مجله علوم و صنایع غذایی ایران

سایت مجله: www.fsct.modares.ac.ir

مقاله علمی_پژوهشی

ارزیابی نوع و ترکیب مواد پوشش دهنده در پایداری رنگ دانه فیکوسیانین به روش خشک کن پاششی

رضا کاراژیان [۱*]، مریم عامری [۱]، نجمه گرد نوشهری [۱]، پری رخ لوائی، احمد احتیاطی [۲]، فرزاد صادقی [۳]، سید حسین رضوی زادگان [٤]

۱- استادیار، گروه بیوتکنولوژی صنعتی میکروارگانیسم ها، پژوهشکده بیوتکنولوژی صنعتی، جهاد دانشگاهی خراسان رضوی، مشهد، ایران.

۲- عضو گروه پژوهشی کیفیت و ایمنی مواد غذایی، پژوهشکده علوم و فناوری مواد غذایی، جهاد دانشگاهی خراسان رضوی، مشهد، ایران.

۳- بخش تحقیق و توسعه، شرکت تولیدی عالیس، مشهد، ایران.

٤- گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.

اطلاعات مقاله

تاریخ های مقاله :

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰ /۱۱/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱٤۰۱/۰۲/۳۱

کلمات کلیدی:

فیکوسیانین،

پوشش دهی،

پایداری.

DOI: 10.22034/FSCT.19.126.153

DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.126.21.2

* مسئول مکاتبات:

Reza_karazhyan2002@yahoo.com

چکیده

فیکوسیانین رنگ‌دانه استخراج شده از جلبک اسپیرولینا پلاتنسیس است و در صنایع مختلفی از جمله صنایع غذایی می تواند جایگزین مناسبی برای رنگ های سنتزی باشد. هدف از این تحقیق ارزیابی نوع و ترکیب مواد پوشش دهنده در پایداری رنگ دانه فیکوسیانین به روش خشک کن پاششی می باشد. محلول رنگ دانه فیکوسیانین توسط اسید تانیک کوپیگمنت شد و با مالتودکسترین و صمغ عربی در نسبت های (۱۰۰:۰، ۷۵:۲۵، ۵۰:۵۰، ۲۵:۷۵ و ۰:۱۰۰) صمغ عربی: مالتودکسترین و نسبت هسته به دیواره ۱:۱۰پوشش دهی شدند. جهت خشک کردن از خشک کن پاششی استفاده شد. پایداری محلول رنگ دانه پوشش دار شده خشک شده به مدت ۱٤ روز انجام شد. نتایج نشان داد که پوشش دهی رنگ‌دانه در پایداری آن تاثیر معنی داری دارد به طوری که آنالیز واریانس مقایسه میانگین تیمار حاوی ۱۰۰ درصد و ۷۵ درصد مالتودکسترین در پوشش دارای کمترین میزان افت جذب رنگ¬دانه با مقادیر ۱۲/۳ و ۱٤/۵ درصد به ترتیب بودند.بررسی تصاویر میکروسکوپ الکترونی نشان داد که ریزکپسول های حاوی مقادیر بالاتر مالتودکسترین، کروی تر با سطح صاف تر و دارای چین و چروک کمتری نسبت به ریزکپسول های تهیه شده با صمغ عربی بودند. همچنین نتایج بررسی اندازه ذرات نشان داد که نمونه های پودر حاوی مالتودکسترین در مقایسه با نمونه های دارای صمغ عربی از اندازه درشتتری برخوردار بودند و اندازه آنها به ترتیب ۵۰/۵ و ٤۱/۳ نانومتر می باشند.

۱- مقدمه

در سالیان اخیر استفاده از رنگدانه‌های طبیعی برای کاربرد در مواد غذایی و دارویی به دلیل ایمنی و خصوصیات سلامتی‌زایی آن‌ها در مقایسه با رنگ‌های مصنوعی روبه افزایش است. امروزه رنگ‌های سنتزی به طور گسترده در صنایع غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرند که در محصولات غذایی متنوع از جمله نوشیدنی‌ها ایجاد رنگ می‌کنند. رنگ‌های سنتزی عموماً به دما، نور و pH مقاوم می باشند [۱]. استفاده از رنگ‌های طبیعیه دلیل تاثیر منفی رنگ‌های سنتزی بر سلامت افراد و بخصوص کودکان مورد توجه تولید کنندگان و مصرف کنندگان محصولات غذایی است. به همین دلیل تقاضا برای تولید رنگ‌های غذایی با منشأ طبیعی رو به افزایش است[۲].

رنگدانه فیکوسیانین از جلبک اسپیرولینا استحصال می گردد و رنگ آبی تولید می‌کند[۳ و٤]. فیکوسیانین مورد استفاده در صنعت غذا (دارای خلوص غذایی) رنگ درخشان و یک پروتئین محلول در آب است. فیکوسیانین ترکیب پیچیده‌ای از مونومرهای بهم پیوسته α و β، تریمرها[1]، هگزامرها[2] و دکامرها[3] می‌باشد که پایداری این رنگدانه تا حد زیادی به pH، قدرت یونی و غلظت مواد تجمعی از قبیل بعضی از مواد خارجی مثل یونهای فلزی و منشا پروتئین جلبکی دارد [۱]. رنگ فیکوسیانین-C phycocyanin یک پروتئین است که امروزه به عنوان یک رنگ طبیعی در مواد غذایی و دارویی مورد استفاده قرار می‌گیرد و دارای خواص سلامتی زایی، تغذیه‌ای و همچنین دارای خصوصیات آنتی اکسیدانی استو مورد تاثیر FDA[4] و EFSA[5] می باشد [۲]. با توجه به رنگ آبی و خواص آنتی اکسیدانی فیکوسیانین، می‌توان از آن به‌عنوان رنگ‌دانه آنتی اکسیدان طبیعی در انواع مواد غذایی با هدف خاص درمانی و نیز تنوع در محصولات استفاده کرد [۵]. به دلیل عدم پایداری این رنگدانه کاربرد تجاری آن محدود استچون در حین فرآوری مواد غذایی تخریب رنگدانه و کاهش میزان رنگ و همچنین کاهش فعالیت آنتی اکسیدانی روی می‌دهد و رنگ آن به آبی کمرنگ تغییر می‌یابد و این یکی از مهمترین معایب این رنگدانه می باشد [۲ و۳].

روش‌های متعددی برای جلوگیری از تخریب حرارتی فیکوسیانین استفاده شده است از آن جمله می توان به افزودن اسید سیتریک یا گلوکز، اسید سوربیک، سدیم آزاید، تنظیمpH، افزودن ساکارز و نیز اضافه کردن کلرید سدیم اشاره کرد[٤]. Martelli و همکاران (۲۰۱٤) گزارش کردند که غلظت‌های بالای شکر می‌تواند باعث افزایش مقاومت حرارتی فیکوبیلی پروتئین‌ها شود و پایداری آنها بستگی به غلظت شکر دارد. این مواد نمی‌توانند سطح فیکوسیانین را پوشش دهند و ساختمان شیمیایی آن را از تغییرات ساختمانی محافظت کنند[٦]. همچنین ایجاد پیوندهای عرضی[6] بین مولکول پروتئین و نانو ذرات نقره، متیل گلی اکسال و فرمالدئید باعث افزایش پایداری فیکواریترین می شود و از تجمع[7] پروتئین اجتناب می‌کندیکی از روشهای افزایش و تشدید پایداری رنگدانه‌ها به خصوص رنگدانه‌های شبیه آنتوسیانین ها در برابر فرایند های حرارتی[8] و فرایندهای فشار بالا[9] و کوپیگمنتاسیون می باشد[۷].

ترکیبات پلی فنلی، فلاونوئیدها، اسیدهای آمینه، اسیدهای آلی از جمله ترکیبات کوپیگمنت کننده هستند. Farhadi و همکاران (۲۰۱۸) گزارش دادند که کوپیگمنتاسیون[10]ترکیبات آنتوسیانین یک روش موثر برای تثبیت این ترکیبات است که بین ترکیبات پلی فنلی یا فلاونوئیدها و آنتوسیانین موجود از طریق نیروهای هیدروفوبیا پیوندهای هیدروژنی اتصال برقرار می‌کنند. پدیده کوپیگمنتاسیون باعث اثر هایپرکرومیک[11] (افزایش جذب) رنگ‌دانه و همچنین باعث پدیده باتوکرومیک[12] یا شیفت طول موج ماکزیمم جذب به طول موج های دیگر خواهد شد[۸].

همچنین Heras-Roger و همکاران (۲۰۱٦) گزارش کردند که افزودن ترکیبات کوپیگمنت کننده باعث افزایش و پایداری بیشتر رنگ آنتوسیانین خواهد شد به طوری که از تشکیل ترکیبات بدون رنگ جلوگیری کرده و باعث تشدید ترکیبات رنگی خواهد

1. trimers
2. hexamers
3. decamers
4. Food and Drug Administration
5. European Food Safety Authority

6. Cross linking
7. aggregation
8. thermal processing
9. high pressure processing
10. Copigmentation
11. hyperchromic
12. bathochromic

شد. به عنوان مثال رنگ آنتوسیانین می تواند با افزودن ترکیبات کوپیگمنت کننده افزایش پیدا کند. مثلاً در زعفران رنگ آن می تواند با استفاده از اسید تانیک و اسید گالیک پایدار باقی بماند به طوری که تشکیل کمپلکس و ترکیب کوپیگمنت کننده با آنتوسیانین‌های زعفران باعث افزایش جذب نوری و شیفت آن به طول موج های بالاتر می شود[۹].

از روش‌های موثر برای تثبیت و پایدارسازی رنگ‌دانه استفاده از روش کپسولاسیون و میکروانکپسولاسیون می‌باشد. این روش در صنایع غذایی و داروسازی برای ترکیبات رنگ، عطر و سایر مواد موثر استفاده می‌شود. این روش به‌دلیل کاهش تجزیه یا واکنش با سایر ترکیبات ماده غذایی حین فرآیند، بهبود ایمنی مواد غذایی و آزاد سازی کنترل شده ترکیبات موثر در صنایع غذایی کاربرد فراوان دارد [۱۰]. هیدروکلوئیدهایی مانند مالتودکسترین، صمغ عربی، ژلاتین سدیم کازئینات و... جهت پوشش‌دهی ترکیبات مؤثره استفاده شده‌اند. مطالعات متعدد به اثرات محافظت کنندگی ترکیبات پروتئین آب پنیر، صمغ عربی و مالتودکسترین جهت ریزپوشانی ترکیبات زیست فعال همچون رنگ‌دانه‌ها، آنتی اکسیدان‌ها، آنزیم‌ها، باکتری‌ها، داروها و ... اشاره شده است. مالتودکسترین به علت توانایی تشکیل شبکه، بالا بودن کارایی ریزپوشانی، پایین بودن گرانروی محلول‌های تولیدی از آن، امکان دسترس در اوزان مولکولی مختلف و پایین بودن نسبی قیمت در روش‌های مختلف ریزپوشانی به عنوان ماده پوشش دهنده مورد توجه می‌باشند. صمغ عربی نیز به‌دلیل داشتن خاصیت امولسیفایری، یکی رایج‌ترین مواد پوششی مورد استفاده در ریزپوشانی ترکیبات حساس از جمله کاروتنوئیدها می‌باشد. هر یک از این ترکیبات دارای خصوصیات منحصر به فردی در محیط‌های آبی بوده و رفتار خاصی را در طی ریزپوشانی با خشک کن پاششی نشان داده‌اند[۱۱و ۱۲و ۱۳].

قرآنی (۱۳۹۶) در یک تحقیق تاثیر بیوپلیمرهای مختلف مالتودکسترین، پروتئین آب پنیر و صمغ عربی بر میزان پایداری مواد موثره زعفران ریزپوشانی شده با خشک کن پاششی مورد ارزیابی قرار داد. نتایج نشان داد که نوع ترکیب مواد دیواره‌ای، رطوبت نسبی و دما بر میزان راندمان و حضور ترکیبات زیست فعال زعفران در مرحله خشک کردن موثر است [۱۱]. اخوان مهدوی و همکاران (۲۰۱۶) با استفاده از روش میکروکپسولاسیون آنتوسیانین‌ها را پوشش‌دهی کردند. از جمله ترکیبات پوشش دهنده مورد استفاده مالتودکسترین، صمغ عربی و ژلاتین بود. دلیل عمده اینکار این است که این ترکیبات در داخل حفرات خود محصورمی‌کنند و از اثر شرایط محیطی محافظت می‌کنند. این شرایط از قبیل نور، حرارت، رطوبت و اکسیژن هستند که در نتیجه باعث افزایش عمر مفید محصول و رهایش ماده کپسوله شده را کنترل می‌کند. موارد دیواره‌ای مختلفی برای میکروکپسول کردن شامل پلی ساکاریدها (نشاسته، صمغ عربی[۱۳]، مالتودکسترین و نشاسته ذرت[۱۴]) چربی ها شامل (استئاریک اسید[۱۵]، مونو و دی گلیسریدها[۱۶]) و پروتئین ها (ژلاتین[۱۷]، کازئین[۱۸]، پروتئین سرم شیر، سویا و گندم) هستند[۱۲]. پورنامایاتی و همکاران (۲۰۱۸) در مطالعه‌ای به بررسی پایداری میکروکپسول‌های فیکوسیانین با استفاده از مالتودکسترین و کاپا گاراگینان به عنوان ماده پوشش‌دهنده پرداختند. در این مطالعه از روش خشک کردن پاششی در دمای ورودی مختلف استفاده شد. نتایج نشان داد که میکروکپسول فیکوسیانین با ۹۰ درجه سانتی‌گراد دمای ورودی بیش‌ترین رطوبت، غلظت فیکوسیانین و بازده محصورسازی به‌ترتیب ۱/۵۳،۷، و۲۹ درصد را دارد [۱۳].

هدف از این تحقیق بررسی پایداری رنگ‌دانه فیکوسیانین در تیمارهای مختلف با ترکیبات پوشش دهنده از قبیل مالتودکسترین و صمغ عربی و همچنین ارزیابی سایر خوصیات رنگ‌دانه پودر شده از قبیل رطوبت، ساختار میکروسکوپی، اندازه ذرات و بازده ریزپوشانی تیمارهای مختلف می‌باشد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- تهیه رنگدانه فیکوسیانین

رنگدانه فیکوسیانین استخراج شده از ریزجلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس*[۱۹] به صورت خشک شده انجمادی با گرید خوراکی از پژوهشکده بیوتکنولوژی صنعتی جهاد دانشگاهی خراسان رضوی تهیه شد.

13. Arabic gum
14. corn syrup
15. stearic acid
16. mono-and diglycerid
17. gelatin
18. casein
19. *Spirulina platensis*

۲-۲- کوپیگمنتاسیون فیکوسیانین با اسید تانیک

به منظور کوپیگ منتاسیون فیکوسیانین در آب مقطر در pH=۳ و در غلظت ۵۰۰ppm در داخل ویال حل شد. سپس اسیدتانیک در غلظت۳۰۰ ppm به محلول فیکوسیانین اضافه شدو کمپلکس تشکیل شد[۱٤].

۲-۳- پوشش دهی فیکوسیانین در تیمارهای مختلف

تیمارهای فیکوسیانین کوپیگمنت شده توسط مالتودکسترین و صمغ عربی پوشش‌دهی شد در نسبت-های مختلف از این دو ترکیب صمغ عربی: مالتودکسترین (۰:۱۰۰، ۲۵:۷۵، ۵۰:۵۰، ۷۵:۲۵ و ۱۰۰:۰) و نسبت هسته به دیواره ۱:۱۰ در پنج تیمار تهیه شد به طوریکه درصد کل ماده جامد به حدود۱۰درصد تنظیم شد (جدول ۱). جهت تهیه امولسیون ذرات نمونه ها با هموژنایزر یکنواخت شدند تا ذرات با اندازه یکسان به دست آید. امولسیون تهیه شده بوسیله خشک کن پاششی با نازل قطر ۰/۵ میلیمتر و با درجه حرارت ورودی ۱۵۰ درجه سانتیگراد و خروجی ۹۰ درجه سانتی‌گراد خشک شدند[۱۵ و ۱٦].

Table 1 Phycocyanin pigment treatments for spray dryer

sample code	Arabic gum: Maltodextrin
1	100:0
2	75:25
3	50:50
4	25:75
5	0:100

۲-٤- ارزیابی کیفی خصوصیات فیکوسیانین خشک شده به روش خشک کن پاششی

۲-٤-۱- بررسی پایداری رنگ‌دانه فیکوسیانین کوپیگمنت شده خشک شده پاششی

تغییرات شدت رنگ برای هر کدام از تیمارهای تهیه شده در طی ۱٤ روز (با بازه زمانی ۳ روزه) مورد بررسی قرار گرفت. از هر کدام از تیمارها (۵ تیمار مورد نظر) در pH=۳ با غلظت ۲۰۰ppm محلول فیکوسیانین تهیه شد و در داخل ویال‌های شیشه‌ای مخصوص محکم بسته شد. ویال‌ها در یک محیط کاملا کنترل شده در دمای ۳۷ درجه سانتی گراد در ردیف‌های مستقیم با فاصله ۳۰ سانتی متر از منبع نوری قرار داده شدند به طوری که همه نمونه‌ها در معرض۷۰۰۰ lux نور قرار گیرند. پایداری رنگ‌دانه به وسیله تعیین نسبت کاهش جذب محلول تهیه شده در طول موج ماکزیمم جذب فیکوسیانین (٦۲۰nm) انجام گرفت. همچنین منحنی اسپکترای جذب تیمارهای مورد نظر نیز مورد بررسی قرار گرفت. تغییرات شدت رنگ در طی دوره اینکوباسیون به وسیله جذب ماکزیمم با اسپکتروفتومتر اندازه گیری شد[۱٤].

۲-٤-۲- اندازه گیری میزان a_w و رطوبت

برای اندازه گیری میزان رطوبت ذرات از روش آون گذاری در دمای ۱۰۵ درجه سانتیگراد انجام شد. اندازه گیری فعالیت آبی میکروکپسول ها به وسیله هیدرومتر novasina انجام شد [۱۵ و ۱٦]..

۲-٤-۳- مورفولوژی ریزساختار توسط یا SEM

برای این کار از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)[۲۰] (Oxford ، مدل S-۳٦۰، ساخت انگلستان) استفاده شد تا ریزساختار بیرونی میکروکپسول‌ها موردارزیابی قرار گرفت [۱٦].

۲-٤-٤- اندازه ذرات و پتانسیل زتا

اندازه متوسط قطر ذرات[۲۱] و اندازه گیری پتانسیل زتا[۲۲]رنگ‌دانه فیکوسیانین پوشش دار شده و شاخص پراکندگی نور با استفاده از دستگاه مخصوص اندازه گیری ذرات (Malvern مدل ۲۰۰۰) تعیین شد[۱٦ و ۱۷].

۲-۵- آنالیز آماری

تجزیه و تحلیل آماری با استفاده از نرم افزارSAS (نسخه ۳ و۹) و بصورت آنالیز واریانسیک طرفه انجام شد. تفاوت بین میانگین ها با استفاده از نرم افزار توکی در سطح معنی داری ($P<۰/۰۱$) مقایسه شد.

20. Scanning Electron Microscopy
21. particle size
22. zeta potential

۳- نتایج و بحث

۳-۱- ارزیابی پایداری رنگدانه فیکوسیانین خشک شده پاششی

۳-۱-۱-ارزیابی پایداری رنگدانه فیکوسیانین خشک شده پاششی

بر اساس شکل ۱ سه نوع تغییرات قابل مشاهده است. گروه اول، نمونه هایی هستند که با افزایش زمان نگهداری، به طور پیوسته و با سرعت ثابت شاهد درصد افت جذب افزایش می یابد. این گروه شامل نمونه های ٤ و ٥ (نمونه های دارای ۲۵ درصد مالتودکسترین و ۷۵ درصد صمغ عربی و نیز نمونه حاوی ۱۰۰ درصد صمغ عربی در ترکیب دیواره) هستند.گروه دوم شامل نمونه ۲ (۷۵:۲۵ از مالتودکسترین / صمغ عربی) است که طی روز اول نگهداری، افزایش نسبتا شدید درصد افت جذب را نشان میدهد ولی در ادامه زمان نگهداری با سرعت ثابت ولی کمتری در مقایسه با سایر نمونه ها، جذب افت پیدا کرده است. گروه سوم شامل ۱ و ۳ (۱۰۰:۰ از مالتودکسترین / صمغ عربی و ۵۰:۵۰ از مالتودکسترین / صمغ عربی) نمونههایی هستند که طی چند روز اول نگهداری با سرعت ثابت، درصد افت جذب افزایش یافته و سپس وارد مرحله پایدار شده و جذب نمونه نسبتا ثابت باقی مانده است.

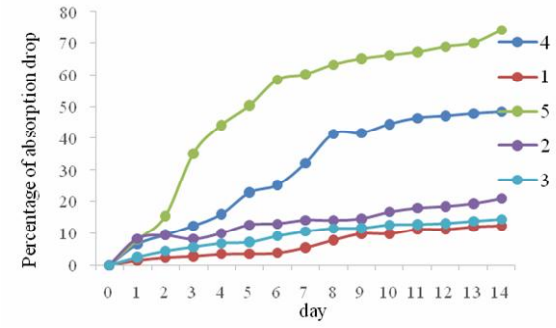

Fig 1 Decreased pigment uptake in dry spray samples during shelf life

بر این اساس، انتظار میرود این نمونه ها بیشترین ثبات را در محصول نهایی طی دوره نگهداری داشته باشند. با توجه به درصد افت جذب کمتر در نمونه ۱ (حاوی ۱۰۰ درصد مالتودکسترین) این نمونه میتواند گزینه مناسب برای کاربرد در محصول فرمولاسیون نوشیدنی باشد. جدول ۲ آنالیز واریانس و مقایسه میانگین درصد افت جذب را پس از ١٤ روز نگهداری نتایج نشان میدهد که بیشترین مقاومت و پایداری تحت شرایط نگهداری مربوط به نمونه های ۱ و ۳ است که پس از ١٤ روز نگهداری تنها ۱۲/۳ درصد از جذب اولیه نمونه کاهش یافته است. بنابراین نتایج نشان میدهند که نمونه ۱ (دارای ۱۰۰ درصد مالتودکسترین) کمترین افت جذب رنگدانه را در طول زمان داشت.

Table 2 Analysis of variance mean percentage reduction rate of adsorption reduction after 14 days of storage

Sample	Percentage of absorption drop
1	12.3^{a}
2	21.105^{c}
3	14.5^{ab}
4	48.5^{b}
5	74.1^{a}

Different lowercase letters in each column indicate a significant difference between the data ($p\leq 0/01$)

۳-۲- رطوبت و a_w رنگدانه فیکوسیانین حاوی ترکیبات کوپیگمنت کننده در pHهای مختلف

نوع ماده دیواره بر رطوبت نهایی رنگدانههای پودر شده تاثیر میگذارد. نتایج نشان میدهد که رطوبت در نمونههای پودر شده با صمغ عربی بیشتر است به این دلیل که صمغ عربی دارای چندین جزء هتروپلی ساکارید با ساختار منشعب بوده و دارای گروههای آب دوست میباشد که باعث میشود به مولکولهای آب متصل شده و از خروج مولکولهای آب جلوگیری میکند[۱۸].

Table 3 Moisture values and water activity (aw) in sprayed phycocyanin pigment treatments

Sample	Moisture	a_w
1	4.4^{a}	75^{a}
2	3.9^{ab}	71^{b}
3	3.6^{b}	68^{c}
4	4.2^{a}	68^{c}
5	4.3^{a}	75^{a}

Different lowercase letters in each column indicate a significant difference between the data ($p\leq 0/01$)

همچنین نتایج نشان میدهند که نوع ماده دیواره بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی میکروکپسولهای تولید شده تاثیر میگذارد [۱۹]. میزان رطوبت میکروکپسولهای تهیه شده با مالتودکسترین و مخلوط مالتودکسترین و صمغ عربی به ترتیب ٤/٤ و ٥/٢ درصد

می‌باشد. این تفاوت می‌تواند به دلیل تعداد گروه‌های پیوند دهنده آب در مولکول‌های مالتودکسترین و صمغ عربی باشد که باعث تفاوت در میزان رطوبت نمونه‌های تولید شده پودر شده می‌شود.

۳-۳- مورفولوژی نمونه‌های رنگ‌دانه پوشش دار شده اسپری درایر شده

مقایسه نتایج نشان می‌دهد که نوع ماده دیواره بر ساختمان فیزیکی میکروکپسول‌ها تاثیر می‌گذارد. به طوری که نمونه‌های دارای مالتودکسترین کروی شکل هستند و دارای سطح صاف‌تری بوده و چین وچروک کمتری نسبت به میکروکپسول‌های ساخته شده از صمغ عربی داشتند. میکروکپسول‌های تهیه شده با مخلوط مالتودکسترین و صمغ عربی دارای سطح صاف هستند اما یکنواخت نمی باشند، و دارای حداقل تراکم و فرورفتگی در سطح می باشند. دارای خلل و فرج بیشتری هستند و اندازه بزرگتر و توزیع بهتری دارند. همچنین Hojjati (2011) نشان داد که میکروکپسول‌های ساخته شده با صمغ عربی دارای سطح دندانه‌دار هستند. این میکروکپسول‌ها تقریبا کروی شکل بوده و ترک‌ها و شکاف‌های جزئی در سطح آنها دیده می‌شود. ساختار میکروکپسول‌ها نشان داد که نمونه‌های تهیه شده با مالتودکسترین اندازه ذرات درشت‌تری دارند [۱۵]. خصوصیات شکل مشابهی توسط Santana و همکاران (2016) یافت شد که ریزپوشانی پالپ میوه جوسارارا انجام داده بودند[۲۰]. Pang (2014) نشان داد که افزایش در غلظت مالتودکسترین منجر به تولید ذرات با سطح صاف‌تر و شکل‌های یکنواخت می‌شود[۲۱].

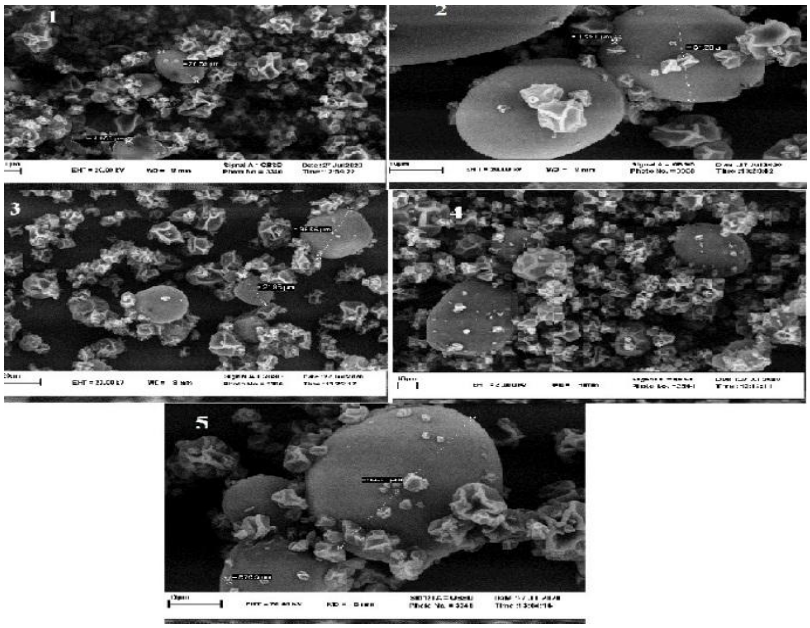

Fig 2 Microstructure of microcapsules with 2000x magnification in order of samples, samples 1, 2, 3, 4 and 5, respectively.

۳-٤- اندازه‌گیری بازده ریزپوشانی

نتایج جدول ٤ درصد بازده تولید پودر نشان می‌دهد که در مقایسه بین مالتودکسترین، صمغ عربی و ترکیب آنها، بازده بالاتری با مقدار مالتودکسترین با غلظت نسبت به دیگر کپسول‌ها داشته است (P<۰/۰۱).

Table 4 Microcoating efficiency in spray dried phycocyanin pigment

Sample	Microcoating efficiency
1	79a
2	75b
3	70c
4	68cd
5	65d

Different lowercase letters in each column indicate a significant difference between the data (p≤ 0/01)

این ممکن است به دلیل میزان خشک شدن بالاتر مالتودکسترین و تشکیل پوسته سریع باشد که منجر به نگهداری بیشتر پلی فنول‌ها نیز می‌شود. هم‌چنین مالتودکسترین سبب کاهش چسبندگی پودر شده که در نتیجه، تولید پودر در طول اسپری کردن افزایش می‌یابد. از دست دادن درصدی از مواد در یک سیستم خشک کن پاششی بیشتربه دلیل اتصال قطرات و پودر به دیواره دستگاه اسپری می‌باشد. [۲۲]. به نظر می‌رسد صمغ عربی به دلیل گرانروی بالا و ایجاد چسبندگی، قطرات و پودر بیش‌تری را به دیواره محفظه خشک‌کن متصل کرده و سبب کاهش بازده تولید می‌شود[۲۳]. نتایج مشابهی توسط Torres و همکاران (2016) در بررسی تأثیر شرایط خشک کردن پاششی در تهیه ریزکپسول برگ بو، Akbas و همکاران (2017) در بررسی فرایند ریزپوشانی عصاره گندم و Tolun و همکاران (2016) در بررسی ریزپوشانی عصاره انگور، به دست آمد[۲٤].

۳-۵- ارزیابی اندازه ذرات (particle size) و شاخص پراکندگی (PDI)

نتایج (جدول ۵) نشان می‌دهد که نوع و غلظت ماده دیواره به طور معنی‌داری اندازه و سطح مخصوص پودرهای حاصل را تحت تأثیر قرار می‌دهد ($p<۰/۰۱$). اندازه‌گیری ذرات میکروکپسول بسیار مهم است، زیرا این ذرات بر بافت مواد غذایی که به آن اضافه می‌شوند، تأثیر می‌گذارد. نتایج مطالعات شعبانپور (۱۳۹۷)نشان می‌دهد که مواد دیواره و تکنیک ریزپوشانی هر دو به طور معنی‌داری روی اندازه، شکل و به‌طور کلی ساختار میکروکپسول‌ها اثرگذار است[۲۵].

Table 5 particle size and PDI index in sprayed phycocyanin samples

Sample	particle size (nm)	PDI
1	50.5^{b}	0.383925 ± 0.173771^{b}
2	71.1^{a}	1.328226 ± 0.516754^{a}
3	42.3^{c}	0.377451 ± 0.258781^{bc}
4	45.2^{cd}	0.345302 ± 0.055621^{c}
5	41.3^{d}	0.327598 ± 0.034896^{d}

Different lowercase letters in each column indicate a significant difference between the data ($p\leq 0/01$)

اندازه ذرات در میکروکپسول با نسبت‌های متفاوت در ترکیبات دیواره بین ٤۱/۳ تا ۷۱/۱ نانومتر متغیر است ($p<۰/۰۱$). با توجه به منحنی توزیع اندازه ذرات، کپسول‌های تهیه شده با تیمارهای مختلف (بجز ۳ و ٤) تک قله‌ای بوده که نشان‌دهنده یکنواخت بودن توزیع اندازه ذرات می‌باشد. همچنینشاخص بس پاشیدگی در میکروکپسول بین ۰/۳۲۷۵۹۸ تا ۱/۳۲۸۲٦۲ متغیر است که نشان‌دهنده پراکندگی مناسب ذرات و همگن بودن اندازه ذرات (البته بجز در نمونه ۲) می‌باشد.

غلظت‌های بیشتر مالتودکسترین نیز منجر به تولید ذرات بزرگتر می‌شود. که ممکن است به ویسکوزیته خوراک ورودی به خشک‌کن مربوط باشد که با افزایش غلظت مالتودکسترین به‌طور لگاریتمی افزایش می‌یابد. با توجه به نظر Renata (2008)، اندازه متوسط قطرات مایع را به‌طور مستقیم با ویسکوزیته مایع در دستگاه که عناصری را به ذرات ریز تبدیل می‌کند مثلا تمایزر در سرعت ثابت متفاوت است [۲٦]. نتایج تحقیق Swetank و همکاران (2015) نشان می‌دهد مواد دیواره و تکنیک ریزپوشانی هر دو به‌طور معنی‌داری روی اندازه، شکل و به‌طور کلی ساختار میکروکپسول‌ها اثرگذار است[۲۷].

٤- نتیجه گیری

رنگدانه فیکوسیانین به دلیل ماهیت پروتئینی آن به دما و pHحساس می‌باشد. لذا در مطالعه حاضر رنگدانه مورد نظر به روش خشک‌کن پاششی مقاوم سازی شد. ترکیبات مختلفی برای پوشش دهی رنگدانه بکار گرفته شدند. در تحقیق حاضر از مالتودکسترین و صمغ عربی در نسبت‌های مختلف جهت پوشش‌دهی این رنگدانه با استفاده از خشک‌کن پاششی استفاده شدند. نتایج نشان داد که رنگدانه پوشش‌دهی شده با نسبت‌های بالاتر مالتودکسترین دارای بیشترین میزان مقاومت در برابر نور و دمای محیط می‌باشند. همچنین رنگدانه‌های پوشش‌دهی شده با نسبت‌های بالاتر مالتودکسترین اندازه ذرات درشت‌تری دارند.

۵- تقدیر و تشکر

نویسندگان این مقاله از معاونت پژوهش و فناوری جهاد دانشگاهی و سازمان جهاددانشگاهی خراسان رضوی بابت حمایت مادی از این تحقیق تقدیر و تشکر می‌نمایند.

٦- منابع

[1] Zhang, S., Zhang, Z., Dadmohammadi, Y., Li, Y., Jaiswal, A., Abbaspourrad, A. 2020. Whey protein improves the stability of C-phycocyanin in acidified conditions during light storage, *Journal of foodchem*, doi:10.1016, 128642.

[2] Hadiyanto, H., Christwardana, M., Sutanto, H., Suzery, M., Amelia, D., Febrina Aritonang, R. 2018. Kinetic study on the effects of sugar addition on the thermal degradation of phycocyanin from Spirulina sp, *Journal of Food Bioscience*, 22: 85–90.doi:10.1016/j.fbio.2018.01.007

[3] Rahman, D.Y., Sarian, F.D., Van Wijk, A., Martinez-Garcia, M., Van der Maarel, M. J. E. C. 2016. Thermostable phycocyanin from the red microalga *Cyanidioschyzon merolae*, a new natural blue food colorant, *Journal of Appl Phycol*, 29: 1233–1239.doi: 10.1007/s10811-016-1007-0.

[4] Chaiklahan, R., Chirasuwan, N., Bunnag, B. 2012a. Stability of phycocyanin extracted from *Spirulina sp*: Influence of temperature, pH and preservatives, *Journal of Process Biochemistry*, 47: 659–664. doi:10.1016/j.procbio.01.010

[5] Ansari, M and Hojjati MR. 2018. Optimization of extraction and microencapsulation of anthocyanin pigments extracted from red onion peel and red cabbage. Journal of food research, 28, 1. 73-91

[6] 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, *Journal of Process Biochemistry,* 49: 154–159. doi: 10.1016/j.procbio.2013.10.008.

[7] Ming, H, Gustavo, C., Luis, M. 2020.Black Bean Anthocyanin-Rich Extract from Supercritical and Pressurized Extraction Increased In Vitro Antidiabetic Potential, While Having Similar Storage Stability. *Journal of Foods* 9(5):655. doi: 10.3390/foods9050655.

[8] Farhadi Chitgar, M., Aalami, M., Kadkhodaee, R., Maghsoudlou, Y., Milani, E. 2018. Effect of thermosonication and thermal treatments on phytochemical stability of barberry juice copigmented with ferulic acid and licorice extract, *Journal of Innovative Food Science & Emerging Technologies,* 50: 102-111.doi:10.1016/j.ifset.2018.09.004.

[9] Heras-Roger, J., Alonso-Alonso, O., Gallo-Montesdeoca, A., Díaz-Romero, C., Darias-Martín, J. 2016. Influence of copigmentation and phenolic composition on wine color. *Journal of Food Sci Technol,* 53(6):2540-7.doi.:10.1007/s13197-016-2210-3.

[10] Kamali A, Sharayei P, Niazmand R, Eynafshar S. Effect of different concentration of maltodextrin and polyvinylpyrrolidone on stability of saffron's effective compounds microencapsulated by spray drying. Quarterly journal of research and innovation in food science and technology. 2012, 1, 4, 241-254.doi.:10.22101/jrifst.2013.03.15.142

[11] Ghorani, B., Kadkhodaee, R., Alehosseini, A. 2017. The Effect of Biopolymer Type, Temperature and Relative Humidity on the Physicochemical Characteristics and Stability of Microencapsulated Bioactive Compounds of Saffron. *Journal of F.S.T*, 64: 14, 127-142.

[12] Akhavan Mahdavi, S., Jafari, S. M., Assadpoor, E., Dehnadaa, D. 2016. Microencapsulation optimization of natural anthocyanins withmaltodextrin, gum Arabic and gelatin, *International Journal of Biological Macromolecules*, 85: 379–385. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2016.01.011.

[13] Purnamayati, L., Dewi, E., Kurniasih, R.A. 2018. Phycocyanin stability in microcapsules processed by spray drying method using different inlet temperature. IOP Conf. Ser: *Journal of Earth Environ Sci*, 116: 012076. doi:10.1088/1755-1315/116/1/012076.

[14] Helgason, T., Bohn, H., Weiland, A., Sowa, C., Gottschalk, T. 2016. Stabilized phycocyanin for blue color. US20160324745A1.

[15] Najaf Najafi, M., Mortazavi, A.,

Kadkhodaee, R., Tabatabaee, F. 2011. Influence of Hi-Cap 100 and Tween 80 Interaction on the Properties of Cardamom Oil–in-water Emulsion and its Microcapsules, *Journal of Iranian Food Science and Technology Research*, 6 (4) 254-262.doi: 10.22067/ifstrj.v6i4.9282.

[16] Hojjati M, Razavi H, Rezaei K, Gilani K. 2013. Effect of wall components on characteristics of natural canthaxanthin microencapsulated using spray-drying, *Iranian Journal of Nutrition Sciences & Food Technology*, 8(3), 45-54.

[17] Vatankhah Lotfabadi, S., Mortazavi, A., Yeganehzad, S., Sadeghian, A. 2018. Evaluation of type and concentration of wall materials in D-Limonene microencapsulation to determination of optimum condition for flavored rock candy production, *Journal of New Food Technologies,* 5(2), 159-176. doi:10.22104/JIFT.2017.512.

[18]Ghazali, E., Gharekhani, M.,Hamishekar, H. 2019. Study physical and antioxidant properties of the microcapsules of Citrus urantium extract prepared by spray drying method. *Journal of innovative food technologies,* 6: 441-453. doi: 10.22104/jift.2018.2603.1614.

[19] Kamali, A., Sharayei, P., Niazmand, R., Eynafshar, S. 2012. Effect of different concentration of maltodextrin and polyvinylpyrrolidone on stability of saffron's effective compounds microencapsulated by spray drying, *Journal of* Q*uarterly journal of research and innovation in food science and technology*, 1(4), 241-254. doi.:10.22101/jrifst.2013.03.15.142.

[20] Santana, A., Cano-Higuita, D., De Oliveira, R., Telis, V. 2016. Influence of different combinations of wall materials on the microencapsulation of jussara pulp (Euterpe edulis) by spray drying, *Journal of Food Chem*, 212, 1-9.doi: 10.1016/j.foodchem.2016.05.148.

[21] Pang. S.F., Yusoff, M.M., Gimbun, J. 2014. Assessment of phenolic compounds stability and retention during spray drying of Orthosiphon stamineus extracts, *Journal of Food Hydrocolloid,* 37: 159-165. doi: 10.1016/j.foodhyd.2013.10.022.

[22] Torres, M., Santiago-Adame, R., Calderas, F.,Gallegos-Infante, J.A., González-Laredo, R.F., Rocha-Guzmán, N.E., Nú˜nez-Ramíreze, D.M., Bernad-Bernada, M.J., Maneroba Facultad, O. 2016. Microencapsulation by spray drying of laurel infusions (Litsea glaucescens) with maltodextrin, Ind Crops Prod, 90: 1-8.

[23] Akbas, E., Kilercioglu, M., Onder, O., Koker, A., Soyler, B., Oztop, M. 2017. Wheatgrass juice to wheat grass powder: Encapsulation, physical and chemical characterization. *Journal ofFunct*, 28:19-27.

[24] Tolun, A., Altintas, Z., Artik, N. 2016. Microencapsulation of grape polyphenols using maltodextrin and gum arabic as two alternative coating materials: Development and characterization,*Journal ofBiotechnol*, 239, 23-33.

[25] Shabanpour, B., Mehrad, B., Pourashouri, P., Jafari, S. M. 2018. The Effect of Wall Material and Encapsulation Method on Physicochemical Properties Micro-encapsulated Fish Oil,*Quarterly journal of research and innovation in food science and technology*, 7(1), 13-28.doi: 10.22101/jrifst.2018.05.19.712.

[26] Renata, T., Catherine, B., Míriam, H. 2008. Influence of process conditions on the physicochemical properties of acai (Euterpe oleraceae Mart.) powder produced by spray drying, *Journal of Food Engineering,* 88: 411–418.doi: 10.1016/j.jfoodeng.2008.02.029.

[27] Swetank, Y., Hundre, P., Anaharamakrishnan, C.2015. Effect of whey protein isolate and bcyclodextrin wall systems on stability of microencapsulated vanillin by spray-freeze drying method, *Journal of Food Chemistry*, 174:16-24.doi: 10.1016/j.foodchem.2014.11.016.

Iranian Journal of Food Science and Technology

Homepage:www.fsct.modares.ir

Scientific Research

Evaluation of the type and composition of coatings in the stability of phycocyanin pigment by spray drying method

Karazhyan, R.[1*], Ameri, M. [1], Gord-Noshahri, N. [1], Lavaee, P. [1], Ehtiati, A. [2], Sadeghi, S. [3], Razavizadeghan, S. M. [4]

1. Assistant Professor, Department of industrial biotechnology on microorganisms, Iranian Academic Center for Education Culture and Research (ACECR), Mashhad, Iran.
2. Researcher/ Iranian Academic Center for Education Culture and Research (ACECR), Khorasan Razavi Mashhad, Iran.
3. Research and Development Division, Alis Allied Manufacturing Corporation, Mashhad, Iran.
4. Department of Food Science and Technology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

ARTICLE INFO

Article History:

Received 2022/ 02/ 09
Accepted 2022/ 05/ 21

Keywords:

Phycocyanin,
Coating,
Pigment stability.

DOI: 10.22034/FSCT.19.126.153
DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.126.21.2

*Corresponding Author E-Mail:
Reza_karazhyan2002@yahoo.com

ABSTRACT

Phycocyanin is a pigment extracted from Spirulina platensis and can be a good alternative to synthetic dyes in various industries, including the food industry. The aim of this study was to evaluate the type and composition of coatings in the stability of phycocyanin pigment by spray dryer. Phycocyanin pigment solution was copigmented with tannic acid and mixed with maltodextrin and gum arabic in ratios (100: 0, 75:25, 50:50, 25:75 and 0: 100) gum arabic: maltodextrin and core to wall ratio 10: 1 were coated. The results showed that pigment coating has a significant effect on its stability, so that the analysis of variance comparing the average of the treatment containing 100% and 75% maltodextrin in the coating with the lowest amount of pigment absorption with values of 12.3 and 14.5 respectively.Examination of the electron microscope showed that the microcapsules contained higher amounts of maltodextrin, sphericals with a smoother surface and less wrinkles than the microcapsules made with gum arabic.Also, the particle size results showed that the powder samples containing maltodextrin were larger than the samples with gum arabic, which were 50.5 and 41.3 nm, respectively.