

高效液相色谱法同时测定护眼保健品中叶黄素和玉米黄质

罗翠红^{1*}, 李玉珍², 杨静², 张云春¹

[1. 安利(中国)日用品有限公司, 广州 510730; 2. 捷通(广州)检测技术服务有限公司, 广州 510730]

摘要: 目的 建立高效液相色谱法(high performance liquid chromatography, HPLC)同时测定护眼保健品中叶黄素和玉米黄质的分析方法。**方法** 样品用胰酶氯化钠预处理后, 经无水乙醇及石油醚提取, 在 55 °C 水浴中用 40% 氢氧化钾-甲醇溶液皂化 30 min, 无水乙醇稀释后, 选用色谱柱 YMC Carotenoid S-5 (250 mm×4.6 mm, 5 μm), 以甲醇:三氯甲烷(4:1, V:V)为流动相, 流速为 1.5 mL/min, 柱温为 25 °C, 于 445 nm 波长处测定样品。**结果** 叶黄素在 0.3906~12.4979 μg/mL 范围内线性关系良好, 相关系数 r^2 为 0.9999, 平均回收率为 92.6%~93.5% ($n=9$), 检出限为 0.0075 μg/g; 玉米黄质在 0.1474~4.7184 μg/mL 范围内线性关系良好, 相关系数 r^2 为 1, 平均回收率在 99.8%~108.8% ($n=9$), 检出限为 0.0120 μg/g。**结论** 该方法快速、稳定, 能够适用于护眼保健品中叶黄素和玉米黄质的同时测定。

关键词: 高效液相色谱法; 叶黄素; 玉米黄质; 护眼保健品

Simultaneous determination of lutein and zeaxanthin in eye-protecting products by high performance liquid chromatography

LUO Cui-Hong^{1*}, LI Yu-Zhen², YANG Jing², ZHANG Yun-Chun¹

[1. Amway (China) Commodity Co., Ltd., Guangzhou 510730, China; 2. Access (Guangzhou) Testing Technology Service Co., Ltd., Guangzhou 510730, China]

ABSTRACT: Objective To establish a method for the simultaneous determination of lutein and zeaxanthin in eye-protecting products by high performance liquid chromatography (HPLC). **Methods** The samples were pretreated with trypsin sodium chloride, extracted with absolute ethanol and petroleum ether, saponified with 40% potassium hydroxide-methanol solution in 55 °C water bath for 30 min, and diluted with absolute ethanol. The chromatographic column YMC Carotenoid S-5 (250 mm×4.6 mm, 5 μm) was selected, methanol:chloroform (4:1, V:V) was used as the mobile phase, the flow rate was 1.5 mL/min, the column temperature was 25 °C, and the sample was determined at the wavelength of 445 nm. **Results** The linear range of lutein was 0.3906–12.4979 μg/mL with correlation coefficient (r^2) of 0.9999, average recoveries were 92.6%–93.5% ($n=9$), and the detection limit was 0.0075 μg/g. The linear range of zeaxanthin was 0.1474–4.7184 μg/mL with correlation coefficient (r^2) of 1, average recoveries were 99.8%–108.8% ($n=9$) and the detection limit was 0.0120 μg/g. **Conclusion** This method is rapid,

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFC1706800)、“十三五规划中医药现代化研究”重点专项项目

Fund: Supported by the National Key Research and Development Program of China (2018YFC1706800), and the "13th Five-Year Plan for Traditional Chinese Medicine Modernization Research" Key Projects

*通信作者: 罗翠红, 工程师, 主要研究方向为保健食品质量与安全控制。E-mail: 104910522@qq.com

*Corresponding author: LUO Cui-Hong, Engineer, Amway (China) Commodity Co., Ltd., No.1, Linjiang Road, Huangpu District, Guangzhou 510730, China. Email: 104910522@qq.com

stable and suitable for the simultaneous determination of lutein and zeaxanthin in eye-protecting products.

KEY WORDS: high performance liquid chromatography; lutein; zeaxanthin; eye-protecting products

0 引言

叶黄素(lutein)和玉米黄质(zeaxanthin)是 2 种重要的天然类胡萝卜素^[1-2], 其广泛存在于蔬菜、水果、花卉等植物中。在人体内, 叶黄素和玉米黄质主要分布在肝脏、肾脏、胰脏、卵巢、眼、脾脏等组织器官, 但人体和动物均不能自身合成这 2 种物质, 只能通过膳食摄取或相关制剂获得, 其食物来源主要有黄玉米、橙汁、桃子和鸡蛋黄等。叶黄素和玉米黄质具有调节动物免疫反应^[3-4]、增强巨噬细胞活性、抑制肿瘤细胞增殖、修饰细胞表面标志和信号分子等功能^[5], 亦可在抗氧化、调节脂质代谢、抗炎和保护血管内皮细胞等方面对心血管具有明显的保护效应^[6-9], 二者是视网膜中黄斑色素的重要组成部分, 可过滤蓝光, 对眼部疾病具有预防和治疗作用, 可降低成年人黄斑变性和白内障的患病风险^[10-12], 对婴幼儿视网膜的发育和成熟同样具有重要作用^[13]。因此, 叶黄素和玉米黄质作为多功能因子, 被广泛应用于食品、药品和保健品等领域的研究中^[14-16]。

叶黄素与玉米黄质互为同分异构体, 两者化学结构仅有双键位置的差异。二者在同一波长下具有相似吸收, 利用紫外-可见分光光度计不能进行准确性与定量分析, 而高效液相色谱法(high performance liquid chromatography, HPLC)具有高效、快速和优越的分离能力, 是分离叶黄素和玉米黄质的首选方法^[17-20]。由于叶黄素的化学结构含有多个共轭双键, 极易氧化失去生物活性, 因此叶黄素常以叶黄素脂或微囊粉的形式存在于保健食品中^[21]。其特殊的存在形式, 采用常规的样品前处理方式无法进行叶黄素的提取和检测^[22]。现行 GB 5009.248—2016《食品安全国家标准 食品中叶黄素的测定》中对叶黄素酯提取分离的方法, 由于皂化反应不充分, 对护眼保健品叶黄素的测定不适用, 该方法采用甲基叔丁基醚作为流动相, 醚易挥发气味重, 且同时分离叶黄素和玉米黄质的效果一般。既往的研究报道中大多数以叶黄素或玉米黄质为对象, 而同时将二者分离和定量分析的相关研究较少。因此本研究以护眼保健产品为研究对象, 开发建立同时检测叶黄素与玉米黄质的高效液相色谱法, 以期对相关产品或相关行业的研究提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

氯化钠、氢氧化钾、石油醚、无水乙醇、三氯甲烷(分析纯, 广州化学试剂厂); 异丙醇、甲醇(色谱纯, 德国默克公司); 叶黄素标准品(纯度 97.6%, 校准使用, 美国 Chromadex 公司);

玉米黄质标准品(纯度 100%, 校准使用, 美国 USP 公司)。

1.2 仪器与设备

Waters Alliance 高效液相色谱仪(美国沃特斯公司); UV1900 紫外可见分光光度计(日本岛津公司); AX205DR 分析天平(瑞士梅特勒-托利多国际股份有限公司); QSC-12T 可调氮吹仪(上海泉岛科贸有限公司); 3K15 离心机(上海西格玛高技术有限公司); Promax 振荡器(德国海道尔夫公司); SB-4200 超声波水浴锅(宁波新芝生物科技股份有限公司)。

1.3 实验方法

1.3.1 样品前处理

称取护眼保健品约 2 g(精确至 0.0001 g), 至 50 mL 离心管中, 加入 10 mL 水, 使样品形成乳液, 加入 0.1 g 胰酶 40 °C 保温 10 min 左右, 然后加入 3 g 氯化钠, 涡旋 2 min, 再加入 10 mL 乙醇, 剧烈振荡 5 min, 加入 20 mL 石油醚, 密封, 剧烈振荡 10 min, 3000 r/min 离心 3 min, 取石油醚层至玻璃管中, 氮吹仪吹干。向上述蒸干样品管中, 加入 25 mL 异丙醇、2 mL 40% 氢氧化钾-甲醇溶液, 55 °C 水浴暗处反应 30 min, 冷却至室温, 冷却后的溶液转移至 50 mL 容量瓶, 乙醇润洗玻璃管, 溶液转移至容量瓶中, 乙醇定容至刻度备用。取反应液 1 mL 至 25 mL 容量瓶中, 乙醇稀释, 定容至刻度, 0.45 μm 滤膜过滤, 供高效液相色谱仪测定。

1.3.2 标准溶液纯度的校准

叶黄素的稳定性差, 易受氧气、光、热、金属离子、pH 等因素的影响, 如热处理过程可引起叶黄素异构化反应产生 9-顺式和 13-顺式叶黄素。在可见光区和紫外光区内, 光照对玉米黄素的稳定性影响较大。为能准确定量, 每次实验均对叶黄素和玉米黄质标准品按照色谱条件进样, 通过色谱峰面积的占比及紫外吸光值, 即得到标准品的实际浓度。

1.3.3 叶黄素标准溶液的配制和校正

称取约 10 mg 叶黄素标准品, 无水乙醇溶解定容到 50 mL, 此为叶黄素标准储备液。移取适量该储备液, 用无水乙醇稀释, 紫外分光光度计测定其吸光值, 平行测定 3 份, 取平均值。按照色谱条件计算叶黄素色谱纯度, 得到叶黄素色谱峰面积平均值。在特定波长下测定吸光值, 根据公式(1)计算得到叶黄素标准储备液的实际浓度。

$$\text{叶黄素标准储备液浓度(mg/mL)} = \frac{\text{吸光值}}{255} \times \frac{\text{稀释定容体积}}{\text{储备液移取体积}} \times \text{叶黄素色谱纯\%} \quad (1)$$

1.3.4 玉米黄质标准溶液的配制和校正

称取约 5 mg 玉米黄质标准品, 用三氯甲烷溶解定容到 50 mL, 此为玉米黄质标准储备液。取适当比例储备液

用无水乙醇稀释, 在特定波长下测定吸光值, 根据公式(2), 计算得到校准的实际纯度, 即可得到玉米黄质标准储备液的实际浓度。

$$\text{玉米黄质标准纯度}(\%) = \frac{\text{吸光值}}{2450} \times \frac{\text{储备液定容体积}}{\text{称样量}} \times \frac{\text{稀释定容体积}}{\text{储备液移取体积}} \quad (2)$$

1.3.5 色谱条件

色谱柱: YMC Carotenoid S-5 (250 mm×4.6 mm, 5 μm); 流动相: 甲醇:三氯甲烷(4:1, V:V); 流速: 1.5 mL/min; 柱温: 25 °C; 进样体积: 20 μL; 检测波长: 445 nm。

1.3.6 稳定性、加标回收率实验

对叶黄素和玉米黄质标准溶液进行日间 24 h 内重复进样, 根据峰面积考察标准溶液稳定性。按照优化后的制备方法及其仪器条件, 同时制备 6 份护眼保健品进行检测, 考察方法的精密度。以加标量为待测样品成分含量的 80%、100%和 120%的比率进行加标回收实验, 测定计算回收率, 考察方法的准确度。

2 结果与分析

2.1 样品前处理条件优化

2.1.1 胰酶和氯化钠加入对结果的影响

选择胰酶和氯化钠对样品进行破壁处理。对样品进行 40 °C 保温 10 min 考察胰酶的影响, 结果发现, 加入胰酶后叶黄素含量比不加的高 12.6%, 相对标准偏差(relative standard deviation, RSD)为 6.5%, 玉米黄质含量比不加的高 11.5%, RSD 为 6.1%, 因此选择加入胰酶的方式。参考美国药典的叶黄素制剂方法, 添加氯化钠进行叶黄素微囊粉破壁, 对前处理过程中加与不加氯化钠的情况进行比较, 结果显示, 加入 NaCl 处理后, 叶黄素含量可提高 48.4%, RSD 为 21.5%, 玉米黄质含量可提高 143%, RSD 为 45.7%, 因此, 选择加入氯化钠的方式。

2.1.2 皂化溶剂的选择

在样品的皂化提取过程中, 选取与流动相互溶且毒性较小的异丙醇和乙醇溶液进行对比, 提取结果显示叶黄素与玉米黄质两者在异丙醇作为皂化溶剂时提取的结果均高于乙醇, 因此选择异丙醇作为皂化提取的溶剂。

2.1.3 皂化液浓度的优化

分别选择 30%、40%和 50%氢氧化钾-甲醇溶液, 于每个反应体系添加同样的量考察最佳碱浓度, 结果如图 1 所示, 当碱浓度从 30%至 50%增加时, 叶黄素和玉米黄质的含量呈现上升后下降的趋势, 在 40%浓度时含量最高, 因此本实验选择 40%氢氧化钾-甲醇溶液作为皂化溶液。

2.1.4 皂化液加入量的优化

分别在样品反应体系中加入 1、2、3 mL 40%氢氧化钾-甲醇溶液, 考察不同碱液量对样品中叶黄素和玉米黄质提取的影响, 结果见图 2, 40%氢氧化钾-甲醇溶液的加入量从 1 mL 增

加至 2 mL 时, 叶黄素和玉米黄质的含量逐渐增加, 当加入量增加至 3 mL 时, 对应的含量减少, 因此选择加入 2 mL 40%氢氧化钾-甲醇溶液作为该浓度下最适宜的添加量。

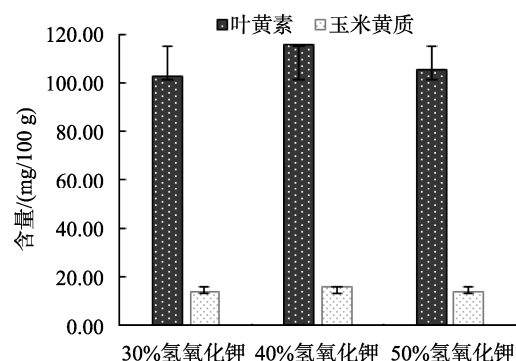


图 1 氢氧化钾-甲醇溶液浓度的优化($n=3$)

Fig.1 Optimization of potassium hydroxide-methanol solution concentration ($n=3$)

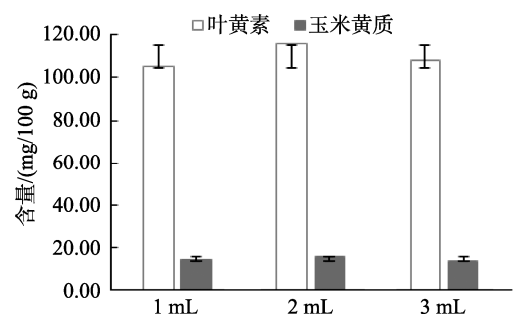


图 2 皂化溶液加入量的优化($n=3$)

Fig.2 Optimization of the amount of saponification solution added ($n=3$)

2.1.5 皂化温度的优化

样品反应体系加入 2 mL 40%氢氧化钾-甲醇溶液, 分别于 45、55、65 °C 下皂化反应 30 min, 考察温度对提取结果的影响。结果如图 3, 叶黄素和玉米黄质在 55 °C 时提取含量最高。由此推测, 随着温度的升高, 叶黄素酯转化为游离叶黄素的效率增大, 但温度过高, 会导致叶黄素含量的减少, 同样, 玉米黄质的结果也随着温度而波动, 综合两者的结果, 选择 55 °C 作为该体系下的最适宜皂化反应温度。

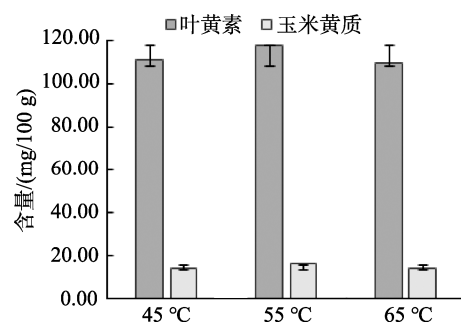


图 3 皂化体系反应温度的优化($n=3$)

Fig.3 Optimization of reaction temperature of saponification system ($n=3$)

2.2 检测条件的优化

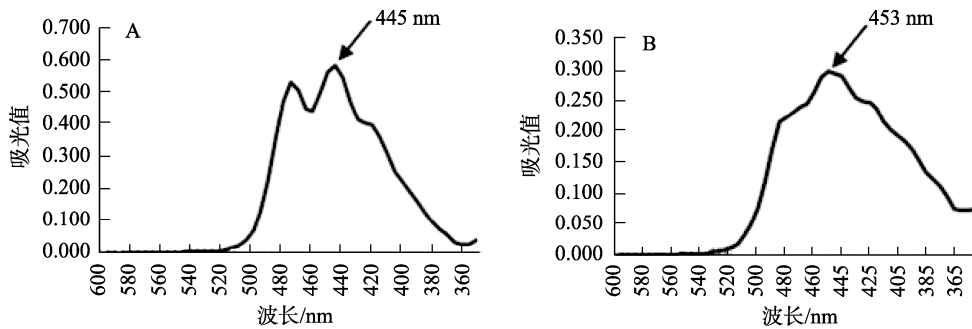
2.2.1 波长的选择

取叶黄素和玉米黄质标准溶液分别于 350~600 nm 处进行波长扫描,结果如图 4 所示,叶黄素于 445 nm 处有最大吸收峰,玉米黄质于 453 nm 处有最大吸收峰,且于 445 nm 与 453 nm 处,吸光值波动很小,综合扫描结果,选择 445 nm 作为高效液相色谱检测的测定波长。

2.2.2 流动相的选择

叶黄素和玉米黄质在结构上为 1 个碳碳双键位置不同的同分异构体,选择合适的流动相比配才能将二者更

好的分离。本研究分别采用甲醇/水:甲基叔丁基醚、甲醇/水:乙腈、正己烷:乙酸乙酯:异丙醇、甲醇:三氯甲烷作为流动相,不同梯度条件下对样品中的叶黄素和玉米黄质进行分离,结果显示以甲醇:三氯甲烷(4:1, *V:V*)等度洗脱,二者可同时良好分离,色谱图如图 5~7 所示。叶黄素峰和玉米黄质峰与基线分离,叶黄素标准品的特征峰保留时间为 20.153 min,如图 5;玉米黄质标准品的特征峰保留时间为 24.670 min,如图 6;护眼保健品中叶黄素与玉米黄质提取分离色谱图如图 7,二者特征峰与基线分离,且无杂质干扰。



注: A: 叶黄素标准; B: 玉米黄质标准。

图 4 叶黄素和玉米黄质标准溶液波长扫描图

Fig.4 Wavelength scanning of lutein and zeaxanthin standard solution

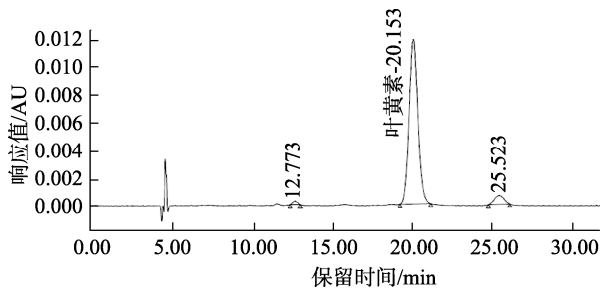


图 5 叶黄素标准品的色谱图

Fig.5 Standard chromatogram of lutein

的精密验证,结果如表 1 所示,叶黄素和玉米黄质峰面积 RSD 分别为 2.05%和 2.48%,说明在此色谱条件下叶黄素和玉米黄质的稳定性良好。

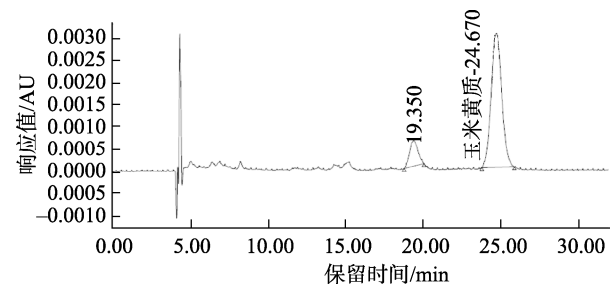


图 6 玉米黄质标准品的色谱图

Fig.6 Standard chromatogram of zeaxanthin

2.3 线性关系与检出限

在优化的条件下,将叶黄素和玉米黄质单标储备液进行 6 水平梯度稀释,以峰面积 Y 为纵坐标,以标准稀释液浓度(X , $\mu\text{g/mL}$)为横坐标,绘制标准曲线。确定叶黄素在 0.3906~12.4979 $\mu\text{g/mL}$ 范围内线性关系良好,线性回归方程为: $Y=238623X+8065.7$, $r^2=0.9999$;玉米黄质在 0.1474~4.7184 $\mu\text{g/mL}$ 范围内线性关系良好,线性回归方程为: $Y=225400X-2002.8$, $r^2=1$ 。检出限分别为 0.0075 $\mu\text{g/g}$ 和 0.0120 $\mu\text{g/g}$,满足检测要求。

2.4 稳定性

为验证方法的稳定性,对标准品进行了日间 24 h 内

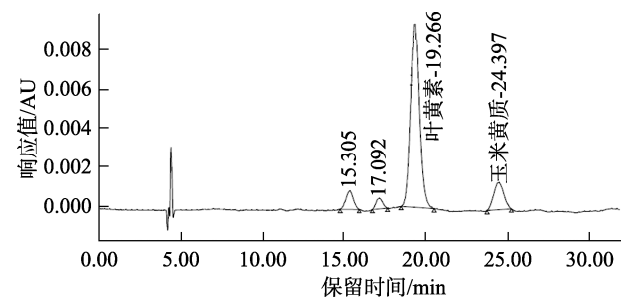


图 7 护眼保健品中叶黄素和玉米黄质的色谱图

Fig.7 Chromatograms of lutein and zeaxanthin of eye-protecting products

2.5 精密度

按照方法分析步骤, 平行测定 6 份护眼样品 A 和 B, 分别计算样品中叶黄素和玉米黄质的含量及相对标准偏差,

如表 2 所示, 其中叶黄素含量 RSD 分别为 0.95% 和 1.53%, 玉米黄质含量 RSD 分别为 2.17% 和 2.64%, 显示该方法精密度良好。

表 1 标准溶液 24 h 稳定性结果
Table 1 Results of 24 h stabilities of standard solution

名称	峰面积								RSD/%
	0 h	2 h	4 h	6 h	8 h	10 h	12 h	24 h	
叶黄素	485738	462256	457975	470457	472116	471737	481520	508587	2.05
	475634	455045	458595	463479	468365	473267	483730	497262	
玉米黄质	210371	209542	216498	216443	216383	222954	226363	230551	2.48
	209989	207775	211122	215332	215292	220972	215790	225314	

表 2 精密度结果($n=6$)
Table 2 Results of precision ($n=6$)

编号	检测项	1	2	3	4	5	6	RSD/%
样品 A/(mg/100 g)	叶黄素	360.51	365.88	367.33	366.33	370.81	368.73	0.95
	玉米黄质	62.03	64.79	65.76	65.08	64.08	62.99	2.17
样品 B/(mg/100 g)	叶黄素	112.16	115.49	115.06	115.00	111.72	112.24	1.53
	玉米黄质	15.70	16.19	15.28	16.28	15.35	15.87	2.64

2.6 回收率

按加标量为待测样品成分含量 80%、100% 和 120% 的比率进行加标回收, 以分析方法步骤进行实验, 计算回收率及相对标准偏差。结果如表 3 所示, 叶黄素三水平加标回收率及 RSD 分别为 92.6%、0.44%; 93.5%、0.87%; 93.4%、1.98%; 玉米黄质三水平加标回收率及 RSD 分别为 99.8%、1.04%; 108.8%、1.16%; 103.9%、1.40%, 说明方法准确度较高。

表 3 叶黄素与玉米黄质的三水平加标回收率和相对标准偏差
($n=6$)

Table 3 Standard recoveries and relative standard deviations of lutein and zeaxanthin at 3 kinds of levels ($n=6$)

加标比率 /%	叶黄素		玉米黄质	
	平均 回收率/%	RSD/%	平均 回收率/%	RSD/%
80	92.6	0.44	99.8	1.04
100	93.5	0.87	108.8	1.16
120	93.4	1.98	103.9	1.40

3 结论与讨论

本研究选用色谱柱 YMC Carotenoid S-5 (250 mm×4.6 mm, 5 μm), 以甲醇:三氯甲烷(4:1, *V:V*)为流动相, 流速

1.5 mL/min, 建立了快速准确同时测定护眼保健品中叶黄素和玉米黄质的 HPLC 法。通过本实验的研究, 总结出护眼保健品中 2 种成分同时测定的操作要点, 包括添加氯化钠、添加胰蛋白酶、添加合适浓度的皂化液(2 mL 40% 氢氧化钾-甲醇溶液), 并于适宜的温度体系(55 °C)进行样品的皂化提取反应, 进而提高叶黄素和玉米黄质的溶解率与提取率。实验结果表明, 该色谱条件下待测组分能与基线良好的分离, 且峰型尖锐无拖尾、无杂质峰干扰。标准样品与护眼保健品测定结果在所取浓度范围内叶黄素和玉米黄质均具有良好的线性关系、重复性好、回收率高、检出限低。该方法适用于护眼保健品中叶黄素和玉米黄质的同时检测, 并为相关产品中叶黄素和玉米黄质的同时检测提供参考。

参考文献

- [1] MITRA S, RAUF A, TAREQ AM, *et al.* Potential health benefits of carotenoid lutein: An updated review [J]. *Food Chem Toxicol*, 2021, 154: 112328.
- [2] DEMMIG AB, M LÓPEZ-POZO, STEWART JJ, *et al.* Zeaxanthin and lutein: photoprotectors, anti-inflammatories, and brain food [J]. *Molecules*, 2020, 25(16): 3607.
- [3] GIORDANO E, QUADRO L. Lutein, zeaxanthin and mammalian development: metabolism, functions and implications for health [J]. *Arch Biochem Biophys*, 2018, 647: 33–40.
- [4] ABUBAKR HO, ALJUAYDI SH, ABOU-ZEID SM, *et al.* Burn-induced multiple organ injury and protective effect of lutein in rats [J].

- Inflammation, 2018, 41(3): 760–772.
- [5] SHENG YN, LUO YH, LIU SB, *et al.* Zeaxanthin induces apoptosis via ROS-regulated MAPK and AKT signaling pathway in human gastric cancer cells [J]. *Oncot Ther*, 2020, 13: 10995–11006.
- [6] 任丹丹, 张海丽, 王惜童, 等. 叶黄素与玉米黄质协同抗氧化活性的研究[J]. *食品工业科技*, 2017, 38(17): 296–299.
REN DD, ZHANG HL, WANG XT, *et al.* Study on the synergistic antioxidant activity of lutein and zeaxanthin [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2017, 38(17): 296–299.
- [7] CHUNG R, LEANDERSON P, LUNDBERG AK, *et al.* Lutein exerts anti-inflammatory effects in patients with coronary artery disease [J]. *Atherosclerosis*, 2017, 262: 87–93.
- [8] BOEHM F, EDGE R, TRUSCOTT TG. Anti-and pro-oxidative mechanisms omparing the macular carotenoids zeaxanthin and lutein with other dietary carotenoids-a singlet oxygen, free-radica I *in vitro* and *ex vivo* study [J]. *Photoch Photobio Sci*, 2020, 19(8): 1001–1009.
- [9] KEEGAN G, PARDHAN S, CHICHGER H. Lutein and zeaxanthin attenuates VEGF-induced neovascularisation in human retinal microvascular endothelial cells through a Nox4-dependent pathway [J]. *Exp Eye Res*, 2020, 197: 108104.
- [10] RAMAN G, HASLAM D, AVENDANO E, *et al.* Lutein/zeaxanthin intake and visual outcomes in adults with healthy eyes: Qualitative gap analysis [J]. *Cogent Med*, 2019, 6(1): 1–10.
- [11] JOHRA FT, BEPARI AK, BRISTY AT, *et al.* A mechanistic review of β -carotene, lutein, and zeaxanthin in eye health and disease [J]. *Antioxidants*, 2020, 9(11): 1046.
- [12] ROZANOWSKA M, CZUBA-PELECH B, LANDRUM JT, *et al.* Comparison of antioxidant properties of dehydrolutein with lutein and zeaxanthin, and their effects on cultured retinal pigment epithelial cells [J]. *Antioxidants*, 2021, 10(5): 753.
- [13] 贾宏信, 王凤仙. 叶黄素、玉米黄质与婴幼儿健康的研究进展[J]. *食品工业*, 2019, 40(9): 325–330.
JIA HX, WANG FX. Advances in the research of lutein and zeaxanthin on infant health [J]. *Food Ind*, 2019, 40(9): 325–330.
- [14] IFEANYI DN, CHIBUIKE CU, ROTIMI EA. Lutein and zeaxanthin: Production technology, bioavailability, mechanisms of action, visual function, and health claim status [J]. *Trends Food Sci Technol*, 2016, 49: 74–84.
- [15] 刘美宏, 刘回民, 郑明珠, 等. 玉米黄素生物活性及其在食品中应用研究进展[J]. *食品工业*, 2016, 37(12): 242–248.
LIU MH, LIU HM, ZHENG MZ, *et al.* Research progress on bioactivities of zeaxanthin and its application in foods [J]. *Food Ind*, 2016, 37(12): 242–248.
- [16] 侯艳梅, 吴桐, 谢奎. 叶黄素生物活性功能的研究进展[J]. *中国食物与营养*, 2020, 26(10): 5–8.
HOU YM, WU T, XIE K. Research advance mene of nutritional function of lutein [J]. *Food Nutr China*, 2020, 26(10): 5–8.
- [17] 张志军, 张飞, 付强, 等. 高效液相色谱法测定不同类别食品中的叶黄素[J]. *广西大学学报(自然科学版)*, 2019, 44(3): 869–875.
ZHANG ZJ, ZHANG F, FU Q, *et al.* Determination of lutein in different types of foods by high performance liquid chromatography [J]. *J Guangxi Univ (Nat Sci Ed)*, 2019, 44(3): 869–875.
- [18] 卜丽双, 王婷, 刘登帅, 等. 叶黄素微囊粉中叶黄素、玉米黄质检测方法的建立[J]. *中国食品添加剂*, 2020, 31(2): 166–171.
BU LS, WANG T, LIU DS, *et al.* Establishment of methods for determination of lutein and zeaxanthin in lutein microcapsule powder [J]. *China Food Addit*, 2020, 31(2): 166–171.
- [19] 于玥, 张高飞, 石兴红, 等. HPLC 法测定越橘益视胶囊中叶黄素的含量[J]. *今日药学*, 2019, 29(11): 758–760.
YU Y, ZHANG GF, SHI XH, *et al.* Determination of lutein in Yuejuyishi capsule by HPLC [J]. *Pharm Today*, 2019, 29(11): 758–760.
- [20] 王红梅, 张琳. 正相高效液相色谱测定万寿菊中玉米黄质和叶黄素方法研究[J]. *安徽农业科学*, 2021, 49(2): 186–188.
WANG HM, ZHANG L. Determination of zeaxanthin and lutein in marigold by normal phase HPLC [J]. *J Anhui Agric Sci*, 2021, 49(2): 186–188.
- [21] 焦丽娟, 贾新超, 田洪, 等. 叶黄素和叶黄素酯稳定性对比[J]. *食品工业*, 2019, 40(11): 178–180.
JIAO LJ, JIA XC, TIAN H, *et al.* The contrast of the stability of lutein and lutein ester [J]. *Food Ind*, 2019, 40(11): 178–180.
- [22] 梁敏慧, 崔亚娟, 何梅, 等. 叶黄素分析检测方法的研究进展[J]. *食品工业科技*, 2015, 36(8): 390–394.
LIANG MH, CUI YJ, HE M, *et al.* Research progress on analytical method of lutein [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2015, 36(8): 390–394.

(责任编辑: 于梦娇 郑 丽)

作者简介



罗翠红, 工程师, 主要研究方向为保健食品质量与安全控制。
E-mail: 104910522@qq.com