

运动营养饼干品质指标的主成分分析及聚类分析

王养平^{1*}, 焦建军²

(1. 重庆科创职业学院基础教学部, 重庆 402160; 2. 陕西理工大学体育学院, 汉中 723001)

摘要: 目的 建立不同品种运动营养饼干品质评价体系, 为运动营养饼干的鉴别和质量控制提供借鉴。**方法** 选取9个不同品种运动营养饼干, 对其营养品质和真菌毒素污染等15项指标进行测定, 分析其品质指标的相关性, 利用主成分分析法和聚类分析法对其品质做出综合评价。**结果** 不同品种运动营养饼干品质指标之间均存在差异性($P < 0.05$), 且品质指标变异系数各不相同, 表明不同品种饼干品质之间呈现不同程度的变化。由主成分分析结果可知, 15项品质指标反映9种不同运动营养饼干品质指标可以用5个主成分表示, 其累计方差贡献率为88.673%, 其中咀嚼性、Mg、Ca、 L^* 值、 b^* 值、蛋白质、脂肪可作为综合评价其品质优劣的关键性指标。**结论** 采用主成分分析和聚类分析综合评价方法获得的试验研究结果为消费者选择营养价值高、口感好、品质优良的运动营养饼干品种提供参考依据; 本研究建立的品质评价体系为运动营养饼干的鉴别和质量控制提供借鉴。

关键词: 运动营养饼干; 主成分分析; 聚类分析; 品质评价

Principal component analysis and cluster analysis of quality indexes of sports nutrition biscuits

WANG Yang-Ping^{1*}, JIAO Jian-Jun²

(1. Chongqing Science and Innovation Vocational College, Department of Basic Teaching, Chongqing 402160, China;
2. Shaanxi University of Technology, School of Physical Education, Hanzhong 723001, China)

ABSTRACT: Objective To establish a quality evaluation system for different varieties of sports nutrition biscuits, and provide references for the identification and quality control of sports nutrition biscuits. **Methods** Nine different varieties of sports nutrition biscuits were selected as raw materials, and 15 kinds of indicators of their nutritional quality and mycotoxin pollution were measured, and the correlation of their quality indicators was analyzed, and the quality was comprehensively evaluated by principal component analysis and cluster analysis. **Results** There were differences in the quality indicators of different varieties of sports nutrition biscuits ($P < 0.05$), and the coefficients of variation of the quality indicators were different, indicating that the quality of different varieties of biscuits showed varying degrees of change. It could be seen from the main component analysis that 15 kinds of quality indicators could reflect the quality of 9 kinds of different sports nutrition biscuits, which could be represented by 5 main components, and their cumulative variance contribution rate was 88.673%, chewiness, Mg, Ca, L^* value, b^* value, protein and fat could be used as key indicators for comprehensive evaluation of its quality. **Conclusion** The experimental research results obtained by the comprehensive

基金项目: 河南省社科联调研项目(SKL-2019-2714)

Fund: Supported by the Henan Provincial Federation of Social Sciences Research Project (SKL-2019-2714)

*通信作者: 王养平, 讲师, 主要研究方向为体育教学训练与理论研究。E-mail: wangyangping2021@126.com

*Corresponding author: WANG Yang-Ping, Lecturer, Chongqing Science and Innovation Vocational College, No.28, West Section of Changzhou Avenue, Yongchuan District, Chongqing 402160, China. E-mail: wangyangping2021@126.com

evaluation method of principal component analysis and cluster analysis provide references for consumption and selection of sports nutrition biscuits with high nutritional value, good taste and good quality. The established quality evaluation system provides references for the identification and quality control of sports nutrition biscuits.

KEY WORDS: sports nutrition biscuits; principal component analysis; cluster analysis; quality evaluation

0 引言

运动营养食品是为满足运动人群的生理代谢状态、运动能力及对某些营养成分的特殊需求而专门加工的食品^[1-3]。目前,运动营养食品种类繁多,其中功能性成分的组成、类别也复杂多变。国内外也已开发出包括饮料、片剂、能量棒、胶囊等形式多样的运动营养食品^[4-6]。其中,运动营养饼干因携带方便、营养齐全,能满足运动人群所需营养需求,而深受运动人群喜爱。同时,相比于酥性饼干、韧性饼干、苏打饼干、薄脆饼干、曲奇饼干、夹心饼干等产品,运动营养饼干是根据运动人群的实际需求进行了不同营养成分的组成调整,具有高蛋白、低脂肪、高膳食纤维的饼干品种,在饼干品种中倍受各类人群青睐。

目前,关于食品品质评价的方法主要有模糊综合评价法^[7]、主成分分析法^[8]、聚类分析法^[9]、合理-满意度和多维价值理论评价法^[10]等。主成分分析是一种通过降低数据维数,实现综合评价的数学统计方法^[11],已被广泛应用于食品品质指标筛选和品质综合评价研究^[12]。然而,目前国内对运动营养食品的研究主要集中于该食品对运动员体质及健康的影响,以及研究现状等方面^[13-15]。目前,市场对高品质运动营养食品的需求日益增加,很多研究学者致力于研究运动营养食品的发展现状及其对人体机能的作用,而对运动营养饼干综合品质评价缺乏主成分分析与聚类分析的相关研究。本研究通过对 9 种不同品种运动营养饼干品质指标进行测定和分析,并对其进行综合评价,建立品质评价体系,为运动人群选择营养价值高、口感好、品质优良运动营养饼干品种提供参考依据,为运动营养饼干的鉴别和质量控制提供借鉴。

1 材料与方 法

1.1 材料与试剂

运动营养饼干: 9 种运动营养饼干均为网购,编号分别为: S₁、S₂、S₃、S₄、S₅、S₆、S₇、S₈、S₉, 分别用研磨仪粉碎后放入洁净容器中备用。

硫酸铜、硫酸钾、氯化钾、氯化钠、盐酸、偏磷酸、磷酸、硝酸、30%过氧化氢(分析纯, 国药集团化学试剂有限公司); 甲基红指示剂、溴甲酚绿指示剂、亚甲基蓝指示

剂(上海佑化学科技有限公司); 乙腈、甲醇、三氯乙酸(分析纯, 德国 Merck 公司); 磷酸氢二钠、磷酸二氢钾(分析纯, 苏州德运化工科技有限公司)。

黄曲霉毒素 M₁ (aflatoxin M₁, AFT-M₁)、黄曲霉毒素 B₁ (aflatoxin B₁, AFT-B₁) (10 μg/mL, 坛墨质检科技股份有限公司); Ca、Mg、Fe、Zn 单标元素标准溶液(1000 μg/mL, 国家有色金属及电子材料分析测试中心)。

1.2 仪器与设备

iCAPRQ 电感耦合等离子体质谱仪(配有 MassHunter 软件操作系统及自动进样器, 美国 Thermo Fisher Scientific 公司); BOCL101 高效液相色谱仪(配有紫外检测器或二极管阵列检测器, 日本 Shimadzu 公司); XPR 托利多分析天平(精度 0.001 g, 瑞士 METTLER TOLEDO 公司); JXMF-12 研磨粉碎仪(上海净信实业发展有限公司); KDY-9820 瑞邦兴业凯氏定氮仪(北京瑞邦兴业科技有限公司); SOX606 海能索氏提取仪(海能未来技术集团股份有限公司); MICHEM 微波消解仪(配聚四氟乙烯消解罐, 北京盈安美诚科学仪器有限公司); CT3 质构仪(美国 Broofield 公司); WSC-S 测色色差计(杭州汇尔仪器设备有限公司)。

1.3 方 法

1.3.1 色度值的测定

色泽指标的测定参考 AZADBAKHT 等^[16]的方法, 结果以 L^* 、 a^* 、 b^* 值表示, 其中, L^* 表示亮度值, 其值越大, 运动营养饼干颜色越亮; a^* 、 b^* 值分别代表运动营养饼干红绿度和黄蓝度, 正 a^* 值表示红色, a^* 值越大表明饼干颜色越红, 反之饼干颜色偏绿; 正 b^* 值表示黄色, b^* 值越大表明饼干颜色越黄, 反之饼干颜色偏蓝。每个样品重复测定 3 次, 取其平均值。

1.3.2 饼干的质构分析

采用 TPA 模式的 CT3 质构仪测定运动营养饼干的硬度、弹性、胶黏性和咀嚼性。探头 P/100; 参数设定: 测试前速度: 1.00 mm/s; 测试速度: 0.50 mm/s; 测试后速度: 1.00 mm/s; 目标模式: 距离: 10.00 mm; 时间: 5.00 s; 应变位移: 30.00%; 引发力: 10.0 g; 引发类型: 自动(力); 因为各试样之间存在差异性, 为保持试验结果的准确性, 每样品重复 3 次, 取其平均值。

1.3.3 饼干内在品质的测定

脂肪含量根据 GB 5009.6—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》中的索氏抽提法进行测定; 蛋白质根

据 GB 5009.5—2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》中的凯氏定氮法进行测定;黄曲霉毒素 M₁ 根据 GB 5009.24—2016《食品安全国家标准 食品中黄曲霉毒素 M 族的测定》中的高效液相色谱法进行测定;黄曲霉毒素 B₁ 根据 GB 5009.22—2016《食品安全国家标准 食品中黄曲霉毒素 B 族和 G 族的测定》中的高效液相色谱柱前衍生法进行测定;微量元素根据 GB 5009.268—2016《食品安全国家标准 食品中多元素的测定》中的电感耦合等离子体质谱法进行测定。

1.4 数据处理

所有数据均为3次平行试验的平均值,应用 Microsoft Excel 2016 及 SPSS 19.0 软件对数据进行描述性分析、主成分分析、聚类分析,样本之间采用欧氏距离平方,得出聚类树状图。

2 结果与分析

2.1 饼干品质指标的测定结果

9种运动营养饼干的15项品质指标的测定结果见表1。由表1可知,15项品质指标在不同品种运动营养饼干中存在差异,其中变异系数最大的是咀嚼性(43.89%),咀嚼性平均值为0.29 mJ;差异最小的是Ca含量,其变异系数为11.92%;色泽是评价饼干品质的一个重要指标,饼干色泽的优良直接影响消费者对饼干的接受程度,在色度测定中, L^* 值的变异数为15.00%;饼干中 a^* 值、 b^* 值的变异系数分别为15.56%、18.64%,其 b^* 值变异系数大于 a^* 值变异系数,因此饼干呈色的差异主要取决于 b^* 值,饼干黄色越深,表明饼干色泽越佳。

饼干的质地也是影响饼干品质的一个重要因素,有报道显示,硬度值、胶着性、咀嚼性与饼干的品质呈负相关,即这3个值越大饼干吃起来就越硬^[17-19];弹性值、黏性值与饼干的品质成正相关,即这2个值越大饼干吃起来就越不黏牙。饼干中硬度、弹性、胶黏性、咀嚼性的变异系数分别为8.06%、41.88%、41.78%、43.89%,说明不同品种饼干的物性指标差异较大。通过对9种饼干中4种矿物质元素的测定,饼干中Ca、Mg、Fe和Zn 4种元素,其中Ca含量最高,其平均值为103.18 mg/kg;此外,有部分饼干虽有AFT-M₁、AFT-B₁检测,但均小于GB 2761—2017《食品安全国家标准 食品中真菌毒素限量》中的限量要求。

2.2 不同品种饼干品质指标的统计分析

2.2.1 不同品种饼干品质指标的相关性分析

本研究采用 Pearson 相关系数分析9种饼干中15项品质指标之间的相关性,结果见表2,部分品质指标之间的相关性呈显著或极显著差异。蛋白质与 a^* 值呈显著负相关

($P<0.05$),而与弹性和胶黏性呈极显著正相关($P<0.01$);脂肪与黄曲霉毒素 M₁ (AFT-M₁)呈显著负相关($P<0.05$); L^* 值与Zn元素呈显著正相关($P<0.05$);弹性与Fe元素呈极显著负相关($P<0.01$)。上述相关分析结果表明,饼干外观品质、营养品质和真菌毒素各指标之间存在一定的相关性,且各指标测定值的信息出现重叠现象,因此可以应用主成分分析和聚类分析的方法对不同品种饼干的品质指标通过降维来简化数据结构,进而提高不同品种饼干品质特性综合评价的准确性。

2.2.2 不同品种饼干品质指标主成分分析及综合评价

(1) 饼干品质指标主成分分析

一般认为当主成分特征值大于1,且累计方差贡献率大于85%时,就可以利用提取的主成分表示原始变量大部分主要信息^[20-22]。对9种不同品种饼干进行品质指标的测定,其测定值标准化后进行主成分分析,其结果见表3、载荷图见图1。由表3可知,前5主成分特征值大于1的累计贡献率达到88.673%,其中第1主成分、第2主成分、第3主成分、第4主成分和第5主成分的方差贡献率分别为28.393%、23.247%、16.072%、12.915%和8.047%,表明前5主成分在饼干品质指标评价中起主导作用,且能全面反映饼干品质特性综合评价的主要信息。

第1主成分特征值为4.259,咀嚼性、Mg、Ca、 L^* 值、 b^* 值具有较高的载荷值,其值分别为0.776、0.897、-0.723、-0.699、0.740;咀嚼性、Mg、 b^* 值均在第1主成分中起正向作用,Ca、 L^* 值在第1主成分中起负向作用,表明第1主成分很大时,咀嚼性、Mg、 b^* 值在饼干中升高,而Ca、 L^* 值降低;第2主成分特征值为3.487,蛋白质、脂肪、 a^* 值、Ca、Zn元素的正向载荷权数较大,其值分别为0.573、0.913、0.710、0.524、0.539,AFT-M₁负向载荷权数较大,其值为-0.614,正向作用品质指标数远多于负向作用品质指标数,因此,第2主成分主要反映了饼干营养品质,而非真菌毒素污染情况;第3主成分特征值为2.411;第4主成分特征值为1.937;第5主成分特征值为1.207;综合分析5个主成分主要代表相关性,均已涵盖了饼干品质性状的所有信息,结合图1与表3的分析结果,应选取前5个主成分作为饼干品质评价的分析指标。

(2) 主成分得分及综合评价

由表4可知,根据表4的因子得分系数矩阵及其对应的主成分,可以计算出每个主成分因子得分,各主成分得分($F_1\sim F_5$)表达式如下所示:

$$F_1 = -0.072X_1 - 0.086X_2 - 0.144X_3 - 0.066X_4 + 0.226X_5 + 0.088X_6 + 0.018X_7 + 0.133X_8 + 0.210X_9 + 0.265X_{10} - 0.203X_{11} + 0.041X_{12} + 0.046X_{13} + 0.051X_{14} + 0.074X_{15}$$

$$F_2 = 0.070X_1 + 0.296X_2 - 0.206X_3 + 0.338X_4 - 0.015X_5 + 0.087X_6 - 0.146X_7 - 0.019X_8 - 0.003X_9 - 0.013X_{10} + 0.060X_{11} - 0.037X_{12} - 0.041X_{13} - 0.013X_{14} + 0.245X_{15}$$

表 1 不同品种饼干品质指标
Table 1 Quality indicators of different varieties of biscuits

品质指标	运动营养饼干品种														
	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅	S ₆	S ₇	S ₈	S ₉	平均值	变异系数/%				
X ₁	14.21±0.21	14.25±1.12	18.59±1.01	17.89±1.54	10.11±1.08	8.21±0.87	15.12±0.108	7.25±1.31	9.53±1.89	12.80	32.54				
X ₂	5.12±0.04	3.98±0.01	6.00±0.02	1.75±0.11	5.56±0.18	6.96±0.09	7.38±0.31	6.42±0.36	5.01±0.41	5.35	31.90				
X ₃	58.1±1.24	68.21±2.14	77.2±1.87	76.45±2.14	64.4±2.01	59.65±1.34	46.12±2.01	68.4±1.98	61.1±2.09	64.40	15.00				
X ₄	9.78±0.12	10.45±1.87	11.78±0.15	6.45±0.24	9.32±0.34	9.99±0.31	13.45±0.31	10.24±0.26	9.78±0.41	10.14	15.56				
X ₅	18.2±12.1	16.2±10.2	15.2±9.12	18.5±10.2	16.5±9.45	15.2±10.9	21.8±8.45	19.5±2.14	21.2±3.45	18.03	18.64				
X ₆	987±15.1	781±11.2	921±16.5	891±14.2	961±10.9	861±11.5	1004±15.8	1008±19.6	954±16.2	929.78	8.06				
X ₇	0.158±0.04	0.125±0.01	0.245±0.08	0.311±0.06	0.411±0.05	0.121±0.07	0.184±0.07	0.216±0.06	0.291±0.07	0.23	41.88				
X ₈	5.45±0.45	8.45±0.94	2.41±0.12	3.56±0.23	4.16±0.74	4.15±0.97	4.56±0.13	2.25±0.95	4.56±0.65	4.39	41.78				
X ₉	0.45±0.081	0.35±0.051	0.12±0.011	0.42±0.051	0.26±0.021	0.15±0.095	0.45±0.074	0.25±0.045	0.19±0.011	0.29	43.89				
X ₁₀	52.45±1.12	49.45±3.25	28.95±2.45	39.45±1.09	34.56±1.36	27.89±1.92	52.2±1.09	39.94±1.09	48.91±1.06	41.53	23.31				
X ₁₁	82.45±1.45	108.45±1.94	112.4±2.12	89.56±1.23	109.6±2.74	110.5±2.07	94.56±1.03	113.5±1.95	99.56±1.65	103.18	11.92				
X ₁₂	65.45±1.81	54.45±2.51	58.12±3.11	66.12±1.51	45.26±2.21	59.45±1.95	58.45±1.74	44.65±1.45	63.69±2.11	57.29	13.86				
X ₁₃	12.58±0.92	14.13±0.32	15.12±0.64	14.23±0.24	12.45±0.37	13.45±0.54	15.78±0.78	18.45±0.65	17.62±0.78	14.87	14.14				
X ₁₄	0.011±0.002	-	-	-	0.022±0.003	-	-	-	-	-	-				
X ₁₅	-	0.012±0.001	-	-	-	-	0.034±0.002	-	-	-	-				

注: -表示未检出; X₁-蛋白质/%; X₂-脂肪/%; X₃-L*值; X₄-a*值; X₅-b*值; X₆-硬度/g; X₇-弹性/mm; X₈-胶黏性/g; X₉-咀嚼性/rmj; X₁₀-Mg(mg/kg); X₁₁-Ca(mg/kg); X₁₂-Fe(mg/kg); X₁₃-Zn(mg/kg); X₁₄-黄曲霉毒素 M₁(μg/kg); X₁₅-黄曲霉毒素 B₁(μg/kg)。

表 2 饼干品质指标的相关性分析
Table 2 Correlation analysis of biscuit quality indicators

指标	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	A ₈	A ₉	A ₁₀	A ₁₁	A ₁₂	A ₁₃	A ₁₄	A ₁₅
A ₁	1.000														
A ₂	-0.438	1.000													
A ₃	0.311	-0.592	1.000												
A ₄	-0.030*	0.799	-0.538	1.000											
A ₅	-0.111	0.066	-0.519	0.166	1.000										
A ₆	-0.197	0.436	-0.398	0.258	0.615	1.000									
A ₇	0.009**	-0.296	0.313	-0.408	0.109	0.319	1.000								
A ₈	0.004**	-0.261	-0.265	0.054	-0.082	-0.577	-0.413	1.000							
A ₉	0.381	-0.349	-0.350	-0.098	0.446	0.152	-0.130	0.411	1.000						
A ₁₀	0.106	-0.151	-0.515	0.177	0.696	0.208	-0.238	0.575	0.726	1.000					
A ₁₁	-0.463	0.440	0.246	0.219	-0.545	-0.331	-0.063	-0.193	-0.806	-0.707	1.000				
A ₁₂	0.497	-0.384	-0.079	-0.211	0.171	-0.154	-0.008**	0.161	0.275	0.279	-0.627	1.000			
A ₁₃	-0.283	0.207	0.015*	0.251	0.607	0.348	-0.240	-0.374	-0.248	0.171	0.152	-0.169	1.000		
A ₁₄	-0.168	-0.019*	-0.115	-0.187	-0.208	0.282	0.539	0.056	0.124	-0.055	-0.113	-0.354	-0.599	1.000	
A ₁₅	0.251	0.333	-0.646	0.670	0.467	0.107	-0.314	0.320	0.505	0.512	-0.202	0.057	0.114	-0.235	1.000

注: *表示在 0.05 水平(双侧)上显著, P<0.05; **表示在 0.01 水平(双侧)上极显著, P<0.01; A₁-蛋白质; A₂-脂肪; A₃-L*值; A₄-a*值; A₅-b*值; A₆-硬度; A₇-弹性; A₈-胶黏性; A₉-咀嚼性; A₁₀-Mg; A₁₁-Ca; A₁₂-Fe; A₁₃-Zn; A₁₄-AFT-Mi; A₁₅-AFT-B₁₀.

表 3 饼干品质指标的主成分载荷矩阵、特征值和方差贡献率

Table 3 Principal component loading matrixes, eigenvalues and variance contribution rates of biscuit quality indicators

指标	主成分				
	1	2	3	4	5
蛋白质	0.230	0.573	-0.137	-0.211	0.682
脂肪	0.055	0.913	-0.163	0.221	0.217
L*值	-0.699	0.461	0.071	-0.378	0.055
a*值	0.363	0.710	-0.377	0.068	0.358
b*值	0.740	0.250	0.483	-0.300	-0.204
硬度	0.318	0.485	0.742	0.061	0.221
弹性	-0.320	-0.140	0.777	0.147	0.076
胶黏性	0.403	-0.374	-0.577	0.352	-0.417
咀嚼性	0.776	-0.427	0.120	0.204	0.006
Mg	0.897	-0.131	0.050	0.021	-0.319
Ca	-0.723	0.524	-0.383	0.015	-0.212
Fe	0.382	0.138	-0.103	-0.371	0.226
Zn	0.123	0.539	0.226	-0.717	-0.279
AFT-M ₁	-0.152	-0.614	0.428	0.871	0.034
AFT-B ₁	0.746	0.290	-0.300	0.069	0.215
特征值	4.259	3.487	2.411	1.937	1.207
贡献率/%	28.393	23.247	16.072	12.915	8.047
累计贡献率/%	28.393	51.639	67.711	80.626	88.673

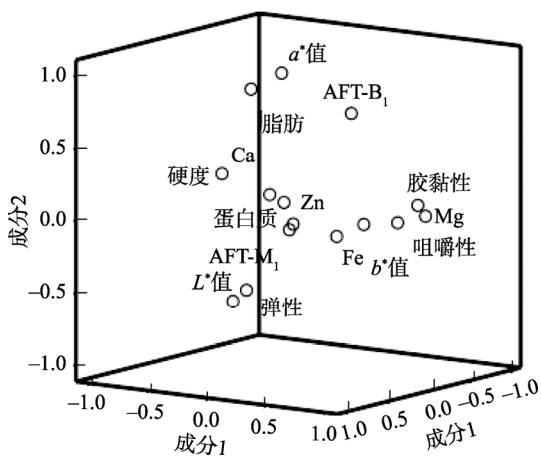


图 1 饼干品质指标的主成分分析载荷图

Fig.1 Principal component analysis load diagram of biscuit quality index

$$F_3=0.073X_1+0.076X_2+0.031X_3+0.013X_4+0.138X_5+0.362X_6+0.290X_7-0.381X_8-0.029X_9-0.104X_{10}-0.098X_{11}-0.027X_{12}+0.091X_{13}+0.119X_{14}-0.049X_{15}$$

$$F_4=0.046X_1+0.033X_2-0.097X_3-0.016X_4-0.196X_5+0.035X_6+0.138X_7+0.103X_8+0.120X_9-0.049X_{10}-0.058X_{11}-0.102X_{12}-0.423X_{13}+0.446X_{14}-0.002X_{15}$$

$$F_5=0.510X_1-0.081X_2+0.124X_3+0.089X_4-0.091X_5-0.024X_6-$$

$$0.038X_7-0.127X_8+0.091X_9-0.086X_{10}-0.179X_{11}+0.306X_{12}-0.136X_{13}-0.142X_{14}+0.114X_{15}$$

结合主成分因子得分公式并以主成分方差贡献率为权重,构建饼干品质综合评价得分函数,公式如下所示: $F=0.284F_1+0.232F_2+0.161F_3+0.129F_4+0.081F_5$, F 为不同品种饼干品质指标的综合得分。

根据综合评价得分函数可计算出不同品种饼干品质的综合得分及其排序,其中 F 值越大,表明该品种饼干品质的综合得分最高,结果如表 5 所示,就 9 种不同饼干综合品质排名而言,饼干编号为 S_7 品种的运动营养饼干综合品质得分最高,即其综合品质最好;其次是 S_1 、 S_5 、 S_9 、 S_8 、 S_4 、 S_3 、 S_2 、 S_6 的综合品质得分均为负值,且排名靠后,表明这 6 个品种的饼干品质特性较差,其中 S_6 的综合品质得分最低,故品质最差。

2.3 运动营养饼干品质的聚类分析

聚类分析是根据研究对象的特征按照一定标准对研究对象进行分类的一种分析方法,其结果具有综合性、客观性和科学性^[23-25]。在聚类分析中对变量的聚类称为 R 型聚类^[26-28]。本研究在主成分分析的基础上,采用聚类分析方法对饼干的 15 个品质指标进行 R 型聚类,采用组间连接法,聚类结果如图 2 所示。

表 4 因子得分系数矩阵表
Table 4 Matrix of factor score coefficients

指标	主成分				
	1	2	3	4	5
蛋白质	-0.072	0.070	0.073	0.046	0.510
脂肪	-0.086	0.296	0.076	0.033	-0.081
L^* 值	-0.144	-0.206	0.031	-0.097	0.124
a^* 值	-0.066	0.338	0.013	-0.016	0.089
b^* 值	0.226	-0.015	0.138	-0.196	-0.091
硬度	0.088	0.087	0.362	0.035	-0.024
弹性	0.018	-0.146	0.290	0.138	-0.038
胶黏性	0.133	-0.019	-0.381	0.103	-0.127
咀嚼性	0.210	-0.003	-0.029	0.120	0.091
Mg	0.265	-0.013	-0.104	-0.049	-0.086
Ca	-0.203	0.060	-0.098	-0.058	-0.179
Fe	0.041	-0.037	-0.027	-0.102	0.306
Zn	0.046	-0.041	0.091	-0.423	-0.136
AFT-M ₁	0.051	-0.013	0.119	0.446	-0.142
AFT-B ₁	0.074	0.245	-0.049	-0.002	0.114

表 5 因子得分与综合得分
Table 5 Factor scores and comprehensive scores

运动营养饼干品种	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F	排名
S_1	1.142	-0.017	-0.137	1.014	0.611	0.479	2
S_2	0.120	-0.091	-2.245	0.064	0.148	-0.328	8
S_3	-1.618	0.189	0.515	-0.345	1.046	-0.293	7
S_4	0.343	-1.821	0.211	-0.088	1.502	-0.181	6
S_5	-0.401	-0.379	0.887	2.035	-1.134	0.112	3
S_6	-1.258	0.397	-0.845	-0.041	-0.546	-0.451	9
S_7	1.326	2.041	0.271	-0.382	0.432	0.880	1
S_8	-0.263	0.084	0.946	-1.146	-1.455	-0.168	5
S_9	0.609	-0.406	0.397	-1.112	-0.604	-0.050	4

由图 2 可知, 以欧氏距离平方为准则采用 Between-Groups Linkage 连接聚类^[26-28], 当聚类距离为 8 时, 可将饼干品质指标分为 3 大类, 第 1 大类为 AFT-M₁、AFT-B₁、弹性、咀嚼性、胶黏性、 L^* 值、 a^* 值、 b^* 值; 第 2 大类为蛋白质、脂肪、Mg、Ca、Fe、Zn; 第 3 大类为硬度; 同时结合主成分载荷分析结果可知, 最终选用咀嚼性、Mg、Ca、 L^* 值、 b^* 值、蛋白质、脂肪为综合评价饼干品质优劣的关键性指标。

3 结论与讨论

通过对 9 种不同品种运动营养饼干的外观品质、营养品质和真菌毒素污染情况等指标进行描述性分析和相关性分析, 发现各项品质之间存在差异性($P < 0.05$), 且运动营养饼干在不同品质性状之间呈现不同程度的变化。同时, 采用主成分分析法和聚类分析法对 9 种不同运动营养饼干

的 15 项品质指标进行系统分析, 最终确定咀嚼性、Mg、Ca、 L^* 值、 b^* 值、蛋白质、脂肪作为综合评价运动营养饼干品质优劣的关键性指标。通过主成分分析, 提取了 5 个主成分, 累计方差贡献率为 88.673%; 结合运动营养饼干品质指标评价函数分析结果, 发现饼干编号为 S₇ 品种的运动营养饼干综合品质得分最高, 即其综合品质最好; 其次是 S₁、S₅; S₉、S₈、S₄、S₃、S₂、S₆ 的综合品质得分均为负值, 且排名靠后, 表明这 6 个品种的饼干品质特性较差, 其中“S₆”的综合品质得分最低, 故品质最差。

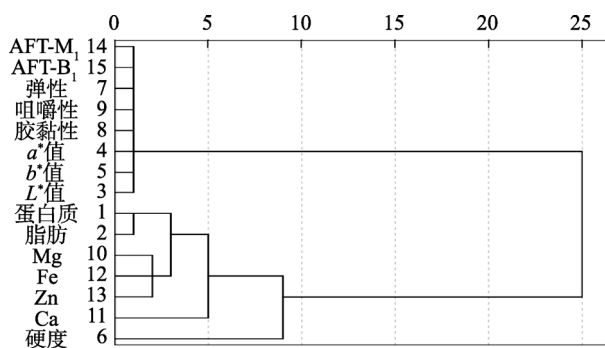


图 2 饼干品质指标聚类分析

Fig.2 Cluster analysis of biscuit quality indicators

本研究采用主成分分析和聚类分析对运动营养饼干的综合品质进行评价, 该方法获得的试验研究结果为消费者选择营养价值高、口感好、品质优良运动营养饼干品种提供参考依据。同时, 所建立的更加科学合理的评价体系为运动营养饼干的鉴别和质量控制提供借鉴。为运动人群针对性地筛选出能补充运动时丢失的营养, 起到保持、提高运动能力及加速运动后疲劳消除和体力恢复的高品质运动营养饼干。从而促进全民健身更高水平发展, 为建设体育强国添能加油。

参考文献

- [1] 屠丽琴, 许晓阳. 胶原蛋白肽运动营养食品对体育运动员的影响[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(17): 225-226.
TU LQ, XU XY. The effect of collagen peptide sports nutrition food on sports athletes [J]. Food Res Dev, 2021, 42(17): 225-226.
- [2] 陈琼, 黄树楷, 黄盼, 等. 固相萃取-HPLC 柱后氧化衍生荧光法测定运动营养食品中叶酸的含量[J]. 食品工业科技, 2020, 41(19): 286-290, 296.
CHEN Q, HUANG SK, HUANG P, *et al.* Determination of folic acid in sports nutrition food by solid phase extraction-HPLC post-column oxidation derivative fluorescence method [J]. Sci Technol Food Ind, 2020, 41(19): 286-290, 296.
- [3] 孟佳珩, 侯建鹏. 运动营养食品及其功能性成分研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(15): 5001-5006.
MENG JH, HOU JP. Research progress of sports nutrition food and its functional ingredients [J]. J Food Saf Qual, 2019, 10(15): 5001-5006.

- [4] 邓陶陶, 焦颖, 李奇庚, 等. 运动营养食品产业现状和未来发展[J]. 中国食品卫生杂志, 2018, 30(2): 208-212.
DENG TT, JIAO Y, LI QG, *et al.* Current status and future development of sports nutrition food industry [J]. J Chin Food Hyg, 2018, 30(2): 208-212.
- [5] BUFORD TW, KREIDER RB, STOUT JR, *et al.* International society of sports nutrition position stand creatine supplementation and exercise [J]. J Int Soc Nut, 2020, 30(12): 218-222.
- [6] AHREUM K, JIYOUNG W, JUYERNG P, *et al.* Online game bot detection based on party-play log analysis [J]. Comput Math Appl, 2020, 26(16): 1260-1266.
- [7] SHARMA T, LITORIA PK, BAJWA BS, *et al.* Appraisal of groundwater quality and associated risks in mansa district [J]. Environ Monit Assess, 2021, 193(4): 657-664.
- [8] 刘孟宜, 田博宇, 王滢颖, 等. 基于主成分分析的不同小麦品种制作的韧性饼干品质评价[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(10): 44-53.
LIU MY, TIAN BY, WANG YY, *et al.* Quality evaluation of tough biscuit made from different wheat varieties based on principal component analysis [J]. Food Res Dev, 2021, 42(10): 44-53.
- [9] 石延榜, 林秀敏, 王胜超, 等. 基于主成分分析-聚类分析的不同商品规格白芍饮片片 5 种成分比较及质量评价研究[J]. 中国现代应用药学, 2020, 37(22): 2708-2714.
SHI YB, LIN XM, WANG SC, *et al.* Comparison and quality evaluation of five components in different commodity specifications of white peony decoction pieces based on principal component analysis and cluster analysis [J]. Chin Mod Pharm, 2020, 37(22): 2708-2714.
- [10] 吴亚楠, 刘婷, 刘惠民, 等. 运用多维价值理论评价引种黄金猕猴桃果实品质[J]. 安徽农业科学, 2016, 44(12): 111-113.
WU YN, LIU T, LIU HM, *et al.* Using multidimensional value theory to evaluate the fruit quality of introduced golden fruit kiwifruit [J]. Anhui Agric Sci, 2016, 44(12): 111-113.
- [11] 张成, 许云华, 魏智, 等. 基于主成分和模糊综合评价法对安徽省资源环境承载力的研究[J]. 哈尔滨师范大学自然科学学报, 2021, 37(4): 12-19.
ZHANG C, XU YH, WEI Z, *et al.* Research on the carrying capacity of resources and environment in anhui province based on principal component and fuzzy comprehensive evaluation method [J]. Nat Sci J Harbin Norm Univ, 2021, 37(4): 12-19.
- [12] CHEN SY, ZHAO QM, DONG DM, *et al.* Comparative principal component analysis of near-infrared spectroscopy measurement and its application in fruit pesticide residue identification [J]. Spect Ana, 2020, 40(3): 917-921.
- [13] 戴飞, 赵昕. 运动营养食品对运动员体质及健康的影响[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(2): 241-246.
DAI F, ZHAO X. The effects of sports nutrition food on athletes physical fitness and health [J]. Food Res Dev, 2021, 42(2): 241-246.
- [14] 韩旭, 孟佳珩. 蛋白质类运动营养食品的研究现状及其对运动员的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(22): 8516-8520.
HAN X, MENG JH. Research status of protein sports nutrition food and its impact on athletes [J]. J Food Saf Qual, 2020, 11(22): 8516-8520.
- [15] 梁方梅, 薄晓仕. 运动营养食品对耐力型运动员身体机能的影响[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(16): 231-232.
LIANG FM, BO XS. The effect of sports nutrition food on the physical function of endurance athletes [J]. Food Res Dev, 2021, 42(16): 231-232.

- [16] AZADBAKHT M, REZAEIASAL A, MAHMOODI MJ, *et al.* Evaluation of ambient light and moisture, and edible coatings in different storage period, on pressurized kiwifruit antioxidant properties [J]. *J Food Meas Charact*, 2020, 15(1): 278–284.
- [17] 吴兰芳, 蒋沅岐, 景永帅, 等. 薏苡仁酥性饼干的制备及其淀粉消化特性研究[J]. *粮食与油脂*, 2020, 33(12): 30–33.
WU LF, JIANG YQ, JING YS, *et al.* Preparation of coix seed crispy biscuits and study on the digestibility of starch [J]. *Cere Oils*, 2020, 33(12): 30–33.
- [18] 凌云坤, 蒋方国, 刘达玉, 等. 基于模糊综合评定法及响应面优化松茸蔓越莓酥性饼干制作工艺[J]. *食品研究与开发*, 2021, 42(12): 149–156.
LING YK, JIANG FG, LIU DY, *et al.* Optimization of matsutake and cranberry crisp biscuit production process based on fuzzy comprehensive evaluation method and response surface [J]. *Food Res Dev*, 2021, 42(12): 149–156.
- [19] 王琳, 熊双丽, 李安林, 等. 响应面-主成分分析法优化山药韧性饼干配方[J]. *食品工业科技*, 2020, 41(13): 212–218, 226.
WANG L, XIONG SL, LI ANL, *et al.* Response surface-principal component analysis to optimize the formula of yam tough biscuit [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2020, 41(13): 212–218, 226.
- [20] 崔妍, 杨丹璐, 陈姗姗, 等. 基于主成分分析法的泡菜风味马铃薯饼干研制[J]. *食品研究与开发*, 2021, 42(18): 116–122.
CUI Y, YANG DL, CHEN SS, *et al.* Development of kimchi flavored potato biscuits based on principal component analysis [J]. *Food Res Dev*, 2021, 42(18): 116–122.
- [21] 张强, 辛秀兰, 杨富民, 等. 主成分分析法评价红树莓果醋的相对气味活度值[J]. *现代食品科技*, 2015, 31(11): 332–338.
ZHANG Q, XIN XL, YANG FM, *et al.* Evaluation of relative odor activity value of red raspberry vinegar by principal component analysis [J]. *Mod Food Sci Technol*, 2015, 31(11): 332–338.
- [22] 林松毅, 刘静波, 叶海青, 等. 主成分分析方法在保健食品功能学评价中的应用研究[J]. *食品科学*, 2007, (9): 546–548.
LIN SY, LIU JB, YE HQ, *et al.* Application of principal component analysis method in functional evaluation of health food [J]. *Food Sci*, 2007, (9): 546–548.
- [23] GRASSER L, WANNA C, MINTON S, *et al.* Fear-potentiated startle prospectively predicts alcohol use patterns in individuals exposed to trauma [J]. *Biol Psychiat*, 2020, 87(19): 2645–2651.
- [24] FERRIRA V, FONSERCA E, CHAGAS A, *et al.* Personality traits modulate stress responses after enclosure change of captive capuchin monkeys (*Sapajus libidinosus*) [J]. *Appl Anim Behav Sci*, 2020, 23(12): 1679–1684.
- [25] 谢丽源, 郑林用, 彭卫红, 等. 基于主成分分析法对不同温度处理下杏鲍菇的品质评价[J]. *食品与发酵工业*, 2016, 42(6): 80–85.
XIE LY, ZHENG LY, PENG WH, *et al.* Quality evaluation of *Pleurotus eryngii* at different temperatures based on principal component analysis [J]. *Food Ferm Ind*, 2016, 42(6): 80–85.
- [26] MONTTECH ML, SILVA SC, VALDERRAMO L, *et al.* Biochemical differences in the skin of two blueberries varieties with contrasting firmness implication of ions, metabolites and cell wall related proteins in two developmental stages [J]. *Plant Physiol Biochem*, 2021, 27(11): 2635–2641.
- [27] DADELIN Y, FRANCIS A, GOMEZARRY H, *et al.* The economic impacts and management of spotted wing drosophila the case of wild blueberries in maine [J]. *J Econ Entomol*, 2020, 113(3): 389–396.
- [28] FANG Y, JUN Y, XIAO Y, *et al.* Comparative transcriptome analysis of genes involved in volatile compound synthesis in blueberries (*Vaccinium virgatum*) during postharvest storage [J]. *Postharvest Biol Technol*, 2020, 17(5): 789–796.
- [29] 马永强, 沈盈, 王鑫, 等. 不同品种和地区黄精成分的主成分分析及聚类分析[J]. *粮食与油脂*, 2021, 34(11): 141–145.
MA YQ, SHEN Y, WANG X, *et al.* Principal component analysis and cluster analysis of the components of *Polygonatum* from different varieties and regions [J]. *Cere Oils*, 2021, 34(11): 141–145.
- [30] 苏欣欣, 肖洋, 胡晓航, 等. 基于灰色关联度分析和主成分分析法评估糖用甜菜品种的适应性[J]. *中国农学通报*, 2021, 37(30): 39–46.
SU XX, XIAO Y, HU XH, *et al.* Evaluation of the adaptability of sugar beet varieties based on grey correlation analysis and principal component analysis [J]. *Chin Agric Sci*, 2021, 37(30): 39–46.
- [31] 高天阳, 蒋亚奇, 李启艳, 等. 基于聚类分析和主成分分析的红参高效液相色谱特征图谱研究[J]. *食品安全质量检测学报*, 2021, 12(16): 6621–6627.
GAO TY, JIANG YQ, LI QY, *et al.* Study on the high performance liquid chromatography characteristic map of red ginseng based on cluster analysis and principal component analysis [J]. *J Food Saf Qual*, 2021, 12(16): 6621–6627.

(责任编辑: 郑丽于梦娇)

作者简介



王养平, 讲师, 主要研究方向为体育教学训练与理论研究。

E-mail: wangyangping2021@126.com