

II. Az anyagcsere vizsgálata légzésméréssel

KÁDAS LAJOS* és FRENYÓ VILMOS**

Érkezett: 1984. április 20.

A gyümölcsárolás, érlelés, minőségellenőrzés szempontjából a légzésvizsgálatok azért fontosak, mert az anyagcsere menetéről és intenzitásának változásairól tájékoztatnak (1, 2, 3). Természetesen vegetatív raktározású szervek (gumók, hagymák) tárolásában ugyancsak haszonnal alkalmazhatók ilyen vizsgálatok (4, 5).

Két főtípust kell figyelembe vennünk; az alma, körte, banán stb. az érés előrehaladtával a klímakterikus légzésmenetet követi, vagyis az egyre csökkenő légzés egy minimum elérésekor ugrásszerűen megemelkedik, maximumot ér el, majd újra csökken. Ez már a túlérés fázisa (9).

A másik típusnál nincs ilyen fordulat (klímax), hanem a fiatal gyümölcs élénk légzése viszonylag egyenletesen csökken mindvégig. Ebbe a típusba tartoznak a citrus-félék is (1). Vizsgálatunkban föltöbb előnyös, hogy a citrusok légzésmenete nem olyan bonyolult, mint pl. az almagyümölcsűek csoportjában, hanem jól követhető, sőt óvatos extrapolációt, előrejelzést is megenged. Arra azonban ügyelni kell, különösen a nagy cukortartalmú narancsnál, nehogy az érés végén fellépő erjedés intenzív CO₂ kibocsátását respirációs, tehát oxigént igénylő légzéses folyamatnak véljük.

A citrus-félék termése tágabb értelemben a bogyótermések közé tartozik; ún. hesperidium, más néven aurantium. Ezek a nevek mitológiaiak és nem utalnak arra a sajátosságra, hogy a gyümölcs belsejét húsos endocarpium hártával elrekesztett gerezeit nedvvel telt húsos szörkpézdődmények töltik ki. Ez azért is különleges, mivel a szörképletek az epidermisből szoktak kinőni.

A gyümölcsöt burkoló külső terméshéj (flavedo) kollenhimatikus felépítése folytán mechanikai védelmet nyújt. Olajmirigyeket tartalmaz. A középső terméshéj (albedo) a sejtek laza kapcsolata folytán szivacsos szerkezetű.

Mindezek a részletek külön-külön is figyelmet érdemelnek, mivel a hazai és a nemzetközi piacon a citrus-félék jelentősége igen nagy. Minden idevágó újabb ismeret hozzájárulhat közvetve, vagy részben közvetlenebbül is a kereskedelmi érték kedvezőbbé tételéhez. – Szerencsésen egybeesett a vizsgálatokkal az a körülmény, hogy új légzésmérő módszert sikerült kialakítanunk, amely a munkát jelentékenyen megkönnyítette. Egyszersmind tehát a módszert is a gyakorlat próbája alá vethetjük.

Vizsgálati anyag és módszer

1983 őszétől 1984 tavasza végéig különböző eredetű, eltérő korú és minőségű citrus-szállítmányokat vizsgáltunk. Citromból olasz (részben Siracusa-i), spanyol és törökországi, jórészt első virágzásból (primo fiore) származó fajták szerepeltek. Narancsok Görögországból Navel-fajta, nagyméretűek Veria-ból kisebbek Argos-

* Kereskedelmi és Vendéglátóipari Főiskola, Budapest

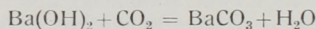
** Eötvös Loránd Tudományegyetem Növényélettani Tanszék, Budapest

ből; Olaszországól (Moro-fajta) kis- és nagyvetűek; ugyancsak narancsok Kubából (Tropinavel és Navel), Valencia, zöld és sárga színezetű, továbbá Albániából. Mandarin török szállítmányból; a grape-fruit pedig kubai eredetű volt.

Mint hogy a vizsgálatok elsősorban az alkalmazott találmány (6) és új módszer értékelésére szolgáltattak alapot, ezért nem okozott nehézséget, sőt előnyösnek bizonyult a gyümölcsök különböző mérete és fiziológiai állapota. Az eredményeket azonban nem csupán metodikai, hanem növényélettani szempontból és a tárolásra nézve is mérlegelni igyekeztünk.

A légzésvizsgáló módszert a magyar NOVEX Rt. által szabadalmaztatott készülékekre alapoztuk. A különlegesen érzékeny készülék (FREWIL megnevezéssel) abban különbözik a lúgos reagenssel működő respirométerektől, hogy gyakorlatilag kétdimenziós folyadékfilmet alkalmaz. Az erre szolgáló $\text{Ba}(\text{OH})_2$ oldat egy henger alakú, 5 cm^3 űrtartalmú érzékelő szondába (szenzorba) van betöltve, melynek hossztengeleiben rugóval rögzített elektród oszlop helyezkedik el. Mérés előtt az oszlopot a rugó ellenében hátra húzzuk, ezáltal az elektród rendszert az oldatba merítjük. Visszaengedéskor ugyanez kiemelkedik az elektrólit oldatból, csak egy $0,02 \text{ mm}$ vékonyságú hártya marad adszorbeálva az érzékelő felületen, amely az oszlop szabad végén kúp alakúra képzett koncentrikus elektródpárból és azokat egymástól elszigetelő plexigyűrűből áll. A Ba^{2+} és OH^- ionokat tartalmazó hártya (folyadékfilm) elektromos áramkört zár, miután az elektródpár a szigetelő gyűrű felszínén összeköti egymással. Egyszermind bezárul a szonda belseje, csupán a kúp elektród rendszer érintkezik a külvilággal egy bevezető nyíláson át.

A bázikus jellegű folyadékfilm nagyon érzékenyen reagál szén-dioxidra a következően:



Következésképpen arányosan növekszik a folyadékfilm elektromos ellenállása, amelyet egy mérőréz kalibrált skáláján CO_2 értékben lehet leolvasni, még 10^{-8} g szén-dioxid esetében is.

A citrusok és más gyümölcsök, illetve az élő sejtek, szövetek légzésekor felszabaduló szén-dioxidot kétféle módon mérhetjük a FREWIL készülékkel. Egyszerűbb a közvetlen (kontakt) mérés; ennél a szenzor nyílását közvetlen a gyümölcs felületéhez illesztjük és a műszer skálán leolvassuk a szenzor bevezető nyílása által körülzárt rész CO_2 kibocsátását valamely időegység (pl. 1 perc) alatt.

A mérés másik, indirekt módja esetén $0,5 \text{ cm}^3$ belső térfogatú edénykét (gázrecipienst) illesztünk a gyümölcs, vagy egyéb vizsgálandó növényrész felületére (7), bevezető nyílását 1 percig megnyitjuk, majd a bediffundált gázmintát bezárjuk. Ezután a gázrecipienst a szenzorhoz kapcsolva, a skála mutatója a megfelelő CO_2 értéknél megáll. — Mindkét mérésmódnál szükséges a légköri szén-dioxid kizárása, vagy korrekcióba vétele.

Az eljárás főként a direkt változatában a Van't Hoff szabály szerint érzékeny a hőmérsékletre. Az ebből adódó szórást azáltal csökkentettük, hogy a méréseket mindig a $20 \text{ }^\circ\text{C}$ körüli szobahőmérsékleten végeztük. Mint hogy egy-egy mérés $0,5 - 1$ perc alatt végrehajtható, nem okozott nehézséget az ötszöri ismétlés, illetve a gyümölcs kerületének öt helyen való megmérése.

A számadatokat az esetek egy csoportjánál az aritmetikai középértékben adtuk meg és szükség szerint szórásелеmzést is végeztünk; más esetekben viszont elegendőnek bizonyult az ún. medián érték és mintaszélesség közlése. Különösen olyankor célszerű ez a számításmód, ha a gyümölcsök nem egyformák és az egyes adatok erősen szórak; a variációs koefficiens (CV%) nagysága pedig kérdésessé teszi a megbízhatóságot. Ezzel szemben, ha az egyes mérési adatokat nagyobb variációs sorba rendezzük, akkor a középső elem (a medián) rendszerint jobban megközelíti a valószínű értéket. Magáról a szóródásról pedig a két szélső érték különbsége (a mintaszélesség) tájékoztat.

A következőkben kísérleteink néhány részletéről számolunk be, nem minden tekintetben egymással szoros összefüggésben. A részek mindegyike tartalmaz azonban olyan megállapítást, amelyek együttesen már körvonalazzák a citrusfélék légzéses anyagcseréjéről megalkotható képet.

1. Légzésmérés teljes feltületeken

A szakirodalomban rendszerint tömegre és időegységre vonatkoztatják a gyümölcsök, gumók, hagymák légzésintenzitását (7, 8). Mi is ezt az utat kezdtük követni, de arra gondoltunk, hogy a felület-arányokat jobban figyelembe vesszük.

Először tájékozódásul zárt térbe (csappal ellátott konténerbe) helyeztük a gyümölcsöket. Azt kívántuk összehasonlítani, vajon a gyümölcsök száma és a termelt légzéses szén-dioxid koncentrációja között milyen az összefüggés. Erről az 1. táblázat tájékoztat.

1. táblázat

Citromok zárt légtérben

Időtartam	2 db	4 db
	CO ₂ %	CO ₂ %
0 perc	0,035	0,035
15 perc	0,038	0,072
30 perc	0,049	0,075
45 perc	0,051	0,076
60 perc	0,056	0,079

A kísérlet úgy folyt le, hogy megközelítően egyforma (10 dkg-os) érett citromokból kettőt, illetve négyet más-más konténerbe helyeztünk. Ezek a tartók tulajdonképpen csappal ellátott fólia zacskók voltak. Mindegyik lehetőleg szorosan vette körül a 2, illetve a 4 gyümölcsöt, úgyhogy csak a gyümölcsök közötti hézag alkotta a légteret, amelyből 15 percenként mintát vettünk. A mintavétel úgy történt, hogy a fölfelé irányított, megfelelő kiképzésű csaprendszerhez illesztettük a FREWIL készülék érzékelő szondáját és a csap kb. 10 másodperces megnyitásával leolvastuk a kidiffundálható CO₂ százalékos értékét.

Az 1. táblázatban láthatjuk, hogy induláskor a szobalevegőnek megfelelő értéket kaptuk. Egy órán keresztül fokozatosan nőtt a belső tér CO₂ koncentrációja, de csak eleinte mutatkozott valamilyen laza arányosság. Akkor sem vált lényegesen határozottabbá a két párhuzamos számoszlop egymáshoz viszonyított aránya, ha az egyes tételekből kivontuk a szobalevegő eredeti CO₂%-át és valóban csak a gyümölcsök által termelt szén-dioxidot vettük számításba. Ezek summája a 2 db citromnál 0,084 és középértéke 0,021; ugyanígy eljárva a 4 db citrom légszemi adataival 0,149 összeget és 0,037 átlagértéket kaptunk. Sem a 0,084 : 0,149, sem pedig a 0,021 : 0,037 aránya nem 1 : 2, csupán valamelyest közelít ehhez az arányhoz. Az eltérés egyik lényeges oka bizonyára abban rejlik, hogy a két konténer belső tere nem egyforma, hiszen az egyik 2 db, a másik 4 db gyümölcs összterjedelméhez igazodik.

Némiképp javul a mérések eredménye, ha a konténer csaprendszerét nem zárjuk el. Így a légszéből származó CO₂ fölös mennyisége folyamatosan kiáramlik a nyíláson és hosszabb ideig a folyamatos egyensúly (steady state) állapotában marad. A nyíláshoz illesztett érzékelő szondával megmérhető, hogy időegység

alatt mennyi légzéses CO₂ áramlik kifelé. Zavartalan körülmények közt az tapasztalható, hogy pl. kétszeres gyümölcsmennyiség a kellő gázegyensúly beállításakor valóban kétszeres CO₂ mennyiséget termel. Ilyen esetet mutat a 2. táblázat.

Citromok nyitott légtérben

2. táblázat

Darab	Folyamatos kiáramlás
3	$1,7 \times 10^{-6}$ g CO ₂ /min.
6	$3,8 \times 10^{-6}$ g CO ₂ /min.

Látjuk, hogy az 1,7 : 3,8 arány valóban megközelíti a 3 : 6 darabszám (1 : 2) viszonyt; az eltérés 1 : 2,2 azaz a valósághoz képest 10%-kal többet mutat.

Az arányosság tehát elfogadhatónak látszik; ha azonban kiszámítjuk, hogy a kiáramló CO₂ mennyiség megfelel-e az 1 kg citrom óránkénti légzésének, akkor egy-két nagyságrenddel (!) kevesebb értéket kapunk. Szakirodalmi adatok szerint 1 kg citrom óránkénti CO₂ termelése 20 °C hőmérsékleten nagy általánosságban 13–14 mg. Ezzel szemben a fenti adatokból mindössze 0,4 mg körüli értékhez jutunk, vagyis 32-, sőt 35-szörre kevesebbre az valósághoz képest.

Ezek alapján megállapítottuk, hogy a FREWIL metódika számára a konténeres légzésvizsgálat nem alkalmas megoldás, valószínűleg a légtér mozdulatlansága miatt is, melyben egyedül a gázdifúzió juttatja a CO₂ molekulákat a szenzorhoz. Ahol azonban elegendő a minőségi ellenőrzés (pl. takarmánydarák és élelmiszerek esetében), ott rendkívül jelentős lehet ez a gyors és egyszerű vizsgálat. Más vizsgálat sorozat esetében ilyen esetekben sikerült is felderítenünk lappangó baktériumos kontaminációt a mikroorganizmusok CO₂ termelése alapján!

2. Légzésmérés felületrészen

Megkíséreltük sikerül-e a gyümölcsök légzéses CO₂ termelését jobban megközelíteni, ha a FREWIL készülék érzékelőjének 7 mm átmérőjű nyílását közvetlenül a héj felületéhez illesztjük. A tájékoztató vizsgálatot átlag 100 g-os citromokon végezve és a részadatokat cm²/min értékre átszámítva a 3. táblázat adatait kaptuk

Citromok CO₂ termelése 1 cm² felületen

3. táblázat

Minta sorszáma	10 ⁻⁶ g CO ₂ /cm ² /min.				Medián	Minta-szélesség
1	0,19	0,18	0,18	0,20	0,19	0,02
2	0,20	0,16	0,21	0,19	0,18	0,05
3	0,18	0,21	0,19	0,16	0,21	0,05
4	0,16	0,15	0,21	0,19	0,18	0,06
5	0,21	0,17	0,19	0,20	0,17	0,04
6	0,15	0,20	0,20	0,21	0,15	0,06
7	0,17	0,21	0,19	0,15	0,18	0,06
8	0,23	0,17	0,16	0,21	0,20	0,07
9	0,18	0,22	0,19	0,16	0,20	0,06
10	0,17	0,21	0,23	0,15	0,18	0,08

$$\bar{x} = 0,189$$

A táblázat alján a tíz darab citrom 5–5 ismétléssel kapott medián értékeinek számtani középértékét (\bar{x}) vettük. A harmadik tizedessel igazítva kellő megbízhatósággal azt az eredményt kaptuk, hogy a vizsgált minta esetében 20 °C hőmérsékleten a citrom 0,19 × 10⁻⁶ g CO₂ gázt termel percenként egy-egy cm² felületen. A citromok átlagos felülete 121 cm², tehát egy darab gyümölcs percenként 0,19 × 121 = 22,99 mikrogramm szén-dioxidot termel a légzésével. Órára és kg-ra átszámítva, valamint milligramm értékben kifejezve:

$$13,79 \text{ mg CO}_2/\text{kg/h}$$

azaz kereken 14 milligramm értéket kapunk, ami igen jól egyezik a szakirodalomban föllelhető átlaggal.

Ettől az értéktől eltért a korábbi olasz és török szállítmányok légzésintenzitása; minthogy valamelyest éretlenebbek voltak, ennélfogva élénkebben is lélegeztek. Így 1983 novemberében az olaszországi citrom 19 mg CO₂/kg/h és a törökországi 23 mg CO₂/kg/h értéket mutatott. Azonkívül a török citromok kisebb súlya miatt több darab gyümölcs jutott 1 kg-ra, ami szintén befolyásolta a méréseredményt. Ez a tény arra is figyelmeztet, hogy az együttes súlymérés következtében a darabszám és azzal együtt két egyforma súlyú minta összfelülete tetemesen eltérhet egymástól. Élettani szemszögből éppen a felületre való vonatkoztatás jellemezhetné jobban a légzés intenzitását, nem pedig a tömegre szokásosan megadott érték, ami viszont a gyakorlatnak kétségtelenül jobban megfelel.

3. Összehasonlító mérések

Miután megbizonyosodtunk arról, hogy kellő számú kontakt mérés a felületrészeken úgy összegezhető a teljes felület ismeretében, hogy ezáltal az egész gyümölcs légzésintenzitását is elég megbízhatóan kiszámíthatjuk, ezért méréseink alapján összeállítottuk a megvizsgált citrus-félékhez vonatkozó adatainkat. (4. táblázat)

4. táblázat

Citrus minták légzése 20—22 °C-on

Citrus faj	mg CO ₂ /kg/h
Citrom C. limonium	14–23
Narancs C. sinensis	16–24
Mandarin C. nobilis	25–27
Grape fruit C. aurantium subsp. decumana	20–24

A táblázat tanúsága szerint a citrom légzése a legkevésbé, a mandariné pedig leginkább intenzív. A narancs és a grape fruit légzése a két előbbi gyümölcs légzési értéke közé esik. A sorrend azonban meglehetősen laza, részben amiatt, mivel 1 kg-ra nem azonos számú gyümölcs jut, másrészt éréjük menete sem egyforma. Mégis

némi tájékoztatással szolgálnak ezek az adatok; bizonyára nem véletlen, hogy a legjobban tárolható citrom légzése viszonylag legkevésbé élénk, ezzel szemben a nem jól tárolható mandarin légzése sokkal élénkebb. Természetesen ebben a tekintetben a morfológiai és anatómiai különbségek is számottevőek. Korántsem lehet arról szó, hogy a tartalékanyagok megfogyatkozása miatt megy tönkre a mandarin előbb, mint a citrom. Már jóval előbb megkezdődnek az anyagcsere zavarai, erjedés indul meg, a rezisztencia pedig egyre inkább csökken.

Metlickij szerint (1) az egészséges termés légzésintenzitása alapján nem következtethetünk a tárolhatóságra. Fönnáll ugyan az a tapasztalat, hogy legjobban az a termés tárolható, amelynek légzése tartósan egyenletes, mivel ez kiegyensúlyozott anyagcsere utal; csakhogy a gyakorlat nem támaszkodhat hosszadalmas vizsgálo módszerekre. Lehetséges viszont a kedvezőtlen hatásokra adott légzési válaszreakcióban keresnünk valamiféle útmutatást.

4. Topográfiai eltérések a gyümölcshéjon

Egy-egy egész gyümölcs viszonylag késedelmesen reagál a különböző beavatkozásokra, ezért vizsgálni kezdtük a citrusfélék terméshéjának különböző helyeit, a sértetlen gyümölcs felületén olyan elgondolással, hogy találnunk kell rajta a légzéses válaszreakció tekintetében érzékenyebb területeket. Valóban azt tapasztaltuk, hogy a gyümölcsfelület nem minden pontján lélegzik azonos intenzitással. Ez csak kevésbé tűnik fel a gyümölcsök oldalfelületén és nehéz megkülönböztetni a statisztikai szórástól. Ellenben nagyon határozottan élénkebb a légzés a gyümölcsök morfológiai csúcán, a lehullott egykori bibe helyén. Még ennél is feltűnőbb a légzés az ellentétes póluson, a volt kocsány és a gyümölcs illeszkedési helyén, a vacok felé eső alapnál. Tehát kettős polaritás áll fenn még olyan citrus-féléken is, amelyek gyümölcse izodiametrikus. A citrom (*Citrus limonium*) megnyúlt és kiscsúcsosodó termésén valamelyest nehezebb a mérést elvégezni, mivel az érzékéző szondát nem mindig tudjuk légmentesen ráilleszteni a vizsgálandó csúcsos részre. Ilyen esetben plasztilin segítségével formálhatunk a csúcst körül megfelelő alapot a szonda biztosabb illeszkedésére. — A kapott adatokat az 5. táblázat mutatja.

5. táblázat

A légzés átlagos eltérései a gyümölcsön

Gyümölcs	Légzésintenzitás 10^{-6} g CO ₂ /cm ² /min.		
	oldalt	alapnál	csúcson
Citrom	0,19	0,49	0,30
Narancs	0,26	1,17	0,68
Mandarin	0,33	0,68	0,44
Grape fruit	0,29	1,39	0,47

Bármilyen határozott a légzés feltűnő élénksége a citrusfélék gyümölcsein, különösen a vacok felőli részen, mégsem valószínű ilyen mérvű fiziológiai polaritás. Inkább arról lehet szó, hogy az egykori illeszkedés helyén elhalt szállítóyalabok pórus-szerű maradványain is szivárog kifelé légzéses CO₂ a gyümölcs belsejéből. A morfológiai csúcson látható forradásos bibenyom jóval kisebb terjedelmű, ennél fogva kevesebb az ugyancsak föltételezett gáz-szivárgás. Bizonyára ez a magyará-

zata a csúcs és az alap közötti légzéskülönbösgnek, amely pl. a grape fruit esetében közel 3-szoros is lehet. A jelenség tehát nem látszik élettani eredetűnek, következésképpen nem szolgálhat diagnosztikai célra.

5. Felszíni sérülések serkentő hatása

Légzésvizsgálataink során könnyen ellenőrizhettük, hogy mechanikai sérülések: kaparás, reszelés, sebész pillanatszerűen hatalmasan megnövelik az érintett helyen a szövetlégzés intenzitását. Ha pl. a citrom kiemelkedő csúcsát lemetszettük a héj albedo rétegéig, akkor 0,30-ról 2,36 mikrogrammra nőtt a percenkénti CO_2 termelés 1 cm^2 -en. Tipikus traumatogén légzésről van szó, melyre az jellemző, hogy az ugrásszerű légzésfokozódást nagy ingadozásokkal valamelyes csökkenés követi (10), majd egy hosszabban tartó szekunder szakaszban megkezdődik a regeneráció előkészítése az anyagcsereben: enzimek szintézise és egy sorog másodlagos folyamata. Most már nem annyira szeszélyesen, hanem eléggé egyenletesen megy át a légzés a normális szintre. Ez a helyreállítás napokig eltart, de régi feregrágások nyoma még annál is hosszabb ideig áraszt kifelé szén-dioxidot az elvékonyodott héjon keresztül.

Különböző fertőzések, Penicillium és más kórokozók ugyancsak tetemesen fokozzák a citrusok légzését különösen a fertőzés helyén, de úgy látszik a toxinok hatása a környező szöveteket is élénkebb CO_2 -termelésre serkenti.

Diagnosztikai nézőpontból értékesnek látszik Rubin és munkatársainak Metlic-kij (1) által idézett megállapítása, miszerint a sebész okozta légzésfokozódás legintenzívebb a citromnál és legkisebb a mandarinnál. Eszerint az egyes citrus gyümölcsök eltarthatóságát nem annyira a normális légzés mértéke, hanem a trauma nyomán tapasztalt aktivitás képessége jellemzi. Amikor azonban megkíséreltük a előismerés gyakorlati alkalmazását, kitűnt, hogy a sebést szabványosítani nemigen sikerül a héj bonyolult szerkezete és rétegei (flavedo, albedo) miatt.

Jóval praktikusabb diagnosztikai lehetőségeket kínál az a felismerésünk, hogy a kézben tartott gyümölcs oldalára nyomást gyakorolunk, aminek helyén a légzés jól mérhetően fokozódik, mégpedig mintegy 50–100%-kal. Az aktiválódás mértéke szerint különbségeket is megállapíthattunk. Ennek tüzetesebb vizsgálatára csak később kerülhet sor.

6. A belső CO_2 tartalom vizsgálata

A citrus-félék gyümölcsének anyagcsere-intenzitását gyorsan és praktikusán jellemezhetjük, ha a csúcsnál, vagy a vacok felőli részen kb. 5–7 mm átmérőjű és 3–4 cm hosszúságú kihegyesedő szűrő szerszámmal lyukat fúrunk a belső rész közepéig. Ez a csatorna megnyitja az endocarpium nedvdús szöveiteihez vezető utat, amelyen át a gyümölcs belsejéből kiárad a belső CO_2 tartalom. Eleinte meglehetősen heves a kiáramlás; mandarin esetében a szűrás helyére illesztett érzékelő szonda 1–2 másodperc alatt legalább 0,1 mikrogramm szén-dioxidot mutatott ki. Percre átszámolva és az értékeket sorba rendezve a következő adatokhoz jutottunk:

3,3; 3,3; 2,4; 2,1; 2,1: $2 \mu\text{g CO}_2/\text{min}$.

$$\text{Medián: } \frac{2.4+2.1}{2} = 2.25 \mu\text{g CO}_2/\text{min}.$$

Kiszámítottuk, hogy a belülről kiáramló gáz alig 1/6 részét adja a mandarin felszínén mért légzésnek. Nyilvánvaló, hogy a héj CO_2 termelése továbbra is a felszínen távozik el és nem hatol a gyümölcs belsejébe, amit egyébként ellenőriztünk. Gyakorlatilag nincs is szükségünk a teljes légzésre. Elegendő az a légzési mérőszám, amit a mesterséges nyíláson kiáramló CO_2 szolgáltat; ez ugyanis jellemzi az anyagcsere élénk, vagy renyhe menetét és a változások dinamikáját, továbbá a külső hatásokra (hűtés, melegítés stb.) adott válaszreakciókat.

Meg kellett állapítanunk azt is, mennyi idő alatt pótlódik a gyümölcs belsejében a CO₂ tartalom, ha onnan szivattással eltávolítottuk. Ezt labdás pipettával végeztük, a következő részeredményekkel:

1,5; 1,6; 1,8; 1,9; 2,0; 2,1; 2,2; 2,4; 2,7; $\mu\text{g CO}_2/\text{min}$.

$$\text{Medián: } \frac{2.0+2.1}{2} = 2.05 \text{ mg CO}_2/\text{min}.$$

Ne tévesszen meg a percre (minutum) történi vonatkoztatás. Valójában egy-egy mérés lefolyása csak 3–4 másodpercet igényelt (kb. fél perc előkészülettel), de ilyen alapon nem lehetne jól összehasonlítani a különböző variánsokat.

Megállapítottuk, hogy 20 °C körüli hőmérsékleten 5 percnyi várakozási idő elegendő a belső gázegyensúly helyreállításához. Ha tehát tíz különböző kísérleti variáns egymás után mérünk és úgy térünk vissza az elsőhöz, akkor korrektt értéket kell kapnunk. Minden egyes gyümölcsnél öt-öt mérést végezve félórán belül tíz különböző variánsról szerezhetünk statisztikailag is kifogástalan légzési adatot.

Narancsral kapcsolatban megállapítottuk, hogy fél nap elteltével a belső CO₂ utánpótlás mintegy felére csökkent. Később meglehetősen egyenletes maradt a légzésmenet több napon keresztül. Így azután módunk volt számos stresszor (hűtés, melegítés) hatását ellenőriznünk. Tapasztaltuk, hogy a kísérletezésnek ez az útja járható. Előnyösnek bizonyult az is, ha a citrus gyümölcsökbe fűrt akna nyílásába megfelelő méretű golyócskát illesztünk. Ez a peremnél meggyorsította az ún. Stefan-szabály értelmében a CO₂ kiáramlását, viszont gátolta a külső levegő behatolását a gyümölcsbe. Amellett a golyó kiálló darabja szinte automatikusan illesztette pontosan ugyanarra a helyre az érzékelő szondát az ismétlések során. Ezzel a mérési hibák is csökkentek.

Jelen tanulmányunk végső soron igazolta a FREWILL készülék használhatóságát a gyakorlatban, továbbá azt is, hogy a gyümölcsökön végzett légzésmérés olyan út, amelyen a tárolás és gyümölcsszállítás ésszerűen javítható.

IRODALOM

- (1) *Mellickij, L. V.*; A gyümölcsök és zöldségfélék biokémiája (Magyar fordítás.) Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 1975.
- (2) *Frenyó V.*; Botanikai Közlemények, 61, 129, 1974.
- (3) *Frenyó V.*; Botanikai Közlemények, 66, 255, 1979–80.
- (4) *Frenyó V.*; Botanikai Közlemények, 64, 101, 1977.
- (5) *Frenyó V.*; Agrokémia és Talajtan (megjelenés alatt); 1984.
- (6) *Frenyó V.*; Eljárás és készülék gázelegyek egyes komponenseinek, főleg széndioxid tartalmának meghatározására.
Magyar szabadalom lajstromszáma: 168 832;
USA Patent: 3,961,895 Angol Patent: 1,497,824; NSZK Patent: 2,451,956; 1974–1978.
- (7) *Frenyó V.*; *Brunner, T.*; Acta Agronomica Acad. Scient. Hung. 26, 295, 1977.
- (8) *Balogh S.*; Kertgazdaság 7, 59, 1975.
- (9) *Sass P.*–*Hámori T.-né*; A Jonatán alma korszerű tárolásának legfontosabb tényezői. Kertészeti Egyetem, Gyümölcsstermesztési Tanszék (házi kiadvány Pp. 57); Budapest, 1975.
- (10) *Frenyó, V.*; Acta Agronomica Acad. Sci. Hung. 24, 385, 1975.

ИСПЫТАНИЕ ЦИТРУСОВЫХ II. ИСПЫТАНИЕ ОБМЕНА ВЕЩЕСТВ С ПОМОЩЬЮ ИЗМЕРЕНИЯ ДЫХАНИЯ

Л. Кадаш и В. Френё

В статье описано практическое применение нового прибора для измерения дыхания, с помощью которого можно характеризовать обмен веществ у фрукт по интенсивности дыхания. Прибор имеет повышенную чувствитель-

ность и дает возможность в течение I минуты определить количество выдыхаемого CO_2 в любой точке кожуры фрукт.

По вероятности, для суждения о способности устойчивости фрукт, можно будет применять ответные реакции, полученные при травматогенных действиях, однако, этот метод еще нуждается в разработке.

Наиболее доступным путем является, очевидно, исследование с целью диагностики внутреннего содержания CO_2 у цитрусовых через отверстия во внутренней части фрукт.

EXAMINATION OF CITRUS FRUITS II. EXAMINATION OF METABOLISM BY SPIROMETRY

L. Kádas and V. Frenyó

The paper is about the test of the practical application of a new spirometric instrument with the purpose of characterizing the metabolism of fruits by the intensity of respiration. The instrument of high sensitivity is suitable to determine the quantity of the expired CO_2 . According to the results the respiratory response reactions given to traumatogen effects can be used for the judgement of the resistance of fruit, but the method is to be elaborated yet. The most feasible way for the examination of the CO_2 content of citrus fruits with diagnostic purposes is through a gap into the inside of the fruit.

UNTERSUCHUNG DER CITRUSARTEN II. UNTERSUCHUNG DES STOFFWECHSELS MITTELS ATMUNGSMESSUNGEN

L. Kádas und V. Frenyó

Die Arbeit beschreibt die praktische Anwendung eines neuen Apparates zur Messung der Atmung zur Kennzeichnung des Stoffwechsels von Früchten mittels der Atmungsintensität. Dieser äusserst empfindlicher Apparat ist dazu geeignet, dass man das Volumen des ausgeatmeten CO_2 an irgendeinem Punkt der Obstschale binnen einer Minute feststellen möge. Auf Grund der Angaben sind die durch traumatogenen Wirkungen hervorgerufenen Antwortreaktionen der Atmung zur Beurteilung der Widerstandsfähigkeit des Obstes anwendbar, soll jedoch die Methode noch weiter entwickelt werden. Die Untersuchung des inneren CO_2 -Gehaltes der Citrusarten zum Zweck der Diagnostik scheint ein gangbarer Weg zu sein, durch eine Öffnung ins Innere des Fruchtes durchgeführt.

L'ANALYSE DES HESPÉRIDÉES II. L'ANALYSE DU MÉTABOLISME PAR LA RESPIROMÉTRIE

L. Kádas et V. Frenyó

Les auteurs font l'essai d'un appareil nouveau à respirométrie pour analyser le métabolisme des fruits par l'intensité respiratoire. Il est possible analyser avec cet appareil sensible pendant une minute la quantité de l'anhydride carbonique expirée de n'importe quel point du zeste.

Semble indiquer que les réactions respiratoires aux actions traumatogènes sont utilisables à l'appréciation de la résistance du fruit mais la méthode est sous l'élaboration. Semble pratique l'analyse de la teneur en anhydride carbonique des hespéridées à travers un'interstice dans le fruit.