

PALACKOZOTT BOROK ELTARTHATÓSÁGA A MEGVILÁGÍTÓ FÉNY ÉS A PALACK ANYAGÁNAK FÜGGVÉNYEBEN

Laposa Zsófia¹, Keszei Ernő²

¹ Pécsi Tudományegyetem, Természettudományi Kar,
Biológiai Intézet és Szőlészeti és Borászati Kutatóintézet,

² Eötvös Loránd Tudományegyetem, Kémiai Intézet,
Fizikai Kémiai Tanszék

Összefoglalás

A borokat készítésük és érlelésük során legtöbbször fénytől elzárva, sötétben tárolják. A palackok nagy része azonban kereskedelmi forgalomba kerül, szaküzletek vagy szupermarketek polcaira, mielőtt a fogyasztók megvásárolnák. Ezek jelentős besugárzása az UV-A és az ibolya színű tartományban (320–440 nm) rontja a borok érzékszervi minőségét, amint ezt már 1978-ban leírták [1]. Az ún. „fényíz” (goût de lumière) kialakulásáért a fototermekek, főként a szerves kénvegyületek felelősek. A károsodás természete és mértéke jelentősen függ magától a bortól (fajta, készítési mód, életkor stb.), valamint a palack anyagától (színétől) és formájától. Ebben a cikkben először röviden áttekintjük a legfontosabb káros fotokémiai folyamatokat irodalmi források alapján. Ezt követően ismertetjük saját kutatásainkat, amelyek során elsőként vizsgáltuk borospalackok *in situ* fényáteresztési spektrumát különböző fényforrások (napfény, fénycsövek és LED lámpák) alkalmazásával. A mérések eredményeit és irodalmi fotokémiai adatokat felhasználva modellszámításokkal megbecsültük az általunk vizsgált palackokban tárolt borok várható polci élettartamát. Érzékszervi vizsgálataink – amelyek során azonosítottuk a kellemetlen mellékízvegyületek megjelenését a megvilágítási idő függvényében – alátámasztották ezen számításaink megbízhatóságát. Eredményeink alapján javaslatot teszünk palackos borok polci eltarthatóságának növelésére.

Bevezetés

A borok összetételéről részletesen olvashatunk Kállay Miklós tankönyvében [2]; itt csak röviden megemlíjtük a későbbiek szempontjából fontos komponenseket. A bor különböző szervetlen és szerves anyagoknak valódi és kolloid alkoholos-vizes oldata. Legnagyobb mennyiségben víz alkotja, további jelentős összetevői az etilalkohol (általában 10-15 v/v%) és két monoszacharid, a szőlőcukor és a gyümölcscukor.

¹ A szerzők Gráf László professzor (ELTE, Biokémiai Tanszék) emléke előtt tisztelegnek jelen cikkükkel.

A többi komponens együttevén legfeljebb néhány százaléknyi, mégis ez a több száz féle összetevő adja az egyes borok jellegzetességét. Mennyiségük, illetve egyáltalán jelenlétük nagymértékben függ a szőlő fajtájától, termőhelyétől, a talaj összetételétől, a borkészítés módjától, valamint egyéb tényezőktől. Kis mennyiségben glicerín, tanninok (polifenolok), terpének, cukormentes extrakt (fémek, ásványi anyagok), aminosavak, fehérjék, vitaminok és több száz egyéb, kis koncentrációjú anyag található a borban.

A borok többsége legfeljebb néhány g/l cukrot tartalmaz. A cukortartalom alapján megkülönböztetünk száraz (4 g/l-nél kevesebb), félszáraz (4-12 g/l), félédes (12-45 g/l) és édes (45 g/l felett) borokat. A cukrot tartalmazó borok tárolása, kezelése mindig több odafigyelést igényel, mint a száraz boroké, mivel nehezebb a stabilitás elérése. Fotokémiai szempontból vizsgálva a magasabb cukortartalmú borok viszont kevésbé fényérzékenyek.

A borban előforduló savak mennyisége függ a bor fajtájától és az évjárártól. A borkősav (1–5 g/l) mellett a bor egyik legfontosabb sava az almasav; mennyisége a borban 0–8 g/l körüli. A bor egyik természetes szerves alkotóeleme a citromsav, alkoholos erjedéskor pedig borostyánkősav is képződik. A borok fontos alkotóelemei a tanninok, a fanyarság egyik legfontosabb meghatározói.

A bor nitrogénvegyületeit a következő csoportokba oszthatjuk: ammóniumkation (NH_4^+), amidok, aminosavak, biogén aminok, polipeptidek, peptonok, proteinek és aminosavak. A bor nitrogéntartalmú anyagainak koncentrációja függ a fajtától, a művelési módtól és az évjárat időjárási tényezőitől. Az összes nitrogéntartalom 50–1800 mg/l között változik, így a bor extrakttartalmának 20–30%-át is kiteheti. A szőlő feldolgozási módja is befolyásolja a nitrogéntartalom alakulását: törkölyös erjesztés például növeli a nitrogéntartalmat, a derítésnek pedig nitrogéncsökkentő hatása van. Az aminosavakban levő nitrogén a borok összes nitrogéntartalmának 10–40%-át teszi ki.

A kénhidrogén és a kéntartalmú szerves vegyületek csak kis mennyiségben fordulnak elő a kész borokban, érzékszervi küszöbértékük azonban nagyon alacsony, gyakran mindössze néhány $\mu\text{g/l}$. Küszöbérték felett kellemetlen szaguk van, ezért fotokémiai és borászati szempontból is nagy jelentőséggel bírnak. A kénhidrogén a borban található legegyszerűbb illó kéntartalmú metabolit, amely záptojásszagáról ismerhető fel. Ezt a vegyületet általában

élesztők termelik az elemi kén redukciójával, amely a szüreti időszakban is megtalálható a szőlőn vegyszermaradványok formájában, de kisebb mennyiségben képződhet a kéntartalmú aminosavakból is. Az elpusztult élesztősejtek is részt vesznek autolízisükkel a szerves kénvegyületek kellemetlen szagának kialakításában. Amint erről a későbbiekben részletesen is szó lesz, fény is előidézhetheti a kellemetlen ízű és szagú szerves kénvegyületek képződését. A merkaptánok szénhidrogénláncokhoz kapcsolódó szulfhidril- (SH-) csoportot tartalmaznak. A dimetil-szulfidnak ((CH₃)₂S) a küszöbérték felett rákra emlékeztető szaga van, kisebb mennyiségben pedig spárgára, gabonára és melaszra emlékeztet. A borban néha előfordulnak diszulfid vegyületek is, mint pl. a dimetil- és a dietil-diszulfid.

A borban található különböző vitaminok is, például B2-vitamin (riboflavin), amit az élesztő is szintetizál. Ez fény hatására bomlik, a vörösborokban azonban a színezékek többnyire megvédik ettől. Derítésekkel és adszorbens-kezelésekkel (szén, bentonit) mennyisége csökkenthető. A B5-vitamint (pantoténsav) szintén fontos megemlíteni fotokémiai szerepe miatt. Ennek mennyisége az ászkolás folyamán csökken.

Irodalmi áttekintés

Ha a palackozott fehérborokat az üzletek polcain viszonylag hosszú ideig éri fény, annak hatására mellékaromák képződhetnek [3], színváltozás következhet be [4, 5], valamint csökkenhet a kén-dioxid tartalom [6]. Ezen változások rontják a borok minőségét és lerövidítik eltarthatóságukat. A változás mértéke függ a fényforrás spektrumától, a fény intenzitásától, a palack optikai tulajdonságaitól és az eltelt időtől egyaránt. A továbbiakban részletesen áttekintünk néhány fontos fotokémiai folyamatot, amelyek hozzájárulnak a borok ún. fényízének kialakulásához.

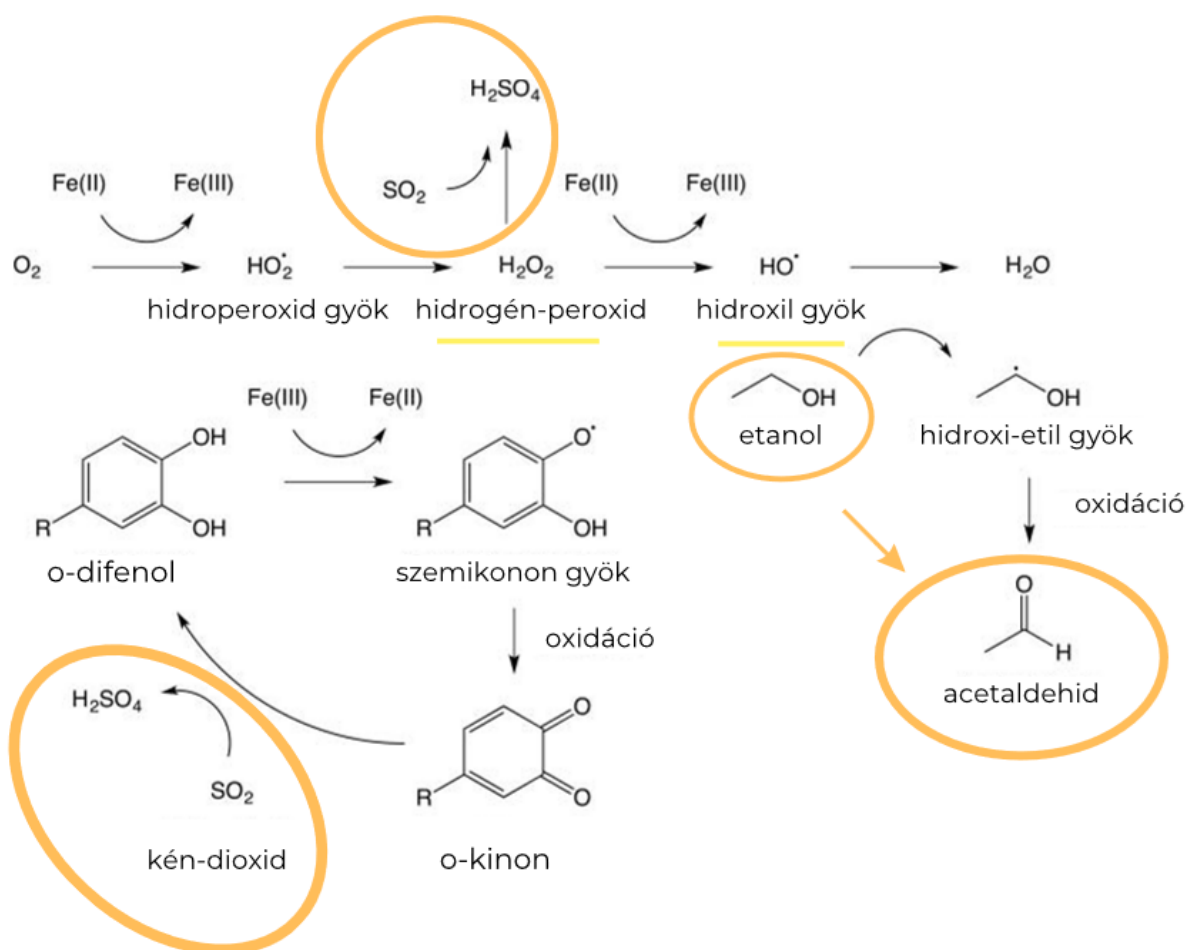
A bor oxidációja

A fehérborok oxidációja legtöbb esetben kedvezőtlen érzékszervi változást okoz [7]. A bor érlelése során oxigént fogyaszt és a záróelemen (dugó, csavarzár) keresztül idővel még több oxigén jut a palackba [8]. A fénynek kitett borban az alapállapotú triplett oxigén (³O₂) szingulett állapotba (¹O₂*) gerjeszthető, ami könnyen reakcióba lép a borban található egyéb molekulákkal. Sötétben tárolt borban nem keletkezik szingulett oxigén [7, 9]. A szingulett oxigén pl. reagál terpénekkel, hidroperoxidokat képezve [10], valamint metioninnal is [11, 12]. A rezveratrol egészségügyi előnyei összefüggenek a szingulett oxigén kioltó

képességével [13]; ezért a fénynek való kitettség csökkentheti ennek a vegyületnek a mennyiségét a borban.

A borban lévő átmeneti fémek, például a vas és a réz, amelyek jellemzően 5,5 és 0,2 mg/l körül vannak jelen [14], katalizálják az oxidációt. A vas(II) az oxigént gyökökké redukálhatja, majd a keletkező vas(III) oxidálhatja bizonyos borkomponenseket, így regenerálhatja a vas(II)-t, befejezve a katalitikus ciklust. A tartarát anion fény hatására lebomlik, ami jelentős hatással lehet a vas(III)/vas(II)-ciklusra is [15-17].

A vaskatalizált folyamatban keletkező hidroxilgyök nagyon erős oxidálószer és gyorsan reagál a borban lévő szerves vegyületekkel [9]. Az etanolt 1-hidroxi-etil-gyökké oxidálja, amely azután acetaldehiddé oxidálódik [18]. A hidroxilgyök kezdetben dihidroxifumársav képződését eredményezi, amely dekarboxilezési és oxidációs reakciók során lebomlik, glioxilsavat és más vegyületeket képezve [9, 16].



1. ábra. A bor fotodegradációjáért felelős egyik folyamat, az oxigén redukciója vas(III)-komplexek segítségével. Grant-Preece és munkatársai közleménye alapján [22].

A fenolvázás vegyületek a bor fő oxidációs szubsztrátjai, és az o-difenol szerkezetűek könnyen szemikinin gyökké oxidálódnak, amelyek tovább oxidálódnak o-kinon-vegyületekké [7, 19]. A fenolvázás vegyületek és oxidációs termékeik reakcióik során nagyobb molekulatömegű vegyületeket képeznek, amely reakciók a bor barnulásáért felelősek [20, 21].

Aromaváltozások

Dozon és Noble 1989-ben leírta, hogy milyen érzékszervi változáson ment át egy fehér csendes- és habzóbor 40 W-os fénycső által 72 órán keresztül történő megvilágítás hatására [3]. Tanulmányuk szerint csökkent a „citrusos” aroma és megjelent a „főtt káposzta”, „kukorica”, „dió”, „nedves gypjű” illat. A fehér üvegben tartott csendes- és habzóborok aromájában már 3,3–3,4 óra elteltével, a zöld palackokban pedig 18, illetve 31 óra elteltével figyeltek meg változást. Mattivi és munkatársai [23] 85 fehérbort 48 órán át wolframszálas izzólámpa fényének tettek ki. Ennek hatására a borok 31%-a intenzív mellékaromát, 40%-a pedig érezhető mellékaromát mutatott, a fennmaradó 29%-ban nem volt tapasztalható változás a vizsgálat során. A fehérborok fényérzékenységét a riboflavin hatásával társították; feltételezhető azonban, hogy más borkomponensek is hozzájárulnak a folyamathoz [23].

Haye és munkatársai a fehérborokban fény által kiváltott mellékaromákat az illékony kénvegyületeknek tulajdonították [24, 25]. Maujean és Seguin [25] azt találta, hogy pezsgőkben hidrogén-szulfid, metántiol és dimetil-diszulfid (DMDS) képződik megvilágítás hatására. A metántiol és a DMDS felelősek a fehérbor „főtt káposzta” aromájáért. A fénynek kitett Chardonnay borban acetaldehid is képződött [27]. Egy másik vizsgálat során kimutatták, hogy fény hatására megnő az etanol acetaldehiddé való oxidációjának sebessége.

A fehérborokban a kívánt aromavegyületek koncentrációja, beleértve az acetát-észtereket, alkoholokat, zsírsavakat és különösen az etil-észtereket (pl. az etil-hexanoátot és az etil-oktanoátot), csökkenhet fény hatására [4, 6, 28, 29, 30, 31]. Ezekről a vegyületekről kimutatták, hogy a fénynek kitett riboflavint tartalmazó modellbor oldatokban is lebomlanak, ami arra utal, hogy ilyen körülmények között a riboflavin fontos szerepet játszik a lebontásukban [29, 31].

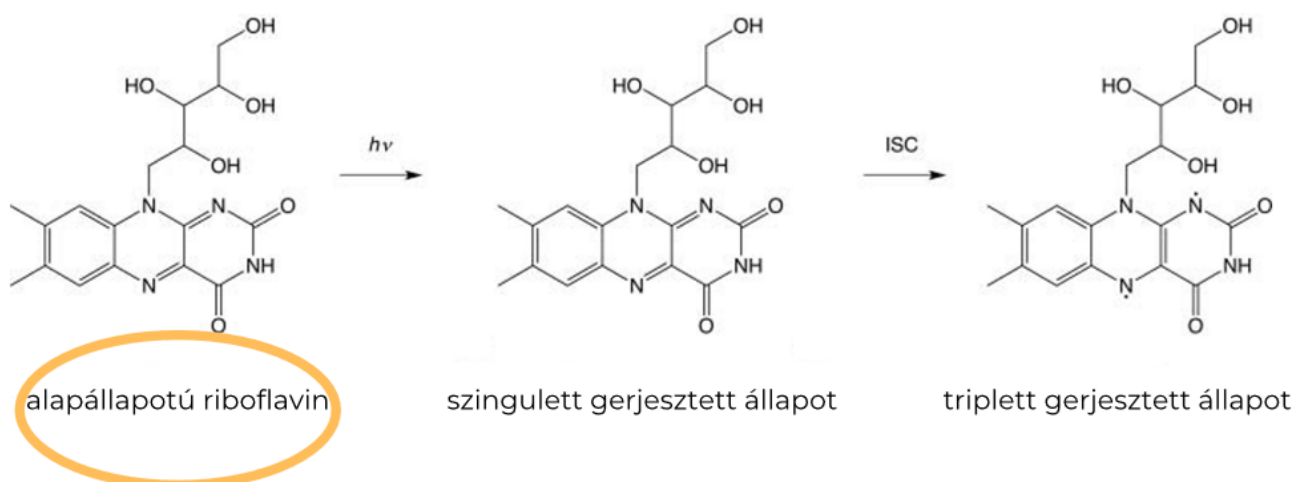
A bor színének fény hatására bekövetkező változásai

Egy korai tanulmány [32] megállapította, hogy a napfénynek való kitettség

megváltoztatja a fehérbor színét. A fény hatása felgyorsíthatja a réz által katalizált bortörések megjelenését is [33, 34]. Viszonylag magas hőmérsékleten (pl. 45°C) a fénynek való kitettség jelentősen felgyorsítja a palackozott fehérborok barnulását. Ez a folyamat nagyobb mértékben tapasztalható fehér és zöld palackok esetén, mint a sötétebb, barnás árnyalatúaknál [5, 27].

Az oxigén- és a kéndioxid-koncentráció változása

A fényexpozíció felgyorsítja az oxigénfelvételt [7, 35] és befolyásolja a palackozott bor redoxpotenciálját is [1, 36]. A palackozott bor redoxpotenciálja az érlelés során csökken, ami összefüggésbe hozható az oxigénfogyasztással [37, 38]. Maujean és munkatársai [1] kimutatták, hogy a Champagne redoxpotenciálja üvegeküvetákban lecsökkent egy szoláris szimulátor lámpa által kibocsátott, 340 vagy 441 nm-en áteresztő színszűrőkön áthaladó fény hatására, azonban alig változott 523 nm-en áteresztő színszűrő esetén. Riboflavin hozzáadása felgyorsította a Champagne redoxpotenciáljának csökkenését a besugárzás során [25]. Blake és munkatársai [6] azt találták, hogy egy fehér palackban lévő rizling bor szabad kéndioxid-koncentrációja 15 W-os kompakt fénycső alatt tárolva alacsonyabb volt, mint a sötétben tárolt minták esetén, 3 és 12 hónap elteltével egyaránt. Ugyanez a tendencia mutatkozott meg a szabad és a kötött kén-dioxid esetében is az azonos körülmények között tárolt Cabernet Franc borban.

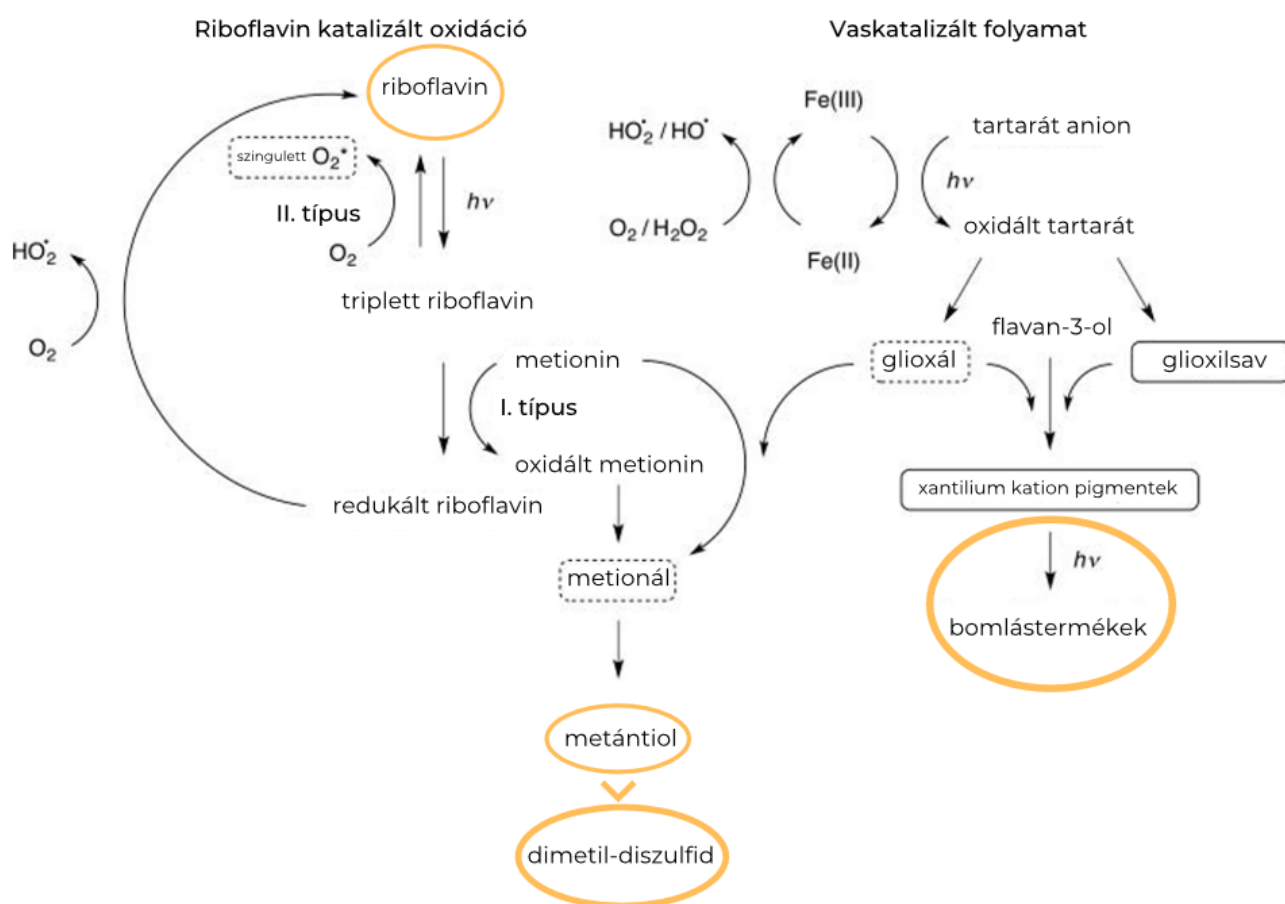


2. ábra. Alapállapotú riboflavin szingulett állapotba történő gerjesztése, majd spin-váltó átmenete triplett állapotba. Az első gerjesztés során vertikális átmenet történik a legalacsonyabb energiájú (S_1) szingulett gerjesztett állapotba a kötések megváltozása nélkül, majd relaxáció spinváltó átmenettel a legalacsonyabb energiájú (T_1) triplett gerjesztett állapotba. Ez utóbbi a reakcióképes molekula. Grant-Preece és munkatársai közleménye alapján [22].

Riboflavinnal szenzitizált oxidáció

A flavinok alkalmas fotoszenzitizáló anyagok, amelyek fény hatására fizikai vagy

kémiai változást idéznek elő szubsztrátumukban [29]. A flavinok magukban foglalják a riboflavint (B2-vitamin) és származékait, a flavin-mononukleotidot (FMN) és a flavin-adenin-dinukleotidot (FAD), amelyek az elektrontranszfer reakciókat katalizáló enzimek kofaktorai [40, 41]. Mattivi és munkatársai [23] arról számoltak be, hogy 85 fehérborot megvizsgálva azokban a riboflavin átlagos koncentrációja körülbelül 100 mg/l, míg az FMN és a FAD szintje elhanyagolható. A riboflavin fény hatására szingulett állapotba gerjesztődik, ami azután spinváltó átmenettel triplett gerjesztett állapotba megy át.



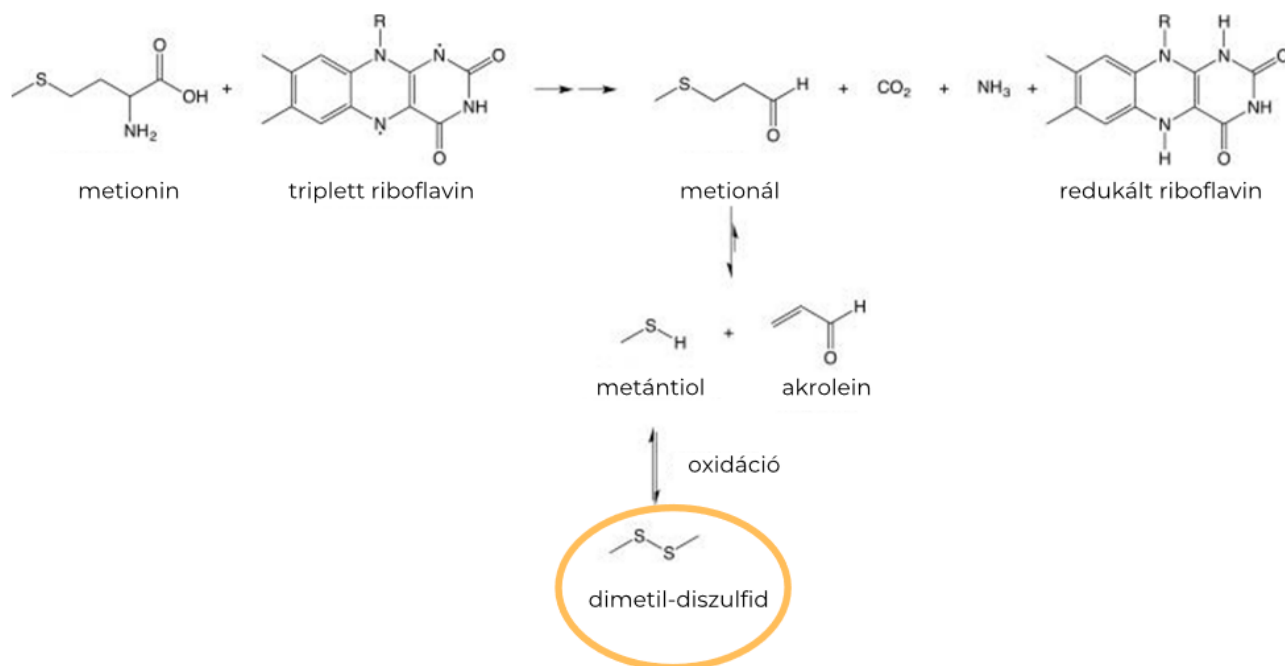
3. ábra. Fehérborok riboflavin- és vaskatalizált oxidációja. A borban vagy oldatban még nem azonosított, de a folyamatban feltételezett vegyületeket szaggatott dobozok jelzik. Grant-Preece és munkatársai közleménye alapján [22].

Illékony kénvegyületek riboflavin-szenzitizált keletkezése

Mattivi és munkatársai [23] kimutatták, hogy az általuk vizsgált 85 fehérbor esetében pozitív korreláció volt a kezdeti riboflavin-koncentráció és a fény által kiváltott mellékaromák intenzitása között. Ezen túlmenően a riboflavin hozzáadása (1 mg/l) 71%-ról 98%-ra növelte azoknak a boroknak az arányát, amelyekben a megvilágítás során mellékaromák alakultak ki. Egy korábbi tanulmány azt is kimutatta, hogy a fehérborok fényízre való érzékenysége a

riboflavin-koncentráció növekedésével általában nő [42]. Mattivi és munkatársai [23] szerint azonban a korreláció erőssége a különböző boroknál eltérő, így más borkomponensek, például kéntartalmú aminosavak, fenolvegyületek és átmenetifém-ionok is szerepet játszhatnak a fényíz kialakulásában a fehérborokban.

Maujean és Seguin [26] kimutatta, hogy a riboflavin, metionin és cisztein Champagne-hoz való hozzáadása megnöveli a metántiol és a DMDS termelését üvegeküvetákban, oxigén hiányában, fény hatására. A riboflavin jelenléte szükséges volt a kénhidrogén, metántiol és DMDS keletkezéséhez metionint és ciszteint tartalmazó modellbor oldatokban. A riboflavin koncentrációja a metionint tartalmazó modellborokban a besugárzás során lecsökkent, majd levegővel érintkezve visszánövekedett, míg metionin hiányában a riboflavin lebomlott [26]. A fényíz kialakulását sörökben is befolyásolja a riboflavin koncentrációja mellett a kéntartalmú aminosavak, a fenolvegyületek, az aszkorbinsav és az oxigén koncentrációja [43, 44].



4. ábra. Metionin riboflavin-szenzitizált oxidációjának [24] által javasolt folyamata fénynek kitett palackozott fehérborban. Grant-Preece és munkatársai közleménye alapján [22].

Anyagok és módszerek

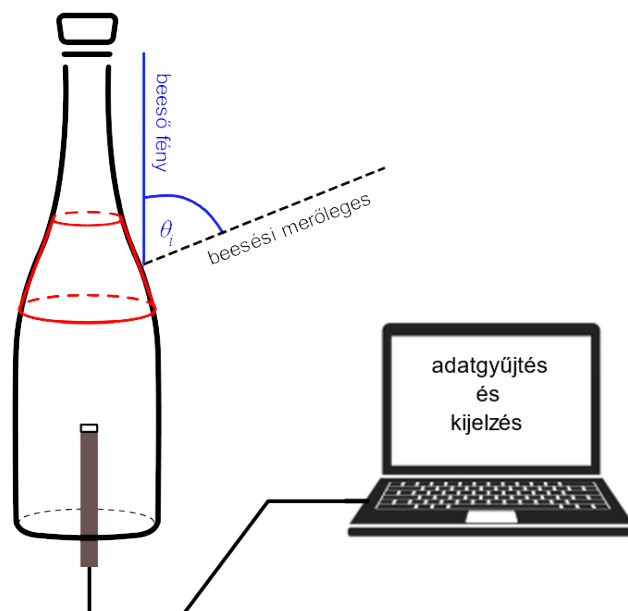
Kísérleti vizsgálataink során különböző borospalackok üveganyagainak fényáteresztését, a palackok *in situ* fényáteresztését, valamint egy fehér bor megvilágítás hatására történő minőségvesztését vizsgáltuk. Ehhez négy

palackot használtunk: fehér (flintüveg) bordóit, türkizkék, karcsú formájú rajnait, világosbarna (magyar borászati szóhasználat: hulló falevél) burgundit és sötétbarna (magyar borászati szóhasználat: olívdzöld) rajnait (7. ábra).

A palackok üvegének fényáteresztését azok oldalából kitört darab spektrofotometriás mérésével határoztuk meg. Mivel a palackok belsejében a szokásos spektrométerekkel nem lehet mérni, az összehasonlíthatóság miatt az üvegdarabok transzmisszióját is egy Avantes által gyártott AvaSpec-2048-USB2 típusú többcélú optikai szálal spektrométer segítségével határoztuk meg. Ennek érzékelőfejből a beérkező fényt az optikai szál egy lineáris CCD (Charge-coupled Device) detektorra továbbítja, aminek érzékelési tartománya 300-tól 1100 nm-ig terjed. Az üvegminta transzmisszióját az azon áthaladó fényintenzitás és a minta eltávolítása után mért beeső fényintenzitás hányadosaként számítottuk. A mérésekhez 555 nm felett wolframszálas izzólámpát, az alatt pedig egy nagynyomású higanylámpát használtunk fényforrásként. A két adatsor nagyon jól egyező eredményt mutatott 555 nm-nél, így azokat összeillesztve kaptuk a teljes UV-látható spektrumot. A leírt módon történt mérések ellenőrzésére az üvegdarab transzmisszióját megmértük egy Agilent Scientific Instruments által gyártott Agilent 8452 diódasoros spektrofotométerben is, azt a mintaküvetta helyére rögzítve, referenciaként küvetta nélkül a levegőt alkalmazva. Az így mért transzmissziós spektrum igen jó egyezést mutatott az optikai szálal módszerrel mért eredményekkel, így az azzal kapott mérési eredményeket hitelesnek tekintettük.

A palackok belsejébe bejutó fény mérésére az 5. ábrán látható elrendezést alkalmaztuk. A palack alját levágtuk, abba bevezettük a spektrométer érzékelőfejét úgy, hogy az a palack tengelye mentén, annak közepén, 20 cm távolságban volt a palack szájától. A megvilágító fény a palackra felülről esett, pontszerű fényforrás esetén a lámpa a dugó felett 1 m távolságban volt. A beeső fényintenzitást a palack eltávolítása után mértük. Mivel ezeknél a méréseknél az üzletek polcain elhelyezett palackok életszerű körülményeit akartuk utánozni, ezért a teljes spektrum mérésére csak egyféle fényforrást alkalmaztunk az *in situ* transzmisszió meghatározása során. Pontszerű fényforrásként a régóta használatos kompakt fénycsövet, valamint az újabban azt felváltó LED lámpát használtuk. Üzletek polcán előfordulhat az is, hogy nagyjából homogén, nagy felületről érkező fény éri a palackokat. Ennek utánzására szabad térben, egy épület árnyékában végeztük a kísérleteket úgy, hogy a palackot 45 fokos szögben megdöntve arra a tiszta nyári égboltról érkezett a fény. A mérőfej

helyzete a palackban megegyezett a függőleges elrendezésnél alkalmazottal. Mivel a palackok vastagsága (2,4 és 3,4 mm között) különböző volt, ezért a Lambert-Beer törvény alkalmazásával a mért transzmissziókat egységesen 3 mm üvegvastagságra normáltuk.



5. ábra. In situ fénymérés a palack belsejében felülről történő megvilágítás esetén, valamint annak optikai modellezése. A palack alját levágtuk, a spektrofotométer mérőfejét a palack közepén függőlegesen, annak szájától 20 cm távolságra helyeztük el. A pontszerű fényforrás a dugó felett, attól 1 m távolságra volt. A transzmisszió optikai modellezéséhez a piros színnel jelölt csonka kúpot illesztettük a palack nyakára, a reflektivitást pedig az (1) és (2) egyenletek szerint számítottuk az ábrán kék színnel jelölt θ_i szög figyelembevételével.

Palackok fényáteresztése optikai modellek alkalmazásával jó közelítéssel ki is számítható. A számítások alapját az (1) és (2) ún. Fresnel egyenletek képezik. Az (1) egyenlet segítségével kiszámíthatjuk a síkban polarizált fény reflektivitását merőleges ($r_{\perp}$), illetve párhuzamos ($r_{\parallel}$) polarizáció esetén az alábbiak szerint:

$$r_{\perp} = -\frac{\sin(\theta_i - \arcsin(\sin \theta_i / n_2))}{\sin(\theta_i + \arcsin(\sin \theta_i / n_2))} \quad r_{\parallel} = \frac{\tan(\theta_i - \arcsin(\sin \theta_i / n_2))}{\tan(\theta_i + \arcsin(\sin \theta_i / n_2))} \quad (1)$$

Ebből a polarizálatlan fény transzmisszióját (T) a következőképpen számíthatjuk:

$$T = 1 - \frac{r_{\perp}^2 + r_{\parallel}^2}{2} \quad (2)$$

A fenti egyenletekben θ_i a beesési szög (az 5. ábrán kék színnel jelölve), n_2 pedig a palack üvegének törésmutatója. A palack fényáteresztő felületét (felülről párhuzamosan beeső fény esetére) egy olyan csonka kúppal modelleztük,

aminek az alaplapjára merőleges irányú párhuzamos fény az alkotójára merőleges beesési merőlegessel szöget zár be. A csonka kúpot úgy választottuk meg – amint az 5. ábrán is látható –, hogy alkotója éppen illeszkedjen a borospalack nyakrészére.

Végeztünk számításokat oldalsó párhuzamos megvilágítás esetére is. Ennél figyelembe kell venni a henger alakú palacktest görbületét, aminek függvényében a beesési szög a merőleges beesésű középponttól távolodva folyamatosan változik, valamint azt is, hogy ezzel együtt az adott apertúrájú párhuzamos fény által megvilágított felület mérete is változik. Ezek figyelembevételével az oldalról megvilágított palackba bejutó fény mennyisége numerikus integrálással határozható meg. A számításokról részletesebben lehet olvasni egy korábbi közleményünkben [45].

Fehérborok fotodegradációját *in situ* fényátersztés-méréseink és az irodalomban rendelkezésre álló adatok alapján fotokémiai modellszámítások segítségével becsültük. Ennek alapját a fény hatására képződő káros aromaanyagok r képződési sebességének számítása képezte a következő összefüggés szerint:

$$r = I_0 \cdot T \cdot A \cdot \Phi \quad (3)$$

A képletben I_0 a beeső fény fluxusa a 320–440 nm hullámhossztartományban bejutó fotonok mólszámával kifejezve, T a palack *in situ* mért transzmissziója, A a bor abszorbananciája a palackban, Φ pedig a káros aromaanyagok keletkezésének kvantumhasznosítási tényezője.

Az így számított reakciósebesség azt mutatja meg, hogy időegységenként mennyi káros (fényízt okozó) aromaanyag keletkezik a palackban. Ha a káros aromaanyagok érzékszervi küszöbértékét elosztjuk az r reakciósebességgel, akkor megkapjuk a polcon megvilágított adott borospalackban a bor polci eltarthatóságának felső határát.

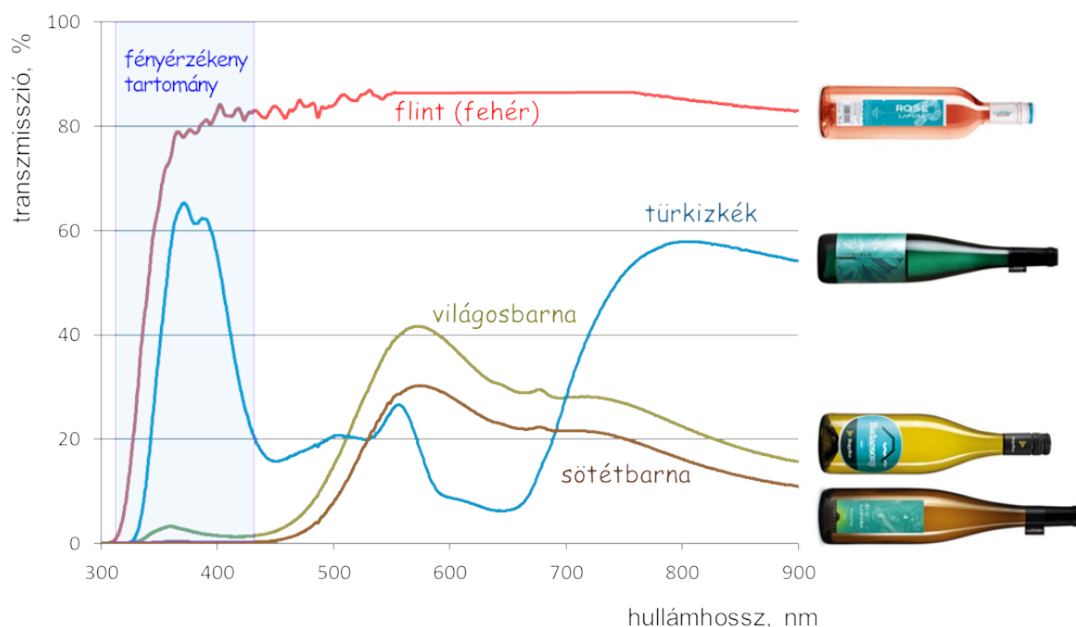
Modellszámításaink megbízhatóságának ellenőrzésére érzékszervi vizsgálatokat is végeztünk különböző ideig megvilágított borospalackok tartalmának kóstolásával. Ezekhez a vizsgálatokhoz a badacsonyi Part Pince 2019-es évjáratú olaszrizling borát használtuk. A bor fontosabb kémiai jellemzői a következők: alkohol 15,35 v/v%, cukor < 1 g/liter, savak 4,6 g/liter, amiből illó

sav 0,3 g/liter, szabad kénessav 15 mg/liter, pH = 3,61. A bort kétféle palackban vizsgáltuk: fehér (flintüveg) bordóiban és türkizkék rajnaiban. A palackokon 60x85 mm méretű címkék voltak a megvilágító 20 W/1250 lm/ 2700K (meleg fehér fényű) kompakt fluorszcens fénycsővel szemben. A palackok a fénycsőtől 40 cm távolságra voltak. A kísérletek az egyébként sötét pincében, 12°C hőmérsékleten zajlottak.

Különböző megvilágítási idők után a kóstolás az ún. háromszög protokoll alapján történt. Eszerint két pohárba azonos (A) mintából, egy harmadikba pedig egy ezekről különböző (B) mintából töltöttek bort, amit az érzékszervi értékelők vakon (annak ismerete nélkül, hogy melyik pohárban mi van) kóstoltak. A kóstolás eredményeként azt kellett eldönteni, hogy van-e különbség a három minta között, és ha igen, melyik az a B, amelyik a másik (azonos A) kettőtől különbözik. Ha találtak különböző mintát, annak eltérő aromajellegét is meghatározták.

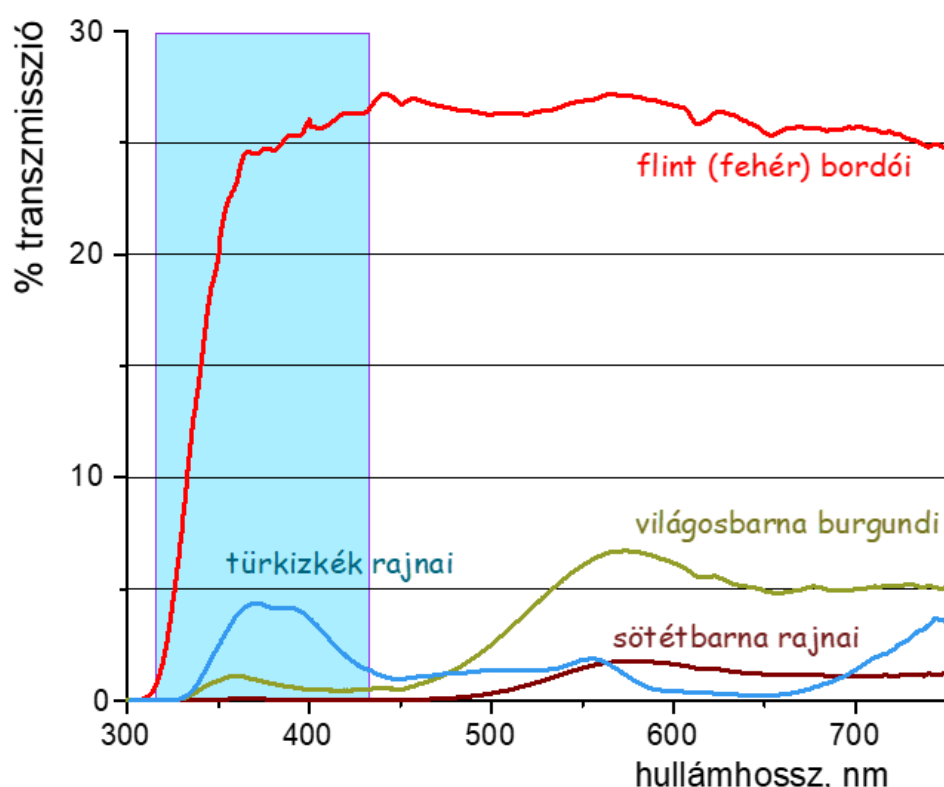
Eredmények

Várakozásainknak megfelelően a palackok üveganyagának áteresztése megfelel az irodalomban található értékeknek [46, 47]. A fehér üveg áteresztőképessége jóval meghaladja a 80%-ot 360 és 440 nm között; a türkizkék üvegé valamivel 60% felett van 360 és 395 nm között; a világosbarna üvegé körülbelül 2% 340 és 390 nm között; míg a sötétbarna áteresztése 0,3% alatti a teljes 320–440 nm-es káros tartományban.



6. ábra. A vizsgált borosüvegek anyagának transzmissziós spektruma.

A borok eltarthatósága szempontjából sokkal életszerűbb azonban, ha az üzletek polcain elhelyezett palackok megvilágítási viszonyai között a palack belsejébe bejutó fény mennyiséggel jellemezzük azok transzmisszióját. Az elérhető szakirodalomban nem találtunk erre vonatkozó méréseket vagy számításokat, ezért a dugózott, kapszulázott és címkézett palackok belsejében is megmértük a bejutó fény intenzitását az 5. ábra szerinti elrendezésben. Ezeknek az *in situ* transzmissziós méréseknek az eredményei láthatók a 6. ábrán, pontszerű fényforrás esetében. A mérésekhez 8 W teljesítményű, 720 lm látható fényt kibocsátó, 4000 K színhőmérsékletű LED lámpát használtunk. Mivel ez 400 nm alatti hullámhosszakon már nem sugároz, ezért 400 nm alatt az üveganyag mért transzmisszióját skáláztuk át úgy, hogy az ezen a hullámhosszon pontosan illeszkedjen az előlött mért *in situ* transzmissziós spektrumhoz. Amint az ábrából látható, a két spektrumrészlet törés nélkül, simán illeszkedik egymáshoz.



7. ábra. A vizsgált borosüvegek *in situ* transzmissziós spektruma. A borosüvegek pontszerű fényforrásból (LED lámpából) felülről történő megvilágításakor a palack belsejében mérhető transzmisszió százalékban kifejezve. A világoskék ablak a fotokémiai káros hullámhossztartományt (320-440 nm) jelöli.

A két transzmissziós spektrum összehasonlításából kiderült, hogy a palackokba ténylegesen bejutó fényintenzitás jelentősen kisebb, mint az üvegek anyagának transzmissziója. A káros hullámhossz-tartományban a fehér palack transz-

missziója 80% felettiről kb. 25%-ra, a türkizkék palacké 60% felettiről 5% alá csökken, míg a világosbarna palacké csak 1% körüli, a sötétbarnáé pedig elhanyagolhatóan kicsi. Homogén megvilágítás esetén (tisztá égbolt árnyékban) a palackok ennél nagyjából kétszer több fényt eresztettek be, ami a palack színétől és alakjától valamelyest függött. Ennek magyarázata az, hogy nagy kiterjedésű homogén fényforrásból széles látószögben, sok irányból érkezik a fény a palackok felületére.

Amint azt az Anyagok és módszerek fejezetben leírtuk, a transzmissziós mérések során megmértük a fényforrásokból a palackokra érkező beeső fény intenzitását is, ami gyakorlatilag a fényforrások emissziós spektrumával egyezik meg. Ezekből a mérésekből az derült ki, hogy a napfény emissziós spektruma nagyon jelentős intenzitású mind az UV-A, mind az ibolya komponensekben. A kompakt fluoreszcens lámpákban lévő higanygőz – ami a fénycső felületén lévő fényport gerjeszti – intenzív sugárzása 405 és 436 nm hullámhosszon mindig átjön a csövek falán, így annak borkárosító hatása is jelentős. Ezekhez képest a (manapság már nem használatos) izzólámpák csak az ibolyaszínű tartomány felső végében sugároznak nem túl nagy mértékben, az újabban terjedő LED lámpák pedig még ezeknél is kisebb mértékben.

In situ fényméréseink mellett modellszámításokat is végeztünk a palackokba bejutó fény mennyiség becslésére, az Anyagok és módszerek fejezetben leírtak szerint. Amint az 5. ábra alapján is látszik, a geometriai modell meglehetősen egyszerűsített, ezért nagyon pontos egyezésre nem is számítottunk. Eredményeink azt mutatják, hogy a számított *in situ* transzmisszió minden esetben nagyobb, mint a mért. Ez a palackok élettartam-becslése szempontjából azt jelenti, hogy az élettartam-számítások minden esetben biztonságos időtartamot (rövidebb eltarthatóságot) jeleznek előre, azaz nem kockáztatják a fényíz idő előtti kialakulását. A tömörsébb bordói és burgundi palackok esetében ez a felülbecslés 2- illetve 2,9-szeres, míg a karcsúbb sötétbarna és türkizkék palackok esetében 3-, illetve 8-szoros. A nagyobb eltérés oka lehet, hogy a rajnai palackokhoz a modellszámítások alapját képező csonka kúp kevésbé illeszkedik, mint a másik két típushoz, a türkizkék palack címkéje pedig sokkal nagyobb, mint a másik háromé. Abban az esetben, ha a 320–440 nm-es káros hullámhossz-tartományban nem rendelkezünk a fényáteresztés mérési adataival, a modellszámítások segíthetnek a hatékony védelem tervezésében, lévén mindig túlbecsülik a fény mennyiségét.

A palackok káros hullámhossz-tartománybeli fényátersztésének és a fényforrás fotonfluxus-sűrűségének ismeretében kiszámíthatjuk a fényízt okozó aromaanyagok képződési sebességét, ebből pedig a polci élettartamot. A fotonfluxus-sűrűséget napfény esetén irodalmi adatokból [48] határoztuk meg a káros hullámhossz-tartományon belüli numerikus integrálással. Kompakt fénycsövek esetében azt tapasztaltuk, hogy hasonló fényhőmérsékletű csövek emissziós spektruma nagyon hasonlít egymáshoz. Erre támaszkodva irodalmi adatokból [49] hasonlóképpen meghatároztuk egy ismert látható fényteljesítményű fénycső fotonfluxusát a káros tartományban, amit arányosnak feltételeztünk a fényteljesítménnyel, így átszámíthattuk azt az általunk használt fénycsövekkel történő megvilágításra is, mivel ismertük azok fényteljesítményét [45]. Fraccasetti és munkatársai [50] adatai alapján a CH_3SH észlelési küszöbe $10 \mu\text{g/l}$, a DMDS-é pedig $45 \mu\text{g/l}$. A reakciósebesség számításához e két adat átlagát, átszámítva 300 nmol/l küszöbértéket használtunk. Számításaink eredményét az 1. táblázatban foglaljuk össze.

1. táblázat. A vizsgált palackokban lévő fehérbor számított eltarthatósági ideje különböző megvilágítási viszonyok között (polci élettartam)

Üveg típusa	Megvilágítás	Transzmisszió 350 nm-en	Polci élettartam (óra)	Polci élettartam (nap)
Fehér bordói	napfény	33,8%	0,08	0,0
	CFL erős ¹	19,7%	3,6	0,3
	CFL gyenge ²	19,7%	17,8	1,5
Türkizkék rajnai	napfény	4,3%	0,63	0,1
	CFL erős	2,4%	29,0	2,4
	CFL gyenge	2,4%	144,9	12,1
Világosbarna burgundi	napfény	1,0%	2,72	0,2
	CFL erős	0,9%	79,1	6,6
	CFL gyenge	0,9%	396	33,0
Sötétbarna rajnai	napfény	0,06%	45,4	3,8
	CFL erős	0,04%	1761	147
	CFL gyenge	0,04%	8804	734
Kóstoló kísérlet				
Fehér bordói	CFL 313 lux	19,7%	5,7	0,5
Türkizkék rajnai	CFL 313 lux	2,4%	46,3	3,9

1 „CFL erős”: 500 lux, erős bolti megvilágítás kompakt fénycsővel.

2 „CFL gyenge”: 100 lux, gyengébb bolti megvilágítás kompakt fénycsővel.

Amint a táblázatban látható, a számítások szerint fehér bordói palackok esetében napfény hatására a borokban percekben belül megjelenik a fényíz, erős

mesterséges megvilágítás esetén pedig 4 óránál, gyenge megvilágítás esetén 18 óránál hamarabb. Türkizkék rajnai palackok esetén gyenge megvilágítás mellett a borok 12 napig tarthatók polcon kedvezőtlen érzékszervi változás nélkül. Világosbarna burgundi palackokban a borok egy hónapon belül nem változnak észrevehető mértékben. Sötétbarna rajnai palackokban a borok még erős megvilágítás mellett is közel fél évig tárolhatók kedvezőtlen hatás nélkül; gyenge megvilágításnál pedig több mint két évig.

Érzékszervi vizsgálataink alátámasztják számításaink eredményeinek megbízhatóságát. Kóstolási kísérleteink során 15, 75, illetve 150 óra megvilágítás után azt vizsgáltuk, hogy érezhető-e már a jellegzetes fényíz a borokban. Azt tapasztaltuk, hogy a fehér palackokban már 15 óra után kialakulnak a kellemetlen aromák, míg a türkizkék palackokban csak 75 óra megvilágítást követően.

A fehér bordói üvegekben lévő bor illatában 15 óra után már érezhetőek voltak vegetális (főtt káposzta, kukorica) jegyek. Két nappal későbbi újra kóstolás után (megvilágítás nélkül) pedig már a bor íze is megváltozott. 75 óra megvilágítás után oxidációs aromák jelentek meg, illetve záptojás- és hagymaszag, valamint csökkent a savérzet is. Ezek az illatok és aromák tovább erősödtek 150 óra megvilágítás után, és a mintákban erősödött a vegetális jelleg (spárga). Ezek az aroma- és ízjegyek a kéntartalmú anyagokhoz és oxidációs termékekhez kapcsolódnak, a borban azonban semmilyen barnulás nem volt tapasztalható még 150 óra megvilágítás után sem.

A türkizkék rajnai üvegekben lévő borban 15 óra megvilágítás után még nem volt észlelhető változás. 75 óra megvilágítás után ugyanazok az oxidatív és fénykárosodásból eredő aromák voltak jelen, mint a megvilágított fehér bordói palackban lévő mintában, némi „vizes gyapjú” ízzel és csökkent savérzettel. A minták között azonban nem volt lényeges különbség 75 és 150 óra megvilágítás után.

Az érzékszervi vizsgálatban kóstolt bor nem rendelkezett erőteljes észter profillal, így a citrusos jelleg csökkenése ebben az esetben nem volt megfigyelhető, de korábbi irodalmi adatok szerint ezek a jegyek (fajtajelleg) is nagymértékben változnak fénykárosodás esetén [3].

Eredmények értékelése

Vizsgálatunk célja az volt, hogy *in situ* mérjük a borosüvegek fényátersztését, illetve azt optikai modellezés alapján is kiszámítsuk. Eredményeink szerint jóval kevesebb fény jut be a palackokba, mint amennyit maga az üveg anyaga átenged. Természetes fény, azaz napsütés esetén a transzmisszió nagyobb, mint a mesterséges, pontszerű fényforrásokból származó megvilágítás esetén, mivel homogén, nagy felületről érkező fény éri a palackokat. Ezen adatok birtokában ki tudjuk számítani az üvegen átjutó fotonok fluxusát, abból pedig a fényízt okozó káros aromaanyagok keletkezésének sebességét. A reakciósebességi adatokból így becsülhető a különböző formájú és anyagú palackokban tárolt fehérborok polci élettartalma.

A fehér (flint) és a türkizkék üvegek jelentős mértékben átengedik a fényt a 320 és 440 nm közötti tartományban, ami rövid idő alatt a fényíz megjelenését és az aromaanyagok lebomlását okozza. A barnás árnyalatú üvegek lényegesen kevesebb fényt engednek át a káros hullámhossz-tartományban, különösen a sötét tónusúak. A fehérborok fehér és türkizkék palackban csak néhány napig, míg a világosbarna árnyalatú üvegekben körülbelül egy hónapig, a sötétbarna árnyalatú üvegekben pedig egy évnél tovább tarthatóak el fény okozta észrevehető károsodás nélkül. A fehér (flint) és a türkizkék üvegek esetében az érzékszervi vizsgálat megerősíti számítási eredményeink reális voltát, valamint azok összhangban állnak korábban publikált vizsgálatok eredményeivel is.

Ezek egyértelműen azt támasztják alá, hogy az átlátszó fehér (flint) és a türkizkék üvegek borászati alkalmazása kerülendő. (Megjegyezzük itt, hogy ugyanez vonatkozik a zöld színű palackokra is, mivel azok káros tartománybeli fényátersztése gyakorlatilag megegyezik az általunk vizsgált türkizkék üvegével [47].) A fényíz kialakulásának elkerülésére megoldást jelenthet a napfény teljes kizárása és olyan mesterséges világítás használata, amelynek minimális a sugárzása a káros 320–440 nm-es hullámhossz-tartományban. Nyilvánvaló, hogy a kompakt fénycsövek nem alkalmasak erre a célra, mivel mindegyikben jelen van a higanygőz két jellemző csúcsa (405 és 436 nm). Az általunk mért fényforrások emissziós spektrumai alapján a „meleg fehér” LED lámpák alkalmasabbak erre a célra, mivel kibocsátásuk a kritikus hullámhossz-tartományban viszonylag kicsi.

A bor vegyi anyagokkal történő kezelése, illetve a riboflavin és pantoténsav eltávolítása szerintünk nem indokolt, mert azzal jelentősen beavatkozunk a bor

szerkezetébe. A derítéshez (tisztításhoz) egyébként is használt bentonit és szén viszont csökkenti a riboflavin mennyiségét a borokban, így ezen anyagok használata valamennyire csökkentheti a fényíz kialakulásának kockázatát [50].

Köszönetnyilvánítás

Köszönetet mondunk Dr. Vesztergom Soma (ELTE, Kémiai Intézet) egyetemi adjunktusnak a mérések során nyújtott közreműködéséért, továbbá Part Róbertnek részvételéért az érzékszervi bírálatban.

Irodalomjegyzék

- [1] Maujean, A., Haye, M., Feuillat, M. (1978) Contribution à l'étude des « goûts de lumière » dans le vin de champagne. II. Influence de la lumière sur le potentiel d'oxydoreduction. Corrélation avec la teneur en thiols du vin. *Connaissance Vigne et Vin*, **12**: 277–290.
- [2] Kállay, M. (2010) Borászati kémia. (Mezőgazda Kiadó) pp. 206.
- [3] Dozon, N.M., Noble, A.C. (1989) Sensory Study of the Effect of Fluorescent Light on a Sparkling Wine and Its Base Wine. *Am J Enol Vitic*, **40**: 265–271.
- [4] Benítez, P., Castro, R., Natera, R., García Barroso, C. (2006) Changes in the polyphenolic and volatile content of „Fino” sherry wine exposed to high temperature and ultraviolet and visible radiation. *Eur Food Res Technol*, **222**: 302–309.
- [5] Dias, D.A., Smith, T.A., Ghiggino, K.P., Scollary, G.R. (2012) The role of light, temperature and wine bottle colour on pigment enhancement in white wine. *Food Chem*, **135**: 2934–2941.
- [6] Blake, A., Kotseridis, Y., Brindle, I.D., Inglis, D., Pickering, G.J. (2010) Effect of light and temperature on 3-alkyl-2-methoxypyrazine concentration and other impact odourants of Riesling and Cabernet Franc wine during bottle ageing. *Food Chem*, **119**: 935–944.
- [7] Singleton, V.L. (1987) Oxygen with phenols and related reactions in musts, wines, and model systems: Observations and practical implications. *Am J Enol Viticult*, **38**: 69–77.
- [8] Ugliano, M. (2013) Oxygen contribution to wine aroma evolution during bottle aging. *J Agric Food Chem*, **61**: 6125–6136.
- [9] Danilewicz, J.C. (2003) Review of reaction mechanisms of oxygen and proposed intermediate reduction products in wine: Central role of iron and copper. *Am J Enol Viticult*, **54**: 73–85.
- [10] Chiron, F., Chalchat, J.C., Garry, R.P., Pilichowski, J.F., Lacoste, J. (1997) Photochemical hydroperoxidation of terpenes I. Synthesis and

- characterization of α -pinene, β -pinene and limonene hydroperoxides. *J Photochem Photobiol Chem*, **111**: 75–86.
- [11] Jung, M.Y., Yoon, S.H., Lee, H.O., Min, D.B. (1998) Singlet oxygen and ascorbic acid effects on dimethyl disulfide and off-flavor in skim milk exposed to light. *J Food Sci*, **63**: 408–412.
- [12] Min, D.B., Boff, J.M. (2002) Chemistry and reaction of singlet oxygen in foods. *Compr Rev Food Sci Food Saf*, **1**: 58–72.
- [13] Jiang, L.Y., He, S., Jiang, K.Z., Sun, C.R., Pan, Y.J. (2010) Resveratrol and its oligomers from wine grapes are selective $^1\text{O}_2$ quenchers: Mechanistic implication by high-performance liquid chromatography-electrospray ionization-tandem mass spectrometry and theoretical calculation. *J Agric Food Chem*, **58**: 9020–9027.
- [14] Danilewicz, J.C. (2007) Interaction of sulfur dioxide, polyphenols, and oxygen in a wine-model system: Central role of iron and copper. *Am J Enol Viticult*, **58**: 53–60.
- [15] Clark, A.C., Scollary, G.R. (2003) Influence of light exposure, ethanol and copper (II) on the formation of a precursor for xanthylum cations from tartaric acid. *Aus J Grape Wine Res*, **9**: 64–71.
- [16] Clark, A.C., Prenzler, P.D., Scollary, G.R. (2007) Impact of the condition of storage of tartaric acid solutions on the production and stability of glyoxylic acid. *Food Chem*, **102**: 905–916.
- [17] Clark, A.C., Dias, D.A., Smith, T.A., Ghiggino, K.P., Scollary, G.R. (2011) Iron(III) tartrate as a potential precursor of light induced oxidative degradation of white wine: Studies in a model wine system. *J Agric Food Chem*, **59**: 3575–3581.
- [18] Elias, R.J., Andersen, M.L., Skibsted, L.H., Waterhouse, A.L. (2009) Identification of free radical intermediates in oxidized wine using electron paramagnetic resonance spin trapping. *J Agric Food Chem*, **57**: 4359–4365.
- [19] Waterhouse, A.L., Laurie, V.F. (2006) Oxidation of wine phenolics: A critical evaluation and hypotheses. *Am J Enol Viticult*, **57**: 306–313.
- [20] Boulton, R.B., Singleton, V.L., Bisson, L.F., Kunkee, R.E. (1996) Principles and practices of winemaking. Chapman & Hall, New York.
- [21] Li, H., Guo, A., Wang, H. (2008) Mechanisms of oxidative browning of wine. *Food Chem*, **108**: 1–13.
- [22] Grant-Preece P., Barril C., Schmidtke L.M., Scollary G.R., Clark A.C. (2017) Light-induced changes in bottled white wine and underlying photochemical mechanisms. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, **57**: 743–754.

- [23] Mattivi, F., Monetti, A., Vrhovsek, U., Tonon, D., Andres-Lacueva, C. (2000) High performance liquid chromatographic determination of the riboflavin concentration in white wines for predicting their resistance to light. *Journal of Chromatography A*, **888**: 121–127.
- [24] Haye, G., Maujean, A., Jacquemin, C., Feuillat, M., (1977) Contribution à l'étude des „goûts de lumière” dans le vin de Champagne. I. Aspects analytiques. Dosage des mercaptans et des thiols dans les vins. *Connaiss Vigne Vin*, **11**: 243–54.
- [25] Maujean, A., Seguin, N., (1983) Contribution à l'étude des „goûts de lumière” dans les vins de Champagne. 3. Les reactions photochimiques responsables des „goûts de lumière” dans le vin de Champagne. *Sci Aliment*, **3**: 589–601
- [26] Maujean, A., Seguin, N., (1983) Contribution à l'étude des „goûts de lumière” dans les vins de Champagne. 4. Approches à une solution oenologique des moyens de prevention des „goûts de lumière”. *Sc. Aliment*, **3**: 603–13.
- [27] Dias, D.A., Clark, A.C., Smith, T.A., Ghiggino, K.P., Scollary, G.R. (2013) Wine bottle colour and oxidative spoilage: Whole bottle light exposure experiments under controlled and uncontrolled temperature conditions. *Food Chem*, **138**: 2451–2459.
- [28] Benítez, P., Castro, R., García Barroso, C. (2003) Changes in the polyphenolic and volatile contents of „Fino” sherry wine exposed to ultraviolet and visible radiation during storage. *J Agric Food Chem*, **51**: 6482– 6487.
- [29] D'Auria, M., Emanuele, L., Mauriello, G., Racioppi, R. (2003) On the origin of „goût de lumière” in Champagne. *J Photochem Photobiol Chem*, **158**: 21–26.
- [30] Jung, R., Hey, M., Hoffmann, D., Leiner, T., Patz, C.D., Rauhut, D., Schüssler, C., Wirsching, M. (2007) Lichteinfluss bei der Lagerung von Wein. *Mitt Klosterneuburg*, **57**: 224–231.
- [31] Cellamare, L., D'Auria, M., Emanuele, L., Racioppi, R. (2009) The effect of light on the composition of some volatile compounds in wine: An HS-SPME-GC-MS study. *Int J Food Sci Technol*, **44**: 2377–2384.
- [32] Sato, S., Nakamura, K., Tadenuma, M., Motegi, K. (1970) Effects of light rays on the colour of alcoholic beverages. *J Soc Brew Jpn*, **65**: 433–438.
- [33] Amerine, M. A., Joslyn, M.A. (1970) Table wines. The technology of their production. 2nd ed. (University of California Press, Berkeley and Los Angeles).

- [34] Ribereau-Gayon, P., Glories, Y., Maujean, A., Dubourdieu, D. (2006) Handbook of enology. Volume 2. The chemistry of wine stabilization and treatments. 2nd ed. (John Wiley & Sons, Ltd, Chichester) pp. 451.
- [35] Rossi, J.A., Singleton, V.L. (1966) Contributions of grape phenols to oxygen absorption and browning of wines. *Am J Enol Viticult*, **17**: 231–239.
- [36] Tomlinson, J.W., Kilmartin, P.A. (1997) Measurement of the redox potential of wine. *J Appl Electrochem*, **27**: 1125–1134.
- [37] Kilmartin, P.A., Zou, H. (2001) The effect of electrode material on the measured redox potential of red and white wines. *Electroanalysis*, **13**: 1347–1350.
- [38] Danilewicz, J.C. (2012) Review of oxidative processes in wine and value of reduction potentials in enology. *Am J Enol Viticult*, **63**: 1–10.
- [39] Bekbölet, M. (1990) Light effects on food. *J Food Protect*, **53**: 430–440.
- [40] Heelis, P.F. (1982) The photophysical and photochemical properties of flavins (isoalloxazines). *Chem Soc Rev*, **11**: 15–39.
- [41] Müller, F. (1983) The flavin redox-system and its biological function. In: Radicals in Biochemistry. **108**: (Springer, Berlin and Heidelberg) pp. 71–107.
- [42] Pichler, U. (1996) Analisi della riboflavina nei vini bianchi e influenza della sua concentrazione. *Enotecnico*, **32**: 57–62.
- [43] Gray, P., Stone, I., Rothschild, H. (1941) The action of sunlight on beer. *Wallerstein Lab Commun*, **4**: 29–40.
- [44] Kuroiwa, Y., Hashimoto, N., Hasnimoto H., Kukovoe E., Nakagawa, K., (1963) Factors essential for the evolution of sunstruck flavor. *Proc. Am. Soc. Brew. Chem.*, pp. 181–93.
- [45] Laposa, Z., Vesztergom, S., Kocsis, M., Keszei, E. (2023) In situ measurement of light transmission into wine bottles and calculation of shelf life. *OENO One*, **57**(1): 265–277.
- [46] Dias, D. A., Ghiggino, K. P., Smith, T. A., Scollary, G. R. (2010) Wine Bottle Colour and Oxidative Spoilage. The University of Melbourne, Melbourne.
- [47] Hartley, A. (2008) The effect of ultraviolet light on wine quality. Waste and Resources Action Program, Oxon.
- [48] NREL (2003). The National Renewable Energy Laboratory.
- [49] Eadie, E., Ferguson, J., Moseley, H., (2009) Preliminary investigation into the effect of exposure of photosensitive individuals to light from compact fluorescent lamps. *British Journal of Dermatology*, **160**: 659–64.
- [50] Fracassetti, D., Di Canito, A., Bodon, R., Messina, N., Vigentini, I., Foschino, R., Tirelli, A., (2021) Light-struck taste in white wine: Reaction

mechanisms, preventive strategies and future perspectives to preserve wine quality. *Trends in Food Science & Technology*, **112**: 547–558.



Keszei Ernő emeritus professzor 1975-ben szerzett vegyész diplomát, 1978-ban doktori címet az ELTE-n. 14 évig az ELTE Fizikai Kémiai Tanszék vezetője volt, három évig az ELTE tudományos rektorhelyettese. Négy évet töltött Kanadában vendégkutatóként. Folyadékok szerkezetvizsgálatát követően elektronok és szilárd filmek kölcsönhatásával, majd elektronok folyadékokban történő oldódásával foglalkozott ultragyors lézer-fotokémiai módszerek alkalmazásával. Két angol nyelvű fizikai-kémiai témájú egyetemi tankönyve jelent meg a Springer kiadó gondozásában. Jelenleg fehérjekinetikai vizsgálatokkal és borok fotokémiai károsodásának tanulmányozásával foglalkozik.



Laposa Zsófia borász 2010-ben szerzett élelmiszer-mérnöki diplomát a Budapesti Corvinus Egyetemen. 2013-ban Bordóban, a francia tannyelvű Université Bordeaux Segalen ISVV-n végzett, ahol szőlész-borász mesterfokozatot szerzett. Szakmai gyakorlaton volt Kaliforniában, Bordóban, Elzászban, Burgundiában és Egerben. 2009-ben Erasmus hallgatóként öt hónapot töltött Valenciában, ahol szőlész-borász mesterképzésen vett részt az Universidad Politécnica de Valencia kampuszán. 15 éves borászati tapasztalattal rendelkezik, melyből főborásként 8 évet töltött Badacsonyban a Laposa Birtokon. Jelenleg a Pécsi Tudományegyetem Természettudományi Karán a Biológiai és Sportbiológiai Doktori Iskola hallgatója. Témája a palackozott borok fotodegradációjának vizsgálata különböző fényforrások hatására.