

# Van cultuur tot product: het oogsten van microalgen op industriële schaal.

Dries Vandamme, Microbiële en Moleculaire Systemen, KU Leuven Campus Kulak

Momenteel worden microalgen gekweekt in zowel ondiepe bekkens als gesloten fotobioreactoren. De open kweeksystemen kunnen ongetwijfeld verder geoptimaliseerd worden om de productie op te drijven. Maar er is vooral nood aan een efficiënte en goedkope oogsttechniek om de microalgen van het kweekmedium te scheiden om er vervolgens olie uit te extraheren.

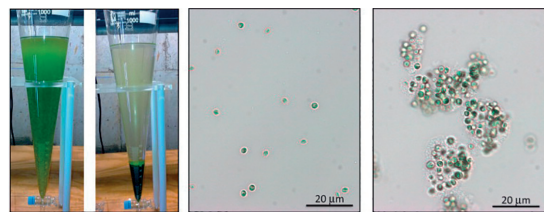
Het oogstproces is een cruciale schakel tussen het kweken en verder raffineren van de microalgen biomassa. In deze stap wordt de biomassa ontwaterd waarbij zowel de impact op de biomassakwaliteit als de potentiële contaminatie van het kweekmedium geminimaliseerd moeten worden. Bovendien hoort dit alles te gebeuren tegen een zo laag mogelijke kost.

Microalgen zijn microscopisch klein (2-30  $\mu\text{m}$ ). Ze hebben ongeveer dezelfde dichtheid als water en een negatieve oppervlakte lading. Dit alles zorgt ervoor dat zij heel stabiel in suspensie blijven. Traditioneel worden microalgen dan ook geoogst via centrifugatie, maar aangezien algenconcentraties in typische kweeksystemen behoorlijk laag zijn (0.5-3 gram per liter) vereist deze stap heel wat energie.

## Flocculatie

Als alternatief voor centrifugatie, kan ook de inductie van spontane "vlokvorming" of "flocculatie" (zie kaderstuk) ingezet worden om microalgen te oogsten uit hun kweekmedium. Via flocculatie en sedimentatie kan de biomassa ongeveer 5 tot 20 keer geconcentreerd worden op een relatieve eenvoudige, energiezuinige en dus ook goedkope manier [1] (Figuur 1). Dries Vandamme (promotie 2009) onderzocht tijdens zijn doctoraat aan het laboratorium voor Aquatische Biologie (Prof. Koenraad Muylaert) in samenwerking met het laboratorium Food and Lipids (Prof. Imogen Foubert) welke flocculatiemethoden het meest geschikt zijn voor het oogsten van microalgen [2].

Flocculatietechnieken op basis van aluminium- en ijzorzouten worden al decennia lang ingezet in de behandeling en zuivering van afvalwater. Er werd aangetoond dat electro-coagulatie-flocculatie vooral bij mariene microalgen kon leiden tot significante efficiëntiewinsten [3]. In het kader van het oogsten van microalgen zorgen deze metaalzouten echter voor contaminatie van de biomassa.



Figuur 1: Microalgen voor (links) en na (rechts) flocculatie: macro- versus microscopisch

Een andere mogelijkheid voor de inductie van flocculatie is het gebruik van polymeren. Polymeren kunnen meerdere algencellen binden via *bridging* (zie kaderstuk) en daardoor is de vereiste dosering van dit soort flocculanten veel lager. Traditionele flocculanten zoals chitosan zijn echter nog te duur voor grootschalig gebruik en zorgen ook voor contaminatie van de biomassa. Zetmeel- of cellulosegebaseerde flocculanten kunnen een oplossing bieden [4]. Dr. Dries Vandamme werkt, samen met Dr. Sam Eyley en Prof. Wim Thielemans van de Onderzoeksgroep voor hernieuwbare materialen en nanotechnologie (KU Leuven Campus Kulak), aan de ontwikkeling van pH-responsieve nanocellulosefloculanten, die geactiveerd kunnen worden door toevoeging van  $\text{CO}_2$ . Op deze manier kan flocculatie op een gecontroleerde manier geïnduceerd worden tijdens de cultivatie [5], [6]. Bovendien kunnen de flocculanten opnieuw gerecycleerd worden, wat de totale kostprijs van het oogstproces verder omlaag drukt.

In sommige omstandigheden kunnen microalgen ook spontaan flocculeren zonder enige toevoeging van externe flocculanten. Het neerslaan van magnesiumzouten bijvoorbeeld kan leiden tot flocculatie in een basisch milieu [7]. Bovendien is dit proces omkeerbaar, zodat magnesium hergebruikt kan worden als flocculant [8]. Microalgen scheiden zelf tal van organische componenten uit in het medium, en bovendien kan ook de samenstelling van de celwand wijzigen. Op dit ogenblik onderzoekt Dries Vandamme tijdens een postdoctoraal mandaat hoe deze biologische eigenschappen van microalgen het flocculatieproces beïnvloeden.

## Filtratie

Het gebruik van zowel micro- als ultrafiltratie om microalgen te oogsten kan in sommige gevallen bijkomende voordelen opleveren, zoals het recycleren van nutriënten na oogsten doordat contaminatie van het kweekmedium vermeden wordt. Tegelijkertijd wordt het energieverbruik laag gehouden, vooral bij het gebruik van “ondergedompelde” filtratiesystemen [9]. Bovendien kan membraanfiltratie zowel alleenstaand voorkomen als in een hybride systeem geïntegreerd worden met een fotobioreactor gebruikt in het kweekproces.

Aan het Centrum voor oppervlakte chemie en katalyse (Prof. Ivo Vankelecom) onderzocht men hoe drukgedrevenfiltratie over diverse membraanmaterialen kan ingezet worden voor het oogsten van verschillende algensoorten. Daarbij werd duidelijk dat er een sterke soortafhankelijkheid bestaat vooral met betrekking tot het risico op membraanvervuiling, wat leidt tot membraanbeschadiging en efficiëntieverliezen. De sleutel tot succesvolle implementatie is het verder uitwerken van processtrategieën om dergelijke membraanvervuiling te vermijden [10], [11].

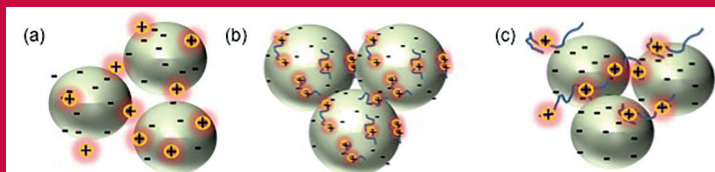
Deze verschillende interdisciplinaire onderzoekslijnen dragen bij tot de ontwikkeling van nieuwe energie- en kostenbesparende technieken voor het oogsten van microalgen. Zo kan op termijn de productie van laagwaardige materialen, zoals biobrandstoffen, uit algenbiomassa haalbaar worden.

## REFERENTIES:

- [1] D. Vandamme, I. Foubert, and K. Muylaert, “Flocculation as a low-cost method for harvesting microalgae for bulk biomass production,” *Trends Biotechnol.*, vol. 31, no. 4, pp. 233–9, Apr. 2013.
- [2] D. Vandamme, I. Foubert (sup.), K. Muylaert (sup.) (2013) *Flocculation based harvesting processes for microalgae biomass production*, KU Leuven Faculteit Bio-ingenieurswetenschappen, doctoraatsproefschrift 1105, 123pp.
- [3] D. Vandamme, S. C. V. Pontes, K. Goiris, I. Foubert, L. J. J. Pinoy, and K. Muylaert, “Evaluation of electro-coagulation-flocculation for harvesting marine and freshwater microalgae,” *Biotechnol. Bioeng.*, vol. 108, no. 10, pp. 2320–2329, 2011.
- [4] D. Vandamme, I. Foubert, B. Meesschaert, and K. Muylaert, “Flocculation of microalgae using cationic starch,” *J. Appl. Phycol.*, vol. 22, no. 4, pp. 525–530, Nov. 2009.
- [5] S. Eyley, D. Vandamme, S. Lama, G. Van den Mooter, K. Muylaert, and W. Thielemans, “CO<sub>2</sub> controlled flocculation of microalgae using pH responsive cellulose nanocrystals,” *Nanoscale*, vol. 7, no. 34, pp. 14413–14421, 2015.
- [6] D. Vandamme, S. Eyley, G. Van den Mooter, K. Muylaert, and W. Thielemans, “Highly charged cellulose-based nanocrystals as flocculants for harvesting *Chlorella vulgaris*,” *Bioresour. Technol.*, vol. 194, pp. 270–275, 2015.
- [7] D. Vandamme, I. Foubert, I. Fraeye, B. Meesschaert, and K. Muylaert, “Flocculation of *Chlorella vulgaris* induced by high pH: role of magnesium and calcium and practical implications,” *Bioresour. Technol.*, vol. 105, pp. 114–9, Feb. 2012.
- [8] D. Vandamme, A. Beuckels, G. Markou, I. Foubert, and K. Muylaert, “Reversible Flocculation of Microalgae using Magnesium Hydroxide,” *BioEnergy Res.*, vol. 8, no. 2, pp. 716–725, Nov. 2015.
- [9] M. R. Bilad, H. A. Arafat, and I. F. J. Vankelecom, “Membrane technology in microalgae cultivation and harvesting: a review,” *Biotechnol. Adv.*, vol. 32, no. 7, pp. 1283–300, Nov. 2014.
- [10] M. R. Bilad, D. Vandamme, I. Foubert, K. Muylaert, and I. F. J. Vankelecom, “Harvesting microalgal biomass using submerged micro-filtration membranes,” *Bioresour. Technol.*, vol. 111, pp. 343–52, 2012.
- [11] V. Discart, M. R. Bilad, L. Marbelia, and I. F. J. Vankelecom, “Impact of changes in broth composition on *Chlorella vulgaris* cultivation in a membrane photobioreactor (MPBR) with permeate recycle,” *Bioresour. Technol.*, Nov. 2013.

## Wat is flocculatie?

Het celoppervlak van microalgen is negatief geladen. Dit zorgt ervoor dat ze niet spontaan ‘samenklonteren’. Verschillende mechanismen kunnen er voor zorgen dat algencellen toch coaguleren en uiteindelijk uitvlokken of flocculeren. In eerste instantie kan de lading geneutraliseerd worden door een kation toe te voegen. Bij gebruik van polymeren zal deze ladingneutralisatie gepaard gaan met een “kleefmechanisme”. Door de positieve lading zal het polymeer aangetrokken worden tot de negatief geladen celwand van de microalgen. Het polymeer zal ‘vastgekleefd’ worden aan de celwand. Dit zal zorgen voor een afname van de oppervlaktelading van de algen zodat die flocculeren (Figuur A). Als er een lang en vertakt polymeer gebruikt wordt, zal er tevens brugvorming (*bridging*) optreden. Verscheidene cellen worden verbonden door het polymeer, wat zorgt voor de vorming van grotere vlokken.



Figuur A: Het flocculeren van microalgen door (a) ladingsneutralisatie, (b) het “kleefmechanisme” en (c) brugvorming