

پایداری بلورهای کربنات کلسیم تشکیل شده طی کربناسیون دوم در تصفیه شربت خام چغندر قند

بیوک آقا فرمانی^{۱*}، محسن اسمعیلی^۲، صمد بدبدک^۳، افشین قنبریور^۴ و حبیب نویدی فر^۲

تاریخ دریافت: ۹۳/۷/۲۶ تاریخ پذیرش: ۹۴/۱/۱۶

^۱ دانشجوی دکتری علوم و صنایع غذایی، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

^۲ دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

^۳ دانشجوی دکتری علوم و صنایع غذایی، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

^۴ به ترتیب مدیر و کارشناس کارخانه قند میاندوآب، شرکت پانیز فام

*مسئول مکاتبه: E-mail: farmani86@yahoo.com

چکیده

در این تحقیق، تاثیر غلظت‌های مختلف دی‌اکسید کربن (برای رسیدن به pHهای ۱۰/۵، ۱۰/۲، ۹/۹، ۹/۶، ۹/۳، ۹، ۸/۷، ۸/۴) در دماهای مختلف (۹۰، ۹۵ و ۱۰۰ °C) بر خصوصیات کیفی شربت کربناسیون اول مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور پایداری بلورهای کربنات کلسیم تشکیل شده در طی فرآوری شربت کربناسیون اول با اندازه‌گیری قلیابیت موثر، سختی کل، رنگ، درجه خلوص و خاکستر کل در شربت کربناسیون دوم مورد ارزیابی قرار گرفت. قلیابیت موثر مناسب (۰/۱۲ gCaO/۱۰۰mL در ۱۰۰ °C) و پایین‌ترین مقدار سختی کل (۳۰ gCaO/۱۰۰mL در ۱۰۰ °C) برای شربت کربناسیون دوم به ترتیب در pHهای ۹/۳ و ۹ بدست آمدند. همچنین مشاهده شد که مقدار رنگ شربت کربناسیون دوم با کاهش pH کاهش یافته و پایین‌ترین مقدار رنگ (۱۱۲۱/۱۵ ICU در ۱۰۰ °C) در pH ۸/۷ بدست آمد. پایین‌ترین مقدار خاکستر کل (۹۰/۸۱ ICU در ۱۰۰ °C) و بالاترین درجه خلوص شربت کربناسیون دوم در pHهای ۹/۳ بدست آمد. با توجه به پارامترهای فیزیکی شیمیایی متفاوت در pHهای مختلف، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که دمای بالاتر (۱۰۰ °C) روی صفات مورد بررسی موثرتر بودند. در نهایت، می‌توان ذکر کرد که بهترین تیمار در pH ۹/۳ و دمای ۱۰۰ °C بود. با در نظر گرفتن نتایج این تحقیق، برای پایداری بلورهای کربنات کلسیم تشکیل شده (شکل پایدار) $pH \leq 9/3$ پیشنهاد گردید، زیرا pH کمتر از ۹/۳ منجر به تشکیل بیکربنات کلسیم (شکل ناپایدار) از کربنات کلسیم (شکل پایدار) می‌گردد.

واژگان کلیدی: شربت خام چغندر قند، شربت کربناسیون دوم، بلورهای کربنات کلسیم، سختی کل، خاکستر کل

مقدمه

است که این ترکیبات در اثر استفاده از آب با دمای بالا در دیفوزیون از خلال‌های چغندر قند استخراج می‌شوند. بنابراین، کیفیت چغندر قند تاثیر معنی‌داری بر کارایی تولید شکر دارد. روش متداول تولید شکر از ریشه‌های چغندر قند شامل چندین مرحله اصلی؛ شامل شستشو،

شربت خام استخراجی از خلال‌های چغندر قند حاوی ساکاروز و ناخالصی‌های غیرقندی گوناگون (ترکیبات رنگی، اسیدهای آمینه، پکتین‌ها، مواد معدنی و غیره)

بیکربنات کلسیم در شربت کربناسیون دوم، شربت کربناسیون اول حاصل از دستگاه کلاریفایر، قبل از وارد شدن به داخل تانک کربناسیون دوم توسط گرم کننده‌های کربناسیون دوم تا حدود 92°C حرارت داده می‌شود (اسعدی ۲۰۰۷). واندرپولو همکاران (۱۹۹۸) گزارش کردند که گارزنی بیش از حد شربت در کربناسیون اول در مرحله کربناسیون دوم، با حلالیت کربنات کلسیم، باعث تشکیل بیکربنات کلسیم می‌شود و این پدیده موجب افت درجه خلوص شربت صاف شده^۲ می‌گردد. به هر حال، آهک‌زدایی واقعی زمانی کامل می‌گردد که همه کربنات کلسیم تشکیل شده به شکل بلور از محیط عمل خارج گردد (بی‌نام ۲۰۰۵).

از آنجایی که قلیائیت طبیعی چغندر و درجه خلوص شربت خام بر روند تصفیه اثرگذار است. قلیائیت طبیعی چغندر خود به عوامل محیطی کشت چغندر بستگی دارد، در نتیجه ممکن است شرایط بهینه کربناسیون دوم بسته به منطقه کشت چغندر قند متفاوت باشد. هدف از مطالعه‌ی حاضر ارزیابی اثر دماهای مختلف (۹۰، ۹۵ و 100°C) با مقادیر متفاوت غلظت دی‌اکسید کربن اضافه‌شده جهت کاهش pH شربت حاصل از کربناسیون اول به pHهای ۱۰/۵، ۱۰/۲، ۹/۹، ۹/۶، ۹/۳، ۹، ۸/۷، ۸/۴ و ۸/۱ روی خصوصیات کیفی شربت کربناسیون دوم به ویژه قلیائیت موثر، سختی کل، رنگ، درجه خلوص و خاکستر کل به روش هدایت سنجی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

نمونه شربت کربناسیون اول

مقادیر لازم شربت کربناسیون اول از خط تولید کارخانه قند میاندوآب، شربت خروجی دستگاه کلاریفایر نمونه‌برداری شد.

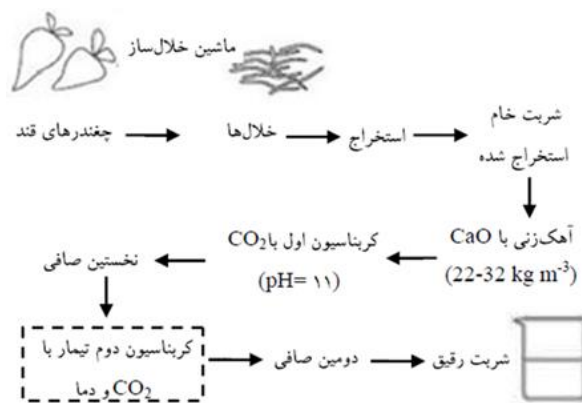
تهیه خلال، تیمار حرارتی خلال چغندر، استخراج عصاره‌ی سلولی در آب داغ ($70-75^{\circ}\text{C}$) در دیفوزیون، تصفیه شربت خام با روش آهک-دی‌اکسید کربن، رنگبری شربت با روش سولفیتاسیون، تبخیر و تغلیظ شربت رقیق با تبخیرکننده چندبندنه‌ای و کریستالیزاسیون شربت غلیظ است (اسعدی ۲۰۰۷؛ واندرپول و همکاران ۱۹۹۸). روش رایج تصفیه استفاده از آهک-دی‌اکسید کربن برای حذف انواع ناخالصی‌های غیرقندی موجود در شربت خام استخراج شده جهت افزایش درجه خلوص و کاهش ناخالصی‌هایی مانند ترکیبات هیدروکلویدی، پروتئین‌ها، رنگ و غیره استفاده می‌باشد (اسعدی ۲۰۰۷؛ واندرپول و همکاران ۱۹۹۸ و میتچل ۱۹۵۰). غلظت بالای ساکاروز و غلظت پایین مواد غیر ساکاروزی در شکر تولید شده شاخص مهمی جهت ارزیابی روش‌های مختلف تولید شکر می‌باشد (کنتر و هافمن ۲۰۰۹). کیفیت شربت خام اولیه، تعیین کننده مقدار آهک مورد نیاز برای خالص‌سازی موثر است که از $7-10 \text{ kg CaO m}^{-3}$ شربت خام (با درجه خلوص بالاتر) تا $12-15 \text{ kg CaO m}^{-3}$ شربت خام (با درجه خلوص پایین‌تر) تغییر می‌کند (دکلوکس ۲۰۰۳). هزینه آهک مورد استفاده برای خالص‌سازی بخش مهمی از هزینه‌های عملیاتی در فرآیند تصفیه شربت خام را به خود اختصاص می‌دهد (واندرپول و همکاران ۱۹۹۸). بهبود درجه خلوص شربت خام استخراجی برای کاهش مصرف آهک مورد نیاز طی خالص‌سازی ضروری است به شرطی که تاثیر منفی بر کیفیت شربت تصفیه شده نهایی نداشته باشد (لوگینوا و همکاران ۲۰۱۲).

کربناسیون دوم یکی از مهم‌ترین مراحل خالص‌سازی شربت خام چغندر قند است. در مرحله کربناسیون دوم، گاز دی‌اکسید کربن به شربت کربناسیون اول صاف و گرم شده تزریق می‌گردد تا شربت کربناسیون دوم با شرایط بهینه (pH ۹-۹/۲ و قلیائیت موثر 100 mL gCaO) بدست آید. به منظور جلوگیری از تشکیل

1- Overcarbonation
2- Clarified juice

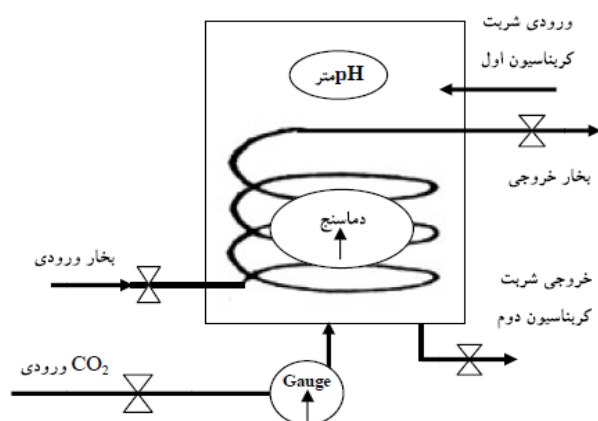
پایلویت پلنت کربناسیون دوم

شمای کلی استخراج شربت خام از خلال چغندر قند و تصفیه در شکل ۱ آورده شده است. این مراحل شامل تهیه خلال چغندر قند، استخراج شربت خام از خلال با آب داغ ($70-75^{\circ}\text{C}$) در دیفوزیون، آهک زنی اولیه (kg CaO m^{-3} $2/2-2/3$ ، $40-45^{\circ}\text{C}$ تا pH $11/15$)، آهک زنی اصلی (kg CaO m^{-3} $8/8-9/28$ ، $40-45^{\circ}\text{C}$ تا pH $12/38$)، کربناسیون اول (85°C تا pH 11) و کربناسیون دوم (محل انجام آزمایشات) می باشد.



شکل ۱- شمای کلی استخراج و تصفیه شربت خام چغندر قند (تیمار شربت کربناسیون اول با CO_2 برای رسیدن pH به $10/5$ ، $10/2$ ، $9/9$ ، $9/6$ ، $9/3$ ، $8/7$ ، $8/4$ و $8/1$ در دماهای 90 ، 95 و 100°C)

پخش کننده گاز نصب شده در قسمت پایین رآکتور با فشار $7/25$ psi تا رسیدن pH شربت کربناسیون اول به pH های مورد نظر ($10/5$ ، $10/2$ ، $9/9$ ، $9/6$ ، $9/3$ ، 9 ، $8/7$ ، $8/4$ و $8/1$) در هر یک از دماهای 90 ، 95 و 100°C به طور جداگانه تزریق گردید (در صورت امکان دماهای بالاتر نیز قابل بررسی می باشد). بعد از هر تیمار حدود 500 mL نمونه شربت برداشته و به مدت 10 min روی سکوی آزمایشگاهی گذاشته شد تا رسوبات ته نشین گردند. قسمت زلال بالایی نمونه ها با کمک کاغذ صافی معمولی دولایه آزمایشگاهی صاف شد. سپس خصوصیات فیزیکوشیمیایی نمونه های صاف شده بررسی گردید.



شکل ۲- شمای دستگاه پایلویت پلنت کربناسیون دوم برای تیمار شربت کربناسیون اول

تجهیزات و مواد شیمیایی آزمایشگاهی

جهت اندازه گیری قلیابیت موثر از روش تیتراسیون به وسیله اسید هیدروکلرید $0/035$ نرمال در مجاورت معرف فنل فتالین، اندازه گیری سختی کل از روش تیتراسیون به وسیله محلول اتیلن دی آمین تترا استیک اسید $0/02$ نرمال در مجاورت معرف اریوکروم بلک-تی، جهت اندازه گیری رنگ از دستگاه تالامتر در طول موج 420 nm ($\lambda=420$ (اسعدی ۲۰۰۷))، اندازه گیری خاکستر کل از روش هدایت سنجی از هدایت سنج الکتریکی (اسعدی ۲۰۰۷)، تعیین درجه خلوص شربت از روش

برای انجام آزمایشات کربناسیون دوم پایلویت پلنت^۱ طراحی شد که شمای ساده آن در شکل ۲ دیده می شود. پایلویت پلنت کربناسیون دوم شامل: مخزن کربناسیون دوم به حجم 50 لیتر، مجهز به کویل بخار (مشخصات بخار ورودی، دما 120°C با فشار 120 bar $0/5$)، دماسنج تلسکوپي، pH متر دیجیتالی، فشارسنج و پخش کننده گاز CO_2 بود. برای انجام عمل کربناسیون دوم، ابتدا 40 L شربت کربناسیون اول از دستگاه کلاریفایر خط تولید کارخانه قند میاندوآب برداشته و به مخزن کربناسیون دوم انتقال یافت. سپس CO_2 از طریق

کلسیم بوده و در نهایت همراه بلورها آن رسوب می‌کند (دیوایس ۲۰۰۱).

تغییرات قلیابیت شربت کربناسیون دوم

عوامل موثر در مقدار قلیابیت شربت کربناسیون دوم شامل مقدار کل یون‌های کربنات (CO_3^{2-})، بیکربنات (HCO_3^-)، هیدروکسیدها (OH^-) همراه با یون‌های Ca، Mg، Na و K است (اسعدی ۲۰۰۷). پیشنهاد شده است که برای تعیین قابلیت آهکزدایی در شربت‌های آهک-خورده از قلیابیت موثر به جای قلیابیت طبیعی استفاده شود. قلیابیت طبیعی شربت آهک‌خورده با تیتراسیون به وسیله اسید هیدروکلریک (۰/۱ N) تا pH ۸ و قلیابیت موثر شربت آهک‌خورده با تیتراسیون به وسیله اسید هیدروکلریک تا pH ۹/۲۵ به دست می‌آید (بی‌نام ۲۰۰۵). شکل ۳ تاثیر تغییرات pH در دماهای مختلف را بر میزان قلیابیت موثر شربت کربناسیون دوم نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود قلیابیت موثر شربت کربناسیون دوم با افزایش غلظت CO_2 به طور خطی کاهش می‌یابد. این تغییرات را می‌توان به تشکیل کربنات کلسیم در اثر واکنش بین هیدروکسید کلسیم و گاز CO_2 طی مرحله کربناسیون دوم نسبت داد. مطابق یافته‌های سایر محققین در مقادیر بالای قلیابیت موثر، تشکیل بلورهای کربنات کلسیم طی مرحله کربناسیون دوم افزایش می‌یابد (بشیری و همکاران ۲۰۰۷). به جز pHهای ۱۰/۵ و ۹/۶، با افزایش دما از ۹۰ به ۱۰۰ °C مقادیر قلیابیت در بقیه‌ی سطوح pH اختلاف معنی‌داری ($P \leq 0/05$) نشان ندادند (شکل ۳).

غییرات سختی کل شربت کربناسیون دوم

سختی (نمک‌های آهک) به صورت مقدار نمک‌های محلول مانند کربنات کلسیم، اگزالات کلسیم و کربنات منیزیوم در شربت کربناسیون دوم تعریف می‌شود، که طی فرآیند کربناسیون دوم حذف نمی‌شود. سختی مشکلاتی را در فرآیندهای بعدی تولید شکر به وجود می‌آورد. به عنوان مثال، مقداری سختی (به خاطر تغییر

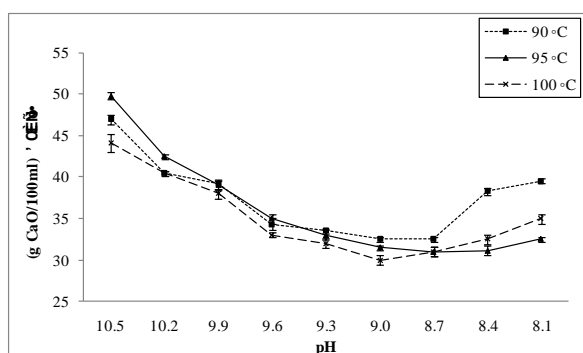
پلاریمتری با استفاده از ساکاریمتر در طول موج nm $\lambda=587$ (اسعدی ۲۰۰۷)، اندازه‌گیری مقدار مواد جامد محلول کل از دستگاه رفاکتومتر رومیزی (اسعدی ۲۰۰۷)، جهت اندازه‌گیری pH از دستگاه pH متر (اسعدی ۲۰۰۷)، ترازوی دیجیتالی و مواد شیمیایی استفاده شده در این پژوهش ساخت شرکت مرک بودند.

روش تجزیه و تحلیل آماری

برای بررسی اثر فاکتورهای دما و pH روی ویژگی‌های مورد بررسی از روش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی استفاده شد. بررسی اثرات اصلی و متقابل فاکتورهای مورد آزمون (pH و دما) بر خصوصیات فیزیکیوشیمیایی شربت کربناسیون دوم با آنالیز واریانس (ANOVA) و مقایسه میانگین‌ها با روش حداقل میانگین مربعات در سطح احتمال $P \leq 0/05$ انجام شد. آزمایشات در سه تکرار انجام شد. تجزیه و تحلیل آماری نتایج با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۱، و رسم منحنی‌ها با استفاده از نرم‌افزار اکسل انجام شد.

نتایج و بحث

مرحله خالص‌سازی شربت خام چغندر قند باعث حذف ناخالصی‌های غیر قندی می‌شود به طوری که امکان کریستالیزاسیون ساکاروز خالص فراهم می‌گردد. طی فرآیند کربناسیون دوم شربت دوباره با گاز CO_2 جهت حذف باقی مانده آهک و ناخالصی‌ها تیمار می‌شود (بی‌نام ۱۹۹۷). بنت در سال ۱۹۷۶ آزمایشات ارزشمندی روی فرآیند کربناسیون در آزمایشگاه انجام داد. ایشان در مطالعات خود از تکنیک‌های XRD جهت تعیین مکانیسم‌های حذف رنگ استفاده کرد. بنت نشان داد که ناخالصی‌ها به جای جذب بر روی سطح بلورهای کربنات کلسیم در داخل بلورهای کربنات کلسیم در حال رشد به دام افتاده که این عمل اغلب باعث تغییر شکل بلورها می‌شود. هر نوع جسم رنگی که کمی بار منفی داشته باشد قادر به تشکیل باند ضعیف با کربنات



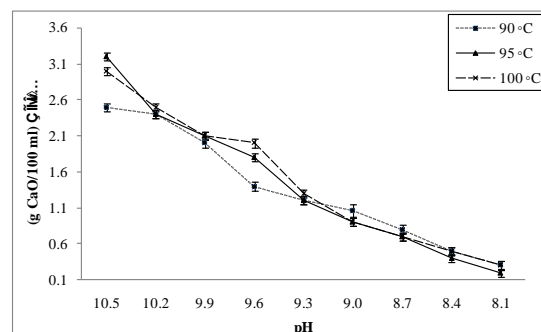
شکل ۴- تاثیر pH های مختلف روی سختی کل شربت کربناسیون دوم در دماهای متفاوت

کلارک و گودشال (۱۹۸۸) پیشنهاد کردند که دما در طی فرآیند تصفیه باید به حداقل مقدار (۹۸ °C) افزایش یابد که در این حالت حداقل زمان ماند (۵ min) برای خنثی-سازی و گاززنی لازم می‌باشد. در مرحله کربناسیون دوم، کربناسیون بیش از حد شربت منجر به تشکیل بیکربنات کلسیم شده که این پدیده منجر به حلالیت کربنات کلسیم شده و در نتیجه، درجه خلوص شربت شفاف شده افت می‌کند (باشاری ۲۰۰۸). غلظت یون‌های کلسیم عامل عمده تاثیرگذار بر سختی شربت کربناسیون دوم است که منشای اصلی آن افزودن آهک در فرآیند آهک‌زنی می‌باشد. هامرسکی و همکاران (۲۰۱۲) اظهار داشتند که حلالیت CO₂ در مقادیر pH پایه (۵-۹/۱۱) مطلوب بوده که در این حالت اسید کربنیک تشکیل شده با هیدروکسید کلسیم وارد واکنش می‌گردد. ترسیب کربنات کلسیم تشکیل شده باعث حذف سختی شربت می‌شود. بنابراین، در مقادیر pH پایین‌تر، به دلیل حلالیت پایین CO₂ یون‌های کلسیم بیشتری در شربت باقی مانده و سختی شربت افزایش می‌یابد.

تغییرات رنگ شربت کربناسیون دوم

رنگ به عنوان یکی از مهم‌ترین پارامترها در تعیین کیفیت شکر مورد توجه است و نقش تعیین کننده‌ای در بازار صنایع قند در سراسر جهان دارد (نگوین و دوهرتی ۲۰۱۲). شکل ۵ تاثیر تغییرات pH (غلظت‌های متفاوت CO₂) در دماهای مختلف را بر رنگ شربت

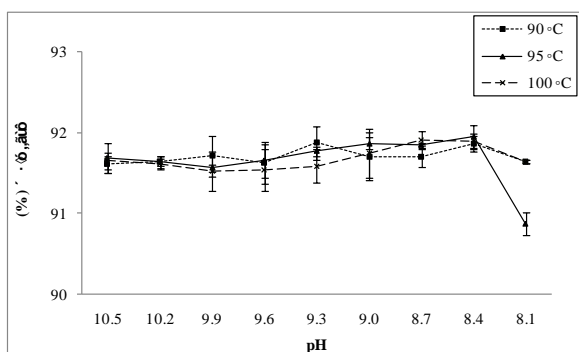
(حلالیت) بر روی لوله‌های تبخیرکننده هارسوب کرده که باعث کاهش ظرفیت انتقال حرارت، افزایش پوشش (عایق) تجهیزات، نیاز بیشتر برای تعمیر و نگهداری و افزایش زمان تبخیر و کریستالیزاسیون می‌گردد (اسعدی ۲۰۰۷ و هامرسکی و همکاران ۲۰۱۲). همچنین، ترکیبات معدنی باقی مانده در شربت، بعد از مرحله کربناسیون دوم منجر به کاهش راندمان کریستالیزاسیون شکر می‌گردد (ارسلان‌گلو و تومن ۲۰۱۲).



شکل ۳- تاثیر pH های مختلف روی قلیابیت شربت کربناسیون دوم در دماهای متفاوت

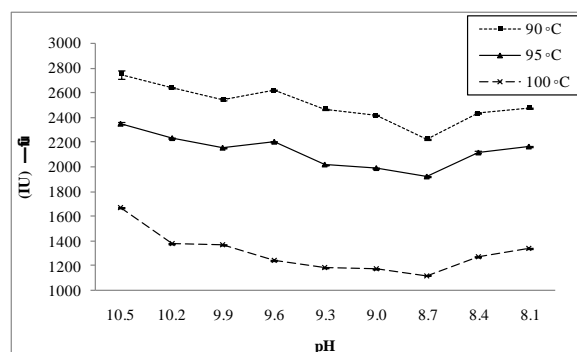
شکل ۴ تاثیر تغییرات pH در دماهای مختلف بر سختی کل را نشان می‌دهد. مقادیر پایین‌تر سختی باعث تشکیل بهتر کربنات کلسیم طی کربناسیون دوم می‌شود (بی‌نام ۲۰۰۵). با توجه به شکل ۴، سختی شربت کربناسیون به طور معنی‌داری با کاهش pH تا ۹ کاهش یافته و با کاهش بیشتر pH (با افزایش غلظت CO₂) دوباره افزایش یافت (P ≤ ۰/۰۵). این پدیده بدلیل تجزیه کربنات کلسیم و تشکیل بیکربنات کلسیم در pH ۸-۹/۱ است (بشیری و همکاران ۲۰۰۷). با افزایش دما از ۹۰ به ۱۰۰°C در pH های مختلف بین مقادیر سختی تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (P ≤ ۰/۰۵). پایین‌ترین و بالاترین مقدار سختی به ترتیب مربوط به دماهای ۱۰۰°C (g CaO/100 mL) ۳۰ و ۹۰°C (g CaO/100 mL) ۳۲ با pH ۹ بود.

درجه خلوص شربت تا pH ۹/۳ شده و بعد از آن تا pH ۸/۴ ثابت مانده است با کاهش pH به مقادیر کمتر از ۸/۴ (افزایش غلظت CO₂) درجه خلوص شربت به طور ناگهانی و در اثر تجزیه ساکاروز کاهش می‌یابد (اسعدی ۲۰۰۷). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که اختلاف معنی‌داری در pHهای مختلف و در دماهای متفاوت به جز pH ۸/۱ (P ≥ ۰/۰۵) وجود نداشت.



شکل ۶- تاثیر pHهای مختلف روی درجه خلوص شربت کربناسیون دوم در دماهای متفاوت

کربناسیون دوم نشان می‌دهد. با بررسی نتایج می‌توان دریافت که رنگ شربت با افزایش غلظت CO₂ تا pH ۸/۷ کاهش یافته و بعد از آن با افزایش بیشتر غلظت CO₂ تا pH ۸/۱، دوباره رنگ شربت کربناسیون دوم افزایش یافت. همچنین، نتایج نشان داد که پایین‌ترین مقدار رنگ شربت به دمای ۱۰۰ °C تعلق داشت (ICU ۱۱۲۱/۱۵ با pH ۸/۷).



شکل ۵- تاثیر pHهای مختلف روی رنگ شربت کربناسیون دوم در دماهای متفاوت

تغییرات خاکستر کل شربت کربناسیون دوم

شکل ۷ تاثیر تغییرات pH در دماهای متفاوت را بر مقادیر خاکستر شربت کربناسیون دوم نشان می‌دهد. مقدار پایین خاکستر (ترکیبات معدنی) نشان‌دهنده حذف بهتر خاکستر طی مرحله کربناسیون دوم است. همانطور که در شکل ۷ نشان داده شده است پایین‌ترین مقدار خاکستر به تیمار ۱۰۰ °C با pH ۹/۳ (۹۰/۸۱IU) تعلق دارد. به طور کلی با کاهش pH از ۱۰/۵ تا ۹/۳ خاکستر کاهش یافت، اما با کاهش بیشتر pH تا ۸/۱ خاکستر افزایش یافت. می‌توان این پدیده را به کربناسیون بیش از حد در مرحله کربناسیون دوم نسبت داد که بعد از pH ۹/۳ منجر به تشکیل بیکربنات کلسیم در اثر افزایش حلالیت کربنات کلسیم گردیده است. افزایش بیش از حد کربناسیون منجر به آسیب- دیدگی ساختاری بلورهای کربنات کلسیم گردیده که در ادامه ترکیبات و ناخالصی‌های جذب شده به سطح آنها شروع به پراکنده شدن می‌کنند (باشاری ۲۰۰۸). نتایج

یو و همکاران (۲۰۱۱) گزارش دادند که اکثر ترکیبات رنگی شکر در تصفیه ماهیت آنیونیک داشته، بنابراین ترکیبات رنگی در مقادیر pH بالاتر توسط جاذب‌های دارای بار مثبت مانند کربنات کلسیم به طور کارآمدی حذف می‌شوند. همانطور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود با افزایش دما از ۹۰ °C به ۱۰۰ °C و در pHهای ۱۰/۵ تا ۸/۷ مقادیر رنگ بطور معنی‌داری کاهش یافته است (P ≤ ۰/۰۵). علت کاهش رنگ جذب شدن ترکیبات رنگی در سطوح کریستال‌های کربنات کلسیم تشکیل شده نسبت داده می‌شود (بی‌نام ۲۰۰۵).

تغییرات درجه خلوص (ساکاروز) شربت کربناسیون دوم

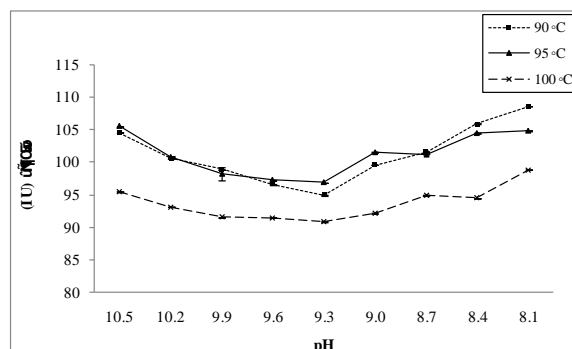
شکل ۶ تاثیر تغییرات pH در دماهای متفاوت را روی درجه خلوص شربت کربناسیون دوم نشان می‌دهد. تیمار شربت کربناسیون اول با CO₂ منجر به افزایش

شربت کربناسیون اول تا pH ۹/۳ منطقی به نظر می-رسد. تزریق CO₂ به شربت کربناسیون اول تا pH ۸/۷ باعث تخریب ساختاری بلورهای کربنات کلسیم شده (شروع از pH ۹) و در نتیجه باعث افزایش سختی کل، رنگ و خاکستر کل شربت کربناسیون دوم شد. براساس نتایج بدست آمده از این تحقیق، برای تعیین قلیابیت موثر مناسب علاوه بر پایین بودن مقدار سختی کل شربت کربناسیون دوم، تغییرات محتوای خاکستر کل شربت هم بایستی کنترل گردد.

سپاسگزاری

بدین وسیله از مدیریت محترم کارخانه قند میاندوآب که ما را در اجرای این تحقیق یاری کردند، تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

بدست آمده نشان داد که در مرحله کربناسیون دوم، دماهای متفاوت مورد استفاده تاثیر معنی‌داری بر خاکستر داشته است و با افزایش دما از ۹۰ °C به ۱۰۰ °C میزان خاکستر در همه pHها بطور معنی‌داری کاهش یافت ($P \leq 0.05$) (شکل ۷).



شکل ۷- تاثیر pHهای مختلف روی درجه خاکستر شربت کربناسیون دوم در دماهای متفاوت

با مقایسه نتایج مربوط به سختی کل و خاکستر کل شربت کربناسیون دوم، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که در فرآیند کربناسیون دوم، از نظر سختی کل $pH=9$ مناسب ولی از نظر خاکستر $pH=9/3$ مناسب است و در $pH \leq 9/3$ خاکستر شربت شروع به افزایش کرد. در نتیجه این پدیده منجر به افزایش ترکیبات معدنی و ناخالصی‌ها در شربت کربناسیون دوم گردید.

نتیجه‌گیری

براساس نتایج قلیابیت موثر، پایدارترین شکل بلورهای کربنات کلسیم در pH ۹/۳ حاصل شد. با کاهش pH از ۱۰/۵ به ۹ سختی کل شربت کربناسیون دوم کاهش یافت اما بعد از pH ۹ سختی افزایش یافت (تا pH ۸/۱). علت این پدیده تشکیل بیکربنات کلسیم (شکل ناپایدار) از کربنات کلسیم (شکل پایدار) در اثر کربناسیون بیش از حد است. خاکستر کل شربت کربناسیون دوم با کاهش pH از ۱۰/۵ به ۹/۳ کاهش یافت، و با کاهش pH به مقادیر پایین‌تر افزایش یافت (تا pH ۸/۱). با توجه به این که حداقل خاکستر کل در pH ۹/۳ و قلیابیت موثر مناسب در pH ۹/۲ حاصل می‌شود، تزریق CO₂ به

منابع مورد استفاده

- Anonym, 2005. Fundamentals of beet juice carbonatation. SIT1 juice purification. Doc 21.01.08, 1-6.
- Arslanoglu H and Tumen FA, 2012. Study on cations and color removal from thin sugar juice by modified sugar beet pulp. *Journal of Food Science and Technology* 49 (3): 319–327.
- Anonym, 1997. Sugar beet processing. Emission factor documentation for AP-42 Section 9.10.1.2.
- Asadi M, 2007. Beet-sugar handbook. Hoboken, New Jersey: John Wiley and Sons, Inc.
- Bashari MO, Suleiman K and Elkhalifa EA, 2008. Carbonation of Sugar Beet Juice in the Purification Process. *Gezira Journal of Engineering and Applied Science* 3(2): 1-19.
- Clarke MA and Godshall MA, 1988. Chemistry and processing of sugar beet and sugarcane. Sugar Processing Research, Inc., 1100 Robert E. Lee Boulevard, New Orleans, Louisiana 70124, U.S.A.
- Davis, SB, 2001. The Chemistry of color removal: A processing perspective. *Processing Science African Sugar Technology Ass.* 75: 328-336.
- Decloux M, 2003. Procédés de transformation ensucrerie (partie 1). In. *Techniques de l'Ingénieur, traité Agroalimentaire*, F 6 150 (pp 1-18).
- Hamerski F, daSilva VR, Corazza ML, Ndiaye PM and de Aquino AD, 2012. Assessment of variables effects on sugar cane juice clarification by carbonation process. *International Journal of Food Science and Technology* 47: 422–428.
- Kenter C. and Hoffmann CM, 2009. Changes in the processing quality of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) during long-term storage under controlled conditions. *International Journal of Food Science and Technology* 44: 910–917.
- Loginova K, Loginov M, Vorobiev E and Lebovka NI, 2012. Better lime purification of sugar beet juice obtained by low temperature aqueous extraction assisted by pulsed electric field. *LWT-Food science and Technology* 46: 371-374.
- Mitchell TJ, 1950. The purification of high density beet juices from dried beets. *Journal of Science Food Agriculture* 1, 96-98.
- Nguyen DMT and Doherty WOS, 2012. Optimization of process parameters for the degradation of caffeic acid in sugar solutions. *International Journal of Food Science and Technology* 47:2477–2486.
- Van der Poel PW, Schiweck H and Schwartz T, 1998. Sugar technology: Beet and cane sugar manufacture. Berlin: Verlag Dr. Albert Bartens KG.
- Yu J, Chou CC and Saska M, 2011. The Behavior of Invert Sugar in Sugar Processing. *Technical Proceedings of the Sugar Industry Technologists, Inc., Montreal, Canada.* 1-26.

Stability of formed calcium carbonate crystals during the second carbonation at purification of sugarbeet raw juice

B Farmani^{1*}, M Esmaili², S Bodbodak³, A Ghanbarpour⁴ and H Navidifar⁴

Received: October 18, 2014

Accepted: April 05, 2015

¹PhD Student, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran

²Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran

³PhD Student, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran

⁴Director and Expert, respectively, Sugar Factory of Myandoab, Paniz Fam Company, Myandoab, Iran

*Corresponding author: E-mail: farmani86@yahoo.com

Abstract

In this research, effects of different concentrations of carbon dioxide (to reach pHs 10.5, 10.2, 9.9, 9.6, 9.3, 9, 8.7, 8.4 and 8.1) and different temperatures (90, 95 and 100 °C) on quality characteristics of the first carbonation juice were studied. For this purpose, stability of formed calcium carbonate crystals during the process of the first carbonation juice were evaluated by measuring effective alkalinity, total hardness, color, purity and conductivity total ash of the second carbonation juice. The appropriate effective alkalinity (1.2 g CaO/100 mL) and lowest total hardness (30 gCaO/100 mL at 100 °C) obtained at pH 9.3 and 9 for the second carbonation, respectively. It was also observed that the color value of 2th carbonation juice decreased by reduction of pH and the lowest color value (1121.15 IU at 100 °C) obtained at pH 8.7. The lowest conductivity total ash (90.81 IU at 100 °C) and highest purity of the second carbonation juice obtained at pHs 9.3, respectively. By regarding the different physicochemical parameters at different pHs, it could be concluded that higher temperature (100 °C) had more effects on studied characteristics. Finally it could be mention that most effective treatment was pH 9.3 at 100 °C. According to results of the research, $\text{pH} \geq 9.3$ were suggested for stability of formed calcium carbonate crystals (stable form) because at $\text{pH} \leq 9.3$ resulted in formation of calcium bicarbonate (unstable form) from calcium carbonate (stable form).

Keywords: Sugar beet raw juice, Second carbonation juice, Calcium carbonate crystals, Total hardness, Total ash