



**MÓDSZERFEJLESZTÉS ÉS -ÉRTÉKELÉS
GAZDASÁGILAG FONTOS HASZONNÖVÉNYEK
LÉGTERÉBŐL SZÁRMAZÓ SZERVES
ILLÉKONY VEGYÜLETEK
MINTAVÉTELEZÉSÉHEZ, GC-MS
ANALÍZISÉHEZ ÉS ELŐREJELZÉSI CÉLÚ
FELHASZNÁLÁSÁHOZ**

Doktori értekezés tézisei

HAMOW KAMIRÁN ÁRON

Gödöllő

2024

Doktori Iskola: *Növénytudományi Doktori Iskola*

Tudományága: **Növénytermesztési és kertészeti tudományok**

Vezetője: Dr. Helyes Lajos
Egyetemi tanár, CMHAS
MATE

Témavezető: Dr. Posta Katalin
Egyetemi tanár, DSc.
MATE, Genetika és Biotechnológia Intézet

.....
Dr. Helyes Lajos
Iskolavezető

.....
Dr. Posta Katalin
Témavezető

BEVEZETÉS - A TÉMA FONTOSSÁGA

A mezőgazdasági kutatások körébe tartozik a növényi illékony szerves vegyületek (VOC-k) megismerése és kulcsfontosságú szerepük a stresszek és fiziológiai változások jelzésében. Számos kutatócsoport foglalkozott a növényi fertőzések kimutatásával, az egészséges növényektől való elkülönítéssel, valamint a VOC-k elemzésével (Jansen et al. 2010, Elad et al. 2016, Kasal-Slavik et al. 2017). A kórokozó-növény kölcsönhatáshoz köthető BVOC-k (biogén illékony szerves vegyületek), lényegesen és dinamikusan módosíthatják a VOC-profilt a szántóföldön és felett, akár nagyobb léptékben is. A BVOC-k biológiai molekulák, egyes képviselőik biomarkerek (BBVOC), amik funkcionálhatnak normális vagy kóros folyamatot/állapotot/betegséget megbízhatóan jelezve a korai fertőzések kimutatására vagy előrejelzésére (Li et al. 2019). Jelenleg azonban meglepően keveset tudunk a kifejezetten szántóföldekről származó BVOC-emisszió összetételéről és mennyiségéről (Guenther 2013, Bachy et al. 2016 és 2020), ami ellentétben áll ezek viszonylag nagy területi kiterjedésével az agrár-ökoszisztémáink tekintetében. Ezért kiemelten fontos, hogy pontos összetételüket, időbeli és földrajzi eloszlásukat, valamint fluxusaikat jellemezzük és megértsük. A növényi, növénypatogén, a talaj ill. annak mikrobiomjainak és a mezőgazdaságból származó VOC emissziók mérése és elemzése egyre fontosabb a kémiai ökológia, az agrárkörnyezet, az élelmiszerbiztonság és a növényi kórtan, s így általánosan az agrárium kapcsolódó volatilmikrokozmosz szempontjából. A martonvásári HUN-REN Agrártudományi Kutatóközpont E-orr laboratóriumába ágyazott csoportunk célja a gazdaságilag fontos agrárnövények, a hozzájuk köthető kártevők és kórokozók által kibocsátott bonyolult illatkompozíciók megkülönböztetése volt, annak érdekében, hogy elősegítsük a kártételek és fertőzések korai észlelését illatváltozások révén. A VOC gyűjtéshez használatos mintavételi technikák közül a non-invazívak lehetnek statikus vagy dinamikus (DHS) jellegűek, mint például a “pull-type open-loop DHS” típusú VOC csapdázási technika, amelyet SPE (szilárd fázisú extrakció) követ a folyadékminta létrehozásának érdekében.

Ezen minták ún. nem-célzott GC-MS (gázkromatográffal kapcsolt tömegspektrométer) analízise pedig olyan gyakorlati megközelítés („pull-type open-loop-DHS-SPE-GC-MS”), amelyet számos tudományterület alkalmaz. Azonban az alkalmazott technikák, különösen a DHS alapúak és adszorbens típusaik, valamint az adszorbens SPE előkészítése kapcsán a módszerek teljesítményjellemzői alaposabb meghatározásra várnak. Ezek meghatározása javítja a kapott mérési eredmények pontosságát és megismerve azok korlátait, segíti az eredmények helytálló értelmezését, illetve a módszerek fejlődését és finomítását. Kutatócsoportunk adaptálta, tesztelte és finomította a pull-type open-loop-DHS-SPE-GC-MS megközelítést és biomarker biogén illékony szerves vegyület(ek) másnéven BBVOC(-k) feltárásának céljából alkalmazta különböző növényi gazdaszervezetekre és kórokozókra. A BBVOC-k megfeleltethetők a különböző kóros állapotoknak a növény növekedésének és fertőzésének különböző szakaszaiban. A GC-MS adatokat adatbázisba rendezve gépi tanulási modelleket alapoztunk meg: ezek a VOC mintázatokból képesek egyrészt a BBVOC-k kijelölésére (más, pl. klasszikus vagy multivariáns statisztikai módszerek mellett), illetve az egészséges és kóros állapotot mutató növények prediktív megkülönböztetésére. A számos vizsgált növény-patogén reláció közül elsősorban a búza-lisztharmat (*Pm*) kölcsönhatás VOC mintázatainak vizsgálata és bemutatása szerepel doktori értekezésem fókuszpontjában, mivel a búza a legfontosabb gabonafélének a mérsékelt éghajlaton (200 millió hektáron kb. 750 millió tonnát takarítottak be globálisan 2020-ban). A lisztharmat betegség, amelyet a *Blumeria graminis* f.sp. *tritici* (*Bgt*) okoz, a búza egyik legelterjedtebb lombbetegsége. Gyakorlatilag mindenhol előfordul, ahol búzát termesztenek, és így világszerte több millió hektárról felelhet BVOC vegyületek kibocsátásáért. A megfelelő védekezés nélkül, és a kórokozónak kedvező abiotikus tényezők esetében a termés csökkenés extrém esetben akár 40-50%-ot is elérhet (Savary et al. 2019), emellett romlik a betakarított gabona minősége is (Gao et al. 2018). A *Bgt* obligált biotróf kórokozó, azaz csak élő növények levelein nő.

Korábban e fontos kölcsönhatás VOC mintázatait senki sem vizsgálta. A búza (valamint a kalászos gabonák és egyszikűeké általában) VOC-kibocsátása kevésbé összetettnek tűnik a többi növényhez képest (Gomez et al. 2019; Bachy et al. 2020). Ez a viszonylag „zajszegény” illatháttér egy eddig észrevétlen előnyt biztosít, és kiváló kísérleti rendszert jelent a specifikus gombafertőzésekhez köthető BVOC-k kiszűrésére. A gombapatogének ugyanis igen erős illatemisszióval jellemezhetőek, specifikus és sajátos illékony másodlagos anyagcsereterméket állítva elő a növény-patogén kölcsönhatás során (Hamow et al. 2021). A *Bgt* vagy a kalászos gabonáink más gomba kórokozói általi fertőzés progressziója során a BBVOC-ok feltárása, valamint az eredmények ezt követő hasznosítása kiemelten fontos kutatási terület a precíziós mezőgazdaságban.

ANYAG ÉS MÓDSZEREK

1. Előkísérletek különböző növény-patogén relációk és VOC mintázási módszertani megközelítések felmérésére (Radványi et al. 2019)

Növényfajta	Genotípus	Nevelési körülmények	Inokulált patogén	Mintavétel ideje, módja, időtartama és hőmérséklete
Búza (<i>Triticum aestivum</i>)	Carsten V	18-20°C, hosszú nappal	<i>Blumeria graminis</i> f. sp. <i>tritici</i> type 51	(7 nappal az inokulációt követően - DAI) és előrehaladott stádiumban (14 DAI); n=8, DHS mintavétel (Porapak Q), 24 h, 25-30°C
Árpa (<i>Hordeum vulgare</i>)	Harrington (BC 52), Mv Initium (BC 5), KH Hunor (BC 168)	25°C, hosszú nappal	<i>Pyrenophora teres</i> f. <i>teres</i>	Harrington: 7 DAI (n=1 kontroll, sebzett és inokulált esetben), és 20 DAI (n=2 kontroll és inokulált); Mv Initium: 8 DAI (n=1), KH Hunor: 23 and 37 DAI (n=2 kontroll és inokulált) DHS mintavétel (Porapak Q), 24 h, 25-30°C
Paradicsom (<i>Solanum lycopersicum</i>)	Uno Rosso F1	25°C, természetes fény	<i>Botrytis cinerea</i> (B0510)	A fertőzés láthatóan előrehaladott állapotában SPME (50/30 µm DVB/CAR/PDMS), 30 min, 25-30°C

2. Növényanyag és búza oltási kezelés – PM VOC felmérések üvegházi és fitotron kamrás kísérletekben

A fogékony kenyérbúza fajta, a 'Carsten V' magvait (20-30 darabot) minden esetben 1 literes agyagos cserepekbe, kerti talajba ültettük, amelyek tetejükön 1 cm vastagságban homokréteget tartalmaztak annak érdekében, hogy a talajból származó VOC-k okozta háttérrel minimalizáljuk. Egy kivétellel a 'Carsten V' kenyérbúza fajta került minden kísérletben felhasználásra, mivel nem tartalmaz ismert *Pm* rezisztencia géneket a lizstharman ellen (Vida et al. 2002), ezért várhatóan minden *Bgt* patotípusra fogékonyak tekinthető. A növények automatizált üvegházban kerültek nevelésre és mintázásra, ahol a páratartalom 60-90% volt. Három független kísérletet végeztünk egymást követő években, hogy szimuláljuk a környezeti tényezők változását: 2018 január-február (28 nap), 2019 február-március (31 nap) és 2020 február (29 nap). A hőmérséklet folyamatosan, 10 perces időközönként az üvegházon kívül és belül is regisztrálásra került. A pull-type open-loop-DHS mintavételezés időtartama 24 óra volt, és 50 mg Porapak Q adszorbens tartalmú VOC csapdák használatával történt, 0,8 liter percenkénti áramlási sebességgel (Hamow et al. 2021). Az inokulációt kézi rászórással végeztük: a *Bgt* 51 és 71 patotípusok konídiumospórait egy zárt dobozban a 7 napos teszt növények ugyanazon leveleire inokuláltuk (a Zadoks-skála 11-12. szakaszában, Zadoks et al. 1974). 2020 májusában két búzafajtát ('Mv Suba' és 'Mv Kolompos') neveltünk fel a klímakamrákban a T2 tavaszi programnak megfelelően (Tischner et al., 1997). Az inokulációra a virágzás kezdetekor került sor *Fusarium graminearum*/*F. culmorum* konídiumspóra keverékkel, azonban 15 nap elteltével enyhe PM tünetek is feltűntek a *Fusarium* fertőzött és ezáltal legyengült növényeken. Ez kiváló lehetőséget biztosított arra, hogy szélesebb körű alkalmazhatóságot és az azonosított BBVOC-k megjelenésének reprodukálhatóságát spontán ismeretlen patotípus-összetétel és kevert patogén háttér esetén vizsgáljuk. A mintavétel időtartama ennél a kísérletnél 8 óra volt (Hamow et al. 2021).

Kísérleti elrendezés és független ismétlődő minták száma Bgt-vel beoltott búzanövények fejteréből üvegházban ("Carsten V") három egymást követő évben (2018-2020) és egy növekedési kamrában ("Mv Suba" és "Mv Kolompos"), 2020)

Kezelés	DAI	Üvegház				Kézelés végösszeg	Fitotron kamra	Teljes összeg
		2018	2019	2020	Részösszeg			
Kontroll	7	4+4	-	4+4	16	40	8+8	56
	14	4+4	4+4	4+4	24			
Inokulált	7	4+4	-	4+6*	18	48	8+8	64
	14	4+4	6*+6*	4+6*	30			
Részösszeg		16+16	10+10	16+20	88	88	16+16	120
Végösszeg (Év)		32	20	36			32	
Analízis típusa		nem-célzott		célzott			nem-célzott	
(VOC-k száma)		(48)	(48)	(6)				

DAI: Inokuláció óta eltelt napok száma; *négy párhuzamos inokuláció 51-es patotípussal + két ismétlés 71-es patotípussal

3. Open-loop pull-type-DHS VOC gyűjtés és azt követő SPE típusú mintaelőkészítés

A felhasznált oldószerek HPLC/GC minőségűek voltak. A 97 referenciaanyag a Merck-Sigma csoporttól, míg az (5Z)-okta-1,5-dién-3-ol a Toronto Research Chemicals-tól került beszerzésre. A DHS mintavételhez használt VOC csapdába töltött 50 mg Porapak Q adszorbenst a Waters Corp. szállította. A rendelkezésre álló referenciaanyagokból 1 mg ml⁻¹ koncentrációjú törzsoldatok készültek, amelyek PTFE betéttel ellátott kupakkal zárható, csavaros boroszilikát centrifugacsövekben,

fagyasztóban, -20°C -on kerültek tárolásra. A mennyiségi meghatározást minden kísérlet során külső oldószer alapú kalibrációval végeztem. A kalibráció, a minőségi- és mennyiségi analízis, valamint a teljesítményparaméterek vizsgálata a növényvédő szer-maradék analitikában használatos SANTE/11312/2021 dokumentumban foglaltak szerint került végrehajtásra és értékelésre. Ha másként nem került feltüntetésre, mindez $0,1\text{-}2,5\ \mu\text{g ml}^{-1}$ koncentrációtartományra vonatkozott (azaz $\text{ng}\ \mu\text{l}^{-1}$ injektált térfogat szerint $0,1\text{-}2,5\ \text{ng}$ oszlopra történő injektálásnak felelt meg), amely legalább három pontos kalibráción alapult. A visszanyerés vizsgálati kísérletek során az eluálási térfogatra vonatkoztatva $1\ \mu\text{g ml}^{-1}$ koncentrációt addicionáltunk. A hozzáadás, mintavételezés stb. lépések után az adszorbens csövek $300\ \mu\text{l}$ n-hexánnal kerültek eluálásra, míg a VOC csapdákat szerves oldószerrel, majd nitrogén gázárammal öblítettük át és tisztítottuk. Az eluátumokhoz belső standardként $2\ \mu\text{l}$ n-hexánban oldott 1-brómdekánt adagoltunk $100\ \text{ng}$ mennyiségben. A folyamatos DHS mintavételezés minden kísérletben 6 vagy 8 óra hosszúsággal, az üvegházi kísérletek során pedig 24 órán át történt $0,8\ \text{L perc}^{-1}$ áramlási sebességgel. A mintavételhez a gőzteret speciális boroszilikát üvegburákkal vagy PTFE zacskókkal határoltuk le a mintavételezett növények/növényrészek körül. A deszorpciós veszteség jellemzési vizsgálatoknál a szakaszos (más néven periodikus) DHS mintavételezés ideje alatt az áramlás „be”-re kapcsolt minden 5 percenként, majd 10 percenként ciklikusan ismétlődve „ki”-re a „nose-e” nevű helyi fejlesztésű hordozható VOC gyűjtőberendezés irányítása alatt a mintavétel idejének végéig. A mintavételezés időtartama 6 óra volt 26°C -on e kísérlet szakaszos és folyamatos DHS alkalmazásakor egyaránt. A mintavételezéskor és a növénynevelés alatt az üvegházban a mintavételezési hőmérséklet más kísérletekben nem került szabályozásra, csak 10 percenkénti rögzítésre. A kötőhely-kompetíciós vizsgálatokhoz kereskedelmi forgalomban kapható körte és/vagy paradicsom homogenizált gyümölcsöknek $2\times 5\text{g}$ -ja került behelyezésre, egységes mintafelülettel a mintavételezett gőzterekbe.

4. GC-MS VOC analitikai módszer open-loop pull-type-DHS VOC gyűjtést követő SPE elúcióból származó minták, eluátumok és folyadék minták méréséhez

Az eluátumok és folyadékminták vizsgálata egy Agilent 7890B gázkromatográfhoz kapcsolt 5977B egyszeres kvadrupól tömegspektrométerrel (GC-MS) történt. A gázkromatográf egy Gerstel CIS4 típusú programozottan fűthető és hűthető kriocspadás inlettel és arra telepített szeptum nélküli fejjel és tűvezetővel volt felszerelve. A mintabevitelt a GERSTEL MPS CTC típusú automata mintaadagoló végezte. Az injektált minta térfogata 1 μL volt és az injektálás splitless módban történt (SPME esetén split mód 1:10 split aránnyal). a GC rendszerben 6.0 tisztaságú héliumot alkalmaztunk. A szeptum öblítő gázárama 3 mL perc^{-1} , az inletet öblítő (SPME esetén split) gázáram 50 mL perc^{-1} térfogatáramú volt, mely 3 perc után indult el. Minden mérés kezdete előtt a CIS4 inletet merülő csöves CO_2 -rendszerrel 20°C -ra hűtöttük és ezt a hőmérsékletet 0,5 percen keresztül tartottuk meg. Az injektálás során történő bomlás minimalizálása érdekében az injektor hőmérséklet-szabályzó programja a következő volt: 20°C -on 0,25 percig tartottuk az injektálást követően, majd a CIS4 inletet 12°C másodperc⁻¹ sebességgel 270°C -ra fűtöttük fel, és 6 percen keresztül ezen a hőmérsékleten tartottuk.

Az elválasztáshoz egy J&W HP-5MS UI 30 m \times 0,25 mm \times 0,25 μm kapilláris kolonnát („semi-standard non-polar”) használtunk. Vivőgázként 6.0 tisztaságú héliumot alkalmaztunk 1 mL perc^{-1} (36,26 cm másodperc⁻¹) állandó lineáris áramlási sebességgel. A kolonna felfűtési programja a következő volt: 40°C -on kezdve 3,5 percen keresztül tartva, majd a hőmérséklet növelése $7^\circ\text{C perc}^{-1}$ sebességgel 140°C -ig, ezután $20^\circ\text{C perc}^{-1}$ sebességgel 280°C -ig, tartva azt két percen keresztül.

A detektálás során az elektronütközéses ionizáció standard 70 eV feszültséggel történt. A transzfer line és az ionforrás hőmérséklete 250°C-ra volt állítva, míg az MS kvadrupólé 150°C-ra. A tömegspektrumok pásztázó módban (Scan; spektrum az anyagok azonosításához, nem célzott analízishez) és kiválasztott ionkövetéses (SIM; a célvegyületek legjobbnak vélt jel/zaj viszonyú ionjainak figyelése mennyiségi meghatározáshoz) adatgyűjtési módban, szimultán készültek.

5. Adatok értékelése és bányászata, statisztikai elemzés

A kiértékeléshez a Mass Hunter Qualitative Navigator and Quantitative analysis nevű szoftvereket alkalmaztuk. A vegyületek azonosítása a Wiley Registry® 10. kiadású tömegspektrum adatbázis és a legújabb kereskedelmi forgalomban elérhető NIST17 RI (retenciós index) és MS spektrumkönyvtár segítségével kerültek azonosításra, amihez n-alkán (C7-30) alapú RI meghatározás is történt. A legmagasabb rangú, konzisztens könyvtártalálat (=legalább 75%-os hasonlóság a tömegspektrum visszakeresésével) és RI pontszám-egyezés együttes figyelembevételével végeztem el a VOC-k azonosítását. Az integrálást és a mennyiségi meghatározást minden csúcs esetében a legnagyobb intenzitású és/vagy a legjobb jel/zaj viszonytal jellemezhető egyedi ionra végeztem el. A kimutatási határ alatt lévő csúcsok esetén a háttér mindig nem-nulla értékekkel került rögzítésre a statisztikai tesztek érdekében. A különbségek statisztikai elemzése a kontroll minták, az inokulált minták, valamint a kezelési csoportok között (tüneti stádiumok, patotípusok és évek) kétmintás t-próbákkal, valamint többváltozós PERMANOVA-val készültek. A lehetséges VOC biomarkerek azonosításához hőtérképek és korrelációanalízis, valamint főkomponens analízis (PCA) is készültek az adatdimenziók felügyelet nélküli csökkentése érdekében, az eredeti adatmátrix z-score normalizálásával történő standardizálása után (Hamow et al. 2021).

EREDMÉNYEK ÉS KIÉRTÉKELÉSÜK

1. A KÜLÖNBÖZŐ NÖVÉNY-PATOGÉN RELÁCIÓK ÉS VOC GYŰJTÉSI MÓDSZEREK FELMÉRÉSÉRE VONATKOZÓ ELŐZETES KÍSÉRLETEK EREDMÉNYEI

Az előzetes kísérletek elsődleges célja egy nem-invazív statikus/dinamikus mintavételi és elemzési megközelítés kiválasztása és kipróbálása volt: ezáltal például különböző árpafajták vizsgálata során eltérő aromaprofilokat tártunk fel. Mechanikai sérülés indukálása esetén specifikusan megjelenő zöld levél alkohol (GLV), a (Z)-3-hexenil-acetát megjelenését észleltünk a szakirodalommal összhangban. A *P. teres* által okozott levélrozsda kór előrehaladott időszakában a kromatogramokon a kontrollokhöz képest új vegyületek megjelenését eredményezte. A fertőzés hatására a különböző árpa genotípusok esetén változatos tendenciákat figyeltem meg az illékony vegyületek intenzitásában, ami potenciális BBVOC-kat jelez a fertőzési stádiumokban. Hasonlóképpen, a búza és kórokozója, a *Bgt.* által okozott lisztharmat, illetve a paradicsom esetén a szürkepenészt okozó *B. cinerea* illatprofiljának elemzése számos VOC vegyület változását hozta a kórokozóikkal való mesterséges fertőzés esetén. A búza lisztharmat betegségének relációjában az illékony komponensek közül több, például az okt-1-én-3-ol ígéretes jelöltnek mutatkozott az előzetes kísérletek során, mint illékony biomarkerek (Radványi et al. 2019). Így elsődlegesen a búza-lisztharmat kölcsönhatás alaposabb tanulmányozása került kijelölésre.

2. A PULL-TYPE OPEN-LOOP DHS-SPE-GC-MS MÓDSZERTANI MEGKÖZELÍTÉS TELJESÍTMÉNYJELLEMZŐINEK TESZTEREDMÉNYEI ÉS AZOK KIÉRTÉKELÉSE

2.1 A módszertani megközelítés, ami adaptálásra és tesztelésre került, szakirodalmi háttér szempontjából megfelel a növényvédőszer-maradékok minőségi és mennyiségi analízise kapcsán alkalmazott SANTE/11312/2021 irányelveknek. A Porapak Q alapú VOC csapdák referencia keverékekkel történő közvetlen addicionálása után, az n-hexán mozgófázissal végzett SPE elúció visszanyerés vizsgálatai 1-bromdekán alapú belső standard (IS)

korrekcióval és ill. anélkül készültek. A kísérleti eredmények arra utaltak, hogy az elúciós térfogat IS korrekciója nélkül a visszanyerések túlbecsültek lehetnek: az IS korrekció nélkül mért koncentráció és a kvantitatív pontosság következetesen 40-60%-kal volt felülbecsült. A 96 VOC komponensre végzett IS korrekció esetén az átlagos visszanyerés 87 komponens kapcsán a 60% feletti kategóriába volt besorolható. A 2-metil-tetrahidrofuran-3-on, metil-benzoát, 1,3-dimetoxi-benzol, α -terpineol, (S)-(+)-karvon, eugenol és metil-eugenol visszanyerése a 40% és 60% közötti kategóriába kerültek. A legnagyobb veszteséget a metil-jazmonát és az etil-3-hidroxi-butirát visszanyerése mutatott, amelyek 20% és 40% közötti kategóriával voltak jellemezhetőek.

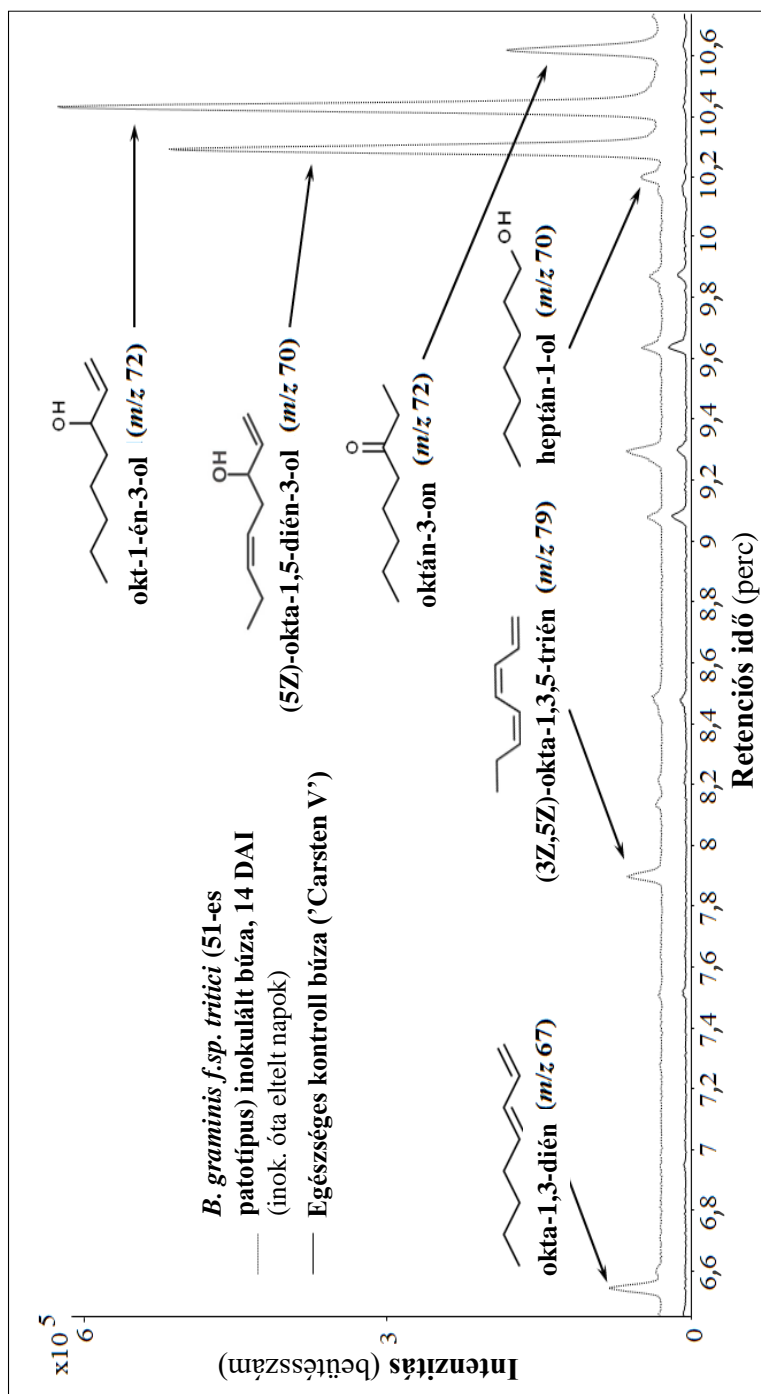
2.2 A második cél kapcsán további tesztek közé tartozott az adszorbens áttörési pont és más deszorpciós hatások karakterizálása közvetlen hozzáadást követő visszanyerési kísérletekkel. A hozzáadást követően a csapdák folyamatos, illetve a szakirodalmi adatok alapján újszerűnek tekinthető szakaszos (periodikus) DHS-VOC gyűjtési módszerek összehasonlításával zajlott le. Ez potenciális továbbfejlesztése, finomítása lehet a megközelítésnek, amely a teljes áramlási térfogat csökkentését célozza meg a mintavétel időtartama alatt az áramlás elindításának (5 perc) és leállításának (10 perc) ciklikus ismétlődése által. Az áttörési pont és egyéb deszorpciós jelenségek a hőmérséklet, az áramlási sebesség, mintavételi időtartam és az alkalmazott adszorbens típusának és mennyiségének a függvényében zajlanak az adott csapdázott VOC komponens kapcsán, így e paraméterekhez köthetően a szakaszos DHS további optimalizációs lehetőségek sokaságát vetíti előre. Az időszakonként aktivált áramlással a mintázott gőztérben emittált komponensek az adszorbensen megköthetőek és deszorpciójuk a folyamatos áramlással összehasonlítva limitálhatóvá válik. Deszorpciós veszteségeket elsősorban az alacsony forrásponttal jellemezhető C8-C9 régióban korán eluálódó VOC komponensek és a hidroxil funkciós csoportot tartalmazó vegyületek, például alkoholok esetében tapasztalhattunk.

A szakaszos DHS valamivel magasabb visszanyerési tendenciákat mutatott kisebb szórásokkal, ami ezáltal csökkentheti a deszorpciós veszteségeket.

2.3 Végző tesztként megállapítottuk, hogy az alkalmazott VOC-csapdák még magas háttérszint esetében is megfelelő kapacitással rendelkeznek a nagy mennyiségben jelen lévő VOC-k megkötéséhez, és nem tapasztaltam kompetíciót az adszorbenscsapda szabad kötőhelyekért. Az eltérő eredetű, de minőségileg azonos komponensek a mintázott gőztérből csapdázva additívnak tekinthetők az eredmények alapján.

3. A BÚZA ÉS A LISZTHARMAT KÖZÖTTI KÖLCSÖNHATÁS ILLÉKONY BIOMARKEREINEK FELTÁRÁSA, TESZTELÉSE ÉS EMISSZIÓJÁNAK MONITOROZÁSA

A harmadik céllal összhangban az adaptált és tesztelt pull-type DHS-SPE-GC-MS módszertan alkalmasnak bizonyult az egészséges és a lisztharmatos búzák differenciál-diagnosztikájára. A betegségért felelős *Blumeria graminis* f.sp. *tritici*, obligált biotróf kórokozó elsőként feltárt hat illékony biomarkerének, mint a fertőzés indikátorainak segítségével lehetséges leginkább e differenciálás. Három mellék (okta-1,3-dién, (3Z,5Z)-okta-1,3,5-trién, heptán-1-ol) és három fő BBVOC (okt-1-én-3-ol, (5Z)-okta-1,5-dién-3-ol, oktán-3-on) került azonosításra. A BBVOC-k megjelenése reprodukálhatónak bizonyult (különböző abiotikus körülmények, genotípusok között, kevert patogén háttér, valamint eltérő növényi növekedési stádiumok és évek esetén), emissziójuk a betegség progressziójával fokozódott a korai (7 DAI) stádiumtól az előrehaladott állapotig (14 DAI). A VOC adatbázisok létrehozása az összegyűjtött adatkészlet felhasználásával a gépi tanulás alapú előrejelzési modellek fejlesztését szolgálta. A legjobbnak bizonyult 'Random Forest' típusú modell kiemelkedő, 99,7%-os pontossággal volt képes az egészséges és a *Bgt* fertőzött lisztharmatos növényeket VOC ujjlenyomat alapján megkülönböztetni, további támogatást nyújtva a patotipizáláshoz és előrejelzéshez a betegség korai azonosításának megvalósításával (Hamow et al. 2021).



Az ábra a hat VOC biomarker optimált egyedi ionjainak egyesített extrahált ionkromatogramjait mutatja be abból a célból, hogy az egészséges és a lisztharmattal fertőzött búza növények légtéréből gyűjtött mintákat össze lehessen vetni.

KONKLÚZIÓK ÉS JAVASLATOK

A statikus és dinamikus VOC gyűjtési módszereket követő nem-célzott GC-MS elemzések az egészséges és beteg növények VOC ujjlenyomatok alapján történő megkülönböztetését eredményezték. A pull-type open-loop-DHS-SPE VOC csapdázási és előkészítési módszertan adaptálása és alapos teljesítményparaméter tesztelése érzékeltette annak korlátait és kihívásait. A közel 100 VOC vegyület mennyiségi összehasonlításának és mennyiségi meghatározásának pontosságát a vegyületek SPE kinyerése befolyásolta. Mivel a különböző VOC-k változó mértékű veszteséget mutathatnak, a kalibrációs keverékek hatását célszerű lenne jobban jellemezni a jövőbeni kutatások során. A belső standardok (IS) alkalmazása az elúciós térfogat korrigálására (pl. 1-brómdekánnal) 40-60%-kal növeli a kvantitatív pontosságot. A statikus és dinamikus módszerek és elemzési megközelítések kombinálása integrált *in-situ* rendszerekké, mint a Duc et al. (2022) által prezentált is, elősegítheti a VOC fluxusok és eredetük mélyebb jellemzését a jövőben. Az ígéretes és újszerű megközelítések, mint a deszorpciós veszteségeket csökkenthető szakaszos DHS-mintavétel paramétereinek optimalálása (mintavétel időtartama, ciklusidők, áramlási sebességek, az adszorbens minősége és mennyisége, a VOC-csapdák hőmérséklete és az elúciós oldószer típusa az SPE-hez) pontosabb mérési eredményekhez vezethet.

A búza-lisztharmat relációban fontos *Bgt*-hez köthető BVOC-k meghatározása és azok emissziójának monitorozása segítheti a korai és előrehaladott pato- és kemodiagnózist, valamint a rezisztencia nemesítést. Ezekből a változó felezési idejű BBVOC-kból becslések szerint havonta több száz tonna kerülhet világszerte a légkörbe, pusztán a búza-lisztharmat kölcsönhatás miatt. Az azonosított BBVOC-k a felső atmoszférába migrálva elősegíthetik a másodlagos szerves aeroszolok képződését és részt vehetnek olyan légköri folyamatokban, mint pl. a troposzférikus ózon katalitikus lebontása az okt-1-én-3-ol esetén. Ezért a tudományos közösségnek kiemelt prioritásként lenne érdemes kezelnie a jelentős globális vetésterületen

termesztett növényfajták legjelentősebb betegségeivel (különösen gomba patogénekkal) összefüggő BVOC kibocsátást, annak pontos összetételének, mértékének, földrajzi eloszlásának és fluxusaiknak monitorozása révén. Kockázatelemzésüket, a légkörkémiail folyamatokban való részvételüket, a komponensek felezési idejének meghatározását, valamint szinergista és antagonista összefüggéseik felderítését a jövőben nagyobb figyelem mellett lenne célszerű elvégezni.

ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. A Porapak Q adszorbens teljesítményének közel száz különböző referenciavegyület tesztelése és kritikai értékelése pull-type open-loop-DHS VOC gyűjtés, n-hexán SPE elúció és GC-MS elemzési módszer esetén. A GC-MS módszertan teljesítményparamétereinek több éves nyomon követésével együtt egy megbízható megközelítést szolgáltatva, amely ilyen széles körben és hosszan még sosem került tesztelésre.
2. Bizonyítottuk az 1-brómdekán belső standardként történő korrekciós alkalmazásával annak fontosságát a kvantitatív pontosságra, Porapak Q adszorbensek n-hexán alapú SPE eluátumai, és azok elúciós térfogatkontrollja során. A visszanyerések 40-60% közötti túlbecslése, és így módon a számított koncentrációknak felülmérése, a belső standard korrekció elmaradása esetén. Azonban a 96 vizsgált VOC vegyület 90%-a átlagosan 60%-os vagy a feletti visszanyerést mutatott 1-brómdekánnal végzett elúciós térfogatra vonatkozó korrigálását követően.
3. A szakaszos DHS mintavétel koncepciójának és alkalmazásának bevezetése (saját fejlesztésű finomítás). 96 VOC vizsgálatára vonatkozó folyamatos és szakaszos DHS esetén visszanyerési kísérletekkel a deszorpciós veszteségek hidroxil funkció csoportot tartalmazó, pl alkoholok, valamint alacsony forráspontú (C8-C9 alkánok régiója) VOC-k kapcsán bemutatva és Porapak Q adszorbent alkalmazva. A szakaszos DHS potenciális deszorpciós veszteségének limitálásában való demonstrációja a mintavételi idő alatti teljes áramlási térfogat csökkentésével.
4. A folyamatos DHS mintavétel során a Porapak Q adszorbens csapda kapacitásának és a komponensek adszorbens kötőhelyekért való versengésének tesztelése és a szabad kötőhelyekért történő kompetíció kizárása. Az mintázott légtéren belüli, de különböző forrásokból kibocsájtott és csapdázott, azonban minőségükben azonos VOC-k mennyiségileg additívnak tekinthetőek (paradicsom és körte gyümölcsillatok vizsgálata esetén).

5. Egészséges és lizstharmit betegséget okozó *Blumeria Graminis* f.sp. *tritici*-vel (*Bgt*) fertőzött búzanövények sikeres VOC alapú megkülönböztetése, hat biogén illékony biomarker molekula (BBVOC) felfedezésén alapulva, amik a fertőzés indikátorai. Felfedezett mellékmarkerek az okta-1,3-dién, (3Z,5Z)-okta-1,3,5-trién, heptán-1-ol. A fő három felfedezett BBVOC az okt-1-én-3-ol, (5Z)-okta-1,5-dién-3-ol, oktán-3-on. A BBVOC emisszió nőtt a betegség progressziójával és súlyosságával.

6. A *Bgt.* és búza kölcsönhatás feltárt biomarker BVOC-k, különösen a főmarkernek számítók (okt-1-én-3-ol, (5Z)-okta-1,5-dién-3-ol, oktán-3-on) robusztus voltának bizonyítása különböző búza genotípusokon, környezeti körülmények között, évjáratokban, sőt kevert patogén háttér (*F. Graminearum*/*F.Culmorum* inokulált búzák spontán felülfertőződése kezdeti lizstharmit betegség jeleit mutatva) esetén.

7. Kísérleteink alapján végzett becslések szerint csak a búza *Bgt* kölcsönhatásához köthetően (kb. 188 tonna havonta a patogén aktív időszakában) fény derült arra, hogy biomarker és más BVOC-kat nagy mennyiségben bocsátják ki az agro-ökoszisztémák. Ezen BVOC-k jelentős mértékben részt vesznek a légköri folyamatok befolyásolásában másodlagos szerves aeroszolok képződésével (SOA).

A SZERZŐTŐL FÜGGETLEN, E TÉZISFÜZETBEN CITÁLT REFERENCIÁK

1. Bachy, A., Aubinet, M., Amelynck, C., Schoon, N., Bodson, B., Delaplace P., et al. (2020). Dynamics and mechanisms of volatile organic compound exchanges in a winter wheat field. *Atmos. Environ.* 221, 117105. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2019.117105>.
2. Bachy, A., Aubinet, M., Schoon, N., Amelynck, C., Bodson, B., Moureaux, C., Heinesch, B. (2016). Are BVOC exchanges in agricultural ecosystems overestimated? Insights from fluxes measured in a maize field over a whole growing season. *Atmos. Chem. Phys.* 16, 5343–5356. <https://doi.org/10.5194/acp-16-5343-2016>.
3. Elad, Y., Pertot, I., Cotes Prado, A. M. and Stewart, A. (2016). Plant hosts of *Botrytis* spp. In: S. Fillinger & Y. Elad (Eds.), *Botrytis -- the Fungus, the Pathogen and its Management in Agricultural Systems*, pp. 413–486. https://doi.org/10.1007/978-3-319-23371-0_20
4. Gao, H., Niu, J., Li, S. (2018). Impacts of wheat powdery mildew on grain yield & quality and its prevention and control methods. *Am. J. Agricult. Forest.* 6, 141–147. <https://doi.org/10.11648/j.ajaf.20180605.14>.
5. Gomez, G.L., Loubet, B., Lafouge, F., Ciuraru, R., Buysse, P., Durand, B., et al. (2019). Comparative study of biogenic volatile organic compounds fluxes by wheat, maize and rapeseed with dynamic chambers over a short period in northern France. *Atmos. Environ.* 214, 116855. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2019.116855>.
6. Guenther, A. (2013). Biological and chemical diversity of biogenic volatile organic emissions into the atmosphere. *Intl. Schol. Res. Notices* 2013, 786290. <https://doi.org/10.1155/2013/786290>.
7. Jansen, R. M. C., Wildt, J., Hofstee, J. W., Bouwmeester, H. J., & Van Henten, E. J. (2010). Plant volatiles: useful signals to monitor crop health status in greenhouses. In *Plant Communication from an Ecological Perspective* (pp. 229–247/253). Springer.
8. Kasal-Slavik, T., Eschweiler, J., Kleist, E., Mumm, R., Goldbach, H. E., Schouten, A. and Wildt, J. (2017). Early biotic stress detection in tomato (*Solanum lycopersicum*) by BVOC emissions. *Phytochemistry*, 144: 180–188. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2017.09.006>
9. Li, Z., Paul, R., Tis, T.B., Saville, A.C., Hansel, J.C., Yu, T., et al. (2019). Non-invasive plant disease diagnostics enabled by smartphone-based fingerprinting of leaf volatiles. *Nat. Plants* 5, 856–866. <https://doi.org/10.1038/s41477-019-0476-y>.
10. Savary, S., Willocquet, L., Pethybridge, S.J., Esker, P., McRoberts, N., Nelson, A. (2019). The global burden of pathogens and pests on major food crops. *Nat. Ecol. Evol.* 3, 430–439. <https://doi.org/10.1038/s41559-018-0793-y>
11. Tischner, T., Kőszegi, B., Veisz, O. (1997). Climatic programmes used in the Martonvásár phytotron most frequently in recent years. *Acta Agron. Hung.* 45, 85–104.
12. Vida, G., Szunics, L., Gál, M., Veisz, O., Bedő, Z. (2002). Comparison of two wheat powdery mildew differential sets in seedling tests. *Plant Protect. Sci.* 38 (Special Issue 2), 417–420. <https://doi.org/10.17221/10510-PPS>.
13. Zadoks, J.C., Chang, T.T., Konzak, C.F. (1974). A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Res.* 14, 415–421. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.1974.tb01084.x>.

A SZERZŐ TUDOMÁNYOS PUBLIKÁCIÓI A TÉMAKÖRHÖZ ÉS
ÉRTEKEZÉSHEZ KÖTHETŐEN

Első szerzője IF-es tudományos publikációknak (angol nyelven):

Hamow K.Á., Ambrózy Z., Puskás K., Majláth I., Cséplő M., Mátyus R., et al. (2021). Emission of novel volatile biomarkers for wheat powdery mildew. SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT, 781, 146767.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146767> **IF érték.: 10.753**

Társszerzője IF-es tudományos publikációknak (angol nyelven):

Duc N.H., Vo H.T. N., Cong V.D., **Hamow K.Á.**, Le K.H. & Posta K. (2022). Volatile organic compounds shape belowground plant–fungi interactions. FRONTIERS IN PLANT SCIENCE, 13, 1046685.

<https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1046685> **IF érték.: 5.6**

Társszerzője lektorált tudományos publikációknak (magyar nyelven):

Radványi D., Szelényi M.O., **Hamow K.Á.**, Ambrózy Zs., Lukács P., Puskás K., Cséplő M. & Molnár B.P. (2019). Egészséges és fertőzött mezőgazdasági növények, valamint *Agaricus bisporus* illatanyagprofiljának feltérképezése – előtanulmány. NÖVÉNYVÉDELEM 80, 333-342.

Angol nyelvű előadás, poszter:

Miskolczi T. D., Zboray K., Keszöce A., Quddoos Z., Ambrózy Z., **Hamow K. Á.**, et al. (2020). Development of a Smell Biosensor System for Early Detection of Plant Diseases. BIOPHYSICAL JOURNAL, 118, 315A.
<https://doi.org/10.1016/j.bpj.2019.11.1774>

Magyar nyelvű előadás, poszter:

1. Ambrózy Z., Sági L., Radványi D., Szelényi M.O., Molnár B.P., Lukács P. & **Hamow K.Á.** (2020). Lisztharmat fertőzés hatása üvegházban termesztett ‘Carstens V’ búza illatanyag mintázatára. In: 66. Növényvédelmi Tudományos Napok, p. 87.
2. Ambrózy Z., **Hamow K.Á.**, Sági L., & Lukács P. (2020). E-orr – a fertőzések előrejelzése illatanyagok felismerése alapján. In: 66. Növényvédelmi Tudományos Napok, p. 44.
3. Radványi D., Szelényi M., **Hamow K.Á.**, Lukács P., & Molnár B. (2019). Egészséges és fertőzött mezőgazdasági növények illatanyag profiljának feltérképezése. In: 65. Növényvédelmi Tudományos Napok, p. 54.
4. **Hamow K. Á.** (2022). Fertőzést szimatolok, toxinszintet jósolok! Kalászos gabonák illatmintázatainak nyomon követése és jelentősége lisztharmat és toxintermelő fuzárium fertőzés esetén. MKE LII. Kromatográfias Továbbképző Tanfolyam, Szeged, 2022. június 27-29. előadás programfüzet

A SZERZŐ TUDOMÁNYOS PUBLIKÁCIÓI NEM A
TÉMAKÖRHÖZ ÉS ÉRTEKEZÉSHEZ KÖTHETŐEN

Társszerzője IF-el rendelkező tudományos publikációknak (angol nyelven):

1. Cseh, A., Lenyková-Thegze, A., Makai, D., Szabados, F., **Hamow, K. Á.**, Gulyás, Zs., Kiss, T., Karsai, I., Moncsek, B., Mihók, E., & Sepsi, A. (2023). Meiotic instability and irregular chromosome pairing underpin heat-induced infertility in bread wheat carrying the *Rht-B1b* or *Rht-D1b* Green Revolution genes. *NEW PHYTOLOGIST* 241: 19256. <https://doi.org/10.1111/nph.19256> IF: 10.323
2. Gholizadeh, F., Darkó É., Benczúr, K., **Hamow, K.Á.**, Dernovics, M., Nagy, K., Janda, T., Rady, M.R., Gohari, G. & Pál, M. (2023). Growth light substantially affects both primary and secondary metabolic processes in *Catharanthus roseus* plants. *PHOTOSYNTHETICA* , 61(4):451-460. <https://doi.org/10.32615/ps.2023.037> IF: 2.7
3. Jose, J., Éva, Cs., Bozsó, Z., **Hamow, K.Á.**, Fekete, Zs., Fábrián, A., Bánfalvi, Zs. & Sági, L. (2023). Global transcriptome and targeted metabolite analyses of roots reveal different defence mechanisms against *Ralstonia solanacearum* infection in two resistant potato cultivars. *FRONTIERS IN PLANT SCIENCE* 13: 1065419. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1065419> IF: 6.627
4. Marček, T., **Hamow, K.Á.**, Janda, T. & Darkó É. (2023). Effects of High Voltage Electrical Discharge (HVED) on Endogenous Hormone and Polyphenol Profile in Wheat. *PLANTS (BASEL)* 12: 1235. <https://doi.org/10.3390/plants12061235> IF: 4.5
5. Mutum, L., Janda, T., Darkó, É., Szalai, G., **Hamow, K. Á.** & Molnár, Z. (2023). Outcome of Microalgae Biomass Application on Seed Germination and Hormonal Activity in Winter Wheat Leaves. *AGRONOMY (BASEL)* 13: 1088. <https://doi.org/10.3390/agronomy1304108> IF: 3.949
6. Darkó, É., **Hamow, K. Á.**, Marček, T., Dernovics, M., Ahres, M. & Galiba, G. (2022). Modulated light dependence of growth, flowering and the accumulation of secondary metabolites in chilli. *FRONTIERS IN PLANT SCIENCE* 13: 801656. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.801656> IF: 6.627
7. Majláth, I., Éva, C., **Hamow, K. Á.**, Kun, J., Pál, M., Rahman, A., ...& Janda, T. (2022). Methylglyoxal Induces Stress Signaling and Promotes the Germination of Maize at Low Temperature. *PHYSIOLOGIA PLANTARUM* 174(1), e13609, <http://doi.org/10.1111/ppl.13609> IF: 6.4
8. Gulyás, Zs., Moncsek, B., **Hamow, K. Á.**, Stráner, P., Tolnai, Z., Badics, E., Incze, N., Darkó, É., Nagy, V., Perczel, A., Kovács, L., & Soós, V. (2022). D27-LIKE1 isomerase has a preference towards *trans/cis* and *cis/cis* conversions of carotenoids in *Arabidopsis*. *PLANT JOURNAL* 112: 1377-1395. <https://doi.org/10.1111/tpj.16017> IF: 7.2
9. Daood, H. G., Ráth, S., Palotás, G., Halász, G., **Hamow, K.**, & Helyes, L. (2022). Efficient HPLC Separation on a Core-C30 Column with MS2 Characterization of Isomers, Derivatives and Unusual Carotenoids from Tomato Products. *JOURNAL OF CHROMATOGRAPHIC SCIENCE*. <http://doi.org/10.1093/chromsci/bmab085> IF.: 1.555
10. Pál, M., **Hamow, K. Á.**, Rahman, A., Majláth, I., Tajti, J., Gondor, O. K., Ahres, M., Gholizadeh, F., Szalai, G. & Janda, T. (2022). Light Spectral Composition Modifies Polyamine Metabolism in Young Wheat Plants. *INTERNATIONAL JOURNAL OF MOLECULAR SCIENCES* 23 : 15 Paper: 8394, 22 p. <https://doi.org/10.3390/ijms23158394> IF.: 5.6

11. Pogány, M., Dankó, T., Hegyi-Kaló, J., Kámán-Tóth, E., Szám, D. R., **Hamow, K. Á.**, Kalapos, B., Kiss, L., Fodor, J. & Gullner, G. (2022). Redox and Hormonal Changes in the Transcriptome of Grape (*Vitis vinifera*) Berries during Natural Noble Rot Development. *PLANTS-BASEL* 11 : 7 Paper: 864 , 22 p. <https://doi.org/10.3390/plants11070864> IF.: 4.5
12. Bókony, V., Ujhegyi, N., **Hamow, K. Á.**, Bosch, J., Thumsová, B., Vörös, J., ... & Gabor, C. R. (2021). Stressed tadpoles mount more efficient glucocorticoid negative feedback in anthropogenic habitats due to phenotypic plasticity. *SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT*, 753. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141896> IF.:10.753
13. Czékus, Z., Kukri, A., **Hamow, K. Á.**, Szalai, G., Tari, I., Ördög, A., & Poór, P. (2021). Activation of Local and Systemic Defence Responses by Flg22 Is Dependent on Daytime and Ethylene in Intact Tomato Plants. *INTERNATIONAL JOURNAL OF MOLECULAR SCIENCES*, 22(15). <http://doi.org/10.3390/ijms22158354> IF.: 6.01
14. Gondor, O. K., Tajti, J., **Hamow, K. Á.**, Majláth, I., Szalai, G., Janda, T., & Pál, M. (2021). Polyamine Metabolism under Different Light Regimes in Wheat. *INTERNATIONAL JOURNAL OF MOLECULAR SCIENCES*, 22(21), 11717. <http://doi.org/10.3390/ijms222111717> IF.: 6.01
15. Gyimesi, M., Rauscher, A. Á., Suthar, S. K., **Hamow, K. Á.**, Oravec, K., Lőrincz, I., ... & Málnási-Csizmadia, A. (2021). Improved Inhibitory and Absorption, Distribution, Metabolism, Excretion, and Toxicology (ADMET) Properties of Blebbistatin Derivatives Indicate That Blebbistatin Scaffold Is Ideal for drug Development Targeting Myosin-2. *JOURNAL OF PHARMACOLOGY AND EXPERIMENTAL THERAPEUTICS*, 376(3), 358–373. <http://doi.org/10.1124/jpet.120.000167> IF.: 4.404
16. Janda, T., Tajti, J., **Hamow, K. Á.**, Marček, T., Ivanovska, B., Szalai, G., ... & Darkó, É. (2021). Acclimation of photosynthetic processes and metabolic responses to elevated temperatures in cereals. *PHYSIOLOGIA PLANTARUM*, 171(2), 217–231. <http://doi.org/10.1111/ppl.13207> IF.: 5.081
17. Khalil, R., Tajti, J., **Hamow, K. Á.**, Gondor, O. K., Darko, E., Elsayed, N., ... & Majláth, I. (2021). How does moderate drought affect quantum yield and the regulation of sugar metabolism at low temperature in durum wheat (*Triticum durum* L.)? *PHOTOSYNTHETICA*, 59(2), 313–326. <http://doi.org/10.32615/ps.2021.030> IF.: 2.482
18. Moataz, M. A. M., Eman, A. F., Yasmin, A., **Kamirán, Á. H.**, Zsanett, M., Béla, P. M., & Fónagy A. (2021). Toxicity and sublethal effects of chlorantraniliprole and indoxacarb on *Spodoptera littoralis* (*Lepidoptera: Noctuidae*). *APPLIED ENTOMOLOGY AND ZOOLOGY*. <http://doi.org/10.1007/s13355-020-00721-7> IF.: 1.5
19. Szalai, G., Tajti, J., **Hamow, K. Á.**, Ildikó, D., Khalil, R., Vanková, R., ... & Pál, M. (2020). Molecular background of cadmium tolerance in Rht dwarf wheat mutant is related to a metabolic shift from proline and polyamine to phytochelatins synthesis. *ENVIRONMENTAL SCIENCE AND POLLUTION RESEARCH*, 27, 23664–23676. <http://doi.org/10.1007/s11356-020-08661-z> IF: 4.015
20. Darkó, É., Khalil, R., Elsayed, N., Pál, M., **Hamow, K. Á.**, Szalai, G., ... & Janda, T. (2019). Factors playing role in heat acclimation processes in barley and oat plants. *PHOTOSYNTHETICA*, 57(4), 1035–1043. <http://doi.org/10.32615/ps.2019.122> IF: 2.562

21. Marček, T., **Hamow, K. Á.**, Végh, B., Janda, T., & Darko, E. (2019). Metabolic response to drought in six winter wheat genotypes. PLOS ONE, 14(2). <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0212411> IF: 2.76
22. Pál, M., Ivanovska, B., Oláh, T., Tajti, J., **Hamow, K. Á.**, Szalai, G., ... & Janda, T. (2019). Role of polyamines in plant growth regulation of Rht wheat mutants. PLANT PHYSIOLOGY AND BIOCHEMISTRY, 137, 189–202. <http://doi.org/10.1016/j.plaphy.2019.02.013> IF: 3.983
23. Tajti, J., **Hamow, K.**, Majláth, I., Gierczik, K., Németh, E., Janda, T., & Pál, M. (2019). Polyamine-Induced Hormonal Changes in eds5 and sid2 Mutant *Arabidopsis* Plants. INTERNATIONAL JOURNAL OF MOLECULAR SCIENCES, 20(22). <http://doi.org/10.3390/ijms20225746> IF: 4.556
24. Pál, M., Majláth, I., Németh, E., **Hamow, K. Á.**, Szalai, G., Rudnóy, S., ... & Janda, T. (2018). The effects of putrescine are partly overlapping with osmotic stress processes in wheat. PLANT SCIENCE, 268, 67–76. <http://doi.org/10.1016/j.plantsci.2017.12.011> IF: 3.719
25. Ambrus, Á., Noonan, G., Németh, A., Kötelesné, S. G., Anastassiades, M., **Hamow, K. Á.**, & Solymosné, M. E. (2017). Testing the Accuracy of Analytical Standard Solutions Used for Quantitative Determination of Pesticide Residues. JOURNAL OF AOAC INTERNATIONAL, 100(4), 1058–1061. <http://doi.org/10.5740/jaoacint.17-0018> IF: 1.047
26. Ambrus, Á., Buczkó, J., **Hamow Kamirán, Á.**, Juhász, V., Solymosné Majzik, E., Szemánné Dobrik, H., & Szitás, R. (2016). Contribution of Sample Processing to Variability and Accuracy of the Results of Pesticide Residue Analysis in Plant Commodities. JOURNAL OF AGRICULTURAL AND FOOD CHEMISTRY, 64(31), 6071–6081. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b05779> IF.: 3.154

Társzerzője lektorált tudományos publikációknak (angol nyelven):

Ambrus, Á., **Kamirán, Á. H.**, Kötelesné, S. G., Németh, A., & Solymosné, M. E. (2017a). Az analitikai standard oldatok pontossága és a névleges koncentrációjuk bizonytalansága / Accuracy of analytical standard solutions and the uncertainty in their nominal concentrations (2017b). ÉLELMISZERVIZSGÁLATI KÖZLEMÉNYEK, 63(1), 1398–1421.

Első szerzője lektorált tudományos publikációknak (magyar nyelven):

Hamow, K. Á., Hussein, D., Posta, K., & Helyes, L. (2014). Mikorrhiza hatása az ipari paradicsom fontosabb antioxidáns hatású vegyületeire. KERTGAZDASÁG (1998), 46(1), 9–16.

Társzerzője lektorált tudományos publikációknak (magyar nyelven):

Moataz M. A. M., **Hamow K. Á.**, Mikó, Zs., Molnár, B. P. & Fónagy A. (2021). A klórántraniliprol és az indoxakarb toxikológiai és szubletális hatásainak vizsgálata *Spodoptera littoralis* (Boisd.)(Lepidoptera:Noctuidae) fejlődésére, reprodukciós képességeire. NÖVÉNYVÉDELEM (0133-0829): 57 8 pp 342-353.