

HPLC-MS/MS法测定水产品中11种水溶性合成着色剂

祝世军^{1,2}, 高卓瑶³, 蒋玲波^{1,2}, 郭海波^{1,2}, 罗海军^{1,2}, 吴益春^{1,2*}

1. 舟山市食品药品检验检测研究院(舟山 316012); 2. 国家海洋食品质量检验检测中心(舟山 316000);

3. 浙江海洋大学食品与药学院(舟山 316000)

摘要 建立一种超高效液相色谱-串联质谱法同时检测水产品中11种水溶性合成着色剂的分析方法。样品经萃取缓冲溶液超声提取, 乙醇沉降技术净化后, 用Acquity UPLC CSH C₁₈ (2.1 μm $\times$ 100 mm, 1.7 μm) 色谱柱分离, 在质谱多反应监测(multiple reaction monitoring, MRM)模式下检测, 色谱峰面积外标法定量。11种着色剂在1~1 000 ng/mL质量浓度范围内, 线性关系良好, 相关系数均在0.994以上, 方法定量限在3~10 $\mu\text{g/kg}$ 范围内。分别对多种样品进行5, 20和50 $\mu\text{g/kg}$ 这三个质量分数加标回收率试验, 回收率范围为72.8%~114.6%, 相对标准偏差为2.81%~6.82% ($n=6$)。该方法分析时间短、灵敏度高, 适用于水产品中11种水溶性合成着色剂的检测。

关键词 超高效液相色谱-串联质谱法; 合成着色剂; 水产品

Simultaneous Determination of 11 Kinds of Water-Soluble Synthetic Colorants in Aquatic Products by Ultra-Performance Liquid Chromatography-tandem Mass Spectrometry

ZHU Shijun^{1,2}, GAO Zhuoyao³, JIANG Lingbo^{1,2}, GUO Haibo^{1,2}, LUO Haijun^{1,2}, WU Yichun^{1,2*}

1. Zhoushan Institute of Food and Drug Inspection and Testing (Zhoushan 316012); 2. National Ocean Food Quality Inspection Center (Zhoushan 316012); 3. College of Food and Pharmacy, Zhejiang Ocean University (Zhoushan 316000)

Abstract Establish a method for the simultaneous determination of 11 kinds of water-soluble synthetic colorants in aquatic products by ultra-performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry. The samples were extracted by ultrasonic extraction with extraction buffer solution, purified by ethanol precipitation technology separated by Acquity UPLC CSH C₁₈ (2.1 μm $\times$ 100 mm, 1.7 μm) chromatographic column, detected by mass spectrometry multi-reaction monitoring mode, and quantified by external standard method of chromatographic peak area. The 11 kinds of colorants showed good linear relationships in the range of 1~1 000 ng/mL with the correlation coefficient $r \geq 0.994$. The limits of quantification were 3~10 $\mu\text{g/kg}$, and the standard addition recoveries of 11 kinds of colorants were 72.8%~114.6% at the 3 kinds of spike levels of 5, 20 and 50 $\mu\text{g/kg}$. The relative standard deviations were 2.81%~6.82% ($n=6$). This method had short analysis time and high sensitivity, and was suitable for the detection of 11 water-soluble synthetic colorants in aquatic products.

Keywords ultra-performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry; synthetic colorants; aquatic products

合成着色剂是指以甲醛、苯等化工产品为原料, 经过卤化、偶氮化等一系列化学反应制得的有机色素, 能起到改善食品色泽的作用。相较于天然着色剂, 合成着色剂因其色泽鲜艳、着色力强、稳定性好、生产成本低等特点, 在食品工业中被广泛应用^[1]。水产品营养价值高, 市场需求量大, 受经济利益驱使, 催生生产者违规添加合成着色剂的现象。若长时间食用合成着色剂过量的水产品, 会对肝脏造成不可逆的伤害^[2]。此外, 在GB 2760—2014《食品安全国家标准 食品添加剂使用标准》明确规定, 水产品中不允许使用合成着色剂^[3]。因此, 有必要针对市场上常见的11种水溶性合成着色剂建立一种高效、准确的检测方法。

针对着色剂的前处理方法主要有固相萃取法^[4-7]、聚酰胺吸附法^[8-9]、QuEChERS (quick, easy, cheap, effective, rugged and safe)^[10-11]和溶剂超声提取法^[12-14]。

检测方法主要有高效液相色谱法^[15-18]、液相色谱-串联质谱法^[19-24]和毛细管电泳法^[25-27]。查阅现有文献和国标法可知高效液相色谱法最为常用^[28-30], 其所述方法的检测对象主要为饮料、配制酒、硬糖、蜜饯等简单基质, 并不适用于高脂肪、高蛋白质水产品基质。虽然高效液相法普及率高, 但灵敏度较低, 易受基质干扰。因此, 试验采用灵敏度更高的液相色谱-串联质谱法。

试验利用萃取缓冲液提取水产品中的柠檬黄、新红、苋菜红、胭脂红、日落黄、诱惑红、红2G等11种水溶性合成着色剂, 采用乙醇沉降技术净化提取液, 建立11种水溶性合成着色剂的超高效液相色谱-串联质谱筛查方法。该方法分析时间较短、灵敏度高、稳定性好, 能满足准确定量水产品中着色剂的日常检测需求。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

大黄鱼、梅鱼、红膏蟹、红虾样品（均从浙江省各农贸市场、超市随机购买）。

柠檬黄、新红、苋菜红、胭脂红、日落黄、诱惑红、红2G、亮蓝、酸性红、赤藓红、喹啉黄11种标准品（纯度 $\geq 98\%$ ，北京振翔科技有限公司）；无水乙醇、浓氨水、二水合磷酸二氢钠、十二水合磷酸氢二钠、氯化钠、硫酸氢钠（分析纯，国药集团化学试剂有限公司）；甲酸（优级纯，国药集团化学试剂有限公司）；甲醇（色谱纯，国药集团化学试剂有限公司）；Poly-sery GB 50090.35—2016固相萃取柱（6 mL，德国CNW）；试验用水（经Milli-Q净化的超纯水，美国Milli-pore公司）。

1.2 仪器与设备

ACQUITY/TQ-XS液相色谱-串联质谱仪（美国Waters公司）；Hei-VAP Precision旋转蒸发仪（德国heidolph公司）；Centrifuge 5920R离心机（德国eppendorf公司）；MS3 basic涡旋振荡器（德国IKA公司）；Microfuge 16台式微量高速离心机（美国Beckman Coulter公司）；KQ-600DV数控超声波清洗器（昆山舒美超声仪器有限公司）。

1.3 溶液的配制

洗涤缓冲液的配制：分别称取0.622 g二水合磷酸二氢钠（ $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ）、5.735 g十二水合磷酸氢二钠（ $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ ）、9 g氯化钠（ NaCl ），用超纯水溶解，全量转移至1 000 mL容量瓶中，加入1 mL吐温-20，定容至刻度，混匀。

萃取缓冲液的配制：将无水乙醇、洗涤缓冲液、氨水以5:5:1体积比混匀。

0.2 mol/L硫酸氢钠溶液的配制：称取13.81 g硫酸氢钠，用纯水溶解后转移至500 mL容量瓶，并定容至标准刻度线，混匀。

淋洗液的配制：将甲醇、甲酸、水以4:2:4体积比混匀。

15%氨化甲醇溶液的配制：吸取30 mL氨水至200 mL容量瓶中，用甲醇定容至标准刻度线，混匀。

定容溶液配制：将10 mmol/L乙酸铵溶液与甲醇以1:1体积比混匀。

混合标准溶液的配制：准确移取适量柠檬黄、新红、苋菜红、胭脂红、日落黄、诱惑红、红2G、亮蓝、酸性红、赤藓红、喹啉黄标准溶液于同一个100 mL容量瓶中，用纯水定容至刻度线，得到质量浓度10 $\mu\text{g/mL}$ 的混合标准溶液，在4 $^{\circ}\text{C}$ 环境下保存，待用。

1.4 样品前处理

提取：准确称取2.00 g水产品样品于50 mL具塞塑

料离心管中，加入10 mL萃取缓冲液，涡旋振荡5 min，超声15 min，以4 000 r/min离心5 min，取上清液，重复操作2次。合并上清液，用无水乙醇定容至30 mL，混匀后，取15 mL至50 mL离心管中，加入30 mL无水乙醇，剧烈振荡5 min，以4 000 r/min离心5 min，将上清液转移至100 mL鸡心瓶中，在40 $^{\circ}\text{C}$ 水浴旋转蒸发，浓缩至无液体流出。将鸡心瓶中的水溶液转移至15 mL离心管中，用3 mL洗涤缓冲液分两次润洗鸡心瓶，合并入15 mL离心管中，加入7 mL 0.2 mol/L硫酸氢钠溶液混匀，待净化。

净化：依次用5 mL甲醇、5 mL水活化CNW柱，将待净化液全部上样过柱，用15 mL淋洗液淋洗，抽干。用10 mL 15%氨化甲醇溶液洗脱，抽干。将洗脱液于40 $^{\circ}\text{C}$ 水浴蒸发至小于1 mL后，用定容溶液定容至1 mL混匀。将样液转入2 mL离心管中，按14 000 r/min离心15 min，上清液转入进样瓶中，待测。

1.5 仪器条件

1.5.1 色谱条件

色谱柱Acquity UPLC CSH C_{18} 柱（2.1 $\mu\text{m} \times 100$ mm，1.7 μm ，美国沃特世公司）；柱温45 $^{\circ}\text{C}$ ；流动相A为甲醇，流动相B为10 mmol/L乙酸铵溶液；梯度洗脱；流速0.3 mL/min；进样量5 μL 。洗脱程序：0~1 min，5% A；1~3 min，5%~35% A，3~10 min，35%~100% A；10~12 min，100%~5% A。

1.5.2 质谱条件

表1 11种着色剂的保留时间及质谱参数

目标物	保留时间/min	母离子 (m/z)	子离子 (m/z)	去簇电压/V	碰撞电压/eV
柠檬黄	1.52	469.1	451.2	50	20
			200.2	50	30
新红	2.11	546.1	358.8	50	20
			504.2	50	30
苋菜红	3.52	539.2	223.2	50	20
			459.2	50	30
胭脂红	3.52	539.2	521.2	50	10
			431.2	50	30
日落黄	4.08	409.2	236.1	50	30
			329.4	50	20
诱惑红	4.83	453.2	217.2	50	30
			373.2	50	20
红2G	4.86	464.0	359.0	-50	-20
			344.0	-50	-30
亮蓝	5.76	750.0	306.2	50	40
			170.0	50	50
酸性红	5.78	457.0	377.0	-50	-15
			221.0	-50	-30
赤藓红	6.78	837.0	583.0	50	50
			662.8	50	50
喹啉黄	6.16	354.2	246.4	50	30
			290.3	50	20

电喷雾离子源 (ESI)；雾化电压1 000 V；离子源温度600 ℃；气帘气采用氮气。采用正负离子质谱同时扫描方式；检测方式采用多反应监测模式 (multiple reaction monitoring, MRM)。

1.6 数据处理

采用Excel软件处理回收率、相对标准偏差等试验数据,采用Origin 8.0软件进行绘图。

2 结果与条件

2.1 萃取缓冲液氨水浓度的选择

水产品中含有大量蛋白质,且11种水溶性合成着色剂呈酸性,在中性条件下会与蛋白质中的氨基酸紧密结合难以洗脱,需采用碱性萃取缓冲液进行洗脱,从而提高目标物的提取率。考察无水乙醇-洗涤缓冲液(1:1, V/V),无水乙醇-洗涤缓冲液-氨水(5:5:1, V/V)和无水乙醇-洗涤缓冲液-氨水(5:5:2, V/V) 3种不同配比的萃取缓冲液对11种着色剂提取效果的影响,结果如图1所示。结果表明,在萃取缓冲液中加入适量氨水,可以提高溶剂的提取率。且无水乙醇-洗涤缓冲液-氨水(5:5:1, V/V)的提取效果优于无水乙醇-洗涤缓冲液-氨水(5:5:2, V/V)。故试验选择无水乙醇-洗涤缓冲液-氨水(5:5:1, V/V)为萃取缓冲液。

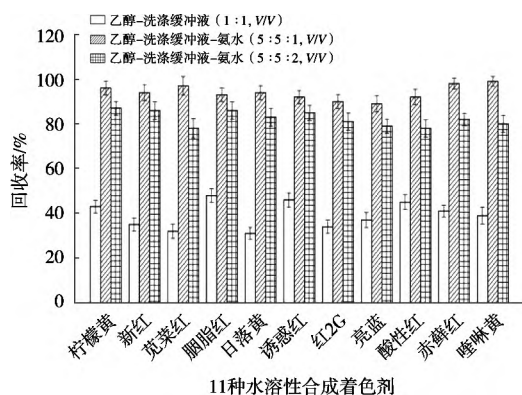


图1 萃取缓冲溶液对11种水溶性合成着色剂回收率的影响 ($n=3$)

2.2 超声时间的选择

超声波提取法是指采用超声波辅助溶剂进行提取,因超声波具有极端的物理特性,可以促使基质组织破壁或变形,从而增强溶剂的提取效果。试验考察5, 10, 15和20 min 4种超声时间对11种着色剂提取效果的影响,结果如图2所示。超声时间达到15 min时,提取效率趋于稳定。综合考虑,超声时间为15 min。

2.3 色谱条件的优化

2.3.1 流动相的优化

基于11种水溶性合成着色剂的化学特性,为获得

最佳的分离效果和响应强度,试验考察乙腈-5 mmol/L乙酸铵、甲醇-5 mmol/L乙酸铵和甲醇-10 mmol/L乙酸铵3种流动相体系对11种目标化合物色谱分离的影响。结果表明,以乙腈作为有机相时,柠檬黄、新红等着色剂出峰时间过早,难以进行准确定性定量分析,因此选用甲醇作为有机相。5和10 mmol/L这2种浓度的乙酸铵溶液均能使11种目标化合物有效分离,但选用10 mmol/L乙酸铵溶液作为流动相时峰形相对较好。综合考虑,选择甲醇-10 mmol/L乙酸铵作为流动相。

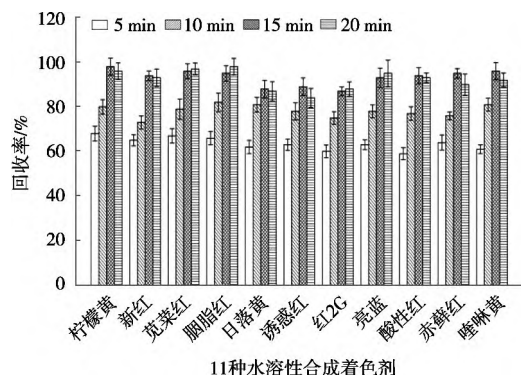


图2 超声提取时间对11种水溶性合成着色剂回收率的影响 ($n=3$)

2.3.2 色谱柱的选择

分别考察Waters Acquity UPLC BEH C_{18} 柱(2.1 $\mu\text{m} \times 100$ mm, 1.7 μm)、CSH C_{18} 柱(2.1 $\mu\text{m} \times 100$ mm, 1.7 μm)和HSS T_3 柱(2.1 $\mu\text{m} \times 100$ mm, 1.8 μm) 3种常用色谱柱对11种着色剂的分离效果,结果表明,选用CSH C_{18} 柱(2.1 $\mu\text{m} \times 100$ mm, 1.7 μm)色谱柱时,各目标化合物的分离效果较好,且响应值高,无杂峰干扰,故选择Waters Acquity UPLC CSH C_{18} (2.1 $\mu\text{m} \times 100$ mm, 1.7 μm)色谱柱为分离柱。11种着色剂混合标准工作液的总离子流图如图3所示。

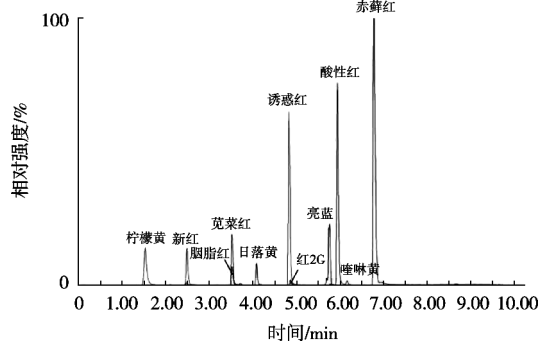


图3 11种水溶性合成着色剂标准工作液总离子流图 (10 ng/mL)

2.4 质谱条件的优化

为获得11种着色剂的最优质谱参数,配制质量浓度1.0 $\mu\text{g/mL}$ 的11种着色剂混合标准溶液,分别在ESI

正离子模式和负离子模式下,采用注射泵连续进样的方式进行一级质谱分析,将响应值最高的目标离子设为母离子,并确定其保留时间。对母离子进行二级质谱扫描,选取响应值较高的2个离子碎片为子离子用于定性、定量分析,并优化去簇电压和碰撞电压等质谱参数。试验11种着色剂的质谱参数见表1。

2.5 线性方程和定量限

根据11种着色剂的响应程度,配制系列混合标准工作溶液,在1.5仪器条件下进行分析,外标法定量。

表2 11种着色剂的线性范围、检出限和定量限

目标物	线性范围/(ng·mL ⁻¹)	线性方程	相关系数	检出限/(μg·kg ⁻¹)	定量限/(μg·kg ⁻¹)
柠檬黄	1~1 000	Y=232.06X+30.59	0.999 8	2	5
新红	1~1 000	Y=1.00X-111.37	0.995 2	5	10
苋菜红	1~1 000	Y=376.36X-2.85	0.999 6	1	3
胭脂红	1~1 000	Y=133.34X-46.69	0.998 9	2	5
日落黄	1~1 000	Y=136.19X-38.75	0.997 8	1	3
诱惑红	1~1 000	Y=1 459.68X-803.92	0.993 8	1	3
红2G	1~1 000	Y=7.51X-27.61	0.994 7	5	10
亮蓝	1~1 000	Y=530.22X-618.52	0.996 4	1	3
酸性红	1~1 000	Y=3.55X-50.38	0.994 1	5	10
赤藓红	1~1 000	Y=2 396.03X+4 423.17	0.995 8	1	3
喹啉黄	1~1 000	Y=14.52X-17.52	0.995 1	2	5

2.6 回收率和精密度

以阴性黄鱼、红虾和鲑鱼为检测对象,按1.4所述方法进行前处理,在阴性基质中分别添加5, 20和50 μg/kg 3个水平的混合标准溶液,并采用UPLC-MS/MS进行测定,每个加标浓度水平平行重复测定6次,进行

以色谱峰面积为纵坐标(Y),以质量浓度为横坐标(X, ng/mL),绘制标准工作曲线,计算线性方程和相关系数。在阴性样品中添加系列混合标准工作液,以3倍信噪比($r_{SN}=3$)和10倍信噪比($r_{SN}=10$)分别确定检出限和定量限,结果见表2。结果表明,11种着色剂在1~1 000 ng/mL范围内线性关系良好,相关系数均大于0.994。各目标物的检出限和定量限分别在1~5 μg/kg和3~10 μg/kg范围内,满足定性定量分析要求。

精密度试验结果见表3。结果表明,11种着色剂的加标回收率为72.8%~114.6%,相对标准偏差为2.81%~6.82%。该方法具有良好的回收率和精密度,能满足水产品中着色剂的日常检测需求。

表3 水产品中11种着色剂的加标回收率和相对标准偏差

目标物	添加质量分数/(μg·kg ⁻¹)	加标回收率/%			相对标准偏差/%		
		大黄鱼	红虾	鲑鱼	大黄鱼	红虾	鲑鱼
柠檬黄	5	101.6	98.6	95.2	2.81	4.15	3.98
	20	107.8	114.6	99.5	2.95	4.43	4.65
	50	97.3	96.9	101.8	3.14	4.14	4.42
新红	5	103.4	94.4	97.8	3.05	4.75	4.88
	20	108.0	94.0	98.5	4.68	2.95	4.78
	50	103.8	97.4	101.2	3.11	4.64	3.89
苋菜红	5	104.3	98.9	94.8	2.94	4.65	4.96
	20	108.2	105.6	98.8	3.38	4.76	4.43
	50	103.3	97.9	97.2	3.32	5.15	4.72
胭脂红	5	112.0	108.3	95.5	3.68	3.77	3.63
	20	105.5	101.2	92.6	3.35	3.25	4.82
	50	106.6	98.9	106.6	3.33	3.44	4.67
日落黄	5	112.0	101.3	95.0	4.25	3.77	4.01
	20	106.2	98.0	95.9	3.98	4.66	4.97
	50	102.5	105.5	101.5	3.27	4.43	4.15
诱惑红	5	103.6	101.4	97.2	2.98	4.82	4.71
	20	107.2	98.5	99.4	3.31	4.16	4.88
红2G	50	103.8	106.3	101.9	3.53	4.25	4.62
	5	102.7	96.1	97.0	3.23	4.45	4.68
	20	104.3	101.8	103.8	3.02	3.99	4.29
亮蓝	50	102.2	97.8	102.5	2.94	4.95	4.28
	5	98.3	103.6	84.1	4.59	5.96	6.23
	20	98.2	102.8	83.0	4.84	4.38	5.96
酸性红	50	98.8	96.4	82.8	5.25	5.62	6.17
	5	97.0	111.1	110.0	5.66	4.13	4.77
	20	85.9	101.3	96.2	6.11	4.81	5.13
赤藓红	50	92.7	103.7	95.5	5.28	4.71	5.55
	5	82.2	81.8	82.8	5.88	6.25	6.82
	20	100.0	77.1	74.3	3.99	6.37	6.65
喹啉黄	50	104.3	79.9	72.8	4.41	5.97	6.16
	5	93.3	94.9	95.9	3.38	5.02	4.12
	20	96.9	95.9	96.6	3.96	4.48	4.73
	50	98.5	96.3	98.7	4.05	4.92	5.11

2.7 实际样品检测

采用试验所建立的方法对来自浙江农贸市场、超市等场所的大黄鱼、梅鱼、红膏蟹、红虾样品各40批次共160批次中的11种水溶性合成着色剂进行分析检

测,检测结果见表4。大黄鱼和梅鱼中有柠檬黄和日落黄检出,检出率分别为12.5%和10%。红膏蟹中有胭脂红检出,检出率为2.5%。说明该方法适用于水产品中11种水溶性合成着色剂的定性定量分析。

表4 实际样品中11种着色剂的检测结果 单位: $\mu\text{g}/\text{kg}$

目标物	大黄鱼	梅鱼	红膏蟹	红虾	鱿鱼
柠檬黄	517.8 ± 8.4	520.5 ± 13.3	ND	ND	ND
新红	ND	ND	ND	ND	ND
苋菜红	ND	ND	ND	ND	ND
胭脂红	ND	ND	512.1	ND	ND
日落黄	510.6 ± 6.7	523.5 ± 6.0	ND	ND	ND
诱惑红	ND	ND	ND	ND	ND
红2G	ND	ND	ND	ND	ND
亮蓝	ND	ND	ND	ND	ND
酸性红	ND	ND	ND	ND	ND
赤藓红	ND	ND	ND	ND	ND
喹啉黄	ND	ND	ND	ND	ND

注: ND表示未检出, 均小于定量限。

3 结论

试验建立高效液相色谱-串联质谱同时测定水产品中11种水溶性合成着色剂含量的分析方法。前处理过程主要利用碱性萃取缓冲液提取目标化合物, 并采用乙醇沉降技术进行净化。该方法不仅前处理净化效果好, 基质干扰较小, 且分析时间短、灵敏度高、稳定性好, 能够满足水产品中痕量分析要求, 为检测水产品中着色剂含量提供技术支撑, 对相关部门监测水产品中着色剂的使用情况具有重要意义。

参考文献:

- [1] IHEANYICHUKWU W, UWAEZUOKE C A, AMANDA I, et al. The effect of some synthetic food colorants on selected biochemical indices of male wistar rats[J]. European Journal of Nutrition & Food Safety, 2019, 10(2): 149-155.
- [2] 汪文秀. 人工合成色素对人体的危害及天然色素的应用前景[J]. 食品安全导刊, 2019(25): 72-73.
- [3] PETRA A, HANA K, JANA R K. Health safety issues of synthetic food colorants[J]. Regulatory Toxicology and Pharmacology, 2015, 73(3): 914-922.
- [4] 曾楚莹, 王露, 黎秀娟. 固相萃取-高效液相色谱法测定食品基质中5种不同合成红色着色剂[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(5): 1342-1345.
- [5] 胡晓, 严付华, 汪琼, 等. 水溶性人工合成色素的聚苯胺分散相固相萃取[J]. 中国卫生检验杂志, 2017, 27(14): 1977-1979.
- [6] 刘慧慧, 宫向红, 徐英江, 等. 固相萃取-高效液相色谱法同时测定海米中10种合成色素[J]. 食品科学, 2014, 35(4): 71-73.
- [7] 宗珊盈, 张轩, 李超, 等. 固相萃取-HPLC-MS/MS法同时测定食品中6种人工合成着色剂[J]. 中国食品添加剂, 2016(5): 152-156.
- [8] 叶帆, 黎丽颖, 陈斯其. 聚酰胺吸附-高效液相色谱法测定蜜饯中的七种水溶性偶氮着色剂[J]. 中国食品添加剂, 2020, 31(1): 108-115.
- [9] 王婷, 程国栋, 李娜, 等. 高效液相色谱法同时测定食品中9种合成着色剂[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(2): 483-491.
- [10] 周庆琼, 林子豪, 曾羲, 等. QuEChERS-液相色谱-串联质谱法同时测定调味品中49种工业染料[J]. 食品安全质量检测学报, 2018, 9(13): 3385-3395.
- [11] 苑婷婷, 梁景文, 钟彩丽, 等. QuEChERS结合高效液相色谱-串联质谱法同时测定黄颡鱼中7种染料类兽药残留[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(17): 5628-5635.
- [12] 胡文彦, 刘新梅, 刘其南, 等. 超声辅助提取-液相色谱-串联质谱法同时测定马卡龙中人工合成色素与天然色素[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(9): 2678-2683.
- [13] 廖若宇, 孙悦, 刘新保, 等. 食品中合成着色剂的提取方式及测定方法研究进展[J]. 食品工业科技, 2021, 41(20): 342-350.
- [14] 韩胜涛, 徐保立, 郭业民. 食品中合成着色剂检测前处理技术[J]. 食品安全导刊, 2019(36): 34-35, 37.
- [15] LI Q, LIU W, ZHU X S. Green choline amino acid ionic liquid aqueous two-phase extraction coupled with HPLC for analysis sunset yellow in beverages[J]. Food Analytical Methods, 2019, 12(11): 2527-2534.
- [16] LUANA F, LUCILA C R, NATHÁLIA S. Determination of six synthetic dyes in sports drinks by dispersive solid-phase extraction and HPLC-UV-Vis[J]. Journal of the Brazilian Chemical Society, 2018, 29(3): 602-608.
- [17] 钮怡清. 高效液相色谱法检测辣椒、花椒粉中五种合成色素[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(24): 256-260.
- [18] TANG B B, XI C X, ZOU Y, et al. Simultaneous determination of 16 synthetic colorants in hotpot condiment by high performance liquid chromatography[J]. Journal of Chromatography B, 2014, 960: 87-91.
- [19] 王警, 郑娟梅, 王海波, 等. 高效液相色谱-串联质谱法同时测定饮料中54种食品添加剂[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(6): 223-233.
- [20] 周伟娥, 凌云, 张元, 等. 高效液相色谱法测定肉制品中栀子黄色素含量[J]. 食品科学, 2016, 37(2): 187-192.
- [21] QI P, LIN Z H, CHEN G Y, et al. Fast and simultaneous determination of eleven synthetic color additives in flour and meat products by liquid chromatography coupled with diode-array detector and tandem mass spectrometry[J]. Food Chemistry, 2015, 181: 101-110.
- [22] 颜春荣, 高惠敏, 林慧, 等. 液相色谱-串联质谱法检测干制水产品中9种酸性偶氮类着色剂[J]. 食品科技, 2020, 45(11): 308-312.
- [23] HU Z, QI P, WANG N, et al. Simultaneous determination of multiclass illegal dyes with different acidic-basic properties in food-stuffs by LC-MS/MS via polarity switching mode[J]. Food Chemistry, 2020: 309.

基于TOPSIS算法的市售代餐粉营养价值评价

陶可, 李诗慧, 陈子衿, 夏明*

浙江中医药大学药学院食品卫生与营养教研室(杭州 311402)

摘要 为探讨市售代餐粉的实际营养价值与中国居民的营养需求上的一致性, 从网络购物平台购买的20个品牌的代餐粉的营养成分表, 通过理化检验, 补齐缺失成分数据, 采用优劣解距离法 (technique for order preference by similarity to an ideal solution, TOPSIS) 进行营养学评价。结果发现, 多数代餐粉的能量无法满足中国居民的能量需求, 蛋白质尤其是完全蛋白含量远未达到中国居民膳食要求, 代餐粉中缺乏人体必需脂肪酸, 如亚油酸、 α -亚麻酸等含量低。矿物质、维生素等非产能营养素也无法从代餐粉中得到全面满足。综上, 长期食用市售代餐粉完全代替三餐无法满足人体正常营养需求。

关键词 代餐粉; 营养成分表; TOPSIS算法; 综合评价; 营养价值; 营养素

Nutrition Evaluation of Market Meal Replacement Based on TOPSIS Algorithm

TAO Ke, LI Shihui, CHEN Zijin, XIA Ming*

Department of Nutrition and Food Hygiene, School of Pharmaceutical Science, Zhejiang Chinese Medical University (Hangzhou 311402)

Abstract To investigate the differences of the actual nutritional ingredients between market meal replacements and the dietary guidelines of Chinese residents, the nutritional information of 20 meal replacements purchased from shopping website was studied. If the nutritional information was incomplete, the missing data were got by physical and chemical tests. The nutritional information was evaluated by TOPSIS Algorithm. The results showed that the vast majority of meal replacements could not meet the energy demand of Chinese residents. The content of protein was far from the requirements of DGCR, especially the complete protein. These meal replacements were low in essential fatty acids, and were lack of linoleic acid and α -linolenic acid. Minerals and vitamins in meal replacements also could not be fully satisfied with the DGCR. The comprehensive results indicated that long-term consumption of market meal replacement rather than normal diets could not meet the fundamental nutritional needs of the human body.

Keywords meal replacement; nutrient composition table; TOPSIS algorithm; comprehensive assessment; nutritional value; nutrients

果蔬干燥技术的发展, 推动代餐粉的兴起^[1]。代餐粉是一类可部分或全部取代正餐的食物^[2], 代餐粉具有能量密度低、膳食纤维含量高、饱腹感强等特点^[3]。由于其食用方便, 能适应现代人的快节奏生活而受到广泛关注, 是代餐市场中最重要的组成部分^[4]。在

2017—2022年间, 中国的代餐市场规模呈持续扩大的趋势, 逐年保持30%以上的增长率, 预计2023年的市场需求规模将从目前的1 000亿元增长到2 000亿元^[5], 预示着代餐粉良好的市场前景。

研究表明, 食用富含营养的植物化学物质代餐有

- [24] FENG F, ZHAO Y S, WEI Y, et al. Highly sensitive and accurate screening of 40 dyes in soft drinks by liquid chromatography-electrospray tandem mass spectrometry[J]. Journal of the Brazilian Chemical Society, 2011, 879(20): 1813-1818.
- [25] YI J, ZENG L, WU Q, et al. Sensitive simultaneous determination of synthetic food colorants in preserved fruit samples by capillary electrophoresis with contactless conductivity detection[J]. Food Analytical Methods, 2018, 11(6): 1608-1618.
- [26] 龙巍然, 岑怡红, 王兴益, 等. 毛细管区带电泳法同时测

- 定饮料中16种食品添加剂[J]. 色谱, 2012, 30(7): 747-751.
- [27] 王丽芳, 丁晓静, 解娜, 等. 毛细管电泳法测定糖果及调制酒中10种人工合成色素[J]. 食品科学, 2014, 35(14): 145-150.
- [28] KARTHIK Y, MEYYANATHAN S N, NAGESWARA R R. Methods for the analysis of azo dyes employed in food industry—A review[J]. Food Chemistry, 2016, 192: 813-824.
- [29] 戚平, 刘佳, 毛新武, 等. 食品中色素检测的研究进展[J]. 食品与机械, 2018, 34(11): 167-173.
- [30] 张家意, 罗珮妍. 合成着色剂在食品中的应用及分析技术研究进展[J]. 食品安全导刊, 2021(22): 74-75, 79.