

Elektronikus orr – az élelmiszervizsgálat sok célra használható új eszköze

Farkas Valér és Dalmadi István

Budapesti Corvinus Egyetem, Hűtő- és Állatitermék Technológiai Tanszék
Érkezett: 2013. május 27.

Bizonyos anyagok, így élelmiszereink összetételének, tulajdonságainak ismerete is különleges szereppel bír mindennapjainkban. Jóllehet, élelmi anyagaink minősége nagymértékben összefügg tápérték, állomány – és nem utolsó sorban – mikrobiális állapotbeli tényezőkkel, valójában mégis az aroma és külső megjelenés azok, amely tulajdonságokat a fogyasztó sok esetben talán a legfontosabbnak vél. Az élelmiszerek gőzterében (headspace) gáz halmazállapotban felgyülemlő illékony szerves összetevők ráadásul olyan jellegzetes vegyületek, melyek megfelelő mérési módszerek alkalmazása mellett megannyi értékes információval szolgálhatnak a különféle termékek sajátosságait illetően.

Az illatok, ízek, textúra és más, hasonló jellemzők vizsgálatára ugyan még ma is a humán érzékszervi bírálat jelenti az egyik legalkalmasabb és legelterjedtebben használt módszert, a komplikált mintaelőkészítés és magas ráfordítás-igény folytán egyre jelentősebb igény mutatkozik modern, gyors és költséghatékony módszerek kifejlesztése iránt (Di Natale et al., 2002).

Annak dacára, hogy az emberi orr bizonyos illatmolekulákat a vegyület vagy mátrix összetételétől függően akár 1 ppb-nél kisebb koncentráció esetén képes érzékelni (Belitz & Grosch, 1999), a humán érzékszervek bizonyos hiányosságai – így például a fáradékonyság és szubjektivitás – az elmúlt években számos mesterséges “érzékszerv” kifejlesztését ösztökélték. Ezek ugyan természetes érzékszerveink helyettesítésére nem minden esetben képesek, azok kiegészítésére viszont annál inkább felhasználhatók.

E folyamat eredményeként jöhetett létre többek között az elektronikus orr (electronic nose; a továbbiakban gyakran csak EN) is, amely kedvező módon az élelmiszerek objektív tulajdonságairól szolgál információval, egyszerűségével és gyorsaságával azonban hosszú távon a hagyományos mérési eljárásokat több szempontból is háttérbe szoríthatja.

Az elektronikus orrok nagy érzékenysége, roncsolás- és vegyszermentes működése, alacsony üzemeltetési költsége, a klasszikus módszerekhez viszonyított minimális mintaelőkészítési- és helyigénye mind-mind olyan tényezők, melyek kutatók tömegeit sarkallják a mai napig újabb és újabb alkalmazási területek felderítésére.

Történeti áttekintés, elméleti alapok

Az elektronikus orr koncepciója valójában csak az 1980-as évektől kezdve szerepel szakirodalmi forrásokban. Az EN szagok besorolására alkalmas koncepcióját eredetileg Persaud és Dodd mutatta be 1982-ben, a piacon pedig a '90-es évek elején jelentek az első ilyen jellegű eszközök (Korel & Balaban, 2009). Úttörők között tartjuk számon például a francia Alpha M.O.S. Fox Intelligent Nose elnevezésű készülékét (1993), a brit Neotronics Scientific e-Nose 4000-ret és az Aromascan cég Aromascanner berendezését (1994), valamint a Bloodhound Sensors Limited és HKR Sensorsystem szerkezeteit (1995) (Craven et al., 1996; Needham, 2004). A hazai élelmiszerkutatókban az elektronikus orr az 1990-es évek vége felé jelent meg, amikor is a méréstechnikában rejlő lehetőségekről Kaffka Károly és Farkas József elsőként beszámolt (Kaffka & Farkas, 1999).

Gyakorlati szempontból a legfontosabb talán az, hogy míg az emberi orr a különféle illatösszetevőket voltaképpen egy elegyként kezeli a komponensek elkülönítése helyett, az elektronikus orrot szenzorok sora építi fel, amelyek képesek a megfelelő minta-felismerés alapján egyszerű és összetett szagokat is azonosítani.

A szilárdtest gázszenzorok (solid state gas sensors) körülbelül 20 évvel ezelőtti első, érzékelősor formájában történő felhasználása óta az elektronikus orrok számos fejlődési fázison mentek keresztül, a klasszikus analitikai megközelítés, azaz az "egy szenzor – egy meghatározandó komponens" elv kezdetben még cáfolhatatlan elképzelésnek tűnt kutatói körökben. A folyamatos előrehaladás eredményeként viszont csupán az elmúlt néhány évben több száz, akár ezer szakcikk látott napvilágot e téma kapcsán, melyek többsége ugyan főként az élelmiszeripart érinti, de jó néhány mezőgazdasági, környezeti és orvosi témával kapcsolatos publikáció is akad.

Az EN elnevezését az emlősök szaglőrendszerével való hasonlósága miatt kapta, és alapját egy olyan kémiai érzékelősor (chemosensor array) képezi, amelynek különböző érzékelői nagy érzékenységet, viszont kis specifitást mutatnak az egyes egyedi molekulákra, illékony komponensekre. A különféle vegyületekre és összetevőkre a szenzorok

eltérő jelválaszokat adnak, tulajdonképpen a gázkeverék „digitális ujjlenyomatát” (digital fingerprint) hozzák létre, amely azután többváltozós matematikai-statisztikai eljárások – főkomponens-analízis, kanonikus diszkriminancia-analízis, klaszter-analízis, parciális legkisebb négyzetek módszere stb. – révén válik elemezhetővé (Di Natale et al., 2001; Dalmadi et al., 2007; Korel & Balaban, 2009; Zhang et al., 2012).

A Persaud és Dodd (1982) által eredetileg felállított alapmodell lényege, hogy a különféle illatmolekulák eltérő receptor sejtekhez kötődnek, amelyek együttesen egy olyan elektromos jelsorozatot eredményeznek, amit végül a szaglólóhólyag (olfactory bulb) és az olfaktorikus neuronok közvetítésével agyunk szagéretté alakít. Gardner és Bartlett (1994) később már az elektronikus orrot egy olyan összetett rendszerként definiálja, amely elektromos kemoszenzorok sorozatából, illetve egy alakfelismerésre képes adatfeldolgozó rendszerből (humán területre átvetítve a neuronok és az agy kapcsolatából) áll.

Felépítés, működés, követelmények

Az elektronikus orr alapjában véve három fő részre tagolható: a mintavevő egységre (szenzorok sora), a jelfeldolgozó egységre, illetve az egyszerű vagy összetett szagok azonosításához szükséges megfelelő minta-felismerő algoritmusra (Korel & Balaban, 2009). Az elektronikus orral történő vizsgálat során nem az egyedi összetevők szelektív elemzése, hanem az éppen elvégzett mérés jelválaszának és a korábban mért minták eltárolt jelválaszának összehasonlítása megy végbe. Mindenképpen kiemelendő azonban, hogy a tradicionális analitikai módszerekkel ellentétben az EN technológia egyáltalán nem szolgál információval az analizálni kívánt termék jellegét, természetét illetően, csupán összehasonlító vizsgálat végezhető segítségével. Egy adott szenzoron kapott jelválasz értéke a referenciagázhoz képest, azok sorrendje, illetve értékeik különbsége együttesen alakítják ki a vizsgált anyagra jellemző “mintázatot”, amely így egy egyedi vonásként az adott illat identifikálására használható.

Az EN legfontosabb eleme a kémiai érzékelősor, melynek egyedi érzékelői az előzőek értelmében igen nagy érzékenyséűek, de kis specifitásúak az egyedi molekulákra. A szenzorok működése lényegében a molekulák katalitikus reakciói során létrejövő feltöltődési folyamatokon alapul, a magas hőmérséklet következtében a felszínen végbemenő jelenségek megváltoztatják az érzékelő elektromos ellenállását, bizonyos esetekben dielektromos állandóját vagy éppen hőmérsékletét (Göpel, 1995). A szenzorokkal kapcsolatos alapvető

követelmény, hogy specifikusak semmiképpen se legyenek egy adott molekulára, ugyanakkor a szerves szagmolekulák – többnyire illékony, kis molekulatömegű (30-300 Da), poláros, gyakran hidrofób szerves molekulák – formájára és szerkezetére mégis érzékenyen reagáljanak (Gardner & Bartlett, 1994; Craven et al., 1996).

Fontos továbbá, hogy az érzékelők megfelelő nagyságú jelet adjanak a felületükön kis koncentrációban adszorbeált szagmolekulák esetén is, ráadásul ezt kis időállandóval tegyék. Utóbbi a gyakorlatban azt az időintervallumot jelöli, mialatt egységnyi koncentrációváltozás hatására a szenzor jele eléri a végső kimenő jel (output) egy előre meghatározott hányadát. Bár ideális esetben ez néhány másodperc, alkalmanként akár perceket is jelenthet (Dalmadi, 2009). Mindezeket túl releváns tényező a regenerálódási idő rövidege (Ghasemi et al., 2009), amely voltaképpen az egységnyi időtartamon belül lefuttatható mérési ciklusok számát befolyásolja. Ekkor az érzékelő eredeti állapotának visszanyerése a cél, vagyis a légtérből a felületre rakódott anyagok deszorbeálása.

Elengedhetetlen, hogy a szenzorok érzékenyen reagáljanak az analit megfelelő koncentráció tartományában, rendelkezzenek megfelelő dinamikával – azaz ne mutassanak telítődést a meghatározási tartományon belül –, valamint jelválaszuk reprodukálható legyen. Mindenképpen számolni kell azzal, hogy az évek folyamán a szenzorok érzékenysége valamelyest változik (drift), illetve, hogy bizonyos anyagok akár irreverzibilisen is kötődhetnek a felületen, ezzel az érzékenységet nagymértékben csökkentve, szélsőséges esetben pedig akár megszüntetve (Mielle, 1996; Baldwin et al., 2011).

Valójában csak másodlagosan, de az érzékelők előállítási költségének és fizikai méretének számbavétele is fontos. Természetesen alapvető követelménynek tekinthető, hogy az elektronikus orr szenzorai olyan jelsorozatot állítsanak elő, amely a különböző minták esetében láthatóan különbözik. Az egyéni szenzorok semmi esetben sem adhatnak túl specifikus választ, hanem a vegyületek széles spektrumán kell használhatónak lenniük.

Szenzortípusok

Az elektronikus orrokban fellelhető érzékelő anyagokat minőségük szerint három nagy csoportba szokás sorolni: 1. szerves kristályos vagy poli-kristályos anyagok (félvezetők, fénoxidok, zeolit adszorbensek

és fém katalizátorok); 2. szerves anyagok és polimerek; 3. biológiai anyagok (fehérjék, enzimek, antitestek).

Az első csoportot, azaz a szerves kristályos, polikristályos anyagok körét általában nagy robusztusság jellemzi, ráadásul magas hőmérsékleten is használhatóak, valójában katalizátorként szerepelnek irreverzibilis szenzorokban vagy kémiai reaktív szenzorokban. A szerves anyagok köre kémiai könnyen átalakítható, ezért igen különböző tulajdonságokkal rendelkezhetnek, főként szobahőmérsékleten, reverzibilis szenzorokban találhatóak meg (Dickinson et al., 1998). A harmadik csoportosulást jelentő biológiai anyagok nagy szelektivitással rendelkeznek ugyan, viszont nehezen stabilizálhatóak, ezért nem alkalmasak elektronikus orrok érzékelőinek kialakítására (Dalmadi, 2009). A szerves kristályos érzékelők körébe tartozó szenzorok igen sokfélék. Lehetnek félvezető fémoxidok vagy MOS szenzorok (Metal Oxide Semiconductor Sensors); a félvezető fémoxid tranzisztorok, másképpen MOSFET érzékelők (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistors); szerves polimer-vezetők vagy CP (Conducting Organic Polymers) szenzorok; illetve piezo-elektromos kristályok, QMB (Quartz Microbalance) érzékelők.

Az élelmiszervizsgálati célokra kifejlesztett elektronikus orrokban leggyakrabban MOS és MOSFET szenzorokat alkalmaznak. Felismerték ugyanis, hogy a félvezető fémoxidok az illatmolekulák felületi adszorpciója révén képesek megváltoztatni valamely fizikai jellemzőjüket, mely a korábban már említetteknek megfelelően ellenállásukat, dielektromos állandójukat vagy éppen hőmérsékletüket jelenti (Göpel, 1995). E megfigyelések eredményeit továbbfejlesztve vált lehetővé végül a gázokban kis koncentrációban jelen lévő illatmolekulák detektálása. Megállapították, hogy az érzékelők érzékenységi spektruma befolyásolható a rétegvastagság és a szemcseszerkezet változtatásával, valamint a kristályszerkezet különböző fémekkel történő szennyezésével. Éppen ennek révén alakulhatott ki a kémiai érzékelősor szenzorainak fontos tulajdonságaként emlegetett kereszt-szelektivitás (cross-selectivity), azaz az érzékelősor többi elemével részleges átfedést mutató érzékenységi tartomány is (Schaller et al., 1998; Dickinson et al., 1998).

A MOS szenzor szerkezetét egy kerámiacső alkotja, amely egy platina fűtőszálat (heater coil) tartalmaz. A kerámiacső felületére viszik fel az ón-dioxidot és katalitikus fémszennyeződések, az illatmolekulák érzékelésekor a félvezető ellenállása pedig megváltozik, amely változást

elektromos jellé alakítják. Az ellenállás-változás tulajdonképpen az ón-dioxid részecskék felületén lezajló égési reakció eredménye, amely hatással van a félvezető vezetőképességére.

A MOS szenzorok további két típusra oszthatók fel: lehetnek "n"-típusúak, illetve "p"-típusúak. Előbbi anyaga leggyakrabban cink-oxid, vas (III)-oxid, titán-dioxid vagy ón-dioxid (Iwanaga et al., 1984), amelyek a félvezetők jelválasz-karakterisztikájának megváltoztatását szolgálják. A fénoxid vastagsága ezekben az esetekben kb. 10-300 μm között változik, ez a fajta szenzor tulajdonságánál fogva pedig főképpen az oxidáló hatású vegyületekre érzékeny. A "p"-típusú szenzor kobalt-oxidból vagy nikkel-oxidból áll, és inkább a redukáló hatású vegyületekre specifikus.

A fénoxid érzékelők igen érzékenyek és magas hőmérsékleten alkalmazhatók, ebből kifolyólag viszont sok energiát használnak fel. Viszonylag lassan áll vissza eredeti állapotuk, emiatt a tisztán csak ilyen szenzorokkal történő sorozatmérések időigényesek. Körülbelül 300-500 $^{\circ}\text{C}$ között működnek, hogy a vízzel való interferenciát elkerüljék, valamint hogy a jelválasz és regenerálódási idő gyors legyen (Haugen & Kvaal, 1998; Korel & Balaban, 2009; Bhattacharyya et al., 2010). Szerencsére a mai szenzorok többsége már éppen ezen elvárás figyelembevételével akár 100 ms időintervallumon belül képes reagálni (Dickinson et al., 1998).

A MOSFET érzékelők hasonlóak a MOS szenzorokhoz, de esetükben a kimeneti jel a feszültség-változásból származik, amit az illékony vegyületek katalitikus felszínen végbemenő reakciói eredményeznek. Ezeket az érzékelőket három réteg alkotja: egy félvezető szilícium réteg, egy szilícium-dioxid szigetelő, valamint egy fém katalizátor, amely leggyakrabban palládium, platina, iridium vagy ródium. A fém katalizátor voltaképpen kapuelektrodként funkcionál a tranzistorban. Abban az esetben, ha egy poláris vegyület lép kölcsönhatásba a kapuelektroddal, az elektromos tér és ennek következtében az átfolyó áram is módosul, míg az áram fenntartásához szükséges feszültség-változás, mint a szenzor válaszjele, rögzíthető.

A MOSFET szenzorok a MOS szenzorokhoz képest alacsony, 100-200 $^{\circ}\text{C}$ közötti hőmérsékleten működnek (Ólafsdottir, 2003). A MOS érzékelők előnyeiket megtartva e szenzortípusnak úgyszintén kiváló az érzékenysége, jól tűri a magas nedvességtartalmat, viszonylag lassan öregszik, ráadásul alacsony költséggel állítható elő. Jóllehet, gyúlékony anyagok (pl.

alkohol) jelenlétére azonban érzékeny, illetve kevésbé hatékony a kén- és nitrogén alapú vegyületek detektálásában (Hong et al., 1996; Dalmadi, 2009).

A „field-effect transistor”-ként (FET) emlegetett érzékelők nagyon hasonlóak a félvezető fémoxid szenzorokhoz, a fém kapu itt viszont katalizátorként működik. A szenzorok elektromos viselkedése tehát a félvezető felületi potenciálját szabályozza, ami azt jelenti, hogy a szenzor minden olyan gázt érzékel, ami megváltoztatja a félvezető felületi potenciálját.

Az akusztikus gáz szenzorok (Acoustic Wave Gas Sensors) működése azon alapul, hogy detektálják a felületükön adszorbeált molekulák tömegváltozásának hatását egy piezoelektromos kvarckristály segítségével. Ezen szenzoroknak jelenleg két típusa létezik: a tömbi akusztikus hullám érzékelésén alapuló úgynevezett „Bulk Acoustic Wave Sensor” (BAW) vagy „Quartz Microbalance” (QMB) típus, illetve az akusztikus felületi hullámok észlelését végző „Surface Acoustic Wave Sensor” (SAW) típus (Craven et al., 1996; Dickinson et al., 1998; Haugen & Kvaal, 1998). A kvarckristály érzékelők többnyire a nagyobb molekulák (pl. szénhidrogének, aromás vegyületek) detektálására alkalmasak és gyorsan visszaáll eredeti állapotuk, de közel sem olyan érzékenyek, mint a fémoxid szenzorok (Korel & Balaban, 2009).

A elektronikus orrokban fellelhető szenzorok tulajdonságait összegezve elmondható, hogy a MOS és MOSFET érzékelők robusztusabbak, azaz a hőmérséklet és pH terén bekövetkezett változások, illetve nedvesség jelenléte kevésbé befolyásolja működésüket. Érzékenységük legtöbbször 0,1-100 ppm tartományban változik (Gardner & Bartlett, 1994). Mindezen kedvező tulajdonságaik ellenére a szerves polimer vezetők (CP) és SAW szenzorok mégis érzékenyebbnak tűnnek, hogy ppb mennyiségben is kimutassanak különböző illékony komponenseket (Craven et al., 1996). A hétköznapi életben előforduló elektronikus orr rendszerek éppen ennek folytán általában több szenzortípust alkalmaznak ugyanazon berendezésben, ezzel is hasonulva a humán érzékelésben szereplő különböző olfaktorikus receptorokhoz.

Gyakorlati tapasztalatok az élelmiszeriparban

Az elektronikus orr felhasználási területei az elmúlt évtizedek során rendkívüli mértékben bővültek. A EN-al kapcsolatos kutatások és gyakorlati alkalmazások fő bázisát adó élelmiszeripar mellett

mezőgazdasági, orvostudományi, gyógyszeripari, környezetvédelmi, hadászati, légiközlekedési, tűzvédelmi és kozmetikai ipari körökben is számos innovatív példa lelhető fel (Sahgal, 2008; Wilson & Baietto, 2009).

Az élelmiszeripari szektorban kezdetben például igen nagy érdeklődést váltott ki toxinogén penészgombák illékony anyagcseretermékeinek kimutatása gabonafélékből (Magan, 1993; Tognon et al., 2005; Farkas & Dalmadi, 2009). Később különféle húskeverékek összetétel és frissesség alapján történő elkülönítésére, azok illékony frakcióinak meghatározására is számos kísérlet történt (Turhan et al., 1998; Siegmund & Pfannhauser, 1999).

Idővel zöldségek, gyümölcsök és olajok esetében ugyancsak alkalmazni kezdték a módszert. Maul és munkatársai (2000) például vezetőképes polimer szenzorokkal felszerelt elektronikus orrot használtak paradicsomok érettségi állapotának vizsgálatára, Llobet és szerzőtársai (1999) banánokkal kísérleteztek, míg Brezmes (2001) és Saevels (2003) almákkal végzett tesztek. Brezmes igen jó eredményre jutott többek között a keménységi fok, pH és keményítő-index becslése területén. Gómez (2006a és 2006b) paradicsommal végzett kísérletei mellett mandarinok illékony komponenseit is vizsgálta különböző érettségi stádiumokban (érett, fél-érett, érett, túlértett), amelyhez egy 10 eltérő MOS szenzorral felszerelt készüléket használt.

Stella (2000), Guadarrama (2001) és kollégáik a szűz olívaolajok minőségi besorolásánál (extraszűz, szűz, lampante) használt hagyományos, lassú és költséges módszerek kiváltására tettek kísérletet. A mérések váratlan sikerrel jártak, a különböző olajok minőségi kategorizálása, földrajzi származás alapján történő elkülönítése felkerült az EN-el eredményesen végezhető vizsgálatok listájára.

A 2000-es évek elején ismételten nagyszámú hús- és tejtermékekkel összefüggő tanulmány került nyilvánosságra. Boothe & Arnold (2002), Panigrahi és munkatársai (2006), Horváth és kollégái (2007) példának okáért mind felhasználták az elektronikus orrot állatitermékek frissességének, tárolás alatt bekövetkező változásainak nyomonkövetésére. Labreche és csoportja (2005) időközben tej polcontarthatósági idejét határozta meg adott tárolási kísérlet során, melyhez egy fénoxid szenzorokat tartalmazó elektronikus orrot használtak.

Tognon és kutatótársai (2005) lisztek mikotoxinos szennyezettségét, Zhang és munkatársai (2005) fűszerkeverékek azonosítását,

összetételének vizsgálatát végezték EN segítségével, ahol is a készülékek mindkét esetben kiváló teljesítményt nyújtottak. Lebrun és csapata (2008) mangó optimális szüretidejének becslését oldotta meg sikerrel egy elektronikus orr igénybevételével; Zhang (2012) pedig e technikát alkalmasnak találta őszibarackok minőségjellemzőinek nyomonkövetésére is.

Viszonylag friss kutatások között említhető Liu és kollégái (2012) kísérlete, ahol szeszesitalok kategorizálására tudták felhasználni az EN koncepcióját annak ellenére, hogy az alkohollal – éppen a szenzorokon való tartós kötődése révén – egyébként csak igen nehezen kivitelezhetőek a mérések. Egy másik kutatócsoport teaminták csoportbasorolását végezve jutott nemrégiben biztató eredményre elektronikus orr és elektronikus nyelv kombinált alkalmazásával (Banerjee et al., 2012).

Következtetések

Az elektronikus orrnak gyors, pontos és egyszerű mérés technikaként napjainkban meglehetősen fontos szerep jut az élet megannyi területén. Alkalmazásával az élelmiszerelőállítás és -forgalmazás területén becsülhető például a polcontarthatósági idő, kimutathatók a romlásra utaló aromaanyagok, lehetővé válik minőségi osztályok kialakítása, előrejelezhető a szüretidő, és még sorolhatnánk.

Bizonyos élelmiszerek speciális paramétereinek vizsgálati módja, a megfelelő elektronikus orr és szenzorok használata, a helyes adatelemzési technika és környezeti paraméterek megválasztása mind-mind olyan tényezők, amelyeket a mérések tervezésénél figyelembe kell venni. E pillanatban a szenzorok érzékenysége még gátat szab ugyan a különleges illékony komponensek érzékelésének, azonban új, pontos, reprodukálható jelválaszú, és nem utolsósorban megfizethető árú érzékelők előállításával lehetővé válhat a módszer még szélesebb körben való elterjedése.

Napjainkban főként amerikai, japán és európai cégek foglalkoznak elektronikus orrok gyártásával. Közéjük tartozik a Cyrano Science (USA), a Neotronic Scientific Inc. (USA), a Lennartz Electronic (Németország), az Alpha M.O.S. (Franciaország) és a svéd Nordic Sensor Technologies, illetve S-SENCE (Ólafsdottir, 2003). Ezenkívül számos felsőoktatási intézményben folyik új típusú készülékek és szenzorok kifejlesztése. E kutatások célja elsősorban hibrid-, bio- és nano-érzékelők létrehozása, a készülékek méretcsökkentésének

előmozdítása, valamint a környezeti paraméterek érzékelőkre gyakorolt hatásának minimalizálása (Bhattacharyya et al., 2010).

Köszönetnyilvánítás

A kutatás az Európai Unió és Magyarország támogatásával a TÁMOP 4.2.4.A/1-11-1-2012-0001 azonosító számú “Nemzeti Kiválóság Program – Hazai hallgatói, illetve kutatói személyi támogatást biztosító rendszer kidolgozása és működtetése országos program” című kiemelt projekt keretei között valósult meg.

Irodalom

- Baldwin, E.A., Bai, J., Plotto, A., Dea, S. (2011): Electronic Noses and Tongues: Applications for the Food and Pharmaceutical Industries. *Sensors*, **11**, 4744-4766
- Banerjee, R.R., Tudu, B., Shaw, L., Jana, A., Bhattacharyya, N., Bandhopadhyay, R. (2012): Instrumental testing of tea by combining the responses of electronic nose and tongue. *Journal of Food Engineering*, **110** (3), 356-363
- Belitz, H.D., Grosch, W., Schieberle, P. (1999): *Food Chemistry*. 4th revised and extended Edition, Springer, 340-344
- Bhattacharyya, N., Bandhopadhyay, R. (2010): Electronic Nose and Electronic Tongue. In: *Nondestructive Evaluation of Food Quality – Theory and Practice* (Jha, S.N. ed.), Springer, 73-100
- Boothe, D.D.H., Arnold, J.W. (2002): Electronic nose analysis of volatile compounds from poultry meat samples, fresh and after refrigerated storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **82** (3), 315-322
- Brezmes, J., Llobet, E., Vilanova, X., Orts, J., Saiz, G., Correig, X. (2001): Correlation between electronic nose signals and fruit quality indicators on shelf-life measurements with pinklady apples. *Sensors and Actuators B*, **80** (1), 41-50
- Craven, M.A., Gardner, J.W., Bartlett, P.N. (1996): Electronic noses – development and future prospects. *Trends in Analytical Chemistry*, **15** (9), 486-493.
- Dalmadi I. (2009): Hőkezeléssel és nagy hidrosztatikus nyomással pasztőrözött bogyógyümölcs-pürék minőség-jellemzőinek alakulása a tárolási hőmérséklet függvényében. PhD disszertáció, Budapest, 32-40
- Dalmadi I., Seregély Zs., Farkas J., Kaffka K. (2007): Néhány többváltozós kemometriai módszer alkalmazása műszeres analitikai vizsgálatok értékelésére. *Élelmiszervizsgálati Közlemények*, **53** (4), 222-238
- Di Natale, C., Macagnano, A., Martinelli, E., Paolesse, R., Proietti, E., D'Amico, A. (2001): The evaluation of quality of post-harvest oranges and apples by means of an electronic nose. *Sensors and Actuators B*, **78** (1), 26-31
- Di Natale, C., Zude-Sasseb, M., Macagnano, A., Paolesse, R., Herold, B. (2002): Outer product analysis of electronic nose and visible spectra: application to the measurement of peach fruit characteristics. *Analytica Chimica Acta*, **459** (1), 107-117

- Dickinson, T.A., White, J., Kauer, J.S., Walt, D.R. (1998): Current trends in 'artificial-nose' technology, *Trends in Biotechnology*, **16** (6), 250-258
- Farkas J., Dalmadi I. (2009): Near Infrared and Fluorescence Spectroscopic Methods and Electronic Nose Technology for Monitoring Foods. *Progress in Agricultural Engineering Sciences* 5, Akadémiai Kiadó, 15-23
- Gardner, J.W., Bartlett, P.N. (1994): A brief history of electronic noses. *Sensors and Actuators B*, 18-19, 211-220
- Ghasemi, V.M., Mohtasebi, S.S., Siadat, M., Balasubramanian, S. (2009): Meat Quality Assessment by Electronic Nose (Machine Olfaction Technology). *Sensors*, **9**, 6058-6083
- Gómez, A.H., Hu, G., Wang, J., Pereira, A.G. (2006a): Evaluation of tomato maturity by electronic nose. *Computers and Electronics in Agriculture*, **54** (1), 44-52
- Gómez, A.H., Wang, J., Hu, G., Pereira, A.G. (2006b): Electronic nose technique potential monitoring mandarin maturity. *Sensors and Actuators B*, **113** (1), 347-353
- Göpel, W. (1995): Supramolecular and polymeric structures for gas sensors. *Sensors and Actuators B*, **24** (1-3), 17-32
- Guadarrama, A., Rodríguez-Méndez, M.L., Sanz, C., Ríos, J.L., Saja, J.A. (2001): Electronic nose based on conducting polymers for the quality control of olive oil aroma – Discrimination of quality, variety of olive and geographic origin. *Analytica Chimica Acta*, **432** (2), 283-292
- Haugen, J.E., Kvaal, K. (1998): Electronic Nose and Artificial Neural Network. *Meat Science*, **49** (1), 273-286
- Hong, H.K., Shin, H.W., Yun, D.H., Kim, S.R., Kwon, C.H., Lee, K., Moriizumi, T. (1996): E-nose system with micro-gas sensor array. *Sensors and Actuators B*, **36** (1-3), 338-341
- Horváth K., Seregély Zs., Dalmadi I., Andrassy É., Farkas J. (2007): Estimation of bacteriological spoilage of pork cutlets by electronic nose. *Acta Microbiologica et Immunologica Hungarica*, **54** (2), 179-194
- Iwanaga, S., Sato, N., Isegami, A., Isogai, T., Noro, T., Arima, H. (1984): Gas detection and method for detecting gas. United States Patent 4457161.
- Kaffka K., Farkas J. (1999): A gázérzékelő sor – az elektronikus orr. *Magyar Kémikusok Lapja*, **54**, 323-333
- Korel, F., Balaban, M.Ö. (2009): Electronic Nose Technology in Food Analysis. In: *Handbook of Food Analysis Instruments* (Ötles, S. ed.), CRC Press, Boca Raton, 365-374
- Labreche, S., Bazzo, S., Cade, S., Chanie, E. (2005): Shelf life determination by electronic nose: Application to milk. *Sensors and Actuators B*, **106** (1), 199-206
- Lebrun, M., Plotto, A., Goodner, K., Ducamp, M-N., Baldwin, E. (2008): Discrimination of mango fruit maturity by volatiles using the electronic nose and gas chromatography. *Postharvest Biology and Technology*, **48** (1), 122-131

- Liu, M., Han, X., Tu, K., Pan, L., Tu, J., Tang, L., Liu, P., Zhan, G., Zhong, Q., Xiong, Z. (2012): Application of electronic nose in Chinese spirits quality control and flavour assessment. *Food Control*, **26** (2), 564-570
- Llobet, E., Hines, E.L., Gardner, J.W., Franco, S. (1999): Non-destructive banana ripeness determination using a neural network-based electronic nose. *Measurement Science and Technology*, **10**, 538-548
- Magan, N. (1993): Early detection of fungi in stored grain. *International Biodeterioration and Biodegradation*, **32** (1-3), 145-160
- Maul, F., Sargent, S.A., Sims, C.A., Baldwin, E.A., Balaban, M.Ö., Huber, D.J. (2000): Tomato Flavor and Aroma Quality as Affected by Storage Temperature. *Journal of Food Science*, **65** (7), 1228-1237
- Mielle, P. (1996): Managing dynamic thermal exchanges in commercial semiconducting gas sensors. *Sensors and Actuators B*, **34** (1-3), 533-538
- Needham, R. (2004): Early detection and differentiation of microbial spoilage of bread using electronic nose technology. PhD thesis, Cranfield University, 16-29
- Ólafsdóttir, G. (2003): Rapid olfaction arrays for determining fish quality. In: *Rapid and on-line instrumentation for food quality assurance* (Tothill, I.E. ed.), 339-360
- Panigrahi, S., Balasubramanian, S., Gu, H., Logue, C., Marchello, M. (2006): Neural-network-integrated electronic nose system for identification of spoiled beef. *LWT – Food Science and Technology*, **39** (2), 135-145
- Persaud, K.C., Dodd, G.H., (1982): Analysis of discrimination mechanisms in the mammalian olfactory system using a model nose. *Nature*, **299**, 352-355
- Saevels, S., Lammertyn, J., Berna, A.Z., Veraverbeke, E.A., Di Natale, C., Nicolai, B.M. (2003): Electronic nose as a non-destructive tool to evaluate the optimal harvest date of apples. *Postharvest Biology and Technology*, **30** (1), 3-14
- Sahgal, N. (2008): Microbial and non-microbial volatile fingerprints: potential clinical applications of electronic nose for early diagnoses and detection of diseases. PhD thesis, Cranfield University, 156-159
- Schaller, E., Bosset, J.O., Escher, F. (1998): Electronic noses and their application to food. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*, **31** (4), 305-316
- Siegmund, B., Pfannhauser, W. (1999): Changes of the volatile fraction of cooked chicken meat during chill storage: Results obtained by the electronic nose in comparison to GC-MS and GC olfactometry. *Zeitschrift für Lebensmittel Untersuchung und -Forschung A*, **208**, 336-341
- Stella, R., Barisci, J.N., Serra, G., Wallace, G.G., De Rossi, D. (2000): Characterisation of olive oil by an electronic nose based on conducting polymer sensors. *Sensors and Actuators B*, **63** (1-2), 1-9
- Tognon, G., Campagnoli, A., Pinotti, L., Dell'Orto, V., Cheli, F. (2005): Implementation of the electronic nose for the identification of mycotoxins in durum wheat (*Triticum durum*). *Veterinary Research Communications*, **29** (2), 391-393

- Turhan, M., Balaban, M.Ö., Turhan, K.N., Luzuriaga, D.A., (1998): Potential use of electronic nose technique for detection of meat adulteration: Separation of pork-beef mixtures. *Fleischwirtschaft International*, **6**, 26-28
- Wilson, A.D., Baietto, M. (2009): Applications and Advances in Electronic-Nose Technologies. *Sensors*, **9**, 5099-5148
- Zhang, H., Balaban, M.Ö., Principe, J.C., Portier, K. (2005): Quantification of spice mixture compositions by electronic nose: Part I. Experimental design and data analysis using neural networks. *Journal of Food Science*, **70** (4), 253-258
- Zhang, H., Wang, J., Ye, S., Chang, M. (2012): Application of Electronic Nose and Statistical Analysis to Predict Quality Indices of Peach. *Food and Bioprocess Technology*, **5**, 65-72

Elektronikus orr – az élelmiszervizsgálat sok célra használható új eszköze

Összefoglalás

Napjainkban az élelmiszer-analitika területén egyre nagyobb népszerűségnek örvendenek az egyszerű minta-előkészítést igénylő, gyors és roncsolásmentes vizsgálati módszerek. Az illékony komponensek mérése ilyen módon az ún. elektronikus orral valósítható meg. Jelen cikk bemutatja az elektronikus orr működési elvét, a mérés technika fejlődésének mérföldköveit és az alkalmazhatósági területeit.

Electronic nose – a new multi-purpose tool for food investigation

Abstract

Nowadays rapid, non-destructive measurement techniques that require simple sample preparation are more and more popular in food analysis. Detection of volatile compounds can be performed this way by the so called electronic nose. This paper introduces the principle of operation of electronic nose, milestones in the development of the measurement technique and its fields of application.