www.journals.rifst.ac.ir
نشریه پژوهش و نوآوری در علوم و صنایع غذایی
سال ۱۴۰۰، جلد ۱۰، شماره ۲، صفحات ۱۸۰-۱۶۹
DOI: 10.22101/JRIFST.2021.279578.1238

JRIFST
مقالهٔ کامل پژوهشی

بررسی تغییرات آلکیل پیرازین‌ها، رنگ و ویژگی‌های حسی پودر کاکائو در شرایط مختلف بودادن

سمانه ابراهیم‌زادگان[۱]، نارملا آصفی[۲*]، رامین ملکی[۳]، سیدصادق سیدلوهریس[۴]

۱-دانشجوی دکتری، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران
۲-دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران
* نویسندهٔ مسئول (n.asefi@iaut.ac.ir)
۳- استادیار، گروه پژوهشی شیمی تجزیه-کروماتوگرافی، جهاد دانشگاهی آذربایجان غربی، ارومیه، ایران
۴-دانشیار، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

چکیده

کاکائو یک محصول مهم در جهان بوده و مادهٔ اولیهٔ اصلی برای تولید پودر کاکائو و شکلات است. ارزش و کیفیت آن با ترکیبات عطروطعم منحصربه‌فرد و پیچیدهٔ آن ارتباط دارد. مهم‌ترین این ترکیبات پیرازین‌ها هستند که به‌عنوان اجزای کلیدی عطروطعم کاکائو شناخته شده‌اند. ازآنجاکه بودادن یکی از مراحل مهم در فرایند تولید پودر کاکائو است، مطالعهٔ حاضر جهت بررسی تأثیر دما (در سه سطح ۱۲۰، ۱۳۰ و ۱۴۰ درجهٔ سانتی‌گراد) و زمان (در سه سطح ۲۰، ۳۰ و ۴۰ دقیقه) بودادن روی عطروطعم (آلکیل پیرازین‌ها)، رنگ و ویژگی‌های حسی پودر کاکائو انجام شد. ترکیبات آلکیل پیرازین توسط کروماتوگرافی گازی-طیف‌سنجی جرمی مورد تحلیل و آنالیز قرار گرفتند. نتایج نشان دادند که با تغییر دما و زمان بودادن، شاخص قهوه‌ای‌شدن (OD_{460}/OD_{525}) ($P\leq$۰/۰۵) و میزان آلکیل پیرازین‌ها ($P\leq$۰/۰۱) به‌طور معنی‌داری تغییر یافت. پودر کاکائوی بوداده‌شده در دمای ۱۴۰ درجهٔ سانتی‌گراد و زمان ۴۰ دقیقه، بیشترین مقدار شاخص قهوه‌ای‌شدن، نسبت تترامتیل پیرازین به تری‌متیل پیرازین (TMP/TrMP) و امتیاز ارزیابی حسی را نسبت به سایر نمونه‌ها نشان داد.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۱/۲۹
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۴/۲۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۲۳
تاریخ انتشار برخط: ۱۴۰۰/۰۵/۲۷

واژه‌های کلیدی
آلکیل پیرازین
بودادن
پودر کاکائو
رنگ

مقدمه

کاکائو محصولی باارزش اقتصادی بسیار بالا در جهان و مادهٔ اولیهٔ کلیدی برای تولید پودر کاکائو و شکلات است (Kongor *et al.*, 2016). شاخص‌های مختلفی برای اندازه‌گیری کیفیت دانه‌های کاکائو استفاده می‌شود که مهم‌ترین آنها مقدار و نوع ترکیبات عطروطعم فرار است (Krähmer *et al.*, 2015; Magi, Bono, & Di Carro, 2012). درحال‌حاضر، بیش از ۶۰۰ ترکیب عطروطعم از دانه‌های کاکائو و محصولات آن شناسایی شده است (Crafack *et al.*, 2014). این ترکیبات از نیتروژن و ترکیبات هتروسیکلیک اکسیژن، آلدئیدها و کتون‌ها، استرها، الکل‌ها، هیدروکربن‌ها، نیتریل‌ها و سولفیدها[۱]، پیرازین‌ها، اترها، فوران، تیازول‌ها[۲]، پیرون‌ها[۳]، اسیدها، فنول‌ها، ایمین‌ها[۴]، آمین‌ها، اکسازول‌ها[۵] و پیرول‌ها تشکیل شده‌اند (Kongor *et al.*, 2016؛ محمدی‌الستی، آصفی، ملکی و سیدلوهریس، ۱۳۹۹). از میان این ترکیبات، پیرازین‌ها جزء ترکیبات اصلی گروه هتروسیکلیک مواد

[1] Nitriles and sulphides
[2] Thiazoles
[3] Pyrones
[4] Imines
[5] Oxazoles

فرار و اجزای کلیدی عطروطعم و آرومای کاکائو بوده (Aprotosoaie, Luca, & Miron, 2016) و به‌عنوان ترکیبات اصلی نشان‌دهندهٔ کیفیت و کمیت عطروطعم کاکائو (Misnawi & Teguh, 2010) مورد توافق قرار گرفته‌اند (Jinap, Rosli, Russly, & Nordin, 1998). مطالعه‌های انجام‌گرفته نشان دادند که در کاکائو پیرازین‌ها به وفور در دسترس هستند و می‌توانند به‌عنوان ردیاب برای عطروطعم کاکائو استفاده شوند (Bonvehí, 2005).

در حدود ۸۰ پیرازین در عطروطعم کلی کاکائو شرکت می‌کنند (Afoakwa, Paterson, Fowler, & Ryan, 2008). تترامتیل پیرازین[1] (TMP) و تری‌متیل پیرازین[2] (TrMP) مهم‌ترین ترکیبات این گروه هستند، این پیرازین‌ها، عطروطعم فندقی، گیاهی و کاکائویی ایجاد می‌کنند و تترامتیل پیرازین دارای خاصیت افزایش‌دهندهٔ عطروطعم می‌باشد (Ramli, Hassan, Said, Samsudin, & Idris, 2006). گزارش شده است که تترامتیل پیرازین در حدود ۹۰ درصد از کل پیرازین‌ها را تشکیل می‌دهد (Rodriguez-Campos *et al.*, 2012).

Dietrich، Stoll، Lederer و Winter (۱۹۶۴)، ۲،۶-دی‌متیل پیرازین[3] و تترامتیل پیرازین را در لیکور[4] شکلات یافتند. مدت کوتاهی پس از آن پیرازین‌ها در قهوه، چیپس سیب‌زمینی و بادام‌زمینی شناسایی شدند. این گروه از ترکیبات درحال‌حاضر به‌عنوان یک عامل مهم برای عطروطعم در برخی مواد غذایی شناخته شده است، به‌ویژه هنگامی که مواد غذایی تحت فرایند بودادن قرار بگیرند (محصول‌های شکلات، قهوه و مغزها). طبق بررسی‌های انجام‌شده ۲-متیل پیرازین[5]؛ ۲،۳-دی‌متیل پیرازین[6]؛ ۲،۵-دی‌متیل پیرازین[7]؛ ۲،۳،۵-تری‌متیل پیرازین[8] و ۲،۳،۴،۶-تترامتیل پیرازین[9] جزء مهم‌ترین ترکیبات مؤثر در عطروطعم کاکائو بوده و نسبت غلظت تترامتیل پیرازین به تری‌متیل‌پیرازین به‌عنوان شاخص درجهٔ بودادن پیشنهاد شده است (Ziegleder, 2017). ازاین‌رو، در پژوهش حاضر تغییرات مقادیر این ۵ پیرازین موردبررسی قرار گرفت.

[1] Tetramethyl pyrazine
[2] Trimethyl pyrazine
[3] 2,6-Dimethylpyrazine
[4] Liqueur
[5] 2-methylpyrazine
[6] 2,3-Dimethylpyrazine
[7] 2,5-Dimethylpyrazine
[8] 2,3,5-Trimethylpyrazine
[9] 2,3,4,6-Tetramethylpyrazine

بودادن یکی از مراحل مهم در فراوری تبدیل لوبیای کاکائو به پودر کاکائو است که مشخصات کیفی دانه‌های کاکائو را در طول فرایند صنعتی تحت‌تأثیر قرار داده است (Oracz & Nebesny, 2014; ZZaMan & Yang, 2013). همچنین کیفیت محصول‌های نهایی را تعیین می‌کند (Afoakwa, Budu, Mensah-Brown, Takrama, & Ofosu-Ansah, 2014; Krysiak & Motyl-Patelska, 2006) و درنتیجه یک مرحلهٔ مهم در توسعهٔ عطروطعم، رنگ و آرومای کاکائو است (Afoakwa *et al.*, 2014; Harrington, 2011).

طبق نظر محققان، فرایند بودادن نه تنها منجربه‌تولید ترکیبات فرار جدید عطروطعم ازطریق پیرولیز[10] قندها می‌شود، بلکه باعث ازبین‌رفتن ترکیبات جزئی می‌شود که بر طعم نهایی شکلات تأثیر می‌گذارند. درجهٔ تغییرات شیمیایی بستگی به درجه‌حرارت مورداستفاده در طول فرایند دارد (Nazaruddin *et al.*, 2000; Ramli *et al.*, 2006). به‌طورکلی شرایط بودادن ۱۵ تا ۴۵ دقیقه با درجه‌حرارت ۱۳۰-۱۵۰ درجهٔ سانتی‌گراد می‌باشد (Ramli *et al.*, 2006). بودادن ازآنجاکه تشکیل رنگ قهوه‌ای، عطروطعم ملایم و بافت دانه‌های بوداده‌شده را به ارمغان می‌آورد، مهم‌ترین عملیات فراوری در تولید و فراوری دانه‌های کاکائو است. بررسی مطالعه‌ها نشان می‌دهد که این ویژگی باید با درنظرگرفتن تأثیر کلی پارامترهای فرایند مانند زمان و درجه‌حرارت، موردمطالعه قرار گیرد (Sacchetti *et al.*, 2016). بنابراین دما و زمان، دو متغیر مهم در فرایند بودادن کاکائو هستند (Jinap *et al.*, 1998). در طول زمان بودادن، تغییرات فیزیکی و شیمیایی در دانه‌های کاکائو رخ می‌دهد که این تغییرات منجربه‌تولید عطروطعم و رنگ مطلوب کاکائو ازطریق واکنش میلارد می‌شود (Afoakwa *et al.*, 2008). طی بودادن، پیش‌سازهای عطروطعم یعنی اسیدهای آمینهٔ آزاد، پپتیدها با زنجیرهٔ کوتاه، و قندهای احیاکنندهٔ تولیدشده در طی فرایند تخمیر و خشک‌کردن، تحت واکنش میلارد و تخریب استرکر[11] ترکیبات عطروطعم مطلوب را تولید می‌کنند. کربونیل مشتق‌شده از واکنش میلارد با اسیدهای آمینهٔ آزاد در طول تجزیهٔ استرکر واکنش نشان می‌دهد. این عمل باعث تجزیهٔ اسیدآمینه به آلدئیدهایی می‌شود که به عطروطعم کمک می‌کنند. انتخاب پارامترهای بودادن،

[10] Pyrolysis
[11] Strecker

ویژگی فرایندهای شیمیایی و فیزیکی که در داخل دانه‌ها رخ می‌دهد و درنتیجه کیفیت محصولات را تعیین می‌کند (Kongor *et al*., 2016). از دیگر عوامل مؤثر بر کیفیت نهایی پودر کاکائو، رنگ می‌باشد. تغییر رنگ نیز به‌دلیل وجود ترکیباتی می‌باشد که از مولکول‌های اپی‌کاتچین[1] ساخته شده‌اند که طی فرایندهای مختلف تخمیر، خشک‌کردن و بودادن ممکن است با یکدیگر ترکیب شوند. این ترکیبات شدت رنگ مولکول را افزایش داده و کاکائو را تیره‌تر می‌کنند. مطالعه‌های انجام‌شده درمورد رنگ پودر کاکائو نشان دادند که طی فراوری پودر کاکائو، pH، محتوای رطوبت، زمان و دمای بودادن باید به دقت تعیین گردد، چون احتمال تشکیل انواع مختلفی از رنگ‌ها وجود دارد (Beckett, 2009).

پژوهش‌های انجام‌شده از کارخانه‌های فراوری پودر کاکائو، نشان دادند که طی فراوری دانهٔ کاکائو و تبدیل آن به پودرکاکائو، مشکل کاهش عطروطعم مطلوب و ایجاد بوهای نامطلوب مطرح می‌باشد. بهینه‌سازی پارامترهای فرایند بودادن در هنگام تولید پودر کاکائو، نقش بسزایی در بهبود کیفیت رنگ و عطروطعم محصول نهایی دارد. چون عطروطعم و رنگ کاکائو جزء ویژگی‌های بسیار مهم در پذیرش آن از طرف مصرف‌کننده می‌باشد، ازاین‌رو، در مطالعهٔ حاضر، تغییرات ترکیبات فرار عطروطعم (آلکیل پیرازین‌ها)، رنگ و ویژگی‌های حسی به‌عنوان مهم‌ترین ویژگی‌های کیفی فراورده‌های کاکائو، در شرایط مختلف فرایند بودادن جهت دست‌یابی به شرایط مطلوب تولید موردبررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

در مطالعهٔ حاضر دانهٔ کاکائوی کامرون (ارقام فارستو[2]) به‌صورت تخمیرشده، خشک و بوجاری‌شده از شرکت صنعتی شیرین عسل (تبریز، ساخت ایران) تهیه شد. کربنات پتاسیم (K2CO3)، هیدروکسید سدیم (NaOH)، n-هگزان، متانول، حلال‌ها و استانداردهای آنالیز GC-MS و سایر معرف‌های تجزیه‌ای از شرکت شیمیایی سیگما (شرکت سیگما آلدریچ، ساخت آمریکا) خریداری شد.

آماده‌سازی نمونه‌ها

خشک‌کردن و تخمیر لوبیای کاکائو، مطابق با روش‌های محلی در کامرون انجام شده بود. بنابراین، اطلاعات دقیق مربوط به کیفیت این مراحل در دسترس نیست. در کارخانه، دانه‌های کاکائوی کامرون تحت تمیزکردن، خشک‌کردن در دمای ۱۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد، بوجاری (شکستن و طبقه‌بندی) برای تبدیل به مغز کاکائو قرار گرفتند. در این مرحله به مقدار کافی از دانه‌های کاکائوی کامرون که مرحلهٔ تمیزکردن و خشک‌کردن (در دمای ۱۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد به مدت ۳۲۰ ثانیه) را گذرانده بودند، از شرکت شیرین عسل تهیه شد و در آزمایشگاه فرایند قلیایی‌کردن (توسط کربنات پتاسیم ۰/۵ درصد و هیدروکسید سدیم ۱/۵ درصد) روی مغز دانه‌های کاکائو انجام شد.

فرایند بودادن

نمونه‌ها به دسته‌های ۷۵ گرمی تقسیم‌شده و فرایند بودادن موردنظر در آون انجام گرفت. فرایند بودادن به‌این‌صورت انجام شد که آون در درجه‌حرارت موردنظر تنظیم شد (۱۲۰، ۱۳۰ و ۱۴۰ درجهٔ سانتی‌گراد). نمونه‌های ۷۵ گرمی به‌صورت تک‌لایه روی فویل آلومینیومی پخش‌شده و در آون قرار گرفت و به مدت زمان موردنظر (۲۰، ۳۰ و ۴۰ دقیقه) بو داده شد (باز و بسته‌کردن سریع درب آون قبل و پس از قراردادن نمونه‌ها امکان‌پذیر بود). پس از اتمام عمل بودادن نمونه‌ها در دمای اتاق (۲۷ درجهٔ سانتی‌گراد) خنک‌شده و در یک ظرف بسته‌بندی‌شده و تا زمان انجام آزمون‌ها در دمای ۴ درجهٔ سانتی‌گراد در یخچال نگهداری شد. قبل از انجام آزمون‌ها نمونه‌ها در داخل یک آسیاب آزمایشگاهی (Ika، ساخت آلمان) خرد و همگن شدند.

اندازه‌گیری ترکیبات پیرازینی

استخراج ترکیبات عطروطعم فرار

۲۵ گرم از تیمارهای پودرشده به آب‌مقطر (۲۰۰ میلی‌لیتر) اضافه شد، ۲ میلی‌لیتر هگزان نرمال به بالن حاوی نمونهٔ محلول اضافه و با استفاده از دستگاه استخراج کلونجر طبق روش Schultz، Flath، Mon، Eggling و Teranishi (۱۹۷۷) حرارت داده شد. ترکیبات عطروطعم فرار در هگزان (۲ میلی‌لیتر) به‌دام‌افتاد. ۱ میکرولیتر از ترکیبات فرار روی کروماتوگرافی گازی طیف‌سنجی جرمی (Agilent،

[1] Epicatechin
[2] *Forastero*

ساخت آمریکا) موردبررسی قرار گرفت، قبلاً استاندارد ۵ ترکیب پیرازینی موردنظر (۲-متیل پیرازین، ۲،۳-دی‌متیل پیرازین، ۲،۵-دی‌متیل پیرازین، ۲،۳،۵-تری‌متیل پیرازین و ۲،۳،۵،۶-تترامتیل پیرازین) به دستگاه کروماتوگرافی گازی تزریق شده بود.

اندازه‌گیری رنگ

رنگ نمونه‌ها طبق روش Bonvehi و Coll (۱۹۹۷)، با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر اچ‌اسی‌اچ (HACH، ساخت آمریکا) به روش زیر اندازه‌گیری شد.

در ابتدا جهت تهیهٔ محلول استخراج‌کننده ۱ میلی‌لیتر اسید کلرید غلیظ به بالن ۱۰۰ میلی‌لیتری که تا نصف با متانول پُرشده، اضافه شد. بعد از خنک‌کردن بالن تا خط نشانه با متانول پُرشد. سپس از تیمار موردنظر (به‌صورت کامل پودرشده)، حدود ۰/۲ گرم به دقت وزن و داخل لولهٔ آزمایش قرار داده شد و روی آن ۱۰ میلی‌لیتر از محلول استخراج‌کنندهٔ یادشده اضافه شد. لوله سه بار به مدت ۱۰ دقیقه در یک اولتراسوند الما (Elma، ساخت آلمان) قرار داده شد. سپس داخل دستگاه سانتریفیوژ (Gerber، ساخت آلمان) به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۷۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد و پس از آن (درصورت نیاز) توسط کاغذ صافی واتمن (واتمن، ساخت ایران) صاف شد. ۱ میلی‌لیتر از محلول صاف‌شده با ۴ میلی‌لیتر محلول استخراج‌کننده، در داخل لولهٔ آزمایش به‌خوبی مخلوط شد. مقدار جذب مخلوط فوق در طول موج ۴۶۰ و ۵۲۵ نانومتر در اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد (محلول استخراج‌کننده به‌عنوان کنترل درنظرگرفته شد). حاصل تقسیم مقدار جذب در طول موج ۴۶۰ نانومتر بر مقدار جذب در طول موج ۵۲۵ نانومتر به‌عنوان شاخص قهوه‌ای‌شدن بیان شد.

ارزیابی حسی

ارزیابی حسی (عطروطعم، رنگ و آروما) به روش ۵ نقطه‌ای هدونیک با استفاده از یک مقیاس ساختاریافته؛ امتیازات ۱- ۵ (۱ بسیار بد؛ ۲ بد؛ ۳ متوسط؛ ۴ خوب؛ ۵ بسیارخوب) انجام گرفت. برای‌این‌منظور نمونه‌ها به‌صورت سوسپانسیون تهیه و با استفاده از ۸ کارشناس به‌طور مستقیم مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفتند (Bonvehí, 2005).

روش آماری

آزمایش‌های کیفی در سه تکرار و با استفاده از فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شدند. فاکتور اول دمای بودادن در ۳ سطح (۱۲۰، ۱۳۰ و ۱۴۰ درجهٔ سانتی‌گراد) و فاکتور دوم زمان بودادن در ۳ سطح (۲۰، ۳۰ و ۴۰ دقیقه) بود. تجزیه‌وتحلیل واریانس (ANOVA) با استفاده از نرم‌افزار آماری Mstatc[1] نسخهٔ ۱۱ انجام شد. از آزمون دانکن برای مقایسهٔ تفاوت بین میانگین مقادیر در سطح معنی‌داری ($P\leq$۰/۰۱) استفاده شد.

نتایج و بحث

تأثیر دما و زمان بودادن بر میزان آلکیل پیرازین‌ها و نسبت TMP/TrMP در پودر کاکائو

براساس نتایج آماری میزان آلکیل پیرازین‌ها و نسبت (TMP/TrMP[2]) نمونه‌ها در تیمارهای مختلف، اختلاف آماری بسیار معنی‌دار داشتند ($P\leq$۰/۰۱). در کاکائو پیرازین‌ها به وفور دردسترس‌بوده و می‌توانند به‌عنوان ردیاب برای عطروطعم کاکائو استفاده شوند (Farah & Zaibunnisa, 2012; Misnawi & Teguh, 2010). باتوجه‌به مطالعه‌های انجام‌شده، تشکیل پیرازین‌ها و غلظت آنها بسته به زمان و درجه‌حرارت بودادن تغییر می‌کند. مطابق نتایج به‌دست‌آمده در پژوهش حاضر، غلظت پیرازین‌ها با افزایش درجه‌حرارت از ۱۲۰ تا ۱۴۰ درجهٔ سانتی‌گراد افزایش یافت. این نتایج به احتمال زیاد به‌این‌دلیل است که عطروطعم کاکائو در درجه‌حرارت بالا بهتر ایجاد می‌شود اما اگر درجه‌حرارت بودادن خیلی بالا باشد، دانه‌های کاکائو می‌سوزند و عطروطعم سوختگی کاکائو را می‌پوشاند. این نتیجه با نتایج به‌دست‌آمده توسط سایر پژوهش‌ها مطابقت دارد (Farah & Zaibunnisa, 2012; Jinap *et al*., 1998; Misnawi & Teguh, 2010).

پودر کاکائوی بوداده‌شده در دمای ۱۴۰ درجهٔ سانتی‌گراد و زمان ۴۰ دقیقه، بیشترین مقدار تترامتیل پیرازین و تری‌متیل پیرازین (به‌ترتیب ۱۵۰۷۳/۲ و ۱۲۵۳۷/۲ پی‌پی‌بی) و پودر کاکائوی بوداده‌شده در دمای ۱۲۰ درجهٔ سانتی‌گراد و زمان ۲۰ دقیقه، کمترین مقدار تترامتیل پیرازین و تری‌متیل پیرازین را نشان داد (به‌ترتیب ۱۰۲۲۸/۵ و ۸۴۰۲/۱ پی‌پی‌بی) (جدول ۱).

مطالعهٔ انجام‌گرفته توسط Ramli و همکاران (۲۰۰۶) روی بودادن دانه‌های کاکائو در دماها (۱۲۰ تا ۱۷۰ درجهٔ سانتی‌گراد) و زمان‌های (۲۰ تا ۵۰ دقیقه) مختلف نشان داد

[1] Michigan State University
[2] Tetramethylpyrazine/Trimethylpyrazine

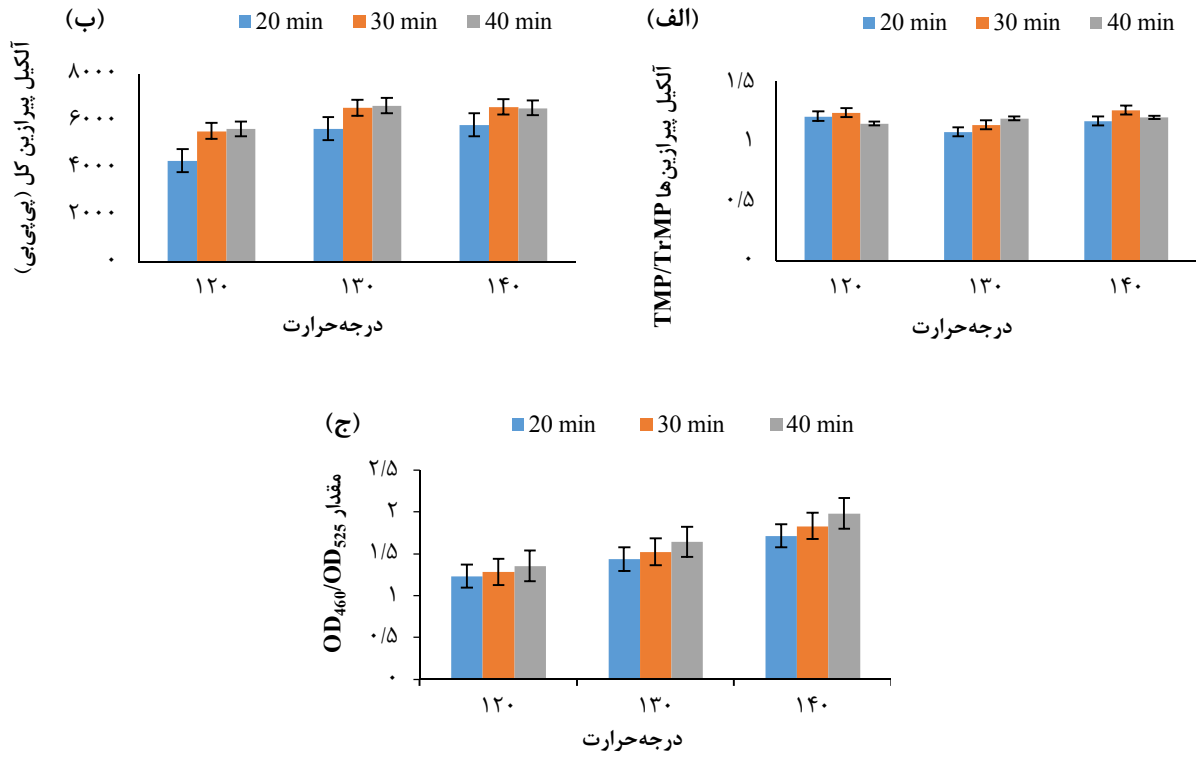
که یک ارتباط خطی بین دمای بودادن و تشکیل ترکیبات پیرازین وجود دارد. آنها دریافتند که دانه‌های کاکائوی بوداده‌شده در ۱۶۰ درجهٔ سانتی‌گراد به مدت ۴۰ دقیقه بالاترین مقدار تترامتیل پیرازین و دانه‌های کاکائوی بوداده‌شده در ۱۴۰ درجهٔ سانتی‌گراد به مدت ۴۰ دقیقه بالاترین میزان تری‌متیل پیرازین را تولید کردند. اهمیت و ارزش این مطالعه زیاد می‌باشد زیرا اهمیت بودادن دانه‌های کاکائو و افزایش ترکیبات عطروطعم از پیرازین‌ها، در طول بودادن را نشان می‌دهد (Ramli *et al.*, 2006).

جدول ۱- تأثیر شرایط مختلف بودادن روی مقدار آلکیل‌پیرازین‌ها (پی‌پی‌بی) در نمونه‌های پودر کاکائو*

نمونه		آلکیل‌پیرازین‌ها**						
دما (درجهٔ سانتی‌گراد)	زمان (دقیقه)	2-MP	2,3- DMP	2,5- DMP	2,3,5-TrMP	2,3,5,6-TMP	TMP/TrMP	پیرازین کل
۱۲۰	۲۰	۸۰۱/۲±۷/۶۱^{f}	۴۸۱/۶±۱۶/۲۸^{g}	۱۵۳۰/۰±۱۱/۶۰^{h}	۸۴۰۲/۰±۱۵/۷۷^{h}	۱۰۲۳۰/۰±۲۲/۹۰^{i}	۱/۲۱±۰/۰۰۴^{b}	۴۲۸۹±۰/۵۴^{c}
	۳۰	۷۹۳/۳±۱۰/۶۲^{f}	۸۳۶/۵±۲۳/۷۲^{e}	۲۹۵۶/۰±۱۸/۶۰^{e}	۱۰۳۳۰/۰±۱۴/۹۱^{g}	۱۲۸۷۰/۰±۲۸/۹۴^{d}	۱/۲۴±۰/۰۰^{a}	۵۵۵۶±۷/۵۱^{b}
	۴۰	۱۲۹۷/۰±۱۶/۹۸^{b}	۹۶۰/۹±۱۲/۴۶^{d}	۲۷۰۱/۰±۲۲/۸۹^{f}	۱۰۷۶۰/۰±۱۶/۳۴^{f}	۱۲۴۸۰/۰±۲۱/۹۴^{g}	۱/۱۵±۰/۰۰۴^{ef}	۵۶۴۰±۵/۱۸^{b}
۱۳۰	۲۰	۱۲۰۶/۰±۱۹/۵۲^{c}	۶۸۷/۴±۲۴/۱۵^{f}	۳۵۸۷/۰±۲۴/۶۰^{c}	۱۰۹۴۰/۰±۱۸/۷۲^{d}	۱۱۸۹۰/۰±۲۷/۹۸^{h}	۱/۰۸±۰/۰۰^{g}	۵۶۶۱±۱۸/۳۹^{b}
	۳۰	۱۱۲۹/۰±۲۷/۰۱^{d}	۱۶۲۳/۰±۱۲/۸۲^{b}	۶۲۸۱/۰±۱۵/۲۴^{a}	۱۱۰۳۰/۰±۳۱/۵۸^{c}	۱۲۶۷۰/۰±۲۰/۱۳^{f}	۱/۱۴±۰/۰۰۴^{f}	۶۵۴۸±۲/۹۶^{a}
	۴۰	۱۰۸۵/۰±۱۹/۵۷^{d}	۱۵۶۲/۰±۲۴/۷۸^{c}	۴۷۴۰/۰±۲۲/۵۰^{b}	۱۱۷۷۰/۰±۵/۳۰^{b}	۱۴۰۳۰/۰±۲۷/۳۲^{c}	۱/۱۹±۰/۰۰۴^{cd}	۶۶۳۷±۶/۷۴^{a}
۱۴۰	۲۰	۱۴۷۱/۰±۲۴/۲۶^{a}	۱۵۷۳/۰±۲۹/۴۶^{c}	۲۴۱۶/۰±۱۶/۱۰^{g}	۱۰۸۴۰/۰±۱۰/۲۵^{e}	۱۲۷۹۰/۰±۱۸/۳۱^{e}	۱/۱۷±۰/۰۰۴^{de}	۵۸۱۹±۵/۵۳^{b}
	۳۰	۱۲۱۳/۰±۲۶/۰۸^{c}	۱۶۴۴/۰±۱۰/۵۷^{ab}	۳۳۲۳/۰±۱۲/۹۹^{d}	۱۱۸۱۰/۰±۱۶/۸۰^{b}	۱۴۹۳۰/۰±۲۹/۲۰^{b}	۱/۲۶±۰/۰۰^{a}	۶۵۸۴±۷/۰۹^{a}
	۴۰	۹۶۷/۲±۲۲/۰۱^{e}	۱۶۷۸/۰±۱۶/۳۹^{a}	۲۴۳۰/۰±۲۱/۵۴^{g}	۱۲۵۴۰/۰±۲۴/۵۹^{a}	۱۵۰۷۰/۰±۲۴/۰۸^{a}	۱/۲۰±۰/۰۰^{bc}	۶۵۳۷±۱۰/۶۳^{a}

* اعداد، میانگین ± انحراف معیار از سه تکرار می باشد، حروف متفاوت نشان‌دهندهٔ وجود اختلاف معنی‌دار می‌باشد ($P\leq$۰/۰۱).

** ترکیبات MP : متیل‌پیرازین، DMP: دی‌متیل پیرازین، TrMP: تری‌متیل پیرازین، TMP: تترامتیل پیرازین و TMP/TrMP: نسبت تترامتیل پیرازین به تری‌متیل پیرازین می‌باشد.



شکل ۱- الف) نسبت بین آلکیل پیرازین‌ها در پودر کاکائو (TrMP-تری‌متیل پیرازین وTMP-تترامتیل پیرازین)؛ ب) محتوای آلکیل پیرازین کل در پودر کاکائو؛ ج) رنگ پودر کاکائو

بررسی پژوهش‌های مختلف نشان دادند که دمای بودادن کاکائو زمانی طبیعی است که نسبت TMP/TrMP برابر یا در حدود عدد ۱ باشد، دراین‌صورت محصول‌های کاکائو کیفیت عطروطعم مطلوبی را نشان می‌دهند. نسبت پایین‌تر از عدد ۱، نشان‌دهندهٔ توسعهٔ بیش‌ازاندازهٔ تری‌متیل پیرازین، بیشتربودن دمای فرایند بودادن کاکائو و حضور بوی سوختگی می‌باشد. این نسبت را می‌توان برای ارزیابی درجه‌حرارت مطلوب در فراوری کاکائو استفاده کرد (Bonvehí, 2005; Hashim & Chaveron, 1994; Huang & Barringer, 2010). این نسبت در تمام نمونه‌های پژوهش حاضر اعداد بین ۱ تا ۱/۲۶ بود (جدول ۱ و شکل ۱). نسبت TMP/TrMP در کاکائوی بوداده‌شده به‌طور عمده، بستگی به مقدار آلفا-آمینواسید اولیهٔ آزاد، pH محلول و فرایند بودادن (درجه‌حرارت، مدت زمان و مقدار قلیا و هوای واردشده در کاکائو) دارد. همچنین ممکن است که کاکائو در معرض یک روش بودادن نادرست تولید ترکیبات طعم نامطلوب نماید (Bonvehí, 2005).

تأثیر دما و زمان بودادن بر رنگ و کسرهای رنگ‌سنجی (مقدار OD_{460}/OD_{525}) در پودر کاکائو

رنگ به‌طور گسترده‌ای در لوبیای کاکائو به‌عنوان شاخص پیشرفت واکنش‌های قهوه‌ای‌شدن و کارامل‌سازی استفاده می‌شود و دما عامل اصلی این تغییرات است (Krysiak, 2006; Shakerardekani, Karim, Ghazali, & Chin, 2011; Żyżelewicz, Krysiak, Nebesny, & Budryn, 2014). در دانه‌های کاکائو نسبت OD_{460}/OD_{525} به‌عنوان شاخص قهوه‌ای‌شدن استفاده می‌شود (Afoakwa *et al.*, 2014). به گفتهٔ پژوهشگران، ازنظر کیفیت رنگ لوبیای کاکائوی بوداده‌شده، باید حداقل OD_{460}/OD_{525} ۱/۱ باشد. اگر این نسبت کمتر از ۱ باشد، نشانگر این است که کاکائو به درستی تخمیر و بوداده‌نشده است (Krysiak, 2006; Krysiak, Adamski, & Żyżelewicz, 2013). براساس نتایج آماری مشخصات رنگ و کسر رنگی نمونه‌ها در تیمارهای مختلف، اختلاف آماری معنی‌دار دارند ($P\leq$۰/۰۵). نتایج به‌دست‌آمده از مطالعهٔ حاضر و همچنین بررسی منابع نشان دادند که بیشترین حد سرعت فرایند قهوه‌ای‌شدن لوبیا توسط درجه‌حرارت و مدت زمان عمل حرارت‌دهی تعیین می‌شود (Krysiak *et al.*, 2013). در پژوهش حاضر نیز نتایج آزمایش‌ها نشان دادند (شکل ۱) که با افزایش دما و زمان بودادن شدت رنگ به‌طور معنی‌داری افزایش پیدا کرد و فقط در نمونه‌های ۱۴۰ درجهٔ سانتی‌گراد در زمان‌های ۳۰ و ۴۰ دقیقه افزایش رنگ معنی‌دار نبود. بالاترین شدت رنگ در بین نمونه‌های به‌دست‌آمده، طی بودادن در دمای ۱۴۰ درجهٔ سانتی‌گراد به مدت ۴۰ دقیقه و کمترین شدت رنگ مربوط به دمای ۱۲۰ درجهٔ سانتی‌گراد و زمان ۲۰ دقیقه به‌دست‌آمد. یافته‌های حاضر با نتایج حاصل از ارزیابی حسی برای رنگ ظاهری نمونه‌ها مطابقت دارد (جدول ۲ و ۳). به‌طوری‌که در دماها و زمان‌های بالاتر بودادن رنگ پودرهای کاکائو قهوه‌ای تیره‌تر بود و گروه ارزیاب حسی بالاترین امتیاز رنگ را به نمونهٔ مربوط به دمای ۱۴۰ درجهٔ سانتی‌گراد، زمان ۴۰ دقیقه دادند. Krysiak (۲۰۰۶) گزارش کرد این نسبت در لوبیای کاکائوی بوداده در ۱۳۵ و ۱۵۰ درجهٔ سانتی‌گراد، بیش از ۱/۱ بوده و به‌ظاهر مقدار آن وابسته به درجه‌حرارت و رطوبت نسبی هواست، رنگ لوبیای کاکائوی بوداده‌شده در این دماها نسبت به دماهای پایین‌تر، برتر بود (Krysiak, 2006) که مشابه نتایج به‌دست‌آمده در این پژوهش می‌باشد.

ترکیبات مسئول رنگ مناسب دانه‌ها هنوز به‌طور کامل شناخته نشده است. فرض می‌شود که رنگِ دانه‌های خام در طول فرایند تخمیر، از ترکیبات پلی‌فنولیک و آنتوسیانین‌ها باتوجه‌به تحولات مختلف، به‌صورت محصولات بسپارش[1] به اصطلاح فلوبافن‌ها[2] به‌دست می‌آید. این ترکیبات به تشکیل رنگ قهوه‌ای معمول دانه‌های کاکائو کمک می‌کند. در طول فرایند بودادن، تغییرات دیگری رخ می‌دهد که توسط واکنش‌های اکسیداسیون و پلیمریزاسیون پلی‌فنول‌ها و تجزیهٔ پروتئین‌ها ایجاد می‌شود. تشکیل رنگ مشخصهٔ دانه‌ها همچنین توسط واکنش‌های میلارد و دکسترینیزاسیون[3] نشاسته تحت‌تأثیر قرار می‌گیرد (Bednarski, 1986; Krysiak *et al.*, 2013).

افزایش شاخص قهوه‌ای‌شدن با افزایش زمان بودادن نیز ممکن است به‌دلیل افزایش تشکیل رنگدانهٔ قهوه‌ای در واکنش‌های میلارد، اکسیداسیون حرارتی و پلیمریزاسیون پلی‌فنول‌ها به شکل تانن (Afoakwa *et al.*, 2014; Nebesny & Rutkowski, 1998; Patras, Brunton,

[1] Polycondensation
[2] Phlobaphenes
[3] Dextrinization

O'Donnell, & Tiwari, 2010) و واکنش تخریب استرکر (Krysiak & Motyl-Patelska, 2006) در طول فرایند بودادن باشد. این یافته‌ها با نتایج سایر محققان (Bonvehi & Coll, 1997; Krysiak & Motyl-Patelska, 2006) سازگار می‌باشد.

جدول ۲- تغییرات رنگ پودرهای کاکائو در دماهای مختلف بودادن

دما (درجهٔ سانتی‌گراد)	۱۲۰	۱۳۰	۱۴۰
امتیاز رنگ	۱/۴۴±۰/۳۱^{b}	۱/۶۶±۰/۴۷^{b}	۳/۲۲±۰/۸۳^{a}

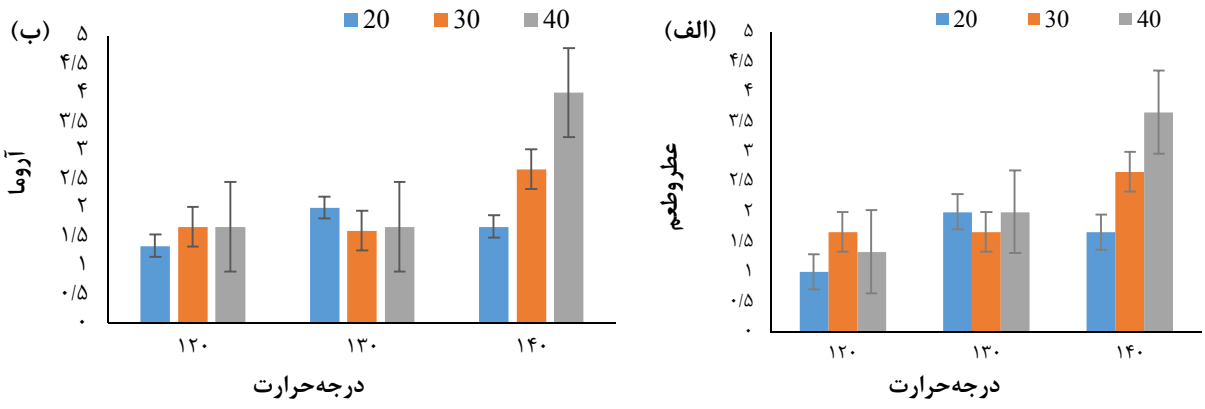
جدول ۳- تغییرات رنگ پودرهای کاکائو با زمان‌های مختلف بودادن

زمان(دقیقه)	۲۰	۳۰	۴۰
امتیاز رنگ	۱/۵۵±۰/۵۶^{b}	۲/۰۰±۰/۷۲^{b}	۲/۷۷±۱/۱۳^{a}

نتایج به دست‌آمده از ارزیابی حسی تیمارها

پذیرش و مقبولیت محصول‌های جدید ازطرف مصرف‌کننده‌ها همواره موجب نگرانی تولیدکنندگان بوده است. در این مطالعه، باتوجه‌به اینکه شرایط مختلف بودادن بیشتر بر عطروطعم، رنگ و آرومای محصول‌ها تأثیر گذاشت و این ویژگی‌ها جزء مهم‌ترین ویژگی‌های مؤثر در پذیرش کیفی توسط مصرف‌کننده است بنابراین در ارزیابی حسی پودرهای کاکائوی تولیدی این ویژگی‌ها موردبررسی قرار گرفت. نتایج به‌دست‌آمده از تجزیهٔ واریانس نمونه‌ها نشان دادند که تأثیر دما، زمان بودادن بر عطروطعم، رنگ و آرومای کاکائو معنی‌دار بود اما اثر متقابل دما و زمان روی رنگ معنی‌دار نبوده ($P>۰/۰۵$)، درحالی‌که بر عطروطعم و آرومای معنی‌دار بود ($P<۰/۰۱$). همان‌طورکه در شکل (۲) قابل مشاهده است، بیشترین امتیاز عطرو طعم (۴) مربوط به نمونهٔ بوداده‌شده در ۱۴۰ درجهٔ سانتی‌گراد به مدت ۴۰ دقیقه بود. در دماهای پایین یا زمان‌های کم بودادن، نمونه‌های کاکائو عطروطعم و آرومای ضعیف‌تری را نشان دادند. نتایج گزارش‌شده توسط Hii، Menon، Chiang و Sharif (۲۰۱۷) نیز با نتایج حاصل از پژوهش حاضر مطابقت دارد. آنها کاکائو را به مدت ۴۰ دقیقه در دماهای ۱۲۰، ۱۳۰ و ۱۴۰ درجهٔ سانتی‌گراد بو دادند و گزارش کردند که تمایل داوران چشایی آموزش‌دیده به نمونهٔ ۱۴۰ درجهٔ سانتی‌گراد، به‌عنوان بالاترین امتیاز طعم کاکائو و بالعکس برای ۱۲۰ درجهٔ سانتی‌گراد وجود دارد (Hii *et al.*, 2017). درحالی‌که در پژوهش انجام‌شده توسط Akinoso و Adeyanju (۲۰۱۲) نتایج متفاوتی گزارش شده است. در نتایج آنها امتیاز بالاتر پذیرش حسی از دماهای بودادن ۹۰ تا ۱۱۰ درجهٔ سانتی‌گراد به‌دست‌آمد. ازسوی‌دیگر، پذیرش حسی برای نمونه‌های به‌دست‌آمده از درجه‌حرارت بالا (۱۵۰ تا ۱۶۰ درجهٔ سانتی‌گراد)، از لحاظ عطروطعم، بافت و کیفیت کلی به‌طور قابل‌توجهی پایین‌تر بود (Akinoso & Adeyanju, 2012).

گروه ارزیاب حسی بالاترین امتیاز آروما (۳/۶۶) را به نمونهٔ کاکائوی بوداده‌شده در دمای ۱۴۰ درجهٔ سانتی‌گراد و زمان ۴۰ دقیقه دادند. ازنظر آنها بین نمونه‌های بوداده‌شده در دماهای ۱۲۰ و ۱۳۰ درجهٔ سانتی‌گراد و یا زمان‌های ۲۰ و ۳۰ دقیقه ازنظر آروما تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد و این نمونه‌ها امتیاز آرومای پایین‌تری کسب کردند (شکل ۲).



شکل ۲- اثر فرایند بودادن بر الف) عطرو طعم و ب) آروما

تغییرات رنگ پودرهای کاکائو در دماها و زمان‌های مختلف بودادن در جدول‌های (۲) و (۳) قابل مشاهده است. همان‌طورکه مشاهده می‌شود نتایج حاصل از گروه ارزیاب حسی (جدول‌های ۲ و ۳) با نتایج آنالیز رنگ نمونه‌ها (شکل ۱) مطابقت دارد. طبق پژوهش‌های انجام‌گرفته، دما عامل اصلی رنگ کاکائوی بوداده است (Özdemir & Devres, 2000). Yoo ،Lee ،Lee ،Kwon و Pyun (۲۰۰۱) گزارش کردند که دینامیک شکل‌گیری رنگدانه‌ها پس از بودادن بستگی به گرادیان دمایی دارد. مطالعهٔ انجام‌شده توسط Krysiak (۲۰۰۶) نشان داد که نسبت آنتوسیانین رنگدانهٔ زرد و قهوه‌ای در کاکائو، وابسته به شرایط بودادن بوده و رنگ پیوسته با دمای بودادن افزایش می‌یابد. همچنین گزارش شده است که سرعت فرایند قهوه‌ای‌شدن براساس درجه‌حرارت و مدت زمان حرارت‌دهی تعیین می‌شود (Krysiak *et al*., 2013).

نتیجه‌گیری

تشکیل ترکیبات رنگ و عطروطعم پودر کاکائو در طی واکنش میلارد، به شرایط فرایند بودادن به‌ویژه زمان و درجه‌حرارت بستگی دارد. بنابراین، با بهبود پارامترهای بودادن، می‌توان رنگ و خاصیت عطروطعم پودر کاکائو را تغییر داد. پودر کاکائو در زمان‌ها و دماهای مختلف تحت عمل بودادن قرار گرفت و ویژگی‌های رنگ، کسرهای رنگی، محتوای آلکیل پیرازین و ویژگی‌های حسی آن موردبررسی قرار گرفت. فرایند بودادن محتوای آلکیل پیرازین، رنگ و ویژگی‌های حسی را تحت‌تأثیر قرار داد. افزایش دمای بودادن تا ۱۴۰ درجهٔ سانتی‌گراد و افزایش زمان بودادن تا ۴۰ دقیقه باعث افزایش شاخص قهوه‌ای‌شدن (مقدار OD_{460}/OD_{525}) و ظهور رنگ تیره‌تری شد. همچنین این تیمار دارای محتوای بالایی از آلکیل پیرازین کل و تترامتیل پیرازین بود که درحالت‌کلی، در مقایسه با سایر تیمارها می‌تواند به‌عنوان یک تیمار مناسب درنظرگرفته شود.

تقدیر و تشکر

این مطالعه توسط شرکت شیرین عسل (شرکت پودر کاکائو در تبریز، ایران) پشتیبانی شد. نویسندگان از آقای یونس ژاله (مدیر اجرایی شرکت شیرین عسل) برای ارائه امکانات انجام پژوهش تشکر و قدردانی می‌نمایند.

منابع

محمدی‌الستی، ف.، آصفی، ن.، ملکی، ر.، و سیدلوهریس، س. (۱۳۹۹). بررسی مواد آرومای مطلوب و ترکیبات پلی‌فنولی کل در فرایند تولید پودر کاکائو. *پژوهش و نوآوری در علوم و صنایع غذاییف* ۹(۲)، ۱۶۱-۱۷۴. doi:https://doi.org/10.22101/jrifst.2020.212043.1133

Afoakwa, E. O., Budu, A. S., Mensah-Brown, H., Takrama, J., & Ofosu-Ansah, E. (2014). Effect of roasting conditions on the browning index and appearance properties of pulp pre-conditioned and fermented cocoa (Theobroma Cacao) beans. *J Nutr Health Food Sci, 2*(1), 1-5. doi:http://dx.doi.org/10.15226/jnhfs.2014.00110

Afoakwa, E. O., Paterson, A., Fowler, M., & Ryan, A. (2008). Flavor formation and character in cocoa and chocolate: a critical review. *Critical reviews in food science and nutrition, 48*(9), 840-857. doi:https://doi.org/10.1080/10408390701719272

Akinoso, R., & Adeyanju, J. A. (2012). Optimization of edible oil extraction from ofada rice Bran using response surface methodology. *Food and Bioprocess Technology, 5*, 1372-1378. doi:https://doi.org/10.1007/s11947-010-0456-8

Aprotosoaie, A. C., Luca, S. V., & Miron, A. (2016). Flavor chemistry of cocoa and cocoa products-an overview. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 15*(1), 73-91. doi:https://doi.org/10.1111/1541-4337.12180

Beckett, S. T. (2009). *Industrial Chocolate Manufacture and Use* (4th Ed.): Blackwell Publishing Ltd.

Bednarski, W. (1986). Principles of food technology. *Olszt Ed Art, 175*.

Bonvehí, J. S. (2005). Investigation of aromatic compounds in roasted cocoa powder. *European Food Research and Technology, 221*(1), 19-29. doi:https://doi.org/10.1007/s00217-005-1147-y

Bonvehi, J. S., & Coll, F. V. (1997). Evaluation of bitterness and astringency of polyphenolic compounds in cocoa powder. *Food chemistry, 60*(3), 365-370. doi:https://doi.org/10.1016/S0308-8146(96)00353-6

Crafack, M., Keul, H., Eskildsen, C. E., Petersen, M. A., Saerens, S., Blennow, A., . . . Heimdal, H. (2014). Impact of starter cultures and fermentation techniques on the volatile aroma and sensory profile of chocolate. *Food Research International, 63*(Part C), 306-316. doi:https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.04.032

Dietrich, P., Stoll, M., Lederer, E., & Winter, M. (1964). Recherches sur aromes. *Helvetica Chimica Acta, 47*(6), 1581-1590.

Farah, D., & Zaibunnisa, A. (2012). Optimization of cocoa beans roasting process using Response Surface Methodology based on concentration of pyrazine and acrylamide. *International Food Research Journal, 19*(4), 1355-1359.

Harrington, W. L. (2011). *The effects of roasting time and temperature on the antioxidant capacity of cocoa beans from Dominican Republic, Ecuador, Haiti, Indonesia, and Ivory Coast.* (Master's thesis), University of Tennessee, Knoxville, Retrieved from https://trace.tennessee.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2045&context=utk_gradthes

Hashim, L., & Chaveron, H. (1994). Extraction and determination of methylpyrazines in cocoa beans using coupled steam distillation-microdistillator. *Food Research International, 27*(6), 537-544. doi:https://doi.org/10.1016/0963-9969(94)90139-2

Hii, C. L., Menon, A. S., Chiang, C. L., & Sharif, S. (2017). Kinetics of hot air roasting of cocoa nibs and product quality. *Journal of Food Process Engineering, 40*(3), e12467. doi:https://doi.org/10.1111/jfpe.12467

Huang, Y., & Barringer, S. A. (2010). Alkylpyrazines and other volatiles in cocoa liquors at pH 5 to 8, by selected ion flow tube-mass spectrometry (SIFT-MS). *Journal of food science, 75*(1), C121-C127. doi:https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2009.01455.x

Jinap, S., Rosli, W. W., Russly, A., & Nordin, L. (1998). Effect of roasting time and temperature on volatile component profiles during nib roasting of cocoa beans (Theobroma cacao). *Journal of the Science of Food and Agriculture, 77*(4), 441-448. doi:https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0010(199808)77:4<441::AID-JSFA46>3.0.CO;2-%23

Kongor, J. E., Hinneh, M., Van de Walle, D., Afoakwa, E. O., Boeckx, P., & Dewettinck, K. (2016). Factors influencing quality variation in cocoa (Theobroma cacao) bean flavour profile-A review. *Food Research International, 82*, 44-52. doi:https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.01.012

Krähmer, A., Engel, A., Kadow, D., Ali, N., Umaharan, P., Kroh, L. W., & Schulz, H. (2015). Fast and neat–Determination of biochemical quality parameters in cocoa using near infrared spectroscopy. *Food chemistry, 181*, 152-159. doi:https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.02.084

Krysiak, W. (2006). Influence of roasting conditions on coloration of roasted cocoa beans. *Journal of Food Engineering, 77*(3), 449-453. doi:https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.07.013

Krysiak, W., Adamski, R., & Żyżelewicz, D. (2013). Factors affecting the color of roasted cocoa bean. *Journal of Food Quality, 36*(1), 21-31. doi:https://doi.org/10.1111/jfq.12009

Krysiak, W., & Motyl-Patelska, L. (2006). Effects of air parameters on changes in temperature inside roasted cocoa beans. *Acta Agrophysica, 7*(1), 113-127.

Lee, S.-Y., Yoo, S.-S., Lee, M.-J., Kwon, I.-B., & Pyun, Y.-R. (2001). Optimization of nibs roasting in cocoa bean processing with lotte-better taste and color process. *Food Science and Biotechnology, 10*(3), 286-293.

Magi, E., Bono, L., & Di Carro, M. (2012). Characterization of cocoa liquors by GC–MS and LC–MS/MS: focus on alkylpyrazines and flavanols. *Journal of mass spectrometry, 47*(9), 1191-1197. doi:https://doi.org/10.1002/jms.3034

Misnawi, J., & Teguh, W. (2010). *Cocoa chemistry and technology*: Lambert Academic Publishing.

Mohamadi Alasti, F., Asefi, N., Maleki, R., & Seiiedlou Heris, S. S. (2020). The Evaluation of Desirable Aromatic Components and Polyphenolic Compounds in the Process of Cocoa Powder Production. *Research and Innovation in Food Science and Technology, 9*(2), 161-174. doi:https://doi.org/10.22101/JRIFST.2020.212043.1133 (in Persian)

Nazaruddin, R., Suriah, A. R., Osman, H., Ayub, M. Y., Mamot, S., Lim, L. S., & NG, W. F. (2000). Caffein and theobromine levels in chocolate couverture and coating products. *Malaysian journal of nutrition, 6*(1), 55-63.

Nebesny, E., & Rutkowski, J. (1998). Effect of roasting and secondary fermentation on cocoa bean enrichment. *Polish journal of food and nutrition sciences, 48*(3), 437-445.

Oracz, J., & Nebesny, E. (2014). Influence of roasting conditions on the biogenic amine content in cocoa beans of different Theobroma cacao cultivars. *Food Research International, 55*, 1-10. doi:https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.10.032

Özdemir, M., & Devres, O. (2000). Analysis of color development during roasting of hazelnuts using response surface methodology. *Journal of Food Engineering, 45*(1), 17-24. doi:https://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00036-4

Patras, A., Brunton, N. P., O'Donnell, C., & Tiwari, B. K. (2010). Effect of thermal processing on anthocyanin stability in foods; mechanisms and kinetics of degradation. *Trends in Food Science & Technology, 21*(1), 3-11. doi:https://doi.org/10.1016/j.tifs.2009.07.004

Ramli, N., Hassan, O., Said, M., Samsudin, W., & Idris, N. A. (2006). Influence of roasting conditions on volatile flavor of roasted Malaysian cocoa beans. *Journal of food processing and preservation, 30*(3), 280-298. doi:https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2006.00065.x

Rodriguez-Campos, J., Escalona-Buendía, H., Contreras-Ramos, S., Orozco-Avila, I., Jaramillo-Flores, E., & Lugo-Cervantes, E. (2012). Effect of fermentation time and drying temperature on volatile compounds in cocoa. *Food chemistry, 132*(1), 277-288. doi:https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.10.078

Sacchetti, G., Ioannone, F., De Gregorio, M., Di Mattia, C., Serafini, M., & Mastrocola, D. (2016). Non enzymatic browning during cocoa roasting as affected by processing time and temperature. *Journal of Food Engineering, 169*, 44-52. doi:https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.08.018

Schultz, T. H., Flath, R. A., Mon, T. R., Eggling, S. B., & Teranishi, R. (1977). Isolation of volatile components from a model system. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 25*(3), 446-449. doi:https://doi.org/10.1021/jf60211a038

Shakerardekani, A., Karim, R., Ghazali, H. M., & Chin, N. L. (2011). Effect of roasting conditions on hardness, moisture content and colour of pistachio kernels. *International Food Research Journal, 18*, 723-729.

Ziegleder, G. (2017). *chapter 8: Flavour development in cocoa and chocolate*: WILEY Blackwell.

Żyżelewicz, D., Krysiak, W., Nebesny, E., & Budryn, G. (2014). Application of various methods for determination of the color of cocoa beans roasted under variable process parameters. *European Food Research and Technology, 238*(4), 549-563. doi:https://doi.org/10.1007/s00217-013-2123-6

ZZaMan, W., & Yang, T. A. (2013). Effect of superheated steam and convection roasting on changes in physical properties of cocoa bean (Theobroma cacao). *Food science and technology research, 19*(2), 181-186. doi:https://doi.org/10.3136/fstr.19.181

Evaluation of Changes in Alkyl Pyrazines, Color and Sensory Properties of Cocoa Powder under Different Roasting Conditions

Samaneh Ebrahimzadegan[1], Narmela Asefi[2*], Ramin Maleki[3], Seiied Sadegh Seiiedlou Heris[4]

1- PhD. Student, Department of Food Science and Technology, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran
2- Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran
* Corresponding author (n.asefi@iaut.ac.ir)
3- Assistant Professor, Department of Analytical Chemistry-Chromatography, Iranian Academic Center for Education, Culture & Research (ACECR), Urmia Branch, Urmia, Iran
4- Associate Professor, Department of Biosystems Engineering, Tabriz University, Tabriz, Iran

Abstract

Cocoa is an important product in the world and the raw material for the production of cocoa powder, which is widely used in the chocolate and food industries. Its value and quality are related to its unique and complex flavor combinations. The most important of these compounds are pyrazines, which are known to be the key components of the cocoa flavor. Since roasting is one of the most important steps in the process of producing cocoa powder, in the present study, the effect of roasting temperature (120, 130 and 140 °C) and time (20, 30 and 40 min) on flavor (alkyl pyrazines), color and sensory properties of cocoa powder were studied as the most important characteristics of cocoa quality and acceptability. Alkyl pyrazine compounds were analyzed by gas chromatography-mass spectrometry. The results showed that by changing the roasting temperature and time, the browning index (OD_{460}/OD_{525}) ($P\leq0.05$) as well as the amount of alkyl pyrazines changed significantly ($P\leq0.01$). Roasted cocoa powder at 140 °C for 40 min showed the highest browning index, tetra-methyl pyrazine to tri-methyl pyrazine (TMP/TrMP) ratio and sensory evaluation score compared to other samples.

Keywords: Alkyl pyrazine, Cocoa powder, Color, Roasting