

# Udnyttelse af biernes bakterier til udvikling af innovative plantebaserede fødevarer

Forskere undersøger, hvordan mælkesyrebakterier fra honningbier kan bruges til at udvikle næste generation af plantebaserede fødevarer. Ved hjælp af avanceret droplet microfluidics kan tusindvis af bakteriestammer hurtigt screenes for deres evne til at fermentere plantebaserede råvarer og producere værdifulde vitaminer og bioaktive forbindelser. Målet er at forbedre smag, tekstur og ernæringsværdi i plantebaserede produkter og samtidig skabe mere bæredygtige fødevarer. Biernes unikke mikrobiom kan dermed åbne døren til innovative fødevarer med naturligt forhøjet vitaminindhold.

Af Claus Heiner Bang-Berthelsen og Hang Xiao, Fødevareinstituttet, Danmarks Tekniske Universitet

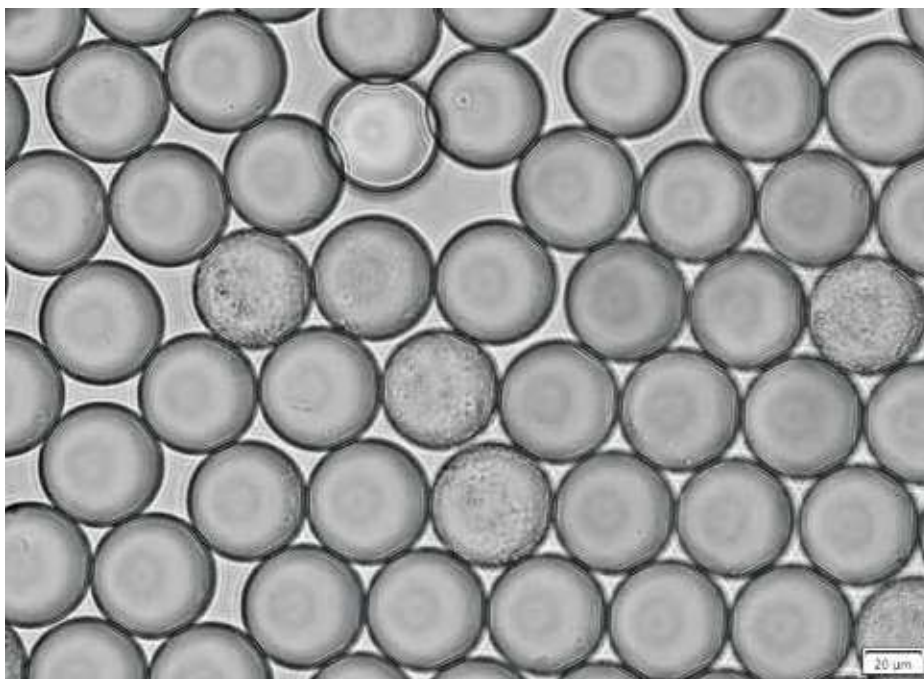
Bier huser i naturen et overraskende rigt mikrobielt samfund, herunder mange unikke mælkesyrebakterier (LAB) i deres tarmsystem, som naturligt er tilpas-

set plantebaserede miljøer. I dette studie undersøgte vi potentialet for at anvende bi-relaterede bakterier til udvikling af nye plantebaserede fødevarer, der kunne understøtte den grønne omstilling af vores fødevarer. Ved hjælp af avanceret droplet microfluidics teknologi identificerede vi mælkesyrebakterier fra bier, som er i stand til naturligt at producere vitamin B2 (riboflavin) under fermentering af soja og andre bælgrugter.

Dette gør det muligt at fremstille fermenterede drikke beriget med vitamin B2 uden behov for tilsætning af vitaminer. Genomanalyser afslørede desuden mutationer, der er forbundet med reguleringen af vitaminbiosyntesen. Arbejdet demonstrerer en high throughput-metode til identifikation af mælkesyrebakterier fra bier og andre naturlige kilder, og understreger deres potentiale til at bidrage til udviklingen af mere næringsrige og bæredygtige plantebaserede fødevarer.

## Fermentering som redskab til bedre plantebaserede fødevarer

Markedet for plantebaserede alternativer til mejeriprodukter vokser stadigt, men ikke så hurtigt som ønsket. Dette kan skyldes flere ting, såsom smag,



Figur 1. Bakterieceller dyrket i dråber. Hver lille dråbe indeholder en enkelt bakteriecelle, som vokser og udvikler sit eget karakteristiske udseende over tid. Ved at skabe tusindvis af disse miniatremiljøer kan forskere dyrke og studere mange mikroorganismer parallelt, hvilket afslører skjult mikrobiel diversitet og hjælper med at opdage sjældne bakteriestammer.

Foto: Unsplash.



folks vaner samt den ernæringsmæssige profil, som traditionelle mejeriprodukter tilbyder, herunder essentielle vitaminer og aminosyrer. B2-vitamin er et eksempel herpå. Da mennesker ikke selv kan syntetisere B2-vitamin, skal vitaminet tilføres gennem kosten, hvor kød- og mejeriprodukter traditionelt er vigtige kilder. Mangel på B2-vitamin kan føre til træthed, inflammation, blodmangel og neurologiske symptomer.

I dag tilsættes vitaminer ofte til plantebaserede drikke under produktionen. Samtidig efterspørger forbrugerne i stigende grad produkter med en såkaldt "clean label", dvs. færre tilsætningsstoffer og mere naturlige ingredienser. Her tilbyder fermentering et lovende alternativ, hvor mikroorganismer anvendes til naturligt at forbedre fødevarers ernæringsmæssige kvalitet uden behov for manuel vitaminberigelse.

### Naturen som ressource - humlebier

På DTU Fødevareinstituttet undersøgte vi vilde bier som en naturlig kilde til gavnlige mikroorganismer til fermentering af plantebaserede fødevarer. Biernes mikrobiom er overraskende rigt på planteassocierede bakterier. Fordi bier konstant er i kontakt med blomster og pollen, indeholder deres tarmmikrobiota mikroorganismer, der allerede er tilpasset plantebaserede miljøer, og kan derfor besidde interessante egenskaber, der potentielt kan forbedre plantebaserede fødevarer.

### Dråbebaseret dyrkning af mikroorganismer

For at få adgang til hele diversiteten i biernes mikrobiom anvendte vi droplet microfluidics; en teknologi hvor individuelle bakterieceller indkapsles i mikroskopiske dråber, så hver celle kan vokse uafhængigt af de øvrige. Traditionel screening af mikroorganismer bygger på dyrkning på agarplader og manuel udvælgelse af kolonier. Denne metode er arbejdskrævende og favoriserer ofte hurtigt voksende mikroorganismer.

Droplet microfluidics gør det derimod muligt at dyrke enkeltceller i separate mikromiljøer. Herved minimeres konkurrencen mellem forskellige bakterier, samtidig med at tusindvis af mikroorganismer kan dyrkes og screenes parallelt. I dette studie blev der desuden udviklet et gennemsigtet sojabaseret vækstmedium, som understøttede bakterievækst og samtidig var kompatibelt med det fluorescensbaserede detektionssystem.



Jagt på nye bakterier. Billede af bi fra Unsplash, øverst. Nederst, billede af Hang Xiao, der indsamler insekter fra naturen.





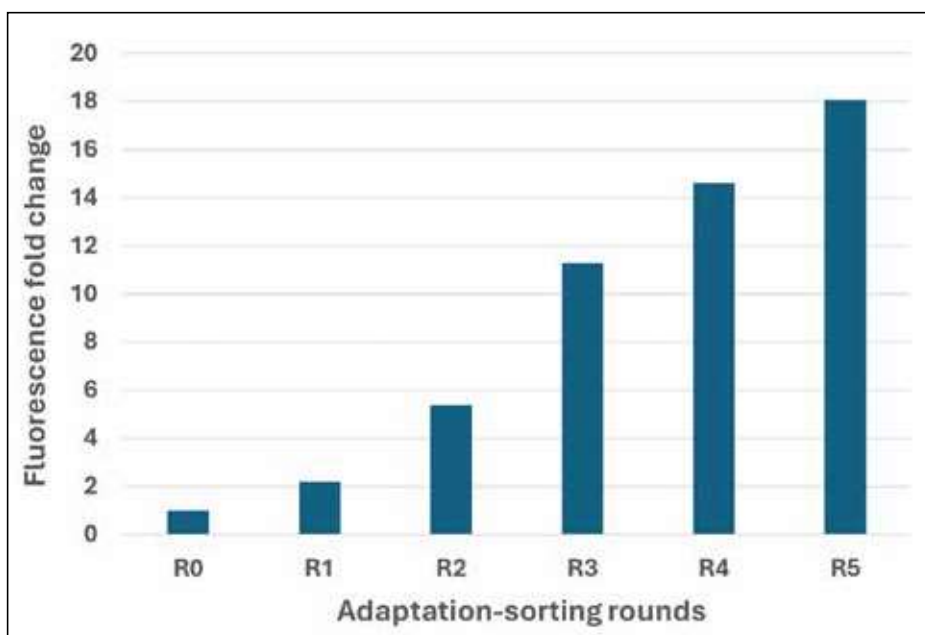
Foto: Magnific.com.

### Iterativ dråbebaseret mikrobiel adaptationspipeline

For at identificere bakterier med forhøjet B2-produktion blev roseoflavin, som er en strukturel analog til B2-vitamin anvendt som selektionsmiddel. Resistens over for roseoflavin er en veletableret strategi til at opnå fødevarer-godkendte mikroorganismer med forbedret produktion af vitamin B2.

Ved hjælp af denne strategi blev bakteriepopulationer udsat for fem successive runder af adaptation og selektion kombineret med dråbebaseret microfluidics dyrkning. Fluorescens blev anvendt som indikator for B2-vitaminproduktion, hvilket gjorde det muligt automatisk at identificere og sortere de mest produktive bakterier. Dette blev opnået ved, at dråberne passerende forbi en laser, der gjorde dråber med højt B2-vitamin-niveau fluorescerende og dette foregik med så høj hastighed, at vi kunne sortere 100 dråber per sekund.

Efter fem runder var fluorescenssignalet steget 18 gange sammenlignet med den oprindelige bakteriepopulation, ►



Figur 2. Fluorescensmåling af riboflavinproduktion gennem forskellige adaptations- og sorteringsrunder. R0 repræsenterer fluorescensen fra den oprindelige bakteriepopulation uden adaptation, mens R1-R5 angiver de fem successive adaptations- og sorteringsrunder. Foldændringer blev beregnet ved at sammenligne fluorescensværdierne fra R0 med værdierne fra henholdsvis R1-R5. Værdierne er gennemsnit af dubletmålinger, og statistisk signifikante stigninger ( $P < 0,05$ ) er markeret \*.

# Mød Metrohm på LabDays 2026

## Vi er eksperter i kemisk analyse

Metrohm  
stand nr. 17



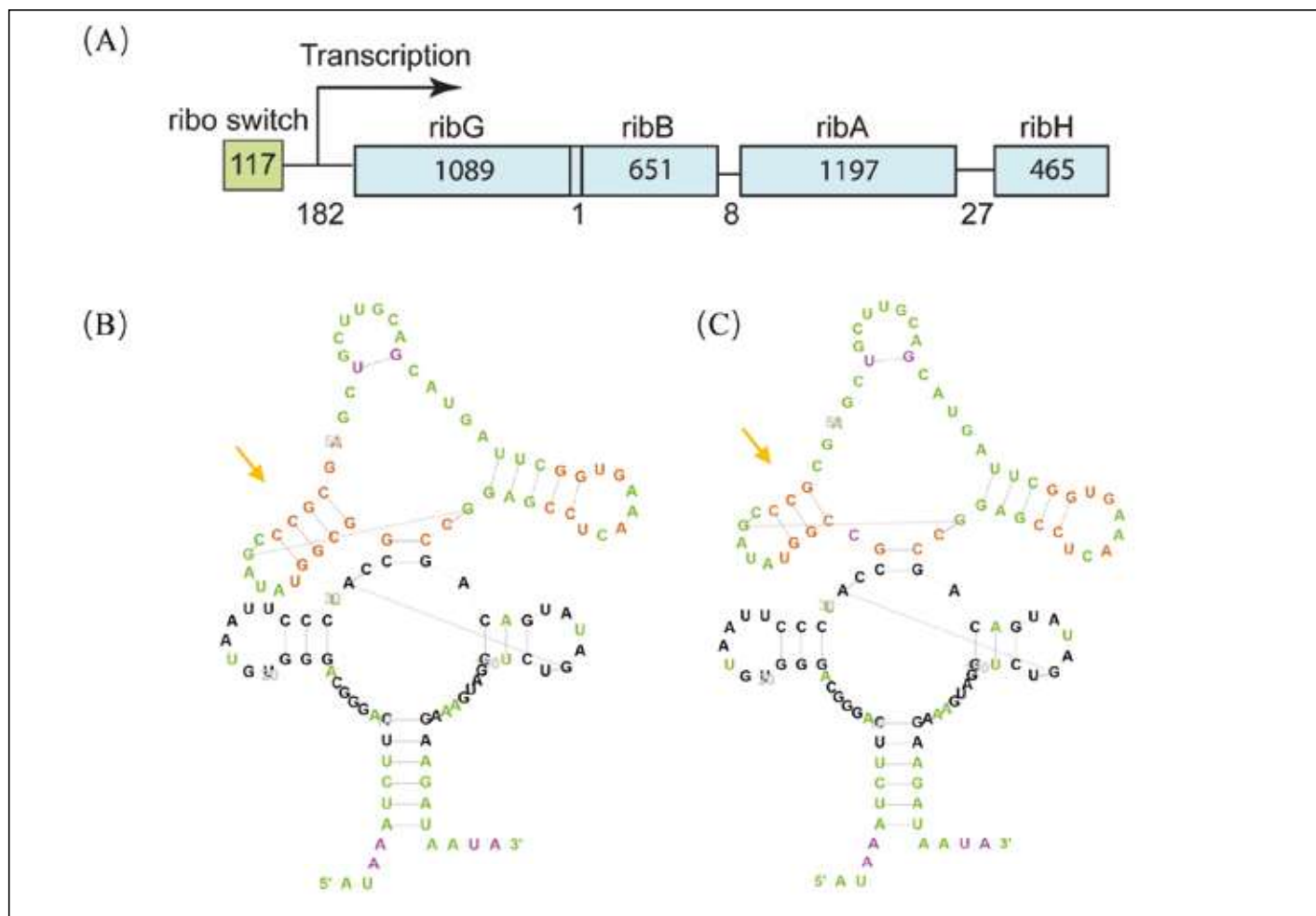
Vi ses i KB Hallen den 9. - 10. september!

Du finder vores eksperter på stand nr. 17.

Metrohm er specialister i titrering, ionkromatografi, spektroskopi, elektrokemi, pH og meget mere. Kom og få råd og vejledning og deltag i sjove konkurrencer om spændende præmier.

Se hele vores produktudvalg på [metrohm.com](https://metrohm.com)





Figur 3. Bioinformatisk analyse af SNV'er identificeret i rib-operonet. (A) Viser genorganisationen i rib-operonet. Tallene under geneerne angiver enten genlængder eller længden af mellemsekvenserne mellem geneerne. De sekundære RNA-strukturer af riboswitch-elementet i (B) referencegenomet og (C) de riboflavinoverproducerende mutanter er vist. Positionen, som er ansvarlig for den ændrede struktur, er markeret med gule pile.

hvilket demonstrerede en betydelig berigelse af B2-vitamin-producerende bakterier med stort potentiale til soja-baseret fermentering.

### Isolering af B2-vitamin overproducerende mutanter og identifikation af nøglemutationer

Blandt de isolerede kandidater udviste stammen *Lactococcus lactis* NFICC2835 særligt lovende egenskaber og som nu er blevet inkluderet i vores stammesamling NFICC. Ved fermentering af kommercielle sojadrikke producerede stammen konsekvent op til 1,23 mg/L B2-vitamin uden yderligere vitamintilsætning. Bemærkelsesværdigt var det, at stammen fortsatte med at producere B2-vitamin, selv i produkter der allerede var tilsat vitamin B2, hvilket vidner om en stabil og robust produktionskapacitet.

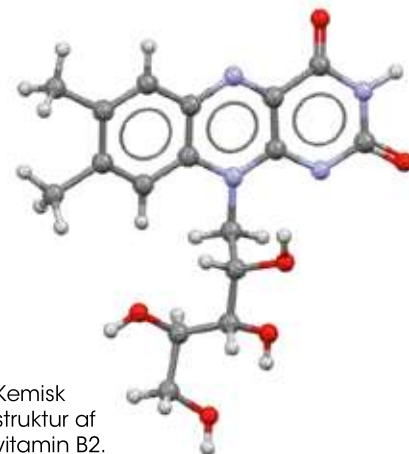
Genomsekventering afslørede flere mutationer relateret til riboflavin biosyntesen. Særligt interessant var en mutation i den såkaldte FMN-riboswitch – en

regulatorisk RNA-struktur, som normalt nedregulerer B2-vitamin-produktionen, når der er tilstrækkeligt vitamin til stede. Den identificerede mutation ser ud til at svække denne regulering, hvilket gør det muligt for bakterien at fortsætte produktionen af B2-vitamin, selv under vitaminrige forhold.

### Perspektiver for fødevarerindustrien

Studiet demonstrerer, hvordan droplet microfluidics-teknologier kan accelerere opdagelsen af funktionelle startkulturer fra naturlige ressourcer til plantebaserede fødevarer, og dette er bare et lille hjørne af de muligheder, der er med denne teknologi. I stedet for at screene tusindvis af bakterier enkeltvist kan forskere nu analysere hele mikrobielle samfund direkte under specifikke betingelser.

Ud over riboflavin (B2) vitamin produktion kan den samme arbejdsgang tilpasses til at identificere bakterier, som producerer andre ønskværdige forbindelser eller enzymer. Efterhånden som



Kemisk struktur af vitamin B2.

markedet for plantebaserede fødevarer fortsætter med at vokse globalt, kan sådanne teknologier bidrage til at mindske den ernæringsmæssige forskel mellem mejeriprodukter og plantebaserede alternativer ved hjælp af fermentering frem for berigelse.

E-mail:  
Claus Heiner Bang-Berthelsen:  
claban@food.dtu.dk