

DOI:10.13275/j.cnki.lykxyj.2022.01.008

长江中下游区板栗主栽品种果实表型和品质综合评价

江锡兵¹, 滕国新², 范金根², 罗修宝³, 盛建洪², 龚榜初^{1*}

(1. 中国林业科学研究院亚热带林业研究所, 浙江 杭州 311400; 2. 浙江省兰溪市苗圃, 浙江 兰溪 321100;
3. 浙江省遂昌县自然资源和规划局, 浙江 遂昌 323300)

摘要: [目的] 对长江中下游区板栗主要栽培品种果实性状进行综合评价, 为筛选综合性状优良且适于浙江省种植推广的板栗品种提供理论依据。[方法] 以长江中下游区 25 个板栗主栽品种及 5 个有代表性的北方板栗品种为材料, 对其果实表型和品质性状进行连续测定和统计分析, 并采用主成分分析和灰色关联度分析法进行综合评价。[结果] 果实表型和品质存在不同程度的变异, 变异系数范围为 7.85%~41.20%, 品质性状较表型性状变异更广泛; 各指标间分别有 23 对和 18 对相关系数达到极显著 ($P < 0.01$) 和显著水平 ($P < 0.05$), 果实表型与品质性状间存在一定的关联性。主成分分析得出: 前 5 个主成分累计贡献率达 79.25%, 保留了供试板栗品种果实表型和品质性状大部分信息。灰色关联度分析显示: 各性状权重值差异明显, 其中, 钾含量权重系数最大, 总黄酮含量权重系数最小。2 种分析方法得出的 30 个板栗品种果实性状综合表现排序总体趋势较一致, 品种综合得分值相关系数为 0.7621, 达极显著水平。[结论] 2 种分析方法得出乌壳栗、浅刺大板栗、玫瑰红、八月红、处暑红、九月寒 6 个长江中下游区板栗品种综合得分值均排在前列, 其果实性状综合表现优良, 可作为浙江省种植推广的主要参考品种。

关键词: 板栗; 主栽品种; 果实性状; 主成分分析; 灰色关联度分析

中图分类号: S727.3

文献标志码: A

文章编号: 1001-1498(2022)01-0070-12

板栗 (*Castanea mollissima* Blume) 属壳斗科 (Fagaceae) 栗属 (*Castanea* Mill.) 植物, 是我国传统的特色坚果和木本粮食树种。板栗营养价值高, 且适应性和抗逆性强^[1-3], 分布广泛, 全国 26 个省 (直辖市、自治区) 均有分布, 并被划分为华北、长江中下游、西北、东南、西南和东北 6 个种群。其中, 长江中下游种群分布于湖北、安徽、江苏、浙江诸省的长江流域地区, 据统计, 全区共有板栗品种和品系 100 余个, 约占全国品种总数的 1/3^[4]。

浙江省是我国板栗主要产区之一, 目前全省板栗栽培面积约 6 万 hm^2 , 年产量 5~6 万 t, 但该省板栗大面积栽培品种单一、结构不合理等问题突出,

且绝大多数树龄在 20 a 以上, 老化现象严重^[5-6]。加快优新品种选育应用、促进品种多元化是提升板栗品质和效益、恢复产业发展的关键途径之一。通过性状综合评价并筛选适于某一区域栽培的板栗优良品种或种质, 前期已有大量研究。苏淑钗等^[7]对华北种群 19 个板栗品种的物候期、生长结果习性和果实品质进行综合评价, 从中筛选出早产性、丰产性、稳产性及抗逆性均较强的 5 个优良品种, 适宜在北京燕山地区推广种植。杨晴等^[8]对来自燕山和山东的 34 个板栗品种的营养品质进行综合评价, 筛选出燕山短枝 (*C. mollissima* 'Yanshan Duanzhi') 等 5 个优质品种, 为华北地区选育优良板栗品种提供了理论依据。杜常健等^[9]对燕山北部

收稿日期: 2021-07-22 修回日期: 2021-08-26

基金项目: 国家重点研发计划 (2019YFD1001604)

* 通讯作者: 龚榜初. E-mail: gongbc@126.com

山区收集的63个板栗农家品种和优良单株的品质进行综合评价,明确板栗优良种质的品质评价指标,从中进一步筛选出1个早熟、最优种质和2个晚熟种质。但关于板栗品种的综合评价多集中于北方地区,南方特别是长江中下游区的板栗品种果实性状综合评价研究相对欠缺。

目前,对板栗品种性状进行综合评价多采用因子分析法、隶属函数法、主成分分析法等^[8-13]。与主成分分析等方法相比较,灰色关联度分析是根据系统内各因素之间发展趋势的相似或相异程度来衡量因素间的关联程度,从而客观反映研究对象的综合表现^[14]。因此,联合运用主成分分析和灰色关联度分析方法能从多指标、多因素着手,综合分析各指标的整体效应,从而使筛选得到的结果更具有科学性。本研究以长江中下游区25个板栗主要栽培品种以及5个有代表性的北方板栗品种为材料,采

用主成分分析和灰色关联度分析法对其果实表型和品质性状进行综合评价,以期筛选出综合表现优良且适于浙江省种植推广的板栗品种,为促进该省板栗品种多元化和产业可持续发展提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试材料为来源于浙江、江苏、安徽、湖北等长江中下游地区的25个板栗主要栽培品种以及5个有代表性的北方板栗品种(表1)。30个板栗品种于2012年种植于浙江省兰溪市省级栗类种质资源圃(兰溪市苗圃),株行距3 m×4 m,每个品种6株,保存率100%,每年进行精细抚育管理,目前均已进入盛果期。试验地位于浙江省兰溪市马达镇老鹰山,土壤为红黄壤,pH值5.16,土层深厚,土壤有机质含量26.5 g·kg⁻¹,肥力中等。

表1 板栗品种名称及其来源地

Table 1 Name and source of Chinese chestnut cultivar

编号 No.	品种名称 Name of cultivar	来源地 Source	编号 No.	品种名称 Name of cultivar	来源地 Source
X1	蜜蜂球 <i>C. mollissima</i> 'Mifengqiu'	安徽舒城 Shucheng, Anhui	X16	石丰 <i>C. mollissima</i> 'Shifeng'	山东海阳 Haiyang, Shandong
X2	九月寒 <i>C. mollissima</i> 'Jiuyuehan'	湖北罗田 Luotian, Hubei	X17	六月爆 <i>C. mollissima</i> 'Liuyuebao'	湖北罗田 Luotian, Hubei
X3	浅刺大板栗 <i>C. mollissima</i> 'Qiancidabanli'	湖北罗田 Luotian, Hubei	X18	浙早1号 <i>C. mollissima</i> 'Zhezao No.1'	浙江诸暨 Zhuji, Zhejiang
X4	尖顶油栗 <i>C. mollissima</i> 'Jiandingyouli'	江苏邳县 Pixian, Jiangsu	X19	燕山早丰 <i>C. mollissima</i> 'Yanshan Zaofeng'	河北迁西 Qianxi, Hebei
X5	叶里藏 <i>C. mollissima</i> 'Yelicang'	安徽舒城 Shucheng, Anhui	X20	桂花香 <i>C. mollissima</i> 'Guihuaxiang'	湖北罗田 Luotian, Hubei
X6	粘底板 <i>C. mollissima</i> 'Zhandiban'	安徽舒城 Shucheng, Anhui	X21	处暑红 <i>C. mollissima</i> 'Chushuhong'	江苏宜兴 Yixing, Jiangsu
X7	铁粒头 <i>C. mollissima</i> 'Tielitou'	江苏宜兴 Yixing, Jiangsu	X22	怀九 <i>C. mollissima</i> 'Huajiu'	北京怀柔 Huairou, Beijing
X8	毛板红 <i>C. mollissima</i> 'Maobanhong'	浙江诸暨 Zhuji, Zhejiang	X23	焦扎 <i>C. mollissima</i> 'Jiaozha'	江苏宜兴 Yixing, Jiangsu
X9	大底青 <i>C. mollissima</i> 'Dadiqing'	江苏宜兴 Yixing, Jiangsu	X24	青毛软扎 <i>C. mollissima</i> 'Qingmaoruanzha'	江苏宜兴 Yixing, Jiangsu
X10	魁栗 <i>C. mollissima</i> 'Kuili'	浙江上虞 Shangyu, Zhejiang	X25	重阳蒲 <i>C. mollissima</i> 'Chongyangpu'	江苏溧阳 Liyang, Jiangsu
X11	泰安薄壳 <i>C. mollissima</i> 'Tai'an Baoke'	山东泰安 Tai'an, Shandong	X26	青扎 <i>C. mollissima</i> 'Qingzha'	江苏宜兴 Yixing, Jiangsu
X12	燕山红栗 <i>C. mollissima</i> 'Yanshan Hongli'	北京昌平 Changping, Beijing	X27	乌壳栗 <i>C. mollissima</i> 'Wukeli'	湖北罗田 Luotian, Hubei
X13	罗田早栗 <i>C. mollissima</i> 'Luotian Zaoli'	湖北罗田 Luotian, Hubei	X28	八月红 <i>C. mollissima</i> 'Bayuehong'	湖北罗田 Luotian, Hubei
X14	九家种 <i>C. mollissima</i> 'Jiujiazhong'	江苏宜兴 Yixing, Jiangsu	X29	玫瑰红 <i>C. mollissima</i> 'Meiguihong'	湖北罗田 Luotian, Hubei
X15	广德大红袍 <i>C. mollissima</i> 'Guangde Dahongpao'	安徽广德 Guangde, Anhui	X30	深刺大油栗 <i>C. mollissima</i> 'Shencidayouli'	安徽广德 Guangde, Anhui

1.2 果实表型性状测定

2019、2020年每年8—10月,于板栗果实完全成熟、栗苞自然开裂时,分批采集各品种的成熟栗苞,采集方法为从各品种6株树的树冠外围随机

采集成熟度较一致、无病虫害的栗苞,每个品种采集30~50个栗苞,装入网袋中并作好标记,带回实验室进行测定。

采用百分之一天平依次称量单个栗苞总质量,

而后取出坚果，记录每苞中坚果数量，并称量每苞中坚果总质量和单果质量；利用游标卡尺对坚果横径、坚果纵径进行测量。单果质量、坚果横径和坚果纵径均选取边果测量，并一一对应。果形指数为坚果横径与坚果纵径的比值；出籽率 = 每苞中坚果总质量/栗苞总质量 $\times 100\%$ 。

1.3 果实品质性状测定

果实表型性状测定完成后，每个品种随机选取 30 个坚果，称量鲜果总质量并记录。装入托盘放置于预热好的 105℃ 烘箱中杀青 15 min，取出后剥开坚果外壳和涩皮，并将果肉、外壳和涩皮一起重新放入烘箱，温度设置为 65℃，烘至完全干燥。烘干后称量总干质量，计算坚果含水率。坚果含水率 = (鲜质量 - 干质量) / 鲜质量 $\times 100\%$ 。

去除果壳和涩皮，利用磨样机将果肉磨成面粉状，放冷后装袋并作好标记，干燥保存用于测定果实品质指标。

总淀粉含量采用蒽酮比色法^[15]测定，直链淀粉含量按照 GB/T 15683—2008 的方法测定，支链淀粉含量 = 总淀粉含量 - 直链淀粉含量；可溶性糖含量、蛋白质含量、总氨基酸含量及脂肪含量分别按照 NY/T 1278—2007、GB 5009.5—2016（第一法）、GB/T 8314—2013 及 GB 5009.6—2016 的方法测定；钾含量、磷含量和硼含量按照 GB 5009.268—2016（第二法）测定；总多酚含量参照张春江等^[16]方法测定；总黄酮含量参照钟冬莲等^[17]方法测定。

1.4 数据分析

所有数据录入 Excel 2020 表格，分别采用 Origin 2021b、SAS 8.2、Excel 2020 等软件对数据进行相关性、主成分和灰色关联度分析。

主成分分析：利用 SAS 8.2 软件对板栗果实表型和品质共 20 项指标（分别用 $K1, K2, \dots, K20$ 表示）进行主成分分析。首先对原始数据进行标准化处理，计算特征值、方差贡献率、累计贡献率及特征向量；而后计算各品种各项指标的主成分分数，以方差贡献率为权重，得出各品种的综合得分。

灰色关联度分析：根据灰色系统理论^[18]，将 30 个板栗品种的果实表型和品质共 20 项指标作为一个灰色系统，以各项指标最优值构成参考数列 $X_0(j)$ ，以不同品种各指标的测定值构成比较数列 $X_i(j)$ 。

$$X_0(j) = \{X_0(1), X_0(2), \dots, X_0(n)\}$$

$$X_i(j) = \{X_i(1), X_i(2), \dots, X_i(n)\}$$

式中： j 表示测定品种的第 j 项指标， $j = 1, 2, \dots, n$ ($n = 20$)； i 表示第 i 个品种， $i = 1, 2, \dots, m$ ($m = 30$)。

然后对原始数据进行无量纲化处理，将其化为 0~1 的标准化数据，求出关联系数 (ε) 和加权关联度 (r)。

$$\varepsilon_i(j) = \frac{\min_j \min_i |X_0(j) - X_i(j)| + \rho \max_j \max_i |X_0(j) - X_i(j)|}{|X_0(j) - X_i(j)| + \rho \max_j \max_i |X_0(j) - X_i(j)|}$$

$$r_i = \sum_{j=1}^n \omega_j \cdot \varepsilon_i(j)$$

式中： $|X_0(j) - X_i(j)|$ 为 X_0 数列与 X_i 在 j 点的绝对差值； $\min_j \min_i |X_0(j) - X_i(j)|$ 为二级最小差； $\max_j \max_i |X_0(j) - X_i(j)|$ 为二级最大差； ρ 为分辨系数，一般取 $\rho = 0.5$ ； r_i 为第 i 个品种的加权关联度； ω_j 为第 j 项指标的权重值； $\varepsilon_i(j)$ 为第 i 个品种第 j 项指标的关联系数。

2 结果与分析

2.1 果实表型和品质性状统计特征值分析

对 30 个板栗品种果实表型和品质性状共 20 项指标数据及其特征值进行统计分析（表 2、3），果实表型和品质性状各项指标的变异系数存在明显差异，30 个品种 20 项指标的变异系数范围为 7.85%~41.20%。果实表型性状中，单果质量的变异系数最大，达 28.55%，其次为栗苞总质量，为 26.08%，表明栗苞和坚果质量在各品种间差异最为明显，存在广泛变异；坚果纵径变异系数最小（仅 9.07%），表明其不同品种间差异较小，性状较为稳定。果实品质指标中，脂肪含量变异系数最大，达 41.20%，其次为硼含量、可溶性糖含量和总黄酮含量，均在 30% 以上，也表明这些性状在不同品种间存在广泛变异；钾含量、总淀粉含量和坚果含水率变异系数较小，均在 10% 以下。

2.2 果实表型和品质性状相关性分析

30 个板栗品种果实表型和品质性状 20 项指标 Pearson 相关性分析结果（图 1）表明：各指标间分别有 23 对和 18 对相关达到极显著 ($P < 0.01$) 和显著水平 ($P < 0.05$)，而多数指标间相关性未达到显著水平，其中，钾含量 ($K18$) 与其它 19 个指标间相关均不显著，硼含量 ($K20$) 仅与总多酚含量 ($K16$) 显著相关，与其它指标相关均不显著。果实表型 7 个指标间，多数指标间为正相关

表2 板栗各品种果实表型性状统计特征值

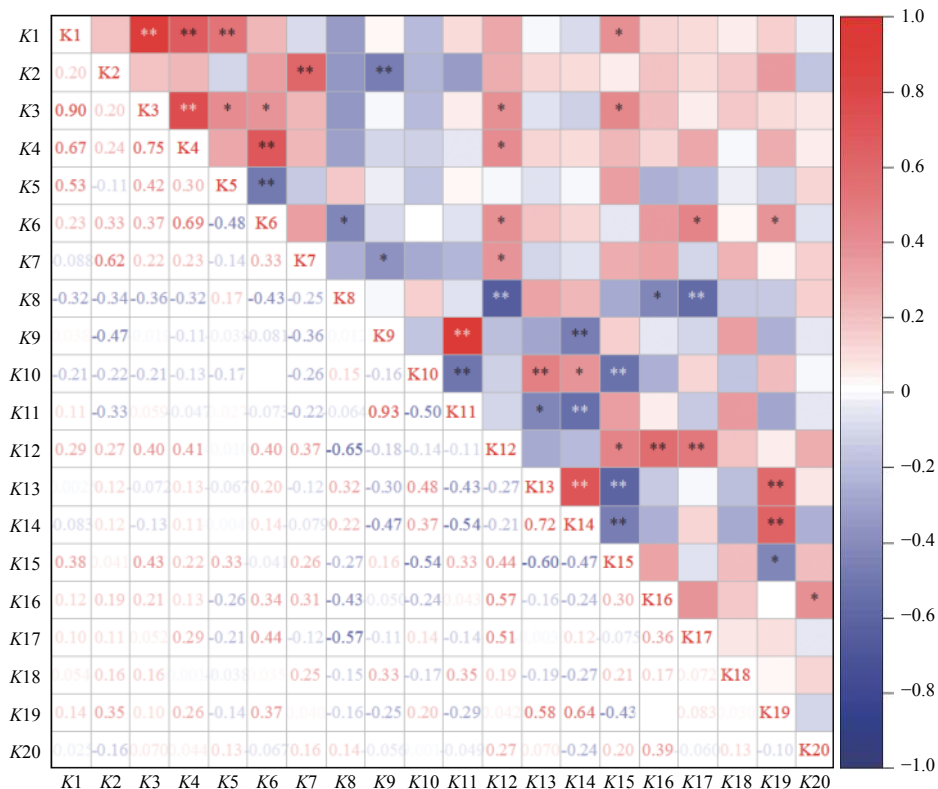
Table 2 Statistical characteristic values of fruit phenotypic traits of Chinese chestnut cultivars

编号 No.	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
	栗苞总质量/g Total weight of chestnut bud	每苞坚果数/个 Numbers of nuts per bud	单果质量/g Single nut weight	坚果横径/mm Transverse diameter of nut	坚果纵径/mm Longitudinal diameter of nut	果形指数 Nut shape index	出籽率/% Kernel rate
X1	75.15	2.72	12.08	32.04	27.13	1.18	39.88
X2	78.81	2.10	14.99	34.58	28.45	1.22	37.10
X3	51.44	2.60	11.37	31.87	24.78	1.29	51.34
X4	38.89	2.80	6.56	25.07	25.53	0.98	44.57
X5	37.18	2.73	5.82	24.93	21.64	1.15	39.08
X6	74.18	2.48	13.59	34.03	27.35	1.24	40.33
X7	80.40	2.43	11.51	32.35	26.09	1.24	33.36
X8	85.03	2.73	12.01	31.80	26.95	1.18	35.20
X9	92.77	2.54	13.91	34.80	27.02	1.29	34.17
X10	60.63	2.21	11.39	31.04	26.12	1.19	35.84
X11	39.28	2.50	8.11	27.02	24.48	1.10	47.76
X12	53.08	2.70	9.67	39.70	25.36	1.57	45.91
X13	89.22	2.93	14.81	34.99	28.25	1.24	44.22
X14	63.54	2.63	13.32	33.25	26.45	1.26	51.36
X15	95.62	2.67	16.90	36.08	29.53	1.22	43.19
X16	56.09	2.77	9.05	29.48	24.67	1.20	42.07
X17	74.84	2.55	12.49	32.99	27.27	1.21	39.92
X18	79.44	1.96	12.94	30.67	26.17	1.17	28.65
X19	65.44	2.36	10.55	29.68	24.69	1.20	34.76
X20	73.74	2.97	12.03	32.35	27.55	1.17	45.96
X21	92.47	2.97	17.64	36.97	29.63	1.25	49.05
X22	52.93	2.63	8.51	37.42	23.78	1.57	37.97
X23	75.48	2.67	14.72	34.54	27.82	1.24	46.50
X24	92.83	2.96	15.19	34.88	29.57	1.18	43.22
X25	94.75	2.96	13.58	33.90	29.08	1.17	36.91
X26	80.13	2.43	12.80	32.62	27.68	1.18	39.10
X27	92.56	3.00	17.58	37.74	22.83	1.65	50.88
X28	114.44	2.86	23.09	40.41	25.56	1.58	46.31
X29	88.88	2.90	17.92	36.82	24.07	1.53	46.09
X30	59.94	3.05	10.12	30.91	19.38	1.60	46.22
均值 Mean	73.64	2.66	12.81	33.17	26.16	1.27	41.90
最大值 Maximum	114.44	3.05	23.09	40.41	29.63	1.65	51.36
最小值 Minimum	37.18	1.96	5.82	24.93	19.38	0.98	28.65
标准差 SD	19.20	0.27	3.66	3.73	2.37	0.17	5.87
变异系数 CV/%	26.08	10.23	28.55	11.25	9.07	13.13	14.02

表3 板栗各品种果实品质性状统计特征值

Table 3 Statistical characteristic values of fruit quality traits of Chinese chestnut cultivars

编号 No.	K8	K9	K10	K11	K12	K13	K14	K15	K16	K17	K18	K19	K20
	坚果含水率/% Nut moisture content	总淀粉含量/% Total starch content	直链淀粉含量/% Amylose content	支链淀粉含量/% Amylopectin content	可溶性糖含量/% Soluble sugar content	蛋白质含量/% Protein content	总氨基酸含量/% Total amino acid content	脂肪含量/% Fat content	总多酚含量/(mg·kg ⁻¹) Total polyphenol content	总黄酮含量/(mg·kg ⁻¹) Total flavonoids content	钾含量/(mg·kg ⁻¹) K content	磷含量/(mg·kg ⁻¹) P content	硼含量/(mg·kg ⁻¹) B content
X1	46.78	58.3	16.8	41.5	6.21	7.00	8.16	1.5	1028	1.3	5177	1488	8.41
X2	54.56	69.9	15.1	54.8	6.32	7.83	9.85	1.5	1053	1.3	6242	1436	8.94
X3	45.74	68.7	7.7	61.0	9.01	3.44	5.63	3.5	1760	1.7	6480	1120	9.37
X4	52.49	64.8	15.6	49.2	2.43	6.73	8.98	1.1	772	1.0	6475	1414	3.94
X5	53.67	60.1	10.9	49.2	3.52	6.01	7.60	0.4	907	1.4	5889	1179	5.25
X6	54.46	63.0	13.9	49.1	2.43	7.52	9.63	1.7	1017	1.4	5394	1294	7.31
X7	54.46	78.1	12.6	65.5	3.92	7.14	5.37	2.0	1012	1.1	6186	1022	9.35
X8	46.25	68.9	10.3	58.6	5.06	4.51	8.27	2.0	875	1.2	5785	1547	3.50
X9	51.75	69.9	11.1	58.8	3.73	5.56	7.57	2.2	1079	1.6	5060	983	3.11
X10	52.51	73.8	13.7	60.1	2.44	6.14	7.55	0.8	879	1.3	6087	1218	2.18
X11	47.35	68.4	12.5	55.9	4.79	4.66	6.26	1.4	1011	1.3	5082	794	6.36
X12	48.49	68.2	11.7	56.5	3.69	6.85	9.05	1.0	666	1.3	5443	1510	3.14
X13	50.37	67.6	11.4	56.2	5.30	6.59	7.95	1.6	887	1.1	5719	1338	4.48
X14	46.78	66.0	11.6	54.4	6.77	5.24	6.24	2.7	979	1.1	5936	1069	8.08
X15	47.93	59.2	10.8	48.4	6.73	6.90	9.58	2.2	827	1.4	5442	1434	4.89
X16	53.57	64.7	13.7	51.0	4.61	7.58	9.42	1.1	844	1.4	5608	1526	5.26
X17	48.20	67.6	12.9	54.7	4.76	4.62	7.38	2.5	770	2.4	6568	905	4.74
X18	46.27	75.7	11.1	64.6	6.19	4.37	6.67	2.8	972	1.8	5285	1041	4.28
X19	41.22	70.1	17.5	52.6	6.41	5.70	7.73	1.7	951	2.1	5784	1126	3.01
X20	44.50	69.3	9.3	60.0	7.20	5.13	7.57	3.5	995	1.7	6017	1119	4.57
X21	46.73	62.5	9.3	53.2	8.41	5.41	7.15	2.9	968	1.5	6450	1046	5.28
X22	45.84	58.0	15.9	42.1	8.89	7.25	9.89	0.8	1099	3.6	5343	1397	6.58
X23	52.47	60.4	12.5	47.9	3.92	6.68	9.41	2.0	1060	1.3	5356	1135	5.28
X24	47.34	53.4	13.3	40.1	7.89	6.09	7.49	2.0	1254	1.8	5325	1174	5.09
X25	42.68	70.2	10.5	59.7	4.75	6.88	8.39	1.3	1157	2.5	6136	1477	5.51
X26	41.86	66.8	10.1	56.7	5.83	6.47	7.73	1.5	1230	2.1	5831	1333	6.57
X27	41.10	67.2	12.9	54.3	8.47	5.99	7.77	2.0	1455	2.2	6403	1429	5.26
X28	42.05	64.0	11.6	52.4	5.86	5.74	6.92	2.3	1010	1.6	5960	1420	5.63
X29	40.27	71.7	13.5	58.2	9.04	5.93	7.03	1.4	1235	2.4	6329	1433	4.86
X30	43.89	61.7	12.1	49.6	5.70	8.15	9.82	1.6	1361	1.9	5666	1524	3.46
均值 Mean	47.72	66.27	12.40	53.88	5.68	6.14	7.94	1.8	1037	1.7	5815	1264	5.46
最大值 Maximum	54.56	78.10	17.50	65.50	9.04	8.15	9.89	3.5	1760	3.6	6568	1547	9.37
最小值 Minimum	40.27	53.40	7.70	40.10	2.43	3.44	5.37	0.4	666	1.0	5060	794	2.18
标准差 SD	4.45	5.52	2.27	6.29	1.98	1.13	1.27	0.8	221	0.6	456	210	1.92
变异系数 CV/%	9.32	8.32	18.29	11.67	34.83	18.44	15.96	41.20	21.35	33.58	7.85	16.61	35.26



注: *表示显著相关, **表示极显著相关。

Notes: * means significant correlation, ** means extremely significant correlation.

图 1 板栗果实表型和品质性状相关性分析

Fig. 1 Correlation analysis of fruit phenotypic and quality traits of Chinese chestnut

关系, 如单果质量 (K3) 与其它 6 个指标均为正相关关系, 且与栗苞总质量 (K1)、坚果横径 (K4)、坚果纵径 (K5) 和果形指数 (K6) 4 个指标相关性达到极显著或显著水平, 其中, 单果质量与栗苞总质量正相关系数最大, 达 0.90。而果实品质 13 个指标间, 多数为负相关关系, 其中坚果含水率 (K8) 与可溶性糖含量 (K12) 极显著负相关系数最大, 为 -0.65; 坚果含水率 (K8)、总淀粉含量 (K9)、直链淀粉含量 (K10)、支链淀粉含量 (K11)、蛋白质含量 (K13) 与其它指标间相关性多为负相关关系; 总淀粉含量与支链淀粉含量正相关系数最大, 达 0.93。所有品质指标间约 30% 相关性达到显著或极显著水平, 表明 13 个品质指标间关系较紧密。果实表型 7 个指标与品质性状 13 个指标多数未达到显著相关水平, 但可溶性糖含量与单果质量、坚果横径、果形指数和出籽率 (K7) 4 项表型指标显著正相关, 果形指数与坚果含水率、可溶性糖含量、总黄酮含量 (K17) 和磷含量 (K19) 4 项品质指标显著相关。表明板栗果实表型与品质性状间既存在一定的关联性, 又相对

较独立。

2.3 果实表型和品质性状主成分分析

对 30 个板栗品种果实表型和品质性状 20 项指标进行主成分分析 (表 4), 前 5 个主成分的方差贡献率分别为 30.80%、17.63%、13.53%、10.78% 和 6.51%, 累计贡献率为 79.25%, 保留了供试板栗品种果实表型和品质性状近 80% 的信息, 因此, 可以选取相对独立的前 5 个主成分作为不同板栗品种果实表型和品质性状的综合评价指标, 以达到降维的目的。第 1 主成分可溶性糖 (K12) 和脂肪含量 (K15) 的特征向量值较大, 分别为 0.5095 和 0.5202, 即第 1 主成分主要代表果实的风味口感因子; 第 2 主成分可溶性糖含量 (K12)、蛋白质含量 (K13)、总氨基酸含量 (K14)、总黄酮含量 (K17) 和磷含量 (K19) 的特征向量正值较大, 脂肪含量 (K15) 的特征向量负值较大, 分别为 0.3289、0.3235、0.3005、0.3404、0.3829 及 -0.3546, 主要反映果实的营养和功能成分因子; 第 3 主成分硼含量 (K20) 的特征向量正值较大, 栗苞总质量 (K1) 和单果质量 (K3) 的特征向量

负值较大,分别为0.6272、-0.4671和-0.3566;第4主成分硼含量($K20$)和蛋白质含量($K13$)的特征向量正值较大,总黄酮含量($K17$)特征向量负值较大,分别为0.6386、0.3197和-0.3752;

第5主成分出籽率($K7$)和每苞坚果数($K2$)的特征向量正值较大,总黄酮含量($K17$)的特征向量负值较大,分别为0.5758、0.3635和-0.4427。

表4 板栗果实表型和品质性状主成分分析

Table 4 Principal component analysis of fruit phenotypic and quality traits of Chinese chestnut

	主成分 Principal component				
	1	2	3	4	5
特征值 Eigen value	0.1147	0.0657	0.0504	0.0402	0.0242
方差贡献率 Contribution rate/%	30.80	17.63	13.53	10.78	6.51
累计贡献率 Cumulate contribution rate/%	30.80	48.43	61.96	72.74	79.25
特征向量 Eigenvector					
$K1$	0.2836	0.1778	-0.4671	0.2891	-0.2449
$K2$	0.0544	0.1399	-0.0451	-0.0555	0.3635
$K3$	0.3148	0.1740	-0.3566	0.2788	-0.0483
$K4$	0.1384	0.1868	-0.1452	0.1019	-0.0165
$K5$	0.0589	-0.0550	-0.1373	0.1903	-0.0854
$K6$	0.0848	0.2502	-0.0161	-0.0820	0.0726
$K7$	0.1252	0.0492	0.1016	-0.0140	0.5758
$K8$	-0.1362	-0.1188	0.0166	0.1919	0.0249
$K9$	0.0102	-0.1264	-0.0524	-0.0339	-0.1982
$K10$	-0.1827	0.1964	0.1203	0.0639	-0.2723
$K11$	0.0610	-0.2032	-0.0946	-0.0575	-0.1636
$K12$	0.5095	0.3289	0.2909	-0.2462	0.0037
$K13$	-0.2098	0.3235	0.0173	0.3197	0.0413
$K14$	-0.1855	0.3005	-0.0683	0.0842	0.1599
$K15$	0.5202	-0.3546	-0.1133	0.0129	0.1636
$K16$	0.2116	0.0971	0.2370	-0.0528	0.0306
$K17$	0.1144	0.3404	0.1368	-0.3752	-0.4427
$K18$	0.0565	-0.0202	0.0204	-0.0157	0.0299
$K19$	-0.0891	0.3829	-0.0671	0.1223	0.2240
$K20$	0.1967	-0.0669	0.6272	0.6386	-0.1352

2.4 果实表型和品质性状灰色关联度分析

根据灰色系统理论,并参照前人研究^[19-20],以所有参试品种各指标的最大值作为最优值,构成最优样本,即参考数列。对30个板栗品种果实表型和品质性状20项指标进行无量纲化处理,计算绝对差值。进一步根据关联度系数公式分别计算各品种各项指标的关联度系数,结果见表5。由于板栗果实表型和品质各性状特征的重要性不同,因此,需要根据其不同指标的重要程度确定不同的权重系数。利用各性状的关联系数占关联系数总和的比值来确定各性状的权重值,各性状权重值排序为:钾

含量 > 坚果纵径 > 坚果含水率 > 每苞坚果数 > 总淀粉含量 > 磷含量 > 支链淀粉含量 > 出籽率 > 坚果横径 > 总氨基酸含量 > 果形指数 > 蛋白质含量 > 直链淀粉含量 > 可溶性糖含量 > 栗苞总质量 > 硼含量 > 总多酚含量 > 单果质量 > 脂肪含量 > 总黄酮含量(表5)。

2.5 板栗品种综合评价

根据主成分模型公式和加权关联度计算方法得到板栗品种综合评价结果(表6)。从表6可知:采用2种方法得出的30个板栗品种果实表型和品质性状综合评价排序结果有一定的出入,但总体趋

表 5 板栗各品种果实表型和品质性状的关联度系数

Table 5 Correlation coefficient of fruit phenotypic and quality traits of Chinese chestnut cultivars

关联度系数 Correlation coefficient	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11	K12	K13	K14	K15	K16	K17	K18	K19	K20
ϵ_1	0.5633	0.8047	0.4815	0.6813	0.8402	0.6080	0.6646	0.7565	0.6360	0.9172	0.5473	0.5859	0.7584	0.7169	0.4366	0.5157	0.4094	0.6765	0.9207	0.8121
ϵ_2	0.5872	0.5875	0.5581	0.7543	0.9173	0.6262	0.6147	1.0000	0.8084	0.7636	0.7305	0.5955	0.9186	0.9910	0.4366	0.5244	0.4094	0.8992	0.8606	0.9061
ϵ_3	0.4458	0.7510	0.4659	0.6770	0.7300	0.6665	0.9992	0.7326	0.7863	0.4416	0.8657	0.9926	0.4339	0.5070	1.0000	1.0000	0.4563	0.9706	0.6161	1.0000
ϵ_4	0.4015	0.8450	0.3822	0.5384	0.7620	0.5218	0.7702	0.9210	0.7223	0.8031	0.6403	0.3772	0.7177	0.8280	0.3924	0.4410	0.3801	0.9690	0.8374	0.4332
ϵ_5	0.3961	0.8111	0.3719	0.5362	0.6216	0.5938	0.6494	0.9646	0.6577	0.5401	0.6403	0.4204	0.6278	0.6567	0.3334	0.4775	0.4202	0.8108	0.6506	0.5018
ϵ_6	0.5573	0.7050	0.5185	0.7373	0.8521	0.6419	0.6733	0.9957	0.6961	0.6828	0.6388	0.3772	0.8514	0.9440	0.4627	0.5120	0.4202	0.7125	0.7303	0.6683
ϵ_7	0.5982	0.6856	0.4691	0.6893	0.7877	0.6393	0.5582	0.9958	1.0000	0.6127	1.0000	0.4388	0.7814	0.4922	0.5082	0.5103	0.3894	0.8839	0.5662	0.9952
ϵ_8	0.6328	0.8111	0.4801	0.6753	0.8305	0.6077	0.5846	0.7441	0.7899	0.5184	0.8079	0.5015	0.4979	0.7300	0.5082	0.4683	0.3992	0.7879	1.0000	0.4142
ϵ_9	0.7005	0.7250	0.5269	0.7614	0.8339	0.6677	0.5696	0.8958	0.8084	0.5477	0.8124	0.4299	0.5822	0.6537	0.5439	0.5337	0.4436	0.6586	0.5485	0.3987
ϵ_{10}	0.4850	0.6162	0.4664	0.6564	0.7892	0.6119	0.5943	0.9219	0.8894	0.6710	0.8431	0.3776	0.6423	0.6518	0.3647	0.4694	0.4094	0.8581	0.6756	0.3660
ϵ_{11}	0.4028	0.7114	0.4057	0.5721	0.7183	0.5715	0.8632	0.7701	0.7810	0.6079	0.7514	0.4851	0.5084	0.5468	0.4247	0.5100	0.4094	0.6619	0.4764	0.5796
ϵ_{12}	0.4524	0.7952	0.4326	0.9616	0.7545	0.8935	0.8066	0.7992	0.7775	0.5720	0.7632	0.4280	0.7352	0.8391	0.3827	0.4161	0.4094	0.7211	0.9488	0.3998
ϵ_{13}	0.6677	0.9219	0.5528	0.7676	0.9046	0.6389	0.7610	0.8521	0.7671	0.5596	0.7572	0.5170	0.6982	0.6931	0.4493	0.4717	0.3894	0.7741	0.7663	0.4591
ϵ_{14}	0.4989	0.7652	0.5114	0.7142	0.8049	0.6492	1.0000	0.7565	0.7408	0.5678	0.7233	0.6382	0.5537	0.5455	0.6596	0.4995	0.3894	0.8215	0.5891	0.7629
ϵ_{15}	0.7292	0.7799	0.6231	0.8053	0.9926	0.6295	0.7358	0.7847	0.6467	0.5364	0.6291	0.6341	0.7428	0.9339	0.5439	0.4552	0.4202	0.7209	0.8584	0.4809
ϵ_{16}	0.4648	0.8277	0.4214	0.6208	0.7255	0.6154	0.7101	0.9606	0.7208	0.6710	0.6667	0.4747	0.8636	0.9031	0.3924	0.4597	0.4202	0.7519	0.9703	0.5024
ϵ_{17}	0.5614	0.7313	0.4911	0.7069	0.8477	0.6230	0.6653	0.7915	0.7671	0.6276	0.7287	0.4833	0.5056	0.6357	0.6079	0.4405	0.5706	1.0000	0.5163	0.4727
ϵ_{18}	0.5915	0.5545	0.5019	0.6475	0.7914	0.6036	0.5005	0.7444	0.9351	0.5477	0.9699	0.5842	0.4885	0.5763	0.6889	0.4973	0.4697	0.6939	0.5752	0.4491
ϵ_{19}	0.5085	0.6616	0.4491	0.6250	0.7265	0.6189	0.5781	0.6443	0.8122	1.0000	0.6922	0.6035	0.5957	0.6697	0.4627	0.4907	0.5153	0.7877	0.6194	0.3949
ϵ_{20}	0.5546	0.9434	0.4804	0.6893	0.8632	0.6047	0.8081	0.7061	0.7972	0.4859	0.8406	0.6851	0.5445	0.6537	1.0000	0.5047	0.4563	0.8407	0.6155	0.4637
ϵ_{21}	0.6976	0.9434	0.6526	0.8388	1.0000	0.6439	0.9079	0.7552	0.6892	0.4859	0.7023	0.8640	0.5685	0.6152	0.7209	0.4960	0.4316	0.9610	0.5776	0.5036
ϵ_{22}	0.4518	0.7636	0.4123	0.8568	0.6916	0.9027	0.6295	0.7347	0.6325	0.8289	0.5535	0.9639	0.8004	1.0000	0.3647	0.5411	1.0000	0.7037	0.8204	0.5980
ϵ_{23}	0.5654	0.7799	0.5499	0.7530	0.8787	0.6404	0.8239	0.9202	0.6615	0.6079	0.6224	0.4388	0.7106	0.9012	0.5082	0.5269	0.4094	0.7059	0.6245	0.5036
ϵ_{24}	0.7011	0.9390	0.5644	0.7640	0.9956	0.6074	0.7365	0.7699	0.5834	0.6486	0.5332	0.7769	0.6367	0.6460	0.5082	0.6064	0.4697	0.7006	0.6475	0.4923
ϵ_{25}	0.7202	0.9410	0.5182	0.7333	0.9594	0.6007	0.6115	0.6704	0.8141	0.5254	0.8334	0.4827	0.7397	0.7449	0.4134	0.5638	0.5918	0.8707	0.9073	0.5181
ϵ_{26}	0.5963	0.6877	0.4985	0.6967	0.8704	0.6070	0.6497	0.6554	0.7538	0.5116	0.7673	0.5550	0.6824	0.6697	0.4366	0.5953	0.5153	0.7979	0.7620	0.5971
ϵ_{27}	0.6985	0.9659	0.6500	0.8699	0.6588	1.0000	0.9793	0.6422	0.7604	0.6276	0.7215	0.8754	0.6256	0.6739	0.5082	0.7188	0.5325	0.9463	0.8531	0.5024
ϵ_{28}	1.0000	0.8791	1.0000	1.0000	0.7632	0.9111	0.8184	0.6588	0.7104	0.5678	0.6889	0.5573	0.5996	0.5959	0.5637	0.5096	0.4436	0.8271	0.8436	0.5260
ϵ_{29}	0.6648	0.9014	0.6643	0.8328	0.7023	0.8564	0.8120	0.6283	0.8439	0.6596	0.7990	1.0000	0.6192	0.6050	0.4247	0.5975	0.5706	0.9241	0.8574	0.4792
ϵ_{30}	0.4819	1.0000	0.4410	0.6533	0.5614	0.9273	0.8156	0.6936	0.6784	0.5894	0.6460	0.5452	1.0000	0.9843	0.4493	0.6614	0.4840	0.7633	0.9675	0.4125
权重系数 ω	0.0434	0.0596	0.0389	0.0545	0.0604	0.0508	0.0547	0.0597	0.0567	0.0468	0.0548	0.0442	0.0501	0.0540	0.0387	0.0400	0.0351	0.0605	0.0555	0.0415

势较一致, 乌壳栗、浅刺大板栗、玫瑰红、八月红、处暑红、九月寒等 6 个长江中下游区板栗品种均排在前列。将 2 种评价方法的品种综合得分值进行相关性分析, 其相关系数为 0.7621, 具有极显著 ($P < 0.01$) 的正相关性。因此, 这 2 种方法的评价结果具有较好的一致性, 且能够相互验证。采用主成分分析法得出的 30 个品种综合得分值范围为

-0.24674~0.23400, 差值为 0.48074; 采用灰色关联度分析法得出的 30 个品种关联度值范围为 0.6046~0.7542, 差值为 0.1496。说明主成分综合评价结果变异较大, 灰色关联度评价结果相对稳定。

3 讨论

果实表型和品质性状是板栗最重要的经济性

表6 基于2种分析方法的板栗各品种果实表型和品质性状的综合得分值及排序
Table 6 Comprehensive score and ranking of fruit phenotypic and quality traits of Chinese chestnut cultivars based on two analysis methods

主成分分析 Principal component analysis			灰色关联度分析 Grey correlation analysis		
品种 Cultivars	综合得分值 Comprehensive score	排序 Ranking	品种 Cultivars	关联度值 Correlation value	排序 Ranking
浅刺大板栗 <i>C. mollissima</i> 'Qiancidabanli'	0.23400	1	乌壳栗 <i>C. mollissima</i> 'Wukeli'	0.7542	1
乌壳栗 <i>C. mollissima</i> 'Wukeli'	0.19234	2	九月寒 <i>C. mollissima</i> 'Jiuyuehan'	0.7434	2
玫瑰红 <i>C. mollissima</i> 'Meiguihong'	0.14743	3	玫瑰红 <i>C. mollissima</i> 'Meiguihong'	0.7359	3
处暑红 <i>C. mollissima</i> 'Chushuhong'	0.14233	4	八月红 <i>C. mollissima</i> 'Bayuehong'	0.7337	4
八月红 <i>C. mollissima</i> 'Bayuehong'	0.13743	5	浅刺大板栗 <i>C. mollissima</i> 'Qiancidabanli'	0.7304	5
青毛软扎 <i>C. mollissima</i> 'Qingmaoruazha'	0.10949	6	处暑红 <i>C. mollissima</i> 'Chushuhong'	0.7197	6
怀九 <i>C. mollissima</i> 'Huajiu'	0.10223	7	怀九 <i>C. mollissima</i> 'Huajiu'	0.7193	7
九家种 <i>C. mollissima</i> 'Jiujiazhong'	0.09715	8	重阳蒲 <i>C. mollissima</i> 'Chongyangpu'	0.7084	8
九月寒 <i>C. mollissima</i> 'Jiuyuehan'	0.07613	9	深刺大油栗 <i>C. mollissima</i> 'Shencidayouli'	0.7070	9
蜜蜂球 <i>C. mollissima</i> 'Mifengqiu'	0.07013	10	广德大红袍 <i>C. mollissima</i> 'Guangde Dahongpao'	0.7025	10
广德大红袍 <i>C. mollissima</i> 'Guangde Dahongpao'	0.06520	11	铁粒头 <i>C. mollissima</i> 'Tielitou'	0.6979	11
桂花香 <i>C. mollissima</i> 'Guihuaxiang'	0.05729	12	桂花香 <i>C. mollissima</i> 'Guihuaxiang'	0.6919	12
青扎 <i>C. mollissima</i> 'Qingzha'	0.03368	13	罗田早栗 <i>C. mollissima</i> 'Luotian Zaoli'	0.6917	13
深刺大油栗 <i>C. mollissima</i> 'Shencidayouli'	0.00511	14	燕山红栗 <i>C. mollissima</i> 'Yanshan Hongli'	0.6916	14
重阳蒲 <i>C. mollissima</i> 'Chongyangpu'	0.00226	15	粘底板 <i>C. mollissima</i> 'Zhandiban'	0.6882	15
铁粒头 <i>C. mollissima</i> 'Tielitou'	-0.01801	16	石丰 <i>C. mollissima</i> 'Shifeng'	0.6814	16
罗田早栗 <i>C. mollissima</i> 'Luotian Zaoli'	-0.02138	17	蜜蜂球 <i>C. mollissima</i> 'Mifengqiu'	0.6807	17
焦扎 <i>C. mollissima</i> 'Jiaozha'	-0.02550	18	青毛软扎 <i>C. mollissima</i> 'Qingmaoruazha'	0.6802	18
粘底板 <i>C. mollissima</i> 'Zhandiban'	-0.04771	19	焦扎 <i>C. mollissima</i> 'Jiaozha'	0.6762	19
六月爆 <i>C. mollissima</i> 'Liuyuebao'	-0.05665	20	九家种 <i>C. mollissima</i> 'Jiujiazhong'	0.6745	20
浙早1号 <i>C. mollissima</i> 'Zhezao No.1'	-0.05677	21	尖顶油栗 <i>C. mollissima</i> 'Jiandingyouli'	0.6619	21
毛板红 <i>C. mollissima</i> 'Maobanhong'	-0.07845	22	毛板红 <i>C. mollissima</i> 'Maobanhong'	0.6614	22
燕山早丰 <i>C. mollissima</i> 'Yanshan Zaofeng'	-0.08714	23	青扎 <i>C. mollissima</i> 'Qingzha'	0.6601	23
石丰 <i>C. mollissima</i> 'Shifeng'	-0.08780	24	六月爆 <i>C. mollissima</i> 'Liuyuebao'	0.6559	24
泰安薄壳 <i>C. mollissima</i> 'Tai'an Baoke'	-0.10192	25	大底青 <i>C. mollissima</i> 'Dadiqing'	0.6488	25
大底青 <i>C. mollissima</i> 'Dadiqing'	-0.10458	26	魁栗 <i>C. mollissima</i> 'Kuili'	0.6420	26
燕山红栗 <i>C. mollissima</i> 'Yanshan Hongli'	-0.13631	27	燕山早丰 <i>C. mollissima</i> 'Yanshan Zaofeng'	0.6360	27
叶里藏 <i>C. mollissima</i> 'Yelicang'	-0.18618	28	浙早1号 <i>C. mollissima</i> 'Zhezao No.1'	0.6327	28
尖顶油栗 <i>C. mollissima</i> 'Jiandingyouli'	-0.21702	29	叶里藏 <i>C. mollissima</i> 'Yelicang'	0.6060	29
魁栗 <i>C. mollissima</i> 'Kuili'	-0.24674	30	泰安薄壳 <i>C. mollissima</i> 'Tai'an Baoke'	0.6046	30

状,受自身遗传因素和外部环境的影响,不同板栗品种果实表型和品质性状差异较大,对其进行科学评价是有效利用和选择优良品种并推广栽培的基础和前提^[12]。本研究中,30个板栗品种果实表型和品质性状20项指标存在不同程度的变异,变异系数范围为7.85%~41.20%,其中,果实表型7项指

标平均变异系数为16.05%,果实品质13项指标的平均变异系数为20.98%,且可溶性糖含量、脂肪含量、总黄酮含量和硼含量的变异系数均在30%以上,脂肪含量变异系数高达41.20%,而果实表型中单果质量变异系数最大,为28.55%,表明板栗果实品质性状较表型性状变异更广泛。一般研究

认为,果实形态性状是相对稳定的植物学性状。刘国彬等^[21-22]研究发现,板栗农家品种、杂交后代的坚果高度、宽度、厚度等形态指标变异系数均在15.0%以内,而单粒质量变异系数较大,最高达26.6%。江锡兵等^[23]对我国板栗地方品种表型多样性进行研究,发现其坚果品质性状的平均变异系数大于坚果表型性状的平均变异系数。本研究结果与上述研究结果具有一致性。

植物的许多性状之间存在着一定的相关性,而进行相关性分析可以直观地发现各性状间的内在联系。本研究中,板栗果实表型和品质性状各项指标间分别有23对和18对相关系数达到极显著($P < 0.01$)和显著水平($P < 0.05$),其中,总淀粉含量与支链淀粉含量正相关系数最大,达0.93,二者高度相关,说明支链淀粉既是板栗果实淀粉的主要组成部分,同时支链淀粉含量的高低又直接影响总淀粉含量的高低,二者变化趋势具有高度一致性。淀粉是板栗坚果的主要成分,是影响坚果口感和加工品质的主要因素之一。而淀粉由支链淀粉和直链淀粉两部分组成,诸多研究表明,板栗支链淀粉含量越高则糯性越强,支链淀粉含量是反映板栗糯性的重要指标^[24-25]。同时,研究发现,果实品质13项指标间约30%达到显著或极显著相关水平,表明这些品质指标间关系较为紧密,某一指标含量的高低可能受到其它指标的影响。此外,果实表型7项指标与品质性状13项指标多数未达到显著相关水平,表明板栗果实表型与品质性状间既存在一定的关联性,又相对较独立,与江锡兵等^[13]前期研究结果相类似。

主成分分析和灰色关联度分析均是目前常用的多元统计方法,二者分析原理不同,但均可以较为全面、客观地对表型、品质等性状进行综合评价。主成分分析是将多个相关变量转化为少数相关性较小的综合指标,通过计算主成分综合得分,使得不同品种的性状具有可比性。谭秋锦等^[26]采用主成分分析法对12份澳洲坚果优良种质果仁的主要营养成分进行分析和评价,将10项营养成分指标简化为相互独立的4个主成分,累计贡献率87.91%,4个代表因子可作为澳洲坚果种质鉴定评价果实品质的重要性状。本研究中,通过主成分分析,将20项板栗果实表型和品质性状指标转化为5项综合因子,其累计方差贡献率达79.25%,反映了果实表型和品质性状的大部分信息,其中,第1主成

分主要反映果实的风味口感因子,第2主成分代表果实的营养和功能成分因子,第3和第4主成分分别代表果实质量和元素含量因子,第5主成分反映出籽率、出籽比例。各主成分间相对较独立,可避免重复信息的干扰并简化选择程序,便于综合评价候选品种,评价结果具有准确性和科学性。

灰色关联度分析法是以矩阵的形式将所有性状两两间的关联度直观呈现出来,通过加权关联度判断与理想品种的差距。采用灰色关联度分析法对板栗果实表型和品质性状进行分析,可以摆脱指标多、难以选择的困境,达到全方位评价的标准。本研究根据灰色系统理论,将30个板栗品种的果实表型和品质性状共20项指标作为一个灰色系统,以所有参试品种各指标的最大值作为最优值,并利用各性状的关联系数占关联系数总和的比值来确定各性状的权重值,即客观权重系数法。结果显示20个指标中钾含量权重系数最大,为0.0605,其次为坚果纵径、坚果含水率、每苞坚果数、总淀粉含量等,而总黄酮含量权重系数最小,为0.0351。客观权重系数是根据每个指标的变异程度及其在所有指标中的比重自动确定,主要依据数据的测定结果,得出的结论较客观和真实。而主观权重系数易受个人偏好影响,主观随意性较大,所得结论与真实结果往往有一定的偏差。本研究的目的在于对长江中下游区板栗主栽品种果实表型和品质性状进行客观、科学的综合评价,宜采用客观权重系数法。

本研究中,主成分分析和灰色关联度分析结果具有较好的一致性,2种分析方法得出各品种综合得分值的相关系数达到极显著相关水平。同时,由于2种评价方法的原理不同,导致二者结果有一定的偏差,但总体趋势较一致。2种方法兼顾了评价性状权重的客观性,且能相互佐证,在综合评价中具有较强的可行性和科学性。

4 结论

30个供试板栗品种果实表型和品质性状20项指标存在不同程度的变异,变异系数范围为7.85%~41.20%;各指标间分别有23对和18对相关系数达到极显著($P < 0.01$)和显著水平($P < 0.05$),而多数指标间相关性未达到显著水平;果实表型与品质性状间既存在一定的关联性,又相对较独立;主成分分析法和灰色关联度分析法得出的30个板栗品种果实性状综合表现排序总体趋势

较为一致,乌壳栗、浅刺大板栗、玫瑰红、八月红、处暑红、九月寒 6 个长江中下游区板栗品种均排在前列,且 2 种方法得出的品种综合得分值相关系数为 0.7621,达极显著水平,相互验证。研究结果为筛选适宜浙江省种植推广的板栗品种提供了理论依据。

参考文献:

- [1] 刘伟,康明,黄宏文. 中国板栗EST-SNP和抗栗疫病候选基因分析及同源对比[J]. 植物科学学报, 2012, 30(1): 55-63.
- [2] Xing Y, Liu Y, Zhang Q, et al. Hybrid de novo genome assembly of Chinese chestnut (*Castanea mollissima*)[J]. Giga Science, 2019, 8(9): 1-7.
- [3] Jiang N, Yang Q, Fan X L, et al. Identification of six *Cytospora* species on Chinese chestnut in China[J]. Mycokeys, 2020, 62: 1-25.
- [4] 张宇和,柳 鑫,梁维坚,等. 中国果树志: 板栗榛子卷[M]. 北京: 中国林业出版社, 2005: 62-66.
- [5] 陈顺伟,彭华正,江美都,等. 浙江主栽板栗营养物质的品种和地域差异分析[J]. 经济林研究, 2000, 18(3): 13-16.
- [6] 吴大瑜,江锡兵,龚榜初,等. 浙江省板栗产业发展现状及建议[J]. 中国果树, 2019(1): 103-106,109.
- [7] 苏淑钗,林 莉,邓钰薪,等. 华北品种群板栗品质的综合评价[J]. 经济林研究, 2009, 27(2): 20-27.
- [8] 杨 晴,齐永顺,张京政,等. 燕山板栗营养品质的模糊综合评价[J]. 经济林研究, 2008, 26(1): 62-66.
- [9] 杜常健,孙佳成,武妍妍,等. 燕山北部山区板栗优良种质资源收集及其品质评价[J]. 林业科学研究, 2020, 33(3): 1-11.
- [10] 陆 超,郭素娟. 16份板栗种质资源主要营养品质分析与综合评价[J]. 食品工业科技, 2016, 37(23): 357-361,376.
- [11] 张继亮,孙海伟,马玉敏,等. 板栗品质的模糊综合评价[J]. 山东农业大学学报:自然科学版, 2001, 32(4): 475-478.
- [12] 朱灿灿,姬付勇,耿国民. 不同板栗品种(单株)果实重要农艺性状的模糊综合评价[J]. 经济林研究, 2017, 35(12): 13-21.
- [13] 江锡兵,龚榜初,汤 丹,等. 中国部分板栗品种坚果表型及营养成分遗传变异分析[J]. 西北植物学报, 2013, 33(11): 2216-2224.
- [14] 任丽娟,陈雅坤,单丽艳,等. 基于主成分和灰色关联度对全株玉米青贮综合品质的分析[J]. 中国畜牧兽医, 2021, 48(4): 1211-1221.
- [15] 郝小燕,张巨松,顾卫红,等. 响应面法及三波长技术优化葱酮比色法测定豆类淀粉含量的研究[J]. 中国粮油学报, 2009, 24(4): 168-172.
- [16] 张春江,吕飞杰,台建祥,等. 槟榔果及其制品中总酚和单宁含量的测定[J]. 食品研究与开发, 2008, 29(6): 119-121.
- [17] 钟冬莲,韩素芳,丁 明. 分光光度法测定西红柿中总黄酮含量的方法比较[J]. 食品科学, 2009, 30(22): 272-274.
- [18] 谭学瑞,邓聚龙. 灰色关联分析: 多因素统计分析新方法[J]. 统计研究, 1995(3): 46-48.
- [19] 李 慧,魏天军. 基于主成分分析和灰色关联度分析的鲜食枣果实品质评价[J]. 经济林研究, 2021, 39(1): 60-67.
- [20] 罗 浩,成仿云,郭 鑫,等. 基于灰色关联度分析法评价筛选紫斑牡丹切花品种[J]. 园艺学报, 2020, 47(11): 2169-2180.
- [21] 刘国彬,兰彦平,兰卫宗,等. 板栗农家品种资源坚果表型性状分析[J]. 江西农业大学学报, 2013, 35(5): 977-981.
- [22] 刘国彬,兰彦平,姚研武,等. 板栗杂交后代坚果表型性状的遗传变异[J]. 华北农学报, 2011, 26(5): 117-121.
- [23] 江锡兵,龚榜初,刘庆忠,等. 中国板栗地方品种重要农艺性状的表型多样性[J]. 园艺学报, 2014, 41(4): 641-652.
- [24] 梁丽松. 板栗糯性质地的物质基础研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2011.
- [25] 梁建兰,刘秀凤,赵 萌,等. 板栗贮藏前后淀粉性质的比较[J]. 中国粮油学报, 2015, 30(1): 51-54,59.
- [26] 谭秋锦,陈海生,韦媛荣,等. 澳洲坚果种质果仁主要营养成分分析与评价[J]. 中国粮油学报, 2021, 36(2): 150-154.

Comprehensive Evaluation of Fruit Phenotype and Quality of Main Chinese Chestnut Cultivars in the Middle and Lower Reaches of the Yangtze River

JIANG Xi-bing¹, TENG Guo-xin², FAN Jin-gen², LUO Xiu-bao³, SHENG Jian-hong², GONG Bang-chu¹

(1. Research Institute of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Hangzhou 311400, Zhejiang, China; 2. Lanxi City Nursery of Zhejiang Province, Lanxi 321100, Zhejiang, China; 3. Suichang Bureau of Natural Resources and Planning, Suichang 323300, Zhejiang, China)

Abstract: [Objective] To evaluate the fruit traits of main Chinese chestnut (*Castanea mollissima*) cultivars from the middle and lower reaches of the Yangtze River and provide references for the selection of chestnut cultivars with excellent comprehensive performance and suitable for planting and promoting in Zhejiang Province. [Method] Twenty-five main Chinese chestnut cultivars in the middle and lower reaches of the Yangtze River and five representative northern Chinese chestnut cultivars were used as materials, their fruit phenotype and quality traits were continuously measured and statistically analyzed. Then comprehensive evaluation was performed by principal component analysis and grey correlation analysis. [Result] Twenty traits of fruit phenotype and quality had different degrees of variation, and the coefficient of variation ranged from 7.85% to 41.20%. There were 23 pairs and 18 pairs of correlation among all traits reached extremely significant ($P < 0.01$) and significant level ($P < 0.05$), respectively. There was a certain correlation between the fruit phenotype and the quality traits. The cumulative contribution rate of the top five principal components was 79.25%, which retained most of the information of fruit phenotype and quality traits. Grey correlation analysis showed that there were significant differences in the weight values of each trait, in which the weight coefficient of potassium content was the largest and the weight coefficient of total flavonoids content was the smallest. The overall trend of the comprehensive performance ranking of the 30 Chinese chestnut cultivars performed by the two analysis methods was relatively consistent. The correlation coefficient of the comprehensive score of the cultivars by the two analysis was 0.7621, which reached a very significant level. [Conclusion] Six Chinese chestnut cultivars from the middle and lower reaches of the Yangtze River are ranked in the top by the two analysis, the comprehensive performance of their fruit traits is excellent, so the six cultivars can be popularized as the main cultivar in Zhejiang Province.

Keywords: *Castanea mollissima*; main cultivars; fruit traits; principal component analysis; grey correlation analysis

(责任编辑: 金立新)