


7. ábra

A gomba szeléntartalmának változása a komposzt szelénkoncentrációjának függvényében

A 7. ábrán látható, hogy a komposzt szelénkoncentrációjának növelésével tovább tudtuk növelni a gomba szeléntartalmát, közel 1000 mg/kg értékre. A kezelések hatására bekövetkező szeléntartalom-változást $P=5\%$ -os szignifikancia szinten tudtuk bizonyítani, $SzD_{5\%}$: 126,5 mg/kg. Eredményünk megegyezik Peterson és Bennett (1984) vizsgálataival. Kutatásaik alapján közlik, hogy az elsődleges szelénfelhalmozók, melyek közé a kalapos gombákat és a pillangósokat sorolják, 1000 $\mu\text{g/g}$ szelént is képesek felhalmozni. A 10 mg/kg és 50 mg/kg szelénkoncentrációjú komposztokon termett gomba szeléntartalma megközelítőleg azonos volt az előző kísérletben kapott értékekkel (6. ábra).

A 8. ábrán a gomba termésmennyisége látható a különböző komposzt szelénkoncentrációk függvényében. A komposzt szelénkoncentrációja hatással volt a gomba termésmennyiségére. Az 500 mg/kg szeléntartalmú komposzton termőtest nem képződött, a komposzt átszövődése is csak korlátozott mértékben történt meg.



8. ábra

A gomba termésmennyiségének változása a komposzt szelénkoncentrációjának függvényében

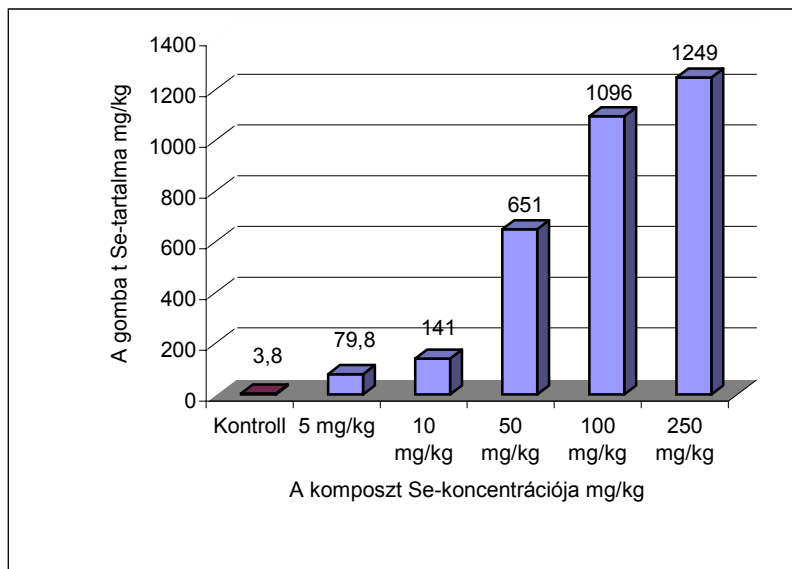
A 8. ábrán látható, hogy a többféle szelénkoncentrációjú komposzt közül a legnagyobb termésmennyiséget a 10 mg/kg szeléntartalmú komposzt biztosította. E termésmennyiség szignifikánsan különbözött a kontroll zsákokon termesztettektől. A fenti vizsgálatok valószínűsítették azt, hogy a komposzt szeléntartalma befolyásolja a képződő gomba termésmennyiségét is. A 8. ábrán látható, hogy alacsonyabb komposzt szelén-koncentrációknál (10 mg/kg, 50 mg/kg) a

kontrollhoz képest a gomba termésmennyisége növekszik, majd nagyobb koncentrációnál (100 mg/kg) csökkenni kezd, majd 500 mg/kg szelénkoncentrációnál pedig nullára zuhan. A 8. ábra alapján úgy tűnik, hogy az optimális komposzt szelénkoncentráció a termésmennyiség szempontjából (a nátrium-szelenit alkalmazása esetén) 0-50 mg/kg tartományban lehet. A komposzt szelénkoncentrációjának függvényében mért termésmennyiségek között $P=10$ %-os szignifikancia szinten találtunk különbséget, $SzD_{5\%}$: 261,26 g (Szederkényi és munkatársai, 1997).

4.3. A gomba szeléntartalmának és termésmennyiségének változása a különböző szelénformák alkalmazása esetén

Újabb kísérletünkben össze kívántuk hasonlítani a különböző szelénformák, pontosabban a szelenit(IV) és szelenát(VI)-ionok hatását a gomba szeléntartalmára és a gomba termésmennyiségére. Tanulmányozni kívántuk továbbra is a komposzt szelénkoncentrációja és a gomba szeléntartalma közötti kapcsolatot mindkét szelénforma esetén és tanulmányozni kívántuk a különböző komposzt szelénkoncentráció hatását a gomba termésmennyiségére a különböző szelénformák esetén. Előző kísérletünk tapasztalatai alapján a komposzt szelénkoncentrációit a következő értékekre állítottuk be mindkét szelénforma esetén: 0 mg/kg, 10 mg/kg, 50 mg/kg, 100 mg/kg és 250 mg/kg. Eddigi kísérleteinkben nem szerepelt a 250 mg/kg komposzt szelénkoncentráció. Ezen érték beállításával pontosítani kívántuk a gomba számára toxikus szelénkoncentráció értékét. A termésmennyiség kedvező alakulására a nátrium-szelenit alkalmazásánál ebben az esetben már nem számíthattunk, hiszen ahogy azt a 8. ábrán láttuk, már 100 mg/kg

komposzt szelénkoncentráció esetén is kisebb termésmennyiséget kaptunk a kontrollétól.

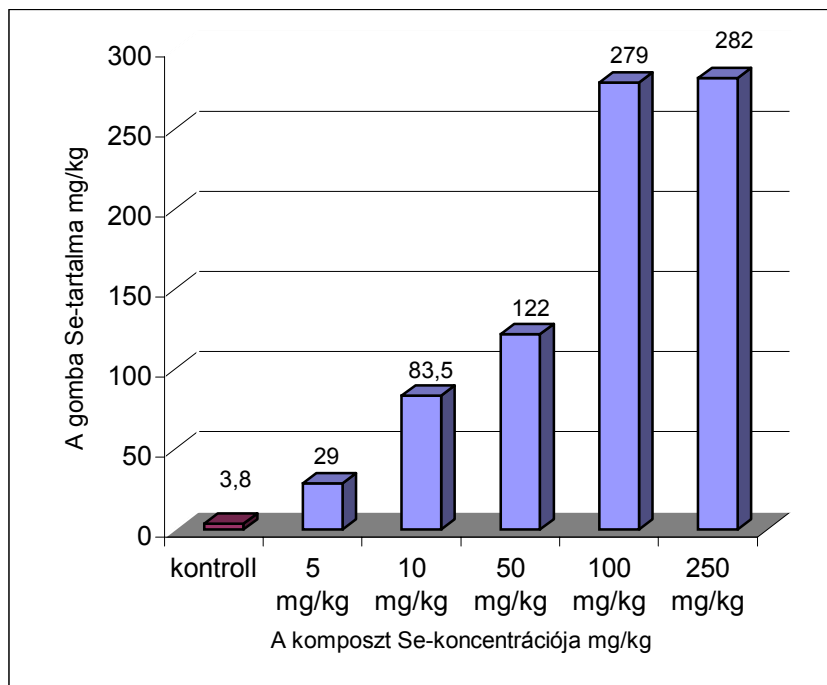


9. ábra.

A gomba szeléntartalmának változása a komposzt szelénkoncentrációjának függvényében nátrium-szelenit alkalmazása során

A 9. ábrán -mely a nátrium-szelenit hatását mutatja- látható, hogy a gomba szeléntartalma a komposzt növekvő szeléntartalmával nő. A legnagyobb szelénkoncentrációjú zsákon termő gomba szelénkoncentrációja meghaladja az 1200 mg/kg értéket. A szeléntartalom növekedésének mértéke -a kisebb koncentrációtartományoknál mért növekedéshez képest- csökken a 250 mg/kg szeléntartalmú komposzton termelt gombák esetében. Feltehetően azért, mert ez a szelénkoncentráció a gomba számára már toxikus. E feltételezésünket erősíti az is, hogy a csökkenés egybe esik azzal a

komposzt szeléntartalom értékkel, melyen a termő gomba mennyisége is csökkenni kezd (11. ábra). A 100 mg/kg szeléntartalmú és a kisebb szelénkoncentrációjú komposztokon termő gombák megközelítőleg tízszeresére dúsítják a komposzt szeléntartalmát.



10. ábra.

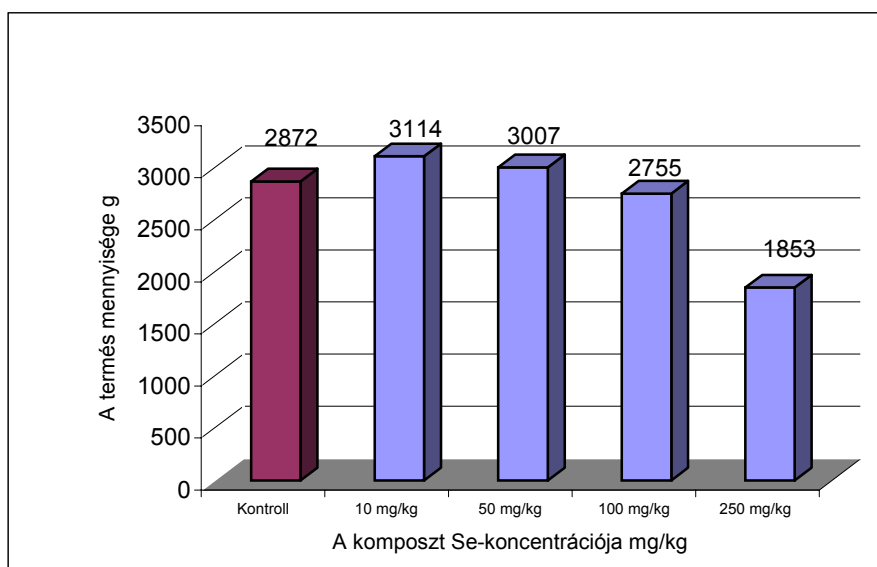
A gomba szeléntartalmának változása a komposzt szelénkoncentrációjának függvényében nátrium-szelenát alkalmazása során

Az 10. ábrán -mely a nátrium-szelenát hatását mutatja a gomba szeléntartalmának növekedésére- látható, hogy a gomba szeléntartalma a komposzt növekvő szeléntartalmával ebben az esetben is nő. A

növekedés mértéke jelen esetben (Se(VI)) azonban jóval kisebb, mint az előzőben (Se(IV)). A legnagyobb szelénkoncentrációjú komposzton termett gomba szelénkoncentrációja is alig haladja meg a 250 mg/kg értéket szemben a 8. ábrán látható Se(IV) kezelésű komposzt esetén, ahol a gomba szeléntartalma az 1200 mg/kg értéket is túlhaladja. A gomba szelénkoncentráció növekedésének mértéke hasonlóan az előzőekhez (9. ábra) ugyancsak lecsökken a 100 mg/kg komposzt szelénkoncentráció fölött annak ellenére, hogy a gomba szelénkoncentrációja csak közel negyede a hasonló koncentrációjú Se(IV)-kezeléshez képest. A 100 mg/kg szeléntartalmú és a kisebb koncentrációjú komposztokon termő gombák megközelítőleg két-háromszorosára dúsították a komposzt szeléntartalmát.

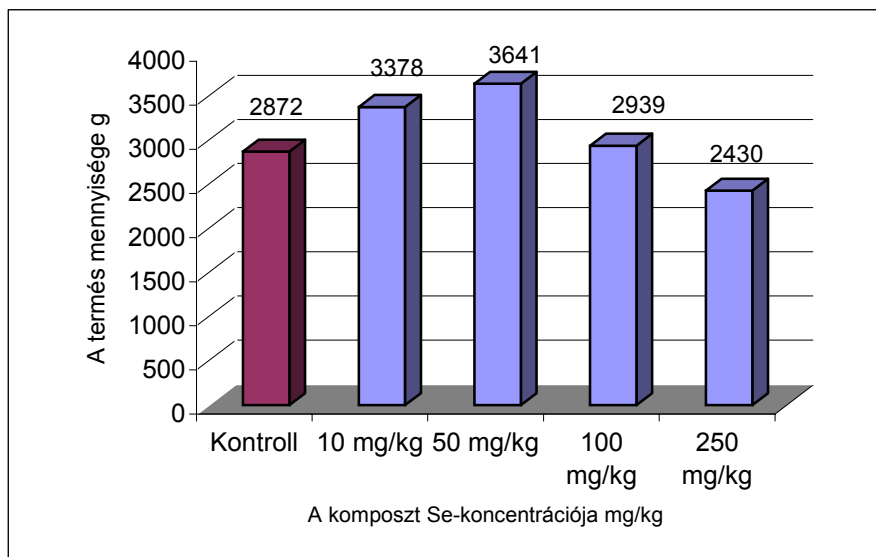
Korábbi kísérletünkben, melynél a komposzt szeléntartalmát nátrium-szelenittel változtattunk, már megfigyelhettük, hogy a komposzt szeléntartalma bizonyos határok között kedvezően hatott a termésmennyiségre (13. ábra). Jelen kísérletünkben választ kerestünk arra is, hogy a különböző szelénformák (Se(IV) és Se(VI)) alkalmazása hogyan befolyásolja a gomba termésmennyiségét. Eredményeink a 11., 12. és 13. ábrán láthatók. Az ábrákon látható, hogy a kisebb szelénkoncentrációjú kezelések hatására a termett gomba mennyisége a kontrollhoz képest nőtt. A szelenit-ionok alkalmazása esetén a termés maximuma alacsonyabb komposzt szelénkoncentrációnál található (10 mg/kg), mint a szelenát-kezelés esetében (50 mg/kg). Az általunk vizsgált két szelénforma különböző élettani hatásaira több kutató is rámutatott. Nem feltételezhetjük, hogy a gomba termésmennyisége szempontjából bármely esetben -akár a szelenit, akár a szelenát ionok

esetében- az optimális koncentrációt jelentené a 10 mg/kg illetve 50 mg/kg szelénkoncentráció. A 9. és 10. ábrán szereplő, legnagyobb termésmennyiséget biztosító komposzt szelénkoncentráció értékek feltehetőleg nem a gomba számára éppen optimális értéket jelentik, hanem annak csak a közelségére utalnak. Az eddigi kísérleteink során beállított komposzt szelénkoncentráció értékek nem tették lehetővé a termésmennyiség szempontjából optimális koncentráció érték pontos megállapítását. Ezen értékek közelebbi meghatározására később tettünk kísérletet.



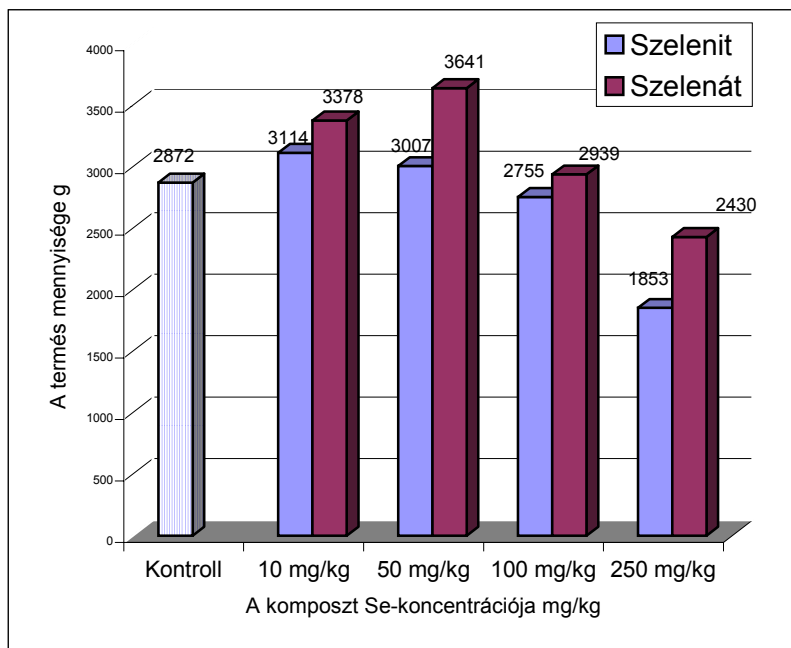
11. ábra

A gomba termésmennyiségének változása a komposzt szelénkoncentrációjának függvényében nátrium-szelenit alkalmazása során



12. ábra

A gomba termésmennyiségének változása a komposzt szelénkoncentrációjának függvényében nátrium-szelenát alkalmazása során



13. ábra.

A gomba termésmennyiségének változása a kompozst szelénkoncentrációjának függvényében nátrium-szelenit és nátrium-szelenát alkalmazása során

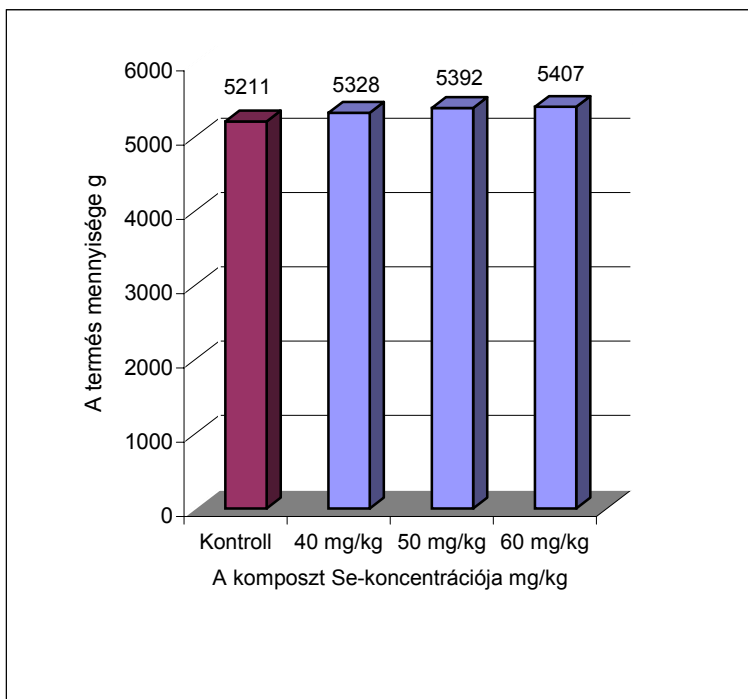
A 11., 12. és 13. ábrákból látható, hogy mindkét szelénforma bizonyos koncentrációtartományban kedvezően hat a gomba termésmennyiségére, növeli azt (Tóásó és munkatársai, 2004). A szelénnek a keresztes virágúak fejlődésére gyakorolt kedvező hatásáról már Láng is beszámolt (2002).

Ugyanakkor az ábrákból az is látható, hogy bizonyos szelénkoncentráció fölött (a Se(IV)-ionok esetében alacsonyabb értéknél, mint a Se(VI)-ionoknál) a gomba termésmennyisége csökkenni kezd és a termésmennyiség még a kontroll termésmennyiségéhez képest is kisebb lesz. A szelenit kezelés hatására a terméseredmények között nem volt

szignifikáns különbség. A szelenát kezelés hatására a gomba termésmennyiségében $P=5\%$ -os szinten szignifikáns különbség adódott, $SzD_{5\%} = 305$ g. A szelenát és szelenit kezelések hatásának összehasonlításakor a két kezelés között $P=5\%$ szinten ugyancsak szignifikáns a termésmennyiségek közötti különbség, az $SzD_{5\%} = 329$ g. A kontrollhoz képest legnagyobb termésmenővekedést a nátrium-szelenát alkalmazásával tudtuk elérni. Ezen eredményünk további elemzése és ellenőrzése a gombatermesztés termelékenység szempontjai miatt is indokolt.

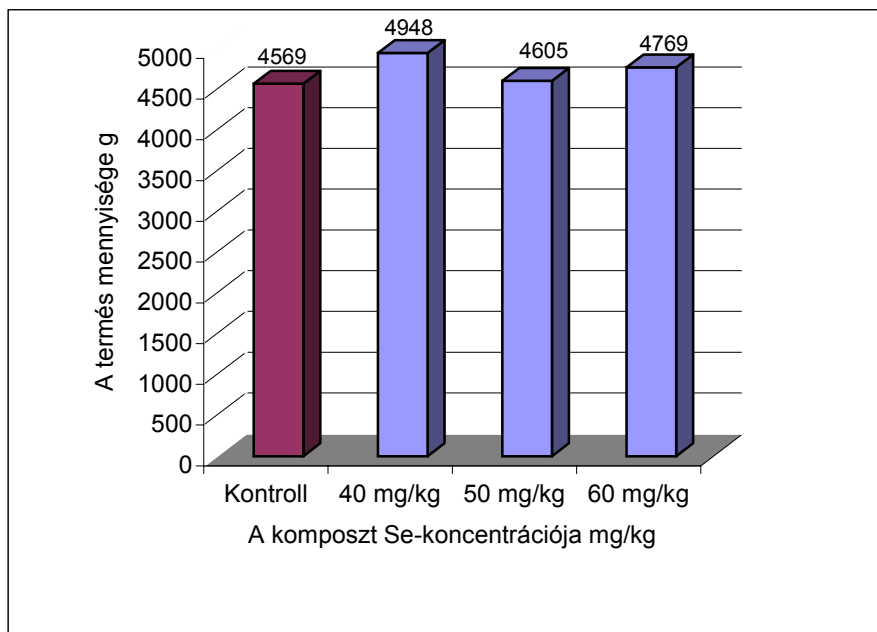
4.4. A legnagyobb termésmennyiségét biztosító komposzt szelénkoncentrációjának meghatározása különböző fázisú komposztokon nátrium-szelenát alkalmazásával

Következő kísérletünkben tanulmányozni kívántuk a legnagyobb termésmenővekedést biztosító 50 mg/kg szeléntartalmú komposzt közvetlen környezetében található (40 mg/kg, 60 mg/kg) koncentrációértékek alkalmazása esetén kapható termésmennyiség értékét. A gomba termésmennyiség számára optimális komposzt szelénkoncentráció meghatározása volt a célunk. Kísérleteinket az 50 mg/kg komposzt szelénkoncentrációnál legnagyobb termésmenővekedést előidéző nátrium-szelenáttal((Se(VI)) végeztük. A fenti célok vizsgálatát ugyancsak tanulmányozni kívántuk második és harmadik fázisú komposzton.



14 . ábra

A gomba termésmennyiségének változása a komposzt szelénkoncentrációjának függvényében nátrium-szelenát alkalmazása során harmadik fázisú komposzton



15. ábra

A gomba termésmennyiségének változása a komposzt szelénkoncentrációjának függvényében nátrium-szelenát alkalmazása során második fázisú komposzton

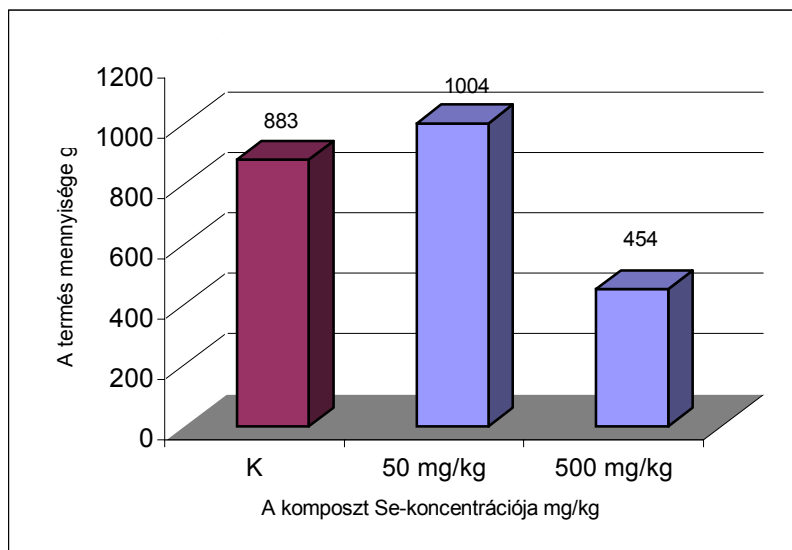
Eredményeink a 14. és 15. ábrán láthatók. A második fázisú komposzton termesztett gombák termésmennyiségei között $P=10\%$ -os szinten volt szignifikáns különbség, az $SzD_{5\%} = 266$ g. A harmadik fázisú komposzton termesztett gombák termésmennyiségei között a különbség nem volt szignifikáns. Mind a második, mind a harmadik fázisú komposzton tendenciájában nőtt a termés mennyisége a kontrollhoz képest, azonban a már korábban is kedvezőnek ismert 50 mg/kg komposzt szelénkoncentráció értéktől pontosabban nem lehetett egyértelműen a gomba számára kedvezőbb koncentrációértéket

megállapítani. Feltételezhetjük egyrészt azt, hogy azért nem tudjuk az optimális érték pontos helyét a kísérleteinkkel meghatározni, mert a komposztnak -minden alapos homogenizálási kísérlet ellenére is- megmarad a viszonylag nagy inhomogenitása, másrészt a szükségszerűen kistérfogatú szelénoldat kijuttatását sem lehet a legnagyobb igyekezet ellenére sem tökéletesen egyenletesen megoldani. E kísérletünk kiértékelése során azt is figyelembe kell venni, hogy a második és harmadik fázisú komposzt között minőségi különbség is előfordulhatott. A kétféle fázisú komposztot egy időben használtuk fel, melyből következik, hogy a különböző fázisú komposztok keletkezési idejében megközelítőleg 16-18 napos eltérés volt, ezáltal más-más tápanyagtartalommal és tulajdonságokkal bírhattak. Az abszolút termésmennyiség-értékek ezért térhettek el, mely azonban nem zavarhatja az eredmények értékelését a különböző fázisú komposztok esetében. A legnagyobb különbséget a kontroll és a kezelt komposztokon termett gombák termésmennyiségében a második fázisú komposzt esetében tapasztaltuk a kontroll komposztokon és a 40 mg/kg szelénkoncentrációjú komposztokon termett gombák termésmennyiségében.

4.5. A termésmennyiség változása nátrium-szelenát hatására különböző fázisú komposztokon

Kísérleteinkben a különböző fázisú komposztok alkalmazása során arra a kérdésre kerestünk választ, hogy a gomba szelénfelvétele szempontjából jelent-e különbséget az, hogy növekedésének melyik

szakaszában lesz számára hozzáférhető a szelén. A szelenit- és szelenát-ionok kedvező illetve kedvezőtlen hatását a gomba élettevékenységére, termésmennyiségére az előző kísérleteinkben már láthattuk. Ebből következően nem lehet az mellékes, hogy a szelén-ionok akár kedvező, akár kedvezőtlen hatása a gomba (micélium) életének hosszabb vagy rövidebb időszakában tud érvényesülni. Nem meglepő tehát, hogy a hatások, mint ahogy az előző fejezetben is láthattuk, a második fázisú (az átszövetés „nulla” pillanatától kezdődő) komposzt esetén tudnak jobban érvényesülni. A következő kísérletben azonos eredetű és ebből következően nagy valószínűséggel közel azonos minőségű komposztot használtunk fel annak eldöntésére, hogy a különböző fázisú komposztokon hogyan hat a nátrium-szelenát Se(VI) a termésnövekedésre a már korábban kapott optimális 50 mg/kg komposzt szelénkoncentráció esetén. Egyúttal tanulmányozni kívántuk -a már korábban nátrium-szelenittel Se(IV) elvégzett- az 500 mg/kg szelénkoncentrációjú komposzt hatását a gomba fejlődésére a nátrium-szelenát Se(VI) esetében. E kísérletet második fázisú komposzt alkalmazásával állítottuk be, mert korábban a nátrium-szelenittel Se(IV) is hasonlóan végeztük ezt a vizsgálatot.



16. ábra

A gomba termésmennyiségének változása a komposzt szelénkoncentrációjának függvényében nátrium-szelenát alkalmazása során második fázisú komposzton

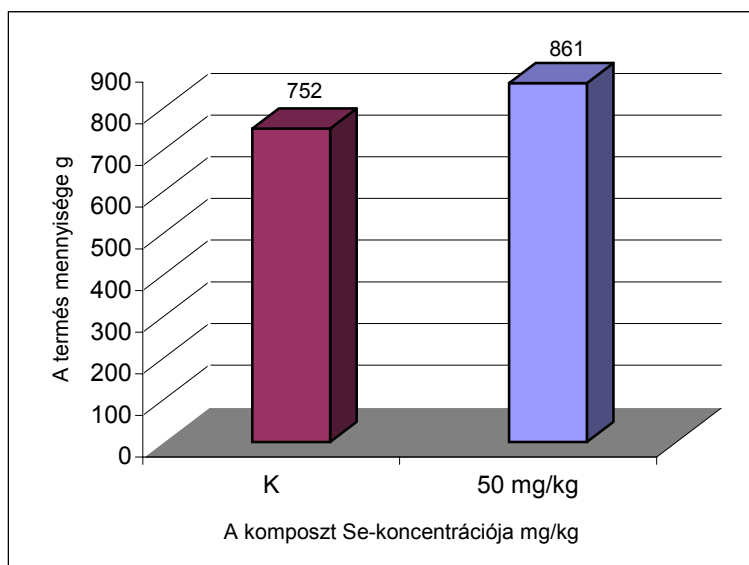
A 16. és 17. ábrán látható, hogy tendenciájában mind a második, mind a harmadik fázisú komposzt esetén az 50 mg/kg komposzt szelénkoncentráció értéknél nőtt a gomba termésmennyisége a kontrollhoz képest. Külön érdekessége a kísérletnek, hogy az 500 mg/kg szelénkoncentrációjú komposzton is termőtestek képződtek.

A termésmennyiség megközelítőleg a kontroll komposztokon képződtek felével egyezett meg. Az így előállított gomba szeléntartalma 356 mg/kg-nak adódott. Ez az érték alig magasabb a korábbi kísérleteinkben (5.ábra) 250 mg/kg szeléntartalmú(VI) komposzton termett gomba szeléntartalmánál. Feltehető – erre utal a kontrollhoz képest jelentős terméscsökkenés is – ez a

szelénkoncentráció(VI) már erősen toxikus a gomba számára. Összehasonlításképpen meg kell azonban említeni (4.2. fejezet, 9. ábra), hogy nátrium-szelenit alkalmazásánál az 500 mg/kg komposzt szelénkoncentráció esetén még a komposzt átszövődése is csak rendkívül korlátozott mértékben valósul meg és termőtest egyáltalán nem képződik. A szelenit-ionok toxikussága a gomba számára tehát jóval nagyobb a szelenát-ionokhoz képest.

Hasonló következtetésekre jutott Kobayashi munkatársaival (2001) a szelén(IV) és szelén(VI) sók állatokon végzett összehasonlító vizsgálataiban. Megállapították, hogy a szerves szelén(IV) sót tartalmazó készítmények esetén szöveti felhalmozódás nem alakul ki, azonban a szelenit-ionok felvételénél reaktív oxigéngyököt tartalmazó molekulák keletkezhetnek, amely a szelenitet a szelenáthoz képest toxikusabbá teszik. A szelenát-ionok bevitele nem vált ki a másik szerves módosulathoz hasonló negatív hatásokat, azonban biológiai felvehetősége csupán 25 %-os a szelenit-ionokhoz képest, és egy része változatlan formában azonnal kiürül a vizeleten keresztül. Érdekes, hogy a gombával kapcsolatban hasonló eredményekre jutottunk.

Abszolút mennyiségben -hasonlóan az előzőekhez- a harmadik fázisú komposzton kisebb különbség adódott a kezelt és a kontroll zsákon képződött gombák termésmennyiségében, mint a második fázisú komposzt esetében. A tapasztalatok további tanulmányozást igényelnek. Feltételezhető, hogy a szelén -mint ahogy azt már fentebb is kifejttem- hatását akkor tudja nagyobb mértékben érvényesíteni, ha a micélium kifejlődésének kezdeti szakaszában már jelen van és hozzáférhető.

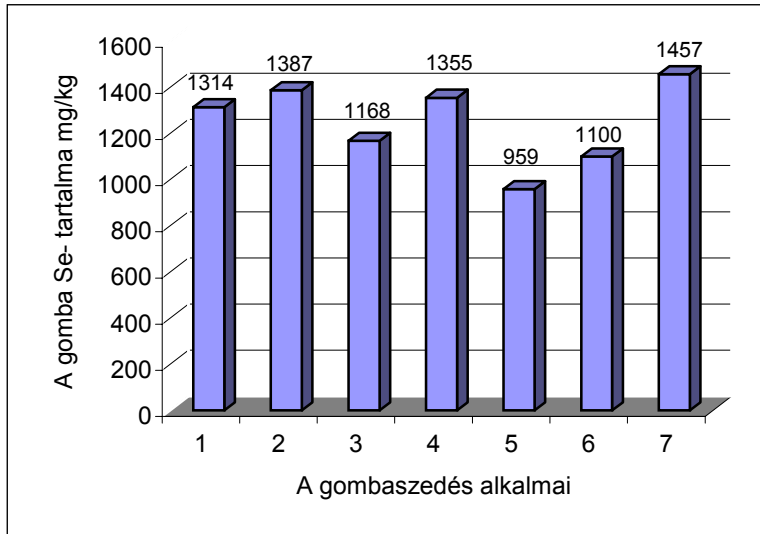


17. ábra

A gomba termésmennyiségének változása a komposzt szelénkoncentrációjának függvényében nátrium-szelenát alkalmazása során harmadik fázisú komposzton

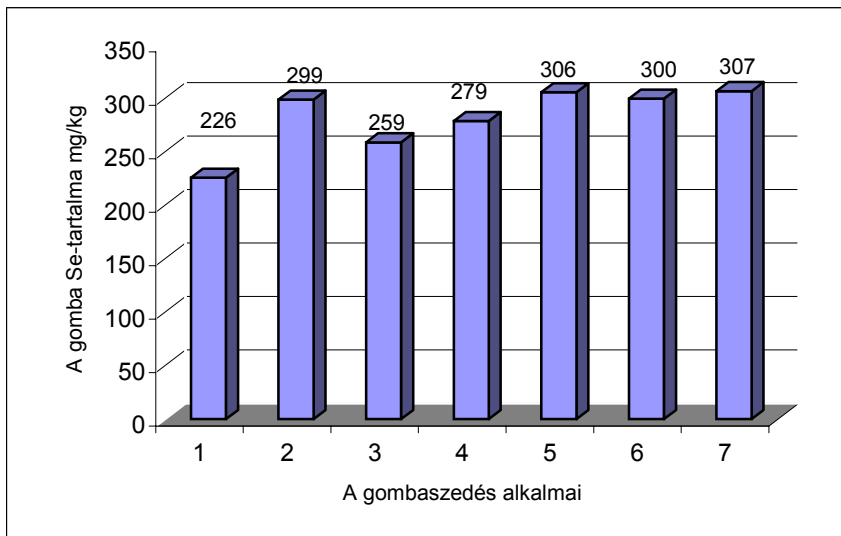
4.6. A mikroelemek felvételének időbeli tanulmányozása a termesztés során

Tanulmányoztuk a gomba ásványianyag-felvételének dinamikáját. Arra voltunk kíváncsiak, hogy a termőtestek képződése során, mely üzemi körülmények között 17-22 napig tart, változik-e a gombák ásványianyag-tartalma, illetve szeléntartalma a termesztés során a különböző napokon képződő termőtestek esetében. Vizsgáltuk a szeléntartalom változását a termesztés során a nátrium-szelenit és nátrium-szelenát esetében is.



18. ábra

Szeléntartalom alakulása a termesztés során (nátrium-szelenit) 250 mg/kg

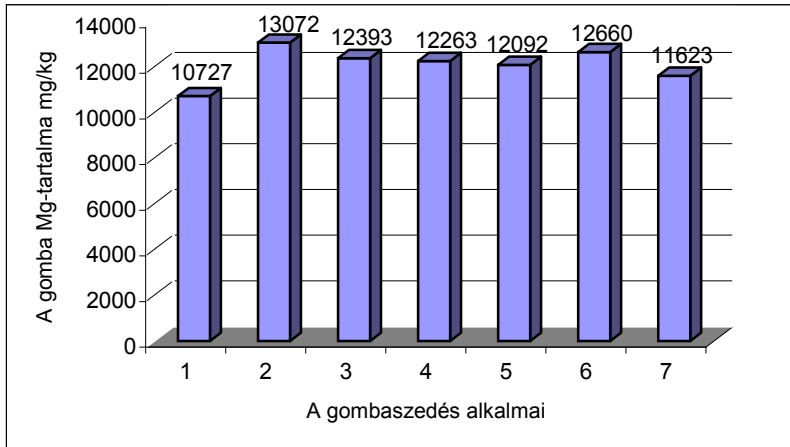


19. ábra

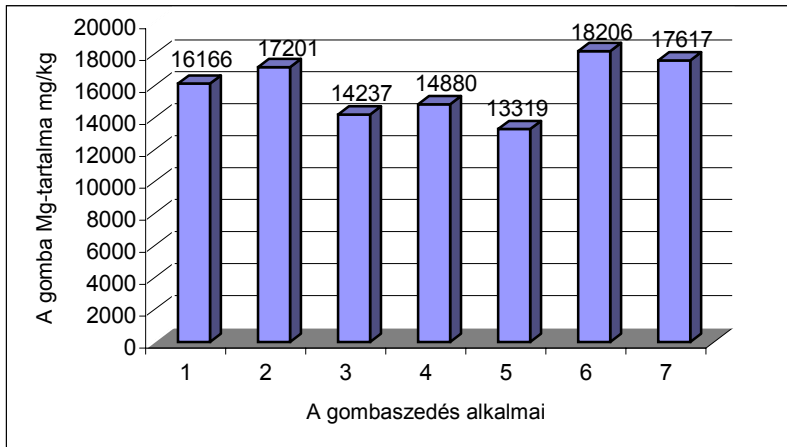
A szeléntartalom alakulása a termesztés során (nátrium-szelenát) 250 mg/kg

A 18. és 19. ábrán látható, hogy a gombák szeléntartalma a termesztés több mint két hete alatt nem változik, pontosabban közel azonos értékű, viszonylag kis szórásértékkel jellemezhető mind a nátrium-szelenit, mind a nátrium-szelenát alkalmazása esetén. A termőtestek összetételének nem túl jelentős különbsége adódhat többek között a komposztok inhomogenitásából is. Bármilyen alapos legyen is a komposzt alapanyagainak összekeverése, a mikroszervezetek, így a gomba micéliumok számára is a tápanyagfelvétel során különbségek adódhatnak a komposzt különböző területein. A komposzt inhomogenitásából adódó eltéréseket csökkentheti az, hogy az egészségesen fejlődő micéliumok a komposzt teljes tömegét egyenletesen átszövik. A termőtestek képződéséhez szükséges ásványi anyagok, tápanyagok a gombafonalakon keresztül különböző irányból, különböző helyekről érkeznek, ezzel is hozzájárulva a termőtestekben az ásványianyag-tartalom kiegyenlítődéhez.

A különböző szelénformák felvételének időbeli tanulmányozásának szükségessége kísérletsorozatomból következett. Ugyanakkor a szelénen kívül egy olyan elemet is szándékoztam a vizsgálataimhoz választani, melynek koncentrációja mind a komposztban, mind a gombában nagyságrendekkel nagyobb a szelénnél. E célra megfelelt a magnézium.



20. ábra
Magnéziumtartalom alakulása a termesztés során (nátrium-szelenit) 250 mg/kg



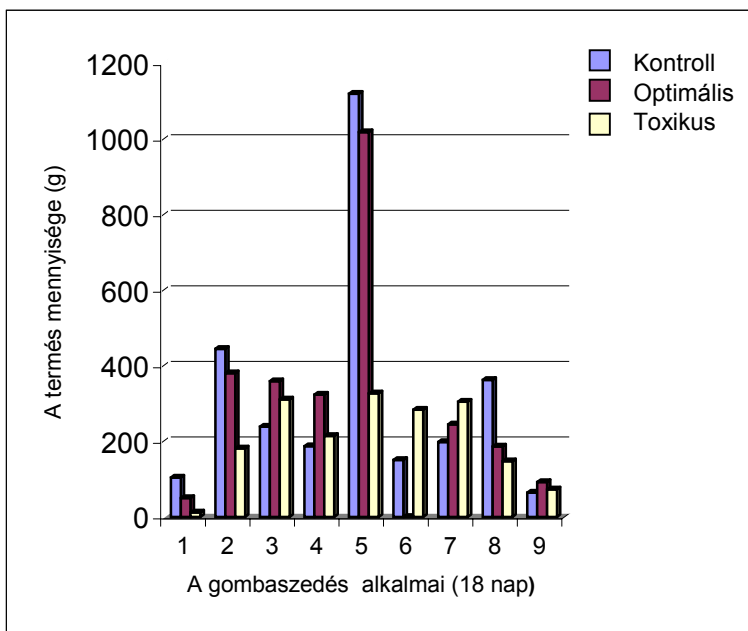
21. ábra
Magnéziumtartalom alakulása a termesztés során (nátrium-szelenát) 250 mg/kg

A gomba számára közel optimális, 50 mg/kg szeléntartalmú (nátrium-szelenit és nátrium-szelenát) komposzton termesztett gombák magnéziumtartalmának változását is megvizsgáltuk a termesztés különböző idejében keletkezett gombák esetében. A 20. és 21. ábrán a különböző időpontokban begyűjtött termőtestek magnéziumtartalma látható. Hasonlóan a 18. és 19. ábrán látható szeléntartalom-változásokhoz a gombák magnéziumtartalma is közel állandónak tekinthető a termesztés során mind a nátrium-szelenit, mind a nátrium-szelenát alkalmazása esetén. A minták közötti kismértékű szórásra feltehetően a fentebb említettek adnak magyarázatot. További vizsgálatokat igényel annak eldöntése, hogy a komposzt szelénkoncentrációjának növelése a különböző szelénformák esetén hogyan hat más elemek felvételére. A gombák magnéziumtartalma magasabbnak adódott Seeger és Beckert (1979) vizsgálati eredményeinél, melyeket vadon termő gombákon végeztek.

4.7. A szelénkezelés hatásának elemzése a termesztés dinamikájára

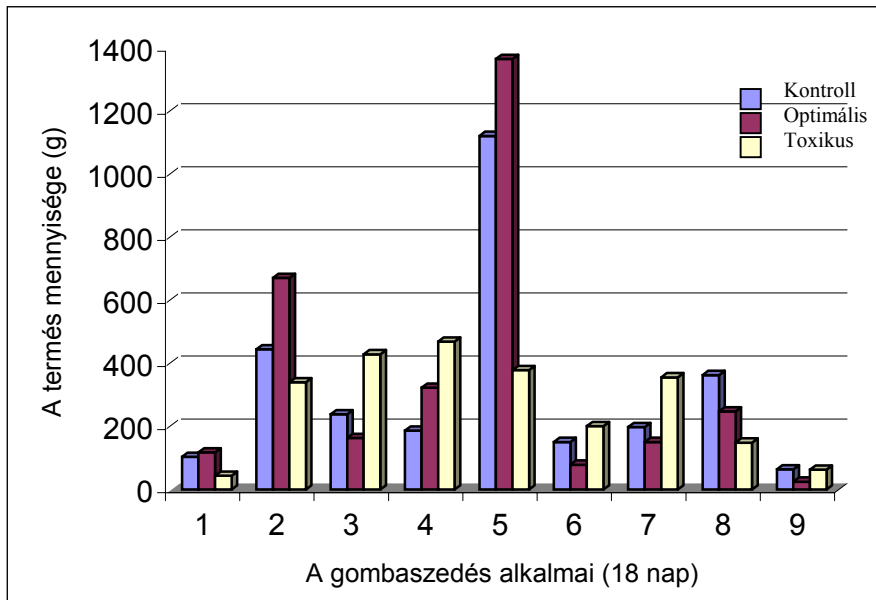
Gombatermesztési kísérleteinkben a termőtestek szedése során azonnal lemértük a tömegüket és feljegyeztük a szedés idejét. Adataink birtokában elemeztük, hogy a komposzt szeléntartalmának változása hatással van-e a letermesztés dinamikájára, idejére. Egy fentebb már említett kísérletben a gombák szeléntartalmának változását tanulmányoztuk nátrium-szelenit és nátrium-szelenát hatására különböző szeléntartalmú komposztokon. Az elemzésre kiválasztott komposzt szelénkoncentráció-értékei mindkét szelénforma esetén a következők

voltak: 0 mg/kg, 50 mg/kg, 250 mg/kg. Három „kitüntetett” (kontroll, optimális, toxikus) szeléntartalmú komposzton termő gombák adatait választottuk ki elemzésre.



22. ábra

A termésmennyiség változása a termesztés során nátrium-szelenit alkalmazása esetén



23. ábra

A termésmennyiség változása a termesztés során nátrium-szelenát alkalmazása esetén

A 22. és 23. ábrán látható, hogy a kezelések bizonyítható módon nem befolyásolták a termőtestek képződésének idejét sem a nátrium-szelenit, sem a nátrium-szelenát esetében. A kontroll és kezelt kompozton termő gombák fejlődése az időben nem mutatott azonosítható különbséget.

4.8. A szelénnel dúsított természetett csiperke felhasználásának lehetőségei

Eredeti szándékunk szerint, kísérleteinkkel azt kívántuk megvizsgálni, hogy a természetett csiperke alkalmas lehet-e arra, hogy egy új, magas szeléntartalmú élelmiszerként a boltokban megjelenjen és így a fogyasztók számára egy újabb szelénforrást biztosítson. A fenti vizsgálati eredmények megerősítik azt a már korábban is bizonyított megállapítást, hogy a gombák a környezetükben található ásványi anyagokat, így a szelént is jelentős mértékben képesek szervezetükben feldúsítani. Fenti eredményeink alapján megállapítható, hogy a természetett csiperke tulajdonságainak, természetstechnológiájának köszönhetően alkalmas lehet arra, hogy magas szeléntartalmú élelmiszerként a piacon megjelenjen. Az optimális termésmennyiség és a magas gomba szeléntartalom kívánságainak közösen megfelelően a 10 mg/kg–50 mg/kg szeléntartalmú komposzton természetett gomba lehet alkalmas a fenti célokra, attól függően, hogy nátrium-szelenittel Se(IV) vagy nátrium-szelenáttal Se(VI) kívánjuk a gomba szeléntartalmát növelni. Mindkét esetben megközelítőleg 100 mg/kg szeléntartalmú gombára számíthatunk. A legnagyobb szeléntartalmú gomba (1200 mg/kg) a 250 mg/kg Se(IV)-tartalmú komposzton képződött, azonban a komposzt ilyen értékű szeléntartalma mellett a termés mennyisége már jelentősen csökkent a kontrollhoz képest, ezért ennek alkalmazása a termelékenység szempontjából nem lenne célszerű. A szelén különböző formáinak a gombába történő beépüléséről Dernovics (2003) Mutanenhez hasonlóan (1986) megállapítja, hogy a szelénnek közel 34-40 %-a szervesen

formában nyerhető ki. E megállapításból feltételezhető, hogy a gomba 34-40 %-ban „megőrzi” a számára biztosított szelénformát. Ebből a feltételezésből viszont arra következtethetünk, hogy a gombát elfogyasztó ember számára is közel egyharmad arányban a gomba számára biztosított szelénforma áll rendelkezésre. Természetesen nem lehet megfedkezni a gombában nem szerves formában raktározódó, feltehetőleg fehérjéhez kötött, szelénformákról (60-65 %) sem. Ugyancsak ismert, hogy az élesztőgombák a számukra biztosított szerves szelént szeleno-metioninná alakítják. Kobayashi és munkatársai (2001) -ahogy ezt már fentebb is említettem- kutatásai a szelén(IV)- és szelén(VI)-ionok eltérő élettani szerepét, eltérő beépülését hangsúlyozzák.

A megfelelő szelénforma kiválasztása során -egy magas szeléntartalmú gomba előállítására céljából- a fenti szempontokat is mérlegelni kell. Ugyancsak meg kell vizsgálni, hogy a természetstechnológia be nem tartása vagy különféle mulasztások eredményezhetik-e az ember számára toxikus koncentrációjú gomba előállítását. Kísérleti eredményeink igazolják, hogy a gomba számára toxikus kompozit szelénkoncentráció alkalmazása esetén, rendkívül alacsony termésképződés mellett, legfeljebb 1000-2000 mg/kg szeléntartalmú gombát lehet előállítani.

Vizsgálatainkat tömegállandóságig szárított gombákkal végeztük. A frissen szedett és étkezési célra felhasznált gombák szárazanyag-tartalma megközelítőleg 10 %. Tehát 1000 mg szelén megközelítőleg 10 kg nyers gombában fordulna elő. Az ember napi szelénszükséglete megközelítőleg 50-100 µg. Ez a mennyiség a fenti tulajdonságú gomba

0,5-1 g-jában található. Tehát a termesztett csiperke magas szeléntartalmú élelmiszerként történő alkalmazása esetén a nem előírászerűen működő termesztés következtében fennáll egy esetleges szelénmérgezés lehetősége is. Közel 50-100 mg fölött halálos a szelén bevitele élő szervezetbe (Olson, 1986). A magas szeléntartalmú termesztett csiperke felhasználásának lehetséges módját jelentősen befolyásolja, hogy a többféle lehetőség közül melyik módon kívánjuk az ember számára biztosítani. A szelénrel dúsított gomba, mint lehetséges szelénforrás az ember számára elképzelhető élelmiszerként, étrendkiegészítőként, gyógyhatású készítményként vagy gyógyszerként. A különböző felhasználási lehetőségek más-más formában igénylik a gomba feldolgozását. A szelénrel dúsított gomba eredeti formájában alkalmas a szokásos konyhai eljárastechnikákkal a fogyasztásra. Az erre a célra előállított gombák elkülönítése a hagyományosan termesztettektől, a szelénrel dúsított gombák szeléntartalmának megbízható vizsgálata komoly feladatot és nagy költségeket jelentene egy gombatermesztő üzem számára. A gombát előállítók számára a szelén valamelyik formájának termésmenővelő hatása lehet igazán érdekes. Ebben az esetben a gomba szokásostól eltérően magas szeléntartalma miatt (100-200 mg/kg) a termék a hagyományosan termesztett gombától mindenképp eltérő, külön elbánást igényelne. Legnagyobb termésmenővekedést nátrium-szelenáttal értünk el. E szelénforma (Se(VI)) alkalmazása a termesztés során kisebb veszélyt jelentene a Se(IV) alkalmazásához képest, mert egy a termesztés során elkövetett technológiai fegyelmezetlenség esetén is a gomba szeléntartalma csak harmad-negyedannyi lehetne, mint a másik szelénforma(Se(IV))

alkalmazása esetén, bár ez az érték is messze a toxikus határérték felett lenne. Könnyebben kezelhetővé válhat a magas szeléntartalmú gomba konzerv formában, bár ebben az esetben sem lehetne lemondani a megbízható laboratóriumi szeléntartalom-vizsgálatokról. E kívánalmak nem lennének könnyen teljesíthetők. Termesztéstechnológiai, jövedelmezőségi és minőségbiztosítási szempontok alapján valószínűnek látszik az, hogy a magas szeléntartalmú termesztett csiperke csak gombapor formájában lehet hasznosítható. Ebből következően gyógyszerként, gyógyhatású készítményként, étrend-kiegészítőként vagy élelmiszerként (fűszerként) lehet vele számolni. A magas szeléntartalmú gomba gombapor formájában válik megbízhatóan kezelhetővé, keletkezzen az bármilyen szeléntartalmú gombából is.

A gomba már légszáraz állapotban is jól porítható, őrlhető. Laboratóriumi mozsárban is kívánt méretűre tudtuk porítani. A gombapor jól homogenizálható, szeléntartalma a kívánt értékre „beállítható”. Fontos megjegyezni, hogy a gombaporból a gomba szeléntartalmának nagyobb hasznosulása feltételezhető. Dernovics (2003) kutatásai is ezt a feltételezést erősítik: „...az élelmiszeripar nem csak frissen, hanem szárított gombaporként is felhasználja ezt az alapanyagot, tehát az esetleg szelén-dúsított gombából készült por, mint funkcionális élelmiszerkiegészítő minden bizonnyal nagyobb mennyiségű szelén felvételét teszi majd lehetővé.”

A jelenleg emberi fogyasztásra ajánlott szelénkészítmények tablettánként 10-100 μg szelént tartalmaznak szervetlen szelén vagy élesztőgombában feldúsított szeleno-metionin formájában. A gombapor tablettázható, így belőle ismert koncentrációjú tabletták előállítása jól szabályozhatóvá válik. Különböző szeléntartalmú tablettákat állítottunk elő.

5. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. A termesztett csiperke szeléntartalma jelentősen növelhető a komposzt szelénkoncentrációjának növelésével.
2. A termesztett csiperke szeléntartalmának növelésére mind a szelenit(Se(IV))-ionok, mind a szelenát(Se(VI))-ionok alkalmasak.
3. A komposzt szelénkoncentrációjának nátrium-szelenit formában történő növelése nagyobb szeléntartalmú gomba előállítását teszi lehetővé, mint a nátrium-szelenát alkalmazása. Nátrium-szelenit alkalmazásával (komposzt szelénkoncentráció: 250 mg/kg) több mint 1200 mg/kg, nátrium-szelenát alkalmazásával (komposzt szelénkoncentráció: 500 mg/kg) megközelítőleg 360 mg/kg szeléntartalmú gombát tudunk előállítani.
4. A komposzt szelénkoncentrációja mindkét szelénforma esetén hatással volt a gomba termésmennyiségére. A szelenit(Se(IV))-ionok megközelítőleg 10 mg/kg komposzt szelénkoncentráció esetén, a szelenát(Se(VI))-ionok megközelítőleg 50 mg/kg komposzt szelénkoncentráció esetén adták a legtöbb termést. A

legnagyobb termésmennyiség növekedést nátrium-szelenáttal értük el.

5. A komposzt szelénkoncentrációja mindkét szelénforma esetén bizonyos érték fölött toxikus volt a gombára. A szelenit (Se(IV))-ionok kisebb koncentráció értéknél, 10-50 mg/kg komposzt szelénkoncentrációtól, míg a szelenát (Se(VI))-ionok 50-100 mg/kg komposzt szelénkoncentrációtól válnak toxikussá. 500 mg/kg komposzt szelénkoncentrációnál a szelenit(Se(IV))-ionok esetében már termőtest nem is képződik, míg a szelenát(Se(VI))-ionok esetében a kontrollhoz képest megközelítőleg fele mennyiségű képződik.
6. Különböző szelénformák termésmennyiségre gyakorolt hatását különböző fázisú komposztokon is tanulmányoztuk. Azt tapasztaltuk, hogy mind a szelenit(Se(IV))-ionok, mind a szelenát(Se(VI))-ionok hatása jobban érvényesül a második fázisú komposzt esetén.
7. Vizsgálatainkkal igazoltuk, hogy a termesztés ideje alatt sem a szelén-tartalma, sem a magnézium-tartalma nem változott a gombáknak.
8. A komposzt szelénkoncentrációjának növelése egyik szelénforma esetén sem volt hatással a termőtestképződés dinamikájára.

9. A magas szelén-tartalmú termesztett csiperke szárítás után jól porítható, a gombapor szelén-tartalma a kívánt értékre „beállítható”.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

Az analitikai módszerek fejlődése lehetővé tette, hogy az élő szervezetekben csak nagyon kis koncentrációban jelen lévő elemek élettani szerepe, kívánatos és nem kívánatos hatásai tisztázásra kerüljenek. A szelén élettani szerepével kapcsolatos intenzív kutatások a múlt század közepén kezdődtek, amikor is bizonyítottá vált, hogy ez az elem is létfontosságú az élőlények számára. A szelént szeleno-cisztein formában tartalmazó glutation-peroxidáz az E-vitaminnal együtt véd a peroxidok káros hatásától. Az emberben huszonötféle szeleno-protein található. A szelént a növények a talajból, míg az állatok a növényi táplálékokból és a vízből veszik fel. A növényekben elsősorban fehérjékhez kötötten fordul elő.

A szelén ismertté vált kedvező élettani hatásainak következtében a kereskedelemben nagy választékban jelentek meg szeléntartalmú gyógyszerek, gyógyszernek nem minősülő gyógyhatású készítmények, étrend-kiegészítők és szeléntartalmú élelmiszerek.

A gombák azon tulajdonsága, hogy a környezetükben található mikroelemeket jelentős mértékben képesek termőtestükben feldúsítani, lehetőséget ad arra, hogy az emberi táplálkozás szempontjából fontos, a

szükséges szintnél alacsonyabb koncentrációban előforduló elemek pótlását -szükség esetén a szelén bevitelét- részben a segítségükkel oldjuk meg. A világon a legnagyobb mennyiségben termesztett gomba, a termesztett csiperke (*Agaricus bisporus*) alkalmasnak tűnik arra, hogy magas szeléntartalmú készítményként jelenjen meg a már említett kínálatban.

Munkánkban célul tűztük ki olyan nagy szeléntartalmú termesztett csiperke előállítását, mely alkalmas lehet szelénhiányos táplálkozásunk kiegészítésére. Továbbá tanulmányozni kívántuk a termesztett csiperke szelénfelvételének mechanizmusát különböző fázisú komposztokon és a különböző szelénformák hatását a gomba termésmennyiségére.

Gombatermesztési kísérleteink feltételeit a Sampinyon Kft. (Máriakálnok) biztosította. Kísérleteinket a társaság által előállított komposzton, zsákos termesztéssel a társaság székhelyén végeztük. A komposzt szeléntartalmának növelésére nátrium-szelenit és nátrium-szelenát oldatot használtunk. A termesztett gombák mennyiségét mértük, szedésük idejét feljegyeztük. A vizsgálatra szánt mintákat salétromsav-hidrogénperoxid eleggyel roncsoltuk. A szelén és más elemek meghatározásához ICP-OES technikát alkalmaztunk.

Vizsgálataink alapján a következő főbb megállapítások tehetők:

A komposzt mindkét szelénformával (Se(IV), Se(VI)) történő dúsítása jelentősen befolyásolta a termesztett csiperke szeléntartalmát, a szeléntartalom szabályosan és jelentősen emelkedett.

A gombák szeléntartalma azonos komposzt szelénkoncentrációt alkalmazva nátrium-szelenit hatására két-háromszor magasabb volt, mint nátrium-szelenát esetén.

A komposzt 10 mg/kg-os (Se(IV)), illetve 50 mg/kg-os (Se(VI)) szelénkoncentrációja mellett a gomba termésmennyisége nőtt.

A szelénformától függően a komposzt 50 mg/kg (Se(IV)), illetve 100 mg/kg (Se(VI)) feletti szelénkoncentrációja termésnövekedést eredményezett. A Se(IV) ionok kisebb koncentrációban toxikusak a gombára, mint a Se(VI) ionok.

A gomba szeléntartalma állandónak tekinthető a letermesztés során.

A gomba már légszáraz állapotban is jól aprítható. Belőle homogén gombapor állítható elő. A gombapor szelénkoncentrációja jól beállítható.

7. SUMMARY

The development of analytical methods made possible that the biological role and desirable and undesirable influence of very little concentration elements became clear. Research connected to the physiological role of selenium began in the midst of last century, when it was justified that this element is one of the essential elements for the human and animals. The glutathione-peroxidase that contains selenium in seleno-cystein form and vitamin-E collective defend against the harmful effect of peroxide. There are twenty-five different selenoproteins in the human. The plants picked up the selenium from the soil, while the animals from the plant food and water. Principally protein-bounded form occurred the selenium in the plants.

There are great variety of medicine, pharmaceutical products, dietary accessories and foods which contain selenium in consequence of well-known favourable property of its.

An important biological quality of mushrooms that they are able to take up and accumulate different minerals from their environment. This feature makes them suitable for the elimination of certain mineral deficiencies occurring in nutrition. One of such important element is

selenium. The cultivated champion (*Agaricus bisporus*) is the biggest volume cultivated mushroom all over the world. This champion seems to become a suitable selenium rich foodstuff in the above-mentioned supply.

Our aim was to produce selenium rich cultivated champion which suitable to complete the selenium deficiency in nutrition. We studied the take up selenium element by cultivated champion on different phase of compost and the effect of different selenium forms to the yield of mushroom.

The condition to champion experiences was guarantee by Sampinyon Kft (Máriakálnok). We made our experiences on the seat of company. The company made the compost. We use the plastic bag cultivation method. To increase of the selenium content was used the sodium-selenite and sodium-selenate solution. The yield of mushroom was measured and the time of gathering was noted. The samples was fractured by mix of nitric acid- hydrogen-peroxide. The selenium and other elements content was analysed by using ICP-OES instrument.

Our conclusions:

Selenium enrichment of the compost both selenium form Se(IV), Se(VI) influences significantly the selenium content of cultivated champignon. The selenium content increased regularly and significantly.

The selenium content of mushroom was two and three times larger using of Se(IV), than using of Se(VI).

The highest yield was measured in the case of the 10 mg/kg (Se(IV)) and 50 mg/kg (Se(VI)) selenium treatment.

Depends of form of selenium when the compost contain higher than 50 mg/kg Se(IV) and 100 mg/kg (Se(VI)) selenium it resulted decreasing in the yield. The Se(IV) ions toxic for the mushroom lower concentration than the Se(VI) ions.

The selenium content is near constant in the time of cultivation.

8. IRODALOMJEGYZÉK

Abuereish, G. M. – Lahham, J. N. (1987): Selenium in soils and plants in the Jordan Valley. *J. Arid. Environ.* **12** 1-7.

Besser, J. M. – Canfield, T. J. - La Point, T. W. (1993): Bioaccumulation of organic and inorganic selenium in a laboratory food chain. *Environ. Tox. and Chem.* **12** 57-72.

Borowska, K. – Koper, J. (1989): Selenium and zinc in mushrooms. *Internat. Tr. El. Symp., Jena (Eds.: M. Anke et al.)* 622-626.

Brown, K. – Arthur, J. (2001): Selenium, selenoproteins and human health. *Public Health Nutrition.* **4** 593-599.

Casey, C. E. (1988): Selenophilia. *Proc. Nutr. Soc.* **47** 55-62.

Chansler, M. W. – Mutanen, M. – Morris, V. C. - Levander, O. A. (1986): Nutritional bioavailability to rats of selenium in Brazil nuts and mushrooms. *Nutr. Res.* **6** 1419-1428.

Chortyk, O. T. - Chaplin, J. F. - Schlotzhauer, W. S. (1984): Growing selenium enriched tobacco. *J. Agric. Food Chem.* **32** 64-68

Combs, G. F. - Spallholz, J. E. - Levander, O. A. - Oldfield, J. E. (1987): Selenium in Biology and Medicine Third International Symposium Beijing the peoples Republic of China. Van Nostrand Reinhold Company, New York.

Criqui, M. C. - Jamet, E. - Parmentier, Y. - Marbach, J. - Durr, A. - Flech, J. (1992): Isolation and characterization of plant cDNA showing homology to animal glutathione peroxidases. *Plant Molec. Bio.* **18** 623-627.

Da Silva, J. J. R. - Williams, R. J. P. (1993): The Biological Chemistry of the Element. The Inorganic chemistry of life. Clarendon Press, Oxford.

Dernovics, M. (2003): Mintaelőkészítési módszerek kidolgozása és referenciaanyagok előállítása módosulatanalitikai célokra. Doktori dolgozat. Szent István Egyetem, Budapest.

Dubois, F. - Belleville, F. (1988): Sélénium rôle physiologique et intérêt en pathologie humaine. *Path. Bio.* **36** 1017-1025.

Fleming, D. E. –Taylor, G. A. (1978): Improvement in the Determination of Total Arsenic by Arsine Generation and Atomic-absorption Spectrophotometry Using a Flame-heated Silica Furnace. *Analyst* 101-105.

Fraústo da Silva, J.J.R. - Williams R.J.P. (1993): The Biological Chemistry of the Elements. Clarendon Press, Oxford.

Gasztanyi, K. - Lásztity, R. (1993): Élelmiszerkémia 2. Mezőgazda Kiadó, Budapest. 377-383.

Gavrilovic, B. – Matesic, D. – Kornet, V. (1984): Selenium in the Retina and Choroid of Some Animal Species. Third International Symposium. Part B 849-853. Van Nostrand Reinhold Company, New York.

Girling, C.A. (1984): Selenium in agriculture and environment. Agric. Ecosys. Env. **11** 37-65.

Gissel-Nielsen, G. - Gupta, U. C. - Lamand, M. - Westermarck, T. (1984): Selenium in soils and plants and its importance in livestock and human nutrition. Adv. Agron. **37** 397-460.

Greenwood, N. N.-A. Earnshaw, A. (1999): Az elemek kémiája. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest.

Gupta, U. C. - Kunelius, H. T. - Winter, K. A. (1983): Effect of foliar-applied selenium on yields and selenium concentration of alfalfa, timothy and barley. Can. J. Soil Sci. **63** 655-659.

Gupta, U. C. - Winter, K. A. - Kunelius, H. T. (1983): Effect of treating forage seed with selenium on the selenium concentration of alfalfa and westerwolds ryegrass Can. J. Soil Sci. **63** 641-643.

Gupta, U. C. - Watkinson, K. B. (1985): Agricultural significance of selenium. Qutl. Agric. **14** 183-189.

Haldimann M. – Bajo C. – Haller T. – Venner T. – Zimmerli B. (1995) Occurrence of arsenic, lead, cadmium, mercury and selenium in cultivated mushrooms. Mitt.Geb. Lebensm. Hyg. **86** 463-484.

Kajfosz, J. – Szimczyk, S. – Urban, J. (1989): Latest Results of Selenium Contents in Specially Fertilized Tomatoes and Cabbages. Proceedings of the 6th International Trace Element Symposium. **3** 886-890.

Kay, H. D. - Petrie, H. T. - Klassen, L. W. (1986): In vitro effects of selenium and T-cell growth factor (TCGF) on natural killer (NK) cell function of lymphocytes from human peripheral blood IRCS Med. Sci. **14** 691-692.

Kobayashi, Y. – Ogra, Y. – Suzuki, K. T. (2001): Speciation and metabolism of selenium injected with (82) Se-enriched selenite and selenate in rats. J. of Chromat B. **760** 73-81.

Koller, L. D., Exon, J. H. (1986): The two faces of selenium – deficiency and toxicity- are similar in animals and man. *Can. J. Vet. Ras.* **50** 297-306.

Kryukov, G.V. – Castellano S. – Novoselov S.V. – Lobanov A. V. – Zehtab O.G.R. – Gladyshev V. N. (2003): Characterisation of mammalian selenoproteomes. *Science* **300** 1439-1443.

Laws, J. E. - Latshaw, J. D. - Biggert, M. (1986): Selenium bioavailability in foods and feeds. *Nutr. Rep. Internat.* **33** 13-24.

Láng, F. (2002): Növényélettan. ELTE Eötvös Kiadó, Budapest.

Lengyel, L. - Szabó, M. - Bárdos, L. - Kiss, Zs. (2004): Megemelt antioxidáns anyag tartalmú tojás előállítása és annak hasznosulása egerekben, „Szelén az élettelen és élő természetben”, Kerekasztal Konferencia, Gödöllő.

Levander, O. A. (1987): A global view of human selenium nutrition *Ann. Rev. Nutr.* **7** 227-250.

Levander, O. - A.-Beck, M. A. (1997): Interacting nutritional and infectious etiologies of Keshan disease. Insights from Coxsackie virus B-induced myocarditis in mice deficient in selenium or vitamin E. *Biol. Trace Elem. Res.* **56** (1) 5-21.

Magyar Gyógyszerkönyv (1992) VII. Kiadás I. kötet, Medicina Könyvkiadó, Budapest.

Magyar Közlöny (2004) 56.

Mattila P. – Könkö K. – Eurola M. – Pihlava J.-M. – Astola J. – Vahteristo L. – Hietaniemi V. – Kumpulainen J. – Valtonen M. – Piironen V. (2001) Contents of vitamins, mineral elements, and some phenolic compounds in cultivated mushrooms. *J. Agric. Food Chem.* **49** 2343-2348.

Mézes, M. (2004): Szelénnel dúsított funkcionális élelmiszerek előállításának lehetőségei, „Szelén az élettelen és élő természetben”, Kerekasztal Konferencia, Gödöllő.

Mutanen, M. (1986): Bioavailability of selenium in mushrooms. *Boletus edulis* to young women. *Internat. J. Vit. Nutr. Res.* **56** 297-301.

National Research Council, Food and Nutrition Board (1989)

Recommended dietary allowances. 10th ed.; National Academy Press, Washington DC.

Néve, J. - Vertongen, F. - Molle, L. (1985): Selenium deficiency. Clin. Endocr. Metab. **14** 629-656.

Olson, O. E. (1986): Selenium toxicity in animals with emphasis on man. J. of Am. Col. of Tox. **5** (1) 45-70.

Ornes, W. H. - Sajwan, K. S. - Dosskey, M. G. - Adrano, D. C. (1991): Bioaccumulation of selenium by Floating Aquatic Plants. Water, Air and Soil Pollution **57-58** 53-57.

Oster, O. (1996): Selen-Ein Essentielles Spurelement. Die Med. Welt. **47** 12-22.

Pais, I. (1980): A mikrotápanyagok szerepe a mezőgazdaságban. Mezőgazda Kiadó, Budapest.

Peterson, P.J. - Bennett, B.G. (1984): Assessment of human exposure to environmental selenium. Selenium in Biology and Medicine. Third International Symposium. Part B. 608-619. Van Nostrand Reinhold Company, New York.

Pharminindex Gyógyszerész Kompendium (2003): Medimedia Információs Kft., Budapest.

Piepponen, S. – Liukkonen-Lija H. - Kuusi T. (1983) The selenium content of edible mushrooms in Finland. *Z. Lebensm. Unters. Forsh.* **177** 257-260.

Popadiuk, S. - Wasowicz, W. - Gromadzinska, J. - Sklodowska, M. (1986): Plasma selenium level, Glutathione Peroxidase activity and Lipid Peroxides concentration in children with malignant embryonal cancers. *Proceedings of the 6th International Trace Element Symposium* **3** 952-959.

Price, W. J. (1977): Atomabszorpciós spektrometria. Műszaki Könyvkiadó. Budapest.

Rácz, L., Bumbálová, A., Harangozó, M., Tölgyessy, J., Tomeček, O. (2000a): Determination of cesium and selenium in cultivated mushrooms using radionuclide X-ray fluorescence technique. *J. of Radioanalit. and Nucl. Chem.* **245** 611-614.

Rácz, L. - Oldal, V. (2000b): Investigation of uptake processes in soil/mushroom system by AES and AAS methods. *Microchem. J.* **67** 115-118.

Sani, B. P. - Woodard, J. L. - Pierson, M. C. - Allen, R. D. (1988): Specific binding proteins for selenium in rat tissues. *Carcinog.* **9** 277-284.

Sarudi, I. - Csapóné, K. Zs. - Szabó, A. - Sütő, Z. (2004): Szelénnel dúsított tojás. „Szelén az élettelen és élő természetben”, Kerekasztal Konferencia, Gödöllő.

Schrauzer, G. (2004): A szelén az emberi egészségben. A szelén a takarmányozásban. „Szelén az élettelen és élő természetben”, Kerekasztal Konferencia, Gödöllő.

Schwarz K. - Foltz C. M. (1957): Selenium as an integral part of factor 3 against dietary necrotic liver degeneration. *J. of the Am. Chem. Soc.* **79** (12) 3292-3293.

Shennan, D. B. (1988): Selenium (selenat) transport by human placental brush border membrane vesicles *Br. J. Nutr.* **59** 13-19.

Seeger, R. – Beckert, M. (1979): Magnesium in höheren Pilzen. *Zeitschrift für Lebensmittel Untersuchung und Forschung.* **168** 264-281.

Sima, P. - Gissel-Nielsen, G. (1985): Spraying of crops with selenium. *Acta Agr. Scand.* **35** 161-164.

- Spolar, M. R. - Schaffer, R. B. - Beelman, Milner, J. A. (1999):**
Selenium enriched *Agaricus bisporus* mushrooms suppress
7,12-dimethyl-benz(a)anthracene bioactivation in mammary
tissue. *Cancer Lett.* **138** 145-150.
- Stijve, T. (1997):** Selenium Content of Mushrooms. *Zeitschrift für
Lebensmittel Untersuchung und Forschung.* **164** 201-203.
- Sváb, J. (1981):** Biometriai módszerek a mezőgazdasági kutatásban.
Mezőgazdasági Kiadó, Budapest
- Szederkényi, T. – Schmidt, R. – Tóásó, Gy. – Szalka, É. (1997):**
Studies on the selenium content and yield of the cultivated
champignon (*Agaricus bisporus*) due to selenium
enrichment of the compost. *Acta Agronomica Óváriensis* **39**
21-33.
- Szűcs, A. (1984):** A szelénhiány újszerű megítélése. *Magyar
Állatorvosok Lapja* **39** 611-614.
- Takács, S. (2001):** A nyomelemek nyomában. *Medicina Könyvkiadó Rt.*
Budapest.

- Thiegele, R. - Schuffenhauer, M. - Daweinski, H. - Winnerfeld, K. (1989):** Selen-Konzentration bei Patienten mit akuten Herzinfarkt. Proceedings of the 6th Int. Trace Element Symp. **3** 982-987.
- Tóásó, Gy. (1985):** Különböző extrahálási módszerekkel kapott „könnyen oldódó” mikroelem-tartalom összehasonlító vizsgálata humuszos öntéstalajon. A Mosonmagyaróvári Mezőgazdaságtudományi Kar Közleményei. **7** 283-293.
- Tóásó, Gy. - Schmidt, R. - Fodor, P. (1993):** A termesztett kétspórás csiperke (*Agaricus bisporus* /Lge./Imbach) ásványianyagtartalmának vizsgálata és a szeléndúsítás hatása a gomba szeléntartalmára. *Acta Agronomica Óváriensis* **35** 73-86
- Tóásó, Gy. - Schmidt, R. - Fodor, P. (1994):** Analyse des Mineralstoffgehaltes von gezüchteten zweisporigen Edelpilz (*Agaricus bisporus* /Lge./Imbach) und Auswirkungen der Selenanreicherung auf den Selengehalt im Pilz, Der Champignon. 76-77.
- Tóásó, Gy. - Schmidt, R. – Szakál, P. – Giczi, Zs. Kalocsai, R. (2004):** Nátrium-szelenit és nátrium-szelenát hatása a termesztett csiperke (*Agaricus bisporus*) termésmennyiségére. Poszter előadás. Szelén az élettelen és élő természetben. Konferencia Gödöllő

Upor, E. – Mohai, M. –Novák, Gy. (1978): Fotometriás nyomelemzési módszerek, Műszaki Könyvkiadó, Budapest.

Vademex (2004): Rövidített gyógyszerleíratok, vakcinák. Melinda Kiadó és Reklámügynökség, Budapest.

Van Elteren, J. T. - Woroniecka, U. D. - Kroon, K. J. (1998): Accumulation and distribution of selenium and cesium in cultivated mushroom *Agaricus bisporus* – radiotracer-aided study. *Chemosp.* **36** 1787-1798.

Van Vleet, J. F. (1984): Pathology of Selenium and Vitamin E Deficiency in Animals. *Selenium in Biology and Medicine. Third International Symposium. Part B* 715-733. Van Nostrand Reinhold Company, New York.

Vetter, J. (1990): Mineral Element Content of Edible and Poisonous Macrofungi. *Acta Alim.* **19** 27-40.

Vetter, J. (1993): Selenium content of some higher fungi. *Acta Alim.* **22** 383-387.

Watson, R. R. - Leonard, T. N. (1986): Selenium and vitamins A, E, and C-nutrients with cancer prevention properties. *J. Am. Diet. Assic.* **86** 505-510.

Yasumoto, K. - Suzuki, T. - Yoshida, M. (1988): Identification of selenomethionine in soybean protein. *J. Agric. Food Chem.* **36** 463-467.

Yokota, A. - Shigeoka, S. - Onishi, T. - Kitaoka, S. (1988): Selenium as inducer of glutathione peroxidase in low-CO₂-grown *Chlamydomonas reinhardtii*. *Plant Physiol.* **86** 649-651.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ezúton szeretnék köszönetet nyilvánítani a Doktori iskola vezetőjének, dr. Kuroli Géza professzor úrnak, a MTA doktorának, programvezetőmnek, dr. Ördög Vince professzor úrnak, a biológiai tudomány kandidátusának, témavezetőmnek, dr. habil Szakál Pál professzor úrnak, a mezőgazdasági tudomány kandidátusának, opponenseimnek, dr. Posta József professzor úrnak, a MTA doktorának, dr. Albert Levente professzor úrnak, valamint dr. habil Schmidt Rezső professzor úrnak, a mezőgazdasági tudomány kandidátusának, a Kémia Tanszék kollektívájának, Lökösházi Éva adminisztrátornőnek a munkámhoz nyújtott értékes segítségükért.

Külön köszönettel tartozom Pék Imrének, a Sampinyon Kft. tulajdonos-igazgatójának azért, hogy költséges kísérleteimhez a feltételeket biztosította.