مجله علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران
سال هفتم، شماره ۵، ویژه‌نامه زمستان ۱۳۹۱، صفحات ۸۵۳-۸۴۵

مقاله مروری

هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای و راه‌های کاهش در محصولات غذایی

محمدجواد ایوانی[۱]، وحید قاسم زاده محمدی[۱]، محسن عاطفی[۲]

۱- کمیته تحقیقات دانشجویان، انستیتو تحقیقات تغذیه‌ای و صنایع غذایی کشور، دانشکده علوم تغذیه و صنایع غذایی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران.

۲- نویسنده مسئول: کمیته تحقیقات دانشجویان، انستیتو تحقیقات تغذیه‌ای و صنایع غذایی کشور، دانشکده علوم تغذیه و صنایع غذایی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران. پست الکترونیکی: mohsen.atefi@sbmu.ac.ir

چکیده

هیدروکربن‌های چند حلقه‌ای آروماتیک، با دو یا تعداد بیشتر حلقه‌های آروماتیک، گروه بزرگی از آلودگی‌های محیطی و فرآیندهای غذایی هستند. اساساً این ترکیبات در طی سوختن ناقص مواد آلی تشکیل می‌شوند. حدود ۱۶ نوع از این ترکیبات خاصیت سرطان‌زایی ثابت شده دارند. در شرایط معمول، غذا یکی از منابع اصلی دریافت این ترکیبات است. بنابراین باید جذب آن‌ها از طریق غذا کاهش یابد. در این بررسی مروری، عوامل مؤثر در افزایش مقدار هیدروکربن‌های چند حلقه‌ای آروماتیک در مواد غذایی و راه‌های کاهش آن‌ها مورد بررسی قرار گرفته است.

این تحقیق به صورت بررسی الکترونیکی بود. مقالات، کتب و گزارشات از منابع الکترونیکی تهیه شدند و پس از مطالعه و تجزیه و تحلیل آن‌ها، بررسی مروری تهیه شد.

یافته‌ها:محصولات دود داده شده، کبابی به سیخ کشیده، باربیکیو شده، تنوری شده، برشته شده، تفت داده شده، سرخ شده، غلات خشک شده و روغن‌های نباتی مهم‌ترین منابع دریافت هیدروکربن‌های چند حلقه‌ای آروماتیک هستند. وجود هیدروکربن‌های چند حلقه‌ای آروماتیک در غذا، اساساً به واسطه‌ی آلودگی محیطی، فرآیندهای غذایی نظیردود دادن، خشک کردن، کباب کردن، برشته کردن، سرخ کردن و تماس با روغن‌های معدنی با درجه غیرغذایی و بسته بندی آلوده است. در محصولات غذایی، تشکیل هیدروکربن‌های چند حلقه‌ای آروماتیک می‌تواند از کربوهیدرات‌ها، اسیدهای چرب، اسیدهای آمینه، سیزکوترپن‌ها و مواد با ساختار مشابه با هیدروکربن‌های چند حلقه‌ای آروماتیک (مانند ارگوسترول) در دمای بالا از طریق تجزیه حرارتی و تشکیل حرارتی انجام شود.

کنترل دریافت هیدروکربن‌های چند حلقه‌ای آروماتیک از غذاها می‌تواند از طریق دو راه: ۱- انتخاب مواد اولیه خام با مقدار هیدروکربن‌های چند حلقه‌ای آروماتیک پایین و ۲- انتخاب مناسب روش فرآیند غذا در دود دادن، خشک کردن، کباب کردن، برشته کردن و سرخ کردن. از دیدگاه تغذیه‌ای نیز کاهش مصرف محصولات غذایی دود داده شده، کباب شده و سرخ شده توصیه می‌شود.

واژگان کلیدی: هیدروکربن‌های چند حلقه‌ای آروماتیک، محصولات دود داده شده، روغن‌های نباتی

مقدمه

پلی هیدروکربن‌های آروماتیک (PAHs)، گروه بزرگی از ترکیبات آلی با دو یا تعداد بیشتر از حلقه‌های جوش خورده آروماتیک می‌باشند. این ترکیبات را می‌توان به دو دسته: ۱- سبک (۳- ۲حلقه ای) و ۲- سنگین (۴حلقه و بیشتر) تقسیم کرد. این ترکیبات از حلالیت کمی در آب برخوردارند وخاصیت چربی دوستی زیادی دارند. بیشتر این ترکیبات از فشار بخار پایینی برخوردارند و جذب ذرات می‌شوند. PAHs در اثر سوختن ناقص مواد آلی به وجود می‌آیند. تمام ترکیبات دارای کربن و هیدروژن می‌توانند به عنوان پیش‌ساز در تشکیل PAHs عمل نمایند. این ترکیبات طی پیرولیز با شکسته شدن به بخش‌های ناپایدار کوچک‌تر (غالباً رادیکال‌های آزاد) و سپس ترکیب شدن با یکدیگر در مجاورت گرما (پیروسنتتیز)، PAHs را تولید کنند. دمای مطلوب تولید PAHs در فاصله‌ی دمایی°C ۷۰۰- ۵۰۰ است و تولید آن‌ها در اثر کاهش فشار اکسیژن شدت می‌یابد. این ترکیبات در طبیعت می‌توانند در اثر آتشفشان و سوختن جنگل‌ها به وجود بیایند. هم چنین این ترکیبات در دماهای °C ۱۵۰-۱۰۰ در دوره طولانی می‌توانند در زمین تولید شوند. نقش حوادث طبیعی در تولیدPAHs اندک است. به کار بردن سوخت‌های فسیلی، سوزاندن زباله‌ها و چوب‌ها

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-07]

توسط انسان نقش مهم‌تری در تولید این ترکیبات دارد (۲، ۱).

تعدادی از PAHs برای مصارف گوناگون(کاربرد در آفت کش‌ها، دترجنت‌ها، رنگ‌ها و نفتالین) در صنعت تولید می‌شوند. از جمله می‌توان به نفتالین و فنانترن اشاره کرد (۳). تا کنون تعدادی از PAHs به عنوان ترکیبات جهش‌زا و سرطان‌زا شناخته شده‌اند. بر حسب مراجع مختلف، از نظر سرطان‌زایی و جهش‌زایی، این ترکیبات در گروه‌های متفاوت قرار گرفته‌اند. در بین PAHs، بنزوپیرن به عنوان شاخص معرفی شده است (۴). این بررسی مروری، به منظور مشخص کردن راه‌های کاهش هیدروکربن‌های چند حلقه‌ای آروماتیک در مواد غذایی، عوامل مؤثر در افزایش مقدار آن‌ها انجام شد.

مسیرهای دریافت PAHs: PAHs از راه‌های مختلف می‌توانند جذب بدن انسان بشوند. عمده‌ترین راه‌های دریافت PAHs در انسان عبارتند از: ۱- غذا، ۲- محیط (هوا ، آب و خاک)، ۳- سیگار. در افرادی که در محیط‌های با آلودگی بالا نمی‌باشند (غیر شاغل در تولید PAHs و یا مواد مرتبط با آن‌ها) و غیر سیگاری‌ها، غذا راه اصلی دریافت PAHs است (جدول ۱).

جدول۱. میزان دریافت PAHs از منابع مختلف (۵).

منبعPAHs	دریافت			
	غیر سیگاری ها		سیگاری ها	
	روز/میکروگرم	درصد	روز/میکروگرم	درصد
غذا	۳	۹۳/۰	۳	۴۴/۶
هوا	۰/۱۶	۴/۹	۰/۱۶	۲/۴
آب	۰/۰۰۶	۰/۲	۰/۰۰۶	<۰/۰۱
خاک(فرو بردن اتفاقی)	۰/۰۶	۱/۹	۰/۰۶	۱
کشیدن سیگار	-	-	۳/۵	۵۲
کل	۳/۲۲	۱۰۰	۶/۷۲	۱۰۰

* متوسط ۵-۲ میکروگرم در روز

PAHs در مواد غذایی

منابع غذایی اصلی دریافت PAHs، حدود مجاز در غذاها و میزان دریافت: مهم‌ترین منابع غذایی دریافت PAHs، روغن‌ها و چربی‌ها، محصولات دود داده شده (گوشت‌ها و ماهی‌ها، صدف‌ها)، چاشنی‌ها (ادویه‌ها)، میوه‌ها و غلات خشک شده (در تماس با آلودگی‌های حاصل از سوختن و یا حمل ونقل) می‌باشند. حدود مجاز دریافت PAHs در مواد غذایی بر اساس قوانین اتحادیه اروپا در جدول (۲) ارایه شده است (۶).

جدول۲. حدود جدید بنزو[آ]پیرن و مجموع (بنزو آلفا آنتراسن، کرایزن، بنزو بتا فلورانتین و بنزو [آ]پیرن) در غذاها (تغییر یافته با قوانین EC 835/2011)

محصول	حداکثر مقدار(کیلوگرم/میکروگرم)	
	بنزوآپیرن	مجموع
غذاهای فرآیند شده بر پایه غلات برای نوزادن و کودکان فرموله‌های کودک و باز	۱	۱
غذاهای رژیمی برای اهداف درمانی، به ویژه برای کودکان روغن‌ها و چربی‌ها برای مصرف مستقیم انسان یا به عنوان اجزا در غذا	۲	۱۰
روغن نارگیل برای مصرف مستقیم انسان و یا استفاده به عنوان اجزا در غذا	۲	۲۰
دانه‌های قهوه و محصولات منتج شده	۵ a	۳۰ c ۳۵ b
شاه ماهی دود داده شده و شاه ماهی دود داده شده کنسروی نرم تنان دو کفه‌ای (تازه، سرد شده و منجمد)	۵	۳۰
محصولات گوشت‌های حرارت دیده که به مشتری نهایی فروخته می‌شود(کبابی و باربیکیو شده)	۶	۳۵
نرم تنان دو کفه‌ای (دود داده شده)	۵ d	۳۰ e
گوشت عضله دود داده شده ماهی و محصولات گوشتی و گوشت دود داده شده	۲ f	۱۲ g

*a از ۱/۴/۲۰۱۳ ، b از ۱/۴/۲۰۱۳ تا ۳۱/۳/۲۰۱۵ ، c از ۱/۴/۲۰۱۵ ، d از ۳۱/۸/۲۰۱۴، e از ۱/۹/۲۰۱۲ تا ۳۱/۸/۲۰۱۴ ، f از ۱/۹/۲۰۱۴ ، g از ۱/۹/۲۰۱۴.

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-07]

میزان دریافت PAHs در نقاط مختلف دنیا بستگی به نوع رژیم آن‌ها دارد. مقدار دریافت PAHs در تعدادی از کشورها در جدول(۳) ارائه شده است.

ترکیبات شرکت کننده در تشکیل PAHs در مواد غذایی: به طورکلی در مواد غذایی PAHs از کربوهیدرات‌ها در دماهای بالا و در عدم حضور اکسیژن و یا کاهش فشار آن تشکیل می‌شوند. هرچند تولید این ترکیبات در دماهای ۱۰۰ تا ۱۵۰°C نیز گزارش شده است. به عنوان مثال بنزوپیران در حرارت دهی نشاسته به میزان ۰/۷ ppm تا ۱۷ در دمای ۳۷۰ تا ۶۵۰°C تولید می‌شود. هم چنین مشخص شده است که PAHs می‌توانند از اسیدهای آمینه و اسیدهای چرب نیز به وجود آیند (مانند بنزوپیرن) (جدول۴) (۸).

جدول۳. میزان دریافت PAHs در تعدادی از کشورها (۷).

کشور	دریافت(روز/شخص/میکروگرم)	مرجع
آمریکا	۰/۱۶-۱/۶ ۰/۰۴-۰/۰۶ ۰/۱۲-۲/۸ a	Santodonate et al. (1981) Kazerouni et al. (2001) Hattemer-Frey & Travis(1991)
انگلستان	۳/۷	Dennis et al. (1991)
آلمان	۰/۰۲-۰/۰۴	State Committee for Air Pollution Control(1992)
استرالیا	۳/۴(۰/۷-۱۵/۶) b	Pfannhauser(1991)
ایتالیا	۳/۰	Lodovici et al. (1995)
اسپانیا	۶/۳-۸/۴	Falco et al. (2003)
یونان	۱/۶-۴/۵	Voutsa & Samara(1998)
هلند	۵-۱۷	De Vos et al. (1990)
سوئد	۰/۰۸	Beckman Sundh et al. (1998)

a: مقادیر تنها برای غلظت‌های بنزو گزارش شده‌اند. **b:** میانگین و دامنه برای مجموع ۱۶

جدول۴. میزان PAHs تولید شده از کربوهیدرات‌ها (نشاسته و گلوکز) اسیدهای آمینه (لوسین) و اسیدهای چرب (استئاریک) در ۵۰۰ و ۷۰۰ °C (میکروگرم در ۵۰ گرم).

PAHs	نشاسته		D - گلوکز		L-لوسین		اسید استئاریک	
	۵۰۰	۷۰۰	۵۰۰	۷۰۰	۵۰۰	۷۰۰	۵۰۰	۷۰۰
پیرن	۴۱	۹۶۵	۲۳	۱۶۸۰	-	۱۲۰۰	۰/۷	۱۸/۷۰۰
فلورانتن	۱۳	۷۹۰	۱۹	۱۲۰۰	-	۳۲۰	-	۶/۵۹۰
بنزو[i]پیرن	۷	۱۷۹	۶	۳۴۵	-	۵۸	-	۴/۴۴۰

PAHs می‌توانند از سیزکوترپن‌ها تولید شوند. این ترکیبات حاصل از مسیر تولید ترپنوئیدها و ایزوترپنوئیدها در گیاهان می‌باشند. مقدار سیزکوترپن‌ها در ادویه‌ها زیاد است. Francis و همکارانش(۲۰۱۲) ،پیرولیز ۴ سیزکوترپن: بتا- کاریوفیلن (β-caryophyllene)، آلفا- سدرنن (α-cedrene)، لانگی فولوئن (longifolene) و والنسس (valencene) را مورد بررسی قرار داده‌اند. پیرولیز این ترکیبات در دماهای ۳۰۰ ۴۰۰ و ۵۰۰ °C صورت گرفته است و محصولات به وسیله GC–MS اندازه گیری شده‌اند. در این بررسی کاریوفیلن کم‌ترین مقاومت را نشان داده است و مستعدترین ترکیب برای تشکیل PAHs بوده است.

هم‌چنین لانگی فولوئن بیشترین مقاومت را نشان داده است. تغییر این ترکیبات در دمای ۳۰۰ °C اندک بوده اما با افزایش دما به ۴۰۰ و ۵۰۰ °C ترکیبات PAHs افزایش یافته‌اند. هم چنین با افزایش دما ترکیباتی که سمیت بیشتر داشته‌اند، بیشتر تولید شده‌اند (۹). علاوه بر سیزکوترپن‌ها، ترکیباتی نظیر ارگوسترول که ساختارهای چند حلقه‌ای دارند می‌توانند در دمای بالا (۷۰۰ -۹۰۰ °C) به PAHs تبدیل شوند. هم چنین افزایش دما باعث افزایش تعداد هیدروکربن‌های چند حلقه‌ای آروماتیک تولید شده می‌شود (۱۰).

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-07]

انتقال و تشکیل PAHs در مواد غذایی

به طورکلی وجود PAHs در مواد غذایی به دلایل: آلودگی مواد غذایی، فرآیندها و تماس با روغن‌های معدنی با درجه غیر غذایی و آلودگی‌های بسته بندی است. آلوده شدن گیاهان و سبزیجات در مزارع از نشست PAHs بر روی آن‌ها صورت می‌گیرد و یا از طریق جذب ریشه‌ای صورت می‌گیرد. سطح واکسی سبزیجات و میوه‌ها می‌توانند PAHs را به خود جذب کنند. مشخص شده است که مقدار PAHs در سبزیجات و میوه‌های مناطق آلوده تا حدود ۱۰۰ برابر نقاط دیگر است (۱۳-۱۱). این آلودگی‌ها می‌توانند به دام‌های تغذیه شده با گیاهان آلوده منتقل شده و در محصولات آن‌ها نظیر شیر منتقل شوند (۱۵، ۱۴). انواع ماهی‌ها و منابع غذایی دریایی دیگر نیز می‌توانند از آلودگی آب محیط زیست‌شان به ویژه در مناطق آلوده به ترکیبات نفتی و مواد مرتبط با آن‌ها به PAHs آلوده شوند. این آلودگی می‌تواند در بافت چربی آن‌ها ذخیره شود (۱۷، ۱۶).

هم‌چنین آلودگی به PAHs در روغن‌های خوراکی در طی فرآیندهای خشک کردن دانه‌های روغنی و یا آلودگی در حین فرآیند استخراج به وسیله حلال صورت می‌گیرد (۱۹، ۱۸). مقدار کمتری از آلودگی نیز به واسطه نشست از طریق اتسمفر روی اندام گیاه و جذب از طریق خاک می‌باشد (۲۰). در غالب روش‌های استخراج روغن از دانه‌های روغنی معمول (مانند سویا و آفتاب‌گردان) فرآیند تصفیه صورت می‌گیرد که باعث کاهش قابل توجه در مقدار PAHs می‌شود. اما در روغن‌هایی که به واسطه‌ی حفظ ترکیبات زیست فعال آن‌ها، استخراج به صورت پرس سرد صورت می‌گیرد (روغن خام خردل، گل رنگ، فلفل سیاه، گل گاو زبان و غیره) کاهش چندانی صورت نمی‌گیرد. لذا این روغن‌ها می‌توانند منبع مهمی از PAHs باشند. در بررسی‌های به عمل آمده روی این گونه روغن‌ها، غالباً مقدار PAHs با وزن مولکولی پایین بیشتر از PAHs با وزن مولکولی بالا بوده است (۲۱). در این روغن‌ها، نمایه PAHs متغیر می‌باشد (۲۲). در بررسی صورت گرفته بر روی فرآیند تصفیه روغن سویا، عمل تصفیه (خنثی سازی، بی رنگ و بی بو کردن) باعث کاهش بارز (تا ۸۸٪) در مقدار PAHs شده است. در این تحقیق خنثی سازی و بی بو کردن، اثر بارزتری از بی رنگ کردن در کاهش PAHs داشته‌اند که این کاهش متناسب با مقدار اولیه PAHs بوده است. هم‌چنین مقادیر PAHs در نمونه‌های روغن خام و بی بو شده از ۱۰ تا ۳۱۶ µg/kg و ۳ تا ۶۹ µg/kg بوده است. در این بررسی، استفاده از کربن فعال برای کاهش PAHs در طی فرآیند روغن‌ها توصیه شده است (۲۳).

در بین فرآیندهای مواد غذایی، حرارت دهی (کباب کردن و دود دادن) که با تماس مستقیم گازهای حاصل از سوختن همراه می‌باشد، عامل مهم آلودگی به PAHs است. عوامل مؤثر در سطوح آلودگی عبارتند از: زمان و درجه حرارت فرآیند (افزایش زمان و دمای فرآیند منجر به افزایش PAHs می‌شود)، فاصله از منبع حرارتی (رابطه عکس با مقدارPAHs دارد)، نوع فرآیند (کباب کردن، تفت دادن، دود دادن، خشک کردن)، نوع سوخت (زغال کمتر از چوب تولیدPAHs را می‌کند)، میزان چربی (به عنوان منبع اصلی پیش ساز PAHs). هم چنین آلودگی با روغن‌های معدنی (حاصل از نواحی مورد استفاده به منظور روان کننده)، گونی‌های کنفی، بسته بندی‌های کاغذی بازیافتی و جوهرهای چاپ ممکن است در انتقال PAHs از طریق مواد غذایی نقش داشته باشند (۶).

دود دادن مواد غذایی به منظور بهبود ویژگی‌های طعم (مزه و بو)، رنگ و بافت مواد غذایی صورت می‌گیرد. ترکیبات موجود در دود می‌توانند خاصیت آنتی اکسیدانی و ضد باکتریایی داشته باشند. در طی تجزیه حرارتی چوب، پیرولیز همی سلولز، سلولز و لیگنین به ترتیب در دماهای: ۱۸۰-۳۰۰°C ، ۲۶۰-۳۵۰°C و ۳۰۰-۵۰۰°C صورت می‌گیرد. اکسیداسیون تعدادی از این محصولات تجزیه‌ای در دماهای ۹۰۰ و حتی ۱۲۰۰° C در حضور اکسیژن کافی نیز انجام می‌گیرد. دود ایجاد شده در دمای ۶۵۰-۷۰۰° C مملو از ترکیباتی است که ویژگی‌های مطلوب حسی را ایجاد می‌نمایند. دمای تولید دود با افزایش رطوبت چوب کاهش می‌یابد (۲۴). فرآیند دود دادن برای طیف وسیعی از محصولات غذایی به کار می‌رود. از جمله این محصولات می‌توان به محصولات گوشتی و دریایی، انواع پنیر و برنج اشاره کرد. نوع دود دهی در مقدار تولید شده اثر دارد. در بررسی انجام شده بر روی ماهی‌های دود داده شده، مشخص شده است که دود دهی گرم بیشتر از دود دهی سرد باعث افزایش PAHs می‌شود. هم چنین دود دهی مستقیم در مقایسه با حالت غیر مستقیم، منجر به افزایش مقدار PAHs می‌شود. علاوه بر آن میزان PAHs مقادیر از سطح بیرونی به داخلی (پوست، لایه خارجی عضله و ماهیچه) کاهش می‌یابد (۲۵). در بررسی‌های دیگر نیز مشخص شده که دود دهی در

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-07]

کیلن‌ها باعث افزایش میزان بنزوآپیرن می‌شود. چنان که میزان این ترکیب می‌تواند به حدود کیلوگرم وزن مرطوب/میکروگرم ۵۰ نیز برسد. جایگزینی این روش با دود گرم حاصل از اتاقک‌های تولید دود، می‌تواند میزان بنزوآپیرن به حدود کیلوگرم وزن مرطوب/میکروگرم ۰/۱ و یا حتی کمتر کاهش می‌یابد (۲۶).

در محصولات گوشتی نیز طی فرآیند دود دادن آلودگی به PAHs رخ می‌دهد. اما با کنترل شرایط می‌توان این آلودگی را کاهش داد. مقدار آلودگی در این محصولات ثابت نمی‌ماند و تحت اثر عواملی مانند نور و اکسیژن می‌تواند کاهش یابد. از آن‌جا که PAHs در بافت چربی حل می‌شوند، کاهش مقدار چربی گوشت می‌تواند منجر به کاهش این ترکیبات در فرآورده تولید شده شود. مشخص شده که نوع مواد بسته بندی در مقدار PAHs این محصولات مؤثر است. چنان که پلی اتیلن با دانسیته پایین منجر به کاهش قابل توجه PAHs نسبت به پلی اتیلن ترفتالات می‌شود. این امر به میان کنش انجام شده (جذب سطحی و دیفوزیون به توده پلیمر) نسبت داده شده است (۲۷).

علاوه بر محصولات گوشتی و دریایی آلودگی به PAHs در سایر محصولات دود داده شده نیز رخ می‌دهد. Guillen و همکارانش (۲۰۰۷)، اثر دود دادن را در پنیر پالرمو با استفاده از شاخه‌های خشک شده انجیر هندی و پوست‌های بادام بررسی کرده‌اند. در بررسی این محققان مشخص شده که بخش اعظم PAHs شامل دو و سه حلقه‌ای‌ها بوده‌اند. هم چنین پوسته‌های بادام مقدار PAHs بیشتری را تولید کرده‌اند. مقدارPAHs در روشی که آن‌ها به کار برده‌اند کمتر از مقدار PAHs در نمونه‌های سنتی بوده است. نوع ماده مصرفی برای تهیه دود در نوع PAHs تولید شده مؤثر بوده است. در این تحقیق نیز عنوان شده که ویژگی‌های حسی مطلوب با کنترل شرایط قابل حصول می‌باشد در عین حالی که میزان PAHs افزایش بارزی نداشته باشند (۲۸).

برای کاهش اثرات مضر دود دادن و نیز ایجاد ویژگی‌های مطلوب طعم در ماده غذایی امروزه از طعم دهنده‌های دود (تغلیظ شده‌های دود) استفاده می‌شود. این طعم دهنده‌ها مخلوطی از اجزای دود هستند که از پیرولیز چوب‌های سخت تحت اکسیژن کنترل شده جمع آوری می‌شوند و سپس به روش‌های تقطیر خشک (دمای ۲۰۰-۸۰۰°C) و بخار فوق گرم (دمای°C ۳۰۰-۵۰۰)، تقطیر می‌شوند. ترکیبات عمده‌ی موجود در این طعم دهنده‌ها عبارتند از: اسیدهای کربوکسیلیک، ترکیبات با گروه‌های کربونیلی و فنل‌ها. در این طعم دهنده‌ها تا حد امکان ترکیبات مضر از جمله PAHs کاهش می‌یابند. علاوه بر این طعم دهنده‌های طبیعی دود گروه، دیگری به نام طعم دهنده‌های مصنوعی تولید می‌شوند که در آن‌ها ترکیبات طعم دهنده‌ی مورد نظر به صورت مصنوعی تولید شده و نهایتاً به صورت مخلوط عرضه می‌شوند. بررسی‌های به عمل آمده بر روی محصولات دود داده شده به وسیله این طعم دهنده‌ها دلالت بر کاهش قابل توجه در مقدار PAHs نسبت به روش‌های معمول دود دهی دارد (۲۹). اثرات روش‌های مختلف بخار دادن، برشته کردن، دود دادن، کباب کردن روی زغال و استفاده از دود مایع بر تشکیل در استیک سینه اردک بررسی شده است (جدول۵). در این بررسی مشخص شده است که فرآیندهای کباب کردن (چه با پوست و چه بدون پوست) و دود دادن اثر بارزتری در افزایش مقدار PAHs نسبت به روش‌های تفت دادن، بخار دادن و استفاده از دود مایع دارند (۳۰).

بررسی‌ها نشان می‌دهد وجود آنتی اکسیدان‌ها می‌توانند در تعیین مقدار PAHs در محصولات حرارت داده شده و یا دود داده شده مؤثر هستند. در بررسی انجام شده بر روی پختن گوشت به روش خانگی با استفاده از روش‌های معمول: مایکروویو، سرخ کردن در ماهی تابه پس از جوشاندن و کباب کردن روی گاز به صورت مستقیم و غیر مستقیم استفاده از افزودنی‌های مختلف (مخلوط ادویه‌ها، خمیر سیر و مخلوط خمیر سیر و ادویه) در تعیین مقدار PAHs مؤثر بوده است. نتایج این بررسی نشان داده است که دمای فرآیند در افزایش مقدار PAHs نقش زیادی دارد. در بین فرآیندهای به کار رفته، اثر استفاده از شعله مستقیم گاز در افزایش PAHs بیشتر بوده است. استفاده از خمیر سیر، خمیر سیر با مخلوط ادویه‌ها و یا مخلوط ادویه‌ها قبل از فرایند حرارتی نقش بارزی در کاهش مقادیر PAHs تولید شده داشته است. این اثر کاهشی به وجود ترکیبات فنلی آنتی اکسیدان نسبت داده شده است (۳۱).

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-07]

جدول۵. نتایج پخت استیک سینه‌ی اردک (به مدت ۰/۵ تا ۱/۵ ساعت).

نوع روش	کباب کردن به دون پوست	کباب کردن با پوست	دود دادن	تفت دادن	بخار دادن	استفاده از دود مایع
مقدار (کیلوگرم/میکروگرم)	۳۲۰	۳۰۰	۲۱۰	۱۳۰	۶/۸	۳/۰

راه‌های کاهش PAHs در منابع اصلی غذایی

همان طور که اشاره شد، محصولات غذایی به دو علت اصلی می‌توانند حاوی مقادیر قابل توجه PAHs باشند. این دلایل عبارتند از: ۱- آلودگی اولیه بالا حاصل از محیط زیست هستند (مانند: سبزیجات و منابع غذایی دریایی) و ۲- آلودگی حاصل از فرآیندها (خشک کردن، دود دادن، کباب کردن، تفت دادن و سرخ کردن). لذا با کنترل این دو مسیر اصلی می‌توان مقدار PAHs را در مواد غذایی کاهش داد.

کنترل مواد اولیه: به طور کلی کنترل مقدار PAHs در مواد اولیه می‌تواند از طریق کنترل محیط زیست انجام شود. با این وجود می‌توان مواد اولیه‌ای را تهیه نمود که مقدار PAHs کمی داشته باشند. هم چنین به کار بردن فرآیندهایی نظیر تصفیه با زغال در روغن‌ها و یا شستشو و پوست کنی در سبزیجات و میوه‌ها می‌تواند منجر به کاهش شود. شستن در سبزیجات و میوه‌ها تا حد زیادی PAHs با وزن مولکولی بالا را کاهش می‌دهد اما PAHs با وزن مولکولی پایین‌تر می‌توانند به داخل لایه‌های مومی نفوذ کنند.

کنترل فرآیندها

فرآیند خشک کردن: در فرآیندهای خشک کردن برای غلات و یا سایر محصولات نظیر دانه‌های روغنی و میوه‌ها نباید از حرارت مستقیم حاصل از سوختن چوب و یا سوخت‌های فسیلی استفاده کرد. هم چنین به کار بردن روش‌های کاهش دهنده مقدار PAHs می‌توانند مفید باشند (مانند استفاده از زغال فعال در تصفیه روغن‌ها).

فرآیند دود دادن: فرآیندهای سنتی دود دادن با استفاده از دود دادن مستقیم می‌تواند به افزایش قابل توجه در مقدار PAHs منجر شوند. لذا می‌توان از دود دهی غیر مستقیم استفاده کرد. روش بهتر استفاده از تولید کننده‌های دود است. در این زمینه کیلن‌های صنعتی قابل توصیه هستند که تحت شرایط کنترل شده دود را تولید می‌نمایند. هم چنین می‌توان از طعم دهنده‌های دود به جای عمل دود دادن سنتی استفاده کرد.

فرآیندهای کباب کردن، باربیکیو کردن، سرخ کردن و تفت دادن: استفاده از گوشت‌های کم چرب، جلوگیری از تماس مستقیم با شعله، افزایش فاصله گوشت با شعله، استفاده چربی کمتر و پختن در دمای پایین‌تر و زمان بیشتر به کاهش PAHs کمک می‌نماید. هم چنین باید از ریخته شدن چربی بر روی زغال تا حد ممکن اجتناب کرد (استفاده از باربیوکردن عمودی به جای افقی) و در صورت امکان از حائل بین گوشت و شعله استفاده کرد. در فرآیند سرخ کردن نیز باید از روغن کمتری استفاده شود، عمل پیش پخت انجام شود و نیز از حرارت دهی بیش از حد پرهیز شود. مشخص شده است که ایجاد طعم در محصولاتی که با این فرآیندها تهیه می‌شوند لزوماً با رنگ قهوه‌ای مرتبط نیستند لذا نباید بیش از حد لازم عمل حرارت دهی صورت بگیرد.

علاوه بر کنترل‌هایی که در مراحل دود دادن، کباب کردن و سرخ کردن صورت می‌گیرد بهتر است تا حد امکان مصرف محصولاتی که با این روش‌ها تهیه می‌شوند، محدود شود. هم چنین از مصرف قسمت‌های سوخته این گونه محصولات پرهیز شود. هم چنین با توجه به آن که احتمالاً آنتی اکسیدان‌ها می‌توانند به کاهش PAHs در محصول منجر شونده می‌توان از منابع حاوی این گونه ترکیبات (نظیر رزماری) استفاده کرد.

نتیجه گیری

اثرات مضر تعدادی از PAHs بر سلامتی انسان مشخص شده است. در شرایط طبیعی، غذا منبع اصلی انتقال این ترکیبات به بدن انسان است. به این جهت باید دریافت غذایی این ترکیبات محدود شود. این ترکیبات می‌توانند به صورت آلودگی اولیه در مواد اولیه محصولات غذایی به دلیل آلودگی‌های زیست محیطی وجود داشته باشند و یا در طی فرآیندهای خشک کردن، دود دادن،کباب کردن، سرخ کردن و برشته کردن، تفت دادن در مواد غذایی ایجاد شده و یا روی آن‌ها نشست کنند. از آن‌جا که کنترل شرایط زیست محیطی نیازمند تمهیدات زیادی است، استفاده از مواد اولیه با مقادیر کم PAHs می‌تواند گزینه مناسبی در کاهش در PAHs باشد. در بین این فرآیندها، دود دادن و کبابی کردن

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-07]

بیش از دیگر فرآیندها منجر به افزایش مقدار PAHs می‌شوند. دود دادن سرد و غیر مستقیم و یا استفاده از طعم دهنده‌های دود می‌توانند منجر به کاهش PAHs در مقایسه با روش‌های سنتی دود دادن بشوند. هم چنین در فرآیند کباب کردن رعایت نکاتی نظیر: کنترل دما و زمان(حرارت کم با زمان بالا)، کاهش میزان چربی اولیه، جلوگیری از تماس گوشت با شعله و رعایت فاصله، میزان PAHs را در گوشت کبابی کاهش می‌دهند. در سرخ کردن نیز کنترل دما و زمان مهم می‌باشد. در این فرآیند نیز کاهش میزان چربی مورد استفاده منجر به کاهش PAHs خواهد شد. PAHs در مواد غذایی می‌توانند در دماهای بالا از کربوهیدرات‌ها، چربی‌ها، اسیدهای آمینه، سیزکوترپن‌ها و ترکیباتی که پایه حلقوی دارند (مانند: ارگوسترول) تشکیل شوند. گزارش شده است که آنتی اکسیدان‌ها می‌توانند باعث کاهش PAHs در مواد غذایی بشوند. لذا به کار بردن فرمولاسیون مناسب می‌تواند راه کاری برای کاهش تولید این ترکیبات در مواد غذایی باشد.

References

1. Maliszewska-Kordybach B. Sources, concentrations, fate and effects of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in the environment. Part A: PAHs in air. Polish journal of environmental studies. 1999;8:131-6.
2. Lee M, Novotny M, Bartle K. Gas chromatography/mass spectrometric and nuclear magnetic resonance determination of polynuclear aromatic hydrocarbons in airborne particulates. Analytical Chemistry. 1976;48(11):1566-72.
3. Samanta SK, Singh OV, Jain RK. Polycyclic aromatic hydrocarbons: environmental pollution and bioremediation. TRENDS in Biotechnology. 2002;20(6):243-8.
4. Kazerouni N, Sinha R, Hsu CH, Greenberg A, Rothman N. Analysis of 200 food items for benzo [< i> a</i>] pyrene and estimation of its intake in an epidemiologic study. Food and Chemical Toxicology. 2001;39(5):423-36.
5. Menzie CA, Potocki BB, Santodonato J. Exposure to carcinogenic PAHs in the environment. Environmental Science & Technology. 1992;26(7):1278-84.
6. Purcaro G, Moret S, Conte LS. Overview on polycyclic aromatic hydrocarbons: occurrence, legislation and innovative determination in foods. Talanta. 2012.
7. Ramesh A, Walker SA, Hood DB, Guillén MD, Schneider K, Weyand EH. Bioavailability and risk assessment of orally ingested polycyclic aromatic hydrocarbons. International journal of toxicology. 2004;23(5):301-33.
8. Shibamoto T, Bjeldanes LF. Introduction to food toxicology: Academic press; 2009.
9. Francis GW, Christy AA, Øygarden J. Pyrolytic formation of polycyclic aromatic hydrocarbons from sesquiterpenes. Food Chemistry. 2012.
10. Cai J, Wang S, Su Q. Analysis of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons Formed During Off-Line Pyrolysis of Ergosterol by GC–MS–SIM. Chromatographia. 2008;68(5):357-63.
11. Kipopoulou A, Manoli E, Samara C. Bioconcentration of polycyclic aromatic hydrocarbons in vegetables grown in an industrial area. Environmental Pollution. 1999;106(3):369-80.
12. Rojo Camargo MC, Toledo MCF. Polycyclic aromatic hydrocarbons in Brazilian vegetables and fruits. Food Control. 2003;14(1):49-53.
13. Lee RF. Mixed function oxygenases (MFO) in marine invertebrates1981.
14. Lawrence JF, Weber DF. Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in Canadian samples of processed vegetable and dairy products by liquid chromatography with fluorescence detection. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 1984;32(4):794-7.
15. Aguinaga N, Campillo N, Vinas P, Hernández-Córdoba M. Determination of 16 polycyclic aromatic hydrocarbons in milk and related products using solid-phase microextraction coupled to gas chromatography–mass spectrometry. Analytica chimica acta. 2007;596(2):285-90.
16. Takatsuki K, Suzuki S, Sato N, Ushizawa I. Liquid chromatographic determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in fish and shellfish. Journal-Association of Official Analytical Chemists. 1985;68(5):945.
17. Cahnmann H, Kuratsune M. Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in oysters collected in polluted water. Analytical Chemistry. 1957;29(9):1312-7.

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-07]

18. Cirillo T, Montuori P, Mainardi P, Russo I, Triassi M, Amodio-Cocchieri R. Multipathway polycyclic aromatic hydrocarbon and pyrene exposure among children living in Campania (Italy). Journal of Environmental Science and Health Part A. 2006;41(10):2089-107.

19. Ibaanez R, Agudo A, Berenguer A, Jakszyn P, Tormo MJ, Sanchez MJ, et al. Dietary intake of polycyclic aromatic hydrocarbons in a Spanish population. Journal of Food Protection®. 2005;68(10):2190-5.

20. Guillén MD, Sopelana P, Palencia G. Polycyclic aromatic hydrocarbons and olive pomace oil. Journal of agricultural and food chemistry. 2004;52(7):2123-32.
Ciecierska M, Obiedziński M. Polycyclic aromatic hydrocarbons in vegetable oils from unconventional sources. Food Control. 2012.

21. Roszko M, Szterk A, Szymczyk K, Waszkiewicz-Robak B. PAHs, PCBs, PBDEs and Pesticides in Cold-Pressed Vegetable Oils. Journal of the American Oil Chemists' Society. 2012;89(3):389-400.

22. Rojo Camargo MC, Antoniolli PR, Vicente E. Evaluation of polycyclic aromatic hydrocarbons content in different stages of soybean oils processing. Food Chemistry. 2012.

23. Toth L, Potthast K. Chemical aspects of the smoking of meat and meat products. Advances in food research. 1984;29:87-158.

24. Duedahl-Olesen L, Cederberg T, Pedersen KH, Højgård A. Synthetic musk fragrances in trout from Danish fish farms and human milk. Chemosphere. 2005;61(3):422-31.

25. Stołyhwo A, Sikorski ZE. Polycyclic aromatic hydrocarbons in smoked fish–a critical review. Food Chemistry. 2005;91(2):303-11.

26. Šimko P. Factors affecting elimination of polycyclic aromatic hydrocarbons from smoked meat foods and liquid smoke flavorings. Molecular nutrition & food research. 2005;49(7):637-47.

27. Guillén M, Palencia G, Sopelana P, Ibargoitia M. Occurrence of polycyclic aromatic hydrocarbons in artisanal Palmero cheese smoked with two types of vegetable matter. Journal of dairy science. 2007;90(6):2717-25.

28. Lin H, Jiang J, Li D. Potential hazards in smoke-flavored fish. Journal of Ocean University of China (English Edition). 2008;7(3):294-8.

29. Chen B, Lin Y. Formation of polycyclic aromatic hydrocarbons during processing of duck meat. Journal of agricultural and food chemistry. 1997;45(4):1394-403.

30. Badry N. Effect of Household Cooking Methods and Some Food Additives on Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) Formation in Chicken Meat. World Appl Sci J. 2010;9:963-74.

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-07]

Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and ways of reductions in food products

Eivani MJ[1], Ghasemzadeh-Mohammadi V[2], Atefi M[1]*

1.Students' Research Committee, Dept. of Food Science and Technology, National Nutrition and Food Technology Research Institute, Faculty of Nutrition Sciences, Food Science and Technology, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

2. Correspondent author: Students' Research Committee, Dept. of Food Science and Technology, National Nutrition and Food Technology Research Institute, Faculty of Nutrition Sciences, Food Science and Technology, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran. Email: mohsen.atefi@sbmu.ac.ir*

Abstract

Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), with two or more aromatic ring are a large class of toxic environmental and food-processing contaminants. Basically, these compounds are formed during incomplete combustion of organic material. About 16 compounds of these materials are proven as carcinogens. In general, food is one of the main sources of PAHs intake. Therefore, intake of them from food must be reduced. In this review, the important factors which are resulted to increase of PAHs in food products and the ways to reducing of them are investigated.

This research has been done base on electronically research. Articles, books and reports were gathered from electronic resources (like Web of knowledge) and after reading and analysis of them, the review was prepared.

Smoked, grilled, barbequed, baked, roasted, toasted, fried products, dried cereals, and vegetable oils are the main source of PAHs intake. The occurrence of PAHs in food is mainly due to environmental contamination, technological processing like smoking, drying, grilling, roasting, frying and contact with non food-grade quality mineral oil and contaminated packaging. Formation of PAHs via pyrolysis and pyrosynthesis of carbohydrates, fatty acids, amino acids, sesquiterpenes and substances with similar structure to the PAHs (like ergosterol) may be done in food products in height temperatures. .

Controlling of the PAHs intake from foods can be achieved through two ways: 1- selection of the crude food materials with low content of PAHs, and 2- Optimizing of food-processing procedure in smoking, drying, grilling, roasting, frying. Reducing of consumption of smoked, grilled and fried food products may be recommended from the nutritional viewpoint.

Keywords: Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), Smoked products, Vegetable oils

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-07]