

“油料油脂适度加工技术规范制定与实施” 特约专栏文章之五

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2020.01.005

主成分分析法用于调和油配方设计的研究

董家合¹, 初柏君¹, 高盼^{1,2}, 焦山海³, 何东平^{1,2}

- (1. 武汉轻工大学 食品科学与工程学院, 湖北 武汉 430023;
2. 国家粮食和物资储备局粮油资源综合开发工程技术研究中心, 湖北 武汉 430023;
3. 澳加粮油(广西自治区)工业有限公司, 广西 防城港 538000)

摘要: 利用主成分分析, 对市售 38 种调和油的 27 个因素进行分析, 得到影响调和油产品得分排名的主要因素。根据分析结果, 在调和油配方设计中, 将油茶籽油等油酸含量较高的植物油作为优选原料油进行添加, 并依据膳食脂肪酸均衡的需求, 强化添加二十碳五烯酸(DHA)、二十六碳六烯酸(EPA)长链多不饱和脂肪酸成分, 生产调和油。研究结果为调和油配方设计中基油的选取提供了依据。

关键词: 主成分分析; 调和油; 配方设计

中图分类号: TS225.1 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2020)01-0023-07

Study of blending oil formula design by principal component analysis

DONG Jia-he¹, CHU Bai-jun¹, GAO Pan^{1,2}, JIAO Shan-hai³, HE Dong-ping^{1,2}

- (1. College of Food Science and Engineering, Wuhan Polytechnic University, Wuhan Hubei 430023; 2. Grain and Oil Resources Comprehensive Exploitation and Engineering Technology Research Center of National Food and Strategic Reserves Administration, Wuhan Hubei 430023; 3. Aojia (Guangxi Zhuang Autonomous Region) Grain and Oil Industry Co., Ltd., Fangchenggang Guangxi 538000)

Abstract: Using principal component analysis, the 27 factors of 38 kinds of blended oils were analyzed, and the main factors affecting the ranking of blended oil products were obtained. According to the analysis results, in the formulation design of the blending oil, the raw material oil with higher oleic acid content such as camellia seed oil can be added as the preferred raw material oil; in view of the balanced demand of dietary fatty acids, it is possible to strengthen the addition of DHA and EPA. This study provides the basis for the selection of base oils in blending oil formulation design.

Key words: principal component analysis; blending oil; formula design

中国是世界上最大的食用油消费国, 根据国家粮油信息中心对食用油市场调查数据, 2013 年度我国的食用油消费量为 2 755 万 t, 工业及其他消费 275 万 t, 出口油脂油料总计 10.8 万 t, 合计

2013 年度食用油需求总量为 3 040.8 万 t。全国人口按照 13.5 亿计, 人均食用油年消费量为 22.5 kg, 较 2012 年又提高了 5.14%, 超世界人均消费量的 12.5%^[1]。2014 年我国食用调和油的产量为 465 万 t, 小包装食用油的产量为 987 万 t^[2]。随着城乡居民生活水平的不断提高, 越来越重视安全、营养、健康的食用油, 使得小包装食用油高速发展^[3]。逐渐形成了食用调和油与单品食用油共同

收稿日期: 2019-11-11

作者简介: 董家合, 1995 年出生, 女, 硕士, 研究方向为粮食、油脂及植物蛋白。

通讯作者: 何东平, 1957 年出生, 男, 博士, 教授, 研究方向为粮食、油脂及植物蛋白。

竞争发展的局面,食用油市场步入以营养、健康为新追求目标的发展时期。

根据中国营养学会和营养专家提出的膳食宝塔建议,以及《中国居民膳食营养素参考摄入量》的推荐值,中国居民每天需摄入 25g 食用油才可满足人体对膳食脂肪酸的需求。但考虑到膳食脂肪酸均衡问题,需要对摄入的食用油中的脂肪酸配比进行科学调配,这就对调和油产品配方提出更高的要求。美国心脏病协会推荐食用油脂的饱和脂肪酸(S)、单不饱和脂肪酸(M)、多不饱和脂肪酸(P)均应占供热量的 10,即 S M P 的比例为 1 1 1。但随着对食用油脂营养价值研究的不断进展,对 S、M、P 三者的比例又有了新的变化,1987 年,美国心脏病协会重新推荐 S 占供热量 7、M 占供热量 15、P 占供热量 8,即 S M P 的比值为 1 2.14 1.14^[8]。目前,国内的调和油配方设计主要是依据《中国居民膳食营养素参考摄入量》中提出的饱和脂肪酸 单不饱和脂肪酸 多不饱和脂肪酸比例为 1 1 1,在多不饱和脂肪酸中,(n-6)系列与(n-3)系列的比值为 4~6。

主成分分析法(principal component analysis, PCA)是分析统计学中的一种数学变换方法,通过降维对研究对象进行简化,将多个相互关联的变量因素转化成少数几个不相关联的变量因素,通过分析这少数几个不相关联的变量因素达到反映原变量主要情况的研究方法^[4]。主成分分析是一种简化数据集的技术,经常用于减少数据集的维数,同时保持数据集的对方差贡献最大的特征^[5]。主成分分析法广泛应用于量大的实验数据统计分析中,常与其他方法连用进行数据分析处理^[6]。目前,PCA 法被广泛应用于实验数据的统计分析,并与聚类分析及其他方法联用进行实验数据的处理^[7]。

为了研究最适合做调和油基油的植物油脂,实验采集市售高销量的 38 种调和油产品,对价格、理化指标、脂肪酸组分等 27 个因素变量进行调研和检测,并进行主成分分析,从而达到简化系统结构,寻求最适合做调和油基油的原料油脂,以期为研发新型调和油提供理论依据。

1 材料与amp;方法

1.1 材料与试剂

市售 38 种调和油:购自武汉各大超市及各大电商网站;酚酞、氢氧化钾、碘化钾、硫代硫酸钠、淀粉、乙醇(95%)、盐酸,均为分析纯:天津科密欧化学试剂有限公司;冰乙酸、异辛烷,均为分析纯:天津天力化学试剂有限公司;环己烷(分析纯):天津百世化工有效公司;正己烷、甲醇,均为色谱纯:天津科密欧化学试剂有限公司。

1.2 仪器与设备

GC-2010 气相色谱仪:日本岛津公司;WU-866 漩涡混合器:太仓科教器材厂;TD5A 低速离心机:湖南长沙湘仪有限公司;阿贝折光仪:英国 Bellingham+Stanley 公司;WSL-2 罗维朋比色计:上海昕瑞仪器仪表有限公司;720060 移液枪:大龙兴创实验仪器有限公司;回流冷凝装置:南京鑫玉化玻仪器有限公司;AN0931 电子分析天平:上海民侨精密科学仪器有限公司;HHS 型电热恒温水浴锅:上海博讯实业有限公司;GZX-9070MBE 数显鼓风干燥箱:上海博讯实业有限公司;DK-98-II 电炉:北京金石万达仪器仪表有限公司;SK3300HP 超声波清洗器:上海科导超声仪器有限公司。

1.3 实验方法

1.3.1 理化指标检测

水分含量:按国标 GB/T 5009.3—2003 中的 105 恒重法进行测定;酸值:按国标 GB/T 5530—2005 中的冷溶剂法进行测定;过氧化值:按国标 GB/T 5009.37—2003 中的滴定法进行测定;碘值:按国标 GB5532—1985 进行测定;皂化值:按国标 GB5534—1985 进行测定;折光指数:按国标 GB/T 5527—2010 进行测定。

1.3.2 脂肪酸组分检测

(1) 样品甲酯化

称取调和油样品 0.2 g 于离心管中,加入正己烷 4 mL,2 mol/L 的 KOH-甲醇溶液 1 mL,漩涡混合器震荡 1 min,放入离心机中,3 500 r/min 离心 3 min,取上清液放入进样瓶中,放入自动进样器待测。

(2) 气相色谱条件

进样口温度 260 , 分流进样; 压力控制, 压力 280.0 kPa; 总流量 67.1 mL/min, 柱流量 1.08 mL/min; 线速度 20.6 cm/sec, 吹扫流量 30 mL/min; 分流比 58.4。柱箱升温程序: 升温至 170 , 保持 3min, 以 2 /min 速度升温至 230 , 保持 8 min。检测器温度 300 。N₂ 流量 35.0 mL/min, 空气流量 400.0 mL/min, 尾气流量 30.0 mL/min。总程序用时 41 min。

2 结果与分析

2.1 理化指标和脂肪酸组成

对 38 种调和油样品进行理化指标检测和气

相色谱分析, 理化指标测定结果见表 1。对脂肪酸组成色谱图上的月桂酸 (C12:0)、豆蔻酸 (C14:0)、棕榈酸 (C16:0)、硬脂酸 (C18:0)、油酸 (C18:1)、亚油酸 (C18:2)、亚麻酸 (C18:3)、二十碳五烯酸 (EPA)、二十二碳六烯酸 (DHA) 等 18 种脂肪酸甲酯进行积分, 利用峰面积归一法确定各脂肪酸占总脂肪酸含量的百分比, 结果的各项脂肪酸含量见表 2, 由表 2 计算得到每种调和油产品中饱和脂肪酸、单不饱和脂肪酸、多不饱和脂肪酸的含量及其各自的比值见表 3。从表 1 可以看出: 38 个调和油样品主要添加的油品有大豆油、花生油、玉米油、芝麻油、菜籽油, 部分

表 1 调和油样品组成和理化指标测定结果

样品号	组成	理化指标					
		水分及挥发物/%	酸值/(mg KOH/g)	过氧化值/(mmol/kg)	碘值/(g/100g)	皂化值/(mg KOH/g)	折光指数(40、60)
1#	玉米油、小麦胚芽油、稻米油、大豆油、花生油、芝麻油	0.020	0.17	4.37	126.29	194.91	1.468 1.464
2#	菜籽油、大豆油、花生油、玉米油	0.018	0.19	3.58	122.82	197.72	1.468 1.464
3#	玉米油、大豆油、菜籽油、花生油、芝麻油、小麦胚芽油、DHA	0.018	0.19	3.40	125.30	201.11	1.467 1.465
4#	大豆油、菜籽油、花生油、玉米油、稻米油、芝麻油、小麦胚芽油	0.019	0.18	2.23	124.42	196.71	1.467 1.464
5#	菜籽油、大豆油、橄榄油、玉米油、葵花籽油、亚麻籽油、花生油、红花籽油	0.022	0.17	5.65	121.29	201.66	1.468 1.464
6#	大豆油、葵花籽油	0.017	0.16	4.46	128.82	197.05	1.468 1.465
7#	菜籽油、大豆油、花生油、葵花籽油、鱼油、稻米油、芝麻油、橄榄油、亚麻籽油	0.024	0.18	5.79	126.15	204.77	1.468 1.465
8#	大豆油、花生油、葵花籽油、亚麻籽油、茶籽油、核桃油、葡萄籽油	0.024	0.49	4.97	112.88	198.52	1.468 1.464
9#	大豆油、菜籽油、花生油、玉米油、葵花籽油、橄榄油、茶籽油	0.016	0.57	3.55	120.19	201.17	1.468 1.464
10#	菜籽油、大豆油、玉米油、葵花籽油、花生油、芝麻油、亚麻籽油、红花籽油	0.020	0.18	4.35	125.11	201.30	1.468 1.465
11#	菜籽油、油茶籽油	0.021	0.16	4.49	113.73	198.33	1.467 1.464
12#	大豆油、菜籽油、橄榄油、花生油、芝麻油	0.018	0.23	5.02	130.80	204.41	1.469 1.465
13#	茶籽油、菜籽油	0.025	0.15	4.16	110.32	197.95	1.467 1.463
14#	菜籽油、花生油	0.024	0.53	4.24	108.88	197.42	1.466 1.463
15#	DHA、玉米油	0.016	0.17	3.58	120.72	196.83	1.468 1.465
16#	棕榈油、橄榄油	0.020	0.89	7.36	69.34	199.52	1.462 1.458
17#	茶籽油、核桃油	0.019	0.33	4.21	104.51	196.18	1.466 1.463
18#	大豆油、菜籽油、山茶油	0.020	0.16	4.29	130.60	199.31	1.469 1.465
19#	大豆油、玉米油、葵花籽油、花生油、芝麻油、山茶油、核桃油、橄榄油	0.018	0.45	3.33	130.12	199.48	1.469 1.465
20#	大豆油、菜籽油、花生油、玉米油、稻米油、葵花籽油、亚麻籽油、红花籽油、芝麻油	0.022	0.41	5.89	118.90	196.87	1.468 1.464
21#	大豆油、玉米油	0.019	0.23	4.93	127.69	196.13	1.468 1.464

续表 1

样品号	组成	理化指标						
		水分及挥发物/%	酸值/(mg KOH/g)	过氧化值/(mmol/kg)	碘值/(g/100g)	皂化值/(mg KOH/g)	折光指数(40、60)	
22#	山茶油、橄榄油、玉米油	0.020	0.36	4.79	120.23	195.38	1.468	1.464
23#	菜籽油、花生油、玉米油、山茶油、芝麻油	0.018	1.38	5.02	115.55	196.13	1.468	1.464
24#	山茶油、葵花籽油	0.022	0.27	4.85	114.51	194.07	1.467	1.464
25#	大豆油、花生油、芝麻油	0.022	0.89	5.27	128.92	198.29	1.468	1.464
26#	葵花籽油、玉米油、花生油、亚麻籽油	0.019	0.78	5.45	128.95	175.11	1.469	1.465
27#	大豆油、菜籽油、玉米油、葵花籽油、花生油、亚麻籽油、芝麻油、橄榄油	0.020	1.37	6.83	129.83	163.13	1.469	1.466
28#	菜籽油、茶籽油、橄榄油、芝麻油	0.019	0.94	5.03	129.09	189.20	1.468	1.464
29#	橄榄油、葵花籽油	0.017	0.88	7.03	99.18	189.93	1.466	1.462
30#	玉米油、菜籽油	0.019	0.18	3.09	115.80	173.63	1.468	1.464
31#	葵花籽油、花生油	0.019	0.63	5.01	114.69	184.72	1.468	1.464
32#	黑豆油、玉米油	0.022	0.17	3.51	133.79	185.85	1.469	1.464
33#	橄榄油、玉米油	0.017	0.46	4.57	119.49	185.92	1.468	1.464
34#	橄榄油、花生油	0.016	0.53	5.31	118.25	177.77	1.466	1.463
35#	胡麻油、菜籽油、大豆油	0.023	0.19	3.98	114.73	174.42	1.469	1.465
36#	胡麻油、菜籽油	0.020	0.18	2.58	132.88	173.97	1.469	1.466
37#	红松子油、玉米油	0.020	0.12	3.44	134.36	173.19	1.469	1.466
38#	棕榈油、大豆油	0.026	0.14	2.88	59.17	190.47	1.460	1.454

表 2 调和油样品脂肪酸组分

样品号	脂肪酸组分																			
	C12:0	C14:0	C16:0	C16:1	C17:0	C17:1	C18:0	C18:1	C18:2	C18:3	C20:0	C20:1	C20:2	C20:5	C22:0	C22:1	C22:2	C22:6	C24:0	C24:1
1#	0.000	0.064	10.064	0.082	0.089	0.055	4.226	27.227	49.472	7.147	0.460	0.347	0.059	0.000	0.519	0.000	0.000	0.000	0.191	0.000
2#	0.000	0.055	7.521	0.119	0.078	0.080	3.091	41.472	37.748	7.932	0.524	0.750	0.061	0.000	0.459	0.058	0.000	0.000	0.182	0.073
3#	0.000	0.068	10.237	0.081	0.000	3.739	0.000	27.655	48.866	5.111	0.423	1.172	0.535	0.600	1.325	0.000	0.000	0.125	0.019	0.017
4#	0.000	0.065	10.083	0.000	0.084	0.000	4.111	28.516	47.658	6.070	0.475	0.781	0.000	0.000	0.562	1.389	0.000	0.000	0.206	0.000
5#	0.000	0.055	7.750	0.000	0.054	0.077	3.465	40.805	36.995	8.620	0.504	0.844	0.000	0.000	0.365	0.239	0.000	0.000	0.170	0.059
6#	0.000	0.076	10.434	0.068	0.098	0.000	4.332	24.979	52.872	5.974	0.363	0.219	0.000	0.000	0.433	0.000	0.000	0.000	0.151	0.000
7#	0.000	0.168	11.239	0.220	0.080	0.000	2.912	30.853	48.078	4.590	0.475	0.357	0.000	0.239	0.359	0.000	0.000	0.129	0.182	0.118
8#	0.000	0.000	4.712	0.170	0.000	0.103	2.208	58.466	23.668	7.333	0.638	1.285	0.055	0.000	0.550	0.431	0.000	0.000	0.239	0.143
9#	0.000	0.069	11.104	0.078	0.088	0.000	3.936	23.830	51.922	7.566	0.431	0.273	0.070	0.000	0.467	0.000	0.000	0.000	0.166	0.000
10#	0.000	0.055	7.521	0.119	0.078	0.080	3.091	41.272	37.748	7.932	0.524	0.750	0.061	0.000	0.459	0.058	0.000	0.000	0.182	0.073
11#	0.000	0.000	5.434	0.169	0.051	0.091	2.283	49.812	25.364	7.349	0.524	3.502	0.214	0.000	0.325	4.334	0.076	0.000	0.158	0.315
12#	0.000	0.066	10.185	0.070	0.069	0.058	4.163	24.569	52.181	7.211	0.384	0.292	0.061	0.000	0.434	0.117	0.000	0.000	0.139	0.000
13#	0.000	0.000	4.382	0.178	0.000	0.102	1.904	62.369	20.829	7.778	0.602	1.173	0.000	0.000	0.324	0.069	0.000	0.000	0.159	0.132
14#	0.000	0.000	4.406	0.163	0.050	0.116	2.060	62.195	20.109	7.474	0.697	1.429	0.050	0.000	0.521	0.355	0.000	0.000	0.251	0.144
15#	0.000	0.104	12.652	0.060	0.345	1.704	0.000	30.947	51.784	0.516	0.387	0.333	0.647	0.000	0.000	0.000	0.000	0.249	0.168	0.106
16#	0.203	0.860	29.186	0.230	0.054	0.000	3.148	51.282	14.007	0.297	0.314	0.217	0.000	0.000	0.057	0.063	0.000	0.000	0.083	0.000
17#	0.000	0.000	4.549	0.196	0.000	0.093	2.244	61.158	18.259	5.323	0.527	3.030	0.103	0.000	0.246	3.911	0.000	0.000	0.162	0.198
18#	0.000	0.063	10.379	0.000	0.093	0.000	4.432	23.899	53.717	6.342	0.369	0.221	0.000	0.000	0.355	0.000	0.000	0.000	0.131	0.000
19#	0.000	0.071	11.132	0.105	0.000	0.000	4.051	23.425	53.474	6.562	0.365	0.221	0.079	0.000	0.388	0.000	0.000	0.000	0.125	0.000
20#	0.000	0.050	7.252	0.128	0.082	0.077	2.940	43.436	35.552	8.595	0.493	0.728	0.000	0.000	0.422	0.000	0.000	0.000	0.167	0.076
21#	0.000	0.065	10.570	0.071	0.068	0.000	4.338	25.175	52.338	6.136	0.380	0.235	0.000	0.000	0.468	0.000	0.000	0.000	0.156	0.000
22#	0.000	0.000	12.448	0.056	0.000	0.000	1.634	29.660	54.525	0.731	0.384	0.243	0.068	0.000	0.114	0.000	0.000	0.000	0.138	0.000
23#	0.000	0.000	6.269	0.000	0.000	0.089	2.639	50.165	30.873	7.829	0.488	0.923	0.063	0.000	0.346	0.061	0.000	0.000	0.142	0.113
24#	0.000	0.000	6.275	0.055	0.000	0.088	2.622	50.331	30.832	7.762	0.495	0.900	0.000	0.000	0.342	0.062	0.000	0.000	0.141	0.094
25#	0.000	0.076	10.575	0.108	0.000	0.085	4.156	25.303	51.630	6.477	0.451	0.273	0.000	0.000	0.616	0.000	0.000	0.000	0.250	0.000

续表 2

样品号	脂肪酸组分																			
	C12:0	C14:0	C16:0	C16:1	C17:0	C17:1	C18:0	C18:1	C18:2	C18:3	C20:0	C20:1	C20:2	C20:5	C22:0	C22:1	C22:2	C22:6	C24:0	C24:1
26#	0.000	0.056	7.814	0.071	0.000	0.000	3.181	25.590	61.573	0.285	0.298	0.233	0.067	0.000	0.553	0.000	0.000	0.000	0.195	0.084
27#	0.000	0.071	10.834	0.075	0.101	0.000	4.210	23.508	52.882	6.023	0.441	1.145	0.088	0.000	0.393	0.062	0.000	0.000	0.167	0.000
28#	0.000	0.000	4.213	0.214	0.000	0.120	1.867	62.932	19.990	8.031	0.596	1.277	0.000	0.000	0.335	0.113	0.000	0.000	0.159	0.156
29#	0.000	0.000	9.420	0.510	0.000	0.000	3.241	58.295	26.579	0.475	0.416	0.270	0.000	0.000	0.381	0.285	0.000	0.000	0.128	0.000
30#	0.000	0.000	8.987	0.124	0.000	0.000	1.744	43.082	40.877	3.471	0.445	0.706	0.000	0.000	0.221	0.129	0.000	0.000	0.152	0.064
31#	0.000	0.000	8.648	0.065	0.000	0.000	3.417	33.241	50.933	0.083	0.758	0.501	0.062	0.000	1.595	0.000	0.000	0.000	0.698	0.000
32#	0.000	0.000	12.143	0.080	0.000	0.000	1.639	28.836	55.320	1.117	0.353	0.270	0.000	0.000	0.113	0.000	0.000	0.000	0.130	0.000
33#	0.000	0.000	12.525	0.000	0.078	0.000	2.022	33.083	50.325	0.789	0.448	0.300	0.085	0.000	0.147	0.000	0.000	0.000	0.196	0.000
34#	0.000	0.331	17.295	0.305	0.089	0.000	3.095	25.432	49.953	1.184	0.595	0.314	0.000	0.000	1.014	0.000	0.000	0.000	0.392	0.000
35#	0.000	0.064	9.769	0.069	0.066	0.000	3.900	25.224	45.062	9.934	0.436	1.885	0.160	0.000	0.452	2.607	0.000	0.000	0.207	0.167
36#	0.000	0.081	9.038	0.099	0.000	0.000	3.690	25.028	37.262	14.764	0.477	2.910	0.267	0.000	0.416	5.265	0.124	0.000	0.200	0.379
37#	0.000	0.064	10.371	0.084	0.072	0.000	4.167	24.683	52.093	7.001	0.400	0.373	0.097	0.000	0.450	0.000	0.000	0.000	0.145	0.000
38#	0.133	0.776	37.195	0.142	0.083	0.000	4.322	43.616	12.648	0.335	0.388	0.176	0.000	0.000	0.097	0.000	0.000	0.000	0.090	0.000

表 3 调和油样品价格、SFA、MUFA 和 PUFA 含量及其比值

样品号	SFA	MUFA	PUFA	MUFA/PUFA	PUFA/SFA	配比标示	转基因标示	价格/元/L
1#	15.612	27.710	56.677	1.77	3.63	无	豆、菜为转基因	13.6
2#	11.909	42.351	45.741	3.56	3.84	无	无	11.0
3#	12.099	32.664	55.237	2.70	4.57	无	豆、菜为转基因	12.5
4#	15.585	30.686	53.729	1.97	3.45	无	豆、菜为转基因	13.6
5#	12.361	42.023	45.616	3.040	3.69	无	无	25.6
6#	15.887	25.267	58.846	1.59	3.70	无	豆为转基因	9.9
7#	15.415	31.548	53.036	2.05	3.44	无	无	15.8
8#	8.346	60.598	31.056	7.26	3.72	无	无	19.2
9#	16.261	24.181	59.558	1.49	3.66	有详细配比	非转基因	13.6
10#	11.909	42.351	45.741	3.56	3.84	无	无	11.9
11#	8.775	58.223	33.002	6.64	3.76	无	非转基因	18.0
12#	15.441	25.106	59.453	1.63	3.85	无	无	11.1
13#	7.371	64.023	28.607	8.69	3.88	无	无	16.8
14#	7.984	64.384	27.633	8.06	3.46	无	无	14.8
15#	13.654	33.150	53.196	2.43	3.90	无	非转基因	20.0
16#	33.904	51.792	14.304	1.53	0.42	无	非转基因	15.9
17#	7.728	68.587	23.684	8.87	3.06	无	无	18.4
18#	15.822	24.120	60.058	1.52	3.80	无	豆为转基因	23.6
19#	16.133	23.751	60.116	1.47	3.73	无	豆为转基因	13.2
20#	11.407	44.446	44.147	3.90	3.87	无	豆、菜为转基因	12.6
21#	16.045	25.480	58.474	1.59	3.64	无	无	8.0
22#	14.718	29.959	55.323	2.04	3.76	无	非转基因	38.3
23#	9.885	51.350	38.765	5.19	3.92	无	无	16.0
24#	9.874	51.531	38.595	5.22	3.91	无	非转基因	31.9
25#	16.122	25.770	58.108	1.60	3.60	无	豆为转基因	10.0
26#	12.097	25.978	61.926	2.15	5.12	无	非转基因	12.0
27#	16.217	24.790	58.993	1.53	3.64	无	豆为转基因	23.2
28#	7.169	64.810	28.021	9.04	3.91	无	菜为转基因	27.6
29#	13.586	59.360	27.054	4.37	1.99	橄 葵=3 2	非转基因	49.5
30#	11.548	44.105	44.348	3.82	3.84	无	非转基因	32.0
31#	15.115	33.807	51.078	2.24	3.38	葵 花=1 1	非转基因	19.8
32#	14.378	29.185	56.437	2.03	3.93	无	无	32.0
33#	15.417	33.383	51.205	2.17	3.32	无	非转基因	25.8
34#	22.811	26.052	51.137	1.14	2.24	无	非转基因	31.8
35#	14.893	29.951	51.156	2.01	3.70	无	非转基因	19.2
36#	13.902	33.681	52.417	2.42	3.77	无	非转基因	31.1
37#	15.669	25.140	59.191	1.60	3.78	无	无	280.0
38#	43.084	43.934	12.983	1.02	0.30	无	无	11.0

注：SFA、MUFA 和 PUFA 分别是饱和脂肪酸、单不饱和脂肪酸、多不饱和脂肪酸。

添加橄榄油、油茶籽油、亚麻籽油、葵花籽油、DHA 等；其过氧化值平均值为 4.54 mmol/kg，最大值为 7.36 mmol/kg，4 号油品的过氧化值最小为 2.23 mmol/kg；碘值平均值为 118.64 g/100g，最大值为 134.36 g/100g，38 号油品的碘值最好，其值为 59.17 g/100g；皂化值平均值为 192.07 (KOH) mg/g，最大值为 204.77 mg KOH/g，最小值为 163.13 mg KOH/g。

从表 2 可以看出：不同调和油油品的脂肪酸含量存在差异。油酸含量范围在 23.43%~62.94% 之间，28 号油含量最高，考虑可能是添加了富含高油酸的茶籽油和橄榄油；亚油酸含量范围在 12.65%~61.57% 之间，26 号油含量最高；棕榈酸含量范围在 4.23%~37.20% 之间，38 号油含量最高；硬脂酸含量范围在 0~4.43% 之间，18 号油含量最高。

从表 3 可以看出：单不饱和脂肪酸含量最高的是 17 号油品，为 68.59%；多不饱和脂肪酸含量最高的是 26 号油品，为 61.93%。单不饱和脂肪酸和多不饱和脂肪酸比值范围为 1.02~9.04，多不饱和脂肪酸和饱和脂肪酸比值范围为 0.30~

5.12。调和油油品价格除 37 号油品为 280 元/L，其他调和油油品价格均在 50 元/L 以下，考虑可能是 37 号油品添加了价格昂贵的红松子油。

2.2 主成分分析

以豆蔻酸 (C14:0)、棕榈酸 (C16:0)、硬脂酸 (C18:0)、油酸 (C18:1) 等 18 种脂肪酸含量和调和油产品的理化指标、脂肪酸组分、价格、配比等 27 个因素为变量，采用 SPSS 软件对调和油样品各因素变量进行主成分分析法计算。在 SPSS 软件对原始数据进行降维、因子分析后，得到方差贡献表，选择方差贡献率大的前六个主成分进行具体分析，得到整体样本数据的大部分信息，结果见表 4。前六个主成分的初始因子载荷矩阵数据表见表 5。

表 4 前六个主成分的特征值和方差贡献率

主成分	特征值 (即 λ 值)	方差贡献率/%	方差总贡献率/%
1	7.282	26.971	26.971
2	3.528	24.178	51.149
3	3.682	13.637	64.785
4	2.851	10.559	75.344
5	2.032	7.527	82.871
6	1.340	4.965	87.836

表 5 前六个主成分的初始因子载荷矩阵

调和油指标	主成分					
	1	2	3	4	5	6
价格 X_1	0.101	-0.138	-0.140	0.085	-0.263	-0.642
碘值 X_2	0.927	-0.213	-0.094	-0.010	-0.118	0.017
皂化值 X_3	-0.120	0.136	0.293	-0.297	-0.280	0.685
折光指数 X_4	0.961	-0.137	-0.091	0.086	-0.096	0.019
月桂酸 X_5	-0.907	-0.121	0.085	0.204	0.012	0.057
豆蔻酸 X_6	-0.865	-0.274	0.105	0.265	0.124	0.092
软脂酸 X_7	-0.796	-0.492	0.118	0.268	0.099	-0.014
软脂油酸 X_8	0.130	0.024	0.934	0.012	0.137	0.042
硬脂酸 X_9	-0.097	-0.412	-0.720	0.201	0.060	0.320
油酸 X_{10}	-0.396	0.832	0.023	-0.348	-0.112	-0.081
亚油酸 X_{11}	0.614	-0.765	0.004	0.026	0.037	-0.054
亚麻酸 X_{12}	0.443	0.405	-0.278	0.317	-0.152	0.414
二十碳烷酸 X_{13}	0.130	0.611	-0.148	-0.389	0.577	0.047
二十碳一烯酸 X_{14}	0.195	0.791	-0.015	0.484	0.146	0.017
二十碳二烯酸 X_{15}	0.292	0.061	0.770	0.384	0.120	-0.156
二十碳五烯酸 EPAX ₁₆	0.169	-0.074	0.780	0.011	0.166	0.234
二十二碳烷酸 X_{17}	0.329	0.104	0.126	-0.238	0.803	0.208
二十二碳一烯酸 X_{18}	0.141	0.549	-0.130	0.725	0.151	0.203
二十二碳二烯酸 X_{19}	0.177	0.369	-0.105	0.785	0.174	0.044
二十二碳六烯酸 DHAX ₂₀	0.141	-0.106	0.824	0.070	-0.013	-0.105
二十四碳烷酸 X_{21}	0.166	-0.003	-0.321	-0.275	0.817	-0.094
二十四碳一烯酸 X_{22}	0.203	0.788	-0.002	0.498	0.043	-0.012
SFAX ₂₃	-0.767	-0.535	-0.010	0.273	0.164	0.053
MUFAX ₂₄	-0.347	0.895	0.052	-0.235	-0.079	-0.072
PUFAX ₂₅	0.730	-0.665	-0.049	0.11	0.002	0.049
MUFA 与 SFA 比值 X_{26}	0.026	0.927	0.020	-0.295	-0.116	-0.065
PUFA 与 SFA 比值 X_{27}	0.924	0.072	0.074	-0.106	-0.178	0.009

从表 4 可以看出,前六个主成分的方差贡献率已达 85%以上,说明这六个主成分已包含每种调和油产品的大部分信息。

表 5 为前六个主成分的初始因子载荷矩阵数据,由表 5 可知,第 1 主成分中起决定作用的是碘值和皂化值;第 2 主成分中起决定作用的是油酸、MUFA、MUFA 与 SFA 的比值;第 3 主成分中起决定作用的是 EPA、DHA;第 4 主成分中起决定作用的是花生一烯酸、花生二烯酸;第 5 主成分中起决定作用的是山俞酸、二十四碳烷酸;第 6 主成分中起决定作用的是价格因素。

用公式 $t = a / \sqrt{\lambda}$ 计算出标准化特征向量,其中 a 为六大主成分的初始因子。根据运算得到的特征向量与标准化后的数据相乘,可以构建六大主成分与各因素变量之间的线性关系,依据主成分所对应的特征值占所提取主成分总的特征值之和的比例作为权重计算主成分综合模型 F :

$$F = -0.0438X_1 + 0.06798X_2 + 0.02018X_3 + 0.08858X_4 - 0.0914X_5 - 0.0886X_6 - 0.1096X_7 + 0.1041X_8 - 0.0801X_9 + 0.0109X_{10} - 0.0108X_{11} + 0.1052X_{12} + 0.0779X_{13} + 0.1502X_{14} + 0.1290X_{15} + 0.0965X_{16} + 0.0779X_{17} + 0.1265X_{18} + 0.1200X_{19} + 0.0703X_{20} + 0.0177X_{21} + 0.1453X_{22} - 0.1139X_{23} + 0.0362X_{24} + 0.0178X_{25} + 0.0733X_{26} + 0.1011X_{27}$$

利用主成分综合模型和六大主成分的模型计算出综合主成分值和六大主成分值,并对其进行排序,可得到 38 种调和油产品主成分分析综合排名前十的产品,结合表 2 和表 3 分析可知,当调和油产品中添加橄榄油、油茶籽油等油酸含量较高的组分,并强化添加 DHA、EPA 长链多不饱和脂肪酸成分时,调和油综合得分有所提升,同时,产品最终的价格也会对整体得分排名有一定的影响。

油茶籽油是从油茶籽中提取的对人体健康有益的保健食用植物油,其脂肪酸组成与世界公认的具有“液体黄金”美誉的橄榄油极其相似,所以油茶籽油具有“东方橄榄油”的美称^[9],被国际粮农组织大力推荐为健康食用油。油茶籽油营养价值较高,含有丰富的功能性营养成分,如油酸、亚油酸、亚麻酸、植物甾醇、维生素 D、维生素 K、维生素 E、类胡萝卜素、茶多酚、山茶甙、角鲨烯等,具有保湿、防辐射、抗衰老、护发等功

效,其活性功效可与橄榄油相媲美,甚至优于橄榄油^[10]。长期食用能够降低胆固醇、延缓动脉粥样硬化、防止神经功能下降、提高人体免疫力、预防和治疗高血压、心血管疾病。

3 结论

对 38 种调和油产品的 27 个因素进行主成分分析,通过方差分解主成分,提取前六个主成分作为分析对象,结果表明:调和油产品中脂肪组成中不饱和脂肪酸含量较高,存在橄榄油、油茶籽油原料油强化添加和长链多不饱和脂肪酸强化添加的情况,市售调和油中存在添加转基因菜籽油的情况。

从结合六大主成分分析结果和最终主成分综合排名情况分析可知:在调和油配方设计中,可将油茶籽油作为优选原料油进行添加;并考虑到膳食脂肪酸均衡的需求,可以强化添加 DHA、EPA 长链多不饱和脂肪酸成分;在转基因食品安全性未知的情况下,为减少争议性,可选择非转基因菜籽油;综合考虑调和油产品的整体情况时,需要对价格因素进行相应的控制。

参考文献:

- [1] 陈军辉,谢明勇,王远兴,等.主成分分析法用于西洋参样品分类研究[J].天然产物研究与开发,2006,18(2):193.
- [2] 王瑞元.2013年中国食用油市场供需分析[J].粮食与食品工业,2014,21(3):1-6.
- [3] 王瑞元.中国食用植物油加工业的现状与发展趋势[J].粮油食品科技,2017(3):4-9.
- [4] MORITA, BAO D Q, BURKE V, et al. Docosahexaenoic acid but not eicosapentaenoic acid lowers ambulatory blood pressure and heart rate in humans[J]. Hypertension, 1999, 34: 253-260.
- [5] 汪礼洋,陈洁,吕莹果,等.主成分分析法在挂面质构品质评价中的应用[J].粮油食品科技,2014,22(3):67-71.
- [6] 张志祥,刘鹏,康华靖,等.基于主成分分析和聚类分析的 FTIR 不同地理居群香果树多样性分化研究[J].光谱学与光谱分析,2008,28(9):2081-2086.
- [7] 宋小妹,杨新杰,王薇,等.珠子参的 HPLC 指纹图谱及模式识别[J].中国实验方剂学,2011,17(11):59.
- [8] 满时勇.食用调和油对人体健康影响[J].粮油食品科技,1999(1):23-24.
- [9] 龙正梅,王道平.茶油与橄榄油化学成分研究[J].中国粮油学报,2008,23(2):121-123.
- [10] 张东生,金青哲,薛雅琳,等.油茶籽油的营养价值及掺伪鉴定研究进展[J].中国油脂,2013,38(8):47-50.

(审核:林家永)