

کاربرد کوآنزیم Q₁₀ به عنوان یک جز زیست فعال در غنی سازی مواد غذایی

نسیم خورشیدیان^۱، مجتبی یوسفی اصلی^۱، سیده معصومه عرب^۱، حسین حبیبی^۱،
محمد رضا کوشکی^{۲*}

۱. دانشجوی دکتری علوم و صنایع غذایی، کمیته تحقیقات دانشجویی، انستیتو تحقیقات تغذیه و صنایع غذایی، دانشکده علوم تغذیه و صنایع غذایی، دانشگاه

علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران

۲. دکترای علوم و صنایع غذایی، عضو هیئت علمی گروه تحقیقات صنایع غذایی، انستیتو تحقیقات تغذیه‌ای و صنایع غذایی کشور، دانشکده علوم تغذیه و

صنایع غذایی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران

(تاریخ دریافت: ۹۴/۶/۷ تاریخ پذیرش: ۹۴/۹/۱۲)

چکیده

صنعت غذاهای فراسودمند که شامل غذا، نوشیدنی‌ها و مکمل‌ها می‌باشد، یکی از حوزه‌هایی است که رشد روز افزونی را در سال‌های اخیر شاهد است و ترکیبات مختلفی به منظور بهبود ویژگی‌های محصولات فراسودمند مورد استفاده قرار گرفته‌اند. کوآنزیم Q₁₀ یک ترکیب شبه ویتامینی محلول در چربی است که در بدن ساخته می‌شود. کوآنزیم Q₁₀، یک آنتی اکسیدان طبیعی است که نقش اساسی در تولید انرژی در سلول و اثرات مفیدی در سلامت بدن دارد. این ماده به طور طبیعی در بسیاری از مواد غذایی وجود دارد. گوشت، ماهی، مغزهای خوراکی و برخی روغن‌ها منابع غنی از Q₁₀ هستند و مقادیر کمتری از آن در فرآورده‌های لبنی، سبزیجات، میوه‌ها و غلات یافت می‌شود. همچنین میزان آن در مواد غذایی مختلف به منشا جغرافیایی ماده اولیه بستگی دارد. میزان متوسط دریافت روزانه Q₁₀، تنها ۶-۳ میلی‌گرم است. مقدار دریافت روزانه می‌تواند به طور قابل توجهی از طریق غنی سازی مواد غذایی افزایش یابد.

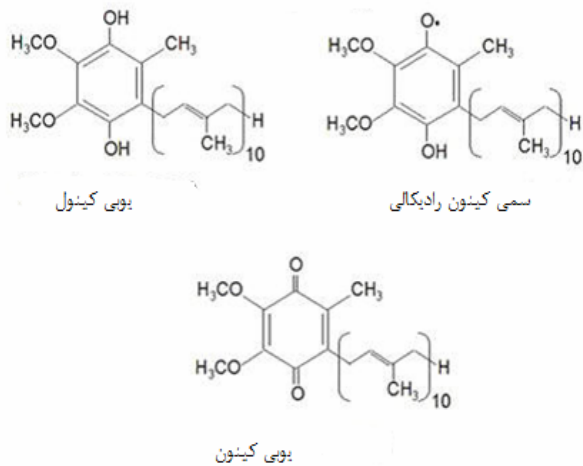
کلید واژه‌گان: کوآنزیم Q₁₀، پایداری، فراسودمند، غنی سازی

*مسئول مکاتبات: mr_koushki@yahoo.com

۱- مقدمه

ایزوپرنوئید از مسیر mevalonate (مشابه مسیر کلاسترول) تامین می‌گردند [۹]. بنابراین تولید COQ₁₀ به فراهم بودن پیش‌سازها و کوفاکتورهای متعددی وابسته است و کمبود هر کدام از این مواد اثر نامطلوبی بر تولید آن خواهد داشت. بنابراین برای تامین مقادیر مورد نیاز بدن می‌توان از مکمل‌ها و یا غنی‌سازی مواد غذایی با COQ₁₀ استفاده نمود.

کوآنزیم Q10



یوبی کینول

سمی کینون رادیکالی

یوبی کینون

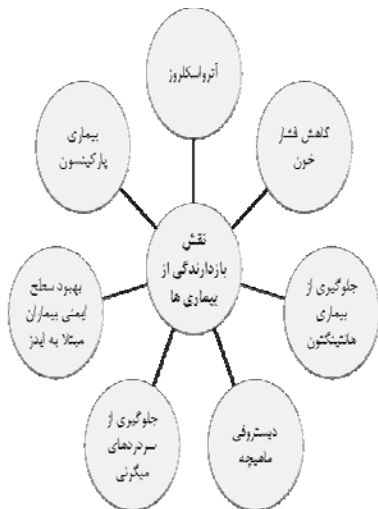
شکل ۱ اشکال مختلف کوآنزیم Q10

۲- اهمیت و اثرات سلامت بخش کوآنزیم Q10

Q₁₀ یکی از اجزای تشکیل دهنده زنجیره انتقال الکترون است و در تنفس هوازی سلولی شرکت دارد. Q₁₀ نقش مهمی در تولید انرژی در میتوکندری به فرم ATP ایفا می‌کند. این ترکیب به عنوان یک حامل الکترون از کمپلکس آنزیمی I و II به کمپلکس آنزیمی III در زنجیره انتقال الکترون عمل می‌کند. علاوه بر این کوآنزیم Q₁₀ دارای نقش آنتی اکسیدانی نیز می‌باشد. این مولکول به عنوان یک حامل الکترون دائمی اکسید و احیا می‌شود. هنگامی که الکترون می‌پذیرد، احیا شده و در این حالت چون پیوند بین الکترون و کوآنزیم Q₁₀ ضعیف بوده و مولکول قادر است این الکترون را در اختیار رادیکال‌های آزاد قرار دهد. Q₁₀ از پراکسیداسیون لیپیدها با بازدارندگی از تشکیل رادیکال‌های پراکسیل جلوگیری می‌کند. فرم احیا شده Q₁₀ موجب احیا شدن ویتامین E از رادیکال‌های α-توکوفرول می‌گردد و مرحله آغازین

امروزه همراه با افزایش تقاضا و مصرف محصولات فراسودمند، ترکیبات مختلفی به منظور تولید این فرآورده‌ها به مواد غذایی افزوده می‌شود. کوآنزیم Q₁₀ یکی از ترکیباتی است که به منظور غنی‌سازی مواد غذایی استفاده شده است. کوآنزیم Q₁₀ یک آنتی اکسیدان طبیعی است که نقش‌های اصلی در بیوانرژی سلولی و اثرات سلامت بخش متعددی دارد و با غنی‌سازی مواد غذایی می‌توان به ارزش مواد غذایی افزود. کوآنزیم‌های Q ترکیبات لیپوفیلک موجود در هر سلول زنده هستند و به دلیل فراوانی آن‌ها در طبیعت لفظ "یوبی کینون" نیز در مورد آن‌ها به کار می‌رود [۱ و ۲]. شکل غالب آن‌ها در انسان و اغلب حیوانات به شکل کوآنزیم Q₁₀ است که حاوی ۱۰ واحد ایزوپرنوئیدی متصل به یک بخش بنزوکینونی است [۳]. در سال ۱۹۵۷ این ترکیب اولین بار در طول بررسی سیستم انتقال الکترون در میتوکندری قلب گاو شناسایی شد. در سال ۱۹۷۸، Peter Mitchell جایزه نوبل شیمی را به خاطر تلاش‌هایش در زمینه فهم نقش Q₁₀ در زنجیره انتقال الکترون دریافت نمود. این ترکیب در بدن به سه شکل کاملاً اکسید شده (یوبی کینون)، فرم احیا شده (یوبی کینول یا هیدروکینون) و شکل سمی کینون وجود دارد (شکل ۱). COQ₁₀ اغلب در اعضای فعال بدن مانند قلب، کلیه و کبد وجود دارد و با افزایش سن مقدار آن کاهش می‌یابد [۴ و ۵]. تنها ۱۰٪ از کل COQ₁₀ در سیتوسل قرار دارد و حدود ۵۰٪ آن در میتوکندری موجود است که دسترسی آن را به رادیکال‌های آزاد که اغلب در طول فرآیند فسفریلاسیون اکسیداتیو ایجاد می‌شوند را بیشتر می‌کند [۶]. مقادیر روزانه توصیه شده برای مصرف از منابع خارجی در افراد سالم ۱۰۰-۳۰۰ mg تا ۱۲۰۰-۶۰۰ mg در افرادی که به دلیل وضعیت بالینی خاص خود به عنوان درمان کمکی و مکمل استفاده می‌کنند، می‌باشد [۷ و ۸]. همه سلول‌ها توانایی ساخت کوآنزیم Q₁₀ را دارند. سنتز داخلی فرآیند پیچیده‌ای است که نیاز به ویتامین‌های متعددی از جمله B₆، B₁₂، اسید فولیک، نیاسین آمید، پانتوتنیک و ویتامین C و همچنین عناصر کمیاب دارد. حلقه کینونی از اسید آمینه تیروزین، گروه‌های متیل روی حلقه بوسیله متیونین و زنجیره‌های جانبی

1. Ubiquinone



شکل ۲ اثرات Q10 در جلوگیری از برخی بیماری‌ها

مقادیر متوسطی از CoQ10 در کره یافت شده است (7 mg/kg). ارتباطی بین فرآیند مواد غذایی، میزان چربی و مقدار CoQ10 وجود دارد، مواد غذایی که کمتر تحت فرآیند قرار گرفته‌اند و با مقدار چربی بالاتر معمولاً مقدار CoQ10 بیشتری دارند، به عنوان مثال شیر با چربی کامل (چربی ۳/۶٪: ۱/۹ mg/kg) مقادیر Q10 بیشتری در مقایسه با شیر دارای چربی ۱/۶٪ (۱ mg/kg) (۰/۵) داراست [۱۸]. در مورد ماهی، مقادیر بیشتر Q10 در بافت‌های قرمز رنگ در مقایسه با بافت سفید وجود دارد. بیشترین مقادیر این ترکیب نیز در ماهی‌های ماکرل (۱۳۰-۳/۶ mg/kg) و ساردین (۶۴/۳-۵/۱ mg/kg) اندازه گیری شده است [۱۹]. در مورد مواد غذایی با منشا غیر حیوانی، بیشترین مقادیر در روغن‌ها وجود دارد. ترکیب روغن‌های گیاهی ارتباط نزدیکی با منشا اولیه دارد و بیشترین مقدار Q10 در گیاهان خانواده *Brassicaceae* و *Fabaceae* وجود دارد. در مطالعات انجام شده مشخص شد که مقدار Q10 در روغن‌ها به طور قابل توجهی به منطقه جغرافیایی رشد گیاه و شرایط آب و هوایی بستگی دارد. در بین روغن‌های گیاهی، بیشترین مقدار در روغن شلغم روغنی (rapeseed oil) (۷۳-۶۳ mg/kg) و پس از آن در روغن کنجد (۳۲ mg/kg)، روغن تخم پنبه و روغن آفتابگردان به ترتیب با مقادیر ۱۷ و ۱۵-۴ mg/kg وجود دارد [۲۰ و ۲۱].

مغزهای خوراکی مانند بادام زمینی، دانه کنجد و پسته نیز جز منابع غنی Q10 هستند (بیش از ۲۰ mg/kg). در حالی که گردو و فندق نسبتاً غنی از Q10 هستند (۱۹-۱۷ mg/kg). لوبیای سویا نیز نسبتاً غنی از Q10 است (۱۹-۸ mg/kg)، در حالی که

در اکسیداسیون لیپیدها را کند می‌نماید. علاوه بر این، در طول استرس اکسیداتیو، واکنش پراکسید هیدروژن با یون‌های فلزی موجود در ساختار DNA، تولید رادیکال‌های هیدروکسیل می‌کند که Q10 از اکسیداسیون بازهای موجود در ساختار DNA و آسیب به آن جلوگیری می‌نماید. بر خلاف سایر آنتی‌اکسیدان‌ها، کوآنزیم Q10 هم از مرحله آغازی و هم مرحله انتشار در اکسیداسیون لیپیدها و پروتئین‌ها، جلوگیری می‌کند [۷ و ۱۰]. مطالعات موردی و بالینی متعددی اثرات مثبت Q10 را بر بیماری‌های متعدد از جمله بیماری‌های قلبی-عروقی [۱۱ و ۱۲]، دیابت [۱۳]، بیماری‌های با منشا عصبی [۱۴]، بیماری‌های دندان [۱۵]، پارکینسون نشان داده‌اند. تأثیر مثبت آن در درمان بیماران سرطانی به دلیل ویژگی آنتی‌اکسیدانی و بیوانرژی‌ک آن مشخص شده است. همچنین گزارش شده است که کوآنزیم Q10، تشکیل استرس اکسیداتیو را در پوست انسان که منجر به پیری می‌گردد را کاهش می‌دهد. در شکل ۲ سایر اثرات کوآنزیم Q10 آورده شده است.

۳- منابع غذایی Q10

علاوه بر سنتز Q10 در بدن، این ترکیب توسط مواد غذایی مختلفی نیز قابل تامین است. همان گونه که انتظار می‌رود، گوشت و ماهی غنی‌ترین منابع CoQ10 هستند که به دلیل داشتن چربی بالا و تعداد میتوکندری بیشتر در ساختار آنها است [۱۶]. میزان این ترکیب در بافت‌های مختلف بدن بسته به نوع عملکرد آن متفاوت است [۱۷]. در جدول ۱ مقدار Q10 در برخی منابع غذایی آورده شده است. در مطالعات انجام شده، بالاترین میزان CoQ10 در گوشت نوعی گوزن (۱۵۸ mg/kg) و پس از آن در گوشت گاو، خوک و کبد جوجه تعیین شد [۱۸]. مقدار CoQ10 در تخم مرغ نیز اندازه گیری شد و تنها زرده تخم مرغ (۵ mg/kg) می‌تواند به عنوان منبع متوسطی از این ترکیب محسوب گردد. فرآورده‌های لبنی نیز در مقایسه با بافت‌های حیوانی منابع ضعیفی از آن هستند [۱۸].

بسیار ضعیف Q10 هستند، به استثنای آووکادو که مقدار Q10 در آن نسبتاً بالا است (9/5 mg/kg) که احتمالاً به دلیل میزان چربی بالای آن است. یک استثنای دیگر در این مورد کشمش سیاه است (3/4 mg/kg) [21].

مقادیر کمتری در محصولات فرآوری شده سویا مانند توفو، شیر و ماست تولید شده از آن وجود دارد. در مورد سبزیجات بیشترین مقدار Q10 در جعفری اندازه گیری شد (26 mg/kg). بروکلی و گل کلم منابع متوسط آن هستند. اغلب میوه‌ها و توت‌ها منابع

جدول 1 مقادیر کوآنزیم Q10 در برخی منابع غذایی [30]

ماده غذایی	مقدار کوآنزیم Q10 mg/kg	ماده غذایی	مقدار کوآنزیم Q10 mg/kg
گوشت		مغزها	
قلب گاو	113/3	گردو	19
ماهیچه گاو	26-40	بادام زمینی	27
کبد گاو	39-50	کنجد	18-23
سینه مرغ	7/8-17/1	فندق	17
تخم مرغ		پسته	20
زرده تخم مرغ	5/2	بادام درختی	5-14
فرآورده‌های لبنی		غلات	
کفیر با چربی 1/6٪	0/7	ذرت	7
کره	7/1	گندم	3/5-6/8
ماست با چربی 3/2٪	0/7-1/1	برنج	4/9
ماست با چربی 1/6-1/5٪	0/7-1/4	میوه‌ها	
شیر UHT با چربی 3/5٪	1/7	آووکادو	10
ماهی		انگور	7
سالمون	4-8	پرتقال	1-2
بافت قرمز	43-67	سیب	1
بافت سفید	11-16	توت فرنگی	1
سبزیجات		روغن‌های نباتی	
جعفری	8-26	روغن زیتون	4-160
بروکلی	6-9	روغن سویا	54-280
اسفناج	10	روغن آفتابگردان	4-15

مواد غذایی فراسودمند غنی شده با Q10 استفاده کرد. در جدول 1 مقادیر Q10 در برخی مواد غذایی مشاهده می‌شود.

۴- کاربرد Q10 در صنعت غذا

مطالعات متعددی در زمینه افزودن Q10 به عنوان یک جز زیست فعال به مواد غذایی و افزایش خواص سلامت بخش غذاها

مقدار Q10 در رژیم غذایی افراد در اغلب کشورها، 3-6 mg در هر روز است که اغلب از مصرف گوشت و تا حد کمتری از غلات میوه‌ها و سبزیجات تامین می‌شود. دریافت CoQ10 در این مقدار برای جبران صدمات ناشی از افزایش سن کافی نیست. بنابراین برای جبران این کمبود می‌توان از مکمل‌های Q10 و یا

ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی نداشت [۲۳]. در مطالعه دیگر انجام شده در سال ۲۰۱۳، توسط همین محققین بر روی آب انگور غنی شده با Q10، نتایج نشان داد که برخلاف غلظت کوآنزیم Q10، اثر متغیرهای دما و زمان بر pH و اسیدیته فرآورده به ترتیب معکوس و مستقیم است. در حالی که ارتباط بین زمان نگهداری و غلظت Q10، و متغیر دما با ویسکوزیته محصول به ترتیب مستقیم و معکوس بودند. همچنین نتایج نشان داد زمان و غلظت Q10 دارای اثر مستقیم و دما دارای اثر معکوس بر کدورت آب انگور هستند. نتایج ارزیابی حسی نیز نشان داد که دما و غلظت Q10 تاثیر معکوس بر شفافیت آب انگور دارند [۲۴].

Tobin و همکاران زیست دسترسی Q10 را در فرآورده های گوشتی عمل آوری شده از جمله پاته‌های گوشت گاو و سوسیس خوک غنی شده با Q10 ارزیابی کردند. مقدار بازیابی پس از پخت در پاته های گوشت $1/42 \pm 74\%$ و $79/69 \pm 0/75\%$ در سوسیس های خوک بود. قابلیت هضم هر دو محصول بین ۹۳ تا ۹۵٪ بود [۲۵].

Stratulat و همکاران در سال ۲۰۱۳، کوآنزیم Q10 را توسط کلسیم کازینات، روغن تخم کتان و لسیتین کپسوله کردند و امولسیون حاصل را در فرمولاسیون پنیر مورد استفاده قرار دادند. نتایج نشان داد کوآنزیم Q10 موجب افزایش پایداری امولسیون و جلوگیری از اکسیداسیون آن می شود و میزان باقی ماندن آن در ماتریس پنیر حدود ۹۳٪ است و بنابراین می تواند به عنوان یک جز زیست فعال در تولید پنیرهای فراسودمند به کار رود [۲۶]. Ercan و Nehir El (۲۰۱۲)، زیست دسترسی Q10 را در نمونه های ماست غنی شده بررسی کردند. در این مطالعه، یک کمپلکس از کوآنزیم Q10 و γ -سیکلودکسترین، امولسیونی از کوآنزیم Q10 و نانوذراتی از کوآنزیم Q10 تهیه شد و در تولید ماست مورد استفاده قرار گرفتند. نتایج به دست آمده مشخص نمود که در نمونه های ماست غنی شده از نانوذرات Q10، بیشترین زیست دسترسی ($1/61 \pm 73/81\%$) وجود داشت و در نمونه های غنی شده با کوآنزیم Q10 به صورت امولسیون و کمپلکس با سیکلودکسترین به ترتیب ($0/9 \pm 63/75\%$) و ($1/27 \pm 46/83\%$) بود [۲۷].

صورت گرفته است. از نظر تئوری، غنی سازی با سه روش امکانپذیر است. (۱) افزودن به مواد غذایی در طول فرآیند (۲) افزودن این ترکیب به محیط اولیه ای که مواد غذایی از آن منشأ می گیرند (مانند غذای حیوان) و (۳) اصلاح ژنتیکی گیاهان.

۵- غنی سازی مواد فرآیند شده

کوآنزیم Q10 می تواند در غنی سازی بسیاری از مواد غذایی ضروری به کار رود. به عنوان مثال غنی سازی شیر و فرآورده های لبنی برای این هدف بسیار مناسب است. مقدار CoQ10 در این فرآورده ها اندک است، در صورتی که میزان مصرف آن ها نسبتا زیاد است. علاوه بر این مشخص شده است که می توان مقدار CoQ10 در این فرآورده ها را با اشکال جدید و قابل حل افزایش داد بدون آن که بر پایداری و خواص ارگانولپتیک آن ها اثر نامطلوبی بر جای گذارد. به عنوان مثال، شیر گاو غنی نشده با چربی ۳/۵٪ حاوی $1/7 \text{ mg/kg}$ Q10 است که با افزودن ترکیب پودری شکل می توان این مقدار را به $3/2 \text{ mg/kg}$ افزایش داد. همچنین با استفاده از فرم قابل حل CDQ10، مقدار اولیه ۵۰۰۰ برابر افزایش می یابد (8500 mg/kg). غنی سازی سایر مواد غذایی مانند ماست و سایر فرآورده های لبنی، آب میوه ها، نکتار و نوشیدنی های مختلف نیز انجام شده است. با این که غنی سازی مواد غذایی بسیار ساده به نظر می آید، توجه بسیار زیادی باید به ترکیب و هموزن بودن محصول نهایی معطوف گردد. محصولات غنی شده باید پایداری لازم را در طول نگهداری دارا باشند [۲۲].

در مطالعه انجام شده توسط گودرزی و همکاران در سال ۲۰۱۴، اثر افزودن Q10 در غلظت های (۱۰ و ۲۰ میلی گرم در ۳۰۰ میلی لیتر) و دمای نگهداری (۲۵ و 4°C) بر ویژگی های فیزیکوشیمیایی آب پرتقال (pH، اسیدیته قابل تیتراسیون، بریکس، ویسکوزیته، کدورت و ویژگی حسی) در طول سه ماه دوره نگهداری مورد ارزیابی قرار گرفت. با افزایش دما و زمان، pH کاهش یافت و با افزایش غلظت Q10، pH افزایش پیدا نمود. دما و زمان تاثیر مستقیم بر اسیدیته داشتند و غلظت Q10، اثر عکس بر مقدار اسیدیته داشت. با افزایش مدت زمان نگهداری و غلظت Q10، بریکس، ویسکوزیته و کدورت افزایش یافت. نتایج مطالعه نشان داد که افزودن Q10 هیچ تاثیر منفی بر

۶- غنی سازی مواد غذایی فرآیند نشده

گوشت ماکیان برای این منظور بسیار مناسب است، زیرا مقدار چربی و کلسترول کمتری دارد و مصرف آن نسبت به گوشت قرمز مصرف بیشتری دارد. برای این منظور، در یک مطالعه، بیست روز قبل از کشتار، غذای غنی از Q10 (5 mg) به ازای هر کیلوگرم وزن بدن) به جوجه‌ها داده شد و موجب افزایش مقدار Q10 در بافت گوشت شد. با دادن رژیم غذایی غنی از Q10 می توان میزان آن را در تخم مرغ افزایش داد. در یک مطالعه یک افزایش 67 درصدی در مقدار Q10 در زرده تخم مرغ (mg/kg) (8/7) پس از سه هفته دادن رژیم غذایی حاوی 7 mg از Q10 مشاهده شد [28]. یکی دیگر از روش‌های غنی‌سازی مواد غذایی، پرورش گیاهانی با مقدار Q10 افزایش یافته از طریق اصلاح ژنتیکی است. این روش در مورد محصولات کشاورزی قابل استفاده است. اخیراً، برنج غنی از Q10 (35 mg/kg) از طریق اصلاح ژنتیکی تولید شده است [29 و 30].

۷- چالش‌های غنی‌سازی مواد غذایی با

Q10

افزایش حلالیت و پایداری Q10

تا کنون غنی سازی مواد غذایی با CoQ10 به راحتی قابل انجام نبوده است که به دلیل ساختار مولکولی و ویژگی های فیزیکی این ماده می باشد. در شکل خالص، CoQ10، یک ماده پودری کریستال شکل است. آبگریزی و وزن مولکولی بالای آن (863 = Mr) موجب شده است که در آب نامحلول باشد و محدودیت اصلی در غنی سازی مواد غذایی با آن نیز همین مشکل است، به خصوص در مواد غذایی با چربی پایین. به منظور حل این مشکل، اشکال جدیدی از Q10 تهیه شده اند. مثالهایی از این ترکیبات شامل فرم لیپوزومی و میسلی آن است که بیشتر به منظور استفاده در صنایع آرایشی ساخته شده است. در صنعت داروسازی نیز از نانومیسل های Q10 و ترکیباتی مانند پلی اتیلن گلیکول و پلی سوربات به منظور افزایش حلالیت آن استفاده شده است. به طور کلی سه روش به منظور افزایش حلالیت و زیست دسترسی این ترکیب وجود دارد:

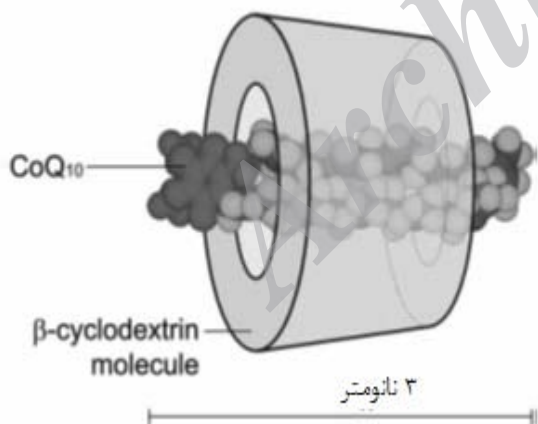
۱- کاهش در اندازه ذرات: یکی از راه‌های افزایش زیست دسترسی کاهش اندازه ذرات در حد میکرو و نانو است ولی به

نظر می‌رسد این استراتژی در مورد کوآنزیم Q10 چندان مناسب به نظر نمی‌رسد [31].

۲- کوآنزیم Q10 در سوسپانسیون روغن: استفاده از امولسیون‌ها برای افزایش زیست دسترسی و جذب بهتر در لوله گوارشی روش مطلوبی است [32].

۳- اشکال جدید کوآنزیم Q10 با افزایش قابلیت حلالیت در آب: استفاده از برخی ترکیبات که قادر به تشکیل کمپلکس با کوآنزیم Q10 هستند مانند لسیتین هیدروژنه [33] و سیکلودکسترین ها [34]، موجب افزایش حلالیت در آب می شوند که این روش بیشتر در صنعت داروسازی قابل استفاده است.

در مورد مواد غذایی، استفاده کمتر از مواد افزودنی مطلوب است. در این مورد نشاسته و مشتقات آن، ترکیبات مناسبی هستند. پوشش‌های هیدروفیل بر پایه نشاسته به طور موفقیت آمیزی برای تهیه محلول‌ها و یا دیسپرسیون‌های Q10 در آب مورد استفاده قرار گرفته اند [35]. β -سیکلو دکسترین (β -CD) یکی از مشتقات نشاسته است که برای این منظور بسیار مناسب است (شکل ۲). پایداری، حلالیت در محیط های مختلف، کاربرد آسان این شکل از Q10 و عدم تغییر ویژگی‌های ارگانولپتیک محصولات غذایی فراسودمند، موجب افزایش کاربرد این ترکیب به منظور غنی سازی مواد غذایی شده است [36].



شکل ۲ تشکیل کمپلکس بین Q10 و β -سیکلودکسترین (۲۷)

Wah Chan و همکاران (۲۰۱۳)، پایداری کوآنزیم Q10 را در چندین نوع امولسیون روغن در آب مورد بررسی قرار دادند. ۸

ماهیچه، کبد و قلب گاو ارزیابی کردند. نتایج به دست آمده مشخص نمود که مقدار Q10 در قلب، ماهیچه و کبد گاو به ترتیب $1.09/97 \mu\text{g/g}$ ، $23/47 \mu\text{g/g}$ و $33/34 \mu\text{g/g}$ بوده و کمترین مقدار باقی مانده Q10، پس از فرآیند سرخ کردن در قلب گاو (۶۹٪) مشاهده شد [۴۰].

اثر فرآوری مواد غذایی و روش‌های پخت بر مقدار Q10 در مواد غذایی

Weber و همکاران (۱۹۹۷)، اثر پخت را بر مقدار Q10 بررسی کردند و مشخص شد که مقدار Q10 به میزان ۱۴-۳۲٪ در اثر سرخ کردن کاهش یافت ولی کاهشی در اثر فرآیند پختن در آب جوش مشاهده نشد [۴۱]. Purchas و همکاران (۲۰۰۴)، به این نتیجه رسیدند که پس از پختن گوشت بره در دمای 70°C به مدت ۹۰ دقیقه، مقادیر بیشتری Q10 در بره پخته شده وجود داشت. آن‌ها پیشنهاد کردند که مقادیر بیشتر Q10 در گوشت بره پخته نسبت به گوشت خام به دلیل خارج شدن آن از بافت و قابل دسترس شدن این ترکیب در اثر حرارت دهی می‌باشد [۴۲]. اگرچه در مطالعه دیگری که توسط همین محققین صورت گرفت، مشخص شد که مقدار Q10 در استیک‌های گوشت گاو پس از گریل کردن در دمای 200°C ، به طور قابل توجهی کاهش پیدا کرد ولی کاهش معنی داری در مقدار Q10 در استیک‌های پخته شده در دمای 60°C و 80°C مشاهده نشد [۴۳]. در مطالعه دیگری، تحت فرآیند قرار دادن لوبیای سویا و پختن آن در آب جوش، تهیه ناتو (تخمیر لوبیای سویا) و kinako (لوبیای سویای برشته شده و آسیاب شده)، تاثیر اندکی بر مقدار Q10 این محصولات داشت. این نتایج نشان داد که فرآیندهایی مانند پختن در آب جوش، تخمیر و فرآیند حرارتی اثری بر کاهش مقدار Q10 در فرآورده‌های مختلف سویا ندارد [۲۱].

روش‌های اندازه‌گیری کوآنزیم Q10

دو روش اصلی برای استخراج Q10 از بافت‌ها و مواد غذایی وجود دارد که شامل استخراج مستقیم و صابونی کردن قبل از استخراج است. Weber و همکاران (۱۹۹۷) گزارش کردند که استفاده از مخلوطی از اتانول-هگزان در روند استخراج نتایجی مشابه با صابونی کردن به دست می‌دهد. در نتیجه، استخراج مستقیم به وسیله حلال به طور وسیعی در نمونه‌های غذایی به

روغن گیاهی (کانولا، نارگیل، ذرت، هسته انگور، زیتون، پالم، سویا و آفتابگردان) و ۴ نوع امولسیفایر (توئین ۸۰، سوکروز لورات، سدیم استئارویل لاکتات و پلی گلیسرول استر) به منظور تهیه امولسیون مورد استفاده قرار گرفتند. یافته‌ها نشان داد که حلالیت کوآنزیم Q10 در روغن‌های حاوی اسیدهای چرب متوسط زنجیر (روغن نارگیل و روغن هسته پالم) در مقایسه با روغن‌های دارای زنجیر بلندتر بیشتر است. اندازه قطرات بین $2/79 \mu\text{m}$ تا $4/22 \mu\text{m}$ در مورد روغن نارگیل و $3/49 \mu\text{m}$ تا $5/83 \mu\text{m}$ در مورد روغن هسته پالم بود. علاوه بر این پایداری کوآنزیم Q10 در امولسیون متشکل از سدیم استئارویل لاکتات (با $\text{HLB} = 8/3$) و K- کاراگینان در طول دوره نگهداری ۳۰ روزه بیشتر بود [۳۷]. Thanatuksorn و همکاران (۲۰۰۹)، چندین امولسیون متشکل از Q10 و چربی‌ها و امولسیفایرهای معمول مورد استفاده در صنعت غذا تهیه کرده و زیست دسترسی آن را با یک محصول تجاری مقایسه نمودند. در این مطالعه، روغن زیتون، روغن بذرک، روغن نارگیل، کره حیوانی و کره کاکائو و امولسیفایرهای لسیتین، مونوگلیسریدها، کلسیم-استئارویل-۲-لاکتات (CSL) و استرهای مونوگلیسریدی دی استیل تارتاریک اسید و دو نوع فاز آبی (آب مقطر همراه با $8 \text{g} / 100 \text{g}$ شیر پس چرخ یا بدون آن) مورد استفاده قرار گرفتند. نتایج نشان داد که Q10 در روغن نارگیل و بذرک بیشترین حلالیت را داراست و فرمول بهینه امولسیونی متشکل از روغن نارگیل، فاز آبی حاوی شیر پس چرخ و CSL می‌باشد و زیست دسترسی Q10 نیز در مقایسه با محصول تجاری حاوی این ترکیب بیشتر است [۳۸].

در مطالعه انجام شده توسط Pravst و همکاران در سال ۲۰۰۹، پایداری کوآنزیم Q10 در چندین محصول (شیر، کفیر، لخته شیر، نکتار سیب و شربت میوه) غنی شده با کمپلکس $\beta / \text{Q10}$ -سیکلودکسترین مورد ارزیابی قرار داده شد. نتایج نشان داد که تنها در شیر UHT پس از سه ماه نگهداری و در شربت میوه پس از یک سال نگهداری، کاهش جزئی مشاهده شد ولی در سایر نمونه‌ها کاهشی دیده نشد. علاوه بر این هیچ گونه تغییری در ویژگی‌های حسی، میکروبی، فیزیکی و شیمیایی نیز رخ نداد [۳۹].

Ercan و Nehir El (۲۰۱۱)، اثر روش‌های مختلف پخت (سرخ کردن و آب پز کردن) را بر میزان پایداری کوآنزیم Q10 در

۳- نتیجه گیری

کوآنزیم Q10 یک ترکیب طبیعی است که در تمام سلول‌های بدن وجود داشته و نقش اساسی در تولید انرژی و به عنوان آنتی اکسیدان دارد. علاوه بر سنتز داخلی در بدن، از منابع غذایی نیز قابل تامین است. همچنین به منظور تامین مقادیر مورد نیاز بدن می‌توان از مکمل‌ها و یا غنی‌سازی مواد غذایی استفاده نمود. افزودن Q10 به محصولات غذایی می‌تواند ویژگی‌های سلامت بخش این فرآورده‌ها را افزایش داده و زیست دسترسی و میزان دریافت این ترکیب را بهبود دهد. به دلیل لیوفیل بودن و وزن مولکولی بالای این ترکیب، غنی‌سازی مواد غذایی با چربی پایین چندان ساده نیست و باید از اشکال قابل حل در آب استفاده نمود. علاوه بر این، پایداری Q10 در محصول غذایی در طول دوره نگهداری نیز اهمیت داشته و مطالعاتی باید در این زمینه صورت گیرد. استفاده از روش‌های مهندسی ژنتیک نیز یکی دیگر از راهکارهای افزایش میزان Q10 در محصولات کشاورزی و گیاهان می‌باشد.

۴- منابع

- [1] Kagan, V.E., Quinn, P.J. (2001) Coenzyme Q: Molecular Mechanisms in Health and Disease. Boca Raton, Florida, CRC Press, pp 1-5.
- [2] Haas, R. Ed. (2007). The role of coenzyme Q in cellular metabolism: Current biological and clinical aspects. *Mitochondrion*, 7 (Suppl. 1), S1-180.
- [3] Crane, F. L. (2007). Discovery of ubiquinone (coenzyme Q) and an overview of function. *Mitochondrion*, 7:S2-S7.
- [4] Mellors, A., Tappel, A. L. (1966). The inhibition of mitochondrial peroxidation by ubiquinone and ubiquinol. *The Journal of Biological Chemistry*, 241,4353-4356.
- [5] Bentinger, M., Brismar, K., Dallner, G. (2007a). The antioxidant role of coenzyme Q. *Mitochondrion*, 7 suppl:S41-50.
- [6] Sastry, P.S., Jayaraman, J., Ramasarma, T. (1961). Distribution of coenzyme Q in rat liver cell fractions. *Nature*, 189, 577.
- [7] Challem, J. (2005). Nutrients that enhance energy and prevent DNA damage. In: Feed Your

دلیل ساده بودن، کارایی و زمان کمتر مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱۹، ۳۹، ۴۰، ۴۲].

Souchet و Laplante (۲۰۰۷)، بیان کردند در حالی که صابونی کردن نتایج بهتری به دلیل خارج کردن ناخالصی‌ها مانند تری‌گلیسریدها و آزادسازی Q10 متصل شده به پروتئین‌ها در غشای میتوکندری داراست، در عین حال ممکن است موجب تخریب Q10 به دلیل حساسیت به شرایط قلبیایی گردد [۴۳]. با این حال، استفاده از روش صابونی کردن همچنان به طور گسترده در نمونه‌های دارای درصد چربی بالا به کار می‌رود [۱۶ و ۲۱].

۸- آینده کاری غنی‌سازی فرآورده های غذایی با Q10

Q10 به صورت قرص‌های جویدنی و غیر جویدنی، کپسول و کپسول‌های نرم حاوی سوسپانسیون روغنی در بازار موجود است ولی زیست دسترسی خوراکی^۲ این محصولات به دلیل وزن مولکولی بالا و قابلیت حلالت پایین Q10 بسیار اندک است [۲۲]. از این رو مصرف غذاهای فراسودمند غنی شده با Q10 می‌تواند منبع مناسبی برای دریافت این ترکیب باشد. افزودن Q10 به یک نوشیدنی و یا یک غذای جامد به دلیل مطلوبیت بیشتر برای مصرف که به راحتی نوشیده یا خورده می‌شود، دریافت آن را از طریق رژیم غذایی افزایش می‌دهد [۴۴]. از آنجایی که مصرف و مقبولیت غذاهای فراسودمند رو به افزایش است، Q10 می‌تواند به مواد غذایی مختلفی اضافه شود و به منظور افزایش پایداری و زیست دسترسی آن، روش‌های متعددی مانند تشکیل کمپلکس‌های مولکولی، امولسیون‌ها، نانوامولسیون‌ها و سیستم‌های لیپوزومی با استفاده از امولسیفایرها و پایدار کننده‌ها قابل استفاده خواهد بود [۴۷-۴۵]. علاوه بر این، می‌توان از راهکارهایی نیز به منظور افزایش سطح آن در مواد غذایی خام مانند گوشت از طریق خوراک دام حاوی منابع غذایی Q10 و یا دستکاری ژنتیکی گیاهان به منظور افزایش تولید Q10 در آنها استفاده کرد که روش‌های به صرفه از نظر اقتصادی هستند.

2. Oral bioavailability

- Quantitative determination of coenzyme Q10 by liquid chromatography and liquid chromatography/ mass spectrometry in dairy products. *Journal of AOAC International*, 88(4),1020-7.
- [20] Cabrini, L., Barzanti, V., Cipollone, M., Fiorentini, D., Grossi, G., Tolomelli, B., Zambonin, L. and Landi, L. (2001). Antioxidants and total peroxy radical-trapping ability of olive and seed oils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49, 6026-6032.
- [21] Kamei, M., Fujita, T., Kanbe, T., Sasaki, K., Oshiba, K., Otani, S., Matsui-Yuasa, I., Morisawa S. (1985). The distribution and content of ubiquinone in foods. *International Journal of Vitamin Nutrition Research*, 56,57-63.
- [22] Bhagavan, H. N., Chopra, R. K. (2006). Coenzyme Q10: Absorption, tissue uptake, metabolism and pharmacokinetics. *Free Radical Research*, 40, 445-453.
- [23] Goudarzi, Z., Hashemiravan, M., Sohrabvandi, S. (2014). Production of functional orange juice by the addition of coenzyme Q10. *Journal of Paramedical Sciences*, 5(1), 42-49.
- [24] Goudarzi, Z., Hashemiravan, M., Sohrabvandi, S. (2013). Evaluation of Coenzyme Q10 Addition and Storage Temperature on Some Physicochemical and Organoleptic Properties of Grape Juice. *International Journal of Bio-Inorganic Hybrid Nanomaterials*, 2 (2). 345-353.
- [25] Tobin, B.D., O'Sullivan, M.G., Hamill, R., Kerry, J.P. (2014). Effect of cooking and in vitro digestion on the stability of co-enzyme Q10 in processed meat products. *Food Chemistry*, 150, 187-192.
- [26] Stratulate, I., Britten M, Salmieri S, St-Gelais D, Champagne CP, Fustier P, Lacroix M. (2013). Encapsulation of coenzyme Q10 in a simple emulsion-based nutraceutical formulation and application in cheese manufacturing. *Food Chemistry*, 141(3), 2707-2712.
- [27] Ercan, P., Nehir El., S. (2012). In vitro bioaccessibility of coenzyme Q10 in enriched yoghurts. *International Journal of Food Science & Technology*, 47(9), 1986-1992.
- [28] Prošek, M., Butinar, J., Lukanc, B., Fir Milivojević, M., Milivojević, L., Križman, M. and Šmidovnik, A. (2008). Bioavailability of water soluble CoQ10 in beagle dogs. *Journal of Genes Right*, New Jersey, John Wiley & Sons, pp 41-53.
- [8] Bonakdar, R. A., Guarneri, E. (2005). Coenzyme Q10. *American Academy of Family Physicians*, 72, 1065-1070.
- [9] Bentinger, M., Tekle, M., Dallner, G. (2010). Coenzyme Q- biosynthesis and functions. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 396(1), 74-79.
- [10] Sugiyama, S., Kitazawa, M., Ozawa, T., Suzuki, K., Isawa, Y. (1980). Antioxidative effect of Coenzyme Q10. *Experientia*, 36 (8), 1002-1003.
- [11] Belardinelli, R., Mucaj, A., Lacalaprice, F., Solenghi, M., Seddaiu, G., Principi, F., Tiano, L. and Littarru, G. P. (2006). Coenzyme Q10 and exercise training in chronic heart failure. *European Heart Journal*, 27, 2675-2681.
- [12] Pepe, S., Marasco, S. F., Haas, S. J., Sheeran, F. L., Krum, H. and Rosenfeldt, F. L. (2007). Coenzyme Q10 in cardiovascular disease. *Mitochondrion*, 7suppl, S154-167.
- [13] Chew, G. T., Watts, G. F. (2004). Coenzyme Q10 and diabetic endotheliopathy: oxidative stress and the "recoupling hypothesis." *QJM-An International Journal of Medicine*, 97, 537-548.
- [14] Galpern, W. R., Cudkowicz, M. E. (2007). Coenzyme Q treatment of neurodegenerative diseases of aging. *Mitochondrion*. 7:S146-S153.
- [15] Matthews-Brzozowska, T., Kurhanska-Flisykowska, A., Wyganowska-Swiatkowska, M. and Stopa, J. (2007). Healing of periodontal tissue assisted by Coenzyme Q10 with Vitamin E - clinical and laboratory evaluation. *Pharmacological Reports*, 59, 257-260.
- [16] Mattila P, Kumpulainen J. 2001. Coenzyme Q9 and Q10: contents in foods and dietary intake. *Journal of Food and Composition Analysis*, 14(4), 409-17.
- [17] Kal'en, A., Appelkvist, E. L. and Dallner, G. (1989). Age-related changes in the lipid compositions of rat and human tissues. *Lipids*, 24, 579-584.
- [18] Kubo, H., Fujii, K., Kawabe, T., Matsumoto, S., Kishida, H. and Hosoe, K. (2008). Food content of ubiquinol-10 and ubiquinone-10 in the Japanese diet. *Journal Food Composition Analysis*, 21,199-210.
- [19] Strazisar, M., Fir, M., Golc-Wondra, A., Milivojevic, L., Prosek, M., Abram, V. (2005).

- of Coenzyme Q10 in Fortified Foods. *Acta Chimica Slovenica*, 56, 953–958.
- [39] Weber, C., Bysted, A., Holmer, G. (1997). The coenzyme Q10 content of the average Danish diet. *International Journal of Vitamin and Nutrition Research*, 67, 123–9.
- [40] Purchas, R.W., Rutherford, S.M., Pearce, P.D., Vather, R., Wilkinson, B.H.P. (2004). Concentrations in beef and lamb of taurine, carnosine, coenzyme Q10, and creatine. *Meat Science*, 66(3), 629–637.
- [41] Purchas, R.W., Rutherford, S.M., Pearce, P.D., Vather, R., Wilkinson, B.H.P. (2004)b. Cooking temperature effects on the forms of iron and levels of several other compounds in beef semitendinous muscle. *Meat Science*, 68(2), 201–207.
- [42] Mattila, P., Lehtonen, M., Kumpulainen, J. (2000). Comparison of in-line connected diode array and electrochemical detectors in the high-performance liquid chromatographic analysis of coenzymes Q9 and Q10 in food materials. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48, 1229–33.
- [43] Souchet, N., Laplante, S., (2007). Seasonal variation of co-enzyme Q10 content in pelagic fish tissues from Eastern Quebec. *Journal of Food Composition and Analysis*, 20(5), 403–410.
- [44] McClements, D.J. (2010). Design of nano-laminated coatings to control bioavailability of lipophilic food components. *Journal of Food Science*, 75, 30–42.
- [45] Terao, K., Nakata, D., Fukumi, H., Schmid, G., Arima, H., & Hirayama, F., et al. (2006). Enhancement of oral bioavailability of coenzyme Q10 by complexation with γ -cyclodextrin in healthy adults. *Nutrition Research*, 26, 503–508.
- [46] Palamakula, A., & Khan, M. A. (2004). Evaluation of cytotoxicity of oils used in coenzyme Q10 self-emulsifying drug delivery systems (SEDDS). *International Journal of Pharmaceutics*, 273, 63–73.
- [47] Xia, S., Xu, S., Zhang, X., & Zhong, F. (2007). Effect of coenzyme Q10 incorporation on the characteristics of nanoliposomes. *Journal of Physical Chemistry B*, 111, 2200–2207.
- Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 47, 918–922.
- [29] Takahashi, S., Ohtani, T., Iida, S., Sunohara, Y., Matsushita, K., Maeda, H., Tanetani, Y., Kawai, K., Kawamukai, M. and Kadowaki, K. (2009). Development of CoQ10-enriched rice from giant embryo lines. *Breeding Science*, 59, 321–326.
- [30] Takahashi, S., Ohtani, T., Satoh, H., Nakamura, Y., Kawamukai, M. and Kadowaki, K. (2010). Development of coenzyme Q10-enriched rice using Sugary and Shrunken mutants. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 74, 182–184.
- [31] Joshi, SS., Sawant, SV., Shedge, A. (2003). Comparative bioavailability of two novel coenzyme Q10 preparations in humans. *International Journal of Clinical Pharmacology and Therapeutics*, 41(1), 42-48.
- [32] Westesen, K., Siekmann, B., (2001). Particles with modified physicochemical properties, their preparation and uses. US patent 6197349.
- [33] Zmitek, J., Smidovnik, A., Fir, M., Prosek, M., Zmitek, K., Walczak, J., Pravst, I. (2008). Relative bioavailability of two forms of a novel water-soluble Coenzyme Q10. *Annals of Nutrition and Metabolism*, 52(4), 281-87.
- [34] Kagan, D., Madhavi D. (2010). A study on the bioavailability of a novel sustained-release Coenzyme Q10- β -Cyclodextrin Complex. *Integrative Medicine*, 9(1), 20-24.
- [35] Uekama, K., Hirayama, F., Irie, T. (1998). Cyclodextrin drug carrier systems. *Chemical Reviews*, 98, 2045–2076.
- [36] Wah Chan, S., Mirhosseini, H., Taip, F.S., Ling, T., Tan, P. (2013). Stability of CoQ10-loaded oil-in-water (O/W) emulsion: Effect of carrier oil and emulsifier type. *Food biophysics*, 8(4), 273-281.
- [37] Thanatuksorn, P., Kawai, K., Hayakawa, M., Hayashi, M., Kajiwara, K. (2009). Improvement of the oral bioavailability of coenzyme Q10 by emulsification with fats and emulsifiers used in the food industry. *LWT- Food Science and Technology*, 42, 385-390.
- [38] Pravst, I., Prošek, M., Golc Wondra, A., Zmitek, K. and Zmitek, J. (2009). The Stability

Application of Coenzyme Q₁₀ as a functional ingredient in food fortification

Khorshidian, N.¹, Yousefi Asli, M.¹, Arab, M.¹, Habibi, H.¹, Koushki, M. R.^{2*}

1. Student Research Committee, Department of Food Science and Technology, Faculty of Nutrition Sciences, Food Science and Technology/National Nutrition and Food Technology Research Institute, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

2. Ph.D Food Science and Technology, Department of Food Technology Research, National Nutrition and Food Technology Research Institute, Faculty of Nutrition Sciences and Food Technology, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

(Received: 94/6/7 Accepted: 94/9/12)

Functional food production that includes food, drinks and supplements is one of the areas which has been growing in recent years and various compounds have been utilized for improvement of functional foods. Coenzyme Q₁₀ is a fat-soluble vitamin-like compound made in body. It is a natural antioxidant that plays an important role in energy production in cells and has beneficial health effects in body. CoQ₁₀ exists naturally in many foods. Meat, fish, nuts and some vegetable oils are rich sources of Q₁₀ and lower amounts can be found in dairy products, fruits, vegetables and cereals. The level of Q₁₀ in raw materials depends on geographical origin. The average daily intake of this compound is only 3-6 mg that can be enhanced via fortification of foods with Q₁₀.

Keywords: Coenzyme Q₁₀, Stability, Functional, Fortification

* Corresponding Author E-Mail Address: mr_koushki@yahoo.com