



## کاربرد ریز جلبک اسپیرولینا پلاتنسیس در فرآورده های غذایی

سید امیر توکلی لاهیجانی (دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد)

Amirtl87@gmail.com

فخری شهیدی، مهدی وریدی، محبت محبی

(اعضای هیئت علمی گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد)

NilooFar1373@yahoo.com}{Mehdivaridi@yahoo.com}{Mohebbat2000@yahoo.com}{m}

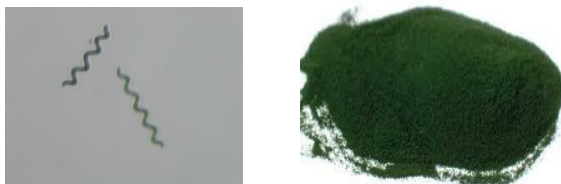
### چکیده

اسپیرولینا پلاتنسیس یکی از ریز جلبک های غذایی پر کاربرد است که از سوی سازمان جهانی بهداشت به عنوان "غذای برتر" شناخته شده است. اهمیت استفاده از اسپیرولینا به طور عمده به علت ویژگی های تغذیه ای، همچون میزان بالای پروتئین (برحسب ۶۰ تا ۷۰ درصد وزن خشک)، ویتامین ها (به ویژه ویتامین B12 و پیش ساز ویتامین A)، اسیدهای آمینه ضروری، مواد معدنی (به ویژه آهن)، رنگدانه فایکوسیانین و اسیدهای چرب ضروری به ویژه اسید گاما لینولنیک (GLA) است. ایجاد رنگ در فرآورده نهایی، فواید درمانی ناشی از فیتونوترینت ها و تقاضای روز افزون فرآورده های فراسودمند باعث افزایش استفاده از این ریز جلبک در صنایع غذایی و دارویی شده است. در این مقاله مروری بر ترکیب شیمیایی، ارزش تغذیه ای و کاربرد اسپیرولینا در غنی سازی فرآورده های غذایی گوناگون و همچنین به عنوان مکمل غذایی در جهت دستیابی به فرآورده های غذایی فراسودمند صورت پذیرفته است.

### کلمات کلیدی

اسپیرولینا پلاتنسیس، ریز جلبک، فراسودمند، غنی سازی.

ریز جلبک ها به علت دارا بودن ترکیبات زیست فعال منحصر به فرد، جزو غذاهای فراسودمند به شمار می آیند. افزایش تقاضا برای غذاهای سلامتی بخش باعث توجه هرچه بیشتر به منابع طبیعی نوین گردیده است (۱۸). اسپیرولینا پلاتنسیس<sup>۱</sup> ریزجلبک سبز- آبی چندسلولی و مارپیچی است (شکل ۱). که با دارا بودن مقادیر پروتئین قابل توجه، اسیدهای چرب چند غیراشباع، ویتامین ها (بویژه ویتامین B12)، پلی ساکراید، فیبر و ریزمغذی های دیگر به عنوان ریزجلبک خوراکی مصرف می گردد (۳،۴). ریزجلبک هایی همچون اسپیرولینا پلاتنسیس و کلرلا ولگاریس<sup>۲</sup> از سوی سازمان غذا و داروی ایالات متحده آمریکا به عنوان مواد غذایی (GRAS)<sup>۳</sup> شناخته شده اند (۳). مطالعات پزشکی متعددی در زمینه اثرات درمانی اسپیرولینا همچون کاهش میزان کلسترول خون، محافظت در برابر برخی سرطان ها، پیشگیری از ابتلا به بیماری های قلبی- عروقی و افزایش مقاومت سیستم ایمنی بدن صورت پذیرفته است (۴). ترکیب شیمیایی و جنبه های تغذیه ای اسپیرولینا در جدول شماره ۱ مشخص شده است. اسپیرولینا دارای پروتئینی با پروفایل مناسب اسیدهای آمینه در مقادیر قابل توجه (۶۰ تا ۷۰ درصد وزن خشک) می باشد که این میزان از سایر منابع گیاهی همچون دانه سویای خشک شده (۳۵ درصد)، بادام (۲۰ درصد) و دانه های دیگر (۸ تا ۱۰ درصد) بیشتر است. ارزش اسپیرولینا به علت هضم آسان ناشی از فقدان سلولز در دیواره سلولی است که سایر ریزجلبک ها همچون کلرلا، آنکistrodesmus<sup>۴</sup> و سلناستروم<sup>۵</sup> فاقد این مزیت هستند. ترکیب پودرهای تجاری زیست توده اسپیرولینا عمدتاً متشکل از ۷۰ تا ۶۰ درصد پروتئین، ۲۰ درصد کربوهیدرات، ۵ درصد چربی، ۷ درصد مواد معدنی و ۳ تا ۶ درصد رطوبت است که باعث می گردد به عنوان ماده غذایی کم کالری، با میزان چربی کم و منبع خوب پروتئین محسوب گردد (۱). اغلب ریز جلبک ها دارای مقادیر قابل توجهی رنگدانه از طیف زرد تا قرمز و آبی هستند. رنگدانه هایی همچون بتاکاروتن، استاگزانتین، ویولاگزانتین، لوتئین، فیکوسیانین، آلوگزانتین، نئوگزانتین، زئاگزانتین، کریپتوگزانتین، مونودوگزانتین که می تواند به عنوان مولکولهای عملگر و عامل ایجاد کننده رنگ در فراورده های غذایی استفاده شوند. اسپیرولینا حاوی رنگدانه آبی فایکوسیانین است که ویژگی های آنتی اکسیدانی آن اثبات شده است (۵، ۱۷). به علت قابلیت جذب بالای مواد مغذی بویژه مواد معدنی، استفاده از این ریزجلبک در رژیم های غذایی زنان باردار و افراد مبتلا به سوء تغذیه توصیه شده است. سازمان جهانی بهداشت (WHO)<sup>۷</sup> از اسپیرولینا به عنوان برترین ماده غذایی بر روی زمین یاد کرده است و سازمان فضایی آمریکا (NASA)<sup>۸</sup> از اسپیرولینا به عنوان غذای فشرده در سفرهای فضایی استفاده می کند (۹). تاکنون تأثیرات درمانی و سلامتی بخش اسپیرولینا نظیر کاهش میزان کلسترول خون، محافظت در برابر برخی از سرطان ها، تقویت سیستم ایمنی بدن، افزایش لاکتوباسیلوس های روده، محافظت در برابر تشعشع و کاهش میزان چربی گزارش شده است (۶).



شکل ۱- مورفولوژی و زیست توده اسپیرولینا پلاتنسیس.

#### جدول ۱ - ترکیب شیمیایی زیست توده اسپیرولینا (۱۰)

<sup>1</sup> *Spirulina platensis*

<sup>2</sup> *Chlorella vulgaris*

<sup>3</sup> Generally Recognized As Safe

<sup>4</sup> *Ankistrodesmus*

<sup>5</sup> *Selenastrum*

<sup>6</sup> *Scenedesmus*

<sup>7</sup> World Health Organization

<sup>8</sup> National Aeronautics and Space Administration

ترکیبات شیمیایی	گرم در ۱۰۰ گرم	مواد معدنی	میلی گرم در ۱۰۰ گرم
پروتئین	۶۳	کلسیم	۴۶۸
کالری	۳۷۳	آهن	۸۷.۴
چربی کل	۴/۳	فسفر	۹۶۱
چربی اشباع	۱/۹۵	ید	۱۴۲ میکروگرم
چربی چند غیراشباع	۱/۹۳	منیزیم	۳۱۹
چربی تک غیر اشباع	۰/۵۶	مس	۰/۴۷
کلسترول	< ۰/۱ میلی گرم	منگنز	۳/۲۶
کربوهیدرات کل	۱۷/۸	کرومیوم	> ۴۰۰ میکروگرم
فیبر رژیمی	۷/۷	پتاسیم	۱/۶
قندها	۱/۳	سدیم	۶۴۱
		روی	۱/۴۵
<b>ویتامین ها</b>	<b>در ۱۰۰ گرم</b>	<b>اسیدهای آمینه ضروری</b>	<b>میلی گرم در ۱۰۰ گرم</b>
ویتامین A	۳۵۲/۲ IU	هیستیدین	۱۰۰۰
ویتامین K	۱۰۹۰ میکروگرم	ایزولوسین	۳۵۰۰
ویتامین B1	۰/۵ میلی گرم	لوسین	۵۳۸۰
ریبوفلاوین	۴/۵۳ میلی گرم	لیزین	۲۹۶۰
نیاسین	۱۴/۹ میلی گرم	متیونین	۱۱۷۰
ویتامین B6	۰/۹۶ میلی گرم	فنیل آلانین	۲۷۵۰
ویتامین B12	۱۶۲ میلی گرم	ترئونین	۲۸۶۰
		تریپتوفان	۱۰۹۰
		والین	۳۹۴۰

استفاده از ریزجلبک ها در فرآورده های غذایی گسترش زیادی داشته و تاکنون زیست توده اسپیرولینا در فرآورده های غذایی مختلفی از جمله نودل، بیسکویت، نوشیدنی های مختلف و فرآورده های غذایی عملگر دیگر به کار رفته است (۱۶). در کشور آلمان بعضی از کارخانه های تولیدکننده فرآورده های غذایی از ریزجلبک ها و سیانو باکتری ها در فرآورده هایی همچون نان، پاستا، نودل و نوشیدنی های مختلف استفاده کرده اند (۱۵). فرادیک و همکاران (۱۴) اسپاگتی غنی شده با مقادیر مختلفی از زیست توده کلرلا ولگاریس و اسپیرولینا ماکسیما<sup>۱</sup> تولید نمودند و پارامترهای کیفی، ترکیب شیمیایی، بافت و رنگ اسپاگتی غنی شده را با نمونه های شاهد فاقد ریزجلبک مقایسه نمودند (شکل ۲). به کارگیری اسپیرولینا باعث بهبود پارامترهای کیفی اسپاگتی گردید و رنگ نمونه های اسپاگتی غنی شده پس از عمل پخت به طور نسبی پایدار ماند. همچنین افزودن زیست توده در مقادیر ۰/۵ تا ۲ درصد باعث افزایش سفتی بافت نمونه ها شد. نتایج ارزیابی حسی نشان داد که نمونه های غنی شده، پذیرش کلی بهتری نسبت به نمونه شاهد داشتند.

<sup>1</sup> *Spirulina Maxima*



شکل ۲- اسپاگتی شامل سطوح مختلف زیست توده اسپیرولینا ماکسیما و کلرلا ولگاریس.

لوئیسگویا و همکاران (۱۲) تاثیر افزودن زیست توده کلرلا ولگاریس را به عنوان عامل ایجاد کننده رنگ بر بیسکوئیت کره ای (شکل ۳) مورد بررسی قرار گرفت. بیسکوئیت ها به مدت ۳ ماه در دمای اتاق نگهداری و تاثیر زیست توده کلرلا ولگاریس بر رنگ نمونه ها به صورت هفتگی بررسی شد. با افزایش مقادیر زیست توده میزان رنگ فرآورده نهایی افزایش یافت و در طول مدت زمان نگهداری، رنگ نمونه ها تا حد زیادی پایدار ماند. سفتی بافت نمونه ها نیز با افزایش غلظت زیست توده افزایش یافت. به طور کلی استفاده از مقادیر بالاتر از ۱ درصد (وزنی/وزنی) به علت معنی دار نبودن مقادیر پارامتر  $a^*$  ضروری به نظر نرسید.



شکل ۳- بیسکوئیت غنی شده با زیست توده کلرلا ولگاریس در سطوح مختلف (۱).

دولابومیک و همکاران (۷) اثر زیست توده اسپیرولینا پلاتنسیس بر سه گونه از باکتری های اسیدلاکتیک بررسی نمودند. افزودن زیست توده خشک در سطوح ۱ میلی گرم، ۵ میلی گرم و ۱۰ میلی گرم باعث افزایش رشد لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس بیشتر از ۱۷۱/۶٪ و ۱۸۵/۸٪ در  $pH=6/2$  گردید. در رشد دو گونه دیگر نیز افزایش مشاهده شد. همچنین تاثیر ضدباکتریایی اسپیرولینا بر سه باکتری گرم مثبت و سه باکتری گرم منفی مورد بررسی قرار گرفت. بیشترین میزان فعالیت ضدباکتریایی بر روی باکتری پروتئوس ولگاریس گزارش گردید. این ریزجلبک از رشد سایر باکتری های پاتوژن نیز جلوگیری کرد. در مطالعه ای دیگر دانسی و همکاران (۸) از زیست توده اسپیرولینا در فرمولاسیون کیک استفاده کردند. قند اینورت به منظور افزایش میزان قهوه ایی شدن میلارد و پوشاندن رنگ سبز به کار گرفته شد. نمونه غنی شده به لحاظ ویژگی های تکنولوژیکی، تغذیه ایی و شیمیایی با نمونه های شاهد مقایسه شدند. نتایج نشان داد که بافت، میزان انبساط حجمی و ویژگی های حسی و تغذیه ایی بهبود یافته و فرآورده، مورد تایید مصرف کنندگان قرار گرفت. گویا و همکاران (۱۳) افزودن ریزجلبک اسپیرولینا و دیاکرونا ولکیانوم در سطوح مختلف (۱ تا ۰/۱ درصد) و دمای تشکیل ژل (۷۵ تا ۹۰ درجه سانتی گراد) را بر پارامترهای رنگ، بافت و پروفایل اسیدهای چرب دسر ژله ایی گیاهی بررسی نمودند. بهبود ویژگی های بافتی به ویژه در نمونه حاوی ریزجلبک دیاکرونا بدست آمد.

در مطالعه ای دیگر (۹) از ریزجلبک هماتوکوکوس لوبالیس<sup>۱</sup> و کلرلا ولگاریس در تشکیل امولسیون های رنگی (چربی در آب) مورد بررسی قرار گرفت و پایداری رنگ امولسیون، اکسیداسیون اولیه و ثانویه فرآورده در طول ۶ هفته بررسی شد (شکل ۴). نتایج حاکی از این بود که افزودن ریزجلبک باعث افزایش مقاومت به اکسیداسیون و بهبود ویژگی های بافتی و پایداری امولسیون ها می

<sup>1</sup> *Haematococcus pluvialis*

گردد. میزان پایداری اکسیداتیو امولسیون حاوی هماتوکوکوس به علت وجود رنگدانه آستاگزانتین با پایداری اکسیداتیو بالا بهتر از نمونه حاوی کلرلا ولگاریس بوده است. اثر آنتی اکسیدانی کاروتنوئیدها ناشی از افزایش تعداد باندهای دوگانه مزدوج است که باعث افزایش پایداری اکسیداتیو می گردد. زیست توده های ریزجلبک ها به عنوان سیستم های آنتی اکسیدانی چندگانه عمل نموده و به علت تاثیرات سینرژیستی و برهمکنشهای بیشتر ترکیبات آنتی اکسیدانی مختلف کارایی بهتری دارند. غلظت بهینه جهت کاربرد در امولسیون ها ۰/۷۵ (درصد وزنی / وزنی) گزارش شد، به طوریکه پارامتر سفتی در سه امولسیون با این غلظت مشابه هم بود. مقادیر بیشتر ریزجلبک باعث قوام بیشتر امولسیون گردید که ناشی از افزایش ویسکوزیته فاز آبی است.



شکل ۴-امولسیون چربی در آب با مقادیر ۰/۲۵، ۰/۵۰ و ۰/۷۵ درصد (چپ به راست) از ریزجلبک های هماتوکوکوس لویالیس (بالا) و کلرلا ولگاریس (پایین) (۹).

رایموندو وهمکاران (۱۹) به مطالعه درباره استفاده از زیست توده ریزجلبک ها در تولید فراورده های غذایی ژلی بر پایه سیستم بیوپلیمری متشکل از پروتئین و پلی ساکارید پرداختند. دسر زله ایی گیاهی، به عنوان جایگزینی مناسب برای دسرهای لبنی و با ترکیب ۴درصد ایزوله پروتئین نخود، کاپاکاراجینان ( ۰/۱۵ درصد) و نشاسته ( ۲/۵ درصد) و با بکارگیری ریزجلبک های اسپیرولینا ماکسیما، کلرلا ولگاریس ( نارنجی و سبز)، هماتوکوکوس لویالیس و دیاکرونما ولکیانوم تولید گردید. نمونه های تولید شده از لحاظ رنگ و بافت با نمونه های تولیدشده توسط رنگدانه های تجاری فایکوسیانین، آستاگزانتین، بتاکاروتن و لوتئین مقایسه شدند. ژل های حاوی ریزجلبک ها دارای شدت رنگ کمتری نسبت به نمونه های حاوی رنگدانه های تجاری بود(شکل ۵). سیستم ژلی متشکل از پروتئین نخود، کاپاکاراجینان و نشاسته به همراه ۰/۷۵ درصد (وزنی/وزنی) از زیست توده ریزجلبک ها به منظور بررسی ویژگی های رئولوژیکی شامل پارامترهای ویسکوالاستیسیته ( $G'$ ,  $G''$ ) در طول فرایند تشکیل ژل (فرایند سرمایش) بررسی شد. نمونه حاوی هماتوکوکوس لویالیس دارای بافت بهتری نسبت به نمونه های دیگر تعیین شد که به علت محتوای بالاتر چربی (۴۰/۷ درصد) نسبت به سایر ریزجلبک ها بود. تاثیر محتوای چربی بر ویژگی های بافتی ناشی از نحوه عمل گوچه های چربی به عنوان عاملی فعال در ماتریکس پروتئینی گزارش گردید. نتایج نشان داد که افزودن زیست توده اسپیرولینا باعث کاهش معنی دار بر پارامترهای رئولوژیکی ژل گردید که ناشی از ناسازگاری ترمودینامیکی بین پروتئین زیست توده (ساختار پیچیده پروتئین به صورت کمپلکس با پروتئین) با سایر ترکیبات سیستم ژلی بود.



شکل ۵- دسر گیاهی ژله ای با استفاده از زیست توده ریز جلبک ها (شکل سمت چپ) و با استفاده از رنگدانه های تجاری (شکل سمت راست)

۲. نتایج و بحث

رنگ، طعم و مزه ریز جلبک ها از جمله اسپیرولینا باعث ایجاد محدودیت هایی در استفاده از آنها می گردد. البته باید خاطر نشان کرد که مقبولیت فراورده های حاوی ریز جلبک ها بسته به رژیم غذایی سنتی و فرهنگ جوامع متفاوت است. یکی از رویکردهای مناسب، استفاده از مولکول های زیستی موثر به جای استفاده از کل زیست توده است. استخراج مولکول های زیستی و ترکیباتی همچون اسیدهای چرب چند غیراشباع، رنگدانه ها و آنتی اکسیدان ها به عنوان جایگزین افزودنی های شیمیایی و سایر مکمل ها یکی از رویکردهای نوین است (۱۲). این رویکرد در صنایع آرایشی و بهداشتی که هزینه تمام شده نقش چندان بر پذیرش مصرف کننده ندارد صورت می پذیرد. به طور کلی با افزایش تقاضا برای فراورده های نوین و سلامتی بخش، ریز جلبک ها و ترکیبات استخراج شده از آنها می توانند نقش مهمی در طراحی و توسعه فراورده های نوین ایفا کنند. تاثیر زیست توده ریز جلبکها در سیستم های غذایی، بستگی به شرایط عملیاتی، نوع، شدت فرایند (حرارتی و مکانیکی) و برهمکنش با سایر ترکیبات مواد غذایی (پروتئین، پلی ساکارید، لیپید، نمک و شکر) دارد. علاوه بر ویژگی های تغذیه ای و ایجاد رنگ، افزودن ریز جلبک ها به سیستم های غذایی نقش موثری در ریز ساختار و ویژگی های رئولوژیک فراورده نهایی ایفا می کند (۲). به منظور طراحی و توسعه فراورده های غذایی غنی شده با ریز جلبک ها توجه به برهمکنش آنها در سیستم های غذایی و ارزیابی های فیزیکوشیمیایی، حسی و ریز ساختاری امری ضروری به نظر می رسد.

در راستای طراحی و توسعه فراورده های غذایی فراسودمند، در حال حاضر پروژه هایی در زمینه غنی سازی فراورده های غذایی با ریز جلبک اسپیرولینا پلاتنسیس شامل ماست (و سایر فراورده های لبنی)، پاستیل (میوه و سبزی)، شکلات و فراورده های غلات، توسط نویسندگان این مقاله و سایر همکاران در گروه علوم و صنایع غذایی دانشگاه فردوسی مشهد در دست انجام است.

منابع و مراجع

- [1] A Review on culture, production and use of spirulina as food for humans and feeds for domestic animals and fish , FAO Fisheries and Aquaculture Circular No. 1034.
- [2] Batista, A.P., Bandarra, N., Raymundo, A., and Gouveia, L. Microalgae biomass – a potential ingredient for the food industry. EFFoST/EHED Joint Conference. (2007). Lisbon, Portugal.
- [3] Belay A, The potential application of Spirulina (Arthrospira) as a nutritional and thearapeutic supplement in health management (review), J. Am. Nutraceutical Assoc. (JANA) 5 (2) (2002) 26–48.
- [4] Belay, A. Ota, Y.; Miyakawa, K.; Shimamatsu, H, Current knowledge on potential health benefits of Spirulina. Journal of Applied Phycology, 5( 1993) 235-241.
- [5] Benahmed Djilali. A, Benamara Salem, Saidi Nabil, Meksoud Abdelhakim, Preliminary characterization of food tablets from date (Phoenix dactylifera L.) and spirulina (Spirulina sp.) powders Powder Technology 208 (2011) 725–730.
- [6] Current microalgal health food R & D activities in China - Shizhong Liang<sup>1</sup>, Xueming Liu<sup>1</sup>, Feng Chen<sup>2</sup> & Zijian Chen<sup>3</sup> - Hydrobiologia 512 ( 2004) 45–48.
- [7] Dola Bhowmik, Jaishree Dubey and Sandeep Mehra .Probiotic Efficiency of Spirulina platensis - Stimulating Growth of Lactic Acid Bacteria World Journal of Dairy & Food Sciences 4(2)( 2009) 160-163.

- [8] Danesi. E, Navacchi.M , Takeuchi .K, Frata.M , Carvalho.J . Application of *Spirulina platensis* in Protein Enrichment of Manioc Based Bakery Products. *Special Abstracts / Journal of Biotechnology* 150S (2010) S1–S576.
- [9] Gouveia, L., Batista, A.P. Raymundo, A., Sousa, I., and Empis, J. (2006). *Chlorella vulgaris* and *Haematococcus pluvialis* biomass as coloring and antioxidant in food emulsions. *European Food Research and Technology*, 222, 362-367.
- [10] Ishikawa T, Fujiyama Y, Igarashi C, Morino M, Fada N, Kagami A, Sakamoto T, Nagano M, Nakamura H, Clinical features of familial hypercholesterolemia. *Atherosclerosis* 75(1989) 95–103.
- [11] Khan Z, Bhadouria P, Bien PS, Nutritional and therapeutic potential of *Spirulina*. *Curr Pharm Biotechnol* 6( 2005)373–9.
- [12] Luísa Gouveia., Ana Paula Batista., Ana Miranda., José Empis and Anabela Raymundo. *Chlorella vulgaris* biomass used as colouring source in traditional butter cookies. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 8 (2007) 433–436 .
- [13] Luísa Gouveia, Ana Paula Batista, Anabela Raymundo, and Narcisa Bandarra. *Spirulina maxima* and *Diacronema vlkianum* microalgae in vegetable gelled desserts. *Nutrition & Food Science* Vol. 38 No. 5, 2008. pp. 492-501.
- [14] Monica Fradique,a, Ana Paula Batista, MCristiana Nunes, Luísa Gouveia, Narcisa MBandarrac and Anabela Raymundoa. Incorporation of *Chlorella vulgaris* and *Spirulina maxima* biomass in pasta products. Part 1: Preparation and evaluation . *J Sci Food Agric* ; 90(2010)1656–1664.
- [15] Pulz.o , Gross.w, Valuable products from biotechnology of microalgae. *Appl Microbiol Biotechnol* 65(2004) 635–648.
- [16] Shizhong Liang, Xueming Liu, Feng Chen & Zijian Chen, *Hydrobiologia* 512( 2004) 45–48.
- [17] Sajilata MG, Singhal RS, Kamat MY, Fractionation of lipids and purification of g-linolenic acid (GLA) from *Spirulina platensis*. *Food Chem* , 109( 2008) 580–6.
- [18] Shahidi F. Functional foods: their role in health promotion and disease prevention. *J Food Sci* (2004). 69(5):146–9.
- [19] Raymundo, A., Gouveia, L., Batista, A.P., Empis, J., and Sousa, I. Fat mimetic capacity of *Chlorella vulgaris* biomass in oil-in-water food emulsions stabilised by pea protein. *Food Research International*, (2005). 38, 961-965.