اولین همایش ملی میان وعده های غذایی
مشهد مقدس - ۱۰ و ۱۱ اردیبهشت ماه ۱۳۹۳

ریزجلبک اسپیرولینا پلاتنسیس(*Spirulina platensis*)، یک افزودنی فراسودمند و مغذی برای بهبود ارزش تغذیه ای میان وعده های غذایی

اسماعیل خزایی پول[1*]، فخری شهیدی[2]

۱- *دانشجوی دکتری، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه ارومیه.

۲- استاد و دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد.

هدف: افزایش آگاهی عموم افراد جامعه سبب شده غذاهای فراسودمند مورد توجه قرار گیرند. اسپیرولینا یکی از نوید بخش ترین ریزجلبک ها می باشد که از سوی سازمان بهداشت جهانی به عنوان " بهترین راه حل برای فردا " و همچنین به عنوان "غذای برتر" اعلام گردیده است. فواید و برتری های این ریزجلبک نسبت به سایر منابع غذایی گیاهی و دیگر جلبک ها بسیار زیاد و قابل توجه می باشد. هدف از این پژوهش ارئه یک جمع بندی کامل در معرفی ریزجلبک اسپیرولینا پلاتنسیس به عنوان یک افزودنی سرشار از مواد مغذی برای غنی سازی فراورده های غذایی بخصوص میان وعده ها می باشد.

روش پژوهش: در این مقاله مروری بر ارزش تغذیه ای، دارویی و خصوصیات درمانی اسپیرولینا پلاتنسیس در بیماری های مختلف و همچنین کاربرد آن به عنوان یک مکمل غذایی و دارویی فراسودمند صورت پذیرفته است.

نتایج و بحث: اسپیرولینا پلاتنسیس به صورت بالقوه منبع بزرگی از ترکیباتی است که می توانند جهت تولید مواد اولیه غذا های عملگر استفاده شود. کاربرد اسپیرولینا پلاتنسیس و متابولیت های آن ها روند جالبی در بهبود ارزش فراورده های غذایی سالم ایجاد کرده است. اسپیرولینا غنی ترین افزودنی به لحاظ پروتئین، اسید چرب های ضروری مثل گامالینولنیک، ویتامین ها خصوصا ویتامین B_{12} و پیش ساز ویتامین A ، مواد معدنی بخصوص آهن و کلسیم، رنگدانه ها بخصوص فایکوسیانین و سولفولیپیدها می باشد. نداشتن دیواره سلولی سلولزی باعث شده که جذب مواد مغذی آن بسیار راحت تر صورت گیرد. کم بودن میزان اسید نوکلئیک(کمتر از ۴٪) اسپیرولینا، یکی دیگر از برتری های این ریزجلبک نسبت به سایر منابع پروتئینی مشابه می باشد. اسپیرولینا به دلیل داشتن اجزا و ترکیبات آنتی اکسیدانی مانند فایکوسیانین، سلنیوم، کارتنوئیدها و اسید چرب گامالینولنیک عامل دارویی بالقوه ای جهت تیمار بیماری های القاشده به وسیله تنش اکسیداسیونی می باشد.

نتیجه گیری کلی: فراوانی ترکیبات زیستی مهم در اسپیرولینا، فرصت‌های جدیدی را در تولید محصولات غذایی فراسودمند فراهم می‌کنند که در بین میان وعده های غذایی می توانند گزینه بسیار مناسبی برای غنی سازی با این ریزجلبک باشند.

واژه های کلیدی: *اسپیرولینا پلاتنسیس، ریزجلبک، فراسودمند، غنی سازی.*

مقدمه

جلبک ها حدود یک سوم توده سلولی گیاهان دنیا را تشکیل می دهند. جلبک ها را می توان این گونه تعریف نمود " گیاهان سبز فوتواتوتروف ، به کلی دارای ساختمان تولید مثل تک سلولی، بدون سلول های پوششی و محافظتی، آبزی و فاقد جنین". همه جلبک ها بدون استثنا حاوی کلروفیل و فاقد آوند هستند. در ساختمان رویشی این گیاهان ساده، ریشه، ساقه و برگ دیده نمی شود (ریاحی، ۱۳۸۱). ریزجلبک اصطلاحی است که برای نامیدن کلیه جلبک های میکروسکوپی اعم از پروکاریوت و یوکاریوتی به کار می رود و آن ها را از جلبک های ماکروسکوپی متمایز می سازد. ریزجلبک

ها ارگانیسم های تک سلولی میکروسکوپیک هستند که در اکثر موارد به صورت کلنی رشد می کنند (اسلان و همکاران، ۲۰۰۶). در اوایل ۱۹۵۰ کمبود قابل توجهی از منابع پروتئینی در رژیم غذایی مردم دنیا مشاهده شد که منجر به آغاز مطالعاتی جهت یافتن منابع پروتئینی مناسب و قابل جایگزین گردید. در آن زمان توده سلولی جلبک ها انتخاب مناسبی جهت دستیابی به این هدف به نظر رسید (اسپورلار، ۲۰۰۶). ریز جلبک ها منبع مهمی از ویتامین های A، C، E، گروه B، اسید فولیک، اسید پانتوتیک و بیوتین نیز هستند(سلوام و همکاران، ۲۰۰۲). از جمله ریزجلبک های دارای ارزش تغذیه ای بالا گونه های اسپیرولینا، هماتوکوکوس و کلرلا می باشند که امروزه به صورت صنعتی تولید می شوند و مصارف گوناگونی دارند (تایتزی، ۲۰۰۴).

در استفاده تجاری، نام محصول تجاری اسپیرولینا به توده سلولی خشک سیانوباکتری آرتروسپیر ا اطلاق می گردد و یک محصول کاملا با منشأ زیستی می باشد. در استفاده علمی اسپیرولینا عنوانی است جهت توضیح دو گونه سیانوباکتری، با اسامی آرتروسپیرا پلاتنسیس و آرتروسپیرا ماسیما استفاده می شود. از این دو گونه به عنوان غذا، مکمل غذایی و یا مکمل خوراک دام استفاده می شود(جرشوین و بلای، ۲۰۰۸). اسپیرولینا اتوتروف و فتوسنتز کننده بوده و از طریق تقسیم دوتایی تکثیر می یابد(ونشاک، ۲۰۰۲). یک تریکوم بالغ اسپیرولینا از طریق تشکیل سلول های مخصوص تحت عنوان نسریدیا تجزیه شده و به چندین قسمت شکسته می شود. قطعه قطعه شدن تریکوم در نسریدیا باعث تولید دو تا چهار زنجیره سلولی پیچ خورده کوچک یا هورموگونیوم می گردد که در نتیجه، باعث ایجاد تریکوم جدید از رشته والدینی می گردند(جرشوین و بلای، ۲۰۰۸).

گونه های اسپیرولینا به میزان زیادی به نور و تا حدودی به دمای بالا نیاز دارند. بنابراین تجهیزات تولید باید در مناطق گرمسیری و نیمه گرمسیری جهان، مهیا گردد تا تولید در سال میسر گردد. دمای اپتیمم برای رشد اسپیرولینا ۳۸-۳۵ درجه سانتیگراد است، در حالی که حداقل دمای قابل تحمل برای اسپیرولینا جهت رشد ۲۰- ۱۵ درجه سانتیگراد می باشد. اسپیرولینا شرایط قلیایی را تحمل کرده و تا pH =۱۰/۵ هم رشد می کند.

تولید تجاری اسپیرولینا شامل چهار مرحله است: ۱)کشت، ۲)برداشت، ۳)خشک کردن، ۴)بسته بندی. تمامی این مراحل می تواند بازدهی نهایی یا کیفیت محصول را تحت تأثر قرار دهد. سالیانه بیش از ۳۰۰۰ تن پودر اسپیرولینا تولید می شود (لی، ۲۰۰۹؛ ریچموند و همکاران، ۱۹۸۶).

ترکیبات شیمیایی موجود در اسپیرولینا

اسپیرولینا در بسیاری از کشورها مثل ژاپن وتایوان به شکل محصولی تجاری و به عنوان غذای عملگر و سلامت بخش با اهداف درمانی به فروش می رسد. اسپیرولینا حاوی مقادیر فراوانی پروتئین های گیاهی (حدود ۷۰ درصد وزن خشک)، کارتنوئیدها ۰/۰۴ درصد، اسیدهای چرب چند غیر اشباعی[۱] امگا شش (مثل اسید چرب ضروری و نادر اسید گامالینولیک[۲])، سولفولیپیدها، گلیکولیپیدها، پلی ساکاریدها، پیش ساز ویتامین ها و دیگر ترکیبات مغذی مثل ویتامین های A، E، و انواع ویتامین های B و مواد معدنی مثل کلسیم، آهن، منزیم، پتاسیم، روی و سلنیوم می باشد. همچنین اسپیرولینا منبع غنی و ارزانی از رنگدانه های مختلف مثل فایکوسیانین است. فایکوسیانین یکی از رنگدانه های جانبی در فتوسنتز و از خانواده فیکوبیلی پروتئین ها می باشد. کاربرد فیکوسیانین معمولا در صنایع غذایی به عنوان یک ماده رنگی، امولسیفایر، قوام دهنده و عامل ایجاد ژل می باشد. از فایکوسیانین همچنین در رنگ های آرایشی و شناساگرهای فلورسنت در تحقیقات زیست پزشکی نیز استفاده می شود. مطالعات متعددی تأیید کرده اند که اجزای مختلف اسپیرولینا مثل فایکوسیانین، سلنیوم، کارتنوئیدها و اسید چرب گاما لینولنیک دارای آثار آنتی اکسیدانی بوده و قابلیت حذف رادیکالی قابل توجهی دارند. در نتیجه، اسپیرولینا می تواند عامل بالقوه ای جهت درمان بیماری های ناشی از تنش های اکسیداسیونی، التهابات، آلرژی ها، ویروس ها، بیماری های سیستم ایمنی، بیماری های کبدی و حتی سرطان ها می باشد (شتی و همکاران،۲۰۰۶). در برخی مطالعات بهینه سازی شرایط تولید فایکوسیانین به عنوان ترکیبی آنتی اکسیدانی که قابلیت رقابت با رنگ های سینیتیکی را داراست، از اسپیرولینا پلاتنسیس بررسی شده است (سهیلی، ۱۳۸۹). اسپیرولینا فاقد سلولز در دیواره سلولی خود می باشد. این ویژگی باعث شده تا ماده غذایی مناسبی برای افراد مسن ویا بیماران مبتلا به مشکلات جذب روده ای باشد (ریچموند، ۱۹۹۲).

---

[۱] **Polyunsaturated fatty acids (PUFAs)**

[۲] **Gamma linolenic acid (GLnA)**

ارزش تغذیه ای اسپیرولینا

پروتئین ها

مطالعات متعددی بر روی ترکیبات شیمیایی توده سلولی اسپیرولینا انجام شده است که همگی بیانگر وجود مقادیر فراوانی پروتئین (۶۵-۶۲ درصد وزن خشک) می باشند. غلظت اسید نوکلئیک اسپیرولینا، همواره کمتر از پنج درصد وزن خشک اسپیرولینا بوده که این یک مزیت به شمار می رود. تحقیقات انجام گرفته بر روی اسپیرولینا توسط سازمان بهداشت جهانی و دانشمندان مختلف دنیا، این حقیقت را تأیید کرده اند که اسپیرولینا مخلوطی از ترکیبات مختلف بوده که هیچ ماده غذایی دیگری به تنهایی حاوی همه ی آن ها نمی باشد. میزان پروتئین اسپیرولینا از تمام مواد غذایی دیگر بالاتر است. اسپیرولینا شامل مقادیر تقریبا متعادلی پروتئین (شامل هشت اسیدآمینه اصلی) بوده، به راحتی هضم شده (بالا بودن ارزش زیستی[۳]) و به سرعت احساس گرسنگی را برطرف می کند. به جز متیونین و سیستئین که تا حدودی کمتر از مقدار استاندارد هستند، دیگر اسیدآمینه های ضروری دیگر در اسپیرولینا به مقدار کافی وجود دارند(سیفری، ۱۹۸۳؛ چروناکیس، ۲۰۰۱؛ جرشوین و همکاران، ۲۰۰۸).

مواد معدنی

میزان مواد معدنی اسپیرولینا نیز قابل توجه می باشد. سطح آهن اسپیرولینا، ۱۲ برابر بیشتر از هر ماده غذایی دیگری است. اسپیرولینا غنی از منیزیوم، پتاسیم و دیگر عناصر کمیاب می باشد. آهن موجود در ریزجلبک اسپیرولینا در حدود ۷۵۰ میلی گرم بر کیلوگرم است .بیشترین میزان توصیه شده آهن در روز برای زنان ۱۹ تا ۵۰ ساله ۱۸ میلی گرم می باشد، در نتیجه این ریز جلبک منبع مناسبی جهت تامین آهن در زنان باردار و افراد مبتلا به کم خونی است (پیوفولهوکس و همکاران، ۲۰۰۱) . اسپیرولینا از نظر کلسیم نیز غنی بوده و از این رو برای عملکرد سالم دندان ها و استخوان ها مناسب می باشد.

ویتامین ها

اسپیرولینا غنی ترین منبع ویتامین B12 (۱۱ میلی گرم در کیلوگرم) است و مصرف روزانه یک گرم اسپیرولینا جهت رفع نیاز بدن به این ویتامین کافی می باشد و از این جهت این سیانوباکتر دارای ارزش فوق العاده ای برای افراد مبتلا به کم خونی است(بلای و همکاران، ۱۹۹۷). علاوه بر ویتامین B12 ، اسپیرولینا مخلوط عالی از دیگر ویتامین ها نظیر A، B1، B2 ، B6 و E می باشد. اسپیرولینا حاوی ۲۱ درصد تیامین و ریبوفلاوین است. حدود ۰/۱ درصد وزن خشک آن را بتاکاروتن تشکیل می دهد که ۲۰ برابر بیش تر از هویج می باشد(بلای و همکاران، ۱۹۹۷). وجود میزان قابل توجهی آهن، اسید فولیک و ویتامین B12، اسپیرولینا را به غذای درمانی خوبی جهت درمان کم خونی تبدیل کرده است.

چربی ها

ریزجلبک ها حاوی مقادیر قابل توجهی چربی، با ترکیبی شبیه روغن نباتی هستند. در برخی شرایط خاص، ریزجلبک ها تا ۸۵ درصد وزن خشک خود، روغن دارند، اما معمولا مقدار روغن بین ۴۰-۲۰ درصد وزن خشک می باشد. روغن ریزجلبک ها معمولا استر گلیسرول و اسید های چرب ۲۲-۱۴ کربنی است. اسپیرولینا حاوی ۷-۵ درصد لیپید می باشد که عمدتاً از اسیدهای چرب ضروری مانند اسید لینولئیک (LA) و همچنین اسید گامالینولنیک (GLA) تشکیل شده است(اوتلس و پایری، ۲۰۰۱). اسپیرولینا عاری از کلسترول بوده و غنی از اسیدهای چرب چند غیر اشباعی است که آن را جهت درمان و پیشگیری از تصلب شرائین، چاقی و فشار خون مناسب می سازد. با توجه به اثرات مستقیم اسید گامالینولنیک روی سیستم

---

[۳] **Biological value**

ایمنی و درمان بسیاری از بیماری ها، از این رو همواره علاقه زیادی به تولید غلظت های بالا از اسید گامالینولنیک وجود داشته است(ساجیلاتا و همکاران، ۲۰۰۸) . از جمله تحقیقاتی که در این زمینه صورت گرفته بهینه سازی تولید اسید گامالینولنیک به وسیله اسپیرولینا پلاتنسیس در محیط کشت میکسوترف توسط گلمکانی (۱۳۹۰) می باشد. در این پژوهش اشاره شده اسپیرولینا پلاتنسیس نسبت به سایر منابع (منابع قارچی) دارای مقادیر بیشتری اسید گامالینولنیک است و شرایط کشت و بهینه سازی تولید این اسید چرب ضروری توسط این ریزجلبک بسیار کم هزینه تر و ساده تر می باشد (گلمکانی، ۱۳۹۰).

جدول ۱. پروفایل ترکیبات مغذی پودر اسپیرولینا (بلای و جرشوین، ۲۰۰۷).

ترکیب	در هر ۱۰۰ گرم	ترکیب	در هر ۱۰۰ گرم
درشت مغذی ها		ویتامین ها	
کالری	۳۷۳	ویتامین **A**	**۳۵۲,۰۰۰ IU**
چربی تام	**۴/۳ gr**	ویتامین **K**	**۱۰۹۰ mcg**
چربی اشباع	**۱/۹۵ gr**	ویتامین **HCL** (ویتامین **B_1**)	**۰/۵ mg**
چربی غیر اشباع	**۱/۹۳ gr**	ریبوفلاوین (ویتامین **B_2**)	**۴/۵۳ mg**
چربی تک اشباع	**۰/۲۶ gr**	نیاسین (ویتامین **B_3**)	**۱۴/۹ mg**
کلسترول	**<۰/۱ mg**	پیریدوکسین (ویتامین **B_6**)	**۰/۹۶ mg**
کربوهیدرات	**۱۷/۸ gr**	ویتامین **B_{12}**	**۱۶۲ mcg**
فیبر رژیمی	**۷/۷ gr**	املاح معدنی	
قند	**۱/۳ gr**	کلسیم	**۴۶۸ mg**
لاکتوز	**<۰/۱ gr**	آهن	**۸۷/۴ mg**
پروتئین	**۶۳ gr**	فسفر	**۹۶۱ mg**
اسیدآمینه ضروری (**mg**)		ید	**۱۴۲ mcg**
هیستیدین	۱۰۰۰	منیزیم	**۳۱۹ mg**
ایزولوسین	۳۵۰۰	روی	**۱/۴۵ mg**
لوسین	۵۳۸۰	سلنیوم	**۲۵/۵ mcg**
لیزین	۲۹۶۰	مس	**۰/۴۷ mg**
متیونین	۱۱۷۰	منگنز	**۳/۲۶ mg**
فنیل آلانین	۲۷۵۰	کروم	**<۴۰۰ mcg**
ترئونین	۲۸۶۰	پتاسیم	**۱/۶۶ mg**
تریپتوفان	۱۰۹۰	سدیم	**۶۴۱ mg**
اسیدآمینه غیر ضروری (**mg**)		ریز مغذی های نوری	
آلانین	۴۵۹۰	فایکوسیانین	٪۱۷/۲
آرژنین	۴۳۱۰	کلروفیل	٪۱/۲
اسید آسپارتیک	۵۹۹۰	سوپراکسید دسموتاز (**SOD**)	**۵۳۱۰۰۰ IU**
سیستین	۵۹۰	گامالینولئیک اسید (**GLA**)	**۱۰۸۰ mg**
اسید گلوماتیک	۹۱۳۰	کاروتنوئید کل	**۵۰۴ mg**
گلایسین	۳۱۳۰	بتاکاروتن	**۲۱۱ mg**

تولید جهانی اسپیرولینا و کاربردها

اسپیرولینا برای قرن های متمادی به عنوان غذا مصرف شده است. آزمایش های سم شناسی متعددی که با حمایت های مالی سازمان ملل انجام شده است، ایمنی آن را اثبات کرده اند. علاوه بر این، این محصول طی ۳۰ سال گذشته به شکل تجاری تولید و بدون هیچگونه مشکلی توسط هزاران نفر مصرف شده است. اخیرا دو شرکت در ایالات متحده، اسپیرولینا را با استفاده از دستورالعمل های علمی و بعد از تأیید سازمان غذا دارو ، به عنوان GRAS معرفی کرده اند. نتایج مطالعات مختلف بیانگر آن است که اسپیرولینا، پروفایل تغذیه ای خوبی داشته و حاوی ترکیباتی است که دارای مزایای سلامت بخش بالقوه ای می باشند. طی ۳۰ سال گذشته، تکنولوژی تولید اسپیرولینا پیشرفت کرده و در عین کاهش قیمت، افزایش کیفیت به همراه داشته است. امروزه اسپیرولینا به شکل تجاری در کشورهای مختلف دنیا تولید می شود. سه شرکت تولید کننده اصلی اسپیرولینا در آمریکا، چین و تایلند قرار دارند. این سه شرکت در مجموع سالانه حدود ۱۰۰۰ تن اسپیرولینا تولید می کنند. اسپیرولینا علاوه بر سه کشور مذکور در سایر کشورها از جمله تایوان، شیلی، ویتنام، هند، ژاپن، کوبا، اسپانیا، آرژانتین و مکزیک نیز کشت می شود.

حدود ۳۰ درصد تولید فعلی جهانی اسپیرولینا مربوط به خوراک دام می باشد. اسپیرولینا همچنین، دارای کاربردهای غذایی مختلفی در آب میوه ها، شیر، فراورده های قنادی، شکلات ها، دسرها، دونات ها، بیسکوئیت ها، کیک ها، کلوچه ها، ماکارانی ها، سس های سالاد، دسرهای منجمد، اسنک ها، چیپس ذرت، پف فیل، کراکر، غلات صبحانه، غذاهای مایع یا فوری و حتی در آبجوها می باشد. از اسپیرولینا به شکل گسترده برای اسپاگتی های رنگی، چیپس و خمیردندان استفاده می شود. برخی مواد غذایی که با رنگ های جذاب و دلپذیر سبز و آبی و برای کودکان تولید شده اند، حاوی اسپیرولینا هستند(شتی و همکاران،۲۰۰۶).

منابع

ریاحی، ح. ۱۳۸۱. جلبک شناسی. انتشارات دانشگاه الزهرا.

سهیلی، م. ۱۳۸۹. بهینه سازی تولید فایکوسیانین توسط جلبک Spirulina platensis. پایانامه کارشناسی ارشد دانشگاه فردوسی.

گلمکانی، م. ت.، ۱۳۹۰. بهینه سازی تولید گامالینولنیک اسید به وسیله اسپیرولینا پلاتنسیس در محیط کشت میکسوتروف به روش فد بچ. رساله دکتری دانشگاه تهران.

Aslan, S., and Kapdan, I.K. **2006**. Batch kinetics of nitrogen and phosphorus removal from synthetic wastewater by alga. *Ecol. Eng*, ***28(1): 64-70.***

Spolaore, P., Joannis-Cassan, C., Duran, E., Isambert, A. **2006**, Commercial applications of microalgae. *Journal of bioscience bioengineering, **101(2): 87-96***.

Selvam, R. **2002**. Calcium oxalate stone disease: role of lipid peroxidation and antioxidants. *Urol. Res, **30: 35-47***.

Spolaore, P., Joannis-Cassan, C., Duran, E., Isambert, A. **2006**, Commercial applications of microalgae. *Journal of bioscience bioengineering, **101(2): 87-96***.

Selvam, R. **2002**. Calcium oxalate stone disease: role of lipid peroxidation and antioxidants. *Urol. Res, **30: 35-47***.

Tietze, H.W. 2004. Spirulina Micro Food Macro Blessing. Ed ke-4. Australia: Harald W. *Tietze Publishing. **Hal 8-10***.

Shetty K., Paliyath G., Pometto A., and Levin R.E., 2006, Food Biotechnology, CRC Press, p.498.

Richmond, A. 1992. Mass culture of cyanobacteria. In: Mann, N., Carr, N., Eds. Photosynthetic prokaryotes. 2nd ed);Plenum Press, New York and London,181-210.

Chronakis, I.S. 2001. Gelation of edible blue-green algae protein isolates (Spirulina platensis): Thermal transitions, rheological properties, and molecular forces involved. Bioresource Technoogyl, 77:19-24.

Chronakis, I.S., Galatanu, A.N., Nylander, T., and Lindman, B. 2000. The behaviour of protein preparations from blue-green algae (Spirulina platensis strain Pacifica) at the air/water interface. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 173: 181-192.

Ciferri, O. 1983. Spirulina, the edible microorganism, Microbial. Review ,47:551-578.

Belay, A. **1997**. Mass culture of Spirulina outdoors. The Earthrise Farms experience. In: Vonshak, A., Ed. Spirulina platensis (Arthrospira): *Physiology, cell-biology and biotechnology; Taylor and Francis. London, **131-158.***

Sajilata, M.G., Singhal, R.S., Kamat, M.Y. **2008**. Supercritical CO2 extraction of clinolenic acid (GLA) from Spirulina platensis ARM 740 using response surface methodology. *Journal of Food Engineering, **84: 321–326***.

Ötles, S. & Pire, R. 2001. Fatty acid composition of Chlorella and Spirulina microalgae species, J. AOAC. 84: 1708-1714.

Puyfoulhoux, G., Rouanet, J.M,, Besancon, P., Baroux, B., Baccou, J.C., and Caporiccio, B. 2001., Iron availability from iron-fortified Spirulina by an in vitro digestion/Caco-2 cell culture model; Journal of Agricultural and Food Chemistry, 49: 1625-29.