

تأثیر اصلاح واپسگرایی تدریجی بر میزان مقاومت حرارتی نشاسته ذرت

* سید رضا فلسفی^۱، حدیث رستم‌آبادی^۱

^۱ دانشجوی دکتری گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱/۱۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۲/۲۲

*مسئول مکاتبه: Falsafi.r@gmail.com

چکیده

در این پژوهش تأثیر اصلاح فیزیکی واپسگرایی تدریجی^۱ بر میزان مقاومت حرارتی نشاسته ذرت مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور نشاسته‌های طبیعی و اصلاح شده ذرت برای مدت زمان‌های ۲/۵ تا ۱۰ دقیقه تحت حرارت ۹۵ درجه سانتی‌گراد واقع شد و ویژگی‌های مختلف آنها بررسی گردید. نتایج نشان داد که در نشاسته‌های اصلاح شده، میزان جذب آب و حلالیت در زمان‌های مشابه حرارت‌دهی به طور معنی‌داری کمتر بود. همچنین میزان ویسکوزیته آب سرد، ویسکوزیته ذاتی و ویسکوزیته نسبی نمونه‌های نشاسته اصلاح شده در مقایسه با نشاسته طبیعی، بسیار کمتر دستخوش تغییر گردیدند که تماماً حاکی از مقاومت بالاتر گرانول‌های نشاسته اصلاح شده نسبت به فرایند حرارتی بوده است.

واژه‌های کلیدی: ذرت، نشاسته، اصلاح، واپسگرایی تدریجی، مقاومت حرارتی

مقدمه

ویژگی‌های منحصر به فرد نشاسته باعث شد که از این ترکیب پلیمری به صورت گسترده در صنایع مختلف استفاده گردد که در این بین، صنعت غذا سهم عمده‌ای را به خود اختصاص داده است. به عنوان مثال نشاسته‌ها در تولید پودرهای نانوائی، مواد بهبود دهنده پخت (پرکننده) و نیز در انواع سس به منظور حفظ امولسیون روغن و سرکه و جلوگیری از دو فاز شدن آنها کاربرد دارند (براون، ۱۹۹۶؛ چانگ و همکاران، ۲۰۰۹؛ گومز و همکاران،

نشاسته مهم‌ترین منبع انرژی ذخیره‌ای در گیاهان به شمار می‌رود که به وفور در دانه غلات (مانند گندم، ذرت و برنج) و در گیاهان غده‌ای (مانند انواع سیب‌زمینی) یافت می‌شود. از نظر تغذیه‌ای، نشاسته تأمین کننده‌ی ۸۰-۷۰ درصد از انرژی مورد نیاز روزانه انسان بوده و به ویژه از لحاظ تأمین کالری مورد نیاز در کشورهای جهان سوم حائز اهمیت فراوان می‌باشد (بمیلر و ویستلر، ۲۰۰۹).

^۱- Annealing

۲۰۰۵). برخی از محدودیت‌های نشاسته از قبیل مقاومت کم به حرارت‌دهی و نیروهای برشی، کدورت زیاد زل، بیاتی و نیز ایجاد ویسکوزیته کم در دمای پایین منجر به اصلاح این ماده گردیده است. نشاسته‌ها اغلب به روش‌های شیمیایی، فیزیکی و آنزیمی اصلاح می‌شوند (گومز و همکاران، ۲۰۰۵). در سال‌های اخیر با توجه به افزایش آگاهی مصرف‌کنندگان، تمایل آنها به استفاده از روش‌های شیمیایی در محصولات غذایی کاهش پیدا کرده است. از این رو محققین به دنبال یافتن جایگزین‌های مناسب جهت تغییر ویژگی‌های نشاسته با استفاده از روش‌های فیزیکی می‌باشند. از مهم‌ترین روش‌های اصلاح فیزیکی نشاسته می‌توان به روش‌های هیدروترمال اشاره کرد که به دو روش واپسگرایی تدریجی (رطوبت زیاد، دمای کم) و فرایند حرارتی رطوبتی (رطوبت کم، دمای زیاد) اشاره کرد. در هر دو روش، ویژگی‌های نشاسته بدون استفاده از مواد شیمیایی به صورت گسترده‌ای دستخوش تغییر می‌شود. به طور کلی در این روش، نشاسته برای مدت زمان معین در محدوده دمای کمتر از دمای آغاز ژلاتینه شدن و بیشتر از دمای انتقال شیشه‌ای قرار می‌گیرد که این امر سبب تغییر نحوه‌ی قرارگیری بخش‌های آمورف و کریستالی در داخل گرانول می‌شود (گومز و همکاران، ۲۰۰۵؛ دروزا و دیاز، ۲۰۱۱). گومز و همکاران (۲۰۰۵) طی بررسی ویژگی‌های نشاسته کاساواای اصلاح شده عنوان کردند که اصلاح واپسگرایی تدریجی

منتهی به افزایش دمای خمیری شدن، کاهش دمای افت ویسکوزیته، کاهش میزان تورم و حلالیت گرانول‌ها و افزایش دمای آغاز ژلاتینه شدن می‌شود. دیاز و همکاران (۲۰۱۰) نیز طی بررسی تأثیر اصلاح واپسگرایی تدریجی بر ویژگی‌های نشاسته برنج نشان دادند که اعمال اصلاح واپسگرایی تدریجی سبب افزایش هضم‌پذیری نشاسته گردیده و میزان کالری در دسترس آن را افزایش می‌دهد. بر اساس بررسی جامع منابع مذکور، تاکنون پژوهشی در خصوص تغییرات نشاسته‌های طبیعی و اصلاح شده در طی فرایند حرارتی صورت نپذیرفته است. از این رو هدف اصلی تحقیق حاضر، بررسی مقاومت حرارتی نشاسته‌های طبیعی و اصلاح شده به روش واپسگرایی تدریجی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

مواد: نشاسته ذرت با درجه خلوص بالا (مهشاد یزد، ایران) تهیه شد که حاوی ۱۱ درصد رطوبت، ۰/۴۳ درصد پروتئین، ۰/۰۲ درصد چربی، ۰/۰۸ درصد خاکستر و ۲۴/۱ درصد آمیلوز بود. دی متیل سولفاکساید (مرک، آلمان) و سایر ترکیبات حائز درجه آزمایشگاهی (سیگما، ایالات متحده آمریکا) فراهم گردیدند.

تعیین ترکیب شیمیایی نشاسته: رطوبت، خاکستر، چربی و پروتئین نشاسته ذرت با استفاده از روش‌های معتبر AACC تعیین شدند (AACC, 2000) و میزان آمیلوز نیز توسط روش هور و

نگهداری گردیدند.

اندازه‌گیری میزان حلالیت نمونه‌ها: به منظور تعیین میزان حلالیت نمونه‌های فرایند شده، تیمارها پس از اتمام زمان فرایند به صورت داغ به لوله‌های سانتریفیوژ منتقل گردیده و مقدار معینی آب به آن افزوده شد تا در نهایت، مخلوط ۳/۳ درصد نشاسته در آب حاصل گردد. سپس لوله‌ها به طور کامل همزده شده، به مدت ۱۵ دقیقه در ۷۰۰g سانتریفیوژ گردید و مایع شفاف فوقانی به ظرفی با وزن مشخص منتقل شد. آنگاه این مایع در دمای ۱۲۰°C به مدت ۴ ساعت خشک و سپس وزن گردید. در ادامه با استفاده از فرمول (۱) میزان حلالیت محاسبه شد. میزان حلالیت برحسب درصد مواد محلول نشاسته خشک بیان می‌گردد (لیچ، ۱۹۵۹).

$$(1) \quad \text{درصد حلالیت} = \frac{\text{وزن مایع فوقانی خشک شده}}{\text{وزن نشاسته خشک اولیه}} \times 100$$

اندازه‌گیری میزان تورم نمونه‌ها: برای اندازه‌گیری میزان جذب آب، لوله‌های سانتریفیوژ به کار رفته در آزمایش حلالیت به همراه مواد رسوب داده شده درون آن‌ها، بعد از خارج کردن مایع رویی وزن گردیدند. سپس میزان جذب آب با استفاده از فرمول (۲) محاسبه شد. میزان جذب آب برحسب گرم آب به ازای گرم نشاسته خشک اولیه بیان گردید.

رتانیاکه (۲۰۰۶) اندازه‌گیری گردید.

اصلاح فیزیکی نشاسته: جهت اعمال اصلاح فیزیکی به صورت واپسگرایی تدریجی، از روش چاتاکانوندا (۲۰۱۱) استفاده شد. بر همین اساس سوسپانسیون (W/W) ۱:۳ نشاسته و آب به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. سپس نشاسته‌های اصلاح شده از قیف بوخنر عبور یافته و باقیمانده در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد خشک گردید که بعد از آسیاب کردن، از الک با مش ۷۰ عبور داده شد. در ادامه از مخفف‌های ACS و NCS به ترتیب برای نشاسته‌های طبیعی و واپسگرایی تدریجی شده، استفاده گردید.

اعمال فرایند حرارتی: به منظور بررسی تأثیر فرایند حرارتی بر ویژگی‌های نشاسته‌های ذرت طبیعی و اصلاح شده، ابتدا سوسپانسیون ۸ درصد نشاسته در آب با دمای ثابت ۴۰ درجه سانتی‌گراد تهیه شد. در ادامه این سوسپانسیون، برای مدت زمان‌های ۲/۵، ۵، ۷/۵ و ۱۰ دقیقه در حمام آب با دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. به منظور جلوگیری از رسوب نشاسته، در مراحل اول حرارت‌دهی، سوسپانسیون در فواصل زمانی ۳۰ ثانیه‌ای به آهستگی همزده شد. پس از اتمام مراحل حرارت‌دهی، نمونه‌های تولید شده به ظروف آلومینیومی منتقل گردیده و در خشک‌کن تصعیدی خشک شدند. آنگاه نمونه‌ها آسیاب گردیده، از الک با مش ۷۰ عبور داده شدند و در ظروف در بسته،



$$(۲) \quad \text{وزن رسوب درون لوله سانتریفوژ} = \frac{\text{وزن نشاسته خشک اولیه}}{\text{میزان جذب آب}}$$

منتقل شد و مخلوط کردن به مدت ۱۶ ساعت در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد ادامه یافت. آنگاه لوله‌ها ۱۰ دقیقه در آب جوش ۹۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفته و در طی این مدت، دو بار توسط همزن گردابی مخلوط شدند تا محلول شفاف حاصل گردد. در نهایت، لوله‌ها توسط آب تا دمای اتاق خنک شدند. از این محلول جهت اندازه‌گیری ویسکوزیته استفاده گردید. باید توجه داشت که زمان لازم برای انتقال سیال از درون لوله موئین، با ویسکوزیته نسبی آن متناسب است. همچنین به دلیل تأثیر مهم دما بر ویسکوزیته ذاتی، ویسکومتر در داخل یک حمام آب گرم با دمای ثابت ۳۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. ویسکوزیته نسبی و ذاتی با استفاده از فرمول (۳) محاسبه شدند (مجذوبی و همکاران، ۲۰۱۵):

$$\eta_{rel} = t/t_0$$

$$[\eta] = (1/c) \cdot [2\eta - 2\ln(\eta_{rel})]^{1/2}$$

آنالیز آماری: در این پژوهش از طرح کاملاً تصادفی ساده استفاده گردید و میانگین‌ها (حداقل ۳ تکرار برای هر آزمون) توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 مقایسه شدند.

نتایج و بحث

اندازه‌گیری ویسکوزیته آب سرد نمونه‌ها: جهت تعیین ویسکوزیته آب سرد نمونه‌های مختلف از دستگاه RVA استفاده شد. به همین منظور ابتدا ۳/۵ گرم از پودر نمونه‌های مختلف فرایند شده و ۲۵ گرم آب مقطر، درون ظرف آلومینیومی مخصوص دستگاه وزن گردیده و به مدت ۱۵ دقیقه با سرعت ۱۶۰ دور بر دقیقه مخلوط شدند، چنانچه در این دما ویسکوزیته‌ای مشاهده شود، ویسکوزیته آب سرد نامیده می‌گردد (مجذوبی و همکاران، ۲۰۱۵).

اندازه‌گیری ویسکوزیته ذاتی نمونه‌های مختلف: برای این منظور ابتدا نمونه‌ها را در دی متیل سولفاکساید^۲ ۹۰ درصد حل کرده و سپس با استفاده از ویسکومتر استوالد، با توجه به زمان عبور نمونه از لوله موئین، ویسکوزیته نسبی نمونه‌ها به دست آمد. برای حل کردن نمونه‌ها در دی متیل سولفاکساید ۹۰ درصد، ابتدا ۰/۰۵ گرم از هر نمونه به طور دقیق وزن و درون یک لوله آزمایش شیشه‌ای درب‌دار ریخته شد. سپس همزمان با مخلوط کردن توسط یک مخلوط‌کن گردابی، حدود ۱۰ میلی‌لیتر محلول دی متیل سولفاکساید به آن اضافه گردید و همزدن برای مدت کوتاهی توسط مخلوط‌کن ادامه یافت. سپس درب لوله‌ها بسته، به یک همزن رفت و برگشتی

^۲ -Dimethyl sulfoxide

تدریجی منتهی به کاهش جذب آب نمونه‌ها در تمامی دماهای فرایند شده است. کاهش قدرت جذب آب گرانول‌ها به دنبال اصلاح واپسگرایی تدریجی در مورد نشاسته‌های سیب‌زمینی، کاساوا، گندم، عدس و جو نیز گزارش گردید. کاهش قدرت جذب آب نمونه‌های اصلاح شده به روش واپسگرایی تدریجی می‌تواند ناشی از (۱) تکامل ساختار کریستالی منجر به کاهش قدرت آبیگری گرانول‌ها، (۲) ایجاد پیوندهای آمیلوز-آمیروز، آمیلوز-آمیلوپکتین و آمیلوپکتین-آمیلوپکتین، (۳) افزایش نظم ساختاری درون گرانول مسبب افزایش مقاومت گرانول‌ها و (۴) تشکیل کمپلکس‌های آمیلوز-لیپید باشد (چاتاکانوندا و همکاران، ۲۰۱۱؛ چانگ و همکاران، ۲۰۰۹؛ دیاز و همکاران، ۲۰۱۰؛ گومز و همکاران، ۲۰۰۵؛ جایاکودی و هوور، ۲۰۰۸).

تأثیر اصلاح فیزیکی بر میزان جذب آب نمونه‌های نشاسته فرایند شده: نتایج حاصل از جذب آب نشاسته‌های طبیعی و اصلاح شده ذرت حرارت دیده، در جدول (۱) مشاهده می‌شود. در طی فرایند حرارتی با افزایش زمان فرایند، جذب آب تمام نمونه‌ها افزایش نشان داد، به طوری که از زمان صفر تا ۱۰ دقیقه فرایند، جذب آب نشاسته ذرت طبیعی از ۹/۷۱ به ۱۴/۱۵ (گرم نشاسته/گرم آب) و در نشاسته ذرت اصلاح شده از ۷/۴۴ به ۱۰/۵۶ (گرم نشاسته/گرم آب) افزایش داشته است. در دماهای بالا به ویژه دماهای بالاتر از دمای ژلاتینه شدن نشاسته، پیوندهای هیدروژنی موجود در زنجیره‌های جانبی مولکول‌های آمیلوپکتین شکسته شده و پیوند هیدروژنی با مولکول‌های آب جایگزین آن‌ها می‌گردند (لیچ و همکاران، ۱۹۵۹). همچنین طبق نتایج، اعمال اصلاح واپسگرایی

جدول ۱- قدرت جذب آب (گرم نشاسته/گرم آب) نشاسته‌های ذرت طبیعی و واپسگرایی تدریجی شده در زمان‌های مختلف فرایند

| جذب آب | | زمان فرایند (دقیقه) |
|------------------------------|-------------------------------|---------------------|
| ACS | NCS | |
| ۷/۴۴۸ ± ۰/۲۷۷ ^{Bd} | ۹/۷۱۱ ± ۰/۳۹۶ ^{Cb} | ۰ |
| ۷/۹۱۴ ± ۰/۶۴۹ ^{Be} | ۱۰/۵۶۴ ± ۰/۵۷۸ ^{Cd} | ۲/۵ |
| ۸/۱۴۱ ± ۰/۶۴۲ ^{Be} | ۱۲/۱۵۰ ± ۰/۶۶۳ ^{Bc} | ۵ |
| ۹/۸۵۷ ± ۰/۶۰۳ ^{Ad} | ۱۳/۲۲۱ ± ۰/۵۰۰ ^{ABc} | ۷/۵ |
| ۱۰/۵۶۴ ± ۰/۵۸۶ ^{Ae} | ۱۴/۱۵۵ ± ۱/۰۹۸ ^{Ad} | ۱۰ |

*حروف بزرگ متفاوت، نشان دهنده اختلاف معنی‌دار در هر ستون و حروف کوچک متفاوت، نشان دهنده اختلاف معنی‌دار بین نشاسته معمولی و اصلاح شده می‌باشد

تأثیر اصلاح فیزیکی بر میزان حلالیت نمونه‌های نشاسته فرایند شده: نتایج حاصل از تعیین حلالیت نشاسته‌های طبیعی و اصلاح شده ذرت حرارت دیده برای مدت زمان ۰ تا ۱۰ دقیقه در جدول (۲) دیده می‌شود. نتایج نشان داد که افزایش زمان حرارت‌دهی به طور معنی‌داری سبب افزایش میزان حلالیت در آب نمونه‌های طبیعی و اصلاح شده می‌گردد. حلالیت نشان‌دهنده‌ی میزان حضور بخش‌های خطی درون گرانول در محیط آبی اطراف می‌باشد و در زمان طولانی‌تر فرایند به علت بازتر شدن ساختار گرانول و یا ترکیدن گرانول (در دمای خمیری شدن) امکان حضور هر چه بیشتر بخش‌های خطی در محیط اطراف نیز وجود دارد که منجر به حلالیت بیشتر گرانول در دمای بالاتر

خواهد گردید (کیسلاوا و همکاران، ۲۰۰۴). در مقایسه بین نمونه‌های طبیعی و اصلاح شده با روش واپسگرایی تدریجی همان طور که مشاهده می‌گردد، در نمونه‌های اصلاح شده در تمامی زمان‌های حرارت‌دهی، میزان حلالیت به طور معنی‌داری کمتر بود که این امر می‌تواند ناشی از (۱) ایجاد پیوندهای آمیلوز-آمیلوز و آمیلوز-آمیلوپکتین، (۲) کاهش قدرت تورم گرانول‌ها و (۳) افزایش کمپلکس‌های آمیلوز-لیپید باشد. کاهش حلالیت به دنبال اصلاح واپسگرایی تدریجی در نشاسته‌های سیب‌زمینی، گندم، عدس، برنج و کاساوا نیز گزارش شده است (چاتاکانوندا و همکاران، ۲۰۱۱؛ تستر و همکاران، ۲۰۰۰؛ دیاز و همکاران، ۲۰۱۰؛ گومز و همکاران، ۲۰۰۵؛ جایاکودی و هورر، ۲۰۰۸).

جدول ۲- میزان حلالیت نشاسته‌های ذرت طبیعی و واپسگرایی تدریجی شده در زمان‌های مختلف فرایند

| حلالیت (%) | | زمان فرایند |
|-------------------------|-------------------------|-------------|
| ACS | NCS | |
| $5/0.53 \pm 0/633^{Dc}$ | $7/3.9 \pm 0/459^{Da}$ | ۰ |
| $5/813 \pm 0/365^{CDe}$ | $8/491 \pm 0/578^{Dd}$ | ۲/۵ |
| $6/8.2 \pm 0/774^{BCe}$ | $10/210 \pm 0/663^{Cc}$ | ۵ |
| $7/478 \pm 0/470^{ABd}$ | $11/539 \pm 0/500^{Bd}$ | ۷/۵ |
| $8/348 \pm 1/078^{Ad}$ | $12/850 \pm 1/098^{Ac}$ | ۱۰ |

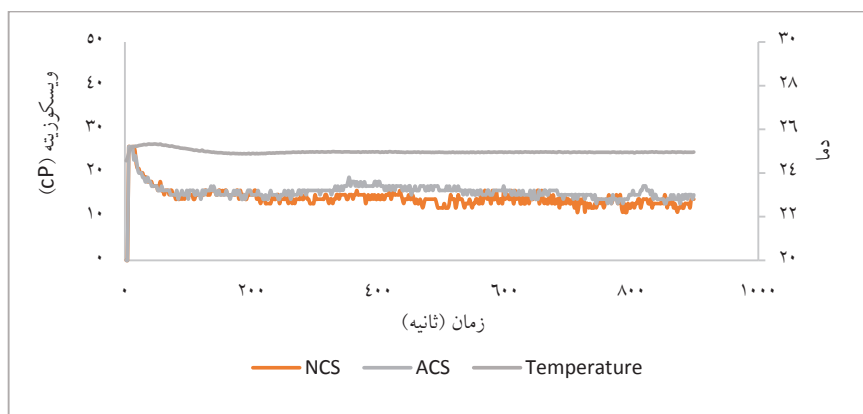
*حروف بزرگ متفاوت، نشان دهنده اختلاف معنی‌دار در هر ستون و حروف کوچک متفاوت، نشان دهنده اختلاف معنی‌دار بین نشاسته معمولی و اصلاح شده می‌باشد

ویسکوزیته آب سرد نمونه‌های حرارت دیده: در حالت طبیعی نشاسته‌ها به صورت گرانول‌های نیمه کریستالی هستند که قابلیت کمی در جذب آب داشته و به طبع، فاقد توانایی ایجاد ویسکوزیته

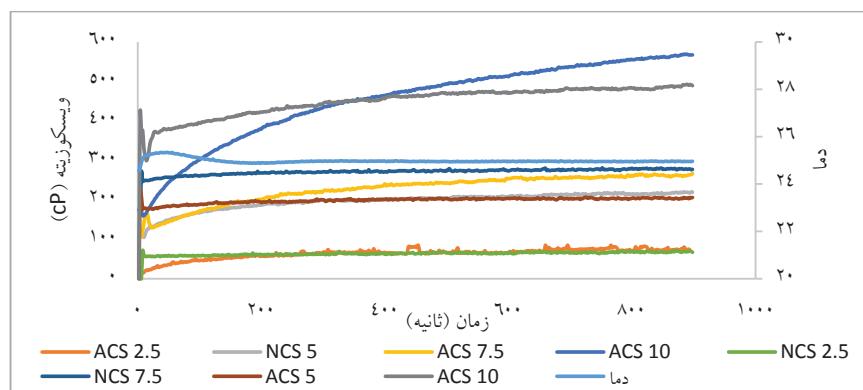
می‌باشند. نتایج مربوط به ویسکوزیته آب سرد نمونه‌های مختلف نشاسته در شکل‌های (۱) و (۲) حاکی از آن است که نشاسته‌های طبیعی و اصلاح شده اولیه، فاقد ویسکوزیته آب سرد بوده، تمامی

جایاکودی و هوور، ۲۰۰۸). در این مرحله نیز مشاهده گردید که گرانول‌های نشاسته‌ی اصلاح شده در زمان مشابه، میزان ویسکوزیته آب سرد کمتری داشته‌اند که این پدیده احتمالاً ناشی از بالاتر بودن میزان مقاومت حرارتی گرانول نشاسته اصلاح شده در طی زمان‌های مشابه حرارت‌دهی می‌باشد. آسیب کمتر به گرانول، منتهی به حفظ ساختار کریستالی حتی در دمای بالا شده و امکان حضور آب در داخل گرانول را کاهش می‌دهد.

نمونه‌های نشاسته فرایند شده برای مدت زمان‌های ۲/۵ تا ۱۰ دقیقه، ویسکوزیته آب سرد داشته‌اند و افزایش زمان حرارت‌دهی، میزان قابلیت ایجاد ویسکوزیته در نمونه‌ها را افزایش داده است. این امر می‌تواند ناشی از باز شدن ساختار گرانول باشد که در این حالت میزان حضور مولکول‌های آب در بخش‌های داخلی گرانول نیز افزایش پیدا می‌کند و با کاهش میزان مولکول‌های آب در محیط، قوام مخلوط افزایش می‌یابد (دیاز و همکاران، ۲۰۱۰؛



شکل ۱- ویسکوزیته آب سرد نمونه‌های نشاسته ذرت طبیعی و واپسگرایی تدریجی شده قبل از فرایند



شکل ۲- ویسکوزیته آب سرد نمونه‌های نشاسته ذرت طبیعی و واپسگرایی تدریجی شده پس از فرایند

ویسکوزیته ذاتی نمونه‌های حرارت دیده: نتایج آزمون ویسکوزیته ذاتی نشاسته‌های طبیعی و اصلاح شده حرارت دیده در جدول (۳) مشاهده می‌شود. ویسکوزیته ذاتی، در واقع شاخصی برای تعیین اندازه مولکول و یا وزن مولکولی زیرواحدهای نشاسته می‌باشد. در مقایسه بین نشاسته ذرت طبیعی و اصلاح شده قبل از فرایند، نتایج نشان داد که اعمال اصلاح واپسگرایی تأثیری بر ویسکوزیته ذاتی نمونه‌ها نداشته است. همان طور که ذکر شد در روش واپسگرایی تدریجی هیچ‌گونه فرایند شیمیایی و یا فیزیکی شدیدی بر روی نشاسته اعمال نمی‌شود. در این روش، تنها ساختارهای کریستالی توسعه پیدا کرده، نظم درون گرانول افزایش پیدا می‌کند و بدیهی است که این تغییرات نمی‌تواند تأثیر چندانی بر ابعاد مولکول‌های نشاسته داشته باشد (جایاکودی و هور، ۲۰۰۸).

مقایسه نشاسته‌های حرارت دیده در مدت زمان‌های مختلف نشان داد که در زمان‌های کم حرارت دهی، تغییر چندانی در ویسکوزیته ذاتی نمونه‌ها ایجاد نشد که این امر علاوه بر نمونه‌های طبیعی، در نمونه‌های اصلاح شده نیز مشاهده گردید. البته در زمان‌های طولانی‌تر فرایند (۷/۵ و ۱۰ دقیقه) کاهش ویسکوزیته ذاتی در هر دو نمونه طبیعی و اصلاح

شده وجود داشته است. از مقایسه‌ی نمونه‌های طبیعی و اصلاح شده در دمای بالای فرایند نیز می‌توان نتیجه گرفت که ویسکوزیته ذاتی نمونه‌های اصلاح شده کمتر دستخوش تغییر گردید. در واقع اعمال اصلاح فیزیکی نشاسته ذرت منتهی به افزایش مقاومت حرارتی آن شده است. از جمله دلایل کاهش ویسکوزیته ذاتی در دمای بالا، تخریب ساختارهای مولکولی و تبدیل آن‌ها به اجزایی با ابعاد کوچک‌تر می‌باشد. مجذوبی و فرحناکی (۲۰۰۸) به بررسی تأثیر فرایند اکستروژن و اتوکلاو بر نشاسته گندم پرداختند. نتایج این محققین نشان داد که با افزایش دما، ویسکوزیته نسبی نمونه‌های نشاسته کاهش معنی‌داری داشته است که دلیل آن می‌تواند تجزیه مولکول‌های نشاسته باشد. هرچند با این روش نمی‌توان تعیین کرد که کدام یک از مولکول‌های نشاسته دچار تجزیه شده‌اند. کاهش ویسکوزیته می‌تواند به دلیل متقارن شدن مولکول‌ها از لحاظ شکل فضایی نیز باشد. برای مثال، چند شکستگی در اتصالات مولکول آمیلوپکتین می‌تواند شکل آن را تا حدودی متقارن کند و ویسکوزیته نسبی را کاهش دهد، در صورتی که همین تعداد شکستگی در مولکول متقارن آمیلوز تأثیر چندانی بر ویسکوزیته نسبی آن نخواهد گذاشت.

جدول ۳- ویسکوزیته ذاتی و نسبی نمونه‌های نشاسته ذرت طبیعی و اصلاح شده پس از اعمال فرایند

| ویسکوزیته نسبی | | ویسکوزیته ذاتی | | زمان فرایند (دقیقه) |
|-----------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|---------------------|
| ACS | NCS | ACS | NCS | |
| ۲/۳۳۴ ± ۰/۰۰۷ ^{Aa} | ۲/۳۱۴ ± ۰/۰۰۵ ^{Aa} | ۱۹۵/۱۱۳ ± ۰/۸۱۶ ^{Aa} | ۱۹۴/۹۸۷ ± ۰/۵۸۹ ^{Aa} | ۰ |
| ۲/۳۱۹ ± ۰/۰۰۵ ^{Aa} | ۲/۳۰۶ ± ۰/۰۰۷ ^{Aa} | ۱۹۵/۰۱۸ ± ۰/۶۲۷ ^{Aa} | ۱۹۴/۶۶۸ ± ۰/۷۹۳ ^{Aa} | ۲/۵ |
| ۲/۲۹۳ ± ۰/۰۰۲ ^{Ba} | ۲/۲۹۰ ± ۰/۰۰۱ ^{BCa} | ۱۹۴/۳۴۱ ± ۰/۱۹۸ ^{Ba} | ۱۹۳/۹۹۰ ± ۰/۱۶۵ ^{Aa} | ۵ |
| ۲/۲۶۸ ± ۰/۰۰۱ ^{Ca} | ۲/۲۵۵ ± ۰/۰۰۱ ^{Ca} | ۱۹۱/۵۶۱ ± ۰/۱۳۳ ^{Ca} | ۱۹۰/۳۸۲ ± ۰/۰۹۹ ^{Bb} | ۷/۵ |
| ۲/۲۶۵ ± ۰/۰۰۶ ^{Da} | ۲/۲۳۲ ± ۰/۰۰۲ ^{Db} | ۱۸۹/۱۸۵ ± ۰/۶۶۴ ^{Da} | ۱۸۸/۰۷۷ ± ۰/۱۹۹ ^{Cb} | ۱۰ |

*حروف بزرگ متفاوت، نشان دهنده اختلاف معنی‌دار در هر ستون و حروف کوچک متفاوت، نشان دهنده اختلاف معنی‌دار بین نشاسته معمولی و اصلاح شده می‌باشد

نتیجه‌گیری

حرارت‌دهی، میزان حلالیت نشاسته و جذب آب آن در نمونه‌های اصلاح شده، کمتر بوده است. همچنین نتایج ویسکوزیته آب سرد و ویسکوزیته ذاتی نمونه‌ها نیز حاکی از آن بود که در طی اعمال زمان‌های حرارت‌دهی، گرانول‌های نشاسته‌های اصلاح شده، کمتر دستخوش تغییر شده بودند. از این رو می‌توان از این روش سازگار با محیط زیست به عنوان یک روش مناسب جهت بهبود ویژگی‌های حرارتی نشاسته طبیعی استفاده نمود.

به دلیل اهمیت یافتن روش‌های فیزیکی اصلاح نشاسته، در این پژوهش به تأثیر اصلاح واپسگرایی تدریجی بر مقاومت نشاسته ذرت در برابر حرارت، پرداخته شد. نتایج تحقیق حاضر به خوبی نشان داد که اصلاح واپسگرایی تدریجی با ایجاد بازآرایی در اجزاء داخل گرانول سبب بهبود ویژگی‌های کریستالی آن شده و مقاومت گرانول به حرارت را افزایش می‌دهد. به طوری که در تمامی زمان‌های

منابع

1. AACC. 2000. *Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists*, 10th Ed. Methods 44-15A, 08-01, 30-25, 46-12 and 10-05.01 for moisture, ash, fat, protein content and cake volume respectively. AACC Publishing, Saint Paul, 1200 p.
2. BeMiller, J.N. and Whistler, R.L. 2009. *Starch: Chemistry and Technology*. Academic Press, Cambridge, 589 p.
3. Brown, I. 1996. Complex carbohydrates and resistant starch. *Nutrition Reviews*, 54: 115-119.
4. Chatakanonda, P., Wansuksri, R. and Sriroth, K. 2011. Impact of annealing on susceptibility to acid hydrolysis and physico-chemical properties of cassava starch. *Kasetsart Journal (Natural Science)*, 45: 284-294.
5. Chung, H.J., Hoover, R. and Liu, Q. 2009a. The impact of single and dual hydrothermal modifications on the molecular structure and physicochemical properties of normal corn starch. *Biological Macromolecules*, 44: 203-210.
6. Chung, H.J., Liu, Q. and Hoover, R. 2009b. Impact of annealing and heat-moisture treatment on rapidly digestible, slowly digestible and resistant starch levels in native and gelatinized corn,



- pea and lentil starches. *Carbohydrate Polymers*, 75: 436–447.
7. Dias, A.R.G., da Rosa Zavareze, E., Spier, F., de Castro, L.A.S. and Gutkoski, L.C. 2010. Effects of annealing on the physicochemical properties and enzymatic susceptibility of rice starches with different amylose contents. *Food Chemistry*, 123: 711–719.
8. Gomes, A.M., da Silva, C.E.M. and Ricardo, N.M. 2005. Effects of annealing on the physicochemical properties of fermented cassava starch (polvilho azedo). *Carbohydrate Polymers*, 60: 1–6.
9. Hoover, R. and Ratnayake, W.S. 2001. Determination of total amylose content of starch. In: *Current protocols in food analytical chemistry* (Editors: R.E. Wrolstad, T.E. Acree, H. An, E.A. Decker, M.H. Penner, D.S. Reid, et al). John Wiley & Sons Publishing, Hoboken.
10. Jayakody, L. and Hoover, R. 2008. Effect of annealing on the molecular structure and physicochemical properties of starches from different botanical origins—A review. *Carbohydrate Polymers*, 74: 691–703.
11. Kiseleva, V.I., Genkina, N.K., Tester, R., Wasserman, L.A., Popov, A.A. and Yuryev, V.P. 2004. Annealing of normal, low and high amylose starches extracted from barley cultivars grown under different environmental conditions. *Carbohydrate Polymers*, 56: 157–168.
12. Leach, H.W., McCowen, L.D. and Schoch, T.J. 1959. Swelling power and solubility of granular starches. *Cereal Chemistry*, 36: 534–544.
13. Majzoobi, M., Hedayati, S. and Farahnaky, A. 2015a. Functional properties of microporous wheat starch produced by α -amylase and sonication. *Food Bioscience*, 11: 79–84.
14. Majzoobi, M., Seifzadeh, N., Farahnaky, A. and Mesbahi, G. 2015b. Effects of Sonication on Physical Properties of Native and Cross-Linked Wheat Starches. *Texture Studies*, 46: 105–112.
15. da Rosa Zavareze, E. and Dias, A.R.G. 2011. Impact of heat-moisture treatment and annealing in starches: A review. *Carbohydrate Polymers*, 83: 317–328.
16. Tester, R.F., Debon, S.J.J. and Sommerville, M.D. 2000. Annealing of maize starch. *Carbohydrate Polymers*, 42: 287–299.

The effect of annealing on heat resistance of corn starch

*S.R. Falsafi¹, H. Rostam Abadi²

¹ PhD Student, Department of Food Science and Technology, Faculty of Food Science and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Received: 3-4-2017; Accepted: 12-5-2017

Abstract

In the present study, the effect of annealing on heat resistance of corn starch was investigated. For this purpose, native and modified corn starch were heated for 2.5 to 10 min at 95 °C. The results revealed that swelling power and solubility of modified starches were significantly lower. Cold water viscosity, relative and intrinsic viscosities of modified starch were also lower than that of native counterparts. These changes proved the higher resistance of modified starch against heating process.

Keywords: Corn, Starch, Modify, Retrogradation, Heat resistance