DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20251104005
引用格式: 胡桂霞, 曹美萍, 徐苗, 等. 多元统计分析综合评价松江大米的食味营养品质[J]. 食品安全质量检测学报, 2026, 17(4): 61–68.
HU GX, CAO MP, XU M, *et al*. Multivariate statistical analysis and comprehensive evaluation of taste and nutritional quality of Songjiang rice [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2026, 17(4): 61–68. (in Chinese with English abstract).

多元统计分析综合评价松江大米的食味营养品质

胡桂霞, 曹美萍*, 徐　苗, 张燕峰, 李梦贝, 张欣怡, 朱　青, 石春红
(上海市松江食品药品检验所, 上海　201600)

摘　要: 目的　利用多元统计方法, 综合评价松江大米的食味营养品质。**方法**　本研究以松江大米的两个品种和其他 3 种大米为研究对象, 分析水分、蛋白质、脂肪、直链淀粉、胶稠度、钙、铁、锌、硒指标含量, 通过变异系数分析、相关性分析、主成分分析、聚类分析, 对大米食味营养品质进行综合评价。**结果**　大米品质指标含量变异系数在 5.24%~49.90%, 其中硒含量的变异系数最大, 水分的变异系数最小。相关性分析表明, 直链淀粉与胶稠度呈显著中等强度负相关, 钙与铁、锌与蛋白质呈显著中等强度正相关(P<0.05, 相关系数 $|r|$>0.5), 品质指标之间存在信息重叠。主成分分析将 9 个品质指标简化为 3 个主成分, 累计方差贡献率为 71.04%。食味营养品质评价综合得分按大小排序依次为松香粳 1013、崇明大米、松香粳 1018、射阳大米、五常大米, 其中松香粳 1013 大米综合品质较为优异。聚类分析将大米的品种和产地进行了正确划分, 品质分类与主成分分析一致。**结论**　本研究有效体现不同产地不同品种大米的食味营养品质差异性, 为松江大米的品质评价提供数据基础, 为优质大米品种的筛选、推广及种植区域规划提供了理论参考。

关键词: 松江大米; 食味品质; 营养品质; 综合评价; 多元统计分析

Multivariate statistical analysis and comprehensive evaluation of taste and nutritional quality of Songjiang rice

HU Gui-Xia, CAO Mei-Ping*, XU Miao, ZHANG Yan-Feng, LI Meng-Bei, ZHANG Xin-Yi, ZHU Qing, SHI Chun-Hong
(*Shanghai Songjiang Institute for Food and Drug Control*, *Shanghai* 201600, *China*)

ABSTRACT: Objective　To evaluate the taste and nutritional quality of Songjiang rice by multivariate statistical methods. **Methods**　This study focused on 2 varieties of Songjiang rice and 3 kinds of other types of rice from distinct geographical origins. Quality indicators including moisture, protein, fat, amylose content, gel consistency, calcium, iron, zinc and selenium were analyzed. Coefficient of variation analysis, correlation analysis, principal component analysis and cluster analysis were employed for a comprehensive evaluation of the rice's taste and nutritional quality. **Results**　The coefficients of variation for quality indicators of the rice ranged from 5.24% to

收稿日期: 2025-11-04
基金项目: 上海市松江区科学技术攻关项目(18SJKJGG02)
第一作者: 胡桂霞(1985—), 女, 硕士, 主管检验师, 主要研究方向为食品检验技术与质量控制。E-mail: xiahuhusjyj@163.com
***通信作者:** 曹美萍(1981—), 女, 副主任技师, 主要研究方向为食品检验技术与质量控制。E-mail: xiaomeicao@163.com

49.90%. Among these indices, selenium content displayed the greatest variability, while moisture content exhibited the least. Correlation analysis revealed that amylose content showed a significantly, moderately strong negative correlation with gel consistency. Meanwhile, calcium and iron were significantly and moderately strong positive correlated, as were zinc and protein (P<0.05, correlation coefficient $|r|$>0.5), indicating information overlap among the quality indicators. Principal component analysis reduced 9 indicators into 3 independent principal components, which together accounted for 71.04% of the cumulative variance. The comprehensive scores for taste and nutritional quality were ranked in descending order as follows: Songxiangjing 1013, Chongming rice, Songxiangjing 1018, Sheyang rice and Wuchang rice. Among these, the Songxiangjing 1013 rice showed outstanding overall quality performance. **Conclusion** The study effectively demonstrates the variations in taste and nutritional quality of rice from different producing regions and different varieties. It establishes a data foundation for the quality evaluation of Songjiang rice and provides theoretical references for rice variety selection, promotion and regional cultivation planning.

KEY WORDS: Songjiang rice; taste quality; nutritional quality; comprehensive evaluation; multivariate statistical analysis

0 引 言

我国是世界上最大的水稻种植和消费国，约65%以上的人口以大米为主食[1]。随着生活水平的提高，人们对大米品质提出了更高的要求，不仅关注食味特性，也更重视营养价值。松江大米具有“米粒饱满，晶莹半透明、米饭柔软有弹性、食味清香略甜、表面有油光”的食味特色，在上海地区具有较高的知名度和市场竞争力，于 2014 年获得国家地理标志保护，并多次在全国优质稻品种食味品质鉴评中获粳稻类金奖[2−4]。大米食味营养品质既由品种遗传特性决定，又受环境因素等影响，不同品种不同产地大米具有品质差异。针对大米品质分析与评价已有诸多研究：毕军等[5]对盘锦大米品质差异进行分析和产地鉴别；王琴等[6]对9种地理标志大米进行品质评价；陈怡岑等[7]对125个辽宁稻谷品种的品质差异进行系统评估；王若懿等[8]对齐齐哈尔食用品质好的粳稻进行品质差异分析。

作为上海市唯一粳稻类国家地理标志产品，松江大米的产地溯源、真菌毒素含量、重金属污染情况已经有相关报道[9−11]，李茂柏等[12]对上海软米的品质性状分析与评价，顾啸等[13]对松江粳稻的外观品质及直链淀粉含量进行了主成分分析和聚类分析。然而，现在研究在样本量、代表性、覆盖区域、系统性比较等方面仍有不足。因此，本研究扩大采样范围，覆盖松江主要产区，从松江区不同乡镇采集的松香粳 1013 和松香粳 1018 大米，并引入 3 种其他产地大米进行比较，在分析蛋白质、脂肪、直链淀粉、钙等指标含量的基础上，应用多元统计方法以综合评价和比较松江大米的食味营养品质，表征不同产地大米的品质差异，以期为松江大米选种育种、种植规划和地标升级提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

所有大米样品均为粳米，具体品种信息见表 1。

表 1 大米样品信息

Table 1 Information of rice samples

产地标记	产地	品种	采集数量	样品编号
1	松江区叶榭镇	松香粳 1013	20	7~26
2	松江区泖港镇	松香粳 1013	20	27~46
3	松江区小昆山镇	松香粳 1013	2	5~6
4	松江区新浜镇	松香粳 1013	4	1~4
5	松江区石湖荡镇	松香粳 1013	3	47~49
6	松江区叶榭镇	松香粳 1018	10	52~61
7	松江区泖港镇	松香粳 1018	28	62~89
8	松江区新浜镇	松香粳 1018	2	50~51
9	松江区石湖荡镇	松香粳 1018	10	90~99
10	黑龙江省大庆市	五常大米	5	100~104
11	江苏省盐城市	射阳大米	5	105~109
12	崇明区	崇明大米	3	110~112

石油醚(沸程: 30~60 ℃)、甲醇、冰乙酸、碘、碘化钾、乙醇、氢氧化钠、氢氧化钾、麝香草酚蓝、邻苯二甲酸氢钾、硫酸铜、硫酸钾、硫酸、硼酸、甲基红、溴甲酚绿(分析纯，国药化学试剂有限公司)；过氧化氢(ppb 级，30%~32%，上海安谱实验科技股份有限公司)；硝酸(电子级，苏州晶瑞化学股份有限公司)；盐酸滴定标准溶液(1.0 mol/L，上海市计量测试研究院)；直链淀粉参比物质

(以干基计)(1.5%、10.4%、16.2%、26.5%, 中国水稻研究所); 钙、硒、锌、铁标准溶液(质量浓度 1000 μg/mL, 国家有色金属及电子材料分析测试中心); 铕、锗内标溶液(质量浓度 100 μg/mL, 美国安捷伦科技有限公司)。

1.2　仪器与设备

DHG-9245A 电热鼓风干燥箱(上海一恒科学仪器有限公司); K360 半自动凯氏定氮仪(瑞士 BUCHI 公司); SOXTEC 2050 索氏浸提仪(瑞典 FOSS 分析仪器公司); UV-2600 型紫外分光光度仪[岛津企业管理(中国)有限公司]; 筛网(100 目, 上海宜昌仪器纱筛厂); ZNJR-B 多联电热板(上海越众仪器设备有限公司); Agilent8800 型电感耦合等离子体质谱仪(安捷伦科技有限公司); MS1003TS 电子天平[精度 0.1 mg, 梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司]; Mili-Q 型纯水机(美国密理博公司)。

1.3　实验方法

1.3.1　食味品质指标的测定

水分测定参照 GB 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》; 直链淀粉测定参照 GB/T 15683—2008《大米 直链淀粉含量的测定》, 胶稠度测定参照 GB/T 22294—2008《粮油检验 大米胶稠度的测定》。

1.3.2　营养品质指标的测定

蛋白质测定参照 GB 5009.5—2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》第一法; 脂肪测定参照 GB 5009.6—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》第一法; 营养元素(钙、锌、硒、铁)含量测定参照 GB 5009.268—2016《食品安全国家标准 食品中多元素的测定》第一篇 第一法。

1.4　数据处理

实验结果采用 Excel 2010 软件对数据进行整理, 应用 SPSS Statistics 20.0 分析实验数据, 并采用单因素方差分析、相关性分析、主成分分析进行统计分析。每个大米样进行 3 次平行实验。

2　结果与分析

2.1　不同品种不同产地大米的品质指标比较

本研究对不同品种大米的水分、蛋白质、脂肪、直链淀粉、胶稠度、钙、铁、锌、硒进行了测定。上海市松江区位于长江三角洲冲积平原东端, 黄浦江上游, 拥有肥沃的土壤和充足的水源, 四季分明、雨热同期的气候条件为水稻生长提供了得天独厚的自然环境。松江加强自主研发多种水稻品种, 种植由标准化、集约化管理模式下的家庭农场完成, 确保松江大米的品质稳定和独特风味[14]。大米品质指标测定结果如表 2 所示, 水分含量在 12.30%~17.10%, 蛋白质在 4.81%~9.04%, 脂肪在 0.12%~0.86%, 直链淀粉在 7.89%~20.67%, 胶稠度在 55.00~126.00 mm, 钙在 4.13~12.12 mg/kg, 铁在 0.78~4.77 mg/kg, 锌在 8.09~28.82 mg/kg, 硒在 1.51~48.50 μg/kg。变异系数越大, 品种和产地对大米的影响越大, 变异系数大小排序为: 硒>脂肪>锌>铁>直链淀粉>钙>胶稠度>蛋白质>水分。硒含量的变异系数最大, 水分的变异系数最小, 说明不同品种不同产地对大米硒含量影响最为显著, 对水分含量的影响最小。南北方大米在灌溉期经历的光照、温度、湿度等环境条件[15−16]不同以及施肥方式的差异[17], 加上品种遗传特性, 共同导致大米品质的差异。

分析检测不同品种不同产地大米的品质指标均值见表 3。与其他产地大米相比, 松江大米含水量、胶稠度、锌含量略高于其他产地大米, 直链淀粉、蛋白质、硒含量略低于其他产地大米。上海作为水稻消费大户, 偏爱口感偏软、含水量充足的大米[18]。松江大米的品质特征与消费者偏好相符, 含水量略高, 蒸煮时需水量不大, 米饭胀润度不高, 但是米饭的黏着性、柔软性、光泽度较好, 饭冷后更容易保持柔软质地。松江大米品质指标特点与蒸煮食味特色之间的相关性, 与夏雨杰等[19]的研究一致。水分是影响大米的食味品质和保存的重要因素, 研究发现含水量高的大米弹性好, 但是微生物呼吸强度大, 酶活性高易霉

表 2　不同品种不同产地大米品质指标测定结果

Table 2　Determination results of rice quality indicators from different varieties and origins

品质指标	范围	均值	标准差	变异系数/%
水分/%	12.30~17.10	14.32	0.75	5.24
蛋白质/%	4.81~9.04	6.63	0.74	11.16
脂肪/%	0.12~0.86	0.42	0.18	42.86
直链淀粉/%	7.89~20.67	11.27	2.40	21.30
胶稠度/mm	55.00~126.00	105.54	15.06	14.27
钙/(mg/kg)	4.13~12.12	7.19	1.40	19.47
铁/(mg/kg)	0.78~4.77	1.84	0.57	30.98
锌/(mg/kg)	8.09~28.82	16.04	5.31	33.10
硒/(μg/kg)	1.51~48.50	14.81	7.39	49.90

变和虫害[20]，水含量低则蒸煮食用时产生米粒龟裂，淀粉从龟裂处涌出，米饭发黏[21]。蔡一霞等[22]研究发现直链淀粉、胶稠度和蛋白质含量有相关性，直链淀粉含量降低导致胶稠度增加和蛋白质含量降低。蛋白质存在于米粒的细胞壁和淀粉细胞的淀粉粒之间，对食味品质有一定的影响。王若懿等[8]发现蛋白质含量通常与食味品质呈负相关。脂肪含量是影响食味品质的重要因素。贺梅等[23]发现脂肪含量与食味品质呈正相关，脂肪含量越高，米饭光泽度越好，松江大米的脂肪含量几乎是其他大米的 2 倍，高脂肪含量与其“表面有油光”食味特色呼应。直链淀粉含量影响米粒的透明度、米饭硬度、弹性和黏性，而胶稠度是评价大米食味品质的关键因素，直接影响米饭的柔软性和硬度。松江大米的直链淀粉含量略低，胶稠度偏大。研究发现其胶稠度长短与米饭食味品质呈正相关[24]。松江大米软黏易于消化，饭冷后更能保持柔软质地，直链淀粉含量在一定范围内具备更佳食味品质[25–26]。蛋白质是人体必需的营养素，大米作为主食，是人体蛋白质摄入的重要来源，因此蛋白质是评价大米营养品质的核心指标之一，本研究选取的大米样品蛋白质含量没有明显差异。矿物营养元素是人体正常生理活动所必需的但体内无法合成，必须从食物中摄取，摄入过多或缺乏都会引起一些疾病[27]。大米作为中国人的主食，是补充营养素的基础食物[28]。大米富含钙、铁、锌、硒微量元素，在人体生命活动中发挥重要作用，受产地的影响较大。松香粳 1013 中微量营养元素锌含量明显高于其他大米，而松香粳 1018 中锌含量与其他大米差异不大，可能是品种不同造成锌元素的富集有差异，该结果为“富锌米”特色发展提供参考。

现有地方标准为 DB31/T 908—2018《地理标志产品 松江大米》，将本研究中松江大米(松香粳 1013 和松香粳 1018)实测值与标准规定限值比较，可以发现部分指标存在差异。地标规定直链淀粉限量为 9.0%~19.0%，而本研究实测松江大米直链淀粉含量为 7.92%~13.4%，整体处于标准下限附近，部分样品甚至低于 9.0%。李茂柏等[12]研究指出低直链淀粉含量带来的优良食味是软米的重要特征，松香粳 1018 也因低直链淀粉含量带来的滋润爽口冷却不硬、食用时冷热皆宜的食味特色而多次获得全国优质稻米品种食味品质金奖。这表明现行标准的下限可能限制了优质松江大米的认定。地标规定胶稠度不低于 70 mm，本研究实测值为 94.0~126.0 mm(均值 109.9 mm)，远高于标准下限，也明显高于对比的五常和射阳大米，这与其“硬度小、黏度大”的食味特点高度吻合。地标规定水分含量为不大于 15.5%，本研究实测值为 14%~15%，接近但未超过限值，适中的高水分是米饭“软糯”的重要基础。综上，部分现行指标限值(如直链淀粉下限)未能充分契合松江优质软米的实际品质特征，或过于宽松(如胶稠度下限)而无法有效展现其特色。建议未来修订时，可考虑基于更加广泛的样本数据，对直链淀粉等关键指标的范围进行科学调整，如评估调整直链淀粉下限以涵盖优质品种，提高胶稠度限值以更凸显特色，使其更能精准反映和保护松江大米的独特品质，引导品种选育和产业高质量发展。

2.2 不同品种不同产地大米的品质指标相关性分析

Pearson 相关性分析见表 4，相关性数值范围一般介于 –1 到+1 之间，其中+1 表示完全正相关，–1 表示完全负相关，而接近 0 的值则表明变量间几乎没有线性关系，$|r|\geq 0.8$ 为高度相关，$0.5\leq|r|<0.8$ 为中度相关，$0.3\leq|r|<0.5$ 为低度相关。结果表明水分与蛋白质、直链淀粉、钙、硒、铁含量呈中等强度显著负相关；蛋白质与锌呈中等强度显著正相关，与钙呈显著低强度正相关；直链淀粉与胶稠度呈中度显著

表 3 不同品种不同产地大米的品质指标均值

Table 3 Average values of rice quality indicators from different varieties and origins

产地编号	水分/%	蛋白质/%	脂肪/%	直链淀粉/%	胶稠度/mm	钙/(mg/kg)	铁/(mg/kg)	锌/(mg/kg)	硒/(μg/kg)
1	14.55	7.14	0.37	10.12	107.55	7.09	1.84	20.72	14.54
2	14.33	7.14	0.34	9.90	110.90	8.03	1.90	21.80	16.24
3	14.60	7.08	0.22	10.57	104.00	6.69	1.64	20.29	10.68
4	14.13	6.67	0.37	10.10	110.25	7.44	1.80	23.25	12.53
5	14.47	6.48	0.27	9.95	114.00	7.35	1.82	19.95	11.54
6	14.41	6.25	0.58	10.92	113.50	7.68	1.95	12.82	14.86
7	14.47	6.13	0.57	11.32	110.04	6.37	1.85	12.35	12.84
8	14.75	5.78	0.52	12.59	107.00	6.20	1.54	11.71	12.26
9	14.59	5.92	0.44	12.88	109.00	7.23	1.64	10.24	11.15
10	13.68	7.61	0.13	13.58	65.20	7.13	1.53	12.00	24.66
11	12.82	6.48	0.25	19.05	66.30	7.58	2.26	10.82	19.62
12	13.47	7.15	0.34	9.24	94.17	8.28	1.97	12.86	23.82

表 4　各指标的相关性分析

Table 4　Correlation analysis of various indicator

品质指标	水分	蛋白质	脂肪	直链淀粉	胶稠度	钙	铁	锌	硒
水分	1.000								
蛋白质	–0.242*	1.000							
脂肪	–0.092	–0.265**	1.000						
直链淀粉	–0.305**	–0.155	–0.109	1.000					
胶稠度	0.362**	–0.178	0.399**	–0.596**	1.000				
钙	–0.449**	0.345**	0.118	–0.109	0.034	1.000			
铁	–0.306**	0.207*	0.266**	–0.008	–0.058	0.604**	1.000		
锌	–0.055	0.564**	–0.166	–0.499**	0.251**	0.472**	0.251**	1.000	
硒	–0.332**	0.293**	–0.039	0.029	–0.233*	0.448**	0.199*	0.210*	1.000

注: *为在 0.05 水平(双侧)上显著相关; **为在 0.01 水平(双侧)上显著相关。

负相关; 钙与铁含量呈中等强度显著正相关。大米的品质指标存在一定程度的依赖关系, 指标含量之间互相拮抗或互相促进。相关性结果表明品质指标能够反映大米的品质和产地的影响, 但指标之间存在信息交叉重叠, 因此有必要通过主成分分析对 9 个指标进行简化以提高品质评价的效率。

2.3　不同品种不同产地大米品质指标的主成分分析

2.3.1　主成分分析

对水分、蛋白质、脂肪、直链淀粉、胶稠度、钙、锌、硒、铁 9 个品质指标进行标准化处理, 以消除不同单位和数据量纲的影响后, 做主成分分析, 如图 1 所示。以特征值大于 1 进行主成分分析提取, 共得到 3 个主成分, 特征值分别为 2.734、2.131、1.529, 方差贡献率分别为 30.372%、23.675%、16.993%, 累计方差贡献率 71.04%, 能够代表品质指标的主要信息。将所提取的主成分按照最大方差法进行旋转处理(表 5), 载荷值大小反映了原始变量在因子上的重要程度, 绝对值的大小决定归入的主成分, 绝对值越大代表该元素对主成分的影响越大。钙、铁、水分、硒在 PC1 有较高的载荷(绝对值), 表明 PC1 能够反映上述 4 种品质指标的信息; PC2 主要综合直链淀粉、胶稠度、锌的信息; PC3 主要综合脂肪、蛋白质指标的信息。

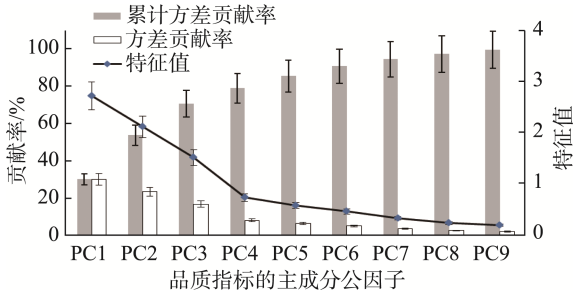


图 1　主成分分析的主成分特征值、方差贡献率及累计方差贡献率

Fig.1　Principal component analysis: Eigenvalues of principal component, variance contribution rates and cumulative variance contribution rates

表 5　主成分载荷矩阵

Table 5　Principal component loading matrix

指标	PC1	PC2	PC3
钙	0.857	0.171	0.131
铁	0.773	0.074	–0.139
水分	–0.674	0.427	–0.039
硒	0.557	–0.146	0.303
直链淀粉	0.023	–0.875	–0.131
胶稠度	–0.104	0.836	–0.345
锌	0.373	0.599	0.573
脂肪	0.326	0.251	–0.792
蛋白质	0.381	0.127	0.730

2.3.2　隶属函数与品质评价

因子得分矩阵表示各项指标变量与提取的主成分之间的关系, 在某一主成分上得分高, 表明该指标与该主成分之间关系越密切。3 个主成分和大米品质指标的线性方程如下:

$$Y_1=-0.286Z_{\text{水分}}+0.077Z_{\text{蛋白质}}+0.222Z_{\text{脂肪}}+0.038Z_{\text{直链淀粉}}-0.018Z_{\text{胶稠度}}+0.344Z_{\text{钙}}+0.340Z_{\text{铁}}+0.084Z_{\text{锌}}+0.203Z_{\text{硒}}$$

$$Y_2=0.210Z_{\text{水分}}+0.054Z_{\text{蛋白质}}+0.112Z_{\text{脂肪}}-0.410Z_{\text{直链淀粉}}+0.392Z_{\text{胶稠度}}+0.067Z_{\text{钙}}+0.023Z_{\text{铁}}+0.275Z_{\text{锌}}-0.077Z_{\text{硒}}$$

$$Y_3=0.052Z_{\text{水分}}+0.395Z_{\text{蛋白质}}-0.512Z_{\text{脂肪}}-0.081Z_{\text{直链淀粉}}-0.195Z_{\text{胶稠度}}-0.017Z_{\text{钙}}-0.170Z_{\text{铁}}+0.302Z_{\text{锌}}+0.119Z_{\text{硒}}$$

以 3 个主成分所对应的方差贡献率为权重(以上公式中的 Z 是品质指标标准化后的数值), 采用评价函数得分: Y=0.30372/0.71040Y1+0.23675/0.71040Y2+0.16993/0.71040Y3, 对各得分进行加权求和, 计算大米样品的品质综合得分。得分为正, 说明综合品质高于所有大米样品的平均品质, 得分越高说明大米综合品质越好。图 2 显示大米样品综合得分最高的为 45 号样品, 最低的为 109 号样品, 共有 74 份样品的综合得分大于 0, 不同产地不同品种的大米综合品质得分差异大。松江大米中, 有 93.88%的松香粳 1013 大米综合得分为正值, 仅有 12、17、35 3 个大米样品得分

为负值; 而松香粳 1018 中 52%的样品, 即 26 份样品得分大于 0; 五常大米和江苏射阳大米中, 仅有 1 份样品得分为正值, 占比 20%; 崇明大米综合得分全部为正值。5 类大米样品的综合得分均值大小依次为松香粳 1013 (0.464)>崇明大米(0.447)>松香粳 1018 (0.140)>射阳大米(–0.422)>五常大米(–0.630)。表明不同品种的大米中, 松香粳 1013 综合品质优于崇明大米、松香粳 1018、射阳大米及东北大米。在松香粳 1013 种植区域大米综合得分均值为: 泖港镇(0.594)>新浜镇(0.485)>叶榭镇(0.392)>石湖荡镇(0.320)>小昆山镇(0.075), 说明同一品种不同产地的大米综合品质差异大, 其中泖港镇综合得分最高, 说明该区域生产的松香粳 1013 大米综合品质较高; 在松香粳 1018 种植区域内综合得分均值分别为: 叶榭镇(0.414)、泖港镇(0.142)、石湖荡镇(–0.081)、新浜镇(–0.160), 说明叶榭镇种植的松香粳 1018 综合品质较高。

不同产地不同品种大米在前 3 个主成分得分均值见表 6, 松江大米在 PC1 上的得分均值明显低于其他产地大米, 说明松江大米在水分、钙、硒、铁这 4 个品质指标上没有明显优势; 松江大米在 PC2 和 PC3 上, 得分均值均高于其他产地大米, 说明直链淀粉、胶稠度、蛋白质、锌、脂肪品质指标优势明显。

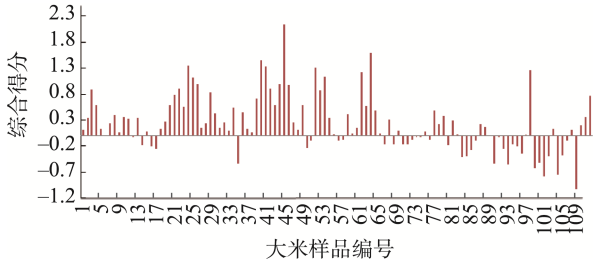


图 2 大米品质评价的综合得分

Fig.2 Comprehensive scores for rice quality evaluation

表 6 不同产地不同品种大米样品的前 3 个主成分得分均值

Table 6 Mean scores of the 3 principal components for rice samples from different origins and varieties

产地编号	PC1 均值	PC2 均值	PC3 均值
1	–0.078	0.558	0.706
2	0.294	0.689	0.799
3	–0.611	0.294	1.125
4	0.073	0.642	0.524
5	–0.292	0.624	0.470
6	0.238	0.223	–0.956
7	–0.231	0.001	–0.986
8	–0.678	–0.325	–0.941
9	–0.429	–0.413	–0.855
10	0.899	–3.178	0.220
11	0.070	–2.066	1.783
12	0.798	–0.407	0.580

2.4 不同品种不同产地大米的聚类分析

以大米的 9 个品质指标数据标准化处理后的均值, 采用平方欧氏距离和组间联结的系统聚类分析(图 3), 能够将品质接近的大米样品进行归类。在欧式距离 5 处, 样品被聚为 5 类, 按照品种和产地分为V类, 其中松江区 5 个乡镇种植的松香粳 1013 被正确归为一类, 4 个乡镇种植的松香粳 1018 被归为另一类。聚类结果显示, 大米样品可按品种和产地实现有效区分, 与主成分分析结果一致。

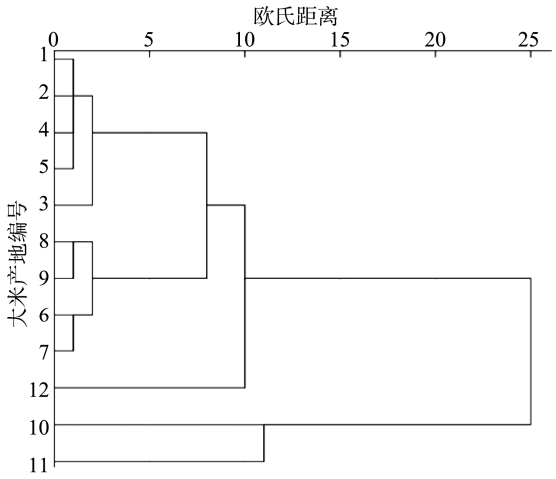


图 3 不同品种不同产地大米样品的聚类分析图

Fig.3 Dendrogram from cluster analysis of rice samples from different varieties and origins

3 讨论与结论

本研究从食味品质和营养品质两个维度, 选取了 9 项关键品质指标, 系统评价大米的综合品质。食味品质方面, 依据 GB/T 1354—2018《大米》和相关研究共识, 选取了水分(影响蒸煮特性和质量稳定性)、直链淀粉(决定米饭硬度和黏性的核心指标)、胶稠度(反映米饭冷却后的柔软性)和脂肪(影响米饭光泽和香气)[16,19–24]。营养品质方面, 依据 GB 28050—2011《食品安全国家标准 预包装食品营养标签通则》及关于谷物营养强化的研究, 选取了蛋白质和人体必需的矿物元素钙、铁、锌、硒[27–28]。

本研究在测定松江大米的两个品种和其他 3 种大米的 9 个品质指标基础上, 运用多元统计分析方法综合评价食味营养品质。研究发现松江大米内部存在显著的产地与品种互作效应。松香粳 1013 在泖港镇(0.594)综合得分最高, 而在小昆山镇(0.075)最低; 松香粳 1018 则在叶榭镇(0.414)表现最佳, 在新浜镇(–0.160)最差。这一现象说明品种遗传基因和种植环境相互作用对大米最终品质形成关键作用。松香粳 1013(松早香 1 号)作为相对早熟品种, 具有管理要求低, 抗倒伏和综合抗病性强的特点[29]。泖港镇作为传统农业种植区, 土壤肥沃(黄浦江沿岸)、排水灌溉便利、耕作

机械化程度高, 为松香粳 1013 的稳定高产和优良品质提供理想的环境条件。反之, 松香粳 1018 作为优质晚粳, 生长周期长, 需要精细肥水管理和病害防治以获得优质高产[30]。叶榭镇同样具有肥沃的土壤和良好的水利条件, 可能因其更适宜的田间小气候(如灌浆期温湿度)和更精细的田间管理, 更好满足了松香粳 1018 生育期及对品质形成关键期环境的苛刻要求, 从而使其食味品质得以充分发挥。以上原因更好地解释了为何同一地区, 不同品种有其最适宜的优势地产。

从比较结果看, 松江大米和同为软米品种的崇明大米的综合评分高于本研究所选的五常大米和射阳大米, 与粳稻相比, 软米品种具有较好的适口性, 与胡贤巧等[31]研究结果一致。这主要归因于品种类型、生长环境和消费需求的定向品种培育。松江大米属于南方粳稻中的软米, 其低直链淀粉、高胶稠度的特性, 符合长三角区域消费者对“柔软、有弹性、冷食不硬”米饭质构的偏好[18–19], 而东北粳稻直链淀粉偏高, 口感偏弹, 体现了不同地域饮食文化和品种选育目标。本研究的样品主要集聚于两个主导品种, 后续研究可进一步扩大品种采集量, 并结合土壤、水源、气候等地理环境条件[32–33], 结合品种差异, 分析大米遗传基因与环境的相互作用, 从而更加精准地为不同种植区域推荐最适宜的优势品种, 实现松江大米品质和产量的协同优化。

聚类分析与主成分分析综合评价结果保持一致, 大米的品种、产地和品质均被正确区分。研究发现松江大米地方标准中部分指标(如直链淀粉下限、胶稠度、水分)的限量未能充分契合或凸显松江优质软米的实际品质特征。建议未来修订时, 基于更广泛的样本数据, 科学调整关键指标范围, 使其更精准反映松江大米独特品质, 推动特色农业高质量发展。

参考文献

[1] 我国稻米的质量与安全[J]. 粮食与饲料工业, 2018(12): 64.
The quality and safety of rice in China [J]. Cereal & Feed Industry, 2018(12): 64.

[2] 石国忠. 松江区坚持绿色发展理念推动绿色农业高质量发展[J]. 上海农村经济, 2022(11): 28–30.
SHI GZ. Songjiang district adheres to green development philosophy to promote high-quality growth of green agriculture [J]. Shanghai Rural Economy, 2022(11): 28–30.

[3] 石国忠. 大力发展绿色食品助力松江乡村产业振兴[J]. 上海农村经济, 2024(3): 22–23.
SHI GZ. Vigorously developing green food to boost rural industry revitalization in Songjiang [J]. Shanghai Rural Economy, 2024(3): 22–23.

[4] 松江大米在中国绿博会上获金奖[J]. 上海农村经济, 2019(1): 47.
Songjiang rice wins gold award at China Green Food Expo [J]. Shanghai Rural Economy, 2019(1): 47.

[5] 毕军, 章沙沙, 李猛, 等. 盘锦大米品质差异分析及鉴别模型的构建[J]. 分析测试学报, 2025, 44(4): 602–610.
BI J, ZHANG SS, LI M, *et al*. Quality difference analysis of Panjin Rice and construction of identification model [J]. Journal of Instrumental Analysis, 2025, 44(4): 602–610.

[6] 王琴, 周昌艳, 赵晓燕, 等. 不同地理标志大米的品质指标及挥发性化合物分析与评价[J]. 食品科学, 2025, 46(3): 36–45.
WANG Q, ZHOU CY, ZHAO XY, *et al*. Analysis and evaluation of quality indicators and volatile compounds of different rice cultivars with geographical indication [J]. Food Science, 2025, 46(3): 36–45.

[7] 陈怡岑, 赵旭, 林琳, 等. 辽宁稻米资源主要品质分析及综合评价[J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16(6): 177–182.
CHEN YC, ZHAO X, LIN L, *et al*. Main quality analysis and comprehensive evaluation of rice resources in Liaoning [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2025, 16(6): 177–182.

[8] 王若懿, 张慧君, 郭成宇, 等. 齐齐哈尔市优质粳米的营养品质与食味品质分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2024, 15(7): 289–297.
WANG RY, ZHANG HJ, GUO CY, *et al*. Analysis of nutritional and edible quality of high-quality japonica rice in Qiqihar City [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2024, 15(7): 289–297.

[9] 朱青, 曹美萍, 李梦贝, 等. 超高效液相色谱-质谱联用法检测地理标志产品松江大米中8种真菌毒素的含量[J]. 中国粮油学报, 2024, 39(5): 189–195.
ZHU Q, CAO MP, LI MB, *et al*. Determination of 8 mycotoxins in product of geographical indication songjiang rice by ultra-high performance liquid chromatography-mass spectrometry [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2024, 39(5): 189–195.

[10] 石春红, 曹美萍, 胡桂霞. 基于矿物元素指纹图谱技术的松江大米产地溯源[J]. 食品科学, 2020, 41(16): 300–306.
SHI CH, CAO MP, HU GX, *et al*. Geographical origin traceability of songjiang rice based on mineral elements fingerprints [J]. Food Science, 2020, 41(16): 300–306.

[11] 石春红, 曹美萍, 胡桂霞. 松江区消费环节大米重金属污染状况及安全评价[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(21): 7240–7244.
SHI CH, CAO MP, HU GX. Contamination status and safety assessment of heavy metals in rice consumed in Songjiang district [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2019, 10(21): 7240–7244.

[12] 李茂柏, 王萃, 顾玉龙, 等. 上海软米品种品质性状分析与评价[J]. 中国稻米, 27(2): 77–79.
LI MB,WANG C, GU YL, *et al*. Analysis and evaluation of quality traits in Shanghai soft rice varieties [J]. China Rice, 27(2): 77–79.

[13] 顾啸, 陆铭昌, 金菊花, 等. 上海市松江区粳稻稻米品质主成分分析和聚类分析[J]. 上海农业学报, 2019, 35(2): 26–30.
GU X, LU MC, JIN JH, *et al*. Principal component analysis and cluster analysis of Japonica rice quality in Songjiang district of Shanghai [J]. Acta Agriculturae Shanghai, 2019, 35(2): 26–30.

[14] 上海市松江区农民专业合作联社[J]. 上海农村经济, 2019(9): 2, 49–50.
Shanghai Songjiang specialized Farmers’ Cooperative Union [J]. Shanghai Rural Economy, 2019(9): 2, 49–50.

[15] YAO DP, WU J, LUO QH, *et al*. Influence of high natural field temperature during grain filling stage on thmorphological structure and physicochemical properties of rice (*Oryza sativa* L.) starch [J]. Food Chemistry, 2020, 310: 125817.

[16] XU YJ, YING YN, OUYANG SH, *et al*. Factors affecting sensory quality

of cooked *Japonica* rice [J]. Rice Science, 2018, 25(6): 330–339.

[17] GU JF, CHEN J, CHEN L, *et al*. Grain quality changes and responses to nitrogen fertilizer of japonica rice cultivars released in the Yangtze River Basin from the 1950s to 2000s [J]. The Crop Journal, 2015, 3(4): 285–297.

[18] 徐心远, 杜晨薇. 上海 138 万亩水稻, 正成国家粮食安全“种源地”[N]. 解放日报, 2025-09-24(005).
XU XY, DU CX. Shanghai’s 920000 hectares of rice fields: A strategic seedbed for China’s food security [N]. JieFang Daliy, 2025-09-24(005).

[19] 夏雨杰, 汪静, 邢常瑞, 等. 江淮地区大米质量品质分析[J]. 中国粮油学报, 2020, 35(3): 8–13.
XIA YJ, WANG J, XING CR, *et al*. Analysis of rice quality in the Jianghuai Region [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils, 2020, 35(3): 8–13.

[20] 马涛, 毛闯, 赵锟. 大米水分与食味品质和储藏关系的研究[J]. 粮食与饲料工业, 2007(5): 3–4.
MA T, MAO C, ZHAO K. Study on the relationship between moisture content, eating quality, and storage of rice [J]. Cereal & Feed Industry, 2007(5): 3–4.

[21] 阮少兰, 毛广卿. 大米蒸煮品质的研究[J]. 粮食与饲料工业, 2004(10): 25–26.
RUAN SL, MAO GQ. Research on rice cooking quality [J]. Cereal & Feed Industry, 2004(10): 25–26.

[22] 蔡一霞, 朱智伟, 王维, 等. 直链淀粉含量与稻米品质主要性状及米饭质地关系的研究[J]. 扬州大学学报, 2005(4): 52–55.
CAI YX, ZHU ZW, WANG W, *et al*. Studies on the relationships of amylose content withthe grain quality and the texture of cooked rice [J]. Journal of Yangzhou University (Agricultural and Life Science Edition), 2005(4): 52–55.

[23] 贺梅, 宋冬明, 黄少锋, 等. 稻米蒸煮食味品质的评价方法及影响因素分析[J]. 北方水稻, 2013, 43(1): 39–40, 42.
HE M, SONG DM, HUANG SF, *et al*. Analysis of valuation method ology and affecting factor on cooking and the taste qualities of rice [J]. Northern Rice, 2013, 43(1): 39–40, 42.

[24] 吴关庭, 李旭晨. 稻米食味的研究与改良[J]. 中国农学通报, 2000, 16(6): 21–24.
WU GT, LI XC. Research and improvement of rice eating quality [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2000, 16(6): 21–24.

[25] BELLO M, BAEZA R, TOLABA MP. Quality characteristics of milled and cooked rice affected by hydrothermal treatment [J]. Journal of Food Engineering, 2006, 72(2): 124–133.

[26] XU DP, HONG Y, GU ZB, *et al*. Effect of high pressure steam on the eating quality of cooked rice [J]. LWT, 2019, 104: 100–108.

[27] ZELENTSOV EL, MOROZ TN, KOLMOGOROV YP, *et al*. The elemental srxrf analysis and mineral composition of human salivary stones [J]. Nuclear Inst & Methods in Physics Research A, 2001, 470(1): 417–421.

[28] 聂西度, 符靓. 盐酸浸提-ICP-MS 法测定小麦和大米中的 10 种营养元素[J]. 中国粮油学报, 2016, 31(9): 146–149, 155.
NIE XD, FU L.Determination of 10 nutrient elements in wheat and rice by inductively coupled plasma mass spectrometry with hydrochloric acid extraction [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils, 2016, 31(9): 146–149, 155.

[29] 黄生飞, 孙育红, 张津京, 等. 水稻早熟品种松早香 1 号与大球盖菇轮作栽培技术[J]. 现代农业科技, 2021(21): 28–29.
HUANG SF, SUN YH, ZHANG JJ, *et al*. Rice-mushroom rotation: Cultivating early-maturing ‘Songzaoxiang 1’ with *Stropharia rugosoannulata* [J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2021(21): 28–29.

[30] 李晓峰, 娄丽娟, 庄玮, 等. 太湖地区优良食味粳稻品种(系)综合性状对比研究[J]. 安徽农业科学, 2023, 51(22): 26–29.
LI XF, LOU LJ, ZHUANG W, *et al*. Comparative study on comprehensive characters of fine edible Japonica rice varieties (Lines) in Taihu lake area [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2023, 51(22): 26–29.

[31] 胡贤巧, 卢林, 符渊森, 等. 我国主要产区水稻主导品种稻米品质比较分析[J]. 中国稻米, 2025, 31(6): 12–19.
HU XQ, LU L, FU YM, *et al*. Quality analysis of leading rice varieties in major production areas of China [J]. China Rice, 2025, 31(6): 12–19.

[32] 张文慧. 不同土壤条件对稻米食味品质的影响研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2024.
ZHANG WH. Effects of different soil conditions on the eating quality of rice [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2024.

[33] ZHU Y, XU D, MA ZT, *et al*. Differences in eating quality attributes between *Japonica* rice from the northeast region and semiglutinous *Japonica* rice from the Yangtze River Delta of China [J]. Foods, 2021, 10(11): 2770.

(责任编辑: 蔡世佳 冯东慧)