



MAGYAR AGRÁR- ÉS ÉLETTUDOMÁNYI EGYETEM

**HAZAI ÉS KÜLFÖLDI RAJNAI RIZLING, OLASZRIZLING
ÉS KÉKNYELŰ BOROK 1,1,6-TRIMETIL-1,2-
DIHIDRONAFTALIN (TDN) KONCENTRÁCIÓJÁNAK
VIZSGÁLATA**

DOI: 10.54598/004910

Doktori (PhD) értekezés tézisei

Antal Eszter
Budapest
2024.

A doktori iskola

megnevezése: Kertészettudományi Doktori Iskola

tudományága: Növénytermesztési és kertészeti tudományok

vezetője: Zámboriné dr. Németh Éva
egyetemi tanár, DSc,
Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
Kertészettudományi Intézet
Gyógy- és Aromanövények Tanszék

témavezető: Nyitrai dr. Sárdy Diána Ágnes
egyetemi tanár, PhD
Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
Szőlészeti és Borászati Intézet
Borászati Tanszék

.....
Az iskolavezető jóváhagyása

.....
A témavezető jóváhagyása

Tartalom

1. A MUNKA ELŐZMÉNYEI, CÉLKITŰZÉSEK	4
1.1. A munka előzményei	4
1.2. Célkítűzések	4
2. ANYAG ÉS MÓDSZER.....	8
2.1. A vizsgálatok anyaga	8
2.2. Vizsgálati módszerek.....	8
2.2.1. Alapanalitikai vizsgálatok	8
2.2.2. HS-SPME-GC-FID analízis.....	8
2.2.5. A borok érzékszervi bírálata	9
2.2.6. Statisztikai analízis	9
2.3. Kísérlet menete	9
2.3.1. A palack zárás hatásának vizsgálata	9
3. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK	11
3.1. Hazai borok TDN tartalmának vizsgálataa	11
3.1.1. Az Olaszrizling borok TDN koncentrációja.....	12
3.1.2. A Rajnai rizling borok TDN koncentrációja.....	14
3.1.3. A Kéknyelű borok TDN koncentrációja.....	16
3.2. TDN koncentrációk összehasonlítása a három vizsgált hazai fajta borban	18
3.3. Évjárat hatásának vizsgálata a TDN koncentrációra	19
3.4. Az érzékszervi bírálat eredményei.....	20
3.5. A palack zárási mód hatása a TDN koncentrációra.....	20
3.6. Ugyanabból a borászatból származó Rajnai rizling borok	21
3.7. Külföldi Rajnai rizling borok vizsgálata	22
4. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK	24
5. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK	30
6. PUBLIKÁCIÓS TEVÉKENYSÉG	32

1. A MUNKA ELŐZMÉNYEI, CÉLKITŰZÉSEK

1.1. A munka előzményei

A többi bortermelő régióhoz hasonlóan a klímaváltozás Magyarországon is negatívan befolyásolja a borok friss, gyümölcsös jellegét. Nemcsak a magasabb alkohol- és alacsonyabb savtartalmakra kell számítani, hanem az aromaösszetétel változásaira is. Ilyen aroma a szőlőbogyóban található karotinoidokból származó vegyület, az 1,1,6-trimetil-1,2-dihidronaftalin (TDN), ami a Rajnai rizling borok úgynevezett kerozin jellegét okozza. A klímaváltozás hatására a szőlőbogyóban termelődő megnövekedett mennyiségű karotinoidból a Rajnai rizling borokban várhatóan a TDN koncentrációja is növekedni fog és számítani kell az egyéb szőlőfajták boraiban is a megjelenésére. Ezért vizsgáltam hazai borok (elsősorban Rajnai rizling, illetve Olaszrizling és Kéknyelű) kerozin ízérzetét okozó TDN mennyiségének alakulását Magyarországon elsőként.

Az érlelt Rajnai rizling borok esetében a kerozinos ízérzet a fogyasztók körében elfogadott, de fiatal borokban való megjelenése hibának minősül. Ugyanígy hibának minősül az általam vizsgált Olaszrizling és Kéknyelű borokban is.

1.2. Célkitűzések

Vizsgálataim középpontjában az állt, hogy a hazai Rajnai rizling borok esetében számottevő mértékű-e a TDN kialakulása és az ezzel együtt járó érzékszervi változások. Mivel a klímaváltozás az összes szőlőfajtára, ezáltal a belőlük készült borokra is hatással van, ezért fontosnak tartottam vizsgálni, hogy a hazánkban a Rajnai rizling szőlőhöz képest jelentősen nagyobb termőterülettel rendelkező szintén rizling fajta, az Olaszrizlingből készült borokban is számolnunk kell-e a kerozin/benzin ízérzetet eredményező aroma

komponens megjelenésére. Különösen érdekes ez annak figyelembevételével, hogy a klímaváltozás negatív hatásai nálunk is érezhetőek. Összehasonlítás céljából a Kéknyelű szőlő fajtát választottam, mivel ennek a fajtának a borai általában neutrális jellegűek, illatban ízben nem karakteresek és nem fedezhető fel bennük a kerozinra emlékeztető aroma.

A fentiek alapján doktori munkám során a következő célokat tűztem ki

1. Elsődleges célom volt egy feltérképező vizsgálat sorozat elvégzése, annak megállapítása, hogy a magyarországi Rajnai rizling és Olaszrizling borokban a kerozin jelleg milyen mértékben jelenik meg, milyen koncentráció tartományban mérhető a TDN. Ennek számszerűsítéséhez gázkromatográfiás (GC-FID) módszert használtam. A módszert validáltam és néhány bor esetében GC-MS megerősítő vizsgálatot is végeztem.
2. Doktori dolgozatom további célja volt, hogy megvizsgáljam létezik-e szignifikáns különbség a Magyarországon népszerű két rizling fajta, az Olaszrizling és a Rajnai rizling TDN termelő potenciája között, valamint annak megállapítása, hogy melyik szőlőfajta borában fordul elő magasabb átlagos koncentrációban a TDN.
3. Célom volt annak vizsgálata, hogy a klímaváltozás hatására a Kéknyelű magyar szőlőfajta esetében számolnunk kell-e a belőle készült borok esetében a benzines jelleg megjelenésére.

4. Céлом volt vizsgálni a mért TDN koncentrációk és az érzékszervi bírálat során adott pontszámok közötti összefüggést az alkohol koncentráció függvényében. Ennek érdekében szakmai kóstoló bizottság segítségével érzékszervi vizsgálatot is végeztem és ennek eredményét összevetettem a mért TDN koncentrációkkal.
5. Külföldi Rajnai rizling borok TDN tartalmának mérésére is lehetőségem volt, ezért célként tűztem ki ezen borok összehasonlítását a hazai Rajnai rizling borokkal. Megvizsgáltam, hogy a nemzetközi borrhégiókból származó borok és a magyarországi területeken termő Rajnai rizling szőlők borai között létezik-e szignifikáns különbség a TDN koncentrációját tekintve.
6. Doktori munkám során céлом volt a különböző palackzárási módok hatásának vizsgálata a TDN mennyiségének növekedésére a palackozott borokban. A vizsgált borok parafa dugóval és csavarzárral zárt palackokba voltak töltve. Összehasonlítottam, hogy a két zárási mód esetén, az idő függvényében, van-e különbség a TDN koncentráció változásában.
7. Doktori dolgozatomban lehetőségem volt azonos pincészetből származó, különböző évjáratú Rajnai rizling borok TDN koncentrációjának meghatározására. A céлом az volt, hogy az érlelési idő hatását vizsgáljam a TDN tartalom mennyiségére.

8. Doktori munkám során az évjárat hatását is vizsgáltam. Arra kerestem a választ, hogy a klímaváltozással együtt járó növekvő besugárzásnak van e hatása a borok TDN koncentrációjára.

2. ANYAG ÉS MÓDSZER

2.1. A vizsgálatok anyaga

208 palack borminta műszeres analitikai vizsgálatát végeztem el. Ezek közül 170 palack Magyarországon vásárolt kereskedelmi forgalmú bor és 38 palack külföldi Rajnai rizling bor volt, különböző borvidékről. A hazai minták az Olaszrizling (88 palack), a Rajnai rizling (54 palack) és a Kéknyelű (28 palack) borok voltak különböző évjáratokból (2006-2021) és különböző pincészetekből.

A hazai Olaszrizling és Rajnai rizling borok esetében vizsgáltam a palack zárás hatását a tárolás alatti TDN koncentráció változására. Az általam vizsgált hazai borok részben parafadugóval, részben csavarzárral voltak lezárva.

2.2. Vizsgálati módszerek

2.2.1. Alapanalitikai vizsgálatok

A vizsgált hazai borminták alapanalízisét (alkoholtartalom (v/v%), redukáló cukor, titrálható savtartalom és pH) az alábbi módszerekkel végeztem:

- Az etanol, a redukáló cukor és a titrálható sav mennyiségének a meghatározását Fourier-transzformációs infravörös spektroszkópia (FT-IR) elvén működő, FOSS WineScan készülék segítségével mértem meg.
- A borok pH-ját pH mérő készülék segítségével mértem meg (OIV-MA-AS313-15:R2012) (OIV, 2023).

2.2.2. HS-SPME-GC-FID analízis

A MATE Szőlészeti és Borászati Intézet Borászati Tanszék kutató laboratóriumában rendelkezésemre állt egy automata mintaelőkészítő egységgel felszerelt GC-FID készülék, ezért a borok TDN

tartalmának meghatározását ezen a műszeren végeztem. Néhány bor esetében lehetőségem volt GC-MS módszerrel megerősítő méréseket is végezni a NÉBIH ÉLI Toxikológiai Nemzeti Referencia Laboratóriumában.

2.2.5. A borok érzékszervi bírálata

A kóstolóbizottság a 170 palack hazai bort fajtánként célzott, csak a TDN-re vonatkozó bírálattal 1-5 pontig terjedő skálán értékelte a borbírálat általános szabályai szerint.

2.2.6. Statisztikai analízis

A mérési eredmények statisztikai kiértékelése a Microsoft Excel (18.2106.12410.0 verzió, licenc: Microsoft Corporation) segítségével történt. Az analitikai mérés eredményeit egytényezős varianciaanalízissel 95%-os ($p=0,05$) szignifikanciaszinten értékeltem. Az így kapott eredményeket a Tukey-Kramer teszt segítségével pontosítottam.

Az érzékszervi vizsgálatok eredményeit Spearman rho korrelációs együttható számításával végeztem el.

2.3. Kísérlet menete

2.3.1. A palack zárás hatásának vizsgálata

A borok TDN mennyiségét közvetlenül a palack nyitás után, majd 6 hónap elteltével, ezután a 12., 18. és a 24. hónap végén újra megmértem. A borok az újra mérésig a saját palackjukban voltak tárolva, az eredeti záró elemeikkel lezárta. Az összes vizsgálatba bevont bor ugyanabban a helyiségben, napsugárzástól védett helyen, állítva volt tárolva átlag 22°C-on az újra elemzésig. Mivel a külső körülmények azonosak voltak kivéve a borok zárásának a módját így vizsgálni tudtam, hogy okoz-e különbséget a TDN keletkezésének

mennyiségére a levegő jelenléte, illetve a zárás módja kimutatható különbséget eredményez-e?

3. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

A vizsgált hazai borok alapanalízis átlagos eredményei alapján elmondható, hogy a vizsgált borok megfelelnek az átlagos, borhibától mentes bor követelményeinek. A borok átlagos alkohol tartalma az utóbbi 20-25 évben 1-2 v/v%-kal magasabbak lettek és ez a tendencia az általam vizsgált hazai borok esetében is megfigyelhető. A maradék cukor esetében tapasztalható nagy szórások annak köszönhetőek, hogy a vizsgált borok között voltak száraz és édes kategóriába tartozó tételek is. Az alkohol tartalom mellett a titrálható savtartalom is emelkedik a klímaváltozásnak köszönhetően, mely tendencia szintén jól látható az általam vizsgált borokban is.

3.1. Hazai borok TDN tartalmának vizsgálata a tárolási idő során

A különböző termelőktől származó borok közül 62 palack a Balaton borrégióból, 27 palack a Pannon borrégióból, 25 palack a Felső-Magyarország borrégióból, 27 palack a Felső-Pannon borrégióból és 29 palack a Duna borrégióból származott.

Az általam vizsgált három hazai borfajta (Olaszrizling, Rajnai rizling és Kéknyelű) TDN koncentrációit megmértem és elemeztem. A borok 2006-2021 közötti évjáratúak voltak. A TDN koncentrációt HS-SPME-GC-FID technikával mértem 2 éven keresztül 6 havonta. Az első mérés a palack felbontása után közvetlenül (1. mérési sorozat), majd a 6. (2. mérési sorozat), a 12. (3. mérési sorozat), a 18. és a 24. hónapot követően. A 12. hónapra a borok TDN koncentrációja a gázkromatográfiás módszer kimutatási határára lecsökkent és a 18. és 24. hónapban már változatlan maradt.

A szakirodalomban különféle TDN-re vonatkozó küszöbértékeket állapítottak meg. Az ő általuk meghatározott küszöbértékeket alapul

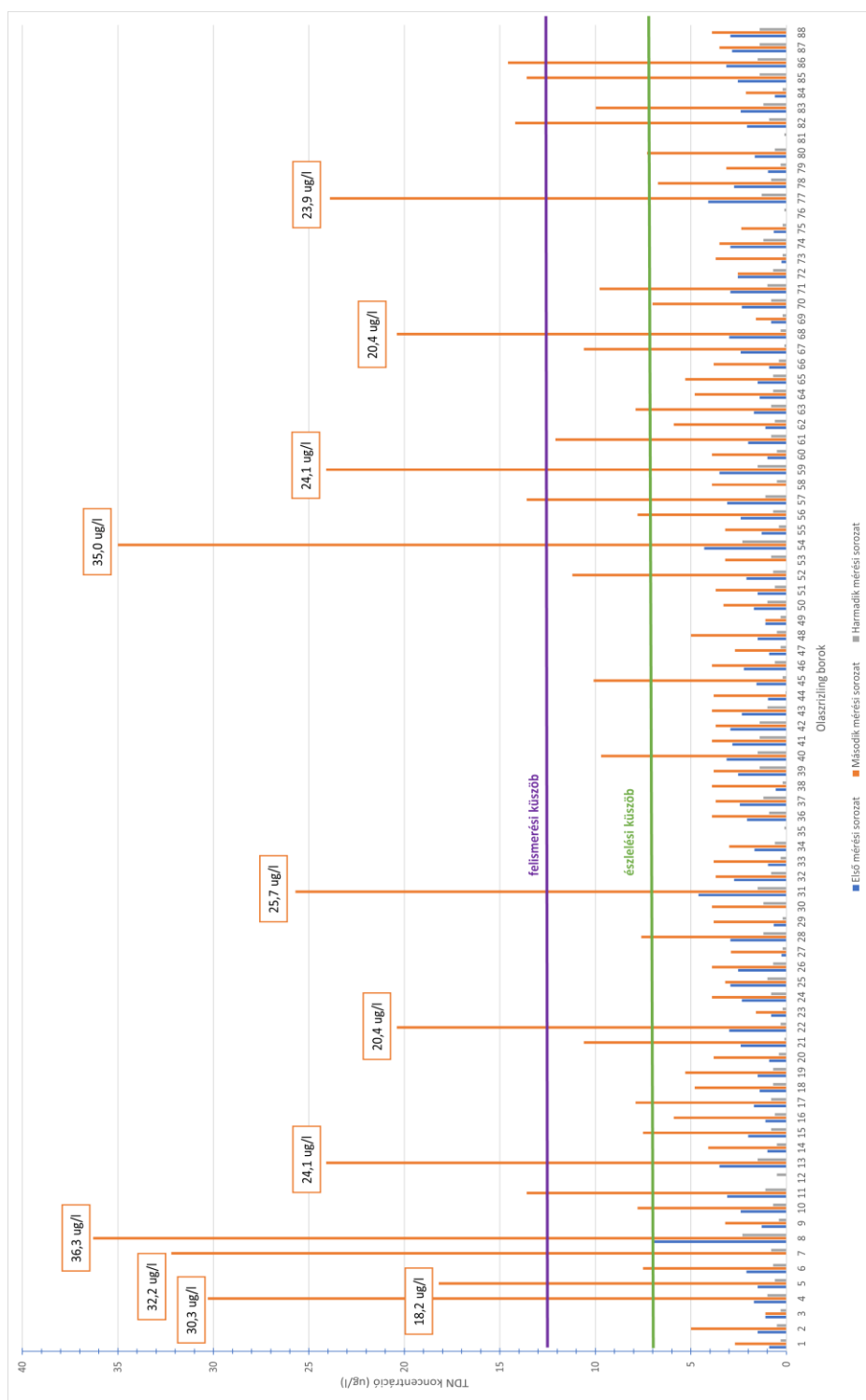
véve értékeltém az általam vizsgált borokat a TDN koncentrációjuk alapján. Közvetlenül palackbontáskor a 170 palack hazai bor közül 43 palack (az összes hazai vizsgált bor 25%-a) TDN tartalma érte el az észlelési küszöböt, a felismerési küszöböt 21 palack (az összes hazai vizsgált bor 12,5%-a) és az elutasítási küszöb értékét fajtától függetlenül egyetlen palack bor TDN koncentrációja sem érte el.

3.1.1. Az Olaszrizling borok TDN koncentrációja a tárolási idő során

A vizsgált Olaszrizling borok 2010. – 2021. terjedő évjáratúak voltak. A TDN koncentrációk a 0,3 – 7,0 µg/l tartományba estek az első mérési sorozat időpontjában (1. ábra).

A 88 palack vizsgált Olaszrizling felbontás utáni 6 hónapos tárolását követően a TDN koncentrációk növekedése figyelhető meg, 11 palack esetében 95%-os ($p=0,5$) valószínűségi szinten szignifikánsan. A 7. bortétel esetében ez a növekedés közel 30-szoros mértékű volt, de a 4. bortételben is jelentős, 18-szoros emelkedés következett be. A legmagasabb koncentrációt (36,3 µg/L) a második mérési sorozatban mértem, ami egy 2018-as, Felső-Magyarországi borrhíóából származó, az ábrán a 8. tétel. A legnagyobb TDN koncentráció növekedés egy Balaton borrhíóából származó szintén 2018-as bortétel esetében következett be (az ábrán a 7. tétel). Az első mérés idején a TDN koncentráció az általam használt analitikai módszerrel nem volt detektálható, azonban a második mérés idejére már 32,2 µg/l TDN-t tartalmazott ez a bor. A második mérési sorozat idején 44 borminta TDN tartalma haladta meg az észlelési küszöböt és a felismerési küszöböt 21 palack minta, ami az összes vizsgált Olaszrizling borminta 23%-a.

Egyik bor TDN tartalma sem lépte át az elutasítási küszöböt.



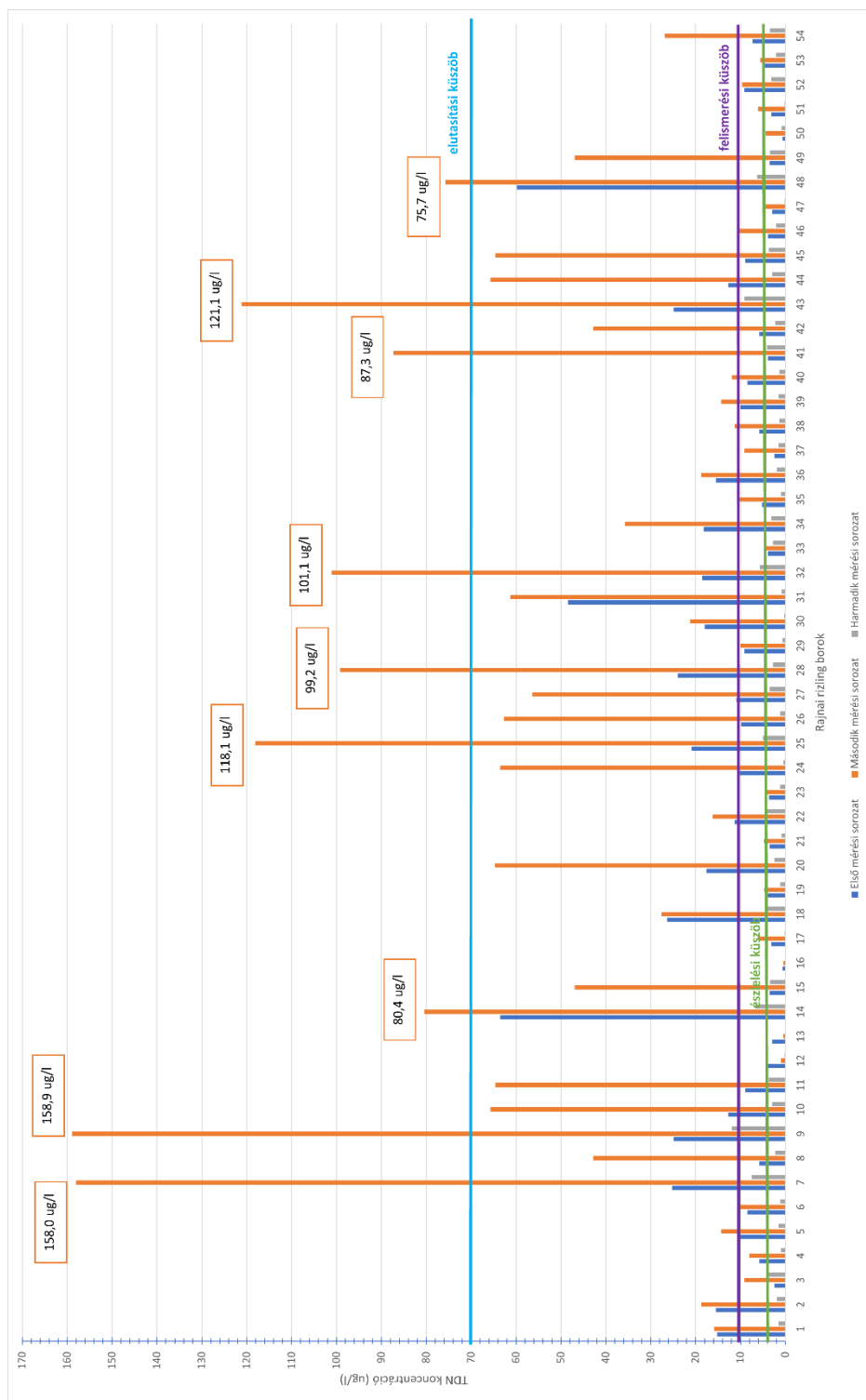
1. ábra Az Olaszrizling borok TDN koncentrációjának alakulása a palcbontás pillanatában (kék), 6 hónap elteltével (narancs), és a 12. hónapban (szürke).

3.1.2. A Rajnai rizling borok TDN koncentrációja a tárolási idő során

A vizsgált Rajnai rizling borok 2010. – 2020. terjedő évszámúak voltak. A TDN koncentrációk a 0,6 – 63,5 µg/l tartományba estek az első mérési sorozat időpontjában (2. ábra).

Az 54 palack vizsgált Rajnai rizling bor esetében a 6 hónap elteltével általában TDN koncentráció emelkedés volt tapasztalható. 2 bormintánál figyelhető meg szignifikáns (közel hatszoros), TDN tartalom növekedés 95%-os ($p=0,05$) valószínűségi szinten. 3 esetben tapasztaltam a TDN koncentráció csökkenését. Kilenc bortétel TDN koncentrációja a második mérés idejére meghaladta a fogyasztói elutasítási küszöb értékét. Ez az összes vizsgált Rajnai rizling bor 17%-a.

Az első mérés idején a felismerési küszöbhez tartozó koncentrációt a Rajnai rizling borok 41%-a haladta meg, a második mérés idejére már az összes vizsgált Rajnai rizling bor 65%-a.



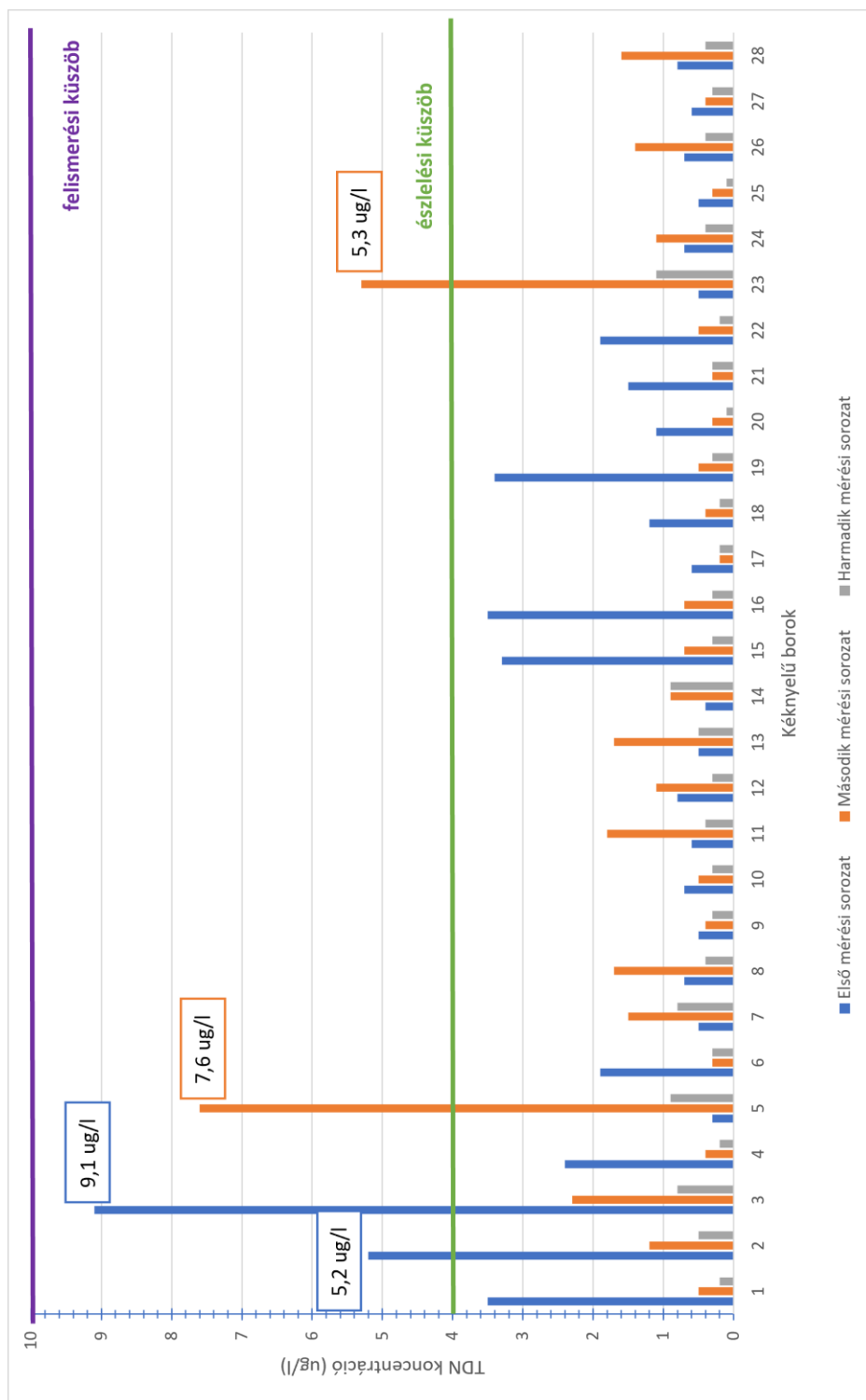
2. ábra A Rajnai rizling borok TDN koncentrációjának alakulása a palcbontás pillanatában (kék), 6 hónap elteltével (narancs), és a 12. hónapban (szürke).

3.1.3. A Kéknyelű borok TDN koncentrációja a tárolási idő során

A Balatoni borrégióból származó Kéknyelű borok 2006 – 2020-ig terjedő évjáratúak voltak. A TDN koncentrációk a 0,3 – 9,1 µg/l tartományba estek az első mérési sorozat időpontjában. A legmagasabb 9,1 µg/l kiugró koncentrációjú TDN tartalmat egy 2007-es évjáratú borban mértem (3. ábra).

A Kéknyelű borok esetében azt tapasztaltam, hogy ez a fajta nem hajlamos TDN képzésére. Az összesen 28 palack Kéknyelű szőlőből készült bor esetében csak két minta TDN koncentrációja haladta meg az észlelési küszöb értékét közvetlenül a palackbontáskor: a 2006-os évjáratú 2. minta (5,2 µg/l TDN) és a 2007-es évjáratú 3. minta (9,1 µg/l TDN). Méréseim alapján a második mérési sorozat eredményei alapján egyértelműen nem állapítható meg a TDN koncentráció növekedése: egyes tételekben jelentősen növekedett, egyes tételekben pedig jelentősen csökkent.

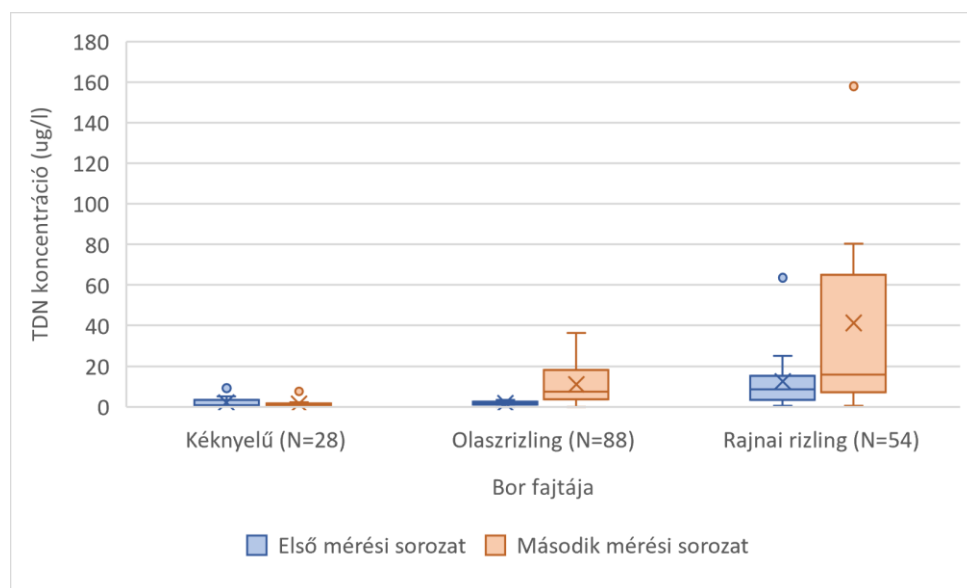
A 2012-es évjáratú 5. bortétel esetében a TDN koncentráció (7,6 µg/l) a második mérés idején már megközelítette a felismerési küszöbhez tartozó TDN koncentrációt. A 23. tétel TDN koncentrációja (5,3 µg/l) is jelentősen emelkedett. Mindkét bor TDN koncentrációjának emelkedése 95%-os ($p=0,05$) valószínűségi szinten szignifikáns. A felismerési küszöbhez tartozó koncentrációt a teljes mérési sorozat ideje alatt egyik vizsgált Kéknyelű borminta TDN koncentrációja sem érte el. A Kéknyelű borok átlagosan alacsony TDN koncentrációi a minták 61%-ánál csökkenést mutattak.



3. ábra A Kéknyelű borok TDN koncentrációjának alakulása a palckbontás pillanatában (kék), 6 hónap elteltével (narancs), és a 12. hónapban (szürke).

3.2. TDN koncentrációk összehasonlítása a három vizsgált hazai fajtában a tárolási idő során

A 4. ábra a TDN koncentrációkat mutatja fajtaösszehasonlításban. Megfigyelhető, hogy a három borfajta közül a Rajnai rizlingnek jelentősen nagyobb a hajlama a TDN képződésére a másik két fajtahoz képest. Már az első mérési sorozat során mért TDN koncentrációk is meghaladják a másik két fajta borban mért koncentrációkat. A tárolás során ugyan az Olaszrizling borok TDN koncentrációja is megnő, de a Rajnai rizling borokban ez a növekedés nagyobb mértékű.



4. ábra A TDN koncentrációk Boxplot ábrán történő bemutatása fajta összehasonlításban a palackbontáskor és 6 hónap tárolást követően (°kiugró érték).

Az eredményeket egytényezős varianciaanalízissel elemezve megállapítható, hogy a mért TDN koncentrációk alapján 95%-os szignifikancia szinten ($p=0,05$) a fajták TDN termelése között szignifikáns eltérések mutatkoznak.

Tovább vizsgálva, a Tukey-Kramer teszt segítségével megállapítható, hogy az Olaszrizling és a Rajnai rizling borok esetében mért TDN koncentrációk különbsége statisztikailag szignifikáns. Ugyanezt a következtetést vonhatjuk le a Rajnai rizling és a Kéknyelű borok TDN koncentrációinak összehasonlításakor is. Azonban az Olaszrizling és a Kéknyelű borok esetében a fajták TDN termelése között szignifikáns különbség nem mutatható ki 95%-os szignifikancia szinten ($p = 0,05$).

A második mérési időpontban mért átlagos TDN koncentrációk mindhárom fajtánál nőttek a tárolás során. A koncentráció növekedés mértéke sem az Olaszrizling, sem a Kéknyelű borokban nem volt olyan nagy, hogy az így előállt TDN koncentrációk a Rajnai rizling borokban mért TDN koncentrációkkal azonos mennyiségbe kerültek volna. A legmagasabb TDN koncentrációkat a Rajnai rizling borokban mértem.

3.3. Évjárat hatásának vizsgálata a TDN koncentrációra

A vizsgált évjáratokban az első mérési sorozat idején a TDN koncentrációban jelentős eltérések nem mutatkoznak, kivéve a 2019. évet, amely évben a TDN koncentrációk egyik legmagasabb értékét mértem: 63,5 $\mu\text{g/l}$ -t. A korábbi években a TDN alacsony koncentrációban volt mérhető. A 2019. évi a többi évhez képest magas TDN mennyiségének a magyarázata az ebben az évben az előző (2018) és az azt követő (2020) évekhez képest a nyár a szokásosnál melegebben alakult, a globálisugárzás összege magasabb volt. A szőlő túlzott napfénynek való kitettsége magas TDN koncentrációhoz vezet. A 2016-os évtől kezdődően a második mérési sorozat idejére a borok TDN koncentrációja jelentősen megnövekedett a tárolás alatt.

Vizsgálataim szerint az évjárat hatása a borok TDN koncentrációjára sokkal erősebbnek tűnik, mint a borok kora. Az évjárat hatással van a szőlőre, amely a szélsőséges időjárási viszonyokra (túl magas hőmérséklet, túl sok napsugárzás, túl kevés csapadék) TDN prekursorok előállításával reagál. A nagyobb mennyiségű prekursor molekulából a borban az érlelés során később nagyobb koncentrációban alakulhat ki a kerozin mellékízt eredményező TDN.

3.4. Az érzékszervi bírálat eredményei

Érzékszervi bírálat csak az első mérési sorozat előtt készült, közvetlenül a palackok bontását követően. Az érzékszervi bírálat során adott pontszámokat összevetve a mért TDN koncentrációkkal megfigyelhető, hogy a vegyület koncentrációja nem mindig követi az érzékszervi megjelenést. Ez mind a három borfajta esetében megfigyelhető.

3.5. A palack zárási mód hatása a TDN koncentrációra

Doktori munkámban vizsgáltam a palack zárás hatását. Az általam vizsgált hazai Olaszrizling és Rajnai rizling borok részben parafadugóval, részben csavarzárral voltak ellátva.

A palack nyitás pillanatában mért TDN koncentrációit hasonlítottam össze a zárási módok szerint csoportosítva. A különböző évjáratokból származó borok a palackozástól a nyitás pillanatáig eltelt időben a saját palackjaikban voltak tárolva. A statisztikai elemzés alapján a palack nyitás pillanatában mérhető TDN koncentrációk között szignifikáns különbség nem mutatkozott.

A palackbontás után vizsgáltam a TDN koncentráció alakulását az idő függvényében, a palackzárási módok figyelembevételével: az első palacknyitás időpontjában (1. mérési sorozat) és fél év elteltével (2.

mérési sorozat) is. Tanulmányoztam a két mérési időpont között eltelt idő alatt megnövekedett TDN koncentrációk közti különbségeket.

Kruskal-Wallis teszt segítségével megvizsgáltam, hogy kimutatható-e a palackzárási módok közötti különbség a TDN koncentráció növekedésében az első fél év alatt.

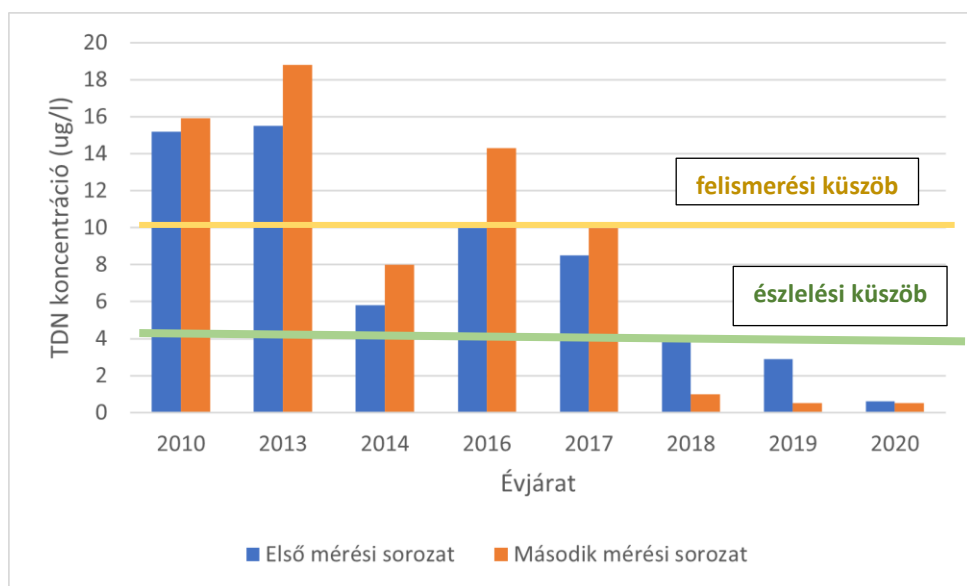
Az általam megvalósított tárolási körülmények között a vizsgált palackzárási típusok között statisztikailag szignifikáns különbség nem mutatható ki a TDN koncentráció változásában.

3.6. Ugyanabból a borászatból származó Rajnai rizling borok

8 palack borminta azonos termőterületről, azonos pincészetből, azonos technológiával készült, különböző évjáratú Rajnai Rizling bor volt (5. ábra).

A vizsgált azonos borászatból származó 8 bor TDN koncentrációja csökkenő tendenciát mutat az évjárat függvényében. A 2013-as évjáratú borban mértem a legmagasabb TDN koncentrációt (15,5 µg/L) és a legalacsonyabbat (0,6 µg/L) a 2020-as évjáratú borban. Az évjárat szerinti TDN koncentrációk alakulását a 5. ábrán mutatom be.

A második mérés időpontjára 2 bor (2018. és 2019. évjárat) kivételével a borokban a TDN koncentrációja növekedett, azonban a növekedés mértéke 95%-os ($p=0,05$) konfidenciaszinten nem szignifikáns. Csak a 2010-es, a 2013-as és a 2016-os évjáratú bor TDN tartalma lépte át a felismerési küszöböt.



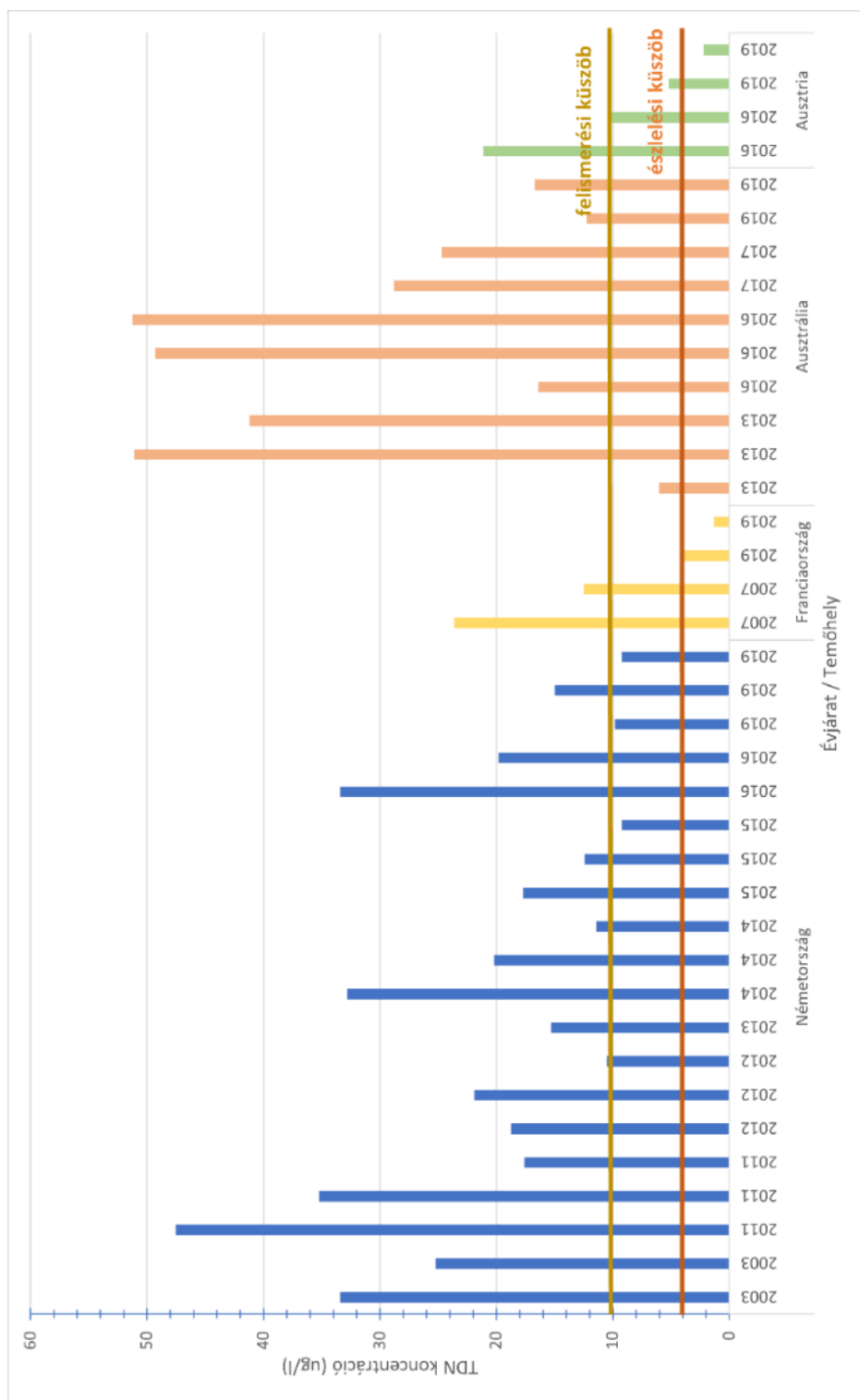
5. ábra Ugyanabból a borászatból származó, különböző évjáratú Rajnai rizling borok TDN koncentrációja

Az 5. ábrán megfigyelhető, hogy a 2010-es évjáratú borminta TDN koncentrációja alacsonyabb, mint a 2013-as bormintában mért TDN mennyisége. A 2014-es évjárat bormintája sem illik bele a sorba, az alacsony TDN koncentrációjával.

3.7. Külföldi Rajnai rizling borok vizsgálata

Lehetőségem volt 38 palack külföldről származó (Németország, Ausztria, Franciaország, Ausztrália) Rajnai rizling bor TDN koncentrációjának megmérésére is. Az egyes borokra kapott TDN koncentrációk a 6. ábrán látható.

A magyar borokkal összehasonlítva megállapítható, hogy a magyar Rajnai rizlingekben gyakorlatilag hasonló koncentrációk találhatók különös tekintettel a vizsgált európai borokra. A klimatikus viszonyok miatt az ausztrál borokban a tendencia magasabb értékeket mutat.



6. ábra A külföldi borokra mért TDN koncentrációk származási hely és évjárat szerint csoportosítva.

4. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

A szakirodalomban nincsenek arra vonatkozó adatok, hogy magyar borok (elsősorban Rajnai rizling, illetve egyéb) TDN tartalmát vizsgálták volna. Magyarországon elsőként vizsgáltam a hazai Olaszrizling, Rajnai rizling és Kéknyelű borok kerozin ízérzetét okozó TDN mennyiségének alakulását.

Az általam vizsgált hazai borok átlagos TDN koncentrációja Olaszrizling esetében 1,82 µg/l, Rajnai rizling esetében 12,5 µg/l és Kéknyelű esetében 2,0 µg/l volt. A Kéknyelű szőlőből készült borok esetében egy kiugró értéktől (9,1 µg/l) eltekintve a TDN koncentrációk még az észlelési küszöbhez tartozó koncentrációt sem érték el. A fajták összehasonlítása azt mutatta, hogy a vizsgált hazai szőlőfajták eltérő tendenciát mutattak a TDN magasabb koncentrációinak képződésére. A Rajnai rizling borokban szignifikánsan nagyobb koncentrációban képződött szabad TDN, mint az Olaszrizling vagy Kéknyelű borokban.

24 hónapon keresztül 6 havonta mértem a borok TDN koncentrációját. Az első mérés a palack felbontása után közvetlenül (1. mérési sorozat), majd a 6. (2. mérési sorozat), a 12. (3. mérési sorozat), a 18. és a 24. hónapot követően. A 12. hónapra a borok TDN koncentrációja a gázkromatográfiás módszer kimutatási határára lecsökkent és a 18. és 24. hónapban már változatlan maradt. A vizsgált borok TDN koncentrációja az első 6 hónap tárolás során növekedett, majd az újabb 6 hónap tárolás során lecsökkent. A növekedés oka az lehet, hogy az első mérés idejére a TDN még részben kötött állapotban fordult elő a borokban, mely kötött állapotból a tárolás körülményei között a 6. hónapra felszabadult. A csökkenés okaként az fogalmazható meg, hogy a bor öregedése során a TDN más

vegyületekbe átalakul, mely átalakulás a molekula szerkezetéből adódik. A 7. szénatom lokális pozitív töltése a levegő oxigénje számára könnyen támadható, így oxidálja a TDN vegyületet.

A TDN érzékszervi relevanciájának felmérése érdekében képzett borbírálok határozták meg a vizsgált borokban a kerozin íz felfedezhető intenzitását. A célzott bírálat során 1-5 pontos skálán került értékelésre a vizsgált vegyület illatának és ízének felismerhetősége, illetve intenzitása. A borok érzékszervi tulajdonságait meghatározó és befolyásoló bormátrixot alkotó komponensek közül, csak az alkoholt vizsgáltam, mert a klímaváltozás következtében számolni kell és tapasztaljuk is az emelkedő alkohol koncentrációt, mely az elmúlt 20-25 évben szignifikánsan, átlagosan 2 v/v%-kal emelkedett. Megállapítható, hogy az érzékszervi bírálatok és a mért TDN koncentrációk között nincs egyértelműen szignifikáns különbség. Mérési eredményeim alapján nem lehet egyértelműen megállapítani, hogy a magasabb alkohol tartalom esetén a kerozin ízérzet kevésbé érzékelhető. A bormátrixot alkotó további komponensek befolyásoló hatásának vizsgálata további kutatásokat igényel.

A külföldi Rajnai rizling borokat a hazai vizsgált borokkal összehasonlítva azt tapasztaltam, hogy a Rajnai rizlingekben mért TDN koncentrációk hasonlóak a külföldi Rajnai rizling borokban mért koncentrációkhoz. Ha a kerozinos ízérzetet el szeretnénk kerülni a magyarországi Rajnai rizling borokban, akkor érdemes inkább a hűvösebb mikro klímával rendelkező területeken ezt a szőlő fajtát telepíteni, valamint a palackos érlelés idejét optimalizálni.

A palack zárási módjának hatását (parafadugó és csavarzár) két megközelítésben vizsgáltam. Mindkét megközelítés konklúziója,

hogy a zárási mód nem befolyásolta a TDN kialakulását. Mérési eredményeim alapján a csavarzár alkalmazását javaslom a három vizsgált fajta esetében, ezen zárási mód egyéb előnyös tulajdonságai miatt.

Azonos termőterületről, azonos pincészetből, azonos technológiával készült Rajnai rizling borok TDN koncentrációja növekvő tendenciát mutat a bor korának, érlelési idejének függvényében, a legidősebb bor tartalmazta a legnagyobb mennyiségben a TDN-t. A bor palackozásától a mérés időpontjáig eltelt három év alatt a TDN koncentráció már elérte az észlelési küszöbhez tartozó koncentrációt. Ezért abban az esetben, ha a borfogyasztó nem kedveli a kerozinos ízt, akkor érdemes minél fiatalabb, de legalábbis három évnél fiatalabb Rajnai rizling bort fogyasztania.

Az összes hazai vizsgált bor TDN koncentrációit értékelve, a 2017-től kezdődő évjáratokban magasabb TDN koncentrációkat mértem, mint a megelőző években és ezek közül is a 2019-es évjáratban mértem a legmagasabb koncentrációkat.

Az átfogó TDN meghatározás eredményei megerősítik a hazai Rajnai rizlingek hajlamát a TDN képződésére. A 6 hónap tárolás utáni TDN koncentráció emelkedés a prekursor molekulákban cukorhoz kötött lassú felszabadulás eredménye, ami az esetleges kezdeti alacsony szabad TDN koncentrációt és magas általános TDN képződési potenciált eredményez nemcsak Rajnai rizling, hanem Olaszrizling esetében is. Ezt a felszabadulást okozhatják magasabb pH-értékek, alacsonyabb savértékek, eltérő tárolási körülmények (magasabb hőmérséklet kedvez a felszabadulásnak).

Az analitikai eredmények azt mutatták, hogy Magyarországon aktuális a kerozin ízprobléma kérdése, főleg a Rajnai rizling borok esetében. Már néhány év tárolás után a szabad TDN olyan mennyiségben jelent meg a borokban, amelyek jóval meghaladták az észlelési küszöböt (4 µg/l), de a felismerési küszöböt is (10 - 12 µg/l). Az 50 µg/l feletti egyedi kiugró értékek nemzetközi összehasonlításban még a lényegesen melegebb országok boraival is lépést tudtak tartani.

A Rajnai rizling borok érlelésének módja fontos tényező a bor minőségének megőrzése szempontjából. Vizsgálataim, de a nemzetközi gyakorlat is elsősorban a palackos érlelés során tanulmányozza az adott vegyület koncentrációjának alakulását. A jövőben érdemes részletesebben tanulmányozni az érlelési módok (finom seprőn tartás, különböző típusú fahordók stb.) és a TDN kialakulás közötti összefüggéseket.

Az analitikai mérésekhez használt HS-SPME-GC-FID módszert validáltam. A validációs adatok megerősítik, hogy a módszer alkalmas a szabad TDN koncentrációjának pontos mennyiségi meghatározására. A mennyiségi meghatározás alsó határa és a kimutatás alsó határa elég alacsony ahhoz, hogy a borokban az észlelési küszöb alatti TDN koncentrációkat is mérni tudjam.

Az általános éghajlati felmelegedés következtében a nem kívánatos mértékű TDN szint növekedése következhet be a magyarországi Rajnai és Olaszrizling borok esetében, de esetleg egyéb fajtáknál is. Ezért érdemes olyan szőlőművelési technikákkal kísérleteket folytatni, amelyek a prekursor karotinoidok szőlőbogyóban történő kialakulásával, felhalmozódásával kapcsolatosak.

A borászati technológia több ponton is lehetőséget ad arra, hogy megelőzzük a borban megjelenő magas szabad TDN koncentrációt:

- A bogyók betakarítás utáni első beavatkozási lehetősége a must szőlőből történő préselése. A kíméletes préselés csökkentheti a TDN prekursor molekuláinak a mustba való jutását, ezért javasolt a kíméletes, 1 bar alatti préselés alkalmazása.
- A bogyó héjában megtalálható C₁₃-norizoprenoidok, mint a TDN prekursorai mennyiségének növekedésére lehet számítani a must és a bogyóhéj közötti érintkezési idő növekedésével. Ezért fontos lehet a TDN képződésének megelőzése szempontjából a must és a bogyó héj minél rövidebb idejű érintkezése, azaz a cefreáztatás elkerülése.
- Az élesztőgombák kulcsszerepet játszanak számos aroma vegyület képződésében, így a glikozidosan kötött prekursor vegyületek enzimatis felszabadításában is. Ezért javasolt megfelelő, alacsony β -glükózidáz enzimaktivitással rendelkező fajélesztő megválasztása. Ezen kívül az élesztő anyagcseréjét külső paraméterek is befolyásolják, mint az erjedés hőmérséklete, a pH értéke, illetve az asszimilálható nitrogén mennyisége. Javasolható ezen paraméterek hatásának vizsgálatát célzó kísérletek beállítása.
- A borok aroma komponenseinek koncentrációja a palackozás és tárolás előtt további feldolgozással is szabályozható. A különböző membrán szűrési technikák csökkenthetik a glikozidosan kötött vegyületek mennyiségét.
- A bor tárolása során savkatalizált reakciók játszódnak le, melyek többek között a kötött TDN felszabadulásához vezetnek. Ezek a reakciók a hőmérséklet emelkedésével

felgyorsulnak, ezért a TDN koncentrációjának növekedése a borban a hűvösebb tárolási hőmérséklettel lassítható. Javasolt a borok hosszabb távú palackos érlelésénél és tárolásánál az akár 5°C-on való tartás.

A Magyarországon is érzékelhető klímaváltozás hatására, különösen a napsugárzásnak köszönhetően a szőlőbogyókban megnövekedő karotinoid koncentrációk magasabb TDN mennyiséget eredményezhetnek más szőlőfajták boraiban is. A jövőben érdekes lehet további, elsősorban hungarikumnak tekinthető szőlőfajtából készült bor TDN koncentrációjának meghatározása, különös tekintettel azokra, amelyeknél az érlelési idő minőségre gyakorolt hatása fontos lehet (Rózsakő, Zeus, Furmint stb.).

5. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. Elsőként határoztam meg magyarországi Olaszrizling, Rajnai rizling és Kéknyelű borok TDN koncentrációját.
2. Elsőként állapítottam meg, hogy a magyarországi Rajnai rizling borokban a vizsgált halmazra vonatkozóan a mért szabad TDN koncentrációja 0,6–63,5 µg/l, Olaszrizling borokban 0,04–7,0 µg/l tartományban jelentkezett. Több Olaszrizling fajtájú borban a felismerési küszöbérték feletti TDN tartalmat detektáltam. Megállapítottam, hogy a Rajnai rizlingnek 95%-os szignifikancia szinten ($p = 0,05$) szignifikánsan nagyobb a hajlama a TDN képződésére az Olaszrizling és a Kéknyelű borokhoz képest. Méréseim alapján a vizsgált külföldről származó Rajnai rizling borok és a magyarországi vizsgált borok összehasonlításával megállapítható, hogy a hazai Olaszrizling és Kéknyelű borok TDN koncentrációja és a külföldi borok TDN koncentrációja (1,3 – 51,2 µg/l) között $p=0,05$ szignifikancia szinten szignifikáns különbség mutatható ki, mely szerint a vizsgált hazai borokban a TDN átlagos koncentrációja alacsonyabb.

A hazai Rajnai rizling borok, és a külföldi Rajnai rizling borok TDN tartalma között nem mutatható ki szignifikáns különbség.

3. Elsőként mértem meg az összehasonlításra használt autochton magyar fajta, a Kéknyelű TDN koncentrációját, ami 0,1 – 9,1 µg/l-nek adódott. Néhány Kéknyelű bor TDN koncentrációja az észlelési küszöbérték feletti volt.
4. Megállapítottam, hogy az azonos termőterületről, azonos pincészetből, azonos technológiával készült borok esetén az

érlelési idő függvényében a TDN koncentráció lineáris növekedést mutat.

5. Megállapítottam, hogy a két palackzárási típus között: parafadugó és csavarzár, szignifikáns különbség nem mutatható ki.
6. Az érzékszervi bírálatok tekintetében megállapítottam, hogy a kerozin ízérzet és az alkohol tartalom függvényének vizsgálatában szignifikáns különbség nem mutatható ki.

6. PUBLIKÁCIÓS TEVÉKENYSÉG

Impakt faktoros folyóiratcikk

Eszter Antal, Zsuzsanna Varga*, Miklós Kállay, Szabina Steckl, Péter Bodor-Pesti, István Fazekas, Annamária Sólyom-Leskó, Barnabás Zoltán Kovács, Balázs Nagy, Áron Pál Szövényi, and Diána Ágnes Nyitrai-Sárdy: 1,1,6-Trimethyl-1,2-dihydronaphthalene Content of Riesling Wines in Hungary. *ACS Omega* 2023, 8, 40, 36677–36685. <https://doi.org/10.1021/acsomega.3c02445>

Antal, Eszter ; Kállay, Miklós ; Varga, Zsuzsanna ✉ ; Nyitrai-Sárdy, Diána: Effect of Botrytis cinerea Activity on Glycol Composition and Concentration in Wines. *Fermentation* 9: 5 Paper: 493 (2023) <https://doi.org/10.3390/fermentation9050493>

Kellner, N. ; **Antal, E.** ; Szabó, A. ; Matolcsi, R.: *The effect of black rot on grape berry composition*. *Acta alimentaria*, 51: 1 pp. 126-133., 8 p. (2022) <https://doi.org/10.1556/066.2021.00195>

Nyitrai, Diána Sárdy ; Varga, Zsuzsanna ✉ ; Sólyom-Leskó, Annamária ; Kállay, Miklós ; Steckl, Szabina ; Nagy, Balázs ; Kocsis, Dorottya ; **Antal, Eszter**: *Analysis of a Special Sulphite-Producing Yeast Starter after Fermentation and during Wine Maturation*. *Applied sciences-basel* 12: 17 p. <https://doi.org/10.3390/app12178848>

Lektorált folyóiratban (MTA listás) megjelent közlemények

Antal, Eszter ; Nyitrainé, Sárdy Diána ; Kállay, Miklós: A tokaji „aszúszem”, illetve a tokaji borkülönlegességek β -d-glükán koncentrációja. Első mérési eredmények a botritiszes borok összehasonlítására. *Borászati füzetek* 33: 2 pp. 31-35., 5 p. (2023)

Antal, Eszter ; Dr. Kállay, Miklós ; Varga, Zsuzsanna ; Nyitrainé, Sárdy Diána: Glikolok a borban, különös tekintettel a Botrytis cinerea tevékenységére. *Borászati füzetek* 33: 1 pp. 36-40., 5 p. (2023)

Antal, Eszter ; Matolcsi, Réka ; Nyitrainé, Sárdy Diána ; Kállay, Miklós: *Megfontolások a tokaji aszúszemek cukortartalmára vonatkozóan*. *Borászati füzetek* 32: 1 pp. 30-32., 3 p. (2022)

Antal, Eszter ; Dr. Kállay, Miklós ; Dr. Sólyom-Leskó, Annamária ; Steckl, Szabina ; Nyitrainé, Dr. Sárdy Diána: *A kitettség*

hatása a bogyóhéj polifenol-összetételére Pinot noir szőlőfajta esetében. Borászati füzetek 32: 6 pp. 37-41., 5 p. (2022)

Antal, Eszter ; Varga, Zsuzsanna ; Steckl, Szabina ; Kállay, Miklós ; Nyitrai, Sárdy Diána: *Rizling-borok 1,1,6-trimetil-1,2-dihidro-naftalin-tartalma Magyarországon – első analitikai eredménye=TDN content of Riesling wines in Hungary, first analytical results.* Borászati füzetek 32: 3 pp. 37-42., 6 p. (2022)

Kellner, Nikolett ; Matolcsi, Réka; Sólyom-Leskó, Annamária ; **Antal, Eszter**: *Feketerothadás (Guignardia bidwellii) hatása a szőlőbogyó egyes biogén aminosav összetételére.* Borászati füzetek 31: 3 pp. 30-33., 4 p. (2021)

Nyitrai, Dr. Sárdy Diána ; **Antal, Eszter** ; Dr. Kállay, Miklós ; Matolcsi, Réka: *Metil-alkohol a borban.* Borászati füzetek 31: 1 pp. 20-24., 5 p. (2021)

Sólyom-Leskó, Annamária ; Nyitrai dr. Sárdy, Diána ; Kellner, Nikolett ; **Antal, Eszter** ; Matolcsi, Réka: *Palackos borok analitikai vizsgálata NMR készülékkel.* Borászati füzetek 29: 6 pp. 36-41., 5 p. (2019)

Leskó, Annamária; Hunyadi, Rózsa; Kállay, Miklós; **Antal, Eszter**: *Magas cukortartalmú mustokból erjesztett borok összetétele.* Borászati füzetek Külön kiadvány p. 45 (2015)

Konferencia összefoglalók

Matolcsi, Réka; Antal, Eszter ; Kállay, Miklós ; Nyitrai, Sárdy Diána Ágnes: *Glicerín és glükonsav koncentrációk vizsgálata NMR technikával Tokaji aszúszemekben és Tokaji borokban.*

In: Fodor, Marietta; Bodor-Pesti, Péter; Deák, Tamás (szerk.) Lippay János – Ormos Imre – Vas Károly (LOV) Tudományos Ülésszak: Összefoglalók Budapest, Magyarország: Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Budai Campus (2021) 137 p. p. 85, 1 p.

Egyéb konferenciák

Antal, Eszter; prof. dr. Kállay, Miklós; Nyitrai, Sárdy Diána: A Rizling borok jellegzetes petroselin (kerozin) íz, illat komponensének vizsgálata hazai borokban. Első analitikai eredmények. IV. Országos Szőlész- Borász Konferencia, Budapest, Magyarország: Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Budai Campus, 2022. május 27.

Antal, Eszter, Nyitrai, dr. Sárdy, Diána; dr. Kállay, Miklós: A béta-D-glükán jelentősége a szőlészetben és a borászatban. V. Országos Szőlész- Borász Konferencia, Budapest, Magyarország: Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Budai Campus 2023. november 9.