بسم الله الرحمن الرحیم
الحمد لله رب العالمین الرحمن الرحیم مالک یوم الدین
ایاک نعبد و ایاک نستعین اهدنا الصراط المستقیم
صراط الذین انعمت علیهم غیر المغضوب علیهم
ولا الضالین

دانشکده کشاورزی
گروه علوم و صنایع غذایی

بررسی اثر شرایط مختلف استخراج بر میزان و خلوص فایکوسیانین استخراج شده از جلبک *Spirulina platensis*

ربابه ولی افتری

استادان راهنما
دکتر علی مرتضوی
دکترکرامت الله رضایی

استادان مشاور
دکتر علی رضا بندانی
دکترفریده طباطبایی

بهمن ۱۳۸۹

به پاس تعبیر عظیم و انسانی شان از کلمه ایثار و از خودگذشتگی،
به پاس عاطفه سرشار و گرمای امیدبخش وجودشان که در سردترین روزگاران بهترین پشتیبانم بوده‌اند،
به پاس قلب های بزرگشان که فریاد رسم می‌باشد و سرگردانی و ترس در پناهشان به شجاعت می‌گراید،
و به پاس محبت های بی دریغشان که هرگز فروکش نمی کند،

این مجموعه را به پدر و مادر عزیزم تقدیم می کنم.

ربابه ولی افتری
بهمن ۱۳۸۹

تقدیر و تشکر

سپاس بیکران پروردگار جهانیان را که لطف لایزالش انسان را زیور عقل و دانش آراست و با نعمت قلم و بیان، شرافت والا به بشر عطا نمود.

وظیفه خود می دانم که از تمام عزیزانی که در اجرا و انجام این پایان نامه اینجانب را یاری نمودند قدر دانی کنم.

از استاتید ارجمندم آقایان دکتر علی مرتضوی، دکتر کرامت الله رضایی و دکتر علی رضا بندانی و سرکار خانم دکتر فریده طباطبایی که با دقت و شکیبایی من را در تمام مراحل انجام این پایان نامه و همچنین تدوین و نگارش آن یار ی نمودند کمال تشکر را دارم و همیشه قدر شناس زحمات بی شائبه شان خواهم بود.

از سرکار خانم مهندس سعادتی و سرکار خانم مهندس سهیلی به خاطر همکاری های صمیمانه ایشان سپاسگذاری می نمایم.

از سرکار خانم صلاحی کارشناس محترم آزمایشگاه شیمی مواد غذایی گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی دانشگاه تهران و دیگر عزیزانی که در مراحل مختلف اجرای پایان نامه به نحوی اینجانب را یاری نمودند، کمال تشکر را دارم.

چکیده

در این تحقیق به بررسی و مقایسه روش‌های متفاوت استخراج بر روی میزان و خلوص رنگدانه پروتئینی فایکوسیانین و مقایسه خاصیت آنتی‌اکسیدانی عصاره‌های استخراجی با این روش‌ها پرداختیم. این روش‌ها شامل ذوب و انجماد، استخراج بر روی شیکر، استخراج به کمک مایکروویو و اولتراسوند می‌باشند. در طراحی آزمایشات از طرح آماری فاکتوریل کامل با سه تکرار استفاده شده و نتایج حاصل با استفاده از نرم افزار آماری Design Expert مورد آنالیز قرار گرفت. نتایج حاصل به منظور بررسی اثر دو فاکتورpH و زمان بر پاسخ‌های میزان رنگدانه استخراجی، فاکتور خلوص این رنگدانه و خاصیت آنتی‌اکسیدانی عصاره‌های استخراجی که به صورت EC_{50} گزارش شده، مدلی بر داده‌های حاصل از هر آنالیز برازش شد. نتایج حاصل بیانگر اثر بسیار معنی‌دار دو فاکتورpH و زمان و اثر متقابل آن‌ها بر روی هر یک از پاسخ‌ها می‌باشد. یافته‌ها نشان می‌دهد که استخراج با کمک مایکروویو در$pH=8$ در زمان ۲۵ ثانیه و به دنبال آن اعمال تنها یک سیکل ذوب و انجماد می‌تواند فایکوسیانین را به مقداری بالاتر از ۷دقیقه اعمال تیمار اولتراسوند، که ماکزیمم مقدار فایکوسیانین را در $pH=8$ استخراج می‌کند، و به مقدار برابر با استخراج ۲۴ ساعته بر روی شیکر در بافر تریس با $pH=8$، استخراج نماید. از سوی دیگر فایکوسیانین استخراجی با شرایط ذکر شده نه تنها بالاترین مقدار را دارد بلکه بالاترین نرخ خلوص را نیز به خود اختصاص می‌دهد. بررسی خاصیت آنتی اکسیدانی این عصاره‌ها نیز نشان دهنده کمترین میزانEC_{50} یا به عبارت دیگر بالاترین مقدار خاصیت آنتی‌اکسیدانی برای عصاره استخراج شده در این شرایط در مقایسه با سایر pH ها و روش‌های مورد مطالعه در این پایان‌نامه می‌باشد.

کلید واژه‌ها: فایکوسیانین، مایکروویو، اولتراسوند، DPPH، آنتی‌اکسیدان، ذوب و انجماد

فهرست مطالب

عنوان..... .....صفحه

۱- مقدمه ۲

۱-۱- جلبک اسپیرولینا ۳

۱-۱-۲- مرفولوژی جلبک اسپیرولینا ۳

۱-۱-۳- زیستگاه جلبک اسپیرولینا ۴

۱-۱-۴- خواص تغذیه‌ای جلبک اسپیرولینا ۵

۱-۱-۵- اثرات درمانی جلبک اسپیرولینا ۷

۱-۱-۶- کاربردهای جلبک اسپیرولینا در صنایع غذایی ۷

۱-۲- فایکوسیانین ۸

۱-۲-۱- فایکوبیلی پروتئین‌ها ۹

۱-۲-۲- ساختار فایکوسیانین ۱۰

۱-۲-۳- اثرات درمانی فایکوسیانین ۱۲

۱-۲-۴- کاربردهای فایکوسیانین ۱۲

۱-۲-۵- روش‌های استخراج فایکوسیانین ۱۳

۱-۳- استخراج به کمک مایکروویو ۱۴

۱-۴- استخراج به کمک اولترا سوند ۱۵

۱-۵- آزمون اندازه گیری خاصیت آنتی اکسیدانی ۱۶

۲- بررسی منابع ۱۷

۳- مواد و روش ها ۲۵

۳-۱- مواد مورد نیاز ۲۶

۳-۲-وسایل و دستگاه ها ۲۷

۳-۳- کشت جلبک ۲۷

۳-۴- خشک کردن ۲۸

۳-۵- تهیه بافر ۲۸

۳-۵-۱- تهیه بافر فسفات سدیم ۲۸

۳-۵-۲- تهیه بافرTRIS-HCL ۲۸

۳-۵-۳- تهیه بافراستات ۲۹
۳-۶- استخراج ۲۹
۳-۶-۱- استخراج به روش انجماد و ذوب ۲۹
۳-۶-۲- استخراج بر روی شیکر ۲۹
۳-۶-۳- استخراج به کمک مایکروویو ۳۰
۳-۶-۴- استخراج به کمک اولتراسوند ۳۱
۳-۷- تعیین مقدار فایکوسیانین و فاکتور خلوص ۳۲
۳-۸- اندازه گیری خاصیت آنتی اکسیدانی ۳۳
۴- نتایج و بحث ۳۵
۴-۱- استخراج ۳۶
۴-۱-۱- استخراج با استفاده از مایکروویو ۳۷
۴-۱-۱-۱- ارزیابی مدل ۴۰
۴-۱-۱-۲- نمودار قیاس ۴۳
۴-۱-۱-۳- ممیزی تناسب مدل ۴۳
۴-۱-۱-۴- نمودار احتمال نرمال ۴۴
۴-۱-۱-۵- طیف جذبی فایکوسیانین ۴۵
۴-۱-۲- استخراج به روش اولتراسوند ۴۶
۴-۱-۲-۱- ارزیابی مدل ۴۸
۴-۱-۳- استخراج به روش ذوب و انجماد ۵۱
۴-۱-۳-۱- ارزیابی مدل ۵۴
۴-۱-۴- استخراج به کمک شیکر ۵۶
۴-۱-۴-۱- ارزیابی مدل ۵۷
۴-۲- آزمون اندازه گیری خاصیت آنتی اکسیدانی ۶۴
۴-۲-۱- اندازه گیری خاصیت آنتی اکسیدانی عصاره های استخراجی به کمک مایکروویو ۶۵
۴-۲-۱-۱- ارزیابی مدل ۶۷
۴-۲-۱-۲- نمودار احتمال نرمال ۶۸
۴-۲-۱-۳- ممیزی تناسب مدل ۶۸
۴-۲-۱-۴- نمودار قیاس ۶۹
۴-۲-۲- اندازه گیری خاصیت آنتی اکسیدانی عصاره های استخراجی به کمک اولتراسوند ۷۰

۴-۲-۲-۱- ارزیابی مدل ۷۲
۴-۲-۳- اندازه گیری خاصیت آنتی اکسیدانی عصاره های استخراجی به روش ذوب و انجماد ۷۴
۴-۲-۳-۱- ارزیابی مدل ۷۵
۴-۳- فاکتور خلوص ۸۰
۴-۳-۱- فاکتور خلوص عصاره استخراجی به روش مایکروویو ۸۰
۴-۳-۱-۱- ارزیابی مدل ۸۲
۴-۳-۲- فاکتور خلوص عصاره استخراجی به روش ذوب و انجماد ۸۴
۴-۳-۲-۱- ارزیابی مدل ۸۵
۵- بحث و نتیجه گیری ۸۹
پیشنهادات ۹۳
۶- منابع ۹۴

فهرست نمودارها و تصویرها

شکل۱-۱- مرفولوژی جلبک اسپیرولینا پلاتنسیس ۴
شکل ۱-۲- فایکوسیانین ۸
شکل ۱-۳- ساختار فایکوبیلیزوم ۱۰
شکل ۱-۴- ساختار فایکوسیانوبیلین ۱۰
شکل۱-۵- مدل ساختاری فایکوسیانین ۱۱
شکل ۳-۱- تصویر مایکروویو به کار رفته در این تحقیق ۳۰
شکل ۳-۲- تصویر حمام اولتراسوند به کار رفته در این تحقیق ۳۱
شکل ۳-۳- تصویر نمونه‌ای از آزمون DPPH ۳۴
نمودار ۴-۱- اثر pH بر مقدار فایکوسیانین تولیدی در استخراج به کمک مایکروویو ۳۷
نمودار ۴-۲- اثر زمان بر مقدار فایکوسیانین تولیدی در استخراج به کمک مایکروویو ۳۸
نمودار ۴-۳- مقایسه مقادیر فایکوسیانین استخراجی به کمک مایکروویو تحت دو فاکتور pH و زمان ۳۹
نمودار۴-۴- اثر متقابل pH و زمان در استخراج فایکوسیانین به کمک مایکروویو ۴۰
نمودار۴-۵- مقایسه مقادیر واقعی فایکوسیانین با مقادیر پیش بینی شده مدل برازش شده بر داده های حاصل از استخراج به کمک مایکروویو ۴۳
نمودار۴-۶- مقایسه مقادیر باقیمانده‌ها در مقابل مقادیر پیش بینی شده مدل برازش شده بر داده‌های حاصل از استخراج به کمک مایکروویو ۴۴
نمودار ۴-۷- پراکندگی نرمال مانده های Studentized ۴۵
نمودار ۴-۸- طیف جذبی رنگدانه فایکوسیانین استخراجی به توسط مایکروویو ۴۶
نمودار ۴-۹- مقایسه مقادیر فایکوسیانین استخراجی در سه pH ۸،۷،۵ به کمک اولتراسوند ۴۷
نمودار ۴-۱۰- مقایسه مقادیر فایکوسیانین استخراجی با روش اولتراسوند تحت دو فاکتور زمان و pH ۴۸
نمودار ۴-۱۱- پراکندگی نرمال مانده‌های Studentized ۴۹
نمودار ۴-۱۲- مقایسه مقادیر واقعی فایکوسیانین با مقادیر پیش بینی شده مدل برازش شده بر داده های حاصل از استخراج به کمک اولتراسوند ۵۰
نمودار ۴-۱۳- مقایسه مقادیر باقیمانده‌ها در مقابل مقادیر پیش بینی شده مدل ۵۱
نمودار ۴-۱۴- مقایسه مقادیر فایکوسیانین استخراجی در سه pH ۵،۷،۸ به روش ذوب و انجماد ۵۱
نمودار ۴-۱۵- اثر زمان بر مقدار فایکوسیانین تولیدی به روش ذوب و انجماد ۵۲
نمودار ۴-۱۶- مقایسه مقادیر فایکوسیانین استخراجی به روش ذوب وانجماد تحت دو فاکتور زمان و pH ۵۳
نمودار ۴-۱۷- اثر متقابل pH و زمان در استخراج فایکوسیانین به روش ذوب و انجماد ۵۳
نمودار ۴-۱۸- مقایسه مقادیر باقیمانده‌ها در مقابل مقادیر پیش بینی شده مدل ۵۵
نمودار ۴-۱۹- مقایسه مقادیر واقعی فایکوسیانین با مقادیر پیش بینی شده مدل ۵۵
نمودار ۴-۲۰- پراکندگی نرمال مانده‌های Studentized ۵۵
نمودار ۴-۲۱- مقایسه مقادیر فایکوسیانین استخراجی در سه pH ۵،۷،۸ به روش شیکر ۵۶
نمودار ۴-۲۲- مقایسه مقادیر فایکوسیانین استخراجی تحت دو فاکتور زمان و pH ۵۷

نمودار ۴-۲۳- مقایسه مقادیر واقعی فایکوسیانین با مقادیر پیش بینی شده مدل ۵۹
نمودار ۴-۲۴- مقایسه مقادیر باقیمانده‌ها در مقابل مقادیر پیش بینی شده مدل ۵۹
نمودار۴-۲۵- پراکندگی نرمال مانده‌های Studentized ۵۹
نمودار ۴-۲۶- مقایسه مقادیرEC_{50} عصاره های استخراجی با کمک مایکروویو تحت دو فاکتور pH و زمان.....۶۶
نمودار ۴-۲۷- مقایسه مقادیرEC_{50} عصاره های استخراجی به روش مایکروویو تحت دو فاکتور زمان و pH.....۶۶
نمودار ۴-۲۸- پراکندگی نرمال مانده‌های Studentized.....۶۸
نمودار ۴-۲۹- مقایسه مقادیر باقیمانده‌ها در مقابل مقادیر پیش بینی شده مدل.....۶۹
نمودار ۴-۳۰- مقایسه مقادیر واقعی EC_{50} با مقابل مقادیر پیش بینی شده مدل.....۶۹
نمودار ۴-۳۱- مقایسه مقادیرEC_{50} عصاره استخراجی به کمک اولتراسوند تحت دو فاکتور pH و زمان ۷۱
نمودار ۴-۳۲- مقایسه مقادیر EC_{50} عصاره استخراجی به روش اولتراسوند تحت دو فاکتور زمان و pH..... ۷۱
نمودار ۴-۳۳- پراکندگی نرمال مانده های Studentized..... ۷۳
نمودار ۴-۳۴- مقایسه مقادیر باقیمانده‌ها در مقابل مقادیر پیش بینی شده مدل ۷۳
نمودار۴-۳۵- مقایسه مقادیر واقعی EC_{50} با مقادیر پیش بینی شده مدل..... ۷۳
نمودار ۴-۳۶- مقایسه مقادیر EC_{50} عصاره های استخراجی به روش ذوب وانجماد تحت دو فاکتور pH و زمان...۷۴
نمودار ۴-۳۷- مقایسه مقادیر EC_{50} عصاره های استخراجی به روش ذوب و انجماد تحت دو فاکتور زمان و pH.. ۷۵
نمودار ۴-۳۸- پراکندگی نرمال مانده های Studentized.....۷۶
نمودار ۴-۳۹- مقایسه مقادیر باقیمانده‌ها در مقابل مقادیر پیش بینی شده مدل ۷۷
نمودار ۴-۴۰- مقایسه مقادیر واقعی فایکوسیانین با مقادیر پیش بینی شده مدل ۷۷
نمودار ۴-۴۱- مقایسه مقادیر نرخ خلوص فایکوسیانین استخراجی تحت دو فاکتورpH و زمان در روش مایکروویو۸۱
نمودار ۴-۴۲- اثر متقابل دو فاکتورزمان و pH بر روی نرخ خلوص فایکوسیانین استخراج شده به روش مایکروویو ۸۱
نمودار ۴-۴۳- پراکندگی نرمال مانده هایStudentized ۸۳
نمودار ۴-۴۴- مقایسه مقادیر باقیمانده‌ها در مقابل مقادیر پیش بینی شده مدل ۸۳
نمودار۴-۴۵- مقایسه مقادیر واقعی نرخ خلوص با مقادیر پیش بینی شده مدل..... ۸۳
نمودار۴-۴۶- مقایسه مقادیر نرخ خلوص فایکوسیانین استخراجی تحت دو فاکتور pH و زمان به روش ذوب وانجماد.....۸۴
نمودار ۴-۴۷- اثر متقابل دو فاکتور زمان و pH بر روی نرخ خلوص فایکوسیانین استخراج شده به روش ذوب و انجماد.....۸۵
نمودار ۴-۴۸- پراکندگی نرمال مانده های Studentized.....۸۶
نمودار ۴-۴۹- مقایسه مقادیر باقیمانده‌ها در مقابل مقادیر پیش بینی شده مدل ۸۷
نمودار ۴-۵۰- مقایسه مقادیر واقعی فایکوسیانین با مقادیر پیش بینی شده مدل ۸۷

فهرست جداول

جدول ۱-۱- درصد ترکیبات مواد موجود در جلبک اسپیرولینا پلاتنسیس..... ۶
جدول ۳-۱- لیست مواد مصرفی در این تحقیق..... ۲۶
جدول۳-۲- لیست دستگاه‌های مورد استفاده در این تحقیق..... ۲۷
جدول۳-۳- طرح آزمون به کار رفته در استخراج به کمک مایکروویو..... ۳۰
جدول۳-۴- طرح آزمون به کار رفته در استخراج به کمک اولتراسوند..... ۳۱
جدول۴-۱- آنالیز واریانس مدل خطی فایکوسیانین استخراجی به کمک مایکروویو ($p<۰/۰۵$)..... ۴۲
جدول۴-۲- آنالیز واریانس مدل خطی فایکوسیانین استخراجی با کمک اولتراسوند ($p<۰/۰۵$)..... ۴۹
جدول ۴-۳- آنالیز واریانس مدل خطی فایکوسیانین استخراجی به روش ذوب و انجماد ($p<۰/۰۵$)..... ۵۴
جدول۴-۴- آنالیز واریانس مدل خطی فایکوسیانین استخراجی به روش شیکر ($p<۰/۰۵$)..... ۵۸
جدول۴-۵- مقایسه مقدار فایکوسیانین استخراجی با روش‌های ذوب و انجماد و شیکر در pH=۵..... ۶۰
جدول۴-۶- مقایسه مقدار فایکوسیانین استخراجی با روش‌های ذوب ذوب و انجماد و شیکر در pH=۷..... ۶۱
جدول۴-۷- مقایسه مقدار فایکوسیانین استخراجی با روش‌های ذوب و انجماد و شیکر در pH=۸..... ۶۱
جدول۴-۸- مقایسه مقادیر ماکزیمم فایکوسیانین استخراجی با روش های مختلف در pH=۵..... ۶۲
جدول۴-۹- مقایسه مقادیر ماکزیمم ر فایکوسیانین استخراجی با روش های مختلف در pH=۷..... ۶۳
جدول۴-۱۰- مقایسه مقادیر ماکزیمم فایکوسیانین استخراجی با روش های مختلف در pH=۸..... ۶۴
جدول۴-۱۱- آنالیز واریانس مدل خطی EC_{50} عصاره‌های استخراجی با کمک مایکرویو ($p<۰/۰۵$)..... ۶۷
جدول۴-۱۲- آنالیز واریانس مدل خطی EC_{50} عصاره‌های استخراجی به روش اولتراسوند ($p<۰/۰۵$)..... ۷۲
جدول۴-۱۳- آنالیز واریانس مدل خطی EC_{50} عصاره‌های استخراجی به روش ذوب و انجماد ($p<۰/۰۵$)..... ۷۶
جدول۴-۱۴- مقایسه مقادیر مینیمم EC_{50} عصاره های استخراجی در pH=۵..... ۷۸
جدول ۴-۱۵- مقایسه مقادیر مینیمم EC_{50} عصاره های استخراجی در pH=۷..... ۷۸
جدول۴-۱۶- مقایسه مقادیر مینیمم EC_{50} عصاره های استخراجی در pH=۸..... ۷۹
جدول۴-۱۷- آنالیز واریانس مدل خطی فاکتور خلوص فایکوسیانین استخراج شده به روش مایکروویو ($p<۰/۰۵$)..... ۸۲
جدول۴-۱۸- آنالیز واریانس مدل خطی فاکتور خلوص فایکوسیانین استخراج شده به روش ذوب و انجماد ($p<۰/۰۵$)..... ۸۶
جدول۴-۱۹- مقایسه مقادیر ماکزیمم نرخ خلوص عصاره های استخراجی ($p<۰/۰۵$)..... ۸۸

فصل اوّل

مقدمه

فصل اول: مقدمه

میکروجلبک‌ها برای اولین بار توسط چینی‌ها در ۲۰۰۰ سال پیش مورد استفاده قرار گرفته‌اند. اما این در حالی است که مطالعه‌ی گسترده بر روی این جلبک‌ها از اواسط قرن گذشته آغاز گشته است. امروزه این جلبک‌ها موارد استفاده تجاری متنوعی دارند، که از آن جمله می‌توان به غنی سازی مواد غذایی انسان و حیوانات، استفاده در صنایع آرایشی و بهداشتی، تصویه فاضلاب‌های صنعتی وغیره اشاره کرد. تولید جهانی بیوماس این جلبک به منظور مصرف در بازارهای بین المللی در حدود ۵۰۰۰ تن وزن خشک در سال می‌باشد، که تولید سرمایه‌ای در حدود ۱۲۵۰ میلیون دلار را در سال سبب می‌شود (این ارقام شامل محصولات فرآوری شده نمی‌باشد) (پولز و همکاران، ۲۰۰۴).

در میان میکروجلبک‌ها می‌توان به جلبک‌های سبز-آبی اشاره نمود که در این میان جلبک‌ها تنها سه گونه به نام‌های نوستوگ[1]، اسپیرولینا[2]، آفانیزومنون[3] هزاران سال است که به عنوان غذای انسان مورد استفاده قرار می‌گیرند (جنسن و همکاران، ۲۰۰۱).

[1] Nostoc
[2] Spirulina
[3] Aphanizomenon

۱-۱ - جلبک اسپیرولینا

در این میان، اسپیرولینا به دلیل خواص منحصر به فردی که دارد بسیار مورد توجه جوامع مختلف می‌باشد. در قرن شانزدهم، وقتی اسپانیایی‌ها مکزیک را اشغال نمودند، قبیله آزتک‌ها[۴] را در حالی که در روستایی ساکن بودند، یافتند. مردمان این قبیله جلبک‌هایی را که تکیوتال[۵] می‌نامیدند از لاگن‌ها جداسازی می کردند و کیکی سبز-آبی از آن می‌ساختند (بلای و جرشوین، ۲۰۰۷).

تولید سالانه این جلبک ۳۰۰۰ تن در سال است (پولز و همکاران، ۲۰۰۴).

۱-۱-۲- مرفولوژی جلبک اسپیرولینا

اسپیرولینا از جمله میکروجلبک‌های چند سلولی و رشته‌ای سبز-آبی است. شکل مارپیچی و رشته‌ای، ویژگی ژنتیکی این جلبک به شمار می‌رود که تنها در محیط مایع بروز می‌کند. طول آن‌ها ۵۰۰-۵۰ میکرومتر و عرض آن‌ها ۴-۳ میکرومتر می‌باشد (شکل۱-۱). سیانوباکتری‌ها دیواره سلولی مشابه باکتری‌های گرم منفی دارند که شامل پپتیدوگلایکان می‌باشد، که یک هتروپلی ساکارید حساس به تجزیه لیزوزومی است و عامل شکل خاص این موجود و حفاظت از آن در برابر فشار اسمزی محسوب می‌شود. اصلی‌ترین پیگمان فتوسنتز کننده این جلبک فایکوسیانین می‌باشد که به آن رنگ آبی ویژه‌ای می دهد. اسپیرولینا اوتوتروف و فتوسنتز کننده بوده و از طریق تقسیم دوتایی تکثیر می-یابد (ونشاک، ۲۰۰۲).

[4] Aztec
[5] Tecuitlatl

شکل۱-۱: مرفولوژی جلبک *Spirulina platensis*

۱-۱-۳- زیستگاه جلبک اسپیرولینا

زیست موفق جلبک اسپیرولینا در آب‌های قلیایی است که رشد و بقای سایر میکروارگانیزم‌ها در آن غیر ممکن می‌باشد. اسپیرولینا در خاک، آب، باتلاق‌ها، آب تازه، آب شور، آب دریا و چشمه‌های آب گرم یافت می‌شود. آب‌های قلیایی و شور مزه با pH بالا شرایط مطلوبی برای پرورش اسپیرولینا هستند به خصوص در مناطق با تابش نور بالا. بهترین شرایط رشد این جلبک در غلظت نمک ۷۰-۲۰ گرم نمک در لیتر رخ می‌دهد. اسپیرولینا مانند اکثر سیانوباکتری‌ها یک اوتوتروف اجباری بوده و قادر نیستند در نبود نور، در محیط حاوی ترکیبات ارگانیک رشد نمایند. این جلبک‌ها دی‌اکسیدکربن را در حضور نور کاهش می‌دهند و نیترات را جذب می‌نمایند. اصلی‌ترین محصول حاصل از فتوسنتز این جلبک گلیکوژن می باشد. درجه حرارت بهینه برای رشد جلبک اسپیرولینا ۳۷-۳۵ درجه سیلسیوس می‌باشد. کمترین دمایی که این جلبک‌ها قادرند در آن رشد نمایند، ۱۵ درجه سیلسیوس است (بلای و جرشوین، ۲۰۰۷).

۱-۱-۴- خواص تغذیه‌ای جلبک اسپیرولینا

اسپیرولینا به دلیل خواص منحصر به فردی مانند محتوای پروتئینی بالا (بیش از ۶۰٪)، قابلیت هضم و جذب بالا نسبت به پروتئین در سایر مواد غذایی و دارا بودن تقریبا کلیه اسیدهای آمینه ضروری منبعی مطلوب برای تامین غذای مردم گرسنه دنیا به خصوص در مناطقی است که ساکنان آن از فقر پروتئینی شدید رنج می‌برند و نیاز سریع به مقادیر بالای پروتئین در رژیم غذایی خود دارند محسوب می‌شود. بعلاوه اسپیرولینا به دلیل دارا بودن طیف وسیعی از ترکیبات ریز مغذی مختلف شامل بیش از ۸ ویتامین مهم، ۱۴ نوع مواد معدنی که به اسیدهای آمینه متصل می‌باشد، ترکیبات ارزشمندی مانند فایکوسیانین و بسیاری رنگدانه‌های دیگر، اسیدهای چرب با ارزشی مانند گامالینولئیک اسید، گلیکولیپیدها و سولفولیپیدها به عنوان منبع مهمی برای غلبه بر سوء تغذیه رایج در دنیا به شمار می‌رود. در جدول زیر نمونه‌ای از درصد ترکیبات این جلبک قید شده است (جدول ۱-۱) (بلای و جرشوین، ۲۰۰۷).

جدول۱-۱: درصد ترکیبات مواد موجود در جلبک اسپیرولینا پلاتنسیس (بلای و جرشوین، ۲۰۰۷)

Composition[a]	per 100 g	Composition[a]	per 100 g
1. *Macronutrients*		2. *Vitamins*	
Calories	373	Vitamin A (as 100% β-carotene)[b]	352,000 IU
Total fat	4.3 g	Vitamin K	1090 mcg
Saturated fat	1.95 g	Thiamine HCl (Vitamin B1)	0.5 mg
Polyunsaturated fat	1.93 g	Riboflavin (Vitamin B2)	4.53 mg
Monounsaturated fat	0.26 g	Niacin (Vitamin B3)	14.9 mg
Cholesterol	<0.1 mg	Vitamin B6 (Pyridox. HCl)	0.96 mg
Total carbohydrate	17.8 g	Vitamin B12	162 mcg
Dietary fiber	7.7 g	3. *Minerals*	
Sugars	1.3 g	Calcium	468 mg
Lactose	<0.1 g	Iron	87.4 mg
Protein[b]	63 g	Phosphorus	961 mg
Essential amino acids (mg)		Iodine	142 mcg
Histidine	1000	Magnesium	319 mg
Isoleucine	3500	Zinc	1.45 mg
Leucine	5380	Selenium	25.5 mcg
Lysine	2960	Copper	0.47 mg
Methionine	1170	Manganese	3.26 mg
Phenylalanine	2750	Chromium	<400 mcg
Threonine	2860	Potassium	1,660 mg
Tryptophan	1090	Sodium	641 mg
Valine	3940	4. *Phytonutrients*	
Nonessential amino acids (mg)		Phycocyanin (mean)[b]	17.2%
Alanine	4590	Chlorophyll (mean)[b]	1.2%
Arginine	4310	Superoxide dismutase (SOD)	531,000 IU
Aspartic acid	5990	Gamma linolenic acid (GLA)	1080 mg
Cystine	590	Total carotenoids (mean)[b]	504 mg
Glutamic acid	9130	β-carotene (mean)[b]	211 mg
Glycine	3130	Zeaxanthin	101 mg
Proline	2380		
Serine	2760		
Tyrosine	2500		

۱-۱-۵- اثرات درمانی جلبک اسپیرولینا

جلبک اسپیرولینا اثرات درمانی متفاوتی مانند کاهش کلسترول خون، جلوگیری از افزایش فشار خون، جلوگیری از افزایش گلوکز خون، ممانعت از پوسیدگی دندان‌ها، افزایش رشد لاکتوباسیلوس ها در روده، خواص ضد باکتریایی، ضد ویروسی، ضد التهابی، ضد پارکینسون وغیره را دارا می‌باشد، که بسیاری از این خواص مربوط به خاصیت آنتی‌اکسیدانی قوی این جلبک به ویژه حضور رنگدانه آبی به نام فایکوسیانین در آن می‌باشد. عصاره جلبک اسپیرولینا از طریق حذف رادیکال‌های آزاد و اکسیژن-های فعال به طور غیر مستقیم از بروز سرطان در بدن جلوگیری می‌کند (بلای، ۲۰۰۲). از سوی دیگر این جلبک توان جذب بسیاری از ریز مغذی‌ها را از محیط کشت دارا می‌باشد. از آن جمله آهن، سلنیوم، زینک و بسیاری ترکیبات دیگر، از این رو این جلبک را می‌توان با تغییر فاکتورهای محیط کشت از نظر ترکیب مورد نظر غنی ساخت و در رژیم غذایی مردم مناطقی که از نظر آن ترکیب فقیر هستند، به کار برد (یاماگوچی، ۱۹۹۷؛ لیانگ و همکاران، ۲۰۰۴؛ ویچز و همکاران، ۱۹۹۷).

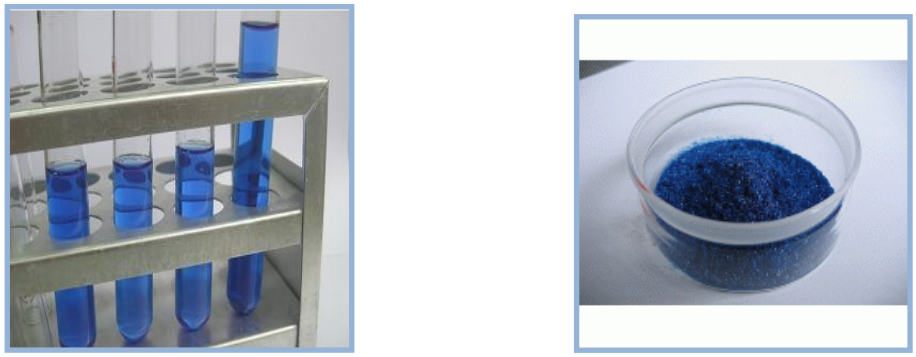
۱-۱-۶- کاربردهای جلبک اسپیرولینا در صنایع غذایی

پودر اسپیرولینا برای تولید انواع مختلف مواد غذایی مانند سوپ‌ها، سس‌ها، پاستا، اسنک‌ها، نوشیدنی‌های فوری، شکلات‌ها و آبنبات‌ها، آدامس‌ها، ویفر، بیسکوئیت، نان، کیک، آرد غنی شده با پروتئین جلبک و محصولات تخمیری مانند دوغ، پنیر، ماست، توفو و همچنین به شکل قرص و کپسول کاربرد دارد. علاوه بر آن امروزه پودر بی رنگ، بی بو و طعم اسپیرولینا برای مصرف در مواد مختلف تولید می‌شود. ناسا به دلیل رشد سریع، اشغال فضای کم، ارزش غذایی کامل و توان رشد در فاضلاب و تصفیه آن و تولید اکسیژن، از این جلبک به عنوان منبعی برای تامین غذای فضانوردان یاد می‌کند. در گزارش سالانه WHO در سال ۲۰۰۸، از اسپیرولینا به عنوان بهترین منبع غذایی برای تامین ترکیبات مغذی مورد نیاز انسان‌ها نام برده شده است (یاماگوچی، ۱۹۹۷؛ لیانگ و همکاران، ۲۰۰۴؛ تیتز، ۱۹۹۹).

۱-۲- فایکوسیانین

همان طور که قبلا گفته شد، بسیاری از خواص درمانی اسپیرولینا را به وجود ترکیبات آنتی اکسیدانی مختلف همچون کاروتنوئیدها، زئاگزانتین[۶]، سوپراکسید دیسموتاز[۷]، پلی‌ساکاریدهایی مانند کلسیم اسپیرولان[۸]، گامالینولئیک اسید و فایکوسیانین[۹] نسبت می‌دهند. این جلبک منبع بسیار مهمی از فایکوسیانین است، بطوری که پروتیین استخراج شده از آن حاوی ۲۰٪ از این ترکیب می‌باشد (ونشاک، ۲۰۰۲).

در این میان رنگدانه آبی رنگ فایکوسیانین به دلایل اثرات درمانی آن بر بدن بسیار مورد توجه قرار گرفته است. فایکوسیانین رنگدانه جاذب نور در سیانوباکتری‌ها و دو گونه دیگر به نام‌های ردوفیت‌ها[۱۰] و کریپتوفیت‌ها[۱۱] می‌باشد که دارای خواص فلورسنس و آنتی اکسیدانی قابل توجهی می-باشد.



(ب) (الف)

شکل۱-۲: (الف) پودر فایکوسیانین (ب) محلول فایکوسیانین.

[6] Zeaxantin
[7] Superoxide dismutase
[8] Calcium spirulan
[9] Phycocyanin
[10] Rhodophyte
[11] Cryptophyte

۱-۲-۱- فایکوبیلی پروتئین‌ها

فایکوسیانین از گروه پروتئین‌های جذب‌کننده نور به نام فایکوبیلی پروتئین‌ها[۱۲] است. کلیه فایکوبیلی پروتئین‌ها شامل پروتئین‌های میان تهی شامل آپوپروتئین‌هایی[۱۳] هستند که توسط پیوند-های کووالانسی به گروه کروموفوری با ساختار تتراپیرولی باز به نام فایکوبیلین‌ها[۱۴] متصل شده‌اند (گلازر، ۱۹۹۴؛ مککل، ۱۹۹۸؛ سان و همکاران، ۲۰۰۳). به طور کلی اسپیرولینا شامل ۳ نوع فایکوبیلی پروتئین به نام‌های فایکواریترین[۱۵]، فایکوسیانین[۱۶]، آلوفایکوسیانین[۱۷] می‌باشد که این ۳ به ترتیب توسط پپتیدهای اتصال دهنده به هم متصل شده‌اند و ساختارهایی را به نام فایکوبیلیزوم‌ها[۱۸] (شکل۱-۳) که بر روی غشای تیلاکوئیدی[۱۹] قرار دارند را پدید آورده‌اند. این ساختارها در سیانوباکتری‌ها وظیفه جذب نور را در محدوده‌ای که توان جذب نور کلروفیل محدود است بر عهده دارند. همان طور که در شکل مشخص است انرژی جذب شده همانند حرکت مواد در قیف از فایکواریترین به فایکوسیانین که بخش‌های استوانه مانند این ساختار را پدید آورده‌اند منتقل شده و سپس به آلوفایکوسیانین که در بخش هسته مرکزی فایکوبیلیزوم و متصل به غشای تیلاکوئید دیواره قرار دارد انتقال می‌یابد و از آنجا به سیستم فتوسنتز ۲ منتقل می‌شود (استک و همکاران، ۱۹۹۹؛ پادایانا و همکاران، ۲۰۰۱؛ پادایانا و راماکومار، ۲۰۰۶).

طول موج‌های جذب ماکسیمم این سه رنگدانه از قرار زیرند فایکواریترین ۵۴۰ نانومتر، فایکوسیانین ۶۲۰ نانومتر و آلوفایکوسیانین ۶۵۰ نانومتر. کلروفیل کمترین ضریب خاموشی[۲۰] را در

---

[12] Phycobiliprotein
[13] Apo-protein
[14] Phycobilin
[15] Phycoerytrin
[16] Phycocyanin
[17] Allophycocyanin
[18] Phycobilisome
[19] Tylakoid membrane
[20] Extinction Coefficient