نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد ۸، شماره ۱، بهار ۱۳۹۱، ص. ۴۸-۴۰

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 8, No. 1, 2012, p. 40-48

اثر شرایط مختلف خشک‌کردن و تمپرینگ بر شاخص سفید شدگی برنج طی عملیات خشک کردن دو مرحله‌ای

احسان نصرنیا[۱]- مرتضی صادقی[۲*]- امین اله معصومی[۳]

دریافت: ۸۹/۸/۱۹
پذیرش: ۹۰/۸/۱۴

چکیده

در روش خشک کردن چند مرحله‌ای، تعیین بهترین شرایط خشک کردن و تمپرینگ به منظور تسریع عملیات، کاهش مصرف انرژی و تولید برنج با کیفیت مناسب برای ارقام مختلف حائز اهمیت می‌باشد. در این پژوهش، اثر شرایط مختلف خشک‌کردن و تمپرینگ بر شاخص سفید شدگی دو رقم برنج شفق (دانه بلند) و سازندگی (دانه متوسط) در یک روش خشک‌کردن دو مرحله‌ای مورد مطالعه قرار گرفت. در مرحله اول، نمونه‌ها تحت شرایط سریع (دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۱۷ درصد) و ملایم (دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۱۲ درصد) در چهار بازه زمانی مختلف (۱/۵، ۳، ۴/۵ و ۶ درصد کاهش محتوای رطوبتی) خشک شدند. سپس عملیات تمپرینگ در ۷ بازه زمانی ۰، ۴۰، ۸۰، ۱۲۰، ۱۶۰، ۲۰۰ و ۲۴۰ دقیقه در دمای معادل با دمای شرایط خشک‌کردن انجام شد. در مرحله دوم، رطوبت نمونه‌ها به ۱۲/۵ درصد بر پایه تر که مناسب برای عملیات تبدیل است کاهش داده شد. پس از انجام عملیات تبدیل، درجه سفیدی جرمی و نوری برای هر تیمار اندازه‌گیری شد.آزمایش‌ها به صورت فاکتوریل عامل‌ها در شکل اسپلیت پلات در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شدند. نتایج نشان داد که هنگام خشک کردن دانه‌های برنج در شرایط ملایم، اثر انجام عملیات تمپرینگ بر درجه سفیدی نوری و جرمی معنی‌دار نبود. لیکن طی خشک کردن دانه‌های برنج تحت شرایط سریع، تأثیر عملیات تمپرینگ بر هر دو شاخص کیفی معنی‌دار بود. به طوری‌که با کاهش ۶ درصد محتوای رطوبتی در مرحله اول خشک‌کردن، به ترتیب برای رقم‌های سازندگی و شفق به منظور دستیابی به بیشترین درجه سفیدی جرمی ۲۴۰ و ۲۰۰ دقیقه تمپرینگ و بیشترین درجه سفیدی نوری ۱۶۰ و ۲۴۰ دقیقه عملیات تمپرینگ توصیه می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: تمپرینگ، رقم، برنج، درجه سفیدی، شرایط خشک کردن

مقدمه

برنج غذای اصلی بیش از نیمی از مردم جهان است. از این رو توجه به مراحل مختلف تولید و فرآوری آن جهت حصول بافت، طعم و ظاهر مطلوب و دلخواه، ضروری به نظر می رسد (قاسمی و همکاران، ۱۳۸۷). طبق آمار منتشر شده توسط سازمان خواروبار جهانی (FAO) در سال ۲۰۰۷، میزان کل تولید جهانی برنج برابر با ۶۵۹ میلیون تن بوده است. تولید این محصول در قاره آسیا به میزان ۶۰۰ میلیون تن بوده و سهم ایران از این مقدار، ۳/۵ میلیون تن گزارش شده است. با توجه به افزایش جمعیت و محدودیت‌های افزایش سطح زیر کشت برنج، مهم‌ترین هدف در صنعت فرآوری این گیاه استراتژیک، تولید محصول با بالاترین کیفیت است. برای دستیابی به این هدف، لازم است شلتوک بلافاصله پس از برداشت خشک شود تا از بروز فساد بیولوژیک و ضایعات میکروبی جلوگیری شود (Brooker, *et al*., 1992).

تبدیل شلتوک به برنج سفید شامل مراحل و استفاده از دستگاه‌های متفاوتی می‌باشد. این مراحل عبارتند از خشک‌کردن، پوست‌کنی، سفیدکردن و درجه بندی. محصول خروجی از دستگاه پوست‌کن برنج قهوه‌ای (سبوس‌دار) می‌باشد. این برنج آماده مصرف بوده و از نظر غذایی نیز ارزش بیشتری نسبت به برنج سفید دارد، اما از آنجا که بازار پسندی آن کمتر است،آن را در مرحله دیگری تحت عنوان مرحله سفیدکنی به برنج سفید تبدیل می‌کنند. عملیات سفید-کردن ممکن است در چند مرحله انجام شود تا سفیدی مناسب برای ارسال محصول به بازار حاصل شود. بنابراین، یکی از مهم‌ترین شاخص‌های رایج برای ارزیابی کیفی محصول برنج تولیدی، درجه سفیدی[۴] (DOM) می‌باشد که معمولاً به دو روش جرمی و نوری

۱، ۲ و ۳- دانش آموخته کارشناسی ارشدر و استادیاران گروه ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان
(*- نویسنده مسئول: Email: sadeghimor@cc.iut.ac.ir)

4 - Degree of milling

اندازه‌گیری می‌شود (Yan *et al*., 2005).

از آنجا که برخی مشخصات فیزیکی (حجم مخصوص) و خواص حرارتی (ضرایب انبساط حرارتی و رطوبتی، دمای گذار شیشه‌ای و ضریب پخش) دانه برنج تا حد زیادی تحت تأثیر محتوای رطوبتی آن می‌باشند، با تغییر محتوای رطوبتی دانه، خواص مذکور بطور قابل ملاحظه‌ای تغییر می‌یابند. این تغییرات ایجاد شده بر کیفیت تبدیل تأثیرگذار خواهند بود (Cnossen and Siebenmorgen, 2000). با توجه به این که دفع رطوبت از دانه شلتوک از سطوح بیرونی انجام می‌شود، بنابراین در فرآیند خشک‌کردن، بین رطوبت سطوح درونی و بیرونی اختلاف ایجاد می‌شود. بطوری که رطوبت سطوح بیرونی کمتر از رطوبت سطوح درونی خواهد بود. همچنین در ابتدای خشک‌کردن، دمای سطوح بیرونی نسبت به سطوح درونی بیشتر خواهد بود. چنین تفاوت‌هایی در سطوح رطوبتی و دمایی بین قسمت‌های مختلف یک دانه برنج باعث تشکیل گرادیان‌های محتوای رطوبتی و دمایی درون دانه می‌شود. گرادیان‌های دمایی و رطوبتی بین سطوح درونی و بیرونی باعث ایجاد خواص مادی و حرارتی متفاوت در قسمت‌های مختلف یک دانه برنج خواهد شد، که این اختلاف در خواص منجر به تشکیل تنش‌های تفاضلی می‌گردد (Jia *et al*., 2000). بنابراین در حال حاضر در صنعت تولید برنج، از روش خشک‌کردن چند مرحله‌ای برای رساندن محتوای رطوبتی شلتوک تازه برداشت شده به حد مناسب برای انبارداری و عملیات تبدیل استفاده می‌گردد. در این روش به منظور کاهش گرادیان‌های رطوبتی درون دانه‌ها، بین مراحل خشک کردن عملیات تمپرینگ انجام می‌شود که طی آن پدیده انتقال حرارت بدون اجازه تبادل جرم (رطوبت) با محیط بیرون صورت می‌گیرد.

مطالعات زیادی در زمینه بهینه سازی شرایط خشک کردن و تمپرینگ برای کاهش ضایعات و بهبود عملکرد برنج سالم حین عملیات تبدیل انجام شده است (Steffe *et al*., 1979; Steffe and Singh, 1980; Cnossen *et al*., 1998; Cnossen and Siebenmorgen, 2000; Cnossen *et al*., 2002; Aquerreta *et al*., 2007). با وجود نقش اساسی غله برنج در سبد تغذیه عموم مردم ایران، در کارخانه‌های تبدیل شلتوک در کشور هنوز هم خشک کردن این محصول استراتژیک به صورت کابینتی و یک مرحله‌ای بدون عملیات تمپرینگ انجام می‌شود که نتیجه آن ضایعات بالای تبدیل شلتوک به برنج سفید می‌باشد. از سوی دیگر، علیرغم انجام مطالعات متعدد در زمینه خشک‌کردن شلتوک در کشور (تجددی طلب، ۱۳۸۴: خوش‌تقاضا و همکاران، ۱۳۸۱: خوشحال و مینائی، ۱۳۸۲: رفیعی و همکاران، ۱۳۸۳: عارفی و همکاران، ۱۳۷۳: مینائی و همکاران، ۱۳۸۴ و هدایتی‌پور و همکاران، ۱۳۸۴)، تا کنون تحقیقی در رابطه با بررسی اثر عملیات تمپرینگ بر شاخص‌های کیفی تبدیل گزارش نشده است. در این پژوهش، اثر شرایط خشک کردن سریع و ملایم در چهار بازه زمانی مختلف در مرحله اول خشک‌کردن همراه با مدت‌های مختلف انجام عملیات تمپرینگ بر درجه سفیدی جرمی و نوری دو رقم شلتوک شفق (دانه بلند) و سازندگی (دانه متوسط) در یک روش خشک‌کردن دو مرحله‌ای مورد مطالعه قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

تهیه نمونه‌ها

به منظور بررسی تأثیر نوع رقم، آزمایش‌ها بر روی دو رقم شلتوک دانه- متوسط و دانه- بلند صورت پذیرفت. رقم سازندگی، رقم غالب مورد کشت در استان اصفهان، به عنوان رقم دانه- متوسط و رقم شفق، یکی از ارقام پرمحصول استان مازندران، به عنوان رقم دانه- بلند برای انجام آزمایش‌ها انتخاب شد. نمونه‌های شلتوک ارقام سازندگی و شفق به ترتیب از مرکز تحقیقات فنی و مهندسی جهاد کشاورزی اصفهان و مؤسسه تحقیقات برنج کشور (معاونت مازندران) واقع در شهرستان آمل تهیه شدند.

نمونه‌های شلتوک بلافاصله پس از تهیه، تمیز شده و کاه و کلش‌های موجود جدا شدند. سپس نمونه‌های تمیز شده درون کیسه‌های پلاستیکی ضخیم بمنظور ممانعت از تبادل رطوبتی با محیط، بسته‌بندی شده و تا قبل از انجام عملیات تبدیل درون سردخانه با دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند (Cnossen and Siebenmorgen, 2000; Cnossen *et al*., 2002). برای اندازه‌گیری محتوای رطوبتی اولیه، طبق روش استاندارد نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت درون آون با دمای ۱۳۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند (ASAE, 1982). با این روش رطوبت اولیه رقم‌های سازندگی و شفق به ترتیب در حدود ۲۰ و ۲۰/۵درصد بر پایه تر اندازه‌گیری شد.

آزمایش‌های خشک کردن و تمپرینگ

به منظور بررسی اثر مدت عملیات خشک‌کردن بر درجه سفید شدگی برنج، در مرحله اول، خشک‌کردن نمونه‌ها در ۴ سطح ۱/۵، ۳، ۴/۵ و ۶ درصد نقطه‌ای کاهش رطوبت اولیه[1] (PPMR) انجام شد. به منظور ایجاد شرایط یکنواخت در دانه‌های شلتوک حین خشک شدن از روش خشک‌کردن بستر نازک (ضخامت لایه شلتوک حین خشک شدن ۳ تا ۵ میلیمتر) استفاده شد. خشک‌کردن نمونه‌ها در شرایط مورد نظر در یک محفظه کنترل شرایط محیطی (کنترل دما و رطوبت نسبی، به ترتیب با دقت ±۰/۵ درجه سانتی‌گراد و ±۱ درصد و متعلق به گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان) که بدین منظور طراحی و ساخته شده بود، انجام شد.

1 - Percentage point moisture removal

برای خشک کردن ارقام شلتوک در مرحله اول خشک‌کردن، دو شرایط خشک‌کردن ملایم و سریع در نظر گرفته شد. در شرایط ملایم، دما و رطوبت نسبی محیط درون محفظه به ترتیب برابر با ۴۰ درجه سانتی‌گراد و ۱۲ درصد در نظر گرفته و تنظیم شد. بر اساس نتایج تحقیقات انجام شده و دیاگرام‌های حالت ارائه شده برای ارقام مختلف برنج، پیش‌بینی می‌شود این شرایط خشک‌کردن، باعث قرارگیری دانه‌های برنج در حالت شیشه‌ای[1] شود. با استفاده از معادله چانگ برای پیش‌بینی محتوای رطوبتی تعادلی[2] (EMC) و ضرایب ارائه شده برای برنج، مقدار محتوای رطوبت تعادلی شلتوک برنج در این شرایط برابر با ۵/۸درصد پیش‌بینی گردید (ASAE, 1999).

در شرایط دوم خشک‌کردن دما و رطوبت نسبی محیط درون محفظه کنترل شرایط محیطی به ترتیب برابر با ۶۰ درجه سانتی‌گراد و ۱۷ درصد انتخاب شد. با توجه به معادله چانگ، این شرایط باعث ایجاد محتوای رطوبتی تعادلی برابر با ۵/۵ درصد (تقریبا برابر با شرایط اول) گردید. پیش‌بینی می‌شود بکارگیری این شرایط خشک‌کردن باعث خشک‌شدن دانه‌های شلتوک در حالت لاستیکی[3] گردد و در نتیجه پدیده‌گذار شیشه‌ای حین کاهش رطوبت و خنک‌شدن دانه‌ها پس از عملیات خشک‌کردن اتفاق افتد.

بلافاصله پس از انجام مرحله اول عملیات خشک‌کردن، عملیات تمپرینگ روی هر نمونه انجام شد. هر عامل PPMR، شامل ۷ تیمار تمپرینگ می‌شد که به ترتیب به مدت ۰ (تیمار کنترل)، ۴۰، ۸۰، ۱۲۰، ۱۶۰، ۲۰۰ و ۲۴۰ دقیقه عملیات تمپرینگ در دمایی برابر با دمای خشک‌کن روی آن‌ها انجام شد. برای انجام عملیات تمپرینگ، نمونه‌ها بلافاصله پس از خشک شدن در مرحله اول، درون کیسه‌های پلاستیکی ضخیم کیپ- زیپ قرار داده شدند و پس از خارج کردن هوای درون کیسه، درب آن‌ها محکم بسته شد، به گونه‌ای که امکان هیچ‌گونه تبادل هوایی بین دانه‌های برنج درون کیسه و محیط بیرون وجود نداشت. نمونه‌های بسته‌بندی شده درون کیسه‌های کیپ- زیپ درون آون قرار داده شدند و زمان شروع عملیات تمپرینگ برای هر تیمار ثبت گردید.

بلافاصله پس از پایان مدت زمان تمپرینگ، هر کدام از تیمارها از آون خارج شده و برای انجام مرحله دوم خشک‌کردن آماده شدند. از آنجا که محتوای رطوبتی مطلوب برای انجام عملیات پوست‌کنی شلتوک در حدود ۱۴-۱۲ درصد بر پایه تر می‌باشد، در مرحله دوم خشک‌کردن تمام نمونه‌ها تا محتوای رطوبتی حدود ۱۲/۵ درصد بر پایه تر خشک شدند. ضمن این که این عملیات امکان مقایسه شرایط انتخاب شده برای عملیات خشک‌شدن و بررسی فرضیه تغییر حالت دانه‌ها از لاستیکی به شیشه‌ای در حین کاهش رطوبت را نیز امکان‌پذیر می‌نمود. برای این کار نمونه‌ها درون محفظه در دمای ۲۱ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۴۵ درصد بصورت بستر نازک قرار داده شدند، تا طبق معادله چانگ، در رطوبت ۱۲/۵ درصد بر پایه تر با محیط بیرون به تعادل برسند.

عملیات تبدیل

عملیات تبدیل نمونه‌ها در مؤسسه تحقیقات برنج کشور (معاونت مازندران) در شهرستان آمل انجام شد. برای جدا کردن پوست دانه‌های شلتوک از پوست‌کن SATAKE مدل TRU 358 ساخت کشور ژاپن استفاده گردید. پس از کندن پوست خارجی و توزین، نمونه‌ها درون دستگاه سفیدکن ریخته شدند. حسینیان و همکاران (۱۳۸۷) با مقایسه اثر دو نوع سفیدکن سایشی و تیغه‌ای بر عملکرد برنج سالم برای ارقام مختلف برنج از جمله رقم سازندگی نشان دادند که سفیدکن سایشی عملکرد بهتری نسبت به سفیدکن تیغه‌ای در ارتباط با عملکرد برنج سالم خواهد داشت. بنابراین برای انجام عملیات سفیدکردن از سفیدکن سایشی SATAKE مدل TM ساخت کشور ژاپن استفاده گردید.

کیفیت سفیدشدگی برنج معمولاً با استفاده از دو شاخص درجه سفیدی جرمی[4] و درجه سفیدی نوری[5] بیان می‌شود (Yan *et al.*, 2005). درجه سفیدی جرمی به نسبت جرم سبوس برداشت شده از روی دانه برنج سفید به جرم برنج قهوه‌ای گفته می‌شود و با نماد DOM_m نمایش داده می‌شود. درجه سفیدی نوری شاخصی از میزان جذب پرتو نور توسط دانه‌های برنج سفید می‌باشد که با استفاده از دستگاه سفیدی‌سنج[6] اندازه‌گیری می‌شود و با نماد DOM_{mm} نشان داده می‌شود. در این پژوهش هر دو شاخص درجه سفیدی جرمی و نوری برای تیمارها اندازه‌گیری شدند. درجه سفیدی نوری با استفاده از دستگاه سفیدی‌سنج مدل C300 ساخت شرکت KETT و درجه سفیدی جرمی با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد:

$$DOM_m = \frac{m_b - m_w}{m_b} \times 100 \qquad (۱)$$

که در آن m_b جرم برنج قهوه‌ای در پایان مرحله پوست‌کنی (گرم) و m_w جرم برنج سفید حاصل از دستگاه سفیدکن (گرم) می‌باشند.

طرح آزمایشی

برای بررسی اثر شرایط مختلف خشک‌کردن و تمپرینگ طی

1 - Glassy state
2 - Equilibrium moisture content
3 - Rubbery state
4 - Mass degree of milling
5 - Optical degree of milling
6 - Milling meter

خشک‌کردن دو مرحله‌ای شلتوک برنج برای دو رقم دانه- متوسط و دانه- بلند مورد آزمون، از طرح کاملاً تصادفی[1] (CRD) به صورت فاکتوریل عامل‌ها در قالب اسپلیت پلات با ۴ عامل رقم (۲ سطح)، شرایط خشک‌کردن (۲ سطح)، درصد کاهش رطوبت در مرحله اول (۴ سطح) و مدت زمان تمپرینگ (۷ سطح) در ۳ تکرار استفاده شد. شکل ۱ تیمارها و سطوح آن‌ها را نشان می‌دهد.

مقادیر DOM_m و DOM_{mm} به عنوان متغیرهای وابسته اندازه‌گیری شده مربوط به هر تیمار در نظر گرفته شدند. داده‌های بدست آمده برای هر تیمار توسط نرم‌افزار آماری SAS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت، مقایسه مقادیر میانگین متغیرهای وابسته بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد در نرم افزار MSTAT-C و رسم نمودارها به کمک نرم‌افزار Excel انجام شد.

نتایج و بحث

درجه سفیدی نوری (DOM_{mm})

نتایج تجزیه واریانس نشان دادکه اثر کلیه عوامل آزمایشی (رقم، شرایط خشک‌کردن، PPMR و مدت تمپرینگ) و اثرات متقابل آن‌ها بر درجه سفیدی نوری در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود. مقادیر میانگین درجه سفیدی نوری مربوط به شرایط خشک‌کردن ملایم و سریع نشان دادکه در شرایط خشک‌کردن ملایم درجه سفیدی نوری بطور معنی‌داری بیشتر از مقدار متناظر آن در شرایط خشک‌کردن سریع بود (شکل ۲). این نتیجه می‌تواند به دلیل تغییر حالت دانه‌های شلتوک برنج هنگام گذار از ناحیه لاستیکی به ناحیه شیشه‌ای و تغییر خواص مادی دانه طی خشک‌کردن دو مرحله‌ای در شرایط خشک‌کردن سریع باشد (Cnossen *et al*., 2002). Cnossen و Siebenmorgen (2000) نیز طی فرآیند خشک‌کردن دو مرحله‌ای دو رقم شلتوک با نام‌های بنگال[2] (دانه-متوسط) و سایپرس[3] (دانه-بلند)، عملکرد برنج سالم بالاتری را در شرایط خشک‌کردن آرام در مرحله اول بدست آوردند.

با توجه به شکل ۳، افزایش درصد کاهش رطوبت (افزایش مدت زمان خشک‌کردن) در هر دو شرایط خشک‌کردن سریع و ملایم باعث افزایش معنی‌دار درجه سفیدی نوری شد، بطوری‌که بیشترین مقادیر درجه سفیدی نوری هنگام کاهش ۶ درصد محتوای رطوبتی (PPMR ۶) در هر دو شرایط خشک‌کردن بدست آمد.

مقایسه مقادیر میانگین درجه سفیدی نوری هر دو رقم سازندگی و شفق با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد نشان داد که تحت شرایط خشک‌کردن ملایم انجام عملیات تمپرینگ پس از خشک شدن دانه‌های برنج در مرحله اول، اثر معنی‌داری بر درجه سفیدی نوری نداشت. این امر می‌تواند به دلیل عدم تغییر در خواص مادی دانه شلتوک طی خشک‌کردن دو مرحله‌ای در شرایط خشک-کردن آرام باشد. لیکن در شرایط خشک‌کردن سریع (شکل ۴)، برای رقم سازندگی افزایش مدت تمپرینگ در هر سطح PPMR باعث افزایش معنی‌دار درجه سفیدی نوری شد. شیب این تغییرات هنگام ۶ درصد کاهش محتوای رطوبتی نسبت به سایر سطوح PPMR بیشتر بود. بیشترین مقدار درجه سفیدی نوری برای رقم سازندگی در شرایط خشک‌کردن سریع برابر با ۴۸/۵۷ بود که با کاهش ۶ درصد محتوای رطوبتی اولیه و ۱۶۰ دقیقه انجام عملیات تمپرینگ بدست آمد. همچنین با توجه به شکل ۴، مقادیر درجه سفیدی نوری مربوط به کاهش ۶ درصد محتوای رطوبتی در مدت‌های تمپرینگ مشابه به صورت معنی‌داری بیشتر از مقادیر مشابه هنگام ۱/۵ و ۳ درصد کاهش محتوای رطوبتی بودند.

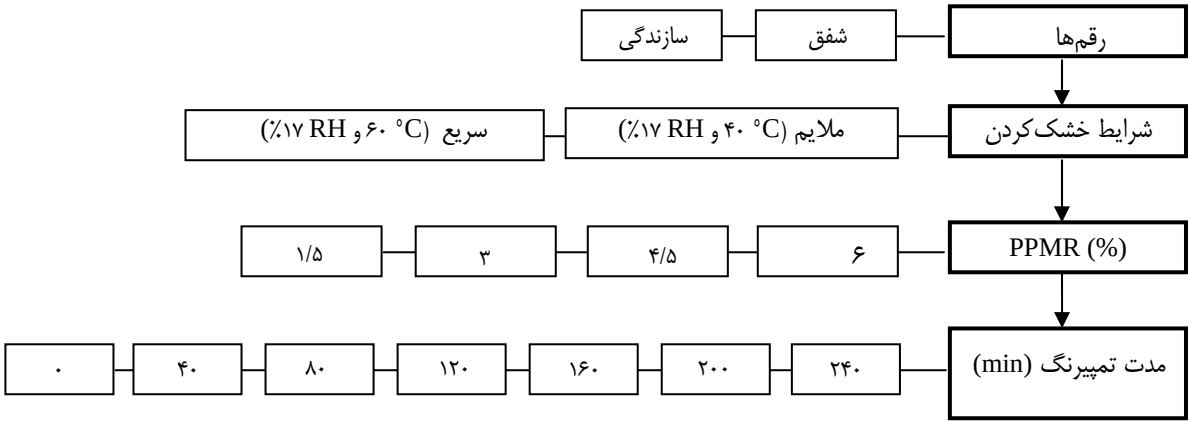
شکل ۵ مقادیر درجه سفیدی نوری مربوط به مدت‌های مختلف انجام عملیات تمپرینگ در سطوح مختلف PPMR تحت شرایط خشک‌کردن سریع برای رقم شفق را نشان می‌دهد. همانطورکه مشاهده می‌شود، برای این رقم نیز افزایش مدت تمپرینگ در هر سطح PPMR تحت شرایط خشک‌کردن سریع باعث افزایش درجه سفیدی نوری شد. همچنین در مدت‌های مشابه عملیات تمپرینگ با افزایش مدت زمان خشک‌کردن (افزایش PPMR)، درجه سفیدی نوری افزایش یافت. شیب افزایش درجه سفیدی نوری با مدت تمپرینگ هنگام کاهش ۶ درصد محتوای رطوبتی نسبت به سایر سطوح PPMR بیشتر بود. بیشترین مقدار درجه سفیدی نوری برای رقم شفق تحت شرایط خشک‌کردن سریع در مرحله اول، برابر با ۵۷/۶۰ و مربوط به کاهش ۶ درصد محتوای رطوبتی به همراه ۲۴۰ دقیقه مدت تمپرینگ بود.

مقایسه میانگین درجه سفیدی نوری ارقام سازندگی و شفق در شرایط خشک‌کردن و تمپرینگ مشابه (شکل‌های ۴ و ۵) نشان داد که رقم شفق دارای درجه سفیدی نوری بیشتری نسبت به رقم سازندگی بود که علت آن می‌تواند به مشخصه‌های فیزیکی و خواص ذاتی (ژنتیکی) این ارقام مربوط شود.

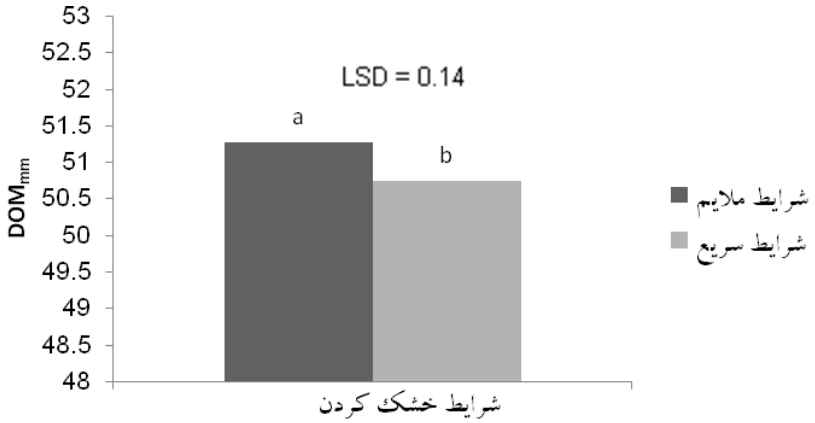
درجه سفیدی جرمی (DOM_m)

تجزیه واریانس اثر منابع تغییرات (رقم، شرایط خشک‌کردن، PPMR و مدت تمپرینگ) و اثرات متقابل آن‌ها بر درجه سفیدی جرمی نشان دادکه اثر همه عوامل و اثرات متقابل آن‌ها بر درجه سفیدی جرمی در سطح احتمال ۰/۱ درصد معنی‌دار بود.

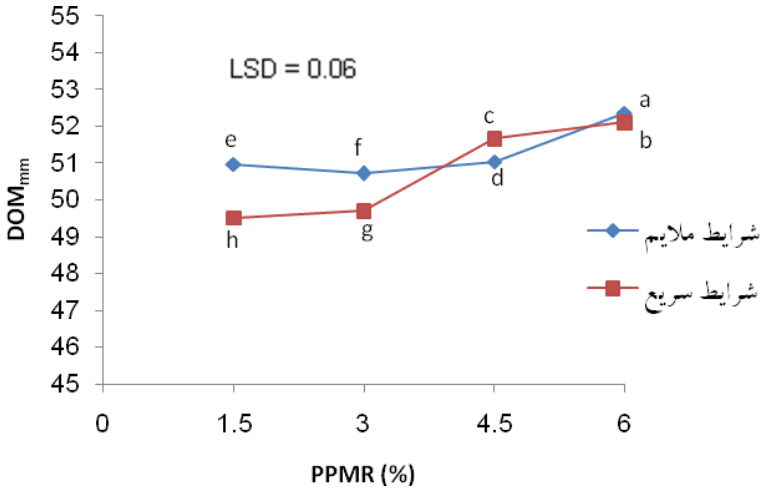
1 - Complete randomized design
2 - Bengal
3 - Cypress



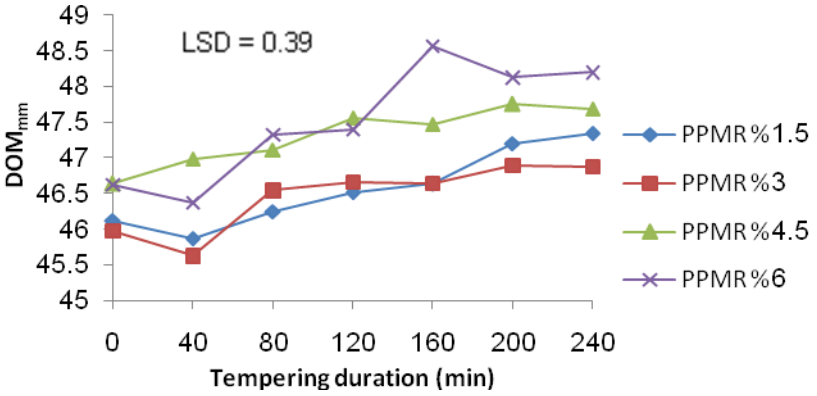
شکل ۱- سطوح مختلف تیمارهای طرح آزمایشی بکار رفته



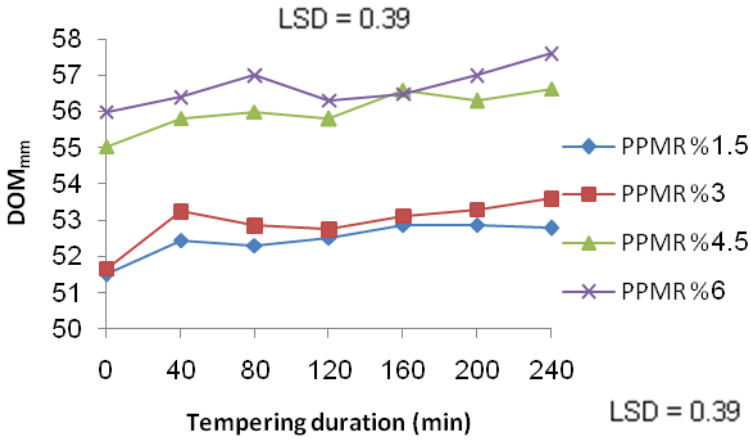
شکل ۲- میانگین درجه سفیدی نوری در شرایط خشک کردن سریع و ملایم (حروف انگلیسی کوچک متفاوت بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون LSD هستند).



شکل ۳- تغییرات درجه سفیدی نوری با درصد نقطه‌ای کاهش رطوبت در شرایط خشک‌کردن سریع و ملایم (تفاوت میانگین‌های مشخص شده با حروف انگلیسی کوچک مختلف براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار است).



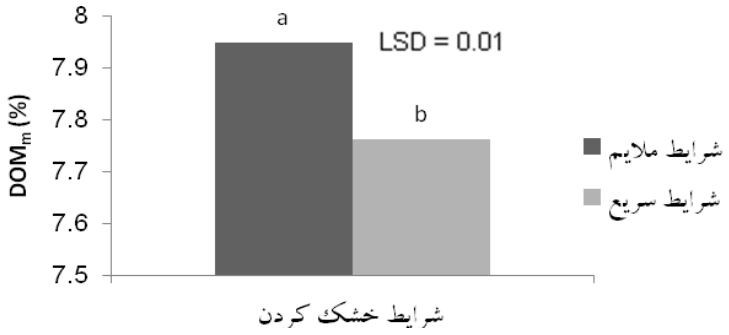
شکل ٤- تغییرات درجه سفیدی نوری با مدت تمپرینگ در سطوح مختلف PPMR تحت شرایط خشک‌کردن سریع برای رقم سازندگی



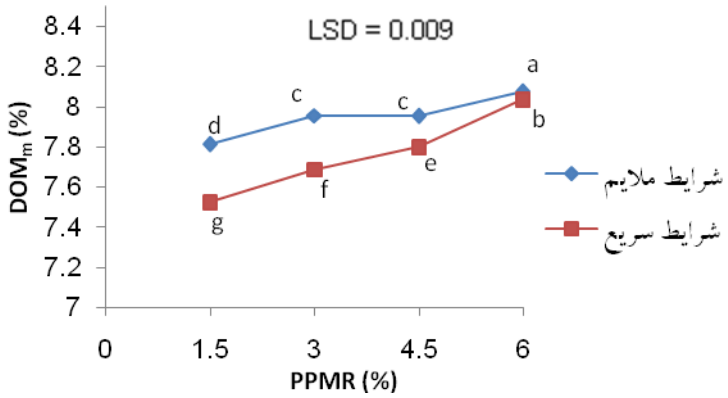
شکل ٥- تغییرات درجه سفیدی نوری با مدت تمپرینگ در سطوح مختلف PPMR تحت شرایط خشک‌کردن سریع برای رقم شفق

میانگین مقادیر درجه سفیدی جرمی در شرایط خشک‌کردن ملایم و سریع در شکل ۶ نشان داده شده است. مشابه درجه سفیدی نوری، در شرایط خشک‌کردن سریع مقادیر درجه سفیدی جرمی کمتری نسبت به شرایط خشک‌کردن ملایم حاصل شد که می‌تواند به تغییر حالت دانه‌های شلتوک برنج طی خشک‌کردن دو مرحله‌ای در شرایط خشک‌کردن سریع مربوط باشد (Cnossen *et al.*, 2002).

شکل ۷ مقادیر میانگین درجه سفیدی جرمی مربوط به سطوح مختلف PPMR در شرایط خشک‌کردن سریع و ملایم را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که افزایش درصد کاهش رطوبت در هر دو شرایط خشک‌کردن، باعث افزایش معنی‌دار درجه سفیدی جرمی شد. این افزایش در شرایط خشک‌کردن سریع با شدت بیشتری نسبت به شرایط خشک کردن ملایم صورت گرفت.



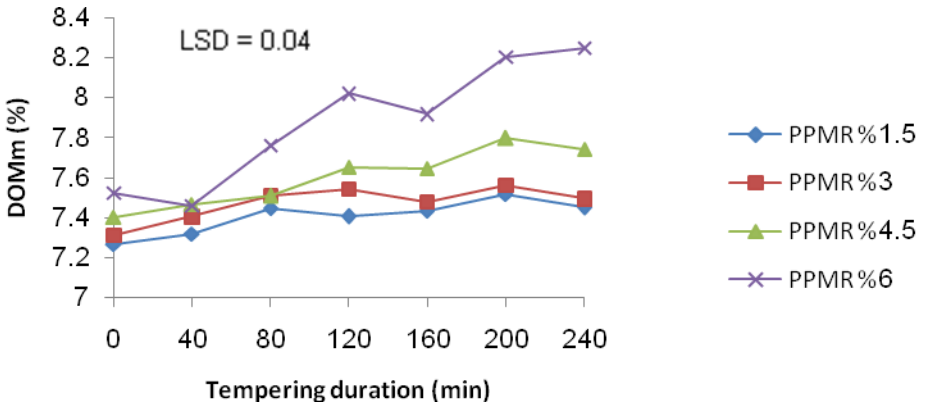
شکل ٦- میانگین درجه سفیدی جرمی در شرایط خشک‌کردن سریع و ملایم
(حروف انگلیسی کوچک متفاوت بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون LSD هستند).



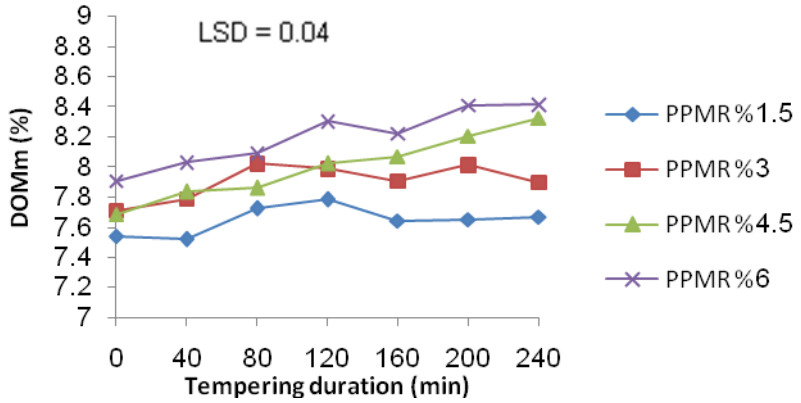
شکل ۷- تغییرات درجه سفیدی جرمی با درصد نقطه‌ای کاهش رطوبت در شرایط خشک‌کردن سریع و ملایم (تفاوت میانگین‌های مشخص شده با حروف انگلیسی کوچک مختلف بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار است).

مشابه درجه سفیدی نوری، مقایسه مقادیر میانگین درجه سفیدی جرمی رقم‌های سازندگی و شفق در شرایط خشک کردن ملایم با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد نشان داد که تأثیر مدت تمپرینگ پس از خشک شدن دانه‌های برنج در مرحله اول، بر این شاخص معنی‌دار نبود. دلیل این امر می‌تواند عدم تغییر در حالت دانه‌های شلتوک و خواص مادی آن‌ها طی خشک‌کردن دو مرحله‌ای تحت شرایط آرام در مرحله اول باشد.

مطابق شکل ۸، برای رقم سازندگی در شرایط خشک کردن سریع افزایش مدت زمان خشک‌کردن (افزایش PPMR) باعث افزایش درجه سفیدی جرمی شد و بیشترین مقادیر این شاخص کیفی تبدیل در PPMR برابر با ۶ درصد حاصل گردید. بیشترین مقدار درجه سفیدی جرمی برای این رقم در این شرایط خشک‌کردن، برابر با ۸/۲۵ درصد و هنگام کاهش ۶درصد رطوبت اولیه به همراه ۲۴۰ دقیقه عملیات تمپرینگ بدست آمد. بنابراین انتخاب این شرایط برای خشک‌کردن رقم سازندگی باعث کاهش مدت زمان قرارگیری نمونه‌ها در خشک‌کن به همراه دستیابی به درجه سفیدی جرمی مطلوب خواهد شد. در شرایط خشک‌کردن سریع برای رقم شفق نیز کاهش ۶ درصد محتوای رطوبتی به همراه ۲۰۰ دقیقه تمپرینگ، ضمن کاهش زمان قرارگیری نمونه‌ها در خشک‌کن، باعث ایجاد درجه سفیدی مطلوبی در دانه‌های برنج گردید (شکل ۹). Cnossen و Siebenmorgen (2000) نیز به ترتیب ۱۶۰ و ۸۰ دقیقه انجام عملیات تمپرینگ را بعد از خشک‌کردن دانه‌های شلتوک رقم‌های بنگال (دانه-متوسط) و ساپیرس (دانه-بلند) در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۵۰ درصد در مرحله اول، جهت حصول عملکرد مطلوب فرآوری پیشنهاد کردند. در مجموع می‌توان چنین نتیجه گرفت که برای هر دو رقم سازندگی و شفق تحت شرایط خشک‌کردن سریع، افزایش مدت تمپرینگ باعث افزایش درجه سفیدی جرمی می‌شود و شیب این افزایش در مدت زمان‌های طولانی‌تر خشک‌کردن (سطوح بالاتر PPMR) بیشتر خواهد بود.



شکل ۸- تغییرات درجه سفیدی جرمی با مدت تمپرینگ در سطوح مختلف PPMR تحت شرایط خشک‌کردن سریع برای رقم سازندگی



شکل ۹- تغییرات درجه سفیدی جرمی با مدت تمپرینگ در سطوح مختلف PPMR تحت شرایط خشک‌کردن سریع برای رقم شفق

نتیجه‌گیری

یافته‌های اصلی این تحقیق را می‌توان به صورت زیر خلاصه نمود:

۱- رقم شفق (دانه بلند) به صورت معنی‌داری درجه سفیدی نوری و جرمی بیشتری نسبت به رقم سازندگی (دانه متوسط) در شرایط خشک کردن و تمپرینگ مشابه داشت.

۲- در شرایط خشک‌کردن ملایم مقادیر درجه سفیدی نوری و جرمی بیشتری نسبت به شرایط خشک‌کردن سریع حاصل شد. همچنین با افزایش زمان خشک‌کردن نمونه‌ها در هر دو شرایط خشک‌کردن سریع و ملایم، درجه سفیدی نوری و جرمی نمونه‌های برنج افزایش پیدا نمود. لیکن نرخ این افزایش در شرایط خشک‌کردن سریع نسبت به شرایط خشک‌کردن ملایم بیشتر بود.

۳- اثر مدت زمان خشک‌کردن و مدت انجام عملیات تمپرینگ برای رقم‌های سازندگی و شفق تحت شرایط خشک‌کردن سریع بر هر دو درجه سفیدی نوری و جرمی معنی‌دار بود. بطوری‌که، خشک کردن دانه‌های برنج در این شرایط نشان داد که با کاهش ۶ درصد محتوای رطوبتی اولیه و عملیات تمپرینگ مناسب می‌توان ضمن تسریع در عملیات خشک‌کردن، به برنج سفید با کیفیت مناسب سفیدشدگی دست یافت.

منابع

تجددی طلب، ک.، ۱۳۸۴، اثر خشک‌کردن چند مرحله‌ای بر بازده تبدیل و مدت خشک‌کردن شلتوک، مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی، ۶، ۱۲۴-۱۱۳.

حسینیان، ح.، صادقی، م. و همت، ع.، ۱۳۸۷، درصد شکستگی برنج اصفهان در فرآیند سفیدکنی و رابطه آن با برخی خواص مکانیکی شلتوک، پنجمین کنگره ملی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون، دانشگاه فردوسی مشهد، ۷۰۲-۶۹۱.

خوش تقاضا، م.ه.، سلیمانی، م. و شاهدی، م.، ۱۳۸۱، رابطه راندمان برنج سفید سالم (HRY) با درصد ترک و مقاومت خمشی شلتوک برنج در طی فرآیند خشک‌کردن، مجله علوم کشاورزی ایران، ۳۲، ۱۲۱-۱۱۵.

خوشحال، م. و مینایی، س.، ۱۳۸۲، بهینه‌سازی مصرف انرژی در فرآیند خشکاندن شلتوک با استفاده از خشک‌کن عمودی لایه نازک، مجموعه مقالات چهارمین همایش ملی انرژی، ۷۸۲- ۷۷۳.

رفیعی، ش.، توکلی هشجین، ت. و کاظم‌زاده، س.، ۱۳۸۳، شبیه‌سازی رطوبت دانه شلتوک (رقم بینام) طی خشک‌کردن به روش اجزاء محدود، مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۱، ۵۲-۴۳.

عارفی، ح.، باباپور، ج.، اشراقی، ا. و فقیه نصیری، ز.، ۱۳۷۳، بررسی تعیین بهترین درصد رطوبت شلتوک هنگام تبدیل به برنج سفید و تعیین راندمان تبدیل ارقام آمل۳ و هراز، موسسه تحقیقات برنج شمال، مازندران.

قاسمی، ع.، حامد موسویان، م.ت. و 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، ۴(۲)، ۱۷-۱۱.

مینائی، س.، روحی، غ.ر. و علیزاده، م.ر.، ۱۳۸۴، بررسی عوامل موثر بر ایجاد ترک و خرده برنج در اثر خشک‌کردن شلتوک طی فرآیند تبدیل، مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی، ۶، ۱۱۲-۹۷.

هدایتی پور، ا.، طباطبایی‌فر، ا.، رشیدی، ح. و عارفی، ح.، ۱۳۸۴، بررسی دمای خشک‌کن و رطوبت نهایی شلتوک بر درصد برنج سالم در ارقام پر محصول استان مازندران، مجموعه مقالات دومین همایش ملی بررسی ضایعات محصولات کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده کشاورزی، ۴۵۷-۴۵۱.

Aquerreta, J., Iguaz, A., Arroqui, C. and Virseda, P., 2007, Effect of high temperature drying and tempering on rough rice quality. Journal of Food Engineering, 80, 611-918.

ASAE Standards, 29th ed., 1982, S352.1. Moisture measurement-grain and seeds. St. Joseph, Mich.

ASAE Standards, 46th ed., 1999, S448. Thin layer drying of grains and crops. St. Joseph, Mich.

Brooker, D.B., Bakker Arkema, W. and Hall, C.W., 1992, Drying and Storage of Grain and Oilseeds. Van Nostrand Reinhold, INC., New York.

Cnossen, A.G., Siebenmorgen, T.J., Reid, J.D. and Perdon, A.A., 1998, Characteristics of rough rice during tempering. ASAE Paper No. 98-6033, St. Joseph, Mich.

Cnossen, A.G. and Siebenmorgen, T.J., 2000, The glass transition temperature concept in rice drying and tempering: effect on milling Quality. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, 43, 1661-1667.

Cnossen, A.G., Siebenmorgen, T.J. and Yang, W., 2002, The glass transition temperature concept in rice drying and tempering: effect on drying rate. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, 45, 759-766.

Hashemi, J., Haque, M.A., Shimizu, N. and Kimura, T., 2008, Influence of drying and post-drying condition on head rice yield of aromatic rice. Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal Manuscript, FP 07 034, Vol. X.

Jia, C.C., Sun, D.W. and Cao, C.W., 2000, Mathematical simulation of stresses within a corn kernel during drying. Drying Technology, 18, 887-906.

Siebenmorgen, T.J., Yang, W. and Sun, Z., 2004, Glass transition temperature of rice kernels determined by dynamical thermal analysis. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, 47, 835-839.

Steffe, J.F., Singh, R.P. and Bakshi, A.S., 1979, Influence of tempering time and cooling on rice milling yields and moisture removal. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, 22(5), 1214-1218.

Steffe, J.F. and Singh, R.P., 1980, Theoretical and practical aspects of rough rice tempering. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, 23(3), 775-782.

Yan, T.Y., Hong, J.H. and Chung, J.H., 2005, An improved method for the prediction of white embryo in a vertical mill. Biosystems Engineering, 49, 303- 309.