



Az elektronikus orr fejlődése és alkalmazása:

II. Az elektronikus orr szerepe az élelmiszeriparban és a mezőgazdaságban

BANA BERNADETT*, ZSÉDELY ESZTER

Széchenyi István Egyetem, Albert Kázmér Mosonmagyaróvári Kar

Állattudományi Tanszék, Mosonmagyaróvár

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

Email: bana.bernadett@sze.hu

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

*Corresponding author/Levelező szerző

Received/Érkezett: 2024.01.27.

Revised/Átdolgozva: 2025.02.25.

Accepted/Elfogadva: 2025.03.20.

Published/Megjelent: 2025.06.27.

ÖSSZEFOGLALÁS

Az elektronikus orr technológia érzékeny szenzorai révén számos területen alkalmazható, különösen az élelmiszerek minőségének értékelésében. Képes érzékelni az illékony vegyületeket, amelyek befolyásolják az élelmiszerek aromáját, ízét és általános minőségét. Ezzel az eszközzel gyorsan és megbízhatóan mérhető az élelmiszerek minősége, eltarthatósága, frissessége és hitelessége, valamint kimutathatók a szennyeződések, allergének és káros anyagok. Az élelmiszeripar különböző ágazataiban, például a hús-, olaj-, alkohol- és teaiparban, széles körben alkalmazzák ezt a technológiát. Az elektronikus orr technológia segít a talajvizsgálatokban, növényi betegségek megállapításában, valamint az istálló levegőjének minőségi detektálásában is. A magas színvonalú takarmánygyártás és a jogszabályi megfelelés fokozott minőségellenőrzést igényel, amelyhez gyors, nem roncsoló és költséghatékony analitikai módszerek szükségesek. Az elektronikus orr technológia integrálható modern technológiákkal, mint például az IoT (a dolgok internete), Blockchain (blokklánc), AI (mesterséges intelligencia), Big Data (nagy adathalmaz), AR (kiterjesztett valóság) és VR (virtuális valóság), amelyek tovább bővítik az alkalmazási lehetőségeit és javítják a döntéshozatalt különböző iparágakban. Az elektronikus orr technológia növekvő szerepe segíthet a különböző iparágakban a minőségellenőrzési folyamatok optimalizálásában és a fenntarthatóság biztosításában.

Kulcsszavak: elektronikus orr, minőség ellenőrzés, fenntartható mezőgazdaság, jövő technológia

1. BEVEZETÉS

Sokan tévesen hiszik, hogy az emberi szaglás gyengébb, mint más emlősöké. Ez a felfogás nem empirikus kutatásokból származik, hanem egy 19. századi anatómus elméletéből, mely szerint az evolúció során csökkent az emberi agy szaglógumójának mérete. Az emberi szaglógumó abszolút mérete azonban nagy, és hasonló számú neuront tartalmaz, mint más emlősöké. Továbbá, az



emberek kivételes szaglási képességekkel rendelkeznek, és széles skálán képesek a szagokat észlelni és megkülönböztetni. Az ember bizonyos szagokra érzékenyebb, mint a rágcsálók és a kutyák, és képes szagnyomokat is követni. A szaglás befolyásolja az ember viselkedését és az érzelmi állapotát is (McGann, 2017). Az emberi szaglórendszer működése a légzéssel vagy az orrba szippantással kezdődik. A normál légzés és a szippantás közötti különbség az orr felső részébe áramló szagmolekulák mennyiségében rejlik (Omatu et al., 2015). Amikor a szaglóreceptorok érzékelnek egy szagot, kémiai reakciók zajlanak közöttük, amelyek elektromos jeleket generálnak. Ezek a jelek a glomerulusokon keresztül jutnak el a szaglógumóba, ahol mitrális sejtek és interneuronok találhatók. Az agy ezekből az elektromos jelekből különféle típusú információkat nyer ki. Felismeri a tárgyakat és élelmiszereket, azonosítja a környezeti veszélyeket, valamint értékeli a szociális és érzelmi információkat. Valószínűleg a szaglórendszeren belüli külön kérgi hálózatok adják ezt az információt, bár ezek pontos elrendezése még nem teljesen ismert (Zhou et al., 2019). Az emberi szaglás a mindennapi élet számos fontos funkcióját látja el, ami növekvő érdeklődést eredményezett az emberi orrot utánzó műszerek fejlesztése és alkalmazása iránt. Az érzékszervi elemzések pontatlanok és nehezen reprodukálhatók lehetnek, emellett időigényesek, képzett tesztelőket és minősített laboratóriumokat igényelnek, és nem minden környezetben alkalmazhatók. Emiatt egyre népszerűbbé válnak a roncsolásmentes eszközök, mint például a NIR spektroszkópia és az elektronikus orr (e-orr) alkalmazása, nemcsak laboratóriumi, hanem egyéb célokra is. Az olyan eszközök, mint az elektronikus orr, gyorsaságuk és egyszerű használatuk révén csökkenthetik az emberi hibákat, és a gyártás különböző szakaszaiban is alkalmazhatók, nem csupán a végső termék ellenőrzésénél (Ribéreau-Gayon et al., 2021).

2. AZ ELEKTRONIKUS ORR ALKALMAZÁSA AZ ÉLELMISZEREK MINŐSÉGÉBEN

Az élelmiszer alapvető fontosságú az emberek számára, és a velük szemben támasztott minőségi követelmények az életszínvonal javulásával egyre inkább növekednek. A termékek aromája, általában illékony szerves vegyületek kombinációjából áll, és olyan jellemző információkat tartalmaz, amelyek szorosan összefüggenek a termékek érettségével, öregedésével és romlásával (Wen et al., 2019). Az aroma nemcsak a termékek minőségének értékelésében játszik fontos szerepet, hanem jelentősen befolyásolja a fogyasztók vásárlási döntéseit is. Az élelmiszerek romlása mikroorganizmusok aktivitása, valamint enzimek és zsírok oxidációja miatt következik be. Az elektronikus orr képes az élelmiszerek minőségének, eltarthatóságának, romlásának, valamint a bennük lévő baktériumok és vegyszerek kimutatására (Jana et al., 2011). Az élelmiszeriparban az elektronikus orr használata egyértelműen hozzájárul ahhoz, hogy az élelmiszerek jó minőségűek maradjanak (Lu et al., 2015). Az elektronikus orr technológia egyre nagyobb jelentőséggel bír az élelmiszeripari termékek értékelése és minőségellenőrzése terén. Ezen technológia segítségével lehetőség nyílik érzékelni és elemezni az élelmiszerek illékony összetevőit, amelyek alapvetően meghatározzák azok aromáját, ízét és általános minőségét. Számos kutató (Tan és Xu, 2020; Ali et al., 2020; Al-Dayyeni et al., 2021; Roy és Yadav, 2022) kimutatta, hogy az elektronikus orr technológiák hatékonyan alkalmazhatók az élelmiszeripar különböző területein. Például a húsiparban (Wijaya et al., 2021; Feyzioglu és Taspinar, 2023), az olajiparban (Gila et al., 2020), az alkoholiparban (Pulluri és Kumar, 2021), valamint a teaiparban (Ruengdech és Siripatrawan, 2020) használják az elektronikus orrokat a gyártási folyamatok támogatására. Az elektronikus orr technológiát széles körben alkalmazzák különféle élelmiszeripari feladatok ellátására is. Az e-orrok segítségével meghatározható az élelmiszerek eltarthatósági ideje (Limbo et al., 2010; Pulluri és



Kumar, 2022), azonosíthatók a termékek (Haddi et al., 2011), felismerhetők a hamisítás jelei (Sarno et al., 2020), értékelhető az élelmiszerek minősége és frissessége (Pulluri és Kumar, 2021), valamint hitelesíthetők (Laga és Sarno, 2020) az élelmiszeripari termékek. Ezenkívül az e-orrokat a szennyeződések (Gu et al., 2020), allergének (Anzivino, 2022) és káros anyagok kimutatására (Ahmad et al., 2023) is használják. Ezek az eszközök lehetővé teszik az élelmiszertermékek érzékszervi minőségének meghatározását, objektív információt nyújtva az aromáról, ízről és állagról.

2.1 Hús

A hús az ember számára az egyik legértékesebb táplálékforrás, mivel bőségesen tartalmaz fehérjét, kedvező az aminosavösszetétele és ízletessége miatt sokan fogyasztják (Rahmati et al., 2016). A hús tárolása során azonban illékony aminok, kellemetlen szagú gázok keletkeznek, mivel a mikroorganizmusok és enzimek hatására a fehérjék, zsírok és szénhidrátok lebomlanak (Jia et al., 2018). Az e-orr rendszerek képesek különböző állat- és baromfihús típusainak megkülönböztetésére is. Tian et al. (2012), a PEN2 (PEN, Portable Electronic Nose) elektronikus orrot használták birkahús és sertéshús keverékének kimutatására. Az elektronikus orr összegyűjtötte a minta szagadatait, majd egy BP (BP, Back Propagation) neurális hálózat segítségével elemezte azokat. Az eredmények azt mutatták, hogy az elektronikus orr nagyobb pontossággal rendelkezik, mint a hagyományos módszerek, például a pH-mérés és a színanalízis. Haddi et al. (2015) egy elektronikus orr rendszert alkalmaztak, amely hat fénoxid-érzékelőből állt, a marha-, kecske- és birkahús azonosítására. Az adatokat PCA (PCA, Principal Component Analysis) és SVM (SVM, Support Vector Machines) módszerekkel elemezték, és megállapították, hogy az elektronikus orr pontossága 96 % a kecskehús és 92 % a marha- és juhhús esetében. Azonban a húsiparban sajnos előfordulnak olyan etikátlan beszállítók, akik különböző praktikákkal próbálják meg növelni a nyereségüket. Egyik gyakori módszerük az, hogy a drágább húst olcsóbb hússal helyettesítik vagy keverik. Például előfordul, hogy a marhahúst sertéshússal egészítik ki, mivel a sertéshús általában olcsóbb, így a költségek csökkentésével magasabb profitot érhetnek el (Rohman, 2018). Egy másik példa erre az, amikor a marhahúst lóhússal keverik szintén az árkülönbségek miatt. Mivel a lóhús gyakran olcsóbb, mint a marhahús, a beszállítók így próbálnak költségeket megtakarítani és nyereséget növelni (Spoonner et al., 2020). Sarno et al. (2020) optimalizált e-orr rendszert (OENS, Optimized Electronic Nose System) javasolnak a marhahúsban, hamisítás céljából előforduló sertéshús kimutatására. A húsvizsgálati eredményeik 98,10 %-os pontosságot mutattak, ami azt jelzi, hogy az OENS kedvező teljesítményt nyújt a sertéshússal való hamisítás kimutatására marhahúsban. Darált birkahúsban sertéshús jelenlétét vizsgálták PEN 2 e-orr segítségével. A rendszer 80 másodpercen belül gyűjtött adatokat, és alacsony hibaarány (5,83 %) mellett megbízható eredményeket adott (Zhang et al., 2019). Kutatásokat végeztek a formalinnal szennyezett élelmiszerekben található formaldehid kimutatására OPD-t (OPD, O-phenylenediamine) és f-SWCNT-t (SWCNT, Single Walled Carbon Nanotube) használó nanokompozit gázérzékelőkkel. Ezek érzékenyen reagálnak a formaldehidre, és az e-orr felismeri a formalin jelenlétét csirke és garnéla tesztelés során. A tanulmány eredményei alátámasztották, hogy az e-orr használata hozzájárul az élelmiszerbiztonsághoz (Thazin et al., 2019). Feyzioglu és Taspınar (2023) tanulmányukban e-orr segítségével azonosították a különböző marhahúsdarabok frissességét és vizsgálatuk 98,6 % pontosságot adott. Wijaya et al. (2021) marhahúst osztályozták a frisstől a romlottig, és e-orr segítségével 99,8 % pontosságot állapítottak meg.

Az etikátlan gyakorlatok nemcsak félrevezetik a fogyasztókat, hanem súlyos egészségügyi és biztonsági veszélyeket is jelentenek. A húsiparban kiemelkedően fontos a termékek hitelessége és



minősége, és az ilyen csalások jelentős mértékben alááshatják a fogyasztók bizalmát. Ezért elengedhetetlen, hogy az élelmiszer-ellenőrző rendszerek és az elektronikus orr technológiák alkalmazása biztosítsa a húsok eredetének és minőségének hitelesítését. Az eredmények azt mutatják, hogy az e-orr ígéretes eszköz a húsok frissességének, romlásának, szennyeződésének és hamisításának felismeréséhez, hozzájárulva ezzel a húsiparban a minőségellenőrzés és az élelmiszerbiztonság javításához.

2.2 Tej

A tej alapvető szerepet tölt be az emberi táplálkozásban, mivel gazdag fehérjében, szénhidrátban, zsírokban, ásványi anyagokban és vitaminokban. Különösen fontos a gyermekek számára, hogy megfelelő mennyiségű és minőségű tejhez jussanak. Azonban a tejpiac növekedésével párhuzamosan egyre gyakoribbá válnak a különféle hamisítási módszerek, amelyek komoly egészségügyi kockázatokat jelenthetnek. Gyakori hamisítási gyakorlat például a víz hozzáadása a térfogat növelése érdekében, valamint a karbamid és vegyszerek használata. Ezek az eljárások nemcsak a tej minőségét rontják, hanem súlyos egészségügyi problémákat is okozhatnak (Chi et al., 2024). Egy kutatás során egy MOS gázérzékelőt és hőmérséklet-nedvesség érzékelőt tartalmazó e-orr 94,64 %-os, 92,85 %-os és 87,75 %-os pontossággal mutatta ki a formalin, a hidrogén-peroxid és a nátrium-hipoklorit jelenlétét a nyerstejben. Az eredmények azt mutatták, hogy az e-orr hatékonyan képes kimutatni ezeket a hamisító anyagokat a nyerstejben (Tohidi et al., 2018). Az aroma és az íz szintén fontos tényezők a tejtermékek minőségének megítélésében (Claeys et al., 2013; Braggins et al., 2020). Az éghajlat, a legelő és a takarmány mind befolyásolhatja a nyerstej ízét és illatát (Zheng et al., 2021; Feng et al., 2022). Emellett a tejelő állatok egészségi állapota, takarmányozása és azok szennyezettsége is változtathatja a nyerstej ízét és aromáját (Coppa et al., 2011; O'Callaghan et al., 2016). Az elektronikus orr képes különböző tejmintákat megkülönböztetni az illékony szerves vegyületek különbségei alapján, beleértve a feldolgozási körülményeket, a tárolási időt és a tejfajtákat (Labreche et al., 2005; Wang et al., 2010). A mesterséges aromaérzékelés trendjei az elektronikus orr technológiák alkalmazásával nagy hatással lehetnek a tejtermelésre. Az e-orr rendszerek az illékony szerves vegyületek érzékelésére és elemzésére szolgálnak, amelyek fontos szerepet játszanak az élelmiszerek minőségének és frissességének meghatározásában. Az e-orr technológia felhasználása a tejtermelésben lehetővé teszi a tej és tejtermékek minőségének folyamatos ellenőrzését és javítását (Yakubu et al., 2022).

Összefoglalva, az elektronikus orr technológia alkalmazása a tejiparban segít megelőzni a hamisítást, biztosítja a tej minőségének folyamatos ellenőrzését és javítását, valamint hozzájárul a fogyasztói elégedettség növeléséhez.

2.3 Tojás

A tojás rendkívül gazdag vitaminokban, ásványi anyagokban, foszfolipidekben és kiváló minőségű fehérjében, amelyek hasznosulási aránya az emberi szervezetben 98 % (Narushin et al., 2021). A tojás tárolása során azonban gyorsan romolhat, ami jelentős gazdasági veszteségeket okozhat a baromfiiparnak (Caner, 2005; No et al., 2005). A romlás kémiai, táplálkozási, funkcionális és higiéniai változásokat eredményez, és ezek a tárolási körülményektől, például hőmérséklettől, páratartalomtól (Tabidi, 2011), gáznemű környezettől (Jo et al., 2011), valamint a tárolási időtől függenek (Akyurek és Okur, 2009; Chung és Lee, 2014). Mivel a tojások külseje hasonló, a vásárlóknak nincs megbízható tudományos módszerük a minőségük megkülönböztetésére. Néhány



kereskedő alacsony minőségű tojásokat kínál jó minőségűként, hogy megtévesse a fogyasztókat. Ezért szükség van olcsó, gyors és pontos elemzési technikákra a tojás minőségének meghatározására (Hua et al., 2021). A friss héjú tojásban nagyon alacsony a szerves illékony anyagok koncentrációja, de ez a koncentráció nő a tárolás során (Adamiec et al., 2002). Wang et al. (2014) kimutatták, hogy a tojássárgája illékony komponensei, mint az észterek, alkoholok, alkének és nitrogéntartalmú vegyületek, a tárolás során változnak. Az e-orr technológia az illékony anyagok észlelésére szolgál, és lehetővé teszi a tojások frissességének vizsgálatát a tárolás során (Dutta et al., 2003; Liu et al., 2010), valamint a tárolási idő és minőségi jellemzők monitorozását (Yongwei et al., 2009). Aguinaga Bósquez et al. (2021) kutatásának célja az volt, hogy értékeljék a szerves cinkkel dúsított ipari mellékterméket (ZP) különböző dózisokat tartalmazó takarmányok hatását a Lohmann Brown-Classic tyúkok tojásainak érzékszervi tulajdonságaira. Három csoportot vizsgáltak: kontroll (0 %), ZP 2,5 % és ZP 5,0 %. A tojásokat 30 és 60 napos etetés után gyűjtötték, majd kémiai, mikrobiológiai, humán érzékszervi, e-orr és e-nyelv elemzésnek vetették alá. A mikrobiológiai vizsgálatok nem mutattak szignifikáns különbséget a csoportok között, de a zsír- és fehérjetartalomban különbségeket találtak. Az emberi érzékszervi elemzés nem mutatott jelentős változást, de az e-nyelv és az e-orr technológia segítségével a tojások érzékszervi jellemzőit pontosan fel lehetett ismerni és előre jelezni. Az eredmények azt mutatták, hogy a ZP használata a takarmányban nem befolyásolta jelentősen a tojások minőségét, bár az analitikai módszerekkel kimutathatók voltak változások.

A kutatások azt mutatják, hogy az elektronikus orr hatékonyan alkalmazható a tojás minőségének ellenőrzésére és a táplálkozási tulajdonságok meghatározására. Az e-orr technológia alkalmazása a baromfiiparban hozzájárulhat a gazdasági veszteségek csökkentéséhez és a fogyasztói bizalom növeléséhez.

2.4 Halak és tenger gyümölcsei

A halak frissességének értékelése szempontjából a szag rendkívül fontos tényező. Az idő előrehaladtával a halban található illékony amingázok változnak, ami a tárolási idő és körülmények függvényében befolyásolja a hal minőségét. Az elektronikus orr technológiák képesek ezeknek a gázoknak a nagy teljesítményű elemzésére, lehetővé téve a halminták frissességének és minőségének pontos azonosítását. Például a halak tárolási idejének növekedésével olyan illékony vegyületek, mint a trimetilamin jelennek meg, amely a jellegzetes „halas” szagért felelős. Az elektronikus orr technológiák lehetővé teszik ezen vegyületek pontos detektálását és mennyiségi elemzését, ami alapvető a halak minőségének folyamatos ellenőrzéséhez és a fogyasztói bizalom fenntartásához. A halak kiváló fehérje- és tápanyagforrások, amelyek omega-3 zsírsavakkal erősítik az immunrendszert és számos egészségügyi előnnyel járnak. A hal minőségének felmérése fontos annak meghatározásában, hogy fogyasztása biztonságos-e. A növekvő minőségi és biztonsági követelmények arra ösztönözték a kutatókat, hogy új, gyors módszereket fejlesszenek ki a tengeri termékek frissességének ellenőrzésére. Az elmúlt években az elektronikus orr rendszerek ígéretes megoldásnak bizonyultak a tengeri ételek frissességének felmérésében, különösen a nagyméretű elosztási láncok esetében. Chi et al. (2024) szerint az e-orr hét különböző érzékelő segítségével osztályozta a hal frissességét hűtve tárolás során. A halminták fejteréből vett minták alapján értékelték a hal minőségi állapotát, azonosítva a különböző aromaparamétereket PCA (főkomponens-analízis) segítségével. Az e-orr a mintákat friss, félfri és romlott kategóriákba sorolta, és nagy pontossággal (96,87 %) működött (Vajdi et al., 2019). Az e-orr rendszereket három tengeri termék – nyelvhal, vörös márna és tintahal – frissességének monitorozására is használták. A kutatók a tenger gyümölcsei frissességét vizsgálták, hanem a mintákat három frissességi osztályba



sorolták és mikrobiális vizsgálatokat is végeztek. Az eredmények megerősítették, hogy az e-orr nagy pontossággal dolgozik, így megerősítve alkalmazhatóságát a kereskedők számára (Grassi et al., 2022). Az e-orr technológia alkalmazása a tengeri termékek frissességének és minőségének ellenőrzésében jelentős előnyöket kínál. Az e-orr rendszerek gyorsak, pontosak és megbízhatók, így hatékony eszközként szolgálnak a tengeri ételek minőségellenőrzésében, hozzájárulva ezzel a fogyasztói bizalom növeléséhez és a biztonságos fogyasztás biztosításához.

2.5 Gyümölcsök

Az elmúlt években a gyümölcsipar piaci globalizációjának növekedésével párhuzamosan a fogyasztók egyre magasabb minőségi elvárásokat támasztanak a gyümölcsökkel szemben. A gyümölcsök minőségének és eredetének pontos meghatározása ezért kiemelt fontosságúvá vált. Az elektronikus orr technológiája rendkívül értékes eszköz lehet a gyümölcstermesztés különböző területein. Az elektronikus orrok alkalmazása lehetővé teszi a gyümölcsök károsodásának mértékének pontos meghatározását, amint azt Ren et al. (2018) is bemutatták. Emellett az e-orr technológia segít a gyümölcsök földrajzi eredetének meghatározásában, ahogyan Centonze et al. (2019) is bizonyították kutatásaikban. Továbbá, Ezhilan et al. (2018) szerint az e-orr hatékony eszköz a gyümölcsök minőségének kimutatásában is. PEN3 elektronikus orr alkalmazható a betakarított eper minőségi változásainak vizsgálatára mind szobahőmérsékleten, mind alacsony hőmérsékleten. Zhao et al. (2014) eredményei szerint a Fisher diszkrimináns regressziós függvény osztályozási pontossága eper esetében 97,5 % volt szobahőmérsékleten, míg alacsony hőmérsékleten 93,3 %. Sanaeifar et al. (2014) egy saját készítésű, fénoxid szagérzékelő tömbökkel ellátott elektronikus orrot használtak a banán érlelése során keletkező illékony gázok változásainak vizsgálatára. Eredményeik azt mutatták, hogy a banán illatának ujjlenyomat-azonosítási pontossága az érlelési időszakokban SVM modell alkalmazásával 98,66 %-ot ért el. Egyes kutatók kombinálták a moduláris szenzorrendszert (MOSES) a mesterséges méhkolóniák neurális hálózatának algoritmusával, hogy szamóca, citrom, cseresznye és görögdiñnye aromaanyagaihoz minőségi modelleket hozzanak létre. Ezzel 17,39 %-kal nagyobb pontosságot értek el, mint a hagyományos BP neurális hálózatok (Adak és Yumusak, 2016). Az elektronikus orrok alkalmazását vizsgálták gyümölcsosztályozásra, érettségi kimutatásra és minőségi osztályozásra is. Kezdetben 12 gyümölcs, köztük alma, sárgabarack és banán sajátos aromáinak illékony szerves vegyületeit azonosították. Később tanulmányozták a főbb illékony szerves vegyületeket különböző típusú gyümölcsökben, mint az alma, banán és szeder. Végül összefoglalták az elektronikus orrok különböző kereskedelmi célokra történő alkalmazási lehetőségeit a gyümölcs érettségének és minőségének meghatározására, megállapítva, hogy a bionikus szaglás jól alkalmazható a gyümölcsfelderítésben (Biondi et al., 2014).

Összességében, az elektronikus orr technológia alkalmazása a gyümölcsiparban lehetővé teszi a gyümölcsök minőségének javítását és a fogyasztói elvárásoknak való megfelelést a globális piacon.

2.6 Zöldségek

Az elektronikus orr technológia rendkívüli pontossággal használható különféle feladatokra, beleértve a minőségértékelést, a fajtaazonosítást, az eredet meghatározását és a zöldségfélék betegségeinek kimutatását. Feng et al. (2018) kimutatták, hogy az elektronikus orr megbízható eszköz a minőségértékelésben. Lee et al. (2017) bebizonyították, hogy az e-orr hatékony a különböző növényfajták és azok eredetének meghatározásában, valamint a zöldségfélék betegségeinek kimutatásában. Russo et al. (2013) az ISE Nose 2000 elektronikus orrot alkalmazták



lilahagyma fajtáinak osztályozására, és 97,5 %-os pontosságot értek el. Konduru et al. (2015) kilenc fémoxid-érzékelőből álló elektronikus orrot használtak a hagymaperonoszpóra kimutatására hagymában, és SVM modellel 85 %-os pontosságot értek el. Az elektronikus orrok szintén hatékonyak a burgonya, paradicsom, sütőtök és más növények esetében. Biondi et al. (2014) a PEN3 elektronikus orr segítségével burgonya betegségeit vizsgálták, és az LDA-modell (LDA, Linear Discriminant Analysis) segítségével 57,4-81,3 %-os pontosságot értek el. Cheng et al. (2013) a PEN2 elektronikus orrot alkalmazták paradicsompalánták fertőzésének azonosítására, az összes adat átlagértéke alapján. Xu et al. (2018) a PEN3 elektronikus orr használatával vizsgálták a paradicsom ízének változásait különböző kezelési módszerekkel, és jelentős aromaváltozásokat figyeltek meg. Feng et al. (2018) extrém tanulógéppel (ELM) kombinálva alkalmazták az elektronikus orr technológiát, hogy értékeljék a koktélpáradicsom minőségét hideg tárolás során. Ezenkívül az elektronikus orr technológiát a repce minőségének előrejelzésére és a burgonya lágy rothadásának korai kimutatására is használták, mindkét esetben 100 %-os pontossággal (Gancarz et al., 2017; Rutolo et al., 2018).

2.7 Tea

Az elektronikus orr technológiát a teaiparban is elterjedten használják, köszönhetően sokféle előnyös tulajdonságának. Ezek a rendszerek segíthetnek a fermentációs folyamatokban, a tea osztályozásában és minőségi különbségek meghatározásában, valamint a tea földrajzi eredetének azonosításában. Xu et al. (2019), valamint Giungato és Laiola (2017) kiemelik az e-orr technológia fontosságát a teagyártási folyamatokban. Luo et al. (2017) szerint az e-orr technológia hatékony eszköz a tea földrajzi eredetének meghatározásában is. A fermentációs folyamat különösen kritikus a teagyártás során, hiszen ez határozza meg a végső termék minőségét. Az alulfermentált tea nem éri el a kívánt íz- és aromaprofilját, míg a túlerjesztett tea minősége romolhat, ami negatívan befolyásolja a fogyasztói élményt. Bhattacharyya et al. (2007) szerint mind az alul-, mind a túlerjesztés a kész tea minőségének romlását okozhatja. Chen et al. (2013) egy olyan elektronikus orrot használtak, amely szagképzésképző tömbből állt, hogy osztályozzák a zöld teát, a sötét teát és az oolong teát azok fermentációs foka alapján. A teakategóriák osztályozásához többváltozós elemzést alkalmaztak, és az LDA módszer 100 %-os osztályozási arányt ért el, ami az elektronikus orrok nagyjelentős lehetőségét bizonyítja a teaosztályozásban. Zhu et al. (2017) szenzoros analízissel és elektronikus orral értékelték az illékony vegyületek szinergizmusát oolong tea infúzióban, megerősítve, hogy ezek a küszöb alatti vegyületek befolyásolhatják az oolong tea általános szagérzetét.

Elektronikus orr alapú módszerek használhatók a teaaromák erjedési folyamataiban történő nyomon követésére. A mai napig bebizonyosodott, hogy az erjedés során bekövetkező aromaváltozások megbízhatóan kimutathatók elektronikus orrokkal. Az e-orr technológia tehát nélkülözhetetlen eszközzé vált a teagyártásban, mivel lehetővé teszi a minőség folyamatos ellenőrzését és a folyamatok optimalizálását, hozzájárulva a végtermék kiváló minőségéhez.

2.8 Kávé

A kávé a víz után a világ második legnépszerűbb itala, egyedülálló íze, illata, valamint nyugtató vagy afrodiziákum hatása miatt. Ezt az egyedülálló aromát és ízt a kávébab pörkölésével érik el, amely egy összetett folyamat, amely mechanikai, termikus és kémiai változásokat okoz a kávébabban. A kávé végső minőségét és az árát nagyban befolyásolja a pörkölési folyamat (Garcia et al., 2018).

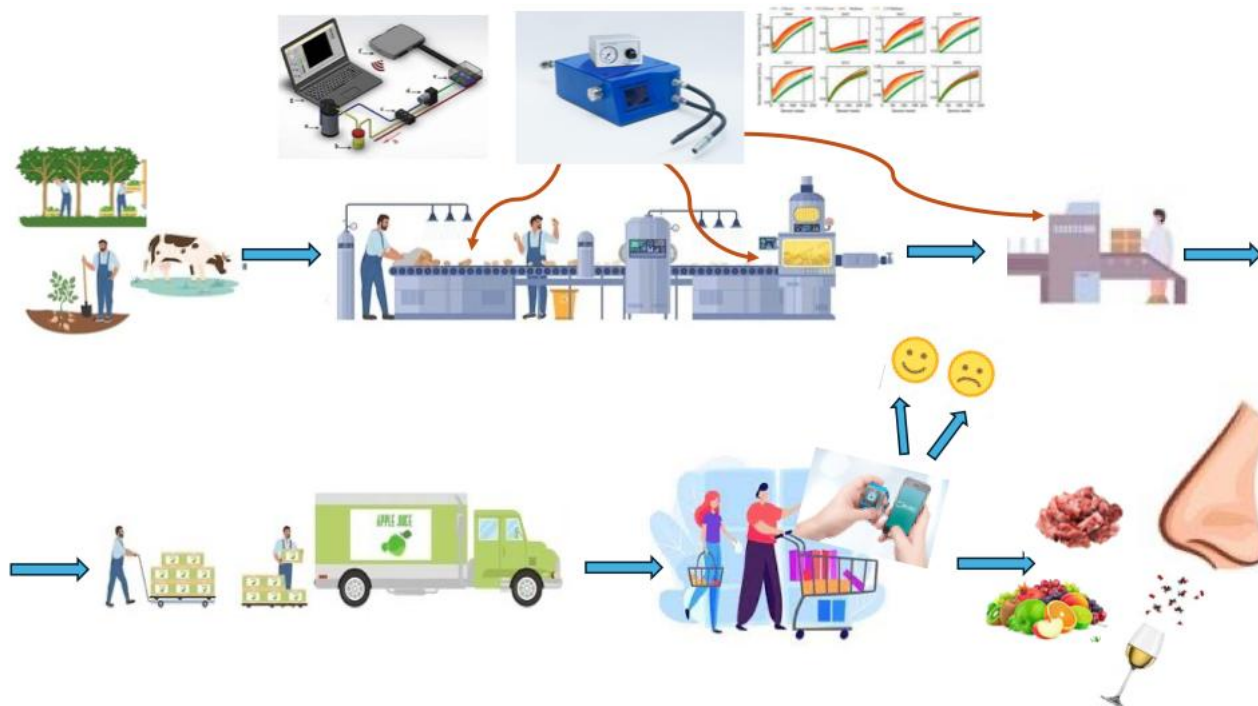


A pörkölési folyamat kritikus a kávé minősége szempontjából, különösen az aroma tekintetében. A kávébabokat különböző hőkezelési intenzitással pörkölték, és érzékszervi analízist, illékony vegyület profilozást és elektronikus orr analízist végeztek. Az elektronikus orr segítségével megkülönböztették a különböző hőkezeléseket. A legalacsonyabb hőkezelés mellett több alkoholt, aromás anyagot, észtert, ketont és furanont találtak. Az elektronikus orr, mint olcsó és roncsolásmentes eszköz, képes megkülönböztetni a kávé különböző minőségeit a feldolgozás során (Barea-Ramos et al., 2022). Az eszpresszó kávé kémiai tulajdonságainak és aromás profiljának változásait vizsgálták az extrakciós idő és az őrlési szint függvényében. Az elektronikus orr rendszer segítségével megállapították, hogy a legnagyobb mennyiségű szerves savat, szilárd anyagot és koffeint a perkoláció első 8 másodpercében vonták ki. Az őrlési fokozat jelentősen befolyásolta a kávé minőségét. Az elektronikus orr lehetővé tette a főzet frakcióinak megkülönböztetését az extrakciós idő és az őrlési fokozat alapján. A normál kávé (25 ml) aromás profilját jelentősen befolyásolta az őrlési szint és a perkolációs idő (Severini et al., 2015).

A különböző kávéfajták befolyásolják a kávé minőségét és árát, és a fogyasztók különleges minőségeket keresnek, ami növeli a hamisítás kockázatát. Ezért szükség van egy eszközre, amely gyorsan és alacsony költséggel képes azonosítani és osztályozni a kávéminőségeket anélkül, hogy károsítaná a terméket. Az elektronikus orr erre kiválóan alkalmas.

2.9 Bor

Az élelmiszerek közül talán a bor kapcsolódik leginkább az emberi érzékszervekhez. A bor minősége és élvezete szorosan összefügg aromás összetételével. Az emberi érzékszervekkel történő borértékelés hosszú múltra tekint vissza. A borászat világában a sommelier-k fontos szerepet játszanak, mivel nemcsak egyszerű kóstolást végeznek, hanem képesek felismerni a legfinomabb illatokat és aromákat, valamint a borhibákat is (Naranjo et al., 2021). Liu et al., (2018) négy gépi tanulási algoritmus segítségével különböző borokat hasonlítottak össze: XGBoost (XGBoost, Extrem Gradient Boosting), RF (RF, random forest), SVM (SVM, support vector machine) és BPNN (BPNN, Back Propagation Neural Network). A BPNN 94,0 %-os és 92,5 %-os pontossággal azonosította a termőterületeket és a fajtákat, míg az SVM 67,3 %-os és 60,5 %-os pontossággal ismerte fel az évjáratokat és az erjesztési folyamatokat. Gamboa et al., (2019) bemutatott egy e-orrot, amely hat fém-oxid gázérzékelővel elemezte 22 kereskedelmi borospalack mintáit. Az e-orrot egy mély MLP neurális hálózat vezérelte, amely a hagyományos Support Vector Machine-hez (SVM) képest 97 %-nál nagyobb pontosságot ért el 2,7 másodperc alatt, ez 63-szor gyorsabb válaszidőt jelent. Az e-orr különböző minőségű borokat azonosított, beleértve az alacsony (LQ), közepes (AQ) és magas minőségű (HQ) borokat. Penza és Cassano (2004) négy MOS szenzorrendszeren alapuló elektronikus orr segítségével értékelték az olasz borok hamisítását etanollal, metanollal vagy más azonos színű borral. A statikus fejtér módszerrel mintát vettek, és mesterséges neurális hálókra alapuló metanollal, etanollal vagy más borral hamisított borokat mintafelismerő rendszert alkalmaztak. Az e-orr 93,3 %, 70,0 % és 83,3 % pontossággal azonosította a metanollal, etanollal vagy más borral hamisított borokat.



1. ábra: Az e-orr élelmiszeripari folyamatokban való felhasználása

Forrás: Saját készítésű ábra

Az e-orr technológia élelmiszeripari szerepét az 1. ábra szemlélteti. Az élelmiszeriparban az elektronikus orr alkalmazása lehetővé teszi az érzékszervi elemzések automatizálását, csökkenti az emberi hibák lehetőségét és növeli a pontosságot. Ezen eszközök segítségével nemcsak a végső termékek minőségellenőrzése válik egyszerűbbé, hanem a gyártási folyamatok különböző szakaszaiban is alkalmazhatók, ezáltal biztosítva a folyamatos minőségellenőrzést (Sanchez et al., 2022). Az elektronikus orr technológia folyamatos fejlődése és integrálása a mesterséges intelligenciával tovább növeli annak érzékenységét, szelektivitását és elemzési képességeit. Ezáltal az elektronikus orr egyre inkább nélkülözhetetlen eszközzé válik az élelmiszeriparban, hozzájárulva a minőség, a biztonság és a fogyasztói elégedettség javításához (Gonzalez et al., 2020).

3. AZ ELEKTRONIKUS ORR ALKALMAZÁSA A MEZŐGAZDASÁGBAN

3.1 Talajállapot

A talaj, a víz és a levegő toxikus vegyi anyagokkal való szennyezése napjaink egyik legsúlyosabb környezeti problémája. Ezek a szennyező anyagok különböző forrásokból, például ipari tevékenységekből, mezőgazdasági műtrágyákból, növényvédő szerekből, közlekedési kibocsátásokból és háztartási hulladékból származnak. A szennyezés veszélyezteti az ökoszisztémákat, az emberi egészséget és a globális klímaváltozást. A fenantrén egy hidrofób, három kondenzált benzolgyűrűből álló policiklusos aromás szénhidrogén (PAH). A PAH-ok a szerves anyagok tökéletlen égésekor keletkeznek, például tüzek és fosszilis tüzelőanyagok égetése során. A szennyezett talajokban PAH-ok jelenlétét általában klasszikus extrakciós technikákkal, például Soxhlet extrakcióval mutatják ki (Cesare et al., 2008). A gázok és az illékony szerves vegyületek felszabadulása a talajban összefügg a mikrobiális aktivitással és befolyásolja a talajban élő



szervezetek életét. Az elektronikus orrok képesek mérni és figyelni ezeket az anyagokat. A kutatás γ -besugárzott sterilizált talajban történt *Pseudomonas fluorescens* baktériummal. Az inkubáció során mérték a mikrobiális növekedést és aktivitást, valamint a gázok és szerves vegyületek felszabadulását. Az elektronikus orr különbséget tett a beoltott és nem beoltott ökoszisztémák között és a mikrobiális aktivitás különböző fázisai között. Az elektronikus orr sikeresen kimutatta a talajmikrobiális aktivitást, annak ellenére, hogy a vizsgált katalitikus aktivitások közvetlenül nem termeltek szerves vegyületeket vagy gázt. Az elektronikus orr technológia képes holisztikus képet adni a mikrobiális aktivitásról (Cesare et al., 2011). Elektronikus orrot alkalmaztak a fenantrén lebomlásának vizsgálatára mesterségesen szennyezett talajban. Az elektronikus orr elemzés főkomponens-analízissel (PCA) kimutatta, hogy a szennyezett és nem szennyezett talajminták megkülönböztethetők, és a fenantrénnel kezelt talajok kémiai profilja késleltetett a kontrollokhoz képest. A részleges legkisebb négyzetes diszkriminancia analízis (PLS-DA) rámutatott a fenantrén lebontásában szerepet játszó lehetséges indikátorokra. Elektronikus orr használatával vizsgálták a talaj különböző nedvességtartalmának megkülönböztethetőségét. Tíz különböző szántóföld típus került elemzésre. A mérésekhez légszáraz (AD) talajokat használtak, amelyeket egy évig tároltak, majd szántóföldi vízkapacitásig nedvesítettek, végül 180 napon belül szárítottak. A szárítás során az illékony ujjlenyomatok változtak, és a szárítási ciklus végén az ujjlenyomatok hasonlítottak az eredeti AD talajokhoz. A főkomponens-analízis (PCA) és a mesterséges neurális hálózat (ANN) elemzése azt mutatta, hogy az elektromos orr eredmények alkalmasak a talajnedvesség megkülönböztetésére. Ezenkívül kimutatták, hogy az eltérő talajtípusok azonos nedvességtartalom mellett különböző elektromos orr jeleket produkálhatnak (Bieganski et al., 2016). Kutatók az elektronikus orr technológiát tanulmányozták alacsony szintű talajszennyezés kőolajjal való kimutatásának érdekében. A kísérlet célja a benzin és a gázolaj okozta szennyezés megkülönböztetése, valamint a szennyezés bekövetkezése óta eltelt idő figyelembevétele volt. Tíz szántóföldet vizsgáltak, amelyek a Világ Referenciabázis (WRB) különböző talajcsoportjaiba tartoztak. A méréseket terepi kapacitásig megnedvesített, mindkét szénhidrogénnel szennyezett, majd 180 napig lassan száradni hagyott talajokon végezték. Az illékony ujjlenyomatok a kísérlet során változtak, és a végére a nem szennyezett talajokéhoz hasonlóvá váltak. A főkomponens-elemzés (PCA) és a mesterséges neurális hálózat (ANN) elemzése kimutatta, hogy az elektromos orr eredményei alkalmasak a talajszennyezés kimutatására, valamint a szennyező anyagok és a szennyezettségi szint megkülönböztetésére (Bieganski et al., 2018).

3.2 Növénybetegségek

Az elektronikus orrot használják a paradicsomnövények egészségének figyelésére és betegségek, kártevők kimutatására. Két gyakori probléma az üvegházi paradicsomnövényeknél a lisztharmat és a takácsatka. Egy 13 érzékelős elektronikus orron alapuló kísérletet végeztek elszigetelt, ellenőrzött környezetben. A főkomponens-elemzés alapján az elektronikus orr képes megkülönböztetni az egészséges és fertőzött növényeket, vagyis képes a paradicsomnövény-betegségek és fertőzések nyomon követésére (Zhang et al., 2011). Elektronikus orrot használtak paradicsompalánták különböző típusú károsodásainak elemzésére, mint a korai rothadásos fertőzés, szürkepenész betegség, mechanikai sérülés és sértetlenség. Főkomponens-analízis (PCA), lineáris diszkriminációs elemzés (LDA), visszaterjedési neurális hálózat (BPNN) és támogató vektorgép (SVM) segítségével értékelték az elektronikus orr adatait. Az elektronikus orr sikeresen különböztette meg a károsodás típusait. Az elektronikus orr technológia hatékony a paradicsompalánták károsodásának megfigyelésére (Cheng et al., 2017). Egy érzékeny szenzorsorral felszerelt elektronikus orr rendszert



fejlesztettek ki az üvegházi paradicsomnövények korai levéltetű fertőzésének gyors diagnosztizálására. Az elektronikus orr és a gázkromatográfiás tömegspektrometria (GC-MS) segítségével kimutatták a paradicsomnövények által kibocsátott illékony szerves vegyületeket, mind levéltetvekkel, mind anélkül. Az érzékelő gyors válaszai és nagy érzékenysége alapján a főkomponens-analízis (PCA) pontosan diagnosztizálta a fertőzött növényeket az egészségesekkel szemben. Az eredmények új szerves vegyület biomarkereket mutattak ki, amelyek segítenek a fertőzöttség azonosításában. A tavaszi paradicsomnövények szerves vegyület profilja hasonló volt a téli növényekéhez, kivéve néhány intenzívebbet, amelyek tavasszal magasabb koncentrációban jelentkeztek (Cui et al., 2019). A magas szemnedvesség és -hőmérséklet kedvez a tárolt szemű rovarok szaporodásának és túlélésének, komoly veszélyt jelentve a melegebb vidékeken. A *Rhyzopertha dominica* rovar a tárolt búzaszemek minőségi és mennyiségi veszteségét okozza. Az elektronikus orr segítségével mesterségesen fertőzött búzaszemeket értékelték, és az illékony szerves vegyületek változásait figyelték. Az érzékelőválaszok optimálisan jelezték a fertőzést és a búza minőségi változásait. Az elektronikus orr elemzéssel hatékonyan lehetett megkülönböztetni a fertőzött és nem fertőzött mintákat, ami segít a tárolt búza minőségének meghatározásában (Mishra et al., 2018).

3.3 Takarmányok minőségértékelése

Az Európai Takarmánygyártók Szövetsége (FEFAC) által közzétett adatok szerint az Európai Unióban (EU-27) a takarmánykeverék előállítás mennyisége elérte a 147,3 millió tonnát, ebből 74,3 millió tonnát takarmánygabonával állítottak elő (FEFAC, 2023). A takarmánygyártás magas színvonala, a jelentős mennyiségű vizsgálati igény és a jogszabályi előírásoknak való megfelelés miatt egyre nagyobb szükség van a minőségellenőrzésre. A minőségellenőrzés érdekében olyan gyors és hatékony analitikai módszerekre van szükség, amelyek nem roncsolják a mintákat, és költséghatékonyak a mindennapi analitikai vizsgálatok során. Az ilyen módszerek alkalmazásával a gyártók biztosíthatják a takarmányok folyamatosan magas minőségét és a jogszabályi követelmények betartását, miközben minimalizálják a költségeket és növelik a termelési hatékonyságot. A gyors, nem roncsoló analitikai módszerek lehetővé teszik a takarmányok összetételének és minőségének folyamatos ellenőrzését, így a gyártók azonnal reagálhatnak a minőségbeli problémákra és biztosíthatják a takarmányok biztonságos és hatékony felhasználását. Ezen módszerek alkalmazása a modern takarmánygyártásban elengedhetetlen a versenyképesség és a fenntarthatóság érdekében.

A szilázsok alapvető táplálékforrások a kérődzők étrendjében, és illatuk jelentős szerepet játszik a minőségük megítélésében. Az elektronikus orr technológia gyors és objektív szagmérést tesz lehetővé, ami különféle szilázsok gyors szűrését teszi lehetővé. Gado et al. (2022) tanulmányukban lucerna- és rozsszilázsok aromaprofilját vizsgálták elektronikus orr segítségével, amely fénoxid félvezető érzékelőket használt. Az aromaprofilok pH és tejsav/ecetsav arány alapján történő felügyelt osztályozása során a validálásra kiválasztott minták 65-75%-a helyesen került azonosításra, jelezve a módszer megbízhatóságát. Az eredmények szerint a különböző feldolgozási módszerekkel (direkt vágott vagy fonnyadt) előállított lucerna alapú takarmányok pontosan azonosíthatók voltak, míg a rozsminták a betakarításkor eltérő fenológiai fázisok alapján különíthetők el. A módszertan ígéretesnek bizonyult a fermentált takarmányok minőségvizsgálata terén. Worku et al. (2021) vizsgálatának célja az volt, hogy értékeljék az őszi kalászosok (tritikálé, zab, árpa, búza) és az olasz perje szilázsok aromaprofilját, mikrobiális és kémiai minőségét elektronikus orr segítségével. Négy kereskedelmi keveréket (A, B, C, D) vizsgáltak. Mind az aromaprofil főkomponens-analízise (PCA), mind a lineáris diszkriminancia analízis (LDA) azt mutatta, hogy a D keverék eltér a többi szilázs



keveréktől, különösen a magas etanol- és LA-tartalom miatt. Az elektronikus orr technológia hatékonyan feltárta a szilázsok szagvegyületeit, és megállapította, hogy az olasz perje és az őszi kalászos keverékek (D keverék) jobb aromaprofillal rendelkeztek, mint az őszi kalászos keverékek (A és B keverék). Ugyanakkor a gabonakeverékek (A és B) jobb aromaminőségűek voltak, mint a C keverék. Az elektronikus orr technológia tehát alkalmasnak bizonyult a silózott takarmányok minőségének értékelésére. Jiang et al. (2014) az elektronikus orr alkalmazását vizsgálták a takarmányfehérje szilárd állapotú fermentációs (SSF) folyamatának különböző szakaszaiban. A kutatás eredményei alapján az elektronikus orr kemometrikus megközelítéssel kombinálva sikeresen használható az SSF folyamat monitorozásában. Mei et al. (2014) szintén ígéretes módszerként értékelték az elektronikus orr technológiát a fehérjetakarmányok SSF fermentációs állapotának meghatározására. Továbbá, Jiang és Chen (2014) a közeli infravörös spektroszkópiai (NIRS) technikákat integrálták az elektronikus orrhoz, hogy megfigyeljék a fehérjetakarmány SSF folyamatának kritikus pillanatait. Az eredmények azt mutatták, hogy az elektronikus orr és a NIRS technikák jól követik a fermentációs folyamatot, és fontos információkat szolgáltatnak a takarmányfehérje SSF folyamatának állapotáról.

3.4 Istálló levegőminősége

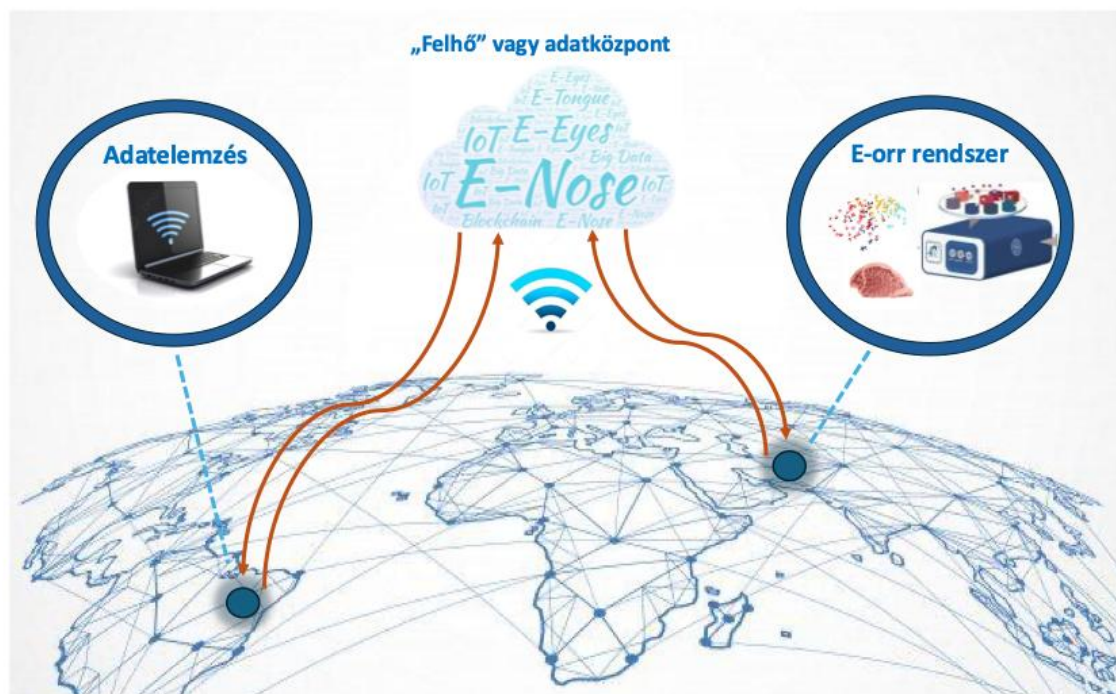
Az intenzív állattartó épületek komoly környezeti problémákat okoznak, mint például az ammónia, üvegházhatású gázok és kellemetlen szagú vegyületek kibocsátása. Ezek a kibocsátások rontják a levegő minőségét és egészségügyi kockázatokat jelentenek. Az ilyen problémák kezelése hatékony trágyakezelési rendszerekkel, szellőztetéssel és szagmonitorozással lehetséges (Philippe et al., 2011). A baromfitelepek kellemetlen szagkibocsátása komoly környezeti probléma. A kutatás célja volt, hogy egy laboratóriumi elektronikus orr rendszer segítségével monitorozta és elemezte a szagokat. Az elektronikus orr nyolc gázérzékelőből áll, és képes osztályozni a különböző szagokat és számszerűsíteni a szagszintet. A vizsgálatok során ammónia, hidrogén-szulfid és illékony szerves vegyületek mérésére gázdetektort is alkalmaztak. Az eredmények szerint az elektronikus orr hatékonyan azonosította a rossz szag forrását és figyelte a szagokat valós időben. Kiderült, hogy a baromfiólban talált ammóniagáz a legkellemetlenebb szagforrás (Aunsa-Ard et al., 2021a). Az állattartó telepek szagproblémáit az elektronikus orr segítségével valós időben lehet figyelni. Egy nyolc gázérzékelőből álló elektronikus orrot használtak. Öt baromfitelegen végzett vizsgálat kimutatta, hogy az elektronikus orr hatékonyan azonosította a szagforrásokat és figyelte a szagokat. Az elektronikus orr használata csökkentheti a panaszokat és az egészségügyi kockázatokat (Aunsa-Ard et al., 2021b). Egy kutatás a hordozható elektronikus orr fejlesztésére irányult környezetvédelmi kísérletek céljából. A rendszer hatékonyan osztályozza az istállóban keletkező különféle szagforrásokat. A nulla fokozatú levegő referenciagázként való alkalmazása és a mintavizsgálati mechanizmusok fejlesztése növeli a pontosságot és hatékonyságot, lerövidítve a környezeti tesztek időtartamát. Ezáltal az elektronikus orr alkalmas a kellemetlen szagok forrásának azonosítására, ami zavarhatja a környéken élőket (Pobkrut et al., 2018).

4. AZ E-ORR SZEREPE A MODERN TECHNOLÓGIÁKBAN

A legkülönbözőbb területeken az e-orr folyamatos fejlesztése lehetővé teszi a legújabb technológiákkal való integrációt. Mindezek a technológiák, a tárgyak interneten keresztül történő összekapcsolása (IoT, Internet of Things) (Asman et al., 2019, Farahiyah et al., 2021), a blokklánc (Blockchain) (Widayanti et al., 2021), a mesterséges intelligencia (AI, Artificial Intelligence), a nagy

adathalmaz (Big Data) (Purvono et al., 2021), a kiterjesztett valóság (AI, Augmented Reality) (Khan et al., 2021), és a virtulis valóság (VR, Virtual Reality) (Emmelkamp és Meyerbröcker, 2021) hatalmas potenciállal járulnak hozzá az e-orr használatának kiterjesztéséhez.

Az IoT az interneten keresztül összekapcsolt fizikai eszközök hálózatát jelenti (Yudhana, 2023). Ezek az eszközök emberi beavatkozás nélkül, automatikusan tudnak kommunikálni és megosztani az adatokat. Az IoT-eszközök közé tartozhatnak érzékelők, elektronikus eszközök, járművek, háztartási készülékek és más típusú berendezések (Juliyanto et al., 2023). Az IoT célja, hogy széleskörű kapcsolatot teremtsen ezen eszközök között, lehetővé téve a zökkenőmentes adatcserét és együttműködést. Az IoT segítségével ezek az eszközök adatokat gyűjthetnek, információkat oszthatnak meg, és automatikusan intézkedhetnek az észlelt körülmények alapján (Liu et al., 2022). Az e-orr és az IoT integrációja lehetővé teszi, hogy az e-orr csatlakozzon az internethez és kommunikáljon más eszközökkel, ami valós idejű adatcserét, távirányítást és együttműködést tesz lehetővé. Az e-orr folyamatosan gyűjtheti az illatadatokat és elküldheti azokat egy felhőplatformra vagy központi szerverre, ahol jogosult felhasználók valós időben férhetnek hozzá és elemezhetik az adatokat okostelefonokon vagy számítógépeken keresztül. Ez korai észlelést és gyors döntéshozatalt tesz lehetővé a minőség-ellenőrzés, a veszélyes vegyi anyagok azonosítása és a gyártási folyamatok optimalizálása érdekében (Lin és Xiang, 2023). Az IoT-csatlakozású e-orr utasításokat is kaphat központi rendszertől az illatfigyelés elindításához vagy leállításához, értesítéseket küldhet bizonyos illatok észlelése esetén, és aktiválhat más rendszereket (Kumar et al., 2023). Az e-orr kapcsolatát az IoT-rendszerrel a 2. ábra szemlélteti.



2. ábra: Az e-orr integrálása az IoT-rendszerbe

Forrás: Saját készítésű ábra



Az e-orr más technológiákkal is együttműködhet. Az e-orr, amely az aromakomponenseket méri, együttműködve az e-szemmel (E-Eyes) (Wang et al., 2020), amely vizuális elemzést végez, átfogó információkat nyújt élelmiszerekről, italokról vagy vegyi anyagokról. Az e-fül (E-Ears) (Qu et al., 2023) további adatokat szolgáltat a hangokról és rezgésekről, míg az e-bőr (E-Skin) a textúráról és lágyságról nyújt információkat (Chen et al., 2021). Az e-nyelv (E-Tongue) pedig az ízprofilokat és kémiai összetevőket elemzi (Cho és Moazzem, 2022). Az összesített érzékelők kombinációja teljesebb és mélyebb érzékszervi megértést biztosít egy tárgyról vagy anyagról. Ez a rendszer számos területen alkalmazható, például élelmiszer-minőségértékelésben, biztonsági felügyeletben, kozmetikai termékfejlesztésben és kémiai minőségvizsgálatban. Az érzékelők integrációja lehetőséget nyújt komplexebb és pontosabb szenzoros rendszerek kifejlesztésére és a különböző ipari területeken történő jobb döntéshozatalra.

5. KÖVETKEZTETÉS

Az e-orr technológia integrációja különféle modern technológiákkal, mint például az IoT, a Blockchain, a mesterséges intelligencia, a Big Data, valamint a kiterjesztett és virtuális valóság, hatalmas lehetőségeket rejt magában az iparágak sokfélesége terén történő alkalmazásra. Az IoT integrációval az e-orr csatlakoztatható az internethez, ami lehetővé teszi a valós idejű adatcserét, a távoli felügyeletet és más eszközökkel való együttműködést. Ezáltal a technológia hozzájárul a megalapozott döntéshozatalhoz olyan területeken, mint a minőség-ellenőrzés, a veszélyes vegyi anyagok azonosítása és a termelés optimalizálása. A Blockchain technológia alkalmazása az e-orr adatainak biztonságát és nyomon követhetőségét növeli. Ez különösen jelentős az olyan iparágakban, amelyek az eredetiséget és a hitelességet helyezik előtérbe. Az e-orr és más szenzoros technológiák kombinációjával, mint az e-szem, e-fül, e-bőr és e-nyelv, egy átfogóbb érzékszervi elemzést eredményezhet és új lehetőségeket nyit meg a pontos és fejlett érzékelőrendszerek számára, amelyek számos ipari területen alkalmazhatóak. Az AR és VR technológiák lehetővé teszik az adatok vizuális megjelenítését, így a felhasználók könnyebben értelmezhetik és elemezhetik azokat.

Összességében az e-orr integrációja ezekkel a fejlett technológiákkal egy forradalmian új megközelítést kínál az érzékszervi elemzésben és az adatkezelésben, amely jelentős előnyökkel járhatnak a különböző ipari szektorokban. A valós idejű adatelemzés, a biztonságos adatkezelés és a pontos érzékszervi elemzés révén az e-orr technológia hozzájárulhat a hatékonyabb és fenntarthatóbb működéshez.



Evolution and applications of the electronic nose: II. The role of the electronic nose in food and agriculture

BANA BERNADETT*, ZSÉDELY ESZTER

Albert Kázmér Faculty of Agricultural and Food Sciences of Széchenyi István University

Department of Animal Science, Mosonmagyaróvár, Hungary

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

Email: bana.bernadett@sze.hu

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

*Corresponding author/Levelező szerző

ABSTRACT

Electronic nose technology, with its sensitive sensors, can be used in many areas, especially in food quality assessment. It can detect volatile compounds that affect the aroma, taste and overall quality of food. It can be used to quickly and reliably measure the quality, shelf life, freshness and authenticity of food, as well as to detect contaminants, allergens and harmful substances. It is widely used in various sectors of the food industry, such as meat, oil, alcohol and tea. The electronic nose technology also helps in soil testing, plant disease detection and stable air quality detection. High quality feed production and regulatory compliance require increased quality control, which requires rapid, non-destructive and cost-effective analytical methods. Electronic Nose technology can be integrated with modern technologies such as IoT (Internet of Things), Blockchain, AI (Artificial Intelligence), Big Data, AR (Augmented Reality) and VR (Virtual Reality), which further expand its application potential and improve decision-making in various industries. The growing role of electronic nose technology can help various industries to optimise quality control processes and ensure sustainability.

Keywords: electronic nose, quality control, sustainable agriculture, future technology



IRODALOMJEGYZÉK

- Adak, M. F., & Yumusak, N. (2016). Classification of E-nose aroma data of four fruit types by ABC-based neural network. *Sensors*, 16(3), 304. <https://doi.org/10.3390/s16030304>
- Adamiec, J., Dolezal, M., Mikova, K., & Davidek, J. (2002). Changes in egg volatiles during storage. *Czech Journal of Food Sciences*, 20(2), 79-82. <https://doi.org/10.17221/3515-CJFS>
- Akyurek, H., & Okur, A. A. (2009). Effect of storage time, temperature and hen age on egg quality in free-range layer hens. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 8(10), 1953-1958.
- Al-Dayyeni, W. S., Al-Yousif, S., Taher, M. M., Al-Faouri, A. W., Tahir, N. M., Jaber, M. M., & Saleh, A. H. (2021). A review on electronic nose: coherent taxonomy, classification, motivations, challenges, recommendations and datasets. *Ieee Access*, 9, 88535-88551. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3090165>
- Ali, M. M., Hashim, N., Abd Aziz, S., & Lasekan, O. (2020). Principles and recent advances in electronic nose for quality inspection of agricultural and food products. *Trends in Food Science & Technology*, 99, 1-10., <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.02.028>
- Aunsa-Ard, W., Pobkrut, T., Kerdcharoen, T., Prombaingoen, N., & Kijpreedaborisuthi, O. (2021a, January) *Electronic nose for monitoring of livestock farm odors (poultry farms)* [Conference session] (pp. 176-180). 13th International Conference on Knowledge and Smart Technology (KST). IEEE. <https://doi.org/10.1109/KST51265.2021.9415825>
- Aunsa-Ard, W., Pobkrut, T., Kerdcharoen, T., Siyang, S., & Prombaingoen, N. (2021b, April) *Development of intelligent electronic nose for livestock industries* [Conference session] (pp. 221-225). 7th International Conference on Engineering, Applied Sciences and Technology (ICEAST). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICEAST52143.2021.9426281>
- Anzivino, R., Sciancalepore, P. I., Dragonieri, S., Quaranta, V. N., Petrone, P., Petrone, D., & Carpagnano, G. E. (2022). The role of a polymer-based e-nose in the detection of head and neck cancer from exhaled breath. *Sensors*, 22(17), 6485. <https://doi.org/10.3390/s22176485>
- Asman, F. F., Permata, E., & Fatkhurrohman, M. (2019). A prototype of smart lock based on internet of things (IoT) with ESP8266. *Jurnal Ilmiah Teknik Elektro Komputer dan Informatika (JITEKI)*, 5(2), 101-111. <https://doi.org/10.26555/jiteki.v5i2.15317>
- Aguinaga Bósquez, J. P., Kovacs, Z., Gillay, Z., Bázár, G., Palkó, C., Hingyi, H., & Tóth, T. (2021). Evaluating the effect of a brewery by-product as feed supplementation on the quality of eggs by means of a human panel and E-Tongue and E-Nose analysis. *Chemosensors*, 9(8), 213. <https://doi.org/10.3390/chemosensors9080213>
- Barea-Ramos, J. D., Cascos, G., Mesías, M., Lozano, J., & Martín-Vertedor, D. (2022). Evaluation of the olfactory quality of roasted coffee beans using a digital nose. *Sensors*, 22(22), 8654. <https://doi.org/10.3390/s22228654>
- Bhattacharyya, N., Seth, S., Tudu, B., Tamuly, P., Jana, A., Ghosh, D., & Sabhapandit, S. (2007). Detection of optimum fermentation time for black tea manufacturing using electronic nose. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 122(2), 627-634. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2006.07.013>
- Bieganski, A., Jaromin-Glen, K., Guz, Ł., Łagód, G., Jozefaciuk, G., Franus, W., & Sobczuk, H. (2016). Evaluating soil moisture status using an e-nose. *Sensors*, 16(6), 886. <https://doi.org/10.3390/s16060886>
- Bieganski, A., Józefaciuk, G., Bandura, L., Guz, Ł., Łagód, G., & Franus, W. (2018). Evaluation of hydrocarbon soil pollution using e-nose. *Sensors*, 18(8), 2463. <https://doi.org/10.3390/s18082463>



- Biondi, E., Blasioli, S., Galeone, A., Spinelli, F., Cellini, A., Lucchese, C., & Braschi, I. (2014). Detection of potato brown rot and ring rot by electronic nose: From laboratory to real scale. *Talanta*, 129, 422-430. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2014.04.057>
- Braggins, T., Jamieson, P., Luckman, M., Nickless, E., Scott, G., Yang, D., & Andrewes, P. (2020). Variability between farms of New Zealand raw bovine milk flavour: Identification and characterisation of odorous outliers. *International Dairy Journal*, 111, 104835. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2020.104835>
- Caner, C. (2005). The effect of edible eggshell coatings on egg quality and consumer perception. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85(11), 1897-1902. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2185>
- Centonze, V., Lippolis, V., Cervellieri, S., Damascelli, A., Casiello, G., Pascale, M., & Longobardi, F. (2019). Discrimination of geographical origin of oranges (*Citrus sinensis* L. Osbeck) by mass spectrometry-based electronic nose and characterization of volatile compounds. *Food chemistry*, 277, 25-30. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.10.105>
- De Cesare, F., Pantalei, S., Zampetti, E., & Macagnano, A. (2008). Electronic nose and SPME techniques to monitor phenanthrene biodegradation in soil. *Sensors and Actuators B: chemical*, 131(1), 63-70. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2007.12.012>
- De Cesare, F., Di Mattia, E., Pantalei, S., Zampetti, E., Vinciguerra, V., Canganella, F., & Macagnano, A. (2011). Use of electronic nose technology to measure soil microbial activity through biogenic volatile organic compounds and gases release. *Soil Biology and Biochemistry*, 43(10), 2094-2107. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2011.06.009>
- Chen, J., Zhu, Y., Chang, X., Pan, D., Song, G., Guo, Z., & Naik, N. (2021). Recent progress in essential functions of soft electronic skin. *Advanced Functional Materials*, 31(42), 2104686. <https://doi.org/10.1002/adfm.202104686>
- Chen, Q., Liu, A., Zhao, J., & Ouyang, Q. (2013). Classification of tea category using a portable electronic nose based on an odor imaging sensor array. *Journal of pharmaceutical and biomedical analysis*, 84, 77-83. <https://doi.org/10.1016/j.jpba.2013.05.046>
- Cheng, S. M., Wang, J., Wang, Y. W., & Ma, Y. H. (2013). Research on distinguishing tomato seedling infected with early blight disease by electronic nose. *Bull. Sci. Technol*, 29, 68-77.
- Cheng, S. M., Wang, J., Wang, Y. W., & Wei, Z. B. (2017). *Discrimination of different types damage of tomato seedling by electronic nose* [Conference session]. ITM Web of conferences. EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/itmconf/20171101019>
- Chi, X., Zhang, Y., Zheng, N., Wang, J., & Liu, H. (2024). HS-GC-IMS and HS-SPME/GC-MS coupled with E-nose and E-tongue reveal the flavors of raw milk from different regions of China. *Current Research in Food Science*, 8, 100673. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2023.100673>
- Cho, S., & Moazzem, M. S. (2022). Recent applications of potentiometric electronic tongue and electronic nose in sensory evaluation. *Preventive nutrition and food science*, 27(4), 354. <https://doi.org/10.3746/pnf.2022.27.4.354>
- Chung, S. H., & Lee, K. W. (2014). Effect of hen age, storage duration and temperature on egg quality in laying hens. *International Journal of Poultry Science*, 13(11), 634. <https://doi.org/10.3923/ijps.2014.634.636>
- Claeys, W. L., Cardoen, S., Daube, G., De Block, J., Dewettinck, K., Dierick, K., & Herman, L. (2013). Raw or heated cow milk consumption: Review of risks and benefits. *Food control*, 31(1), 251-262. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2012.09.035>



- Coppa, M., Verdier-Metz, I., Ferlay, A., Pradel, P., Didienné, R., Farruggia, A., & Martin, B. (2011). Effect of different grazing systems on upland pastures compared with hay diet on cheese sensory properties evaluated at different ripening times. *International dairy journal*, 21(10), 815-822. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2011.04.006>
- Cui, S., Inocente, E. A. A., Acosta, N., Keener, H. M., Zhu, H., & Ling, P. P. (2019). Development of fast e-nose system for early-stage diagnosis of aphid-stressed tomato plants. *Sensors*, 19(16), 3480. <https://doi.org/10.3390/s19163480>
- Dutta, R., Hines, E. L., Gardner, J. W., Udrea, D. D., & Boilot, P. (2003). Non-destructive egg freshness determination: an electronic nose based approach. *Measurement Science and Technology*, 14(2), 190. <https://doi.org/10.1088/0957-0233/14/2/306>
- Emmelkamp, P. M., & Meyerbröcker, K. (2021). Virtual reality therapy in mental health. *Annual review of clinical psychology*, 17(1), 495-519. <https://doi.org/10.1146/annurev-clinpsy-081219-115923>
- Ezhilan, M., Nesakumar, N., Babu, K. J., Srinandan, C. S., & Rayappan, J. B. B. (2018). An Electronic Nose for Royal Delicious Apple Quality Assessment – A Tri-layer Approach. *Food Research International*, 109, 44-51. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.04.009>
- Farahiyah, D., & Purnama, B. W. (2021). Design Prototype of Temperature and Humidity Control and Monitoring on Weaver Ant Cage based on Internet of Things. *Jurnal Ilmiah Teknik Elektro Komputer Dan Informatika*, 7(2), 326-337. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2011.04.006>
- Feng, L., Zhang, M., Bhandari, B., & Guo, Z. (2018). A novel method using MOS electronic nose and ELM for predicting postharvest quality of cherry tomato fruit treated with high pressure argon. *Computers and Electronics in Agriculture*, 154, 411-419. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.09.032>
- Feng, X., Wang, H., Wang, Z., Huang, P., & Kan, J. (2022). Discrimination and characterization of the volatile organic compounds in eight kinds of huajiao with geographical indication of China using electronic nose, HS-GC-IMS and HS-SPME-GC-MS. *Food Chemistry*, 375, 131671. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131671>
- Feyzioglu, A., & Taspinar, Y. S. (2023). Beef quality classification with reduced e-nose data features according to beef cut types. *Sensors*, 23(4), 2222. <https://doi.org/10.3390/s23042222>
- Gado, Y. H., Bazár, Gy., Radó-Nyiczky, É., Orosz, Sz., & Tóth, T. (2022). Description of the Odor Profile of Fermented Alfalfa and Rye Silages Using an Electronic Nose. *Hungarian Journal of Animal Production/Állattenyésztés és Takarmányozás*, 71(1).
- Gamboa, J. C. R., da Silva, A. J., de Andrade Lima, L. L., & Ferreira, T. A. (2019). Wine quality rapid detection using a compact electronic nose system: Application focused on spoilage thresholds by acetic acid. *Lwt*, 108, 377-384. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.03.074>
- Gancarz, M., Wawrzyniak, J., Gawrysiak-Witulska, M., Wiącek, D., Nawrocka, A., Tadla, M., & Rusinek, R. (2017). Application of electronic nose with MOS sensors to prediction of rapeseed quality. *Measurement*, 103, 227-234. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2017.02.042>
- Garcia, C. D. C., Pereira Netto, A. D., Silva, M. C. D., Catão, A. A., Souza, I. A. D., Farias, L. S., ... & Silva Junior, A. I. D. (2018). Relative importance and interaction of roasting variables in coffee roasting process. *Coffee Science*, 13(3), 379-388. <https://doi.org/10.25186/cs.v13i3.1483>
- Gila, D. M. M., García, J. G., Bellincontro, A., Mencarelli, F., & Ortega, J. G. (2020). Fast tool based on electronic nose to predict olive fruit quality after harvest. *Postharvest Biology and Technology*, 160, 111058. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2019.111058>



- Giungato, P., Laiola, E., & Nicolardi, V. (2017). Evaluation of industrial roasting degree of coffee beans by using an electronic nose and a stepwise backward selection of predictors. *Food Analytical Methods*, 10, 3424-3433. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.05.148>
- Gu, S., Chen, W., Wang, Z., Wang, J., & Huo, Y. (2020). Rapid detection of *Aspergillus* spp. infection levels on milled rice by headspace-gas chromatography ion-mobility spectrometry (HS-GC-IMS) and E-nose. *LWT*, 132, 109758. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109758>
- Grassi, S., Benedetti, S., Magnani, L., Pianezzola, A., & Buratti, S. (2022). Seafood freshness: e-nose data for classification purposes. *Food Control*, 138, 108994. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2022.108994>
- Haddi, Z., Amari, A., Ali, A. O., El Bari, N., Barhoumi, H., Maaref, A., & Bouchikhi, B. E. N. A. (2011). Discrimination and identification of geographical origin virgin olive oil by an e-nose based on MOS sensors and pattern recognition techniques. *Procedia Engineering*, 25, 1137-1140. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.12.280>
- Haddi, Z., El Barbri, N., Tahri, K., Bougrini, M., El Bari, N., Llobet, E., & Bouchikhi, B. (2015). Instrumental assessment of red meat origins and their storage time using electronic sensing systems. *Analytical Methods*, 7(12), 5193-5203. <https://doi.org/10.1039/C5AY00572H>
- Hua, Z., Yu, Y., Zhao, C., Zong, J., Shi, Y., & Men, H. (2021). A feature dimensionality reduction strategy coupled with an electronic nose to identify the quality of egg. *Journal of Food Process Engineering*, 44(11), e13873. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13873>
- Jana, A., Bandyopadhyay, R., Tudu, B., Roy, J. K., Bhattacharyya, N., Adhikari, B., & Mukherjee, S. (2011, September). *Classification of aromatic and non-aromatic rice using electronic nose and artificial neural network* [Conference session] (pp. 291-294). 2011 IEEE Recent Advances in Intelligent Computational Systems. IEEE. <https://doi.org/10.1109/RAICS.2011.6069320>
- Jia, W., Liang, G., Wang, Y. és Wang, J. (2018). Elektronikus orrok, mint hatékony eszköz a húsminőség felméréséhez: egy mini áttekintés. *Food Analytical Methods*, 11, 2916-2924. <https://doi.org/10.1007/s12161-018-1283-Xu>
- Jiang, H., & Chen, Q. (2014). Development of electronic nose and near infrared spectroscopy analysis techniques to monitor the critical time in SSF process of feed protein. *Sensors*, 14(10), 19441-19456. <https://doi.org/10.3390/s141019441>
- Jiang, H., Chen, Q., & Liu, G. (2014). Monitoring of solid-state fermentation of protein feed by electronic nose and chemometric analysis. *Process Biochemistry*, 49(4), 583-588. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2014.01.006>
- Jo, C., Ahn, D. U., Liu, X. D., Kim, K. H., & Nam, K. C. (2011). Effects of chitosan coating and storage with dry ice on the freshness and quality of eggs. *Poultry science*, 90(2), 467-472. <https://doi.org/10.3382/ps.2010-00966>
- Juliyanto, M. A., Sulistiyowati, I., & Ahfas, A. (2023). Design of Turbine Aerator with Remote Control and Internet of Things (IoT)-Based Water pH Monitoring. *Buletin Ilmiah Sarjana Teknik Elektro*, 5(1), 156-166. <https://doi.org/10.12928/biste.v5i1.7863>
- Khan, F., Kumar, R. L., & Kadry, S. (2021). Hybrid reality-based education expansion system for non-traditional learning. *Jurnal Ilmiah Teknik Elektro Komputer dan Informatika*, 7(1), 185. <https://doi.org/10.26555/jiteki.v7i1.20568>
- Konduru, T., Rains, GC és Li, C. (2015). A savanyú bőrrel fertőzött hagyma észlelése testreszabott gázérzékelő tömb segítségével. *Élelmiszer-mérnöki folyóirat*, 160, 19-27. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.03.025>



- Kumar, K., Chaudhri, S. N., Rajput, N. S., Shvetsov, A. V., Sahal, R., & Alsamhi, S. H. (2023). An IoT-enabled E-Nose for remote detection and monitoring of airborne pollution hazards using LoRa network protocol. *Sensors*, 23(10), 4885. <https://doi.org/10.3390/s23104885>
- Labreche, S., Bazzo, S., Cade, S., & Chanie, E. (2005). Shelf life determination by electronic nose: application to milk. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 106(1), 199-206. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2004.06.027>
- Laga, S. A., & Sarno, R. (2020). Temperature effect of electronic nose sampling for classifying mixture of beef and pork. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 19(3), 1626-1634. <https://doi.org/10.11591/IJEECS.V19.I3.PP1626-1634>
- Lee, W. H., Choi, S., Oh, I. N., Shim, J. Y., Lee, K. S., An, G., & Park, J. T. (2017). Multivariate classification of the geographic origin of Chinese cabbage using an electronic nose-mass spectrometry. *Food Science and Biotechnology*, 26, 603-609. <https://doi.org/10.1007/s10068-017-0102-6>
- Limbo, S., Torri, L., Sinelli, N., Franzetti, L., & Casiraghi, E. (2010). Evaluation and predictive modeling of shelf life of minced beef stored in high-oxygen modified atmosphere packaging at different temperatures. *Meat science*, 84(1), 129-136. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2009.08.035>
- Lin, Z., & Xiang, W. (2023). Wireless Sensing and Networking for the Internet of Things. *Sensors*, 23(3), 1461. <https://doi.org/10.3390/s23031461>
- Liu, H., Li, Q., Yan, B., Zhang, L., & Gu, Y. (2018). Bionic electronic nose based on MOS sensors array and machine learning algorithms used for wine properties detection. *Sensors*, 19(1), 45. <https://doi.org/10.3390/s19010045>
- Liu, M., Pan, L., Tu, K., & Liu, P. (2010). Determination of egg freshness during shelf life with electronic nose. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 26(4), 317-321.
- Liu, Q., Trevisan, A. H., Yang, M., & Mascarenhas, J. (2022). A framework of digital technologies for the circular economy: Digital functions and mechanisms. *Business Strategy and the Environment*, 31(5), 2171-2192. <https://doi.org/10.1002/bse.3015>
- Lu, W., Yu, W., Gan, C., Liu, Q., & Li, J. (2015, December). *Application of electronic nose technology in the detection of wheat quality* [Conference session] (pp. 133-136). 2015 International Conference on Intelligent Transportation, Big Data and Smart City. IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICITBS.2015.39>
- Luo, D., Chen, J., Gao, L., Liu, Y., & Wu, J. (2017). Geographical origin identification and quality control of Chinese chrysanthemum flower teas using gas chromatography – mass spectrometry and olfactometry and electronic nose combined with principal component analysis. *International Journal of Food Science & Technology*, 52(3), 714-723. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13326>
- McGann, J. P. (2017). Poor human olfaction is a 19th-century myth. *Science*, 356(6338), eaam7263. <https://doi.org/10.1126/science.aam7263>
- Mei, C., Shu, D., Jiang, H., Huang, W., & Liu, G. (2014). Monitoring of straw solid-state fermentation based on e-nose and gaussian process. *Trans Chin Soc Agric Mach*, 45, 188-193.
- Mishra, G., Srivastava, S., Panda, B. K., & Mishra, H. N. (2018). Sensor array optimization and determination of *Rhizopertha dominica* infestation in wheat using hybrid neuro-fuzzy-assisted electronic nose analysis. *Analytical Methods*, 10(47), 5687-5695. <https://doi.org/10.1039/C8AY01921E>
- Naranjo, A., Martínez-Lapuente, L., Ayestarán, B., Guadalupe, Z., Pérez, I., Canals, C., & Adell, E. (2021). Aromatic and sensory characterization of Maturana Blanca wines made with different technologies. *Beverages*, 7(1), 10. <https://doi.org/10.3390/beverages7010010>



- Narushin, V. G., Romanov, M. N., Lu, G., Cugley, J., & Griffin, D. K. (2021). How oviform is the chicken egg? New mathematical insight into the old oomorphological problem. *Food Control*, 119, 107484. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107484>
- No, H. K., Prinyawiwatkul, W., & Meyers, S. P. (2005). Comparison of shelf life of eggs coated with chitosans prepared under various deproteinization and demineralization times. *Journal of Food Science*, 70(6), s377-s382. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2005.tb11459.x>
- O'Callaghan, T. F., Hennessy, D., McAuliffe, S., Kilcawley, K. N., O'Donovan, M., Dillon, P., & Stanton, C. (2018). Corrigendum to "Effect of pasture versus indoor feeding systems on raw milk composition and quality over an entire lactation" (J. Dairy Sci. 99: 9424–9440). *Journal of Dairy Science*, 101(9), 8615. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-10985>
- Omatu, S., Yano, M., & Ikeda, Y. (2015, April). *Smell classification of wines by the learning vector quantization method* [Conference session] (pp. 195-200). 30th Annual ACM Symposium on Applied Computing. <https://doi.org/10.1145/2695664.2695833>
- Penza, M., & Cassano, G. (2004). Recognition of adulteration of Italian wines by thin-film multisensor array and artificial neural networks. *Analytica chimica acta*, 509(2), 159-177. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2003.12.026>
- Philippe, F. X., Cabaraux, J. F., & Nicks, B. (2011). Ammonia emissions from pig houses: Influencing factors and mitigation techniques. *Agriculture, ecosystems & environment*, 141(3-4), 245-260. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.03.012>
- Pobkrut, T., Siyang, S., Thepudom, T., & Kerdcharoen, T. (2018, January). *Development of malodor monitoring system based on electronic nose technology* (pp. 5-6). 2018 IEEE 8th International Nanoelectronics Conferences (INEC). IEEE. <https://doi.org/10.1109/INEC.2018.8441933>
- Pulluri, K. K., & Kumar, V. N. (2021, August). *Wine quality assessment using electronic nose* [Conference session]. (pp. 1-5). 2021 Asian Conference on Innovation in Technology (ASIANCON). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ASIANCON51346.2021.9544828>
- Pulluri, K. K., & Kumar, V. N. (2022). Qualitative and quantitative detection of food adulteration using a smart E-Nose. *Sensors*, 22(20), 7789. <https://doi.org/10.3390/s22207789>
- Purwono, P., Ma'arif, A., Negara, I. S. M., Rahmانيar, W., & Rahmawan, J. (2021). Linkage detection of features that cause stroke using feyn qlattice machine learning model. *Jurnal Ilmiah Teknik Elektro Komputer dan Informatika*, 3(7), 423-432. <https://dx.doi.org/10.26555/jiteki.v7i3.22237>
- Qu, X., Yang, Z., Cheng, J., Li, Z., & Ji, L. (2023). Development and application of nanogenerators in humanoid robotics. *Nano Trends*, 3, 100013. <https://doi.org/10.1016/j.nwnano.2023.100013>
- Roy, M., & Yadav, B. K. (2022). Electronic nose for detection of food adulteration: A review. *Journal of Food Science and Technology*, 59, 846-858. <https://doi.org/10.1007/s13197-021-05057-w>
- Rahmati, S., Julkapli, N. M., Yehye, W. A., & Basirun, W. J. (2016). Identification of meat origin in food products – A review. *Food control*, 68, 379-390. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.04.013>
- Ren, Y., Ramaswamy, H. S., Li, Y., Yuan, C., & Ren, X. (2018). Classification of impact injury of apples using electronic nose coupled with multivariate statistical analyses. *Journal of Food Process Engineering*, 41(5), e12698. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12698>
- Ribéreau-Gayon, P., Glories, Y., Maujean, A., & Dubourdieu, D. (2021). *Handbook of Enology, volume 2: The chemistry of wine stabilization and treatments*. John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/0470010398>
- Rohman, A. (2018). The employment of Fourier transform infrared spectroscopy coupled with chemometrics techniques for traceability and authentication of meat and meat products. *Journal of advanced veterinary and animal research*, 6(1), 9. <https://doi.org/10.5455/javar.2019.f306>



- Ruengdech, A., & Siripatrawan, U. (2020). Visualization of mulberry tea quality using an electronic sensor array, SPME-GC/MS, and sensory evaluation. *Food Bioscience*, 36, 100593. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100593>
- Rutolo, M. F., Clarkson, J. P., & Covington, J. A. (2018). The use of an electronic nose to detect early signs of soft-rot infection in potatoes. *Biosystems engineering*, 167, 137-143. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2018.01.001>
- Sanaeifar, A., Mohtasebi, S. S., Ghasemi-Varnamkhasti, M., & Ahmadi, H. (2016). Application of MOS based electronic nose for the prediction of banana quality properties. *Measurement*, 82, 105-114. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2015.12.041>
- Sánchez, R., Boselli, E., Fernández, A., Arroyo, P., Lozano, J., & Martín-Vertedor, D. (2022). Determination of the masking effect of the 'zapateria' defect in flavoured stuffed olives using E-nose. *Molecules*, 27(13), 4300. <https://doi.org/10.3390/molecules27134300>
- Sarno, R., Triyana, K., Sabilla, S. I., Wijaya, D. R., Sunaryono, D., & Fatichah, C. (2020). Detecting pork adulteration in beef for halal authentication using an optimized electronic nose system. *IEEE Access*, 8, 221700-221711. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3043394>
- Severini, C., Ricci, I., Marone, M., Derossi, A., & De Pilli, T. (2015). Changes in the aromatic profile of espresso coffee as a function of the grinding grade and extraction time: a study by the electronic nose system. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63(8), 2321-2327. <https://doi.org/10.1021/jf505691u>
- Spooner, A., Chen, E., Sowmya, A., Sachdev, P., Kochan, N. A., Trollor, J., & Brodaty, H. (2020). A comparison of machine learning methods for survival analysis of high-dimensional clinical data for dementia prediction. *Scientific reports*, 10(1), 20410. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-77220-w>
- Tabidi, M. H. (2011). Impact of storage period and quality on composition of table egg. *Advances in Environmental Biology*, 5(5), 856-861.
- 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>
- Thazin, Y., Eamsa-Ard, T., Pobkrut, T., & Kerdcharoen, T. (2019, June). *Formalin adulteration detection in food using E-nose based on nanocomposite gas sensors* [Conference session] (pp. 64-67). 2019 IEEE International Conference on Consumer Electronics-Asia (ICCE-Asia). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICCE-Asia46551.2019.8941601>
- Tian, X. Y., Cai, Q., & Zhang, Y. M. (2012). Rapid classification of hairtail fish and pork freshness using an electronic nose based on the PCA method. *Sensors*, 12(1), 260-277. <https://doi.org/10.3390/s120100260>
- Tohidi, M., Ghasemi-Varnamkhasti, M., Ghafarinia, V., Bonyadian, M., & Mohtasebi, S. S. (2018). Development of a metal oxide semiconductor-based artificial nose as a fast, reliable and non-expensive analytical technique for aroma profiling of milk adulteration. *International dairy journal*, 77, 38-46. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2017.09.003>
- Xu, S., Sun, X., Lu, H., Yang, H., Ruan, Q., Huang, H., & Chen, M. (2018). Detecting and monitoring the flavor of tomato (*Solanum lycopersicum*) under the impact of postharvest handlings by physicochemical parameters and electronic nose. *Sensors*, 18(6), 1847. <https://doi.org/10.3390/s18061847>
- Yakubu, H. G., Kovacs, Z., Toth, T., & Bazar, G. (2022). Trends in artificial aroma sensing by means of electronic nose technologies to advance dairy production – A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 63(2), 234-248. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1945533>



- Yongwei, W., Wang, J., Zhou, B., & Lu, Q. (2009). Monitoring storage time and quality attribute of egg based on electronic nose. *Analytica Chimica Acta*, 650(2), 183-188. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2009.07.049>
- Vajdi, M., Varidi, M. J., Varidi, M., & Mohebbi, M. (2019). Using electronic nose to recognize fish spoilage with an optimum classifier. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 13, 1205-1217. <https://doi.org/10.1007/s11694-019-00036-4>
- Yudhana, A. (2023). Tsukamoto fuzzy inference system on Internet of Things-based for room temperature and humidity control. *IEEE Access*, 11, 6209-6227. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3236183>
- Wang, B., Xu, S., & Sun, D. W. (2010). Application of the electronic nose to the identification of different milk flavorings. *Food Research International*, 43(1), 255-262. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.09.018>
- Wang, Q., Jin, G., Jin, Y., Ma, M., Wang, N., Liu, C., & He, L. (2014). Discriminating eggs from different poultry species by fatty acids and volatiles profiling: Comparison of SPME-GC/MS, electronic nose, and principal component analysis method. *European journal of lipid science and technology*, 116(8), 1044-1053. <https://doi.org/10.1002/ejlt.201400016>
- Wang, C., Zhang, X., & Hu, W. (2020). Organic photodiodes and phototransistors toward infrared detection: materials, devices, and applications. *Chemical Society Reviews*, 49(3), 653-670. <https://doi.org/10.1039/C9CS00431A>
- Wen, T., Zheng, L., Dong, S., Gong, Z., Sang, M., Long, X., & Peng, H. (2019). Rapid detection and classification of citrus fruits infestation by *Bactrocera dorsalis* (Hendel) based on electronic nose. *Postharvest Biology and Technology*, 147, 156-165. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.09.017>
- Widayanti, R., Harahap, E. P., Lutfiani, N., Oganda, F. P., & Manik, I. S. P. (2021). The impact of blockchain technology in higher education quality improvement. *J. Ilm. Tek. Elektro Komput. Dan Inform*, 7, 207-216. <https://doi.org/10.26555/jiteki.v7i2.20677>
- Wijaya, D. R., Sarno, R., & Zulaika, E. (2021). DWT/LSTM for electronic nose signal processing in beef quality monitoring. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 326, 128931. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2020.128931>
- Wijaya, D. R., Afianti, F., Arifianto, A., Rahmawati, D., & Kodogiannis, V. S. (2022). Ensemble machine learning approach for electronic nose signal processing. *Sensing and Bio-Sensing Research*, 36, 100495. <https://doi.org/10.1016/j.sbsr.2022.100495>
- Worku, A., Tóth, T., Orosz, S., Fébel, H., Kacsala, L., Húth, B., & Tóthi, R. (2021). Aroma profile, microbial and chemical quality of ensiled green forages mixtures of winter cereals and Italian ryegrass. *Agriculture*, 11(6), 512. <https://doi.org/10.3390/agriculture11060512>
- Zhang, F., Iliescu, D. D., Hines, E. L., & Leeson, M. S. (2011). Tomato Plant Health Monitoring: An Electronic Nose Approach. In E. Hines & M. Leeson (Eds.), *Intelligent Systems for Machine Olfaction: Tools and Methodologies* (pp. 231-248). IGI Global Scientific Publishing. <https://doi.org/10.4018/978-1-61520-915-6.ch009>
- Zhang, L., Guan, L., Lu, Z., Li, M., Wu, J., Cao, R., & Tian, J. (2019). Barrier-free patterned paper sensors for multiplexed heavy metal detection. *Talanta*, 196, 408-414. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2018.12.096>
- Zhao, X. J., Wu, H. L., Pan, L. Q., & Tu, K. (2014). Nondestructive prediction of postharvest strawberry quality by electronic nose. *Food Sci*, 35(18), 105-109. <https://doi.org/10.3390/s20113074>



- Zheng, Z., Li, L., Makhalanyane, T. P., Xu, C., Li, K., Xue, K., & Hao, Y. (2021). The composition of antibiotic resistance genes is not affected by grazing but is determined by microorganisms in grassland soils. *Science of the total environment*, 761, 143205. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143205>
- Zhou, C. L., Mi, L., Hu, X. Y., & Zhu, B. H. (2017). Evaluation of three pumpkin species: Correlation with physicochemical, antioxidant properties and classification using SPME-GC–MS and E-nose methods. *Journal of food science and technology*, 54, 3118-3131. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2748-8>
- Zhou, G., Lane, G., Cooper, S. L., Kahnt, T., & Zelano, C. (2019). Characterizing functional pathways of the human olfactory system. *eLife*, 8, e47177. <https://doi.org/10.7554/eLife.47177>

©Copyright 2025 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/).

