Journal of Marine Medicine
Winter 2024, Volume 5, Issue 4
Pages: 214-222
10.30491/5.4.214

Spirulina Microalgae: Enriching and Enhancing the Sensory Properties of Grain-Based Foods - A Narrative Review

Yazdan Moradi [1] *

[1] *Iranian Fisheries Science Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Tehran, Iran*

Received: 30 August 2023 **Accepted:** 17 February 2024

Abstract

In recent decades, there has been a flourishing trend in the production of highly beneficial and enriched foods. Marine organisms, including microalgae, possess nutritional value and unique compounds that can be utilized to enrich or create beneficial foods. One such microalgae species with significant potential in this regard is Spirulina. Numerous studies on Spirulina have highlighted its therapeutic benefits for various non-communicable diseases. These properties stem from the unique chemical composition and nutritional value of Spirulina, which includes minerals, pigments, omega-3 fatty acids, proenin, essential amino acids, and a variety of vitamins.

Both domestic and international research has been conducted on the enrichment of food and the production of beneficial foods using Spirulina. The findings indicate that incorporating this microalgae into daily consumed foods, particularly grain-based foods, enhances their nutritional value by increasing levels of iron, calcium, omega-3 fatty acids, essential amino acids, and protein. Additionally, the inclusion of Spirulina improves the sensory properties, texture, and color of these foods.

This review article aims to introduce Spirulina as a means to enrich food and enhance the nutritional content of grain-based foods.

Keywords: Microalgae, Spirulina, Enrichment, Amino Acid, Sensory Properties.

***Corresponding author:** Yazdan Moradi, **Email**: ymorady@yahoo.com
Address: Iranian Fisheries Science Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Tehran, Iran.

مجله طب دریا
دوره ۵، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۲
صفحات: ۲۲۲-۲۱۴
10.30491/5.4.214

ریزجلبک اسپیرولینا، غنی‌کننده و بهبوده‌دهنده خواص حسی غذاهای تولیدی بر پایه غلات: مطالعه مروری روایتی

یزدان مرادی[1*]

[1] موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۰۶/۰۸ **پذیرش مقاله:** ۱۴۰۲/۱۱/۲۸

چکیده

در دهه‌های اخیر تولید غذاهای فراسودمند و غنی شده رونق یافته و در حال رشد است. برخی از موجودات دریایی از جمله ریزجلبک‌ها دارای ترکیبات با ارزش تغذیه‌ای و گاهی منحصربفرد هستند که برای غنی‌سازی و یا تولید غذاهای فراسودمند کاربرد دارند. ریزجلبک‌ها اسپیرولینا (*Spirulina*) یکی از گونه‌هایی است که پتانسیل استفاده برای تولید اینگونه غذاها را دارد. مطالعات متعدد روی اسپیرولینا نشان می‌دهد که این جلبک کاربردهای متعدد درمانی روی برخی از بیماری‌های غیرواگیر دارد. این خواص مرتبط با ویژگی‌های ترکیب شمیایی و ارزش تغذیه‌ای خاص اسپیرولینا از قبیل مواد معدنی، رنگدانه‌ها، اسیدهای‌چرب امگا ۳، پروتئین، اسیدهای‌آمینه ضروری و انواع ویتامین‌ها است. پژوهش‌های متعددی در داخل و خارج از کشور روی غنی‌سازی مواد غذایی و تولید غذای فراسودمند با اسپیرولینا انجام شده‌است که نشان می‌دهد افزودن این ریزجلبک در غذاهای مصرفی روزانه بخصوص غذاهای با پایه غلات باعث افزایش ارزش تغذیه‌ای این غذاها از جمله افزایش مقدار مقدار آهن،کلسیم، اسیدهای چرب امگا ۳، اسیدهای‌آمینه ضروری، پروتئین گردیده و علاوه برآن موجب بهبود خواص حسی، بافت و رنگ آنها شده‌است. این مطالعه مروری با هدف معرفی این ریزجلبک برای غنی‌سازی مواد غذائی و افزایش ارزش تغذیه‌ای غذاهای تولیدی برپایه غلات تدوین شده‌است.

کلیدواژه‌ها: ریزجلبک، اسپیرولینا، غنی‌سازی، اسیدآمینه، خواص حسی.

*نویسنده مسئول: **یزدان مرادی**. پست الکترونیک: ymorady@yahoo.com
آدرس: موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

مقدمه

بخش قابل‌توجهی از جمعیت جهان از کمبود ریزمغذی‌هایی مانند آهن، ید، کلسیم که تا مدت‌ها نشانه‌های آن دیده نمی‌شود رنج می‌برند (۱،۲). یکی از راه‌های جبران فقر غذایی ، غنی‌سازی مواد عذایی روزانه با ترکیبات با ارزش تغذیه‌ای بالا است. غنی‌سازی (Fortification) مواد غذایی یکی از اساسی ترین راهبردهای ارتقاء وضعیت تغذیه‌ای جامعه است (۳) که عبارت از افزودن یک یا چند ماده مغذی به مواد غذایی در شرایطی است که آن مواد در غذا به طور طبیعی وجود نداشته و یا کمتر از میزان طبیعی اولیه باشد (۴). منابع غذائی دریایی به عنوان غذای سلامتی همواره مورد توجه بوده‌اند. در این میان برخی آنها از جمله جلبک‌های تک سلولی به‌عنوان مکمل غذا نیز مورد توجه قرار گرفته‌اند. استفاده از این ریزجلبک‌ها در حال گسترش بوده و به صورت‌های گوناگون از قبیل پودر، قرص و همچنین افزودن به مواد غذایی محصولات غذایی استفاده می‌شود. جلبک‌های دریایی حاوی مقدار بالائی پروتئین، تمام اسیدهای‌آمینه ضروری، ویتامین‌ها، انواع مواد معدنی، اسیدهای‌چرب غیراشباع مثل آراشیدونیک اسید، ایکوساپنتانوئیک اسید (EPA) و دوکوساهگزائینوئیک اسید (DHA) می‌باشند. یکی دیگر از ویژگی‌های اصلی میکروجلبک‌ها، محتوای رنگدانه آنهاست و آنها به عنوان یک منبع بسیار خوب از رنگ‌های طبیعی و خوراکی شناخته می‌شوند. علاوه بر کلروفیل‌ها که به عنوان رنگدانه فتوسنتزی آنها همچنین رنگدانه‌های ثانویه به شکل‌های مختلف و طیف گسترده‌ای از کاروتنوئیدها را نیز دارا می‌باشند (۵). تحقیقات نشان‌داده است که جلبک‌های دریایی را می‌توان به عنوان یک منبع غنی از کاروتنوئیدها مانند فیکوزانتین و آستاگزانتین و فیبر در جیره غذایی استفاده کرد و می‌توان در محصولات غذائی بدون تغییرات زیاد در کیفیت حسی، اضافه نمود. اضافه نمودن جلبک دریایی *Wakame* در ماکارونی، پتانسیل بسیار زیادی برای بهبود محتوای فیکوزانتین نشان داده است (۶).

روش‌ها

ریزجلبک اسپیرولینا

اسپیرولینا سیانوباکتری رشته‌ای میکروسکوپی می‌باشد و اسم این جلبک از شکل مارپیچی و رشته‌ای آن مشتق شده‌است. این جلبک در سراسر جهان کشت داده می‌شود و به عنوان مکمل در رژیم غذایی انسان بصورت قرص، پودر و مکمل غذایی استفاده می‌شود (۷،۸). این ریزجلبک غنی از مواد معدنی از جمله کلسیم، آهن، منیزیوم، سلنیوم، روی، مس، پتاسیم، سدیم، و کروم می‌باشد و همچنین حاوی ویتامین‌های B1,B12,B2,B9، ویتامینC، ویتامین E و ویتامین A به شکل بتاکاروتن می‌باشد. منبع غنی از پروتئین و حاوی کلروفیل و اسیدهای‌چرب غیر اشباع امگا ۳ و ۶ می‌باشد (۹). حدود ۶۰٪ تا ۷۰٪ وزن خشک اسپیرولینا پروتئین است که دارای همه اسیدهای آمینه ضروری برای بدن می‌باشد و از به پروتئین‌های گیاهی معمول مانند حبوبات برتر می‌باشد (۱۰،۱۱). امروزه از اسپیرولینا در کلوچه‌ها، نان‌ها، سالاد و سوپ استفاده می‌نمایند و در کشورهای اروپایی برای بهبود رژیم غذایی قرص‌های اسپیرولینا بصورت روزانه مصرف می‌شود. ترکیبات مهم تغذیه‌ای اسپیرولینا که توسط محققین مختلف بررسی شده در جدول‌های ۱ تا ۴ نشان داده شده است.

اسپیرولینا به‌عنوان افزایش‌دهنده پروتئین

مقالات و گزارش‌های تحقیقاتی متعددی وجود دارد که افزودن پودر ریزجلبک اسپیرولینا به سایر مواد غذائی باعث افزایش معنی‌دار مقدار پروتئین شده‌است. در پژوهشی پودر ریزجلبک اسپیرولینا با درصدهای ۰/۵، ۰/۷۵، ۱ و ۱/۲۵ به سه محصول نان حجمی، شیرینی لایه‌ای و کیک اضافه شد و اختلاف معنی‌دار بین تیمارهای شاهد (بدون اسپیرولنیا) و نمونه‌های حاوی اسپیرولینا از نظر مقدار پروتئین در سه محصول بوجود آمد. البته افزایش پروتئین در هر سه نمونه یکسان نبود. به طوری‌که افزایش پروتئین در شیرینی لایه‌ای در هر چهار تیمار ۰/۵، ۰/۷۵، ۱و ۱/۲۵ درصد معنی‌دار بود در حالی‌که در نان و کیک تیمار ۰/۵ درصد افزایش معنی‌دار ایجاد نکرد. بیشترین مقدار پروتئین در نمونه حاوی ۱/۲۵ درصد اسپیرولینا و کمترین مقدار افزایش در تیمار حاوی ۰/۵ درصد اسپیرولینا اتفاق افتاده است. مقدار افزایش پروتئین به ترتیب برای نان، کیک و شیرینی ۱، ۰/۶ و۱/۲ بوده‌است (۱۲). نتیجه مشابهی در پروژه تحقیقاتی تولید کلوچه صنعتی با استفاده از ریزجلبک اسپیرولینا بدست آمد. دراین پژوهش افزودن ۰,۵، ۱، ۱/۵ درصد اسپرولینا به فرمول کلوچه مقدار باعث افزایش پروتئین به‌ترتیب به مقدار ۰/۳، ۱و ۱/۵ شده‌است (۲۶). افزودن ریزجلبک اسپیرولینا با درصدهای ۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱ درصد به فرمولاسیون تولید پاستا مقدار پروتئین آنرا افزایش داد بیشترین مقدار افزایش در نمونه حاوی ۱ درصد اسپیرولنیا حاصل شد که که ۰/۷ درصد بوده‌است (۲۷) افزودن ۲/۶ درصد اسپیرولینا به اسنک آرد برنج و آرد ذرت در مقایسه با شاهد موجب افزایش ۱/۹ درصد پروتئین (۲۸) و غنی‌سازی کلوچه‌های سنتی با جلبک اسپیرولینا پلاتنیسس را در میزان ۰/۵، ۱و ۱/۵ درصد باعث افزایش مقدار پروتئین و در کلوچه‌های غنی گردید (۲۹). می‌توان به منظور غنی‌سازی پروتئین در محصولات نانوایی از ریزجلبک اسپیرولیناپلاتنسیس بدون آن که تغییر قابل ملاحظه‌ای در بافت، ضریب انبساط، درصد ترکیب و پذیرش حسی محصول ایجاد شود استفاده کرد (۳۰). افزایش مقدار پروتئین در نمونه‌های حاوی اسپیرولینا به‌علت مقدار بالای پروتئین در این ریزجلبک است. اسپیرولینا به عنوان یک ماده غذائی با پروتئین بالا شناخته می‌شود. مقدار پروتئین در ریزجلبک اسپیرولینا ۶۷/۹ (۱۲)، ۴۷ (۲۲) ۶۲ (۱۵)، ۵۷/۷ (۱۰) و ۶۰ تا ۷۰ (۳۱) درصد وزن خشک گزارش شده‌است.

جدول-۱. آنالیز ترکیبات تقریبی ریزجلبک اسپیرولینا

مواد مغذی	گرم در ۱۰۰ گرم				
پروتئین کل	۶۷/۹۲	۵۷/۵	۶۲	۵۰/۹۳	۶۰/۳۲
چربی کل	۳/۶۳	۷/۷	۶	۱	۷/۲۸
کربوهیدرات	۱۷/۸	۲۳/۹	۲۵	–	۱۷/۳
رطوبت	۴/۰۱	۴/۷	۶	۹/۴۶	۵/۴۲
خاکستر	۶/۶۷	۶/۲	۱۳	۰/۷	۶/۸۸
منبع	(۱۲،۱۳)	(۱۴)	(۱۵)	(۱۶)	(۱۷)

جدول-۲. مواد معدنی ریزجلبک اسپیرولینا

ماده معدنی	مقدار				
پتاسیم	۱۶ (میلی‌گرم در گرم)	–	۵۶ (میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم)	۱۴۰۰ (میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم)	–
کلسیم	۱۵ (گرم در ۱۰۰ گرم)	–	۱۴ (گرم در ۱۰۰ گرم)	۷۰۰ (میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم)	۵/۲۲ (میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم)
فسفر	۱۰ (گرم در ۱۰۰ گرم)	۱۱۸ (میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم)	۳۰ (گرم در ۱۰۰ گرم)	۸۰۰(میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم)	–
منگنز	۳ (گرم در ۱۰۰ گرم)	–	–	۵ (میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم)	–
روی	۷۰ (میکرو گرم در ۱۰۰ گرم)	۲ (میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم)	۸۱ (میکروگرم در ۱۰۰گرم)	۳ (میلیگرم در ۱۰۰ گرم)	۰/۰۰۹ (گرم در ۱۰۰ گرم)
مس	–	۱/۶ (میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم)	۲۱ (میکروگرم در ۱۰۰ گرم)	۱/۲(میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم)	–
منیزیم	–	۱۹۵ (میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم)	–	۵(میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم)	–
سدیم	۲/۵(میلی‌گرم در گرم)	۱ (گرم در ۱۰۰ گرم)	۴۲ (میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم)	۹۰۰ (میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم)	۲۷ (میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم)
آهن	۱/۷(گرم در ۱۰۰ گرم)	۲۸/۵ (میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم)	۱/۶ (میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم)	۱۰۰ (میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم)	۰/۸۸ (گرم در ۱۰۰ گرم)
منبع	(۱۹)	(۱۴)	(۱۵)	(۱۸)	(۱۷)

جدول-۳. پروفایل اسیدهای‌چرب ریزجلبک اسپیرولینا (درصد)

اسید چرب	مقدار				
C13:0	۰/۲	–	–	–	–
C14:0	۲	–	۰/۲	۰/۲	۳/۶
C16:0	۴۶	۲۵/۸	۴۵	۲۵	۴۲/۷۹
C16:1	۵	–	۵/۶	۳/۸	۰/۵۲
C17:1	۰/۲	–	–		–
C18:0	۳	۱/۷	۱/۴	۱/۷	۱/۸۱
C18:1	۲/۱	۱۶/۶	۲/۲	۱۶/۶	۰/۳۳
C18:2	۱۸	۱۲	۱۷/۹	۱۲	۹/۴۳
C18:3	۲۳	۴۰/۱	۲۴/۹	۴۰/۱	۱۸/۴۱
C20:1	۰/۳	–	–	–	
C22:0	۰/۲	–	–	ناچیز	۲۰/۰۱
C20:5n-3 (EPA)	۰/۲	–	–	–	–
C22:6n-3 (DHA)	۰/۲	–	–	–	–
منبع	(۱۳)	(۲۰)	(۱۵)	(۲۱)	(۱۷)

جدول-۴. پروفایل اسیدهای‌آمینه ریزجلبک اسپیرولینا (گرم در ۱۰۰ گرم)

اسیدآمینه	مقدار (گرم در ۱۰۰گرم)				
آسپارتیک اسید	۵/۶۵	۵/۷۹	۴/۶۶	۴/۹۸	۱۱/۸
گلوتامیک اسید	۸/۵۰	۸/۳۹	۷/۵۹	۸/۳۷	۱۰/۳۰
سرین	۳/۵	۲/۹۹	۲/۳۱	۳/۲۳	۵/۱۰
هیستیدین	۱/۱۳	۱/۰۸	۰/۶	۱/۱۸	۲/۲۰
آرژنین	۵/۷۵	۴/۱۵	۲/۹	۳/۹۲	۷/۳۰
گلایسین	۳/۲۵	۳/۰۹	۲/۰۸	۳/۰۷	
ترئونین	۲/۹۸	۲/۹۷	۱/۹۶	۲/۹۴	۶/۲۰
آلانین	۴/۷۰	۴/۵۱	۳/۲۵	۴/۲۳	۹/۵۰
تیروزین	۲/۹۹	۲/۵۸	۱/۷۶	۳/۲۶	۵/۳۰
تریپتوفان	۱/۱۹	۰/۹۳	–	–	۰/۳۰
والین	۵/۶۰	۳/۵۱	۱/۲۴	۳/۵۷	۷/۱۰
فنیل آلانین	۲/۹۰	۲/۷۷	۱/۸۱	۲/۶۹	۵/۳۰
ایزولوسین	۲/۶۰	۳/۲۱	۱/۹۲	۳/۰۶	۶/۷۰
لوسین	۵/۰۰	۴/۹۵	۴/۰۲	۵/۰۸	۸/۹۰
لیزین	۴/۴۰	۳/۰۲	۱/۳۹	۳/۲۶	۴/۸۰
پرولین	۲/۹۰	۲/۳۸	۴/۸۸	۲/۲۷	–
سیستئین	–	۲/۳۸	۲/۶۹	–	۰/۹۰
میتیونین	–	۱/۱۵	۰/۸۳	–	–
منبع	(۱۳)	(۱۴)	(۲۳)	(۲۴)	(۲۵)

شکل-۱. غنی‌سازی نان با ریزجلبک اسپیرولینا (۱۳)

اسپرولینا به‌عنوان غنی‌کننده اسیدهای‌آمینه

در بررسی افزودن ریزجلبک اسپیرولینا با مقادیر ۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۶، ۱ به پاستا مشاهده گردید که بجز دو اسیدآمینه تیروزین و تریپتوفان مابقی ۱۳ اسیدآمینه شناسائی شده در پاستای شاهد، در تیمارهای حاوی جلبک اسپیرولینا افزایش یافتند بیشترین افزایش مربوط تیمار حاوی ۱ درصد اسپیرولینا بوده‌است. افزایش مقدار اسیدامینه‌های دراین تیمار برای اسپارتیک اسید ۰/۹ درصد، گلوتامیک اسید ۰/۷، سرین ۰/۱۶، هیستیدین درصد، آرژنین ۰/۱۱۰ درصد، گلاسین ۰/۶ درصد، ترئونین ۰/۷۰ درصد، آلانین ۰/۲۰ درصد، والین ۰/۱۹۰ درصد، فنل آلانین ۰/۱۰۰ درصد، ایزولوسین ۰/۱۵ درصد، لوسین ۰/۱۹۶ درصد و لیزین ۰/۲۰۵ درصد گزارش شده‌است (۳۱). اسیدهای‌آمینه بیسکویت و کیک غنی شده با پودر اسپیرولینا در سطوح (۲/۵٪، ۰/۵ و ۷/۵٪). مشاهده شد که در مقایسه با شاهد، در نمونه‌های حاوی اسپیرولینا هر دو گروه اسیدآمینه ضروری و اسیدآمینه غیر ضروری تفاوت معنی‌داری را نشان دادند. در نمونه‌های حاوی ریزجلبک اسیدهای آمینه ضروری و غیرضروری شامل ترئونین، لوسین، اسید آسپارتیک، گلوتامیک و پرولین به ترتیب در بیسکویت و کیک های حاوی ۵٪ و ۷٫۵٪ افزایش یافتند (۲۳). افزودن ۱ درصد اسپیرولینا به فرمولاسیون نان، کیک و شیرینی باعث افزایش دو اسیدآمینه آسپارتیک اسید (۰/۰۸ درصد) و حدود۰/۱درصد در تروئنین گردید. علاوه بر این در محصول کیک اسیدآمینه گلاسین افزایش ۰/۶٪ مشاهده شد. تغییرات در اسیدهای‌آمینه در محصول شیرینی لایه‌ای بیشتر از دو محصول دیگر بود. بطوری‌که ۶ اسیدآمینه آسپارتیک اسید، آرژنین، آلانین، فنل آلانین، لوسین و ایزولوسین تغییر معنی‌داری ($p<0/05$) در مقایسه با شاهد نشان داده شد (۱۳).

اسپیرولینا به‌عنوان بهبوددهنده پروفایل اسیدهای‌چرب

در پژوهشی که روی تاثیر افزودن ریزجلبک اسپیرولینا با مقادیر ۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵، ۱ به پاستا انجام شد مشاهده گردید که اسید چرب EPA که در نمونه شاهد نداشت به مقادیر ۱۴۵٪ ، ۱۳۰٪ ،

٪۳۰۰، و ٪۲۸۰ گرم در صد گرم پاستای حاوی اسپیرولینا شناسایی گردید (۳۱). نتیجه مشابهی روی امکان غنی‌سازی سه محصول نان، کیک و شیرینی با اسپیرولینا گزارش شد. تیمارهای شاهد هر سه محصول فاقد اسیدهای چرب غیر اشباع EPA, DHA بود اما در نمونه‌های کیک و نان حاوی اسپیرولینا در حد ۱ درصد این اسیدهای‌چرب شناسایی شد. تغییر رفتار افزودن ریزجلبک اسپیرولینا در رابطه با دو اسید جرب EPA و DHA در ۳ محصول مختلف نان، کیک و شیرینی لایه‌ای با ترکیب شیمیائی آنها بخصوص نوع و مقدار چربی آنها مرتبط می‌باشد. در شیرینی لایه‌ای مقدار زیادی مارگارین وجود دارد که به‌نظر می‌رسد عدم وجود دو اسید چرب EPA و DHA مرتبط با این موضوع باشد (۱۳). در غنی‌سازی کلوچه‌های سنتی با جلبک اسپیرولینا پلاتنیسس اسید گاما لینولنیک افزایش یافت (۲۹).

اسپیرولینا به‌عنوان عامل غنی‌ساز مواد معدنی

افزایش مواد معدنی بویژه آهن از جمله خواص افزودن ریزجلبک اسپیرولینا به سایر مواد غذایی است. مقدار آهن با افزودن موجود در نمونه‌های شاهد نان، کیک و شیرینی لایه‌ای به ترتیب ۲/۵ ، ۴/۹ و ۶/۶ میلی‌گرم برکیلوگرم بوده‌است که با افزودن ریزجلبک اسپیرولینا به نسبت ۰/۵، ۰/۷۵، ۱و ۱/۲۵ درصد مقدار آهن در هر سه محصول افزایش یافت. اما این افزایش در تمام تیمارها معنی‌دار نبوده‌است. به‌طوری‌که افزایش معنی‌دار در محصول نان و شیرینی در هر سه تیمار ۰/۵، ۰/۷۵، ۱و ۱/۲۵ درصد اتفاق افتاد اما در محصول کیک اختلاف معنی‌دار صرفاً در دو تیمار ۱و ۱/۲۵ درصد مشاهده شد. بیشترین افزایش مقدار آهن در تیمار حاوی بالاترین مقدار اسپیرولینا (۱/۲۵ درصد) اتفاق افتاد. مقدار افزایش در این تیمار در نان، کیک و شیرینی لایه‌ای به‌ترتیب ۴، ۵ و ۳ میلی‌گرم درکیلوگرم بود. افزایش آهن در نمونه‌های حاوی اسپیرولینا به دلیل مقدار بالای آهن (۲۹/۵ میلی‌گرم میلی در ۱۰۰ گرم) در این ریزجلبک بوده‌است (۱۳). افزایش معنی‌دار مقدار آهن در کلوچه‌های حاوی ریزجلبک اسپیرولینا با درصدهای ۰/۵، ۱، ۱/۵ در تولید کلوچه صنعتی (۲۹) کلوچه سنتی (۳۱) افزایش مقدار آهن را به‌دنبال داشته است. همچنین افزودن ریزجلبک اسپیرولینا به مقادیر ۰/۵، ۰/۷۵، ۱ درصد به فرمول پاستا در مقایسه با شاهد توانست به ترتیب ۷، ۱۰ و ۱۷ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم مقدار آهن تیمارهای حاوی اسپیرولینا را افزایش دهد (۲۷) . غنی‌سازی نان سنگک با اسپیرولینا تاثیر مناسبی بر روی مواد معدنی مخصوصاً روی داشت (۳۲) نمونه شاهد (بدون جلبک) پاستا دارای ۰/۰۲۲ در صد کلسیم بود است که با افزودن ریزجلبک به فرمول پاستا مقدار آن به‌صورت قابل توجهی افزایش یافته است (۱۳). غنی‌سازی نان با اسپیرولینا باعث بهبود ویژگی‌های شیمیایی و مواد معدنی نان شد و رشد کپک در نان غنی شده با اسپیرولینا مشاهده نشد و غنی‌سازی، اثر منفی بر عمر مفید نان نداشت (۳۳). مقدار کلسیم به ۰/۰۲۴۱ ، ۰/۰۲۴۶، ۰/۰۲۵۱ و ۰/۰۲۵۷ درصد به ترتیب در تیمارهای ۰/۵، ۰/۷۵، ۱ و ۱/۲۵ درصد پودر ریزجلبک اسپیرولینا افزایش یافته است (۱۳،۲۷).

اسپیرولینا به‌عنوان رنگ دهنده طبیعی

استفاده از رنگ‌دهنده‌ها در صنایع غذایی امری مرسوم است و در این میان استفاده از رنگ‌دهنده‌هایی با منشاء طبیعی مورد تاکید است. افزودن پودر رزی جلبک اسپیرولینا پلاتنسیس باعث ایجاد رنگ سبز در محصولات کیک، نان حجیم و شیرینی (۱۲) گردید (شکل-۱). بررسی رنگ نمونه‌های حاوی اسپیرولینا بر مبنای L*,a*,b* نشان دهنده داد که درمقایسه با نمونه شاهد افزودن ریزجلبک اسپیرولینا موجب کاهش شاخص روشنی (L*) در هرسه محصول نان، کیک و شیرینی شده‌است. کاهش شاخص روشنی با افزایش شاخص‌های a* وb* همراه بوده و رنگ سبز در محصول غالب شده‌است (۱۲). بروز رنگ سبزی در تیمارها با افزایش مقدار اسپیرولینا بطور معنی‌داری P<۰/۵ افزایش می‌یابد. این تغییر رنگ در مقایسه با شاهد در نمونه نان قابل‌توجه‌تر بوده‌است. نتیجه مشابهی را در پژوهش صورت گرفته روی تاثیر افزودن ریزجلبک اسپیرولینا روی کلوچه صنعتی (۲۶) و پاستا (۳۵) بدست آمده است (شکل-۲). افزودن اسپیرولینا به فرمول کلوچه صنعتی موجب کاهش معنی‌دار شاخص روشنی و ایجاد رنگ سبز در محصول شده است عامل ایجاد سبزی وجود رنگدانه‌های سبز و سبز- آبی کلروفیل و فیکوسیانین است (۳۶) که جایگزین بخشی از آرد گردید و فاکتور روشنی را در محصول کاهش داد (۲۶). در غنی‌سازی پاستا را با مقادیر متفاوت از ریزاسپیرولیناماکسیما موجب بهبود شاخص‌های کیفی نمونه‌های غنی شده در مقایسه با نمونه شاهد شد و رنگ پاستای ریزجلبکی پس از پخت نسبتاً پایدار باقی می‌ماند (۳۴).

شکل-۲. رنگ پاستای غنی‌شده با ریزجلبک اسپیرولینا با درصدهای مختلف (۳۵)

اسپیرولینا به‌عنوان بهبود بافت ماده غذایی

مطالعات متعددی نشان داده‌اند که افزودن پودر ریزجلبک اسپیرولینا به محصولات غلات باعث کاهش سختی و نرم‌تر شدن بافت آنها گردیده است. در آزمایشات بافت سنجی در فاکتور سختی،

نمونه‌های دارای اسپیرولینا کاهش معنی‌داری نسبت به نمونه شاهد از خود نشان دادند (۳۵). آنالیز شاخص سختی (Hardness) نشان داد که افزودن پودر ریزجلبک اسپیرولینا باعث کاهش سختی در نان، کیک و شیرینی لایه‌ای در مقایسه با شاهد شده‌است. بیشترین کاهش سختی در محصول شیرینی لایه‌ای (از ۵۸/۴۲ به ۳۰)، پس از آن در نان (از۱۲/۳۲ به۷۷/۷) و کمترین کاهش مربوط به کیک (از ۱۰/۴۲ به ۸/۷۷) دیده شده‌است. رفتار غیر یکسان افزودن اسپیرولینا در کاهش سختی در سه محصول به ترکیب مواد تشکیل دهنده آنها بستگی دارد (۱۲،۳۵). نتیجه مشابهی را در اثر افزودن اسپیرولینا به کلوچه گزارش شده‌است (۲۶). در مطالعه دیگری تاثیر افزودن پودر ریزجلبک اسپیرولینا روی سختی پودر نان (Bread crumb) گزارش شده است که افزودن ریزجلبک اسپیرولینا به فرمول محصول باعث ایجاد نرمی در نمونه گردید و بیشترین نرمی تیمار حاوی ۴٪ اسپیرولینا مشاهده شد. مهمترین عوامل موثر بر بافت نمونه‌های مختلف محصول، میزان رطوبت و فعالیت آبی است که تا حد زیادی تحت تأثیر برهم‌کنش گروه‌های هیدروکسیل موجود در ماتریکس قرار دارند (۳۰). ذرات بزرگ ریزجلبک اسپیرولیناپلاتنسیس، موجب ایجاد گسستگی در شبکه خمیر و نرم شدن بافت محصولات می‌شوند. نتیجه مشابهی در پژوهشی که روی تاثیر اسپیرولینا روی خواص حسی و بافت نان باگت انجام شد مشاهده گردید که سختی نمونه‌های نان باگت حاوی اسپیرولینا در مقایسه با شاهد کاهش یافته است (۳۷). کاهش سختی نمونه‌های حاوی اسپیرولینا می‌تواند به ترکیبات فیبری ریزجلبک نسبت داده شود. این ترکیب به وسیله جذب آب از خارج شدن رطوبت جلوگیری کرده و موجب نرمتر شدن محصول گردد (۳۸). برخلاف سایر ریزجلبک‌ها، سلول‌های پروکاریوت اسپیرولینا پلاتنسیس فاقد دیواره سخت سلولی هستند که به جذب سریع آب توسط محتویات سلولی آن به خصوص پروتئین‌ها منجر می‌شود. در واقع مولکول‌های پروتئینی اسپیرولینا پلاتنسیس به سبب دارا بودن خاصیت آب دوستی بر سر جایگاه‌های اتصال با آب با مولکول‌های نشاسته به رقابت می‌پردازند (۵،۳۹).

تاثیر اسپیرولینا روی قابلیت پذیرش محصولات غنی‌شده

علاوه بر شناسائی پتانسیل اسپیرولینا برای غنی‌سازی مواد غذایی، تاثیر این ریزجلبک روی قابلیت پذیرش محصول غنی‌شده نیز صورت گرفته است. نتایج این پژوهش‌ها نشان داد که نه تنها افزودن ریزجلبک اسپیرولینا با مقادیر اعلام شده اثر منفی روی قابلیت پذیرش ندارد بلکه در برخی موارد موجب بهبود قابلیت پذیرش نیز شده‌است. با افزودن ۱تا ۱/۵ درصد اسپیرولیناپلاتنسیس به کلوچه سنتی ایرانی ضمن دستیابی به محصول غنی شده، ویژگی‌های تغذیه‌ای و حسی آن بهبود یافت (۲۹). پاستاهای ریزجلبکی اسپیرولینا نسبت به نمونه کنترل در ارزیابی حسی نمرات پذیرش بالاتری داشتند (۳۴). با افزودن پودر ریزجلبک اسپیرولینا پلاتنسیس با درصدهای ۰/۲۵ ،۰/۵، ۰/۷۵ ، ۱ و ۱/۲۵ به نان، کیک و شیرینی، قابلیت پذیرش در هر سه محصول در حد قابل قبول بوده است و بیشترین امتیاز پذیرش مربوط به تیمار ۰/۷۵ درصد در ۳ محصول نان، کیک و شیرینی بوده است (۱۲،۳۵). در پژوهش دیگری که روی بررسی امکان غنی‌سازی کلوچه صنعتی با افزودن مقدار ۰/۵، ۱و ۱/۵ درصد اسپیرولینا در فرمول کلوچه انجام شد مشاهده گردید که تیمارهای حاوی ۱و۱/۵درصد اسپیرولینا پس از شاهد بیشترین امتیاز را به خود اختصاص داده‌اند (۲۶). در غنی‌سازی کلوچه‌های سنتی با جلبک اسپیرولینا پلاتنیسس به میزان ۰/۵ ، ۱و ۱/۵ بیشترین امتیاز ارزیابی حسی به نمونه‌های حاوی ۱و ۱/۵درصد اسپیرولینا تعلق گرفت (۲۹). کیک‌های تهیه شده با ۲ درصد توده زیستی اسپیرولینا از مقبولیت بالایی در بین ارزیابان که کودکان ۷ تا ۱۰ ساله بودند برخوردار شدند. دیگر مزیت این کیک‌ها ارزان قیمت بودن نسبی آنها عنوان شده‌است که این محصول را جهت استفاده در تغذیه مدارس کودکان مناسب می‌سازد (۴۰). در بررسی پاستای تازه غنی شده با توده زنده جلبک اسپیرولینا مقدار پروتئین و فاکتورهای حسی محصول نهایی را بهبود یافت و از نظر میکروبیولوژی مورد تایید قوانین موجود قرار گرفت (۴۱). نمونه‌های غنی شده با اسپیرولینا (مخصوصاً سطح ۱۰ درصد وزنی/وزنی) از نظر ویژگی‌های حسی توسط ارزیابان حسی مطلوب اعلام شدند (۴۲).

نتیجه‌گیری

موجودات دریایی حاوی برخی از ترکیبات و گاهی منحصر بفرد از قبیل ریزمغذی‌ها، اسیدهای‌چرب امگا ۳، اسیدآمینه‌های ضروری، مواد معدنی هستند و به‌عنوان غذای سلامتی شناخته شده‌اند. به همین دلیل آبزیان قابلیت و پتانسیل کاربرد در غنی‌سازی و یا تولید غذاهای فراسودمند را دارند. ریزجلبک اسپیرولینا یکی از گونه‌های گیاهی آبزی است که برای غنی‌سازی سایر موادغذایی مصرفی روزانه استفاده می‌گردد. افزودن این ریزجلبک به مواد غذایی موجب بهبود ارزش تغذیه‌ای از قبیل مواد معدنی، پروتئین، اسیدهای‌چرب، اسیدهای‌آمینه و ویتامین‌ها می‌گردد. علاوه بر ترکیبات مغذی اسپیرولینا دارای رنگدانه‌های فعال زیستی است. یکی از مزیت‌های اصلی رنگدانه‌های مشتق شده از اسپیرولینا، در مقایسه با مشابه مصنوعی خود، این است که دارای چندین خاصیت سلامتی است. بنابراین علاوه بر خواص رنگ‌دهی از جنبه سلامت نیز اهمیت دارد. غنی‌سازی مواد غذائی با افزودن ریزجلبک اسپیرولینا تاثیر منفی روی قابلیت پذیرش و خواص حسی ماده غذایی ندارد. البته میزان تاثیر این جلبک برای غنی‌سازی مواد غذایی به عوامل مختلف از جمله فرمولاسیون و مواد تشکیل‌دهنده ماده غذایی، مقدار، گونه و ترکیب شیمیایی ریزجلبک بستگی دارد که باید مورد توجه قرار گیرد.

نقش نویسندگان: همه نویسندگان در نگارش اولیه مقاله یا بازنگری آن سهیم بودند و همه با تایید نهایی مقاله حاضر، مسئولیت دقت و صحت مطالب مندرج در آن را می پذیرند.

تشکر و قدردانی: از همه اساتیدی که در غنای مطالب حاضر یاری‌رسان بودند، نهایت تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

تضاد منافع: نویسندگان تصریح می‌کنند که هیچ گونه تضاد منافعی در مطالعه حاضر وجود ندارد.

منابع

1. Wu SH, Ho CT, Nah SL, Chau CF. Global hunger: A challenge to agricultural, food, and nutritional sciences. Crit Rev Food Sci Nutr 2014; 54(2):151- 62. doi:10.1080/10408398.2011.578764
2. Mahdavi Roshan M, Ramezani M. Overview of Flour Fortification Program with Iron and Folic Acid in Iran. J Health Res Commun. 2017; 3(1): 57-68.
3. Sadighi J, Jahangiri K, Goshtasebi A, Rostami R. Effectiveness of flour fortification with iron on anemia and iron deficiency: a systematic review. J Iran Institute Health Sci Res. 2015; 269-275.
4. Food and Drug Administration of The Islamic Republic of Iran. 2013. Executive guidelines for ultra-beneficial foods and optional enrichment. PEI/Cr V1 /0044. 1-27.
5. Batista AP, Raymundo, Bandarra NM, Sousa I, Empis J, Gouveia L. Healthier food products with naturally encapsulated functional ingredients microalgae. 2010. 2nd International Conference on Food Innovation, Valencia, October 25-29.
6. Prabhasankar P, Ganesan P, Bhaskar N. Influence of Indian brown seaweed (Sargassum marginatum) as an ingredient on quality, biofunctional and microstructure characteristics of pasta. Food Sci Technology Int 2020; 15 (5): 471-479 doi:10.1177/1082013209350267
7. Belay A. The potential application of Spirulina (Arthrospira) as a nutritional and therapeutic supplement in health management. J Am Nutraceutical Assoc, 2002; 5, 27-48.
8. Choonawala B B. Spirulina production in brine effluent from cooling towers. 2007; Durban University of Technology. 421
9. Karkos P.D, Leong S.C, Karkos C.D, Sivaji N, Assimakopoulos D.A. Spirulina in clinical practice: evidence-based human applications. Evidence-based complementary and alternative medicine, 2011. doi:10.1093/ecam/nen058
10. Ciferri O, Tiboni OThe biochemistry and industrial potential of Spirulina. Ann Rev Microbiol. 1985; 39: 503-26 doi:10.1146/annurev.mi.39.100185.002443
11. Grewe CB, Pulz O. The biotechnology of cyanobacteria, In Ecology of Cyanobacteria II. In Ecology of Cyanobacteria II: Their Diversity in Space and Time, Publisher: Springer, Dordrecht Heidelberg, New York, London, Editors: B.A. Whitton, Springer Netherlands, 2012; 707-739 doi:10.1007/978-94-007-3855-3_26
12. Moradi Y, Mansoreh G, Haleh , Comparison of the effect of adding Spirulina platensis powder on sensory, physical, protein and iron properties of three different industrial products of bread, cake and layered sweets . 2023. Iranian Food Science and Technology Association doi:10.22067/ifstrj.2023.80461.1232
13. Moradi Y, Mattalebi A.A , Ghaeni M, Hadaegh H, Mosadegh M, Khosravi K, et al. Investigation on Possibility of Enrichment Some Grain Products (Bread, Cup Cake and Cookie by Using Spirulina Microalgae. Agricultural Research, Education & Extension Organization, Iranian Fisheries Science Research Institute. 2016; 1-41
14. Lafarga T. Cultured microalgae and compounds derived thereof for food applications: Strain selection and cultivation, drying, and processing strategies. Food Rev Int 2019. doi:10.1080/87559129.2019.1655572
15. Moorhead K, Capelli B, Gerald R. Spirulina natures superfood, Cyanotech Corporation; 2006.
16. Ghaeni M, Matinfar M. Chemical composition of Spirulina powder. Biology, 1389; 1: 55-61.
17. Bensehaila S, Amel Doumandj A, Boutekrab L, Husseen Manafikhi H, Peluso I, Bensehaila K E, et al. The nutritional quality of Spirulina platensis of Tamenrasset, Algeria. Afr J Biotechnol. 2015; 4(19), 1649-1654
18. Anvar A A, Nowruzi B. Bioactive properties of Spirulina, Areview. Microbial Bioactive, 2021; 4(1), 134-142. doi:10.25163/microbbioacts.412117B0719110521
19. Liestianty D, Rodianawati I, Andi Arfah R, Assa A, Sundari Muliadil P. Nutritional analysis of spirulina sp to promote as superfood candidate, 2019; 13th Joint Conference on Chemistry (13th JCC). IOP Cont. Series: Materials Science and Engineering 509 doi:10.1088/1757-899X/509/1/012031
20. Falqute J. A teching module for the production of Sprirulina, Antenna Tchnology. Geneve. 1999; 16 P
21. Pascaud M.The essential polyunsaturated fatty acids of spirulina and our immune response. Bull. Inst. Oceano. Monaco. N special. 1993; 12:49-57
22. Milena M. Ramírez-Rodrigues, Carolina Estrada-Beristain, Jorge Metri-Ojeda, Alexa Pérez-Alvaand Diana K. Baigts-Allende. Spirulina platensis Protein as Sustainable Ingredient forNutritional Food Products Development. Sustainability 2021, 13, 6849 doi:10.3390/su13126849
23. Ali H. Nutritional Value, Amino Acids of Biscuits and Cakes Fortified with Spirulina (Arthrospira platensis) Powder. J Home Economics. 2022; 32 (4): 141-158.
24. Dewia E N, Amaliaa U, Melb M. The Effect of Different Treatments to the Amino Acid Contents of Micro Algae Spirulina sp. Aquatic Procedia, 2016(7):59-65 doi:10.1016/j.aqpro.2016.07.008
25. Volkmann H, Imianovsky U', Jorge L.B, Oiiveira, Ernani S. Sant'Anna Cultnation of Sprulina Plantensis in desaliator and saltrd systematic medium: Protoein concept and amino acid profile. Brazilian J Microbiol 2008; 39:98-101doi:10.1590/S1517-83822008000100022
26. Salehifar M, Shahbazizadeh S, Khosravi-Darani Hosravi-Darani K, Behmadi H, Ferdowsi R. Possibility of using microalgae Spirulina platensis powder in industrial production of Iranian traditional cookies. Iranian Journal of Nutrition Sciences and Food Technology.2013; (7): 63-72.

27. Mostolizade S, Moradi Y, Mortazavi MS, Motalbi AA, Ghaeni M. Effects of incorporation Spirulina platensis (Gomont, 1892) powder in wheat flour on chemical, microbial and sensory properties of pasta. Iranian J Fisheries Sci (1). 410-4202020 doi: 10.22092/ijfs.2019.119107
28. Lucasa B F , Greque de Moraisb M , Santosa T D , Alberto Vieira Costa J. 2018. Spirulina for snack enrichment: Nutritional, physical and sensory evaluations. LWT - Food Sci Technol 2018; 90: 270-276. doi:10.1016/j.lwt.2017.12.032
29. Shahbazizadeh S, Kianoush Khosravi-Darani K, Sara Sohrabvandi S. Fortification of Iranian traditional cookies with spirulina platensis. Ann Res Rev Biol. 2014; 7: 144-154 doi:10.9734/ARRB/2015/13492
30. Danesi E, Navacchi M, Takeuchi K, Frata M, Carlos J, Carvalho M. Application of Spirulina platensis in protein enrichment of Manico based bakery products. J. Biotechnology. 2010; 150: 311. DC, USA doi:10.1016/j.jbiotec.2010.09.286
31. Mostolizadeh S, Moradi Y, Mortazavi MS, Motallebi A, Ghaeni M. Application effects of Spirulina powder on the fatty acid and amino acid composition of pasta Application effects of Spirulina powder on the fatty acid and amino acid composition of pasta. Iranian Sci Fisheries J. 2015;26:4 (119-130)
32. Baghestani M, Azizkhani M, Bagheri Z, Boustani A, Nikmanesh H, Safabakhsh M, et al. Application of Spirulina algae as a food supplementation in the zinc fortification of bread. Feyz Med Sci J. 2012; 16(7):726-727.
33. Ak B, Avşaroğlu E, Işık O, Özyurt G, Kafkas E, Etyemez M, et al. Nutritional and Physicochemical Characteristics of Bread Enriched with Microalgae Spirulina platensis. J Engine Res Appl 2016; 6: 30-38
34. Fradique M, Batista A, Nunes M, Gouveia L, Bandarra N, Raymundo A. Incorporation of Chlorella vulgaris and Spirulina maxima biomass in pasta products. Part 1: Preparation and evaluation. J Sci Food Agric. 2010; 90(10): 1656- 64. doi:10.1002/jsfa.3999
35. Moradi M, Motallebi AA, Mortazavi S, Ghaeni M F, Rafee pour, S. Shahrokhi, V, et al Investigation on possibility of enrichment pasta by using spirulina microalgae, Agricultural Research, Education & Extension Organization, Iranian Fisheries Science Research Institute (2016).
36. Bolarinwa IF; Oyesiji OO. Gluten free rice-soy pasta: proximate composition, textural properties and sensory attributes. Heliyon 2021, 7 doi:10.1016/j.heliyon.2021.e06052
37. Sanjari S, Sarhadi H, Shahdadi F. Investigating the Effect of Spirulina Platensis Microalgae on Textural and Sensory Properties of Baguette Bread. J Nutr Food Security 2018; 3 (4): 218-225 doi:10.18502/jnfs.v3i4.166
38. Nikouzad HT, Azizi AM. Effect of adding oat bran on rheological properties of bread and quality of Sangak bread. Iranian J food sci technol. 2011; 8 (1): 1-10
39. Hussein A, Ibrahim G, Kamil M, Marwa El-Shamarka, Mostafa S, Doha Mohamed D. Spirulina-Enriched Pasta as Functional Food Rich in Protein and Antioxidant. 2021; 6(11): 14736-14750 doi:10.33263/BRIAC116.1473614750
40. Polonio Navacchi MF, Monteiro de Carvalho JC, Pereira Takeuchi K, Godoy Danesi ED. Development of cassava cake enriched with its own bran and Spirulina platensis. Acta Scientiarum. Technology. 2012; 34 (4). doi:10.4025/actascitechnol.v34i4.10687
41. Lemes AC, Takeuchi KP, Carvalho J, Danesi E. 2012. Fresh pasta production enriched with Spirulina platensis biomass. Brazilian Arch Biol Technol. 2012; 55: 741-750. doi:10.1590/S1516-89132012000500014
42. Ozyurt G, Uslu L, Yuvka I, Gokdogan S, Atci G, Ak B, et al. Evaluation of the cooking quality characteristics of pasta enriched with Spirulina platensis. J Food Quality, 2015; 38: 268 -272. doi:10.1111/jfq.12142