

Kansen voor micro-algen als grondstofstroom in diervoeders

Auteurs:

Joanneke Spruijt, PPO-agv

Rommie van der Weide,

PPO-agv Marinus van Krimpen, ASG



Kansen voor micro-algen als grondstofstroom in diervoeders

Auteurs:

Joanneke Spruijt, PPO-agv

Rommie van der Weide, PPO-agv

Marinus van Krimpen, ASG

© 2014 Wageningen, ACRRES – Wageningen UR

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van ACRRES-Wageningen UR.

ACRRES – Wageningen UR is niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen die kunnen ontstaan bij gebruik van gegevens uit deze uitgave.

Projecttitel: Veevoedkundige waarde van algen- Kleinschalige bioraffinage aquatisch
Projectnr: 3250273800,
Projectleider: Rommie Van der Weide (rommie.vanderweide@wur.nl)

Dit rapport is tot stand gekomen in samenwerking met:



**NATUUR
& MILIEU**

Nevedi

En met bijdrage uit topsectorenproject A&F kleinschalige bioraffinage

ACRRES – Wageningen UR
Adres : Edelhertweg 1, Lelystad
: Postbus 430, 8200 AK Lelystad
Tel. : 0320 - 29 11 11
Fax : 0320 - 23 04 79
E-mail : info@acrres.nl
Internet : www.acrres.nl

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Binnen de Uitvoeringsagenda Duurzame Veehouderij (UDV) zijn het sluiten van de mineralenkringloop en de verduurzaming van veevoer belangrijke doelen. Thema's hierbij zijn: duurzame grondstoffen voor veevoer, optimaliseren van mineralenkringlopen, voerimporten, mestexport, aanwending van mest voor plantaardige productie en onderzoek naar eiwitbronnen via biobased economy. In het kader van de UDV zijn Nevedi en Natuur & Milieu een project gestart naar de verduurzaming van veevoer. Ter vervanging van geïmporteerd soja wordt op strategisch niveau naar voederalternatieven gezocht, waarbij wordt uitgegaan van Europees eiwit. Binnen dit project is onder andere ook behoefte aan een kansenoverzicht voor de benutting van algen in veevoer. Algen kunnen een belangrijke eiwitrijke grondstof vormen bij de samenstelling van voer. Waterige nutriëntenstromen kunnen goed door de algen worden benut. Er wordt reeds geëxperimenteerd met technieken voor de winning en de toepassing in een gesloten kringloop op een kalverbedrijf (bijv. met behulp van energiewinning uit vergisting van kalverurine en digestaat als voeding voor algen). In speciality feed (bijv. paardenvoer van Van Benthem) worden algen toegepast op basis van o.a. de veterinaire eigenschappen (vitamines etc.). Als vervanging voor voereiwit worden algen nog niet toegepast, omdat het nog niet economisch rendabel te maken is. Studies laten zien dat m.n. de productiekosten vaak nog een grote belemmering vormen voor verdere ontwikkeling. Productiekosten zijn vaak vele malen hoger dan de huidige eiwitschrootprijzen. Het zal ook niet eenvoudig zijn om deze snel te verlagen.

1.2 Doelstelling

Doelstelling van dit project is het maken van een algenkansenkaart. De kaart brengt voor- en nadelen van micro-algen als grondstofstroom voor veevoer in kaart, de operationele aspecten en de toepassingsmogelijkheden in diervoeders. Dit rapport dient als achtergronddocument voor de algenkansenkaart.

1.3 Opbouw achtergrondrapport

De huidige algenproductie en toepassingen in veevoer, zowel wereldwijd als in Nederland worden besproken in Hoofdstuk 2 en de regelgeving daaromtrent in Hoofdstuk 3. De voedingswaarde en gezondheid bevorderende eigenschappen komen in Hoofdstuk 4 en 5

aan bod. Vervolgens worden onderzoeksresultaten per diergroep behandeld (Hoofdstuk 6). In de volgende twee hoofdstukken (7 en 8) worden economische en duurzaamheidsaspecten beschreven. Ten slotte worden de kansen en uitdagingen voor algentoeepassingen in veevoer aangegeven (Hoofdstuk 9 en 10).

2 Huidige algenproductie en toepassingen in veevoer

2.1 Wereldwijde algenproductie en -toepassingen

Microalgen worden al eeuwenlang door inheemse volkeren gebruikt, terwijl de teelt van microalgen slechts een paar decennia oud is. Van de 30.000 soorten die er worden verondersteld te bestaan worden slechts enkele duizenden stammen in collecties bewaard, een paar honderd onderzocht op chemische inhoud en slechts een handvol worden op industriële schaal geteeld. De biotechnologisch meest relevante microalgen zijn de groene algen (*Chlorophyceae*) *Chlorella vulgaris*, *Haematococcus pluvialis*, *Dunaliella salina* en de Cyanobacteriën *Spirulina maxima*. Vooral *Spirulina* wordt al op grote schaal worden verhandeld en gebruikt, vooral als voedingssupplementen voor de mens en als additieven voor diervoeders. Verschillende microalgen (bijvoorbeeld *Chlorella*, *Tetraselmis*, *Spirulina*, *Nannochloropsis*, *Nitzschia*, *Navicula*, *Chaetoceros*, *Scenedesmus*, *Haematococcus*, *Cryptothecodinium*) en macro-algen (bijvoorbeeld *Laminaria*, *Gracilaria*, *Ulva*, *Padina*, *Pavonica*) kunnen in diervoeders gebruikt worden. (Gouveia et al., 2008)

In de tabel worden productieomvang, productielanden en toepassingen van de belangrijkste algensoorten weergegeven. *Spirulina* (*Arthrospira*) is de meest geproduceerde algensoort, gevolgd door *Chlorella*, zie tabel 1.

Tabel 1: Jaarlijkse productie, productieland en toepassingen en producten van algen per algensoort, Kovač et al. 2013

Algensoort	jaarlijkse productie (ton/jaar)	productieland	toepassingen en producten
<i>Spirulina (Arthrospira)</i>	3.000	China, India, USA, Myanmar, Japan	Humane en veevoeding, cosmetische producten (phycobiliproteïns, poeders, extracten, tabletten, dranken, chips, pasta, vloeibare extracten)
<i>Chlorella sp.</i>	2.000	Taiwan, Duitsland, Japan	Humane voeding, aquacultuur, cosmetische producten (tabletten, poeders, nectar, noodles)
<i>Dunaliella salina</i>	1.200	Australië, Israël, USA, China	Humane voeding, cosmetische producten (β-caroteen, poeders)
<i>Aphanizomenon flos-aquae</i>	500	USA	Humane voeding (capsules, kristallen, poeder)
<i>Haematococcus pluvialis</i>	300	USA, India, Israël	Aquacultuur, astaxanthine
<i>Cryptocodinium cohnii</i>	240 ton DHA olie	USA	DHA olie
<i>Shizochytrium sp.</i>	10 ton DHA olie	USA	DHA olie

Van de huidige wereld algenbiomassa productie wordt 30% verkocht voor diervoeder toepassingen, Gouveia et al., 2008.

2.2 Nederlandse algenproductie en –toepassingen

De kweek van algen komt in Nederland nog op beperkte schaal voor en vindt meestal plaats in open vijvers, maar ook in buizenreactoren of in plastic zakken die aan zonlicht worden blootgesteld. Het gaat in Nederland voor een groot deel nog om testfaciliteiten, waarbij vaak afvalstromen (in de vorm van CO₂, warmte en afvalwater) gebruikt worden uit de landbouw, industrie, afvalwaterzuiveringen of de transportsector.

Volgens modelberekeningen gebaseerd op de algenvijvers bij ACRRES (Foto 1) in Lelystad is de jaarlijkse algenbiomassa opbrengst 15 ton droge stof per ha. Bij een buisvormige PBR (fotobioreactor) is de productie tweemaal (31 ton/ha) en in een flat panel PBR meer dan driemaal zo hoog (52 ton/ha) dan bij een open vijver. Deze verschillen komen door de verschillen in fotosynthetische efficiëntie (PE) van het daglicht (resp. 1,5% / 3% / 5%). Deze biomassa opbrengsten zijn gebaseerd op het Nederlandse klimaat, in bijvoorbeeld Curaçao zou de opbrengst volgens de modelberekeningen meer dan verdubbelen. (Spruijt et al. , 2014)



Foto 1: Algenvijver bij ACRRES-Wageningen UR

Een voorbeeld van een algenproductiefaciliteit die al jaren in bedrijf is, is te vinden bij het biologische melkveebedrijf Kelstein in Hallum (Foto 2). Middels vier fotobioreactoren en drie vijversystemen worden algen geteeld waarbij reststromen van de biogasinstallatie worden gebruikt. De hier gekweekte algen worden voor namelijk toegepast in veevoeders. Sinds 2011 heeft Kelstein het GMP+ certificaat voor

diervoeders. (www.kelstein.nl). De algen van Kelstein worden door Van Benthem Veevoerders en Kunstmest gebruikt in algenlikstenen en in een voedingssupplement voor paarden (www.vbvoer.nl/supplementen).



Foto 2: Algenvijver bij melkveehouderij Kelstein

Kalverhouder Kroes in Uddel teelt algenkroos waarbij gebruik wordt gemaakt van de dunne fractie van kalvermestdigestaat. Op het krooswater en eventueel de kalverurine worden vervolgens algen geteeld. Het eendenkroos wordt geoogst en aan de kalveren gevoederd en de waterige algenmassa wordt voor de vochtbehoefte van de kalveren gebruikt, waarbij de voedingswaarde van de algen ook van belang is.



Foto 3: Algenbuizenreactoren in kalverstal bij Kroes



3 Regelgeving gebruik algen in veevoer

De regelgeving voor het in de handel brengen van diervoeders is vastgelegd in de EG Verordening 767/2009. Een diervoeder of diervoederingsrediënt moet opgenomen zijn in de lijst met toegelaten producten: via het 'Feed Materials Register' (www.feedmaterialsregister.eu). Wanneer een diervoeder niet in de lijst voorkomt dient deze te worden aangemeld via een notificatie (art. 24 lid 6, Verordening 767/2009/EG). Het aanmelden van een nieuw diervoeder is tevens via dit register mogelijk.

Het in de handel brengen van diervoeders brengt tevens voedselveiligheidseisen met zich mee van de Verordening 767/2009/EG (o.a. Art. 4), de Algemene Levensmiddelen Verordening (o.a. Art. 15) en de hygiëne voorschriften uit Verordening 183/2005/EG.

Toelating van veevoederadditieven is opgenomen in Verordening 1831/2003. Ook voor veevoederadditieven is er een lijst met toegelaten producten: het European Union Register of Feed Additives (ec.europa.eu/food/food/animalnutrition/feedadditives/registeradditives_en.htm)

In het verleden was het niet toegestaan om algen als veevoederadditief te verhandelen als er mest of digestaat als voeding voor de algen was gebruikt (van Kasteren, 2011). Sinds 2013 is de GMP+ regelgeving gewijzigd en een nieuwe voedselveiligheid standaard vastgesteld. De regelgeving voor teelt van diervoeders staan in <https://www.gmpplus.org/bestand/4224/gmp-b6---en-20130301.pdf.ashx>.

Algen biomassa kan worden gebruikt als toevoegingsmiddel voor diervoeding, mits er een risicoanalyse is uitgevoerd op de productiemethode en de te verkopen producten zijn geanalyseerd om te verzekeren dat zij een minimaal niveau van bepaalde stoffen en geen ziekteverwekkers bevatten (Van der Weide et al., 2014).



4 Voedingswaarde van algen

4.1 Algemeen

De variatie in nutriëntensamenstelling tussen verschillende soorten microalgen is groot, maar de eiwit-, koolhydraat- en vetgehalten zijn vergelijkbaar met, zo niet beter dan conventionele voedingsmiddelen, zie tabel. (Lum et al., 2013)

Tabel 2: Nutriëntensamenstelling van conventionele voedingsmiddelen en diverse algen (% droge stof) (Lum et al., 2013)

Bron	ruw eiwit	koolhydraten	vetten
Sojabonen	37	30	20
Mais	10	85	4
Tarwe	14	84	2
<i>Anabaena cylindrical</i>	43-56	25-30	4-7
<i>Arthrospira maxima</i> (<i>Spirulina</i>)	60-71	13-16	6-7
<i>Chlorella vulgaris</i>	51-58	12-16	14-22
<i>Spirogyra sp.</i>	6-20	33-64	11-21
<i>Synechococcus sp.</i>	73	15	11

4.2 Eiwitten

Verteerbaar ruw eiwit

Over het algemeen hebben trommel gedroogde algen een voedingskwaliteit van ongeveer 85% van die van caseïne. De NPU (Net Protein Utilization; Netto Eiwit Benutting) waarden waren significant lager dan voor caseïne, wat aangeeft dat het algeneiwit beperkt wordt door ten minste een van de essentiële aminozuren, waarschijnlijk methionine. Stikstofbalans studies met *Spirulina* bevestigen dat deze alg met dunne celmembranen geen ernstige problemen geeft wat betreft eiwitbenutting, zelfs met eenvoudige droging in de zon. Samenvattend kan met uitsluiting van extreme waarden gesteld worden dat na geschikte verwerking de voedingskwaliteit van onderzochte algen gelijk of zelfs beter is dan andere conventionele plantaardige eiwitten. (Becker, 2013)

Zie tabel 3.

Algeneiwit, dat verkregen wordt door het ontvetten van algenbiomassa, is een goed alternatief voor sojaschroot. Bovendien bevat het na ontvetten nog steeds een hoog gehalte aan omega-3 vetzuren. Deze vetzuren dragen bij aan een gezonder dierlijk eindproduct met een hogere toegevoegde waarde (Gatrell et al., 2014).

Tabel 3: Vergelijking van BV (biological value; biologische waarde), DC (digestibility coefficient; verteringscoëfficiënt) en NPU (Net Protein Utilization; Netto Eiwit Benutting) van verschillende algen die op verschillende manieren zijn verwerkt (Becker, 2013)

Algensoort	verwerkingsmethode	BV ¹	DC ¹	NPU ¹
Caseïne		87.8	95.1	83.4
<i>Chlorella sp.</i>	lucht gedroogd	52.9		31.4
<i>Chlorella sp.</i>	trommel gedroogd	77.9	89.3	69.6
<i>Chlorella 71105</i>	gevriesdroogd		86.0	
<i>Scenedesmus obliquus</i>	lucht gedroogd	60.0	51.0	31.0
<i>Scenedesmus obliquus</i>	trommel gedroogd	81.3	82.8	67.3
<i>Scenedesmus obliquus</i>	trommel gedroogd	76.2	88.6	67.5
<i>Scenedesmus obliquus</i>	trommel gedroogd	80.0	81.4	65.8
<i>Scenedesmus obliquus</i>	zongedroogd	72.1	72.5	52.0
<i>Scenedesmus obliquus</i>	zongedroogd+koken	71.9	77.1	55.5
<i>Spirulina sp.</i>	rauw	63.0	76.0	48.0
<i>Spirulina sp.</i>	gestoofd	51.0	74.0	38.0
<i>Spirulina sp.</i>	zongedroogd	77.6	83.9	65.0
<i>Spirulina sp.</i>	trommel gedroogd	68.0	75.5	52.7
<i>Spirulina sp.</i>	+ 0,2% trommel gedroogd	82.4	75.7	62.4
<i>Chlorella sp.</i>	Proteïne extract	79.9	83.4	66.2
<i>Chlorella sp.</i>	lucht gedroogd	52.9	–	31.4
<i>Chlorella sp.</i>	trommel gedroogd	71.6	79.9	57.1
<i>Coelastrum proboscidium</i>	trommel gedroogd	68.2	77.8	53.1
<i>Coelastrum proboscidium</i>	trommel gedroogd	75.3	89.2	67.2
<i>Uronema sp.</i>	trommel gedroogd	54.9	81.8	44.9

¹)De BV is een maat voor de eiwitbenutting en is berekend op basis van het verschil tussen de door het dier opgenomen hoeveelheid en via feces en urine uitgescheiden eiwit. Naast de eiwitbron bestaat de rest van het voer uit eiwitvrije of eiwitarme grondstoffen. Deze methode houdt rekening met endogene verliezen. De DC wordt op een vergelijkbare wijze berekend als de BV, echter zonder rekening te houden met de uitscheiding van eiwit via de urine. Deze methode overschat dus de eiwitbenutting van het dier. De NPU is eveneens een maat voor de eiwitbenutting. Deze wordt berekend door de verhouding te bepalen tussen de in het dier vastgelegde hoeveelheid eiwit en opgenomen hoeveelheid eiwit. De eiwitvastlegging wordt bepaald door dieren aan het einde van de testperiode te slachten en daarna te analyseren op de hoeveelheid eiwit in het karkas.

Aminozuurprofiel

In vergelijking met het aminozuurprofiel van sojabonen zijn de gehalten van de essentiële aminozuren lysine, cysteïne en tryptofaan in sommige algensoorten relatief laag, terwijl de gehalten van de essentiële aminozuren methionine, tryptofaan en isoleucine vergelijkbaar of hoger zijn. (Becker, 2013)

Tabel 4: Aminozuurprofiel van verschillende algen vergeleken met sojabonen (g/100 g eiwit), (Becker, 2013)

eiwitbron	Lle	Leu	Val	Lys	Phe	Tyr	Met	Cys	Try	Thr	Ala	Arg	Asp	Glu	Gly	His	Pro	Ser
Sojabonen	5.3	7.7	5.3	6.4	5	3.7	1.3	1.9	1.4	4	5	7.4	1.3	19	4.5	2.6	5.3	5.8
<i>Chlorella vulgaris</i>	3.2	9.5	7	6.4	5.5	2.8	1.3	–	–	5.3	9.4	6.9	9.3	13.7	6.3	2	5	5.8
	3.5	6.1	5.5	10.2	2.8	2.8	1.4	0.79	2.1	2.8	7.7	3.67	4.21	6.67	3.36	3.3	7.2	3.3
	3.76	7.78	5.27	5.73	7.71		16.02		8.5	5.1	7.5	5.4	8.1	13.7	6.1	1.8	7.7	4.6
<i>Dunaliella bardawil</i>	4.2	11	5.8	7	5.8	3.7	2.3	1.2	0.7	5.4	7.3	7.3	10.4	12.7	5.5	1.8	3.3	4.6
<i>Spirulina platensis</i>	6.7	9.8	7.1	4.8	5.3	5.3	2.5	0.9	0.3	6.2	9.5	7.3	11.8	10.3	5.7	2.2	4.2	5.1
	5.71	9.26	6.45	4.42	4.45	5.26	2.05	0.59	0.06	4.65	8.51	7.09	9.86	13.4	1.1	1.91	3.33	4.59
	5.6	8.6	6.3	4.7	4.4	4	1.9	0.9	1.7	4.5	7.3	6.9	9.5	14.5	5	1.6	3.8	4.4
<i>Spirulina sp.</i>	6.4	13.9	6.6	7.7	6.8	5.7	4.6	1	3.3	4.7	17.9	8.2	8.9	11.6	11	4.7	6.8	6.4
<i>Aphanizomenon flos-aquae</i>	2.9	5.2	3.2	3.2	2.5	–	0.7	0.2	0.7	3.3	4.7	3.8	4.7	7.8	2.9	0.9	2.9	2.9

4.3 Koolhydraten

Zolang microalgen voornamelijk gebruikt worden als eiwitrijk voedsel, speelt het koolhydraatgehalte slechts een ondergeschikte rol. (Becker, 2013).

4.4 Vetten

Het gemiddelde vetgehalte van microalgen varieert tussen de 1% en 40% en onder bepaalde omstandigheden kan dit oplopen tot 85% van het gewicht op droge stofbasis. Van de verschillende omega-3 vetzuren in algen hebben de bioactieve EPA (C22:5) en DHA (C22:6) de belangrijkste voedingswaarde. Lange-keten EPA / DHA omega-3 vetzuur suppletie kan co-preventief en co-therapeutisch zijn. Huidig onderzoek toont aan dat lange-keten omega-3 vetzuren voordelig zijn voor de gezondheid en als natuurlijke geneesmiddel tegen een aantal ernstige ziekten kunnen dienen. Bepaalde microalgen produceren hoge EPA / DHA gehalten en vandaag de dag is er biologisch geproduceerde DHA-rijke microalgen olie beschikbaar. Klinische studies met DHA-rijke olie geven vergelijkbare effecten als met visolie bij de bescherming tegen cardiovasculaire risicofactoren door een verlaging van plasma triglyceriden en oxidatieve stress (Becker, 2013).



Tabel 5: Vetzuursamenstelling van lipiden van verschillende algen (mg g^{-1} drooggewicht), (Becker, 2013)

vetzuur	notatie	<i>Spirulina platensis</i>	<i>Scenedesmus obliquus</i>	<i>Chlorella vulgaris</i>	<i>Dunaliella bardawil</i>	<i>Porphyridium cruentum</i>	<i>Oocytis sp.</i>	<i>Synechococcus sp.</i>	<i>Tribonema sp.</i>
Laurinezuur	(12:0)	0.04	0.3	–	–	–	–	0.7	–
Myristinezuur	(14:0)	0.7	0.6	0.9	–	–	0.2	5.6	1.1
Pentadecaanzuur	(15:0)	traces	–	1.6	–	–	–	–	–
Palmitinezuur	(16:0)	45.5	16.0	20.4	41.7	5.9	3.8	3.4	2.5
Palmpitoliezuur	(16:1)	9.6	8.0	5.8	7.3	–	1.5	10.8	5.1
Hexadecatetraanzuur	(16:4)	–	26.0	–	3.7	–	–	–	–
Heptadecaanzuur	(17:0)	0.3	–	15.3	2.9	–	–	–	–
Stearinezuur	(18:0)	1.3	0.3	15.3	2.9	–	–	0.1	–
Oliezuur	(18:1)	3.8	8.0	6.6	8.8	0.1	3.9	–	0.2
Linolzuur	(18:2)	14.5	6.0	1.5	15.1	2.1	6.4	–	0.2
α - Linoleenzuur	(18:3)	0.3	28.0	–	20.5	–	8.1	–	–
γ - Linoleenzuur	(18:3)	21.1	–	–	–	–	–	–	–
Eicosadieenzuur	(20:2)	–	–	1.5	–	0.3	–	–	–
Eicosanotrienoic	(20:3)	0.4	–	20.8	–	–	–	–	–
Arachidonzuur	(20:4)	–	–	–	–	6.0	0.5	–	–
Eicosapentaeenzuur (EPA)	(20:5)	–	–	–	–	6.1	1.1	–	–
overige		–	2.5	19.6	–	–	–	–	–

Tabel 6: Belangrijkste vetzuren in microalgen biomassa (mg / 100 g) (gemiddelde van drie bepalingen voor elke geoogste algenkweek), (Batista et al., 2013)

notatie/ vetzuur	<i>Spirulina maxima</i>	<i>Chlorella vulgaris</i> (groen)	<i>Chlorella vulgaris</i> (oranje)	<i>Haematococcus pluvialis</i>	<i>Diacronema vlkianum</i>	<i>Isochrysis galbana</i>
14:0	9±0.2	124±13	210±1	154±1	2081±38	3272±3
16:0	1078±26	1016±20	5606±1	5977±12	1413±10	2711±6
18:0	32±1	25±1	406±3	603±10	14±1	50±38
overige SFA	26±2	88±12	408±61	988±13	78±5	648±51
Σ SFA	1146±24	1254±45	6630±61	7722±1	3586±23	6681±60
16:01	189±5	78±2	38±1	102±2	2425±41	3275±3
18:01	115±4	449±3	9965±133	11125±51	253±5	584±1
overige MUFA	10±1	110±21	329±6	1065±3	193±82	354±18
Σ MUFA	402±10	836±23	10733±141	13387±46	3620±128	4213±21
16:04 ω3	4±0.2	165±1	688±2	1160±6	112±20	–
18:03 ω3 (ALA)	40±0.1	661±12	3665±1	3981±2	14±1	421±5
18:04 ω3	2±0.6	–	–	–	1121	–
20:05 ω3 (EPA)	–	19±1	39±1	579±6	3212±57	4875±108
22:06 ω3 (DHA)	–	16±1	80±1	–	836±41	1156±40
overige PUFA-ω3	11±6	111±1	308±3	52±10	113±47	10±1
Σ PUFA-ω3	58±35	971±14	4781±2	5770±14	5407±146	6461±153
18:02 ω6	481±31	292±16	1502±1	7844±20	49±5	123±1
18:3 ω6 (GLA)	452±28	112±11	23±1	472±8	112±3	–
20:04 ω6	–	–	12±0.2	292±1	191±1	162±3
22:05 ω6	–	4±1	–	–	976±33	–
overige PUFA-ω6	12±0.2	20±1	10±6	159±20	15±23	2116±75
Σ PUFA-ω6	945±59	428±28	1547±7	8767±230	1343±21	2401±76
ω3/ω6	0.1	2.3	3.1	0.7	4.1	2.7
UI (EPA+DHA)	0	0.05	0.03	0.08	1.4	1.41
UI (Totaal)	10.3	1.24	1.21	1.43	2.4	1.99

4.5 Vitaminen

Microalgen vormen een waardevolle bron van vrijwel alle belangrijke vitaminen, wat de voedingswaarde van algen biomassa verbetert. Naast natuurlijke fluctuaties als gevolg van omgevingsfactoren hebben de naoogstbehandelingen en droogmethoden van de algen-biomassa een aanzienlijk effect op de vitamine inhoud. Dit geldt vooral voor de warmte-instabiele vitaminen B1, B2, C en nicotinezuur, waarvan de concentraties aanzienlijk verminderen tijdens het droogproces. (Becker, 2013)

Tabel 7: Vitaminegehalte van verschillende algen (Becker, 1994) (waarden in mg kg⁻¹ droge stof)

Algensoort	Vit A	Vit B1	Vit B2	Vit B6	Vit B12 ^a	Vit C	Vit E	Niacine	Biotine	Folium- zuur	Pantotheen- zuur
<i>Spirulina platensis</i>	840	44	37	3	7	80	120	–	0.3	0.4	13
<i>Aphanizomenon flos-aquae</i>		4.8	57.3	11.1	8	0.7	–	0.1	0.3	1	6.8
<i>Chlorella pyrenoidosa</i>	480	10	36	23	–	–	–	240	0.15	–	20
<i>Scenedesmus quadricauda</i>	554	11.5	27	–	1.1	396	–	108	–	–	46

^a Alle gegevens in de literatuur met betrekking tot de inhoud van de B12 in *Spirulina* sp. moeten zeer voorzichtig worden behandeld, aangezien grote delen van deze vitamine niet-nutritieve analogen zijn. (Becker, 2013)

Sommige *Chlorella* soorten bevatten meer vitaminen dan de meeste geteelde planten. Ook *Spirulina* bevat meer dan tienmaal zoveel β -caroteen als enig ander voedsel, zoals wortelen en meer vitamine B12 in vergelijking met welke verse plantaardige of dierlijke voedselbron dan ook. Vergeleken met groene algen, spinazie en de lever vertegenwoordigt *Spirulina* de rijkste bron van vitamine E, thiamine, cobalamine, biotine en inositol. Verschillende microalgen soorten produceren α -toco-pherol (α -T, de biologisch actieve vorm van vitamine E) in zeer hoge concentraties. Rodriguez Zavala et al. ondervonden dat de productie van α -tocoferol in de heterotroof gekweekt microalg *Euglena gracilis* na 120 uur $3,7 \pm 0,2$ mg / g bereikte, wat in vergelijking met zonnebloemolie, sojaolie, olijfolie en mais (sommige van de meest voorkomende natuurlijke bronnen vitamine E) respectievelijk ongeveer een 13, 18, 95 en 56 keer hogere productiviteit betekent. Ook als de gerapporteerde hoge biomassa opbrengst van de microalg *Tetraselmis suecica* kan worden bereikt, kan het concurreren met *E. gracilis* als kandidaat voor commerciële α -T productie. In de zes zeewier soorten die door Rodriguez Bernaldo onderzocht zijn varieerde het folaat gehalte (foliumzuur) tot 161,6 mg / 100 g droge massa. (Kovač et al. 2013)

4.6 Mineralen, as en nucleïnezuurgehalte

Tabel 8: Minerale samenstelling microalgen biomassa (gemiddelde van drie bepalingen voor elke geogste algenkweek), (Batista et al., 2013)

	<i>Spirulina maxima</i>	<i>Chlorella vulgaris</i> (groen)	<i>Chlorella vulgaris</i> (oranje)	<i>Haemato-coccus pluvialis</i>	<i>Diacronema vlkianum</i>	<i>Isochrysis galbana</i>
N (%)	7.19	6.08	2.02	1.64	6.15	6.33
P (%)	1.29	1.53	1.01	1.31	1.49	2.65
K (%)	2.58	0.98	0.45	0.97	0.72	1.19
Ca (%)	0.91	4.73	0.8	0.25	0.91	0.56
Mg (%)	0.35	1.46	0.18	0.22	0.53	0.96
Na (%)	8.53	0.98	4.84	5.87	1.03	1.6
Cu (mg/kg)	1.1	2.2	1	344	1.9	8.6
Mn (mg/kg)	24.6	471.5	11.7	111.9	2548.7	801
Zn (mg/kg)	3.5	17.5	17.8	232.2	91.3	19.2
Fe (mg/kg)	93.6	166.3	17.2	822.7	208.1	14.6

Ortega-Calvo e.a. (1993) analyseerden een drietal *Spirulina* monsters, *Chlorella* en een drietal zeevien. Ook bij hen varieerden de gehalten aan mineralen, zoals in het onderzoek in tabel 8. Het as-gehalte van de algensoorten was beduidend lager dan de wieren en lag tussen de 7 en 14%. Het nucleïnezuur gehalte van de algen was hoger dan de wieren en lag rond de 5%. Dit wordt behalve door de soort ook beïnvloed door de groeiomstandigheden (Marrez et al., 2014). De eventuele accumulatie van metalen in de algen indien deze groeien in omstandigheden met veel van deze metalen, en mogelijk ook het nucleïnezuur en as-gehalte zijn punten van aandacht.

5 Mogelijk gezondheid bevorderende aspecten

5.1 Algemeen

Microalgen vertegenwoordigen een zeer groot, relatief onaangetast reservoir aan nieuwe verbindingen, waarvan vele waarschijnlijk biologische activiteit vertonen en unieke interessante structuren en functies hebben. In de laatste decennia zijn micro-organismen, met name cyanobacteriën, gescreend voor nieuwe geneesmiddelen en antibiotica. Gepubliceerde gegevens tot 1996 onthullen 208 cyanobacteriële verbindingen met biologische activiteit, terwijl in 2001 het aantal gescreende verbindingen de 424 bereikte, met inbegrip van lipoproteïnen (40%), alkaloiden, amiden en andere. De gerapporteerde biologische activiteiten bestaan uit cytotoxische, antitumor, antibiotica, antimicrobiële (antibacteriële, antifungale, antiprotozoa), antivirale (bijvoorbeeld anti-HIV) activiteiten, alsmede immunosuppressieve en anti-inflammatoire effecten. De cytotoxische activiteit, van belang voor de ontwikkeling van geneesmiddelen tegen kanker, is waarschijnlijk gerelateerd aan verdedigingsstrategieën in het sterk competitieve waterige milieu, omdat meestal alleen die organismen waarbij een immuunsysteem ontbreekt goede producenten van secundaire metabolieten zoals toxinen zijn. Zelfs zeer kleine hoeveelheden microalgen-biomassa kunnen de fysiologie van dieren positief beïnvloeden door verbeterde immuunrespons, wat resulteert in groeiverbetering, ziekteresistentie, antivirale en antibacteriële werking, verbeterde darmwerking, prebiotische werking, waardoor de gewenste bacteriën de darmen kunnen koloniseren, alsmede door verbeterde voederconversie, reproductievermogen en gewichtsbeheersing. Ook uiterlijke eigenschappen kunnen worden verbeterd, wat resulteert in een gezonde huid en een glanzende vacht, voor zowel landbouw huisdieren (pluimvee, koeien, stieren) als kleine huisdieren (katten, honden, konijnen, siervissen en vogels). Er is al een groot aantal voedings-en toxicologische evaluaties uitgevoerd die de geschiktheid van algen biomassa als waardevol voedings-supplement heeft aangetoond. (Gouveia et al., 2008)

5.2 Antibacteriële eigenschappen

Resistentie van pathogene bacteriën tegen antibacteriële middelen is het afgelopen decennium significant toegenomen. Pratt et al. isoleerden de eerste antibacteriële verbinding uit een micro alg, *Chlorella*; een mengsel van vetzuren, nl. chlorellin, bleek verantwoordelijk voor de remmende activiteit tegen zowel Gram positieve en Gram negatieve bacteriën. Onderzoek naar de identificatie van antibacterieel werkzame componenten bij microalgen heeft ondertussen een vlucht genomen. Dit vanwege het

befes van risico's voor ongevoeligheid voor conventionele antibiotica, denk bijvoorbeeld aan de verhoogde zorg in zorginstellingen wereldwijd in verband met een aantal multiresistente *Staphylococcus aureus* (MRSA)-stammen. Hoewel microalgen een paar nuttige producten kunnen synthetiseren, is onderzoek naar nieuwe antibiotica nog in de beginfase; illustratieve voorbeelden zijn weergegeven in de tabel. (Amaro et al, 2011)

Tabel 9: Antibacteriële eigenschappen van geselecteerde verbindingen uit microalgen. (Amaro et al, 2011)

micro alg	actieve stof	doel micro organisme
<i>Phaeodactylum tricornutum</i>	Eicosapentaeenzuur	MRSA, <i>Listonella anguillarum</i> , <i>Lactococcus garvieae</i> , <i>Vibrio spp.</i>
<i>Haematococcus pluvialis</i>	korte keten vetzuren	-
	korte keten vetzuren (butaan- en methyl lactaat)	<i>Escherichia coli</i> , <i>Staphylococcus aureus</i>
<i>Skeletonema costatum</i>	onverzadigde, verzadigde lange keten vetzuren	<i>Vibrio spp.</i>
<i>Euglena viridis</i>	organische extracten	<i>Pseudomonas</i> , <i>Aeromonas</i> , <i>Edwardsiella</i> , <i>Vibrio</i> , <i>E. coli</i>
<i>Skeletonema costatum</i>	extra-metabolieten	<i>Listeria monocytogenes</i>
<i>Staurastrum gracile</i>		
<i>Pleurastrum terrestre</i>		
<i>Dictyosphaerium pulchellum</i>	methanolische extracten	-
<i>Klebsormidium crenulatum</i>		
<i>Chlorococcum sp.</i>	waterig extract	
<i>Chlorococcum HS-101</i>	α -linoleenzuur	-
<i>Chlorokybus atmophyticus</i>	aceton extract	-
<i>Chlamydomonas reinhardtii</i>		<i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Staphylococcus epidermidis</i> , <i>Bacillus subtilis</i> , <i>E. coli</i> , <i>Salmonella typhi</i>
<i>Chlorella vulgaris</i>	methanolische en hexanolische extracten	

5.3 Antivirale eigenschappen

Afgelopen jaren is er een aantal virusinfectieziekten ontstaan (en opnieuw ontstaan). Hoewel er verschillende antivirale middelen speciaal zijn ontwikkeld, ontstaan er voortdurend resistente mutaties - dus zijn nieuwe antivirale werkzame bestanddelen nodig, met name die uit bronnen die niet bestaan uit (of worden blootgesteld aan) virale pools. Dit is de reden waarom microalgen een sterke aandacht hebben gekregen als potentiële leveranciers van antivirale middelen; enkele geselecteerde voorbeelden worden vermeld in de tabel. (Amaro et al, 2011)

Tabel 10: Antivirale eigenschappen van geselecteerde verbindingen uit microalgen (Amaro et al, 2011)

micro alg	actieve stof	werkingsmechanisme	doel virus
<i>Navicula directa</i>	polysaccharide	hyaluronidase remming	HSV1 & 2, Influenza A virus
<i>Gyrodinium impudicum</i>	p-KG03 exopolysaccharide	remming (of vertraging) cytopathisch effect	Encephalomyocarditis virus
<i>Dunaliella primolecta</i>	Pheophorbide α -, β -achtige stoffen	remming cytopathisch effect	HSV1
<i>Chlorella autotrophica</i>		replicatie remming <i>C. autotrophica</i> : 47.4-67.4 %	
<i>Ellipsoidon</i> sp.	gesulfateerde polysacchariden	<i>Ellipsoidon</i> sp.: tot 44 %	VHSV, ASFV
Cryptomonads	allophycocyanin	remming cytopathisch effect, vertraging synthese viraal RNA	Enterovirus 71
<i>Cochlodinium polykrikoide</i>	extracellulair gesulfateerde polysaccharides	remming cytopathisch effect	Influenza virus A & B, RSV A & B, HSV-1

Onderzoeken met in water oplosbare extracten van cyanobacteriën hebben aangetoond dat een nieuw gevonden gesulfateerde polysaccharide, spirulan calcium (Ca-SP), antivirale werking heeft. Deze verbinding bestaat uit rhamnose, ribose, mannose, fructose, galactose, xylose, glucose, glucuronzuur, galactoronic zuur, sulfaat en calcium, waarbij aangenomen is dat een chelatering van het calcium met sulfaat groepen onmisbaar is voor het antivirale effect. Het blijkt de penetratie van omhulde virussen in gastheercellen selectief te remmen, waardoor replicatie voorkomen wordt. Het effect is beschreven voor verschillende virussen zoals Herpes simplex virus type 1, menselijke cytomegalovirus, mazelenvirus, bofvirus, influenza A virus, en zelfs HIV-1. (Becker, 2013)

5.4 Antioxidanten

Antioxidanten behoren tot de belangrijkste verbindingen in algen. Biomassa van microalgen kan worden beschouwd als een multicomponent antioxidant systeem dat over het algemeen effectiever is door de interacties tussen de verschillende antioxidant componenten. De krachtigste water oplosbare antioxidant in algen zijn polyphenolen, phycobiliproteïnen en vitaminen. Omdat het fotosynthetische organismen zijn, worden algen blootgesteld aan licht en hoge zuurstofconcentraties en in culturen met een hoge celdichtheid en in gesloten fotobio-reactoren kunnen de zuurstof concentraties zeer hoog zijn. Dergelijke omstandigheden bevorderen de ophoping van zeer effectieve anti oxidatieve complexen om cellen te beschermen en bijvoorbeeld de anti oxidatieve eigenschappen van *Spirulina platensis* kunnen twee tot drie maal zoveel toenemen bij zuurstof stress. Vanwege hun capaciteit om vrije radicalen weg te vangen worden microalgen verwerkt in producten voor functionele voeding / nutraceuticals groeit, vooral in het drank marktsegment.

(Kovač et al. 2013)

Algen bevatten pigmenten als chlorofyl en carotenoiden die gebruikt worden als kleurstoffen in de voedsel, farmaceutische en cosmetische industrie. Deze pigmenten kunnen ook worden toegepast als antioxidant. Een voorbeeld hiervan is de stof C-phycoyanine, een eiwitgebonden pigment dat voorkomt in blauw-groene algen. Van dit pigment is aangetoond dat het anti-inflammatoire en antioxidant eigenschappen heeft. Het wordt toegepast als een middel tegen beengebreeken bij honden, paarden en de mens. Uit een onderzoek met kreupel paarden bleek dat het al dan niet dagelijks gedurende een jaar verstrekken van C-phycoyanine een tendens gaf tot een geringere mate van kreupelheid (Taintor et al., 2014).

Chlorofyl

Chlorofyl derivaten kunnen de gezondheid bevorderen. In de geneeskunde worden deze verbindingen traditioneel gebruikt vanwege zowel hun wondgenezing en anti-inflammatoire eigenschappen. Recente epidemiologische studies van de Nederlandse Cohort Studie hebben bewijs gevonden dat chlorofyl consumptie een verminderd risico op darmkanker oplevert. De werkelijke voedingswaarde van chlorofyl in microalgen is nogal controversieel. Zo zijn er in Japan chlorofyl afbraakproducten aangewezen als oorzaak van huidirritaties.

(Becker, 2013)

Carotenoiden

Alle algen bevatten carotenoiden en de variëteit is groter is dan bij hogere planten. De antioxidant activiteit van carotenoiden is de basis van de beschermende werking van deze verbindingen tegen oxidatieve stress in veel organismen en situaties. Er zijn steeds meer aanwijzingen dat sommige carotenoiden een belangrijke rol spelen bij de mens en dat adequate inname degeneratieve ziekten voorkomt. Daarom worden carotenoiden

gebruikt als pigment in voedingsmiddelen en cosmetica, zoals vitamine supplementen en gezondheid bevorderend voedsel en als voedingsadditieven voor pluimvee, vee, vis en schaaldieren.

(Becker, 2013)

β -caroteen is de belangrijkste carotenoïde omdat het het meest actief is als provitamine A en het wordt gebruikt als een kleurstof, een provitamine, een additief aan multivitaminepreparaten en een gezondheidsvoedselproduct met een antioxidant claim. De natuurlijke vorm van dit pigment heeft een sterker effect dan de synthetische omdat het makkelijker door het lichaam wordt opgenomen. Hoewel *Spirulina* de meest bekende voedselbron van dit carotenoïde is, is *Dunaliella salina* de belangrijkste micro alg voor natuurlijke productie op grote schaal met concentraties tot 16% van het drooggewicht. Producten afkomstig van *D. salina* zijn β -caroteen extracten, *Dunaliella* poeder voor menselijk gebruik, voor gebruik als diervoeder en preparaten als een complete bron van carotenoïden voeding.

Er zijn steeds meer bewijzen dat astaxanthine de antioxidant voordelen van β -caroteen, vitamine C, vitamine E en veel xanthofylen overtreft. Dit carotenoïde wordt als pigment gebruikt in de aquacultuur, evenals in nutraceuticals en de levensmiddelen- en diervoederindustrie. Hoewel de natuurlijke vorm niet commercieel kan concurreren met de synthetische vorm, heeft het voor enkele specifieke toepassingen de voorkeur. *Haematococcus pluvialis* is een rijke bron voor astaxanthine en wordt op grote schaal gekweekt.

(Kovač et al. 2013)

5.5 Bevordering immuunsysteem

Verschillende proeven met hele cyanobacteriën en waterextracten bij mensen, muizen, ratten, katten en kippen hebben effecten op fagocytose, NK-celfunctie en ontsteking aangetoond. Verdere studies geven aan dat cyanobacteriën mast-cellen gemiddelde Type I allergische reacties en zelfs anafylactische reacties kunnen remmen bij intra peritoneale toepassing bij ratten. Het bleek dat *Spirulina*-extracten een daling van anafylactische sterfte gaf, plaatselijke overgevoelighedsreacties werden geremd en serum histamine niveaus werden verlaagd.

(Becker, 2013)

Door Pugh et al. zijn experimenten met Immulina, een polysaccharide extract met een hoog molecuulgewicht uit *Spirulina*, uitgevoerd. Zij vonden dat dit extract 100 tot 1000 keer actiever is in het activeren van monocytten in vitro dan polysaccharide preparaten die destijds gebruikt werden bij klinische instellingen voor immunotherapie van kanker. Deze 100 tot 1000-voudige toename in activiteit is vrij opmerkelijk. Zij vervolgden dit met twee extra studies in 2006, een in vitro en een knaagdier studie, beide studies

bevestigden hun eerdere conclusies met betrekking tot de verbeterde werking van het immuunsysteem.

Uit een Koreaans rapport blijkt dat *Spirulina* atherosclerose voorkomt door het verminderen van hypercholesterolemie bij konijnen die gedurende 4 weken gevoed worden met een hoog cholesterol dieet (HCD) en vervolgens voor nog eens 8 weken met HCD aangevuld met 1% of 5% *Spirulina* tegen 8 weken. *Spirulina* suppletie verlaagde het intimale oppervlak van de aorta met 32,2-48,3%; serum triglyceride (TG) en het totaal cholesterol (TC) werden aanzienlijk verminderd. Het serum-LDL-C daalde opmerkelijk met 26,4% bij 1% en respectievelijk 41,2% bij 5% *Spirulina*. Anderzijds verhoogde het HDL-C beduidend in beide groepen algen. *Spirulina* kan dus nuttig zijn bij het voorkomen van atherosclerose en vermindering risicofactoren voor hart- en vaatziekten. (Becker, 2013)

6 Onderzoekresultaten per diergroep

6.1 Pluimvee

Gedeeltelijke eiwitvervanging

Algen kunnen tot een aandeel van ongeveer 5-10% van het pluimveerantsoen veilig worden gebruikt als gedeeltelijke vervanging van conventionele eiwitbronnen. Hogere concentraties veroorzaken op de langere termijn nadelige effecten, zoals een ongunstigere voederconversie en een afnemende eiwit- en energie effectiviteit. (Becker, 2013)



Foto 4: Witte leghorns

Bij leghennen werden geen verschillen gevonden in eiproductie en -kwaliteit (grootte, gewicht, schaaldikte, stevige inhoud van het ei, albumine index, etc) en voederconversie tussen hennen die 12% *Chlorella* (gegroeid op afvalwater) kregen en de controlegroep (Gouveia et al., 2008). Ekmay et al. (2015) kregen vergelijkbare resultaten met voer met 25 % ontvette *Desmodium* erin. Zij meldden ook een verbeterde hen gezondheid.

Er werd een aanzienlijk hogere groei waargenomen bij kalkoenen gevoerd met *Spirulina* bij een dieet van 1-10 g per kg. (Becker, 2013)

Het effect van in de zon gedroogde *Spirulina platensis* bij pluimveerantsoenen is onderzocht in een 12 weken durende studie waarbij vismeel of aardnotencake in een commercieel dieet werden vervangen door algen in concentraties van respectievelijk 140 g per kg en 170 g per kg. Extra vitaminen en mineralen werden weggelaten uit de algen rantsoenen omdat *Spirulina* daar rijk aan is. Efficiëntie van voedsel gebruik, eiwitrendementscoëfficiënt en mate van bevreemdheid gaven aan dat vervanging van vismeel of aardnotencake door algen de prestaties van vleeskuikens niet beïnvloedde. Geen van de rantsoenen had invloed op de gewichten, lichaamssamenstelling en histopathologie van de verschillende organen van de kuikens. De kwaliteit van het vlees bleef ongewijzigd alleen ontstond er een intensere kleur wanneer de kuikens met algen gevoerd werden.

(Venkataraman et al., 1994).

Lichaamsgewichten van kuikens gevoed met *Spirulina* concentraties van 11,1% en 16,6% van het rantsoen waren niet verschillend van de controlegroep die aardnotencake ontvingen.

Vleeskuikens gevoed met *Spirulina* concentraties van 0, 40 of 80 g per kg rantsoen gedurende 16 dagen verschilden niet significant in lichaamsgewicht.

Vleeskuikens gevoed met *Spirulina* concentraties 40 g per kg dieet hadden een sterkere roodheid en geelheid in de spieren dan de controlegroep.

Witte Leghorn kuikens gevoerd met *Spirulina* concentraties van 0, 0,001, 0,1, 1 en 10 g per kg hadden vergelijkbare lichaamsgewichten na 7 weken.

(Holman & Malau-Aduli, 2013)

Eierdooierkwaliteitsverbetering

Leghennen kunnen worden gevoerd met speciale microalgen (zoals heterotroof groeiende *Schizochytrium* resp. *Cryptecodinium*) om "OMEGA" eieren te produceren. Hiermee kan via de diervoeding voedsel geproduceerd worden dat de humane gezondheid positief kan beïnvloeden. (Pulz & Gross, 2004)

Dunalliella Bardawil is een bron van vitamine A en een dooierkleur verbeterend middel bij legkippen. Er is gerapporteerd dat het effect van carotenoiden uit *Chlorella vulgaris* microalgen biomassa op de pigmentatie van de eidooier vergelijkbaar is met commerciële synthetische pigmenten. *Haematococcus* microalga kan ook worden gebruikt als een natuurlijke kleurstof in de voeding van vleeskuikens. Studies met leghennen gevoerd met de rode microalg *Porphyridium sp.* biomassa (5% en 10% van het rantsoen) toonden een verlaagd cholesterolgehalte en een gewijzigde vetzuursamenstelling in de eidooier aan, zonder verschillen in lichaamsgewicht, eieraantal en eiergewicht. Legkippen gevoerd met algen-biomassa verbruikten 10% minder voedsel voor beide groepen en hun serum

cholesterol niveaus waren significant lager (namelijk 11% en 28% voor de groep gevoederd met respectievelijk 5% en 10% algentoevoeging) in vergelijking met de waarden van de controlegroep. Eigeel van leghennen gevoed met algen gaven verlaagde cholesterol spiegels (10%) en verhoogde linolzuur en arachidonzuur spiegels (29% en 24%, respectievelijk). Bovendien was de kleur van de dooier donkerder als gevolg van de hogere carotenoïde concentraties (2,4 maal hoger) bij leghennen die gevoed werden met 5% algen.

(Gouveia et al., 2008)

Bij aanvulling van het leghennenrantsoen met zoutwatalgen (tot 4,8%) en werden verhoogde niveaus van DHA samen met een verlaging van n-6-vetzuren waargenomen. Noch de eierproductie noch de eierkwaliteit werden door de algelopname in het rantsoen bij de 56 weken oude hennen beïnvloed. Wanneer gefermenteerde *Schizochytrium sp.* (tot 4,3%) werd opgenomen in het hennenrantsoen was er een verbetering van de eierproductie en de voederconversie. Toevoeging van 0,86% en 4,3% microalgen verhoogde het DHA gehalte van het ei met inhoud met respectievelijk 134 en 220 mg per ei.

(Lum et al., 2013)

Het totale cholesterolgehalte van witte leghorns daalde ten opzichte van een controlegroep wanneer het voer verrijkt was met 150 g lijnzaad + 200 mg vitamine E + 3 g *Spirulina* per kg. 32 weken oude witte leghorns werden met 20% lijnzaad en 5% *Spirulina* (w/w) gevoerd en vergeleken met een groep die allen lijnzaad kreeg. De groep die voer met lijnzaad met 5% *Spirulina* (w/w) gevoerd kreeg, produceerde eieren met hogere linolzuurgehaltes en lagere cholesterolgehalte en de dooiers waren donkerder van kleur. Optimale eigeel pigmentatie werd verkregen door het voeren met *Spirulina* gehaltes van 1% van het rantsoen, vergeleken met een rantsoen zonder xanthofylen. Eidooier carotenoiden pigment en omega-3 vetzuren verhogen wanneer witte leghorns worden gevoed met 150 g lijnzaad + 200 mg vitamine E + 3 g *Spirulina* per kg voeding. (Holman & Malau-Aduli, 2013)

Immuunresponsverbetering

Witte leghorns (Cornell K) en vleeskuikens werden van uitkomen tot resp. 7 en 3 weken

gevoed met verschillende gehaltes *Spirulina platensis* (0–10 g kg⁻¹). Toevoeging van *Spirulina* bleek in deze experimenten de immuun functies te verbeteren:

- hogere SRBC antilichamen respons
- hogere PHA-P gemedieerde lymfoproliferatieve respons
- macrofagen hadden een hogere fagocytoseactiviteit
- toegenomen NK-cel activiteit

(Qureshi et al., 1996)

Er is een studie uitgevoerd om de effecten van verschillende gehaltenes microalgen *Chlorella sp.* op de prestaties van legkippen onder hittestress vast te stellen. *Chlorella* microalgen bleken geen effect te hebben op de productie (eierproductie en -gewicht, voedselopname en voederconversie). Toevoeging van *Chlorella* aan het drinkwater verbeterde de immuunrespons van legkippen en er werd een nog positiever effect waargenomen wanneer er 400 dpm aan het water werd toegevoegd (hogere SRBC antilichamen respons).

(Moradi en Mohamadi, 2014)

Kuikens gevoerd met 10 g per kg *Spirulina* hadden een hogere van NK cel activiteit vergeleken met de controlegroep, de ziekteresistentiepotentie werd verhoogd.

De fagocytoseactiviteit bij kippen gaf een incrementeel lineaire toename bij olopemde *Spirulina* aandelen van 0,5%, 1% en 2% van het rantsoen.

(Holman & Malau-Aduli, 2013)

Vleeskuikens die tijdens de eerste 4 levensweken voer met 1% *chlorella vulgaris* verstrekt kregen hadden over deze periode 3.5% meer gewichtstoename (1549 vs. 1603 g) en 8.5% betere voerbenutting (VC van 1.66 naar 1.52) (Kang et al., 2013). Deze wijzigingen gingen gepaard met een hogere concentratie immuunglobulinen (IGA en IGM) in het bloedplasma.

Bij kalkoenen gevoerd met *Spirulina* (1-10 g per kg voeding) werd een lagere niet-specifieke sterfte waargenomen. De mortaliteit daalde van 12% bij vogels op het controle rantsoen naar 3% bij 1 g algen per kg voeding.

(Becker, 2013)

6.2 Varkens

Eiwitvervanging

Naast pluimvee lijken varkens ook een potentiële groep waarvoor algen als voedingssupplement kunnen worden gebruikt. *Chlorella* en *Scenedesmus* als vervanging van sojaschroot en katoenzaad in concentraties tot 10% gaven geen verschillen in voederconversie. Biomassa van microalgen is een veevoedingsbestanddeel met een goede nutritionele kwaliteit en zeer geschikt voor de varkenshouderij. Het kan conventionele eiwitten zoals sojaschroot of vismeel vervangen en er zijn geen problemen met voeropname van algen gerapporteerd bij deze dieren. *Spirulina* is ook getest als additief in korte en lange termijn experimenten en alle bestudeerde parameters bleven identiek en er zijn geen verschillen in reproductie waargenomen. Er wordt een aandeel van 25% microalgen biomassa in het rantsoen aanbevolen, terwijl anderen er vanuit gaan dat een aandeel van 33% geen negatieve symptomen oplevert.

(Gouveia et al., 2008.)

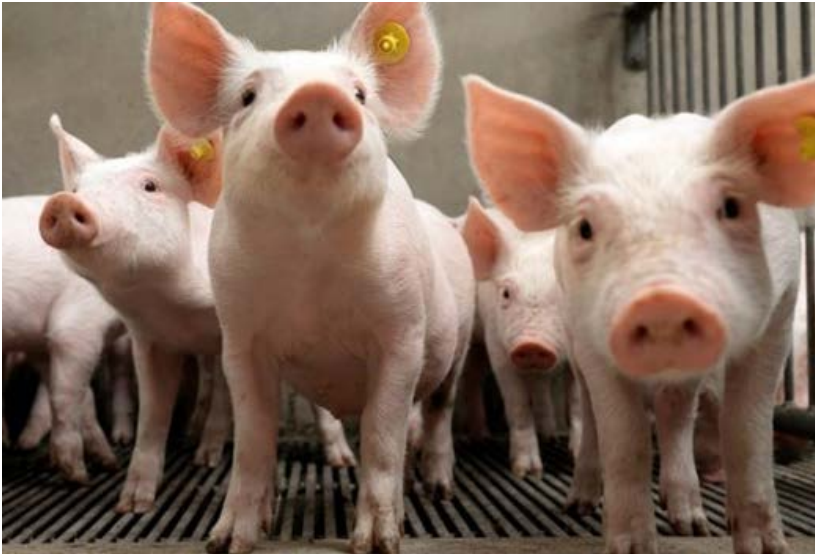


Foto 5: Biggen

Groeiverbetering

Door Holman & Malau-Aduli (2013) worden de volgende resultaten uit diverse onderzoeken opgesomd:

Gespeende biggen gevoed met een *Spirulina* aandeel van 1,5% en 3% van het rantsoen hadden hogere groeipercentages vergeleken met de controlegroep.

Gespeende biggen gevoed met *Spirulina* als gepelleteerde voeding hadden een afgenomen gemiddelde dagelijkse groei, terwijl degene die *Spirulina* als maaltijdvoeding kregen een verbeterde gemiddelde dagelijkse groei vertoonden.

De gemiddelde dagelijkse groei bij varkens met *Spirulina* gehalten van 2% in de voeding was hoger dan in de controlegroep gedurende dag 14-28 na het spenen.

Varkens gevoed met *Spirulina* gehalten van 14% hadden een vergelijkbare groei als die met magere melkpoeder gevoed waren.

Verhoging van het *Spirulina* aandeel in varkens voeding (0,5%, 1% en 2% van de voeding) gaf slechts een numerieke toename van de gemiddelde dagelijkse groei.

De opgesomde resultaten lijken niet erg consistent. Mogelijk is er sprake van een leeftijdseffect. Er kan bijvoorbeeld wel een positief effect bij gespeende biggen, maar geen effect bij oudere varkens zijn.

Uit de volgende tabel, uit Pulz en Gross, 2004, blijkt dat het eindgewicht van biggen die met *Chlorella* gevoerd werden bij twee van de vier proeven bij het Regional Research Center in Duitsland significant hoger was. Ook de gemiddelde groei per dag bij de biggen was in diezelfde twee proeven significant hoger.

Resultaten van Chlorella voerproeven met zeugen en biggen bij het Regional Research Center (LVA; Iden, Duitsland; Weber and Grimmer 2001 in Pulz, en Gross, 2004)

Parameter	Proef 1		Proef 2		Proef 3		Proef 4	
	Controle	Alg	Controle	Alg	Controle	Alg	Controle	Alg
Resultaten tijdens de zoogperiode								
Groei (g/d)	290	305	319	318	303	300	304	308
Gewicht bij spenen (kg)	7.5	7.9	8.5	8.5	7.2	7.18	7.8	7.8
Gewicht Einde opfokperiode (kg)	23.8	24.9	26.9 ^a	29.8 ^b	24.5	25.7	25.1 ^a	26.8 ^b
Periode van spenen tot einde opfok (d)	42	42	46.2	45.8	47	46.1	45	44.6
Resultaten tijdens de opfokperiode								
Groei (g/d)	388	404	396 ^a	466 ^b	369	403	386 ^a	424 ^b
Voederconversie (kg/kg)	1.67	1.66	1.74	1.66	1.73	1.57	1.71	1.63
Sterfte (aantal)	0	0	1	0	3	0	4	0

^{a,b}Significantieniveau $P > 0.05$

Vleeskwaliteitsverbetering

Uit een recente studie bleek niet alleen 10% groeiverbetering, maar ook een potentiële productie van jodium-rijk varkensvlees voor menselijke consumptie wanneer varkens werden gevoed met algen die een natuurlijke hoog jodiumgehalte hebben.

Bij varkens die gevoed werden met microalgen waren er verhoogde DHA concentraties in de lendenen en het onderhuidse vet. Echter, deze toename gaf geen dosis-afhankelijke respons.

(Lum et al., 2013).

Het is in deze bron niet te vinden wanneer het maximale effect werd bereikt.

Vruchtbaarheidsverbetering beren

Beren gevoed met 1,5 ml per dag BioR (gewonnen uit *Spirulina*) hadden een groter ejaculaatvolume en een grotere spermatozoa mobiliteit in vergelijking met een controlegroep.

(Holman & Malau-Aduli, 2013)

6.3 Melkvee

Melkproductie- en melkkwaliteitsverbetering

Het effect van *Spirulina platensis* op de melkproductie en serologische parameters bij koeien werd bestudeerd door Simkus et al. Een controlerantsoen zonder *Spirulina* werd vergeleken met een proefrantsoen waarmee 2 g verse *Spirulina* per dag per koe werd verstrekt. Volgens de auteurs gaven de koeien die *Spirulina* kregen tijdens het 60 dagen durende experiment een 7,6% of 136 kg toename in de gemiddelde hoeveelheid melk vergeleken met de koeien met het controle rantsoen. Bij koeien met algentoediening was de gemiddelde hoeveelheid melkvet verhoogd met 17,6-25%, het gemiddelde melkeiwit met 9,7%, en de hoeveelheid lactose met 11,7% ($p < 0,001$) vergeleken met de controles. Daarnaast verminderde toevoeging van *Spirulina platensis* de hoeveelheid somatische cellen in melk met 29.1%. Deze resultaten lijken zeer onwaarschijnlijk, omdat het enigszins wonderlijk is dat het voeren van 2 g natte alg een verhoogde dagelijkse melkproductie van meer dan 2 L kan hebben!

Een vergelijkbaar experiment, maar met veel hogere algenconcentraties in de voeding is beschreven door Kulpys et al. De auteurs testten de invloed van *Arthrospira platensis* (*Spirulina*) biomassa additieven op de lichamelijke conditie van melkgevendende koeien en de biochemische melk indexen werden onderzocht in een 90 dagen durend experiment waarbij dagelijks 200 g algen werden toegediend. De koeien uit de experimentele groep werden 8.5–11% vetter en elk dier gaf een gemiddelde van 34 kg melk per dag aan het begin van de lactatie ofwel 6 kg meer dan de controle groep.

(Becker, 2013)



Foto 6: Melkvee

Bij Holstein kruislingen die werden gevoerd met 40 g *Spirulina* per dag daalden de verzadigde melkvetzuren, terwijl enkelvoudig en meervoudig onverzadigde vetzuren verhoogden. (Holman & Malau-Aduli, 2013)

Microalgen biomassa of olie kan aan de voeding van herkauwers worden toegevoegd om hun melk vetzuursamenstelling te verbeteren. Het gehalte n-3-vetzuren in melk, met name DHA, blijkt toe te nemen bij opname van algen biomassa of olie, zonder dat de melkgift beïnvloed wordt. Echter, een studie met vergelijkbare algen opname in het rantsoen bleek een daling van het melkvetgehalte op te leveren.

Veel studies bij herkauwers zijn gericht op het produceren van n-3 vetzuur-verrijkte melk. In een dergelijke studie van Stamey et al. werd ofwel biomassa van de algen ofwel olie aan melkkoeien toegediend. Het totale melkvet gehalte en de opbrengst werd niet beïnvloed door de algenaanvulling, maar het melk DHA (C 22:6) gehalte werd was in beide gevallen hoger. Glover et al. gaven aan dat voeding met microalgen en verse voedergewassen resulteerde in een daling van het totale melkvetgehalte, maar in een verhoging van de DHA concentratie. Een parallelle studie werd uitgevoerd bij schapen om te bepalen of aanvulling met algen en (of) mede aanvulling met zonnebloemolie in het rantsoen het nutriëntenprofiel van melk verbeterde. De melkgift werd niet beïnvloed door de behandelingen, terwijl het melkvetgehalte werd verlaagd en de melk DHA concentratie werd verhoogd bij toename van het gehalte algen in de voeding. Franklin et al. ondervonden dat het voeren van melkkoeien met algen ofwel beschermde tegen ruminale biohydrogenatie ofwel de melk DHA concentratie verhoogde, zonder het melkvetgehalte te beïnvloeden. Samenvattend geeft toevoeging van microalgen aan rantsoenen van herkauwers een verhoogde concentratie van n-3 PUFA in melk met een wisselend effect op het melkvetgehalte.

(Lum et al, 2013)

6.4 Kalveren

Cholesterolverlaging

Een Iraanse studie onderzocht de prestaties, verteerbaarheid en serum parameters bij kalveren gevoerd met rantsoenen die verschillende hoeveelheden *Spirulina* bevatten. Het experiment duurde 57 dagen en de dagelijkse algentoediening bedroeg 2, 6 en 25 g. De resultaten toonden aan dat de behandelingen geen significant effect hadden op eindgewicht, dagelijkse groei, dagelijkse voedselopname, voerefficiëntie en verteringscoëfficiënt, terwijl verhoging van de *Spirulina* toevoeging tot 25 g een daling gaf van de verteerbaarheid van de droge stof, ruw eiwit, vezels (NDF) en organisch materiaal. Er werd een significante vermindering van de plasma cholesterol concentratie waargenomen bij de 25 g *Spirulina*-gevoederde dieren in vergelijking met de controlegroepen.

(Becker, 2013)

6.5 Lammeren

Gewichtsverhoging en groeiverbetering lammeren

6-maanden oude lammeren die gevoerd werden met 10% (w/w) *Spirulina* hadden een hoger levend gewicht dan degene die 20% (w/w) kregen en dan de controle groep.

De lichamelijke conditie van de lammeren scoorde stapsgewijs beter bij *Spirulina* gehalten van 10% en 20% (w/w) vergeleken met de controles.

Lammeren die op 15–30 dagen leeftijd gevoerd werden met koemelk verrijkt met 10 g *Spirulina* per dag hadden hogere levende gewichten en groeipercentages dan de controle groep.

Drachtige oaien die ad libitum gevoerd werden met voederpellets die 2 g *Spirulina* bevatten gaven lammeren met hogere geboortegewichten en een hogere dagelijkse groei dan die van de oaien met de controle voeding.

(Holman & Malau-Aduli, 2013)

6.6 Vissen

Uit een studie met karpers kwam naar voren dat *Spirulina* goed in staat is om een deel van het vismeel in het voer te vervangen, zonder dat dit ten koste ging van de dierprestaties of de kwaliteit van de vis (Abdulrahman and Hamad Ameen, 2014).



7 Economische aspecten algen in veevoer

Algen zouden als eiwitvervanger in veevoer toegepast kunnen worden, als bron van meervoudige onverzadigde vetzuren (PUFA) of als voederadditief met gezondheid bevorderende eigenschappen. Hierbij is de huidige relatief hoge kostprijs van algen een beperkende factor.

7.1 Kostprijs algen

De kostprijs voor algen is nog relatief hoog vergeleken met de conventionele bron van eiwit, zoals bijvoorbeeld sojaschroot. Vooral de kosten voor aanleg en installatie van de vijver of van fotobioreactoren zijn hoog, samen met de stroomkosten. Bij opschaling kunnen de relatieve kosten voor de installatie sterk verlaagd worden, maar de energiekosten blijven nog steeds hoog, met name voor het rondpompen van het algenwater (Spruijt et al., 2014). Ook voor de naooogstbehandelingen die nodig zijn om de algen verder in veevoertoepassingen te kunnen verwerken moeten nog kosten worden gemaakt, denk bijvoorbeeld aan het drogen van algen.

Op basis van de chemische samenstelling en de *in vitro* verteerbaarheid is een inschatting gemaakt van de voederwaarde van gedroogde algen, waarna voeroptimalisaties met deze algen in een vleesvarkensvoer zijn uitgevoerd (Van Krimpen et al., 2014). Hieruit blijkt dat de algen tot een kostprijs van € 0,30 per kg goed kunnen concurreren met andere veevoergrondstoffen. Bij dit prijsniveau wordt ca. 5% gedroogde algen opgenomen in het voer. De minimale kostprijs bij grootschalige algenproductie bedraagt echter nog € 5 per kg (Spruijt et al., 2014).

Met behulp van het programma Bedrijfswijzer Pluimvee (Vermeij and Kanis, 2005) is nagegaan wat de economische waarde is van de gerealiseerde verbeteringen in technische prestaties in het vleeskuikenexperiment van Kang (Kang et al., 2013). In dit experiment nam de groei toe met 3.5% en de voederconversie verbeterde met 8.5%. De controlegroep realiseerde op basis van de standaard prijzen in Bedrijfswijzer Pluimvee een voerwinst van € 31.25 per 100 opgezette kuikens, terwijl de voerwinst bij de *Chlorella* groep onder deze aannames € 41.12 bedroeg. Bij een kostprijs van € 5.25/kg *Chlorella* behaalden beide groepen een zelfde voerwinst. Dit betekent dat *Chlorella* op basis van de verbeteringen van de dierprestaties max. € 5.25/kg zou mogen kosten. In deze berekeningen zijn eventuele andere gezondheidseffecten, zoals minder uitval en minder antibioticumgebruik, niet mee begroot.

7.2 Eiwitvervanging

Sojaschroot is vandaag de dag een belangrijke eiwitbron voor veevoer vanwege het zeer hoge eiwitgehalte en eiwitverteerbaarheid, het goede aminozuurprofiel en de lage kostprijs. Vooral in varkens- en pluimveevoer worden hoge percentages sojaschroot verwerkt. Sojavervangers maken alleen een kans in het rantsoen opgenomen te worden als sprake is van een hoog eiwitgehalte tegen een aantrekkelijke prijs (Kamp et al., 2008). Algen zullen moeten concurreren met soja dat naar Nederland (voornamelijk uit Argentinië en Brazilië) geïmporteerd wordt.



Foto 7: Sojabonen

Momenteel is de kostprijs van algen relatief hoog in vergelijking met andere eiwitbronnen. Hierdoor is grootschalige toepassing in de veehouderij niet voor de hand liggend. Verder beperken de smakelijkheid en de geur soms het gebruik in de veehouderij. De productie kosten voor algen kunnen echter verlaagd worden door ontwikkelingen in goedkope groeimmedia, een efficiënter nutriënten gebruik, een verbeterde groei en verdere innovatie in teelt, oogst- en droogmethoden. Bovendien neemt onderzoek naar afzetmethoden en de invloed hiervan op de productkwaliteit toe, waardoor er meer inzicht ontstaat in de praktische aspecten van o.a. *Spirulina* toepassingen.

(Holman & Malau-Aduli, 2013)

7.3 PUFA's

Veelbelovende toepassingen van algen lipiden moet altijd realistisch worden bekeken tegen het licht van de huidige economische situatie. Als men de huidige wereldmarktprijzen voor zalm olie (14% EPA, 12,4% DHA, 2,8% Docosapentaeenzuur)

en visolie (18% EPA en 12% DHA) bekijkt kunnen algen lipiden onder de huidige omstandigheden niet concurreren met de conventionele bronnen van PUFA's, zelfs als men een betere prijs voor deze lipiden aanneemt, omdat ze van plantaardige afkomst zijn. (Becker, 2013). In keukens van zorginstellingen werkt men echter niet graag met vis, waardoor het menu van bewoners van deze instellingen vaak onvoldoende n-3 vetzuren bevat. Het verrijken van vlees of eieren met n-3 vetzuren door varkens en pluimvee algenrijk voer te geven kan een bijdrage leveren aan het oplossen van dit probleem.

7.4 Voederadditieven

De marktperspectieven voor gebruik van microalgen als voederadditieven zijn positief vanwege de verschillende positieve effecten op diergezondheid. Bovendien is het feit dat diverse landen het gebruik van antibiotica in voer willen verminderen een stimulans voor het gebruik van andere gezondheid bevorderende voederadditieven. (Voort et al., 2014)



8 Algenteelt en duurzaamheid

8.1 Minder landgebruik

Microalgen biotechnologie is vergelijkbaar met de conventionele landbouw, maar heeft een veel hoger productiepotentieel dan de traditionele gewassen en kan worden verplaatst naar gebieden en klimaten die ongeschikt zijn voor agrarische doeleinden (zoals woestijn- en kustgebieden). (Gouveia et al., 2008)

Algen kunnen meer eiwitten per hectare grond produceren dan de huidige akkerbouwgewassen en ook meer stikstof per oppervlakte-eenheid gebruiken. In open vijvers met een licht efficiëntie van 1,5%, produceren algen nu nog 15 ton drooggewicht per hectare bij Nederlands daglicht in water van 25 °C, maar ze kunnen in theorie maar liefst 25 ton drooggewicht per hectare produceren. Met een eiwitgehalte in de geoogste algen van ongeveer 50%, zou dit een eiwit opbrengst van 12,5 ton per hectare betekenen. De eiwit opbrengst van akkerbouwgewassen bedraagt ongeveer 1-2 ton per hectare. (Van der Weide et al., 2014)

"71 % van de wereld bestaat uit water."...."De capaciteitsmogelijkheden van de oceanen worden echter nog nauwelijks benut. Zeewieren en algen kunnen nog beter worden gebruikt ter vervanging van veel meer vervuilende componenten." (Rabbinge, 2013)

8.2 Hergebruik reststromen

De teelt van microalgen kan effectief nutriënten (of verontreinigingen) uit water verwijderen (zoals stikstof en fosfor). (Gouveia et al., 2008)

Bij de algenproductie bij ACRRES-Wageningen UR en Kelstein wordt gebruik gemaakt van reststromen. Op beide locaties is er een biogasinstallatie met warmtekrachtkoppeling (WKK), waarbij elektriciteit, restwarmte, vrijkomend CO₂ en nutriënten worden gebruikt voor algenkweek in vijvers en reactoren.

Er vindt door ACRRES in samenwerking met Algae Food & Fuel onderzoek plaats naar o.a. het zuiveren van afvalwater met algen in LED-reactoren. Vooralsnog is voor de teelt van algen nog veel stroom nodig, zeker wanneer er LED-licht gebruikt wordt.

Bij kalverhouder Kroes in Uddel wordt mest vergist, waarna het digestaat wordt verdeeld in een dikke en dunne fractie. De dunne fractie van het digestaat wordt gezuiverd door het te gebruiken als voeding voor het eendenkroos. Voor de teelt van eendenkroos wordt eventueel tevens gebruik gemaakt van elektriciteit en warmte van de aan de vergister gekoppelde WKK. Het eendenkroos wordt geoogst en aan de kalveren gevoederd. Het

krooswater en eventueel de kalverurine wordt (verder) gezuiverd door er algen op te kweken. Naast het krooswater en de urine wordt voor de algenteelt gebruik gemaakt van elektriciteit, warmte en rookgassen van de WKK reactor. De waterige algenmassa wordt voor de vochtbehoefte van de kalveren gebruikt, waarbij de voedingswaarde van de algen ook van belang is.

8.3 Vermindering energieverbruik en broeikasgasemissies

De import van eiwithoudende grondstoffen in Nederland zorgt voor veel transportbewegingen en hiermee voor fossiel energiegebruik, CO₂ emissie, fijn stof emissie en ruimtegebruik voor wegen. Productie van eiwitten in Nederland geeft vanzelfsprekend de minste transportbewegingen. (Kamp et al., 2008)

Microalgen productie is een belangrijk natuurlijke mechanisme om het teveel aan CO₂ in de atmosfeer te verminderen door bio fixatie en recycling van gebonden koolstof uit producten, zodat het broeikas effect verminderd wordt en de opwarming van de aarde en de klimaatveranderingen beperkt worden. (Gouveia et al., 2008)

Vooralsnog is voor de teelt van algen nog veel stroom nodig om het algenwater rond te pompen. Ook voor het drogen van algen om ze verder te kunnen gebruiken in veevoedertoepassingen is veel energie nodig.

8.4 Verbetering (fosfaat)kringlopen

Fosfaat is een eindige grondstof. Eenmaal opgelost in (zee)water is het vooralsnog niet economisch terug te winnen. Dit is een belangrijk item omdat de verwachting is dat mondiale fosfor voorraden tussen de 50 en 100 jaar opraken. Algen zijn in staat om fosfaat en andere nutriënten uit een waterig milieu terug te winnen en hiermee wordt het mogelijk om lokale kringlopen beter te sluiten en verlies tegen te gaan. Bij een lokale productie van algen als eiwitvervanger kan de import van soja beperkt worden, wat een beperking van transportkilometers en transport van mineralen vanuit éne werelddeel naar andere, kan betekenen.

8.5 Geen uitsterving bedreigde vissoorten

EPA en DHA worden nu meestal uit vette vis gewonnen, dit terwijl veel vissoorten met uitsterven worden bedreigd. Winning van EPA en DHA uit algen levert geen gevaar op voor met uitsterving bedreigde vissoorten.

9 Kansen

9.1 Algen als bulktoepassing in veevoer

- Op droge stofbasis bevatten algen vergelijkbare of zelfs hogere gehalten ruw eiwit, koolhydraten en vetten dan conventionele grondstoffen (sojabonen). De variatie in nutriëntensamenstelling tussen verschillende micro algen is groot, maar
 - de meeste algen hebben een **hoog eiwitgehalte** en uit onderzoek blijkt dat algen tot een aandeel van 14% en mogelijk zelfs tot 33% in vleesvarkensvoer opgenomen kunnen worden zonder negatief effect op de dierprestaties. Bij leghennen en vleeskuikens bleek het opnemen van respectievelijk 12 en 17% algen in het voer goed mogelijk zonder dat de dierprestaties negatief beïnvloed werden.
 - verschillende algen hebben een hoog **vetgehalte** en een **hoog gehalte meervoudig onverzadigde vetzuren**, waaronder **EPA en DHA**
 - de meeste algen hebben een **hoog gehalte belangrijke vitaminen**

9.2 Algen als veevoederadditief

- Algen zijn mogelijk **gezondheid bevorderend**:
 - van verschillende algensoorten zijn diverse **antibacteriële eigenschappen** aangetoond, wat zeer gewenst is vanwege de toenemende resistentie van bacteriën tegen antibiotica bij de mens en in de veehouderij, waardoor men antibiotica in veevoer zoveel mogelijk wil beperken.
 - ook zijn er zo voorbeelden van algen met **antivirale eigenschappen**
 - algen bestaan uit meerdere **antioxidanten** (de pigmenten **chlorofyl** en **carotenoïden**), deze hebben **anti-inflammatoire eigenschappen** en kunnen **degeneratieve ziekten voorkomen**
 - algen bevorderen de **immuunrespons** wat resulteert in verbeterde groei, ziekteresistentie, voederconversie, reproductievermogen en uiterlijke kenmerken als een gezonde huid en een glanzende vacht
 - o bij **pluimvee** is een **verbeterde immuunrespons** aangetoond in experimenten
 - o **zeugen en biggen** en **ooien en lammeren** blijken in onderzoeken een **verbeterde groei** en eindgewicht te behalen
 - o bij melkkoeien werd in onderzoeken een **verhoogde melkgift en verbeterde eiwit- en vetgehaltes** waargenomen
 - vanwege het hoge gehalte **meervoudig onverzadigde vetzuren** in algen, geven kippen en melkkoeien die hiermee gevoerd zijn **eieren** en **melk** met deze

- gezonde vetzuren en bij **kalveren** werd een **verlaagd cholesterol gehalte** waargenomen, zo blijkt uit onderzoek
- het pigment **carotenoïde** in algen verbetert de **pigmentatie van de eierdooier** en de **kleur van braadkippen**
 - Verschillende algen (vooral macroalgen) hebben een **hoog mineralen gehalte**

9.3 Algen in veevoer en duurzaamheid

- Toepassing van algen in veevoer kan de duurzaamheid vergroten doordat:
 - voor de productie van eiwit veel **minder land nodig** is dan voor traditionele eiwitgewassen
 - algenproductie **niet op landbouwgronden** hoeft plaats te vinden dus verplaatst kan worden
 - de volgende **reststromen** bij de algenteelt **kunnen worden hergebruikt**: CO₂, warmte, mest en afvalwater
 - algen bijdragen aan **CO₂ opname** uit de atmosfeer waardoor de hoeveelheid broeikasgassen verlaagd wordt
 - bij lokale productie van algen als eiwitvervanger kan de grootschalige import van soja beperkt worden, wat een **beperking van transportkilometers en lokale fosfaat ophoping** kan betekenen
 - winning van EPA en DHA uit algen in plaats van uit vette vis geeft **geen gevaar voor met uitsterving bedreigde vissoorten**

10 Uitdagingen

10.1 Verder aantonen van voederwaarde en gezondheidsaspecten

Op dit moment is de kostprijs van algen nog te hoog om uitsluitend op basis van de aanwezige nutriënten en eiwitten in de algen te kunnen concurreren met andere mengvoergrondstoffen. Verder onderzoek naar algensoorten met gunstige voedingssamenstelling en/of inhoudsstoffen die de gezondheid bevorderen is gewenst, omdat de economische waarde van algen aanzienlijk verhoogd kan worden als de gezondheid bevorderende eigenschappen (verder) aangetoond kunnen worden. Vervolgens dienen deze algen in Nederlandse veehouderijsectoren via praktijkonderzoek getoetst te worden op hun effect op productie, kwaliteit en gezondheid.

10.2 Verhoging van algenproductie

Potentiële verhoging van de algenproductie per ha kan het beste via praktijkonderzoek plaats vinden. Door nieuwe algenteeltsystemen zoals teelt onder LED-licht of teelt in plastic zakken en nieuwe oogst en bewerkingsystemen in de praktijk te toetsen wordt ervaring opgedaan en ontstaat verder inzicht in de mogelijkheden voor productieverhoging.

10.3 Vermindering van het energie verbruik

Vooraf voor het rondpompen van algenwater is nog veel stroom nodig in de verschillende algenteeltsystemen. Ook het drogen van algen voor verder verwerking in veevoer kost veel energie. Er is verder onderzoek nodig naar de mogelijkheden om het energieverbruik voor de teelt, oogst en verwerking van algen te verminderen.

10.4 Kwaliteitsverbetering

Er is meer inzicht nodig in de invloed van teelt-, oogst-, naooogst- en droogmethoden en eventuele verdere raffinage stappen op de voedingswaarde en de inhoudsstoffen van algen. Er zou bijvoorbeeld verder onderzoek kunnen plaatsvinden naar de toename van oxidatieve eigenschappen en waardevolle inhoudsstoffen van algen onder stress en/of door specifieke belichting.

10.5 Kostprijsverlaging

Om te kunnen concurreren met sojaschroot als eiwitbron, met visolie als PUFA-bron en met andere veevoederadditieven zal de kostprijs van algen verlaagd moeten worden. Ontwikkeling van innovatieve, productievere algenteeltsystemen, met beperkte installatiekosten en een zo laag mogelijk energieverbruik zou dit mogelijk moeten maken.

10.6 Risicoanalyse gebruik reststromen

Om gebruik te kunnen maken van mest, digestaat of andere reststromen als bijvoorbeeld afvalwater bij de algenteelt zal een goede risico analyse gemaakt moeten worden om de algen in veevoeder te mogen verwerken.

10.7 Vermindering schadelijke stoffen

De eventuele accumulatie van zware metalen in de algen, indien deze groeien in omstandigheden met veel van deze metalen, en mogelijk ook het nucleïnezuur en as-gehalte zijn punten van aandacht. Overigens is het onduidelijk in hoeverre nucleïnezuren als schadelijke stof voor dieren beschouwd moeten worden. Uit onderzoek met biggen bleek dat nucleïnezuren een positief effect hebben op het IgA-gehalte in het bloedplasma en daarmee op de humorale immuniteit van dieren (Sauer et al., 2012). Dit is in lijn met studies bij vleeskuikens, waarin aangetoond werd dat toevoeging van algen in het voer eveneens het IgA-gehalte in het bloedplasma verhoogde (Kang et al., 2013).

11 Literatuur

- Abdulrahman, N. M., and H. J. Hamad Ameen. Replacement of fishmeal with microalgae spirulina on common carp weight gain, meat and sensitive composition and survival. *Pakistan Journal of Nutrition* 2014 13(2):93-98.
- Amaro, H.M., Guedes, C., Malcata, F.X. Antimicrobial activities of microalgae: an invited review. *Science against microbial pathogens: communicating current research and technological advances*. FORMATEX 2011.
- Batista, A.P., Gouveia, L., Bandarra, N.M., Franco, J.M., Raymundo, A. Comparison of microalgal biomass profiles as novel functional ingredient for food products. *Algal Research* 2, 164–173, 2013.
- Becker, E.W. Microalgae for Human and Animal Nutrition. *Handbook of Microalgal Culture: Applied Phycology and Biotechnology*, Chapter 25. 2013.
- Chisti Y: Biodiesel from microalgae. *Biotechnol Adv* 2007, 25:294–306.
- Ekmay, R.D., Chou, K., Magnuson, A. and Lei, X.G. Continual feeding of two types of microalgal biomass affected protein digestion and metabolism in laying hens *Journal of animal science* 2015; 93; 287-297
- Fevrier C, Seve B: Incorporation of a spiruline (*spirulina maxima*) in swine food. *Ann Nutr Aliment* 1975, 29:625–650.
- Gatrell, S. K., M. L. Manor, and X. G. Lei. Developing omega-3 fatty acids-enriched animal products by feeding defatted microalgal biomass from biofuel production. *C. U. Department of Animal Science* ed. 2014.
- Gouveia, L., Batista, A.P., Sousa, I., Raymundo, A. and Bandarra, N. M. Microalgae in Novel Food Products. *Food Chemistry Research Developments*, 2008.
- Holman, B. W. B. and Malau-Aduli, A. E. O. *Spirulina* as a livestock supplement and animal feed. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 97 (2013) 615–623.
- Kamp, J., Berkum, S. van, Laar, H. van, Sukkel, W., Timmer, R., Voort, M. van der. *Perspectieven van sojavervinging in voer; Op zoek naar Europese alternatieven voor soja*. *Praktijkonderzoek Plant & Omgeving*, 2008.
- Kang, H. K., H. M. Salim, N. Akter, D. W. Kim, J. H. Kim, H. T. Bang, M. J. Kim, J. C. Na, J. Hwangbo, H. C. Choi, and O. S. Suh. Effect of various forms of dietary chlorella supplementation on growth performance, immune characteristics, and intestinal microflora population of broiler chickens. *J. Appl. Poult. Res.* 2013 22(1):100-108.
- Kovač, D.J., Simeunović, J.B., Babić, O.B., Mišan, A.C., Milovanović, I.L. Algae in Food and Feed. *Food and Feed Research* 40 (1), 21-31, 2013.
- Krimpen, M.M. van, Wikselaar, P.G. van, Bikker, P. De in vitro verteerbaarheid van gedroogde algen. *Livestock Research Wageningen UR*, 2014.
- Lum, K.K., Kim, J. and Lei, X. G. Dual potential of microalgae as a sustainable biofuel feedstock and animal feed. *Journal of Animal Science and Biotechnology* 2013, 4:53

Marrez, D.A., Naguib, M.M., Sultan, Y.Y., Daw, Z.Y. & Higazy, A.M. Evaluation of chemical composition for *Spirulina platensis* in different Culture Media, Research Journal of Pharmaceutical, Biological and chemical sciences, 5(4): 1161-1171, 2014

Moradi kor, N., Mohamadi, N. The Effects of different levels *Chlorella* Microalgae on performance and immune response of laying hens under heat stress condition. International journal of Advanced Biological and Biomedical Research Volume 2, Issue 6, 2014: 2127-2133.

Mostafa, S.S.M. Microalgal Biotechnology: Prospects and Applications. Plant Science Chapter 12. InTech 2012.

Ortega-Calvo, J., C. Mazuelos, B. Hermosin & Saiz-Jimenez, C. Chemical composition of *Spirulina* and eukaryotic algae food products marketed in Spain. Journal of Applied Phycology 5: 425-435, 1993.

Pulz, O. and Gross, W. Valuable products from biotechnology of microalgae. Applied Microbiology Biotechnology (2004) 65: 635–648

Qureshi, M.A., Garlich, J. & Kidd, M. Dietary *Spirulina platensis* enhances humoral and cell-mediated immune function in chickens. Immunopharmacol. Immunotoxicol. 1996, 18: 465–476.

Rabbinge, prof. dr ir R., Emeritus universiteitshoogleraar Duurzame ontwikkeling en voedselzekerheid. Naar een duurzame, groene economie. Lustrumconferentie van het Application Centre for Renewable RESources (ACRRES) op 7 maart 2013 te Lelystad.

Sauer, N., M. Eklund, E. Bauer, M. G. Ganzle, C. J. Field, R. T. Zijlstra, and R. Mosenthin. The effects of pure nucleotides on performance, humoral immunity, gut structure and numbers of intestinal bacteria of newly weaned pigs. J. Anim. Sci. 2012, 90(9):3126-3134.

Spolaore, P., Joannis-Cassan, C., Duran, E and Isambert, A. Commercial Applications of Microalgae. Journal of Bioscience and Engineering Vol. 101, No. 2, 87–96. 2006.

Spruijt, J.; Schipperus, R.; Kootstra, M.; Visser, C.L.M. de; Parker, B. Algaeconomics: bio-economic production models of micro-algae and downstream processing to produce bio energy carriers, Public Output report of the EnAlgae project, Swansea, in voorbereiding, 2014.

Taintor, J. S., J. Wright, F. Caldwell, B. Dymond, and J. Schumacher. Efficacy of an extract of blue-green algae in amelioration of lameness caused by degenerative joint disease in the horse. Journal of Equine Veterinary Science 2014 34(10): 1197-1200.

Van Kasteren, J. Ecoferm! De kringloopboederij. Innovatienetwerk Rapportnr. 11.2.248, 114 p., 2011.

Venkataraman, L.V., Somasekaran, T and Becker, E.W. Replacement Value of Blue/green alga (*Spirulina platensis*) for Fishmeal and Vitamin/mineral Premix for Broiler Chicks. British Poultry Science (1994) 35: 373-381

Voort, M. de, Vulsteke, E. and Visser, C. de. Macro-economics of algae. EnAlgae report WP2A7.01, in voorbereiding, 2014.

Weide, R.Y. van der, Schipperus, R., Dijk, W. van. Algae Cultivating using Digestate as Nutrient Source: Opportunities and Challenges. Proceedings European Biomass Conferention and Exhibition Hamburg, p. 1778-1784, 2014.

Vermeij, I., and J. Kanis. 2005. Bedrijfswijzer pluimvee geeft u het antwoord: Wijziging zinvol en haalbaar? De Pluimveehouderij 35:25.

11.1 Websites

- www.acrres.nl
- www.kelstein.nl
- www.algaefoodfuel.com
- www.algaecom.nl
- www.vbvoer.nl/supplementen

