

ارزیابی برخی متغیرهای موثر بر ویژگی های اسیدی شدن خمیر ترش مایع

امین سرفراز^۱، محمد حسین عزیزی^{۲*}، زهره حمیدی اصفهانی^۳، علی ظفری^۴

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

۲- دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

۳- دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

۴- مدیر تحقیق و توسعه شرکت نان آوران سیوس، تهران.

(تاریخ دریافت: ۹۲/۲/۴ تاریخ پذیرش: ۹۲/۶/۷)

چکیده

تخمیر خمیر ترش توسط باکتری های لاکتیک اسید و مخمر نانوائی با اسیدی شدن خمیر و تولید لاکتیک اسید و استیک اسید، اثرات مهمی بر ویژگی های کیفی نان دارد. کاربرد خمیر ترش مایع در صنایع نانوائی به علت بازدهی خمیر بالاتر، سهولت انتقال و فرایند یک مرحله ای، توجه زیادی را جهت دستیابی به خصوصیات بافت و طعم دلخواه فرآورده به خود معطوف کرده است. در تحقیق حاضر، رویه سطح پاسخ به منظور بهینه سازی تخمیر خمیر ترش مایع با هدف افزایش تولید اسید به کار برده شد. مدت زمان (۱۸۷-۵/۳ ساعت)، درجه حرارت تخمیر (۳۸/۴-۲۱/۶ °C) و بازدهی خمیر (۳۵۰/۴-۲۴۹/۶) مطابق با طرح مرکب مرکزی به عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شد و اثرات آنها در خمیر ترش مایع تخمیر شده با لاکتوباسیلوس کازئی زیرگونه کازئی، لاکتوباسیلوس فرمنتوم و ساکارومایسس سرویزیه مطالعه شد. مقادیر لاکتیک اسید، استیک اسید و اسیدیته به عنوان پاسخ های اصلی در نظر گرفته شد. مدل های چند جمله ای درجه دوم به طور مناسبی اثرات متغیرها بر ویژگی های تولید اسید را پیش بینی کردند ($R^2_{adj} > 0.80$). تجزیه آماری نشان داد که تمامی پاسخ ها ارتباط معنی داری با مدت زمان و درجه حرارت تخمیر داشتند ($P < 0.01$). با افزایش مدت زمان و دمای تخمیر، تولید لاکتیک اسید، استیک اسید و اسیدیته بیشتر شد و مدت زمان تخمیر مهمترین عامل موثر بر اسیدی شدن بود. لاکتیک اسید تحت تاثیر بازدهی خمیر قرار نگرفت، اما بازدهی پایین خمیر منجر به افزایش استیک اسید و اسیدیته می گردد. شرایط بهینه برای بیشینه تولید اسید، بر اساس نمودارهای سطح پاسخ و کانتور مدت زمان تخمیر (۲۱ ساعت)، درجه حرارت (۳۸ °C) و بازدهی خمیر (DY:۳۲۵) بود.

کلید واژگان: خمیر ترش مایع، اسیدی شدن، تخمیر، بهینه سازی.

۱- مقدمه

خمیرترش هستند که بر اساس توانایی تولید اسید در خمیرترش در مدت زمان کوتاه انتخاب می گردند. شاخص های شیمیایی خمیرترش شامل pH، اسیدیته کل قابل تیترا^۴ (TTA)، میزان لاکتیک اسید و استیک اسید می باشد و نسبت مولی لاکتیک اسید به استیک اسید (ضریب تخمیر) نقش مهمی در توسعه عطر و طعم نان های تهیه شده از خمیرترش دارند. تحقیقات نشان داده است عوامل موثر بر تخمیر خمیرترش شامل نوع آرد (گندم/چاودار، درجه استحصال آرد و فعالیت آنزیمی)، نسبت آرد و آب (بازدهی خمیر^۵)، فلور میکروبی آغازگر (باکتری های لاکتیک اسید و مخمرها)، میزان آغازگر افزوده شده و متغیرهای فرایند از قبیل درجه حرارت و مدت زمان تخمیر می باشد [۲، ۹].

در سامانه خمیرترش آرد، سوبسترای لازم برای ریزسازواره های تخمیرکننده را فراهم می کند. میزان کربوهیدرات های قابل تخمیر در آرد بسته به نوع غله مورد نظر، بویژه فعالیت آنزیمی آرد حاصله، متغیر است. میزان بالای خاکستر، قدرت تورم (حفظ گاز) و ظرفیت بافنی زیاد آردهای با درجه استحصال بالا بر فعالیت ریزسازواره های موجود تاثیر دارد. به منظور تخمیر خمیرترش، خمیر را به صورت سفت و یا به شکل دوغاب آرد و آب تهیه می کنند. قوام خمیر بر عملکرد ریزسازواره ها موثر است و خمیرترش های با قوام پایین (میزان آب بیشتر) لاکتیک اسید و اتانول بیشتری تولید کرده و تخمیر با سرعت بیشتری انجام می شود و قندهای قابل تخمیر بیشتری مصرف می کنند. دمای بهینه برای رشد LAB نزدیک دمای بهینه برای تولید اسید بوده و اغلب LAB دارای دمای بهینه ۳۵-۳۰ °C هستند. با افزایش مدت زمان و دمای تخمیر میزان تولید اسید در خمیرترش افزایش می یابد [۹، ۱۰].

سرفراز و همکاران (۲۰۰۸) با بررسی ویژگی های کیفی نان های تهیه شده توسط خمیرترش تخمیر شده با انواع مایه تلقیح LAB و مخمر نانویی نشان دادند که مایه تلقیح لاکتوباسیلوس کازئی+ لاکتوباسیلوس فرمنتوم+ ساکارومایسس سرویزیه به لحاظ ویژگی های اسیدی شدن خمیرترش و عطر و طعم نان حاصله برتری نسبی داشت [۱۱]، لذا در تحقیق حاضر با ثابت فرض کردن مایه تلقیح و سوبسترای تخمیر، متغیرهای بازدهی

تخمیر توسط خمیرترش در نتیجه ساز و کار مشترک باکتری های لاکتیک اسید^۱ (LAB) و مخمرها نقش های مختلفی در انواع نان ایفا می کند. بهبود ویژگی های خمیر، بافت و عطر و طعم نان، بهبود ارزش تغذیه ای، به تاخیر انداختن بیاتی، کپک زدگی و جلوگیری از فساد طنابی از جمله مزایای کاربرد خمیرترش در تولید نان محسوب می شود. نقش LAB تولید اسید در خمیرترش بوده، در حالی که مخمرهای خمیرترش در تولید ترکیبات طعم و برای متعادل نمودن طعم نان به همراه اسیدها خیلی مهم هستند [۱، ۲]. روش های تهیه خمیرترش عبارتند از: ۱- تخمیر خود به خودی ۲- افزودن مقدار کمی از خمیرترش رسیده^۲ ۳- افزودن کشت آغازگر. همچنین خمیرترش ها بر اساس فناوری های تولید به سه دسته تقسیم می شوند: ۱) خمیرترش سنتی که زمان پر است و اغلب از فرایندهای تخمیر سه مرحله ای بدین منظور استفاده می شود. ۲) خمیرترش مایع^۳ که با تخمیر یک مرحله ای و با صرف زمان کمتر و دماهای بالاتر از ۳۰ °C حاصل می شود. ۳) پودر خمیرترش [۳].

تحقیقات متعددی در ایران در زمینه اثرات خمیرترش بر کاهش بیاتی [۴]، جلوگیری از فساد قارچی [۵]، مقایسه اثرات خمیرترش تازه و خشک بر ویژگی های حسی و بیاتی نان [۶]، تاثیر نمک طعام بر رشد لاکتوباسیل ها و فعالیت ضد میکروبی آن [۷]، اثر فرایند انجماد و خشک کردن انجمادی بر زنده مانی باکتری های لاکتیکی [۸] و ... انجام شده است. در صنایع نانویی تخمیرهای مایع بدلیل سهولت انتقال و قابلیت پمپ شونده گی مناسب بسیار مورد توجه بوده اند لیکن آنها نیاز به تولید اسید سریع تری دارند. مزیت سامانه مایع اینست که عوامل محیطی (از قبیل دسترسی به مواد مغذی) در سرتاسر این سامانه یکنواخت می باشد. در محیط مایع کنترل اسیدیته، آزادسازی آمینواسیدها و تولید ترکیبات طعمی مختلف به راحتی امکان پذیر است و می توان محصولی با اسیدیته بالاتر یا پائین تر مطابق بافت و طعم محصول نهایی مورد انتظار تولید نمود.

کشت های آغازگر برای تخمیر خمیرترش شامل کشت های خالص لیوفیلیزه LAB یا مخلوطی از LAB و مخمرهای

4. Total titrable acidity

5. Dough yield (DY): $\frac{\text{Flour} + \text{water}}{\text{Flour}} \times 100$

1. Lactic acid bacteria

2. Mature sourdough (mother sponge)

3. Liquid sourdough

۲-۲- تهیه و تخمیر نمونه های خمیر ترش

نمونه‌های خمیر ترش مایع (۵۰۰ گرم) با استفاده از مایه تلقیح لاکتوباسیلوس کازئی+ لاکتوباسیلوس فرمنتوم+ ساکارومایسس سرویزیه و سوبسترای تشکیل شده از آرد گندم تیره (۱۵۰ گرم)، آرد چاودار (۲۵ گرم)، آرد مالت (۵ گرم)، مالتوز (۲ گرم)، پودر عصاره مخمر (۲ گرم) و آب (۳۰۰ گرم) در ارلن مایر ۵۰۰ میلی‌لیتری آماده شد. آرد گندم تیره بدلیل دارا بودن قدرت بافبری بالا، آرد چاودار (دارای میزان بالای قندهای پنتوز)، آرد مالت برای افزایش فعالیت آنزیمی آلفا آمیلاز و عصاره مخمر برای حصول بیشترین بازیافت سلولی در ترکیب سوبسترا به کار رفت. مواد اولیه جهت تهیه خمیر ترش در ظروف شیشه‌ای توزین و به ارلن مایر منتقل شد. سپس اختلاط خمیر روان، درون ارلن با استفاده از قاشق پلاستیکی تا مخلوط شدن کامل انجام شد. نمونه‌ها در گرمخانه مجهز به همزن در سطوح مختلف درجه حرارت و مدت زمان مطابق با طرح آزمایشی (جدول ۲ و ۳) و سرعت هم‌زدن ۱۵۰ rpm گرمخانه‌گذاری شدند تا عمل تخمیر انجام شود [۱۷].

۲-۳- تجزیه شیمیایی

نمونه‌های ۱۰ گرمی از خمیر ترش‌های آزمون در زمان‌های مختلف تخمیر جمع‌آوری و برای تجزیه شیمیایی در 25°C منجمد گردید. قبل از انجام تجزیه شیمیایی، نمونه‌های منجمد به مدت یک شب در دمای 4°C (یخچال) یخ‌زدایی شدند. مقدار اسیدیته (TTA) به روش تیتراسیون با سود ۰/۱ نرمال تا رسیدن به pH نهایی ۸/۵ اندازه‌گیری و بر حسب میلی‌لیترهای سود ۰/۱ نرمال مصرفی بیان شد [۱۸].

دستگاه HPLC ساخت شرکت (model WATERS USA) 2487 برای اندازه‌گیری اسیدهای آلی (لاکتیک اسید و استیک اسید) به کار رفت. ستون Prontosil 120-3 C18 (Knauer,) AQ (250×46mm, dp=3μm) (Germany) برای جداسازی استفاده شد. فسفریک اسید با غلظت ۵۰ میلی‌مولار و سرعت جریان ۰/۷ میلی‌لیتر بر دقیقه به عنوان فاز متحرک استفاده شد. حجم تزریق ۲۰ میکرولیتر و جداسازی در دمای اتاق با شناسایی توسط آشکارساز UV-vis

خمیر، درجه حرارت و مدت زمان تخمیر خمیر ترش مایع با هدف تولید بیشینه اسید بهینه می‌گردد. مطالعات محدودی در زمینه کاربرد تخمیر خمیر ترش مایع در نانوائی انجام شده است و بررسی‌های بیشتری در خصوص بهینه‌سازی ترکیب محیط مایع تخمیر (آرد، مخمر و قند) و متغیرهای فرایند (سرعت هم‌زدن، دما و زمان تخمیر) مورد نیاز است [۳]. کارایی روش سطح پاسخ^۱ در پیشرفت و بهینه‌سازی تولید فراورده‌های غلات و فرایندهای مربوطه به خوبی توسط محققین مختلف ثابت شده است [۱۲-۱۵]. لذا در این تحقیق رویه سطح پاسخ برای مطالعه اثرات ترکیبی و اثرات متقابل متغیرهای مستقل درجه حرارت، مدت زمان تخمیر و بازدهی خمیر بر ویژگی‌های تولید اسید، انتخاب شد.

۲- مواد و روش‌ها

مواد شیمیایی و محیط‌های کشت مورد استفاده در این تحقیق از شرکت مرک آلمان تهیه شد.

۲-۱- آماده‌سازی مایه تلقیح

کشت‌های لیوفیلیزه LAB شامل لاکتوباسیلوس کازئی زیرگونه کازئی^۲ ATCC 9338 (باکتری هتروفرمانتاتیو اختیاری) و لاکتوباسیلوس فرمنتوم^۳ ATCC 39392 (باکتری هتروفرمانتاتیو اجباری) از مرکز کلکسیون باکتری‌ها و قارچ‌های سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران (PTCC) تهیه شد و برای حفظ زنده مانی در 80°C - به حالت منجمد نگهداری شد [۱۱]. قبل از تلقیح خمیر ترش، LAB از محیط انجمادی مایع، دو بار در محیط کشت MRS broth کشت داده شد و گرمخانه‌گذاری در دمای 30°C به مدت ۲۴ ساعت انجام شد تا سلول‌ها کاملاً فعال گردند [۱۶]. مخمر نانوائی ساکارومایسس سرویزیه^۴ (IADY) از شرکت ایران مایه تهیه شد و به میزان ۰/۰۴ گرم (10^6 CFU/g) در ترکیب نمونه‌های خمیر ترش به کار رفت. میزان مایه تلقیح باکتریایی 10^7 CFU/g خمیر ترش بود.

1. Response surface methodology
2. *L. casei subsp casei*
3. *L. fermentum*
4. Instant active dry yeast

حاصل توسط سود ۰/۵ مولار تا رسیدن به pH نهایی ۸/۵ خنثی شد. حجم مخلوط را با آب مقطر به حدود ۵۰ میلی لیتر رسانده و سپس مخلوط به منظور حذف ذرات معلق ۲ بار صاف شد (ابتدا با صافی واتمن شماره ۴۱ و سپس با صافی استات سلولزی ۰/۲۲ میکرون). از نمونه های صاف شده برای تزریق به دستگاه HPLC استفاده شد. اندازه گیری ها با ۲ تکرار انجام شدند [۲].

در طول موج ۲۰۵ نانومتر انجام گرفت. جهت حذف ذرات معلق، نمونه های ۱۰ گرمی تهیه شده ابتدا با ۶۰ میلی لیتر آب مقطر سرد همگن شده و وزن نمونه ها به ۱۰۰ گرم رسانده شد. سپس سانتریفوژ در ۴۰۰۰×g به مدت ۵ دقیقه در دمای °C ۱۵ انجام شد. ۲۰ میلی لیتر از جزء رویی برداشته و با ۵ میلی لیتر محلول Carrez I (Potassium II) و محلول Carrez II (hexaferrocyanate, 0.85 M) و محلول Zinc sulfate, 0.25 M) مخلوط شد. سپس مخلوط

جدول ۱ ویژگی های آرد های مورد استفاده برای تهیه نمونه های خمیرترش مایع

ویژگی	AACC Method	آرد گندم تیره	آرد چاودار	آرد مالت
رطوبت (درصد)	16-44	۱۳	۱۲/۵	۱۰
خاکستر (درصد)	08-01	۱/۶	۱/۷	۱/۹۵
چربی (درصد)	30-10	۱/۸	۱/۶	-
پروتئین (درصد)	46-12	۱۲/۷	۱۰/۶	۱۳/۸
گلوتن مرطوب (درصد)	10-38	۳۴	-	-
عدد فالینگ (ثانیه)	56-81	۳۱۵	۴۲۵	۱۳۳ (درجه لیبتنر)

۲۱/۶)، مدت زمان تخمیر (X_2 ، ۱۸/۷-۵/۳ ساعت) و بازدهی خمیر (X_3 ، ۳۵۰/۴-۲۴۹/۶ درصد) به عنوان متغیرهای مستقل فرایند در نظر گرفته شد (جدول ۲).

۲-۴- طراحی آزمایش و تجزیه و تحلیل آماری

به منظور بهینه سازی تخمیر خمیرترش مایع از روش آماری سطح پاسخ استفاده شد. درجه حرارت (X_1 ، °C ۳۸/۴-

جدول ۲ متغیرهای مستقل و سطوح مختلف آنها در آزمایش های بهینه سازی به روش سطح پاسخ

عامل	نماد	سطوح مختلف متغیرها				
		+۱/۶۸	+۱	۰	-۱	-۱/۶۸
درجه حرارت (°C)	X_1	۳۸/۴	۳۵	۳۰	۲۵	۲۱/۶
مدت زمان تخمیر (ساعت)	X_2	۱۸۷	۱۶	۱۲	۸	۵۳
بازدهی خمیر (درصد)	X_3	۳۵۰/۴	۳۳۰	۳۰۰	۲۷۰	۲۴۹/۶

اساس مطالعات مختلف انجام شده در زمینه تخمیر خمیرترش انتخاب گردید. نتایج آزمایش ها براساس معادله چند جمله ای درجه دوم زیر تحلیل می شود:

$$y = \beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j X_j + \sum_{j=1}^k \beta_{jj} X_j^2 + \sum_{i(j)} \sum_{i(j)} \beta_{ij} X_i X_j$$

با استفاده از طرح مرکب مرکزی^۱ (CCD)، ۱۸ آزمایش شامل ۴ آزمایش در نقطه مرکزی، تعیین شد (جدول ۳).

طرح مرکب مرکزی در ۵ سطح برای هر متغیر (۱/۶۸، ۱، ۰، -۱ و -۱/۶۸) در نظر گرفته شد [۱۹]. سطوح متغیرها بر

1. Central composite design

به منظور تجزیه و تحلیل و رسم منحنی‌های سطح پاسخ نرم‌افزار SAS 9.1, USA استفاده گردید.

در معادله ذکر شده Y پاسخ پیش بینی شده، β_0 ضریب ثابت، β_j اثر خطی، β_{ij} اثر مربعات (درجه دوم) و β_{ij} اثر متقابل متغیرها بوده و X_i و X_j متغیرهای مستقل کد شده می‌باشند.

جدول ۳ ماتریس طرح مرکب مرکزی و نتایج هر واحد آزمایشی

آزمایش	درجه حرارت (C)°	مدت زمان تخمیر (ساعت)	بازدهی خمیر (درصد)	لاکتیک اسید (mg/۱۰۰ g)	استیک اسید (mg/۱۰۰ g)	اسیدیته (میلی لیتر سود ۰/۱ نرمال مصرفی)
۱	-۱	-۱	-۱	۷۲۳/۰۲±۴۹/۸۰*	۱۳۶/۴۶±۳۱/۶۴	۱۰/۰±۰/۴
۲	-۱	-۱	+۱	۴۰۷/۲۲±۲۶/۵۳	۸۷/۷۴±۸/۰۶	۷/۵±۰/۳
۳	-۱	+۱	-۱	۹۲۲/۶۵±۰/۰۸	۱۵۷/۹۶±۱/۲۹	۱۶/۰±۰/۱
۴	-۱	+۱	+۱	۹۴۴/۳۲±۲۲/۴۶	۱۷۱/۱۴±۵/۸۰	۱۳/۵±۰/۲
۵	+۱	-۱	-۱	۷۱۳/۱۴±۵۷/۷۴	۱۱۸/۴۰±۸/۸۰	۱۱/۰±۰/۶
۶	+۱	-۱	+۱	۵۹۲/۰۷±۱۶/۵۹	۱۰۰/۷۴±۹/۷۶	۷/۵±۰/۲
۷	+۱	+۱	-۱	۱۲۱۵/۷۱±۱۶۷/۵۳	۲۱۸/۹۶±۲۷/۸۹	۱۸/۰±۱/۰
۸	+۱	+۱	+۱	۱۲۷۶/۶۷±۲۳/۴۰	۱۱۴/۵۹±۱۲/۷۴	۱۶/۰±۰/۲
۹	-۱/۶۸	۰	۰	۲۲۲/۵۵±۳۳/۰۴	۴۰/۴۷±۵/۷۸	۵/۱±۰/۲
۱۰	+۱/۶۸	۰	۰	۱۰۳۴±۴۶/۷۲	۱۲۷/۱۳±۲/۳۲	۱۴/۵±۰/۲
۱۱	۰	-۱/۶۸	۰	۱۴۵/۷۷±۲۴/۰۳	۴۷/۷۳±۸/۳۹	۶/۰±۰/۲
۱۲	۰	+۱/۶۸	۰	۸۱۷/۴۵±۲۴/۲۵	۹۴/۵۴±۳/۴۷	۱۶/۰±۰/۲
۱۳	۰	۰	-۱/۶۸	۹۳۴/۷۳±۵۵/۱۴	۱۵۸/۸۴±۳۸/۴۰	۱۳/۵±۰/۳
۱۴	۰	۰	+۱/۶۸	۸۲۲/۳۹±۷۳/۹۴	۱۶۸/۴۰±۲۰/۷۹	۱۱/۵±۰/۴
۱۵	۰	۰	۰	۷۹۱/۴۳±۶۷/۸۲	۱۲۸/۹۴±۹/۷۶	۱۲/۰±۰/۳
۱۶	۰	۰	۰	۶۳۸/۸۸±۱۵/۲۹	۱۳۵/۵۲±۳/۵۰	۱۱/۵±۰/۲
۱۷	۰	۰	۰	۶۵۳/۳۳±۱۶/۱۴	۱۳۵/۷۸±۵/۹۶	۱۱/۵±۰/۲
۱۸	۰	۰	۰	۸۰۹/۳۴±۴۲/۳۸	۱۱۸/۷۳±۸/۰۷	۱۲/۰±۰/۲

* اعداد جدول بصورت انحراف استاندارد \pm میانگین درج شده است.

۳- نتایج و بحث

شد. نتایج تجزیه واریانس مدل های رگرسیون لاکتیک اسید، استیک اسید و اسیدیته (جدول ۴) نشان می دهد که مدل های مذکور با ضرایب همبستگی به ترتیب ۸۸/۷۰، ۸۹/۴۸ و ۹۰/۶۴ همگی معنی دار بوده و با نتایج آزمایش ها به خوبی برازش داده شده اند.

جدول ۵ ضرایب رگرسیون و مقادیر P را برای پاسخ های مختلف نشان می دهد. مقادیر بالای ضریب تبیین R^2 و $R^2_{Adjusted}$ بیانگر قدرت بالای مدل در پیش بینی می باشد.

نتایج بدست آمده از آزمون های شیمیایی آرد گندم، آرد چاودار و آرد مالت [۲۰] در جدول ۱ ارائه شده است. هدف از انجام آزمایش های بهینه سازی، بدست آوردن یک مدل ریاضی برای پیش بینی رفتار فرآیند می باشد. با استفاده از روش آماری سطح پاسخ، برای هر پاسخ اندازه گیری شده (لاکتیک اسید، استیک اسید و اسیدیته) یک معادله درجه دوم محاسبه

جدول ۴ تجزیه واریانس مدل چند جمله ای برای تولید لاکتیک اسید، استیک اسید و اسیدیته

پاسخ	منبع	مجموع مربعات	میانگین مربعات	درجه آزادی	ارزش F	ارزش P
لاکتیک اسید	مدل	۳۱۰۰۴۳۷	۳۴۴۴۹۳	۹	۱۵/۶۹۹۷۹	**/۰۰۰۱
	خطی	۲۸۹۰۹۱۹	۹۶۳۶۳۹/۷	۳	۴۳/۹۱۶۵۴	**/۰۰۰۱
	مربعی	۱۴۸۳۷۹/۷	۴۹۴۵۹/۸۹	۳	۲/۲۵۴۰۶۶	۰/۱۱۶۹۴۹
	اثر متقابل	۶۱۱۳۸/۴۵	۲۰۳۷۹/۴۸	۳	۰/۹۲۸۷۶۷	۰/۴۴۷۰۵۴
استیک اسید	مدل	۶۷۰۶۵/۷۴	۷۴۵۱/۷۴۹	۹	۱۷/۰۰۲۹۸	**/۰۰۰۱
	خطی	۵۰۶۲۳/۷۶	۱۶۸۷۴/۵۹	۳	۳۸/۵۰۳۴۸	**/۰۰۰۱
	مربعی	۱۳۳۸۸/۲۶	۴۴۶۲/۷۵۳	۳	۱۰/۱۸۲۸۶	**/۰۰۰۳۸۱
	اثر متقابل	۳۰۵۳/۷۲۹	۱۰۱۷/۹۱	۳	۲/۳۲۲۶۰۹	۰/۱۰۹۴۲۴
اسیدیته	مدل	۳۵۲/۹۶	۳۹/۲۱۷۷۸	۹	۱۹/۳۷۵۱۴	**/۰۰۰۱
	خطی	۳۳۲/۵۰۴۷	۱۱۰/۸۳۴۹	۳	۵۴/۷۵۶۸۶	**/۰۰۰۱
	مربعی	۱۴/۷۲۵۵۶	۴/۹۰۸۵۲۱	۳	۲/۴۲۵۰۰۵	۰/۰۹۹۱۳۹
	اثر متقابل	۵/۷۲۹۷۲۷	۱/۹۰۹۹۰۹	۳	۰/۹۴۳۵۷۱	۰/۴۴۰۳۰۹

** معنی دار در سطح $P < 0.01$

جدول ۵ ضرایب رگرسیون مدل های چند جمله ای برای پاسخ لاکتیک اسید، استیک اسید و اسیدیته

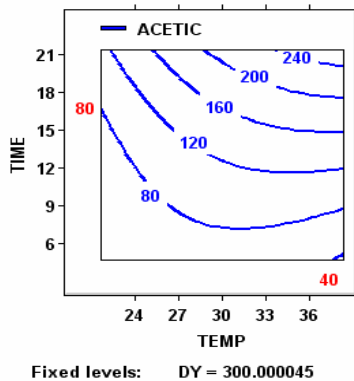
ضریب	لاکتیک اسید		استیک اسید		اسیدیته	
	پاسخ	احتمال P	پاسخ	احتمال P	پاسخ	احتمال P
\hat{a}_1	۱۷۳/۸۳	**/۰۰۰۱	۲۱/۱۷۸۸	**/۰۰۰۱	۱/۷۶۴۲	**/۰۰۰۱
\hat{a}_2	۳۲۴/۶۲	**/۰۰۰۱	۴۳/۸۶۳۷	**/۰۰۰۱	۳/۳۲۰۲	**/۰۰۰۱
\hat{a}_3	-۲۴/۵۶	۰/۴۳۱۵	۰/۱۹۵۰	۰/۹۶۴۴	-۰/۸۱۱۳	**/۰۰۱۲۷
\hat{a}_{12}	۵۱/۱۳	۰/۲۴۸۴	۱۴/۳۶۵۱	* /۰۰۲۹۱	۰/۵۳۰۴	۰/۲۱۴
\hat{a}_{13}	۲۱/۴۳	۰/۶۱۹۵	-۰/۳۱۳۵	۰/۹۵۸۸	-۰/۳۴۷۴	۰/۴۰۵۰
\hat{a}_{23}	۵۹/۷۷	۰/۱۸۰۲	۱۰/۰۷۴۷	۰/۱۱۳۶	۰/۲۸۰۴	۰/۵۰۴۵
\hat{a}_{11}	-۶۷/۹۴	۰/۰۶۷۱	-۹/۱۰۸۸	۰/۰۸۱۱	-۰/۴۹۹۹	۰/۱۵۲۹
\hat{a}_{22}	۵/۵۱	۰/۸۸۳۵	-۵/۱۴۰۶	۰/۳۳۹۴	۰/۰۵۷۱	۰/۸۷۴۲
\hat{a}_{33}	۲۰/۴۲	۰/۵۶۵۴	۱۹/۱۰۳	**/۰۰۰۱۱	۰/۴۵۴۷	۰/۱۹۱۴
R^2	۸۸/۷۰		۸۹/۴۸		۹۰/۶۴	
R^2 - adjusted	۸۸/۰۵		۸۴/۲۱		۸۵/۹۷	

* معنی دار در سطح $P < 0.05$ و ** معنی دار در سطح $P < 0.01$

برای استیک اسید معنی دار بودند. بنابراین با حذف برخی عوامل که معنی دار نبود، معادلات زیر برای مقادیر کد شده لاکتیک اسید، استیک اسید و اسیدیته در خمیرترش مایع فراهم شد.

در بین اثرات خطی به استثنای بازدهی خمیر، اثر خطی سایر عوامل (درجه حرارت و مدت زمان تخمیر) بر غلظت لاکتیک اسید، استیک اسید و اسیدیته معنی دار نبود ($P < 0.01$). همچنین اثر درجه دوم بازدهی خمیر ($P < 0.01$) و اثر متقابل درجه حرارت- مدت زمان ($P < 0.05$)، در مدل بدست آمده

حرارت و مدت زمان تخمیر، تولید استیک اسید افزایش می‌یابد و در شرایط ثابت نقطه مرکزی بازدهی خمیرترش، بیشترین مقدار استیک اسید در محدوده دمای 38°C – 34°C و زمان ۲۰–۱۸ ساعت حاصل می‌شود. با افزایش دمای تخمیر به بالاتر از 38°C تولید استیک اسید کمتر شده و به حداقل می‌رسد. مدل پیش‌بینی در سطح احتمال ۹۵ درصد برای استیک اسید نشان داد مدت زمان تخمیر تاثیر بیشتری در مقایسه با درجه حرارت تخمیر بر تولید استیک اسید دارد. استیک اسید کمتر تحت تاثیر بازدهی خمیر قرار گرفت.



شکل ۲ نمودار کانتور تاثیر سطوح مختلف درجه حرارت و مدت زمان تخمیر بر مقدار استیک اسید در شرایط بازدهی خمیر ثابت

۳-۳- مقدار اسیدیته

شکل ۳ تاثیر سطوح مختلف درجه حرارت و مدت زمان تخمیر بر مقدار اسیدیته در شرایط بازدهی خمیر ثابت در خمیرترش مایع را نشان می‌دهد. طبق نمودار با افزایش درجه حرارت و مدت زمان تخمیر مقدار اسیدیته افزایش می‌یابد و بیشترین میزان اسیدیته در محدوده دمای 38°C – 32°C و زمان ۲۰–۱۸ ساعت حاصل می‌شود. مدل پیش‌بینی در سطح احتمال ۹۵ درصد برای اسیدیته نشان داد که تاثیر مدت زمان تخمیر بر اسیدیته بیشتر از تاثیر دمای تخمیر بوده و با افزایش بازدهی خمیر، اسیدیته کاهش یافته و خمیرترش‌های با بازدهی خمیر پایین، اسیدته بیشتری داشتند. اثر مثبت درجه حرارت تخمیر بر پیشرفت اسیدیته خمیرترش در کارهای دیگر نیز گزارش شده است [۱۳، ۱۶، ۱۷]. تولید قابل توجه اسیدهای آلی تنها با ترکیبی از مدت زمان تخمیر طولانی (بالاتر از ۱۶ ساعت) و دماهای تخمیر بالا (بیشتر از 32°C) بدست می‌آید [۱۲].

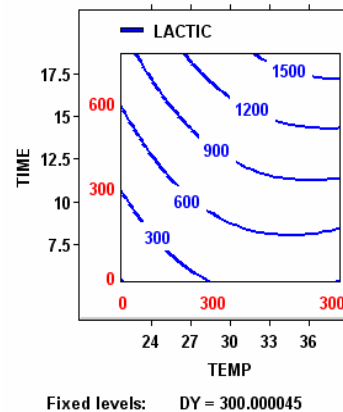
$$\text{Lactiacid}=857.5475-173.829X_1+324.617X_2$$

$$\text{Aceticacid}=123.660+21.178X_1+43.8637X_2+0.19505X_3-9.1088X_{11}+5.14055X_{22}+19.1029X_{33}+14.3650X_{12}-0.3134X_{13}+10.0746X_{23}$$

$$\text{Acidity}=17568+1.7642X_1+3.320X_2-0.811X_3$$

۳-۱- تولید لاکتیک اسید

شکل ۱ تاثیر سطوح مختلف درجه حرارت و مدت زمان تخمیر بر مقدار لاکتیک اسید در شرایط بازدهی خمیر ثابت در خمیرترش مایع را نشان می‌دهد. طبق نمودار با افزایش درجه حرارت و مدت زمان تخمیر، تولید لاکتیک اسید افزایش می‌یابد و بیشترین مقدار لاکتیک اسید در محدوده دمای 38°C – 35°C و مدت زمان ۲۰–۱۸ ساعت بدست می‌آید. مقدار لاکتیک اسید تحت تاثیر بازدهی خمیر قرار نگیرد. مدل پیش‌بینی در سطح احتمال ۹۵ درصد برای لاکتیک اسید نشان داد که مدت زمان تخمیر بیشترین تاثیر را بر تولید لاکتیک اسید دارد. نشان داده شده است که با افزایش دمای تخمیر در نتیجه تولید بالای لاکتیک اسید میزان اسیدیته کل خمیرترش افزایش می‌یابد که با نتایج این مطالعه مطابقت دارد [۱۷].



شکل ۱ نمودار کانتور تاثیر سطوح مختلف درجه حرارت و مدت زمان تخمیر بر مقدار لاکتیک اسید در شرایط بازدهی خمیر ثابت

۳-۲- تولید استیک اسید

شکل ۲ تاثیر سطوح مختلف درجه حرارت و مدت زمان تخمیر بر مقدار استیک اسید در شرایط بازدهی خمیر ثابت در خمیرترش مایع را نشان می‌دهد. طبق نمودار با افزایش درجه

بازدهی خمیر قرار نمی‌گیرد در حالیکه عموماً در خمیرترش‌های مایع استیک اسید کمتری تولید می‌شود [۲۲]. این یافته‌ها در مقدار لاکتیک اسید و اسیدیته با نتایج تحقیق حاضر هماهنگی دارد.

۴- نتیجه گیری

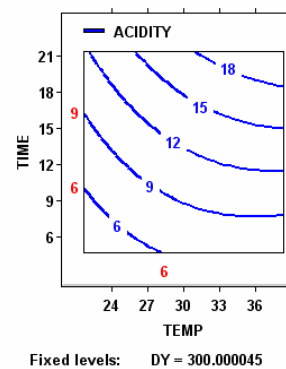
با استفاده از روش سطح پاسخ متغیرهای موثر در تخمیر خمیرترش مایع با هدف بیشترین مقدار تولید اسیدهای آلی بهینه‌سازی شد. مدل‌های رگرسیون بخوبی توانستند اثرات درجه حرارت، مدت زمان تخمیر و بازدهی خمیر بر تولید لاکتیک اسید، استیک اسید و اسیدیته را نشان داده و پیش بینی کنند. با انجام تخمیر در شرایط بهینه دمای 38°C ، مدت زمان ۲۱ ساعت و بازدهی خمیر ۳۲۵ بیشترین مقادیر لاکتیک اسید ($1770\text{mg}/100\text{g}$)، استیک اسید ($290\text{mg}/100\text{g}$) و اسیدیته (20ml) در خمیرترش مایع فراهم شد.

۵- سپاسگزاری

از حمایت های مادی و معنوی شرکت نان‌آوران سبوس و مرکز رشد سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران در اجرای این طرح تشکر و قدردانی می‌شود.

۵- منابع

- [1] Kulp K, Lorenz K. Handbook of Dough fermentations: CRC; 2003.
- [2] Robert H, Gabriel V, Lefebvre D, Rabier P, Vayssier Y, Fontagné-Faucher C. Study of the behaviour of *Lactobacillus plantarum* and *Leuconostoc* starters during a complete wheat sourdough breadmaking process. LWT-Food Science and Technology. 2006;39(3):256-65.
- [3] Carnevali P, Ciati R, Leporati A, Paese M. Liquid sourdough fermentation: industrial application perspectives. Food microbiology. 2007;24(2):150-4.
- [4] Sadeghi A, Shahidi F, Mortazavi A, Nasiri M, Kochaki A. Sourdough Effect on Reduction of Barbari Bread Staling. JWSS - Isfahan University of Technology. 2009;13:37-46..
- [5] Khorasanchi N, Peighamardoust SH, Tafti AG, Hejazi MA, Rafat SA. Evaluating the



شکل ۳ نمودار کانتور تاثیر سطوح مختلف درجه حرارت و مدت زمان تخمیر بر مقدار اسیدیته در شرایط بازدهی خمیر ثابت کتینا و همکاران (۲۰۰۴) گزارش کردند به طور کلی با افزایش درجه حرارت، مدت زمان تخمیر و مقدار خاکستر آرد، تشکیل اسیدیته (pH, TTA و میزان اسیدهای آلی) در خمیرترش‌ها افزایش یافت و مهمترین عامل موثر بر اسیدیته مدت زمان تخمیر بود. اثرات متقابل مدت زمان و درجه حرارت تخمیر در تخمیرهای مختلف خمیرترش نشان داد که برای کاهش موثر pH زمان تخمیر طولانی و دماهای تخمیر بالا ضروری است. بالاترین میزان TTA در خمیرترش‌های تخمیر شده با مدت زمان تخمیر ۱۸ ساعت، درجه حرارت 32°C و میزان خاکستر آرد 17.2% یافت شد [۱۲]. این یافته‌ها با نتایج تحقیق حاضر هماهنگی دارد. تاثیر مسلم میزان خاکستر آرد، مدت زمان و درجه حرارت تخمیر بر مقدار اسیدیته به خوبی توسط محققان ثابت شده است [۱۵، ۲۱-۲۳]. مارتینز-آنایا و همکاران نشان دادند درجه حرارت و بازدهی خمیر نقش کمتری در کنترل تولید اسید داشتند، اما افزایش آنها عموماً تاثیر آرد را بیشتر می‌کند [۲۱]. کارنوالی و همکاران (۲۰۰۶) با بررسی متابولیست های اولیه و متابولیست های ثانویه در خمیرترش مایع نشان دادند متغیرهای فرایند از جمله درجه حرارت تخمیر ($30-37^{\circ}\text{C}$) و هوادهی ملایم محیط تاثیر چندانی در روند تخمیر نداشت. در عوض ترکیب آرد، تعداد سلول‌های آغازگر برای تخمیر و مدت زمان تخمیر متغیرهای اصلی برای کنترل تخمیر بهینه بودند [۳]. میزان اسیدهای تولید شده در خمیرترش با افزایش دمای تخمیر در نتیجه تولید بالای لاکتیک اسید افزایش می‌یابد. در حالیکه تولید استیک اسید تنها به مقدار ناچیزی تحت تاثیر دما قرار می‌گیرد و بر مبنای قانون کلی مقدار استیک اسید در خمیرترش سرد در مقایسه با خمیرترش گرم‌تر بالاتر است تولید لاکتیک اسید تحت تاثیر

- [14] Clarke C, Schober T, Angst E, Arendt E. Use of response surface methodology to investigate the effects of processing conditions on sourdough wheat bread quality. *European Food Research and Technology*. 2003;217(1):23-33.
- [15] Simonson L, Salovaara H, Korhola M. Response of wheat sourdough parameters to temperature, NaCl and sucrose variations. *Food microbiology*. 2003;20(2):193-9.
- [16] Esteve CC, Barber CB, Martinez-anaya MA. Microbial sour doughs influence acidification properties and breadmaking potential of wheat dough. *Journal of food science*. 2006;59(3):629-33.
- [17] Gelinas P, Lachance O, Audet J. Flavorants for enhancing the taste and flavor of bakery products and process of making. Google Patents; 1992.
- [18] Paramithiotis S, Chouliaras Y, Tsakalidou E, Kalantzopoulos G. Application of selected starter cultures for the production of wheat sourdough bread using a traditional three-stage procedure. *Process Biochemistry*. 2005;40(8):2813-9.
- [19] Haaland PD. Experimental design in biotechnology. 1989.
- [20] St. Paul M. AACC. Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists. The American Association of Cereal Chemists Inc. 2000;10th ed.
- [21] Martínez-Anaya M, Benedito de Barber C, Collar Esteve C. Effect of processing conditions on acidification properties of wheat sour doughs. *International journal of food microbiology*. 1994;22(4):249-55.
- [22] Katina K. Sourdough: a tool for the improved flavour, texture and shelf-life of wheat bread: VTT Technical Research Centre of Finland; 2005.
- [23] Salovaara H, Valjakka T. The effect of fermentation temperature, flour type, and starter on the properties of sour wheat bread. *International journal of food science & technology*. 1987;22(6):591-7.
- ability of liquid sourdough containing *L. plantarum* and *L. reuteri* starters in inhibition of bread mold spoilage. *Journal of food research, University of Tabriz*. 2012;21(3):391-400.
- [6] Peyghambaroust SH, Golshan TA, Khorasanchi N, Hejazi M, Rafat S. Comparing the effects of fresh and dried sourdough on the sensory characteristics and staling of pan bread. *Journal of food research, University of Tabriz*. 2010.
- [7] Alizadeh S, Jamalifar H, Samadi N, Eaidi A, Fazeli M. Effect of sodium chloride on the kinetics of growth and antimicrobial potential of *Lactobacilli* isolated from Iranian traditional sourdough. *Iranian Journal of Nutrition Sciences & Food Technology*. 2010;5(3):47-56.
- [8] Khorasanchi N, Peighambaroust SH, Hejazi M, Raafat S. Effect of Freez-drying process on the survival of sourdough lactic acid bacteria. *Journal of food research, University of Tabriz*. 2011.
- [9] Hui YH, Meunier-Goddik L, Hansen AS, Josephsen J, Nip WK, Stanfield PS, et al. *Handbook of food and beverage fermentation technology*: CRC; 2004.
- [10] Decock P, Cappelle S. Bread technology and sourdough technology. *Trends in food science & technology*. 2005;16(1):113-20.
- [11] Sarfaraz A, Azizi M, Hamidi Esfahani Z, Torshizi K, Zafari A. Interaction between lactic acid bacteria and baker's yeast in liquid sourdough fermentation. *Iranian Journal of Nutrition Sciences & Food Technology*. 2008;3(2):73-80.
- [12] Kati K, Kaisa P, Karin A. Influence and interactions of processing conditions and starter culture on formation of acids, volatile compounds, and amino acids in wheat sourdoughs. *Cereal chemistry*. 2004;81(5):598-610.
- [13] Javanainen P, Linko YY. Factors affecting rye sour dough fermentation with mixed-culture pre-ferment of lactic and propionic acid bacteria. *Journal of Cereal Science*. 1993;18(2):171-85.

Evaluation of some variables affecting the acidification characteristics of liquid sourdough

Sarfaraz, A¹, Azizi, M. H.^{2*}, Hamidi Esfahani, Z³, Zafari, A⁴

1. M.Sc. graduate in Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran.
2. Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran.
3. Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran.
4. R& D Manager of Nanavarar Saboos Company, Tehran

(Received: 92/2/4 Accepted: 92/6/7)

Sourdough fermentation by lactic acid bacteria and baker's yeast with acidification of dough and producing lactic acid and acetic acid has significant effects on quality characteristics of bread. Application of liquid sourdough in bakery industry has attracted much attention due to higher dough yield, ease of transition and one-step process in order to achieve desired texture and flavor characteristics in final product. In the research, Response surface liquid methodology was used to optimize sourdough fermentation for increased acidification. Fermentation time (5.3- 18.7 hrs.), temperature (21.6- 38.4 °C), and dough yield (249.6- 350.4) were considered as independent factors according to central composite design and their effects were studied in liquid sourdoughs fermented with *Lactobacillus casei subsp casei*, *Lactobacillus fermentum* and *Saccharomyces cerevisiae*. lactic acid and acetic acid contents and total titrable acidity (TTA) were considered as the main responses. The second order polynomial models satisfactory predicted the effects of variables on acidification properties ($R^2_{adj} > 0.80$). Statistical analysis showed that all the responses were significantly ($P < 0.01$) correlated to fermentation time and temperature. Increase in fermentation time and temperature was associated with an increase in lactic acid, acetic acid and TTA and fermentation time was the most affecting factor on acidification. Lactic acid was not affected by dough yield but the lower dough yield caused in high acetic acid content and acidity. Based on response surface and contour plots, the optimum conditions for maximum acidification were: fermentation time (21 hrs.), temperature (38°C) and dough yield (DY: 325).

Key words: Liquid sourdough, acidification, fermentation, optimization.

* Corresponding Author E-Mail Address: azizit_m@modares.ac.ir