

Szerkesztette:

Hagymási Krisztina - Janda Tibor - Poór Péter



A REAKTÍV OXIGÉNFORMÁKKAL ÉS AZ ANTIOXIDÁNS VÉDEKEZÉssel KAPCSOLATOS ÚJDONSÁGOK

2024

NÉGY MAGYAR FAJTAMÉZ *IN VITRO* ANTIOXIDÁNS AKTIVITÁSA

Nagy-Radványi Lilla¹, Farkas Ágnes¹, Ángyán Virág Diána¹, Kocsis Marianna^{1,2}

¹PTE GYTK Farmakognóziai Intézet

²PTE TTK Agrobiológiai Tanszék

A méz, mint komplex élelmiszer és gyógyhatású anyag fontos szerepet játszott az emberiség történetében már az ősidők óta. A szénhidrátokon kívül mintegy 2% egyéb komponenst tartalmaz, többek között enzimeket, ásványi anyagokat és polifenolokat. Ez utóbbi vegyületek hozzájárulnak a méz egészségmegőrző hatásához, úgymint antioxidáns kapacitásához és antibakteriális aktivitásához. Bár hazánk az EU legnagyobb méztermelő országai közé tartozik, mégis kevés információval rendelkezünk fajta- és vegyes virágmézeink minőségi paramétereiről és egészségügyi hatásairól. Tanulmányunk célja négy, jól ismert magyar fajtaméz - akác (Robinia pseudoacacia), hárs (Tilia ssp.), napraforgó (Helianthus annuus) és gesztenye (Castanea sativa) antioxidáns kapacitásának vizsgálata in vitro módszerekkel. Botanikai eredetüket érzékszervi karaktereik, mikroszkópos pollenanalízis és spektrofotometriás színmeghatározás alapján határoztuk meg. Az antioxidáns kapacitás mérésekhez elektron- és hidrogénatom transzférerén alapuló módszereket használtunk. A mézek abszorbanciája pozitívan korrelált három analízis eredményeivel (TRC, TEAC, DPPH), kivéve az ORAC eredményekkel. A világos borostyán színű hársméz hasonlóan magas antioxidáns aktivitást mutatott, mint a sötétborostyán színű gesztenyeméz, ami ezen mézek jobb egészségmegőrző hatását valószínűsíti.

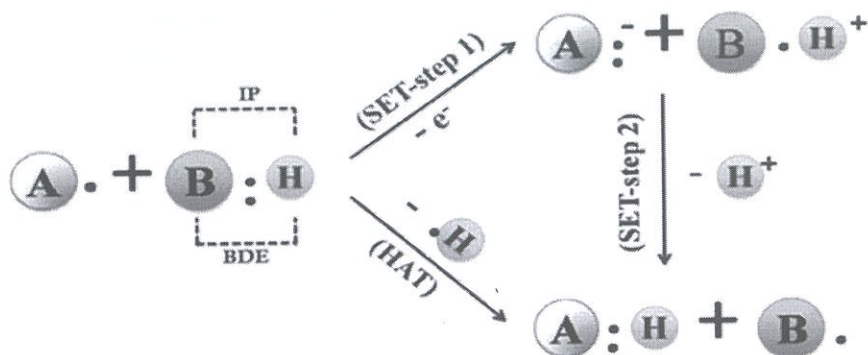
Bevezetés

A mézet édes íze és terápiás tulajdonságai miatt ősidők óta fogyasztják világszerte. Főként egyszerű szénhidrátok (fruktóz, glükóz), víz (legfeljebb 20%) és egyéb vegyületek, például enzimek, fehérjék, aminosavak, fenolos vegyületek, szerves savak, ásványi anyagok és vitaminok alkotják [1]. Koncentráltan tartalmazza a növények hatóanyagait, a méhek speciális enzimjeivel és hormonjaival keverten. Javasolható a méz, mint komplex élelmiszer beépítése a mindennapi táplálkozásba, cukortartalma révén jó energiaforrás, ásványi anyag tartalma kiemelkedő, továbbá jelentős az antioxidáns, antimikrobás és gyulladáscsökkentő hatása [2]. A biológiai aktivitásért leginkább a magas polifenoltartalom felelős, amely erősen korrelál az antioxidáns kapacitással [3]. A méz kémiai összetétele, íze és színe függ a botanikai eredettől, a méh fajtájától, az éghajlati tényezőktől és a földrajzi régiótól. Mindemellett a feldolgozás folyamata és a tárolási körülmények is jelentősen befolyásolhatják ezen tulajdonságokat [4].

A mézben található polifenolos vegyületek antioxidáns hatásuknak köszönhetően semlegesítik a reaktív oxigén gyököket, megakadályozva ezzel a sejtek öregedését. Továbbá ezen vegyületcsoportba tartozó flavonoidok (flavonolok, dihidroflavonolok), illetve fahéjsavak és észterek is hozzájárulnak a méz antibakteriális aktivitásához [5]. A virágporban található flavonoidok glikozidok és aglikonok formájában egyaránt előfordulnak és általában erősen hidroxiláltak, például a kaempferol esetében. A méz flavonoidok részben virágpor flavonoidokból származhatnak, és az eredeti glikozidokat a méhnyálban jelenlévő enzimek aglikonokká hidrolizálják [6]. Az antioxidáns tulajdonság a sötétebb színű mézek esetén kifejezettebb, a bennük magasabb arányban megtalálható fenolos természetű másodlagos növényi anyagcseretermékeknek köszönhetően [7]. A méz színe az egyik legváltozóbb paraméter, amely spektrofotometriásan vagy színkoloriméter segítségével (Pfund Color Grader) határozható meg. A nemzetközileg elfogadott Pfund skála alapján megkülönböztethetünk vízfehér, extra fehér, fehér, extra világos borostyán, világos borostyán,

borostyán és sötét borostyán színkategóriákat [8]. Legtöbbször van összefüggés a méz színe, összpolicfenol-tartalma, valamint antioxidáns kapacitása között, azonban egyes esetekben a minták aktivitása más nem fenolos vegyületeknek (aszcorbinsav, karotinoidszerű anyagok, szerves- és aminosavak, valamint fehérjék, köztük bizonyos enzimek, pl. glükóz-oxidáz és kataláz) is köszönhető. Az antioxidáns hatás különböző vegyületcsoportok együttes eredménye [9].

Számos módszer létezik az egyes mézfélésegek antioxidáns aktivitásának meghatározására. A metodikák specifikusak egy adott reakcióra vagy antioxidánsra, így mindenképpen szükséges több mérési eljárás alkalmazása a komplexebb összetételű mintáknál [10]. A hidrogénatom transzferrel (HAT – hydrogen atom transfer) kapcsolatos módszerek elsősorban reakciókinetikán alapszanak, a minta szabadgyökbefogó képességét mérik. Az elektronátmenettel (SET – single electron transfer) járó reakciókat általában színváltozás kíséri, amelynek mértékéből következtetni lehet az antioxidáns kapacitásra (1. ábra) [11].



1. ábra: Az elektronátmeneten (SET) és a hidrogénatom transzferen (HAT) alapuló módszerek reakciómechanizmusa. IP: ionization potential = ionizációs energia; BDE: bond dissociation enthalpy = kötés disszociációs entalpia (Forrás: [11]).

A méz táplálkozásban és egészségmegőrzésben betöltött fontos szerepéhez a makro- és mikroelem (pl. kálium, kalcium, vas stb.) tartalma is hozzájárul [12]. Egyes esetekben az ásványianyag-tartalom a földrajzi eredet jelzőjeként játszik szerepet, függetlenül a méz botanikai eredetétől. A savanyú talajokról származó mézek ásványi anyagokban gazdagabbak, mint a bázikus talajokról származók [13]. Emellett Perna és mtsai. (2013) összefüggést találtak a mézek fémtartalma és antioxidáns hatása között, illetve megállapították, hogy a sötétebb színű mézek nagyobb mennyiségben tartalmaznak bizonyos ásványi anyagokat [14]. Természetesen a nehézfémek mézben való jelenléte nem kívánatos, ezért egyes országokban határértékeket is megszabták. Az Európai Bizottság rendelete szerint az elfogadható legnagyobb koncentráció ólom esetén $0,10 \text{ mg kg}^{-1}$, kadmium esetén $0,05 \text{ mg kg}^{-1}$ [15].

Magyarország az EU egyik legjelentősebb méztermelő országa, mégis kevés adat áll rendelkezésre a fajta- és vegyes virágmézeink minőségi paramétereiről és biológiai aktivitásáról. A mézhamisítás elkerülése és a mézek megfelelő minőségének biztosítása különösen fontos a gyógyító célra szánt ún. orvosi mézek esetén. A növényi eredetű antioxidáns vegyületek, illetve a kisebb mennyiségben előforduló ásványi anyagok is fontos szerepet játszhatnak a mézek minőségének meghatározásában [16].

Kutatásunk során célul tűztük ki négy jól ismert magyar fajtaméz (akác, hárs, napraforgó, gesztenye) antioxidáns kapacitásának és makroelem tartalmának vizsgálatát *in vitro* módszerekkel, bioaktivitási értékük megállapítása érdekében.

anyagok és módszerek

kutatásba bevont mézminták

izsgálatainkhoz magyar őstermelőktől vásárolt akác- (*Robinia pseudoacacia*), hárs- (*Lilium* spp.), napraforgó- (*Helianthus annuus*) és szelídgesztenyemézet (*Castanea sativa*) asználtunk. A dél-dunántúli régióból származó mézmintákat a felhasználásig zobahőmérsékleten (20-21 °C) és sötétben tároltuk maximum 3 hétig.

1 botanikai eredet meghatározása

A fajtamézek valódi típusának megállapításához kulcsfontosságú a pontos botanikai eredetük tisztázása, ami behatárolja mind a méz piaci értékét, mind a gyógyászatban történő felhasználhatóságát. Az érzékszervi vizsgálatkor felmértük a minták fizikai tisztaságát, színét, illatát, ízét és állagát.

A melisszopalinológiai elemzés során Von der Ohe és mtsai. (2004) módszerét követve mézmintánként legalább 500 pollent számoltunk le, jelezve, hogy hány pollenszem tartozik az adott növényfajhoz (-családhoz) [17]. A pollentípusok relatív gyakoriságát az összes pollenszem százalékában adtuk meg. A pollentartalom alapján a méz akkor nyilvánítható fajtaméznek, ha a szakirodalmakban leírt százalékos arányban tartalmazza az adott növény pollenjét.

A színintenzitás meghatározása Beretta és mtsai. (2005) munkája alapján történt [18]. A spektrofotométeres mérés során a 450 és 720 nm-en mért abszorbanciaértékek különbségéből származó színintenzitás eredményeket milliabszorbancia (mAU) egységekben fejeztük ki. A vizsgálatot három párhuzamos méréssel végeztük.

Az antioxidáns kapacitás mérése

Bodó és mtsai. (2021) kutatómunkája alapján mézmintáink antioxidáns kapacitásának vizsgálatát négy különböző módszerrel végeztük [7]. Adataink három független mérésből származtak. A széles körben elterjedt, elektronátmenettel járó eljárások közé tartozik a TRC, a TEAC és a DPPH. Ezzel szemben az ORAC egy olyan, hidrogénatom transzferen alapuló módszer, amely kevésbé megszokott a mézvizsgálatok során.

A teljes redukálóképességet (TRC) Folin-Ciocalteu reakcióval határoztuk meg, amely egy antioxidáns molekula redukív kapacitását méri. Az abszorbanciát 760 nm-en mértük és a kalibrációs görbe elkészítéséhez a galluszsav 50-200 $\mu\text{g ml}^{-1}$ hígítási sorát alkalmaztuk. Az eredményeket mg galluszsav ekvivalens (GAE) kg^{-1} méz értékben adtuk meg. Fontos megjegyezni, hogy a vizsgálat során használt Folin-reagens nem specifikus a polifenolokra.

A TEAC (Troloxra vonatkoztatott antioxidáns kapacitás) eljárás egy mesterségesen előállított szabad gyök, az ABTS kation gyök ($\text{ABTS}^{\bullet+}$) mennyiségének mérésén alapul. Az ABTS gyök oldata kék színű és antioxidáns hatására a gyök semlegesítődik, a kék szín elhalványodik. Az abszorbancia csökkenését 725 nm-en követtük nyomon. A kalibrálást Trolox standardokkal (0,004-0,02 μM) végeztük, az eredményeket $\mu\text{mol TE 100 g}^{-1}$ méz értékben adtuk meg.

A DPPH (1,1-difenil-2-pikrilhidrazil) gyök semlegesítésén alapuló reakció során a sötétlila színű gyök a mintában lévő antioxidánsokkal reagálva elveszíti a színét. A színváltozást 517 nm-en spektrofotometriásan detektáltuk. A kalibrációs görbe elkészítéséhez Trolox standardokat (0-180 $\mu\text{mol L}^{-1}$) használtunk, az eredmények kiszámítását lineáris regresszió analízissel végeztük.

Az ORAC módszer a mintában lévő antioxidánsok oxigéngyök-elnyelő képességének mennyiségi meghatározását teszi lehetővé. A mérés során az antioxidánsok védik az indikátor fehérjét (β -fikoeritrin) az oxidációtól. A fluoreszcencia intenzitás változását 80 percen keresztül 490/520 nm-en 2 percenként mértük. Ebben az esetben is Trolox standardokat

(0-160 $\mu\text{mol L}^{-1}$) alkalmaztunk, az antioxidáns kapacitás értékeket $\mu\text{mol Trolox ekvivalens (TE) g}^{-1}$ egységben fejeztük ki.

A makroelem tartalom vizsgálata

A makro- és mikroelem tartalom meghatározását induktív csatolású plazma atomemissziós spektrometriával (ICP-AES) végezték a PTE Szőlészeti és Borászati Kutatóintézet akkreditált laboratóriumában. A minőségellenőrzést nagy tisztaságú, makroelemeket tartalmazó standard oldattal biztosították. Minden mérést három ismételtsben végeztek el.

Statisztika

A statisztikai elemzéseket Excel® és PAST (3.11) programokkal végeztük.

Eredmények és megvitatásuk

A vizsgált fajtamézek botanikai eredete

A kutatásba bevont fajtamézek pollenanalízise, érzékszervi és színintenzitás vizsgálata alapján minden méz minta egyértelműen fajtaméznek tekinthető (1. táblázat). A mézben található alakos elemek közül a virágpór bír a legnagyobb jelentőséggel, mivel mennyisége meghatározza a méz jellegét. Az akácméz pollenje alulreprezentált, míg a hársméz pollenje sok esetben extrém módon alulreprezentált. Persano Oddo és mtsai. (2004) átfogó tanulmányában az átlagos pollenarány az akác, illetve a hárs pollenekre – 28 és 23% [19]. Kuš és mtsai. (2014) 11-16% és 22-26% közötti karakterisztikus pollent figyelt meg az akác- és hársmézekben, míg a Magyar Élelmiszerkönyv 15 és 30%-os értéket határoz meg [3, 20]. A vizsgált akácmézekben a *R. pseudoacacia* pollen (45%) volt a domináns pollentípus, a hársmézekben a *Tilia* spp. pollen (46%), ezzel igazolva a mézminták monoflorális eredetét. Kuš és mtsai. (2014) a gyenge illatú, viszkózus állagú akácmézeket a legvilágosabb mézként jellemzik [3]. A 26% hárs pollent tartalmazó mintát világos borostyánsárgának, szilárd konzisztenciájúnak és finomszemcsésen kristályosodónak írták le, hasonlóan az általunk vizsgált mintákhoz. A napraforgóméz napraforgó pollentartalma a legváltozóbb, 20 és 90%-os érték között mozoghat az egyes napraforgó fajták pollentermelésétől függően [19]. A Sari és mtsai. (2012) által vizsgált, Törökországból származó 50 napraforgóméz minta 45-70%-ban tartalmazta a domináns pollenszemcséket [21]. A mintákat világossárga színnel, aromás illattal, krémes, gyorsan kristályosodó textúrával jellemezték – a mi megfigyelésünkhez hasonlóan. A kutatásba bevont napraforgómézek *H. annuus* pollen mennyisége (47%) megfelelt az irodalmakban leírtaknak, így egyértelműen fajtaméznek tekinthetőek. A gesztenyeméz pollentartalma felülreprezentáltak tekinthető, hiszen legalább 90%-ban kell jelen lennie a szelídgesztenye pollenjének [22]. A kissé vöröses, sötét borostyán színű, erős illatú és viszkózus állagú szelídgesztenyemézben a *C. sativa* pollen (90%) volt a domináns pollentípus a méz fajtájának megfelelően.

1. táblázat: Mézminták azonosítása és érzékszervi jellemzői.

Fajtaméz, Növény	Domináns pollen (%)	Érzékszervi jellemzők (Szín, Szag és Konzisztencia)	ABS ₄₅₀₋₇₂₀ (mAU)
Akác, <i>Robinia pseudoacacia</i>	<i>R. pseudoacacia</i> (45,27)	Halvány sárgászöld, gyenge illat, folyékony, viszkózus	119 ± 17
Hárs, <i>Tilia</i> spp.	<i>Tilia</i> spp. (45,89)	Világos borostyán, erős illat, félszilárd, finoman szemcsés	288 ± 14
Napraforgó, <i>Helianthus annuus</i>	<i>H. annuus</i> (47,44)	Aranysárga, gyenge illat, félszilárd, durva szemcsés	337 ± 58
Szelídgesztenye, <i>Castanea sativa</i>	<i>C. sativa</i> (90,81)	Vöröses tónusú, sötét borostyán, erős illat, folyékony, viszkózus	447 ± 4,2

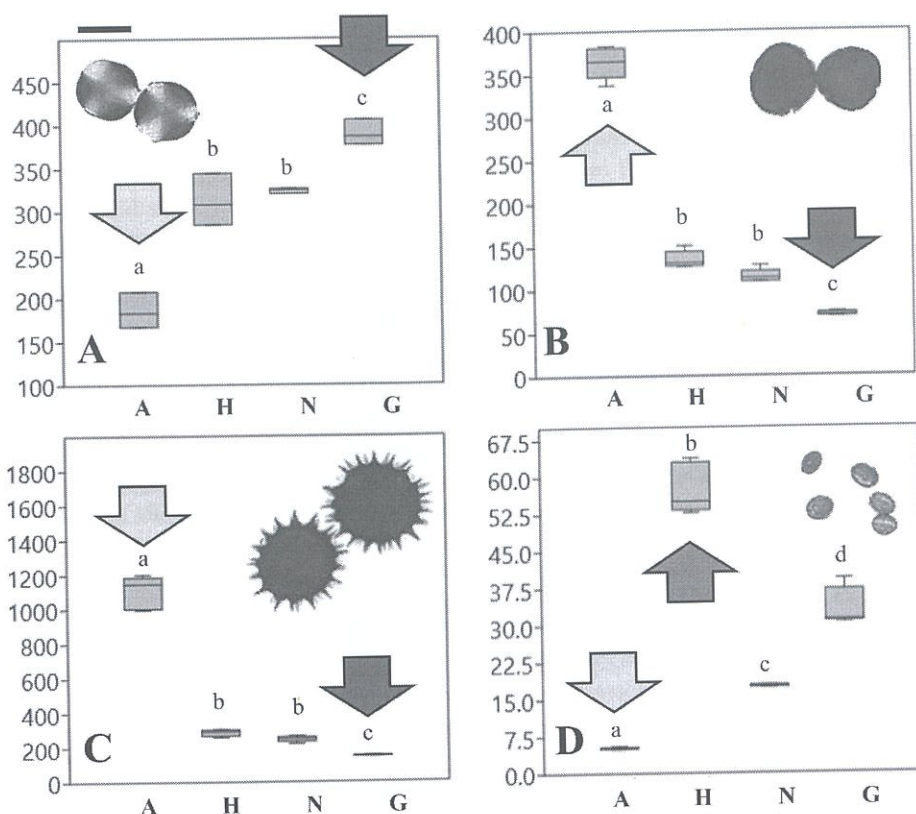
Minden fajtaméz öt különböző mézmintát reprezentál ($n=5$).

A szín fontos minősítő tulajdonsága a méznek, utalhat a florális eredetre és az összetételre egyaránt [23]. Világos színű mézeknek tekinthetjük a 300 mAU alatti színintenzitású mézeket, mint az akác- vagy hársmez, míg a napraforgó- és szelídgesztenyeméz a sötétebb színek kategóriába tartozik [24]. Több kutatócsoport mézmintáinak abszorbanciája is a mi eredményeinkhez hasonló sorrendben emelkedett (akác, hárs, napraforgó, szelídgesztenye) [24, 25, 26].

A mézminták antioxidáns kapacitása

Az antioxidáns kapacitás az adott rendszerre vonatkozó összes antioxidáns vegyület együttes hatását jelenti [27]. A legmegbízhatóbb eredmény érdekében többféle nemenzimatis antioxidáns mérést kivitelezünk. A DPPH és TEAC módszer esetén minél alacsonyabb az IC₅₀ érték, annál jelentősebb a szabadgyökfogó kapacitás.

Az általunk vizsgált fajtamézek aktivitása széles skálán mozgott (2. ábra). Mindegyik eljárás esetén a legvilágosabb színű akácméz minták antioxidáns aktivitása volt a legalacsonyabb, hasonlóan más kutatócsoportok eredményéhez [18, 24, 25]. Szignifikánsan magasabb értékeket mértünk a hárs-, napraforgó-, illetve gesztenyemézek esetén, amelyek nagy mennyiségben tartalmaztak antioxidáns vegyületeket. A napraforgómézek TRC eredményei összhangban voltak a Pauliuc és mtsai. (2020) által közöltekkel, míg a hársmézek esetén Kuš és mtsai. (2014) valamivel magasabb értékeket mértek [3, 28]. Bertonec et al. (2007) a hársmézeknél TRC és DPPH módszerrel kismértékben alacsonyabb aktivitást detektáltak [25]. A TEAC eredmények is erős korrelációt mutattak a színparaméterekkel, más kutatócsoportok tapasztalataihoz hasonlóan [29, 30]. A hárs- és napraforgómézek antioxidáns kapacitása hasonló volt, míg a legsötétebb gesztenyeméz minták aktivitása kiemelkedett a SET-alapú módszerekkel. A szelídgesztenyeméz jelentős szabadgyökfogó tulajdonságát számos kutató bizonyította [31, 32]. Figyelemre méltó, hogy a HAT-alapú ORAC eljárás alapján a világos színű hársmézek magasabb antioxidáns kapacitással rendelkeztek, mint a sötétebb gesztenyemézek. Bogdanov et al. (2016) is magas aktivitást detektáltak a világosabb színű számocefa (*Arbutus* spp.) és savanyúfa (*Oxydendrum arboreum* L.) mézek sötétebb fajtamézekkel történő összehasonlítása során [33]. Más tesztekhez képest az ORAC az antioxidánsok különböző csoportjait is méri, így biológiai szempontból az egyik legrelevánsabb módszernek tekinthető [9]. Az a megfigyelés, hogy a világos színű mézek alacsonyabb antioxidáns hatással rendelkeznek, mint a sötét színűek, vizsgálatsorozatunkra is érvényesnek tűnik, kivéve a világos borostyánszínű hársmez esetében. A teljes antioxidáns kapacitás és szín pozitív korrelációját több kutatás is alátámasztja [25, 34, 35].



2. ábra: Mézminák teljes antioxidáns kapacitása. **A.** TRC (mg GAE kg⁻¹); **B.** TEAC (IC₅₀ mg ml⁻¹); **C.** DPPH (IC₅₀ mg ml⁻¹); **D.** ORAC (μmol TE g⁻¹). Az adatok az *n* mintaszám átlag ± szórásban kifejezett értékei (*n*=5). A különböző kisbetűk szignifikáns különbségeket jeleznek a Student-féle *t*-próba (*p* < 0,001) szerint. A világos nyilak a legalacsonyabb, a sötét nyilak a legmagasabb antioxidáns kapacitású mintákat jelzik. Mézminák: **A**-akác; **H**-hárs; **N**-napraforgó; **G**-gesztenye. Az ábrán látható pollentípusok: **A**-akácpollen; **B**-hárs pollen; **C**-napraforgópollen; **D**-szelídgesztenyepollen. Az akácpollen feletti skála: 25 μm.

Mézminák makroelem tartalma

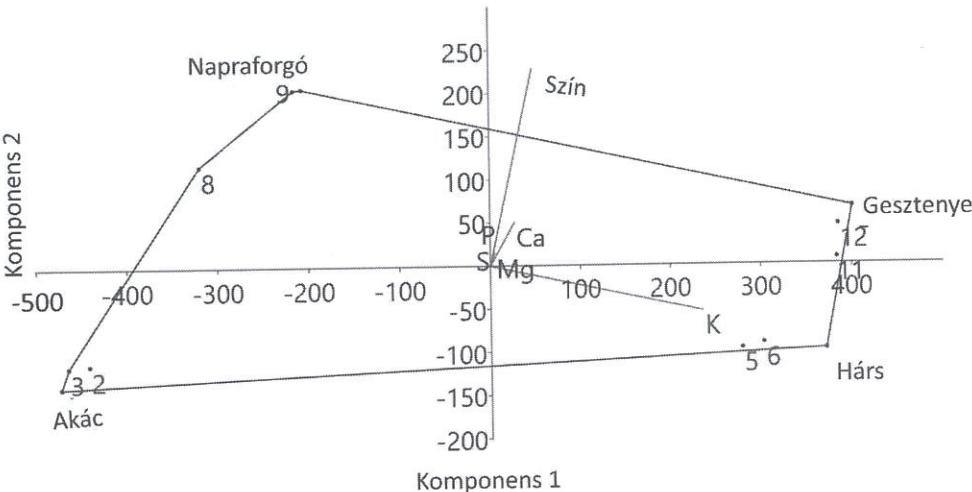
Elvárásainknak megfelelően a kálium volt a legnagyobb mennyiségben előforduló ásványi anyag az összes vizsgált fajtamézben (2. táblázat). A világos hársmézek szignifikánsan magasabb káliumtartalommal (861 mg kg⁻¹) rendelkeztek, mint a legvilágosabb színű akácméz (113,4 mg kg⁻¹), vagy a sötétebb napraforgóméz (252,6 mg kg⁻¹) minták. A hársmézeknél kapott számadatok átlaga megközelítette a vizsgálatban legsötétebb színnel rendelkező szelídgesztenyemézeknél megfigyelt kálium értéket (906,5 mg kg⁻¹). Az átlagos káliumszint az akác- és hársmézekben összhangban állt horvátországi mintákban mért eredményekkel [36]. Bayram és mtsai. (2020) Törökországból származó fajtamézek vizsgálata során jóval magasabb makroelem tartalmat mértek a hársmézek tekintetében (pl. K: 3607,39 mg kg⁻¹, P: 89,50 mg kg⁻¹, Mg: 40,21 mg kg⁻¹), kivéve a kalciumtartalmat, ami hozzávetőlegesen az ötöde volt (32,53 mg kg⁻¹) a mi eredményünknek [37]. A szelídgesztenyeméz esetében azonban hozzánk hasonló értékeket kaptak. Viszonylag magas kálium és kalcium mennyiséget figyeltek meg Magyarország más részeiről származó hárs- és szelídgesztenyemézekben egyaránt [38, 39]. Czipa és mtsai. (2015) magasabb kén tartalmat detektáltak a magnéziumszinthez viszonyítva az akácméz mintákban, eredményeinkhez hasonlóan [38]. A kén mennyisége

(10,9 mg kg⁻¹) közel kétszerese volt a magnéziuménak (5,5 mg kg⁻¹). Ezzel ellentétben a többi hazai fajtaméznél a magnéziumtartalom volt jelentősebb. Az akácmézek kalcium- és foszfortartalom tekintetében is eltérést mutattak. A kalcium mennyiségéhez képest magasabb foszforszintet mértünk, míg a másik három mézmintánál alacsonyabbat. Nayik és mtsai. (2018) szintén magasabb foszfortartalmat detektáltak az Indiából származó akácméz mintáknál [40]. A kálium és kalcium kivételével, megfigyeléseink alapján minél sötétebb a méz, annál jelentősebb a benne megtalálható makroelemek mennyisége (3. ábra).

2. táblázat: A vizsgált fajtamézek makroelem tartalma.

Fajtaméz	K (mg kg ⁻¹)	Ca (mg kg ⁻¹)	P (mg kg ⁻¹)	S (mg kg ⁻¹)	Mg (mg kg ⁻¹)
Akác	113,4 ± 13,6 ^a	15,1 ± 1,4 ^a	31,4 ± 5,5 ^a	10,9 ± 1,9 ^a	5,5 ± 1,3 ^a
Hárs	861,3 ± 48,6 ^b	161,1 ± 22,3 ^b	39,6 ± 3,1 ^a	17,2 ± 1,6 ^b	23,3 ± 1,8 ^b
Napraforgó	252,6 ± 4 9,0 ^c	133,9 ± 30,4 ^c	53,4 ± 5,7 ^b	22,1 ± 2,9 ^{b,c}	28,2 ± 9,1 ^{b,c}
Szelídgesztenye	906,5 ± 6,20 ^b	123,7 ± 5,60 ^c	60,5 ± 2,4 ^b	25,4 ± 0,4 ^c	32,2 ± 1,1 ^c

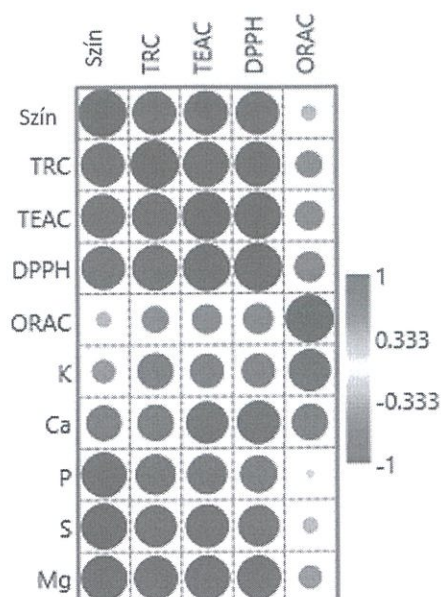
Az átlag ± szórás értékek három független mérésből származnak (n=3). Az azonos oszlopban lévő, különböző betűkkel jelölt átlagok a Student-féle t-próba szerint szignifikánsan különböznek egymástól (p < 0,05).



3. ábra: A mézminták makroelemtartalmának és színparamétereinek főkomponens-analízise (PCA).

Az eredmények közötti korreláció vizsgálata

A TRC, TEAC és DPPH módszerek antioxidáns kapacitás eredményei szignifikáns korrelációt mutattak a mézek színintenzitásával (r = 0,89 – 0,91; p < 0,001), míg a HAT-alapú ORAC eljárás esetén nem tapasztaltunk ilyen jellegű összefüggést (r = 0,29; p > 0,05) (4. ábra). A három, elektrontranszferrel járó módszer egymással is erősen korrelált, miközben az ORAC csak a legfontosabb makroelemmel, a káliummal jelzett szoros összefüggést. Emelett jelentős korreláció volt kimutatható a SET-módszerek eredményei, a szín és a többi makroelem között.



4. ábra: Szín-, antioxidáns- és makroelem-paraméterek korrelációs mátrixa (Pearson-féle korrelációs együttható) magyar fajtamézekben.

Összefoglalás

Négy monoflorális magyar mézen végzett vizsgálatunk igazolta és alátámasztotta a mézek botanikai eredete, antioxidáns kapacitása és ásványianyag-tartalma közötti összetett kapcsolatot. Eredményeink alapján a hagyományosan alkalmazott melisszopolinológiai analízis mellett az antioxidáns aktivitás és a makroelemek mennyisége is markerként szolgálhat az egyes mézféleségek azonosítására, illetve azok lehetséges egészségügyi előnyeinek felmérésére.

Köszönetnyilvánítás

A munka az NKFIH K 132044-es pályázatának a támogatásával készült.

Irodalom

- [1] Mracevic, S.D., Krstic, M., Lolic, A. et al.: Comparative study of the chemical composition and biological potential of honey from different regions of Serbia. *Microchem. J.*, 2020, 152, 104420.
- [2] Wang, C., Guo, M., Zhang, N. et al.: Effectiveness of honey dressing in the treatment of diabetic foot ulcers: A systematic review and meta-analysis. *Complement. Ther. Clin. Pract.*, 2019, 34, 123-131.
- [3] Kuś, P.M., Congiu, F., Teper, D. et al.: Antioxidant activity, color characteristics, total phenol content and general HPLC fingerprints of six Polish unifloral honey types. *LWT - Food Sci. Technol.*, 2014, 55, 124-130.
- [4] Bodó, A., Radványi, L., Kőszegi, T. et al.: Melisszopolinológia, antioxidáns aktivitás és multielem analízis két fajta tavaszi mézről Magyarországon. *Food Biosci.*, 2020, 35, 100587.
- [5] Israili, Z.H.: Antimicrobial properties of honey. *Am. J. Ther.*, 2014, 21, 304-323.

- [6] D'arcy, B.R.: Antioxidants in Australian Floral Honey – Identification of health-enhancing nutrient components. Rural Industries Research and Development Corporation, 2005.
- [7] Bodó, A., Radványi, L., Kőszegi, T. et al.: Quality Evaluation of Light- and Dark-Colored Hungarian Honey, Focusing on Botanical Origin, Antioxidant Capacity and Mineral Content. *Molecules*, 2021, 26, 2825.
- [8] Pontis, J.A., Costa, L.A.M.A., Silva, S.J.R.D. et al.: Color, phenolic and flavonoid content, and antioxidant activity of honey from Roraima, Brazil. *Food Sci. Technol.*, 2014, 34, 69-73.
- [9] Martinello, M., Mutinelli, F.: Antioxidant activity in bee products: A review. *Antioxidants*, 2021, 10, 71.
- [10] Pellegrini, N., Serafini, M., Colombi, B. et al.: Total antioxidant capacity of plant foods, beverages and oils consumed in Italy assessed by three different *in vitro* assays. *J. Nutr.*, 2003, 133, 2812-2819.
- [11] Lewoyehu, M., Amare, M., Yildiz, F.: Comparative evaluation of analytical methods for determining the antioxidant activities of honey: A review. *Cogent Food Agric.*, 2019, 5, 1685059.
- [12] Sager, M.: The honey as a bioindicator of the environment. *Ecol. Chem. Eng. S.*, 2017, 24, 583-594. doi: [10.1515/eces-2017-0038](https://doi.org/10.1515/eces-2017-0038)
- [13] Morse, R.A., Lisk, D.J.: Elemental analysis of honeys from several nations. *American Bee Journal*, 1980, 120, 522-523.
- [14] Perna, A., Simonetti, A., Gambacorta, E.I.I.: Antioxidant properties, polyphenol content and colorimetric characteristics of different floral origin honeys from different areas of southern Italy. *J. Life Sci.*, 2013, 7, 428-436.
- [15] Bartha, Sz., Taut, I., Goji, Gy. et al.: Heavy metal content in polyfloral honey and potential health risk. A case study of Copșa Mică, Romania. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2020, 17, 1507.
- [16] Solayman, M., Islam, M.A., Paul, S. et al.: Physicochemical properties, minerals, trace elements, and heavy metals in honey of different origins: A comprehensive review. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.*, 2016, 15, 219-233.
- [17] Von Der Ohe, W., Persano Oddo, L., Piana, M.L. et al.: Harmonized methods of melissopalynology. *Apidologie*, 2004, 35, 18-25.
- [18] Beretta, G., Granata, P., Ferrero, M. et al.: Standardization of Antioxidant Properties of Honey by a Combination of Spectrophotometric/Fluorimetric Assays and Chemometrics. *Anal. Chim. Acta.*, 2005, 533, 185-191.
- [19] Persano Oddo, L., Bogdanov, S.: Determination of honey botanical origin: Problems and issues. *Apidologie*, 2004, 35, 2-3.
- [20] Magyar élelmiszerkönyv, 2-100 számú irányelv: Megkülönböztető minőségi jelöléssel ellátott mézfélékről. 1. kiadás, Magyar Élelmiszerkönyv Bizottság, Budapest, 2009.
- [21] Sari, E., Ayyildiz, N.: Biological activities and some physicochemical properties of sunflower honeys collected from the thrace region of Turkey. *Pak. J. Biol. Sci.*, 2012, 15, 1102-1110.
- [22] Manzanares, A.B., García, Z.H., Galdón, B.R. et al.: Physicochemical characteristics and pollen spectrum of monofloral honeys from Tenerife, Spain. *Food Chem.*, 2017, 228, 441-446.
- [23] Terrab, A., González-Miret, L., Heredia, F.J.: Colour characterisation of thyme and avocado honeys by diffuse reflectance spectrophotometry and spectroradiometry. *Eur. Food. Res. Technol.*, 2004, 218, 488-492.
- [24] Cimpoiu, C., Hosu, A., Miclaus, V. et al.: Determination of the floral origin of some Romanian honeys on the basis of physical and biochemical properties. *Spectrochim. Acta. A. Mol. Biomol. Spectrosc.*, 2013, 100, 149-154.

- [25] Bertoncej, J., Doberšek, U., Jamnik, M. et al.: Evaluation of the phenolic content, antioxidant activity and colour of Slovenian honey. *Food Chem.*, 2007, 105, 822-828.
- [26] Flanjak, I., Kenjeric, D., Bubalo, D. et al.: Characterisation of selected Croatian honey types based on the combination of antioxidant capacity, quality parameters, and chemometrics. *Eur. Food. Res. Technol.*, 2016, 242, 467-475.
- [27] Cornetti, U.: Antioxidant use in nutraceuticals. *Clin. Dermatol.*, 2009, 27, 175-194.
- [28] Pauliuc, D., Dranca, F., Oroian, M.: Antioxidant activity, total phenolic content, individual phenolics and physicochemical parameters suitability for Romanian honey authentication. *Food*, 2020, 9, 306.
- [29] Lianda, R.L.P., Sant'ana, O.L., Echevaria, A. et al.: Antioxidant activity and phenolic composition of Brazilian honeys and their extracts. *J. Braz. Chem. Soc.*, 2012, 23, 618-627.
- [30] Perna, A., Simonetti, A., Intaglietta, I. et al.: Metal content of southern Italy honey of different botanical origins and its correlation with polyphenol content and antioxidant activity. *Int. J. Food Sci. Technol.*, 2012, 47, 1909-1917.
- [31] Kaygusuz, H., Tezcan, F., Erim, F.B. et al.: Characterization of Anatolian honeys based on minerals, bioactive components and principal component analysis. *LWT-Food Sci. Technol.*, 2016, 68, 273-279.
- [32] Combarros-Fuertes, P., Estevinho, L.M., Dias, L.G. et al.: Bioactive components and antioxidant and antibacterial activities of different varieties of honey: A screening prior to clinical application. *J. Agric. Food Chem.*, 2018, 67, 688-698.
- [33] Bogdanov, S.: Honey as nutrient and functional food. *Proteins*, 2016, 1100, 1400-2700.
- [34] Alvarez-Suarez, J.M., Tulipani, S., Diaz, D. et al.: Antioxidant and antimicrobial capacity of several monofloral Cuban honeys and their correlation with color, polyphenol content and other chemical compounds. *Food Chem. Toxicol.*, 2010, 48, 2490-2499.
- [35] Gorjanović, S.Ž., Alvarez-Suarez, J.M., Novaković, M.M. et al.: Comparative analysis of antioxidant activity of honey of different floral sources using recently developed polarographic and various spectrophotometric assays. *J. Food Compos. Anal.*, 2013, 30, 13-18.
- [36] Bilandžić, N., Gačić, M., Djokić, M. et al.: Major and trace elements levels in multifloral and unifloral honeys in Croatia. *J. Food Compos. Anal.*, 2014, 33, 132-138.
- [37] Bayram, N.E., Canli, D., Gercek, Y.C. et al.: Macronutrient and micronutrient levels and phenolic compound characteristics of monofloral honey samples. *J. Food Nutr. Res.*, 2020, 59, 211-322.
- [38] Czipa, N., András, D., Kovács, B.: Determination of essential and toxic elements in Hungarian honeys. *Food Chem.*, 2015, 175, 536-542.
- [39] Sajtos, Z., Herman, P., Harangi, S. et al.: Elemental analysis of Hungarian honey samples and bee products by MP-AES method. *Microchem. J.*, 2019, 149, 103968.
- [40] Nayik, G.A., Suhag, Y., Majid, I. et al.: Discrimination of high altitude Indian honey by chemometric approach according to their antioxidant properties and macro minerals. *J. Saudi Soc. Agric. Sci.*, 2018, 17, 200-207.

A LED MEGVILÁGÍTÁS JELENTŐSÉGE A MIKROZÖLDEK FENNTARTHATÓ TERMESZTÉSE SORÁN

Pálfi Péter¹, Szepesi Ágnes¹, Kovács Henrietta¹, Rónavári Andrea², Kónya Zoltán²

¹SZTE TTIK Növénybiológiai Tanszék

²SZTE TTIK Alkalmazott és Környezeti Kémiai Tanszék

A fény szerepe alapvető jelentőségű a növények számára, hiszen egyrészt energiát biztosít a fotoszintézis folyamatához, másrészt a fény minden paramétere fontos információként szolgál és hatással van a növekedésükre, fejlődésükre és metabolizmusukra. Ennek jelentőségét felismerve, a szükséges technikai háttérrel biztosító fénykibocsátó diódák (light-emitting diodes, LED berendezések) megjelenése tette lehetővé, hogy a megvilágítás testreszabásával képesek legyünk a növények termesztésének optimalizálására. A fény növényekre gyakorolt hatásának megismerése hatalmas lehetőségeket rejt a jövőbeli fenntartható mezőgazdasági termelés számára, ám számos nehézséget okoz a különböző megvilágítási paraméterekre (hullámhossz, intenzitás, időtartam, frekvencia) adott általános növényi válaszreakciók leírása, mivel sok esetben fajfüggő, sőt fajtafüggő változások is indukálódhatnak. A jelen könyvfejezetben kitérünk azokra a megvilágítási paraméterekre, amelyek megoldásul szolgálhatnak a kiváló beltartalmi értékekkel rendelkező mikroözlő növények fenntartható termesztéséhez.

A mikroözlők népszerűsége

Az antioxidáns mechanizmusok és az oxidánsok termelése közötti egyensúly, ha felborul, akkor oxidatív stressz alakulhat ki. Az oxidatív stressz hozzájárulhat számos megbetegedés, mint például a rák vagy az Alzheimer-kór kialakulásához. Hatásukat kétféle útvonalon keresztül is képesek a reaktív oxigén formák (ROS) kifejteni. Egyrészt a felszabaduló ROS-ok károsíthatják a sejt makromolekuláit, így a lipideket a sejtmembránban, a strukturális fehérjéket és enzimeket, vagy akár a nukleinsavakat, másrészt pedig nem megfelelő redox jelzések alakulhatnak ki, hiszen például a H_2O_2 szignálmolekulaként is funkcionál, ami stressz alkalmával nem fiziológiásan is képződhet [1]. A ROS-ok termelődését gátolják, illetve a jelenlévő szabad gyökök semlegesítését elősegítik az antioxidánsok, így fokozottabb védelemre lehet szert tenni, ha antioxidánsokban gazdag természetes élelmiszereket fogyasztunk [2]. A fitokémiai vegyületek felhalmozódása az érett növényekhez képest sokkal nagyobb mértékű a fejlődésük elején járó növényekben, vagyis a csíranövényekben, mikroözlőkben és bétilevekben [3].

A csíranövények, mikroözlők és bétilevek az ehettő növények egyedfejlődése során egymást követő állapotok, mely szintek mindegyikén fogyasztják azokat, de a termesztésük, illetve az elfogyasztott növényi szervek között vannak eltérések [4]. A csíranövény elnevezés a növényi egyedfejlődés első szakaszát, a mag csírázását követő állapotot jelöli. A magok csíráztatásához nincs szükség sem fényre, sem ültető közegre. Fogyasztásakor az egész csíranövény hasznosításra kerül. A csíranövény stádiumot követően a mikroözlő fázisba kerülnek a növények, ekkor már kifejlődtek a sziklevek, sőt az első valódi levelek is elkezdtek megjelenni. A mikroözlők termesztéséhez a csíranövényekkel ellentétben már szükség van fényre és ültetőközegre, fogyasztásuk pedig az ültető közeg feletti részekre korlátozódik, vagyis a szárra, sziklevelekre és a valódi levelek kezdeményeire. Miután több valódi levéllel is rendelkeznek a növények, már bétilevekként fogyasztják azok valódi leveleit és levélnyeleit. A bétilevek a mikroözlökhöz hasonlóan szintén fényben fejlődnek, valamint az ültető közeg szintén szükséges a termesztésükhöz, mely lehet talaj vagy más közeg [4].