

# Høst af ressourcer: Forvandling af affald til proteiner

Kan organisk affald blive til proteinfoder af god kvalitet?

Af Irini Angelidaki<sup>1</sup>,  
Pernille Rose Jensen<sup>2</sup> og  
Sonia Mohamadnia<sup>1</sup>

<sup>1</sup> DTU Kemiteknik

<sup>2</sup> DTU Health

Rester fra aftensmaden, gammel mugen mad som har ligget lidt for længe i køleskabet, gammelt brød, gamle kaffefiltre mv. havner hver dag i vores skraldeposer. Disse rester smides ud og udgør en belastning i vores samfund. Men med en ny teknologi kan vi i stedet omdanne organisk affald til nyttige, nærende proteiner, som kan bruges til foder til husdyr, eller endda til menneskeføde.

## Behov for proteiner

Verdens befolkning og velstanden er stigende og der er et presserende behov for at finde måder at producere proteinholdig mad med mindre klimaaftryk. WHO forventer, at selv med ændringer til mere vegetariske præferencer vil den årlige kødproduktion nå op på 376 millioner tons i 2030 [1]. Derved stiger behovet for dyrefoder, og det forudsiges, at den stigende andel vil komme fra industrivirksomheder i stedet for traditionelle landbrugssystemer, hvilket forventes at medføre et betydeligt behov for foder ingredienser [2]. I Danmark bruges cirka 75 procent af de landbaserede afgrøder som foder i svine-, kvæg- og hønsefarme [2]. Desuden importerer Danmark årligt 1,5 millioner tons sojaskrå til foder fra Argentina og Brasilien, ofte fra skovryddede områder.

## Mikroorganismer kan være løsningen

Der findes trillioner af mikroorganismer i verden. Langt den største andel af dem er gode nyttige mikroorganismer, som kan hjælpe med at reducere forurening, forbedre jordens frugtbarhed, reducere tab af biodiversitet, og ikke mindst at omdanne affald og landbrugs restprodukter til nyttige produkter. Mikrobielle teknologier udgør et enormt



Foto: Wikimedia Commons

potentiale til at konfrontere store biosfæreudfordringer.

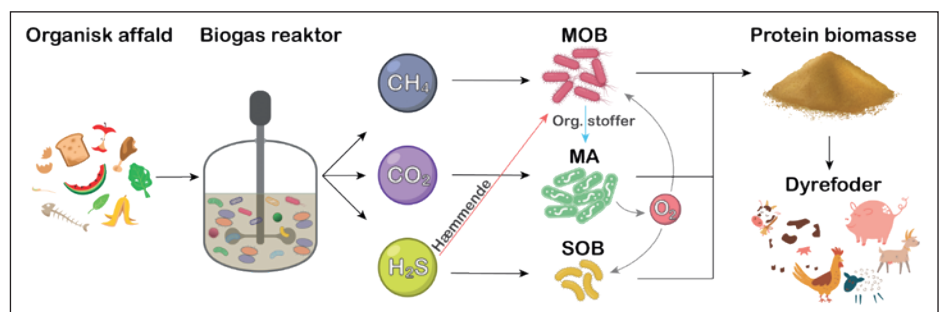
Mikroorganismer kan være en rigtig god proteinkilde. Mikroorganismer, der er egnede som proteinkilde, kan tilhøre svampe, alger og bakterier. Specielt bakterier er velegnede som proteinkilde på grund af deres hurtige vækstrater, høje proteinindhold, attraktive aminosyresammensætning med et højt indhold af essentielle aminosyrer såsom cystein, leucin, isoleucin, lysin, methionin o.a. og har tillige lavt fedtindhold. Til gengæld har de et højt nukleotidindhold, som er et minus. Men de kan med fordel anvendes som dyrefoder. Dermed kan man begrænse brug af soja og andre proteinholdige afgrøder, som har et højt miljøaftryk.

Som det er nu, bliver madaffald

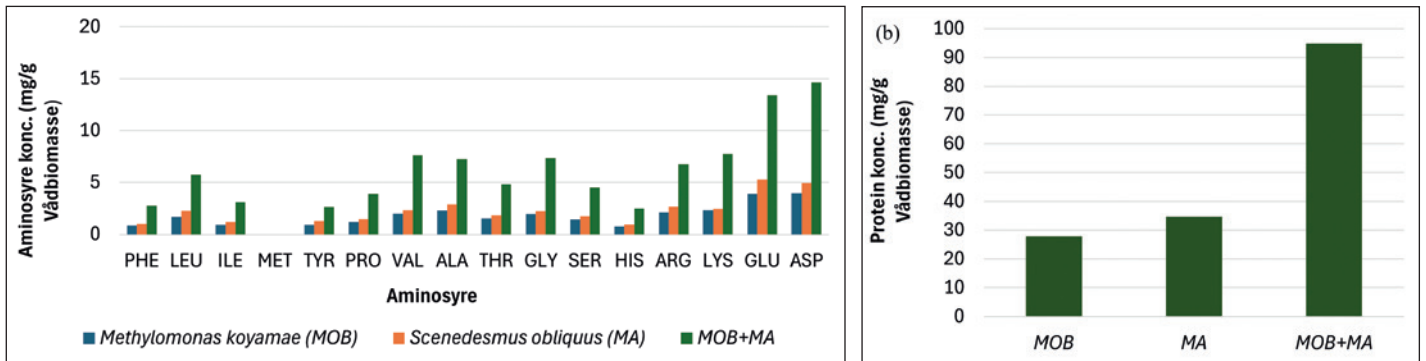
som regel forbrændt sammen med restaffald. Dermed udnytter man højest affaldets energiindhold, hvorimod nyttige næringsstoffer som kvælstof og fosfor går tabt. Alternativt bliver det organiske affald ført til et biogasanlæg og bliver delvis omsat til biogas, som også bruges energimæssigt, men dog ofte med udnyttelse af næringsstoffer i landbruget. Der pågår dog i dag en grøn omstilling, hvor energiforbrug i større og større grad bliver dækket af andre og ofte billigere vedvarende teknologier som for eksempel vind eller sol. Derfor kan det organiske materiale bruges på en mere optimal og værdifuld måde, der adresserer bæredygtig og grøn omstilling bredere end energisektoren. I stedet for at anvende biogassen energimæssigt, kan den anvendes til at fodre mikroorganismer, som har et højt og værdifuldt proteinindhold. Fordelene ved denne udnyttelse af organiske affaldsressourcer er selvfølgelig endnu større, hvis de ikke i forvejen anvendes energimæssigt og i stedet deponeres (som det stadig forekommer i mange lande) med potentiel emission af den kraftige klimagas metan.

## I en teknologi udviklet på DTU omdannes biogas til mikrobielt protein

Biogassen består overvejende af metan (CH<sub>4</sub>), kuldioxid (CO<sub>2</sub>) og lidt svovlbrinte (H<sub>2</sub>S). Der anvendes tre mikrober,



Figur 1. Illustration af sam-dyrkningsprincip; MOB: metan-oxidierende bakterier; MA: mikroalger; SOB: sulfid-oxidierende bakterier.



Figur 2. a) Aminosyreprofil i monodyrkning af *Scenedesmus obliquus* (MA), *Methylomonas koyamae* (MOB) og sam-dyrkning (MOB+MA), b) totalt proteinindhold i MOB, MA og MOB+MA.

som kan udnytte de enkelte bestanddele af biogas som deres energi og kulstofkilde. Metan-oxiderende bakterier (MOB: forbruger metan), mikroalger (MA: udnytter CO<sub>2</sub>) og sulfid-oxiderende bakterier (SOB: forbruger hydrogensulfid). Disse tre mikroorganismer lever i synergi og hjælper hinanden i en slags harmonisk sameksistens. Mikroalger forbruger CO<sub>2</sub>, hvor de udskiller O<sub>2</sub>, som hjælper de metan-oxiderende og sulfid-oxiderende bakterier i deres oxidationsproces. SOB bidrager også til en god aminosyresammensætning med højt indhold af svovlholdige aminosyrer (eg. cystein og methionin), som er vigtige antioxidant.

Der er flere synergistiske fordele ved sam-dyrkning af MOB-MA-SOB, som kan ses i figur 1; MA forsyner MOB og SOB med O<sub>2</sub>, MOB leverer organiske forbindelser til MA, og SOB reducerer hydrogensulfid-indholdet, som kan hæmme MOB.

Forsøgene på DTU har vist, at kombinerede systemer af MA-MOB har fordele sammenlignet med monokulturer. For eksempel resulterer det i højere celledensitetsudbytter og bedre proteinindhold og aminosyre-kvalitet (figur 2 og figur 3). Baseret på vores foreløbige

undersøgelser observerede vi højere maksimal vækst af MA i blandingskultur med MOB sammenlignet med monodyrkning af MA.

Med kernemagnetisk resonans spektroskopi (NMR) måling kunne vi konstatere, at MOB leverede nogle mellemprodukter til MA, som lynhurtigt blev forbrugt af MA og som klart fremmede væksten af MA. Det viser sig, at ved at kontrollere O<sub>2</sub>-niveauet kan man styre udbytte og omsætningsveje for MOB, som kan frigive forskellige sekundære metabolitter (for eksempel myresyre, eddikesyre, ravsyre, æblesyre og andre organiske syrer), som befordrer hurtigere MA vækst.

I et sam-dyrkningssystem af MOB-MA giver mikroalger en kontinuerlig ilttilførsel gennem fotosyntese, som MOB bruger til metan-oxidation. Denne proces øger produktionen af mellem-metabolitter som eddikesyre og myresyre. Figur 3a viser produktionen af opløste organiske forbindelser i seks prøver af mikroalger og MOB i mono- og sam-dyrkningssystemer under forskellige iltkoncentrationer. Under alle forhold producerer MOB mere eddike- og myresyre i blandingskultur end i en ren MOB-kultur. Disse mellemproduk-

ter frigivet af MOB, *M. koyamae*, bruges af mikroalgen *S. obliquus* til at vokse hurtigere. Det kan tydeligt ses, at væksten af MA (*S. obliquus*) i blandingskultur (gul linje i figur 3b) er højere end i monodyrkning af mikroalger (rød linje i figur 3b).

På DTU udvikler vi også metoder ved hjælp af elektrokemi til at ekstrahere næringsstoffer fra det afgassede affald for at bruge dem til at dyrke de mikrobielle proteiner. Dermed bliver flere komponenter fra affald recirkuleret på en bæredygtig måde.

## Støtte og tak

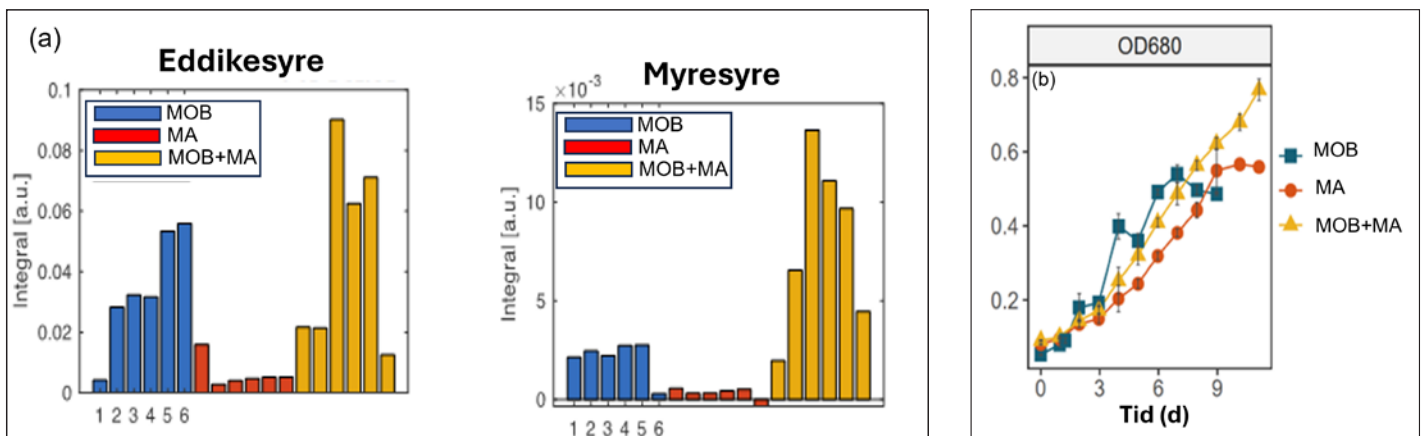
Projektet (PROFIT) er finansieret af Innovationsfond Danmark. Udover DTU deltager Københavns Kommune, Amager Ressource Center, SDU, RUC, Knowledge Hub Zealand og Unibio i projektet.

E-mail:

Irina Angelidaki: iria@kt.dtu.dk

## Referencer

1. OECD-FAO Agricultural Outlook 2021-2030.
2. <https://www.globalagriculture.org/report-topics/meat-and-animal-feed.html>.



Figur 3. a) Mængde af eddikesyre og myresyre bestemt ved hjælp af NMR-spektroskopi, i monodyrkning af *Scenedesmus obliquus* (MA), *Methylomonas koyamae* (MOB) og sam-dyrkning (MOB+SM), b) vækstprofil for mono- og sam-dyrkning bestemt ved måling af optiske densitet (OD).