

Digitalisering af lugt

Hvordan kan elektroniske næser reducere madspild?

Af Roana de Oliveira Hansen, lektor, NanoSYD, Syddansk Universitet

Sammenlignet med andre pattedyr har den menneskelige lugtesans begrænsninger med hensyn til følsomhed og gentagelighed. Alligevel er brugen af den menneskelige lugtesans den mest anvendte metode til vurdering af fødevarerfriskhed i industrien og detailhandlen. Men nu er elektroniske næser dukket op som en banebrydende teknologi til at digitalisere information om fødevarerfriskhed på tværs af forsyningskæden.

Næser og fødevarerfriskhed

Siden oldtiden har lugtesansen hjulpet mennesker med at vurdere den øjeblikkelige egnethed af fødevarer. Menneskenæser kan genkende et bredt spektrum af dufte, men er begrænsede med hensyn til lugtkvantificering. Derfor kan vi ikke forudsige, hvornår maden vil blive dårlig. I vores moderne verden bliver mad ikke længere indsamlet og forbrugt lokalt, men produceres ofte langt væk og transporteres til sin endelige destination. Høst, opbevaring, transport, forarbejd-

ning... det tager alt sammen tid, og den unikke information om produktets friskhed går tabt et sted i processen.

Fødevarerproduktion står for omkring 33 procent af de samlede kulstofemissioner. Alligevel bliver mellem 33 og 50 procent af al mad, der produceres, spildt. Hvis madspild var et land, ville det være den tredjestørste udleder af CO₂¹. En af hovedårsagerne til madspild er manglen på værktøjer til præcist at bestemme produktets friskhed. I dag kan restauranter, fødevarerbutikker og supermarkeder kun stole på enten menneskenæser eller den trykte etiket for skøn over holdbarhedsperioden for kød og fisk.

Trykte "bedst før"-datoer på kød-/fiskestykker er baseret på punktuelle mikrobielle og sensoriske analyser eller forudsigelseskurver for holdbarhed, der skønner udløbsdatoen. For at være på den sikre side bliver alle produkter mærket med en mere konservativ "bedst før"-dato end nødvendigt. Denne meget generelle og konservative tilgang til holdbarhed resulterer i massivt unødvendigt spild - både i industrien og nedad i værdikæden. Digitalisering af dufte og information om fødevarerfrisk-

hed kan være afgørende for at reducere madspild.

Elektroniske næser

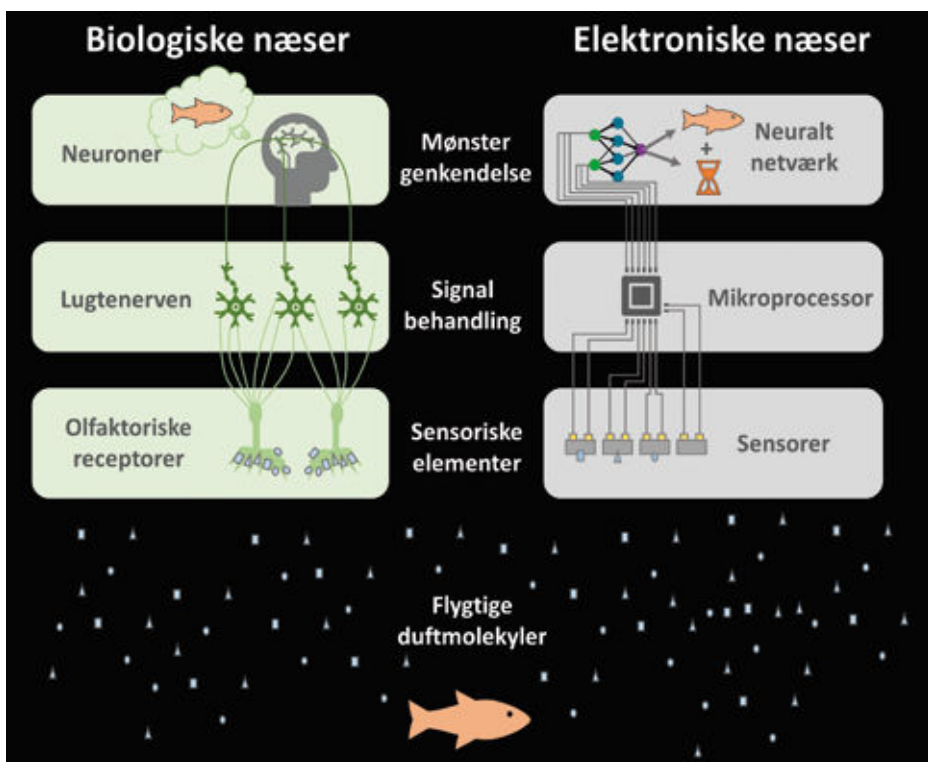
Har du nogensinde målt en lugt? Kan du afgøre, om en lugt bare er dobbelt så stærk som en anden? Kan du måle forskellen mellem to lugte og en anden? Det er meget tydeligt, at vi har mange forskellige slags lugte, lige fra duften af violer og roser til asafoetida. Men indtil du kan måle deres lighed og forskelle, kan du ikke have nogen videnskab om lugt. Hvis du er ambitiøs med at finde en ny videnskab, så mål en lugt.

Alexander Graham Bell, 1914

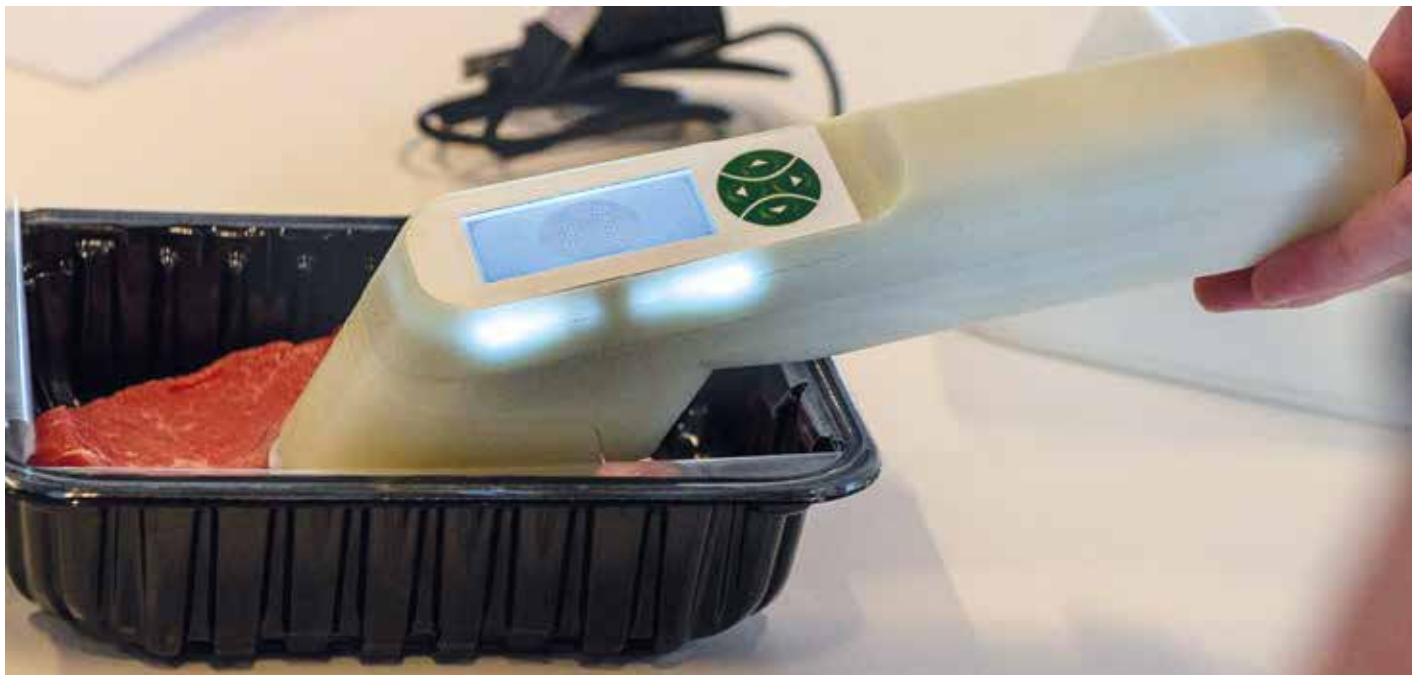
Siden Bells udtalelse i 1914 er der sket en omfattende udvikling på området for elektroniske næser. Ligesom biologiske næser, benytter elektroniske næser sig af sensoriske elementer, hvor sensoroverfladerne er kemisk funktionaliserede for at opnå høj affinitet til flygtige analyteter. Når aromakomponenterne binder sig til sensoroverfladerne, skaber de en elektronisk signaludgang. Signalet behandles enten af den olfaktoriske bulb (i tilfælde af biologiske næser) eller af en mikroprocessor (i tilfælde af elektroniske næser). Neuroner eller neurale netværk kan genkende mønstre og associere disse mønstre med deres lagrede hukommelsesdatabaser.

Friskhed af kød og fisk er direkte relateret til en karakteristisk lugt. Årsagen til denne lugt er tilstedeværelsen af forbindelsen cadaverin, en flygtig biogen amin, der produceres ved oxidation af kød-/fiskeprotein. Koncentrationen af cadaverin stiger på en forudsigelig måde over tid afhængigt af kødtypen. Måling af cadaverin-koncentrationen i kød og fisk muliggør præcise forudsigelser af udløbsdatoer og er en velegnet opgave for elektroniske næser [1-7].

I dag findes der et bredt udvalg af sensorteknologier, der muliggør detektion af flygtige kemiske forbindelser. Dette inkluderer blandt andet metaloxid-, mikrocantilever-, kvarts-krystal mikrobalance, overfladeakustikbølge- og optiske sensorer. Sensoroverfladerne kan kemisk funktionaliseres for at opnå selektiv affinitet til specifikke kemiske forbindelser. Når duftmolekyler binder sig til sensoroverfladen, forårsager det



Figur 1. Illustration af konverteringen af et kemisk input til et elektronisk output



Håndholdt måleudstyr til digital måling af cadaverin.

en ændring i sensorens fysiske egenskaber. Ændringerne kan være i elektrisk ledningsevne, masse, viskoelastiske egenskaber, energi eller lysabsorption. Ved at bruge sensortransducere og passende elektronik kan man konvertere disse ændringer til elektriske signaludgange. Disse signaler behandles derefter yderligere af en mikroprocessorenhed (figur 1).

Duftgenkendelsestræning

Et nyfødt menneske er udstyret med lugtreceptorer, olfaktoriske bulbe og neuroner. Derfor kan en baby lugte fisk, en blomst eller mælk. Imidlertid kan barnet med tiden, læring og association af lugtoplevelsen med andre sanser, på et tidspunkt genkende, at denne lugt svarer til denne genstand. Den samme proces forekommer for en elektronisk næse. Machine learning er den teknik, der bruges til at træne den elektroniske næse til at genkende forskellige dufte. En fordel ved elektroniske næser er, at lugtkoncentrationen kan kvantificeres og inkluderes i genkendelsesalgoritmen, hvilket for eksempel muliggør forudsigelse af udløbsdatoer for fødevarer. Menneskelige sanser er primært kvalitative, og begrænsninger med hensyn til kvantificering hindrer forudsigelse.

Fremtiden

Håndholdte elektroniske næser til kvantificering af cadaverinniveauer er nu på markedet². Sensorer bliver trænet til at genkende og forudsige udløbsdatoer for en bred vifte af kød- og fisketyper³. Når restauranter og supermarkeder er i tvivl

Logistikken kan optimeres for at sikre, at produkter med kortest holdbarhed forbruges først, hvilket også kan bidrage til at reducere mængden af madspild

om produktets friskhed, kan de bruge en sådan elektronisk næse til øjeblikkeligt at kvantificere det. Når tvivlen er fjernet, vil mere af den producerede mad ende på en tallerken i stedet for i en skraldespand.

Ved at digitalisere information om fødevarers friskhed på tværs af forsyningskæden, kan logistikken desuden optimeres for at sikre, at produkter med kortest holdbarhed forbruges først, hvilket også kan bidrage til at reducere mængden af madspild.

Denne artikel er baseret på forskningsarbejde gennemført i projektet Precise, der har modtaget støtte fra European Regional Development Fund Interreg Deutschland-Danmark (Bevilingsnr. 03-2.3-22 1).

E-mail:
Roana de Oliveira Hansen:
roana@mci.sdu.dk

Referencer

- Alexi, N. *et al.* Novel cadaverine non-invasive biosensor technology for the prediction of shelf life og modified atmosphere packed port outlets. *Meat Sci* **192** (2022).
- Wang, Y. *et al.* Micro-cantilevers for optical sensing of biogenic amines. *Microsystem Technologies* (2017) doi:10.1007/s00542-016-3257-9.
- Costa, C.A.B. *et al.* Meat and fish freshness evaluation by funtionalized cantilever-based biosensors. *Microsystem Technologies* **26**, (2020).
- Mamou, D. *et al.* Surface modification enabling reproducible cantilever functionalization for industrial gas sensors. *Sensors* **21**, (2021).
- Nsubuga, L. *et al.* Gas Adsorption Response of Piezoelectrically Driven Microcantilever Beam Gas Sensors: Analytical, Numerical, and Experimental Characterizations. *Sensors* **23**, (2023).
- Alexi, N. *et al.* Potential of novel cadaverine biosensor technology to predict shelf life of chilled yellowfin tuna (*Thunnus albacares*). *Food Control* **119**, (2021).
- Korsa, M.T. *et al.* Optimizing piezoelectric cantilever design for electronic nose applications. *Chemosensors* **8**, 1-12 (2020).

Cadaverin, $H_2N-(CH_2)_5-NH_2$, eller *1,5-pentandiamin*, er en særdeles ildlugtende forbindelse. Cadaverin dannes sammen med putrescin, $H_2N-(CH_2)_4-NH_2$, *1,4-butandiamin*, i kød ved nedbrydning af aminosyrerne hhv. lysin og ornithin. Putrescin og cadaverin blev første gang beskrevet i 1885 af den tyske fysiker Ludwig Brieger (1849-1919).