



Az elektronikus orr fejlődése és alkalmazása: I. Az elektronikus orr története és típusai

BANA BERNADETT*, ZSÉDELY ESZTER

Széchenyi István Egyetem, Albert Kázmér Mosonmagyaróvári Kar, Állattudományi Tanszék
Mosonmagyaróvár

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-3760-8812>

Email: bana.bernadett@sze.hu

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2356-5648>

*Corresponding author/Levelező szerző

Received/Érkezett: 2024.10.02.

Revised/Átdolgozva: 2024.10.22.

Accepted/Elfogadva: 2024.10.28.

ÖSSZEFOGLALÁS

Az aromák olyan illékony vegyületek, amelyeket az emberi szaglás érzékel, és különböző minőségi értékekkel jellemezhetők. Az aromák sokféle vegyületből állnak, és ezeknek a vegyületeknek a kombinációja határozza meg az aroma egyedi tulajdonságait. A szaglás biológiai folyamat, mely során az orr receptorai érzékelik az illékony anyagokat, majd az agy feldolgozza ezeket az információkat. Bár a szaglásnak vannak sajátos korlátai, mint például a szubjektivitás és a reprodukálhatóság nehézségei, az elektronikus-orr rendszerek fejlesztése fontos az aromák elemzésében és az illatok azonosításában. Az elektronikus-orr különböző típusai különböző érzékelő anyagok reakcióján alapulnak a kémiai gőzökkel. A legelterjedtebb típusok közé tartoznak a fém-oxid félvezető (MOS) érzékelők, a vezető polimerek (CP) és az akusztikus hullám érzékelők. Az elektronikus orr fejlődésével együtt járó adatelemzési módszereknek kulcsfontosságú szerepük van az illatok és szagok érzékelésében és azok értelmezésében. Az elektronikus orr-ok adatelemzésének fejlődése jelentős előrelépést jelent az illatok és szagok értelmezésében, és hozzájárul széles körű alkalmazásához az iparban és a kutatásokban.

Kulcsszavak: aromák, szaglás, elektronikus-orr rendszerek, adatelemzés

1. AZ AROMÁK TÍPUSAI

Az illatok a szaglás által érzékelhető, levegőben jelenlévő illékony vegyületek egyszerűtől az összetettig terjedő keverékei. Az aromákat illatoknak vagy szagoknak nevezik, ami egy adott aroma kellemességére vagy kellemetlenségére vonatkozik. Egyes aromák egyetlen kémiai vegyületből állnak, míg más aromákat több vegyület alkot. Általában az illatok százféle különböző vegyületből állnak, mindegyikük hozzájárulva az illat egyedi tulajdonságaihoz és jellemzőihez. A vegyületek relatív mennyiségében bekövetkező finom változások gyakran érzékelhetők az emberi orr számára, mint illatváltozás, míg az illatmentes anyagok változásai nem érzékelhetők. Az elektronikus-orr előnye, hogy olyan illatmentes vegyületeket is érzékel, amelyeket az emberi orr nem képes (Wilson



és Baietto, 2009). Például baktériumok által kibocsátott illékony vegyületeket, robbanószeres kipárolgását, még akkor is, ha nagyon alacsony koncentrációban vannak jelen, amit az emberi orr nem tud érzékelni.

Az aromák általában négy mérhető minőségi értékkel jellemezhetők: küszöbérték, intenzitás, minőség és élvezeti érték. A küszöbértéket az a legkisebb koncentráció, ahol az ember érzékelni tudja az aroma jelenlétét, melyet úgy határoznak meg, hogy az aromát olyan mértékben hígítják, amelynek hatására a tesztelők 50%-a már nem érzékeli az aromát (Yuwono és Lammers, 2004). Az intenzitás az aroma érzékelhető erősségére utal, és a koncentráció függvényében növekszik. A minőség az illat leírására szolgál, általánosan használt szavak használatával fejezi ki az aromát azáltal, hogy ismert anyagok aromaminőségeihez hasonlítja. McGinley és McGinley (1998) nyolc aromacsoportot javasolt az alábbiak szerint:

1. földes aromák (dohos, penészes, pézsmá, állott, füves, gyógynövényes, fás)
2. virágos aromák (illatos, virágos, eukaliptusz, levendula)
3. gyümölcsös aromák (narancs, citrom, alma, körte, ananász, eper)
4. fűszeres aromák (fahéj, menta, hagyma, fokhagyma, bors, szegfűszeg, vanília, mandula, fenyő)
5. halas aromák (hal, garnélarák)
6. szennyvíz aromák (rothadó, avas, kénes, rothadt, bomlott, bűzös, savanyú, égetett, mocsaras)
7. gyógyhatású aromák (fertőtlenítőszer, fenol, kámfor, szappan, ammónia, alkohol, éter)
8. kémiai aromák (oldószer, aromás, lakk, terpentin, petróleum, kátrány, olajos, műanyag)

A hedonikus (élvezeti) értékelés az aroma viszonylagos kellemességéhez vagy kellemetlenségéhez kapcsolódik számszerűsíthető értékekkel, amelyek kellemestől a kellemetlenig terjednek.

Az aromás vegyületek általában viszonylag alacsony molekulatömeggel rendelkeznek, amelyek 30 és 300 Da (Da: Dalton, egy egység, amit a molekulák és atomok tömegének mérésére használnak) között változnak. Szobahőmérsékleten az ennél nehezebb molekuláknak általában túl alacsony a gőznyomása ahhoz, hogy aromásak legyenek.

2. SZAGLÁS, A KÖRNYEZET MEGÉRTÉSÉNEK KÉMIAI ÚTJA/ BIOLÓGIAI SZAGLÁS

A szaglás és a kémiai mérések közötti kapcsolat megértéséhez szükség van a biológiai szaglás megértésére.

Az érzékszervek információs csatornaként szolgálnak az emlősök számára. A látás, a hallás és a tapintás mellett két kémiai érzékszervet különböztetünk meg, a szaglást és az ízlést. A szaglás alapvető élettani funkció, amely a kémiai érzékelésen alapul. Az egysejtű szervezetek is képesek kémiai érzékelésre, melynek során a sejthártyájukban található receptorok segítségével tájékozódnak a környezetben lévő kémiai anyagok koncentrációjáról. A szaglás és az ízlés az ősi kémiai érzékelés származékai (Sell, 2014). A szagokat az anyagok molekulái váltják ki, de maguknak a molekuláknak nincs szaguk. Az ízlésérzék a táplálékkal kapcsolatos információkat a szájból (a nyelven lévő receptorok), a szaglásérzék a levegőben lévő illékony anyagokról az orrból kapja. A szaglás egy összetett folyamat eredménye, amelyben az orrban lévő receptorokat bizonyos anyagok ingerlik, majd az agyba jutva szagérzetet eredményeznek (Manguele és Merlo, 2023). Ennek a mechanizmusnak a felfedezése Richard Axel és Linda B. Buck nevéhez fűződik, amiért 2004-ben Nobel-díjat kaptak. Az állatok érzékszerveiken keresztül információkat kapnak környezetükről, melyek érzékenysége nagyban függ az életkörülményektől, és jelentős különbségeket mutat az állatfajok között. A szaglóképesség az idők során változott, és a fajokon belül is megfigyelhetők különbségek. A szaglás nem egy olyan kémiai érzékelési folyamat, amely a levegőben lévő összes



illékony összetevő azonosításra alkalmas, hanem nagyon szelektív, és csak bizonyos információtartalmú illékony anyagokra érzékeny (Doty, 2015).

Az illat benyomásának másik tulajdonsága az illatra adott érzelmi reakció. Ha kellemes szagot kapunk, az erős reakcióra ösztönöz, pl. étkezés utáni vágyat. Ezzel szemben a nagyon kellemetlen szagok, amelyek például romlott ételhez vagy akár veszélyes helyzethez kapcsolódnak, elutasítást eredményezhetnek. Egy veszélyes helyzet és jól ismert példa a szén-monoxid "szaga". A szag benyomásának harmadik dimenziója az intenzitás. Ez a dimenzió segít a mennyiségek értékelésében, például egy szagforrás távolságának vagy egy gyümölcs érettségi fokának megítélésében (Boeker, 2014). Ezért nem meglepő, hogy a gyümölcsök érettségét jelző illóanyagok fontos szaganyagok alacsony szagküszöbértékkel (Goff és Klee, 2006; El Hadi és mtsai., 2013). Ugyanez igaz a veszélyeket jelző illóanyagokra is. Minden vadász széllel szemben lopakodik, mert különben a zsákmányállat a vadász által kibocsátott illóanyagokon keresztül megérzi a veszélyt. A szaglás informatív jellegét a szag benyomása és a tárgyak vagy helyzetek egy osztályába való besorolása közötti szoros kapcsolat képviseli. Megtapasztaljuk az alma, a rózsa, a záptojás vagy az újonnan nyírt gye szagát. A szagfelvétel elsősorban az osztályba sorolást jelenti (Weierstall és Pause, 2012).

Az emberi érzékszervek hátrányai közé tartozik a szubjektivitás, a csekély reprodukálhatóság (például az eredmények ingadoznak az idő, az egészségi állapot, és a fáradtság függvényében), a magas munkaerőköltség, az adaptáció (kevesebb érzékenység hosszú ideig tartó illatoknak való kitettség esetén). Emellett az embereket nem lehet felhasználni a veszélyes szagok érzékelésére sem (Winchester és Martyn, 2020).

Olyan problémák, mint a magas költségek, a minták munkaigényes előkészítése és a hosszú vizsgálati idő azoknak az eszközöknek az alkalmazásában is megjelennek, mint a nagy teljesítményű HPLC, azaz nagy teljesítményű folyadékkromatográfiás eljárás (High Performance Liquid Chromatography vagy High Pressure Liquid Chromatography), amelyek meghatározzák minden anyag szagának jellemzőit.

Ezek a hátrányok vezettek az úgynevezett elektronikus orr rendszer kifejlesztéséhez (Nagle és mtsai., 1998; Battacharyya és Bandhopadhyay, 2010).

3. AZ ELEKTRONIKUS ORR FEJLŐDÉSE

Az 1920-as években végezték el az első aroma mérésekkel kapcsolatos vizsgálatokat, ahol finom vízpermet elektromos tulajdonságait mérték és megállapították, hogy az illékony anyagok hozzáadása növelte a permet elektromosságát. Ezt kis mennyiségű aromás vegyület jelenlétének érzékelésére lehetett használni (Hogewind és Zwaardemaker, 1919). Az aromák mérésére az első valódi eszközt 1954-ben fejlesztették ki az Egyesült Államokban. Ebben érzékelő elemként egy egyszerű 0,8 mm átmérőjű platina huzalt használtak, amely az áramlás mértékét egy érzékeny millivoltmérővel mérte (Hartman, 1954).

Különböző bevonatanyagok, például polivinil-klorid, zselatin és növényi zsírok képesek lehetnek különböző adatokat szolgáltatni az egyszerű és bonyolult aromák megkülönböztetéséhez. Moncrieff (1961) feltételezte, hogy egy hat termisztoros tömb, hat különböző bevonattal ellátva, nagyszámú különböző aromát képes megkülönböztetni. Dravnieks és Trotter (1965) a kontakt potenciál átvitelét használta az aromák monitorozására. Buck és mtsai. (1965) a vezetőképesség átvitelét vizsgálták aromák megkülönböztetésére. Ezeket a vizsgálatokat csak az aromák értékelésében első megközelítésnek tekintették az analitikai eszközök hiánya miatt.

Azonban Persaud és Dodd (1982) valamint Ikegami és Kaneyasu (1985) vizsgálatai révén létrejött az intelligens kémiai tömbérzékelő rendszerrel ellátott elektronikus orr eszközének koncepciója az aroma osztályozásához. Ekkorra már a számítógépek és az elektronikus érzékelők fejlesztése lehetővé tette egy olyan elektronikus eszköz létrehozását, amely képes az emlősök szaglórendszerét utánozni.

Gardner és Bartlett 1988-ban megalkotta az elektronikus-orr kifejezést, amit később úgy határoztak meg, mint olyan műszer, amely egy elektronikus kémiai érzékelőt tartalmaz, részleges specifitással és megfelelő mintázatfelismerő rendszerrel, és amely képes egyszerű vagy összetett szagok felismerésére (1. ábra).



1. ábra: Az e-orr és az emberi orr közötti kapcsolat

Forrás: Saját szerkesztés

4. AZ ELEKTRONIKUS ORR TÍPUSAI

Az elektronikus orr típusait az különbözteti meg, hogy milyen anyagok vesznek részt az érzékelésben. A gázok ugyanis reakcióba lépnek az érzékelő anyagokkal, ami vezetőképességet eredményez. A vezetőképesség mérése az érzékelő kimeneti feszültségének mérésével történik, és a kimeneti feszültség mintázatát olyan paraméterekkel jellemzi, mint a feszültségcsúcs, a válaszidő és a helyreállítási idő. Az érzékelő anyagoktól függően a gázérzékelőket több típusba sorolhatjuk: vezető polimerek (CP: intrinsically conducting polymer, ICP), a fém-oxid félvezetők (MOS: metal



oxide semiconductor), a kvarckristályos mikromérlegek (QCM: quartz crystal microbalance) és a felületi akusztikus hullám (SAW: surface Acoustic Waves) érzékelők (Tan és Xu, 2020).

5. FÉM-OXID FÉLVEZETŐ (MOS) ÉRZÉKELŐK

A MOS a legszélesebb körben használt technológia az elektronikus orrokhöz. A MOS leggyakoribb érzékelőanyagai fém-oxidok vagy félvezető anyagok (ón-dioxidok, cink-oxidok, vas-oxidok, titán-dioxid, nikkel-oxid, kobalt-oxid). Az érzékelő anyagokat kerámia hordozóra viszik fel. Az eszköz fűtőelemmel is rendelkezik (Burgués és Marco, 2018). Az érzékelő anyagok típusától függően (redukciós vagy oxidációs) kétféle gázérezékelőtípus létezik: n-típusú érzékelők (cink-, ón- vagy vas-oxidokból készülnek), amelyek elsősorban redukáló vegyületekre reagálnak, és p-típusú érzékelők (nikkel-oxidokból vagy kobalt-oxidokból készülnek), amelyek elsősorban oxidáló vegyületekre reagálnak (Nazemi és mtsai., 2019).

A MOS gázérezékelők érzékenyek a hidrogénre és a telítetlen szénhidrogénekre vagy hidrogénatomokat tartalmazó oldószergőzökre (Dey, 2018). A MOS szenzorokkal kimutatható az élelmiszerekből származó illékony vegyületek, az alkoholok (pl. etanol), a szerves savak (pl. ecetsav és vajsav), a szulfidok (pl. dimetil-szulfid), az észterek (pl. etil-észter), az aldehidek (pl. benzaldehid) és a ketonok (pl. acetone) (Pacioni és mtsai., 2014; Tan és Kerr, 2018).

A MOS-érezékelők hátránya, hogy az eszköznek 150 és 400 °C közötti hőmérsékleten kell működni, ezért jelentős mennyiségű energiát fogyasztanak, hosszú időre van szükségük a felmelegítéshez, mielőtt a méréseket el lehet végezni (Nazemi és mtsai., 2019).

6. VEZETŐ POLIMEREK (CP) ÉRZÉKELŐK

A CP szigetelő polimer mátrixba szórt vezető részecskékből (pl. polipirrolból, polianilinból és politiofénből) állnak (Megha és mtsai., 2018). Amikor az érzékelő anyagok kémiai gőzöknek vannak kitéve, a reakciók az érzékelő anyagok és a kémiai gőzök között elektronok átvitelével jár, ami megváltoztatja az ellenállást (doppingolás). A CP-k jó érzékenységgel rendelkeznek számos élelmiszer illékony vegyületére (pl. a körtéből származó aldehidek), az élelmiszer megromlásából származó vegyületekre (Matindoust és mtsai., 2017), az italokból származó alkoholokra (Péres és mtsai., 2012) és a romlott marhahúshoz kapcsolódó vegyületekre (Khot és mtsai., 2011). A CP érezékelők a MOS-érezékelők után a második legszélesebb körben használt érezékelők (Dey, 2018).

A CP-érezékelő tömbök fő hátránya, hogy érzékenyek a nedvességre, és a MOS-érezékelőkhöz hasonlóan működésükhöz magas üzemi hőmérsékletet igényelnek (Megha és mtsai., 2018).

7. AKUSZTIKUS HULLÁM ÉRZÉKELŐK

Az akusztikus hullámszenzor (acoustic wave sensor) egy érezékelő anyaggal (polimer film) bevont piezoelektromos szubsztrátból (pl. kvarckristály), és két interdigitális átalakítóból (egy bemeneti és egy kimeneti) áll (Go és mtsai., 2017). A piezoelektromos szubsztrát feszültség által indukált nyírási vagy kompressziós deformációja akusztikus hullámokat generál, és a hullámok terjednek a szubsztráton keresztül. Kétféle akusztikus hullám-gáz érezékelő létezik, az akusztikus hullám jelátalakító (BAW: a bulk acoustic wave transducers) és a felületi akusztikus hullám jelátalakító (SAW: surface Acoustic Waves) (Go és mtsai., 2017). A hordozó felületén terjedő akusztikus hullámot SAW-nak, míg a hordozón keresztül terjedő hullámot BAW-nak nevezzük.



A kompatibilis analit és az érzékelő anyag közötti reakció hatására az érzékelő gázérzékeny membránjának tömege megváltozik, ami a felületi akusztikus hullám átalakító (SAW) sebességének és csillapításának változását okozza.

A SAW gázérzékelőket az élelmiszer-kórokozók és romlások gyors kimutatására használták (Kordas és mtsai., 2016; Lamanna és mtsai., 2020; Xu és Yuan, 2019). Az olívaolajokból, növényi olajokból és kókuszolajokból származó illékony anyagokat, köztük a szerves savakat (pl. ecetsav, propánsav, pentánsav és hexánsav), etil-acetátot és hexánált szilárd fázisú mikroextrakcióval (SPME) összekapcsolt SAW-gázérzékelő segítségével számszerűsítették (Marina és mtsai., 2010). A SAW-érzékelőkhöz hasonlóan a BAW-gázérzékelők is széles körben alkalmazhatók az élelmiszerekben található illékony anyagok meghatározására. QCM szenzorokat használtak a fekete tea fermentációs folyamatából származó tea aromák (pl. linalool, geraniol, linalool-oxid, metil-szalicilát és transz-2-hexenál) kimutatására (Sharma és mtsai., 2015). A szenzort a kínai birs és a kivi frissességének meghatározására is használták (Yen és Yao 2018, Zheng és mtsai., 2016).

Bár mind a QCM, mind az SW jó pontossággal, nagy érzékenységgel és változatos célgázokkal rendelkezik, az érzékelőknek még mindig vannak bizonyos korlátai. A QCM érzékelők például bonyolult áramkörrel rendelkeznek, rossz a jel-zaj viszonyuk, és a nedvesség befolyásolhatja őket (Länge, 2019).

8. ADATELEMZÉS

Az elektronikus orr érzékelők által generált digitális kimeneteket elemezni és értelmezni kell ahhoz, hogy hasznos információkkal szolgáljanak. Az elemzési technikák három fő kategóriába sorolhatók az alábbiak szerint (Schaller és mtsai., 1998):

1. Grafikus elemzések: oszlopdiaagram, ábrák;
2. Többváltozós adatelemzések (MDA: multivariate data analyses): főkomponens-elemzés (PCA: principal component analyses), kanonikus diszkriminancia-elemzés (CDA: canonical discriminate analyses), (FW: featured within) és klaszterelemzés (CA: cluster analyses);
3. Hálózati elemzések: mesterséges neurális hálózat (ANN: artificial neural network) és radiális alapfüggvény (RBF: radial basis function).

Az alkalmazott módszer kiválasztása az érzékelőkből származó, rendelkezésre álló bemeneti adatok típusától és a keresett információ típusától függ.

Az adatcsökkentés legegyszerűbb formája a grafikus elemzés, amely alkalmas a minták vagy az ismeretlen aromaazonosító elemek összehasonlítására a referenciák ismert forrásaihoz képest.

A többváltozós adatelemzés egynél több változót tartalmazó adathalmazok elemzésére szolgáló technikák összességét foglalja magában, és két vagy három dimenzióban ábrázolhatók. Az elektronikus-orr adatok elemzésénél az MDA hasznos, ha az érzékelők részleges lefedettségű érzékenységgel rendelkeznek a mintakeverékben jelen lévő egyes vegyületekre. A többváltozós elemzést nem felügyelt vagy felügyelt technikákra lehet osztani.

A nem felügyelt technikákat akkor használják, ha korábban nem építettek ki ismert mintákból álló adatbázist, ezért nem szükséges és nem is célja magának a mintának a felismerése, hanem a különböző ismeretlen minták összehasonlítása, megkülönböztetése. A legegyszerűbb és legshasznosabb körben használt nem felügyelt MDA-technika a főkomponens-elemzés. A PCA akkor a leghasznosabb, ha nem áll rendelkezésre ismert minta, vagy ha a minták vagy változók közötti rejtett kapcsolatok gyanúja merül fel. Ezzel szemben a felügyelt tanulási technikák az ismeretlen mintákat ismert minták vagy ismert tulajdonságokkal rendelkező minták készleteinek jellemzői alapján



osztályozzák, amelyeket általában egy referencia adatbázisban tartanak fenn, amelyhez az elemzés során hozzáférnek (Jolliffe és Cadima, 2016). A CDA segíthet az illatok és szagok osztályozásában és azonosításában, különösen akkor, ha többféle illatot kell egyszerre elemezni (Jia és mtsai., 2024). Az FW elemzésnél jellemzők kiválasztása fontos, mivel az érzékelők által gyűjtött adatokból ki kell választani azokat a jellemzőket, amelyek a legjobban reprezentálják az adott illatot vagy szagot (Wilson és Baietto, 2009). A CA segíthet az illatok és szagok csoportosításában, ami megkönnyíti azok azonosítását és osztályozását (Shi és mtsai., 2018).

A mesterséges neurális hálózat (ANN) a legismertebb és legfejlettebb elemzési technika, amelyet a kereskedelmi forgalomban kapható elektronikus-orroknál használnak. Az emberi agy kognitív folyamatait utánozva egymással párhuzamosan működő, összekapcsolt adatfeldolgozó algoritmust tartalmaz. Különböző tréning módszereket alkalmaznak olyan mintafelismerő algoritmusokon keresztül, amelyek hasonlóságokat és különbségeket keresnek a referencia adatbázisban található ismert aromainták azonosítási elemei között. A betanítási folyamat a rendszer betanításához ismert minták diszkrét mennyiségű adatát igényli, és nagyon hatékony az ismeretlen minták ismert referenciákkal való összehasonlításában (Hodgins, 2020). Az ANN-adatelemzés eredménye általában a mintában található azonosító elemek és a referencia adatbázisban található ismert forrásokból származó aromainták azonosítására szolgáló elemek százalékos egyezésének formájában jelenik meg. Az RBF (Radial Basis Function) hálózatok gyakran használatosak az elektronikus orroknál a szagok észlelésére és osztályozására. Ezek a hálózatok képesek a szagok komplex mintázatainak felismerésére és azonosítására, ami lehetővé teszi az elektronikus orr számára, hogy pontosan és megbízhatóan működjön (Zou és mtsai., 2014).

9. AZ ELEKTRONIKUS ORROK FEJLŐDÉSÉNEK JÖVŐBELI LEHETŐSÉGEI

Az elektronikus orr-ok fejlődésének főbb célkitűzései közé tartozik a pontosság növelése, a különböző illatok és szagok egyidejű észlelésének és megkülönböztetésének fejlesztése, a miniatürizálás és hordozhatóság elősegítése, a gyorsabb reakcióidő elérése, valamint az alkalmazási területek bővítése. Az e-orr-ok egyre kisebb méretűek lesznek, ami lehetővé teszi a beépítésüket különböző hordozható eszközökbe, például mobiltelefonokba. Az elektronikus orr-ok fejlesztése során törekednek a gyorsabb reakcióidő elérésére, ami lehetővé teszi az illatok és szagok gyorsabb észlelését és azonnali visszajelzést biztosít. Az e-orr-okat egyre szélesebb körben alkalmazzák az élelmiszeriparban, az egészségügyben, az iparban és a környezetvédelemben, valamint az új területeken, például az okos otthonokban és az autópiparban is. Ezek a tendenciák arra utalnak, hogy az elektronikus orr-ok egyre fontosabb szerepet fognak játszani számos iparágban és alkalmazási területen a jövőben. Az elektronikus-orr lehetőségeinek maximális kihasználása és a jelenlegi kihívások leküzdése érdekében elengedhetetlenül fontos az érzékelőtechnológia, az adatelemzés, valamint más tudományterületek (orvostudomány, élelmiszertudomány) közötti interdiszciplináris együttműködés.

10. KÖVETKEZTETÉS

Az elektronikus orr technológiák sokfélesége lehetővé teszi a különböző alkalmazási területeken való felhasználást, az élelmiszeripartól kezdve a környezetvédelemig. A fém-oxid félvezetők (MOS) széles körben elterjedtek, mivel érzékenyek a hidrogénre és a telítetlen szénhidrogénekre, bár magas üzemi hőmérsékletet igényelnek. A vezető polimerek (CP) szintén népszerűek, különösen az élelmiszeriparban, de érzékenyek a nedvességre. Az akusztikus hullám érzékelők (SAW és BAW)



pedig a piezoelektromos tulajdonságaik révén különösen hasznosak a gázok kimutatásában. Minden típusnak megvannak a maga előnyei és hátrányai, amelyek meghatározzák, hogy melyik alkalmazásban a leghatékonyabbak. Az elektronikus orrok fejlődése folyamatos, és a jövőben még pontosabb és megbízhatóbb érzékelőkre számíthatunk.

Az elektronikus orrok különböző típusai különböző előnyökkel és hátrányokkal rendelkeznek, amelyek meghatározzák, hogy melyik alkalmazásban a leghatékonyabbak. A fém-oxid félvezetők (MOS) például széles körben elterjedtek, mivel érzékenyek a hidrogénre és a telítetlen szénhidrogénekre, bár magas üzemi hőmérsékletet igényelnek. A vezető polimerek (CP) szintén népszerűek, különösen az élelmiszeriparban, de érzékenyek a nedvességre. Az akusztikus hullám érzékelők (SAW és BAW) pedig a piezoelektromos tulajdonságaik révén különösen hasznosak a gázok kimutatásában. Minden típusnak megvannak a maga előnyei és hátrányai, amelyek meghatározzák, hogy melyik alkalmazásban a leghatékonyabbak. Az elektronikus orrok fejlődése folyamatos, és a jövőben még pontosabb és megbízhatóbb érzékelőkre számíthatunk.

Az elektronikus orrok különböző típusai különböző előnyökkel és hátrányokkal rendelkeznek, amelyek meghatározzák, hogy melyik alkalmazásban a leghatékonyabbak. A fém-oxid félvezetők (MOS) például széles körben elterjedtek, mivel érzékenyek a hidrogénre és a telítetlen szénhidrogénekre, bár magas üzemi hőmérsékletet igényelnek. A vezető polimerek (CP) szintén népszerűek, különösen az élelmiszeriparban, de érzékenyek a nedvességre. Az akusztikus hullám érzékelők (SAW és BAW) pedig a piezoelektromos tulajdonságaik révén különösen hasznosak a gázok kimutatásában. Minden típusnak megvannak a maga előnyei és hátrányai, amelyek meghatározzák, hogy melyik alkalmazásban a leghatékonyabbak. Az elektronikus orrok fejlődése folyamatos, és a jövőben még pontosabb és megbízhatóbb érzékelőkre számíthatunk.

A cikk következő részében részletesen ismertetjük az elektronikus orr használatát, különös hangsúlyt fektetve a mezőgazdasági és takarmányozási alkalmazására.

Evolution and applications of the electronic nose: I. History and types of electronic nose

ABSTRACT

Flavourings are volatile compounds that are perceived by the human sense of smell and can be characterised by different qualities. Flavourings are made up of many different compounds and it is the combination of these compounds that determines the unique properties of the flavour. Smell is a biological process in which the receptors in the nose detect volatile compounds and the brain processes this information. Although olfaction has inherent limitations, such as subjectivity and difficulty of reproducibility, the development of electronic-nose systems is important for the analysis of aromas and the identification of scents. Different types of electronic nose are based on the reaction of different sensing materials with chemical vapours. The most common types include metal oxide semiconductor (MOS) sensors, conductive polymers (CP) and acoustic wave sensors. Data analysis methods, which have evolved with the development of the electronic nose, play a key role in the detection and interpretation of odours and smells. The development of data analysis in electronic noses represents a significant advance in the interpretation of odours and smells and contributes to their widespread application in industry and research.

Keywords: aromas, olfaction, electronic nose systems, data analysis



IRODALOMJEGYZÉK

- Bhattacharyya, N., & Bandhopadhyay, R. (2010). Electronic nose and electronic tongue. In *Nondestructive Evaluation of Food Quality: Theory and Practice* (pp. 73-100). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-15796-7_4
- Buck, T. M., Allen, F. G., & Dalton, J. V. (1965). Detection of chemical species by surface effects on metals and semiconductors. Murray Hill, NJ, USA: Bell Telephone Laboratories.
- Burgués, J., & Marco, S. (2018). Low power operation of temperature-modulated metal oxide semiconductor gas sensors. *Sensors*, *18*(2), 339. <https://doi.org/10.3390/s18020339>
- Dey, A. (2018). Semiconductor metal oxide gas sensors: A review. *Materials science and Engineering: B*, *229*, 206-217. <https://doi.org/10.1016/j.mseb.2017.12.036>
- Doty, R. L. (2015). *Handbook of olfaction and gustation*. John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9781118971758>
- Dravnieks, A., & Trotter, P. J. (1965). Polar vapour detector based on thermal modulation of contact potential. *Journal of Scientific Instruments*, *42*(8), 624. <https://doi.org/10.1088/0950-7671/42/8/335>
- El Hadi, M. A. M., Zhang, F. J., Wu, F. F., Zhou, C. H., & Tao, J. (2013). Advances in fruit aroma volatile research. *Molecules*, *18*(7), 8200-8229. <https://doi.org/10.3390/molecules18078200>
- Gardner, J. W., & Bartlett, P. N. (1994). A brief history of electronic noses. *Sensors and Actuators B: Chemical*, *18*(1-3), 210-211. [https://doi.org/10.1016/0925-4005\(94\)87085-3](https://doi.org/10.1016/0925-4005(94)87085-3)
- Go, D. B., Atashbar, M. Z., Ramshani, Z., & Chang, H. C. (2017). Surface acoustic wave devices for chemical sensing and microfluidics: a review and perspective. *Analytical methods*, *9*(28), 4112-4134. <https://doi.org/10.1039/C7AY00690J>
- Goff, S. A., & Klee, H. J. (2006). Plant volatile compounds: sensory cues for health and nutritional value? *Science*, *311*(5762), 815-819. <https://doi.org/10.1126/science.1112614>
- Hartman, J. (1954). A possible objective method for the rapid estimation of flavors in vegetables. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science*, *64*, 335-342.
- Hawkes, C. H., & Doty, R. L. (2009). *The neurology of olfaction*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511575754>
- Hodgins, D. (2020). The electronic nose: sensor array-based instruments that emulate the human nose. In *Techniques for analyzing food aroma* (1st ed., pp. 331-371). CRC Press.
- Hogewind, F., & Zwaardemaker, H. (1920). On spray-electricity and waterfall-electricity. *KNAW Proc*, *22*, 429-437.
- Ikegami, A., & Kaneyasu, M. (1985). Olfactory detection using integrated sensors. *Digest of Technical Papers, Transducers*, *85*, 136-139.
- Jia, P., Li, X., Xu, M., & Zhang, L. (2024). Classification techniques of electronic nose: a review. *International Journal of Bio-Inspired Computation*, *23*(1), 16-27. <https://doi.org/10.1504/IJBIC.2024.136224>
- Jolliffe, I. T., & Cadima, J. (2016). Principal component analysis: a review and recent developments. *Philosophical transactions of the royal society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, *374*(2065), 20150202. <https://doi.org/10.1098/rsta.2015.0202>
- Khot, L. R., Panigrahi, S., & Lin, D. (2011). Development and evaluation of piezoelectric-polymer thin film sensors for low concentration detection of volatile organic compounds related to food safety applications. *Sensors and Actuators B: Chemical*, *153*(1), 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2010.05.043>



- Kordas, A., Papadakis, G., Milioni, D., Champ, J., Descroix, S., & Gizeli, E. (2016). Rapid Salmonella detection using an acoustic wave device combined with the RCA isothermal DNA amplification method. *Sensing and Bio-Sensing Research*, 11, 121-127. <https://doi.org/10.1016/j.sbsr.2016.10.010>
- Länge, K. (2019). Bulk and surface acoustic wave sensor arrays for multi-analyte detection: A review. *Sensors*, 19(24), 5382. <https://doi.org/10.3390/s19245382>
- Lamanna, L., Rizzi, F., Bhethanabotla, V. R., & De Vittorio, M. (2020). Conformable surface acoustic wave biosensor for E-coli fabricated on PEN plastic film. *Biosensors and Bioelectronics*, 163, 112164. <https://doi.org/10.1016/j.bios.2020.112164>
- Manguale, P., & Merlo, E. (2023). Chemical senses: taste and smell. Introduction to Biological Psychology. University of Sussex.
- Marina, A. M., Che Man, Y. B., & Amin, I. (2010). Use of the SAW sensor electronic nose for detecting the adulteration of virgin coconut oil with RBD palm kernel olein. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 87(3), 263-270. <https://doi.org/10.1007/s11746-009-1492-2>
- Matindoust, S., Baghaei-Nejad, M., Abadi, M. H. S., Zou, Z., & Zheng, L. R. (2016). Food quality and safety monitoring using gas sensor array in intelligent packaging. *Sensor Review*, 36(2), 169-183. <https://doi.org/10.1108/SR-07-2015-0115>
- McGinley, C. M., & McGinley, M. A. (1998). Odor quantification methods & practices at MSW landfills. In Proceedings of Air and Waste Management Association 91st Annual Meeting and Exhibition San Diego, CA: 14-18 June 1998.
- Megha, R., Ali, Farida, A. A., Ravikiran, Y. T., Ramana, C. H. V. V., Kirian Kumar, A. B. V., Mishra, D. K., Vijayakumari, S. C. & Kim, D. (2018). Conducting polymer nanocomposite based temperature sensors: A review. *Inorganic Chemistry Communications*, 98, 11-28. <https://doi.org/10.1016/j.inoche.2018.09.040>
- Moncrieff, R. W. (1961). An instrument for measuring and classifying odors. *Journal of applied physiology*, 16(4), 742-749. <https://doi.org/10.1152/jappl.1961.16.4.742>
- Nagle, H. T., Gutierrez-Osuna, R., & Schiffman, S. S. (1998). The how and why of electronic noses. *IEEE Spectrum*, 35(9), 22-31. <https://doi.org/10.1109/6.715180>
- Nazemi, H., Joseph, A., Park, J., & Emadi, A. (2019). Advanced micro-and nano-gas sensor technology: A review. *Sensors*, 19(6), 1285. <https://doi.org/10.3390/s19061285>
- Pacioni, G., Cerretani, L., Procida, G., & Cichelli, A. (2014). Composition of commercial truffle flavored oils with GC-MS analysis and discrimination with an electronic nose. *Food chemistry*, 146, 30-35. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.09.016>
- Persaud, K., & Dodd, G. (1982). Analysis of discrimination mechanisms in the mammalian olfactory system using a model nose. *Nature*, 299(5881), 352-355. <https://doi.org/10.1038/299352a0>
- Péres, L. O., Li, R. W., Yamauchi, E. Y., Lippi, R., & Gruber, J. (2012). Conductive polymer gas sensor for quantitative detection of methanol in Brazilian sugar-cane spirit. *Food Chemistry*, 130(4), 1105-1107. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.08.014>
- Schaller, E., Bosset, J. O., & Escher, F. (1998). 'Electronic noses' and their application to food. *LWT-Food Science and Technology*, 31(4), 305-316. <https://doi.org/10.1006/fstl.1998.0376>
- Sharma, P., Ghosh, A., Tudu, B., Sabhapondit, S., Baruah, B. D., Tamuly, P., & Bandyopadhyay, R. (2015). Monitoring the fermentation process of black tea using QCM sensor based electronic nose. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 219, 146-157. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2015.05.013>



- Shi, H., Zhang, M., & Adhikari, B. (2018). Advances of electronic nose and its application in fresh foods: A review. *Critical reviews in food science and nutrition*, 58(16), 2700-2710. <https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1327419>
- Sell, C. S. (2014). *Chemistry and the Sense of Smell*. John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9781118522981>
- Tan, J., & Kerr, W. L. (2019). Characterizing cocoa refining by electronic nose using a Kernel distribution model. *Lwt*, 104, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.01.028>
- Tan, J., & Xu, J. (2020). Applications of electronic nose (e-nose) and electronic tongue (e-tongue) in food quality-related properties determination: A review. *Artificial Intelligence in Agriculture*, 4, 104-115. <https://doi.org/10.1016/j.aiia.2020.06.003>
- Wilson, A. D., & Baietto, M. (2009). Applications and advances in electronic-nose technologies. *Sensors*, 9(7), 5099-5148. <https://doi.org/10.3390/s90705099>
- Winchester, R. L., & Martyn, K. (2020). Could early identification of changes in olfactory function be an indicator of preclinical neurodegenerative disease? A systematic review. *Neurology and Therapy*, 9, 243-263. <https://doi.org/10.1007/s40120-020-00199-z>
- Weierstall, R., & Pause, B. M. (2012). Development of a 15-item odour discrimination test (Düsseldorf Odour Discrimination Test). *Perception*, 41(2), 193-203. <https://doi.org/10.1068/p7113>
- Xu, Z., & Yuan, Y. J. (2019). Quantification of Staphylococcus aureus using surface acoustic wave sensors. *RSC advances*, 9(15), 8411-8414. <https://doi.org/10.1039/c8ra09790a>
- Yen, T. Y., & Yao, D. J. (2018). Freshness detection of kiwifruit by gas sensing array based on surface acoustic wave technique. In *2018 IEEE 13th Annual International Conference on Nano/Micro Engineered and Molecular Systems (NEMS)* (pp. 98-101). IEEE, Singapore. <https://doi.org/10.1109/NEMS.2018.8556907>
- Yuwono, A. S., & Lammers, P. S. (2004). Performance test of a sensor array - based odor detection instrument. *Journal of Scientific Research and Development: The CIGR Journal*, 3, 9-25.
- Zheng, L., Gao, Y., Zhang, J., Li, J., Yu, Y., & Hui, G. (2016). Chinese quince (*Cydonia oblonga* Miller) freshness rapid determination method using surface acoustic wave resonator combined with electronic nose. *International journal of food properties*, 19(12), 2623-2634. <https://doi.org/10.1080/10942912.2016.1169285>
- Zou, H. Q., Li, S., Huang, Y. H., Liu, Y., Bauer, R., Peng, L., & Yan, Y. H. (2014). Rapid identification of Asteraceae plants with improved RBF-ANN classification models based on MOS sensor E-nose. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2014(1), 425341. <https://doi.org/10.1155/2014/425341>

©Copyright 2024 by the Authors.

The journal is Open Access (Platinum). This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

