تحقیقات مهندسی صنایع غذایی/جلد ۲۱/ شماره ۷۲/بهار و تابستان ۱۴۰۱ /ص ۱۳۸-۱۱۹

سایت مجله: https://fooder.areeo.ac.ir

نوع مقاله: علمی-پژوهشی

ارزیابی تأثیر گاز ازن بر ویژگی‌های کیفی برنج (رقم فجر)

علیرضا قدس‌ولی[1*] و جلال محمدزاده[2]

۱ و ۲- به ترتیب: دانشیار؛ و استادیار پژوهشی بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۳/۱۰ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۱۵

چکیده

برنج (*Oryza sativa L*) پس از گندم دومین غله مهم در دنیا به حساب می‌آید. دانه برنج و فرآورده‌های به‌دست آمده از آن تقریباً ۴۰ درصد غذای مورد نیاز نیمی از مردم جهان را تشکیل می‌دهند. به منظور جایگزینی روش‌های نوین و کم خطر در انبار کردن دانه‌های غلات همراه با حفظ کیفیت آن، در این تحقیق اثر غلظت گاز ازن و مدت زمان ازن‌دهی روی برخی ویژگی‌های دانهٔ برنج واریتهٔ فجر بررسی شد. این ویژگی‌ها عبارت بودند از: مدت زمان پخت، میزان از دست دادن مواد جامد، جذب آب، مقدار آمیلوز، وزن برنج پخته، نسبت طویل شدن دانه، نمرهٔ ژلاتینه شدن و انبساط حجمی پس از طی یک دوره چهار ماهه نگهداری. در این بررسی، از طرح کاملاً تصادفی در قالب آزمایشات فاکتوریل ٤×٤ با چهار سطح غلظت گاز ازن (صفر پی.پی.ام ، ۲۵ پی.پی.ام، ۵۰ پی.پی.ام و ۷۵ پی.پی.ام) و چهار سطح مدت زمان ازن‌دهی (۷، ۵، ۳ و ۱ روز) استفاده شد. نتایج این تحقیق نشان داد که غلظت گاز ازن تأثیر معنی‌دار (P<0.01) بر تمامی ویژگی‌های پخت دانهٔ برنج مورد آزمایش به‌جز میزان انبساط حجمی، افزایش طول دانه، مدت زمان پخت، نمرهٔ ژلاتینه شدن و مقدار آمیلوز دارد به‌طوری‌که بیشینهٔ وزن برنج پخته (۱۳/۱۲ گرم)، جذب آب (۸/۱۲ گرم)، افت وزنی مواد جامد (۰/۵۹ گرم)، افزایش طول دانه یا میزان ری آمدن (۱/٤۲۸) (با اختلاف معنی‌دار (P<0.05)) به‌ترتیب در غلظت‌های صفر پی.پی.ام ، ۲۵ پی.پی.ام، ۵۰ پی.پی.ام و ۷۵ پی.پی.ام و در مورد مدت زمان پخت (۱۱/۷۱ دقیقه)، نمرهٔ ژلاتینه شدن (۲/٦۳) و میزان آمیلوز (۲۳/۲٤ درصد) (بدون اختلاف معنی‌دار ((P<0.05)) به‌ترتیب در غلظت‌های ۲۵ پی.پی.ام، ۵۰ پی.پی.ام و ۷۵ پی.پی.ام مشاهده شد. ویژگی‌های انبساط حجمی (P<0.05) میزان مواد جامد و میزان آمیلوز (P<0.01) تحت تأثیر معنی‌دار تیمار مدت زمان ازن‌دهی بودند به‌طوری‌که بیشینهٔ انبساط حجمی (٤/۱٦)، افت وزنی مواد جامد (۰/٦۱۳ گرم)، و میزان آمیلوز (۲٤/۸۰ درصد) به‌ترتیب در ۱، ۳ و ۱ روز اتفاق افتاد. با توجه به اثر متقابل غلظت گاز ازن× مدت زمان ازن‌دهی توصیه می‌شود که برای انبار کردن دانهٔ برنج، ازن‌دهی با غلظت ۲۵ پی.پی.ام. به مدت ۵ روز استفاده شود زیرا با اختلاف معنی‌دار (P<0.01) دارای بیشینهٔ وزن برنج پخته (۱۱/۵۱ گرم) و میزان جذب آب (۱۰/۱۱ گرم) بدون تأثیر معنی‌دار (P<0.01) روی سایر ویژگی‌هاست.

واژه‌های کلیدی

ازن‌دهی، برنج، میزان آمیلوز، نمرهٔ ژلاتینه شدن، ویژگی‌های پخت

مقدمه

برنج دومین غذای اصلی اکثریت مردم جهان محسوب می‌شود و دانهٔ برنج و فرآورده‌های آن تقریباً ۴۰ درصد غذای مورد نیاز نصف مردم جهان را تشکیل می‌دهد. کیفیت دانه، عملکرد بالا و مقاومت در برابر بیماری‌ها از عوامل مهمی هستند که در زراعت برنج مورد توجه قرار می‌گیرند. برنج با نام علمی *Oryza sativa* پس از گندم دومین غلهٔ مهم در دنیا به حساب می‌آید و از خانوادهٔ گرامینه است و نوع یکساله و چند ساله دارد. در دنیا برنج با تولید

* نگارنده مسئول: Email: ghodsvali@gmail.com

http://doi: 10.22092/fooder.2022.354542.1307

© 2022,The Author(s). Published by Agricultural Engineering Research Institute. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

سالانه ۷۵۲/۲ میلیون تن شلتوک و ۵۰۴/۰ میلیون تن برنج و سطح زیر کشت سالانه ۱۶۳/۱ میلیون هکتار و میانگین عملکرد ۴/۶ تن در هکتار کشت می‌شود (USDA, 2019). سطح زیر کشت سالانهٔ برنج در ایران ۸۹۲۲۱۳ هکتار و تولید و عملکرد آن به‌ترتیب ۴۴۲۲۳۱۹ تن در سال و ۴۹۵۷ کیلوگرم در هکتار است. سطح زیر کشت برنج در استان گلستان سالانه ۱۱۸۷۵۴ هکتار با عملکرد ۵۷۵۰ کیلوگرم در هکتار و تولید ۶۸۲۸۱۹ تن است (Anon., 2020). ارزیابی دقیق کیفیت دانهٔ برنج بر اساس استاندارد ملی یا بین‌المللی مشکل است. خصوصیات مورد توجه برای محصول با کیفیت در کشورهای مختلف جهان متفاوت است بنابراین، به منظور استفاده از برنج در داخل کشور و صادرات باید کیفیت آن بررسی شود. انتخاب رقم بر پایهٔ کیفیت تبدیل و پخت مطلوب طبق استانداردهای مشخصی می‌باشد که اساس آن ذائقهٔ مصرف‌کننده است. نگهداری طولانی مدت نمونه در انبار تحت شرایط نامساعد، باعث ایجاد عطر و طعم نامطلوب در برنج می‌شود (Fitzgerald, 2000).

از روش‌های نوین و کم خطر برای مبارزه با آفات انباری (به جای استفاده از سموم شیمیایی مانند متیل بروماید و فستوکسین به عنوان مواد خطرناک برای لایه ازن و همچنین مقاومت حشرات به فسفین‌ها)، استفاده از گاز ازن در سیلوهای ذخیره‌سازی غلات را می‌توان نام برد (Wu *et al.*, 2006; Tiwari *et al.*, 2010; Hardin *et al.*, 2010). ازن یا اکسیژن فعال، به دلیل توانایی بالا در از بین بردن میکروارگانیسم‌هایی مانند باکتری‌ها، ویروس‌ها، قارچ‌ها، مخمرها و داشتن قابلیت بالا در حذف مواد خطرناک و مضر سموم کشاورزی، نیترات‌ها و سیانیدها بدون باقی گذاشتن مواد زیان‌آور یکی از بهترین مواد ضدعفونی کنندهٔ مواد غذایی در جهان شناخته شده است (Khadre *et al.*, 2001). از مزایای گاز ازن می‌توان به سرعت و قدرت اکسیدکنندگی بالا، نسبت به سایر مواد ضدعفونی کننده، نداشتن نیاز به حمل و انبار مواد شیمیایی به‌سبب نبود پایداری، تولید نکردن مواد سمی و محصولات ثانویه مضر، تاثیرگذاری بر طیف گسترده‌ای از میکروارگانیسم‌ها، قابلیت تجزیهٔ ترکیبات سمی و شیمیایی،تغییر ندادن طعم و مزه و رنگ و بو و کاربری آسان آن اشاره کرد (Li *et al.*, 2012). بونجور و همکاران (Bonjour *et al.*, 2011) اثر گاز ازن را با غلظت‌های مختلف بر شش گونه از آفات انباری غلات در دورهٔ ذخیره‌سازی بررسی کردند و نشان دادند تیمارهای آزمایش تا غلظت ۲۶ میلی‌گرم به ازای هر گرم دانه به مدت ۳-۴ روز بر شفیره شب‌پرهٔ هندی موثر بوده است. شپشهٔ برنج نیز پس از چهار روز در غلظت ۲۵ پی. پی. ام. به‌طور کامل از بین رفته است. تیمار ازن روی تخم‌ها و لاروهای *Plodia interpunctella* (Hübner) موثر نبود است ولی شفیره‌ها حساس‌تر بودند. حشرات بالغ *Sitophilus oryzae* (L.) حساس‌ترین گونه‌ها هستند و در تمامی تیمارهای ازن‌زنی شده، ۱۰۰ درصد مرگ و میر پس از ۲ روز مشاهده شد، اگر چه مقداری زاد و ولد در تمامی تیمارهای غلظت و مدت زمان ازن‌دهی دیده شده است. فقط پس از ۴ روز در غلظت ۵۰ یا ۷۰ پی.پی.ام.، ۱۰۰ درصد مرگ و میر در حشرات بالغ *Tribolium castaneum* (Herbst) مشاهده شده است. پس از ۴-۲ روز در غلظت ۷۰ پی.پی.ام. حجمی هیچ زاد و ولدی در مورد *T. castaneum* اتفاق نیفتاده است. در مورد *Rhyzopertha dominica* (F.)، *Cryptolestes ferrugineus* (Stephens) و *Oryzaephilus*

surinamensis (L.) مـرگ و میـر ۱۰۰ درصـد هرگـز به‌دسـت نیامـد و زاد و ولـد در تمـامی غلظت‌هـای ازن بـه‌وقـوع پیوسـت. منـدز و همکـاران (Mendez *et al.*, 2003) بـا بررسـی کیفیـت محصـولات نهـایی تولیـدی از غلـات تیمـار شـده بـا ازن و بـازبینی نحـوهٔ رفتـار ازن بـر مقـدار اسـیدهای آمینـه مهـم، اسـیدهای چـرب ضـروری و چربی تولید شده بـه‌وسـیله بـدن نشـان دادنـد اسـتفاده از ازن در کنتـرل آفـات انبـاری غلـات، تفـاوت قابـل تـوجهی در ارزش غـذایی و سـوخت و سـاز ایـن مـواد در غلات مـورد بررسـی ایجـاد نکـرده اسـت. غلظـت گـاز ازن و زمـان اشـباع شـدگی در دانـه‌های برنج بـه‌ترتیب ۵/۰۰ میلی‌گـرم در لیتـر و ۱۳/۹۷ دقیقـه بـود. در دانـه‌های بـرنج تیمـار شـده بـا ازن مهـار کامـل قارچهـای جـنس آسـپرژیلوس و پنیسـیلیوم اتفـاق افتـاده اسـت (Young *et al.*, 2006). سیسـتم‌های نگهـداری بـرنج بـا فنـاوری ازن‌زنـی (OTRISS) از ویژگـی ازن اسـتفاده می‌کننـد کـه یـک اکسـید کننـدهٔ قـوی اسـت، ازن پایـداری کمـی دارد و از ایـن رو تجزیـه مـی‌شـود کـه نتیجـهٔ آن تولیـد اکسـیژن و رادیکال‌هـای اکسـیژن می‌باشـد. ایـن ویژگی‌هـا می‌تواننـد میکروارگانیسـم‌ها و آفـات را از بـین ببرنـد، رطوبـت نسـبی را کـاهش دهنـد و محـیط را از اکسـیژن غنـی سـازند. برابـر برخـی گزارش‌هـا، سیسـتم‌های نگهـداری بـرنج بـا فنـاوری ازن‌زنـی (OTRISS) بـا ظرفیـت ۷۵ و ۱۰۰ کیلـوگرم سـاخته و آزمـایش شـده‌اند. در ایـن فرآینـدها توانـایی ازن در حـذف باکتری‌هـا و قارچهـا آزمـایش و منـتج بـه کـاهش میکروارگانیزم‌هـا در حـد ۳ لگـاریتمی CFU/g گردیـد. آزمون شیمی مـواد غـذایی نشـان داد کـه تیمـار بـرنج بـا ازن تغییـری در محتـوای شـیمیایی ایجـاد نمی‌کنـد و هم‌چنـان بـا اسـتاندارد محتـوای شـیمیایی و مطلوبیـت تغذیه‌ای اسـتاندارد ایـزو در مـورد بـرنج آسـیابی مطابقـت دارد (Nur *et al.*, 2015). تـأثیر ازن بـر قـارچ بـا از بـین بـردن پـروتئین‌هـای پوشـش اسـپور باعـث نـابودی آنهـا مـی‌شـود. اکسـیژن فعـال بـا دارا بـودن خاصـیت ضـدعفونی کننـدگی می‌توانـد بـاکتری‌هـا، اسـپورها و قارچهـای منتشـر شـونده از طریـق هـوا یـا آب و غیـره را از بـین ببـرد و سـبب کـاهش آلـودگی در محـیط و مـواد غـذایی مـی‌گـردد و زمـان مانـدگاری محصـولات را افزایش می‌دهد (Naito & Takahara, 2006).

اسـتفاده از ازن در برخـی مـوارد می‌توانـد منتهـی بـه تجزیـه اکسـیداتیو اجـزای شـیمیایی موجـود در بـرنج گردد. قسـمت اعظـم بـرنج از کربوهیـدرات تشـکیل شـده اسـت. میـزان کربوهیـدرات در بـرنج، ذرت و سـیب‌زمینی بـه‌ترتیب ۷۸/۹، ۷۲/۴ و ۱۹/۱ درصـد اسـت (Juliano, 1985). در مـدت زمـان ازن‌دهـی میـزان کربوهیـدرات در مقـادیر نسـبتاً کـم کـاهش می‌یابـد. کربوهیـدرات موجـود در بـرنج از آمیلـوز و آمیلـوپکتین تشـکیل شـده اسـت. میـزان هـر دو جـزء معمولاً بـه‌عنوان اسـتانداردی بـرای تعیـین کیفیـت بـرنج اسـتفاده قـرار مـی‌شـود. اصـولاً چهـار نـوع بـرنج وجـود دارد: بـرنج آمیلـوز بالـا (۳۳-۲۵ درصـد)، بـرنج آمیلـوز متوسـط (۲۵-۲۰ درصـد)، بـرنج آمیلـوز پـایین (۲۰-۹ درصـد) و بـرنج بـا آمیلـوز بسـیار پـایین (کمتـر از ۹ درصـد). بـرنج سـفید خـام حـاوی حـدود ۶/۷ درصـد پـروتئین اسـت در حـالی کـه پختـه شـدهٔ آن حـدود ۲ درصـد پـروتئین دارد. بـرنج دارای پروتئین‌هـای گـروه گلوتلین می‌باشـد کـه اوریـزنین نامیـده می‌شـود و حـاوی حـدود ۲۴/۱ درصـد اسـید امینـه گلوتامـات و کمـی لیـزین اسـت. ازن قـادر بـه کـاهش رشـد قارچهـا اسـت و همچنـین مشـخص شـد ه اسـت کـه کـاهش بهینـه در تعـداد قارچهـا طـی ۱۸۰ دقیقـه رخ خواهـد داد. حتـی طـی ۱۲ مـاه نگهـداری، هـیچ حشـره‌ای در بـرنج تیمـار شـده بـا ازن مشـاهده نشـده اسـت. آزمایش‌هـا در مـورد چربـی، آب، پـروتئین، خاکسـتر و کربوهیـدرات بـرنج،

قبل و بعد از تیمار با ازن، نشان داده‌اند که هیچ تغییر معنی‌دار در این مواد رخ نداده است (Juliano, 1985). در داخل کشور کار تحقیقاتی شاخصی در زمینهٔ کاربرد ازن در نگهداری برنج صورت نگرفته است. از آنجا که در کشور ما هر ساله مقدار زیادی برنج انبار می‌شود و معمولاً حشرات و قارچ ها، مشکلات کیفی جدی و خسارت‌های زیادی را در دانه‌های انبار شده ایجاد می‌کنند. استفاده از گاز ازن به‌عنوان روشی نوین و کم خطر می‌تواند در نگهداری دانهٔ برنج و کاهش ضایعات انباری با اهمیت باشد. از این رو در این تحقیق به بررسی تاثیر شرایط ازن‌دهی بر ویژگی‌های کیفی و پخت دانه برنج پرداخته شده‌است.

مواد و روش‌ها

نمونه و مواد شیمیایی مورد استفاده

در این طرح از برنج واریتهٔ فجر استفاده شد که از مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان تهیه گردید. مواد شیمیایی مورد استفاده در این آزمایش شامل پتاسیم هیدروکسید، تیترازول اسید کلریدریک، فنل فتالئین، آب مقطر، سدیم هیدروکسید، اسید استیک گلاسیال، یدید پتاسیم، ید، تیترازول کلریدریک اسید ۰/۱ نرمال، پتاس، فنل فتالئین (دو گرم پودر فنل فتالئین در ۵۰ میلی‌لیتر الکل اتانول) بود.

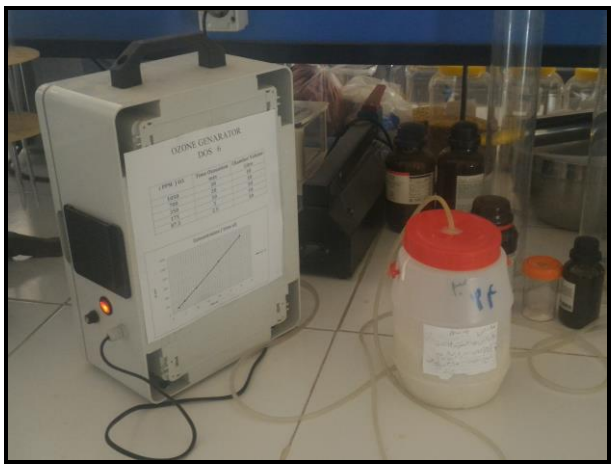
وسایل و دستگاه‌های مورد نیاز

دستگاه‌های مورد استفاده در این پروژه شامل دستگاه تولید کنندهٔ ازن، کپسول اکسیژن، شیر کنترل، فلومتر توده، پمپ خلأ، ظرف‌های پلاستیکی به منظور قرار دادن نمونه، دیسپنسر، سینی ویژهٔ قرار دادن نمونه در آون، آون، ترازوی دقیق تجزیه‌ای با دقت ۰/۰۰۰۱، حمام آب، ورتکس، دستگاه اسپکتروفتومتر، بالن، بورت، بالن ژوژه، ارلن‌مایر و بشر در حجم‌های مختلف، ظرف استوانه‌ای شکل از سیم توری، هیتر، پتری‌دیش و کولیس بود.

روش‌ها

حجم نمونه، روش نمونه‌گیری و روش ازن‌دهی

این طرح به لحاظ تعیین تاثیر زمان و غلظت ازن‌دهی بر خصوصیات کیفی دانهٔ برنج در ظروفی از جنس پلی‌اتیلن به ظرفیت ۲ کیلوگرم غله و مجهز به درپوش به‌منظور آب‌بندی کامل اجرا شد. شانزده ظرف نگهداری به کار گرفته شد و پس از اعمال تیمارها (به لحاظ زمان و غلظت ازن‌دهی) در پایان یک دوره چهار ماهه نگهداری از قسمت‌های مختلف ظرف به‌طور تصادفی نمونه‌گیری و خصوصیات مورد نظر ارزیابی شد. ازن به طور الکتروستاتیکی با یک ازن ژنراتور تولید شد. برای تیمارهای ازن‌دهی برنج از ظرف‌های پلی‌اتیلنی به ظرفیت دو کیلوگرم و مجهز به درپوش کامل لاستیکی و لوله‌های ورود و خروج گاز استفاده شد. گاز ازن از قسمت بالای ظروف نگهداری برنج با سرعت ۰/۰۲ تا ۰/۰۴ متر بر ثانیه وارد شد. هنگامی که غلظت گاز محفظه به میزان مورد نظر رسید و نیازی به دمش بیشتر گاز نبود با مهر و موم کردن محفظه، دمش قطع شد. تزریق گاز تا وقتی که غلظت ازن خروجی تقریباً ثابت ماند متوقف گردید. تأثیر ازن‌دهی با دو متغیر اصلی غلظت ازن در چهار سطح صفر پی.پی.ام ، ۲۵ پی.پی.ام ، ۵۰ پی.پی.ام و ۷۵ پی.پی.ام در مدت زمان ۷،۵،۳ و ۱ روز پس از طی چهار ماه نگهداری روی ویژگی‌های محصول برنج ارزیابی شد.



شکل ۱- روش کار ازن‌زنی به نمونه‌های برنج تیمارهای مختلف آزمایش
Fig 1- Method of ozonation

تعیین تغییرات کیفی دانهٔ برنج

نمرهٔ ژلاتینه شدن

در این آزمون، دانه‌های برنج در داخل محلول هیدروکسید پتاسیم رقیق قرار می‌گیرد و درجهٔ حل شدن دانه‌ها در محیط قلیا با دادن نمره در تک تک دانه‌ها تعیین می‌شود. از هر رقم شش دانهٔ کامل و بدون شکستگی انتخاب و در دو تکرار در ظرف‌های پتری‌دیش قرار داده شد و دو رقم شاهد با نمرهٔ ژلاتینه مشخص (سپیدرود با نمرهٔ ژلاتینه شدن هفت و خزر با نمرهٔ ژلاتینه شدن ۴/۵) در هر آزمون در نظر گرفته شد. ده میلی‌لیتر پتاس ۱/۷ درصد به هر یک از نمونه‌ها اضافه و نمونه‌ها داخل آون با دمای ۳۰ درجه سلسیوس به مدت ۲۳ ساعت قرار داده شدند. محدودهٔ نمره‌دهی برای نمونه‌ها از ۱ تا ۷ بر اساس جدول شمارهٔ ۱ بود. میانگین نمره‌ها به عنوان نمرهٔ ژلاتینه شدن نمونه اعلام گردید. در هنگام ارائهٔ گزارش، اعداد ۳-۱ نشان‌دهندهٔ دمای ژلاتینه شدن بالا، اعداد ۵-۴ معرف دمای ژلاتینه شدن متوسط و اعداد ۷-۶ نشان‌دهندهٔ دمای ژلاتینه شدن پایین معرفی می‌شوند (Little *et al*., 1958).

جدول ۱- طبقه‌بندی بر اساس دمای ژلاتینه شدن
Table 1- Classification based on gelation temperature

نمرهٔ ژلاتینه شدن Gelation score	دمای ژلاتینه شدن (°C) Gelation temperature (°C)	میزان ژلاتینه شدن Gelation
1-3	>74	بالا High
4-5	70 - 74	متوسط Medium
6-7	55 - 69	پایین Low

روش اندازه‌گیری میزان آمیلوز برنج

به تعداد نمونه‌های مورد آزمون، بالن ژوژه ۱۰۰ میلی‌لیتری برداشته و تا نصف آن از آب مقطر پر گردید و سپس پنج میلی‌لیتر از محلول ژلاتینه شده (از قبل آماده شده) و یک میلی‌لیتر اسید استیک یک مولار و دو میلی‌لیتر محلول ید به داخل بالن ژوژه ریخته و با آب مقطر به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد. با توجه به این‌که نشاسته در مجاورت ید به رنگ آبی در می‌آید پس از ۲۰ دقیقه جذب نمونه‌ها توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۶۲۰ نانومتر خوانده شد. با استفاده از منحنی استاندارد که بر اساس میزان جذب نمونه‌ها در غلظت‌های مختلف ترسیم شده، میزان آمیلوز محاسبه گردید (Juliano,1971).

خصوصیات مربوط به پخت دانه

مدت زمان پخت

داخل بشر ۲۵۰ میلی‌لیتری، 135 میلی‌لیتر آب مقطر ریخته و روی هیتر گذاشته شد تا به جوش آید. پنج گرم از نمونهٔ دانهٔ برنج مورد نظر داخل آب در حال جوش ریخته و به مدت ۱۰ دقیقه پخته شد. پس از اتمام ۱۰ دقیقه، پخته شدن دانه‌ها با فاصلهٔ زمانی یک دقیقه به یک دقیقه کنترل گردید. مدت زمان پخت، زمانی است که ۹۰ درصد دانه‌ها کاملاً پخته شده باشند (Aziz & Shafi, 1966).

تعیین میزان جذب آب و از دست دادن مواد جامد

نخست برای یک بشر ۲۰۰ میلی‌لیتری، ظرف استوانه‌ای شکل از جنس سیم توری (با وزن مشخص) انتخاب شد که بتواند به‌راحتی در آن قرار گیرد. چهل میلی‌لیتر آب مقطر در بشر ریخته شد. پنج گرم برنج سفید داخل توری ریخته و در بشر قرار داده شد (نسبت برنج به آب در زمان پخت 1 به ۸ است). مخلوط به مدت 15 دقیقه (مدت حرارت‌دهی بر اساس مدت پخت رقم مورد آزمون) جوشانده شد. در هنگام جوشیدن آب مراقبت شد آب به خارج تراوش نکند. پس از اتمام مدت زمان لازم برای پخت، نمونه از توری خارج و توزین شد. آنگاه با استفاده از وزن نمونه، وزن توری، وزن توری با برنج خام، و وزن برنج پخته با توری، وزن برنج پخته (رابطه ۱)، مقدار آب جذب شده (رابطه ۲) و نسبت برنج پخته به خام (رابطه ۳) به دست آمد (International Rice Research Institute, 1983).

(۱) وزن توری - وزن برنج پخته با توری = وزن برنج پخته

(۲) وزن نمونه - وزن برنج پخته = مقدار آب جذب شده

(۳) وزن نمونه / وزن برنج پخته = نسبت برنج پخته به خام

برای تعیین مقدار مواد جامد از دست رفته، بشر حاوی لعاب باقی‌مانده به مدت 22 ساعت در دمای ۵۰ تا ۶۰ درجهٔ سلسیوس در آون قرار داده شد تا کلیهٔ آب اضافی خارج شود. آنگاه بشر با مواد داخل آن وزن گردید و با کسر کردن از وزن بشر مقدار مواد جامد (رابطه ۴) به دست آمد.

(۴) وزن بشر - وزن بشر با مواد جامد = وزن مواد جامد

تعیین انبساط حجمی

برای اندازه‌گیری این ویژگی، نسبت برنج به آب در زمان پخت 1 به ۸ در نظر گرفته شد. برای اجرای این آزمون، نخست در یک استوانهٔ مدرج ۴۰ میلی‌لیتر آب مقطر ریخته شد و پنج گرم برنج خام داخل استوانهٔ مدرج حاوی آب مقطر انتقال داده شد و افرایش حجم آن یادداشت گردید و به عنوان حجم برنج خام در نظر گرفته شد. سپس، پنج گرم دیگر از برنج خام مربوط به نمونهٔ مورد نظر بر اساس زمان پخت آن، که از پیش به دست آمده بود، پخت گردید و با استفاده از کاغذ صافی آب اضافهٔ آن خارج شد و

به استوانهٔ مدرج حاوی ۴۰ میلی‌لیتر آب مقطر انتقال داده شد و افزایش حجم به عنوان حجم برنج پخته شده در نظر گرفته شد (International Rice Research Institute, 1983).

(۵) حجم برنج پخته شده به حجم برنج خام = میزان انبساط حجمی

افزایش طول دانه پس از پخت

بیست و پنج دانهٔ برنج سالم انتخاب و ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر به آن اضافه شد. نمونه‌ها به مدت 45دقیقه خیسانده و دانه‌ها داخل حمام آب گرم ۱۰۰ درجهٔ سلسیوس به مدت 15 دقیقه پخته شدند. برنج‌های پخته شده داخل پتری‌دیش‌هایی منتقل شدند که داخل آن کاغذ صافی قرار داده شده است. سپس ۱۰ دانهٔ برنج پخته برای اندازه‌گیری طول پخت انتخاب و با کولیس دیجیتال طول برنج پخته شده اندازه‌گیری شد. نسبت میانگین طول برنج پخته به میانگین طول برنج خام محاسبه گردید (Aziz & Shafi, 1966).

تجزیه و تحلیل آماری

تأثیر گاز ازن با رویکرد تعیین غلظت موثرگاز ازن و مدت زمان کارآمد ازن‌دهی با دو متغیر اصلی غلظت ازن در چهار سطح (صفر ، ۲۵ ،۵۰ و ۷۵ پی.پی.ام) و چهار سطح مدت زمان ازن‌زنی (۱، ۳، ۵ و ۷ روز) در برنج رقم فجر طی یک دورهٔ چهار ماهه نگهداری ارزیابی شد. تجزیه و تحلیل آماری داده‌های آزمایش با استفاده از روش فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با ۱۶ تیمار در سه تکرار و نرم افزار SPSSنسخه ۹/۱ دنبال شد. مقایسهٔ میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن($P< 0.05$) صورت پذیرفت.

نتایج و بحث

بررسی تأثیر تیمارهای آزمایش روی ویژگی‌های پخت دانهٔ برنج مورد آزمایش

سیستم‌های نگهداری برنج با فناوری ازن‌زنی (OTRISS) از ویژگی ازن استفاده می‌کندکه اکسید کننده‌ای است قوی. ازن پایداری کمی دارد و به این دلیل تجزیه می‌شود که نتیجهٔ آن تولید اکسیژن و رادیکال‌های اکسیژن می‌باشد. اکسیداسیون نشاسته یک روش فیزیکی تغییر نشاسته می‌باشد. تغییراتی که طی این عمل اتفاق می افتد عبارت است از: اکسید شدن گروه های الکلی به کربونیل و کربوکسیل، اکسید شدن آلدئید به کربوکسیل، قطع زنجیرها که نوع و میزان آنها به عوامل زیادی از جمله نوع و میزان مادهٔ اکسید کننده، دمای عمل و غلظت سوسپانسیون بستگی دارد. نشاستهٔ حاصل از این عمل شفاف‌تر و گرانروی خمیر آن کمتر است. مدت زمان پخت نیز نشان‌دهندهٔ زمان مورد نیاز برای پخت نمونه و رسیدن به حداکثر چسبندگی است. در واقع، جذب آب بیشتر توسط گرانول‌های نشاسته، عاملی موثر در کاهش مدت زمان پخت دانه است (Rosniyana *et al*., 2006) که این امر در نتایج این تحقیق قابل رویت می‌باشد (جدول ۲). نتایج تجزیهٔ واریانس نشان می‌دهد که غلظت گاز ازن تأثیر معنی‌داری ($P<0.01$) روی میزان جذب آب دانهٔ برنج دارد ولی تأثیر آن روی مدت زمان پخت معنی‌دار ($P<0.01$) نیست و نیز مدت زمان ازن‌دهی تأثیر معنی‌داری ($P<0.01$) روی میزان جذب آب و مدت زمان پخت دانهٔ برنج ندارد. اثر متقابل دو تیمار غلظت گاز ازن × مدت ازن‌دهی نیز تأثیر معنی‌داری ($P<0.01$) روی میزان جذب آب

دانهٔ برنج دارد ولی تأثیر آن روی مدت زمان پخت معنی‌دار ($P<0.01$) نیست (جدول ۲). با توجه به تأثیر معنی‌دار ($P<0.01$) غلظت گاز ازن روی میزان جذب آب، بیشینهٔ جذب آب با اعمال غلظت ۲۵ پی.پی.ام گاز ازن، نسبت به کمینهٔ آن در غلظت‌های ۷۵ و ۵۰ پی.پی.ام (بدون اختلاف معنی‌دار) به‌ترتیب ۱۷/۰ درصد و ۱۴/۴ درصد بیشتر است (جدول ۲). با توجه به نداشتن تأثیر معنی‌دار ($P<0.05$) غلظت گاز ازن روی مدت زمان پخت، بیشینهٔ آن با اعمال غلظت ۵۰ پی.پی.ام گاز ازن، نسبت به کمینهٔ آن در غلظت ۲۵ پی.پی.ام ، ۶/۸ درصد بیشتر است (جدول ۳). سابولارس و همکاران (Sabularse *et al.*, 1991) جذب آب بیشتر برنج را به قطعه قطعه شدن نشاسته و باز شدن ساختار دانه در اثر عملیات تبدیل ارتباط دادند. نتایج مشابهی توسط رزنیانا و همکاران (Rosniyana *et al.*, 2006) نیز گزارش شده است. طی اکسیداسیون، نشاسته متحمل تجزیه اکسایشی می‌شود که باعث گسست پلی‌مری خواهد شد و گروه‌های کربونیل و کربوکسیل را روی گروه‌های هیدروکسیل قرار می‌دهد. بنابراین، گرانول‌های نشاسته ضعیف می‌شوند که به پایین آمدن گرانروی و تبلور مجدد کمتر می‌انجامد زیرا تغییرات ساختمانی از ایجاد شبکه سه بعدی طی شکل‌گیری ژل جلوگیری می‌کند (Rutenberg & Solarek, 1984). در زمینهٔ تغییرات ساختمانی، گفته شده است که گروه‌های هیدروکسیل در موقعیت‌های ۲-C، ۳-C و ۶-C اولین محل‌هایی هستند که گروه‌های کربونیل و کربوکسیل مورد حمله قرار می‌دهند (Wurzburg, 1986). پاترسون و همکاران (Paterson *et al.*, 1996) می‌گویند تجزیهٔ اکسایشی نشاسته، یکپارچگی و تمامیت گرانول‌های نشاسته را تحت تأثیر قرار می‌دهد و این بدان معنا است که دافعه الکتریکی گروه‌های کربوکسیل موجب کاهش یکپارچگی و تمامیت گرانول‌های نشاسته می‌شود و این امر اجازه می‌دهد تا آب بیشتری به داخل گرانول راه پیدا کند (جذب آب بیشتر) و در نتیجه میزان تورم گرانول‌های نشاسته بیشتر شود. در اکسیداسیون نشاسته، علاوه بر دپلیمریزاسیون نشاسته که موجب کاهش ویسکوزیتهٔ محلول‌های گرم نشاسته می‌شود، به علت جایگزین شدن گروه‌های حجیم COOH و C=O از اتصال زنجیرهای کوتاه نشاسته به هنگام سرد کردن محلول و در نتیجه رتروگرادسیون جلوگیری می‌شود.

جدول ۲- جدول تجزیهٔ واریانس (میانگین مربعات) ویژگی‌های پخت دانهٔ برنج مورد آزمایش

Table 2- Analysis of variance (mean squars) of

منبع تغییر Variation source	انبساط حجمی Volumetric expansion	وزن برنج پخته Weight of cooked rice	جذب آب Water absorption	وزن مواد جامد Weight of solids	افزایش طول دانه Grain elongation	مدت زمان پخت Cooking time	نمرهٔ ژلاتینه شدن Gelation Score	آمیلوز Amylose
غلظت گاز Gas Concentration	0.69206979 ns	2.50897812 **	2.36981146 **	0.16720313 **	0.00650312 ns	0.88646329 ns	0.54484127 ns	2.05346936 ns
مدت ازن‌دهی Exposure Time	0.31291146 *	0.07225312 ns	0.02575312 ns	0.16156146 **	0.0006781 ns	1.53799603 ns	0.46746032 ns	20.95361878 **
غلظت گاز× مدت ازن‌دهی Gas Concentration× Exposure Time	0.14815035 ns	2.34335035 **	2.35151701 **	0.22676146 **	0.0022892 ns	1.1884755 ns	0.64775132 ns	0.37731045 ns

**: معنی‌دار در سطح یک درصد؛ *: معنی‌دار در سطح پنج درصد؛ ns: معنی‌دار نیست

**: significant ($p<0.01$) ؛ *: significant ($p<0.05$) ؛ ns: Non significant

جدول ۳- مقایسهٔ میانگین ویژگی‌های پخت دانهٔ برنج مورد آزمایش تحت تاثیر غلظت گاز ازن

Table 3- Mean comparison of cooking characteristics of rice investigated affected by ozone concentration

آمیلوز (درصد) Amylose (%)	نمرهٔ ژلاتینه شدن Gelation Score	مدت زمان پخت (دقیقه) Cooking time (min)	افزایش طول دانه Grain elongation	وزن مواد جامد (گرم) Weight of solids (gr)	جذب آب (گرم) Water absorption (gr)	وزن برنج پخته (گرم) Weight of cooked rice (gr)	انبساط حجمی Volumetric expansion	غلظت گاز ازن (ppmv) Gas Concentration (ppmv)
23.15±0.59 a	2.25±0.25 a	11.59±0.39 a	1.428±0.06 a	0.25±0.05 d	7.68±0.37 b	12.78±0.31 b	3.54±0.57 b	0
23.24± 0.64 a	2.14± 0.14 a	10.96± 0.39 a	1.373± 0.048 a	0.34± 0.12 c	8.12± 1.30 a	13.12±1.30 c	4.26±0.219 a	25
22.39± 0.59 a	2.00± 0.00 a	11.71± 0.66 a	1.365± 0.398 a	0.59± 0.56 a	7.10± 1.08 c	12.10± 1.08 a	3.86± 0.102 ab	50
22.26± 0.76 a	2.63± 0.38 a	11.66± 0.22 a	1.376± 0.685 a	0.43± 0.23 b	6.94± 0.41 c	11.94± .41 c	3.82± 0.363 ab	75

در هر ستون میانگین های دارای حروف یکسان اختلاف معنی‌دار ندارند. نتایج، میانگین پنج تکرار ± انحراف معیار است.

Results are mean of five Means with similar letters within the same column are not significantly different ($p<0.05$).; replications± standard deviation

جدول ٤- مقایسهٔ میانگین ویژگی‌های پخت دانهٔ برنج مورد آزمایش تحت تأثیر مدت ازن‌دهی

Table 4- Mean comparison of cooking characteristics of rice investigated affected by ozonation duration

آمیلوز (درصد) Amylose (%)	نمرهٔ ژلاتینه شدن Gelation Score	مدت زمان پخت (دقیقه) Cooking time (min)	افزایش طول دانه Grain elongation	وزن مواد جامد (گرم) Weight of solids (gr)	جذب آب (گرم) Water absorption (gr)	وزن برنج پخته (گرم) Weight of cooked rice (gr)	انبساط حجمی Volumetric expansion	مدت ازن‌دهی (روز) Ozonation (day)
24.80± 0.56 a	2.38± 0.26 a	10.88± 0.54 a	1.382± 0.055 a	0.319± 0.079 b	7.50± 0.45 a	12.50± 0.45 ab	4.16± 0.31 a	1
23.20± 0.40 b	2.57± 0.43 a	11.93± 0.39 a	1.397± 0.086 a	0.321± 0.68 b	7.51± 0.43 a	12.61± 0.43 a	3.76± 0.42 b	3
22.00± 0.23 c	2.00± 0.0 a	11.61± 0.32 a	1.375± 0.039 a	0.349± 0.228 b	7.39± 1.80 a	12.39± 1.8 b	3.73± 0.49 b	5
21.05± 0.37 c	2.13± 0.13 a	11.62± 0.39 a	1.389± .051 a	0.613± 0.573 a	7.45± 0.72 a	12.45± 0.72 ab	3.82± 0.42 b	7

نتایج، میانگین پنج تکرار ± انحراف معیار است.

Results are mean of five replication± standard deviation

جدول ۵- مقایسهٔ میانگین ویژگی‌های پخت دانهٔ برنج آزمایش تحت تأثیر متقابل غلظت گاز × مدت ازن‌دهی

Table 4- Mean comparison of cooking characteristics of rice investigated affected by by ozone concentration × ozonation duration

غلظت ازن × مدت ازن‌دهی (ppmv × روز) Gas Concentration× Exposure Time (ppmv× day)	انبساط حجمی Volumetric expansion	وزن برنج پخته (گرم) Weight of cooked rice (gr)	جذب آب (گرم) Water absorption (gr)	وزن مواد جامد (گرم) Weight of solids (gr)	افزایش طول دانه (ری آمدن) Grain elongation	مدت زمان پخت (دقیقه) Cooking time (min)	نمرهٔ ژلاتینه شدن Gelation Score	آمیلوز (درصد) Amylose (%)
0×1	4.40± 0.57 a	12.74± 0.22 b	7.74±0.22 bc	0.319±0.079 de	1.435± 0.052 a	10.75± 0.00 a	3.00± 1.00 ab	24.85± 1.00 ab
0×3	3.25± 0.00 c	12.98± 0.21 b	7.58± 0.59 dc	0.319± 0.079 cde	1.435± 0.132 a	12.25± 1.50 a	2.00± 0.00 b	23.92± 1.00 abcd
0×5	3.25± 0.00 c	12.35± 0.21 c	7.35± 0.02 cde	0.319± 0.079 e	1.415± 0.032 a	12.00± 0.75 a	2.00± 0.00 b	22.69± 0.15 abcde
0×7	3.25± 0.00 c	13.08± 0.04 b	8.08± 0.04 b	0.319± 0.079 de	1.425± 0.055 a	11.38± 0.13 a	2.00± 0.00 b	21.15± 0.08 ed
1×25	4.33± 0.00 a	12.07± 0.21 c	7.07± 0.21 e	0.319± 0.079 bcd	1.350± 0.038 a	9.88± 0.38 a	2.00± 0.00 b	25.04± 1.88 a
3×25	4.33± 0.00 a	12.22± 0.28 c	7.22± 0.28 de	0.319± 0.079 bcd	1.420± 0.071 a	12.00± 0.75 a	2.00± 0.00 b	23.39± 1.00 abcd
5×25	4.02± 0.44 ab	15.11± 0.14 a	10.11± 0.14 a	0.319± 0.079 cde	1.385± 0.010 a	11.50± 0.00 a	2.00± 0.00 b	22.35± 0.19 abcde
7×25	4.33± 0.00 a	13.09± 0.01 b	8.09± 0.01 b	0.319± 0.0.079 e	1.335± 0.010 a	10.75± 0.25 a	2.50± 0.50 b	22.19± 1.27 bcde
1×50	4.00± 0.00 ab	13.06± 0.07 b	8.06± 0.07 b	0.319± 0.0.079 cde	1.390± 0.054 a	1.062± 2.13 a	2.00± 0.00 b	24.35± 0.96 abc
3×50	3.80± 0.08 abc	13.05± 0.03 b	8.05± 0.03 b	0.319± 0.079 cde	1.340± 0.055 a	11.50± 0.00 a	2.00± 0.00 b	22.92± 0.85 abcde
5×50	3.79± 0.10 abc	10.81± 0.60 e	5.81± 0.60 g	0.319± 0.079 de	1.365± 0.050 a	11.50± 0.75 a	2.00± 0.00 b	21.81± 0.12 cde
7×50	3.86± 0.00 abc	11.49± 0.08 d	6.49± 0.08 f	0.319± 0.079 a	1.365± 0.020 a	13.12± 0.88 a	2.00± 0.00 b	20.50± 0.27 e
1×775	3.90± 0.06 ab	12.13± 0.01 c	7.10± 1.08 de	0.319± 0.079 de	1.350± 0.061 a	12.25± 0.75 a	2.50± 0.50 b	24.96± 1.73 ab
3×75	3.64± 0.10 bc	12.13± 0.04 c	7.20± 0.04 de	0.319± 0.079 cde	1.380± 0.128 a	11.75± 0.25 a	4.00± 1.00 a	22.58± 0.81 abcde
5×75	3.88± 0.88 ab	11.28± 0.01 d	6.28± 0.01 f	0.319± 0.079 b	1.335± 0.007 a	38± 0.88 a	2.00± 0.00 b	21.18± 0.15 de
7×75	3.86± 0.20 abc	12.14± 0.16 c	7.14± 0.16 de	0.319± 0.079 bc	1.430± 0.036 a	11.25± 0.50 a	2.00± 0.00 b	20.35± 0.19 a

در هر ستون میانگین های دارای حروف یکسان اختلاف معنی‌دار ندارند. نتایج،: میانگین پنج تکرار ± انحراف معیار است.

Means with similar letters within the same column are not significantly different (p<0.05).;Results are mean of five replications± standard deviation

نتایج تجزیهٔ واریانس نشان می‌دهد که غلظت گاز ازن و اثر متقابل غلظت گاز ازن × مدت ازن‌دهی تأثیر معنی‌داری (P<0.01) روی انبساط حجمی دانهٔ برنج ندارد ولی تأثیر مدت زمان ازن‌دهی معنی‌دار (P<۰/۰۵) است (جدول ۲). بیشینهٔ انبساط حجمی با اعمال غلظت ۲۵ پی.پی.ام گاز ازن، نسبت به کمینهٔ آن در غلظت‌های ۷۵ و ۵۰ پی.پی.ام بدون اختلاف معنی‌دار به‌ترتیب ۱۱/۴ درصد و ۱۰/۱ درصد بیشتر است (جدول ۳). با توجه به تأثیر معنی‌دار (P<0.01) مدت ازن‌دهی روی ویژگی انبساط حجمی، بیشینهٔ انبساط حجمی (۴/۱۶) با اعمال یک روز ازن‌دهی مشاهده شده است که نسبت به کمینهٔ آن در ۵ روز (البته بدون اختلاف معنی‌دار بین پنج با ۳ و ۷ روز)، ۱۱/۵ درصد بیشتر است (جدول‌های

۴ و ۵). یکی دیگر از ویژگی‌های برنج پخته شده میزان انبساط حجمی آن پس از پخت می‌باشد. این ویژگی در ارقام مختلف متفاوت است و بیشتر بستگی به میزان آمیلوز آن دارد. به طور کلی ارقام آمیلوزمتوسط نسبت به ارقام آمیلوزبالا، انبساط حجمی بیشتری را در هنگام پخت نشان می‌دهند. برنج واکسی در موقع پخت، چسبنده و لزج و فاقد انبساط حجمی است، اما در مورد برنج‌های غیرواکسی که به غیر گلوتینوز نیز معروف‌اند، بستگی به ترکیب آمیلوز دارد. هرچه میزان آمیلوز بیشتر باشد چسبندگی دانه‌ها به یکدیگر کمتر است، به طوری که در برنج‌های آمیلوزبالا، دانه‌ها پس از پخت کاملاً از هم جدا باقی می‌مانند و در اثر سرد شدن خشک‌تر و سخت‌تر می‌شوند. برنج‌های با آمیلوز بالاتر از ۳۳ درصد پس از پخت خوب جویده نمی‌شوند و فاقد ارزش خوراکی هستند.

نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد غلظت گاز ازن، مدت زمان ازن‌دهی و اثر متقابل غلظت گاز ازن × مدت ازن‌دهی تأثیر معنی‌داری ($P<0.01$) روی میزان ری آمدن یا افزایش طول دانه پس از پخت ندارد (جدول ۲). بیشینهٔ افزایش طول دانه یا میزان ری آمدن بدون اختلاف معنی‌دار با اعمال غلظت صفر پی.پی.ام مشاهده می‌شود که نسبت به کمینهٔ آن در غلظت‌های ۲۵ پی.پی.ام، ۵۰ پی.پی.ام و ۷۵ پی.پی.ام به‌ترتیب ۴/۰ درصد، ۴/۶ درصد و ۳/۸ درصد بیشتر است (جدول ۳). بیشینهٔ افزایش طول دانه با اعمال سه روز ازن‌دهی مشاهده شده است که نسبت به کمینهٔ آن و بدون اختلاف معنی‌دار ($P<0.01$) در پنج روز، ۱/۵ درصد بیشتر است (جدول‌های ۴ و ۵). نسبت طویل شدن دانه تحت تأثیر ژنوتیپ و محیط به‌ویژه دما در دوره پرشدن دانه است. میزان ری آمدن یا افزایش طول دانه پس از پخت ارتباط منفی با میزان آمیلوز دارد. ارقام محلی که نسبت به بعضی از ارقام اصلاح شده دارای میزان آمیلوز کمتر و پروتئین بالاتری هستند، نسبت طول پخته به خام در آنها بیشتر است (Dela Cruz & Khush, 2000).

نتایج تجزیهٔ واریانس نشان می‌دهد که غلظت گاز ازن، مدت زمان ازن‌دهی و اثر متقابل غلظت گاز ازن × مدت ازن‌دهی تأثیر معنی‌داری ($P<0.01$) روی نمرهٔ ژلاتینه شدن دانه ندارد (جدول ۲). با توجه به این‌که غلظت گاز ازن روی نمرهٔ ژلاتینه شدن اثر معنی‌دار ($P<0.05$) ندارد، بیشینهٔ آن با اعمال غلظت ۷۵ پی.پی.ام گاز ازن، نسبت به کمینهٔ آن در غلظت ۵۰ پی.پی.ام ، ۱۲/۵ درصد بیشتر است (جدول ۳). در تحقیق شهسواری آهنگر و همکاران (Shasavari Ahangar *et al.*, 2013) لاین‌های مورد بررسی نمرهٔ ژلاتینه شدن کمتر از ۷ داشتند. این محققان نتیجه گرفتند که طبق مقایسات گروهی، همهٔ لاین‌ها از نظر کیفیت بهتر از رقم نعمت و در مقایسه با ارقام هاشمی، کادوس و هیبرید در وضعیت پایین‌تری قرار دارند. دلاکروز و خوش (Dela Cruz & Khush, 2000) در مطالعهٔ دمای ژلاتینه شدن رقم برنج باسماتی پاکستان در دماهای مختلف دستگاه فیتوترون نتیجه گرفتند که دمای ژلاتین شدن از دمای محیط تأثیر نمی‌پذیرد. شاید علت این مشاهده ناهماهنگی بین شرایط ایجاد شده در فیتوترون و محیط آزاد به ویژه نور و پرتوهای دیگر خورشیدی و غیره باشد. تغییرات حرارتی در زمان تشکیل بسپارهای (پلیمرهای) آمیلوز و آمیلوپکتین سبب تغییر در ساختار مولکولی و تغییر در انشعاب‌سازی و حتی ایجاد پیوندهای عرضی می‌شود. تاکنون روش‌های متعددی برای اندازه‌گیری نمرهٔ ژلاتینه شدن رواج یافته که عبارت‌اند از: روش تأثیر محلول

هیدروکسید پتاسیم ۱/۷ درصد و روش‌های نورسنجی، میکروسکوپی و پلاروگرافی. روش محلول هیدروکسید پتاسیم ۱/۷ درصد خیلی ساده و سریع است. میزان تأثیر یا هضم محلول هیدروکسید پتاسیم روی دانه‌ها براساس نمره‌های ۱ تا ۷ درجه یادداشت می‌شود. این درجات با مقدار دمای ژلاتینه شدن نسبت غیر مستقیم دارند. برای اطلاع بیشتر توضیح داده می‌شود که غلظت هیدروکسید پتاسیم در دو زیرگونهٔ هندی و ژاپنی متفاوت است. برای ارقام زیرگونهٔ هندی غلظت ۱/۸-۱/۷ درصد هیدروکسید پتاسیم و ارقامی که در مقابل هیدروکسید پتاسیم مقاوم‌اند مناسب است. برای زیرگونهٔ ژاپنی و ارقامی که در هیدروکسید پتاسیم به سهولت تجزیه می‌شوند، غلظت ۱/۵-۱/۴ درصد هیدروکسید پتاسیم کافی به نظر می‌رسد. ارقام ژاپنی اغلب دانه کوتاه‌اند و آمیلوز پائین (۱۸-۱۷ درصد) دارند امّا ارقام هندی اغلب دانه‌بلند و آمیلوزمتوسط و آمیلوزبالا هستند. از عوامل تعیین کنندهٔ کیفیت پخت و خوراکی برنج، محتویات آمیلوز، پیوستگی ژل، دمای ژلاتینه شدن و کشیدگی دانه پس از پخت را می‌توان نام برد. دمای ژلاتینه شدن یکی از ویژگی‌های فیزیکی بسیار مهم نشاستهٔ برنج عبارت است از دمایی که در آن دانه‌های نشاسته در داخل آب به طور غیرقابل برگشتی متورم می‌شوند. وقتی مخلوط آب و برنج به تدریج گرم می‌شود برنج تا پیش از رسیدن به دمای ژلاتینه تغییر اندکی متحمل می‌شود، ولی پس از آن دانه‌های نشاسته آب را به مقدار بیشتری جذب می‌کنند و سبب افزایش طول دانه و انبساط حجمی آن می‌شوند. بنابراین، دمای ژلاتینه شدن تعیین کنندهٔ مدت زمان لازم برای پخت است و تغییر در دمای ژلاتینه شدن منجر به تغییر در مدت زمان پخت می‌شود، که هرچه مقدار دمای ژلاتینه شدن بیشتر باشد، مدت زمان لازم برای پختن بیشتر خواهد بود. مدت زمان پخت نیز نشان‌دهندهٔ زمان مورد نیاز برای پخت نمونه و رسیدن به حداکثر چسبندگی است. در مطالعه‌ای، زمان پخت رقم سپیدرود ۶/۲۹ دقیقه و رقم کادوس ۵/۶۴ دقیقه گزارش شده است (Allahgholipour *et al.*, 2006). در دمای ژلاتینه شدن، دانه‌های نشاسته خاصیت پیوند قطبی خود را از دست می‌دهند و ژل به تدریج شفافیت بیشتری می‌یابد و آمیلوز حل می‌شود. در این هنگام، نشاسته را ژلاتینه شده می‌نامند. دمای ژلاتینه شدن برنج کاملاً از زادمونی به زادمون دیگر تفاوت دارد. دمای ژلاتینه شدن درجهٔ نظم سازمانی ذرات نشاسته را نشان می‌دهد. به نظر می‌رسد دمای ژلاتینه با درجهٔ تبلور نشاسته، اندازه یا درجهٔ مولکولی آن، تعداد زنجیرهای انشعابی آمیلوپکتین برنج ارتباط داشته باشد. کمیت و کیفیت نشاسته و دمای ژلاتینه شدن تأثیر شدیدی بر کیفیت پخت دارد. جالب توجه است که اندازهٔ دانهٔ برنج و شکل آن در مقدار جذب آب و زمان پخت هیچ‌گونه تأثیری ندارد بلکه فقط دمای ژلاتینه شدن مشخص کنندهٔ آن می‌باشد. در ارقام اصلاح شده که نمرهٔ ژلاتینه آنها ۷ است، نسبت به ارقام محلی، میزان جذب آب پایین‌تر است. دمای ژلاتینه شدن ارقام برنج عموماً بین ۶۲/۵ تا ۹۷ درجه سانتی‌گراد متغیر است و شامل دمای ژلاتینهٔ پایین (۵۹-۵۵ درجه سلسیوس)، دمای ژلاتینهٔ متوسط (۷۴-۷۰ درجه سلسیوس) و دمای ژلاتینهٔ بالا (۷۹-۷۵ درجه سلسیوس) است (Juliano, 1982). بیش از ۹۰ درصد ارقام محلی خوش‌کیفیت ایرانی از نوع دمای ژلاتینه شدن متوسط هستند و ژنوتیپ‌های معطر عنبربو، هاشمی، علی‌کاظمی، دم‌سیاه و باسماتی

پاکستان در این گروه قرار دارند، به استثنای حسنی که دمای ژلاتینه شدن پایین دارد اما کیفیت پخت آن بسیار تحسین برانگیز است. از عوامل مؤثر در دمای ژلاتینه شدن برنج می‌توان دمای زمان بسپارش (پلیمری) شدن نشاسته و میزان تابش نور خورشید را نام برد که مقدار آن را حداکثر شش درجه سانتی‌گراد تغییر می‌دهد. نمرهٔ ژلاتینه‌شدن بین ۱ تا ۷ متغیر است (Shasavari Ahangar *et al.*, 2013). میزان دمای ژلاتینه شدن از ۵۵ تا ۷۹ درجه سلسیوس متغیر است (Khush, *et al.*, 1979). طبق شاخص‌های کیفیت، هرچه نمرهٔ ژلاتینه‌شدن تیماری پایین‌تر باشد، دمای ژلاتینه شدنآن بالاتراست و زمان لازم برای پخت آن طولانی‌تر و موجب سفت و سخت شدن دانهٔ برنج پس از پخت می‌شود. در تحقیق دیگری نشان داده شده است که ازن‌دهی موجب کاهش دمای ژلاتینه شدن می‌گردد (Wang *et al.*, 2014) که با نتایج این تحقیق همخوانی دارد که نشان داد با افزایش غلظت ازن نمرهٔ ژلاتینه شدن افزایش می‌یابد (به عبارت دیگر میزان دمای ژلاتینه شدن کاهش پیدا می‌کند)، (جدول ۲).

با این‌که توجه زیادی به افزایش کیفیت پخت و خوش‌خوراکی ارقام مختلف برنج شده است، اما هنوز دقیقاً روشن نیست که چه عواملی روی خصوصیات پخت ارقام بیشترین تاثیر را دارند. میزان آمیلوز برای ارقام مختلف به ۳ دسته طبقه‌بندی می‌شوند. کم‌آمیلوز مقادیر کمتر از ۲۰ درصد، میزان متوسط بین ۲۰ تا ۲۵ درصد و میزان بالای آن بیش از ۲۵ درصد است (Kumar & Khush, 1986). مقادیرکم آن در برنج سبب می‌شود برنج پس از پخت چسبنده و لعابدار شود و انبساط حجمی پیدا نکند. درحالی‌که مقدار زیاد آن موجب می‌شود برنج بعد از پخت سفت و خشک شود، بنابراین مهم‌ترین میزان آن حد متوسط است که در این حالت برنج پس از پخت نرم و مرطوب می‌ماند و پس از سردشدن سخت نمی‌شود که نمونه برنج مورد آزمایش در این تحقیق در این گروه قرار دارد. نتایج تجزیهٔ واریانس نشان می‌دهد که غلظت گاز ازن و اثر متقابل غلظت گاز ازن × مدت ازن‌دهی تأثیر معنی‌داری ($P<0.01$) روی میزان آمیلوز ندارد ولی تأثیر تیمار مدت زمان ازن‌دهی معنی‌دار ($P<0.01$) است (جدول ۲). با توجه به اینکه غلظت گاز ازن روی میزان آمیلوز تأثیر معنی‌دار ($P<0.05$) ندارد، بیشینهٔ آن با اعمال غلظت ۲۵ پی.پی.ام گاز ازن، نسبت به کمینهٔ آن در غلظت ۷۵ پی.پی.ام ، ۴/۲ درصد بیشتر است (جدول‌های ۳ و ۵). با توجه به تأثیر معنی‌دار ($P<0.01$) مدت ازن‌دهی روی ویژگی میزان آمیلوز، بیشینهٔ میزان آمیلوز (۲۴/۸۰ درصد) با اعمال یک روز ازن‌دهی مشاهده شده است که نسبت به کمینهٔ آن در ۷ روز (البته بدون اختلاف معنی‌دار بین ۵ و ۷ روز)، ۱۷/۸ درصد بیشتر است (جدول ۴). نشان داده شده است که میزان آمیلوز بر اثر اکسیداسیون تحت تأثیر قرار می‌گیرد، و نیز مشخص گردیده است که ظرفیت پیوند نشاسته با ید پس از اکسیداسیون به‌واسطه تجزیهٔ آمیلاز و تغییرات ایجاد شده در ساختمان مولکول‌های آمیلوز کاهش می‌یابد (Boruch, 1985). میزان آمیلوز با افزایش درجهٔ اکسیداسیون نشاسته، به دلیل کاهش میزان آمیلوز طبیعی در ساختمان مارپیچی زنجیره، کاهش می‌یابد (Boruch, 1985) که با نتایج این تحقیق همخوانی دارد که کاهش میزان آمیلوز را در اثر افزایش غلظت ازن و مدت ازن‌دهی نشان می‌دهد (جدول‌های ۳ و ۴)، به‌علاوه، مشخص شده است که میزان آمیلوز با انبارداری و در دورهٔ نگهداری به حال اول خود برمی‌گردد، بنابراین، اکسیداسیون شکل

مولکول‌های آمیلوز را تغییر می‌دهد ولی موجب تجزیه و نابودی زنجیره آمیلوز نمی‌شود. بیش از ۹۰ درصد آندوسپرم دانهٔ برنج را نشاسته تشکیل می‌دهد که به‌طور غیر مستقیم بر کیفیت پخت و مصرف تأثیرگذار است. نشاسته ترکیبی از دو جزء آمیلوز و آمیلوپکتین است که کیفیت پخت بستگی به نسبت این دو در دانه دارد (Blakeney *et al.*, 1994). آمیلوز نه تنها مسئول میزان نرمی یا سختی برنج پخته شده می‌باشد بلکه بر میزان چسبندگی آن نیز تاثیر دارد. همهٔ این خصوصیات عواملی هستند که در پذیرش رقم توسط مصرف کننده مهم هستند. بنابراین، میزان آمیلوز شاخص مهمی در کیفیت پخت و خوراک محسوب می‌شود (Habibi, F. 2006). مطالعات زیادی در مورد نقش میزان آمیلوز (Juliano, 1985) و ساختمان آمیلوپکتین نشاسته Ramesh *et al.*, 1999; Ong, & Blanshard & (Juliano, 1985) انجام شده است. این مطالعات کمک زیادی به شناخت عوامل موثر بر کیفیت برنج کرده است. علاوه بر میزان آمیلوز، دمای ژلاتینه شدن و قوام ژل نیز نقش مهمی در تعیین کیفیت پخت ارقام برنج دارند و عموماً ارقامی با میزان آمیلوز ۲۵-۲۰ درصد، نمرهٔ ژلاتینه شدن ۵-۳ و قوام ژل ۶۰-۴۰ درصد دارای کیفیت پخت مطلوبی هستند (Juliano & Villarreal, 1993; IRRI., 1979). با این همه، بسیاری از ارقام محلی و اصلاح شدهٔ برنج که از نظر سه ویژگی بالا مشابه هستند، کیفیت پخت یکسانی ندارند. از طرف دیگر، بسیاری از ارقام با میزان پروتئین مشابه نیز دارای کیفیت پخت متفاوتی هستند. بنابراین، به نظر می‌رسدکه عوامل دیگری در تعیین کیفیت پخت ارقام برنج موثرند (Ramezanpour *et al.*, 2015). آمیلوز با استفاده از روش کالرومتریک در طول موج ۶۲۰ نانومتر با تشکیل کمپلکس ید- نشاسته تعیین می‌شود (Juliano, 1971). اگر چه، همانسون و سوگمارک (Hemansson & Svegmark, 1996) گزارش داده اند که آمیلوز یکپارچگی گرانول‌های متورم نشاسته را با محدود کردن تورم گرانول حفظ می‌کند اما آمیلوپکتین است که با تورم نشاسته ارتباط دارد. در تحقیقات این محققان نشان داده شده است که هم اکسیژن خالص و هم تیمار ازن‌دهی موجب افزایش میزان آمیلوز در نشاستهٔ برنج سیگما با مدت ازن‌دهی ۳۰ دقیقه می‌شوند. این نتیجه در تضاد با نتایج بسیاری از تحقیقات دیگر است که کاهش در میزان آمیلوز را پس از اکسیداسیون نشان داده‌اند. هان و آن (Han & Ahn, 2002) گزارش داده‌اند که تیمار نشاسته با هیپوکلریت سدیم در مقایسه با نمونه‌های تیمار نشده، موجب افزایش میزان آمیلوز انحلال‌پذیر می‌شود. در ارتباط با ایزولهٔ نشاستهٔ سفید، تیمار اکسیژن خالص به مدت ۱۵ و ۳۰ دقیقه میزان آمیلوز را افزایش می‌دهد هر چند نمونه‌های تیمار شده با ازن، در مقایسه با نمونه‌های تیمار نشده دارای مقادیر کمتری آمیلوز بوده‌اند. این نتایج با یافته‌های بوروچ (Boruch, 1985) مطابقت دارد که می‌گوید اکسیداسیون موجب کاهش ظرفیت پیوند نشاسته با ید به‌واسطهٔ تجزیهٔ آمیلوز و ایجاد تغییر در ساختمان مولکول‌های آمیلوز می‌شود.

دمای چسبندگی نشان دهندهٔ دمای ژلاتینه شدن نیز هست و در حقیقت رابطل معکوس بین آنها بر قرار است، به طوری که هرچه دمای لازم برای پخت نمونه کمتر باشد، نمرهٔ ژلاتینه شدن به نمرهٔ بالاتر نزدیک‌تر می‌شود (Tester & Morrison, 1990). برای مثال دمای چسبندگی در ارقام سپیدرود و صالح به‌ترتیب RVU ۷۴/۵ و RVU ۷۹ و نمرهٔ ژلاتینه شدن این ارقام نیز حدود ۷ است، در حالی که در رقم

دمسیاه با دمای چسبندگی ۹۹ دارای نمره‌ی ژلاتینه شدن ۴/۱ است. به عبارت دیگر، دانه‌های ارقام سپیدرود و صالح با دمای چسبندگی پایین و یا نمرهٔ ژلاتینه شدن بالا، در هنگام پخت به سرعت از هم پاشیده می‌شوند و به این ترتیب مصرف کننده از آن استقبال نمی‌کند. در صورت کم بودن میزان آمیلوز، مقدار چسبندگی نهایی به حداقل خود می‌رسد و دانه‌ها پس از پخت نرم و چسبنده می‌شوند (Allahgholipour *et al.*, 2006). بنابراین، ارقامی که میزان آمیلوز متوسطی (حدود ۲۵-۲۰ درصد) دارند، معمولاً کیفیت پخت بهتری دارند. در برنج‌های گروه واکسی، به دلیل نداشتن آمیلوز یا دارا بودن مقادیر بسیار کم آمیلوز، میزان چسبندگی نهایی بسیار پایین است و دانه‌ها پس از پخت بسیار چسبنده و نرم هستند. با توجه به مقادیر چسبندگی نهایی ارقام کیفی محلی، می‌توان گفت محدودهٔ قابل قبول چسبندگی نهایی بین (۲۷۸/۱۵-۳۳۳/۵۷ RVU) است (Allahgholipour *et al.*, 2006). میزان آمیلوز نقش بسیار تعیین کننده‌ای در کیفیت پخت و خوراک برنج دارد، به شکلی که مقدار کم آن موجب کاهش انبساط حجمی می‌شود در حالی که مقدار زیاد آن سبب سفت و خشک شدن برنج پس از پخت می‌گردد. بنابراین مقدار متوسط آن، بهترین میزان می‌باشد که در این حالت برنج پس از پخت نرم و مرطوب است و پس از سرد شدن سخت نمی‌شود اما مقدار آن صرف‌نظر از ژنوتیپ کاملاً متأثر از میزان دور آبیاری محیط به‌خصوص خشکی در دورهٔ تکامل دانه و رسیدگی است. نتیجهٔ به‌دست آمده با نتایج دیگر گزارش‌ها، (Rabiei & Tayefeh, 2015; Gilani, 2010; Hiromoto *et al.*, 2007; Zakaria *et al.*, 2002) در خصوص افزایش تولید دانه‌های گچی با کاهش میزان آمیلوز همخوانی دارد.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه برخی ویژگی‌های دانهٔ برنج واریتهٔ فجر پس از قرار گرفتن در معرض گاز ازن به‌عنوان روشی نوین، جایگزین و کم خطر برای مبارزه با آفات انباری همراه با حفظ کیفیت دانهٔ غلاتی ارزیابی شد. نتایج این تحقیق نشان داد که غلظت گاز ازن تأثیر معنی‌داری ($P<0.01$) بر تمامی ویژگی‌های پخت دانهٔ برنج مورد آزمایش دارد به‌جز میزان انبساط حجمی، افزایش طول دانه، مدت زمان پخت، نمره و دمای ژلاتینه شدن و میزان آمیلوز. ویژگی‌های انبساط حجمی ($P<0.05$) ، میزان مواد جامد و میزان آمیلوز ($P<0.01$) تحت تأثیر معنی‌دار تیمار مدت زمان ازن‌دهی بودند. با توجه به اثر متقابل غلظت گاز ازن× مدت زمان ازن‌دهی توصیه می‌شود که برای انیار کردن دانهٔ برنج، ازن‌دهی با غلظت ۲۵ پی.پی.ام. به مدت ۵ روز استفاده شود زیرا با اختلاف معنی‌دار ($P<0.01$) دارای بیشینهٔ وزن برنج پخته (۱۱/۵۱ گرم) و میزان جذب آب (۱۰/۱۱ گرم) بدون تأثیر معنی‌دار ($P<0.01$) روی سایر ویژگی‌هاست.

تعارض منافع

نویسندگان در خصوص انتشار مقاله ارائه شده به‌طور کامل از سوء اخلاق نشر، از جمله سرقت ادبی، سوء رفتار، جعل داده‌ها و یا ارسال و انتشار دوگانه، پرهیز نموده‌اند و منافعی تجاری در این راستا وجود ندارد.

مراجع

Anon. 2020. Agricultural Statistics. Planning and Economic affairs Deputy, Information and Communication Technology Center, Ministry of Agricultural-Jahad, Vol.1: Agronomical Productd, pp 116.

Allahgholipour, M., Ali, A. J., Alinia, F., Nagamine, T., and Kojima, Y. 2006. Relationship between rice grain amylose and pasting properties for breeding better quality rice varieties. Plant Breed. 125(4): 357-362.

Aziz, M. A. and Shafi. M. 1966. Quality in rice. Department of Agriculture West Pakistan, Technical Bulletin, 13: 50.

Blakeney, A. B., Welsh, L. A. and Martin, M. 1994. Analytical methods for wheat starch amylase. In Proceedings of the 44th Australian Cereal Chemistry Conference, Australia, 275-278.

Bonjour, E. L., Opit, G. P., Hardin, J., Jones, C. L., Payton, M. E., and Beeby, R. L. 2011. Efficacy of ozone fumigation against the major grain pests in stored wheat. Journal of Economic Entomology. 104(1):308-316.

Boruch, M. L. 1985. Transformation of potato starch during oxidation with hypochlorite. Starch. 37 (3): 91-98.

Dela Cruz, N. and Khush, G. S. 2000. Rice grian quality evaluation procedures. 15- 29. In: Singh.R.K: U.S. Singh and G. G. Khush (Eds). Aromatic Rices. 15-29 pp. Science Publisher Inc., Enfield, NH, USA.

Fitzgerald, M. 2000. Production of Quality Rice in South Eastern Australia. Chapter 13. Grain Quality. Page 9.

Gilani, A. 2010. Determination of tolerance mechanisms and physiological effect of heat stress on rice cultivars in Khouzestan. Ph. D. Thesis. (pp. 112). Agriculture and Natural Resources University of Ramin, Ahwaz, Iran. (In Persian).

Habibi, F. 2006. Investigation of rice physical and chemical characteristics and factors affecting on cooking quality of rice varieties. Rasht. Rice Research Institute of Iran.

Han, J. S., and Ahn, S. Y. 2002. Physicochemical properties of corn starch oxidized with sodium hypochlorite. Journal of. Korean Society. Food Science and Nutrition. 31(2): 189-195.

Hardin, J. A., Jones, C. L., Bonjour, E. L., Noyes, R. T., Beeby, R. L., Eltiste, D. A., and Decker, S. 2010. Ozone fumigation of stored grain; closed-loop recirculation and the rate of ozone consumption. Journal of Stored Products Research. 46, 149–154.

Hemansson, A. M. and Svegmark, K. 1996. Developments in the understanding of starch functionality. Trends Food Science and, Technology. 7(11): 345-353.

Hiromoto, Y., Hisrose, T., Kuroda, M. and Yamaguchi, T. 2007. Comprehensive expression profiling of rice grain filling–related genes under high temperature using DNA microarray. Plant Physiology. 144(1): 258-277.

IRRI. Standard Operating Procedure 20, Gelatinisation Temperature by Differential Scanning Calorimetry. Approval By: Melissa Fitzgerald, Date Approved: 2005. International Rice Research Institute.

International Rice Research Institute. 1983. Annual Report for 1981. Los Banos, Laguna, Philippines, 265.

Juliano, B. O. 1971. A simplified assay for milled rice amylose. Cereal Science Today. 16: 334-338, 340, 360.

Juliano, B. O. 1982. International co-operative testing of the alkali digestibility values for milled rice. Starch. 34(1): 21-26.

Juliano, B. O. 1985. Rice: Chemistry and Technology. The American Association of Cereal Chemists, Inc (AACC).

Juliano, B. O., and Villareal, C. P. 1993. Grain Quality Evaluation of World Rices. International Rice Research Institute, Manila, Philippines.

Khadre, M. A., Yuosef, A. E., and Kim, J. 2001. Microbiological aspects of ozone applications in food: a review. Journal of Food Science. 6(9): 1242–1252.

Khush, C. S., Pauleand, C. M., and Dela Cruz, N. M. 1979. Rice grain quality evaluation and improvement at IRRI. In proc. Workshop on Chemical Aspects of Rice Grain quality, Los Banos, Philippines, International Rice Reseaarch Institute (IRRI): 21-31pp.

Kumar, I. and Khush, G. S. 1986. Gene dosage effect of amylose content in rice endosperm. Japanese Journal of Genetics. 61(6): 559-568.

Kush, G. S. 2002. The promise of biotechnology in addressing current nutritional problems in developing countries. Plant Nutrition. 52, 564-574.

Little, R. R., Hilder, G. B. and Dawson, E. H. 1958. Differential effect of dilute alkali on 25 varieties of milled white rice. Cereal Chemistry. 35, 111-126.

Li, M., Zhu, K.-X.,Wang, B.-W., Guo, X.-N., Peng,W., and Zhou, H. M. 2012. Evaluation the quality characteristics of wheat flour and shelf-life of fresh noodles as affected by ozone treatment. Food Chemistry. 135(4): 2163-2169.

Mendez, F., Maier, D. E., Mason, L. J., and Woloshuk, C. P. 2003. Penetration of ozone into columns of stored grains and effects on chemical composition and processing performance. Journal of Stored Products Research. 39 (1): 33–44.

Naito, S., and Takahara, H. 2006. Ozone contribution in food industry in Japan. Ozone- Science & Engineering. 28 (6): 425–429.

Nur, M., Kusdiyantini, E., Wuryanti, W., Winarni, T.A., Widyanto, S.A. and Muharam, H. 2015. Development of Ozone Technology Rice Storage Systems (OTRISS) for Quality Improvement of Rice Production. Journal of Physics: Conference Series 622 (2015) 012029.

Ong, M. H. and Blanshard, J.M.V. 1995. Texture determinants in cooked, parboiled rice. I: Rice starch amylose and the fine stucture of amylopectin. Journal of Cereal Science. 21(3): 251-260

Paterson, L., Mitchell, J. R., Hill, S. E., and Blanshard, J. M. V. 1996. Evidence for sulfite induced oxidative reductive depolymerization of starch polysaccharides. Carbohydrate Research. 292, 143-151.

Rabiei, B., and S. Ali-Hossein Tayefeh. 2015. Evaluating of gene actions controlling grain cooking quality related traits in rice varieties. Cereal Research. 5(1): 17-31.

Ramesh, M., Ali, Z. S. and Bhattacharya, K. R. 1999. Structure of rice and its relation to cooked rice texture. Carbohydrate Polymers. 38(4): 337-347.

Ramezanpour, A., Pirdashti, H., Abdollahi Mobarhan, S. H., and Bahari Saravi, S. H. 2015. Investigation of the quality traits and their relationship with grain yield in promising lines of rice (*Oryza sativa* L.). Journal of Applied Crop Research. 28(107):8-16. (In Persian).

Rosniyana, A., Rukunudin, I. H., and ShariffahNorin, S. A. 2006. Effects of milling degree on the chemical composition, physicochemical properties and cooking characteristics of brown rice. Journal of Tropical Agriculture and Food Science. 34(1): 37- 44.

Rutenberg, M. W., and Solarek, D. 1984. Starch derivates: Production and uses, In Starch Chemistry and Technology, (Whistler, R. L., BeMiller, J. N., and Paschall, E. F., Eds.), Academic Press, Inc., Orlando, USA. pp. 311-388.

Sabularse, V. C., Liuzzo, J. A., Rao, R. M., and Grodner, R. M. 1991. Cooking quality of brown rice as influenced by gammairradiation, variety and storage. Journal of Food Science, 56(1): 96 -8.

Shahsavari Ahangar, A., Pirdashti, H., Esmaeili, M. A., Kazemitabar, S. K., and Zeinli, E. 2013. Cluster Analysis and Study of Quality Characteristics of 30 Rice (*Oryza sativa* L.) Genotypes. Journal of Crop Breeding. 5(12): 99-111.

Tester, R. F. and Morrison, W. R. 1990. Swelling and gelatinization of cereal starches II. Waxy rice starches.Cereal Chemistry. 67(6): 558-563.

Tiwari, B. K., Brennan, C. S., Curran, T., Gallagher, E., Cullen, P. J., and O'Donnell, C. P. 2010. Application of ozone in grain processing. Journal Cereal Science. 51(3): 248-255.

USDA. 2019. United States of Department Agriculture. Foreign Agricultural Service. Office of Global Analysis. International Production Assessment Division. Washington, DC, USA.

Wang, Y., Zhang, W., Shi, Y., and Wang,D. 2014. Effect of ozone treatment on physicichemical properties of waxy rice floor and waxy rice starch. International Journal of Food Science and Technology. 50(3): 744-749.

Wu, J., Doan, H., and Cuenca, M. A. 2006. Investigation of gaseous ozone as an antifungal fumigant for stored wheat. Journal of Chemical Technology & Biotechnology, 81(7):1288-1293.

Wurzburg, O. B. 1986. Converted starches, in Modified Starches: Properties and Uses (Ed. O. B. Wurzburg) CRC Press, Boca Raton, FL pp.18-38.

Young, J. C., Zhu, H., and Zhou, T. 2006. Degradation of trichothecene mycotoxins by aqueous ozone. Food and Chemical Toxicology. 44(3): 417-424.

Zakaria, S., T. Matsuda, S. Tajima and Y. Nitta. 2002. Effect of high temperature at ripening stage reserve accumulation in seed in some rice cultivars. Plant Production Science. 5(2): 160-168.

Food Engineering Research/Vol.21/No.72/Spring& Summer 2021/P:119-138

Journal Home page: https://fooder.areeo.ac.ir/

Original Research

Evaluation of the Effect lf Ozone Gas on Quality Characteristics of Rice Grain (Var. Fajr)

A. Ghodsvali* and J. Mohamadzadeh

* Corresponding Author: Associate Professor, Agricultural Engineering Research Department, Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Gorgan, Iran. Email: ghodsvali@gmail.com

Received: 31 May 2021, Accepted: 5 January 2022

http://doi: 10.22092/fooder.2022.354542.1307

Abstract

Rice (*Oryza sativa* L.) is the second most important cereal after the wheat crop in the world. Rice grains and their products make up about 40% of the food needed by half of the world population. To replace new and low-risk methods in grain storage while maintaining its quality, in this study, the effects of ozone gas concentration and exposure time after a four-months storage period on some characteristics of *Fajr Var.* rice including cooking time, loss of solids, Water absorption, amylose content, the weight of cooked rice, cooked grain elongation ratio, gelatinization score and volumetric expansion) using a completely randomized design in (4×4) factorial experiments with four levels of ozone concentration (*i.e.* 0, 25, 50 and 75 ppm) and four levels of exposure time (*i.e.* 1, 3, 5 and 7 days) with three replications were examined. The results showed that the ozone gas concentration had a significant effect at the ($P<0.01$) on all cooking characteristics of rice grain except volumetric expansion, cooked grain elongation, cooking time, gelatinization score and amylose content. The maximum weight of rice cooked (13.12 g), water absorption (8.12 g), loss of solids (0.59 g), cooked grain elongation (1.428) with a significant difference ($P <0.05$) occurred at concentrations of 0, 25, 50 and 75 ppm, respectively. In addition, there was no significant difference ($P <0.05$) for the cooking time (11.71 min), gelatinization score (2.63) and amylose content (23.24%) with the ozone concentrations (50, 75 and 25 ppm), respectively. The volumetric expansion characteristics ($P<0.05$), the content of solids and the amount of amylose ($P <0.01$) were significantly affected by the duration of treatment, so that the maximum volumetric expansion (4.16), weight loss of solids (0.613 g), and the rate of amylose (24.80%) were observed at 1, 3 and 1 day, respectively. Therefore, regarding the interaction between ozone gas concentration and exposure time, it was recommended to the storage of rice grain ozonation with 25 ppm for five days must be used because of having a maximum weight of boiled rice (11.51 gr) and water absorption (10.11 gr) with significant differences ($p< 0.01$), and no significant effects ($p< 0.01$) on the other characteristics.

Key Words: Amylose content, Cooking charasteristics, Gelation score, Ozonation, Rice.