تحقیقات غلات
سال دوم/ شماره دوم/۱۳۹۱ (۱۰۵-۹۵)

بررسی خواص ژلاتینی شدن ارقام برنج ایرانی با روش گرماسنجی افتراقی

فاطمه حبیبی[1*]، آسیه یحیی زاده[2]، مریم حسینی چالشتری[1] و کبری تجددی طلب[1]

۱- استادیار پژوهش موسسه تحقیقات برنج کشور (رشت)، ۲- دانشیار گروه شیمی دانشکده علوم پایه دانشگاه گیلان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۴/۱۰- تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۸/۲۹)

چکیده

مهم‌ترین عامل پذیرش ارقام برنج توسط مصرف کننده ایرانی کیفیت پخت و خوراک آن است. این تحقیق به منظور تعیین دقیق درجه حرارت ژلاتینی شدن نشاسته برنج به دو روش لیتل و گرماسنجی افتراقی، روی ۱۰ نمونه از ارقام برنج محلی ایرانی انجام شد. ارقام انتخاب شده از نظر میزان آمیلوز و نمره دهی خواص ژلاتینی بر اساس روش لیتل در یک گروه بودند. با استفاده از منحنی حاصل از دستگاه گرماسنج افتراقی، معیارهایی نظیر انرژی لازم برای ژله‌ای شدن و درجه حرارت لازم برای شروع و تکمیل ژلاتینی شدن در ارقام مختلف به دست آمد. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که بین ارقام مختلف برنج از نظر کلیه خصوصیات حاصل از روش گرماسنجی افتراقی تفاوت‌های معنی‌دار وجود دارد، در حالی که در داده‌های حاصل از روش لیتل تفاوت معنی‌داری بین ارقام مشاهده نشد. بیشترین انرژی مورد نیاز برای غلبه بر ساختار کریستالی و ایجاد یک حالت ژلاتینی در رقم دم سرخ (۱۱/۴۸ ژول بر گرم) و کمترین مقدار در رقم حسن سرایی (۶/۴۴ ژول بر گرم) بود، در حالی که ارقام دم سرخ و حسن سرایی در روش لیتل نمره نزدیکی را از نظر میزان تغییرات در محیط قلیا نشان دادند. در ارقامی با آمیلوز مشابه، ایجاد کمپلکس بین آمیلوز- لیپید، باعث استحکام بیشتر ساختار کریستالی نشاسته شده و انرژی بیشتری برای غلبه بر آن در حین پخت نیاز است. نتایج نشان داد که همبستگی معنی‌داری بین درصد چربی و انرژی مورد نیاز برای ژلاتینی شدن در سطح احتمال ۵ درصد وجود دارد. در مقایسه میانگین داده‌ها، کمترین درجه حرارت مورد نیاز برای شروع ژلاتینی شدن در رقم دم‌سفید (۶۴/۸۲ درجه سانتی‌گراد) و بیشترین آن در رقم دم‌سیاه (۶۷/۷۰ درجه سانتی‌گراد) بود. همچنین، همبستگی معنی‌داری بین درجه حرارت مورد نیاز برای شروع ژلاتینی‌شدن و درصد چربی در سطح احتمال یک درصد وجود داشت. نتایج این پژوهش نشان داد که روش لیتل یک روش سریع و مقرون به صرفه برای انتخاب ارقام و لاین‌هایی که نمره ژلاتینی شدن مناسبی (۵-۳) دارند، می‌باشد، اما در مواردی که روش لیتل قادر به توضیح تفاوت‌های بین ارقام نیست، روش گرماسنجی افتراقی می‌تواند جزئیات بیشتری از تفاوت‌های پخت بین ارقام برنج را توضیح دهد.

واژه های کلیدی: برنج، درجه حرارت ژلاتینی شدن، کیفیت، گرماسنجی افتراقی، نشاسته

* نویسنده مسئول: fhabibikia@yahoo.com

مقدمه

مهم‌ترین عامل تأثیرگذار بر کیفیت پخت برنج مربوط به خواص نشاسته است که ۹۰ درصد وزن خشک برنج سفید را تشکیل می‌دهد. به این دلیل، ارزیابی خصوصیات نشاسته در پیش‌بینی کیفیت پخت برنج اهمیت زیادی دارد (Sasaki *et al*., 2000). نشاسته از دو هموپلیمر به نام‌های آمیلوز و آمیلوپکتین تشکیل شده است. مولکول‌های گلوکز در پلیمر آمیلوز به صورت خطی و با پیوندهای گلیکوزیدی α→۱-۴ به یکدیگر مرتبط می‌باشند، در حالی که در پلیمر آمیلوپکتین ساختار مولکول به صورت منشعب بوده و علاوه بر پیوندهای گلیکوزیدی α→۱-۴، دارای پیوندهای گلیکوزیدی α→۱-۶ نیز می‌باشند (Han *et al*., 2001) (شکل ۱).

تغییر شکل نشاسته مربوط به جذب آب و پخت می‌باشد (Baldwin, 2002). در واقع ژلاتینی‌شدن بسیاری از تغییرات ایجاد شده در گرانول‌های نشاسته را توجیه می‌نماید. گرانول‌های نشاسته در زمان پخت برنج، خواص کریستالی خود را از دست می‌دهند، آب جذب می‌کنند و هیدراته و متورم می‌شوند که نتیجه‌ی آن ایجاد یک حالت خمیری است.

در محلول آبی بین مولکول‌های آمیلوز و آمیلوپکتین با ایجاد پیوندهای هیدروژنی ساختار کلی نشاسته تغییر می‌کند (Leelayuthsoontorn *et al*., 2006). بین درجه حرارت ژلاتینی‌شدن و مدت زمان پخت همبستگی مثبت وجود دارد (Lisle *et al*., 2000). بنابراین از فاکتور درجه حرارت ژلاتینی‌شدن می‌توان برای تعیین مدت زمان پخت استفاده نمود. هنگامی که مخلوط آب و آرد برنج به تدریج گرم می‌شوند، تا قبل از رسیدن به درجه حرارت ژلاتینی شدن تغییر زیادی صورت نمی‌گیرد، ولی پس از درجه حرارت ژلاتینی شدن دانه‌های نشاسته آب جذب کرده و متورم می‌شوند (Loisel *et al*., 2006).

تغییرات دمایی محیط در هنگام رسیدن دانه، می‌تواند بر درجه حرارت ژلاتینی موثر باشد و علت آن این است که به دلیل تغییرات حرارتی در هنگام ساخته شدن پلیمرهای آمیلوز و آمیلوپکتین، تغییراتی در ساختار مولکولی و تعداد شاخه‌های تشکیل شده و همچنین تعداد پیوندهای گلیکوزیدی ایجاد می‌شود (Mattveev *et al*., 2001).

عوامل موثر بر ژلاتینی شدن و خصوصیات خمیری حاصل از آن عبارتند از (Tester and Morrison, 1990):

۱- موجودیت آب و دسترسی مولکول‌های نشاسته به آن (نوع روش پخت به صورت کته یا آبکش می‌تواند بر نحوه ژلاتینی شدن برنج در حین پخت تأثیرگذار باشد).

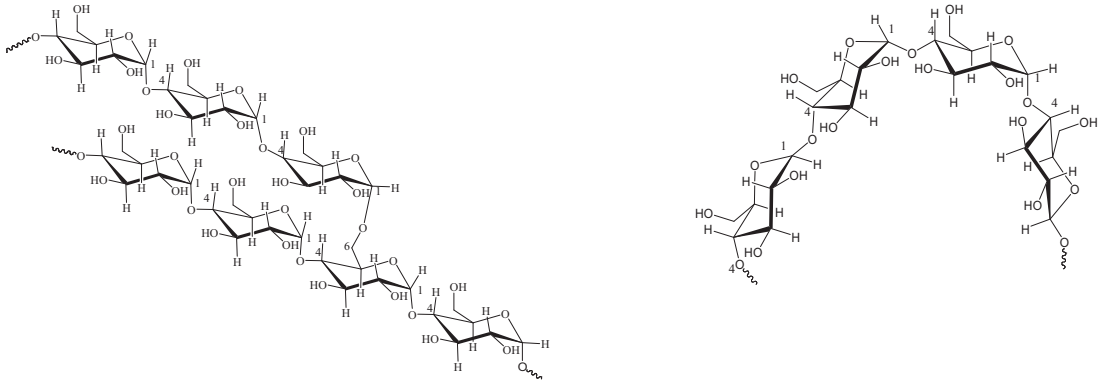
۲- حضور مولکول‌های آمیلوپکتین با زنجیرهای جانبی بلند، باعث بالا رفتن درجه حرارت ژلاتینی شدن، حداکثر چسبندگی و استحکام ژل تشکیل شده می‌شود (Perry and Donald, 2002).

۳- چربی‌ها: به شکل تری گلیسرید یا منو و دی گلیسرید می‌توانند با آمیلوز تشکیل کمپلکس بدهند که بر تورم گرانول‌ها اثر منفی دارند. اسیدهای چرب یا بخش اسید چرب منوگلیسریدها در داخل فضای مارپیچی آمیلوز و احتمالاً در شاخه‌های طویل‌تر آمیلوپکتین قرار می‌گیرند و سیستم کمپلکس یا درهم پیچیده‌ای را به وجود می‌آورند. چنین سیستمی سخت‌تر به خارج از گرانول‌ها نشت می‌نماید و در مقابل نفوذ آب به داخل گرانول‌ها نیز مقاومت می‌کند (Karkalas *et al*., 1995).

هدف از این تحقیق بررسی خواص ژلاتینی‌شدن به روش گرماسنجی افتراقی و مقایسه آن با روش معمول لیتل (Little *et al*., 1958) یا انتشار در محیط قلیا (Alkali Spreading Value) در ارقام مختلف ایرانی و ارتباط آن با کیفیت پخت بود.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق خصوصیات مربوط به ژلاتینی شدن ۱۰ رقم محلی برنج (دم‌سیاه، دم‌سرخ، دم‌سفید، سالاری، حسن سرایی، طارم محلی، عنبربو، غریب، موسی طارم و طارم امیری) که در شرایط یکسان در موسسه تحقیقات برنج کشور کشت و برداشت شده بودند، در قالب طرح کاملاً تصادفی مورد بررسی قرار گرفتند. ارقام مورد مطالعه پس از برداشت، خشک و سفید شدند و پس از تنظیم رطوبت، آرد حاصل از این ارقام (۱۰۰ مش) مورد مطالعه قرار گرفت. ابتدا خصوصیات شیمیایی مربوط به نشاسته شامل میزان آمیلوز و درصد چربی که می‌توانند بر



ساختار مولکولی آمیلوز Molecular structure of amylose ساختار مولکولی آمیلو پکتین Molecular structure of amylopectine

شکل ۱- ساختار مولکولی آمیلوز و آمیلوپکتین.

Figure 1. Molecular structure of amylose and amylopectin.

خصوصیات مربوط به ژلاتینی‌شدن تأثیرگذار باشند، اندازه‌گیری شد. میزان آمیلوز به روش جولیانو (Juliano, 1971)، و درصد چربی به روش سوکسله (Lam *et al*., 2001) اندازه‌گیری شد. جهت حصول به اهداف تحقیق و مقایسه نحوه ژلاتینی شدن ارقام مختلف برنج ایرانی، پارامترهای مربوط به ژلاتینی‌شدن به دو روش لیتل و گرماسنجی افتراقی با ۳ تکرار اندازه‌گیری و مورد ارزیابی قرار گرفت. پس از ثبت داده‌های حاصل از درجه حرارت ژلاتینی‌شدن، تجزیه واریانس داده‌ها در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد.

تعیین نمره ژلاتینی شدن به روش لیتل

درجه حرارت ژلاتینی شدن ارقام مورد مطالعه به روش لیتل (Little *et al*., 1958)، برای بررسی میزان تغییرات دانه برنج در محیط قلیایی رقیق (پتاس ۱/۷٪) تحت دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۳ ساعت تعیین و نمره‌دهی بر اساس تغییرات ایجاد شده در دانه برنج به شرح ذیل انجام شد:

۱: دانه‌ها تحت تأثیر محلول قرار نمی‌گیرند، ۲: دانه‌های سالم فقط متورم می‌شوند، ۳: دانه‌ها متورم شده و هاله تشکیل می‌شود، ۴: دانه‌ها کاملاً متورم شده و هسته دانه تمایل به پخش دارد، ۵: دانه‌ها شکاف برداشته و لایه خارجی به طور کامل عریض و داخل محلول شده است، ۶: دانه‌ها پراکنده شده و با لایه خارجی درهم آمیخته است، ۷: دانه‌ها کاملاً حل شده‌اند.

در ارزیابی‌های کیفی برنج، نمره‌های ۳ تا ۵ محدوده مطلوب برای درجه حرارت ژلاتینی‌شدن می‌باشد و بسیاری از ارقام بومی و خوش کیفیت ایرانی در این محدوده قرار می‌گیرند.

اندازه‌گیری تغییرات حرارتی و تعیین خواص ژلاتینی شدن نشاسته توسط روش گرماسنجی افتراقی

دستگاه گرماسنج افتراقی (Differential Scanning Calorimeter) در طی یک برنامه مشخص برای برنج، تغییرات گرمایی محلول آبی نمونه را به صورت تابعی از دما رسم می‌کند. درجه حرارت ژلاتینی و میزان انرژی لازم جهت ژله‌ای شدن را می‌توان به صورت کمی از داده‌های منحنی به دست آورد. دستگاه گرماسنج افتراقی می‌تواند تغییرات دمایی در طی انتقال انرژی به نمونه آرد برنج را اندازه‌گیری کند (Liu, 1991; Cuevas, 2010). درجه حرارت ژلاتینی به دست آمده از این آزمون بازتابی از چگونگی ذوب نشاسته برنج و جذب آب می‌باشد. در این پژوهش از دستگاه DSC (Q100, V9.0, Build 275) و روش مورد استفاده در موسسه بین‌المللی تحقیقات برنج (IRRI) (Fitzgerald, 2005) استفاده شد. جهت انجام آزمون، مقدار ۴ میلی‌گرم از نمونه‌های آرد برنج در ظرف‌های آلومینیومی کوچک وزن و به آن ۸ میکرولیتر آب مقطر اضافه شد و درب ظرف مربوطه کاملاً بسته شد. به منظور ایجاد تعادل بین نمونه و محیط، حدود نیم ساعت نمونه‌ها در دمای اتاق نگهداری شدند. از یک ظرف آلومینیومی حاوی ۸ میکرولیتر آب مقطر بدون اضافه کردن نمونه آرد برنج نیز به عنوان تیمار شاهد استفاده شد. به نمونه‌ها طی یک برنامه دمایی تنظیم شده از ۲۵ تا ۱۳۵

درجه سانتی‌گراد حرارت داده شد و افزایش درجه حرارت به صورت ۱۰ درجه سانتی‌گراد در دقیقه بود. انرژی و درجه حرارت ژلاتینی شدن هر نمونه به طور جداگانه از منحنی‌های مربوطه استخراج شد.

تجزیه داده‌های حاصل از دو روش (نمره‌دهی به روش لیتل و تعیین درجه حرارت و انرژی لازم برای ژلاتینی‌شدن به روش گرماسنجی افتراقی) بر اساس طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار و با استفاده از نرم افزار SAS انجام شد.

نتایج و بحث

خصوصیات شیمیایی مربوط به نشاسته

آگاهی از خصوصیات فیزیکوشیمیایی، در درک بهتر کیفیت پخت ارقام مختلف برنج بسیار موثر است. دو معیار مهم که در ارزیابی‌های کیفی برای تعیین کیفیت پخت ارقام برنج استفاده می‌شوند، درصد آمیلوز و درجه حرارت ژلاتینی‌شدن می‌باشند. خصوصیات شیمیایی مربوط به نشاسته و همچنین میزان چربی جهت بررسی تأثیر این عوامل بر خواص ژلاتینی‌شدن در ارقام مورد بررسی در جدول ۱ ارایه شده است. مهم‌ترین خصوصیت شیمیایی که در پیش‌بینی خواص پخت به کار می‌رود، میزان آمیلوز است که با خواص ژلاتینی شدن و چسبندگی دانه پس از پخت ارتباط دارد. برنج‌های پخته‌شده با آمیلوز بالا (٪۳۳-۲۵) نسبتاً خشک و جدا از هم هستند. برنج‌های با آمیلوز پایین (٪۲۰-۱۰) در هنگام پخت چسبنده می‌شوند. برنج‌های با آمیلوز متوسط (٪۲۵-۲۰) تا مدت‌ها پس از پخت نرم باقی می‌مانند و مصرف‌کنندگان ایرانی، بیشتر برنج‌هایی با آمیلوز متوسط را ترجیح می‌دهند. در این تحقیق ارقامی انتخاب شدند که از نظر میزان آمیلوز و نمره‌دهی خواص ژلاتینی بر اساس روش لیتل در یک گروه قرار می‌گرفتند. با توجه به تفاوت‌های مشاهده شده در نحوه پخت این ارقام، به نظر می‌رسد با بررسی خصوصیات اندازه‌گیری شده توسط دستگاه DSC (شکل ۲) بتوان به جزئیات بیشتری از نحوه پخت و ژلاتینی شدن این ارقام دست یافت.

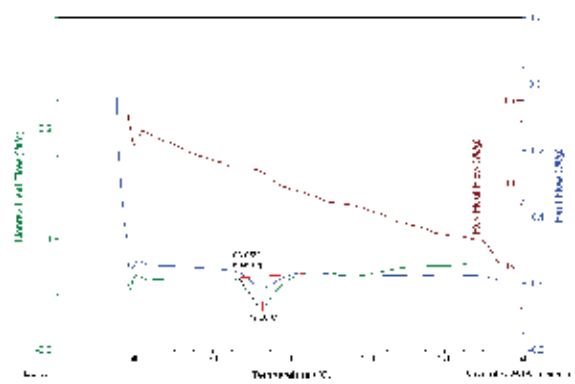
خصوصیات ژلاتینی شدن ارقام مختلف برنج

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که بین ارقام مختلف برنج از نظر کلیه صفات مورد بررسی توسط روش گرماسنجی افتراقی تفاوت‌های معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد وجود داشت (جدول ۲). مقایسه میانگین داده‌های حاصل از دو روش گرماسنجی افتراقی و لیتل نیز این موضوع را تأیید کرد (جدول ۳). همان‌گونه که در جدول‌های ۲ و ۳ مشخص شده است، نمره ژلاتینی داده شده بر اساس روش لیتل در ارقام مورد بررسی تقریباً مشابه بود و تفاوت معنی‌داری در ارقام مشاهده نشد. این نتایج نشان داد که اگرچه روش لیتل به عنوان یک روش سریع و مقرون به صرفه برای بررسی خواص ژلاتینی شدن در محیط قلیایی و تبت نمره می‌باشد و معیاری سریع برای تفکیک و دسته‌بندی ارقام به سه گروه با درجه حرارت ژلاتینی پایین، متوسط و بالا است، اما با مشاهده تفاوت از نظر خواص ژلاتینی در حین پخت ارقام مختلف (خصوصاً ارقام محلی ایرانی که بر اساس روش لیتل در گروه متوسط قرار می‌گیرند، در حالی که در آزمایشات پخت نتایج

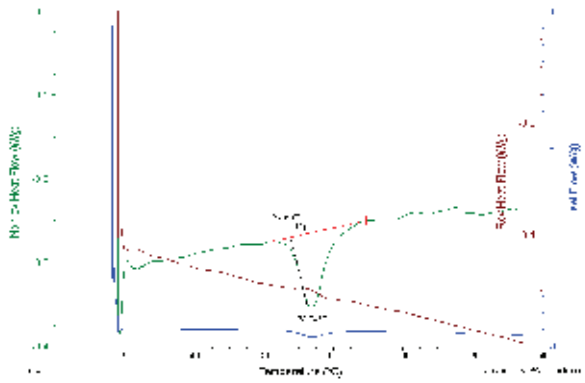
جدول ۱- خصوصیات شیمیایی موثر بر کیفیت پخت در ارقام مختلف برنج‌های ایرانی

Table 1. Effective chemical properties on cooking quality in different Iranian rice varieties

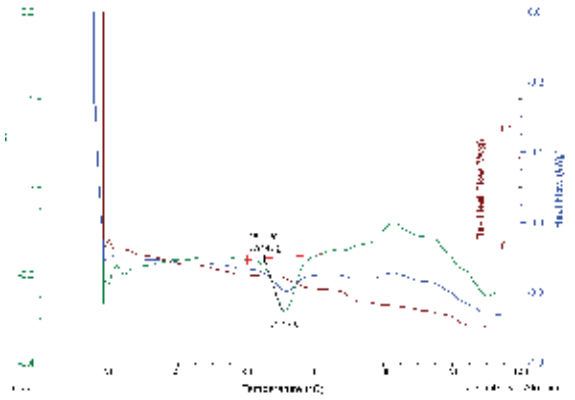
ارقام Varieties	موسی طارم Moosa Tarom	غریب Gharib	عنبربو Anbar boo	طارم محلی Tarom mahali	حسن سرایی Hasssan saraee	سالاری Salari	دم‌سفید Domsefid	دم‌سرخ Domsorkh	دم‌سیاه Domsiah	طارم امیری Tarom amiri
نمره ژلاتینی شدن Gelatinization score	4.53	4.80	4.20	4.46	4.40	4.36	4.33	4.66	4.76	4.46
درصد آمیلوز Amylose content (%)	21	20.2	20.5	21.9	21.6	21.5	21.4	20.8	22.7	22.2
درصد چربی Lipid content (%)	1.01	1.15	1.36	0.69	1.03	1.04	0.52	1.20	1.30	0.58



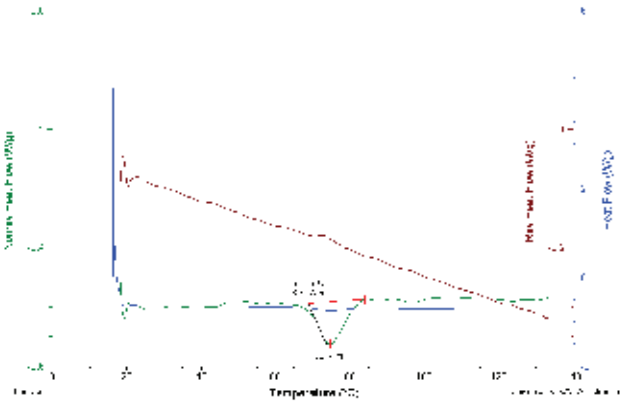
حسن سرایی
Hasssansaraee



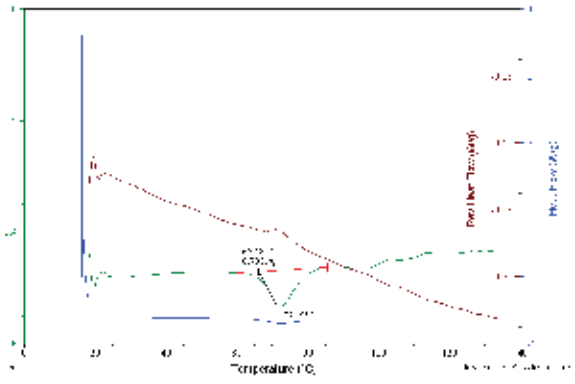
دم سرخ
Domsorkh



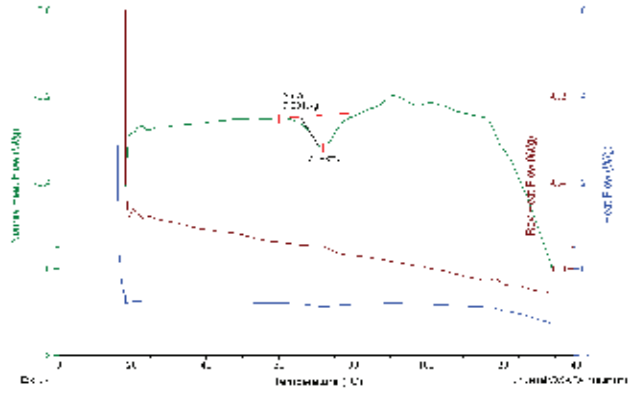
دم سفید
Domsefid



دم سیاه
Domsiah

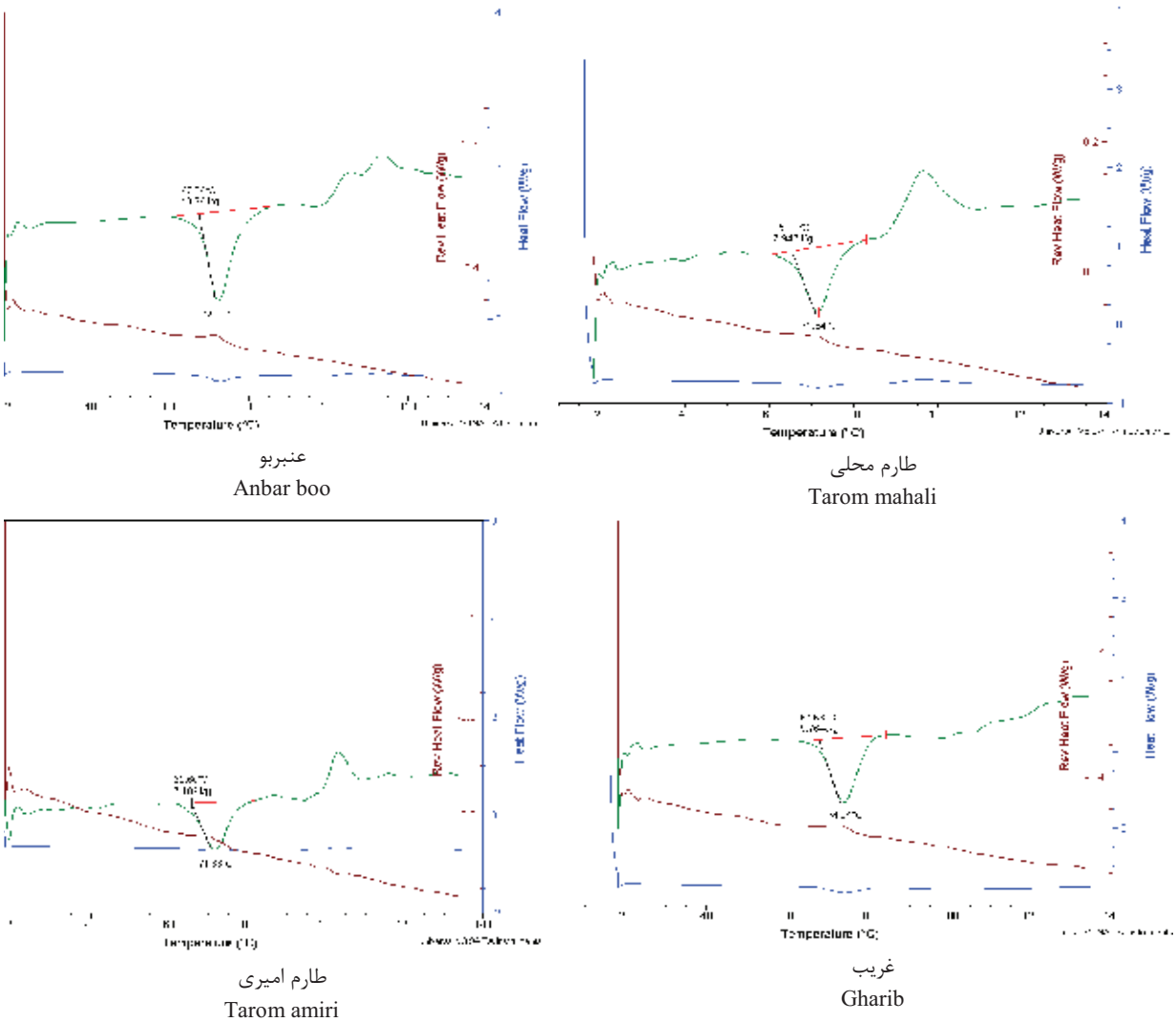


سالاری
Salari



موسی طارم
Moosa tarom

شکل ۲- نمودار تغییرات ژلاتینی شدن ارقام مختلف برنج در طی حرارت دادن نمونه با استفاده از روش گرماسنجی افتراقی.
Figure 2. Gelatinization changes in different rice varieties during heating by Differential Scanning Calorimetry method.



عنبربو
Anbar boo

طارم محلی
Tarom mahali

طارم امیری
Tarom amiri

غریب
Gharib

ادامه شکل ۲- نمودار تغییرات ژلاتینی شدن ارقام مختلف برنج در طی حرارت دادن نمونه با استفاده از روش گرماسنجی افتراقی.

Figure 2. Gelatinization changes in different rice varieties during heating by Differential Scanning Calorimetry method.

متفاوتی نشان می‌دهند)، ضرورت دارد تکنیک دقیق‌تری برای بررسی نحوه ژلاتینی‌شدن و متعاقب آن پیش بینی نحوه پخت مورد استفاده قرار گیرد. گرماسنجی افتراقی مبتنی بر تجزیه حرارتی است که برای اندازه‌گیری درجه حرارت و انرژی مورد نیاز برای انتقال از یک فاز به فاز دیگر به کار می‌رود و تابعی از دما و زمان می‌باشد. چنین ارزیابی‌هایی می‌تواند اطلاعات کمی و کیفی در رابطه با تغییرات فیزیکی و شیمیایی و گرمازا یا گرماگیر بودن فرایند در اختیار ما قرار دهد (Kaletunc, 2009). عدم معنی‌دار شدن GT در روش لیتل و برعکس وجود اختلاف معنی‌دار برای خصوصیات ΔH، T_0، T_p و T_c در روش گرماسنج افتراقی موید این قضیه و احتمالاً برتری این روش برای ارزیابی ارقام می‌باشد. بر این اساس با توجه به اهمیت این روش، تأثیر معیارهای اندازه‌گیری شده و ارتباط آن با خواص پخت با جزئیات بیشتری مورد بررسی قرار گرفت.

انرژی (ΔH) لازم برای ژلاتینی شدن

تحقیقات نشان داده است که با افزایش میزان آمیلوز آنتالپی یا انرژی مورد نیاز برای ژلاتینی‌شدن کاهش پیدا می‌کند (Biliaderis, 1986). در نشاسته دانه برنج، ارقامی که میزان آمیلوز بالایی دارند، جزء آمیلوپکتین دارای زنجیره‌های کوتاه‌تری بوده و بنابراین پیوند هیدروژنی بین آمیلوز و آمیلوپکتین کمتر می‌باشد و در نتیجه انرژی مورد نیاز برای غلبه بر ساختار کریستالی نشاسته کمتر خواهد

جدول ۲- تجزیه واریانس پارامترهای مرتبط با درجه حرارت ژلاتینی شدن

Table 2. Analysis of variance for gelatinization temperature parameters

S.O.V	منبع تغییرات	درجه آزادی df	Tc(°C)	Tp(°C)	To(°C)	ΔH[a](j/g)	GT (روش لیتل) Little method
Treat	تیمار	9	10.72 **	3.04 **	3.49 **	8.51 **	0.11 ns
Error	خطا	20	0.26	0.019	0.051	0.022	0.032
CV (%)	ضریب تغییرات		0.64	0.19	0.34	1.73	3.99

ns Non-significant and ** Significant at 1% probability level. ns غیر معنی‌دار و ** معنی‌دار در سطح احتمال ۱ ٪

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات ژلاتینی در ارقام مختلف برنج با استفاده از روش گرماسنجی افتراقی و روش لیتل

Table 3. Mean comparison of gelatinization properties in different rice varieties by Differential Scanning Calorimetry and Little method

Variety	رقم	GT Score	T_c (°C)	T_p (°C)	T_0 (°C)	ΔH^a (j/g)
Domsiah	دم سیاه	4.76[a]	82.33[a]	73.70[ab]	67.70[a]	8.25[d]
Domsorkh	دم سرخ	4.66[ab]	82.30[a]	73.50[b]	67.35[a]	11.48[a]
Domsefid	دم سفید	4.33[ab]	76.66[e]	71.29[f]	64.82[e]	6.56[g]
Salari	سالاری	4.36[ab]	81[ab]	72.47[cd]	66.04[bc]	8.61[d]
Hasssansaraee	حسن سرایی	4.40[ab]	80.33[bc]	72.79[c]	66.65[b]	6.44[g]
Tarom mahali	طارم محلی	4.46[ab]	79.66[bcd]	71.61[f]	65.30[de]	7.79[e]
Anbarboo	عنبر بو	4.20[b]	80.66[b]	72.19[d]	67.39[a]	10.66[b]
Gharib	غریب	4.80[a]	82.33[a]	74.09[a]	67.61[a]	9.58[c]
Moosa tarom	موسی طارم	4.53[ab]	79[cd]	71.83[e]	65.75[cd]	9.29[c]
Tarom amiri	طارم امیری	4.46[ab]	78.33[d]	71.48[f]	65.65[b]	7.20[f]

ΔH: آنتالپی لازم برای ژله‌ای شدن، T_0: درجه حرارتی که نشاسته شروع به ژلاتینی شدن می‌کند، T_p: درجه حرارتی که به عنوان درجه ژلاتینی شدن اعلام می‌شود، T_c: درجه حرارت مورد نیاز برای ژلاتینی شدن کامل،GT : نمره ژلاتینی‌شدن به روش لیتل

ΔH: Gelatinization enthalpy, T_0: Onest temperature, Tp: Peak temperature, Tc: Conclusion temperature, GT: Gelatinization score with Little method

بود (Klucinec, 2002). در این تحقیق ارقام انتخاب‌شده از نظر میزان آمیلوز در یک گروه یا طبقه قرار داشتند و در روش لیتل نمره ژلاتینی این ارقام نیز یکسان بود. در جدول ۲ نیز مشخص شد که ارقام مورد بررسی از نظر نمره ژلاتینی (GT) تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند، اما از نظر میزان انرژی لازم برای ژلاتینی‌شدن تفاوت معنی‌داری در بین ارقام در سطح احتمال یک درصد مشاهده شد. در واقع، انرژی مورد نیاز برای ایجاد حالت خمیری یا ژلاتینی‌شدن برنج در ارقام مختلف با وجود یکسان بودن میزان آمیلوز متفاوت بود. بیشترین انرژی مورد نیاز برای غلبه بر ساختار کریستالی و ایجاد یک حالت خمیری یا ژلاتینی در رقم دم‌سرخ (۱۱/۴۸ ژول بر گرم) مشاهده شد. در مطالعات مربوط به زمان پخت نیز بیشترین مدت زمان لازم برای پخت، مربوط به رقم دم‌سرخ بود. کمترین مقدار انرژی برای ایجاد حالت ژلاتینی در رقم حسن‌سرایی (۶/۴۴ ژول بر گرم) مشاهده شد. ارقام دم‌سرخ و حسن‌سرایی در روش لیتل نمره نزدیکی را از نظر میزان تغییرات در محیط قلیا نشان دادند، در حالی که به کمک روش گرماسنجی افتراقی، آنتالپی یا انرژی مورد نیاز برای غلبه بر ساختار کریستالی در رقم دم‌سرخ بیشتر از رقم دم‌سفید بود. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت هرچه انرژی لازم برای غلبه بر ساختار کریستالی بیشتر باشد، مدت زمان لازم برای پخت آن رقم نیز بیشتر خواهد بود. واندپیوتی (Vandeputtea, 2003) نشان داد که در ارقامی با آمیلوز مشابه، ایجاد کمپلکس بین آمیلوز و لیپید می‌تواند بر خواص ژلاتینی‌شدن تأثیرگذار باشد. این عامل باعث استحکام بیشتر ساختار کریستالی نشاسته می‌شود و انرژی بیشتری برای غلبه بر آن در حین پخت نیاز است. با توجه

به نتایج حاصل از همبستگی بین درصد چربی یا لیپید با انرژی مورد نیاز برای ژلاتینی‌شدن (جدول ۴) مشخص شد که این ارتباط در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود (r=۰/۶۸). با وجود اینکه میزان آمیلوز می‌تواند ژلاتینی‌شدن را تسهیل بخشد، تشکیل کمپلکس آن با چربی می‌تواند از ژلاتینی‌شدن آن بکاهد (Morrison *et al.*, 1993). بنابراین هرچه درصد چربی رقمی بیشتر باشد، به علت اینکه ژلاتینی‌شدن را به تعویق انداخته و مدت زمان پخت را بالا می‌برد، در بهبود کیفیت پخت مناسب‌تر خواهد بود.

جدول ۴- همبستگی بین صفات ژلاتینی حاصل از روش گرماسنجی افتراقی و درصد چربی در ارقام برنج

Table 3. Correlation between gelatinization properties obtained with Differential Scanning Calorimetry and lipid content in rice varieties

صفات Trait	T_0	T_p	T_c	ΔH
درصد چربی Lipid content (%)	0.88**	0.74*	0.90**	0.68*

* و **: معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪.

* and **: Significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

درجه حرارت لازم جهت شروع ژلاتینی شدن نشاسته (T_0)

در هنگام بررسی خواص ژلاتینی‌شدن در ارقام برنج، پس از افزایش آب و درجه حرارت در یک دمای خاص، نشاسته آن رقم ژلاتینی‌شده و از خواص کریستالی آن کاسته می‌شود و به شکل خمیری در می‌آید. دمایی که نشاسته شروع به ژلاتینی‌شدن می‌کند در ارقام مورد بررسی در سطح احتمال یک درصد دارای تفاوت معنی‌داری بودند (جدول ۲). با استفاده از مقایسه میانگین داده‌های این معیار کمترین مقدار T_0 در رقم دم‌سفید (۶۴/۸۲ درجه سانتی‌گراد) و بیشترین آن در رقم دم‌سیاه (۶۷/۷۰ درجه سانتی‌گراد) مشاهده شد. هرچه دمای شروع ژلاتینی‌شدن (T_0) رقمی بیشتر باشد، مدت زمان پخت آن رقم بیشتر و طول دانه پخته نیز بلندتر خواهد بود و از نظر ذائقه مصرف‌کننده ایرانی مطلوب‌تر است. در رقم‌های مورد بررسی بیشترین افزایش طول دانه پخته در رقم‌های دم‌سیاه و دم‌سرخ مشاهده شد. نشاسته بیشتر ارقام برنج، حاوی مقادیر اندکی لیپید یا چربی می‌باشد که می‌تواند با آمیلوز تشکیل کمپلکس داده و بر خواص ژلاتینی‌شدن تأثیر داشته باشند. تشکیل این کمپلکس در حین ژله‌ای شدن در اثر گرما رخ می‌دهد (Witec, 2010). در ارقام مورد مطالعه نیز با وجود اینکه درصد آمیلوز تقریباً یکسان بود و در یک محدوده قرار می‌گرفت، اما درجه حرارت لازم برای شروع ژلاتینی‌شدن متفاوت بود و این تفاوت می‌تواند به خاطر ایجاد کمپلکس آمیلوز-چربی باشد. نتایج همبستگی (جدول ۴) نیز ارتباط معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بین T_0 و درصد چربی (r=۰/۸۸) نشان داد.

درجه حرارتی که به عنوان درجه ژلاتینی شدن اعلام می‌شود (T_p)

پیوندهای هیدروژنی بین مولکول‌های آمیلوز و آمیلوپکتین باعث می‌شود آب سخت‌تر به گرانول‌های نشاسته نفوذ کند (Roos, 1995). وقتی آب گرم می‌شود گرانول‌ها متورم و ژلاتینی می‌شوند و گرماسنج افتراقی تکنیکی است که کمک می‌کند تا درجه حرارتی که باعث این تغییرات برگشت‌ناپذیر می‌شود، تعیین شود. تحقیقات نشان داده که هر چه دمای مورد نیاز برای ژلاتینی‌شدن بالاتر باشد گرانول‌های نشاسته تورم بیشتری در حین پخت خواهند داشت (Iturriaya, 2004). با استفاده از داده های حاصل از دستگاه DSC، هرچه T_p بیشتر باشد نشان‌دهنده این است که رقم در حین پخت انبساط حجمی بیشتری داشته و مناسب‌تر است. در داده‌های جدول ۲ مشخص است که ارقام مورد بررسی در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی‌داری دارند. در جدول۳ میزان T_p در ارقام مورد بررسی، در محدوده ۷۴/۰۹- ۷۱/۲۹ درجه سانتی‌گراد بود (بیشترین مقدار برای رقم غریب و کمترین برای رقم دم سفید). البته حضور بعضی از ترکیبات مانند چربی بر مولکول‌های نشاسته تأثیر گذاشته و حرارت بیشتری برای غلبه بر شکسته شدن ساختار کریستالی نیاز است (Teo, *et al.*, 2000) . با استفاده از داده های جدول ۱، کمترین میزان چربی نیز در رقم دم سفید مشاهده شد. در جدول ۴ مشخص است که ارتباط بین درصد چربی و T_p در سطح احتمال ۵٪ معنی دار شده است (r=۰/۷۴).

درجه حرارت مورد نیاز برای ژلاتینی شدن کامل نمونه (T_c)

با استفاده از داده‌های منحنی حاصل از دستگاه DSC تغییر حالت نشاسته در درجه حرارت مشخصی ثابت مانده و در واقع نمونه به صورت کامل ژلاتینی می‌شود و این درجه حرارت به نام T_c (Conclusion gelatinization temperature) شناخته می‌شود. در ارقام مورد بررسی از نظر میزان حرارتی که نیاز است تا نشاسته ارقام مختلف به طور کامل ژلاتینی شود نیز اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد مشاهده شد (جدول ۲). بیشترین مقدار T_c در ارقام دم‌سیاه، دم‌سرخ و غریب (۸۲ درجه سانتی‌گراد) و کمترین مقدار آن در رقم دم‌سفید (۷۶/۶۶ درجه سانتی‌گراد) مشاهده شد. همبستگی بین درصد چربی و T_c نیز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار ($r_{=}$۰/۹۰) بود (جدول ۴).

نتیجه‌گیری

با توجه به اینکه یکی از خصوصیات مهم نشاسته ژلاتینی‌شدن در حین پخت است، بررسی خواص مربوط به ایجاد حالت ژلاتینی نشاسته در حین جذب آب و افزایش درجه حرارت می‌تواند در بررسی‌های مربوط به کیفیت با اهمیت باشد. در روش لیتل تغییرات ژلاتینی‌شدن دانه به صورت رتبه یا نمره در تک دانه‌های برنج مشخص می‌شود. این روش برای انتخاب ارقام و لاین‌هایی که از نظر این معیار در محدوده متوسط (۵-۳) قرار می‌گیرند، روش سریع و مقرون به صرفه‌ای می‌باشد، اما روش گرماسنجی افتراقی در بیان جزئیات و آشکار نمودن تفاوت‌های پخت بین ارقام برنج خصوصاً ارقامی که از نظر روش لیتل در یک گروه قرار می‌گیرند، مفیدتر است.

References

Baldwin, P. M. 2002. Starch granule-associated proteins and polypeptide, A review. **Starch** 52: 475-503.

Biliaderis, C. G., Page, C. M., Maurice, T. J. and Juliano, B. O., 1986. Thermal characterization of rice starches: a polymeric approach to phase transitions of granular starch. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 34: 6–14.

Cuevas, R. P., Daygon, V. D., Corpuz, H. M., Reinke, R. F., Waters, D. L. E. and Fitzgerald, M. A. 2010. Melting the secrets of gelatinization temperature in rice. **Functional Plant Biology** 37: 439- 447.

Fitzgerald, M. 2005. Gelatinization Temperature by Differential Scanning Calorimeter. International Rice Research Institute (Standard Operating Procedure 20).

Han, X. Z. and Hamaker, B. R. 2001. Amylopectin fine structure and rice starch paste breakdown. **Journal of Cereal Science** 34: 279-284.

Iturriaya, L., Lopez, B. and Anon, M. 2004. Thermal and physicochemical characterization of seven argentine rice flours and starches. **Food Research International** 37: 439-447.

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

Kaletunc, G. 2009. Calorimetry in Food Processing (1th ed.). Wiley-Blackwell.

Karkalas, J., Tester, R. F. and Morrison, W. R. 1995. Some factors determining the thermal properties of amylose inclusion complexes with fatty acids. **Carbohydrate Research** 268: 233–247.

Klucinec, J. D. and Thompson, D. B. 2002. Structure of amylopectins from aecontaining maize starches. **Cereal Chemistry** 79: 19-23.

Lam, H. S. and Proctor A. 2001. Rapid methods for milled rice surface total lipid and free fatty acid determination, **Cereal Chemistry** 78 (4): 498-499.

Leelayuthsoontorn, P. and Thipayarat, A. 2006. Textural and morphological changes of Jasmine rice under various elevated cooking conditions. **Food Chemistry** 96 (4): 606–613.

Lisle, A. J., Martin, M. and Fitzgerald, M. A. 2000. Chalky and translucent rice grains differ in starch composition and structure and cooking properties. **Cereal Chemistry** 77(5): 627-632.

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.

Liu, H., Lelievre, J. and Ayoung-Chee, W. 1991. Study of starch gelatinization using differential scanning calorimetry, X-ray, and birefringence measurements. **Carbohydrate Research** 210: 79-87.

Loisel, C., Maache-Ressoug, Z., Esneault, C. and Doublier, J. L. 2006. Effect of hydrothermal treatment on the physical and rheological prop-erties of maize starches. **Journal of Food Engineering** 73: 45-54.

Matveev, Y. I., Van Soest, J. G., Nieman, C., Wasserman, L. A., Protserov, V., Ezernitskaja, M. and Yuryev, V. P. 2001. The relationship between thermodynamic and structural properties of low and high amylose maize starches. **Carbohydrate Polymers** 44: 151–160.

Morrison, W. R., Tester, R. F., Snape, C. E., Law, R., Gidley, M. J. 1993. Swelling and gelatinisation of cereal starches. IV. Some effects of lipid complexes amylose and free amylose in waxy and normal barley starches. **Cereal Chemistry** 70: 385–391.

Perry, P. A. and Donald, A. M. 2002. The effect of sugars on the gelatinization of starch. **Carbohydrate Polymers** 49 (2): 155–165.

Roos, Y. H. 1995. Phase transitions in foods, Academic Press.

Sasaki, T., Yasui, T. and Matsuki, J. 2000. Effect of amylose content on gelatinization retrogradation, and pasting properties from waxy and nonwaxy wheat and their F1 seeds. **Cereal Chemistry** 77: 58–63.

Teo, C. H., Karim, A. A., Cheah, P. B., Norziah, M. H. and Seow, C. C. 2000. On the roles of protein and starch in the aging of non-waxy rice flour. **Food Chemistry** 69: 229–236.

Tester, R. F. and Morrison, W. R.1990. Swelling and gelatinization of cereal starches. I. Effects of amylopectin, amylose, and lipids. **Cereal Chemistry** 67: 551–557.

Vandeputte, G. E., Vermeylen, R., Geeroms, J. and Delcour, J. A. 2003. Rice starches. I. Structural aspects provide insight into crystallinity characteristics and gelatinisation behaviour of granular starch. **Journal of Cereal Science** 38: 43–52.

Waters, D. L. E., Henry, R. J., Reinke, R. F. and Fitzgerald, M. A. 2006. Gelatinization temperature of rice explained by polymorphisms in starch synthase. **Plant Biotechnology Journal** 4: 115-122.

Witec, M. 2010. The structural and hydration properties of heat-treated rice studied at multiple length scales. **Food Chemistry** 120 (4): 1031-1040.

Evaluation of gelatinization properties in Iranian rice varieties by Differential Scanning Calorimetry (DSC)

Fatemeh Habibi[1*], Asieh Yahyazadeh[2], Maryam Hosseini Chaleshtary[1], Kobra Tajaddoditalab[1]

1. Assist. Prof., Rice Research Institute of Iran (Rasht), 2. Assoc. Prof., Dept. of Chemistry, Faculty of Science, University of Guilan

(Received: June 30, 2012- Accepted: November 19, 2012)

Abstract

Rice cooking and eating quality are the most important factors for accepting a variety by consumers. To determine the accurate gelatinization properties of rice starch with Little and Differential Scanning Calorimeter (DSC) methods, this research was carried out on 10 Iranian rice varieties. All varieties were similar in amylose content and gelatinization score with Little method. The starch properties such as gelatinization enthalpy (ΔH), onest temperature (T_0), peak temperature (T_p), conclusion temperature (T_c) were measured by using of the curve derived from DSC. Analysis of variance showed significant differences between studied varieties for gelatinization parameters obtained from DSC method, but there weren't the significant differences between varieties for gelatinization scores derived from Little's method. The maximum and minimum enthalpy (ΔH) was observed in Domsorkh (11.48 j/g) and Hasssansaraee varieties (6.44 j/g), respectively, but Domsorkh and Hassansaraee varieties had similar scores for alkali spreading values from the Little's method. In varieties with the same amylose content, lipid-amylose complex increase crystalline structure of starch so enthalpy for gelatinization will be increased. Data analysis showed that there was significant correlation between lipid content and enthalpy at 5% probability level. In mean comparisons between varieties, the minimum and maximum onest temperature (T_0) were observed in Domsefid (64.82 ^oC) and Domsiah (67.7 ^oC) varieties, respectively. Also, there was the significant correlation between onest temperature and lipid content. Results from current research showed that the Little's method is a rapid and economical method for selecting lines and varieties with suitable gelatinization properties (3-5 score), but DSC method can explain more details of cooking differences between varieties where Little's method is unable to explain them.

Keywords: Differential Scanning Calorimetry, Gelatinization temperature, Quality, Rice and Starch

*Corresponding author: fhabibikia@yahoo.com