

邱文敬, 许云飞, 柴亚倩, 等. 丝瓜果实品质性状因子分析与评价体系建立[J]. 江苏农业学报, 2024, 40(12): 2324-2333.
doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2024.12.016

丝瓜果实品质性状因子分析与评价体系建立

邱文敬^{1,2}, 许云飞², 柴亚倩², 董文其², 于超¹, 孙玉燕²

(1. 浙江农林大学园艺科学学院, 浙江 杭州 311300; 2. 浙江省农业科学院蔬菜研究所, 浙江 杭州 310021)

摘要: 为了对丝瓜果实品质进行综合评价, 本研究利用变异系数分析、相关性分析、因子分析和聚类分析等方法, 对 203 份丝瓜种质资源果实品质性状相关的 28 项指标进行测定, 并对数据进行处理和分析, 据此建立丝瓜果实品质综合评估模型, 根据综合得分结合二维排序图, 筛选获得高品质丝瓜种质资源。结果表明, 203 份丝瓜种质资源的 28 项果实品质性状指标的变异系数为 12.80%~63.12%, 变异系数最大的为氨气含量, 其次为精氨酸含量; 变异系数最小的为果实致密度, 其次为粗蛋白含量。因子分析结果显示, 从 28 个品质性状中综合筛选出 7 个公因子, 第 1 和第 2 公因子的贡献率分别为 31.20% 和 13.55%, 7 个公因子累计方差贡献率达到 77.56%。综合相关性分析和聚类分析, 将品质指标简化为瓜长、瓜横径、可溶性固形物含量、纤维素含量、精氨酸含量、抗坏血酸含量这 6 项代表性指标, 据此对丝瓜种质资源的果实品质性状进行综合评估打分。本研究建立了丝瓜果实品质综合评估模型, 为高品质丝瓜新品种或新组合筛选提供技术支撑, 为丝瓜产业高质量发展奠定重要基础。

关键词: 丝瓜品质; 因子分析; 综合评价

中图分类号: S642.4

文献标识码: A

文章编号: 1000-4440(2024)12-2324-10

Factor analysis and evaluation system construction of fruit quality traits of sponge gourd

QIU Wenjing^{1,2}, XU Yunfei², CHAI Yaqian², DONG Wenqi², YU Chao¹, SUN Yuyan²

(1. College of Horticulture Science, Zhejiang A&F University, Hangzhou 311300, China; 2. Institute of Vegetables, Zhejiang Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 310021, China)

Abstract: The 28 indexes related to fruit quality traits of 203 sponge gourd germplasm resources were determined, and the data processing and analysis were carried out by the methods of coefficient of variation analysis, correlation analysis, factor analysis and cluster analysis, and a comprehensive evaluation model of sponge gourd fruit quality was established. According to the comprehensive score combined with the two-dimensional ranking map, high-quality

收稿日期: 2024-04-03

基金项目: 浙江省“三农九方”科技协作计划项目(2023SNJF011); 浙江省农业(蔬菜新品种选育)新品种选育重大科技专项子课题(2021C02065-2-4); 浙江省瓜菜种质资源表型精准鉴定项目

作者简介: 邱文敬(2000-), 女, 山东临沂人, 硕士研究生, 研究方向为蔬菜分子生物学。(E-mail) 17686260196@163.com

通讯作者: 于超, (E-mail) yuch@zafu.edu.cn; 孙玉燕, (E-mail) sy1111@126.com

sponge gourd germplasm resources were screened and obtained. The results showed that the coefficients of variation for 28 fruit quality traits in 203 sponge gourd germplasm resources ranged from 12.80% to 63.12%, and the trait with largest coefficient of variation was NH_3 content, followed by arginine content. The trait with smallest coefficient of variation was fruit density, followed by crude protein content. Seven common factors were comprehensively selected from 28 quality traits by

factor analysis, and the cumulative variance contribution rate was 77.56%, among which the first and second common factors were 31.20% and 13.55%, respectively. Based on the correlation analysis and cluster analysis, the quality traits were simplified into six representative indexes, including fruit length, fruit transverse diameter, soluble solids content, cellulose content, arginine content and ascorbic acid content. Moreover, the fruit quality of 203 sponge gourd germplasm resources was comprehensively evaluated and scored. In this study, a comprehensive evaluation model of sponge gourd fruit quality was established, which provided technical support for screening new sponge gourd varieties or combinations with high-quality, and laid an important foundation for promoting the high-quality development in sponge gourd industry.

Key words: sponge gourd quality; factor analysis; comprehensive evaluation

丝瓜是葫芦科(Cucurbitaceae)丝瓜属(*Luffa*), 一年生攀援性草本植物^[1]起源于亚洲热带地区, 在中国南北地区均有种植, 栽培面积约 2×10^5 hm², 包括普通丝瓜[*Luffa cylindrica*(L.) Roem.] 和有棱丝瓜[*Luffa acutangula*(L.) Roxb.] 两个栽培种, 其中在长江流域地区以种植普通丝瓜为主, 广西、广东及海南等南部沿海地区则以种植有棱丝瓜为主^[2-4]。丝瓜耐热、耐湿, 能适应多种自然环境。作为中国重要的夏秋季蔬菜作物^[5], 其产品不仅占据中国内地市场, 还在中国香港和中国澳门大量销售, 甚至在医药、工业等领域也被广泛应用^[6]。

在中国, 随着城乡居民生活水平的不断提高, 消费者对蔬菜产品已经从量的追求逐步向高品质方向转变; 在生产、流通、销售等各个环节, 对蔬菜产品的外观商品性和内在品质(风味、营养、口感等)的要求均不断提高。然而, 丝瓜果实品质受外观和内在多种因素的共同影响, 尚缺乏标准的客观的品质评价方法。因此, 亟需对丝瓜果实品质性状进行精准测定并建立客观标准的品质评价技术体系。

品质综合评价方法已经在许多园艺作物上建立起来, 综合评价方法多种多样, 主要有灰色关联度法^[7]、DTOPSIS 法^[8]、主成分分析法等, 其中主成分分析与聚类分析相结合是目前最常用的一种综合评价方法^[9], 如梨果实品质的测定与分析^[10]、枣果实性状的综合评价^[11]、不同品种薄皮甜瓜的品质差异分析^[12]以及番茄不同品种品质性状的综合分析与评价^[13]等。因子分析可以最大限度保持原始信息, 使得各个主要因素之间既不相干, 又能体现各主成分包含的信息。通过因子分析可以达到合理、有效评价果实品质的目的^[14]。聚类分析是根据各品质指标的相似程

度, 将相似性高的品质指标进行优先聚合, 再根据类别的综合属性对多个品质指标进行聚合, 最终达成聚类的分析过程^[15]。因子分析与聚类分析相结合可以分析各指标之间的相似程度和差异性, 同时可以使果实品质评价指标得到进一步简化^[16-17]。

本研究以 203 份丝瓜种质资源 ZJSG-1 ~ ZJSG-203 为试验材料, 选取与丝瓜外观品质和产量相关的瓜长、瓜横径、瓜肉厚、单瓜重以及丝瓜内在品质相关的纤维素含量^[18]、抗坏血酸含量、粗蛋白含量、可溶性固形物含量^[19]、果实致密度、18 种游离氨基酸含量^[20] [包括天冬氨酸(Asp)、苏氨酸(Thr)、丝氨酸(Ser)、谷氨酸(Glu)、甘氨酸(Gly)、丙氨酸(Ala)、半胱氨酸(Cys)、缬氨酸(Val)、蛋氨酸(Met)、异亮氨酸(Ile)、亮氨酸(Leu)、酪氨酸(Tyr)、苯丙氨酸(Phe)、 γ -氨基丁酸(g-ABA)、赖氨酸(Lys)、组氨酸(His)、精氨酸(Arg)、脯氨酸(Pro)] 以及氨气(NH₃)含量共 28 项指标, 综合运用变异系数分析、相关性分析、因子分析、聚类分析等分析处理方法, 筛选丝瓜果实品质的代表性指标, 据此构建丝瓜品质量化评分模型, 并应用此模型对 203 份丝瓜种质资源的果实品质进行综合评价, 筛选获得优异种质资源。本研究结果将为丝瓜果实品质综合评价、优异种质资源及新组合筛选提供了重要的技术支撑。

1 材料和方法

1.1 试验材料

遴选来源于第三次全国农作物种质资源普查与收集行动中收集的丝瓜种质资源以及浙江省种质资源库、国家种质资源中期库中丝瓜种质资源, 经分子标记筛选, 构建具有代表性及遗传

多样性的 203 份丝瓜种质资源群体,2022 年春季将其定植于浙江省农业科学院杨渡科研创新基地。按照畦宽加沟宽 1.5 m 标准起垄,双行栽培,行距 50 cm,株距 35 cm,采用常规管理方法进行田间管理。

丝瓜果实品质性状测定的取样时间为商品瓜成熟期,即在丝瓜授粉后 10 d 左右,采摘瓜形匀称、大小一致的嫩瓜,设置 3 个生物学重复,每个生物学重复取 3 个商品丝瓜。

1.2 丝瓜果实植物学性状测定

依据《丝瓜种质资源描述规范》,选取与丝瓜产量密切相关的瓜长、瓜横径、瓜肉厚及单瓜重 4 项植物学性状进行测定^[21]。

1.3 丝瓜果实纤维素含量测定

选取授粉后 10 d 左右的成熟商品丝瓜,去皮,取中段果肉切块,冷冻干燥,冻干后的样品研磨成粉状,依据纤维素含量检测试剂盒(苏州科铭生物技术有限公司 CLL-1-Y 试剂盒)操作流程进行纤维素含量测定。

1.4 丝瓜果实抗坏血酸含量测定

选取授粉后 10 d 左右的成熟商品丝瓜,去皮,取中段果肉切块,冷冻干燥,冻干后的样品研磨成粉状,依据还原型抗坏血酸含量检测试剂盒(苏州科铭生物技术有限公司 AsA-1-W 试剂盒)操作流程进行抗坏血酸含量测定。

1.5 丝瓜果实粗蛋白含量测定

依据《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》^[22],采用凯氏定氮法对丝瓜果实粗蛋白含量进行测定。取 0.5 g 样品置于消化管中,向其中添加硫酸钾 3 g、10%硫酸铜溶液 2 mL 和浓硫酸 15 mL,加热消解,待冷却后移入 100 mL 容量瓶;从容量瓶中取出消解液 20 mL,加入 30%氢氧化钠溶液 50 mL 进行蒸馏,直至液体呈蓝绿色,随后用 0.05 mol/L 盐酸进行滴定,记录所用盐酸的量(mL),计算粗蛋白含量。

1.6 丝瓜果实可溶性固形物含量测定

取各个果实中段部位,去皮后,在室温下快速匀浆,利用双层纱布过滤,将滤液滴在 ATAGO 手持数显糖度计 PAL-1[ATAGO(爱拓)中国有限公司产品]的棱镜表面,进行可溶性固形物含量测定^[23]。剩余丝瓜果实匀浆在-80℃条件下保存,供后续进行游离氨基酸含量测定。

1.7 丝瓜果实中游离氨基酸含量测定

将方法 1.6 中保存的丝瓜果实匀浆化冻,取 2 mL 容量的空离心管置于分析天平,将分析天平清零,吸取 400 μ L 匀浆至离心管,记录样本重量,加入 1 mL 的 4%磺基水杨酸溶液,置摇床振荡 1 h,12 000 r/min 离心 10 min,取 800 μ L 上清于色谱管中,利用日立 L-8900 氨基酸自动分析仪(Hitachi 日立公司产品),进行游离氨基酸含量及氨气含量的测定^[24]。

1.8 丝瓜果实致密度测定

切取适量嫩丝瓜果实,去皮,用天平测出其质量,再用排水法原理测量其体积^[25],根据公式 $\rho = m/v$,计算丝瓜果实的致密度,公式中 ρ 表示致密度, m 表示丝瓜果实的重量, v 表示丝瓜果实的体积。

1.9 数据统计与分析

采用 SPSS 22.0 统计软件和 Excel 2010 软件,利用变异系数分析、相关性分析、因子分析及聚类分析等方法对丝瓜果实品质相关的 28 项指标进行分析^[26]。

2 结果与分析

2.1 丝瓜种质资源果实品质指标统计分析

对丝瓜 28 项果实品质性状相关指标进行统计分析(表 1)。由表 1 可见,28 项品质指标的变异系数为 12.80%至 63.12%,变异系数最大的是氨气含量,为 63.12%,除氨气含量外,精氨酸、半胱氨酸、谷氨酸含量的变异系数也较大,分别为 57.29%、53.55%和 46.50%;变异系数最小的是果实致密度,仅为 12.80%,此外,粗蛋白含量、可溶性固形物含量及瓜横径变异系数也较小,分别为 13.28%、15.55%和 17.79%。与丝瓜果实品质相关的大多数游离氨基酸含量以及氨基酸总量的变异系数均较大。

2.2 丝瓜果实品质指标相关性分析

对丝瓜果实的 28 项品质指标进行相关性分析(图 1)。由图 1 可以看出,28 项品质指标之间呈现不同程度的相关性。其中绝大部分游离氨基酸含量之间呈极显著正相关关系($P < 0.01$);瓜横径、瓜肉厚及单瓜重 3 项指标两两之间均为极显著正相关;瓜长与单瓜重及氨气含量呈显著正相关($P < 0.05$),此外,瓜长与瓜肉厚、可溶性固形物

表1 丝瓜果实质指标的统计分析

Table 1 Statistics and analysis of fruit quality traits of sponge gourd

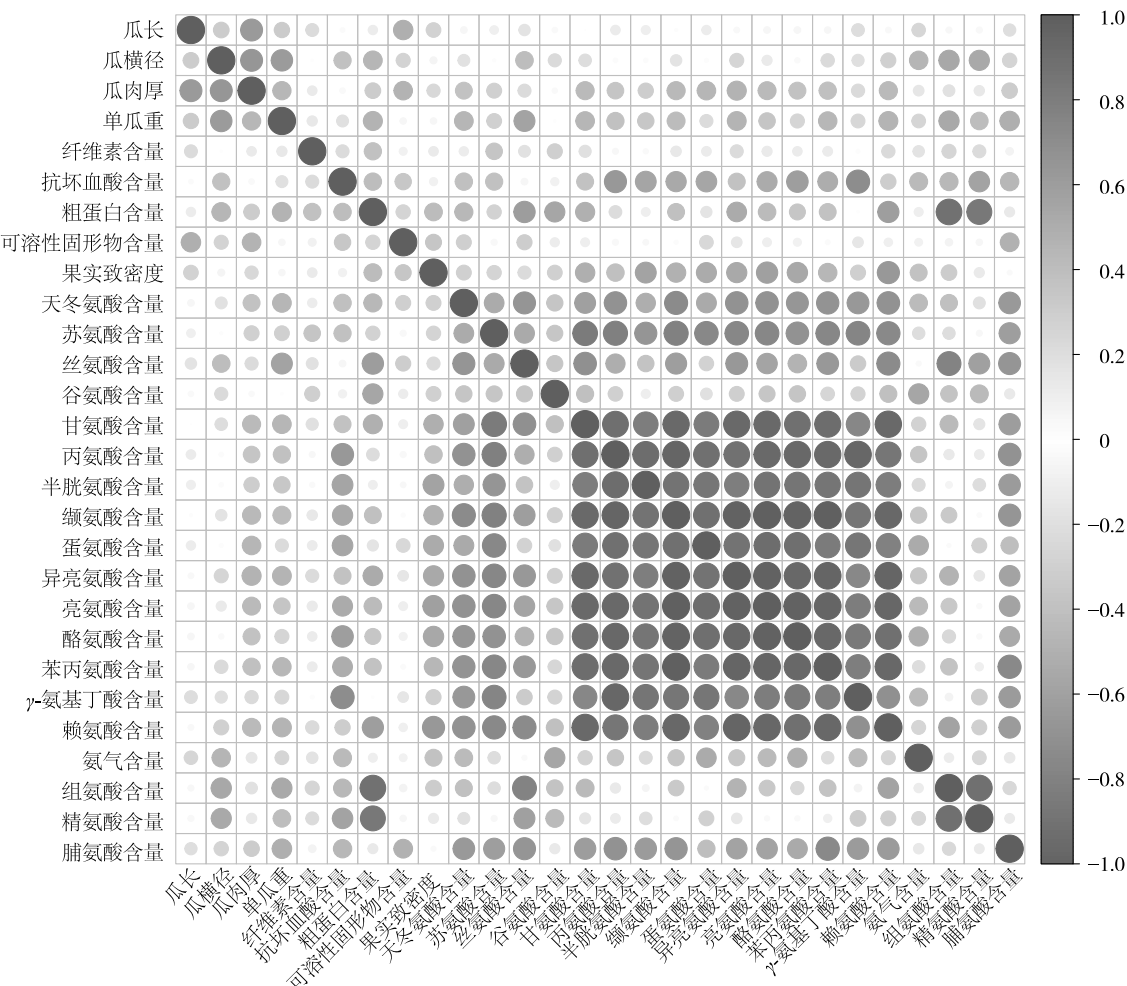
品质指标	平均值	最大值	最小值	标准差
瓜长 (cm)	28.87	93.75	14.83	9.78
瓜横径 (cm)	3.71	5.45	2.36	0.66
瓜肉厚 (cm)	2.93	4.90	1.43	0.62
单瓜重 (g)	211.45	531.67	98.40	67.08
纤维素含量 (mg/g)	146.91	254.33	65.64	31.97
抗坏血酸含量 (μg/g)	694.42	1 668.59	234.05	228.82
粗蛋白含量 (mg/g)	142.72	202.39	101.72	18.95
可溶性固形物含量 (%)	4.18	5.50	2.75	0.65
果实致密度 (g/cm ³)	0.75	1.07	0.47	0.10
天冬氨酸含量 (μg/g)	128.78	225.93	72.62	25.50
苏氨酸含量 (μg/g)	392.35	930.98	83.26	150.68
丝氨酸含量 (μg/g)	61.98	136.47	23.08	15.72
谷氨酸含量 (μg/g)	359.62	1 089.97	70.83	167.22
甘氨酸含量 (μg/g)	17.98	33.74	8.45	5.10
丙氨酸含量 (μg/g)	52.11	105.14	17.73	14.63
半胱氨酸含量 (μg/g)	4.09	12.49	0	2.19
缬氨酸含量 (μg/g)	48.62	96.33	21.25	13.53
蛋氨酸含量 (μg/g)	18.51	48.62	6.66	7.16
异亮氨酸含量 (μg/g)	34.69	74.17	12.29	11.14
亮氨酸含量 (μg/g)	51.78	107.90	20.32	16.46
酪氨酸含量 (μg/g)	33.06	62.30	14.05	9.61
苯丙氨酸含量 (μg/g)	45.38	93.38	21.38	11.57
γ-氨基丁酸含量 (μg/g)	158.95	273.92	75.05	31.63
赖氨酸含量 (μg/g)	54.50	96.95	24.46	14.41
氨气含量 (μg/g)	27.28	129.65	7.36	17.22
组氨酸含量 (μg/g)	62.02	173.52	13.59	27.91
精氨酸含量 (μg/g)	302.65	944.18	45.60	173.40
脯氨酸含量 (μg/g)	32.72	94.66	10.52	12.59

丝瓜果实质指标的变异系数分别是:瓜长 33.88%、瓜横径 17.79%、瓜肉厚 21.16%、单瓜重 31.72%、纤维素含量 21.76%、抗坏血酸含量 32.95%、粗蛋白含量 13.28%、可溶性固形物含量 15.55%、果实致密度 12.80%、天冬氨酸含量 19.80%、苏氨酸含量 38.41%、丝氨酸含量 25.36%、谷氨酸含量 46.50%、甘氨酸含量 28.36%、丙氨酸含量 28.08%、半胱氨酸含量 53.55%、缬氨酸含量 27.83%、蛋氨酸含量 38.68%、异亮氨酸含量 32.11%、亮氨酸含量 31.79%、酪氨酸含量 29.07%、苯丙氨酸含量 25.50%、γ-氨基丁酸含量 19.90%、赖氨酸含量 26.44%、氨气含量 63.12%、组氨酸含量 45.00%、精氨酸含量 57.29%、脯氨酸含量 38.48%。

含量呈极显著负相关 ($P<0.01$);瓜肉厚与可溶性固形物含量呈极显著正相关;瓜横径与可溶性固形物含量、γ-氨基丁酸含量、蛋氨酸含量、半胱氨酸含量呈不同程度正相关;纤维素含量与苏氨酸含量呈极显著负相关 ($P<0.01$);抗坏血酸含量与粗蛋白含量、组氨酸含量、精氨酸含量呈显著正相关,与可溶性固形物含量、丙氨酸含量、缬氨酸含量、亮氨酸含量、酪氨酸含量、苯丙氨酸含量等呈极显著负相关;粗蛋白含量与精氨酸含量、组氨酸含量、丝氨酸含量、谷氨酸含量等 12 种游离氨基酸含量呈显著正相关;可溶性固形物含量与天冬氨酸含量、丝氨酸含量、脯氨酸含量呈显著正相关;果实致密度与蛋氨酸含量、亮氨酸含量、赖氨酸含量等呈不同程度负相关。综合来看,瓜长、瓜横径、抗坏血酸含量、粗蛋白含量、可溶性固形物含量、果实致密度均与多项品质指标有较强的相关性,各类游离氨基酸含量之间也存在显著相关性。上述结果表明各品质指标间相关性较强,可以通过因子分析进行深入研究。

2.3 丝瓜果实质指标因子分析

利用因子分析法将 28 项丝瓜果实质性状进行分析,得到 7 个公因子,分别为 F_1 、 F_2 、 F_3 、 F_4 、 F_5 、 F_6 和 F_7 (表 2)。以载荷值绝对值大于 0.75 为解释指标。 F_1 解释的品质指标较多,主要集中于游离氨基酸含量,分别为丙氨酸含量、半胱氨酸含量、缬氨酸含量、蛋氨酸含量、异亮氨酸含量、亮氨酸含量、酪氨酸含量、苯丙氨酸含量和赖氨酸含量; F_2 解释的品质指标为粗蛋白含量、组氨酸含量、精氨酸含量; F_3 解释的品质指标为瓜横径和瓜肉厚; F_4 解释的品质指标为氨气含量; F_6 解释的品质指标为瓜长和单瓜重; F_7 解释的品质指标为纤维素含量。 $F_1 \sim F_7$ 方差贡献率分别为 31.20%、13.55%、8.25%、7.36%、6.78%、5.78%、4.62%,累计方差贡献率为 77.56%。据此建立丝瓜果实质质量化评分模型: $Y_{\text{品质性状}} = 0.312 0F_1 + 0.135 5F_2 + 0.082 5F_3 + 0.073 6F_4 + 0.067 8F_5 + 0.057 8F_6 + 0.046 2F_7$,进一步计算出各丝瓜种质资源的 $Y_{\text{品质性状}}$ 得分,对 203 份丝瓜种质资源的果实品质进行评价。选出丙氨酸含量、半胱氨酸含量、缬氨酸含量、蛋氨酸含量、异亮氨酸含量、亮氨酸含量、酪氨酸含量、苯丙氨酸含量、赖氨酸含量、粗蛋白含量、组氨酸含量、精氨酸含量、瓜横径、瓜肉厚、氨气、瓜长、单瓜重等 17 项指标用于品质质量化评分模型的构建。



图中标尺>0.4 为极显著正相关($P<0.01$), 0.2~0.4 为显著正相关($P<0.05$); <-0.4 为极显著负相关($P<0.01$), -0.4~-0.2 为显著负相关($P<0.05$)。

图 1 丝瓜果实品质指标间的相关性分析
Fig.1 Correlation analysis of different quality traits in sponge gourd

表 2 丝瓜果实品质性状因子分析的公因子载荷值
Table 2 The common factor loading values of fruit quality traits in sponge gourd based on factor analysis

品质指标	公因子载荷值						
	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6	F_7
瓜长	0.003	0.006	-0.512	0.055	-0.200	0.772	0.066
瓜横径	0.137	-0.304	0.882	0.085	-0.031	0.123	0.115
瓜肉厚	-0.086	0.169	0.924	-0.102	0.096	-0.03	-0.118
单瓜重	-0.047	-0.056	0.447	0.078	0.038	0.833	0.067
纤维素含量	0.039	-0.034	0.040	0.012	0.028	-0.096	-0.795
抗坏血酸含量	-0.255	0.314	-0.042	-0.299	-0.273	-0.275	0.392
粗蛋白含量	0.240	0.778	-0.015	0.135	-0.220	-0.003	0.182
可溶性固形物含量	0.009	0.157	0.282	0.154	0.724	0.016	-0.157
果实致密度	-0.107	-0.094	-0.013	-0.104	0.582	-0.061	0.091
天冬氨酸含量	0.378	0.210	-0.135	0.657	0.144	-0.198	-0.037
苏氨酸含量	0.526	0.069	0.092	0.126	0.261	-0.002	0.543

续表2 Continued2

品质指标	公因子载荷值						
	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6	F_7
丝氨酸含量	0.398	0.614	-0.029	0.096	0.260	-0.121	0.061
谷氨酸含量	0.189	0.552	0.041	0.512	0.176	0.240	0.095
甘氨酸含量	0.749	0.299	0.019	0.064	0.048	0.047	0.133
丙氨酸含量	0.844	0.007	0.039	0.255	0.172	-0.094	-0.024
半胱氨酸含量	0.783	-0.150	0.015	-0.103	0.099	-0.074	-0.151
缬氨酸含量	0.931	0.201	-0.033	0.170	0.024	-0.034	0.032
蛋氨酸含量	0.793	-0.166	0.011	0.248	-0.246	0.056	0.143
异亮氨酸含量	0.848	0.308	-0.043	0.138	-0.117	-0.020	0.076
亮氨酸含量	0.920	0.202	-0.013	0.170	-0.120	0.040	-0.011
酪氨酸含量	0.848	0.159	0.075	0.230	-0.136	0.149	-0.108
苯丙氨酸含量	0.879	0.235	-0.034	-0.053	0.131	0.023	-0.072
γ -氨基丁酸含量	0.692	-0.161	0.169	0.435	0.258	-0.118	0.040
赖氨酸含量	0.832	0.431	-0.070	0.033	0.036	0.017	0.072
氨气含量	0.174	0.052	0.025	0.840	-0.230	0.198	-0.003
组氨酸含量	0.227	0.859	0.023	0.020	-0.037	-0.104	-0.013
精氨酸含量	0.003	0.914	-0.087	-0.009	0.100	0.056	-0.061
脯氨酸含量	0.514	0.139	-0.219	-0.053	0.613	-0.025	0.022

2.4 丝瓜果实品质指标的聚类分析

基于丝瓜果实品质性状相关的 28 项指标数据,采用欧式距离、组间平均链接法及主成分分析方法将丝瓜果实各品质指标进行聚类分析,结果见图 2。由图 2 可以看出,聚类分析将丝瓜果实 28 项品质指标聚成 3 类,第 I 类包括瓜长、粗蛋白含量、组氨酸含量、精氨酸含量、谷氨酸含量、丝氨酸含量、天冬氨酸含量、氨气含量、苏氨酸含量、甘氨酸含量、缬氨酸含量、亮氨酸含量、异亮氨酸含量、赖氨酸含量、苯丙氨酸含量、酪氨酸含量、蛋氨酸含量、丙氨酸含量、 γ -氨基丁酸含量、半胱氨酸含量和脯氨酸含量这 21 项指标;第 I 类包括两个亚类,其中瓜长单独聚为一个亚类(I-1),其余 20 项指标聚为另一个亚类(I-2)。第 II 类包括瓜横径、瓜肉厚、单瓜重、可溶性固形物含量、果实致密度、纤维素含量这 6 项指标;第 II 类同样包括两个亚类,其中纤维素含量单独聚为一个亚类(II-2),其余 5 项聚为另一个亚类(II-1)。第 III 类为抗坏血酸含量。

2.5 丝瓜果实品质指标的简化

在丝瓜 28 项果实品质性状相关指标数据的基础上,结合相关性分析和聚类分析结果,对相关品质指标进行简化。聚类分析结果显示,瓜长、粗蛋白含量、精氨酸含量、亮氨酸含量、组氨酸含量等 21 项指标聚

成 I 类,且继续细分瓜长单独聚为一个亚类(I-1);相关性分析结果显示,粗蛋白含量与精氨酸含量、天冬氨酸含量等 12 个游离氨基酸含量呈不同程度显著正相关,各类氨基酸含量两两之间绝大部分也呈极显著正相关,除氨气含量外,精氨酸含量变异系数最大且明显高于其他品质指标,据此在 I 类中选择瓜长、精氨酸含量为代表性指标。瓜横径、瓜肉厚、单瓜重、可溶性固形物含量、果实致密度、纤维素含量这 6 个指标聚成 II 类,继续细分纤维素含量单独聚为一个亚类(II-2);相关性分析结果显示,瓜横径与瓜肉厚、单瓜重均呈极显著正相关,瓜肉厚与可溶性固形物含量呈极显著正相关,可溶性固形物含量与瓜肉厚和果实致密度两项品质指标呈现极显著正相关,据此选择瓜横径、可溶性固形物含量及纤维素含量作为代表性指标。抗坏血酸含量单独聚成 III 类,选择其为第 III 类代表性指标。最终,将丝瓜 28 项果实品质性状相关指标简化为瓜长、瓜横径、可溶性固形物含量、纤维素含量、精氨酸含量、抗坏血酸含量这 6 项代表性指标,用于丝瓜果实品质综合评估。

2.6 丝瓜种质资源果实品质评价

因子分析明确各因子得分及其对应方差贡献率后,对各因子作二维排序图(图 3),图 3A 以第 1 公因子和第 2 公因子作二维排序图,结果显示种质资

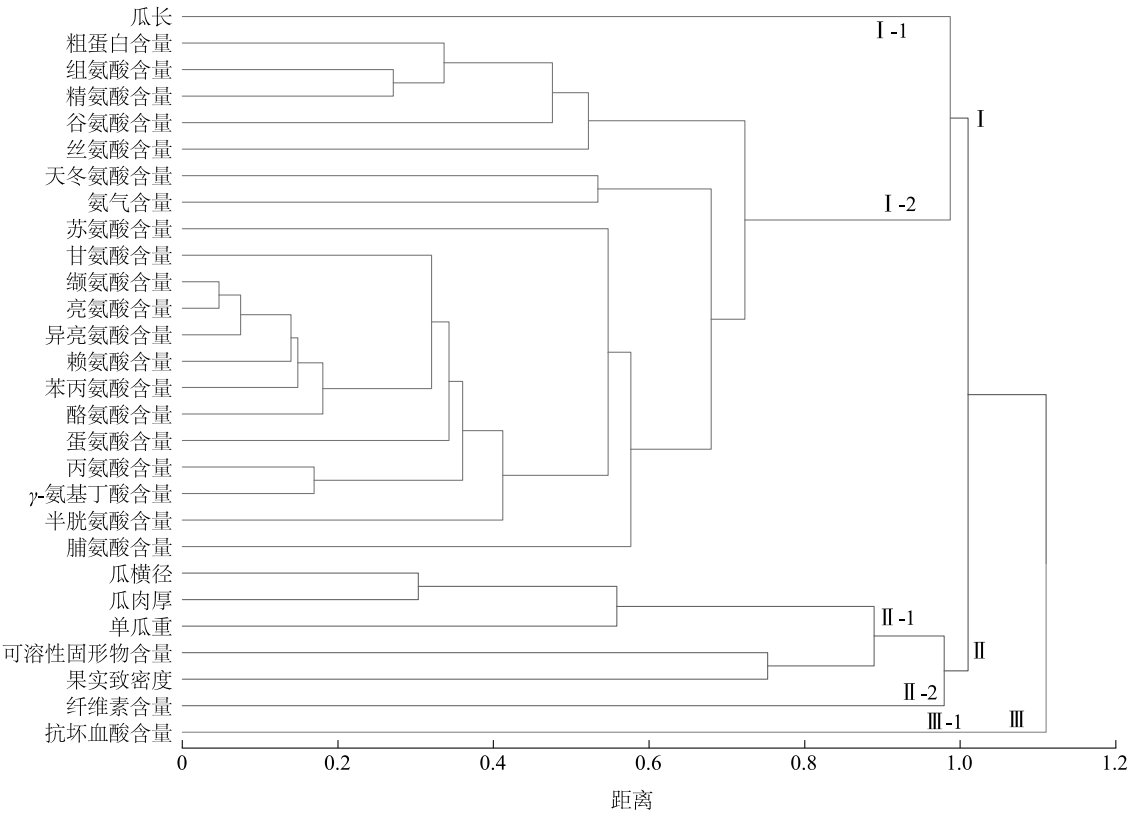
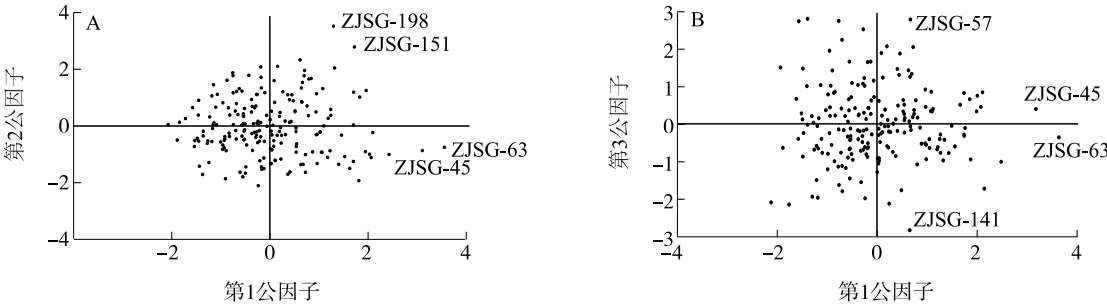


图2 丝瓜不同品质指标的聚类分析
Fig.2 Cluster analysis of different quality traits in sponge gourd

源 ZJSG-45 和 ZJSG-63 第 1 公因子较大,表明各种游离氨基酸含量较高。结合第 2 公因子,种质资源 ZJSG-151 和 ZJSG-198 的粗蛋白、组氨酸、精氨酸含量较高,与 ZJSG-151 的粗蛋白含量(173.89 mg/g)、组氨酸含量(173.52 μg/g)、精氨酸含量(724.15 μg/g)和 ZJSG-198 的粗蛋白含量(160.21 mg/g)、组氨酸含量(156.39 μg/g)、精氨酸含量(280.74 μg/g)相符。

以第 1 公因子和第 3 公因子作二维排序图(图 3B),结果显示种质资源 ZJSG-141 第 3 公因子最小,即瓜横径和肉厚较小,实际数据测得 ZJSG-141 瓜横径为 2.40 cm,瓜肉厚为 1.99 cm,其瓜横径和瓜肉厚在所有种质资源中较小;种质资源 ZJSG-57 第 3 公因子最大,实际数据测得 ZJSG-57 瓜横径为 5.45 cm,肉厚为 4.83 cm,在所有种质资源中最大。



A:以第 1 公因子和第 2 公因子作二维排序图;B:以第 1 公因子和第 3 公因子作二维排序图。
图3 203 份丝瓜种质资源果实品质各因子二维排序图

Fig.3 Two dimensional ordered graph of fruit quality factors in 203 sponge gourd germplasm resources

结合丝瓜果实品质量化评分模型 $Y_{\text{品质性状}} = 0.312 0F_1 + 0.135 5F_2 + 0.082 5F_3 + 0.073 6F_4 + 0.067 8F_5 +$

0.057 8 F_6 +0.046 2 F_7 对 203 份丝瓜种质资源果实品质进行综合评价,综合评价得分见表 3,各因子得分和

综合评价得分排名均与二维排序结果相吻合,进一步证实本研究中品质评价模型的准确性。

表 3 203 份丝瓜种质资源综合品质得分

Table 3 Comprehensive quality scores of 203 sponge gourd germplasm resources

种质资源	Y 值	种质资源	Y 值	种质资源	Y 值	种质资源	Y 值	种质资源	Y 值
ZJSG-1	68.42	ZJSG-42	56.57	ZJSG-83	17.41	ZJSG-124	30.91	ZJSG-165	68.20
ZJSG-2	25.31	ZJSG-43	57.68	ZJSG-84	26.72	ZJSG-125	57.25	ZJSG-166	80.97
ZJSG-3	42.79	ZJSG-44	45.44	ZJSG-85	31.67	ZJSG-126	84.41	ZJSG-167	16.72
ZJSG-4	80.86	ZJSG-45	55.78	ZJSG-86	37.05	ZJSG-127	54.62	ZJSG-168	34.43
ZJSG-5	57.98	ZJSG-46	37.96	ZJSG-87	31.95	ZJSG-128	38.06	ZJSG-169	34.45
ZJSG-6	73.11	ZJSG-47	51.55	ZJSG-88	21.58	ZJSG-129	64.43	ZJSG-170	33.57
ZJSG-7	38.37	ZJSG-48	66.70	ZJSG-89	33.65	ZJSG-130	48.79	ZJSG-171	30.68
ZJSG-8	57.80	ZJSG-49	57.32	ZJSG-90	38.04	ZJSG-131	59.39	ZJSG-172	80.94
ZJSG-9	18.05	ZJSG-50	53.10	ZJSG-91	29.43	ZJSG-132	61.65	ZJSG-173	45.34
ZJSG-10	67.31	ZJSG-51	51.91	ZJSG-92	37.56	ZJSG-133	54.82	ZJSG-174	69.96
ZJSG-11	33.76	ZJSG-52	19.86	ZJSG-93	37.09	ZJSG-134	33.48	ZJSG-175	85.93
ZJSG-12	39.70	ZJSG-53	72.71	ZJSG-94	27.59	ZJSG-135	84.68	ZJSG-176	79.11
ZJSG-13	64.33	ZJSG-54	40.65	ZJSG-95	19.00	ZJSG-136	56.16	ZJSG-177	39.88
ZJSG-14	38.69	ZJSG-55	73.94	ZJSG-96	44.43	ZJSG-137	8.23	ZJSG-178	20.15
ZJSG-15	65.89	ZJSG-56	40.30	ZJSG-97	45.17	ZJSG-138	61.93	ZJSG-179	82.10
ZJSG-16	107.94	ZJSG-57	70.06	ZJSG-98	49.26	ZJSG-139	26.95	ZJSG-180	64.54
ZJSG-17	132.21	ZJSG-58	67.01	ZJSG-99	31.36	ZJSG-140	33.52	ZJSG-181	24.81
ZJSG-18	50.80	ZJSG-59	81.15	ZJSG-100	86.56	ZJSG-141	73.27	ZJSG-182	16.19
ZJSG-19	36.21	ZJSG-60	67.42	ZJSG-101	77.40	ZJSG-142	91.94	ZJSG-183	38.04
ZJSG-20	26.65	ZJSG-61	17.30	ZJSG-102	96.17	ZJSG-143	59.79	ZJSG-184	25.39
ZJSG-21	54.99	ZJSG-62	36.83	ZJSG-103	124.45	ZJSG-144	31.84	ZJSG-185	21.04
ZJSG-22	55.02	ZJSG-63	51.60	ZJSG-104	64.43	ZJSG-145	56.39	ZJSG-186	30.08
ZJSG-23	50.02	ZJSG-64	93.55	ZJSG-105	24.55	ZJSG-146	55.44	ZJSG-187	30.38
ZJSG-24	59.43	ZJSG-65	54.87	ZJSG-106	23.47	ZJSG-147	57.71	ZJSG-188	23.49
ZJSG-25	95.57	ZJSG-66	40.16	ZJSG-107	62.01	ZJSG-148	60.32	ZJSG-189	26.85
ZJSG-26	58.51	ZJSG-67	50.52	ZJSG-108	82.92	ZJSG-149	55.82	ZJSG-190	35.22
ZJSG-27	72.95	ZJSG-68	38.92	ZJSG-109	31.36	ZJSG-150	38.74	ZJSG-191	31.69
ZJSG-28	104.92	ZJSG-69	60.52	ZJSG-110	49.19	ZJSG-151	126.79	ZJSG-192	144.31
ZJSG-29	21.69	ZJSG-70	36.97	ZJSG-111	42.83	ZJSG-152	67.67	ZJSG-193	92.80
ZJSG-30	56.71	ZJSG-71	32.55	ZJSG-112	57.77	ZJSG-153	52.20	ZJSG-194	105.76
ZJSG-31	68.02	ZJSG-72	50.05	ZJSG-113	26.30	ZJSG-154	88.09	ZJSG-195	117.16
ZJSG-32	12.10	ZJSG-73	32.99	ZJSG-114	58.45	ZJSG-155	62.29	ZJSG-196	103.29
ZJSG-33	58.82	ZJSG-74	42.61	ZJSG-115	28.20	ZJSG-156	60.15	ZJSG-197	79.32
ZJSG-34	69.41	ZJSG-75	49.01	ZJSG-116	18.57	ZJSG-157	95.69	ZJSG-198	72.16
ZJSG-35	41.43	ZJSG-76	50.85	ZJSG-117	31.36	ZJSG-158	92.54	ZJSG-199	79.47
ZJSG-36	48.24	ZJSG-77	38.84	ZJSG-118	22.13	ZJSG-159	45.64	ZJSG-200	57.91
ZJSG-37	68.42	ZJSG-78	48.90	ZJSG-119	57.41	ZJSG-160	66.73	ZJSG-201	93.77
ZJSG-38	25.31	ZJSG-79	71.90	ZJSG-120	47.47	ZJSG-161	59.70	ZJSG-202	55.72
ZJSG-39	42.79	ZJSG-80	35.18	ZJSG-121	27.33	ZJSG-162	79.21	ZJSG-203	51.72
ZJSG-40	80.86	ZJSG-81	45.10	ZJSG-122	55.79	ZJSG-163	44.11		
ZJSG-41	57.98	ZJSG-82	74.06	ZJSG-123	67.57	ZJSG-164	58.90		

Y 值:丝瓜果实品质综合评价得分。

3 讨论

随着人们生活水平的提高,对食品风味品质的需求也在不断提高,科研人员研究方向逐渐由产量性状和抗性性状转向品质性状。品质评价体系是综合评价果实品质的技术体系,可以广泛应用于果实品质的评价^[27-30]。近年来,诸多研究者利用主成分分析法、相关性分析法、隶属函数法等对蔬菜以及其他园艺作物果实制定出综合评价技术体系,为全面、客观评价种质资源和培育优良品种提供了依据。苏小俊等^[31]收集了 102 份普通丝瓜种质资源,并对其质量性状进行鉴定评价;台州市农业科学研究院运用主成分分析、聚类分析相结合的方法,对 32 份丝瓜种质资源进行了分析,将丝瓜分为圆筒丝瓜和针叶丝瓜 2 类,并将其进一步划分为 6 个亚类^[32];叶新如等^[33]通过对 60 份丝瓜种质资源的主成分分析和聚类分析,得出 5 个能够客观揭示丝瓜种质资源特征的主成分因子。丝瓜果实口感好,富含多种营养成分,食用和药用价值高^[34],但目前对其品质评价体系的研究仍有欠缺。丝瓜果实品质受到多种因素综合影响,包括瓜长、瓜横径、瓜肉厚、单瓜重、纤维素含量、抗坏血酸含量、粗蛋白含量、可溶性固形物含量、果实致密度以及各类氨基酸含量等。因此,丝瓜品质评价体系建立,对丝瓜品质育种、筛选高品质丝瓜种质资源、促进丝瓜产业高质量发展具有重要意义。

本研究以 203 份丝瓜种质资源为材料,对其 28 个主要品质性状进行测定与分析,结果表明,各指标的变异系数差异较大,其变化范围在 12.80%至 63.12%之间,变异系数最大的是氨气含量,为 63.12%,精氨酸含量和半胱氨酸含量变异系数也较大,分别为 57.29%和 53.55%。而果实致密度变异系数最小,仅为 12.80%,除果实致密度外,粗蛋白和可溶性固形物含量的变异系数也较小,分别为 13.28%和 15.55%。

通过对 203 份丝瓜种质资源 28 项果实品质指标进行相关性分析,结果显示各项品质指标间存在不同程度的相关性,大部分指标存在显著或极显著相关。本研究采用多种分析方法相结合,最大程度保证评价结果的科学性和准确性^[35]。基于因子分析,筛选出丙氨酸含量、半胱氨酸含量、缬氨酸含量、蛋氨酸含量、异亮氨酸含量、亮氨酸含量、酪氨酸含

量、苯丙氨酸含量、赖氨酸含量、粗蛋白含量、组氨酸含量、精氨酸含量、瓜横径、瓜肉厚、氨气含量、瓜长、单瓜重等 17 项品质指标用于丝瓜果实品质量化评分模型的建立^[36]。进一步结合相关性分析和聚类分析,最终将指标简化为瓜长、瓜横径、可溶性固形物含量、纤维素含量、精氨酸含量、抗坏血酸含量这 6 项代表性指标,并对 203 份丝瓜种质资源果实品质进行打分。通过综合评价筛选出品质优良的丝瓜种质资源,可用于培育高品质丝瓜新品种或新组合,促进丝瓜产业高质量发展。

4 结论

丝瓜是中国重要的蔬菜作物之一,随着设施农业的发展及消费者对果实品质要求的提升,高品质丝瓜产业发展呈现上升态势,但目前丝瓜果实品质缺乏综合评价标准。本研究利用变异系数分析、相关性分析、因子分析和聚类分析等方法,从丝瓜果实的 28 项品质指标中综合筛选出瓜长、瓜横径、可溶性固形物含量、纤维素含量、精氨酸含量、抗坏血酸含量 6 项代表性指标,建立丝瓜果实品质综合评估模型,对丝瓜的果实品质性状进行综合评估和打分。本研究建立的丝瓜果实品质综合评估模型可以快速、准确、高效地对丝瓜种质资源及新品种进行筛选,也为其他蔬菜作物品质评价提供参考。

参考文献:

- [1] WU H B, ZHAO G J, GONG H, et al. A high-quality sponge gourd (*Luffa cylindrica*) genome [J]. *Horticulture Research*, 2020, 7(1): 128.
- [2] 颜国纲,郑振佳,时新刚,等. 丝瓜的营养价值及其综合利用研究进展[J]. *中国果菜*, 2011, 31(7): 35-36.
- [3] 舒迎澜. 主要瓜类蔬菜栽培简史[J]. *中国农史*, 1998(3): 94-99.
- [4] 罗少波,罗剑宁,郑晓明. 我国丝瓜育种研究进展与展望[J]. *广东农业科学*, 2006(1): 15-17.
- [5] 杨寅桂,周庆友,张 娅,等. 丝瓜三个果实性状及日开花时间性状遗传规律分析[J]. *江西农业大学学报*, 2014, 36(6): 1217-1222.
- [6] 杨堃阳,邵 亮,崔梦媛,等. 从丝瓜络废料中提取纤维素纳米纤维及在聚乙烯醇超临界二氧化碳复合发泡材料中的应用[J]. *应用化工*, 2024, 53(3): 525-529.
- [7] 闫丽娟,庞胜群,靳 曲,等. 灰色关联度法综合评价加工番茄品种性状[J]. *长江蔬菜*, 2013(2): 13-15.
- [8] 赵云霞,颜秀娟,裴红霞,等. 基于 DTOPSIS 法的日光温室大果番茄组合比较分析与评价[J]. *蔬菜*, 2022(2): 13-18.

- [9] 李 泰,孙君茂,黄家章,等. 不同产地‘富士’苹果果实品质分析及评价[J]. 中国农业大学学报,2024,29(11):23-29.
- [10] 焦慧君,董 冉,董肖昌,等. 山东地方梨种质资源果实性状综合评价研究[J]. 果树学报,2024,41(2):201-215.
- [11] 吴玉蓉,吉光鹏,牛岭磊,等. 新疆南疆引进枣品种果实性状的综合评价[J]. 农业科技通讯,2023(7):100-104.
- [12] 丁永鑫,王诗仪,张 悦,等. 天津市西青区不同薄皮甜瓜品种的品质分析与综合评价研究[J]. 天津农学院学报, 2023,30(3):7-11.
- [13] 高艳娜,牛华琳,李 营,等. 基于主成分分析和聚类分析对不同番茄品种的综合评价[J]. 江苏农业科学,2023,51(12):106-113.
- [14] 孙亚强,吴翠云,王 德,等. 野生酸枣资源果实品质因子分析及评价指标选择[J]. 食品科学,2016,37(9):29-34.
- [15] 聂继云,张红军,马智勇,等. 聚类分析在我国果树研究中的应用及问题分析[J]. 果树科学,2000(2):128-130.
- [16] 匡立学,聂继云,李银萍,等. 中国不同地区‘富士’苹果品质评价[J]. 中国农业科学,2020,53(11):2253-2263.
- [17] 王 伟,吕旭健,张 玉,等. 基于聚类分析和主成分分析法的杨梅营养品质评价研究[J]. 食品工业科技,2017,38(1):278-280,286.
- [18] 范 蓉,杨 永,李霖华,等. 新疆厚皮甜瓜裂果抗性及其生理特征分析[J]. 西北植物学报,2023,43(7):1146-1157.
- [19] 高珏晓,王俊英,梁增文,等. 5种鲜食黄瓜感官与品质评价初探[J]. 蔬菜,2022(5):11-16.
- [20] 汤 谧,谢俊俊,赵鸿飞,等. 不同品种风味甜瓜果实品质比较[J]. 长江蔬菜,2012(18):55-57.
- [21] 王娇阳,赵永彬,冯春梅. 浙江省丝瓜种质资源主成分分析和聚类分析[J]. 植物遗传资源学报,2014,15(6):1374-1379.
- [22] 国家食品药品监督管理总局,国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定:GB 5009.5-2016[S]. 北京:中国标准出版社,2016.
- [23] 张泽雄,丘苑新,莫观连,等. 鱼花生大豆废弃物发酵肥的制备及其对桃品质的影响[J]. 园艺学报,2024,51(10):2386-2400.
- [24] 李爱基,沈 雁,吴芳芳,等. 水晶蜜柚和三红蜜柚果实氨基酸组成及其含量分析[J]. 分子植物育种,2024,22(24):8187-8194.
- [25] 史燕山,骆建霞. 苹果果实体积和重量测定方法的研究[J]. 中国果树,1997(3):46-48.
- [26] 黄中文. SPSS 统计分析与应用[M]. 北京:电子工业出版社,2016.
- [27] 林 媚,吴韶辉. 浙江省 12 个柑橘品种果实品质分析与评价[J]. 浙江农业科学,2019,60(6):963-966.
- [28] 朴哲虎,石 岩,程金良,等. 苹果梨果实矿质元素含量与品质的相关性分析[J]. 安徽农业科学,2018,46(20):159-161.
- [29] 魏烈权,卢世雄,马宗桓,等. 基于主成分分析法的嘉峪关 10 种酿酒葡萄品种品质评价[J]. 甘肃农业大学学报,2020,55(3):90-96.
- [30] 赵琼玲,韩学琴,沙毓沧,等. 21 份余甘子果实品质性状的分析和评价[J]. 中国热带农业,2021(6):27-32.
- [31] 苏小俊,徐 海,袁希汉,等. 普通丝瓜种质资源部分质量性状的鉴定和评价[J]. 江苏农业科学,2007,35(3):98-99.
- [32] FENG C M, WANG J Y, ZHAO Y B, et al. Principal component analysis and cluster analysis of luffa germplasm resources Zhejiang province[J]. Agricultural Biotechnology,2014(5):15-20.
- [33] 叶新如,朱海生,温庆放,等. 丝瓜种质资源主成分与聚类分析[J]. 福建农业学报,2017,32(7):703-709.
- [34] 柳明悦,郭洪波. 丝瓜的食药用价值及其开发前景[J]. 新农业,2023(22):12-13.
- [35] 苏小雨,高桐梅,张鹏钰,等. 基于主成分分析及隶属函数法对芝麻苗期耐热性综合评价[J]. 作物杂志,2023(4):52-59.
- [36] 赖 佳,韦树谷,黄 玲,等. 白菜类蔬菜种质资源抽薹性状鉴定评价[J]. 中国农学通报,2022,38(28):41-47.

(责任编辑:黄克玲)