بررسی فعالیت آنزیم‌های آلفاآمیلاز، لیپاز و لیپواکسیژناز در گندم و تغییر فعالیت آنها در قبل و بعد از دوره جوانه‌زنی

اسرافیل محرمی، محمد شاهدی و مهدی کدیور[۱*]

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۶/۱۰/۱۹ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۸/۱/۱۱)

چکیده

آنزیم‌های آرد گندم نقش مهمی در تولید مناسب محصولات مختلف به‌خصوص نان دارند. شناخت دقیق سیستم‌های آنزیمی آرد و بهینه‌سازی فعالیت آنها اساس بسیاری از تحقیقات در صنعت نانوایی است. در این تحقیق سه رقم گندم (مهدوی، کویر و M۷۳۱۸) منطقه اصفهان انتخاب شد. خصوصیات شیمیایی آرد و فعالیت‌های آنزیمی این سه رقم تعیین‌گردید. برای بررسی روند تغییرات فعالیت آنزیمی (آلفاآمیلاز، لیپاز و لیپواکسیژناز) در طی جوانه‌زنی، فعالیت این آنزیم‌ها بعد از ساعات مختلف جوانه‌زنی اندازه‌گیری شد و ارتباط بین طول ریشه و فعالیت آلفاآمیلازی و نیز ارتباط بین فعالیت لیپاز و لیپواکسیژناز بررسی شد. نتایج آزمون‌های شیمیایی آرد نشان داد که از نظر درصد پروتئین و گلوتن، آرد رقم M۷۳۱۸ جزء آردهای ضعیف و آرد ارقام کویر و مهدوی جزء آردهای متوسط قرار گرفته و در ضمن هر سه رقم از نظر فعالیت آلفاآمیلازی در سطح پایینی قرار دارند. گرچه رقم کویر از نظر سه آنزیم مورد نظر، فعالیت بیشتری نسبت به دو رقم دیگر داشت. نتایج آزمون جوانه‌زنی نشان داد که در اثر جوانه‌زنی تغییرات فعالیت آلفاآمیلاز و لیپاز روندی افزایشی داشته، در صورتی که فعالیت لیپواکسیژناز از روند افزایشی پیروی نکرد. نتایج آزمون هم‌بستگی ساده نشان داد که بین طول ریشه و عدد فالینگ هم‌بستگی منفی و معنی‌دار (تا ۷۲ ساعت جوانه‌زنی) وجود دارد، که می‌تواند نشان‌دهنده وجود هم‌بستگی مثبت و معنی‌دار بین طول ریشه و فعالیت آلفاآمیلازی باشد. این آزمون هم‌چنین نشان داد که بین فعالیت لیپاز و لیپواکسیژناز یک هم‌بستگی مثبت و معنی‌دار در طی جوانه‌زنی وجود دارد.

واژه‌های کلیدی: آلفاآمیلاز، لیپاز، لیپواکسیژناز، جوانه‌زنی

مقدمه

شناخت آنزیم‌ها و فعالیت آنها در غلات از اهمیت بسیار برخوردار است(۳). آرد گندم با کیفیت خوب، دارای آنزیم‌های گوناگونی است که از جمله می‌توان به آلفاآمیلاز و بتاآمیلاز (هیدرولیزکننده نشاسته)، لیپاز و لیپواکسیژناز (آنزیم‌های مرتبط با لیپیدها) اشاره نمود. شدت فعالیت آنزیم‌ها در همه جای دانه یکسان نبوده و در مقادیر متفاوتی در بخش‌های مختلف دانه اندازه‌گیری شده‌اند، به‌طوری که در بعد از آسیاب کردن، آنزیم‌ها به‌طور نابرابر در قسمت‌های مختلف توزیع می‌شوند. به‌طور کلی آندوسپرم دانه دارای کمترین فعالیت آنزیمی است و با افزایش درجه استخراج و اضافه شدن لایه آلورون، جوانه و پوسته به آرد فعالیت آنزیمی آن زیادتر

۱. به ترتیب دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، استاد و دانشیار علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: kadivar@cc.iut.ac.ir

می‌شود(۴ و ۲۲). آلفا و بتاآمیلاز از مهم‌ترین آنزیم‌های تجزیه‌کننده نشاسته در گندم و آرد بوده و عمدتاً در جوانه قرار دارند(۱۲ و ۱۴). مقدار آلفاآمیلاز در گندم، به‌ویژه در مناطق آب و هوای خشک، کم است که در حین جوانه‌زنی دانه زیاد می‌گردد(۱ و ۱۴). مقدار آلفاآمیلاز در غلات به وضعیت طبیعی کاریوپسیس یعنی رسیده بودن، در حال استراحت بودن و یا جوانه‌زدن وابسته است. در گندم و جو، آلفاآمیلاز می‌تواند بلافاصله بعد از گل‌دهی شناسایی شود. مقدار آن در ابتدا افزایش می‌یابد، سپس با رسیدگی بیشتر دانه افزایش و در مرحله خشک‌شدن کاهش می‌یابد. مقدار باقی‌مانده این آنزیم به واریته وابسته است. در شرایط مرطوب ممکن است غلظت آلفاآمیلاز در حال استراحت دانه، بدون تغییری در وضعیت ظاهری دانه، افزایش یابد. این پدیده مربوط به مراحل ابتدایی جوانه‌زنی است. بعد از جوانه‌زنی دانه‌ها، غلظت آنزیم در طول ۴ تا ۵ روز بیش از چند صد برابر افزایش می‌یابد. دامنه pH بهینه آمیلازهای غلات ۴/۵ تا ۵/۵ است. ایزوآنزیم‌های مختلف از یک غله، ممکن است pH بهینه یکسانی نداشته باشند. pH بهینه آلفاآمیلاز گندم و جو حدود ۵/۵ است، در حالی‌که آلفاآمیلازهای چاودار، تریتیکاله، ارزن و سورگوم تا اندازه‌ای کمتر است (حدود ۴/۴ تا ۵) (۱۹). نقطه ایزوالکتریک (pI) ایزوآنزیم‌های آلفاآمیلاز غلات نیز متفاوت بوده و بر این اساس آنها را به دو گروه اسیدی و بازی تقسیم می‌کنند. در مورد گندم مشخص شده است که تفاوت در ترکیب اسیدهای آمینه آمیلازهای با pIبالا، می‌تواند تفاوت در مقادیر pI را توجیه کند. آلفاآمیلازها، پروتئین‌های اسیدی بوده و دارای مقادیر زیادی گلوتامین، آسپارتین و گلیسین می‌باشند و فاقد سیستئین بوده و پیوند سولفیدریلی در آنها دیده نمی‌شود. آلفاآمیلاز غلات نارس حساسیت بیشتری نسبت به حرارت در مقایسه با آلفاآمیلاز غلات جوانه‌زده دارند(۱۴). لیپواکسیژناز از دسته اکسیدوردکتازها و یک نوع آنزیم دی‌اکسیژناز است. دی‌اکسیژنازها قادرند دو اتم اکسیژن مولکولی را به مولکول سوبسترا اضافه کنند که معمولاً با تشکیل هیدروپراکسید همراه است. لیپواکسیژناز یکی از این آنزیم‌ها بوده که مورد توجه خاص شیمیدان‌های غلات می‌باشد(۱۴). نام سیستماتیک آن لینولئات اکسیژن اکسیدوردکتاز است (۲۰ و ۲۲). این آنزیم فوق‌العاده اختصاصی عمل کرده و داکسیژناسیون اسیدهای چرب غیراشباع چندگانه که دارای سیستم سیس، سیس -۱،۴- پنتادی‌ان (Cis-cis ,1,4 panta diene) باشند را به مشتقات هیدروپرکسی سیس، ترانس‌دی‌ان (Cis- trans ,diene) کاتالیز می‌کنند(۱۵ و ۲۷) که خود به‌عنوان محصولات اولیه واکنش بوده و دارای ساختار کنژوگه هستند. اغلب سوبسترا خاص این آنزیم ایزومرهای از سه اسید چرب ضروری (لینولئیک، لینولنیک، آراشیدونیک) هستند(۲۰). لیپواکسیژناز در سال ۱۹۴۷ توسط تئورول و همکارانش از سویا خالص‌سازی شد. اگرچه اغلب منابع لیپواکسیژناز از خانواده لگومینه (مانند سویا، لوبیا) بوده‌اند، ولی فعالیت این آنزیم در غلات هم چون گندم، جو، چاودار، یولاف و برنج نیز مشاهده شده‌است. (۱۴). نیکولاس و همکاران توانستند سه ایزوآنزیم لیپواکسیژناز (L) را از جوانه گندم خالص‌سازی کنند. مقادیر pI این سه جزء آنزیمی به ترتیب ۶/۲۵، ۵/۴ و ۵/۱ برای L_1، L_2، L_3 تشخیص دادند. این مقادیر pI به pI لیپواکسیژناز از منابع دیگر نزدیک بود. آنها وزن مولکولی برای هر سه ایزوآنزیم گندم را ۹۰ هزار تا ۹۵ هزار به‌دست‌آورند(۲۰). شیبا و همکاران نیز مقداری مشابه مقادیر نیکولاس و همکاران به‌دست آوردند که حدود ۱۱۰ هزار بود. این مقادیر با نتایج سایر منابع آنزیمی مثل سویا همخوانی داشته است(۱۴ و ۲۰). تفاوت در واسرشتی حرارتی، اکسیده‌کردن و قابلیت رنگبری عصاره‌های سویا، شواهد اولیه‌ی برای حضور بیش از یک ایزوآنزیم می‌باشد(۱۴). والاس و ولر و نیکولاس و همکاران pH بهینه ۶ تا ۶/۵ را برای همه ایزوآنزیم‌ها به‌دست آوردند. در مطالعه شیبا و همکاران، مقدار pH بهینه ایزوآنزیم‌های خالص شده در مقایسه با دو مطالعه قبلی کمتر بوده است(۲۳). نیکولاس و همکاران pH بهینه عصاره خام جوانه گندم شامل هر سه ایزو آنزیم را تقریباً ۶ به‌دست آورند(۲۰). شیبا و همکاران دریافتند که اسید لینولئیک

و اسید لینولنیک، بهترین سوبسترا برای همه ایزوآنزیم‌های گندم می‌باشند(۲۳). فعالیت رنگبری لیپواکسیژناز روی رنگدانه‌ها توسط برخی محققان بررسی شده است و این خاصیت رنگبری آنزیمی، بخشی از دلایل اصلی استفاده از سویا در صنایع نانوایی است. این آنزیم باعث می‌شود رنگ زرد بتاکاروتن در اثر اکسیداسیون از بین‌رفته و سفید گردد (۱۴). نیکولاس و همکاران دریافتند که در میان لیپواکسیژنازهای گندم، L_1 دارای خاصیت رنگبری بیشتری (دو برابر) نسبت به L_2 و L_3 در مقادیر اکسیژن دریافتی مشابه، داشته‌است. تحقیقات نشان داده است که اثر رنگبری لیپواکسیژنازهای گندم نسبت به لیپواکسیژنازهای خانواده لگومینه بسیار کمتر است(۲۰).

لیپازها به‌عنوان استرگلیسرول هیدرولازها معرفی می‌شوند که تری، دی و منوگلیسیریدهای موجود در سطح حد فاصل (Interface) بین روغن-آب را هیدورلیز می‌کنند. لیپاز را می‌توان یک استراز دانست، زیرا در اثر فعالیت خود قادر است گلیسیریدها را به گلیسیرین و اسیدهای چرب تجزیه نماید. در اثر فعالیت لیپاز اسیدهای چرب یکباره تشکیل نمی‌گردند، بلکه ابتدا دی‌گلیسیرید و سپس منوگلیسیرید به وجود می‌آید(۳). سرعت واکنش و تبدیل چربی به گلیسیرین و اسیدهای چرب بستگی به‌طول زنجیره‌های اسید چرب، pH محیط، حرارت و میزان رطوبت دارد. ویژگی خاص لیپازها در این است که اساساً در سطح میان امولسیون آب و چربی اثر خود را ظاهر می‌سازند، به این ترتیب هر عملی یا شرایطی که باعث افزایش سطح میان آب و چربی در یک سیستم امولیسونی شود، افزایش فعالیت لیپاز را به‌همراه دارد(۵). بررسی‌ها نشان داده است که سرعت واکنش نه تنها به مقدار تری‌گلیسرید موجود در سیستم، بلکه با مقدار سطح حد فاصل موجود در سیستم نیز متناسب است. محققان نشان داده‌اند که آنزیم لیپاز در سیستم خشک به‌شدت نسبت به واسرشتی حرارتی پایدار است. هم‌چنین لیپاز در سیستم‌های با رطوبت کم، فعال است. آنزیم لیپاز برای فعالیت خود به یون کلسیم نیاز دارد. بنابراین افزودن شلاته‌کننده‌ها مانند EDTA آن را غیرفعال می‌کند. گزارش شده است که تعدادی از یون‌ها مانند مس، جیوه، آهن و سیانید خاصیت بازدارندگی جزئی بر روی لیپاز دارند. به‌طورکلی pH بهینه برای عمل لیپاز حدود۷ تا ۸ است. تحقیقات نشان داده است که غنی‌ترین منبع لیپاز کولئوپتیل‌های جوانه گندم است(۱۴). به‌طورکلی مشخص شده است که حداکثر تراکم لیپاز در سلول‌های آلورون و جوانه است. فعالیت لیپاز جوانه گندم تقریباً ۳ تا ۶ برابر فعالیت لیپاز در تمام دانه است(۳). در بررسی روی سبوس گندم پودرشده مشخص شده که حداکثر فعالیت لیپاز در دامنه فعالیت آبی ۰/۸ تا ۰/۹بوده و نیز مشخص شده است که در فعالیت آبی پایین (کمتر از ۰/۲۵) سرعت هیدرولیزکردن تابع خطی از فعالیت آبی است(۱۴). فعالیت لیپاز گندم (تری‌بوتیرین به‌عنوان سوبسترا) در $^{\circ}$C ۳۸ و در pH ۷/۹ به حداکثر می‌رسد. چنانچه گلیسرین منواولئات به‌عنوان سوبسترا انتخاب شود، در این صورت فعالیت لیپاز در گندم در pH ۴/۸ و حرارت $^{\circ}$C ۳۰ به حداکثر خواهد رسید(۳).

هدف از تحقیق حاضر پی‌بردن به میزان فعالیت آنزیمی گندم به‌خصوص آلفاآمیلاز بود که نقش بسیار مهمی در تولید محصولات حاصل از آرد گندم به‌خصوص نان دارند. با توجه به این‌که با جوانه‌زنی فعالیت آنزیم‌ها دچار تغییرات می‌شود که در این میان مقدار و فعالیت آلفاآمیلاز افزایش بسیار می‌یابد و با نظر به این‌که اکثر آردهای گندم ایران از نظر فعالیت آلفاآمیلازی در سطح پایینی قرار دارند، می‌توان از آرد گندم جوانه‌زده برای تعدیل فعالیت آلفاآمیلازی و در نتیجه تولید محصولاتی با کیفیت بهتر استفاده کرد. هم‌چنین در طی جوانه‌زنی آنزیم‌های دیگر نیز دچار تغییراتی می‌شوند که در این بین لیپاز و لیپوکسیژناز به‌دلیل تأثیرشان روی چربی‌ها نیز مورد توجه بوده‌اند.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در آزمایشگاه‌های پژوهشی گروه علوم و صنایع غذایی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان انجام شد. ارقام گندم (مهدوی، کویر و $M_{۷۳۱۸}$) از سیلوی مرکز پشتیبانی

کشاورزی و مرکز تحقیقات جهاد کشاورزی اصفهان تهیه شد و با آسیاب چکشی آسیاب گردید.

۱- آزمون‌های شیمیایی آرد

آزمون‌های شیمیایی روی نمونه‌های آرد بر اساس روش‌های مصوب AACC شامل رطوبت (۱۶-۴۴)، خاکستر (۰۱-۰۸)، پروتئین (۱۲-۴۶) و گلوتن مرطوب وخشک (۱۰- ۳۸) انجام شد(۷).

۲- اندازه‌گیری فعالیت آنزیمی آرد

فعالیت آلفاآمیلازی آردها با استفاده از دستگاه فالینگ نامبر و بر اساس روش مصوب AACC به شماره B ۸۱-۶۵ انجام شد(۷).

برای اندازه‌گیری فعالیت لیپاز از روش تیتراسیون استفاده شد(۱۰). برای این منظور مقدار ۰/۵ گرم آرد را در داخل ارلن مایر ۲۵۰ میلی‌لیتر ریخته و سپس ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر، ۲ میلی‌لیتر تولوئن، ۱ میلی‌لیتر سوبسترا (روغن زیتون) و ۱۰ میلی‌لیتر محلول بافر فسفات (۰/۱ مولار) اضافه شده و ارلن حاوی این مخلوط برای مدت ۲۴ ساعت در دمای $^{\circ}C$ ۳۷/۹ انکوبه شد. بعد از انکوباسیون با افزودن ۱۰۰ میلی‌لیتر مخلوط استون و دی‌اتیل‌اتر (۳ به ۱) به ارلن مایر، مواد داخل آن در برابر فنل فتالئین با سود ۰/۱ نرمال تیتر گردید.

برای اندازه‌گیری فعالیت لیپواکسیژناز از روش اسپکتروفتومتری استفاده شد. در این روش محصولات تولید شده (هیدروپراکسیدها) که دارای حداکثر جذب در ۲۳۴ نانومتر هستند(۲۳ و ۲۵)، اندازه‌گیری می‌شوند:

الف) تهیه محلول سوبسترا

به‌دلیل حساسیت بالای اسید لینولئیک به اکسیژن، تهیه محلول سوبسترا تحت گاز نیتروژن صورت گرفت. برای تهیه سوبسترا، ۰/۵ میلی‌لیتر اسید لینولئیک خالص به‌صورت قطره قطره به مخلوطی از ۰/۵ میلی‌لیتر توئین (شماره ۲۰) و ۱۰ میلی‌لیتر بافر بورات (۰/۱ مولار، pH = ۹/۰) که در حال هم زدن بوده، اضافه شد تا کاملاً حل شود. به‌منظور شفاف شدن محلول، ۱/۳ میلی‌لیتر هیدروکسید سدیم (۱ مولار) اضافه شد. بعد از آن به محلول حاصل ۹۰ میلی‌لیتر بافر بورات اضافه و حجم نهایی به حجم ۲۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد(۲۵).

ب) استخراج آنزیم

بدین منظور مقدار یک گرم آرد را به ۵ میلی‌لیتر بافر فسفات سرد (۰/۱ مولار، pH ۶ و دمای $^{\circ}C$ ۳ تا ۵) اضافه کرده و به‌مدت یک ساعت در دمای پایین (در یخچال) با استفاده از شیکر استخراج انجام شد. سوسپانسیون به‌دست آمده به ویال‌های دستگاه منتقل و در سرعتg ۱۲۰۰۰ و $^{\circ}C$ ۴ به‌مدت ۱۰ دقیقه سانتریفوژ گردیده و سپس مایع فوقانی ویال‌ها را جدا و از میکروفیلترهای با قطر ۰/۲ میکرون عبور داده شد تا محلول شفافی به‌دست‌آید، از این محلول به‌عنوان منبع آنزیم لیپواکسیژناز استفاده شد. در تمام طول زمان اندازه‌گیری فعالیت، عصاره آنزیمی در یخ نگه‌داری گردید(۱۳ و ۲۷).

ج) روش اندازه‌گیری

فعالیت لیپواکسیژناز از طریق اندازه‌گیری افزایش در مقدار جذب درطول موج ۲۳۴ نانومتر و در دمای محیط تعیین شد. بدین منظور ۲/۹ میلی‌لیتر بافر فسفات (pH ۶) با ۳۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی در داخل کووت مخلوط شده و به آن ۳۰ میکرولیتر سوبسترا اضافه گردید و تغییر در طول موج ۲۳۴ نانومتر به‌مدت ۵ دقیقه ثبت شد. در این تحقیق مقدار جذب در دقیقه به‌عنوان فعالیت آنزیم لیپواکسیژناز در نظر گرفته شد(۱۳).

جوانه‌زنی دانه‌ها

۱- مرحله ضد عفونی کردن و خیساندن

برای این منظور دانه‌ها به‌مدت ۳ تا ۴ دقیقه در محلول ۰/۵ درصد هیپوکلرید سدیم نگه‌داری شده و سپس با آب زیاد جهت حذف محلول ضدعفونی شست و شو شده‌اند. گندم‌ها با آب مقطر استریل خیسانده شده و به‌مدت ۲۴ ساعت در دمای

اتاق در جای تاریک نگه‌داری شد.

۲- مرحله جوانه‌زنی و نمونه‌برداری

پس از خیساندن ۲۴ ساعته، آب اضافی جدا و سپس گندم‌ها در داخل ظروفی ریخته‌شده و روی آنها پارچه ململ خیس قرار داده شد. گندم‌های خیسانده‌شده بر اساس زمان‌های نمونه‌برداری در داخل دستگاه ژرميناتور (دمای ۱۸ $^{\circ}C$ و رطوبت نسبی ۹۰ تا ۹۵ درصد) قرار داده شدند که این زمان‌ها شامل ۱۲، ۱۸، ۲۴، ۳۰، ۳۶، ۴۸ و ۷۲ ساعت بودند که پس از زمان‌های ذکر شده از دستگاه خارج شدند.

۳- اندازه‌گیری طول ریشه

بعد از هر زمان نمونه‌برداری طول ریشه هر رقم گندم به تعداد ۱۵ دانه با کولیس اندازه‌گیری شد.

۴- خشک کردن، ریشه‌زدائی و آردکردن

گندم‌های جوانه‌زده جهت کاهش رطوبت به آون (دمای ۳۵ $^{\circ}C$ به‌همراه جریان هوا) منتقل شده و تا رسیدن به رطوبت اولیه خشک شدند. سپس ریشه‌ها به‌صورت دستی از گندم‌ها جداسازی شدند و گندم‌های ریشه‌گرفته شده با آسیاب به‌طور کامل آرد شده و برای آزمون‌های بعدی در سردخانه نگه‌داری شدند.

۵- اندازه‌گیری فعالیت آنزیمی آرد گندم‌های جوانه‌زده

فعالیت آنزیم‌های لیپاز، لیپواکسیژناز و آلفاآمیلاز به ترتیب با استفاده از روش‌های تیتراسیون، اسپکتروفتومتری و فالینگ نامبر اندازه‌گیری شد. لازم به ذکر است که به‌دلیل محدودیت اندازه‌گیری فعالیت‌های خیلی زیاد آلفاآمیلاز توسط دستگاه فالینگ نامبر، برای مشخص شدن روند تغییرات فعالیت آلفاآمیلاز مقدار مشخصی از آرد گندم جوانه‌زده (۱ درصد بر اساس ۷ گرم آرد مورد نیاز) به آرد گندم با فعالیت آلفاآمیلازی مشخص اضافه گردید و از این طریق میزان فعالیت آلفاآمیلاز و تغییرات آن در طی جوانه‌زنی اندازه‌گیری شد.

نتایج آماری

در این تحقیق تجزیه و تحلیل نتایج مربوط به تعیین فعالیت آنزیمی گندم‌ها در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. نتایج مربوط به ارتباط بین طول ریشه و فعالیت آلفاآمیلاز در طی جوانه‌زنی و نیز ارتباط بین فعالیت لیپاز و لیپواکسیژناز با استفاده از رگرسیون خطی ساده و هم‌بستگی ساده انجام شد. برای مقایسه میانگین تیمارها از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد استفاده گردید. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS و رسم نمودارها با نرم افزار Excel انجام شد.

نتایج و بحث

۱- نتایج آزمون‌های شیمیایی آرد

میانگین نتایج آزمون‌های شیمیایی آرد گندم‌ها در جدول ۱ ارائه شده است. ترکیبات غلات ممکن است از نوسانات قابل ملاحظه‌ای برخوردار باشند که بستگی به نوع رقم، شرایط آب و هوائی و محیط کشت و برداشت دارد. دانه غلات حدوداً از ۷۰ درصد کربوهیدرات، ۶ تا ۱۶ درصد پروتئین، ۲ تا۷ درصد لیپید و ۲ تا ۵ درصد املاح تشکیل شده است. با توجه به جدول ۱ مشخص می‌شود که در میان ارقام گندم مورد آزمایش، رقم کویر از نظر مقدار پروتئین و گلوتن مرطوب و خشک وضعیت بهتری نسبت به دو رقم دیگر داشته و کیفیت نان حاصل از این رقم بهتر از دو رقم دیگر خواهد بود.

۲- نتایج اندازه‌گیری فعالیت آنزیمی آرد

نتایج تجزیه واریانس و مقایسه میانگین مربوط به اندازه‌گیری فعالیت آنزیمی انجام شده برای آردهای سه رقم گندم مهدوی، کویرو $M_{۷۳۱۸}$ (قبل از جوانه‌زنی) در جداول ۲ و ۳ نشان‌داده شده است. سیستم آنزیمی درونی گندم نقش عمده‌ای در صنعت نانوایی بر عهده دارد. دانه گندم و به تبع آن آرد گندم

جدول۱. نتایج آزمون‌های شیمیایی گندم‌ها (بر اساس ماده تر)

نوع گندم	میانگین				
	رطوبت (درصد)	خاکستر (درصد)	پروتئین (درصد)	گلوتن مرطوب (درصد)	گلوتن خشک (درصد)
مهدوی	۸/۲ ±۰/۰۳	۱/۴ ±۰/۰۴	۱۰/۴ ±۰/۱۲	۲۰/۵ ±۰/۱۲	۷/۰ ±۰/۰۶
کویر	۸/۸ ±۰/۰۵	۱/۷ ±۰/۰۳	۸/۲ ±۰/۱۱	۲۳/۲ ±۰/۱	۸/۲ ±۰/۰۴
$M_{۷۳۱۸}$	۸/۴ ±۰/۰۶	۱/۶ ±۰/۰۱	۸/۲ ±۰/۰۸	۱۵/۹ ±۰/۱۱	۸/۲ ±۰/۰۵

اعداد نشان‌دهنده میانگین و S.D±

جدول ۲. تجزیه واریانس ویژگی‌های آنزیمی آرد ارقام گندم سالم

منبع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات		
		آلفا آمیلاز (عدد فالینگ: ثانیه)	لیپاز (میلی‌لیتر سود ۰/۱ نرمال مصرفی)	لیپوکسیژناز (میزان جذب درnm ۲۳۴ در دقیقه)
رقم	۲	۶۴۵/۴***	۰/۴۴**	۰/۰۰۱۰۹***
خطا	۴	۱۰/۱	۰/۰۱۹	۰/۰۰۰۰۱

** و ***: به ترتیب تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۰/۱ درصد

جدول۳. مقایسه میانگین ویژگی‌های آنزیمی آرد ارقام گندم سالم

نوع گندم	آلفاآمیلاز (عدد فالینگ: ثانیه)	لیپاز (میلی لیتر سود ۰/۱ نرمال مصرفی)	لیپوکسیژناز (میزان جذب در ۲۳۴ نانومتردر دقیقه)
مهدوی	۳۲۷ b	۲/۵۰ b	۰/۱۱ a
کویر	۳۱۲/۷ c	۳/۰۷ a	۰/۱۱۵ a
$M_{۷۳۱۸}$	۳۴۲ a	۲/۳۳ b	۰/۰۸ b

در هر ستون تفاوت میانگین‌های دارای حروف غیرمشترک با آزمون LSD در سطح ۵٪ معنی‌دار است.

دارای دامنه وسیعی از فعالیت‌های آنزیمی است. فعالیت آنزیم‌های گندم بسته به شرایط محیطی، برای مثال شرایط رشد، برداشت یا ذخیره‌سازی متغیر است. فعالیت بیش از حد آنزیم‌ها موجب عدم مطلوبیت گندم جهت مصارف نانوایی شده و نیز فعالیت بسیار کم آنزیم‌ها منجر به تولید فراورده‌هایی با کیفیت پایین می‌شود(۵).

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) نشان داد که ارقام گندم اختلاف بسیار معنی‌داری (P<۰/۰۰۱) از لحاظ عدد فالینگ (فعالیت آمیلازی) داشته‌اند. همان‌طورکه در جدول ۳ مشاهده می‌شود آرد گندم رقم کویر با ۳۱۲/۷ ثانیه کمترین و رقم $M_{۷۳۱۸}$ با ۳۴۲ ثانیه بالاترین عدد فالینگ را داشته‌اند. در حقیقت این به معنی آن است که فعالیت آلفاآمیلازی رقم کویر از دو رقم دیگر یعنی مهدوی و $M_{۷۳۱۸}$ بیشتر بود، گرچه در کل نتایج نشان می‌دهند که فعالیت آلفاآمیلازی هر سه رقم پایین می‌باشد که

این نتایج با نتایج فروزان‌تبار که فعالیت آلفاآمیلازی را در گندم‌های مهدوی، روشن و قدس منطقه اصفهان بررسی کرده بود، مطابقت دارد(۶). عدد فالینگ عددی است که مشخص کننده میزان فعالیت آلفاآمیلازی آرد می‌باشد. عدد فالینگ کمتر از ۱۵۰، ۲۰۰ تا ۲۵۰ و بیش از ۳۰۰ ثانیه به ترتیب فعالیت آمیلازی بالا، متوسط و پایین را نشان می‌دهند. در اثر فعالیت زیاد آلفاآمیلازی آرد، قندهای زیادی تشکیل شده که منجر به تیره‌تر شدن رنگ و سطح غیر یک‌نواخت نان شده و نان تردی و پوکی خود را از دست می‌دهد. در مقابل، در اثر فعالیت پایین، به علت تولید مقدار کم قندهای قابل تخمیر، رنگ نان حاصل قهوه‌ای کم‌رنگ، سطح آن چروکیده، حجم نان کم و پوسته آن سخت و شکننده می‌گردد(۴). توهور و همکاران دریافتند که خواص ویسکوالاستیک خمیر، توانائی حفظ گاز در طول تخمیر و حفظ شکل نان، تحت تأثیر عدد فالینگ قرار دارد(۲۶). اکثر آردهای گندم ایران از نظر فعالیت آلفاآمیلازی در سطح پائینی می‌باشند. حجتی نیز دریافت که بین عدد فالینگ نمونه‌های آرد ستاره تهیه شده از مناطق مختلف کشور اختلاف معنی‌داری وجود دارد و این موضوع با توجه به تنوع شرایط آب و هوایی و نوع گندم مناطق مورد نمونه‌برداری طبیعی به‌نظر می‌رسد (۲).

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) نشان داد که نوع رقم تأثیر معنی‌داری($P< ۰/۰۱$) بر میزان فعالیت لیپاز داشته است. همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود آرد گندم رقم کویر دارای بیشترین فعالیت لیپازی بوده و بین ارقام مهدوی و $M_{۷۳۱۸}$ از نظر فعالیت لیپاز تفاوت معنی‌داری نداشته ولی با این حال میزان فعالیت رقم مهدوی بیشتر از رقم $M_{۷۳۱۸}$ است. بالا بودن میزان لیپازی در رقم کویر می‌تواند یکی از دلایل بالا بودن میزان اسیدیته آرد حاصل از این رقم باشد. همه غلات دارای فعالیت لیپازی بوده، اما فعالیت آن بین غلات مختلف، متفاوت است به‌طوری که یولاف و ارزن فعالیت نسبتاً زیادی در مقایسه با دیگر غلات دارند. فعالیت لیپاز از اهمیت زیادی برخوردار است، زیرا اسیدهای چرب آزاد از حساسیت بیشتری نسبت به اسیدهای چرب مشابه موجود در تری‌گلیسیریدها، به تند شدن اکسایشی برخوردار هستند(۲۱). فعالیت لیپازها بستگی به شرایط رطوبتی محیط دارد. مثلاً در گندم با رطوبت حدود ۱۵ درصد نسبت به زمانی که رطوبت گندم ۸/۸ درصد باشد، میزان فعالیت این آنزیم ۵ برابر بیشتر است(۳). در آرد و فراورده‌های آردی، تجزیه چربی سریعتر از دانه غلات صورت می‌گیرد. به‌همین دلیل قابلیت نگه‌داری آنها در مقایسه با غلات کم بوده و به میزان لیپید و شرایط نگه‌داری بستگی دارد(۴). وجود فعالیت لیپازی از نظر اقتصادی و از نظر تغذیه‌ای هم اهمیت داشته، زیرا این آنزیم در آغاز واکنش‌های اکسیداسیون نقش دارد و باعث کاهش کیفیت آرد می‌شود. در گندم مشخص‌شده که کاهش کیفیت بواسطه هیدرولیز لیپازی تری‌گلیسیریدها به اسیدهای چرب غیراشباع شروع می‌شود. این هیدرولیز سرعت کمی داشته و با افزایش زمان نگه‌داری منجر به تجمع اسیدهای چرب غیراشباع می‌شود(۲۱).

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) نیز نشان داد که نوع رقم به‌طور معنی‌داری ($P< ۰/۰۰۱$) بر میزان لیپواکسیژناز تأثیر داشته است. بین فعالیت لیپواکسیژناز دو رقم کویر و مهدوی اختلاف معنی‌دار وجود نداشت ولی بین این دو و رقم $M_{۷۳۱۸}$ از نظر فعالیت لیپواکسیژناز اختلاف وجود داشته و رقم $M_{۷۳۱۸}$ دارای کمترین فعالیت بود (جدول ۳). لیپواکسیژنازها اسیدهای چرب را به هیدروپراکسید تبدیل کرده، در نتیجه هیدروپراکسید قادر است گروه‌های تیول پروتئین را به گروه‌های دی‌سولفید اکسیده‌کند. در این‌صورت ساختار خمیر ثبات پیدا کرده و مقاومت خمیر افزایش می‌یابد. علاوه بر این، لیپواکسیژناز اثر سفیدکنندگی دارد که این خود در تهیه برخی نان‌ها حائز اهمیت بسیار است(۴ و ۱۴).

۳- اثر جوانه‌زنی بر فعالیت آنزیمی

الف) آلفاآمیلاز

با توجه به نمودار ۱ مشخص شد که بر اثر جوانه‌زنی عدد فالینگ هر سه رقم در ۱۸ ساعت پس از جوانه‌زنی و زمان‌های پس از آن ۶۲ بود که این نتیجه با نتایج لیلاواتی همخوانی

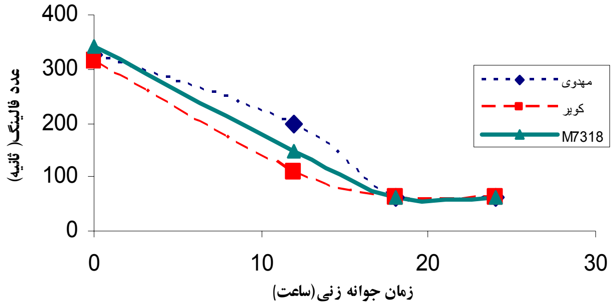
داشت، به‌طوری که عدد فالینگ گندم در ۲۴ ساعت پس از جوانه‌زنی از ۴۹۲ به ۶۰ ثانیه کاهش یافت(۱۶). و در این حالت دستگاه فالینگ نامبر قادر به اندازه‌گیری آلفا آمیلازی نبوده که با نتایج سینگ و همکاران (۲۴) که اعلام کرده‌اند، روش اندازه‌گیری عدد فالینگ قادر به تفکیک فعالیت آلفا آمیلازی بالا نیست، همخوانی دارد. برای بررسی روند تغییرات فعالیت آلفا آمیلازی آرد گندم‌های جوانه‌زده، مقدار ثابتی از هر یک از آرد گندم‌های جوانه‌زده در ساعات مختلف (در حد یک درصد) به آرد گندم معمولی اضافه شد تا از این طریق بتوان روند تغییرات را به خوبی مشاهده‌کرد. با توجه به نمودارهای ۱ و۲ مشخص می‌شود که با افزایش مدت زمان جوانه‌زنی میزان عدد فالینگ کاهش می‌یابد. به‌عبارت دیگر میزان فعالیت آلفا آمیلازی افزایش می‌یابد که با نتایج سایر محققان همخوانی دارد. تحقیقات نشان‌داده که فعالیت آلفا آمیلازی در طی جوانه‌زنی شدیداً افزایش می‌یابد که به واریته، روش اندازه‌گیری و فاکتورهای دیگری بستگی دارد. لوکو و بوشوک نیز افزایش ۱۶۰۰ و ۳۰۰۰ برابری برای دو رقم گندم در زمان ۵۴ ساعت جوانه‌زنی در دمای $21^{\circ}C$ مشاهده کردند. آنها هم‌چنین دریافتند که عدد فالینگ در طی جوانه‌زنی کاهش می‌یابد به‌طوری‌که در پس از ۱۸ ساعت عدد فالینگ از ۲۸۶ به ۱۷۴ ثانیه رسید و پس از ۳۵ و ۵۴ ساعت عدد فالینگ ۶۰ ثانیه به‌دست آوردند که نشان‌دهنده افزایش فوق‌العاده فعالیت آلفا آمیلازی بود(۱۷). مارش و همکاران افزایش ۲۰ برابری فعالیت آلفا آمیلازی در طی جوانه‌زنی گندم‌ها را مشاهده‌کردند که آنها دلیل این افزایش کم را به ترکیبی از کوتاه‌بودن زمان جوانه‌زنی و روش استخراج آنزیمی وابسته دانستند(۱۸). عدد فالینگ می‌تواند با میزان جوانه‌زنی متناسب باشد. سینگ و همکاران دریافتند که دمای جوانه‌زنی نسبت به‌مدت زمان خیساندن و مدت زمان جوانه‌زنی، اثر بیشتر و شاخص‌تر دارد. در همه ارقام گندم عدد فالینگ با افزایش مدت زمان خیساندن و مدت زمان جوانه‌زنی کاهش می‌یابد. آنها هم‌چنین دریافتند که با افزایش دمای جوانه‌زنی از $20^{\circ}C$ به $30^{\circ}C$ منجر به کاهش عدد فالینگ شده و افزایش بیشتر دمای جوانه‌زنی به $40^{\circ}C$ منجر به افزایش عدد فالینگ می‌شود. کاهش عدد فالینگ در طی جوانه‌زنی نشان‌دهنده تجزیه نشاسته و یا افزایش فعالیت آنزیمی است (۲۴).

ب) لیپاز

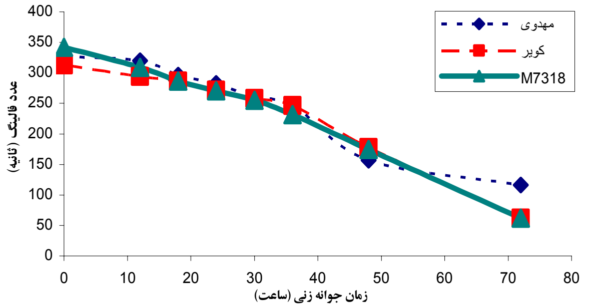
با توجه به نمودار ۳ مشخص شد که با افزایش مدت جوانه‌زنی میزان فعالیت لیپازی نیز افزایش می‌یابد. برخی از محققین برای اولین بار نشان دادند که فعالیت لیپازی در طی جوانه‌زنی گندم به‌شدت افزایش می‌یابد (۱۱). تاونر و لایدمن در بررسی‌های خود افزایش در فعالیت لیپاز و کاهش در مقدار تری‌گلیسیریدها در بافت‌های گندم در طی جوانه زنی را مشاهده کردند(۲۶). کوبیکا و همکاران نیز در تحقیقات خود روی تغییرات فعالیت لیپاز در طی جوانه‌زنی گندم و جو، دریافتند که فعالیت ویژه لیپاز افزایش می‌یابد(۱۵). فعالیت لیپاز بستگی به مراحل مختلف رسیدن دانه و میزان رطوبت دارد. هر چه دانه بیشتر برسد، فعالیت لیپاز کمتر می‌شود. مسئله قابل‌توجه این است که به محض این‌که دانه شروع به جوانه‌زدن کند، فعالیت لیپاز تشدید می‌شود زیرا چربی‌هایی که در دانه ذخیره شده‌اند، فعال شده و به‌عنوان مواد غذایی استفاده می‌گردند. علت بالا بودن مقدار لیپاز در هنگام جوانه‌زنی را می‌توان در اثر دو عامل اصلی، یکی بالا بودن فعالیت لیپاز و دوم شرایط مناسب فعل و انفعالات توجیه نمود(۳).

لیپواکسیژناز

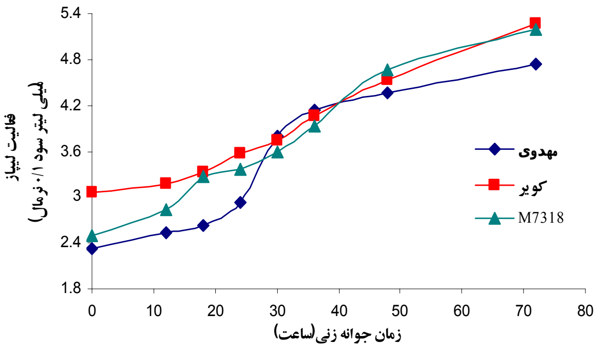
با توجه به نمودار ۴ مشخص شد که بر خلاف دو آنزیم قبلی، با افزایش مدت زمان جوانه‌زنی گندم فعالیت لیپواکسیژناز از یک روند افزایشی پیروی نمی‌کند به‌طوری که در زمان‌های بعد از ۳۶ ساعت جوانه‌زنی تا ۷۲ ساعت روند افزایشی در فعالیت آنزیم لیپواکسیژناز در هر یک از ارقام گندم به‌صورت کند تر دیده می‌شود. کوبیکا و همکاران دریافتند که در فعالیت



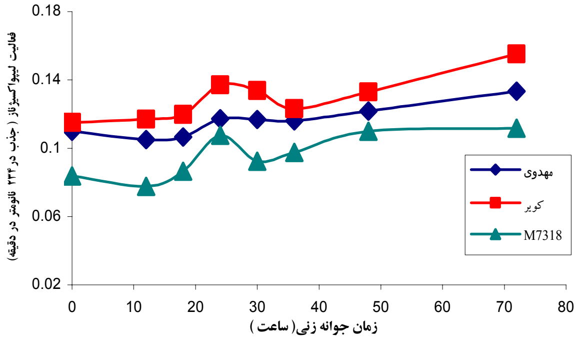
نمودار۱. تغییرات عدد فالینگ در زمان‌های مختلف جوانه‌زنی در گندم‌های مختلف(آرد کامل گندم جوانه‌زده)



نمودار۲. تغییرات عدد فالینگ آرد گندم (با افزودن یک درصد آرد گندم جوانه‌زده) در زمان‌های مختلف جوانه‌زنی



نمودار۳. تغییرات فعالیت آنزیم لیپاز در زمان‌های مختلف جوانه‌زنی در گندم‌های مختلف

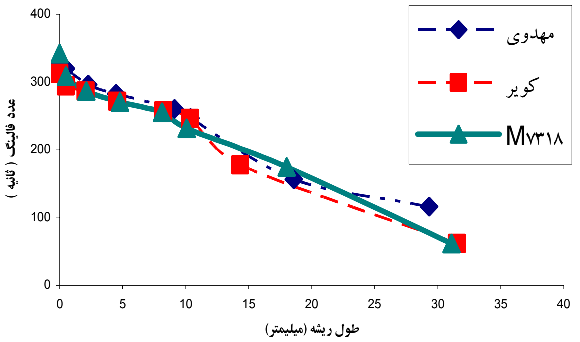


نمودار۴. تغییرات فعالیت آنزیم لیپواکسیژناز در زمان‌های مختلف جوانه‌زنی در گندم‌های مختلف

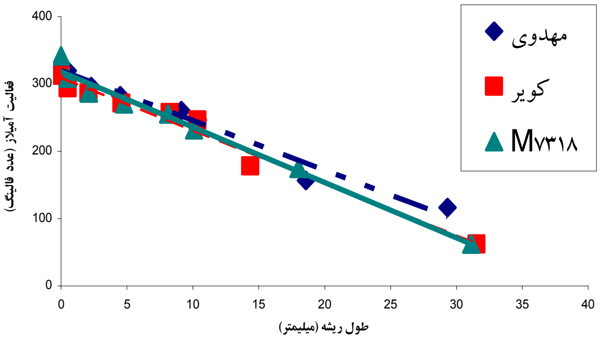
ویژه لیپواکسیژناز در طی جوانه‌زنی گندم و جو تغییراتی صورت می‌گیرد که این تغییرات از یک روند مشخصی پیروی نمی‌کرد که این موضوع با نتایج این تحقیق همخوانی دارد. لیپواکسیژنازها نقش بارزی در طی جوانه‌زنی داشته که منجر به اکسیداسیون خاص لیپیدهای ذخیره‌ای و شروع مصرف لیپیدها به‌عنوان منبع انرژی و کربن جهت رشد دانه می‌شوند. با توجه به مصرف محصولات حاصل از غلات و اهمیت افزایش ارزش تغذیه‌ای محصولات تولیدی برای مصرف انسان، می‌توان کیفیت تغذیه‌ای این گونه محصولات غذایی را از طریق جوانه‌زنی دانه‌های غلات افزایش داد. با وجود این‌که مقدار لیپیدها در دانه‌های غلات کم است، لیپازها و لیپواکسیژنازها می‌توانند اثر مهمی روی کیفیت تغذیه‌ای و ارزش غذایی گندم و جو جوانه‌زده به‌عنوان غذا داشته باشند(۱۵).

۴- ارتباط بین طول ریشه و عدد فالینگ در طی جوانه‌زنی

با توجه به این موضوع که با افزایش زمان جوانه‌زنی طول ریشه نیز افزایش می‌یابد، نمودار ۵ نشان می‌دهد که با افزایش طول ریشه فعالیت آلفاآمیلازی افزایش می‌یابد. آنالیز آماری با استفاده از رگرسیون خطی نشان‌داد که رابطه‌ی خطی منفی و معنی‌دار (P <۰/۰۰۱) بین طول ریشه و عدد فالینگ درطی جوانه‌زنی (تا ۷۲ ساعت) در ارقام مختلف گندم وجود دارد(جدول ۴). در نمودار ۶ و جدول ۴ ضرایب رگرسیونی و ضریب تبیین (R^2) بین طول ریشه و عدد فالینگ در طی جوانه‌زنی برای مهدوی، کویر و M_{7318} آورده شده است. ضریب هم‌بستگی ساده معیاری است که میزان رابطه بین متغیرها را مشخص می‌کند. در این تحقیق، بین طول ریشه و عدد فالینگ در طی جوانه‌زنی هم‌بستگی منفی و معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۱ درصد (P <۰/۰۰۱) به‌دست آمد که ضریب هم‌بستگی (r) سه رقم گندم در جدول ۴ مشاهده می‌شود.



نمودار۵. تغییرات عدد فالینگ آردها (حاوی یک درصد آرد گندم جوانه‌زده) نسبت به میانگین طول ریشه



نمودار۶. ارتباط بین عدد فالینگ آردها (حاوی یک درصد آرد گندم جوانه‌زده) نسبت به میانگین طول ریشه

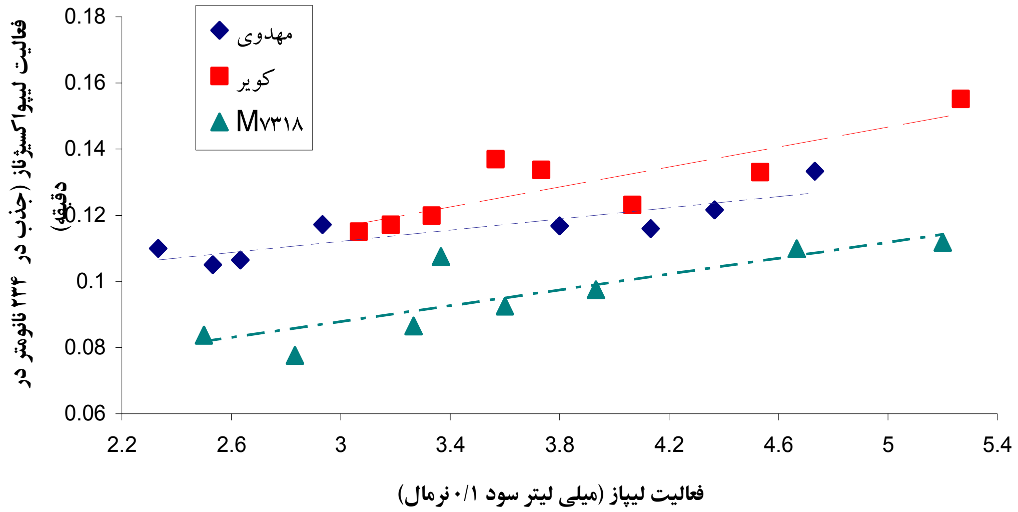
جدول۴. ضرایب رگرسیونی و ضریب همبستگی بین طول ریشه و عدد فالینگ در ساعت‌های مختلف جوانه‌زنی

ارقام گندم	ضریب رگرسیون(b_1)	عرض از مبدا(b_0)	ضریب تبیین (R^2)	ضریب همبستگی (r)
مهدوی	– ۷/۳۹۶***	۳۱۹/۷۵***	۰/۹۷	– ۰/۹۸۷***
کویر	– ۷/۸۰۱***	۳۰۸/۵***	۰/۹۷۸	– /۹۸۸***
M_{7318}	– ۸/۲۳۴***	۳۱۸/۳۷***	۰/۹۸	– ۰/۹۹۱***

***: تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۱ درصد (P< ۰/۰۰۱)

۵- ارتباط بین فعالیت لیپاز و لیپواکسیژناز در طی جوانه‌زنی

آنالیز آماری با استفاده از رگرسیون خطی نشان داد که رابطه خطی مثبت و معنی‌دار (P <۰/۰۱) بین فعالیت لیپاز و لیپواکسیژناز در طی جوانه‌زنی در ارقام مختلف گندم وجود داشت(جدول ۵ و نمودار ۷). در جدول ۴ مقادیر ضرایب رگرسیونی و ضریب تبیین (R^2) بین فعالیت این آنزیم‌ها در طی جوانه‌زنی برای مهدوی، کویر و M۷۳۱۸ آورده شده است. آزمون هم‌بستگی ساده نیز نشان داد که بین فعالیت لیپاز و لیپواکسیژناز در طی جوانه‌زنی در ارقام مختلف گندم هم‌بستگی مثبت و معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد (P <۰/۰۱) وجود دارد که ضریب هم‌بستگی (r) برای سه رقم گندم در جدول ۴ دیده می‌شود. کوبیکا و همکاران دریافتند که در طی جوانه‌زنی تغییراتی در فعالیت لیپاز و لیپواکسیژناز اتفاق می‌افتد(۱۵). با این‌حال دامنه تغییرات فعالیت آنزیمی در طی جوانه‌زنی در مورد جو از گندم بیشتر بود. بر اساس نظر آنها، در طرح شماتیکی تغییرات بیوشیمیایی تری‌گلیسیریدها، لیپواکسیژناز به‌طور خاص واکنشی که سوبسترای آن حاصل از واکنش لیپاز است، را کاتالیز می‌کند. بنابراین می‌توان فرض کرد که فعالیت ویژه این دو آنزیم باید با هم هم‌بستگی داشته باشند. آنها رابطه‌ی معنی‌داری از نظر آماری بین فعالیت لیپاز و لیپواکسیژناز در طی جوانه‌زنی گندم با ضریب هم‌بستگی (r^2) ۰/۸۱۵ به‌دست‌آوردند. درحالی‌که چنین هم‌بستگی بین این آنزیم‌ها در طی جوانه‌زنی جو مشاهده نکردند. یک فرضیه در ارتباط با عدم هم‌بستگی آماری بین فعالیت لیپاز و لیپواکسیژناز در طی جوانه‌زنی جو، می‌تواند این امر باشد که لیپواکسیژناز جو می‌تواند واکنش اکسیداسیون اسیدهای چرب غیراشباع چندگانه موجود در چربی‌های استریفیه‌شده را کاتالیزکرده و فعالیت آن به مقدار اسیدهای چربی که لیپاز آزاد می‌کند، وابسته نیست. آنها اظهارکردند که فرضیه آنها با نتایج حاصل از تحقیقات هولتمن که نشان‌داد در طی جوانه‌زنی جو شکل جدیدی از ایزوآنزیم‌های لیپواکسیژناز در جوانه به‌طور ویژه‌ای اسیدهای چرب استریفیه را کاتالیز می‌کند، همخوانی دارد(۱۵).



نمودار۷. تغییرات فعالیت لیپاز و لیپواکسیژناز و ارتباط بین فعالیت این دو آنزیم در طی جوانه‌زنی ارقام گندم

جدول۵. ضرایب رگرسیونی و ضریب همبستگی بین فعالیت لیپاز و لیپواکسیژناز در ساعت‌های مختلف جوانه‌زنی

ارقام گندم	ضریب رگرسیون(b_1)	عرض از مبدا(b_0)	ضریب تبیین (R^2)	ضریب همبستگی (r)
مهدوی	۰/۰۰۸۴۶**	۰/۰۸۶۷**	۰/۷۵	۰/۸۷**
کویر	۰/۰۱۵۱**	۰/۰۷۱۲**	۰/۷۳۶	۰/۸۵**
M7318	۰/۰۱۲**	۰/۰۵۱۸**	۰/۷۰۶	۰/۸۴**

**: تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۱ درصد ($P < ۰/۰۱$).

نتیجه‌گیری

نتایج آزمون‌های شیمیایی آرد گندم نشان داد که ارقام مورد مطالعه دارای خصوصیات متفاوتی بوده و از نظر درصد پروتئین و گلوتن رقم Mv۳۱۸ جزء آردهای ضعیف و رقم کویر و گلوتن جزء آردهای متوسط قرار می‌گیرند. همچنین نتایج نشان داد که رقم کویر از نظر درصد پروتئین و گلوتن در وضعیت بهتری نسبت به ارقام مهدوی و Mv۳۱۸ قرار دارد. نتایج آزمون عدد فالینگ نشان داد که کلیه ارقام مورد مطالعه از نظر فعالیت آلفاآمیلازی در سطح پایینی قرار داشته و عدد فالینگ آنها بسیار بالاتر از حد استاندارد بود. از این نتیجه می‌توان استنتاج کرد که نان‌های حاصل از این آرد گندم‌ها و به‌طور کلی گندم‌های تولیدی در ایران (که فعالیت آلفاآمیلازی پایینی دارند) دارای کیفیت پایینی بوده و بنابراین باید تدابیری جهت بهبود فعالیت این آنزیم صورت گیرد که یکی از این تدابیر می‌تواند استفاده از آرد گندم جوانه زده باشد که در مراحل بعدی این تحقیق به آن پرداخته شده است. با این وجود رقم کویر دارای عدد فالینگ پایین‌تری نسبت به ارقام مهدوی و Mv۳۱۸ بود، به‌عبارت دیگر دارای فعالیت آلفاآمیلازی بالاتری است، که می‌توان دریافت که نان حاصل از رقم کویر نسبت به دو رقم دیگر از کیفیت بهتری برخوردار خواهد بود. همچنین نتایج آزمون فعالیت آنزیمی نشان داد که رقم کویر فعالیت لیپازی و لیپواکسیژنازی بیشتری نسبت به ارقام مهدوی و Mv۳۱۸ دارد که می‌تواند مبین این نکته باشد که آرد رقم کویر نسبت به دو رقم دیگر به اکسیداسیون و تغییرات شیمیایی در طی نگه‌داری از حساسیت بیشتری برخوردار است. نتایج آزمون جوانه‌زنی روی ارقام گندم نشان داد که در اثر جوانه‌زنی فعالیت آنزیمی آلفاآمیلاز و لیپاز زیاد

شده و یک روند افزایشی داشتند، در صورتی‌که فعالیت آنزیمی لیپواکسیژناز از یک روند افزایشی پیروی نمی‌کرد و نیز تغییرات فعالیت لیپواکسیژناز بسیار کم بود. با توجه به نتایج مشخص می‌شود که فعالیت آلفاآمیلازی در طی جوانه‌زنی از یک از یک روند بسیار تندی برخوردار بوده و فعالیت بسیار زیادی پیدا می‌کند، از این رو می‌توان برای بهبود آردهای حاصل از گندم‌های با فعالیت آلفاآمیلازی پایین از آرد گندم‌های جوانه‌زده استفاده کرد. نتایج ارتباط بین طول ریشه و عدد فالینگ در طی جوانه‌زنی نشان داد که یک رابطه خطی منفی و معنی‌دار و نیز هم‌بستگی منفی معنی‌دار بین طول ریشه و عدد فالینگ (در حداکثر مدت جوانه‌زنی در این تحقیق که ۷۲ ساعت بود) وجود دارد و به‌دلیل این‌که هم‌بستگی بسیار زیادی بین عدد فالینگ و فعالیت آلفاآمیلازی وجود دارد، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که در طی جوانه‌زنی گندم یک هم‌بستگی مثبت و معنی‌دار بین طول ریشه و فعالیت آلفاآمیلازی وجود دارد که از این نتیجه می‌توان برای تخمین میزان فعالیت آلفاآمیلازی گندم‌ها درحال جوانه زنی بدون استفاده از دستگاه فالینگ نامبر استفاده کرد و با مشاهده میزان طول ریشه‌چه به میزان فعالیت آلفاآمیلازی پی برد. البته باید آزمایش‌های بیشتر و با فاصله زمانی‌های جوانه زنی کمتر و هم‌چنین با در نظر گرفتن طول ریشه‌چه‌های مشخص، می‌توان از این روش برای اندازه‌گیری مشاهده‌ای استفاده کرد. نتایج ارتباط بین فعالیت لیپاز و لیپواکسیژناز نشان داد که یک رابطه خطی مثبت و معنی‌داری و نیز هم‌بستگی مثبت و معنی‌داری بین فعالیت این دو آنزیم در طی جوانه‌زنی در ارقام مورد بررسی وجود دارد.

منابع مورد استفاده

۱. پایان، ر. ۱۳۷۷. *مقدمه‌ای بر تکنولوژی فراورده‌های غلات*. انتشارات نورپردازان، تهران.

۲. حجتی، م. ۱۳۸۱. تأثیر میزان فعالیت آلفا آمیلازی آرد گندم بر کیفیت نان باگت. پایان‌نامه کارشناسی ارشد صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

۳. رجب‌زاده، ن. ۱۳۵۷. *تکنولوژی غلات*. جلد اول، انتشارات مرکز پژوهش‌های غلات، تهران.

۴. رجب‌زاده، ن. ۱۳۸۳. *مبانی فناوری غلات*. جلد اول، انتشارات دانشگاه تهران.

۵. شهیدی، م. و م. حسینی‌نژاد. ۱۳۸۲. *آنزیم‌ها در صنایع غذایی (ترجمه)*. دانشگاه فردوسی مشهد.

۶. فروزان‌تبار، م. ۱۳۸۴. بررسی خصوصیات فیزیکوشیمیایی و رئولوژیکی خمیر و نان حاصل از مخلوط آرد گندم و تریتیکاله. پایان‌نامه کارشناسی ارشد صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

7. American Association of Cereal Chemists. 1983. Approved Methods of the AACC. St. Paul, MN.
8. Chavan, J. K. and S. S. Kadam. 1989. Nutritional improvement of cereals by sprouting. Crit. Rev. Food Sci. Nut. 28(5): 401-437.
9. Corder, A. M. and R.J. Henry. 1989. Carbohydrate-degrading enzymes in germinating wheat. Cereal Chem. 66(5): 435-439.
10. De Kock, S. and J. R. N. Taylor. 1999. Effect of heat treatment and particle size of different brans on loaf volume of brown bread. Lebensm. – Wiss. U. – Technol. 32: 349-456.
11. Drapron, R., N. Xuan Anu, B. Launay and A. Guilbot. 1969. Development and distribution of wheat lipase activity during the course of germination. Cereal Chem. 46: 647-655.
12. Esteve, C., C. Benedito and M. A. Martinez-Anaya. 1994. Microbial sourdoughs influence acidification properties and bread making potential of wheat dough. J. Food Sci. 59(3): 629-623.
13. Hessler, T. G., M. J. Thomon, D. Benscher, M. M. Nachit and M. E. Soorrells. 2002. Association of a lipoxygenase locus, Lpx-B1, with variation in lipoxygenase activity in durum wheat seeds. Crop Sci. 42: 1695-1700.
14. Kruger, J. E., D. R. Lineback and C. E. Stuffer. 1987. Enzymes and their role in cereal technology. AACC. St. Paul. MN.
15. Kubicka, E., J. Grabska., L. Jedrychowski and B. Czyz. 2000. Changes of specific activity of lipase and

lipoxygenase during germination of wheat and barley. Int. J. Food Sci. Nutr. 51: 301-304.
16. Leelavathi, K., R. Vetrimani and H. Rao. 1990. Change in functional characteristics of wheat during soaking and subsequent germination. J. Food Sci. Technol. 27(5): 349-354.
17. Lukow, O. M. and W. Bushuk. 1984. Influence of germination on wheat quality.I. Functional (bread making) and biochemical properties. Cereal Chem. 61(4): 336-339.
18. Marsh, J. S., D. Annuk, N. Ozsarac and D. J. Fox. 1988. The effect of weather damage on wheat enzymes. J. Sci. Food Agric.45:175-183.
19. Muralikrishna, G. and M. Nirmala. 2004. Cereal α-amylase (an overview). Carbohydrate Polym. 60: 163-173.
20. Nicolase, J., M. Autran and R. Dropan. 1982. Purification and some properties of wheat germ lipoxygenase. J. Sci. Food Agric. 33: 365-372.
21. Oconner, J., H. J. Perry and J. L. Harwood. 1992. A comparison lipase activity in various cereal grains. J. Cereal Sci. 16: 153-163.
22. Poutanen, K. 1997. Enzymes: an important tool in the improvement of the quality of cereal foods. Trends Food Sci. Technol. 8: 300-306.
23. Shiiba, K., Y. Negishi, K. Okada and S. Nagao. 1991. Purification and characterization of lipoxygenase isoenzymes form wheat germ. Cereal Chem. 68: 115-122.
24. Singh, H., N. Singh, L. Kaur and S. K. Saxena. 2001. Effect of sprouting conditions on functional and dynamic rheological properties of wheat. J. Food Eng. 47: 23-29.
25. Surrey, K. 1964. Spectrophotometric method for determination of lipoxidase activity. Plant Physiol. 39: 65-70.
26. Tohver, M., A. Kann, R. Tahl, A. Mihhalevski and J. Hakman. 2005. Quality of triticale cultivars suitable for growing and bread–making in northern conditions. Food Chem. 89: 125-132.
27. Wu, Y., P. B. Schwarz, D. C. Doehlert, L. S. Dahleen and R. D. Horsley. 1997. Rapid separation and genotypic variability of barley (*Hordeum vulgare*) lipoxygenase isoenzymes. J. Cereal Sci. 25: 49-56.