



РЕПУБЛИКА БЪЛГАРИЯ

Министерство на земеделието и храните
Център за оценка на риска
по хранителната верига



Информация

Микроводораслите - бъдещ източник на суровини за устойчиво производство на фуражи

Фуражите представляват комбинация от различни суровини и добавки. Дажбите се разработват в съответствие със специфичните изисквания на целевите животни за задоволяване на основните потребности от разнообразни хранителни вещества. Те включват въглехидрати, мазнини, фибри, протеини, минерали и витамини. Производството на фуражи може да бъде твърде скъп процес, поради което се търсят алтернативни, икономически изгодни и висококачествени съставки, които да допълват конвенционалните фуражи. През последните години се полагат интензивни усилия за намиране на нови, устойчиви компоненти за фуражи. Съществува непосредствена необходимост от идентифициране на алтернативни източници на суровини с високо съдържание на хранителни вещества за животновъдството и птицевъдството, за да се отговори на нарастващата конкуренция с храните, а и за да се произведат функционални хранителни продукти от животински произход.

През 2023 г., електронно информационно издание публикува статия, в която се разглежда употребата на микроводораслите във фуражи [1]. Използването на микроводорасли за храна на животни започва в началото на 70-те години. Микроводораслите притежават свойства, които повишават хранителната стойност на фуражите и това води до благоприятен ефект върху здравето на животните. Както висшите растения, микроводораслите съдържат основно протеини, въглехидрати, липиди, витамини, антиоксиданти и микроелементи. Хранителният състав на микроводораслите е в следните граници: 39-54% протеини за морските микроводорасли и 10-71% за сладководните, 8-64% въглехидрати и 2-22% липиди. Видовете имат сходен аминокиселинен състав и са богати на незаменими аминокиселини. Първоначално микроводораслите са били използвани само като добавки за хранене на животни. Проведени са редица проучвания върху риби, селскостопански животни и домашни любимци, за да се оцени потенциалът им като фуражни добавки и въздействието им върху здравето, растежните показатели на животните и хранителните качества на продуктите от животински произход. Съществуват и някои ограничения при влагането на биомаса от микроводорасли във фуражи. Освен сравнително високата цена на продуктите, съдържанието на определени нежелани примеси (нуклеинови киселини, токсини, тежки метали и др.) представлява проблем. Преди употреба, материалът от водорасли трябва задължително да бъде подложен на оценка на безопасността и да се прилага след като се докаже, че не представлява риск.

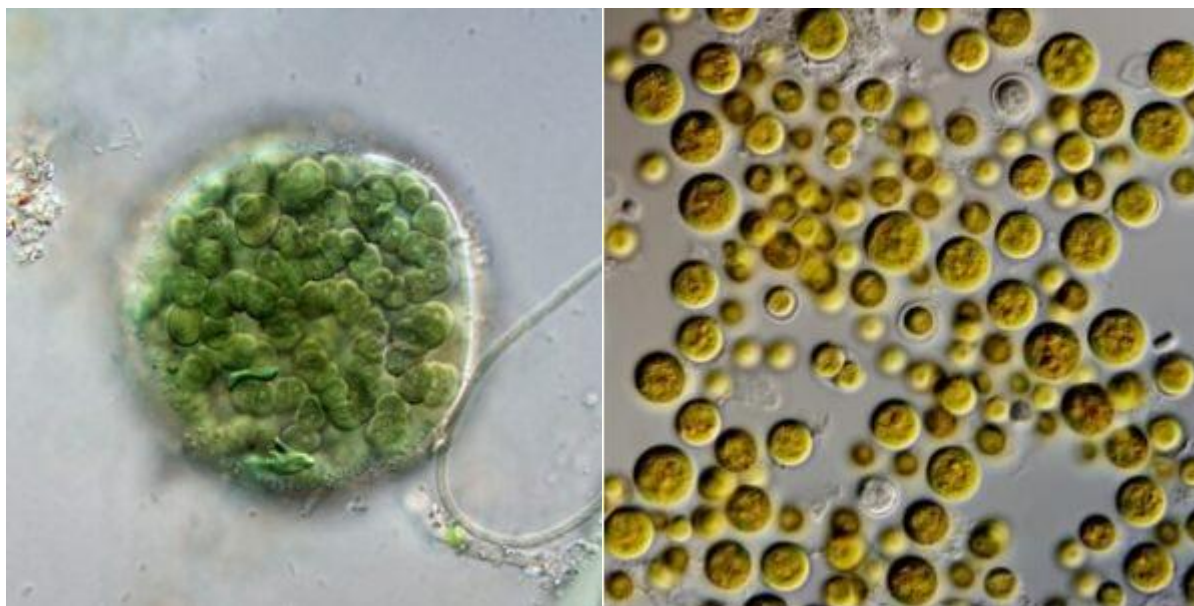
В друга публикация [2] учени определят микроводораслите като микроскопични едноклетъчни организми, способни да преобразуват слънчевата енергия в химическа чрез фотосинтеза, въпреки че някои видове са хетеротрофни. Те се разделят на диатомеи (*Bacillariophyceae*), зелени водорасли (*Chlorophyceae*) и златни водорасли (*Chrysophyceae*),

☐ Amber ☐ Green ☒ White

1618, гр. София, бул. "Цар Борис III" № 136; тел. +359 2 427 30 56
<https://corhv.government.bg>, corhv@mzh.government.bg

които са еукариотни и синьо-зелени водорасли - цианобактерии (*Cyanophyceae*), които са прокариотни. Най-важните фототрофни видове принадлежат към родовете *Arthrospira*, *Chlorella*, *Dunaliella* и *Haematococcus*.

Екип от учени от Чехия и Ирландия (Lucakova, S. et. Al) [3] разглеждат сферите на приложение на протеини и биоактивни вещества от микроводорасли. Учените определят микроводораслите като разнообразна група микроорганизми, известни като фитопланктон, чиято класификация непрекъснато се преразглежда поради нови генетични данни. Въпреки това, по-голямата част от микроводораслите са едноклетъчни, фотосинтезиращи микроорганизми, които произвеждат кислород и асимилират въглероден диоксид (CO₂) като получават макро- и микроелементи от водната среда. Терминът "микроводорасли" (Фиг. 1) се отнася както за еукариотните микроводорасли, така и за прокариотните цианобактерии. Те играят важна роля в морската хранителна верига като основен източник на омега-3 мастни киселини. Микроводораслите могат да оцелеят в отпадъчни води, морски и океански води. Те имат висок темп на растеж и продуктивност, не се конкурират със култури за земеделска земя и са високо ефективни фиксатори на CO₂. Въпреки че броят на видовете микроводорасли се оценява на 200 000 (според www.algaebase.org настоящият брой на известните видове е около 173 000), в момента са проучени само 30 000 вида. Известно е, че няколко вида микроводорасли се консумират от древни времена - това са *Arthrospira platensis* (езерото Чад), *Arthrospira maxima* (езерото Текскоко), *Nostoc commune* (Китай), *Nostoc flagelliforme* (Китай) и *Aphanothece sacrum* (Япония).



Фиг. 1. Видове микроводорасли

Първото мащабно производство на *Chlorella vulgaris* започва в Масачузетския технологичен институт през 1951 г., последвано от производството на *Arthrospira* sp. през 1973 г. в Мексико. Микроводораслите са известен източник на протеини, пребиотици, липиди, малки молекули, антиоксиданти и биоактивни вещества, които могат да се използват за разработване на функционални храни, фуражи, козметични и фармацевтични продукти. Видовете микроводорасли, които понастоящем се отглеждат в големи количества, включват *Arthrospira* spp. (световно годишно производство на 5000 тона биомаса), *Chlorella* spp. (световно годишно производство на 2000 тона биомаса), *Nannochloropsis* spp. и *Haematococcus pluvialis*. Азия и Австралия произвеждат най-големи количества микроводорасли за хранително-вкусовия и фуражния сектор, а производството на европейските компании

понастоящем се оценява на около 5% от световния пазар. Годишният добив на микроводорасли в Европа е 182 тона суха маса, произведени от 167 компании и 142 тона суха маса от *Arthrospira* spp. от 222 компании. Най-големите производители на микроводорасли в Европа са Германия, Франция, Италия, Испания и Португалия.

През последното десетилетие се наблюдава 150% увеличение на броя на съществуващите нови компании за производство на водорасли. Въпреки това, няколко фактора ограничават потенциала на европейския пазар на микроводорасли, включително недостатъчното вътрешно търсене на продукти на базата на микроводорасли и трудностите при получаването на търговско разрешение за производство на микроводорасли в Европейския съюз (ЕС). Пазарната стойност на биомасата от микроводорасли зависи от производствената система и разходи, мястото на произход, сертификатите (например биологично производство) и етапа във веригата за създаване на стойност (сегмент "от предприятие към предприятие" или "от предприятие към потребител"). Пазарната стойност на някои микроводорасли, като *Chlorella* sp. и *Spirulina* spp., е оценена на 150 и 280 EUR/kg суха маса, а за *Nannochloropsis* sp. (най-подходящият вид за фураж) пазарната стойност може да достигне 1000 EUR/kg суха маса микроводорасли.

Микроводораслите често се произвеждат, за да се прилагат в храни и фуражи поради високото съдържание на хранителни вещества, подходящи за консумация от хора и животни. Като цяло микроводораслите продуцират големи количества протеини, когато се отглеждат в условия без стрес. Култивирането в среда с висока соленост или азотно гладуване (стресови условия) води до прекомерно натрупване на липиди и въглехидрати. При някои видове микроводорасли, включително *Arthrospira* sp., *Chlorella* sp., *Scenedesmus* sp. или *Synechococcus* sp., общото съдържание на протеини може да надхвърля 50%. Производството на протеини от микроводорасли изисква разработването на осъществима и надеждна техника за екстракция. За да се подобри ефикасността на процеса, преди него често се прилага разрушаване на клетките чрез физични, химични или ензимни методи. Могат да се прилагат и механични и немеханични методи, напр. използване на високо налягане, смилане, литични ензими, микровълни или химически разтворители [3].

Микроводорасли прилагани във фуражи

Употребата на биомаса от микроводорасли във фуражи за животни се счита за ефективен начин за включване на ценни хранителни вещества и витамини, есенциални аминокиселини, полиненаситени мастни киселини, полизахариди, минерали и пигменти в храната за животни, за да се повиши хранителната ѝ стойност. Към настоящия момент около 30% от общата биомаса от микроводорасли, произведена в световен мащаб, се използва като фураж, като приблизително половината от нея се състои от биомаса на *Arthrospira* sp.

Включването на микроводорасли във фураж има благоприятен ефект върху физиологията на животните, коефициента на преобразуване на фуража, имунитета и устойчивостта на заболявания, репродуктивните характеристики, подобряване на качеството на месото на прасета, зайци, птици и преживни животни, както и пребиотичен ефект. Действието на биомасата от микроводорасли е силно повлияно от състава и количеството, включено в дажбата. Ефективността при животни с прост стомах може да се подобри чрез едновременното добавяне на биомаса и въглехидратно активни ензими във фураж. При риби микроводораслите се използват за храна на ларви, като основните видове са: *Nannochloropsis oceanica*, *Chlorella vulgaris*, *Isochrysis galbana*, *Pavlova* sp., *Phaeodactylum tricorutum*, *Tetraselmis suecica*, *Skeletonema* sp., *Thalassiosira* sp. и *Haematococcus pluvialis*. Астаксантинът,

извлечен от *Haematococcus pluvialis*, се използва широко при отглеждането на съомга, тъй като придава на съомгата типичния "розов" цвят, желан от потребителите [3].

Ефекти от включване на микроводорасли в дажбите на различни видове животни (преживни, риби и животни с прост стомах) и птици

Вид микроводорасли	Вид животно/, продължителност на експеримента	Съдържание на микроводорасли в дажбата	Резултати
<i>Arthrospira platensis</i>	Агнета, 6 седмици	10 – 20%	Повишаване на телесното тегло (10%)
<i>Chlorella</i> sp.	Пилета, бройлери, 4 седмици	1%	Повишаване на средния дневен прием на храна
<i>Haematococcus pluvialis</i>	Дъгова пъстърва, 30 дни	0.3%	Понижаване на нивата на глюкоза, триглицериди и холестерол
<i>Isochrysis galbana</i>	Сребърна риба, 80 дни	4.5 – 5%	Повишаване на растежните показатели и съдържанието на омега -3 мастни киселини
<i>Nannochloropsis oceanica</i>	Зайци, 5 седмици	4.5%	Повишаване на количеството протеини, свързано с аминокиселинен катаболизъм и синтез
<i>Porphyridium</i> sp.	Пилета, 10 дни	5 – 10%	Понижен прием на фураж (10%) Понижено ниво на серумния холестерол (28%)
<i>Schizochytrium</i> sp.	Млечни крави, 6 седмици	4%	Понижаване на приема на фураж

Lucakova, S. et. al [3] твърдят, че "Зелената сделка" на Европейската комисия е насочена към множество области, в които производството и преработката на микроводорасли могат да играят важна роля. Например, целите за постигане на неутралност по отношение на климата до 2050 г., опазване на биоразнообразието, развитие на кръгова икономика и принос към стратегията "От фермата до трапезата" за устойчиво развитие на хранителната система, могат да бъдат ключов двигател за разработване на продукти от микроводорасли като храни, фуражи, фармацевтични продукти и козметика в Европа и извън нея.

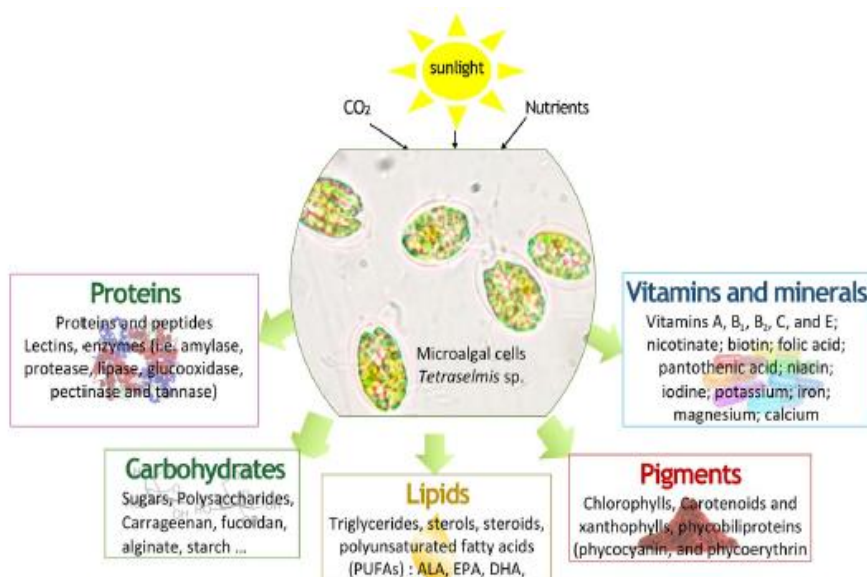
Научен екип от Катар (Saadaoui, I et al.) [4] са направили подробен преглед на проучвания от научната литература, които разглеждат приложението на микроводорасли и техните метаболити във фуражи за селскостопански животни и птици, ограниченията и предизвикателствата, касаещи ефективното им използване. Учените обобщават, че смесването на малка част от традиционния фураж с микроводорасли от видовете *Chlorella*, *Scenedesmus* и *Arthrospira*, може да повлияе положително върху растежа, здравето, физиологията на животните, качеството и количеството на животинските продукти. Проучванията показват, че

фуражните добавки от микроводорасли увеличават коефициента на конверсия на фуражите¹, понижават нивото на холестерола при животните, подобряват имунния отговор, засилват устойчивостта към болести чрез антивирусно и антибактериално действие, подобряват функцията на червата, имат пребиотично действие, подобряват репродуктивните характеристики, подпомагат контрола на теглото, повишават продуктивността на кравите и качеството на млякото, подобряват растежните показатели на животните и качеството на месото и яйцата. Използването на микроводорасли като фуражна добавка в момента се практикува в много азиатски страни, включително в Япония, Филипините, Китай и Корея. Всъщност около 30% от световното производство на биомаса от микроводорасли понастоящем се предлага като фуражи за животни. **Предстои да се извърви дълъг път, преди производството на продукти на базата на микроводорасли да стане устойчиво и икономически целесъобразно.**

Метаболити от микроводорасли

Микроводорасли от видовете: *Arthrospira platensis*, *Dunaliella salina*, *Hematococcus pluvialis*, *Chlorella* sp., *Nannochloropsis granulate* и *Tetraselmis chui* са често срещани добавки във фуражи. Съставът им се различава значително поради различните условия на растеж, например температура, географско положение, наличие на слънчева светлина и др.

Микроводораслите са фотосинтезиращи микроорганизми, които консумират атмосферен CO₂ и светлинна енергия, за да продуцират различни протеини, въглеhidрати и липиди, както и микроелементи, включително минерали, витамини и полифеноли, флавоноиди и каротеноиди (Фиг. 2). В допълнение към известните метаболити, микроводораслите представляват ресурс от неизползвани съединения (като липопротеини, стероли, алкалоиди и др.), които имат уникални свойства и интересни приложения. Тези съединения имат благоприятен ефект върху здравословното състояние на животните, стимулират имунната им система, което може да доведе до намалена употреба на антибиотици в животновъдството, птицевъдството и при аквакултурите.



Фиг. 2. Метаболити от микроводорасли, произведени по време на фотосинтетична активност

¹ Коефициентът на конверсия на фуража е равен на отношението на теглото приет фураж спрямо полученото наддаване на живо тегло.

Протеини

Микроводораслите представляват нов, алтернативен източник на протеини, който е от голямо значение за целите на продоволствената сигурност. Някои видове продуцират големи количества протеини (напр. цианобактерията *Arthrospira*, която съдържа до 70%) и биха могли да бъдат потенциален възобновяем ресурс за фуражни добавки. Микроводораслите имат много сходни основни аминокиселинни профили с тези на растителните протеини, като напр. соя. Те продуцират биоактивни пептиди с антиоксидантно и антихипертензивно действие, антикоагулативни, антитуморни и имуностимулиращи свойства. Най-широко използваните микроводорасли като богати на протеини фуражни добавки, са видовете от род *Chlorella*, *Arthrospira*, *Dunaliella*, *Tetraselmis*, *Phaeodactylum*, *Skeletonema* и *Scenedesmus*.

Въглехидрати

Въглехидратите са важен компонент на микроводораслите поради тяхната хранителна и фармацевтична стойност. Бета-1-3-глюкан (вид разтворими влакнини), открит в *Chlorella* sp., е антиоксидант, който спомага за понижаване на нивата на холестерола в кръвта. Едноклетъчното червено водорасло *Porphyridium cruentum*, което произвежда сулфатиран галактан (екзополизахарид), може да замени карагенана в месната и млечната промишленост. Ксилоза, маноза, глюкоза, галактоза и рамноза са най-често срещаните монозахариди, които могат да бъдат получени чрез производството на полизахариди от микроводорасли. Глюкоза е открита в количество от 47-85% от общото количество въглехидрати в няколко вида зелени микроводорасли. Маноза се открива в по-високи концентрации в диатомеите, достигайки 45,9% от общото количество въглехидрати при *Phaeodactylum tricornutum*.

Липиди

Няколко вида микроводорасли се считат за отличен източник на хранителни липиди. В зависимост от вида и условията на култивиране, микроводораслите могат да продуцират до 50% липиди на база сухо тегло. Профилът на дълговерижните мастни киселини на някои микроводорасли е богат на полиненаситени мастни киселини (PUFA), като ейкозапентаенова киселина (EPA), алфа-линоленова киселина (ALA), арахидонова киселина (AA), докозахексаенова киселина (DHA) и линолова киселина (LA). Тези омега мастни киселини са от съществено значение и не могат да бъдат синтезирани от хора и животни, поради което те трябва да се приемат с храната и да се усвоят. Освен това, DHA и EPA имат редица биологични функции като антиоксидантна и противовъзпалителна активност, намаляване на риска от сърдечни заболявания като аритмия, инсулт, ревматоиден артрит и високо кръвно налягане. Микроводораслите *Isochrysis*, *Nannochloropsis*, *Tetraselmis* и *Arthrospira* са добър източник на есенциални мастни киселини.

Каротеноиди

Каротеноидите притежават хранителни, терапевтични и антиоксидантни свойства. Каротеноидите обикновено се използват като оцветители на храни и има около 200 каротеноида, които могат да бъдат получени от микроводорасли. Сред тях β -каротините и астаксантинът представляват най-използваните каротеноиди, произвеждани с търговска цел. Други каротеноиди като лутеин, зеаксантин и ликопен въпреки интересната им хранителна стойност, са по-малко известни. Въпреки че каротеноидите от микроводорасли са по-скъпи от синтетичните форми, естествените източници осигуряват повече изомери. Видът *Dunaliella*

salina се използва често за получаване на β -каротин, тъй като може да натрупва до 14% β -каротин от теглото си при екстремни условия като хиперсолена среда, ниско съдържание на азот и високи нива на слънчево облъчване. По същия начин щамовете *Haematococcus pluvialis* произвеждат до 4-5% астаксантин, включително свободни, моно- и ди-естерни форми, при стресови условия.

Витамини и минерали

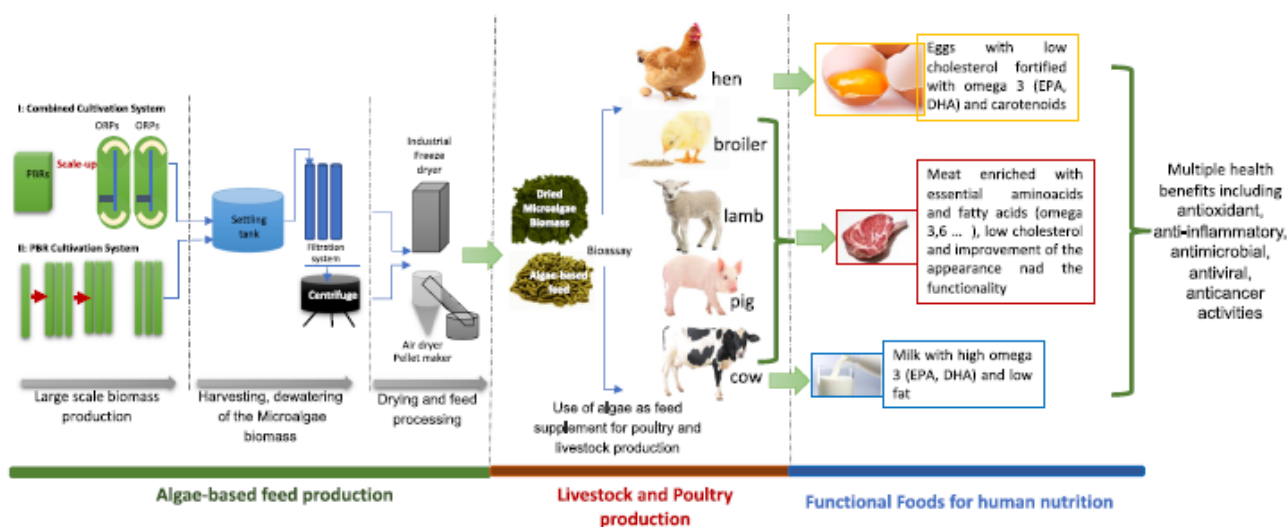
Биомасата от микроводорасли представлява ценен източник на жизненоважни витамини за фуражите. Тя включва витамин А и други ретиноиди, витамини от група В като тиамин (В₁), ниацин (В₂), никотинат (В₃), пантотенова киселина (В₅), пиридоксал фосфат (В₆), биотин (В₇), фолиева киселина (В₉) и кобаламин (В₁₂), витамин С (аскорбинова киселина), витамин Е (токоферол) и разнообразие от микроелементи и минерали (напр. натрий, калий, калций, магнезий, желязо и цинк). Микроводораслите синтезират витамини и натрупват минерали в естествените им форми, така че могат да бъдат по-лесно усвоени в сравнение със синтетичните. Синтезът на витамини зависи от вида, етапа от цикъла на растеж на водораслите, интензивността на светлината, наличните хранителни вещества в средата и други фактори. Видовете *Tetraselmis* sp. съдържат големи количества тиамин, пиридоксин, никотинова киселина, и пантотенова киселина, докато щамове *Dunaliella* съдържат повишени количества β -каротин, рибофлавин и кобаламин. Установено е, че някои изолати на *Chlorella* съдържат големи количества токоферол и биотин.

Хранителен потенциал на фуражите на основата на микроводорасли

Микроводораслите могат да бъдат следващият алтернативен източник на суровини за производство на фуражи, устойчив от екологична гледна точка, с висока хранителна стойност и с благоприятен за здравословното състояние на животните ефект. Употребата на микроводорасли като фуражни добавки цели подобряване качеството на месото, яйцата и млечните продукти, което би осигурило многобройни ползи за здравето на хората, като противоракови, антиоксидантни и антивирусни ефекти.

Микроводораслите се отглеждат в големи мащаби с помощта на фотобиореактори или на открито, след което се събират и се влагат в производство на функционални хранителни добавки за различни видове животни (Фиг.3.).

Фиг. 3. Етапи на технологичен процес за производство на функционални храни от животински произход чрез използване на фуражи на основата на водорасли.



Добавка от микроводорасли във фуражи за кокошки носачки и отражението ѝ върху производството на яйца

Авторите Saadaoui, I. et al [4] твърдят, че микроводораслите са алтернативен източник на есенциални омега-3 мастни киселини (ω -3 FAs), които подобряват хранителната стойност на яйцата за консумация от човека. Проучванията посочват, че добавяне на *Nannochloropsis gaditana*, съдържащи дълговерижни ω -3 FAs като EPA, DPA и DHA, към дажби за кокошки носачки, води до натрупване на тези ω -3 FAs в яйчния жълтък. Количеството на ω -3 FAs в яйцата варира в зависимост от възрастта и породата на кокошките и усвояемостта на микроводораслите. Яйца от кокошки, хранени с фуражи, смесени с водорасли богати на ω -3 FAs, съдържат повече полезни мастни киселини в сравнение с яйцата, произведени след хранене с конвенционален фураж. Резултатите от проучванията показват, че много малки количества микроводорасли добавени към фуражите, водят до значителни промени в съдържанието на ω -3 FAs в яйцата. Конкретен опит при кокошки, хранени с фураж с добавка от 2,4% водорасли, посочва 42,6% ефективност на преминаване на DHA от микроводорасли в яйцата. Съдържанието на DHA в яйцата се увеличава шест пъти при кокошки, хранени с фуражи с добавка на водорасли, в сравнение с контролна група. **Учените обобщават, че включването на микроводорасли в количество от 1,5% до 10% е полезно за пилета бройлери, над тази стойност ефектът върху растежа на птиците и качеството на яйцата е негативен.** Добавянето на синтетични или натурални каротеноиди в дажби за птици може да доведе до по-добро усвояване на фуража, увеличаване теглото на яйцата, подобряване дебелината на черупката и тъмнооранжев до червен цвят на жълтъците.

Ефекти от добавяне на микроводорасли във фуражи върху качеството на месото

Омега-3 мастните киселини се считат за незаменими, защото хората и животните нямат способността да ги синтезират и трябва да се набавят чрез храната. Данните за преживни животни показват, че около 70-95% от LA и 85-100% от ALA се биохидрогенират, преди да напуснат търбуха и не преминават в месото. Saadaoui, I. et al [4] посочват биологични опити, които доказват, че фуражна добавка на базата на водорасли е най-добра за повишаване на нивата на EPA и DHA в месото на преживни животните

Учените твърдят, че смесването на един или повече видове богати на PUFAs водорасли, като *Arthrospira maxima* и *Arthrospira platensis* или *Chlorella* sp. в храната на прасета, води до получаване на месо с добре балансиран липиден профил. Суровина от микроводорасли, като *Schizochytrium* sp., включена в количество от 5% и 7%, във фураж за прасета, повишава съдържанието на омега 3 мастни киселини в месото, като предизвиква и положителни промени в скелетната мускулатура.

Допълването на фураж за птици с пресни течни водорасли (1%) подобрява наддаването на телесно тегло, имунните характеристики и производството на *Lactobacillus* в чревната микрофлора на пилета бройлери.

Ефекти от добавяне на микроводорасли във фуражи върху производството и качеството на млякото

Ефектите на метаболитите на микроводораслите върху лактацията и трансфера на хранителните вещества в млякото до голяма степен зависят от вида храносмилателна система (преживни и непреживни животни), както и от конкретните биосинтетични възможности. При преживни животни, микроорганизмите в търбуха и естеството на ензимите в тънките черва оказват влияние върху храносмилането и усвояването на мастните киселини от червата. При непреживните животни хранителните мастните киселини се абсорбират от тънките черва, усвояват се директно и остават непроменени. Микроводораслите могат да бъдат протеинов фураж, сравним със соевия шрот, при храненето на млекодайни говеда. Saadaoui I. et al [4] препоръчват да се използва биомаса от микроводорасли с покритие, за да се защитят хранителните свойства на суровината при преживни животни, което позволява усвояването на повече ω -3 FAs от тънките черва, които да преминат към млечните жлези. Доказано е, че добавките от микроводорасли увеличават съдържанието на ДНА до четири пъти в млякото. Най-често използваните щамове микроводорасли за подобряване на качеството на млякото по отношение на полезните мастни киселини са *Schizochytrium* и *Nannochloropsis*. *Nannochloropsis* sp. показва по-високо съдържание на EPA заедно с други PUFAs, в сравнение с щамове като *Arthrospira platensis* и *C. vulgaris*, показващи съдържание на EPA, колкото това на рибеното масло. Добавянето на ω -3 FAs към храненето по време на лактация намалява количеството на хормона простагландин, което може да подобри плодовитостта на животните и оцеляването на ембрионите. Включването на микроводорасли в количество от 5-10% във фуражи, подобрява съдържанието на минерали, като желязо, йод, калий и цинк, в млякото и месото на животните.

Микроводораслите като пребиотик

Пребиотиците предотвратяват инвазията на патогени в организма като засилват имунната система и това води до подобряване на здравословното състояние на животните. Най-обещаващите фуражни добавки, които притежават пребиотични свойства, са полизахаридите или техните производни, включително диетичните фибри. Към настоящия момент, голям брой микроводорасли с пребиотичен ефект се използват във фуражната промишленост [4]. Видът *Chlorella* sp. продуцира киселинен полизахарид, съдържащ рамноза (52%) заедно с арабиноза и галактоза. Тази комбинация притежава имуностимулиращи свойства чрез инхибиране пролиферацията на патогени. Клетъчните стени на *Tetraselmis* sp. се състоят от киселинни полизахариди (82% сухо тегло), благоприятстващи чревната микрофлора. Микроводораслите от вида *Dunaliella salina* продуцират извънклетъчни полизахариди, които имат имуностимулиращо, антивирусно и противотуморно действие.

Изводът е, че микроводораслите не само пряко подобряват здравето и продуктивността на животните чрез снабдяване с хранителни вещества, но и косвено чрез благоприятно въздействие върху чревната микрофлора.

Ограничения при използването на суровини от микроводорасли във фуражи.

Видовете микроводорасли значително се различават по отношение на метаболитния състав, усвояемост на протеините и състав на клетъчната стена. Върху смилаемостта на хранителните вещества оказва влияние **високото съдържание на влакнини** в клетъчната стена, на полизахариди (достигащо до 64% от сухото вещество при определени видове и при определени условия на отглеждане) **и на фенолни съединения**, които могат да реагират с аминокиселини и да образуват неразтворими съединения.

От съществено значение е да се определят границите на включване на микроводорасли в дажбата. Saadaoui I. et al [4] посочват опити, в които се разглеждат добавяне на микроводорасли от вида *Arthrospira* в различно количество (6-21%) към фураж за птици. Резултатите показват, че добавка до 16% има положителен ефект върху качеството на месото. Това може да се обясни с ниската смилаемост на големите количества микроводорасли във фуража. Данните от проучване за определяне на смилаемост показват, че видовете *Arthrospira* и *Chlorella sorokiniana* с високо съдържание на протеини между 50% и 65%, са с най-високи стойности, а *Tetraselmis*, богати на фибри и липиди, показват най-ниски стойности на смилаемост. Резултатите се обясняват с наличие на стабилни клетъчни стени или на екзополisahариди, които ограничават действието на храносмилателните ензими.

Предизвикателства и постижения в производството на суровини за фуражи от микроводорасли

Микроводораслите могат да се отглеждат в различни системи в зависимост от приложението на биомасата. Според Saadaoui I. et al [4] водещи фактори, които допринасят за високите разходи за производство на биомаса от микроводорасли, са технологиите за отглеждане, събиране на реколтата и преработка/извличане.

Широкомашабната търговска система за култивиране зависи от няколко параметъра като: клетъчна биология, наличност на свободна площ, вид производство, разходи за поддръжка, енергия и хранителни вещества, наличност на вода, подходящи климатични условия и събиране на реколтата.

Микроводораслите имат висока продуктивност. Те могат да се отглеждат в нискокачествени води и не изискват обработваема земя. Необходимо е да се разработят технически решения (подобрения на методите за преработка на микроводорасли заедно с оптимизиране на системите за култивиране и събиране на реколтата), които ще подобрят възможността за отглеждане на микроводорасли за биомаса и ценни съединения по печеливш начин в търговски мащаб. От съществено значение е крайният продукт (биомаса) да е свободен от патогени и безопасен за използване като фураж. Производството на микроводорасли използва устойчиви ресурси и може да доведе до по-чиста околна среда.

Като се има предвид наличната информация, въпреки съществуващите знания и съоръжения, използването на продукти от микроводорасли, все още има някои недостатъци по отношение на технологичните и икономическите аспекти. **Това обаче вероятно ще се**

промени поради ползите от микроводораслите и нарастващата им популярност като фуражна суровина.

Заклучение

Saadaoui, I. et al [4] обобщават, че микроводораслите имат огромен потенциал като храна за животни, тъй като съдържат важни био активни вещества, които повишават хранителната стойност на фуражите и качеството на продуктите от животински произход. Те са устойчив източник на суровини за фуражи. Въпреки че тези микроорганизми се считат за подходяща алтернатива, съществуват ограничения при използването им. Трябва да бъдат преодолени някои от предизвикателствата като избор на подходящо количество биомаса за включване в дажбите за животни и степен на усвояемост. Освен това, икономическите възможности за производство на големи количества биомаса за фураж са нееднозначни поради високите производствени разходи и проблеми със съхранението. Тези въпроси трябва да бъдат разрешени, за да може суровината от микроводорасли да бъде по-евтина от съществуващите селскостопански продукти. Тъй като търсенето на био молекули от микроводорасли расте, повече изследвания трябва да се насочат към стратегиите за култивиране, за идентифициране на устойчиво и икономично производство на биомаса, предназначена за фураж.

Становище на Европейския съюз относно употребата на микроводорасли [5]

В края на месец юни 2023 г. в Официалния вестник на Европейския съюз е публикувано „Становище на Европейския икономически и социален комитет относно съобщението на Комисията до Европейския парламент, Съвета, Европейския икономически и социален комитет (ЕИСК) и Комитета на регионите — Към силен и устойчив сектор на водораслите в ЕС“

Европейският икономически и социален комитет (ЕИСК) отбелязва, че „добре е този огромен, но недостатъчно използван ресурс да бъде поставен в услуга на развитието на Европа, особено в селските райони на ЕС“. Комитетът препоръчва Европейската комисия и държавите членки, участващи в сектора на водораслите, да проучат някои предложения във връзка със създаването на сектор на водораслите, едно от които е: „включване на производството на водорасли в съществуващите вериги за създаване на стойност на селскостопански храни, фуражи, промишлени и енергийни суровини“.

Важно е, обаче, подчертава ЕИСК, производството на водорасли да не се разглежда като напълно отделен сектор, а по-скоро да бъде интегрирано в съществуващите вериги за създаване на стойност на селскостопанските храни, фуражи и промишлени и енергийни суровини, като аспект — частична замяна на протеиновите фуражи за животновъдството.

Съобщението предлага амбициозни, но реалистични перспективи за европейския сектор за производство на водорасли. Европейският икономически и социален комитет препоръчва да се изготви всеобхватен общоевропейски опис на всички законодателни актове и административни процедури, приложими на всеки етап от отглеждането на водорасли и всяка от техните области на приложение (храни, фуражи, био горива, козметика, фармацевтични продукти и др.), и той да се използва като пример за държавите членки при разработването на добри административни практики и за да се създадат еднакви условия на конкуренция за търговията в рамките на ЕС и извън него.

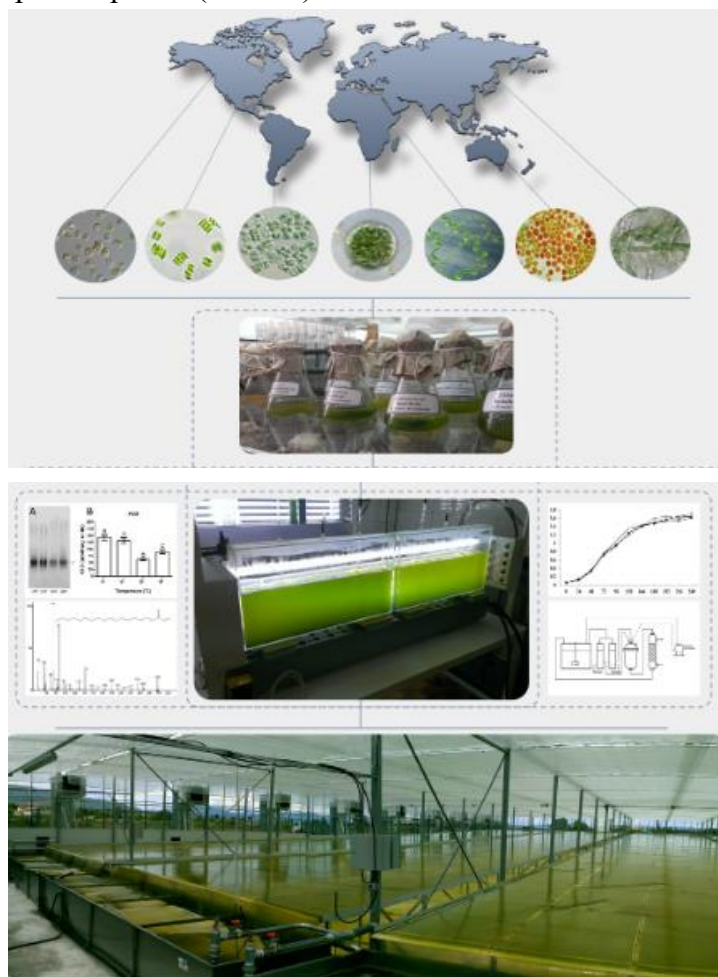
В становището е подчертано **приоритетното оказване на подкрепа на научните изследвания, свързани главно с технологията за отглеждане (за микроводораслите), ефективността на реколтата и изпитванията на набора от видове в морските води на**

различни държави (за макроводораслите) и потенциала за валоризация² за всички видове водорасли.

Поради това е целесъобразно, отбелязва ЕИСК, да се предвидят мерки за намаляване на производствените разходи за съставките на основата на водорасли, като същевременно се избягва налагането на по-строги изисквания за мониторинг и стандартизация за водораслите, отколкото за други селскостопански продукти. Всички производители на (съставки на) храни би трябвало да бъдат третирани при еднакви условия на конкуренция, за да се гарантират еднакви условия на конкуренция на пазара. Ако се докаже, че съставките на основата на водорасли са по-устойчиви, тяхната употреба би могла да подлежи на екологично сертифициране (екомаркировка), което може да накара потребителите да приемат по-висока цена за по-екологосъобразен продукт.

Значение за България

Лаборатория “Експериментална и приложна алгология“ към Института по физиология на растенията и генетика (ИФРГ) към БАН [6] е едно от водещите научноизследователски звена в България, в което от самото му създаване (през 1966 година) се провеждат фундаментални и научноприложни изследвания в областите физиология, биохимия и биотехнологии на микроводорасли (Фиг. 4.).



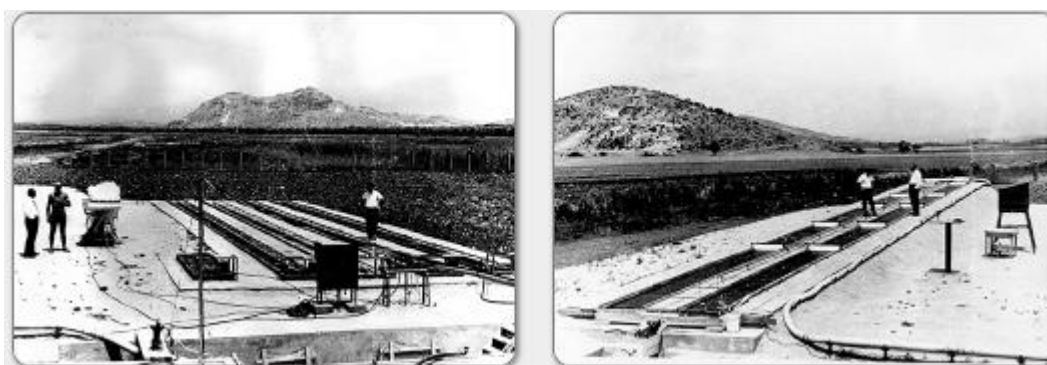
Фиг. 4 Култивиране на микроводорасли

² Изкуствено повишаване на цените на стоките чрез икономически мерки; валоризиране.

Изучават се физиологичните и биохимични особености на отделни микроводораслови видове/щамове, механизмите им на приспособяване и границите на толерантност към различни фактори на околната среда. Резултатите от фундаменталните изследвания водят до полезни биотехнологични и практически решения, а оттам и до **пряка научно-техническа помощ, насочена предимно към малки и средни предприятия за промишлено отглеждане на микроводорасли и получаване на качествена биомаса в полза на обществото. Това изцяло покрива и изискванията на Европейския съюз относно специфичната политика по отношение Наука – Бизнес.** Лаборатория “Експериментална и приложна алгология“ е оборудвана с набор от специфични съоръжения – експериментални фотобиореактори, проектирани изцяло от учени в звеното. Съоръженията се използват за интензивно лабораторно отглеждане (в различни обеми) на микроводорасли при различни температури и светлинна интензивност. Лабораторията се занимава с разработване на научни проекти и внедряване на иновативни научни разработки в практиката.

Настоящият ръководител на лабораторията главен асистент д-р Иван Илиев, в свое интервю през 2021 г. [7], казва, че промишленото отглеждане на микроводорасли е начина да се произведе достатъчно количество микроводораслова биомаса, което да обезпечи потребителските нужди. Според съвременните биотехнологични концепции микроводораслите се отглеждат в т. нар. фотобиореактори, които представляват “обособена част от пространството, където се осъществява управляван фотоавтотрофен процес“ (Цитат: “Георги Петков. 2007. Фотобиореактори за водорасли – процеси и околна среда” – дисертация за Доктор на науките. БАН“). Към момента, годишното производство на суха водораслова биомаса възлиза на около 10 000 тона. Най-големи производители са САЩ, Китай и Индия. Може да се каже, че **търсенето значително надвишава предлагането**, като пазарът е далеч от насищане. Това означава, че **са налице добри възможности за производство на микроводораслова биомаса и продукти на нейна основа с търговска цел.**

В България също са отглеждани микроводорасли в промишлени количества и са произвеждани микроводораслови продукти. В местността Рупите, близо до Петрич, през 1967 година (Фиг.5.) започва промишлено отглеждане на зелените водорасли *Chlorella* и *Scenedesmus*, което продължава до 2001 година.



Фиг. 5. Начало на микроводорасловото производство в България (1967 година)

През всичките тези години е изнасяна продукцията към Япония, САЩ, Германия, и Чехия. В същото време, в България са произвеждани козметични продукти получени от микроводораслова биомаса. През последните десет години **все повече се засилва интересът на частни инвеститори, които искат да отглеждат микроводорасли с търговска цел в страната ни.** Това показва, че и у нас микроводораслите се преоткриват като **отличен източник на природни, безопасни и здравословни продукти.** Колкото до пазара на

микроводораслова биомаса – той се разраства и ще продължава да се разраства, като всеки производител самостоятелно трябва да организира реализацията на получената продукция в условията на пазарна икономика. В действителност, производството на тази биологична суровина е свързано с големи начални вложения и създаване на сложна организация за поддържане на непрекъснат процес. По тези причини, качествената микроводораслова биомаса си остава относително скъп продукт, микроводорасловите технологии се развиват в прогресивен порядък. Това означава, че скоро ще дойде момент, в който хората ще са убедени в ползата от тези фотосинтезиращи микроорганизми и ще се наблюдава сериозен интерес от страна на частни инвеститори относно производство на микроводораслова биомаса. Заинтересованите бъдещи производители да не се предоверяват на всичко написано в интернет, а да се консултират с подготвени специалисти. Това се отнася не само до отглеждане на микроводорасли, а до всички сфери, предлагащи иновативни разработки [7].

По данни на Националната рибарска мрежа и Специализиран портал за морска индустрия [8], първата пилотна инсталация за отглеждане на микроводорасли спирулина е изградена в околностите на гр. Стара Загора (фирмата е основана през 2013 г.). Инициативата: „Закупуване и инсталиране на фотобиореакторна култивационна система за отглеждане на стартова микроводораслова култура“ в оранжерията на българска фирма е посочена като добра национална практика. Компанията отглежда микроводорасли спирулина, които се използват като хранителна добавка и суперхрана. Култивираната качествена биомаса спирулина е предназначена за употреба за нуждите на фармацевтичната, козметичната и хранителната индустрии. Първата ферма за микроводорасли в България, има биореактор за индустриална култивация и се готви да скалира³ на чуждия пазар. Тя е единствената компания у нас, която произвежда свежа спирулина. Основните ѝ конкуренти са търговците на капсули и таблетки със спирулина на прах, внос от Китай, които се продават на по-ниски цени. Българската фирма предлага хранителни добавки собствена разработка под формата на таблетки, капсули и на прах, съдържащи сушена спирулина. [9].

Екип от български учени Yordanova G et. al, още през 2014 г. [10] са направили преглед на констатираните до момента резултати след проучвания на употребата на *Spirulina platensis* (SP) във фуражи и оценка на въздействието ѝ върху здравето, продуктивните и репродуктивните качества на селскостопанските животни. Добавката от *Spirulina platensis* съдържа всички незаменими аминокиселини, витамините B₁₂, E, C, важните минерали калий, калций, мед, магнезий, манган, цинк, фосфор, селен, натрий и желязо. Богата е на въглехидрати и стероли. В състава на SP е наличен целият спектър от растителни пигменти, сред които ксантофили, β-каротини, зеаксантин, фитоцианиди. Също така тя е богат източник на мастни киселини, особено γ-линоленова киселина (GLA). Недостатъците при употребата на *Spirulina platensis* се отнасят до все още по-високата ѝ стойност в сравнение с други хранителни добавки. Освен това *Spirulina* в изсушена прахообразна форма има натрапчива миризма, поради което някои животни я приемат с неохота. Въпреки това, нейното положително въздействие върху здравния статус и качеството на животинските продукти, все повече засилват интереса към нея. ***Spirulina platensis* е нов ресурс за бъдещите нужди на животновъдството.** Опити, включващи добавката *Spirulina* към фуражните дажби на отделни видове селскостопански животни, вече са показали подобрения в производителността, здравния статус и качеството на продуктите. Въпреки това са необходими по-нататъшни

³ Изразът идва от английската дума scale, която в този контекст означава „машаб“. Scalable означава „със способност за промяна на машаба“. Най-просто казано идеята е, че бизнесът ви има потенциала да умножава приходите си с минимално увеличение на разходите. Да сте готови да скалирате, означава че имате доказан продукт и доказан бизнес модел и сте готови за разширяване в нови географски области и пазари.

изследвания с добавката за изясняване на нейния потенциал. Допълнителните научни факти върху активните съставки на *Spirulina* и биологичните ѝ механизми на действие ще спомогнат за разширяване на познанията и ще създадат възможности за бъдещи приложения на *Spirulina platensis* в животновъдството [10].

Изводи и препоръки

Потенциалът на микроводораслите да снабдяват световния пазар със суровини е много голям, въпреки че все още има различия между настоящите производствени възможности и пазарните изисквания. Високата производствена цена на микроводораслите ги прави в момента неконкурентен вариант за употреба като суровина за фуражи, но ситуацията може да се промени в близко бъдеще чрез различни технически и политически интервенции и стимули.

Учените Dineshababu G. et. al [11] считат, че по-високата производителност на биомаса ще намали производствените разходи и поради това, по-голямата част от научноизследователската и развойната дейност трябва да се насочи към повишаване на продуктивността на видовете микроводорасли. Нови системи за отглеждане, стратегии за аериране и разбъркване, осветление, инженерна среда са някои от малкото мерки, които могат да бъдат предприети за постигане на по-добра производителност. По-голямо съоръжение за производство на водорасли, в близост до което има инсталация за отпадъчни води и/или димни газове⁴, ще произведе биомаса на разумна и рентабилна цена. За да се постигне положителен енергиен коефициент и висока икономическа възвръщаемост, Dineshababu G. et. al препоръчват следното:

1. Производство на вторични продукти заедно с целевия продукт;
2. Оползотворяване на отпадъчни води и димни газове вместо специална среда и CO₂ за растежа на водораслите. Трябва да се внимава да не се допусне акумулиране на нежелани вещества в биомасата от отпадъчните води или димните газове;
3. Повишаване на производителността на биомасата чрез оптимизиране на хранителните вещества и условията на отглеждане;
4. По-голяма използвана площ - по-малки производствените разходи на биомаса от водорасли [11].

Както самият ЕИСК признава „секторът на водораслите е нов сектор за Европа, съществуват значителни пропуски в техническите умения, както и в технологиите и иновациите.“ Пропуските са установени в достатъчна степен, но трябва да бъдат преодолени чрез амбициозна програма за стимулиране на научните изследвания, както фундаментални (стратегически), така и приложни [5].

Отглеждането на микроводорасли не е ново и непознато начинание за България. Има завидни постижения, както от страна на науката, така и от страна на предприемачите. Биомасата от микроводорасли трябва да има приемлива и оправдана стойност, за да заеме своето заслужено място във фуражния сектор в страната ни, да се употребява заедно с/или вместо конвенционален фураж и да спечели доверието на животновъдите. При прилагане на надеждна технология, подобрения в отглеждането и прибирането на реколтата, микроводораслите и свързаните с тях продукти ще бъдат с добра реализация, икономически жизнеспособни, печеливши и достъпни.

Значението на тези могъщи микроорганизми като бъдещи храни и/или фуражи не се поставя под съмнение. Биомасата от микроводорасли е с по-добре балансиран състав от

⁴ Димният газ е газът, излизащ в атмосферата през дымоотвод (комин), който е тръба или канал за пренос на отработени газове, като от камина, фурна, пещ, котел или парогенератор. Често се отнася до отработените газове от изгаряне в електроцентрали.

традиционните източници на съставки за фуражи (като съдържание на висококачествени хранителни вещества) и може да се употребява като функционален фураж. Нараства интересът на потребителите към храни, които са с по-добри вкусови качества, но и по-здравословни. Фуражите и фуражните добавки от биомаса значително допринасят за осигуряване на желаните и необходими хранителни подобрения в продуктите от животински произход. Микроводораслите могат да се превърнат в бъдещ алтернативен източник на суровини за фуражи от водни организми чрез екологично устойчив и икономически изгоден начин на производство.

Източници:

- [1] Why microalgae for feeds <https://www.algae4feed.org/>
- [2] Giuliana Parisia, Francesca Tullib, Riccardo Fortinac, Rosaria Marinod, Paolo Banie, Antonella Dalle Zottef, Anna De Angelig, Giovanni Piccoloh, Luciano Pinottii, Achille Schiavonej, Genciana Terovak, Aldo Prandinie, Laura Gascoc, Alessandra Roncaratil and Pier Paolo Danielim Protein hunger of the feed sector: the alternatives offered by the plant world Italian journal of animal science 2020, vol. 19, no. 01, 1205–1227
<https://doi.org/10.1080/1828051x.2020.1827993>
- [3] Lucakova, S.; Branyikova, I.; Hayes, M. Microalgal Proteins and Bioactives for Food, Feed, and Other Applications. Appl. Sci. 2022, 12, 4402. <https://doi.org/10.3390/app12094402>
- [4] Saadaoui, I., Rasheed, R., Aguilar, A. et al. Microalgal-based feed: promising alternative feedstocks for livestock and poultry production. J Animal Sci Biotechnol 12, 76 (2021).
<https://doi.org/10.1186/s40104-021-00593-z>
- [5] Становище на Европейския икономически и социален комитет относно съобщението на Комисията до Европейския парламент, Съвета, Европейския икономически и социален комитет и Комитета на регионите — Към силен и устойчив сектор на водораслите в ЕС
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/BG/TXT/PDF/?uri=CELEX:52022AE5904>
- [6] Институт по физиология на растенията и генетика към БАН Лаборатория „Експериментална и приложна алгология“ http://www.bio21.bas.bg/ippg/bg/?page_id=44
- [7] Микроводораслите и ползата от тях, Гл. ас. д-р Иван Илиев, ръководител на Лаборатория Експериментална алгология към ИФРГ-БАН. <https://front.bg/mikrovodoraslite-i-polzata-ot-tyah/>
- [8] Национална рибарска мрежа (<http://nrmbg.com/inovatsii-v-sferata-na-biotehnologiite-i-mikrovodoraslite-algae-bulgaria-td?search=%D0%BC%D0%B8%D0%BA%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B4%D0%BE%D1%80%D0%B0%D1%81%D0%BB%D0%B8%20%D1%81%D0%BF%D0%B8%D1%80%D1%83%D0%BB%D0%B8%D0%BD%D0%B0%20>) и (http://nrmbg.com/index.php?route=product/product&search=%D0%BC%D0%B8%D0%BA%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B4%D0%BE%D1%80%D0%B0%D1%81%D0%BB%D0%B8+%D1%81%D0%BF%D0%B8%D1%80%D1%83%D0%BB%D0%B8%D0%BD%D0%B0+&product_id=614&search=%D0%BC%D0%B8%D0%BA%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B4%D0%BE%D1%80%D0%B0%D1%81%D0%BB%D0%B8+%D1%81%D0%BF%D0%B8%D1%80%D1%83%D0%BB%D0%B8%D0%BD%D0%B0+) и Специализиран портал за морска индустрия <http://www.maritime.bg/80035/>
- [9] Анелия Дионисова, Зеленият път на „Алгас България“ <https://forbesbulgaria.com/2023/03/02/%d0%b7%d0%b5%d0%bb%d0%b5%d0%bd%d0%b8%d1%8f%d1%82-%d0%bf%d1%8a%d1%82-%d0%bd%d0%b0-%d0%b0%d0%bb%d0%b3%d0%b0%d0%b5-%d0%b1%d1%8a%d0%bb%d0%b3%d0%b0%d1%80%d0%b8%d1%8f/>
- [10] G. Jordanova, D. Abadjieva¹, R. Nedeva, Agriculture institute – Shumen, ¹Institute of biology and immunology of reproduction , BAS - Sofia Use of *spirulina platensis* in animal fledging* https://animalscience-bg.org/page/en/details.php?article_id=351&tab=bg

[11] Gnanasekaran Dineshabu, Gargi Goswami, Ratan Kumar, Ankan Sinha, Debasish Das, Microalgae–nutritious, sustainable aqua- and animal feed source, Journal of Functional Foods, Volume 62, 2019, 103545, ISSN 1756-4646, <https://doi.org/10.1016/j.jff.2019.103545>.

Снимков материал:

Фиг 1. – Видове микроводорасли <https://front.bg/mikrovodoraslite-i-polzata-ot-tyah/>

Фиг 2. - Метаболити от микроводорасли, произведени по време на фотосинтетична активност <https://doi.org/10.1186/s40104-021-00593-z>

Фиг 3 .- Етапи на технологичен процес за производство на функционални храни от животински произход чрез използване на фуражи на основата на водорасли. <https://doi.org/10.1186/s40104-021-00593-z>

Фиг 4. - Култивиране на микроводорасли http://www.bio21.bas.bg/ippg/bg/?page_id=44

Фиг 5. - Начало на микроводорасловото производство в България (1967 година) http://www.bio21.bas.bg/ippg/bg/?page_id=44



Други информации в областта на фуражите и фуражните добавки могат да бъдат намерени на интернет страницата на ЦОПХВ: – <https://corhv.government.bg/>,

<https://corhv.government.bg/Фуражни-добавки-продукти-и-субстанции-във-фуражи--с-97>

Макроводораслите – перспективен източник на суровини за фуражи

<https://s.shopeee.com/zv6h>

Алтернативни източници на протеини за фуражи

<https://s.shopeee.com/H30N>

Въвеждане на рециклирани хранителни остатъци във фуражи

<https://s.shopeee.com/JNZe>

Изготвил: д-р Виктория Монева,
старши експерт, дирекция ОРХВ, ЦОПХВ
Дата: 24.10.2023 г.