

특집: 감각과학의 이해와 산업적 활용

전자코 · 전자혀의 산업적 활용

김민정 · 박재호[†]

한국식품연구원 기능성식품연구본부

Electric-Nose/Tongue and Their Applications

Min Jung Kim and Jae-Ho Park[†]

Division of Functional Food Research, Korea Food Reserach Institute, Gyeonggi 13539, Korea

서론

전자코·전자혀는 인체가 인지하는 후각과 미각 자극을 중추신경계의 도움 없이 전기적 신호로 변환하여 판별하는 것을 의미한다. 본 기고를 통해 후각과 미각 신호전달계에 대한 전반적인 이해와 현황 및 응용 방향에 대해 서술하고자 한다.

후각·미각인지 연구 및 산업화 동향

후각 정보의 인지는 냄새 물질이 콧속의 후각신경세포에 존재하는 후각수용체와 결합하면서 시작한다. 후각수용체는 약 1,000개의 유전자가 알려졌으며 인체에서는 약 400개 정도가 후각신경세포에서 발현하고 후각인지에 관여하는 것으로 알려졌다(1).

후각신경세포에서 냄새 물질과 후각수용체의 반응은 칼슘 농도의 변화를 유도하여 전기신호를 생성하게 된다.

전기신호는 후구(olfactory bulb)라는 곳에 모인 후 뇌로 전달되어 인지되는 것으로 알려졌다(3). 미각과 더불어 후각은 동물에서는 음식물 섭취, 짹짹, 천적을 감지하여 회피하는 등 생존에 필요한 부분이며 또한 기억에 남아 있어야 부패한 음식을 회피하고 천적으로부터 거리를 멀리 유지할 수 있다. 후각 신호가 뇌에 처음 도착하는 부위는 편도체와 해마 부위로 감정 및 기억 관련 부분이라는 사실은 후각인지가 기억과 관련되었음을 해부학적으로 설명될 수 있다.

미각은 오감으로 알려진 단맛, 짠맛, 쓴맛, 신맛, 감칠맛이 있으며 최근에는 6번째 맛인 지방맛에 대한 논의가 활발히 진행되고 있다. 단맛, 쓴맛, 감칠맛은 미각 수용체를 통해, 짠맛, 신맛의 경우 이온채널을 통해 맛을 인지하게 된다.

후각인지 연구에서 가장 큰 걸림돌은 복합적 신호의 해석에 있으며 이는 미각에서도 어느 정도 존재하는 것으로 보인다. 즉 한 개의 냄새 물질이 다양한 후각수용체와 반응할 수 있으며 반대로 한 개의 후각수용체가 다양한 냄새 물질과 반응하여 신호가 생성, 전달되어 수많은 물질의 향과 맛을 인지한다는 것이다. 이러한 복합적 신호의 해석은 다양한 음식을 동시에 섭취하면서 일어나는 것으로 후각·미각인지의 활용에 있어 극복해야 할 문제이다. 최근 후각자극 물질이 미각신호전달계에 영향을 미친다는 것이 알려져 미각 또한 다양한 자극에 반응할 수 있음을 제시하고 있다.

후각 조절 관련 산업화 동향은 향 산업과 밀접하게 연관되어 있다. 향 산업의 세계시장 규모는 2014년 \$241억 달러로 추산되며(4), 음료, 낙농제품, 간편식품 등 주로 식품산업 분야에 집중되어 있음을 알 수 있다(5). 미각 조절 산업은 단맛과 관련된 감미료, 감칠맛, 짠맛 등과 관련되어 있다. 최근 감미료 시장은 건강을 고려하여 저칼로리, 저감미 방향으로 성장하고 있으며 설탕 생산은 세계적으로 줄어들고 있음을 알 수 있다(6). 대표적 감미료인 설탕의 생산과 소비가 줄어들고 있으나 대체재인 고과당 옥수수 시럽 등의 성장은 지속해서 증가할 것으로

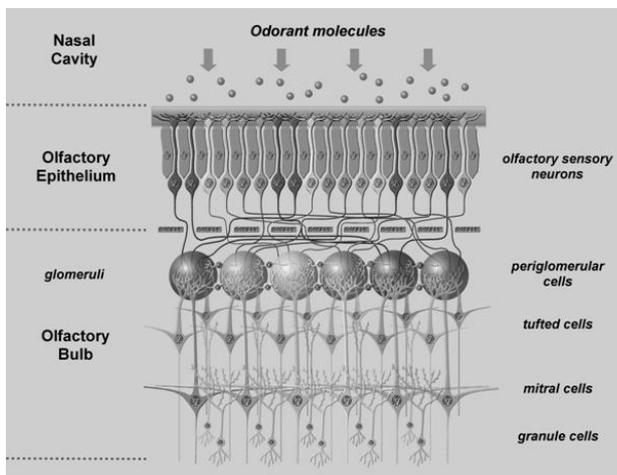


그림 1. 후각신경세포 및 후구 사이의 신호전달 모식도(2)

[†]Corresponding author
E-mail: jaehopark@kfri.re.kr, Phone: 031-780-9337

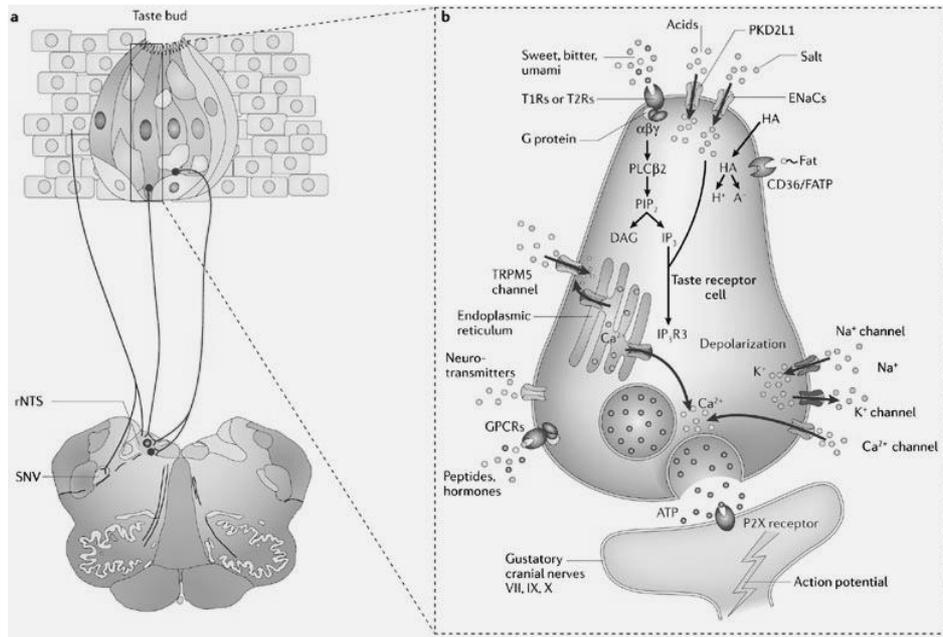


그림 2. 미각 수용 체세포와 미각신경 사이의 신호전달 모식도(7)

보인다.

전자코·전자혀의 산업적 활용

전자코·전자혀 개발은 2가지 방식으로 진행되고 있다. 먼저 생체물질인 수용체 또는 효소를 활용하는 방법과 생체물질을 사용하지 않는 방법이 있다. 먼저 생체물질을 사용하지 않는 전자코·전자혀에서 사용되는 센서는 압전기, 전기화학, 비색, GC/MS 기반 센서로 크게 4종으로 분류할 수 있다.

압전기 센서는 센서의 공명을 통해 물질이 흡착되는 원리로 전자혀보다는 전자코에 많이 사용되고 있으며 사과, 포도, 토마토 품질 측정 등에 이용되고 있다(8,9). 전기화학 센서는 전극에서 일어나는 산화환원 반응을 통해 전류 변화를 측정하여 가스 농도를 감지하는 방법이다. 비색 센서는 전자기파와 물질의 상호작용을 측정하는 방법으로 fluorescence, reflection, absorbance 등을 분석한다. 가격이 저렴하고 사용법이 간단하여 선택성이 좋은 장점이 있으나(10), 센서의 내구성과 결과의 왜곡 같은 한계가 있다(11). GC/MS 기반 센서는 신속하고 비파괴적인 장점을 가지고 활용 영역이 점차 넓어지고 있다. 식품의 원산지 판별, 저장성 예측에 활용되고 있다.

생체물질을 활용하는 방법에는 효소반응을 이용하는 방법과 수용체를 활용하는 방법이 있다. 현재까지는 주로 효소반응을 이용하거나 항원-항체 반응을 이용한 센서가 이용되고 있다. 수용체를 이용하는 방법은 연구개발 중이나 실용화를 이루지 못하고 있다.

전자혀에서는 주로 전기화학 센서를 활용하고 있어 측정이 쉽고 민감도가 높은 장점이 있으나 분석 물질이 제

한적이다. 최근에는 전자코와 전자혀를 연결한 연구가 시도되고 있다.

전자코 센서를 이용한 식품분석에는 식품공정 모니터링과 관련하여 포도, 블랙티, 커피에 적용되었으며(12-14), 육류품질관리, 생선의 신선도, 올리브유 분석에도 사용되었다. 또한, 위스키, 보드카, 참기름의 진위판별에도 활용되었다(15,16). 최근에는 일회용 속도측정 센서가 ripeSense사에서 개발되어 과일이 숙성되면서 발생하는 휘발성 성분에 의해 센서의 색이 변하여 포장지에 적용할 경우 과일이 익은 정도를 쉽게 알 수 있는 기술이 상용화되었다. 식품에 활용되는 전자코는 표 1에 정리된 바와 같이 다양한 분야에 적용되고 있음을 알 수 있다. 전자혀는 우유, 와인, 맥주 공정 중 모니터링에 활용되며(17-19), 꿀, 요구르트의 진위를 판별하는 곳에서도 사용되었다(20,21).

이처럼 전자코·전자혀는 산업, 특히 식품산업에 매우 필요하며 활용 가능성이 높다. 그러나 앞서 언급된 복잡한 신호를 해석하기 위해서는 먼저 뇌의 활성화와 사람이 느끼는 인지의 상관성 분석이 필요하다. 최근 fMRI와 MEG를 활용하여 뇌의 활성화 지도 작업이 진행 중이며 이를 바탕으로 뇌의 활성화 부위와 후각·미각 신호와의 관계 해석이 이루어져야 한다. 나아가 식품을 포함한 다양한 물질의 성분분석 및 관능적 평가가 동시에 이루어져 다양한 성분이 섞였을 때 인지되는 후각·미각과의 비교를 통해 객관적인 평가 기준이 마련되어야 할 것이다. 이를 위해 MEG, fMRI와 같이 고가의 장비와 전문인력이 필요한 연구보다는 EEG를 활용한 방법을 이용하여 많은 대상자를 포함하여 정보를 빠르고 쉽게 분석할 수 있는 연구가 진행되어야 할 것이다.

표 1. 식품 적용 전자코 활용(15)

application	sample	object of investigation	type of e-nose
food process monitoring	grape wine	discrimination of the sequential stages of fermentation	AromaScan A32S: 32 CP
	Australian red wine	monitoring of wine spoilage caused by yeasts	HP 4440 FOX 3000
	Iberian ham	determination of the degree of spoilage in ham	tin oxide sensors
	milk, cheeses	monitoring of the smell intensity during fermentation	SMart Nose: MS
	Cencara tomatoes	monitoring of the dehydration process	Air Sense: 10 MOS
	grapes	monitoring of the dehydration process in postharvest grapes	8 QMB
	black tea	determination of the optimal duration of fermentation	8 MOS
evaluation of food freshness	cod filets	discrimination of samples based on different storage times	LibraNose FreshSense
	smoked Atlantic salmon (fresh, frozen)	classification of spoilage in samples at different temperatures	FishNose: 6 MOS
	fresh tilapia filets	discrimination of filets based on storage times	eNose 4000: 12 CP
	Argentine hake	freshness evaluation in samples	MOS
	shrimp, cod roe		MOSFET
	oysters	predictive modeling of smell changes in shells	EEV model 4000: 12 CP
	sardines	freshness evaluation in sardines	6 MOS
	fat-free milk	predicting the shelf life of different milk	MS
		detection of bacteria and yeasts causing spoilage	BH-114: 14 CP
veal, cod	discrimination of samples based on storage	8 QMB	
testing the shelf life of food	Pink Lady and Jonagold apples	discrimination of varieties ripeness level, shelf life and storage conditions	21 MOS, 12 QMB, MS LibraNose
	tomatoes (<i>Lycopersicon esculentum</i> Mill.)	discrimination of ripeness level, shelf life, varieties, prediction of quality characteristics of fruit	LibraNose: 5 QMB, MS, PEN-2: 10 MOS
	peaches, pears, apples	classification of fruit samples at ripeness levels and varieties	PEN-2, tin oxide sensor
	mandarin oranges	testing shelf life during storage	PEN-2: 10 MOS
	Crescenza cheese	determination of maximum shelf life at different temperatures	NST 3320
	milk	determining the influence of storage time on milk	FOX 4000
authentication of food	tequila, whiskey, vodka	discrimination of four types of beverages	FOX 4000
	Chinese spirits	discrimination of eight types of spirits	PEN3
	Italian wines	detection of falsification	4 thin-film MOS
	wines	classification of wine in relation to the botanical and geographical origin, aging process, and method	MOS, SAW MS
	wines	detection of the falsification	FOX 4000
	beer	identification of beer brand	lab-made: 12 CP
olive oil	detection of falsification	FOX 3000: 12 MOS	

전자코·전자혀의 활용을 위해서는 수용체 기반 연구, 성분분석 연구, 관능평가 연구가 동시에 진행되어야 하며 많은 정보를 바탕으로 복합적 신호의 정밀한 해석이 필요하다. 이는 전자코·전자혀의 무한한 활용 가능성에 한발 다가서는 연구가 될 것이며 궁극적으로 산업계와 국민 건강에 이바지할 것으로 기대된다.

참고문헌

- Kang NN, Koo JH. 2012. Olfactory receptors in non-chemosensory tissues. *BMB Rep* 45: 612-622.
- MONELL CENTER Home Page. 2016. http://www.monell.org/research/anosmia/how_smell_works.
- Restrepo D, Teeter JH, Schild D. 1996. Second messenger signaling in olfactory transduction. *J Neurobiol* 30: 37-48.
- Leffingwell & Associates Home Page. 2016. http://www.leffingwell.com/top_10.htm.

5. IAL Consultants. 2014. An overview of the global flavours and fragrances market. 9th ed.
6. 식품의약품안전처. 2014. 2014년 식품 및 식품첨가물 생산 실적(승인번호: 제14503호).
7. Simon SA, de Araujo IE, Gutierrez R, Nicolelis MA. 2006. The neural mechanisms of gustation: a distributed processing code. *Nat Rev Neurosci* 7: 890-901.
8. Saevels S, Lammertyn J, Berna AZ, Veraverbeke EA, Di Natale C, Nicolai BM. 2003. Electronic nose as a non-destructive tool to evaluate the optimal harvest date of apples. *Postharvest Biol Technol* 30: 3-14.
9. Sinesio F, Di Natale C, Quaglia GB, Bucarelli FM, Moneta E, Macagnano A, Paollesse R, D'Amico A. 2000. Use of electronic nose and trained sensory panel in the evaluation of tomato quality. *J Sci Food Agric* 80: 63-71.
10. Dymerski TM, Chmiel TM, Wardencki W. 2001. Invited review article: An odor-sensing system-powerful technique for foodstuff studies. *Rev Sci Instrum* 82: 111101.
11. Ciosek P, Wróblewski W. 2007. Sensor arrays for liquid sensing-electronic tongue systems. *Analyst* 132: 963-978.
12. Santonico M, Bellincontro A, De Santis D, Natale CD, Mencarelli F. 2010. Electronic nose to study postharvest dehydration of wine grapes. *Food Chem* 121: 789-796.
13. Chen Q, Liu A, Zhao J, Ouyang Q. 2013. Classification of tea category using a portable electronic nose based on odor imaging sensor array. *J Pharm Biomed Anal* 84: 77-83.
14. Rodríguez J, Durán C, Reyes A. 2010. Electronic nose for quality control of Colombian coffee through the detection of defects in "Cup Tests". *Sensors(Basel)* 10: 36-46.
15. Śliwińska M, Wiśniewska P, Dymerski T, Namieśnik J, Wardencki W. 2014. Food analysis using artificial senses. *J Agric Food Chem* 62: 1423-1448.
16. Kiani S, Minaei S, Ghasemi-Varnamkhasti M. 2016. Review: Fusion of artificial senses as a robust approach to food quality assessment. *J Food Eng* 171: 230-239.
17. Esbensen K, Kirsanov D, Legin A, Rudnitskaya A, Mortensen J, Pedersen J, Vogensen L, Makarychev-Mikhailov S, Vlasov Y. 2004. Fermentation monitoring using multi-sensor systems: feasibility study of the electronic tongue. *Anal Bioanal Chem* 378: 391-395.
18. Rudnitskaya A, Schmidtke LM, Delgadillo I, Legin A, Scolaryd G. 2009. Study of the influence of micro-oxygenation and oak chip maceration on wine composition using an electronic tongue and chemical analysis. *Anal Chim Acta* 642: 235-245.
19. Kutyła-Olesiuk A, Zaborowski M, Prokaryn P, Ciosek P. 2012. Monitoring of beer fermentation based on hybrid electronic tongue. *Bioelectrochemistry* 87: 104-113.
20. Escriche I, Kadar M, Domenech E, Gil-Sánchez L. 2012. A potentiometric electronic tongue for the discrimination of honey according to the botanical origin. Comparison with traditional methodologies: Physicochemical parameters and volatile profile. *J Food Eng* 109: 449-456.
21. Wei Z, Wang J, Jin W. 2013. Evaluation of varieties of set yogurts and their physical properties using a voltammetric electronic tongue based on various potential waveforms. *Sens Actuators B* 177: 684-694.