بررسی اثر بخاردهی شلتوک بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی برنج رقم شیرودی

عاصفه لطیفی*[۱]، محسن اسمعیلی[۲]، فاطمه حبیبی[۳]

۱- دانشجوی دکترا دانشگاه ارومیه، محقق موسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

۲- دانشیار صنایع غذایی دانشگاه ارومیه

۳- استادیار پژوهشی موسسه تحقیقات برنج کشور

*Asefeh59@yahoo.com

چکیده

خواص فیزیکوشیمیایی برنج طی انبارمانی تغییر می‌یابد که این پدیده به رسیدن برنج معروف است. حداقل زمان لازم برای رسیدن برنج ۳ تا ۶ ماه می‌باشد. در این پروژه بخاردهی شلتوک به عنوان یک روش برای تسریع زمان انبارمانی مورد بررسی قرار گرفت. بر شلتوک رقم شیرودی با روش بخاردهی در دو سطح رطوبتی ۲۰٪ و ۱۷٪ و زمان‌های بخاردهی ۵، ۱۰ و ۲۰ دقیقه تیمار اعمال شد و در نهایت خصوصیات کیفی برنج سفید حاصل از آن با نمونه شاهد مورد مقایسه قرار گرفت. تغییراتی در خصوصیات پخت به خصوص کاهش مواد جامد ازدست‌رفته، تغییرات بافتی شامل افزایش سختی، تغییرات ویسکوزیته شامل کاهش ویسکوزیته ماکزیمم و ویسکوزیته شکست و افزایش دمای ژلاتینه شدن حاصل شد که منطبق بر خصوصیات انبارمانی طبیعی بود. با توجه به ارزیابی حسی پذیرش یا رد نمونه توسط داوران، تیمارهای بخاردهی به مدت ۵ دقیقه و تیمارهای ۱۰ دقیقه بخاردهی در صورت پایین بودن رطوبت اولیه شلتوک (۱۷٪) مورد پذیرش بودند و تیمارهای ۲۰ دقیقه بخاردهی رد شدند.

کلمات کلیدی: آنالیز حرارتی، بخاردهی شلتوک، خصوصیات بافت، خصوصیات پخت، ویسکوزیته

مقدمه

مصرف‌کنندگان برنج، می‌دانند که خصوصیات پخت برنج طی انبارمانی تغییر می‌یابد که به آن رسیدن گویند. این تغییرات مورد پسند اکثر مصرف‌کنندگان برنج و ایرانیان نیز می‌باشد. معدودی از مصرف‌کنندگان مانند ژاپنی ها برنج تازه با خاصیت چسبندگی بالا را می‌پسندند (زو،۲۰۰۲). طی انبارمانی، چربی به اسید چرب آزاد هیدرولیز می‌شود (به طور عمده با لیپاز) و خود چربی و اسید چرب آزاد تحت اکسیداسیون به ترکیبات کربونیلی تبدیل می‌شوند و این ترکیبات صرف نظر از ایجاد بوی انبارمانی، با نشاسته و پروتئین واکنش می‌دهند و در کل این تغییرات سبب بهبود خصوصیات پخت برنج می‌شوند (تئو و همکاران،۲۰۰۰؛ سودهی و همکاران، ۲۰۰۳؛ جولیانو، ۱۹۸۵). فرایند انبارمانی متداول ۳ تا ۶ ماه طول می‌کشد (جیسوت و همکاران، ۲۰۰۹؛ سوپونروناریت و همکاران، ۲۰۰۸). این عمل نیازمند فضایی برای انبار برنج و افزایش هزینه نگهداری آن است از این‌رو ضرورت دارد تا روش‌هایی را که سبب تسریع رساندن برنج می‌شوند، مورد بررسی قرار گیرند. فرایند انبارمانی تسریع‌یافته می‌تواند به دو صورت مرطوب و خشک انجام گیرد (رایاگورا و همکاران،۲۰۱۱؛ روزیانا و همکاران، ۲۰۰۴).

پاربویل (پیش‌جوش کردن) و تیمار با بخار از فرایندهای مرطوب رساندن برنج می‌باشند. فرایند پاربویل سال‌هاست که به عنوان یک روش برای بهبود خواص تبدیل و پخت برنج بکار می‌رود که شامل مراحل طولانی خیساندن، بخاردهی و خشک‌کردن است. نتیجه‌ی این فرایند ژلاتیناسیون کامل نشاسته و تغییررنگ برنج می‌باشد (گوجرال و کومار، ۲۰۰۳).

در فرایند تیمار با بخار، شلتوک تازه برداشت شده قبل از خشک شدن و تبدیل برای مدتی تحت بخاردهی قرار می‌گیرد که یک فرایند ساده و موثر در تغییر خواص فیزیکوشیمیایی برنج می‌باشد اما ممکن است ظاهر برنج تا حدودی تغییر یابد (باتاچاریا، ۲۰۱۳).

هدف از این پژوهش، بررسی امکان بهبود خواص کیفی و فیزیکوشیمیایی رقم شیرودی با استفاده از بخاردهی شلتوک در کوتاه-مدت، بود.

مواد و روش‌ها

شلتوک رقم شیرودی (از ارقام اصلاح‌شده و سطح زیر کشت بالا در استان مازندران) برداشت شده از مزرعه به دو قسمت تقسیم شد نیمه اول با رطوبت بالای حین برداشت (۲۰٪) و نیمه دوم همان شلتوک به مدت یک روز در محیط آزمایشگاه نگهداری شد تا رطوبت اولیه پایین (۱۷٪) آید. سپس هر دو شلتوک رطوبت بالا و رطوبت پایین تحت تیمار بخاردهی ۱۰۰ درجه سلسیوس به مدت ۵، ۱۰ و ۲۰ دقیقه قرار گرفتند و با خشک‌کن بستر ثابت آزمایشگاهی با درجه حرارت ۴۰ درجه سلسیوس تا رطوبت مطلوب ۱۱٪ برای تبدیل خشک شدند. شلتوک‌های خشک‌شده با دستگاه پوست‌کن غلطک لاستیکی و سفیدکن سایشی ساتاکه به برنج سفید تبدیل شدند.

مقداری از شلتوک اولیه نیز برای داشتن تیمار شاهد به روش متداول خشک و تبدیل شد. خشک‌کردن شلتوک با دمای ۴۰ درجه سلسیوس تا رطوبت ۱۱٪ بوده و بعد تبدیل به برنج سفید شد. برنج سفید حاصله از هردو حالت بالا غربال و برنج شکسته آن جدا شد و نهایتا برنج سفید سالم حاصل از تیمارهای مختلف تحت آزمون‌های زیر قرار گرفت.

راندمان برنج سفید سالم: نسبت وزن برنج سفید سالم (طول بیش از ۳/۴ طول برنج کامل) به وزن شلتوک بود (سوپونروناریت و همکاران، ۲۰۰۸).

سختی برنج خام: نیروی حداکثر در زمان شکست ۱۰ دانه برنج سفید با دستگاه سختی سنج(Lutron FG 5020, Taiwan) ثبت گردید (لو و سیبنمورگن، ۱۹۹۵).

رنگ برنج: شاخص زردی رنگ (b value) با دستگاه رنگ سنج (Chroma meter CR-400) سنجیده شد.

عطر و بوی برنج: نمونه‌ها توسط ۱۰ داور ماهر از موسسه برنج (ایران، آمل) مورد ارزیابی قرار گرفتند. جهت ارزیابی حسی از روش امتیازدهی هدونیک ۵ نقطه‌ای از ۱ تا ۵ بر مبنای ۵ عالی، ۴ خوب، ۳ متوسط، ۲ ضعیف و ۱بوی نامطلوب نمره دهی شدند. پذیرش کلی نمونه‌ها با روش صفر و یک بر مبنای صفر رد نمونه و یک پذیرش نمونه مورد ارزیابی قرار گرفت.

فاکتورهای پخت: شامل نسبت طویل شدن ، نسبت جذب آب و مواد جامد از دست‌رفته بر اساس حداقل زمان پخت طبق روش سینگ و همکاران (سینگ و همکاران، ۲۰۰۵) انجام گرفت.

خصوصیات خمیری: خصوصیات خمیری (ویسکوزیته) آرد برنج با دستگاه رپیدویسکوآنالایزر (RVA4 Newport, Australia) بر اساس روش AACC(1995) اندازه‌گیری شد.

خصوصیات بافت: با دستگاه بافت‌سنج (TA. XT Plus Stable Micro Systems Ltd, UK) یک دانه برنج پخته با پروب استوانه‌ای با قطر ۲۵ mm و با سرعت آزمون ۰/۵۰ mm/s تا ۹۰٪ ارتفاع اولیه فشرده شد. سپس از روی منحنی مربوطه مشخصه سختی برنج پخته و چسبندگی برنج قرائت شد. نتیجه نهایی به صورت میانگین ۱۰ تکرار بیان شد (یو و همکاران، ۲۰۰۹).

تجزیه و تحلیل داده‌ها: نتایج بدست آمده از این پژوهش با استفاده از نرم افزار $SPSS_{19}$ و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح معنی‌دار ۹۵٪ صورت گرفت. هر یک از نمونه‌ها در سه تکرار شد.

نتایج و بحث

راندمان برنج سالم با افزایش زمان بخاردهی افزایش یافت (جدول ۱). با اعمال تیمار بخاردهی سختی برنج خام نیز افزایش یافت که منجر به افزایش راندمان برنج سالم شد به بیان دیگر خرده برنج در اثر افزایش سختی کاهش یافت. سخت‌تر شدن بافت برنج به ژلاتینه شدن سطحی نشاسته برنج در اثر حرارت (مارشال و همکاران، ۱۹۹۳) و دناتوره شدن پروتئین در آندوسپرم (جیسوت و همکاران، ۲۰۰۹) نسبت داده می‌شود. محققین دیگر نیز به افزایش سختی با اعمال تیمار بخاردهی اشاره نمودند (فیلرز و دزینگر، ۱۹۸۳؛ گوجرال و کومار، ۲۰۰۳).

زردی برنج نیز تفاوت معنی‌دار داشت. تیمار شاهد کمترین زردی رنگ و تیمارهای بخاردهی بیشترین زردی رنگ را داشتند (جدول ۱) و با افزایش زمان بخاردهی زردی بیشتر افزایش یافت. علت تغییر رنگ، واکنش‌های قهوه‌ای شدن مایلارد است که به ترکیب پروتئین دانه و قند در اثر حرارت‌دهی مربوط می‌شود (لامبرت و همکاران، ۲۰۰۶). افزایش زردی رنگ با افزایش تیمار حرارتی، برای شلتوک رطوبت بالایی که با خشک‌کن بستر متحرک در دماهای مختلف خشک شده بود نیز گزارش شد (ویست و همکاران، ۲۰۰۵).

درصد گچی بین تیمارها تفاوت معنی‌داری داشت. کمترین درصد گچی مربوط به تیمار شاهد و بیشترین مربوط به تیمار بخاردهی به مدت ۲۰ دقیقه بود (جدول ۱). میزان گچی بودن در دانه ارقام مختلف برنج متفاوت و متاثر از ژنتیک است و یک خصوصیت منفی در بازارپسندی برنج می‌باشد (درصد گچی در شیرودی شاهد ۱۰٪ بوده است) اما فرایند بخاردهی موجب ظهور بیشتر حالت گچی شده بود. امکان ایجاد نقاط گچی در سطح برنج در اثر تیمار بخاردهی برای انبارمانی تسریع‌یافته وجود دارد (باتاچاریا، ۲۰۱۳).

عطر و بوی برنج خام: فرایند بخاردهی تاثیری بر عطر و بوی رقم شیرودی که خود دارای عطر متوسط تا ضعیفی بود، نداشت.

پذیرش کلی تیمارها: پذیرش کلی تیمارهای بخاردهی با تیمار شاهد مورد مقایسه قرار گرفت و نتایج آن در جدول ۱ بیان شد. بر طبق آن ظاهر نمونه شلتوک‌های رطوبت بالا (۲۰٪) فقط وقتی ۵ دقیقه بخاردهی شدند مورد قبول بودند اما نمونه شلتوک‌های رطوبت پایین (۱۷٪) در هر دو زمان بخاردهی ۵ و ۱۰ دقیقه مورد پذیرش قرار گرفتند. پذیرش کلی به رنگ رقم و میزان گچی در سطح دانه مربوط می‌شد. به بیان دیگر زردی رنگ بیشتر و درصد گچی بیشتر، پذیرش کمتری داشت.

نسبت طویل شدن و نسبت جذب آب بین تیمارها تفاوت چندانی نداشت (جدول ۱). هر چند برخی منابع به افزایش طویل شدن

دانه و افزایش جذب آب بعد بخاردهی به مدت ۳۰ دقیقه اشاره کردند (گوجرال و کومار ۲۰۰۳) که کاملا متناقض با نتایج این پروژه و پروژه‌های پاربویل است که بیان می‌دارند این فرایندها ممکن است تاثیر منفی بر قدکشیدن و جذب آب ارقام داشته باشند و نیازمند زمان پخت بیشتری هستند (جولیانو، ۱۹۸۵). همچنین در انبارمانی طبیعی افزایش نسبت طویل شدن گزارش شده است (جولیانو، ۱۹۸۵؛ سودهی و همکاران، ۲۰۰۳). در ۶ رقم مورد بررسی در موسسه برنج و در انبارمانی طبیعی که رقم شیرودی هم جزء آن بود فقط یک رقم (کشوری) افزایش نسبت طویل شدن نشان داد (لطیفی، ۱۳۹۲). هر سه حالت افزایش در میزان جذب آب (جولیانو، ۱۹۸۵؛ زو و همکاران، ۲۰۰۲)، کاهش در میزان جذب آب (سوبهاگیا و باتاچاریا، ۲۰۰۱؛ سودهی، ۲۰۰۳؛ سیریسونتاراک و نومهورم، ۲۰۰۷) و عدم تغییر (لطیفی، ۱۳۹۲) طی انبارمانی طبیعی گزارش شده است.

مواد جامد ازدست‌رفته بین تیمارها تفاوت معنی‌داری داشت و بالاترین میزان مربوط به تیمار شاهد و پایین‌ترین مربوط به تیمار بخاردهی در زمان ۲۰ دقیقه بود. با افزایش زمان بخاردهی میزان مواد ازدست‌رفته کمتر می‌شد (جدول۱). مهمترین تغییر در خصوصیت پخت طی انبارمانی، کاهش مواد جامد از دست رفته است (سودهی و همکاران، ۲۰۰۳؛ زو و همکاران، ۲۰۰۷) که علت آن را کاهش حلالیت گرانول نشاسته و پروتئین طی انبارمانی بیان نمودند. در انبارمانی تسریع‌یافته کاهش مواد جامد ازدست‌رفته به دلیل فرایند حرارتی، نشان از قوی‌تر شدن دیواره سلولی و تشکیل کمپلکس آمیلوز- چربی است که مانع از نشر مواد در پخت می‌شود (جیسوت و همکاران، ۲۰۰۹؛ سوپونروناریت و همکاران، ۲۰۰۸).

خصوصیات بافت

سختی برنج پخته تیمارهای بخاردهی‌شده، افزایش معنی‌داری نشان داد و با افزایش زمان بخاردهی سختی بیشتر افزایش می‌یافت (جدول ۱). چسبندگی رقم شیرودی در تیمارها تفاوت معنی‌داری نداشت زیرا رقم شیرودی شاهد در آزمون بافت چسبندگی نشان نداد از اینرو میانگین تیمارها نیز معنی‌دار نشد. به افزایش سختی برنج پخته و کاهش چسبندگی در انبارمانی طبیعی (سیریسونتاراک و نومهورم، ۲۰۰۷؛ یو و همکاران، ۲۰۰۹) و در فرایند بخاردهی برای انبارمانی تسریع‌یافته به دلیل ژلاتینه شدن نشاسته اشاره شده است (گوجرال و کومار، ۲۰۰۳).

خصوصیات خمیری

در تیمار بخاردهی، ویسکوزیته حداکثر و ویسکوزیته شکست نسبت به تیمار شاهد کاهش، و ویسکوزیته برگشت و دمای خمیری شدن (دما در شروع افزایش ویسکوزیته) افزایش داشت (جدول ۱). شدت کاهش ویسکوزیته حداکثر، مرتبط با رطوبت و زمان بخاردهی بود هرچه رطوبت اولیه شلتوک بالاتر و زمان بخاردهی بیشتر بود به دلیل ژلاتیناسیون بیشتر، تغییرات بیشتر شد. ویسکوزیته حداکثر به دلیل ژلاتینه‌شدن نشاسته و توان کمتر جذب آب، کاهش یافت. ویسکوزیته ماکزیمم نشانه ظرفیت جذب آب مخلوط، ویسکوزیته شکست نشانه درجه متلاشی شدن گرانول و ویسکوزیته برگشت نشانه خاصیت ژله ای یا رتروگرادسیون می‌باشد (سوپونروناریت و همکاران، ۲۰۰۶). در انبارمانی طبیعی ویسکوزیته ماکزیمم ابتدا افزایش و در زمان طولانی‌تر نگهداری کاهش می‌یابد. کاهش ویسکوزیته طی زمان طولانی انبارمانی نشانه آن است که گرانول نشاسته انبارخرده مقاومت بیشتری به بادکردگی از خود نشان می‌دهد (زو و همکاران، ۲۰۰۳). مهمترین تغییر قابل توجه در منحنی ویسکوزیته، کاهش ویسکوزیته شکست در زمان انبارمانی کافی است که نشانه نظم یافتن بیشتر اجزاء برنج و مقاوم‌تر بودن گرانول به تخریب بعد پخت است (سوبهاگیا و باتاچاریا، ۲۰۰۱؛ زو و همکاران، ۲۰۰۳). ویسکوزیته برگشت نیز معمولا طی انبارمانی افزایش می‌یابد که مرتبط با پدیده رتروگرادسیون یا همان بیاتی است و یک فاکتور کلیدی در تشخیص مناسب بودن آرد برنج برای فراورده های بدون گلوتن می‌باشد (ماریوتی و همکاران، ۲۰۰۹). در انبارمانی تسریع‌یافته نیز به کاهش ویسکوزیته ماکزیمم، افزایش ویسکوزیته برگشت (

جیسوت و همکاران، ۲۰۰۹؛ سوپونروناریت و همکاران، ۲۰۰۸) و کاهش ویسکوزیته شکست (ویست و همکاران، ۲۰۰۵) اشاره شده است. تغییرات مشخصه‌های ویسکوزیته در تیمارهای بخاردهی‌شده مطابق با این نتایج و نتایج انبارمانی طبیعی به مدت طولانی بوده است.

جدول ۱- مقایسه میانگین صفات رقم شیرودی

تیمار	Sc*	Sh_5	Sh_{10}	Sh_{20}	Sl_5	Sl_{10}	Sl_{20}
راندمان‌برنج سالم (٪)	۶۰/۶۷^{d}	۶۲^{bcd}	۶۳^{bc}	۶۳/۶۷^{ab}	۶۱^{cd}	۶۲/۳۳^{bcd}	۶۵/۶۷^{a}
سختی برنج خام	۱۲/۷۰^{b}	۱۴/۳۰^{a}	۱۴/۳۰^{a}	۱۴/۴۳^{a}	۱۴/۶۰^{a}	۱۴/۳۳^{a}	۱۴/۵۶^{a}
رنگ (bvalue)	۱۱/۳۳^{d}	۱۳/۶۶^{c}	۱۵/۰۶^{b}	۱۷/۲۶^{a}	۱۴/۱۳^{c}	۱۵^{b}	۱۷/۵۶^{a}
دانه‌گچی (٪)	۱۰/۱۳^{c}	۲۳/۹۳^{b}	۳۴/۳۳^{a}	۳۹/۳۳^{a}	۳۲/۲۶^{ab}	۲۹/۷۳^{ab}	۳۸/۸۶^{a}
عطروبوی‌برنج خام	۲/۵^{a}	۲/۷۷^{a}	۲/۶۱^{a}	۲/۷۷^{a}	۲/۵^{a}	۲/۸۸^{a}	۲/۷۷^{a}
پذیرش کلی		قبول	رد	رد	قبول	قبول	رد
نسبت‌طویل‌شدن	۱/۵۴^{a}	۱/۵۱^{a}	۱/۵۹^{a}	۱/۵۵^{a}	۱/۶۱^{a}	۱/۵۵^{a}	۱/۵۹^{a}
نسبت‌جذب‌آب	۲/۵۶^{a}	۲/۶۳^{a}	۲/۶۵^{a}	۲/۴۵^{a}	۲/۷۶^{a}	۲/۶۴^{a}	۲/۶۱^{a}
موادجامدازدست‌رفته	۸/۴۶^{a}	۶/۴۶^{bc}	۵/۸۶^{cd}	۵/۷۳^{cd}	۶/۸^{b}	۶/۴۶^{bc}	۵/۴۶^{d}
ویسکوزیته ماکزیمم(Cp)	۳۴۶۱^{a}	۳۰۰۸^{bc}	۲۸۲۶^{c}	۲۲۷۲^{d}	۳۳۴۸^{a}	۳۲۲۹^{ab}	۲۸۶۵^{c}
ویسکوزیته‌شکست	۶۷۸^{a}	۲۴۱^{c}	۱۱۵^{d}	۲۱۴^{c}	۳۷۹^{b}	۲۳۰^{c}	۱۲۵^{d}
ویسکوزیته‌برگشت	۹۲۵^{e}	۱۱۹۵^{d}	۱۲۹۸^{bc}	۱۱۹۶^{d}	۱۲۴۰^{cd}	۱۳۴۷^{b}	۱۴۷۳^{a}
سختی‌برنج پخته(Kg)	۰/۴۶۷^{c}	۰/۷۷۱^{bc}	۰/۷۶۴^{bc}	۱/۱۷۵^{a}	۰/۹۵۹^{ab}	۱/۰۹۵^{a}	۱/۲۰۴^{a}
چسبندگی برنج(kg/s)	-۰/۰۰۶۳^{a}	-۰/۰۰۴۲^{a}	-۰/۰۰۴۵^{a}	-۰/۰۰۱۶^{a}	-۰/۰۰۳۲^{a}	-۰/۰۰۲۸^{a}	-۰/۰۰۰۲^{a}

*Scرقم شیرودی شاهد، Sh5,10,20 تیمارهای رطوبت بالا (۲۰٪) و به ترتیب ۵،۱۰،۲۰ دقیقه بخاردهی شده، Sl5,10,20 تیمارهای رطوبت پایین (۱۷٪) و به ترتیب ۵،۱۰،۲۰ دقیقه بخاردهی شده می‌باشند. میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر سطر در سطح احتمال ۵ درصد با هم اختلاف معنی-داری ندارند.

نتیجه‌گیری

تیمار بخاردهی سبب بهبود خصوصیات کیفی و عدم تغییر عطر و بو در رقم شیرودی شده بود. اما با بالا رفتن زمان بخاردهی، تاثیرات منفی بر ظاهر برنج نمایان می‌شد. از اینرو برای تسریع رساندن رقم شیرودی، ۵ دقیقه بخاردهی برای شلتوک با هر رطوبت اولیه‌ای قابل توصیه می‌باشد.

منابع

۱. لطیفی، ع. ۱۳۹۲. بررسی روند تغییرات فیزیکوشیمیایی ارقام متداول برنج ایرانی و تاثیر مدت زمان انبارمانی بر آن. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی، جلد۱۴، شماره ۲.

2. AACC. 1995. Determination of the pasting properties of rice with the rapid visco analyzer. AACC method. 61-02.01.

3. Bhattacharya, K.R. (2013). Process for accelerated aging of rice. *Cereal Foods World* 58(1), 19-22.
4. Fellers, D.A., and Deissinger, A.E. (1983). Preliminary study on the effect of steam treatment of paddy on milling properties and rice stickiness. *Cereal Science*. 1, 147-157.
5. Gujral, H.S. and Kumar, R. (2003). Effect of accelerated aging on the physicochemical and textural properties of brown and milled rice. *Food Engineering*. 59, 117-121.
6. Jaisut, D., Prachayawarakorn, S., Varanyanond, W., Tungtrakul, P. and Soponronnarit, S. (2009). Accelerated aging of jasmine brown rice by high temperature fluidization technique. *Food Research International*. 42, 674-681.
7. Juliano, B.O. (1985). Rice Chemistry and Technology. In B.O. Juliano, *Aging or storage change*. (pp. 491-511) St. Paul, Minnesota, USA: American Association of Cereal Chemists.
8. Lamberts, L., Brijs, K., Mohamed, R., Verhelst, N. and Delcour, J.A. (2006). Impact of browning reactions and bran pigments on color of parboiled rice. *Agricultural and Food Chemistry*. 54, 9924-9929.
9. Lu, R. and Siebenmorgen, T.J. (1995). Correlation of head rice yield to selected physical and mechanical properties of rice kernels. *Transactions of the ASAE*. 38(3), 889-894.
10. Mariotti, M., Sielli, N., Catenacci, F., Pagani, M.A. and Lucisano, M. (2009). Retrogradation behaviour of milled and brown rice paste during aging. *Cereal Science*. 49, 171-177.
11. Marshal, W.E., Wadsworth, J.A., Verma, L.R. and Velupillai, L. (1993). Determining the degree of gelatinization in parboiled rice. *Cereal Chemistry*. 70(2), 226-230.
12. Rayaguru, K., Pandey, J.P. and Routray, W. (2011). Optimization of process variables for accelerated aging of Basmati rice. *Food Quality*. 34(1), 56-63.
13. Rosniyana, A., Hashifah, M.A. and Shariffahnorin, S.A. (2004). Effect of heat treatment (accelerated ageing) on the physicochemical and cooking properties of rice at different moisture contents. *Tropical Agriculture and Food Science*. 32(2), 155-162.
14. Singh, N., Kaur, L., Sohdi, N.S. and Sekhon, K.S. (2005). Physicochemical, cooking and textural properties of milled rice from different Indian rice cultivar. *Food Chemistry*. 89, 253-259.
15. Sirisoontarak, P. and Noomhorm, A. (2007). Change in physicochemical and sensory properties of irradiated rice during storage. *Stored Product Research*. 43, 282- 289.
16. Sodhi, N.S., singh, N., Avora, M. and Sing, J. (2003). Change in physicochemical, thermal, cooking and textural properties of rice during aging. *Food Processing and Preservation*. 27, 387-400.
17. Soponronnarit, S., Nathakaranakule, A., Jirajindalert, A. and Taechapairoj, C. (2006). Parboiling brown rice using super heated steam fluidization technique. *Food Engineering*. 75, 423-432.
18. Soponronnarit, S., Chiawwet, M., Prachayawarakorn, S., Tungtrakul, P. and Taechapairoj, C. (2008). Comparative study of physicochemical properties of accelerated and naturally aged rice. *Food Engineering*. 85, 268- 276.
19. Sowbhagya, C.M. and Bhattacharya, K.R. (2001). Changes in pasting behaviour of rice during ageing. *Cereal Science*. 34, 115-124.

20. Teo, C.H., Abd. Karim, A., Cheah, P.B., Norziah, M.H. and Seow, C.C. (2000). On the role of protein and starch in the aging of nonwaxy rice flour. *Food Chemistry*. 69, 229- 238.
21. Wiset, L., Srzednicki, G., Wootton, M., Driscoll, R.H. and Blakeney, A.B. (2005). Effect of high temperature drying on physicochemical properties of various cultivars of rice. *Drying Technology*. 23, 2227-2237.
22. Yu, S.F., Ma, Y. and Sun, D.W. (2009). Impact of amylose content on starch retrogradation and texture of cooked milled rice during storage. *Cereal Science*. 50, 139-144.
23. Zhou, Z., Robards, K., Helliwell, S., Blanchard, C. (2002a). Ageing of stored rice: Changes in chemical and physical attributes. *Cereal Science*. 35, 65-78.
24. Zhou, Z., Robards, K., Helliwell, S. and Blanchard, C. (2003). Effect of rice storage on pasting properties of rice flour. *Food Research International*. 36, 625- 634.
25. Zhou, Z., Robards, K., Helliwell, S. and Blanchard, C. 2007. Effect of storage temperature on cooking behavior of rice. *Food Chemistry*, 105, 491-497.