

اثر سوش، مقدار تلقيق و فیزیولوژی پروبیوتیک‌ها و pH نهایی تخمیر روی کاهش مقدار آفلاتوکسین M₁ آزاد در دوغ

زهرا سرلک^۱، میلاد روحی لنگرودی^۲، رضا محمدی^۳، سید امیر محمد مرتضویان^۴، رامین خاکسار^۵

- ۱- دانشجوی کارشناسی ارشد علوم و صنایع غذایی، دانشکده تغذیه و علوم صنایع غذایی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران
- ۲- دانشجوی دکتری تخصصی مهندسی علوم و صنایع غذایی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران
- ۳- دانشجوی دکتری علوم و صنایع غذایی، دانشکده تغذیه و علوم صنایع غذایی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران
- ۴- نویسنده مسئول؛ دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده علوم تغذیه و صنایع غذایی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران
پست الکترونیکی: mortazvn@sbmu.ac.ir
- ۵- دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده علوم تغذیه و صنایع غذایی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: 92/9/10

تاریخ دریافت: 92/7/10

چکیده

سابقه و هدف: یکی از مهمترین آلودگی‌های دوغ در ایران، آفلاتوکسین M₁ است. در این پژوهش، در طراحی یکی در هر زمان، اثر متغیرهای نوع گونه (لاكتوباسیلوس اسیدوفیلوس، لاكتوباسیلوس رامنوسوس، لاكتوباسیلوس کازئی و بیفیدوباکتریوم بیفیدوم)، مقدار تلقيق (7 و 9 log cfu/ml) و زنده یا مرده بودن باکتری‌های پروبیوتیک و همچنین pH نهایی تخمیر (4/2 و 4/5) روی کاهش آفلاتوکسین M₁ آزاد طی تخمیر و نگهداری یخچالی (5°C) در دوغ بررسی شد.

مواد و روش‌ها: شیر مورد استفاده برای تولید دوغ از راه بازسازی بود. شیر بی جربی با ماده خشک 4% ساخته شد و پس از افزودن نمک کلرید سدیم (0/07%) و آلوده سازی با 0/500 ppb آفلاتوکسین M₁ تحت فرآیند گرمایی قرار گرفت. بعد از تلقيق کشت استارتراهی مختلف، نمونه‌ها در گرمانه تا رسیدن به pH نهایی موردنظر قرار گرفتند. برای استخراج و اندازه‌گیری مقدار آفلاتوکسین M₁ آزاد، به ترتیب از ستون ایمونوافینیتی و دستگاه HPLC با دکتور فلورسانس استفاده شد. همچنین تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم افزار آماری SPSS انجام شد.

یافته‌ها: تیمار حاوی L-اسیدوفیلوس (AY-7-A-4.2) نسبت به سوش‌های پروبیوتیک دیگر بیشترین کاهش آفلاتوکسین M₁ آزاد را طی تخمیر و نگهداری یخچالی داشت. کاهش آفلاتوکسین M₁ به وسیله تیمار L-اسیدوفیلوس با مقدار تلقيق 9 log cfu/ml نسبت به 7 log cfu/ml آزاد بود. طور معنی‌داری بیشتر بود ولی این مقدار کاهش نسبت به مقدار تلقيق صرفه اقتصادی نداشت. تیمار حاوی L-اسیدوفیلوس کشته شده، در روز اول نگهداری، به طور معنی‌داری آفلاتوکسین M₁ آزاد بیشتری را باند کرد. با این وجود، پروبیوتیک‌های زنده در تیمار AY-7-A-4.2 در روزهای 14 و 28 نگهداری، آفلاتوکسین M₁ آزاد را بیشتر کاهش دادند. همچنین تیمار با pH نهایی تخمیر بالاتر (4/5) نسبت به تیمار با pH نهایی 4/2 در روزهای 14 و 28 نگهداری، به طور معنی‌داری آفلاتوکسین M₁ آزاد بیشتری را کاهش داد.

نتیجه گیری: L-اسیدوفیلوس بصورت زنده، در مقدار تلقيق 7 log cfu/ml و در pH نهایی تخمیر 4/5 بهترین شرایط را برای کاهش آفلاتوکسین M₁ آزاد طی نگهداری یخچالی داشت و از نظر اقتصادی، مقرر به صرفه بود.

واژگان کلیدی: آفلاتوکسین M₁، دوغ، فیزیولوژی، پروبیوتیک

• مقدمه

تخمیری سالم و سلامت بخش سبب شده است که به عنوان نوشیدنی ملی ایران پذیرفته شود (۱).

در کشور ما در میان محصولات لبنی تخمیری، دوغ مورد توجه خاص قرار گرفته است. مقبولیت دوغ نه فقط به عنوان فراورده‌ای با ویژگی‌های حسی مطلوب که به عنوان نوشیدنی

شود (10). در حال حاضر، فرضیه‌ای وجود دارد که اظهار می‌کند می‌توان آفلاتوکسین‌ها را در غذاهای مصرفی بوسیله باند کردن با ترکیبات دیواره میکرووار گانیسم‌های پروبیوتیک کاهش داد. مطالعات در محلول‌های بافر و شیر نشان داده است که نوع گونه پروبیوتیک، مقدار تلقيق، pH، زنده یا مرده بودن باکتری‌های پروبیوتیک، غلظت آفلاتوکسین، مقدار ماده خشک، حضور یون‌ها، زمان و دمای انکوباسیون و دوره نگهداری یخچالی و ... از عواملی هستند که احتمالاً می‌توانند توانایی باند کردن پروبیوتیک‌ها با آفلاتوکسین را تحت تأثیر قرار دهند (8). با این وجود، تاکنون تحقیقاتی مبنی بر کاهش آفلاتوکسین M_1 در دوغ به وسیله پروبیوتیک‌ها انجام نشده است. امکان سنجی کاهش میزان آفلاتوکسین آزاد در دوغ به وسیله باکتری‌های پروبیوتیک نه تنها یک روش بی‌ضرر و عملی است که در نهایت منجر به عدم جذب آفلاتوکسین باند شده در بدن می‌شود (12، 11)؛ بلکه مصرف فرآورده‌های پروبیوتیک به عنوان غذاهای فراویژه نیز اهمیت خاصی از نظر ارتقاء سلامت انسان دارد.

در این پژوهش، به ترتیب در چهار مرحله، اثر متغیرهای نوع گونه (L. اسیدوفیلوس، L. رامنوسوس، L. کازئی و B. بیفیدوم)، مقدار تلقيق (7 و 9 log cfu/ml) و زنده یا مرده بودن باکتری‌های پروبیوتیک و همچنین pH نهایی تخمیر (4/2 و 4/5) روی کاهش 0/500 ppb آفلاتوکسین M_1 طی تخمیر و نگهداری یخچالی (5°C) در دوغ بررسی شد.

• مواد و روش‌ها

روش تولید نمونه‌ها (طرح آزمایش): این پژوهش به روش "یک عامل در هر زمان" و در چهار مرحله طراحی شد. در مرحله اول، شیر مورد استفاده برای تولید دوغ از راه بازسازی پودر شیر بی‌چربی ساخته شد (ماده خشک 4%) و پس از افزودن نمک طعام (7%) و آلدوده‌سازی با آفلاتوکسین M_1 (0/500 ppb)، مورد فرایند گرمایی (90°C) به مدت 15 دقیقه) قرار گرفت. پس از سرد کردن نمونه‌ها تا دمای تلقيق، کشت استارتراهای سنتی ماست به شیر بازسازی شده افزوده شد. سپس کشت یکی از گونه‌های متفاوت پروبیوتیک (L. رامنوسوس HN001 از شرکت دنیسکو دانمارک، L. کازئی L26 از شرکت DSM استرالیا، L. اسیدوفیلوس LA-5 و B. بیفیدوم BB-12؛ هردو تهیه شده از شرکت کریستین هنسن دانمارک) تا رسیدن به جمعیت 7 log cfu/ml مطابق با دستورالعمل شرکت سازنده، تلقيق شد. نمونه‌های فقد

یکی از مهمترین آلدگی‌های دوغ، آفلاتوکسین می‌باشد (3). آفلاتوکسین‌ها از جمله متدائل ترین مایکوتوكسین‌هایی هستند که مطالعات بسیار گسترده‌ای روی آن‌ها انجام گرفته است. آفلاتوکسین‌ها به وسیله گونه‌های آسپرژیلوس فلاووس، آسپرژیلوس پارازیتیکوس و آسپرژیلوس نومیوس تولید می‌شوند و اثرات سمی آن‌ها شامل سرطان زایی، جهش زایی، ناقص الخلقه زایی و هپاتوتوكسیک است (4). زمانی که آفلاتوکسین‌های B_1 و B_2 همراه با غذا توسط گاو شیری بلع می‌شود، بعد از 12 ساعت، بخشی از آفلاتوکسین در کبد حیوان به وسیله سیستم آنزیمی سیتوکروم P450 هیدروکسیله شده و به صورت آفلاتوکسین M_1 و M_2 به داخل شیر می‌ترسح می‌شود (5). این ترکیبات، نسبت به مولکول‌های مادر، سمیت کمتری دارند ولی به علت مصرف زیاد شیر گاو توسط کودکان و افراد آسیب‌پذیر جامعه، اهمیت کاهش یا حذف آن‌ها افزایش می‌یابد. آفلاتوکسین M_1 سمیت بیشتری نسبت به آفلاتوکسین M_2 دارد و به دمای پاستوریزاسیون، استریلیزاسیون و دیگر روش‌های فرآوری حرارتی مقاومت نشان می‌دهد، بنابراین در دمای متعارف فرآوری، مقدار آن تغییر نمی‌کند (4). سازمان غذا و داروی ایالات متحده آمریکا و اتحادیه اروپا مقدار بیشینه آن را در محصولات لبنی به ترتیب 0/5 و 0/05 ppb تعیین کرده‌اند (6). همچنین در کشورمان، مقدار بیشینه آفلاتوکسین M_1 در دوغ توسط مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران 0/1 ppb تعیین شده است. (8). مصرف بیش از حد آن، به دلیل اثرات سرطان زایی، سرکوب فعالیت سیستم ایمنی بدن و کاهش رشد بدن به طور بالقوه برای سلامتی انسان به ویژه کودکان و نوزادان مخاطره‌انگیز است (4). بنابراین با توجه به پتانسیل ایجاد خطر به وسیله آفلاتوکسین‌ها، باید تلاش‌های گسترده‌ای برای کاهش یا در صورت امکان، حذف آلدگی از مواد غذایی صورت گیرد. بکارگیری بسیاری از روش‌های فیزیکی (مانند اتوکلاؤ کردن، استفاده از ماسکروویو، اشعه گاما و اشعه UV) و شیمیایی (مانند تیمار غذایی دام آلدوده به آفلاتوکسین با آمونیاک و تیمار مواد غذایی با سدیم بی‌سولفات و هیدروکسید کلسیم) مورد استفاده برای سم زدایی از محصولات غذایی آلدوده به آفلاتوکسین، به دلیل مشکلات ایمنی، کاهش احتمالی مواد مغذی، کارایی محدود و پر هزینه بودن، محدودیت دارند (9). این امر، منجر به تحقیق بیشتر پیرامون راهکارهای دیگری مانند عوامل زیستی می-

شستشو شده و در دمای اتاق خشک شد. ۱ ml استونیتریل از ستون ایمونوافینیتی عبور داده شد. این عمل، آنتی ژن را از آنتی بادی جدا کرد. این عصاره را در لوله آزمایش جمع آوری و لوله‌ها در خشک کن تحت خلاً قرار گرفت تا عصاره به دست آمده در دمای 50°C کاملاً خشک شود. برای انحلال مجدد عصاره خشک شده، از $1\text{ }\mu\text{l}$ ۵۰۰ استونیتریل 25% (فاز متحرک) استفاده شد و برای انحلال بهتر عصاره (Digital ultrasonic Cleaner) خشک شده از سونیکیتور (Digital ultrasonic Cleaner) استفاده شد و سپس با استفاده از ورتكس، انحلال کامل صورت گرفت. نمونه آماده تزریق به HPLC در ویال نگهداری شد (۱۷، ۱۶).

اندازه‌گیری آفلاتوکسین M_1 آزاد با HPLC: ۲۰۰ میکرولیتر از عصاره حل شده در فاز متحرک (استونیتریل HPLC System: Waters) $\times 25\%$ ، به دستگاه HPLC (Waters 2475 Fluorescence Detector) و فاز Chromolith Performance RP-18 endcapped معکوس (Wavelength ۳۶۰ nm) و طول موج نشر (Excitation ۴۳۵ nm) بوده و حد تشخیص این روش ۰/۰۰۳ بود (۱۷، ۱۶).

تجزیه و تحلیل آماری: این پژوهش، با روش "یک عامل در هر زمان" و در ۴ مرحله تحلیل واریانس یک طرفه برای تکرار انجام شدند. همچنین تحلیل واریانس یک طرفه برای تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها و آزمون دانکن (در سطح معنی‌داری ۰/۰۵) برای یافتن تفاوت معنی‌دار میان میانگین داده‌ها با استفاده از نرم افزار SPSS16 انجام شد.

• یافته‌ها

آنالیز آفلاتوکسین M_1 شیر خشک مصرفی در این مطالعه، آلوهه نبودن آن را به آفلاتوکسین تأیید کرد. همچنین حرارت دادن شیر بازسازی شده آلوهه به $0/5\text{ ppb}$ آفلاتوکسین M_1 به مدت 15 min در دمای 90°C برای تولید دوغ، تأثیری بر کاهش مقدار آفلاتوکسین آزاد نداشت ($P>0/05$). شکل ۱ و جدول ۱ به ترتیب مقدار آفلاتوکسین آزاد و درصد کاهش (درصد باند شدن) آفلاتوکسین آزاد در نمونه‌های دوغ طی نگهداری پیچچالی را نشان می‌دهند. در مرحله اول، تیمار اول /اسیدوفیلوس به طور معنی‌داری بهترین

میکروارگانیسم‌های پروبیوتیک نیز به عنوان شاهد میکروبی، منظور شدند. تمامی نمونه‌ها در لیوان‌های پلاستیکی $\text{pH}=4/2$ بسته‌بندی شده و در دمای 40°C تا رسیدن به 15°C گرمخانه‌گذاری شدند. اندازه گیری pH هر نیم ساعت طی تخمیر انجام شد. سپس نمونه‌ها از گرمخانه خارج شده و طی دو مرحله سرد شدند (ابتدا به سرعت تا 15°C و سپس تا 5°C). در این مرحله، تیمار مناسب از نظر نوع گونه پروبیوتیک انتخاب شد. در مرحله دوم، کشت گونه مناسب پروبیوتیک (حاصل از مرحله اول) تا رسیدن به جمعیت‌های متفاوت ($7\log \text{cfu/ml}$) تلقیح شد و در این مرحله، جمعیت مناسب پروبیوتیک انتخاب شد. در مرحله سوم، کشت گونه مناسب پروبیوتیک (حاصل از مرحله اول) به مقدار جمعیت مناسب آن (حاصل از مرحله دوم) تحت فرآیند حرارتی (90°C به مدت ۱۵ دقیقه) قرار گرفت و پروبیوتیک‌های زنده به مرده (تیمار شده گرمایی) تبدیل شد. سپس این پروبیوتیک‌های مرده به شیر باز ساخته تلقیح شد. در این مرحله، تیمار مناسب از نظر زنده یا مرده بودن پروبیوتیک، انتخاب شد. در مرحله چهارم، تمامی نمونه‌ها در دمای 40°C تا رسیدن به $\text{pH}=4/5$ گرمخانه‌گذاری شدند و در این مرحله، اثر pH نهایی تخمیر بر مقدار کاهش آفلاتوکسین توسط پروبیوتیک‌ها مورد بررسی قرار گرفت. اسم هر تیمار از ۴ بخش تشکیل شده است که به ترتیب، نوع استارتر (Y=استارترهای سنتی ماست، A=L. اسیدوفیلوس، R=L. رامنوسوس، C=L. کازائی، B=B. بیفیدوم)، مقدار تلقیح پروبیوتیک، زنده (A) یا مرده (D) بودن پروبیوتیک و pH نهایی تخمیر را نشان می‌دهند.

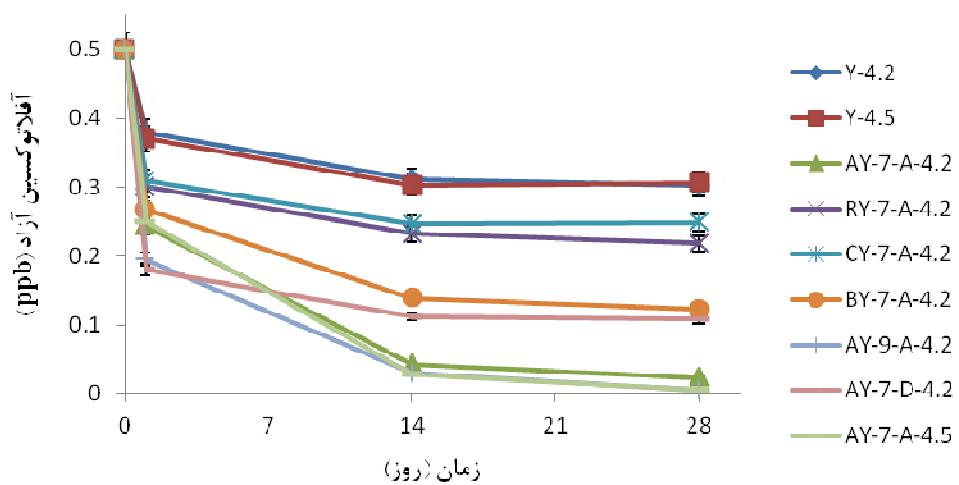
اندازه‌گیری pH: pH نمونه‌ها طی تخمیر با استفاده از pH متر اندازه‌گیری شد. پیش از اندازه‌گیری pH، pH بافرهای استاندارد ($\text{pH}7$ و $\text{pH}4$) کالیبره شد.

اندازه‌گیری قابلیت زیستی پروبیوتیک‌ها: شمارش زنده پروبیوتیک‌ها با استفاده از محیط کشت MRS-bile آغاز انجام شد (۱۳-۱۵). پلیت‌ها در شرایط هوایی و بیهوایی (برای باکتری‌های بیفیدوباکتریوم) در دمای 37°C به مدت زمان حداقل ۷۲ ساعت گرمخانه‌گذاری شدند. شرایط بیهوایی با کاربرد جار بیهوایی و گازپک تیپ A ایجاد شد. استخراج آفلاتوکسین M_1 آزاد: نمونه‌ها در فالکون به مدت 10 min در 3000 g سانتریفیوز شدند و 10 ml از محلول شفاف رویی از ستون ایمونوافینیتی عبور داده شد. سپس ستون ایمونوافینیتی با استفاده از 10 ml PBS

(P<0/05). همچنین در مرحله چهارم این مطالعه، مقایسه تیمار AY-7-A-4.2 (تیمار مناسب از مرحله اول، دوم و سوم) با تیمار AY-7-A-4.5 در باند شدن با آفلاتوکسین_{M1} نشان داد که در روز اول نگهداری، اختلافی در باند شدن آفلاتوکسین نداشتند (P>0/05) ولی تیمار AY-7-A-4.5 در روزهای 14 و 28 نگهداری یخچالی به طور معنی داری مقدار آفلاتوکسین آزاد را بیشتر کاهش داد (P<0/05). با توجه به شکل 1 و جدول 1، دو تیمار شاهد Y-4.2 (تیمار شاهد در مرحله اول، دوم و سوم) و Y-4.5 (تیمار شاهد در مرحله چهارم) نیز به طور معنی داری در کاهش مقدار آفلاتوکسین آزاد مؤثر بودند (P<0/05). با این وجود، پتانسیل سهم زدایی تیمارهای شاهد (بدون پروبیوتیک) از تیمارهای حاوی بروبیوتک کمتر بود.

باند کننده آفلاتوکسین بود ($P<0.05$). همچنین در مرحله دوم این مطالعه، مقایسه بین کاهش مقدار آفلاتوکسین M_1 و بین دو تیمار AY-7-A-4.2 (تیمار مناسب مرحله اول) و AY-9-A-4.2 (تیمار نشان داد که کاهش مقدار آفلاتوکسین آزاد با افزایش مقدار تلقیح به طور معنی داری افزایش می یابد ($P<0.05$). ولی به علت مقرون به صرفه نبودن، تیمار AY-9-A-4.2 در این مرحله به عنوان تیمار مناسب انتخاب نشد.

در مرحله سوم این مطالعه، داده ها در شکل 1 و جدول 1 نشان می دهند که در روز اول نگهداری یخچالی، کاهش مقدار آفلاتوکسین M_1 به وسیله تیمار AY-7-D-4.2 بیشتر از AY-7-A-4.2 (تیمار مناسب مرحله اول و دوم) بوده ولی در روزهای 14 و 28 نگهداری یخچالی، کاهش مقدار آفلاتوکسین به وسیله تیمار AY-7-A-4.2 بیشتر بود.



شکل ۱. تغییرات مقدار آفلاتوکسین آزاد (ppb) موجود در نمونه‌های دوغ طی نگهداری یخچالی

(Y) استارت ترهای سنتی ماست، A=L. اسیدوفیلوس، R=L. رامنوسوس، C=L. کازتئی، B=B. بیفیدوم، 7 یا 9= مقدار تلچیق باکتری های پروبیوتیک (log cfu/ml)، A=باکتری های پروبیوتیک تلچیق شده بصورت زنده، D=باکتری های پروبیوتیک تلچیق شده بصورت مرده و 4.2 یا 4.5 pH نهایی تخمیر / منظور از صفر، قبل از تخمیر و نگهداری یخچالی است و مقدار آن، آفلاتوکسین آزادی است که به شیر افزوده شده است. مقدار سایر روزهای نگهداری یخچالی، آفلاتوکسین آزاد موجود (اندازه گیری شده) در نمونه ها را نشان می دهدند).

جدول ۱. مقدار کاهش (مقدار باند شدن) آفلاتوکسین آزاد (%) در نمونه‌های دوغ طی نگهداری یخچالی*

روز 28		روز 14		روز 1		تیمارها**
0-28	14-28	0-14	1-14	0-1		
39/6	1/8	37/8	13/6	24/2	Y-4.2	مرحله اول
95/2	3/8	91/4	40/2	51/2	AY-7-A-4.2	
56/4	2/8	53/6	13/8	39/8	RY-7-A-4.2	
50/2	***-0/4	50/6	12/6	38/0	CY-7-A-4.2	
75/4	3/2	72/2	25/6	46/6	BY-7-A-4.2	
99/0	5/0	94/0	33/0	61/0	AY-9-A-4.2	مرحله دوم
78/4	0/8	77/6	13/6	64/0	AY-7-D-4.2	مرحله سوم
38/6	-0/8	39/4	13/4	26/0	Y-4.5	مرحله چهارم
98/8	4/4	94/4	44/4	50/0	AY-7-A-4.5	

* منظور از روز صفر، زمان قبل از تخمیر و نگهداری یخچالی است و مقادیر آن، آفلاتوکسین آزادی است که به شیر افزوده شده است. مقادیر سایر روزهای نگهداری یخچالی، آفلاتوکسین آزاد موجود (اندازه‌گیری شده) در نمونه‌ها را نشان می‌دهند.

** = استارت‌رهای سنتی ماست، A=L. رامنوسوس، C=R. اسیدوفیلوس، B=L. کارئی، 7 یا 9 = مقدار تلقیح باکتری‌های پروبیوتیک (log cfu/ml)، A=Y = استارت‌رهای پروبیوتیک تلقیح شده بصورت زنده، D=باکتری‌های پروبیوتیک تلقیح شده بصورت مرده و pH=4.5 یا 4.2 pH نهایی تخمیر.

*** علامت منفی (-) افزایش مقدار آفلاتوکسین آزاد در نمونه‌ها است.

• بحث

LC-705 نسبت به لاکتوباسیلوس رامنوسوس GG به علت تخمیر سریع‌تر آن است (23).

در مرحله دوم این مطالعه، مقایسه بین کاهش مقدار آفلاتوکسین₁ M₁ آزاد بین دو تیمار AY-9- AY-7-A-4.2 و A-4.2 نشان داد که کاهش مقدار آفلاتوکسین با افزایش مقدار تلقیح پروبیوتیک‌ها به طور معنی‌داری افزایش می‌یابد (P<0/05). همچنان که مطابق پژوهش Kabak و Var (2018) توانایی پیوند با آفلاتوکسین₁ M₁ به وسیله باکتری‌های پروبیوتیک لاکتوباسیلوس و بیفیدوباکتریوم در مقدار 10⁸ در محیط PBS، با توجه به مقدار آلودگی و مدت زمان گرمخانه‌گذاری، بین 10/22-26/65 درصد متغیر بود. در حالیکه توانایی پیوند این باکتری‌ها با آفلاتوکسین₁ M₁ در مقدار 10⁷ cfu/ml با کاهش قابل ملاحظه‌ای به محدوده 0-5/2 رسید (10). مطالعات El-Nezami و همکاران نیز نشان داد که طور تقریبی جمعیت 2×10⁹ cfu/ml برای پیوند آفلاتوکسین₁ B₁ لازم است (24). همچنین Line و Brackett نشان دادند که حداقل 1×10⁹ cfu/ml سلول زنده برای پیوند مؤثر آفلاتوکسین₁ B₁ ضروری است (25). در این مطالعه، با توجه به شکل ۱ و جدول ۱ مشاهده می‌شود که

حرارت دادن شیر بازسازی شده آلوده به 0/5 ppb آفلاتوکسین₁ M₁ به مدت 15 min در دمای 90°C برای تولید دوغ، تأثیری بر کاهش مقدار آفلاتوکسین آزاد نداشت (P>0/05). مطالعات مختلف نیز پایداری آفلاتوکسین‌ها را در فرآیندهای پاستوریزاسیون و استریلیزاسیون ثابت کردند (18-20).

مطابق با شکل ۱ و جدول ۱، در مرحله اول این مطالعه مشاهده شد که نوع گونه پروبیوتیک در کاهش مقدار آفلاتوکسین₁ M₁ آزاد تأثیر معنی‌دار دارد (P<0/05). به طوری که در این مطالعه، تیمار L. اسیدوفیلوس به طور معنی‌داری بهترین باند کننده آفلاتوکسین بود (P<0/05). محققین بسیاری گزارش کرده اند که اختلاف در توانایی باند کردن گونه‌های مختلف پروبیوتیک به تفاوت گلیکوپروتئین‌ها و پلی ساکاریدهای دیواره سلولی آن‌ها مربوط است (22، 21، 10). بعضی از محققین نیز قدرت تخمیر سریع‌تر بک گونه را نسبت به سایر گونه‌ها در کاهش بیشتر مقدار آفلاتوکسین آزاد مؤثر می‌دانند. به طوری که Pierides و همکاران اعلام کردند که توانایی باند شدن بیشتر آفلاتوکسین₁ M₁ به وسیله لاکتوباسیلوس رامنوسوس

معنی داری آفلاتوكسین M_1 را بيشتر از پروبيوتيك زنده کاهش می دهد ($P<0.05$), ولی پروبيوتيك های زنده همزمان با رشدشان در روزهای 14 و 28 نگهداري يخچالي در تيمار AY-7-A-4.2, لشه اي از پروبيوتيك های مرده را نيز طي نگهداري يخچالي به وجود می آورند. بنابراین وجود تعداد بيشتر سلول زنده و مرده در محیط، تيمار AY-7-A-4.2 را از تيمار AY-7-D-4.2 در روزهای 14 و 28 نگهداري يخچالي در کاهش آفلاتوكسین M_1 مناسب تر می کند ($P<0.05$).

در مرحله چهارم اين مطالعه، مقاييسه تيمار AY-7-A-4.2 (تيمار مناسب مرحله اول، دوم و سوم) با تيمار AY-7-A-4.5 در باند شدن با آفلاتوكسین M_1 آزاد نشان داد که در روز اول نگهداري، اختلافی در باند شدن با آفلاتوكسین نداشتند ($P>0.05$) ولی تيمار AY-7-A-4.5 در روزهای 14 و 28 نگهداري يخچالي به طور معنی داری مقدار آفلاتوكسین را بيشتر کاهش داد ($P<0.05$). اين در حالی است که Govaris و همكاران اعلام كردند که سطح آفلاتوكسین پس از تخمير در ماست معمولی (غير پروبويتك) با $pH=4/0$ به طور معنی داری کمتر از ماست با $pH=4/6$ است و کاهش بيشتر مقدار آفلاتوكسین را در ماست با pH کمتر به توليد اسيد لاكتيك و ترکيبات اسيدي بيشتر مربوط داشتند (28). احتمالاً در تيمار AY-7-A-4.5 به علت بالا بودن pH نهايی تخمير، پروبويتك ها طی تخمير قبل از رسیدن به مرحله سكون و در مرحله رشد به $pH=4/5$ می رسد و طی نگهداري يخچالي فعالتر بوده و قابلیت زیستی بيشتری دارند. اين جمعیت بالاتر در $pH=4/5$, در نتیجه رشد بيشتر طی نگهداري، علاوه بر پروبويتك های زنده، پروبويتك های مرده بيشتری را نيز نسبت به $pH=4/2$ در پی دارد و در نهايیت به طور معنی داری به کاهش آفلاتوكسین بيشتر می انجامد.

همان طور که مشاهده شد با تغيير pH نهايی تخمير به 4/5 می توان باند شدن آفلاتوكسین را به 98% رساند. پس می توان با تغيير اين فاكتور به جاي افزایش تلقيح پروبويتك ها به نتایج مشابهی رسیده که مقرون به صرفه است.

با توجه به شكل 1 و جدول 1، دو تيمار شاهد 4.2-Y (تيمار شاهد در مرحله اول، دوم و سوم) و 4.5-Y (تيمار شاهد در مرحله چهارم)، نيز به طور معنی داری در کاهش مقدار آفلاتوكسین آزاد مؤثر بودند. کاهش آفلاتوكسین در اين تيمارها به دو دليل است؛ اولًا در مقاليتی به نقش تخمير

اگرچه در صد تلقيح بالاتر، سطح آفلاتوكسین را بيشتر کاهش می دهد اما به عنوان تيمار مناسب انتخاب نمی شود. زيرا با AY-9-A-4.2 و AY-7-A-4.2 درصد کاهش آفلاتوكسین طی 28 روز نگهداري به ترتيب 95/2% و 99% بود، بنابراین با صد برابر كردن تلقيح پروبويتك، ميزان کاهش آفلاتوكسین M_1 صد برابر نمی شود. به عبارت ديگر، هر سلول پروبويتك در تلقيح $\log 7$ به طور نسبی بازدهي بيشتری در کاهش آفلاتوكسین M_1 نسبت به هر سلول پروبويتك در تلقيح $\log 9$ دارد. همچنان از نظر صنعتی، در تلقيح $\log 7$ cfu/ml تلقيح پروبويتك را می توان نسبت به $\log 9$ توليد کرد. بنابراین صد برابر كردن تلقيح پروبويتك، فقط 3/8% مقدار آفلاتوكسین M_1 آزاد را بيشتر کاهش می دهد و مقرون به صرفه نیست. بنابراین می توان با انتخاب متغيرهای مستقل ديگر که با صرفه تر هستند (مثلًاً در اين مطالعه، افزایش pH نهایی تخمير از 4/2 به 4/5)، اين 3/8% کاهش بيشتر را جبران کرد.

در مرحله سوم اين مطالعه، داده ها در شكل 1 و جدول 1 نشان می دهند که در روز اول نگهداري يخچالي، کاهش مقدار آفلاتوكسین M_1 آزاد به وسیله تيمار AY-7-D-4.2 بيشتر از AY-7-A-4.2 ولی در روزهای 14 و 28 نگهداري يخچالي کاهش مقدار آفلاتوكسین آزاد به وسیله تيمار AY-7-A-4.2 بيشتر بود ($P<0.05$). بنابراین زنده بودن پروبويتك ها، عاملی ضروري برای کاهش آفلاتوكسین M_1 نیست. احتمالاً چون منظور از کاهش آفلاتوكسین آزاد، باند شدن با پلي ساکاريدها و پپتيدوگلیکان دیواره سلولی پروبويتك ها است و سم زدایی متابوليک وجود ندارد، بنابراین پروبويتك ها علیرغم کشته شدن نيز قابلیت باند شدن را از دست نمی دهند. همان طور که Kabak و Var به نداشتند اختلاف معنی دار بین باكتري های زنده و تيمار شده گرمابي در باند شدن با آفلاتوكسین M_1 اشاره داشته اند (10). از طرفی، بعضی مطالعات نشان داده اند که تيمار گرمابي سلول های باكتري ها توانایي باند شدن را از طريق واکنش ميلارد بين پلي ساکاريدها و پپتيدها و پروتئين ها افزایش می دهد (27)، یا اينکه احتمالاً گرما دادن با افزایش سايز منافذ لایه پپتيدوگلیکان سطح باكتري به افزایش باند کردن کمک می کند. همان طور که داده های اين مطالعه نشان داد، اگرچه پروبويتك مرده، آفلاتوكسین را باند می کند و در روز اول نگهداري يخچالي به طور

آفلاتوکسین M_1 با تغییر چهار متغیر نوع گونه پروبیوتیک، مقدار تلقيق پروبیوتیک، زنده یا مرده بودن پروبیوتیک‌ها و pH نهایی تخمیر تغییر می‌کند ($P<0.05$). تیمار AY-7-A-4.5 با کمترین هزینه پروبیوتیک و بیشترین مقدار کاهش آفلاتوکسین M_1 آزاد، از نظر سلامت‌بخشی و اقتصادی، بهترین تیمار شناخته شد.

سپاسگزاری

بدینوسیله از همکاری بسیار ارزشمند جناب آقای دکتر محمد حسین شجاعی علی آبادی و اعضای محترم آزمایشگاه "علوم حیاتی فاروق" صمیمانه تشکر می‌شود. این مقاله از پایان‌نامه دانشجویی مقطع کارشناسی ارشد دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی استخراج شده است.

در کاهش آفلاتوکسین اشاره شده است (30). بطوریکه کاهش pH طی تخمیر، سبب تغییر ساختمان پروتئین‌های شیر مانند کازئین و تشکیل لخته ماست می‌شود. تغییر ساختمان کازئین طی تولید ماست ممکن است در ایجاد پیوند آفلاتوکسین با این پروتئین تأثیر گذاشته و منجر به جذب یا اختباس توکسین در لخته شود. در مقابل، Van Egmond و همکاران به افزایش بیشتر آفلاتوکسین طی تخمیر اشاره داشته‌اند (18). ثانیاً استارتراهای ماست همانند پروبیوتیک‌ها، آفلاتوکسین را باند می‌کنند. Kuplulu و Sarimehmetoglu استارتراهای ماست در کاهش آفلاتوکسین مؤثrend (31). به طور کلی نتایج این مطالعه نشان داد که پروبیوتیک‌ها و فاکتور دوغ در کاهش مقدار آفلاتوکسین آزاد تأثیر معنی‌دار دارند و طی تخمیر و طی دوره نگهداری یخچالی سطح

• References

- Institute of Standards and Industrial Research of Iran, Doogh-Specifications and test method. ISIRI no 2453. 2nd revision, Karaj: ISIRI; 2006.
- Tabari M, Tabari KH, Tabari O. Occurrence of aflatoxin M_1 in pasteurized doogh commercialized in Tehran, Iran. Aust. J. Basic Appl. Sci. 2011;5(12):1734-7.
- Fallah A, Rahnama M, Jafari T, Saei-Dehkordi S. Seasonal variation of aflatoxin M_1 contamination in industrial and traditional Iranian dairy products. Food Control. 2011;22:1653-6.
- Jay JM. Modern food microbiology, editor. Aspen Publishers Inc. 2000.
- Fallah AA, Jafari T, Fallah A, Rahnama M. Determination of aflatoxin M_1 levels in Iranian white and cream cheese. Food Chem. Toxicol. 2009;47(8):1872-5.
- US FDA. Sec.527.400 whole milk, low fat milk, skim milk-aflatoxin M_1 (CPG 7106.210). FDA compliance policy guides. FDA, Washington, DC. 1996; p. 219.
- The Commission of the European Communities. Commission regulation (EC) No 1525/98 of 16 July 1998 amending Regulation (EC) No 194/97 of 31 January 1997 setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs. Off. J. Eur. 1998; Communities 201:43-6.
- Arab M, Sohravandi S, Mortazavian AM, Mohammadi R, Rezaei-Tavirani M. Reduction of aflatoxin in fermented milks during production and storage. J. Toxicol., Toxin Rev. 2012;31(3-4):44-53.
- Piva G, Galvano F, Pietri A, Piva A. Detoxification methods of aflatoxins. Nutr. Res. 1995;15(5):767-76.
- Kabak B, Var I. Factors affecting the removal of aflatoxin M_1 from food model by Lactobacillus and Bifidobacterium strains. J. Environ. Sci. Health, Part B. 2008;43(7):617-24.
- El-Nezami H, Mykkanen H, Kankaanpaa P, Suomalainen T, Salminen S, Ahokas J. Ability of mixture of Lactobacillus and Propionibacterium to influence the faecal aflatoxin content in healthy Egyptian volunteers: a pilot clinical study. Biosci. Microflora. 2000;19:41-5.
- Kankaanpaa P, Tuomola E, El-Nezami H, Ahokas J, Salminen S. Binding of aflatoxin B_1 alters the adhesion properties of Lactobacillus rhamnosus strain GG in a Caco-2 model. J. Food Prot. 2000;63:412-4.
- Mortazavian AM, Ehsani MR, Mousavi SM, Sohravandi S, Reinheimer J. Effect of refrigerated storage temperature on the viability of probiotic microorganism in yogurt. Int. J. Dairy Technol. 2009;17:123-7.
- Mortazavian AM, Ehsani MR, Sohravandi S and Reinheimer. MRS-bile agar: Its suitability for the enumeration of mixed probiotic cultures in cultured dairy products. Michwissenschaft. 2007; 62(3):270-2.
- Sohrvandi S, Mortazavian AM, Dolatkhahnejad MR and Monfared A. Suitability of MRS-bile agar for the selective enumeration of mixed probiotic bacteria in presence of mesophilic lactic acid

- cultures and yoghurt bacteria. Iran. J. Biotech. 2012;10(1):16-21.
16. Institute of Standards and Industrial Research of Iran, Milk and dried milk determination of aflatoxin M₁ content. ISIRI no 4925. Karaj:ISIRI;1996.
 17. BS EN ISO 14501. Milk and milk powder. Determination of aflatoxin M₁ content. clean-up by immunoaffinity chromatography and determination by high performance liquid chromatography;2007.
 18. Van Egmond HP, Paulsch WE, Veringa HA, Schuller PL. The effect of processing on the aflatoxin M₁ content of milk and milk products. Arch. Inst. Pasteur.1977;4:381-90.
 19. Wiseman DW, Marth EH. Behavior of aflatoxin M₁ in yoghurt, buttermilk and kefir. J. Food Prot. 1983;46:115-8.
 20. Yousef AE , Marth EH. Stability and degradation of aflatoxin M₁. Mycotoxins in Dairy Products, edited by H.P. van Egmond (NEW York: Elsevier). 1989; pp. 127-61.
 21. Peltonen KD, El-Nezami HS, Salminen SJ, Ahokas JT. Binding of aflatoxin B₁ by probiotic bacteria. J. Sci. Food Agric. 2000;80(13):1942-5.
 22. Hernandez-Mendoza A, Garcia HS, Steele JL. Screening of *lactobacillus casei* strains for their ability to bind aflatoxin B₁. Food Chem. Toxicol. 2009;47: 1064-8.
 23. Pierides M, El-Nezami HS, Peltonen KD, Salminen SJ, Ahokas JT. Ability of dairy strains of lactic acid bacteria to bind aflatoxin M₁ in a food model. J. Food Prot. 2000;63(5):645-50.
 24. El-Nezami, Kankaanpaa P, Salminen S, Ahokas J. Ability of Dairy strains of lactic acid bacteria to bind a common food carcinogen, aflatoxin B₁. Food Chem. Toxicol. 1998;36:321-6.
 25. Line JE, Brackett RE. Factors affecting aflatoxin B₁ removal by *Flavobacterium aurantiacum*. J. Food Prot. 1995;58:91-4.
 26. El-Nezami HS, Chrevatidis A, Auriola S, Salminen S, Mykkanen H. Removal of common Fusarium toxins in vitro by strains of *Lactobacillus* and *Propionibacterium*. Food Addit. Contam. 2002;19:680-6.
 27. Haskard C, El-Nezami HS, Kankaanpaa PE, Salminen SE, Ahokas JT. Surface binding of aflatoxin B₁ by lactic acid bacteria. Appl. Environ. Microbiol. 2001;67: 2086-3091.
 28. Govaris A, Roussi V, Koidis P, Botsoglou N. Distribution and stability of aflatoxin M₁ during production and storage of yoghurt. Food Addit. Contam. 2010;19(11):1043-50.
 29. Rasic J, Skrinjar M, Markov S. Decrease of aflatoxin B₁ in yoghurt and acidified milks. Mycopathologia. 1991;113(2):117-9.
 30. Hassanin N I. Stability of aflatoxin M₁ during manufacture and storage of yoghurt, yoghurt-cheese and acidified milk. J. Sci. Food Agric. 1994;65:31-4
 31. Sarimehmetoglu B, Kuplulu O. Binding ability of aflatoxin M₁ to yoghurt bacteria. Ankara Universitesi Veteriner Fakultesi Dergisi. 2004;51:195-98.

Effects of probiotic strains and inoculated population, physiology of probiotic bacteria and fermentation final pH on free aflatoxin M₁ binding in Doogh

Sarlak Z¹, Rouhi M², Mohammadi R³, Mortazavian AM*⁴, Khaksar R⁵

1- M.Sc Student in Food Sciences and Technology, Faculty of Nutrition Sciences and Food Technology, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

2- Ph.D Student in Food Science, Engineering and Technology, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran, Iran.

3- Ph.D Student in Food Sciences and Technology, National Nutrition and Food Technology Research Institute, Faculty of Nutrition Sciences and Food Technology, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

4- *Corresponding author: Associate prof, Dept.of Food Science and Technology, National Nutrition and Food Technology Research Institute, Faculty of Nutrition Sciences and Food Technology, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran, Email: mortazvn@sbmu.ac.ir

5- Associate prof, Dept.of Food Science and Technology, National Nutrition and Food Technology Research Institute, Faculty of Nutrition Sciences and Food Technology, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

Received 2 Oct, 2013

Accepted 1 Dec, 2013

Background and Objective: One of the major contaminants of Doogh in Iran is aflatoxin M₁. In this study, the effects of probiotic strains (*L. acidophilus*, *L. rhamnosus*, *L. casei* and *B. bifidum*), inoculated probiotic population (7 and 9 log cfu/ml), physiology of probiotic bacteria and fermentation final pH (4.2 and 4.5) at four stages (respectively) on the reduction in 0.500 ppb of free aflatoxin M₁ in Doogh during fermentation and refrigerated storage (5°C) were studied.

Materials and Methods: Doogh milk with 4% of dry matter was made by reconstitution of skim milk powder. The mixture also contained 0.7% of sodium chloride and 0.500 ppb of aflatoxin M₁. After heat treatment, treatments with different starter culture inoculations were prepared. The treatments were incubated until the determined final pH was reached. Immunoaffinity column and HPLC with fluorescence detector were used for extraction and measurement of free aflatoxin M₁, respectively. Data were analyzed by SPSS software.

Results: Treatment with *L. acidophilus* (AY-7-A-4.2) compared to other probiotic strains had highest reduction in free aflatoxin M₁ during fermentation and refrigerated storage. *L. acidophilus* with inoculation of 9 log cfu/ml (AY-9-A-4.2) compared to 7 log cfu/ml (AY-7-A-4.2), had significantly more free aflatoxin M₁ binding capacity.. However, AY-9-A-4.2 was not suitable treatment because of the strongly higher cost. Treatment containing 7 log cfu/ml dead (heat-killed) *L. acidophilus* (AY-7-D-4.2) significantly binded more free aflatoxin M₁ than AY-7-A-4.2 treatment at the first day of storage. However, the live probiotics in AY-7-A-4.2 treatment were more effective in the reduction of free aflatoxin M₁ at day 14 and 28 of storage. Treatment with higher fermentation final pH (AY-7-A-4.5) was more effective on free aflatoxin M₁ binding than AY-7-A-4.2 at day 14 and 28 of storage.

Conclusion: Live cells of *L. acidophilus* with inoculation of 7 log cfu/ml and final fermentation pH of 4.5 showed the highest free aflatoxin M₁ binding capacity during refrigerated storage; meanwhile, it was the best treatment from health and economic points of view.

Keywords: Aflatoxin M₁, Doogh, Physiology, Probiotic