

## اثر اسید سیتریک بر خصوصیات خمیری و قدرت تورم نشاسته با آمیلوز پایین و بالا در برنج

رضا فرمندفر<sup>۱</sup> - سید علی مرتضوی<sup>۲\*</sup> - فریده طباطبایی یزدی<sup>۳</sup> - آرش کوچکی<sup>۴</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۲/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۱۱/۳

### چکیده

در این تحقیق، تغییرات خصوصیات خمیری، قدرت تورم و قابلیت حلالیت دو نوع نشاسته برنج - آمیلوز پایین (۸/۷٪) و آمیلوز بالا (۲۶٪) - در دو غلظت اسید سیتریک (۰ و ۰/۰۱ مولار) بررسی شد. نتایج نشان داد که ویسکوزیته حداکثر و ویسکوزیته شکست به همراه افزایش نسبت آمیلوز، کاهش معنی‌دار می‌یابند ( $P < 0.05$ ) و این در حالی است که ویسکوزیته خمیر داغ و ویسکوزیته خمیر سرد صعود معنی‌دار پیدا می‌کنند ( $P < 0.05$ ). با افزایش غلظت اسید سیتریک خصوصیات خمیری تغییر معنی‌داری نکرد ( $P > 0.05$ ). قدرت تورم و قابلیت حلالیت خمیرهای نشاسته - با و بدون اسید سیتریک - با افزایش دما روند صعودی به خود گرفتند. با افزایش غلظت اسید سیتریک، قدرت تورم نشاسته‌های آمیلوز پایین و بالا کاهش یافت و این حالت در نشاسته‌های آمیلوز پایین مشخص‌تر بود و از طرف دیگر اسید سیتریک باعث افزایش قابلیت حلالیت خصوصاً در نشاسته‌های آمیلوز بالا شد. علاوه بر این، قدرت تورم و قابلیت حلالیت با افزایش محتوای آمیلوزی به ترتیب کاهش و افزایش یافت.

**واژه‌های کلیدی:** نشاسته برنج، آمیلوز، خصوصیات خمیری، قدرت تورم

### مقدمه

2004). آمیلوز نوعی پلیمر (عمدتاً) خطی است که در آن واحدهای D-گلوکوپیرانوز از طریق پیوندهای (۴-۱)  $\alpha$  به یکدیگر متصل می‌شوند. به منظور سهولت کار آمیلوز را خطی فرض می‌کنند ولی اخیراً گزارش شده که ساختار آمیلوز دارای کمی شاخه است یعنی تعداد کمی از پیوندهای (۶-۱)  $\alpha$  در ساختار آن وجود دارد. وزن مولکولی آمیلوز از ۵۰۰ واحد انیدروگلوکز (AGU)<sup>۷</sup> در نشاسته ذرت آمیلوز بالا تا بیش از ۶۰۰۰ واحد انیدروگلوکز در نشاسته سیب زمینی متغیر است (Hizukuri et al., 2006). محققین مختلفی نشاسته را بر اساس میزان آمیلوزشان تقسیم بندی کرده‌اند: معمولاً نشاسته طبیعی دارای ۷۵٪ آمیلوپکتین و ۲۵٪ آمیلوز، نشاسته واکسی دارای ۱۰۰-۹۲٪ آمیلوپکتین و ۸-۰٪ آمیلوز و نشاسته آمیلوز بالا دارای ۷۰-۴۰٪ آمیلوز می‌باشد. به تازگی، ارقامی از لحاظ ژنتیکی توسعه پیدا کرده‌اند که محتوای آمیلوزی آنها بیش از ۹۰٪ است (Case et al., 1998). Juliano (۱۹۹۲) نشاسته برنج را می‌توان بر اساس محتوای آمیلوزی آن به چهار دسته واکسی (۵-۰٪)، خیلی پایین (۱۲-۵٪)، پایین (۲۰-۱۲٪)، متوسط (۲۵-۲۰٪) و بالا (۳۳-۲۶٪) تقسیم بندی کرد. در تجارت معمولاً برنج را بر اساس محتوای آمیلوزی به سه دسته آمیلوز پایین (کمتر از ۲۰٪ آمیلوز)، آمیلوز متوسط (۲۵-۲۱٪ آمیلوز) و آمیلوز بالا (۳۳-۲۶٪) طبقه بندی می‌کنند (Suwannaporn et al.,

نشاسته نوعی کربوهیدرات ذخیره‌ای است که گیاهان آوندی<sup>۵</sup> آن را برای تأمین انرژی خود تولید می‌کنند. این ماده پس از سلولز، بیشترین زیست توده<sup>۶</sup> تولیدی بر روی زمین را به خود اختصاص می‌دهد. به طور کلی می‌توان گفت که نشاسته مهمترین، فراوانترین و قابل هضم‌ترین پلی ساکاریدی است که در تأمین انرژی بشر نقش دارد (Jane, 2004). نشاسته در گیاهان در اجزایی به نام آمیلوپلاست تولید می‌شود و در داخل هر آمیلوپلاست، اجزایی به نام گرانول وجود دارد که تعداد، شکل و اندازه آنها بسته به نوع گیاه متفاوت است. نشاسته شامل آمیلوپکتین‌های پرشاخه و آمیلوزهای (عمدتاً) خطی می‌باشد که این مولکول‌ها در ساختار شبه کریستالی گرانول‌ها قرار می‌گیرند (Eliasson and Gudmundsson, 2006; Preiss, )

۱- دانش آموخته دکتری علوم و صنایع غذایی دانشگاه فردوسی مشهد و استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، مازندران.

۲، ۳ و ۴- به ترتیب استاد و دانشیاران گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

\* - نویسنده مسئول: (Email: Morteza1937@yahoo.com)

5-Higher plants

6- Biomass

7-Anhydroglucose unit

در مدت زمان کوتاه‌تر استفاده می‌شود. محققین بسیار محدودی به تحقیق در زمینه اضافه کردن اسیدهای آلی پرداخته‌اند. این تحقیقات نشان می‌دهد که این روش اصلاح بیشتر برای بهبود پخت برنج سفید (با بیش از ۹۰٪ نشاسته) و یا نشاسته آن به کار می‌رود.

Ohishi و همکاران (۲۰۰۷) عنوان کردند که قدرت تورم و حلالیت نشاسته برنج در حضور اسید استیک افزایش می‌یابد که این امر نشان دهنده آن است که اسید استیک قدرت جذب آب توسط آمیلوکتین را بالا می‌برد. از طرف دیگر، تیمار نشاسته برنج با اسید استیک باعث سهولت ژلاتینه شدن نشاسته می‌شود. قاسمی و همکاران (۱۳۸۷) اثر افزودن اسید استیک و اسید لاکتیک در حین پخت بر بافت، دمای ژلاتینه شدن و خواص میکروسکوپی برنج دم‌سیاه را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که نمونه‌های پخت شده تحت شرایط اسیدی، سختی کمتر و دمای ژلاتینه شدن پایین‌تری دارند. اما افزودن اسید بر چسبندگی نمونه‌ها اثر معنی‌داری نداشت. همچنین بررسی‌های میکروسکوپ الکترونی روشی<sup>۵</sup> (SEM) انجام شده روی سطح خارجی دانه برنج نشان داد که افزودن این اسیدها سبب کاهش تخلخل و اندازه حفرات روی سطح می‌شود. با استناد به نتایج آمیلوگرافی و SEM به نظر می‌رسد که افزودن اسید به برنج در حین پخت، باعث ژلاتینه شدن بهتر و مسدود شدن بیشتر منافذ روی سطح دانه برنج می‌شود. Nopharatana و همکاران (۲۰۰۶) اثر خیساندن یک واریته برنج تایلندی در اسید لاکتیک ۰/۱ درصد و اتانول ۱۰ درصد در دماهای مختلف را بررسی کردند و دریافتند که نمونه‌های خیسانده شده در اتانول ۱۰ درصد، پس از پخت محتوای رطوبت کمتر و سختی بیشتری نسبت به سایر نمونه‌ها داشته‌اند. همچنین نمونه‌های خیسانده شده در اسید لاکتیک ۰/۱ درصد، پس از پخت چسبندگی بالاتری را نسبت به سایر نمونه‌ها دارا بودند. علی‌رغم تنوع انواع نشاسته‌های اصلاح شده تجاری، تغییر ساختار نشاسته همچنان مورد توجه می‌باشد. امروزه، تحقیقات با رویکرد تولید نشاسته‌هایی با کاربردهای خاص از جمله انواعی با خاصیت ریز پوشانندگی، ژل دهندگی، کف زایی، ایجاد فیلم و غیره در حال انجام است تا قابلیت استفاده از نشاسته در بخش‌های مختلف صنعتی و شرایط ویژه افزایش یابد. از این رو در این تحقیق تلاش بر آن است که اثر اسید سیتریک و آمیلوز در تغییر خصوصیات خمیری و تورمی نشاسته برنج مورد بررسی قرار گیرد.

## مواد و روش‌ها

### مواد

نشاسته برنج آمیلوز بالا<sup>۶</sup> (HARS) و آمیلوز پایین<sup>۱</sup> (LARS) از

۲۰۰۷). خواص ویژه بسیاری از غذاهای حاوی نشاسته، از احساس دهانی (مثل سوپ) گرفته تا بافت ژله‌ای (مثل فرنی) و برخی دسرهای سرد یا بافت اسفنجی یک نتیجه تغییرات خاصی است که در طی فرآیندهای حرارتی در گرانول‌های نشاسته ایجاد می‌شود. از خصوصیات کاربردی نشاسته می‌توان به خمیری شدن، قدرت تورم و میزان حلالیت و غیره اشاره کرد (Jane, 2004). خمیری شدن<sup>۱</sup> خصوصیت مهمی در نشاسته است که باعث کاربردهای مختلف آن می‌شود. به عنوان مثال خمیری شدن باعث می‌شود که نشاسته را بتوان به عنوان عامل غلیظ کننده و نیز ساینده در صنعت به کار برد. نشاسته‌های خمیری مختلف باعث خصوصیات خمیری متفاوت می‌گردند. وجود رابطه منفی بین آمیلوز با ویسکوزیته حداکثر، ویسکوزیته شکست و رابطه مثبت بین آمیلوز با ویسکوزیته نهایی توسط محققین گزارش شده است (Champagne, et al., 1999; Delwiche et al., 1996; Han and Hamaker, 2001; Jane et al., 1999; Juliano et al., 1964; Juliano and Pascaul, 1980). نشاسته را می‌توان به روش‌های مختلف (فیزیکی، شیمیایی و آنزیمی) اصلاح کرد که در این بین، اصلاح شیمیایی از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. نشاسته‌های تبدیل یافته<sup>۲</sup> یکی از نشاسته‌های مرسوم است که از طریق اصلاح شیمیایی بدست می‌آید. سه نوع فرآیند مهم که برای تولید نشاسته‌های تبدیل یافته به کار می‌روند عبارتند از استفاده از اسید، بهره‌گیری از اکسیدان در سیستم قلیایی، به کارگیری گرما. نشاسته اصلاح شده با اسید (نشاسته تبدیل شده با اسید)<sup>۳</sup> را می‌توان به دو دسته نشاسته اصلاح شده با اسیدهای قوی معدنی (نشاسته رقیق شده در حال جوش<sup>۴</sup>) و نشاسته اصلاح شده با اسیدهای ضعیف آلی تقسیم کرد (Huber and BeMiller, 2010).

تحقیقات بر روی نشاسته رقیق شده در حال جوش نشان می‌دهد که در محلول نشاسته پیوندهای  $\alpha(1-4)$  نسبت به پیوندهای  $\alpha(1-6)$  با سهولت بیشتری شکسته می‌شوند. بیشترین سرعت هیدرولیز زمانی اتفاق می‌افتد که غلظت کم و مناطق کریستالی محدود باشد. برای نشاسته ذرت واکسی تیمار شده با اسید، دو مدل هیدرولیز پیشنهاد کرده‌اند. در برخی موارد، هیدرولیز از سطح خارجی گرانول به داخل آن روی می‌دهد در حالی که در موارد دیگر، هیدرولیز از منطقه هیلوم و به طور شعاعی انجام می‌پذیرد. لازم به ذکر است که وجود کانال‌ها در گرانول، باعث تسهیل در انجام الگوی دوم هیدرولیز می‌شود (Huber and BeMiller, 2010; Wurzburg, 2006). در نشاسته اصلاح شده با اسیدهای ضعیف آلی، عمل هیدرولیز نسبت حالت قبلی، بسیار ضعیف‌تر است چون در این حالت از اسیدهای ضعیف‌تر و

1-Pasting

2-Converted starches

3-Acid-modified starch (Acid-converted starch)

4-Thin-boiling starch

5- Scanning Electron Microscopy

6-High amylose rice starch

### اندازه گیری قدرت تورم و میزان حلالیت

قدرت تورم<sup>۸</sup> (SP) و میزان حلالیت<sup>۹</sup> (S) نمونه‌های نشاسته بر اساس روش یوو و همکاران (۲۰۱۰) تعیین شد. در ابتدا دیسپرسیون نشاسته با غلظت ۲/۵٪ (وزنی/وزنی) تهیه گردید بدین صورت که ۰/۵ گرم نمونه نشاسته به همراه ۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر در داخل لوله‌های سانتریفوژی (با وزن مشخص) قرار داده شد و این لوله‌ها به مدت ۳۰ دقیقه در حمام آب با دمای ۵۵، ۶۵، ۷۵ و ۸۵ درجه سانتیگراد حرارت داده شد. سپس نمونه‌ها در محیط آزمایشگاه سرد شد تا دمای آن به دمای اتاق برسد و پس از آن به مدت ۱۵ دقیقه در ۲۶۰×g سانتریفوژ گردید. سپس مایع رویی به دقت جدا و در داخل پلیت (با وزن مشخص) ریخته و وزن آن تعیین شد. پلیت حاوی مایع رویی بر روی حمام آب جوش قرار گرفت تا آب آن تبخیر گردد و سپس این پلیت در ۱۰۵ °C تا حصول وزن ثابت، خشک شد. میزان حلالیت (%) و قدرت تورم (گرم/گرم) از فرمول‌های زیر تعیین شدند:

$$S = W_r / W \times 100 \quad (1)$$

$$SP = W_t / (W - W_t) \quad (2)$$

در روابط فوق، S میزان حلالیت (برحسب درصد)، SP قدرت تورم (گرم/گرم)، Wt وزن رسوب مرطوب (برحسب گرم)، Wr وزن مایع رویی خشک شده (برحسب گرم) و W وزن نمونه (برحسب گرم) می‌باشند.

### تجزیه و تحلیل داده‌ها

در این تحقیق نشاسته برنج در دو سطح آمیلوزی (بالا و پایین) و در دو غلظت اسید سیتریک (۰ و ۰/۰۱ مولار) مورد بررسی قرار گرفت. تجزیه و تحلیل نتایج در قالب فاکتوریل، با طرح آماری کاملاً تصادفی و در سه تکرار انجام گرفت. مقایسه میانگین با استفاده از آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح اطمینان ۹۵٪ انجام شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده نرم افزار MSTATC و رسم نمودارها با استفاده از نرم افزار Excel صورت پذیرفت.

### نتایج و بحث

**تأثیر اسید سیتریک بر خصوصیات خمیری نشاسته آمیلوز پایین و بالا برنج**  
محصول

شکل ۱، اثر متقابل افزودن اسید سیتریک و میزان آمیلوز نشاسته را بر ویسکوزیته حداکثر نشان می‌دهد. نمونه آمیلوز پایین بدون اسید و نمونه آمیلوز بالا با اسید سیتریک ۰/۰۱ مولار به ترتیب بیشترین و

شرکت چوهنگ (ناکورن پراسوم، تایلند)<sup>۲</sup> تهیه شد. بر اساس مشخصات ارائه شده این شرکت، نشاسته آمیلوز بالا دارای تقریباً پروتئین ۰/۵۰٪، آمیلوز ۲۶٪، چربی ۰/۲۰٪ و pH برابر با ۶/۵ و نشاسته آمیلوز پایین دارای تقریباً پروتئین ۰/۲۸٪، آمیلوز ۸/۷٪، چربی ۰/۲۰٪ و pH برابر با ۶/۷۵ بود.

### روش‌ها

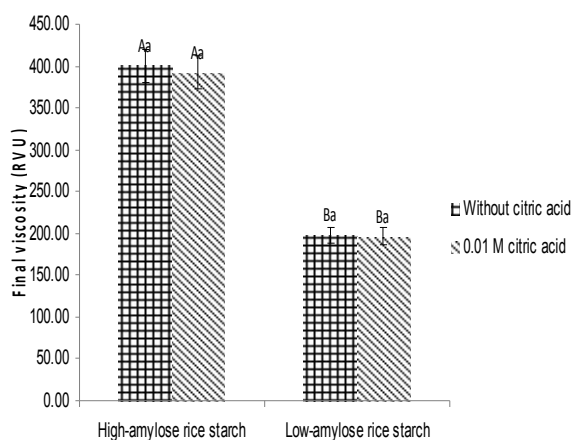
#### اندازه گیری خصوصیات خمیری

برای تعیین خصوصیات خمیری نشاسته از دستگاه ریپدویسکوآنالایزر<sup>۳</sup> (RVA) استفاده گردید. در ابتدا سوسپانسیون نشاسته (۱۲٪) با استفاده از آب مقطر و اسید سیتریک ۰/۰۱ مولار تهیه شد و به مدت ۳۰ دقیقه در بن ماری با دمای ۲ ± ۳۰ °C قرار گرفت. سپس با استفاده از محلول NaOH یا HCL ۰/۱ مولار خنثی و سه بار به مدت ۱۵ دقیقه در ۲۶۰×g سانتریفوژ گردید. در مرحله بعد، مایع رویی به دقت جدا و رسوب ته لوله‌های سانتریفوژ بر روی پلیت‌ها پخش شد و تا رسیدن به وزن ثابت در آن فن‌دار قرار گرفت. نمونه‌های خشک شده به کمک هاون آسیاب و از غربال با مش ۸۰ عبور داده شدند و سپس در ظرف‌های پلاستیکی غیرقابل نفوذ قرار گرفتند. برای آزمایش RVA، ۳ گرم نشاسته برنج به همراه ۲۵ میلی-لیتر آب مقطر در داخل استوانه فلزی دستگاه مربوطه قرار داده شد. دستگاه مذکور در ۱۰ ثانیه اول با ۹۶۰ دور در دقیقه (rpm) شروع به کار نمود و بعد از آن در ۱۶۰ دور در دقیقه ثابت شد. درجه حرارت اولیه ۵۰ درجه سانتیگراد بود و طی مراحل ذیل، اندازه گیری پارامترهای خمیری در مدت زمان ۱۲/۵ دقیقه انجام شد. این مراحل به ترتیب عبارتند از ثابت بودن درجه حرارت در ۵۰ درجه سانتیگراد تا ۱ دقیقه، افزایش درجه حرارت به صورت خطی تا ۹۵ درجه سانتیگراد و رسیدن به زمان ۴:۴۵ دقیقه، ثابت بودن درجه حرارت در ۹۵ درجه سانتیگراد تا ۷:۱۵ دقیقه، کاهش درجه حرارت و رسیدن به ۵۰ درجه سانتیگراد تا ۱۱:۰۶ دقیقه و ثابت شدن درجه حرارت روی ۵۰ درجه سانتیگراد و رسیدن به زمان ۱۲:۳۰ دقیقه (AACC, 2000).

خصوصیات خمیری مختلفی را می‌توان از روی نمودارهای RVA بدست آورد، که این خصوصیات عبارتند از ویسکوزیته حداکثر<sup>۴</sup> (PV)، ویسکوزیته خمیر داغ<sup>۵</sup> (HPV)، ویسکوزیته خمیر سرد<sup>۶</sup> (CPV) و ویسکوزیته شکست<sup>۷</sup> (BDV) (AACC, 2000).

- 1-Low amylose rice starch
- 2-Choheng Co., Ltd. (NakornPrathom, Thailand)
- 3-Rapid ViscoAnalyser
- 4-Peak viscosity
- 5-Hot paste viscosity
- 6-Cool paste viscosity
- 7-Breakdown viscosity

میزان آمیلوز از ۲۶٪ به ۸/۷٪، ویسکوزیته حداقل به شدت کاهش می‌یابد ( $P < 0.05$ ). از طرف دیگر با مقایسه نمونه‌ها در هر یک از سطوح آمیلوز مشاهده شد که با کاهش میزان اسید سیتریک از ۰/۰۱ به ۰ مولار، میزان ویسکوزیته حداقل به صورت جزئی افزایش یافت ولی این روند معنی‌دار گزارش نشده است ( $P > 0.05$ ). بررسی‌ها نشان داد که کمترین و بیشترین مقدار ویسکوزیته نهایی به ترتیب در نشاسته‌های آمیلوز پایین با اسید سیتریک ۰/۰۱ مولار و نشاسته‌های آمیلوز بالا بدون اسید مشاهده می‌گردد (شکل ۳). نشاسته‌های آمیلوز بالا نسبت به آمیلوز پایین، از ویسکوزیته نهایی بیشتری برخوردارند. از طرف دیگر، با افزایش میزان اسید سیتریک از ۰ به ۰/۰۱ مولار در هر یک از سطوح آمیلوز، میزان ویسکوزیته نهایی کاهش جزئی یافت ولی این روند معنی‌دار گزارش نشده است ( $P > 0.05$ ).

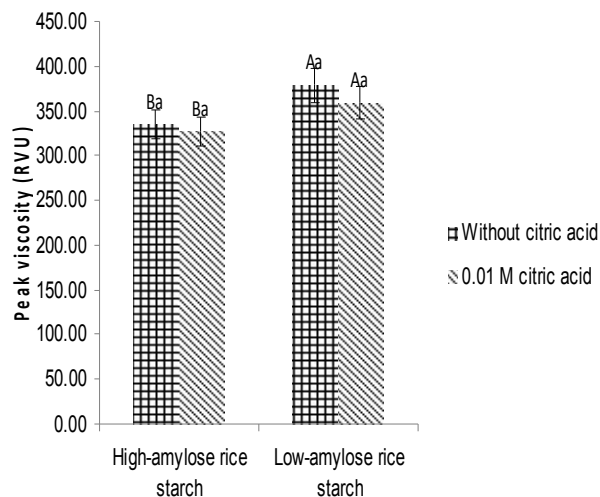


شکل ۳- اثر اسید سیتریک بر ویسکوزیته نهایی نشاسته آمیلوز پایین و بالا برنج

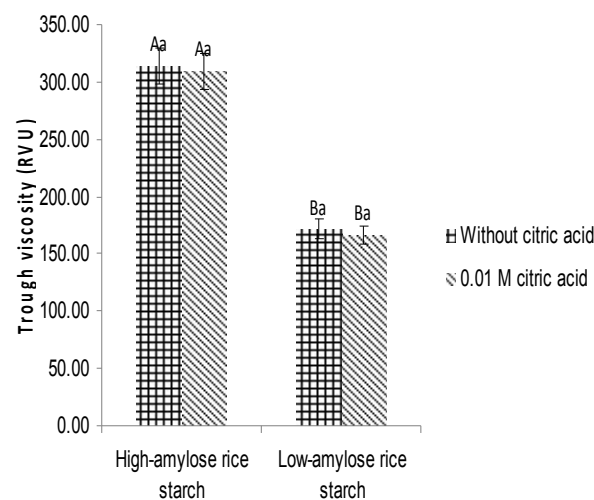
همان طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، بیشترین ویسکوزیته شکست در نمونه‌های آمیلوز پایین بدون اسید به میزان ۲۰۷/۲۸ و کمترین آن در نمونه‌های آمیلوز بالا با اسید سیتریک ۰/۰۱ مولار به میزان ۱۸/۲۱ RVU مشاهده شد. با افزایش میزان آمیلوز از ۸/۷٪ به ۲۶٪ ویسکوزیته شکست به طور معنی‌داری افزایش یافت ( $P < 0.05$ ) به طوری که این افزایش در نشاسته‌های بدون اسید و با اسید به ترتیب بیش از ۹/۵ و ۱۰ برابر بدست آمده است. نتایج نشان داد که با افزایش میزان اسید سیتریک از ۰ به ۰/۰۱ مولار، میزان ویسکوزیته شکست در نشاسته‌هایی با آمیلوز پایین کاهش جزئی یافت ولی این روند معنی‌دار ( $P > 0.05$ ) نبود.

Suwannaporn و همکاران (۲۰۰۷) خصوصیات بافتی برنج پخته شده و نیز ویژگی‌های خمیری نه‌وارفته مختلف (با محتوای آمیلوزی کم، متوسط و بالا) را اندازه‌گیری کردند. نتایج آنها نشان داد که ویسکوزیته حداکثر نمونه‌های مختلف آرد برنج در محدوده ۲۰۸/۳-۱۳۴/۶ RVU قرار دارد. آنها بیان کردند برنج‌های آمیلوز

کمترین مقدار ویسکوزیته حداکثر را به خود اختصاص دادند. مشخص شد که پایین بودن آمیلوز باعث افزایش معنی‌دار ویسکوزیته حداکثر می‌شود ( $P < 0.05$ ). با افزایش میزان اسید سیتریک از ۰ به ۰/۰۱ مولار در هر یک از سطوح آمیلوز، میزان ویسکوزیته حداکثر کاهش جزئی یافت ولی این روند معنی‌دار گزارش نشده است ( $P > 0.05$ ).



شکل ۱- اثر اسید سیتریک بر ویسکوزیته حداکثر نشاسته آمیلوز پایین و بالا برنج



شکل ۲- اثر اسید سیتریک بر ویسکوزیته حداقل نشاسته آمیلوز پایین و بالا برنج

شکل ۲، اثر متقابل افزایش میزان آمیلوز و اسید سیتریک را روی ویسکوزیته حداقل نشان می‌دهد. بیشترین ویسکوزیته حداقل در نمونه‌های آمیلوز بالا بدون اسید به میزان ۳۱۳/۵۸ RVU و کمترین آن در نمونه‌های آمیلوز پایین با اسید سیتریک ۰/۰۱ مولار به میزان ۱۶۶/۳۶ RVU مشاهده شد. نتایج نشان داد که یک رابطه مثبت بین میزان آمیلوز ویسکوزیته حداقل وجود دارد به طوری که با کاهش

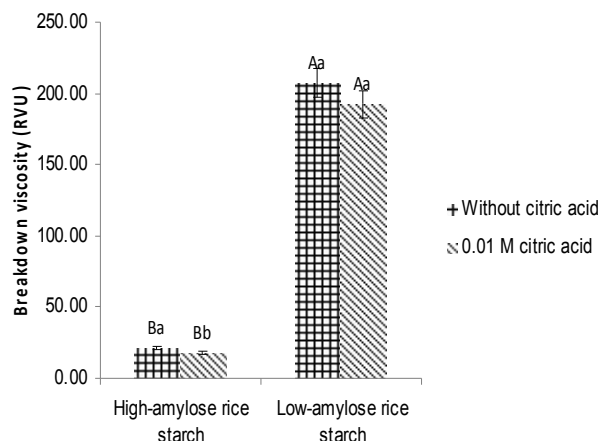
تنش برشی قرار می‌گیرند به سرعت دچار پارگی نمی‌شوند (Kumar and Ali, 1991) و مناطق کریستالی نشاسته‌های آمیلوز بالا به دلیل داشتن زنجیره‌های بلندتر، به انرژی بیشتری برای حلالیت و تخریب ناحیه کریستالی نیازمندند (Jane *et al.*, 1999). Suwannaporn و همکاران (۲۰۰۷) همچنین بیان کردند که برنج‌های آمیلوز بالا (نسبت به برنج‌های آمیلوز متوسط و پایین) دارای ویسکوزیته حداقل بیشتری هستند. وجود رابطه منفی بین آمیلوز با ویسکوزیته حداکثر، ویسکوزیته شکست و رابطه مثبت بین آمیلوز با ویسکوزیته نهایی توسط محققین گزارش شده است (Champagne, *et al.*, 1999; Delwiche *et al.*, 1996; Han and Hamaker, 2001; Jane *et al.*, 1999; Juliano *et al.*, 1964; Juliano and Pascaul, 1980).

Ohishi و همکاران (۲۰۰۷) نشان دادند که خمیر نشاسته برنج با آب مقطر دارای بالاترین مقادیر ویسکوزیته حداکثر، ویسکوزیته حداقل و ویسکوزیته نهایی و کمترین میزان ویسکوزیته شکست بود و با افزایش میزان غلظت اسید استیک از ۰ به ۰/۲ مولار، مقادیر ویسکوزیته حداکثر، ویسکوزیته حداقل و ویسکوزیته نهایی کاهش و ویسکوزیته شکست افزایش یافت. در مراحل اولیه (قبل از شروع ژلاتیناسیون)، ویسکوزیته خمیر نشاسته با اسید استیک بالاتر از ویسکوزیته خمیر با آب مقطر است ولی در دمای بالاتر از دمای خمیری شدن (۷۷ درجه سانتیگراد)، خمیر نشاسته با اسید استیک ویسکوزیته کمتری نسبت به خمیر نشاسته با آب مقطر از خود نشان می‌دهد که این امر بیانگر آن است که در آزمایش RVA، ویسکوزیته خمیر ژلاتینه شده در محلول اسید استیک در اثر رقیق‌کنندگی حاصل از همزدن، کاهش بیشتری می‌یابد. به طور کلی، اسید اسکوربیک (به ویژه پس از ژلاتیناسیون) باعث تخریب قسمتی از مولکول‌های نشاسته می‌شود (مجدوبی و همکاران، ۲۰۱۲). Takahashi (۱۹۷۴) بیان کرد که نیروی اتصال دهنده مولکولی<sup>۴</sup> خمیر حاصل نشاسته ژلاتینه شده در اثر تنش برشی حاصل از نیروی مکانیکی از بین می‌رود لذا می‌توان گفت در حضور اسید، ساختار گرانول شکننده‌تر و در نتیجه ویسکوزیته آن کاهش می‌یابد.

#### تأثیر اسید سیتریک بر قدرت تورم و قابلیت حلالیت نشاسته آمیلوز پایین و بالا برنج

شکل ۵ اثر متقابل افزایش آمیلوز و اسید سیتریک در دماهای مختلف را بر قدرت تورم گرانول‌های نشاسته نشان می‌دهد. در میان کلیه نمونه‌ها، میزان و سرعت تورم گرانول نشاسته‌های آمیلوز پایین بدون اسید بیشترین و نمونه آمیلوز بالا با اسید سیتریک ۰/۰۱ مولار کمترین مقدار بود. همان طور که مشاهده می‌کنید در کلیه نمونه‌های مورد بررسی، با افزایش دما قدرت تورم گرانول‌ها روند صعودی به

پایین، متوسط و بالا به ترتیب دارای ویسکوزیته حداقل RVU ۰/۰۶-۰/۷، ۵/۱۰۶-۸/۷۹ و ۸/۱۳۳-۹/۱۲۹ و ویسکوزیته شکست RVU ۰/۹۹-۰/۷۴، ۵/۸۹-۰/۶۸ و ۳/۴۶-۷/۶۱ و ویسکوزیته نهایی RVU ۷/۱۹۸-۴/۱۲۶، ۵/۲۶۱-۳/۱۹۳ و ۷/۳۸۶-۰/۲۵۰ می‌باشد.



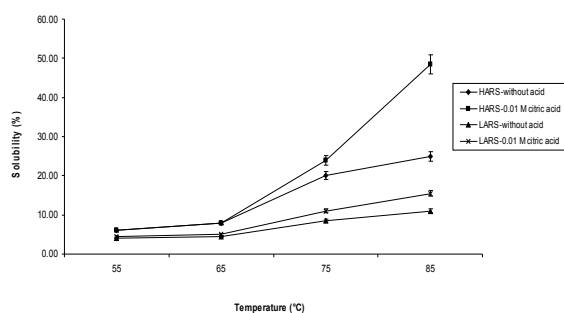
شکل ۴- اثر اسید سیتریک بر ویسکوزیته شکست نشاسته آمیلوز پایین و بالا برنج

Suwannaporn و همکاران (۲۰۰۷) در طبقه بندی محتوای آمیلوزی برنج با استفاده از تحلیل ممیزی<sup>۱</sup> خصوصیات فیزیکیوشیمیایی به این نتیجه رسیدند که تنها خصوصیات خمیری می‌تواند گروه‌های آمیلوزی را متمایز کند و خصوصیات بافتی از این توانایی برخوردار نیستند. در بین خصوصیات خمیری ویسکوزیته حداکثر و ویسکوزیته حداقل دارای بهترین ممیزی<sup>۲</sup> با مقدار ویژه<sup>۳</sup> ۳۲/۹ هستند. قدرت پیش بینی صحیح این ممیزیها برای گروه‌های آمیلوز بالا و آمیلوز متوسط برابر ۱۰۰ ولی برای گروه‌های آمیلوز پایین ۶۶/۷٪ است. محققین گزارش دادند که نمونه‌هایی با محتوای آمیلوزی کم (نسبت به برنج-های آمیلوز متوسط و آمیلوز بالا) دارای قدرت تورم بالاتر و در نتیجه ویسکوزیته حداکثر بیشتر هستند (Suwannaporn و همکاران، ۲۰۰۷). Morrison و Tester (۱۹۹۰) گزارش دادند که قدرت تورم گرانول‌های نشاسته به ملکول‌های آمیلوپکتین وابسته است و مولکول‌های آمیلوز به عنوان مانع کننده عمل می‌کنند. Han و Hamaker (۲۰۰۱) دریافتند که بین محتوای آمیلوزی و قدرت تورم همبستگی منفی وجود دارد. Suwannaporn و همکاران (۲۰۰۷) بیان کردند که برنج‌های آمیلوز بالا (نسبت به برنج‌های آمیلوز متوسط و پایین) ویسکوزیته شکست کمتری از خود نشان می‌دهند که این امر بیانگر پایداری بالاتر گرانول‌های نشاسته آنها است. نشاسته‌های آمیلوز بالا سفت و محکم هستند لذا پس از اینکه در معرض گرما و

1-Discriminant analysis  
2-Discriminator  
3-Eigenvalue

4-Molecular associative strength

دیگر، با بررسی اثر اسید استیک بر روی برنج اظهار داشتند که اثر اسید استیک بر روی نشاسته برنج مشابه دانه آن است به طوری که خصوصاً در دمای بالاتر از ۶۰ درجه سانتیگراد اسید استیک باعث افزایش قدرت تورم و نیز روند صعودی خروج مواد جامد استخراج شده از نشاسته و دانه برنج می‌شود. برخی محققین اعلام کردند که افزودن اسید لاکتیک و استیک به برنج در حین پخت، باعث ژلاتینه شدن بهتر و مسدود شدن بیشتر منافذ روی سطح دانه برنج می‌شود (قاسمی و همکاران، ۱۳۸۷) به نظر می‌رسد که در هنگام حرارت‌دهی، احتمالاً با افزایش منافذ روی سطح باعث افزایش خروج مواد محلول می‌شود که برخلاف نتایج تحقیق قاسمی و همکاران (۱۳۸۷) می‌باشد.

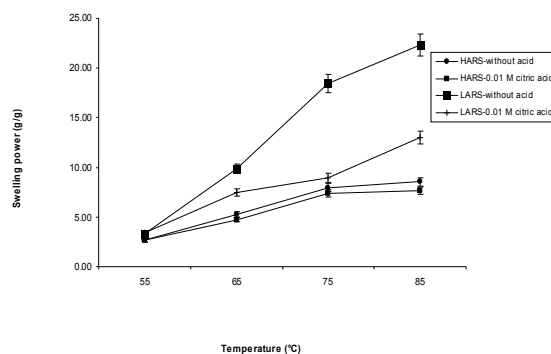


شکل ۶- اثر اسید سیتریک بر قابلیت حلالیت نشاسته آمیلوز پایین و بالا برنج

### نتیجه گیری

نتایج بدست آمده بیانگر آن است که میزان آمیلوز و غلظت اسید سیتریک پارامترهای مهمی در تغییر خصوصیات خمیری، قدرت تورم و قابلیت حلالیت نشاسته برنج محسوب می‌شوند. با افزایش میزان آمیلوز ویسکوزیته حداکثر، ویسکوزیته شکست و قابلیت حلالیت افزایش ولی ویسکوزیته خمیر داغ، ویسکوزیته خمیر سرد و قدرت تورم کاهش یافتند. از طرف دیگر، افزایش جزئی اسید سیتریک (از ۰ تا ۰/۰۱ مولار) باعث کاهش جزئی خصوصیات خمیری شد ولی همین مقدار اسید سیتریک در حین پخت بر قدرت تورم و قابلیت حلالیت نشاسته خصوصاً در دماهای بالا، تأثیر ملاحظه‌ای داشت. علاوه بر این، تأثیر دما در افزایش قدرت تورم و قابلیت حلالیت انکار ناپذیر است. با توجه اهمیت نشاسته برنج، نتایج این تحقیق می‌تواند محققین و صنعتگران را بیش از پیش در شناخت خصوصیات نشاسته و کاربرد مناسب آن در محصولات مختلف یاری رساند.

خود گرفت. در دماهای کمتر (۵۵ الی ۶۵ درجه سانتیگراد) افزایش سریعی در میزان قدرت تورم رخ داد که این امر نشان دهنده افزایش سریع جذب آب توسط گرانول‌های نشاسته است. در دماهای بالا (۷۵ الی ۸۵ درجه سانتیگراد) نیز این روند جذب آب همچنان ادامه یافت به طوری که در نشاسته‌های آمیلوز پایین (۰ و ۰/۰۱ مولار اسید سیتریک) شیب صعودی بالایی مشاهده شد ولی در نشاسته‌های آمیلوز بالا (۰ و ۰/۰۱ مولار اسید سیتریک) این روند کندتر و در نتیجه به خط افق نزدیکتر شده است لذا می‌توان قدرت تورم گرانول‌ها در ارتباط مستقیم با آمیلوپکتین آنها می‌باشد. از طرف دیگر، با افزایش غلظت اسید سیتریک در هر یک از سطوح آمیلوزی، قدرت تورم (خصوصاً در دمای بیشتر از ۵۵ درجه سانتیگراد) به صورت معنی‌داری کاهش یافت ( $P < 0.05$ ). نتایج نشان داد که با افزایش دما - خصوصاً در دماهای بالاتر از ۶۵ درجه سانتیگراد - قابلیت حلالیت نشاسته برنج به صورت معنی‌داری ( $P < 0.05$ ) افزایش پیدا می‌کند (شکل ۶) به طوری که سرعت و میزان این افزایش در نشاسته‌های آمیلوز بالا با اسید سیتریک ۰/۰۱ مولار و نشاسته‌های آمیلوز پایین بدون اسید به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار می‌باشد. نشاسته‌های آمیلوز بالا (مستقل از میزان اسید سیتریک) قابلیت حلالیت بیشتری نسبت به نشاسته‌های آمیلوز پایین از خود نشان دادند. در این بین، با افزایش مولاریته اسید سیتریک در هر یک از سطوح آمیلوزی، قابلیت حلالیت کاهش یافت به طوری که در دمای بالاتر از ۶۵ درجه سانتیگراد، این روند به صورت معنی‌دار ( $P < 0.05$ ) و مشخص مشاهده گردید.



شکل ۵- اثر اسید سیتریک بر قدرت تورم نشاسته آمیلوز پایین و بالا برنج

Ohishi و همکاران (۲۰۰۷) نشان دادند که با افزایش دما (خصوصاً بالای ۶۰ درجه سانتیگراد)، قدرت تورم و قابلیت حلالیت (در کلیه سطوح اسید) در نشاسته و دانه برنج افزایش می‌یابد. از طرف

### منابع

قاسمی، ع، حامد موسویان، م.ت، حداد خداپرست، م.ح. ۱۳۸۷. بررسی اثر افزودن اسیدهای استیک و لاکتیک بر بافت و ساختار میکروسکوپی

- برنج (رقم دمسیاه) در حین پخت. مجله پژوهش‌های علوم و صنایع غذایی ایران، ۲، ۱۷-۱۱.
- American Association of Cereal Chemists. 2000. Approved Methods of the AACCC, 9th ed. Method 61-01. The Association: St. Paul, MN.
- Case, S.E., Capitani, T., Whaley, J.K., Shi, Y.C., Trzasko, P., Jeffcoat, R., Goldfarb, H.B. 1998. Physical properties and gelation behavior of a low-amylopectin maize starch and other high-amylose maize starches, *Journal of Cereal Science* 27: 301-314.
- Champagne, E.T., Bett-Garber, K.L., Vinyard, B.T., McCiung, A. M., Barton, F.E., Moldenhauer, K., Linscombe, S., Mckenzie, K.S. 1999. Correlation between cooked rice texture and Rapid ViscoAnalyser measurement. *Cereal Chemistry*, 76: 764-771.
- Collado, L.S., Corke, H. 2003. Starch Properties and Functionalities. In *Characterization of Cereals and Flours Properties - Analysis, and Applications*. Kaletung, G., Breslauer, K.J. Ed. Marcel Dekker, Inc.
- Delwiche, S.R., McKenzie, K.S., Webb, B.D. 1996. Quality characteristics in rice by near-infrared reflectance analysis of whole-grain milled samples. *Cereal Chemistry*, 73: 257-263.
- Eliasson, A.-C., Gudmundsson, M. 2006. Starch: Physicochemical and Functional Aspects. In *Carbohydrates in food*. Eliasson, A.-C. Ed. -2nd ed. Taylor & Francis Group, LLC.
- Han, XZ., Hamaker, BR. 2001. Amylopectin fine structure and rice starch paste breakdown. *Journal of Cereal Science*, 34: 279±284.
- Hizukuri, S., Abe, J.-i., Hanashiro, I., 2006. Starch: Analytical Aspects. In *Carbohydrates in food*. Eliasson, A.-C. Ed. -2nd ed. Taylor & Francis Group, LLC.
- Huber, K.C., BeMiller, J.N. 2010. Modified starch – chemistry and properties. In *Starches : characterization, properties, and applications*. A.C. Bertolini., Ed. CRC Press, Boca Raton, FL 33487-2742.
- Jane, J. 2004. Starch: structures and properties. In *Chemical and Functional Properties of Food Saccharides*. Tomasik, P. Ed. CRC Press, Boca Raton, FL. Pgs. 81-101.
- Jane, J., Chen, Y.Y., Lee, L.F., McPherson, A.E., Wong, K.S., Radosavljevic, M., Kasemsuwan, T. 1999. Effects of amylopectin branch chain length and amylose content on the gelatinization and pasting properties of starch. *Cereal Chemistry*. 76:629-637.
- Juliano, B.O. 1992. Structure chemistry and function of the rice grain and its fraction. *Cereal Food World*, 37: 772-774.
- Juliano, B.O., Bautista, G.M., Lugay, J.C., Reyes, A.C. 1964a. Rice quality, Studies on the physicochemical properties of rice. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 12: 131-138.
- Juliano, B. O., Pascaul, C.G. 1980. Quality characteristics of milled rice grown in different countries. *IRRI Res. Paper Ser. 48. Int. Rice Res. Inst.: Los Banos, Laguna, Philippines*.
- Kumar, K.R., Ali, S.Z. 1991. Properties of rice starch from paddy stored in cold and at room temperature. *Starch/Starke*, 43: 165±168.
- Nopharatana, M., Wuttisetarak, P., Vongsawasdi., P. 2006. Effect of soaking chemical and temperature on properties of cooked rice in proceeding of the international confrence on Innovation in Food and Bioprocess Technologies. Pathumthani, Thailand.
- Majzooobi M, Radi M, Farahnaky A, Tongdang T. 2012. Effects of L-ascorbic acid on physicochemical characteristics of wheat starch. *Journal of Food Science*, 77: C314-8.
- Ohishi, K., Kasai, M., Shimada, A., Hatae, K. 2007. Effects of acetic acid on the rice gelatinization and pasting properties of rice starch during cooking. *Food Research International*, 40: 224-231.
- Preiss, J. 2004. Plant starch synthesis. . In *Starch in food – structure function and applications* A.-C. Eliasson (Ed.), Cambridge: Woodhead Publishing Limited.
- Suwannaporn, P., Pitiphunpong, S., Champangern, S. 2007. Classification of rice amylose content by discriminant analysis of physicochemical properties. *Starch/Starke*, 59: 171-177.
- Takahashi, R. 1974. Physical properties of starch granules and their uses. *Journal of the Japanese Society of Starch Science*, 21: 51-60.
- Tester, R.F. and Morrison, W.R. 1990. Swelling and gelatinization of cereal starches. I. Effects of amylopectin, amylose, and lipids. *Cereal Chemistry*, 67: 551-557.
- Wurzburg, O.B. 2006. Modified starches. In *Food polysaccharides and their applications*. Stephen, A.M., Phillips, G.O., Williams, P.A. Ed. -2nd ed. Taylor & Francis Group, LLC.
- Yu, S., Ma, Y. Menager, L., Sun, D-W. 2010. Physicochemical properties of starch and flour from different rice cultivars. *Food Bioprocess Technol.*, DOI: 10.1007/s11947-010-0330-8.
- Zobel, H.F., Stephen, A.M. 2006. Starch: Structure, Analysis, and Application. In *Food polysaccharides and their applications*. Stephen, A.M., Phillips, G.O., Williams, P.A. Ed. -2nd ed. Taylor & Francis Group, LLC.

## Effect of citric acid on pasting properties and swelling power of low and high amylose rice starch

F. Farahmandfar<sup>1</sup> - S. A. Mortazavi<sup>2\*</sup> - F. Tabatabae-Yazdi<sup>3</sup> - A. Koochaki<sup>4</sup>

Received: 12-05-2012

Accepted: 22-01-2013

### Abstract

In this study, variations of the pasting properties, swelling power and solubility of two rice starches, low amylose (8.7%) and high amylose (26%) at two citric acid concentrations (0 and 0.01 M) was investigated. The results showed that the peak viscosity and breakdown viscosity of rice starch decreased significantly ( $P < 0.05$ ) with increased the proportion of amylose while hot past viscosity and cold past viscosity increased significantly ( $P < 0.05$ ). As the concentration of citric acid increased, pasting properties decreased but did not change ( $P > 0.05$ ). The swelling power and solubility of both starch pastes with and without citric acid increased with the increase of the temperature. As the concentration of citric acid increased, swelling power of low and high amylose starch decreased and this event was clearer in low amylose samples. On the other hand, citric acid induced solubility of samples particularly in high amylose rice starches. Furthermore, the swelling power and solubility of treatments decreased and increased with increasing amylose content of rice starch, respectively.

**Keywords:** Rice Starch, Amylose, Pasting Properties, Swelling Power.

---

1- Former Ph.D Student, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad and Assistant professor, Department of Food Science and Technology, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Mazandaran.

2, 3 and 4- Professor and Associate Professors, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, respectively.

(\* - Corresponding Author Email: Morteza1937@yahoo.com)