Archive of SID

مقایسه روش‌های مختلف خشک‌کردن بر برخی ترکیبات تقریبی و رنگدانه ریز جلبک دریایی *Isochrysis galbana*

نیلوفر رضی، مهدی شمسایی مهرجان*، سید پژمان حسینی شکرابی

گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.

*نویسنده مسئول: m.shamsaie@srbiau.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۷/۹/۱۳ تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۱/۲۸

چکیده

خشک‌کردن به‌دلیل افزایش ماندگاری، حمل‌ونقل آسان و افزایش بهره‌وری استخراج لیپیدها و دیگر ترکیبات زیست فعال یک مرحله حیاتی در برداشت توده زنده جلبکی شناخته می‌شود. در مطالعه حاضر تأثیر چهار روش خشک‌کردن شامل آفتاب، آون، انجماد در خلاء و خشک‌کن پاششی بر برخی از ترکیبات مغذی و رنگدانه‌های ریز جلبک دریایی *Isochrysis galbana* مورد بررسی قرار گرفت. ترکیبات تقریبی (رطوبت، پروتئین خام، چربی خام و خاکستر) و رنگدانه‌ها (کلروفیل و کاروتنوئید) در جلبک‌های خشک‌شده به‌روش‌های مختلف تعیین شد. جلبک‌های خشک‌شده به روش خشک‌کردن انجمادی بالاترین میزان پروتئین (۰/۱۵±۶۵/۲۰ درصد)، کلروفیل (*b*) (۰/۰۱±۰/۱۰۶ میکروگرم بر میلی‌لیتر) و کاروتنوئید کل (۰/۰۳±۰/۱۵۷ میکروگرم بر میلی‌لیتر) را در مقایسه با نمونه‌های خشک‌شده با آفتاب، آون و خشک کن پاششی نشان دادند ($P<0/05$). جلبک‌های خشک‌شده به روش خشک‌کن پاششی و آفتاب نیز به‌ترتیب دارای بالاترین مقدار چربی (۰/۲۲±۲۱/۷۲ درصد) و خاکستر (۰/۴۲±۱۳/۷۷ درصد) بودند ($P<0/05$). می‌توان نتیجه گرفت که برخی از ترکیبات تغذیه‌ای ریز جلبک *I. galbana* به‌طور قابل ملاحظه‌ای تحت تأثیر روش‌های مختلف خشک کردن قرار می‌گیرند و خشک کردن به‌روش انجماد در خلاء می‌تواند به‌عنوان یک روش کارآمد برای نگهداری جلبک‌ها با اثر منفی نسبتاً پایین بر ترکیب غذایی آن‌ها در شرایط خشک محسوب شود.

واژگان کلیدی: خشک‌کردن، کلروفیل، کاروتنوئید، *Isochrysis galbana*.

مقدمه

یک‌سوم توده‌های گیاهی در سطح جهان متعلق به جلبک‌ها است (UMDU, 2012). از جلبک‌ها در دوران گذشته به‌عنوان غذا، علوفه، کود و منابع دارویی استفاده می‌شد و امروزه، به‌عنوان یک ماده خام برای تولیدات صنعتی مانند سوخت زیستی، ترکیبات رنگی و مکمل‌های غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Ling *et al.*, 2015). همچنین خواص موجود در میکروجلبک‌های دریایی باعث افزایش علاقه در به‌کارگیری آن‌ها در صنایع مختلف به‌عنوان منبعی مناسب از رنگ‌دانه‌ها، ویتامین‌ها، پلی ساکاریدها، کاروتنوئیدها و اسیدهای چرب غیراشباع بلند زنجیره شده است (Córdoba-Matson *et al.*, 2010). به‌طوری‌که برخی جلبک‌ها به‌عنوان منابع پروتئینی مناسب شناخته شده و واجد پروفایل اسیدهای آمینه در سطح منابع پروتئینی مانند گوشت، تخم‌مرغ، سویا و شیر هستند (Bleakley and Hayes, 2017).

براساس آمار ارائه‌شده جلبک‌های میکروسکوپی در واحد سطح از میزان تولید پروتئین به‌مراتب بالاتری (۱۵-۴ تن/هکتار/سال) در مقایسه با محصولات کشاورزی پرمصرف مانند سویا (۱/۲-۰/۶ تن/ هکتار/ سال) و گندم (۱/۱ تن/ هکتار/ سال) برخوردارند (Krimpen *et al.*, 2013). گونه *Isochrysis galbana* در راسته Haptophyceae، رده Isochrysidales و خانواده Isochrysidales طبقه‌بندی می‌شود (UMDU, 2012). دارای قطری در حدود ۸-۴ میکرون و کلروپلاست آن فنجانی شکل بوده و در حدود یک‌سوم سلول را اشغال می‌کند (Hoff and Snell, 1999). ریزجلبک‌های جنس *Isochrysis* به‌دلیل توانایی آن‌ها در تولید اسیدهای چرب غیراشباع به‌ویژه DHA و EPA توجه فزاینده‌ای را به‌خود جلب کرده (Liu and Lin, 2001) و به‌دلیل برخورداری از محتوای پروتئینی بالا

www.SID.ir

Archive of SID

به‌عنوان یک ماده غذای دریایی با ارزش بالا شناخته می‌شوند (Jeffrey *et al*., 1994).

اکثر محصولات کشاورزی فاسدشدنی هستند و نگهداری طولانی مدت آن‌ها نیازمند روش‌های مختلفی است (Habou *et al*., 2003). خشک کردن یکی از قدیمی‌ترین روش‌های نگهداری محصولات کشاورزی بعد از برداشت است (Azizi *et al*., 2010). این فرآیند به‌عنوان نوعی فرآوری محصولات غذایی با کاهش فعالیت آبی تا حد رسیدن به یک آستانه‌ای خاص، فساد محصولات غذایی را از نظر فعالیت‌های بیوشیمیایی و میکروبی به‌طور معنی‌داری محدود می‌کند (Hassan *et al*., 2007). معمولاً جلبک‌ها پس از جمع‌آوری و قبل از استفاده در مطالعات تغذیه‌ای و یا صنعتی بایستی خشک شوند (Ling *et al*., 2015). خشک‌کردن باعث کاهش بار میکروبی و حجم ذخیره‌سازی آن‌ها می‌شود (Gupta *et al*., 2011). جلبک‌هایی که به روش مناسب خشک شوند؛ می‌توانند برای چند سال با کمترین تغییرات در ترکیبات زیست فعال آن‌ها ذخیره‌سازی شوند (FAO, 1976). فرآیند خشک‌کردن را می‌توان یک عامل تأثیرگذار بر محتوای ترکیبات فیتوشیمیایی جلبک‌ها در نظر گرفت (Ling *et al*., 2015). به‌عنوان‌مثال، در مطالعه Gupta و همکاران (۲۰۱۱) خشک‌کردن ماکروجلبک *Himanthalia elongata* به روش آون باعث کاهش ۵۱ درصدی فنول کل و فلاونوئید کل در مقایسه با نمونه‌های تازه شد. در مطالعه Norra و همکاران (۲۰۱۶) تغییرات معنی‌داری در ترکیبات شیمیایی جلبک قهوه‌ای سارگاسوم (*Sargassum* sp.) خشک شده با آون، آفتاب و خشک کن انجمادی مشاهده کردند. ملکوتیان و همکاران (۱۳۹۱) نیز با خشک کردن جلبک *نانوکلروپسیس اوکولاتا* با سه روش آون، هوای آزاد و انجماد در خلاء به این نتیجه رسیدند که روش انجماد در خلاء جهت آبگیری و خشک کردن زیست‌توده جلبک از لحاظ حفظ ارزش غذایی مناسیتر است. در مطالعه حاضر تغییر برخی از ترکیبات مغذی و رنگدانه‌های ریزجلبک دریایی *I. galbana* در چهار روش خشک‌کردن در آفتاب، آون، انجماد در خلاء و خشک کن پاششی مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

کشت جلبک: جهت انجام تحقیق حاضر از ریز جلبک *I. galbana* استفاده شد. کشت اولیه مطابق روش استاندارد کشت با استفاده از محیط کشت گیلارد F/2 انجام شد (Guillard, 1975). پس از تهیه نمونه خالص جلبکی از مجتمع آزمایشگاهی رازی (دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات) نسبت به کشت جلبک در فلاسک‌های استریل ۳ لیتری در مجاورت نور سفید تک‌رنگ با روشنایی ۳۵۱۱±۳۵۱ لوکس و با تناوب نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی اقدام شد. درجه حرارت آب به‌طور متوسط معادل ۲۰°C، شوری معادل ppt ۲۵ و pH معادل ۸-۷/۵ تنظیم شد. به‌طور دائمی جلبک‌ها در مخازن کشت توسط پمپ‌های هواده، هوادهی شدند.

بلافاصله پس از رسیدن رشد جلبک‌ها به مرحله فاز ثابت (روز ۱۴ پرورش) نسبت به نمونه‌برداری از نمونه‌های کشت‌شده به‌صورت تصادفی اقدام شد. نمونه‌ها (۱۰۰۰ میلی‌لیتر بیوماس) پس از عبور از کاغذ صافی واتمن (Whatman GF/C, 4.7 cm) به‌منظور خارج کردن نمک موجود در بافت با فرمات آمونیوم ۰/۵ مولار شستشو داده شدند. خشک‌کردن نمونه‌ها تا زمان رسیدن به وزن ثابت توسط چهار روش مختلف هر کدام با سه تکرار انجام شد. لازم به ذکر است پیش از شروع دوره کشت تمام ابزار آلات موردنیاز به‌وسیله دستگاه اتوکلاو استریل شدند.

روش‌های مختلف خشک کردن: در روش خشک‌کردن با آفتاب، یک قسمت از نمونه‌های برداشت‌شده به‌صورت روزانه در ساعات ۱۰/۰۰ صبح تا ۱۶/۳۰ بعدازظهر در دمای ۲۰-۲۵°C درجه سانتی گراد تا زمان رسیدن به وزن ثابت خشک شد (عبادی و همکاران، ۱۳۸۹). یک قسمت دیگر از نمونه‌های تهیه‌شده پس از قرار دادن درون آون الکتریکی، در دمای ۶۰°C به مدت ۱۲ ساعت تا زمان رسیدن به وزن ثابت خشک شد (Cheirsilp *et al*., 2012).

در خشک‌کردن نمونه‌ها به روش انجماد در خلاء نیز ابتدا یک قسمت دیگر از نمونه‌های تهیه‌شده به‌مدت ۱۲ ساعت در فریزر با دمای ۸۴- درجه سانتی‌گراد منجمد و تا زمان رسیدن به وزن ثابت

www.SID.ir

Archive of SID

(۲۴ ساعت) درون دستگاه انجماد در خلاء خشک شدند (Lee *et al*., 2010).

خشک‌کردن نمونه‌ها به روش پاششی با استفاده از دستگاه Spray-dryer به‌صورت تک لایه‌ای انجام شد. برای جلوگیری از تخریب رنگ‌دانه‌ها بطری‌های با استفاده از فویل آلومینیومی به‌طور کامل پوشانده و درون دستگاه قرار داده شدند. دمای ورودی دستگاه ۱۴۰-۱۵۰°C، دمای قسمت مرکزی دستگاه ۱۳۰-۱۳۵°C و دمای خروجی ۸۰-۸۵°C بود. نمونه‌ها پس از تزریق به دستگاه در فاصله زمانی ۸-۶ ثانیه خشک شدند (Lin, 1985).

اندازه‌گیری ترکیبات تقریبی: اندازه‌گیری میزان پروتئین خام در نمونه‌های خشک شده جلبک با روش کجلدال و استخراج چربی از نمونه‌ها طبق روش سوکسله و حلال هگزان انجام شد (AOAC, 2000). اندازه گیری درصد رطوبت مطابق روش توصیفی Rebolloso Fuentes و همکاران (۲۰۰۰) انجام شد. در این روش دو گرم از نمونه‌های خشک جلبک در آون با دمای ۱۰۵°C قرار داده شد و اختلاف وزن در مدت ۴۰ ساعت محاسبه گردید. اندازه‌گیری میزان خاکستر نیز با قرار دادن ۰/۵ گرم نمونه‌های خشک جلبک در کوره الکتریکی با دمای ۴۵۰°C به مدت ۴۸ ساعت انجام شد (Rebolloso Fuentes *et al*., 2000).

اندازه‌گیری کلروفیل *a*، *b* و کاروتنوئیدها: آنالیز رنگدانه‌های کلروفیلی و کاروتنوئیدی روش Yang و همکاران (۱۹۹۸) انجام شد. در این روش پس از توزین ۱۰ میلی‌گرم از نمونه‌های خشک جلبک با ۱۰ میلی‌لیتر از مخلوط استون-آب به نسبت (۱:۴) هموژن شد. مخلوط تهیه‌شده به‌مدت ۲ دقیقه تا زمان یکنواخت شدن هم زده شد. جهت جلوگیری از گرم شدن نمونه‌ها از حمام آب و یخ استفاده شد. مخلوط هموژن با کمک دستگاه سانتریفیوژ یخچال دار مدل Sigma 3-30k با دور ۵۰۰۰ در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه در دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ شد. جذب عصاره حاصل در سه طول موج ۴۷۰ نانومتر برای کاروتنوئید، ۶۶۶ نانومتر برای کلروفیل *a* و ۶۳۵ نانومتر برای کلروفیل *b* توسط دستگاه اسپکتوفتومتر قرائت شد. میزان کلروفیل *a*، *b* و کاروتنوئید کل با استفاده از معادلات زیر محاسبه شد.

$$\text{Chlorophyll } a \text{ (µg/ml)} = 12.25A_{663} - 2.25A_{653}$$

$$\text{Chlorophyll } b \text{ (µg/ml)} = 20.31A_{653} - 2.25A_{666}$$

$$\text{Total Carotenoids (µg/ml)} = (1000\ A_{470} - 2.860\text{Chl-a} - 12.29\text{Chl-b})/245$$

تجزیه و تحلیل داده‌ها: ثبت کلیه داده‌های جمع‌آوری شده در هر مرحله و رسم نمودارها با استفاده از نرم افزار اکسل (۲۰۱۳) و تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS ورژن ۱۸ استفاده شد. پس از کنترل همگنی واریانس و نرمال بودن داده‌ها به‌وسیله آزمون Kolmogorov-Smirnov، نتایج هر گروه از نمونه‌های خشک شده به‌وسیله آزمون واریانس یک طرفه (ANOVA) بررسی شد. از آزمون چند دامنه‌ای دانکن (Duncans multiple-range test) نیز به‌عنوان post-hoc برای مقایسه میانگین بین گروه‌ها استفاده شد. تمام آنالیزهای آماری در سطح اطمینان ۹۵٪ ($P<۰/۰۵$) انجام شد و میانگین داده‌ها به صورت میانگین ± انحراف معیار نشان داده شد.

نتایج

نتایج آنالیز ترکیبات تقریبی جلبک *I. galbana* پس از خشک کردن به روش‌های مختلف به‌صورت درصد در وزن خشک در جدول ۱ ارائه شده است. بر اساس نتایج اختلاف معنی‌داری در میزان رطوبت بین روش‌های مختلف مشاهده نشد ($P>۰/۰۵$). بیشترین درصد پروتئین خام در روش انجماد و کمترین مقدار آن در روش خشک‌کردن با آفتاب ثبت شد ($P<۰/۰۵$). بیشترین درصد چربی خام در روش خشک کن پاششی و کمترین مقدار آن در روش انجماد در خلاء مشاهده شد ($P<۰/۰۵$). بیشترین درصد خاکستر نیز در روش خشک‌کردن با آفتاب و کمترین مقدار آن در روش انجماد در خلاء مشاهده شد ($P<۰/۰۵$).

خشک‌کردن جلبک *I. galbana* اختلاف معنی داری از نظر میزان کلروفیل (*a*) بین روش‌های مختلف نشان نداد ($P>۰/۰۵$). میزان کلروفیل (*a*) در خشک‌کردن با آون ۰/۰۹۷±۰/۰۱ µg/ml، با آفتاب

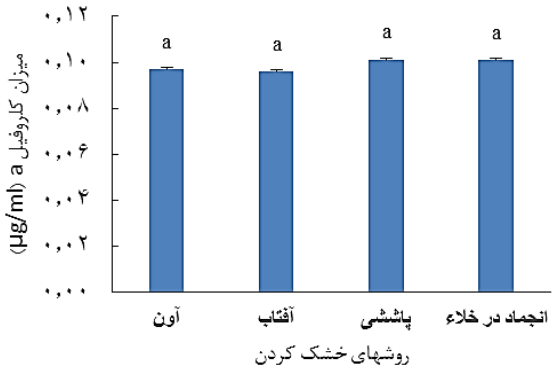
www.SID.ir

Archive of SID

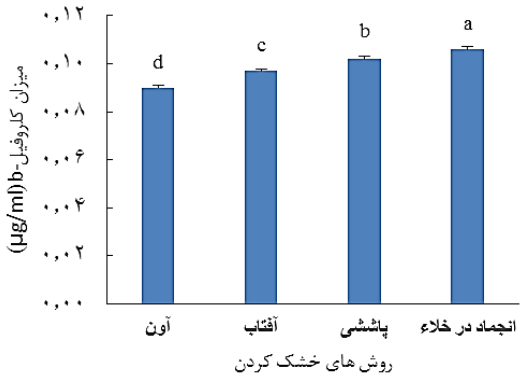
جدول ۱ - مقایسه ترکیبات تقریبی جلبک *Isochrysis galbana* در روش‌های مختلف خشک‌کردن (درصد وزن خشک).

پارامتر	روش‌های خشک‌کردن			
	آون	انجماد در خلاء	پاششی	آفتاب
رطوبت	۳/۹۰±۰/۲۹^{c}	۴/۳۳±۰/۱۴^{c}	۴/۸۸±۰/۲۲ ^{b}	۶/۴۶±۰/۱۳۴ ^{a}
پروتئین	۶۳/۰۸±۰/۵۳^{b}	۶۵/۲۰±۰/۱۵^{a}	۶۳/۵۳±۰/۳۸^{b}	۶۰/۱۰±۰/۴۱^{c}
چربی	۲۰/۱۳±۰/۰۹^{b}	۱۸/۸۹±۰/۱۲^{d}	۲۱/۷۲±۰/۲۲^{a}	۲۰/۱۹±۰/۱۸^{c}
خاکستر	۱۲/۸۳±۰/۵۲^{b}	۱۱/۶۸±۰/۱۶^{c}	۱۲/۳۸±۰/۳۷^{b}	۱۳/۷۷±۰/۴۲^{a}

حروف متفاوت در هر ردیف نشانه تفاوت معنی‌دار بین میانگین‌ها می‌باشد (P<۰/۰۵).



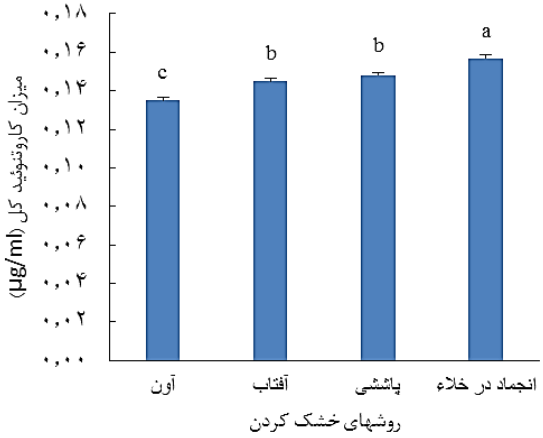
شکل ۱ - مقایسه میزان Chl-a در جلبک *Isochrysis galbana* طی روش‌های مختلف خشک‌کردن. حروف متفاوت نشان‌گر وجود اختلاف معنی‌دار است (n=3, P<۰/۰۵).



شکل ۲ - مقایسه میزان Chl-b در جلبک *Isochrysis galbana* طی روش‌های مختلف خشک‌کردن. حروف متفاوت نشان‌گر وجود اختلاف معنی‌دار است (n=3, P<۰/۰۵).

µg/ml ۰/۰۹۶±۰/۰۱، با خشک‌کن انجماد µg/ml ۰/۱۰۱±۰/۰۱ و خشک‌کن پاششی µg/ml ۰/۱۰۱±۰/۰۲ اندازه‌گیری شد (شکل ۱).

درحالی‌که میزان کلروفیل (*b*) تحت تأثیر روش‌های مختلف خشک کردن اختلاف معنی‌داری بین هر چهار روش مورد استفاده نشان داد (P<۰/۰۵). بیشترین میزان کلروفیل (*b*) معادل µg/ml ۰/۱۰۶±۰/۰۴ در روش خشک‌کن انجمادی و کمترین مقدار آن معادل µg/ml ۰/۰۹۰±۰/۰۱ در



شکل ۳ - مقایسه میزان کاروتنوئید در جلبک *Isochrysis galbana* طی روش‌های مختلف خشک‌کردن. OD=خشک کردن با آون، SD=خشک کردن با آفتاب،SPD= خشک‌کن پاششی و FD=خشک‌کن انجماد در خلاء. حروف متفاوت نشان‌گر وجود اختلاف معنی‌دار است (n=3, P<۰/۰۵).

روش خشک کردن با آون ثبت شد. سطح این رنگدانه در روش خشک کن پاششی µg/ml ۰/۱۰۲±۰/۰۲ و خشک‌کردن با آفتاب µg/ml ۰/۰۹۷±۰/۰۱ اندازه‌گیری شد (شکل ۲).

میزان کاروتنوئید اندازه‌گیری شده با روش‌های مختلف خشک کردن در شکل ۳ ارائه شده است. اختلاف معنی‌داری بین روش‌های مختلف خشک کردن در مقادیر اندازه‌گیری شده مشاهده شد (P<۰/۰۵). بیشترین مقدار کاروتنوئید (µg/ml ۰/۱۵۷±۰/۰۳) در روش در خشک‌کن انجمادی و کمترین مقدار آن (µg/ml ۰/۱۳۵±۰/۰۱) در روش آون ثبت شد (P<۰/۰۵). میزان کاروتنوئید اندازه‌گیری شده در روش خشک کن پاششی µg/ml ۰/۱۴۸±۰/۰۱ و در روش خشک‌کردن با آفتاب µg/ml ۰/۱۴۵±۰/۰۱ اندازه‌گیری شد (P>۰/۰۵). میزان کاروتنوئید اندازه‌گیری شده به‌روش خشک‌کن پاششی و آفتاب در مقایسه با مقدار اندازه‌گیری شده به روش آون به شکل معنی‌داری بالاتر و در مقایسه با

www.SID.ir

Archive of SID

مقدار اندازه‌گیری شده به روش خشک‌کن انجمادی به شکل معنی‌داری پایین‌تر بود ($P<۰/۰۵$).

بحث

روش‌های خشک کردن به‌طور معنی‌داری بر کیفیت و کمیت ترکیبات گیاهان تأثیر می‌گذارند (Moyler, 1994). نتایج نشان داد که استفاده از روش‌های مختلف خشک‌کردن باعث تغییرات معنی‌داری در ترکیبات مغذی جلبک *I. galbana* می‌گردد. مقادیر بالای پروتئین در روش خشک کن انجمادی احتمالاً به‌دلیل عدم استفاده از گرما در خشک‌کردن ریز جلبک *I. galbana* با این روش است. Tokusoglu و Ünal (۲۰۰۳) مقدار پروتئین خام اندازه‌گیری شده در نمونه خشک شده‌ی جلبک *I. galbana* به روش انجمادی ۲۶/۹۹ درصد گزارش شد که بسیار کمتر از مقدار اندازه‌گیری شده در تحقیق حاضر بود. در مطالعه Desmorieux و Hernandez (۲۰۰۴) بالاترین میزان پروتئین در پودر جلبک اسپرولینا در روش خشک کن انجمادی معادل ۷۸ درصد گزارش دادند که در مقایسه با سایر روش‌های مورد استفاده بالاتر بود. این محققین میزان پروتئین اندازه‌گیری شده در روش خشک‌کن پاششی را ۷۵ درصد و در روش مادون قرمز ۶۳/۸ درصد گزارش دادند. استفاده از گرما بر ترکیبات مغذی هم می‌تواند تأثیرات مفید و هم تأثیرات مخرب داشته باشد. گرما باعث افزایش قابلیت هضم مواد مغذی، طعم، مزه و افزایش قابلیت استخراج روغن شود (Agoreyo *et al*., 2011). کاهش قابل‌توجه درشت و ریز مغذی‌ها پس از خشک شدن ممکن است به پایداری پیوندهای تشکیل‌دهنده آن‌ها نسبت داده شود (Hassan *et al*., 2007). شدت حرارت اعمال‌شده با توجه به کارایی روش‌های مختلف با کاهش درصد پروتئین متناسب خواهد بود (Hassan *et al*., 2007). کاهش درصد درشت و ریزمغذی‌ها در اثر استفاده از گرما برای خشک‌کردن در مطالعات مختلفی گزارش‌شده است (Agoreyo *et al*., 2011). نتایج تحقیق حاضر نیز به‌وضوح نشان داد که استفاده از گرما باعث کاهش میزان پروتئین در بافت جلبک *I. galbana* می‌گردد. Wong و Cheung (۲۰۰۱) نیز مزایای استفاده از خشک کردن با آون برای استخراج پروتئین از جلبک *Sargassum hemiphyllum* را سریع‌تر و مناسب‌تر از روش خشک کردن انجمادی دانستند و علت این ادعا را تخریب بیشتر دیواره سلولی ماکروجلبک‌ها نسبت به میکروجلبک ها عنوان داشتند.

نتایج در خصوص محتوای چربی موجود در نمونه‌های خشک شده *I. galbana* در مطالعه حاضر را می‌توان به نوع روش بکارگرفته شده نسبت داد. کمترین مقدار چربی خام در روش انجمادی و بیشترین مقدار آن در روش خشک کن پاششی ثبت شد. در روش انجمادی با وجود این‌که زمان و انرژی زیادی برای تولید محصول نهایی صرف می‌گردد، به‌دلیل ایجاد خلاء در هنگام انجام فرآیند، احتمال اکسیداسیون ترکیبات کاهش یافته و مواد مفید تثبیت و حفظ می‌گردند (Agoreyo *et al*., 2011). در تائید این موارد Widjaja و همکاران (۲۰۰۹) با بررسی اثر دمای خشک شدن روی فرایند استخراج لیپید از زیست توده‌ی جلبک کلرولا (*Chlorella vulgaris*) گزارش دادند که در دمای ۶۰°C باعث کاهش کم در مقدار لیپید استخراج شده می‌شود؛ اما با افزایش دما به ۸۰°C یا بیشتر مقدار لیپید استخراج شده به‌شکل معنی‌داری کاهش می‌یابد. Neoh و همکاران (۲۰۱۶) نیز با بررسی ترکیبات تقریبی جلبک *Kappaphycus alvarezii* در نمونه‌های خشک شده با آفتاب، آون، وکیوم و انجمادی شاهد اختلاف معنی‌دار در مقدار چربی استخراج شده بین روش‌های مختلف بودند.

Agoreyo و همکاران (۲۰۱۱) با بررسی ترکیبات تقریبی در نمونه‌های خشک شده جلبک سارگاسوم (*S. hemiphyllum*) با روش‌های آفتاب، آون و انجماد اختلاف معنی‌داری در میزان پروتئین خام و چربی خام مشاهده نکردند. در مطالعه Chan و همکاران (۱۹۹۷) نیز با بررسی روش‌های مختلف خشک‌کردن (آفتاب، آون و انجمادی) هیچ‌گونه اختلاف معنی‌داری در میزان پروتئین خام و چربی خام در جلبک *S. hemiphyllum* مشاهده نشد. در مطالعه حاضر بالاترین میزان خاکستر در روش خشک‌کردن با آفتاب و کمترین میزان آن در نمونه‌های خشک‌شده به روش انجمادی مشاهده شد. با خشک کردن جلبک *ایزوکرایسیس گالبانا* به روش انجمادی مقدار خاکستر استخراج شده ۱۶/۰۸ درصد

www.SID.ir

Archive of SID

گزارش شد که در مقایسه مقدار اندازه‌گیری در این تحقیق بالاتر بود (Tokusoglu and Ünal, 2003). برخلاف این نتایج، کمترین میزان خاکستر در جلبک *S. hemiphyllum* در روش خشک کردن با آفتاب گزارش شد (Chan *et al*., 1997). در تحقیق اشاره دلیل کاهش خاکستر در روش خشک کردن با آفتاب در مقایسه با سایر روش‌ها را لیچینگ و مدت زمان طولانی قرار گرفتن جلبک *سارگاسوم همیفیلوم* در معرض آفتاب گزارش دادند (Chan *et al*., 1997). در مطالعه Stévant و همکاران (۲۰۱۸) نیز اختلاف معنی‌داری در محتوی خاکستر نمونه‌های خشک‌شده کلپ *Saccharina latissima* به‌روش خشک‌کردن با هوای گرم در سه سطح دمایی ۲۵، ۴۰ و ۷۰ درجه سانتی‌گراد و روش انجمادی مشاهده نشد. به‌طورکلی فرآیند خشک‌کردن بر درصد و اجزای مواد مغذی تأثیر قابل‌توجهی دارد و این تأثیر بر اساس دمای خشک‌کردن، طول مدت خشک‌کردن و نوع گونه متفاوت است (یزدانی و همکاران، ۱۳۸۴).

تعیین سطوح رنگ‌دانه به‌ویژه مقدار کاروتنوئیدها در جلبک‌ها تحت تأثیر نوع گونه و شرایط زیستی محیط قرار دارد (آتشبار و وحدت، ۱۳۹۷). خشک‌کردن جلبک *I. galbana* در مطالعه حاضر با روش‌های آون، آفتاب، انجمادی و پاششی هیچ‌گونه تأثیری روس سطوح Chl-*a* نداشت. در تائید این نتایج Stévant و همکاران (۲۰۱۸) نیز با خشک‌کردن جلبک *Saccharina latissima* با هوای گرم در دماهای مختلف و انجماد هیچ‌گونه تأثیر معنی‌داری بر میزان رنگ‌دانه کلروفیل مشاهده نکردند. در مطالعه حاضر بالاترین میزان Chl-*b* و کاروتنوئید در روش خشک‌کن انجمادی و کمترین مقدار این دو شاخص در نمونه‌های خشک‌شده با آون ثبت شد. Zhang و همکاران (۲۰۱۳) نیز با خشک‌کردن جلبک *Spirulina platensis* بالاترین میزان فایکوبیلی‌پروتئین و بتاکاروتن را در روش خشک‌کن انجمادی گزارش دادند. Güroy و همکاران (۲۰۱۷) نیز بالاترین میزان رنگ‌دانه فیکوسیانین را در نمونه‌های خشک‌شده جلبک *Spirulina platensis* با روش انجمادی مشاهده کردند. در تحقیقی دیگر درصد کلروفیل اندازه‌گیری شده در نمونه‌های خشک شده جلبک کلرلا (*Chiarella pyrenaidasa*) در روش خشک‌کن انجمادی بالاتر از روش خشک‌کن پاششی گزارش شد (Lin, 1985). Ling و همکاران (۲۰۱۵) نیز شاهد اختلاف معنی داری در میزان کاروتنوئید اندازه‌گیری شده در نمونه‌های خشک شده جلبک *Kappaphycus alvarezii* با روش‌های مختلف بودند. در تحقیق اشاره شده با افزایش دما از ۴۰ به ۸۰ درجه سانتی-گراد در روش آون میزان کاروتنوئید در نمونه‌های خشک شده جلبک به‌شکل معنی‌داری کاهش نشان داد. در مطالعه Oliveira و همکاران (۲۰۰۸) نیز مشاهده شد که افزایش درجه حرارت تا بیش از ۶۰ درجه سانتی‌گراد باعث کاهش مقدار رنگدانه‌های محلول در آب و قابل‌استخراج از جلبک *S. platensis* می‌گردد. در تائید این موضوع در مطالعه حاضر نیز استفاده از گرما باعث کاهش میزان کلروفیل *b* و کاروتنوئید شد. اصولاً رنگ‌دانه‌ها در برابر عواملی مانند دما، نور و pH بسیار حساس هستند و خشک‌کردن نامناسب می‌تواند منجر به از دست رفتن بیش‌ازحد رنگ‌دانه‌ها شود (Martelli *et al*., 2014).

در مجموع بر اساس نتایج مطالعه حاضر می‌توان این چنین نتیجه‌گیری کرد که برخی از ترکیبات مغذی و رنگدانه‌های جلبک *I. galbana* تحت تأثیر روش‌های مختلف خشک‌کردن دچار تغییرات معنی داری می‌گردند. از بین چهار روش مورد استفاده، خشک‌کردن جلبک *I. galbana* با روش انجمادی بیشترین مقدار پروتئین خام، Chl-*b* و کاروتنوئید را نشان داد. بیشترین میزان چربی خام نیز در روش خشک کن پاششی و بیشترین مقدار خاکستر در روش خشک‌کردن با آفتاب ثبت شد. این نتایج نشان داد که حرارت تأثیرات نامطلوبی بر از برخی ترکیبات مغذی و رنگدانه‌های جلبک *I. galbana* دارد و به نظر می‌رسد استفاده از خشک کن انجمادی برای خشک‌کردن این جلبک در مقایسه با سایر روش‌های مورد استفاده دارای تأثیرات مطلوب‌تری در حفظ مواد مغذی است. اما در صورت اهداف سوخت زیستی روش خشک کردن پاششی کارایی بالاتری خواهد داشت. پیشنهاد می‌گردد در شرایطی آزمایشی مشابه تحقیقاتی در خصوص بررسی سایر روش‌های خشک کردن روی پارامترهای اندازه‌گیری شده و بررسی

www.SID.ir

Archive of SID

تغییرات پروفایل اسیدهای آمینه و اسیدهای چرب این ریز جلبک دریایی انجام شود تا بتوان با قطعیت بیشتری در خصوص پتانسیل روش‌های مختلف خشک کردن روی شاخص‌های اندازه گیری شده بحث و تبادل نظر کرد.

منابع

آتشبار ب.، وحدت س.، ۱۳۹۷. مقایسه عوامل رشد، ترکیب شیمیایی، پروفایل اسیدهای چرب، مقدار کلروفیل و کاروتن کل دو گونه جلبکی *سندسموس آبلیکوس* و *هماتوکوکوس پلوویالیس*. مجله زیست‌شناسی میکروارگانیسم‌ها، ۷(۲۶): صفحات ۱۱۳-۱۰۱.

ملکوتیان م.، حاتمی ب.، دولتشاهی ش.، رجبی‌زاده ا. ۱۳۹۱. مطالعه اثرنوع حلال و خشک نمودن زیست توده بر استخراج لیپید از میکروجلبک نانوکلروپسیس اوکولاتا جهت تولید بیودیزل. فصلنامه انجمن علمی بهداشت محیط ایران، ۷ (۱): صفحات ۲۰-۱۱.

Agoreyo B.O., Akpiroroh O., Orukpe O.A., Osaweren O.R., Owabor C.N. 2011. The effect of various drying methods on the nutritional composition of *Musa paradisiaca*, *Dioscorea rotundata* and *Colocasia esculenta*. *Asian Journal of Biochemistry* 6(6), 458-464.

AOAC. 1995. Official methods of analysis of official analytical chemists international, 16th edn. Association of Official Analytical Chemists, Arlington, V.A.

AOAC. 2000. Official methods of analysis, 17th edn. Association of Official Analytical Chemists, Inc. Washington, USA.

Bleakley S., Hayes M. 2017. Algal Proteins: Extraction, Application, and Challenges Concerning Production. *Foods* 6, 33

Cheirsilp B., Torpee S. 2012. Enhanced growth and lipid production of microalgae under mixotrophic culture condition: effect of light intensity, glucose concentration and fed-batch cultivation. *Bioresource Technology* 110, 510-516.

Córdoba-Matson M.V., Gutiérrez J., Porta-Gándara M.Á. 2010. *Journal of Applied Phycology* 22, 427-432.

Chan J.C.C., Cheung P.C.K., Ang P.O. 1997. Comparative studies on the effect of three drying methods on the nutritional composition of seaweed *Sargassum hemiphyllum* (Turn.) C. Ag. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 45(8), 3056-3059.

Desmorieux H., Hernandez F. 2004. Biochemical and Physical Criteria of Spirulina after Different Drying Processes, Proceedings of the 14th International Drying Symposium (IDS 2004)São Paulo, Brazil, 22-25 August 2004. pp: 900-907.

Guillard R.R.L. 1975. Culture of phytoplankton for feeding marine invertebrates. In: W.L. Smith, M.H. Chanley (Eds.), Culture of Marine Invertebrate Animals. Plenum Press, New York, USA. pp: 26-60.

Gupta S., Cox S., Abu-Ghannam N. 2011. Effect of different drying temperatures on the moisture and phytochemical constituents of edible Irish brown seaweed. *LWT - Food Science and Technology* 44(5), 1266-1272.

Güroy B., Karadal O., Mantoglu S., Cebeci O. 2017. Effects of different drying methods on C-phycocyanin content of *Spirulina platensis* powder. *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 34(2), 129-132.

Habou D., Asere A.A., Alhassan A.M., 2003. Comparative study of the drying rate of tomatoes and pepper using forced and natural convection solar dryers. *Nigeria* Journal of *Renewable Energy* 14, 36-40.

Hassan S.W., Umar R.A., Maishanu H.M., Matazu I.K., Faruk U.Z., Sani A.A. 2007. The effect of drying method on the nutrients and non-nutrients composition of leaves of *Gynandropsis gynandra* (Capparaceae). *Asian Journal of Biochemistry* 2, 349-353.

Hoff F.H., Snell, T.W. 1999. Plankton culture manual. Florida Aqua Farms. 183 p.

Jeffrey S.W., Brown, M.R., Volkman. J.K. 1994. Haptophyte as feedstocks in mariculture. In: J.C. Green, B.S.C. Leadbeater (eds.), The Haptophyte Algae, Clarendon Press, Oxford. pp: 287-302.

Krimpen M.M., Bikker P., Meer I.M., Peet-Schwering C.M.C., Vereijken J.M. 2013. Cultivation, processing and nutritional aspects for pigs and poultry of European protein sources as alternatives for imported soybean products Lelystad: Wageningen UR Livestock Research. 48 p.

Lee J.Y., Yoo C., Jun S.Y., Ahn C.Y., Oh H.M. 2010. Comparison of several methods for effective lipid extraction from microalgae. *Bioresource Technology* 101, 575-577.

Lee Mei Ling A., Yasir S., Matanjun P., Abu Bakar M.F. 2015. Effect of different drying techniques on the phytochemical content and antioxidant activity of *Kappaphycus alvarezii*. *Journal of Applied Phycology* 27, 1717-1723.

Lin L.P. 1985. Microstructure of spray-dried and freeze-dried microalgal powders. *Food Microstucture* 4, 341-348.

www.SID.ir

Archive of SID

degree of Master of Science. 77 p.

Widjaja A., Chien C.C., Ju, Y.H. 2009. Study of increasing lipid production from fresh water microalgae Chlorella vulgaris. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers* 40(1), 13-20.

Wong K., Cheung P.C. 2001. Influence of drying treatment on three Sargassum species 2. Protein extractability, in vitro protein digestibility and amino acid profile of protein concentrates. *Journal of Applied Phycology* 13, 51-58.

Yang C.M., Chang K.W., Yin M.H., Huang H.M. 1998. Methods for the determination of the chlorophylls and their derivatives. *Taiwania* 43, 116-122.

Zhang K., Lu J., Guo Y., Sun B., Zhao F., Cao Y., Ren D. 2013. Effects of different drying processes on the quality of *Spirulina platensis*. I*nternational Agricultural Engineering Journal* 22(4), 63-71.

Ling A.L.M., Yasir S., Matanjun P., Abu Bakar M.F. 2015. Effect of different drying techniques on the phytochemical content and antioxidant activity of *Kappaphycus alvarezii*. *Journal of Applied Phycology* 27, 1717-1723.

Liu C-P., Lin L-P. 2001. Ultrastructural study and lipid formation of *Isochrysis* sp. CCMP1324. *Botanical Bulletin of Academia Sinica* 42, 207-214.

Martelli G., Folli C., Visai L., Daglia M., Ferrari D. 2014. Thermal stability improvement of blue colorant C-Phycocyanin from *Spirulina platensis* for food industry applications. *Process Biochemistry* 49(1), 154-159.

Morris A., Barnett A., Burrows O. 2004. Effect of processing on nutrient content of foods. *Cajanus* 37(3), 160-164.

Neoh Y.Y., Matanjun P., Lee J.S. 2016. Comparative study of drying methods on chemical constituents of Malaysian Red Seaweed. *Drying Technology* 34(14), 1745-1751.

Norra I., Aminah A., Suri R. 2016. Effects of drying methods, solvent extraction and particle size of Malaysian brown seaweed, *Sargassum* sp. on the total phenolic and free radical scavenging activity. *International Food Research Journal* 23(4), 1558-1563.

Oliveira E.G., Rosa G.S. Moraes M.A., Pinto L.A.A. 2008. Phycocyanin content of *Spirulina platensis* dried in spouted bed and thin layer. *Journal of Food Process Engineering* 31(1), 34-50.

Rebolloso Fuentes M.M., Acien Fernandez G.G., Sanchez Perez J.A., Guil Guerrero J.L. 2000. Biomass nutrient profiles of the microalga *Porphyridium cruentum*. *Food Chemistry* 70, 345-353.

Stévant P., Indergård E., Ólafsdóttir A., Marfaing H., Larssen W.E., Joël Fleurence J., Roleda M.Y., Rustad T., Slizyte R., Nordtvedt T.S. 2018. Effects of drying on the nutrient content and physico-chemical and sensory characteristics of the edible kelp *Saccharina latissima*. *Journal of Applied Phycology* 30(4), 2587-2599.

TokusOglu Ö., Ünal M.K. 2003. Biomass Nutrient Profiles of Three Microalgae: *Spirulina platensis, Chlorella vulgaris,* and *Isochrisis galbana*. *Journal of Food Science* 68(4), 1144-1148.

UMDU S. 2012. Effect of co_2 concentration and temperature on growth rate and lipid content of *Isochrysis galbana*, a thesis submitted to the graduate school University of Engineering and Sciences of İzmir Institute of Technology in Partial Fulfillment of the Requirements for the

www.SID.ir

Archive of SID

A comparative study of different drying methods on some proximate composition and pigments of marine microalgae *Isochrysis galbana*

Nilofar Razi, Mehdi Shamsaie Mehrgan*, Seyed Pezhman Hosseini Shekarabi

Department of Fisheries Science, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
*Corresponding author: m.shamsaie@srbiau.ac.ir
Received: 2018/12/4 Accepted: 2019/2/17

Abstract

Drying due to shelf-life extend, easy transportation, and increase in lipids extraction and other bioactive compounds yield is a vital step in harvesting of algae biomass. In the present study, the effect of four drying methods, including sun drying, oven drying, freeze drying and spray drying methods on some nutritional composition and pigments of a marine microalga *Isochrysis galbana* was investigated. Proximate compositions (moisture, crude protein, crude lipid, ash) and pigments (chlorophylls and carotenoid) of the dried algae were determined. The results indicated that dietary protein and lipid were the most abundant components of the microalgae. No significant differences was found in the content of Chl-*a* among all dried samples ($P>0.05$). Freeze-dried samples had the highest content of total protein (62.33±0.56%), Chl-*b* (0.167±0.02µg/ml) and carotenoid (0. 153±0.01µg/ml) compared to others ($P<0.05$). However, spray-dried and sun-dried algae had the highest values of crude lipid (15.41±0.25%) and ash (17.51±0.14%), respectively ($P<0.05$). It can be concluded that some of the nutritional composition of microalga *I. galbana* is significantly affected by different drying methods and freeze drying can be suggested as an efficient method to maintain the algae with relatively lower negative effect on the nutritional composition in the dried condition.

Keywords: Drying, Chlorophyll, Carotenoid, *Isochrysis galbana*.

www.SID.ir