



Doktori (PhD) értekezés tézisei

UV sugárzás hatása a termesztett csiperke- és laskagomba D-vitamin tartalmára, bioaktív anyagaina és érzékszervi jellemzőire

Készítette:

Szabó Anna

Konzulensek:

Balázs Sándor MHAS, professor emeritus
Kókai Zoltán PhD, egyetemi docens

Budapesti Corvinus Egyetem
Kertészettudományi Kar
Zöldség- és Gombatermesztési Tanszék

Budapest, 2015

1. A munka előzményei

Az elmúlt évtizedben több nemzetközi vizsgálatban is felmérték a Föld rohamosan növekvő népességének D-vitamin ellátottságát. Ezen kutatások alapján megállapították, hogy a D-vitamin hiány napjainkban már népbetegségnek számít, hiszen egyaránt érint különböző korú, nemű és társadalmi helyzetű embereket (Ginde et al, 2009). A D-vitamin hiány ilyen nagyarányú előfordulásának egyik oka, hogy viszonylag kevés és korlátozottan elérhető természetes forrása van (Holick, 2007). A D-vitamin egyik formája a D₃-vitamin, amely a bőrben, napsugárzás hatására keletkezik. Hozzáférhetőségét befolyásolja egyrészt az ember életkora (az emberi bőr minősége), az évszakok (a beeső fény mennyisége), de a földrajzi elhelyezkedés is (északi, fényszegény területek) (Webb et al., 1988; Tangpricha et al., 2002; Hanley & Davison, 2005; Park & Johnson, 2005; Schwartz & Hanchette, 2006; Holick, 2007). Az elszegényedett területeken élő, nem megfelelően táplálkozó lakosok, vagy a speciális étrendűek (pl. vegetáriánusok) nem jutnak hozzá megfelelő mennyiségben a táplálékból származó D-vitamin típushoz (D₂-vitamin) (Chen et al., 2007; Holick, 2007).

Miután a Föld népességének nagy hányadát érinti a D-vitamin hiány, a múlt század végén több táplálkozástudományi kutatás helyezte középpontba D-vitamin mesterséges előállításának lehetőségeit, illetve széles körben elérhetővé tételét D-vitamin tartalmú táplálék-kiegészítők vagy D-vitaminnal dúsított élelmiszerek formájában. A kezdeményezések eredményeképp mára már többféle készítményhez (tablettákhoz, cseppekhez) lehet széles körben hozzájutni (Holick et al., 1992; Tangpricha et al., 2003). A tudatos fogyasztók azonban előtérbe helyezik a természetes forrásból származó vitaminbevittelt, ezért az elmúlt évtizedekben számos kutatás célja volt olyan termékek kifejlesztése, amely magas, de természetes eredetű D-vitamin tartalommal rendelkezik.

A gombák alacsony energiatartalmuk és magas tápértékük miatt az egészséges, korszerű táplálkozás fontos elemei. Előnyös táplálkozásélettani hatásukon felül ráadásul még azon kevés élelmiszereink közé sorolhatóak, amelyek természetes eredetű D-vitamint is tartalmaznak (Mattila et al., 1994). A gombák D-vitamin tartalmuk mellett magas ergoszterol szinttel is jellemezhetőek (Mattila et al., 2002; Jasinghe & Perera, 2005). Az ergoszterol tartalom alakul át UV sugárzás hatására D-vitaminná (Jasinghe et al., 2007). Napjainkban több kutatásnak is célja olyan eljárások kidolgozása, melyek segítségével ezt a természetben is lezajló átalakulást mesterségesen is generálni lehet a termesztett gombákban UV megvilágítással (Mau et al., 1998; Perera et al., 2003; Kalaras et al., 2012; Jasinghe & Perera, 2006; Teichmann et al., 2007; Ko et al., 2008; Simon et al., 2011; Phillips & Rasor, 2013). A

termesztett gombák D-vitamin tartalmának növelését célzó kutatások megoszlanak aszerint, hogy milyen állapotban (szedés előtt vagy után, szeletelve vagy egészben) kezelik a gombát; hogy mely gombafajt vetik alá UV kezelésnek, illetve, hogy az ultraibolya sugárzás mely tartományában és mennyi ideig kezelik a gombákat. A legtöbb irodalmi forrás a fehér csiperkegomba, illetve a laskagomba post-harvest UV kezeléseinek eredményeiről számol be, kevés adat érhető el azonban a termesztett gombák aktívan növekvő, még szedés előtt álló (pre-harvest) kultúráinak UV kezeléseiről és azok eredményességéről (Kristensen et al., 2012).

Az UV sugárzás stressz faktorként válaszreakciót válthat ki a gombákban, ezáltal D-vitamin tartalmukon felül változhatnak például az olyan beltartalmi tulajdonságaik, mint az antioxidáns kapacitás vagy a polifenol tartalom. A gomba küllemére is hatással lehet az UV megvilágítás (változhat pl. a színe), de az UV sugárzás sejtroncsoló hatása is megmutatkozhat a kezelt termék érzékszervi jellemzőiben, vagy a gomba hozamában.

A megnövelt D-vitamin tartalmú termesztett gomba mint termék értékelése csak integrált megközelítésben tehető meg a táplálkozásélettani szempontok, a beltartalmi tulajdonságok, a fogyasztói értékelések és érzékszervi tényezők figyelembevételével. A komplex elemzés a gyakorlat számára könnyen hasznosítható információt nyújthat, ezáltal hozzájárul egy olyan termék kifejlesztéséhez, amely értékes egyrészt a beltartalmi mutatók és főként a D-vitamin tartalom szempontjából, másrészt pedig a fogyasztói szükségletekből kiinduló termékoptimalizálásnak köszönhetően vonzó és elfogadható a fogyasztói oldalról.

2. Célkitűzés

A szakirodalomban jelenleg nincs elég információ arra vonatkozóan, hogy miként befolyásolja a termesztett gombafajok ergoszterol és D-vitamin tartalmát, ha a mesterséges UV világítás nem a post-harvest állapotú termőtesteket, hanem a még szedés előtt álló, termő kultúrát éri, valamint, hogy mennyiben módosulnak a kezelt gombák érzékszervi tulajdonságai.

Dolgozatom fő gyakorlati célja volt meghatározni, hogy miként változik a pre-harvest állapotban lévő, növekvő, tehát biológiailag aktív gombakultúráinak a termesztő-létesítményben történő, különböző időtartamú és tartományú ultraibolya fénnel való kezelését követően a fehér- és barna csiperkegombák (*Agaricus bisporus*) és a laskagomba (*Pleurotus ostreatus*) D-vitamin és ergoszterol tartalma. Céлом volt továbbá megállapítani,

hogy miként befolyásolja az UV kezelés a termesztett gomba termésmennyiségét, valamint meghatározni, hogy miként módosulnak a gombák kritikus érzékszervi paraméterei (pl. szín).

Következő lépésként célul tűztem ki a létrejött termékek laikus és képzett bírálók által végzett értékelését és minősítését, amelynek eredménye a termékfejlesztés alapjául szolgál.

A nemzetközi szakirodalmi adatok felhívják a figyelmet arra, hogy mind a csiperkegombák, mind a laskagomba esetében az UVA kezelés hatására szignifikánsan kisebb mennyiségű D-vitamint termelődik, mint az UVB és UVC kezeléseknél (Jasinghe & Perera, 2006), célkitűzéseim ezért kizárólag az UVB és UVC sugárzásnak a pre-harvest fehér- és barna csiperkegombára és kései laskagombára kifejtett hatásaira vonatkoztak.

1. A kísérleteimben a következőket vizsgáltam mindhárom termesztett gomba (fehér- és barna csiperkegombák, valamint a laskagomba) esetén a **hozam**, a **D-vitamin** és **ergoszterol tartalom**, valamint a **szín** és vonatkozásában:
 - 1.1. Befolyásolja-e a terméshozam alakulását az UV sugarak termesztés során történő használata?
 - 1.2. Miként befolyásolja a gombák D-vitamin tartalmát a különböző hullámhosszon történő, különböző időtartamú UV besugárzás?
 - 1.3. Miként befolyásolja a termőtest ergoszterol szintjének alakulását a különböző hullámhosszú és időtartamú UV besugárzás?
 - 1.4. Tapasztalható-e az ultraibolya fény hatására bekövetkező bármilyen elváltozás a termőtestek küllemében?

2. Kísérleteimben a következőket vizsgáltam mindhárom termesztett gomba esetén **antioxidánsok és polifenolok** vonatkozásában:
 - 2.1. Adódik-e szignifikáns különbség az UVB és UVC kezelésekből az antioxidáns és polifenol tartalomban?
 - 2.2. A megvilágítás időtartamának (15-90 perc) van-e szignifikáns hatása ezen egészségvédő anyagok felhalmozódásában?
 - 2.3. Az egyes fajok között van-e különbség?

Egy új termék értékeléséhez komplex vizsgálatokra van szükség, ezért a laboratóriumi mérések mellett elengedhetetlen a képzett érzékszervi bírálók és a laikus fogyasztók véleményének megismerése is.

A szakértői érzékszervi bírálatok jellemzően analitikus kérdésfeltevést jelentenek, ahol a termékparaméterek intenzitásértékeit értékeli a képzett bírálói csoport (érezszervi panel). Az érzékszervi bíráló csoport tagjai, mint mérőműszerek jelennek meg. A jellemzően kis létszámú, 9-15 fős bírálókiválasztó teszteken és termékspecifikus teszteken átesett képzett érzékszervi panel feladata így teljesen más megközelítésű, mint a nagymintás, kedveltségre irányuló fogyasztói teszt. A termékek érzékszervi jellemzésére számos módszer használható, ezek jellemzően profilanalitikus jellegűek.

3. A **szakértői érzékszervi bírálók** a termékek objektív intenzitásértékeit tudják meghatározni. Ezzel kapcsolatos kutatási kérdéseim:

3.1. Mely érzékszervi leíró kifejezésekkel jellemezhetőek a különböző gombák?

3.2. Milyen érzékszervi profillal jellemezhetőek az UV kezelt gombák?

3.3. Mely érzékszervi tulajdonságban van egy vagy több különbség a kezelések hatására?

Az új piaci termék sikerét számos tényező befolyásolja, pl. az ár, származás, kiszerelés, a csomagolás típusa, hozzáadott értékek (magnövelt D-vitamin tartalom) stb. Egy terméket általában a fogyasztók ítélnék meg. Ők döntenek el, hogy az adott termékkombinációért hajlandóak-e kifizetni az adott árat. A fogyasztóknak, vagy laikus bírálóknak csak azzal kapcsolatosan tehetünk fel kérdéseket, hogy melyik termékkombinációt preferálják, melyiket választanák. Feltételezzük, hogy amennyiben egy termékkombináció megfelel a fogyasztói elvárásoknak, úgy azt a terméket gyakrabban választják a fogyasztók és megismétlik vásárlásaikat. Ezért kiemelten fontos a fogyasztói szükségletekből kiinduló termékoptimalizálás.

4. Munkámban a **fogyasztói elvárásokkal** kapcsolatban az alábbi kérdéseket fogalmaztam meg:

4.1. Mely, a termékkel kapcsolatos tényezők befolyásolják a gombafogyasztókat?

4.2. Az egyes termékjellemzőknek milyen egymáshoz viszonyított súlya van a fogyasztói döntéshozásban?

4.3. A vizsgált fogyasztók körében melyik az ideális termékkombináció?

4.4. Az egyes termékjellemzők szintjei milyen hasznossággal bírnak a fogyasztóknál?

A kísérletek és mérések elvégzését indokolja, hogy világszerte egyre keresettebbekké válnak a funkcionális élelmiszerek. Az egészséges és tudatos táplálkozás elemeként folyamatosan növekszik a magas vitamin és antioxidáns tartalmú élelmiszerek fogyasztásának aránya.

Mind az itt bemutatott, mind a jövőbeni munkám célja hozzájárulni azon figyelemreméltó hazai és nemzetközi kezdeményezésekhez, melyek olyan új eljárások és eszközök kidolgozását tűzték ki célul, amelyeknek köszönhetően egyre több fogyasztó számára elérhető lesz a megnövelt D-vitamin tartalmú termesztett gomba, és amelyek felhasználhatóak a Föld népességének D-vitamin hiányából adódó betegségei megelőzésére. Ezen fejlesztések eredményeképpen egy olyan, a fogyasztói igényekre optimalizált termékkel bővülne az egészséges, funkcionális élelmiszerek köre, amely mesterséges anyag hozzáadása nélkül, csupán természetes összetevőinek köszönhetően – sok más jótékony táplálkozás-élettani hatása mellett – segíti a szervezet D-vitamin szükségletének biztosítását.

3. Anyag és módszer

3.1. Vizsgált csiperke és laskagombák

A vizsgálat anyagát képző fehér- és barna csipekegombák és laskagomba a Budapesti Corvinus Egyetem Zöldség- és Gombatermesztési Tanszékének kísérleti gombatermesztő helyiségében kerültek letermesztésre.

Az első fehér csiperke termesztési és UV kezelési kísérlet 2009-ben, a második, ismételt kísérlet pedig 2011-ben került beállításra a gombatermesztő létesítményben. Az első barna csiperkegomba és laskagomba kísérletek egyaránt a 2010-es, az ismételt kísérletek pedig a 2012-es évben zajlottak.

3.2. Az UV kezelések módszere

Az UV kezelésekhöz Vilbert Lourmat-115M típusú lámpákat használtunk. Az UV fény B tartományában sugárzó lámpák hullámhossza 312 nm, teljesítményük 2,1 W ($0,1023 \text{ mW/cm}^2$), míg a C tartományban üzemelő lámpák hullámhossza 245 nm teljesítménye 0,6 W ($0,5995 \text{ mW/cm}^2$) volt. Az UV lámpákat a termőfelület fölött 30-32 cm-rel helyeztük el. Ez a távolság megfelel egy korszerű holland rendszerű termesztőházban a termőfelület és a felette levő polcra esetlegesen felszerelt lámpák távolságának. Az UV kezeléseket a gomba termőtestek borsó nagyságú és szedésérett (4-6 cm kalapátmérőjű) állapotuk között végeztük mindhárom napon ugyanabban az időpontban.

1. táblázat. A termő gombakultúrákon alkalmazott UV kezelések időtartama, dózisa és elnevezései

Kezelés időtartama (perc)		0	15	30	45	60	75	90
UVB	Kezelés dózisa (J/cm ²)	0	0,54	1,08	1,62	2,16	2,7	3,24
	Kezelés elnevezése	kontroll	B15	B30	B45	B60	B75	B90
UVC	Kezelés dózisa (J/cm ²)	0	0,09	0,18	0,28	0,37	0,46	0,55
	Kezelés elnevezése	kontroll	C15	C30	C45	C60	C75	C90

3.3. Hozamok mérése

Az UV sugárzás ismert sejtroncsoló hatása miatt az így módon kezelt termőfelületeken sérülhetett a gombák micéliuma, ezért minden egyes kezelés esetén három termőhullám hozamát mértük. A mérés a szedés során digitális mérleggel történt.

Az adatokat mindhárom gomba esetén átszámoltuk 100 kg alapanyagra, a két kísérleti év adatait átlagoltuk. A statisztikai kiértékeléshez Kruskal-Wallis tesztet hajtottunk végre, egzakt p-érték kiszámolásával, 95%-os szignifikancia szint mellett, majd amennyiben szignifikáns különbség adódott, akkor Dunn-féle páronkénti post hoc tesztet végeztünk.

3.4. Szárazanyag-tartalom vizsgálat

Mindhárom gomba (fehércsiperke, barna csiperke, laska gomba) kezeletlen kontrolljából és minden kezeléséből is (UVB, UVC; 15, 30, 45, 60, 75, 90 perc) 5 g friss gomba mintát 5 párhuzamosban mértünk be analitikai mérlegen (4 tizedes pontossággal). A mérési eredmények ismertetésekor a két kísérleti év adatainak átlagát tüntettük fel, az eredményeket 3 tizedes pontosságig adtuk meg.

3.5. D-vitamin és ergoszterol tartalom vizsgálata

A kapcsolt analitikai rendszerben az elválasztást HPLC-vel, az ionizációt elektrospary (ESI) ionizációval, a detektálást pedig tömegspetrométerrel (mass spectrometry MS) valósítottuk meg. A HPLC elválasztással, majd a komponensek detektálásával pontosan megismerhető a minták D-vitamin tartalma. A D-vitamin tartalom meghatározása a Budapesti Corvinus Egyetem Élelmiszertudományi Karának Alkalmazott Kémia Tanszékén történt az EN 12821:2000 szabvány módosított változatával.

A fagyasztott minták első lépésként liofilizálásra kerültek. A homogenizált, porított liofilizált mintákból 0,5 g került bemérésre lombikba, ezt követte 4 ml Na-aszkorbát, 50 ml etanol és 10 ml 50%-os kálium-hidroxid oldat hozzáadása. Ezután került az 50 µg/g 1000

ppm-es belső D₃-vitamin standard az oldatba, majd az 1 órás extrakció következett vízfürdőben 80 °C-on. Az oldat ezután visszafolyós hűtővel lehűtésre került, majd az oldatot rázótolcsérbe mosattuk 15 ml desztillált vízzel és 15 ml etanollal. 50 ml n-pentán hozzáadása után pár perces ráztatás következett. A fázisok szétválása után az alsó részt átengedtük egy újabb tolcsérbe, majd újabb 50 ml n-pentánt adtunk az oldathoz, és újabb ráztatás következett. Az alsó fázishoz 20 ml n-pentánt adtunk. A szerves fázisok egyesítése után az oldat háromszori tisztítása következett 50 ml 5%-os etanolban feloldott 3%-os KOH oldattal. Az elegyet 3-szor 50 ml desztillált vízzel lehetett semleges pH-ra mosni. A szárazra párolás 40 °C-on rotációs bepárlóval történt. Következő lépésként 5 ml etanollal visszahígításra került az oldat, majd szűrés következett 0,45 µm-es membránszűrőn. Ezután a minta már készen állt a HPLC rendszerbe történő injektáláshoz.

Az előkészített mintákat fordított fázisú HPLC-s elválasztást követően ESI-MS/MS kapcsolt analitikai rendszerrel elemeztük (HPLC-ESI-MS/MS). Az elválasztás és a mennyiségi meghatározás az Agilent (Agilent Technologies, Waldbronn, Germany) 1100 HPLC Biosystems (Foster City, CA, USA) folyadékkromatográfiás rendszerhez kapcsolt 3200 Q-Trap hibrid (háromas kvadrupol/lineáris ioncsapda) tandem tömegspektrométerrel történt. Az MS/MS készülék egy Turbo-V ESI ionforrással volt felszerelve. Az elválasztást egy YMC Hydrosphere C18 100 × 2.0 mm, 2 µm C18 RP-HPLC (YMC Europe, Dinslaken, Germany) oszlopon történt, 6 perces izokratikus elúcióval, 0,3 ml/perces áramlási sebességű 0,1% (v/v) hangyasav tartalmú metanollal. A calciferol mennyiségi meghatározását referencia anyagon alapuló standard addíciós kalibrációval végeztük. Az ionátmeneteket MRM (Multiple reaction monitoring) pásztázással figyeltük, pozitív módban. Az ergocalciferol (D₂) csúcsainál az átmeneteket 397/105 és 397/159 átmeneteknél vizsgáltuk.

3.6. Színmérés

Az élelmiszerek színének objektív és számszerűsített meghatározására a tristimulusos színmérési módszert javasolja a Nemzetközi Világítástechnikai Bizottság (Commission Internationale de L'Éclairage, CIE). A világossági tényező (L*) megmutatja, hogy a mért felület a megvilágító fény hány százalékát veri vissza. Az a* koordináta a zöld-piros színátmenetet (-a* - +a*), míg a b* a kék-sárga színátmenetet (-b* - +b*) jelzi. A CIELab L*a*b* színkoordináták meghatározásához Chromameter CR-400-as színmérő műszert alkalmaztunk. Az eredmények megbízhatósága miatt a méréseket 24 párhuzamosban végeztük. A gombák felületének színjellemzőit (L*a*b*) lemértük a kezelés első napján, majd ismételtén a harmadik napon (az utolsó kezelést követően). Ennek a két mérésnek az alapján

határoztuk meg az átlagos emberi szem által érzékelt színkülönbségek nagyságát. A színkülönbségeket a térbeli Pythagoras tétel alkalmazásával határozhatjuk meg: $\Delta E_{ab*} = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$. Az átlagos emberi szem által érzékelt színkülönbségek nagysága: 0,0-0,5 nem vehető észre, 0,5-1,5 alig vehető észre, 1,5-3,0 észrevehető, 3,0-6,0 jól látható, 6,0-12,0 nagy (Wenczel, 2013).

3.7. Polifenol- és antioxidáns-tartalom mérések

A minta-előkészítést követően az alábbi módszerekkel történt a mérés.

ABTS-assay

A módszer elve, hogy a ferril-mioglobin gyökös formája, a metmioglobin és a hidrogén peroxid, ABTS (2,2'-azino-bis(3-ethylbenzthiazolin-6-sulfonil sav)-ból gyököt képez (ABTS \bullet^+). Ez a gyök zöld színű, $\lambda=405$ nm-en mérhető a fényelnyelése. Az antioxidánsok ennek a gyöknek a képződését gátolják koncentráció függően. A módszert trolox-szal, egy vízoldható E-vitamin analóggal kalibráltuk, így eredményeinket trolox ekvivalenciában kaptuk meg. A mérések során 96 well plate-be az alábbiakat mértük ki: 10 μ l minta kivonat; 20 μ l 3,50 mg/ml myoglobin 50 mM pH7,4 9% NaCl-t és 1% glükózt tartalmazó kálium-foszfát pufferben; 150 μ l 1 mg ABTS-t és 25 μ l 3% H₂O₂-t tartalmazó 0,1 M pH 5-ös citrát puffer. Az összeméréseket követően a plate-et 5 percig 37 °C-on rázattuk, majd alkalikus-stop oldatot adtunk a wellkekhez és spektrofotométeren $\lambda=405$ nm-en mértük az abszorbanciát.

CUPRAC-assay

A mérési elv értelmében a reakcióelegyben a CuCl₂(II) oxidációs száma csökken az antioxidánsok redukáló képességének köszönhetően. Az (I)-es oxidációs számú réz dimerizálja a neocuproint, mely ettől kék színt nyer.

A mérések során 1 ml 10⁻² M Cu²⁺ oldatot, 1ml 7.5*10⁻³ M neocuproine oldatot, 1 ml pH 7,4 1 M NH₄Ac puffert, 100 μ l minta kivonatot és 1 ml desztillát vizet mérünk össze, 30 percig sötétben inkubáltuk, majd $\lambda=450$ nm-en mértük az abszorbanciát trolox-szal elkészített kalibrációs egyenesre.

DPPH-assay

A módszer elve, hogy a mintában lévő antioxidáns típusú vegyületek az 1,1-difenil-2-pikrilhidrazil (DPPH) gyökkel reagálnak, melytől az az eredeti sötétlila színét elveszti. Minél több antioxidáns típusú vegyület található adott térfogatú mintában/kivonatban, annál erélyesebb a színvesztés, tehát annál inkább csökken az abszorbancia.

A mérések során 3,9 ml $6 \cdot 10^{-5}$ M DPPH metanolos oldathoz 100 μ l minta kivonatot adunk, 20 percig sötétben inkubáljuk, majd $\lambda=517$ nm-en mérjük az abszorbanciát metanol vakkal szemben.

FRAP-assay

A mérési elv értelmében pH 3,6-os értéken a vas (III)-as oxidációs állapotú formáját az antioxidánsok (II)-es oxidációs állapotúvá redukálják, mely a 2,4,6-tripiridil-S-triazin (TPTZ)-vel kék színű komplexet képez. Ez a keletkező kék szín spektrofotometriásan nyomon követhető 593 nm-en. A mérések során 100 μ l minta kivonatot adtunk a pH 3,6 300 mM-os acetát puffer – 10 mM TPTZ (2,4,6-tripiridyl-s-triazine) 40 mM HCl-ben-20 mM FeCl_3 – által alkotott FRAP oldathoz, majd 5 perc várakozási időt követően $\lambda=593$ nm-en mértük az abszorbanciákat aszkorbinsavval felvett kalibrációs egyenesre.

Összes oldható fenolos komponens tartalom meghatározása Folin-Cioalteau reagenssel

A mérés elve, hogy pH 10-es közegben a fenolos komponensek a (VI)-os oxidációs számú molibdátot (V)-ös állapotú, kék színű vegyületté redukálják. A kék szín intenzitása arányos a fenolos komponensekkel. A módszer sokkal inkább egy redukció elvén működő antioxidáns-mérő módszer, mint valódi polifenol komponens mérő metodika. A mérések során 1250 μ l 10x-es hígítású Folin-Cioalteau reagenshez 240 μ l metanolt adtunk, majd 10 μ l minta kivonatot, egy perc elteltével pedig 0,7 M NaCO_3 -at. Ezt követően 5 percig 50 °C-os vízfürdőbe helyeztük a reakcióelegyet, majd $\lambda =765$ nm-en galluszsavval elkészített kalibrációs egyenesre mértük az abszorbanciákat.

A statisztikai kiértékeléshez Kruskal-Wallis tesztet hajtottunk végre, egzakt p-érték kiszámolásával, 95%-os szignifikancia szint mellett, majd amennyiben szignifikáns különbség adódott, Dunn-féle páronkénti post hoc tesztet végeztünk. A antioxidáns mérési eredmények együttes összehasonlításához az értékek újraskálázására volt szükség (0-100 skálán). Az elemzéseket az XL-Stat szoftverrel hajtottuk végre.

3.8. Érzékszervi módszerek

A vizsgált UV kezelt gombafajok érzékszervi tulajdonságainak elemzéséhez több módszercsoport tesztjeit is felhasználtuk. A kutatási kérdéseknek megfelelően mind leíró érzékszervi vizsgálatot, mind érzékszervi különbségvizsgálatot is alkalmaztunk. A kísérletek megtervezésénél, végrehajtásánál és a kísérleti körülmények biztosításánál nemzetközi

szabványok, az ISO szabványok előírásait tartottuk irányadónak, a leírásokban pedig az érzékszervi szótárban megadott kifejezéseket alkalmaztuk (ISO 5492:2008).

3.8.1. Szakértői termék karakterizálás (számítógéppel támogatott profilanalízis)

A bírálatokat az érzékszervi bírálócsoport a nemzetközi ajánlásoknak megfelelően minden nap ugyanabban az időpontban, délelőtt 10 órakor végezte, ugyanis ekkor a legérzékenyebbek az érzékszervek (ISO 6658:2005; ISO 8586:2012). Minden vizsgálatot ugyanaz a 11 szakértői bíráló, a Budapesti Corvinus Egyetem Érzékszervi Minősítő Laboratórium bírálói végezték, akik megfelelően teljesítettek a bírálókiválasztó teszteken (ízfelismerés és ízérzékenység vizsgálat, szintévesztés, színérzékenység, illat teszt stb.). Ezen túlmenően a bírálók a vizsgálat megkezdésekor gyakorlattal rendelkeztek, mivel korábban is végeztek szoftveres támogatás mellett, profilanalitikus módszerrel végrehajtott gombatermék minősítést.

Az érzékszervi tesztek a Budapesti Corvinus Egyetem, Érzékszervi Minősítő Laboratóriumában végeztük. A laboratórium minden, az állandó és reprodukálható körülmények biztosítását előíró nemzetközi előírásnak megfelel (ISO 8589:2007). A vizsgálatunkat a ProfiSens célszoftverrel végeztük, amely létrehozza a kísérleti tervet, a mintakódolást, a mintakiosztást, a tálcaalátétet és elvégzi az adatok értékelését.

3.8.2. Fogyasztói különbségtételi vizsgálat (háromszögteszt)

A különbségvizsgálatok esetében azt vizsgáljuk, hogy statisztikailag igazolható különbség fennáll-e, vagy hasonlóság igazolható a vizsgált termékek esetében. A teszt célja az volt, hogy megállapítsuk, hogy a fogyasztók különbséget tudnak-e tenni a kontroll és az UV kezelt gombaminták között. A módszerrel különböző párosításokban végeztük a vizsgálatot. A bírálótagok a Budapesti Corvinus Egyetem Kertészettudományi, és Élelmiszertudományi karainak hallgatóiból álltak, akiknek a teszt előtt elmagyaráztuk a módszert és a célfeladatot is megismerték. Az érzékszervi tesztek a Budapesti Corvinus Egyetem, Érzékszervi Minősítő Laboratóriumában végeztük.

A vizsgálatban minden bíráló két mintahármaszt kapott (1 különböző, 2 azonos kezelés), ahol mintahármason belül a visszakóstolás engedélyezett volt. A bírálót minden esetben kértük, hogy jelölje meg az egyik mintát, még akkor is, ha tippelt. (A vizsgálatban ennek megfelelően a kötelező választást alkalmaztuk, a "nincs különbség" válasz nem elfogadható.) Akkor tekintettünk egy választ helyesnek, ha a három minta közül az egyetlen eltérőt jelölte meg a bíráló. A helyes és helytelen válaszok számát bírálócsopontonként összegeztük a nemzetközi előírásoknak megfelelően. Az értékeléshez a szekvenciális eljárást

(grafikus módszer) (ISO 16820:2004) és a binomiális tételt alkalmaztunk (ISO 4120:2004). A szekvenciális eljárás esetén a helyes válaszok száma alapján tudunk dönteni a termékek (kezelt vagy kezeletlen gombák) különbözőségéről adott ($\alpha=0,05$) szignifikancia szinten.

3.8.3. Termékoptimalizálás fókuszcsoport és conjoint analízis módszerkombinációval

A fókuszcsoportos kutatások általános célja, hogy jellemzően 10-12 fővel, megengedő légkörben végzett beszélgetések alatt megismerhetők a résztvevők véleményei, prioritásai, gondolkodási módjai, jellemző információ-forrásai (Babbie, 1995; Lehota, 2001; Vicsek, 2006).

A fogyasztói fókuszcsoportos vizsgálat kifejezett célja az volt, hogy a conjoint módszer bemeneti adatait meghatározzuk. Ehhez célul tűztük ki, hogy azonosítsuk a csiperkegombákkal és laskagombával kapcsolatban a fogyasztók által a vásárlás szempontjából fontosnak tartott döntési elemeket, termékjellemzőket és termékjellemzők szintjeit.

A fókuszcsoport tagjai kizárólag 25-70 év közötti háziasszonyok voltak. 4 fókuszcsoportos vizsgálatot végeztünk, amelyet a téma természete és a vélemények homogenitása indokolt, a negyedik interjú már csak minimálisan szolgáltat új információval. A vizsgálatokat nyugodt környezetben, külön teremben, körben elhelyezkedő székekkel, megengedő légkörben végeztük. A módszerek közül az érték alapú conjoint analízist (conjoint value analysis) választottuk, conjoint kártyákat (termékkombinációkat) hoztunk létre, amelyeket az ortogonális tömbök módszerével SPSS 22.0 programcsomag segítségével redukáltunk. A létrejött 32 kártyát a Microsoft Office Excel programcsomag segítségével 100-999 közötti háromjegyű, egyedi véletlenszámokkal kódoltuk. Az értékelésben jelentkező sorrendi hatást kiküszöbölésére 40 válaszonként új véletlen sorrendben prezentáltuk a mintákat.

A kártyák értékelését Google dokumentumban tették meg a fogyasztók. A kérdőív végén gombafogyasztással kapcsolatos, valamint szocio-demográfiai kérdéseket tettünk fel a fogyasztói szegmensek jellemzésére (gombafogyasztás gyakorisága, vásárolt gomba típusa, háztartás nettó jövedelme, családfő legnagyobb iskolai végzettsége, családfő foglalkozása, lakhely). A kérdőíveket 306 fő töltötte ki. A Google dokumentumból exportált adatokat az SPSS conjoint moduljával értékeltük.

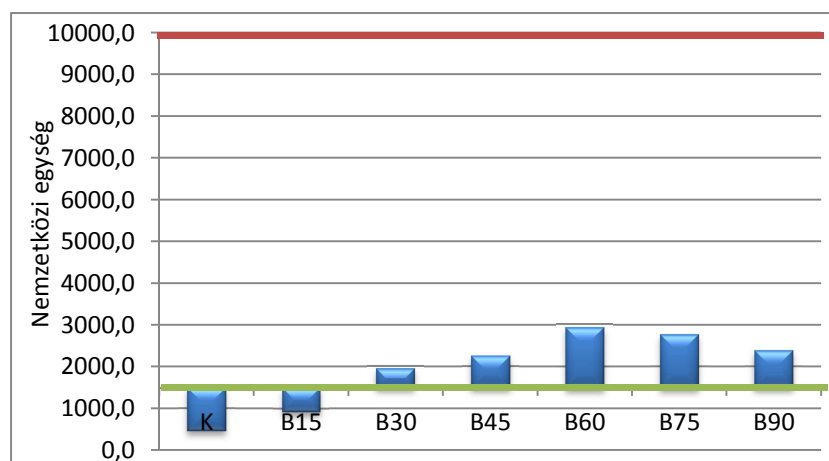
5. Eredmények és következtetések

5.1. Hozammérés eredményei

Az eredményeket összefoglalva megállapítható, hogy a hozamokban nem adódott szignifikáns különbség ($\alpha=0,05$) egyetlen kezelés hatására sem, egyetlen gombaminta esetében sem.

5.2. D-vitamin tartalom mérés eredményei

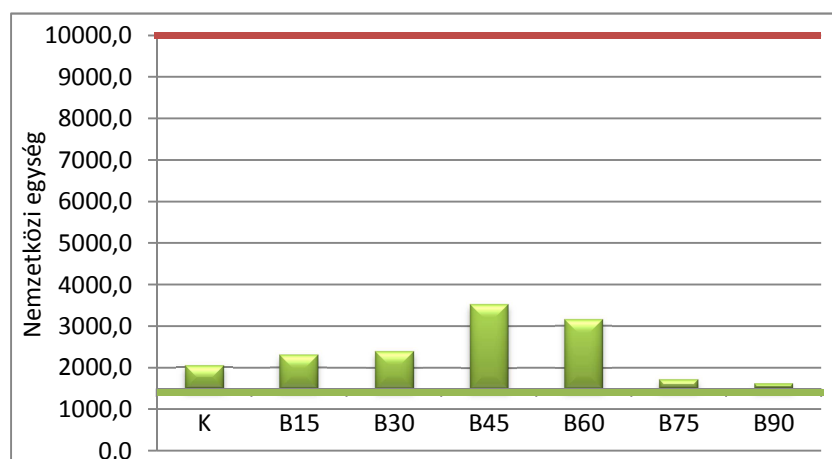
Az eredmények rámutatnak arra, hogy a fehér csiperkegomba esetében a 60 percig tartó UVB kezelést célszerű választani a D-vitamin tartalom növeléséhez, mivel több, mint meghétszerezte a D-vitamin szintet. Míg 100 g kezeletlen fehér csiperkegomba fogyasztásával az emberi szervezet számára szükséges minimum 400 NE D-vitaminból csupán 115%-ot, az 1500 NE ajánlott napi beviteli mennyiségből pedig mindössze 31%-ot biztosíthatunk, addig a 60 perces UVB kezeléssel megnövelt D-vitamin tartalmú gomba 100 grammja (friss tömeg) 73,22 $\mu\text{g}/100\text{ g}$ D-vitamint tartalmaz, amely az 1500 NE ajánlott napi beviteli mennyiség 195%-a, de még jóval a biztonságos felső érték (10 000 NE) alatt van. A legeredményesebbnek bizonyult 45 perc időtartamú UVC fénnel kezelt 100 g friss gomba a minimális D-vitamin bevétel (400 NE) 314%-át, az ajánlott napi beviteli mennyiség (RDA: 1500 NE) 84%-át éri el. Az **1. ábra** szemlélteti, hogy a vizsgáltak közül mely UVB kezelések voltak alkalmasak az ajánlott napi beviteli mennyiség biztosítására.



1. ábra. A fehér csiperkegomba UVB kezelése által indukált D-vitamin tartalom az ajánlott napi beviteli mennyiség (1500 NE, zöld vonal) és a biztonságos felső határ (10000 NE, piros vonal) függvényében (100 g friss gomba)

A barna csiperkegombánál alkalmazott kezelési időtartamok közül a 45 perces bizonyult legeredményesebbnek, amennyiben másfélszeres D-vitamin tartalmat indukált (kontroll: 6,38 $\mu\text{g}/\text{g}$ sza.; UVB45: 10,00 $\mu\text{g}/\text{g}$ sza.) és egyedül ez a kezelés növelte meg

szignifikánsan ($\alpha=0,05$) a D-vitamin szintet. 100 g kezeletlen barna csiperkegomba fogyasztásával az emberi szervezet számára szükséges minimum 400 NE D-vitaminból is már 500%-ot, tehát az 1500 NE ajánlott napi beviteli mennyiségből 136%-ot biztosíthatunk. A 45 perces UVB kezeléssel megnövelt D-vitamin tartalmú gomba 100 grammja (friss tömeg) 3526 NE ($88,17 \mu\text{g}/100 \text{ g}$) D-vitamint tartalmaz, amely az 1500 NE ajánlott napi beviteli mennyiség 235%-a, de még a biztonságos felső érték (10 000 NE) alatt van. A barna csiperkegomba UVC kezelése közül a legmagasabb értéket (UVC45: $8,49 \mu\text{g}/\text{g}$ sza.) 45 perces kezelés hatására lehetett kimutatni, de szignifikáns növekedést még ez sem eredményezett. 100 g ily módon kezelt friss gomba D-vitamin tartalma 2580 NE ($64,5 \mu\text{g}/100 \text{ g}$), amely a minimális D-vitamin bevitel (400 NE) 645%-át, az ajánlott napi beviteli mennyiség (RDA: 1500 NE) 172%-át éri el, de a biztonságos felső érték (10 000 NE) alatt van. A **2. ábra** szemlélteti, hogy az alkalmazott UVB kezelések közül melyek biztosították az ajánlott napi beviteli mennyiséget.

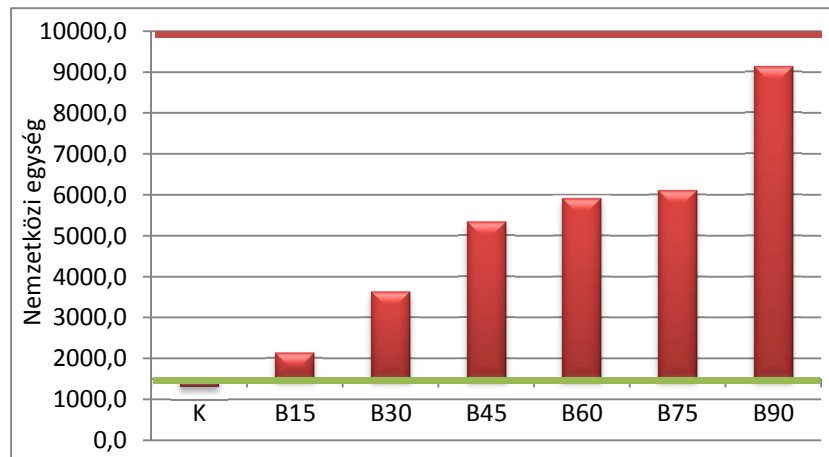


2. ábra. A barna csiperkegomba UVB kezelése által indukált D-vitamin tartalom az ajánlott napi beviteli mennyiség (1500 NE, zöld vonal) és a biztonságos felső határ (10000 NE, piros vonal) függvényében (100 g friss gomba)

A barna csiperkegomba UV kezelésével kapcsolatban összességében elmondható, hogy a fehér csiperkegombához viszonyítva már a kezeletlen kontroll is magasabb D-vitamin tartalommal jellemezhető (fehér kontroll: $1,52 \mu\text{g}/\text{g}$ sza.; barna kontroll: $6,38 \mu\text{g}/\text{g}$ sza.). A fehér csiperkegomba vizsgálatunkban alkalmazott UVB kezelése közül egyedül a 15 perces nem volt alkalmas arra, hogy annyi D-vitamin képezzen, hogy a gomba 100 grammja (friss) az ajánlott napi beviteli mennyiséget meghaladja. Az UVC kezelése közül erre egyik sem volt alkalmas. A barna csiperkegombának már a kezeletlen kontrollja is meghaladta az 1500 NE-ben meghatározott ajánlott napi beviteli mennyiséget. A 75 és 90 perces UVC kezelés

kivételével mind az UVB, mind az UVC fénnel kezelt barna csiperkegomba eléri legalább az RDA 103%-át. A D-vitamin egy bizonyos UV megvilágítási időtartam után bomlani kezd, ami a fehér- és barna csiperkegombánál is megfigyelhető. A fotodegradáció következtében a fehér csiperkegombánál a 75 és 90 perces UVB kezelések a 60 perces kezelésnél mértnél alacsonyabb D-vitamin szintet eredményeztek.

Az UV fénnel kezelt laskagomba minták D-vitamin tartalmának mérései megmutatták, hogy a leghosszabb, 90 perces kezelés hatására a D-vitamin tartalom közel kilencszerezésre nőtt (kontroll: 2,97 µg/g sza.; UVB90: 25,66 µg/g sza.), de már a legrövidebb, 15 perces UVB sugárzás is megkétszerezte a D-vitamin szintet (UVB15: 6,24 µg/g sza.). A barna csiperkegombához hasonlóan 100 g kezeletlen laskagomba is meghaladja a minimum 400 NE D-vitamin tartalmat. Az 1317 NE (32,93 µg/100 g) D-vitamin tartalom az emberi szervezet számára szükséges minimális érték 329%-a, a RDA-nak pedig 88%-a. A 90 perces UVB kezeléssel megnövelt D-vitamin tartalmú gomba 100 grammja (friss tömeg) 9128 NE (228 µg/100 g) D-vitamint tartalmaz, amely az 1500 NE ajánlott napi beviteli mennyiség 609%-a. A biztonságos felső érték D-vitaminnál 10 000 NE. A 90 perces UVB megvilágítással kezelt friss laskagomba 109 grammja tartalmazza a napi beviteli mennyiség biztonságos felső értékét, 10000 NE (250 µg) D-vitamint. A laskagomba UVC kezeléseivel kapcsolatban elmondható, hogy a 15 és 60 perc közötti időtartamú UVC fénnel kezelt friss laskagomba 100 grammja az ajánlott napi beviteli mennyiségnek (RDA: 1500 NE) legalább kétszerezését (212-229%-át) biztosítja. A kezeletlen laskagomba D-vitamin tartalma (2,97 µg/g sza.) a fehér- (1,52 µg/g sza.) és barna (6,38 µg/g sza.) csiperkegombánál kimutatott értékek között van, de ennél a gombánál az összes kezelés maximum értékét tekintve a csiperkéknél több mint kétszer magasabb D-vitamin tartalom volt elérhető (fehér UVB60: 10,84 µg/g sza.; barna UVB 45: 10,00 µg/g sza.; laska UVB90: 25,66 µg/g sza.). A **3. ábra** szemlélteti, hogy a vizsgáltak közül mely UVB kezelések voltak alkalmasak az ajánlott napi beviteli mennyiség biztosítására.



3. ábra. A laskagomba UVB kezelései által indukált D-vitamin tartalom az ajánlott napi beviteli mennyiség (1500 NE, zöld vonal) és a biztonságos felső határ (10000 NE, piros vonal) függvényében (100 g friss gomba)

Az elért eredmények a nemzetközi szakirodalom post-harvest adataival összhangban vannak.

5.3. Ergoszterol tartalom eredményei

Az ergoszterol, mint pre-D₂- vitamin jelenléte feltétele a D-vitamin kialakulásának. Mivel az elérhető D-vitamin tartalmat a gomba ergoszterol szintje határozza meg, szignifikáns D-vitamin tartalom növekedése esetén várható az ergoszterol szint azzal párhuzamos csökkenése. A fehér csiperkegomba esetében ezzel szemben azt tapasztaltuk, hogy kontroll mintában mért ergoszterol szintjéhez képest (kontroll: 2,68 mg/g szá.) a 30, 45 és 60 perces UVB kezelés, valamint a 75 perces UVC kezelés szignifikánsan megnövelte az ergoszterol tartalmat.

Az UVB kezeléseket a barna csiperkegombánál nem okoztak a kezelt kontroll minták ergoszterol tartalmához viszonyított szignifikáns ($\alpha=0,05$) változást. Ezzel szemben az UVC kezeléseket az ergoszterol tartalom szignifikáns csökkenését eredményezték a 30 és 45 perces időtartamú megvilágításnál.

A laskagomba ergoszterol tartalma a 15, 30 és 45 perces UVB kezelésekre hatására szignifikánsan ($\alpha=0,05$) csökkent. Az UVC kezeléseket mindegyike lecsökkentette az ergoszterol tartalmat, de a statisztikai értékelés egyedül a 75 és 90 percig megvilágított mintáknál mutatott ki szignifikáns eltérést (csökkenést).

5.4. Színmérés eredményei

A fehér csiperkegomba 90 perces UVB kezelés hatására történő színváltozását, mind a műszeres, mind az érzékszervi módszerek alátámasztották.

A barna csiperkegomba UV kezelésekre hatására bekövetkezett színváltozás intenzitását jelző (ΔE_{ab}^*) érték alapján, a barna csiperkegombán mind az UVB, mind az UVC kezelésekre nagyon jól megfigyelhető elváltozást okoztak ($\Delta E_{ab}^* > 6,0$). Fontos hangsúlyozni, hogy a műszeres mérés során a különbségeket a kezelés előtti színhez hasonlítottuk, míg a fogyasztó vásárlásakor nem áll rendelkezésére kezeletlen minta. A színmemória korlátos volta, valamint a biológiai anyag színvariabilitása miatt a színkülönbség megállapítása kicsi valószínűségű.

Laskagombánál a műszeres színmérés eredményei szerint a 15 és 75 perc közötti UVB kezelésekre jól látható, míg a 90 perces nagyon jól látható színváltozást okoztak. A laskagomba esetében is elmondható, hogy műszer nélkül, a kezeletlen kontroll és az UV kezelt minták egyidejű összehasonlítása nélkül, szabad szemmel ez a különbség nem valószínű, hogy észlelhető. Ennél a gombánál a kalapszín még inkább változatos árnyalatban elfogadott, a halványbarnától (már-már krémszínű) a szürke árnyalatai keresztül egészen a csokoládébarnáig. Még ha az eredeti kalapszínen változtat is az UV kezelés, enyhe vagy erősebb sárgás, vagy akár barnás elszíneződést okozzon is, azt a fogyasztó nem valószínű, hogy észreveszi.

5.5. Antioxidáns és polifenol tartalom mérés eredményei

Az antioxidáns és polifenol anyagok mérési eredményei szerint mindkét hullámhosszon (UVB és UVC) történő kezelés eltéréseket okozott a kezelt mintákban, de az értékek alapján nem tudunk tendenciát megállapítani.

5.6. Érzékszervi mérések eredményei

5.6.1. Szakértői termék karakterizálás (profilanalízis) eredményei

A teljes körű profilanalízis segítségével az UV kezelt gombaminták érzékszervi karakterizálása szakértői bíráló panel segítségével hatékonyan megvalósítható volt. Az eredmények azt mutatták, hogy a 45 és 90 perces időtartamú UVB sugárzással kezelt fehér csiperkegomba vizuális tulajdonságai szignifikánsan ($\alpha=0,05$) nőttek: a kalap színe sárgább, a kalap színének árnyalata sötétebb, a kalap foltosabbá vált. A szakértői elemzések rámutatnak, az UV kezelésekre vizuális hatásaira, ezekkel az eredményekkel van összhangban a műszeres színmérés eredménye is. Ugyanezen kezeléseknél az édes íz csökkent a kontroll mintához képest.

A barna csiperkegomba esetében az érzékszervi profilok nagyon hasonlóan adódtak, a profilok sok esetben teljesen fedésben vannak és szignifikáns különbség nem volt egyik tulajdonságban sem.

A laskagomba esetén az eredmények azt mutatták, hogy két tulajdonságban, a kalap színének árnyalatában és a keménység érzékszervi paraméterében tértek el szignifikánsan a vizsgált minták, a kontroll minta volt a legvilágosabb, amelyik minden UV fénnel kezelt mintától eltért. A kezelt minták sötétebbnek adódtak, mint a kontroll minta. A laskagombák keménysége alapján a kontroll minta volt a legkeményebb, amelyik minden UV fénnel kezelt mintától eltért.

5.6.2. Fogyasztói különbségtételi vizsgálat (háromszögteszt) eredményei

A háromszögpróba érzékszervi módszerével a vizsgált fogyasztók a kezeletlen kontroll és a 90 perces UVB kezelt fehér csiperkegomba között, valamint a kezeletlen kontroll és a 45, valamint a 90 perces UVB kezelt laskagomba között állapítottak meg szignifikáns ($\alpha=0,05$) érzékszervi különbséget. Az eredmények rámutattak arra, hogy a grafikus szempontból szemléletesebb módszernél (szekvenciális eljárás) érzékenyebb a binomiális tétellel történő kiértékelés.

5.6.3. A fókuszcsoporthoz és conjoint analízis termékoptimalizálás eredményei

Az eredményeimmel bizonyítottam fehér és barna csiperkegombák valamint a laskagomba esetében a vizsgált fogyasztók döntéstényezőinek egymáshoz viszonyított fontosságát, hasznosságértékeit és az ideális termékkombinációt. A fókuszcsoporthoz interjúk során azonosított bevallott fogyasztói döntési tényezők felhasználásával a szoftveresen támogatott SPSS 20.0 conjoint moduljával hatékonyan támogatható és kombinálható. A conjoint analízis eredményei alapján elmondható, hogy a megnövelt D-vitamin tartalom nagyobb hasznossággal bír, ezért célszerű ezt a kommunikáció középpontjába állítani. A barna gombát azok a fogyasztók részesítik előnyben (a fehér csiperkegombával és laskagombával szemben), akik jellemzően 20-40 év közöttiek, havonta-kéthetente fogyasztanak gombát, 151-300 e Ft a nettó átlagkeresetük, a családfő jellemzően közép vagy felsőfokú végzettségű, egyéb szellemi foglalkozásúak, városokban laknak. A conjoint analízis eredményei alapján a megnövelt D-vitamin tartalmú laskagombát a jellemzően 50 felett korcsoportba tartozó fogyasztók preferálják, akik kéthetente fogyasztanak gombát, 151-300 e Ft a nettó az átlagkeresetük, a családfő jellemzően középfokú végzettségűek, vállalkozó vagy szellemi szabadfoglalkozású, illetve kis, vagy közepes városokban laknak.

6. Új tudományos eredmények

1. Bizonyítottam, hogy a biológiailag aktív preharvest fehér csiperkegomba 60 perc időtartamú, a barna csiperkegomba 45 perc időtartamú, valamint a laskagomba 90 perc időtartamú UVB sugárzás történő kezelése eredményezi a legnagyobb D₂ vitamintartalmat.
2. Nemparametrikus Kruskal-Wallis statisztikai teszttel bizonyítottam, hogy a vizsgált gombák hozamait szignifikánsan ($\alpha=0,05$) nem befolyásolják az UVB és UVC fénnel történő 15, 30, 45, 60, 75 és 90 perces kezelései.
3. Elsőként jellemeztem több módszerrel (DPPH, CUPRAC, TPC, FRAP, ABTS) a fehér és barna csiperke és laskagomba fajok kontroll és UV fénnel kezelt mintáinak antioxidáns kapacitását, és a kezelés szignifikáns ($\alpha=0,05$) változásait.
4. Szakértői bírálócsoport segítségével elsőként alkottam meg a különböző UV fénnel kezelt fehér és barna csiperke és laskagomba fajok teljes körű érzékszervi profiljait.
5. A háromszög-próba érzékszervi módszerével elsőként bizonyítottam, hogy a vizsgált fogyasztók a kezeletlen kontroll és a 90 perces UVB kezelt fehér csiperkegomba között, valamint a kezeletlen kontroll és a 45, valamint a 90 perces UVB kezelt laskagomba között állapítottak meg szignifikáns ($\alpha=0,05$) érzékszervi különbséget.
6. A fehér és barna csiperkegombák, valamint a laskagomba esetében Magyarországon elsőként határoztam meg a vizsgált fogyasztók döntéstényezőinek egymáshoz viszonyított fontosságát, hasznosságértékeit és az ideális termékkombinációt. A conjoint elemzést klaszteranalízissel kombinálva feltártam és jellemeztem az egyes fogyasztói szegmenseket és a fogyasztói igényeikre optimált termékkombinációt.

Felhasznált irodalom

1. Babbie E. (1995): A társadalomtudományi kutatás gyakorlata. Budapest, Balassi Kiadó. 103-348, 411-473, 494-526. p.
2. Chen T. C., Chimeh F., Lu Z., Mathiew J (2007): Factors that influence the cutaneous synthesis and dietary sources of vitamin D. Archives of Biochemistry and Biophysics, 460 (2), 213-217. p.
3. Ginde A. A., Liu M. C., Camargo Jr. C. A. (2009): Demographic differences and trends of Vitamin D insufficiency in the US population, 1988-2004. Archives of International Medicine, 158, 531-537. p.
4. Hanley D. A., Davidson K. S. (2005): Vitamin D insufficiency in North America. Journal of Nutrition, 135, 332-337. p.
5. Holick M. F. (2007): Vitamin D deficiency. American Journal of Clinical Nutrition, 87 (4), 1080S-1086S. p.
6. Holick, M. F., Shao Q., Liu, W. W., Chen T. C. (1992): The vitamin content of fortified milk and infant formula. New England Journal of Medicine, 326, 1178-1181. p.
7. Jasinghe V. J., Perera C. O. (2006): Ultraviolet irradiation: The generator of vitamin D₂ in edible mushrooms. Food Chemistry. 95, 638-643. p.
8. Jasinghe V. J., Perera C. O., Barlow P. J. (2005): Bioavailability of vitamin D₂ from irradiated mushrooms: an in vivo study. British Journal of Nutrition, 93, 951-955. p.
9. Jasinghe V. J., Perera C. O., Sablani S. S. (2007): Kinetics of the conversion of ergosterol in edible mushrooms. Journal of Food Engineering. 79, 864-869. p.
10. Kalaras M. D., Beelman R. B., Elias R. J. (2012): Effects of post-harvest pulsed UV light treatment of white button mushrooms (*Agaricus bisporus*) on Vitamin D content and quality attributes. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 60, 220-225. p.
11. Ko J. A., Lee B. H., Lee J. S., Park H. J. (2008): Effect of UV-B exposure on the concentration of vitamin D₂ in sliced shiitake mushroom (*Lentinus edodes*) and white button mushroom (*Agaricus bisporus*). Journal of Agriculture and Food Chemistry, 56: 3671-3674. p.
12. Kristensen H. L., Rosenqvist E., Jakobsen J. (2012): Increase of Vitamin D₂ by UV-B exposure during the growth phase of white button mushroom (*Agaricus bisporus*). Food & Nutrition Research, 56, 1-7. p.
13. Lehota, J. (2001): Marketingkutatás az agrárgazdaságban. Budapest, Mezőgazda Kiadó.
14. Mattila P. H., Lampi A.-M., Ronkainen R., Toivo J., Piironen V. (2002): Sterol and vitamin D₂ contents in some wild and cultivated mushrooms. Food Chemistry. 76, 293-298. p.
15. Mattila P. H., Piironen V. I., Uusi-Rauva E. J., Koivistoinen P. E. (1994): Vitamin D contents in edible mushrooms. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 42, 2449-2453. p.

16. Mau J. L., Chen P. R., Yang J. H. (1998): Ultraviolet irradiation increased vitamin D₂ content in edible mushrooms. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46 (12), 5269-5272. p.
17. Park S., Johnson M. A. (2005): Living in low attitude regions in the United States does not prevent poor vitamin D status. *Nutrition Reviews*, 63, 203-209. p.
18. Perera C. O., Jasinghe V. J., Ng F. L., Mujumdar A. S. (2003): The effect of moisture content on the conversion of ergosterol to vitamin D in shiitake mushrooms. *Drying Technology*, 21, 1093-1101. p.
19. Phillips K. M., Rasor A. S. (2013): A Nutritionally Meaningful Increase in Vitamin D in Retail Mushrooms is Attainable by Exposure to Sunlight Prior to Consumption. *Journal of Nutrition and Food Sciences*, 3 (6), 236. p.
20. Schwartz G. G., Hanchette C. L. (2006): UV, latitude, and spatial trends in prostate cancer mortality: All sunlight is not the same (United States). *Cancer Causes Control*, 17, 1091-1101. p.
21. Simon R. R., Phillips K. M., Horst R. L., Munro I. O. (2011): Vitamin D mushrooms: Comparison of the composition of button mushrooms (*Agaricus bisporus*) treated postharvest with UVB light or sunlight. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59, 8724-8732. p.
22. Tangpricha V., Koutkia P., Rieke S. M., Chen T. C. (2003): Fortification of orange juice with vitamin D: A novel approach to enhance vitamin D nutritional health. *American Journal of Clinical Nutrition*, 77, 1478-1483. p.
23. Tangpricha V., Pearce E. N., Chen T. C., Holick M. F. (2002): Vitamin D insufficiency among free-living healthy young adults. *American Journal of Medicine*, 121 (8), 659-662. p.
24. Teichmann A., Dutta, P. C., Staffas A., Jägerstad M. (2007): Sterol and vitamin D₂ concentrations in cultivated and wild grown mushrooms: Effects of UV irradiation. *LWT*. 40: 815-822. p.
25. Vicsek L. (2006): Fókuszcsoport. Budapest: Osiris Kiadó, 18, 59-64, 166, 228. p.
26. Webb A. R., Kline L., Holick M. F. (1988): Influence of season and latitude on the cutaneous synthesis of vitamin D₃: Exposure to winter sunlight in Boston and Edmonton will not promote vitamin D synthesis in human skin. *Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*, 67, 373-378. p.
27. Wenczel K. (2013): Színtan. Budapest, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Mechatronika, Optika és Gépészeti Informatika Tanszék. 36-45., 69-70. p.

Az értekezés témaköréhez kapcsolódó publikációk

Impakt faktoros folyóiratcikkek
* Szabó, A. , Gyepes, A., Nagy, A., Abrankó, L., Gyórfi, J. (2012). The effect of UVB radiation on the vitamin D ₂ content of white and cream type button mushrooms (<i>Agaricus bisporus</i> Lange/Imbach) and oyster mushroom (<i>Pleurotus ostreatus</i> (Jacq.) P. Kumm). Acta Alimentaria (41) supplement, 119-123. ISSN 0139-3006. Impakt faktor: 0,475
Lektorált folyóiratban (MTA listás) megjelent közlemények
*Gyórfi J., Balázs S., Geösel A., Szabó A. (2011). Fehér és barna kalapú csiperkegomba (<i>Agaricus bisporus</i> (Lange/Imbach)) D-vitamin tartalmának növelése UVB kezeléssel. Kertgazdaság 43. (1) 3-7.
* Szabó A. , Geösel A., Kókai Z., Orbán Cs., Töreki K., Szőke A.: Antioxidant activity as indicator of UV radiation and other abiotic stress factors on <i>Agaricus bisporus</i> (Lange/Imbach) and <i>Sedum hybridum</i> (L.). Acta Universitatis Sapientiae, Alimentaria. <i>In press</i>
Osztálylistás folyóiratban megjelent cikkek
*Gyórfi, J., Kovács, A., Szabó, A. (2011). Increasing the vitamin D level of oyster mushrooms by UV light. International Journal of Horticultural Science (17) 4-5., 119-123. ISSN 1585-0404
Egyéb tudományos cikkek
*Gyórfi J., Geösel A., Szabó A. (2011). D-vitamin a gombákban. Zöldségtermesztés 41 (2) 14-16.
Konferencia proceeding közlemények
*Gyórfi J., Geösel A., Szabó A. (2010). Az <i>Agaricus bisporus</i> (Lange/Imbach) csiperkegomba D-vitamin tartalmának növelése UVB sugárzással. IX. Wellmann Oszkár Nemzetközi Tudományos Konferencia (Hódmezővásárhely, 2010. április 22.) Agrár- és Vidékfejlesztési Szemle 5 (1) supplement: 668-672 (full paper CD-mellékleten). ISSN: 1788-5345.
* Szabó A. , Gyórfi J., Geösel A. (2011). Enhancing the vitamin-D concentration in white button mushrooms by UV light. Proceeding of the 45th Croatian & 5th International Symposium on Agriculture (15-19 February 2010, Opatija, Croatia), 599-603. ISBN: 978-953-6331-79-6.
* Szabó A. , Gyórfi J. (2011). Az UV sugárzás hatása a gombatermesztésben károsító patogén gombák micélium-növekedésére. Erdei Ferenc VI. Tudományos Konferencia (Kecskemét, 2011. augusztus 25-26.). Konferencia kiadvány III. kötet: 493-497. (ISBN 978-963-7294-98-3 a teljes kiadvány) ISBN 978-615-5192-01-2. a III. kötet
* A. Szabó, J. Gyórfi (2011). The effect of UV radiation on the mycelia growth of white button mushroom and the pathogenic fungi of cultivated mushrooms. The 17th International Symposium on Analytical and Environmental Problems (19 September 2011, Szeged), Proceedings: 116-119. ISBN: 978-963-315-066-5.
* A. Szabó, J. Gyórfi (2012). The effect of UV light on the Vitamin D content and mycelial growth of oyster mushroom. X. Wellmann Oszkár Nemzetközi Tudományos Konferencia (Hódmezővásárhely, 2012. május 10.) Review on Agriculture and Rural Development: 428-433 (full paper CD-mellékleten). ISSN 2063-4803.

Konferencia összefoglalók („abstract”)

*Györfi J., Geösel A., **Szabó A.** (2009). A kétspórás csiperkegomba (*Agaricus bisporus* LANGE/SINGER) D-vitamin tartalmának növelése ultraviola sugárzással. Lippay-Ormos-Vas Tudományos Ülésszak (Budapest, 2009. október 28-30.), Abstracts: 322-323. ISBN: 978-963-503-397-3.

*Györfi J., Geösel A., Szarvas J., **Szabó A.** (2010). Increasing the Vitamin D content of white and cream type *Agaricus bisporus* (Lange/Imbach) mushrooms by UVB irradiation. 2nd International Conference on Horticulture Post-Graduate Study (30-31 August 2010, Lednice, Czech Republic), Book of Abstracts: 16.

*J. Györfi, A. Geösel, J. Szarvas, **A. Szabó** (2011). Enhancing vitamin D2 concentration in white and cream strains of *Agaricus bisporus* mushrooms by UVB irradiation. The 6th International Medicinal Mushroom Conference (25-29 September 2011, Zagreb, Croatia), Book of Abstracts: 60. ISBN: 978-953-56837-0-4

*J. Györfi, **A. Szabó** (2011). The effect of UV radiation on the pathogenic fungi of cultivated mushrooms. 7th International Conference on Mushroom Biology and Mushroom Products (4-7 October 2011, Arcachon, France), Book of Abstracts: 126-127.