

中国部分板栗品种坚果表型及 营养成分遗传变异分析

江锡兵¹, 龚榜初^{1*}, 汤 丹¹, 刘庆忠², 陈 新², 吴开云¹, 邓全恩¹

(1 中国林科院亚热带林业研究所, 浙江富阳 311400; 2 山东省果树研究所, 山东泰安 271000)

摘 要:以中国板栗主产区山东等 10 个省份 97 个板栗品种为材料, 对其坚果表型性状及营养成分进行遗传变异分析。结果显示: (1) 97 个板栗品种间存在广泛的遗传变异, 坚果表型性状及营养成分指标品种间差异均达到极显著水平; 遗传变异系数均较大, 最大达到 0.378, 遗传潜力较大; 且所有性状重复力均在 0.928 及以上, 受自身遗传因素控制较强。 (2) 坚果长度等表型性状间呈极显著正相关关系, 淀粉含量等营养成分指标间为正相关关系, 而表型性状与营养成分指标间表现为负相关关系, 据此可将坚果表型性状、品质性状作为两个相互独立又有一定关联的综合因子。 (3) 进一步利用坚果表型和营养成分 8 个指标对 97 个板栗品种进行主成分分析, 并结合多重比较结果, 综合选出具有单个或多个性状优势的 43 个品种。研究认为, 选出的 43 个板栗品种具有果粒较大, 或营养价值较高, 或二者特性兼有, 初步选择为果型或品质优良的板栗品种资源材料。

关键词: 中国板栗; 表型; 营养成分; 遗传变异

中图分类号: Q348

文献标志码: A

Genetic Variation of Nut Phenotype and Nutrient of Some of Chinese Chestnut Cultivars

JIANG Xibing¹, GONG Bangchu^{1*}, TANG Dan¹, LIU Qingzhong²,
CHEN Xin², WU Kaiyun¹, DENG Quan'en¹

(1 Research Institute of Subtropical Forestry, CAF, Fuyang, Zhejiang 311400, China; 2 Pomological Institute of Shandong, Tai'an, Shandong 271000, China)

Abstract: Genetic variation analysis for nut phenotype and nutrient was carried on using ninety-seven Chinese chestnut cultivars from ten province such as Shandong Province, *et al.* The results showed that: (1) There were extensive genetic variation among ninety-seven cultivars, and very significant differences between cultivars for nut phenotype and nutrient. Coefficients of genetic variation of traits were large, and the largest reached 0.378, indicated that the genetic potential were large; and the repeatability of characters were above 0.928, which showed that these were controlled by strong genetic factors. (2) There were significant positive correlation among phenotype characters, and also positive correlation among nutrient indexes, but there were negative correlation between the phenotype traits and nutrient indexes. Thus, phenotype and nutrient could be as two comprehensive factors which mutually independent and also has certain associations. (3) Forty-three cultivars were selected from ninety-seven cultivars through principal component analysis using eight indexes of nut phenotype and nutrient, and combined with the multiple compari-

收稿日期: 2013-08-29; 修改稿收到日期: 2013-10-18

基金项目: 中国林科院亚林所基本科研业务费专项资金(RISF61253); 浙江省竹木农业新品种选育重大科技专项(2012C12908-18)

作者简介: 江锡兵(1983—), 男, 博士, 助理研究员, 主要从事经济林育种与栽培方面的研究。E-mail: jxb912@gmail.com

* 通信作者: 龚榜初, 研究员, 主要从事经济林育种与栽培方面的研究。E-mail: gongbc@126.com

son results. These cultivars have single or multiple advantages such as bigger nuts, or rich nutrient, or both, which can be chosen as excellent chestnut materials.

Key words: Chinese chestnut; phenotype; nutrients; genetic variation

板栗(*Castanea mollissima* Bl.)属壳斗科(Fagaceae)栗属(*Castanea* Miller)植物,是传统的特色坚果,栽培历史悠久,素有“铁杆庄稼”和“木本粮食”之称。中国板栗在世界食用栗中占有重要位置,是世界各国进行食用栗品种改良的重要基因来源,以品质优良、抗逆性强而著称,深受国内外消费者喜爱^[1-3]。中国板栗分布广泛,在复杂的地理和气候条件下,经过长期的自然选择,形成了许多生态类型和地方品种,据不完全统计,中国板栗地方品种多达350个(尚不包括有价值的遗传材料和东北的丹东栗),种质资源极为丰富^[4]。然而,坚果表型、品质等重要农艺性状在不同品种间存在较大差异,科研人员、栗农及加工产业对其缺乏了解,严重影响了板栗良种选育进程及板栗产业的发展。因此,对坚果表型及品质性状进行系统的研究,揭示其遗传变异特点,对板栗品种资源的合理利用,指导育种工作具有重要的意义。

本研究以中国板栗主产区山东、江苏等10个省份(直辖市)97个板栗品种为材料,对其坚果表型性状、营养成分指标进行测定,分析其遗传变异规律,初步选择出具有单个或多个性状优势的板栗品种,为进一步开展果粒大、营养价值高、适宜加工等板栗良种选育工作奠定理论基础。

1 材料和方法

1.1 材 料

选取山东省果树研究所国家板栗资源圃中来自山东等10个省份(直辖市)97个板栗品种为材料,97个品种编号、名称及其来源见表1。于2012年8~10月份采集其果实,每个品种选取3株生长发育良好的成年板栗树,从每株中部四周采摘30个成熟栗苞,带回实验室,取出板栗坚果。对坚果表型性状及其营养成分指标进行测定。

1.2 方 法

1.2.1 表型测定 选取板栗边果进行测量,利用游标卡尺测量坚果长度、宽度,单果重采用百分之一电子天平称量。

1.2.2 营养成分指标测定 淀粉含量参照李保国等^[5]方法测定。

可溶性糖含量采用蒽酮比色法测定,参照陈钧

辉等^[6]方法。

总蛋白含量测定参照 GB5009.5-2010 食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定。

钙含量测定参照 GB/T5009.92-2003 食品安全国家标准 食品中钙的测定。

铁含量测定参照 GB/T5009.90-2003 食品安全国家标准 食品中铁、镁、锰的测定。

1.2.3 数据分析 利用单株平均值进行统计分析,性状平均值 $\bar{x}$,标准差 s 、变异系数 CV 和重复力 R 分别为:

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

$$CV(\%) = \frac{s}{\bar{x}} \times 100\%$$

$$R = 1 - \frac{1}{F}$$

式中, x_i 为性状 i 的测定值, n 为性状测定频率, F 为效应项与误差项均方的比值。

用 SAS 8.0 软件包对数据进行统计分析处理。

2 结果与分析

2.1 板栗坚果表型及营养成分遗传分析

对97个板栗品种坚果表型及营养成分指标进行方差分析和重复力估算,结果见表2。97个板栗品种间存在广泛的遗传变异,坚果表型性状及营养成分指标品种间差异均达到极显著水平;各性状遗传变异系数均较大,最大为单果重,达到0.378,其变幅为1.82~21.22 g,其次是可溶性糖含量,其变异系数为0.302,变幅为3.76%~24.55%;各性状重复力均在0.928及以上,其中钙含量重复力最高,达到0.984,表明各性状均受强遗传因素控制且群体遗传潜力较大,利用坚果表型性状及营养成分指标对板栗品种进行选择是可行的。

进一步对板栗坚果表型及营养成分进行多重比较(LSD 0.01),表3列出部分品种的多重比较结果(仅列出每个指标的前30名)。分析得出,坚果长度与总均值差异极显著的有‘中明栗’(C93)等22个品种,增幅为7%~28%;坚果宽度与总均值差异极显著的有‘大公书4号’(C13)等27个品种,增幅为

9%~30%;‘大公书 4 号’(C13)等 29 个品种单果重与总均值存在极显著差异,增幅为 22%~91%;20 个品种淀粉含量与总均值存在极显著差异,增幅

为 18%~150%,其中‘无名 1 号’(C73)增幅达到 150%,淀粉含量极高;表 3 中所列出的 30 个品种可溶性糖含量、钙含量与总均值比较均存在极显著差

表 1 板栗品种名称及其来源

Table 1 Chestnut cultivars and source

编号 No.	品种 Cultivar	来源 Source	编号 No.	品种 Cultivar	来源 Source
C1	白露早 Bailuzao	不详 Unknown	C50	栗园 8 号 Liyuan 8	河南罗山 Luoshan, He'nan
C2	闭口红 Bikouhong	湖北京山 Jingshan, Hubei	C51	罗田旱栗 Luotian Zaoli	湖北罗田 Luotian, Hubei
C3	超短枝 1 号 Chaoduanzhi 1	山东泰安 Tai'an, Shandong	C52	上丰 Shangfeng	山东海阳 Haiyang, Shandong
C4	超短枝 2 号 Chaoduanzhi 2	山东泰安 Tai'an, Shandong	C53	木口峪旱生 Mukouyu Zaosheng	山东泰安 Tai'an, Shandong
C5	处暑红 Chushuhong	江苏宜兴 Yixing, Jiangsu	C54	沐河 10 号 Shuhe 10	山东临沂 Linyi, Shandong
C6	垂枝 1 号 Chuizhi 1	山东郯城 Tancheng, Shandong	C55	沐河 11 号 Shuhe 11	山东临沂 Linyi, Shandong
C7	垂枝 2 号 Chuizhi 2	山东临沂 Linyi, Shandong	C56	沐河大袍 Shuhe Dapao	山东临沂 Linyi, Shandong
C8	徂徕短枝 Culai Duanzhi	山东泰安 Tai'an, Shandong	C57	潘庄 1 号 Panzhuang 1	山东临清 Linqing, Shandong
C9	寸栗 Cunli	陕西长安 Chang'an, Shaanxi	C58	炮车 2 号 Paoche 2	江苏新沂 Xinyi, Jiangsu
C10	大底青 Dadiqing	江苏宜兴 Yixing, Jiangsu	C59	炮车 7 号 Paoche 7	江苏新沂 Xinyi, Jiangsu
C11	大公书 1 号 Dagongshu 1	山东莒南 Ju'nan, Shandong	C60	迁安 Qian'an	河北迁安 Qian'an, Hebei
C12	大公书 2 号 Dagongshu 2	山东莒南 Ju'nan, Shandong	C61	青毛软刺 Qingmaoruanci	江苏宜兴 Yixing, Jiangsu
C13	大公书 4 号 Dagongshu 4	山东莒南 Ju'nan, Shandong	C62	青毛早 Qingmaozao	湖北京山 Jingshan, Hubei
C14	大红袍 Dahongpao	安徽广德 Guangde, Anhui	C63	软刺早 Ruancizao	安徽宁国 Ningguo, Anhui
C15	大叶青 Dayeqing	河北昌黎 Changli, Hebei	C64	山店大板 Shandian Daban	河南罗山 Luoshan, He'nan
C16	东丰 Dongfeng	山东烟台 Yantai, Shandong	C65	上光 Shangguang	浙江上虞 Shangyu, Zhejiang
C17	东密坞 35 Dongmiwu 35	河北迁安 Qian'an, Hebei	C66	石丰 Shifeng	山东海阳 Haiyang, Shandong
C18	东密坞无花 Dongmiwu Wuhua	河北迁安 Qian'an, Hebei	C67	舒城大红袍 Shucheng Dahongpao	安徽舒城 Shucheng, Anhui
C19	短刺大青袍 Duanci Daqingpao	河北遵化 Zunhua, Hebei	C68	双合大红袍 Shuanghe Dahongpao	安徽舒城 Shucheng, Anhui
C20	短扎 Duanzha	江苏吴县 Wuxian, Jiangsu	C69	郯城 023 Tancheng 023	山东郯城 Tancheng, Shandong
C21	短枝板红 Duanzhi Banhong	河北昌黎 Changli, Hebei	C70	铁粒头 Tielitou	江苏宜兴 Yixing, Jiangsu
C22	浮来大红袍 Fulai Dahongpao	山东莒南 Ju'nan, Shandong	C71	威丰 Weifeng	山东乳山 Rushan, Shandong
C23	辐照 Fuzhao	山东泰安 Tai'an, Shandong	C72	乌山 2 号 Wushan 2	山东泰安 Tai'an, Shandong
C24	高店 10 号 Gaodian 10	河南罗山 Luoshan, He'nan	C73	无名 1 号 Wuming 1	山东泰安 Tai'an, Shandong
C25	高店 1 号 Gaodian 1	河南罗山 Luoshan, He'nan	C74	无名 2 号 Wuming 2	山东泰安 Tai'an, Shandong
C26	高店 9 号 Gaodian 9	河南罗山 Luoshan, He'nan	C75	无名 3 号 Wuming 3	山东泰安 Tai'an, Shandong
C27	官厅 7 号 Guanting 7	河北遵化 Zunhua, Hebei	C76	西店 3 号 Xidian 3	山东莒南 Junan, Shandong
C28	官兴大红袍 Guanxing Dahongpao	江苏邳州 Pizhou, Jiangsu	C77	西沟 7 号 Xigou 7	河北遵化 Zunhua, Hebei
C29	广德大红袍 Guangde Dahongpao	安徽广德 Guangde, Anhui	C78	西祥沟无花 Xixianggou Wuhua	山东泰安 Tai'an, Shandong
C30	桂花 Guihua	湖北罗田 Luotian, Hubei	C79	小果短枝 Xiaoguo Duanzhi	山东泰安 Tai'an, Shandong
C31	海丰 Haifeng	山东海阳 Haiyang, Shandong	C80	辛庄 2 号 Xinzhuang 2	北京昌平 Changping, Beijing
C32	红光 Hongguang	山东莱西 Laixi, Shandong	C81	燕山魁栗 Yanshan Kuili	河北迁西 Qianxi, Hebei
C33	红毛早 Hongmaozao	湖北京山 Jingshan, Hubei	C82	烟泉 Yanquan	山东烟台 Yantai, Shandong
C34	红油栗 Hongyouli	湖北罗田 Luotian, Hubei	C83	燕昌 Yanchang	北京昌平 Changping, Beijing
C35	后韩庄 20 Houhanzhuang 20	河北遵化 Zunhua, Hebei	C84	燕丰 Yanfeng	北京昌平 Changping, Beijing
C36	白云早 Baiyunzao	湖南 Hu'nan	C85	燕红 Yanhong	北京昌平 Changping, Beijing
C37	双季栗 Shuangjili	湖南汝城 Rucheng, Hu'nan	C86	叶里藏 Yelicang	安徽舒城 Shucheng, Anhui
C38	邵阳它栗 Shaoyang Tali	湖南邵阳 Shaoyang, Hu'nan	C87	沂蒙短枝 Yimeng Duanzhi	山东莒南 Junan, Shandong
C39	怀黄 Huaihuang	北京怀柔 Huairou, Beijing	C88	优选处暑红 Youxuan Chushuhong	江苏宜兴 Yixing, Jiangsu
C40	怀九 Huaijiu	北京怀柔 Huairou, Beijing	C89	杂 35 Za 35	山东泰安 Tai'an, Shandong
C41	黄前无花 Huangqian Wuhua	山东泰安 Tai'an, Shandong	C90	枣林 Zaolin	山东乳山 Rushan, Shandong
C42	灰拣 Huijian	陕西长安 Chang'an, Shaanxi	C91	柞 11 Zuo 11	陕西柞水 Zhushui, Shaanxi
C43	尖顶油栗 Jianding Youli	山东郯城 Tancheng, Shandong	C92	柞红栗 Zuohongli	陕西柞水 Zhushui, Shaanxi
C44	焦刺替码 Jiaoci Tima	江苏宜兴 Yixing, Jiangsu	C93	中明栗 Zhongmingli	山东泰安 Tai'an, Shandong
C45	金丰 Jinfeng	山东招远 Zhaoyuan, Shandong	C94	重阳蒲 Chongyangpu	江苏宜兴 Yixing, Jiangsu
C46	九月寒 Jiuyuehan	湖北罗田 Luotian, Hubei	C95	重引粘底板 Chongyin Niandiban	安徽舒城 Shucheng, Anhui
C47	八月红 Bayuehong	湖北罗田 Luotian, Hubei	C96	紫油栗 Ziyouli	浙江上虞 Shangyu, Zhejiang
C48	魁栗 Kuili	浙江上虞 Shangyu, Zhejiang	C97	遵达栗 Zundali	河北遵化 Zunhua, Hebei
C49	莱西大油栗 Laixi Dayouli	山东莱西 Laixi, Shandong			

表 2 板栗坚果表型及营养成分群体统计特征值和方差分析结果

Table 2 Population characteristic values and variance of phenotype and nutrient of Chinese chestnut

性状 Trait	平均值 Mean	标准差 Standard variance	变幅 Range of variation	变异系数 Coefficient of variance	F 值 F value	重复力 Repeatability
坚果长度 NL/mm	26.81	2.84	16.47~34.36	0.106	26.43 **	0.962
坚果宽度 NW/mm	30.44	4.17	15.55~41.33	0.137	31.69 **	0.968
单果重 SNW/g	10.06	3.77	1.82~21.22	0.378	40.87 **	0.976
淀粉含量 SC/%	24.69	6.41	12.71~63.72	0.260	27.56 **	0.964
可溶性糖含量 SSC/%	13.05	3.94	3.76~24.55	0.302	37.35 **	0.973
总蛋白含量 TPC/%	6.18	1.23	4.29~13.15	0.199	17.53 **	0.943
钙含量 CC/(mg/100 g)	80.85	20.31	40.05~145.33	0.251	62.98 **	0.984
铁含量 IC/(mg/100 g)	1.62	0.42	0.76~3.25	0.259	13.94 **	0.928

注: ** 表示差异达 0.01 显著水平;NL. 坚果长度;NW. 坚果宽度;SNW. 单果重;SC. 淀粉含量;SSC. 可溶性糖含量;TPC. 总蛋白含量;CC. 钙含量;IC. 铁含量;下同。

Note: ** means significant difference at 0.01 level;NL. Length of nuts;NW. Width of nuts;SNW. Weight of single nut;SC. Content of starch;SSC. Content of soluble sugar;TPC. Content of total protein;CC. Content of the calcium;IC. Content of the iron;The same as below.

异,其增幅分别为 18%~79%、12%~65%;总蛋白含量与总均值差异极显著的有‘灰拣’(C42)等 13 个品种,其增幅为 22%~74%;铁含量与总均值存在极显著差异的有‘迁安’(C60)等 17 个品种,其增幅为 22%~86%。

2.2 板栗坚果表型及营养成分相关性分析

通过板栗坚果表型及营养成分各性状间相关性分析得出(表 4),坚果长度、坚果宽度、单果重两两之间呈极显著正相关,其中坚果宽度与单果重之间相关系数最大,达到 0.949 9;而坚果长度、宽度、单果重与营养成分指标均呈现出负相关关系,其中,与总蛋白含量、钙含量、铁含量负相关极显著或显著,而与淀粉含量、可溶性糖含量负相关不显著;除淀粉含量和钙含量相关不显著外,其余营养成分指标间均呈现出极显著或显著正相关。

2.3 板栗坚果表型及营养成分主成分分析

利用坚果表型及营养成分 8 个性状或指标对 97 个板栗品种进行主成分分析,如表 5 所示。根据

累计贡献率大于 85% 的原则,保留前 4 个主成分(累计贡献率达 88.39%)。其中,对第 1 主成分贡献较大的性状为坚果长度、坚果宽度和单果重(特征值绝对值较大),即坚果的表型综合因子;对第 2 主成分贡献较大的性状为坚果长度、坚果宽度、可溶性糖含量及总蛋白含量,即坚果的表型和品质综合因子;第 3 主成分值主要受淀粉含量影响;而可溶性糖含量则对第 4 主成分值贡献较大。

由表 6 可知,第 1 主成分值较大的有 C8、C13、C20、C21、C25、C30、C32、C34、C36、C46、C48、C49、C50、C58、C59、C61、C65、C67、C93、C95、C97 共 21 个品种;第 2 主成分值较大的有 C3、C6、C13、C21、C30、C33、C42、C45、C47、C51、C60、C63、C73、C85、C93 共 15 个品种;C6、C9、C16、C29、C42、C45、C47、C62、C73、C77、C78、C85 共 12 个品种,第 3 主成分值较大;C4、C6、C16、C21、C30、C45、C52、C57、C63、C70、C88 共 11 个品种,第 4 主成分值较大。结合坚果表型性状及营养成分指标多重比较结果,分析得

表 4 板栗坚果表型及营养成分相关性系数

Table 4 Correlation among phenotype and nutrient of Chinese chestnut

性状 Trait	NL	NW	SNW	SC	SSC	TPC	CC	IC
坚果长度 NL	1.000 0							
坚果宽度 NW	0.899 7 **	1.000 0						
单果重 SNW	0.859 3 **	0.949 9 **	1.000 0					
淀粉含量 SC	-0.212 4	-0.240 5	-0.309 4 *	1.000 0				
可溶性糖含量 SSC	-0.083 2	-0.181 3	-0.233 6	0.270 6 *	1.000 0			
总蛋白含量 TPC	-0.263 2 *	-0.407 8 **	-0.451 4 **	0.438 8 **	0.544 8 **	1.000 0		
钙含量 CC	-0.399 6 **	-0.454 2 **	-0.489 5 **	0.232 0	0.308 9 *	0.575 9 **	1.000 0	
铁含量 IC	-0.320 9 *	-0.420 9 **	-0.420 9 **	0.301 7 *	0.406 6 **	0.533 4 **	0.581 0 **	1.000 0

注: ** 表示差异达 0.01 显著水平; * 表示差异达 0.05 显著水平。

Note: ** means significant difference at 0.01 level; * means significant difference at 0.05 level.

表 3 部分板栗坚果表型及营养成分多重比较结果
Table 3 Multiple comparing for nut phenotype and nutrient of part of Chinese chestnut

坚果长度 NL/mm				坚果宽度 NW/mm				单果重 SNW/g				淀粉含量 SC/%			
品种 Cultivar	均值 Mean	与总均值比 Compare with total mean	品种 Cultivar	均值 Mean	与总均值比 Compare with total mean	品种 Cultivar	均值 Mean	与总均值比 Compare with total mean	品种 Cultivar	均值 Mean	与总均值比 Compare with total mean	品种 Cultivar	均值 Mean	与总均值比 Compare with total mean	品种 Cultivar
C93	34.25**	1.28	C13	39.61**	1.30	C13	19.22**	1.91	C73	61.61**	2.50				
C65	31.85**	1.19	C93	38.07**	1.25	C93	19.11**	1.90	C42	40.59**	1.64				
C21	31.74**	1.18	C90	37.09**	1.22	C21	18.21**	1.81	C60	37.06**	1.50				
C48	31.73**	1.18	C21	36.85**	1.21	C65	17.77**	1.77	C47	36.27**	1.47				
C30	31.20**	1.16	C48	36.58**	1.20	C67	16.82**	1.67	C33	32.38**	1.31				
C34	30.99**	1.16	C65	36.42**	1.20	C61	16.47**	1.64	C3	32.37**	1.31				
C49	30.49**	1.14	C61	36.24**	1.19	C49	14.88**	1.48	C40	31.34**	1.27				
C46	30.26**	1.13	C67	36.14**	1.19	C95	14.74**	1.47	C16	31.58**	1.28				
C67	30.24**	1.13	C95	35.97**	1.18	C30	14.64**	1.46	C62	31.36**	1.27				
C13	30.16**	1.12	C48	35.48**	1.17	C32	14.64**	1.45	C9	31.20**	1.26				
C61	29.85**	1.11	C59	35.40**	1.16	C48	14.63**	1.45	C45	30.93**	1.25				
C63	29.83**	1.11	C8	35.12**	1.15	C63	14.58**	1.45	C85	30.92**	1.25				
C59	29.51**	1.10	C25	35.03**	1.15	C20	14.35**	1.43	C6	30.37**	1.23				
C54	29.39**	1.10	C50	34.96**	1.15	C97	14.33**	1.42	C77	30.05**	1.22				
C95	29.35**	1.09	C54	34.88**	1.15	C8	14.20**	1.41	C2	30.00**	1.22				
C58	29.29**	1.09	C53	34.50**	1.13	C54	14.17**	1.41	C51	29.87**	1.21				
C97	29.27**	1.09	C34	34.26**	1.13	C50	13.96**	1.39	C78	29.78**	1.21				
C94	29.26**	1.09	C46	34.17**	1.12	C58	13.67**	1.36	C29	29.65**	1.20				
C96	29.02**	1.08	C32	33.99**	1.12	C59	13.47**	1.34	C80	29.62**	1.20				
C25	28.86**	1.08	C11	33.93**	1.11	C25	13.42**	1.33	C74	29.23**	1.18				
C43	28.81**	1.07	C6	33.85**	1.11	C6	13.19**	1.31	C49	28.51	1.15				
C85	28.78**	1.07	C20	33.76**	1.11	C36	13.10**	1.30	C76	28.17	1.14				
C55	28.73	1.07	C58	33.73**	1.11	C53	13.08**	1.30	C87	28.17	1.14				
C19	28.60	1.07	C22	33.48**	1.10	C11	13.05**	1.30	C27	27.85	1.13				
C41	28.51	1.06	C63	33.15**	1.09	C34	12.86**	1.28	C95	27.62	1.12				
C8	28.31	1.06	C97	33.15**	1.09	C37	12.77**	1.27	C4	26.83	1.09				
C50	28.31	1.06	C94	33.07**	1.09	C19	12.73**	1.27	C43	26.83	1.09				
C6	28.24	1.05	C45	33.02	1.08	C14	12.58**	1.25	C84	26.34	1.07				
C74	28.23	1.05	C55	32.96	1.08	C94	12.24**	1.22	C35	26.05	1.06				
C26	28.13	1.05	C74	32.81	1.08	C22	11.99	1.19	C92	25.94	1.05				
总均值 Total mean	26.81	1.00	总均值 Total mean	30.44	1.00	总均值 Total mean	10.06	1.00	总均值 Total mean	24.69	1.00				

续表 3 Continued Table 3

可溶性糖含量 SSC/%				总蛋白含量 TPC/%				钙含量 CC/(mg/100 g)				铁含量 IC/(mg/100 g)			
品种 Cultivars	均值 Mean	与总均值比 Compare with total mean	品种 Cultivars	均值 Mean	与总均值比 Compare with total mean	品种 Cultivars	均值 Mean	与总均值比 Compare with total mean	品种 Cultivars	均值 Mean	与总均值比 Compare with total mean	品种 Cultivars	均值 Mean	与总均值比 Compare with total mean	品种 Cultivars
C57	23.33**	1.79	C42	10.78**	1.74	C3	133.24**	1.65	C60	3.01**	1.86				
C30	20.81**	1.59	C80	9.69**	1.57	C51	122.18**	1.51	C33	2.75**	1.70				
C88	19.83**	1.52	C3	9.30**	1.50	C4	119.90**	1.48	C42	2.67**	1.65				
C45	19.66**	1.51	C4	8.88**	1.44	C31	119.46**	1.48	C27	2.41**	1.49				
C21	19.33**	1.48	C33	8.83**	1.43	C40	118.78**	1.47	C92	2.38**	1.47				
C4	19.13**	1.47	C51	8.76**	1.42	C80	117.41**	1.45	C17	2.37**	1.46				
C52	18.63**	1.43	C60	8.36**	1.35	C60	117.10**	1.45	C40	2.24**	1.38				
C47	18.27**	1.40	C73	8.04**	1.30	C54	113.95**	1.41	C69	2.23**	1.38				
C42	17.92**	1.37	C86	7.95**	1.29	C24	113.45**	1.40	C47	2.23**	1.38				
C16	17.72**	1.36	C24	7.94**	1.28	C39	110.25**	1.36	C39	2.20**	1.36				
C60	17.71**	1.36	C47	7.74**	1.25	C17	109.45**	1.35	C86	2.18**	1.35				
C63	17.63**	1.35	C92	7.54**	1.22	C42	109.08**	1.35	C12	2.11**	1.30				
C85	17.55**	1.34	C88	7.51**	1.22	C10	106.92**	1.32	C56	2.08**	1.28				
C6	17.45**	1.34	C10	7.16	1.16	C56	106.38**	1.32	C51	2.03**	1.25				
C3	17.40**	1.33	C29	7.13	1.15	C52	106.31**	1.31	C57	2.00**	1.23				
C80	17.17**	1.32	C32	7.09	1.15	C64	105.58**	1.31	C81	1.98**	1.22				
C70	17.11**	1.31	C12	7.05	1.14	C2	103.79**	1.28	C55	1.98**	1.22				
C17	16.47**	1.26	C6	6.97	1.13	C12	101.97**	1.26	C6	1.96	1.21				
C81	16.42**	1.26	C45	6.82	1.10	C47	100.06**	1.24	C31	1.96	1.21				
C83	16.41**	1.26	C31	6.76	1.09	C27	99.84**	1.23	C63	1.93	1.19				
C92	16.41**	1.26	C84	6.75	1.09	C16	97.11**	1.20	C18	1.92	1.19				
C51	16.36**	1.25	C81	6.62	1.07	C75	95.34**	1.18	C83	1.89	1.17				
C33	16.26**	1.25	C30	6.61	1.07	C92	94.79**	1.17	C4	1.89	1.17				
C48	16.25**	1.25	C63	6.59	1.07	C28	92.79**	1.15	C70	1.89	1.17				
C7	15.96**	1.22	C94	6.58	1.06	C57	92.76**	1.15	C10	1.86	1.15				
C24	15.81**	1.21	C41	6.50	1.05	C69	92.74**	1.15	C41	1.84	1.14				
C29	15.79**	1.21	C93	6.49	1.05	C73	92.17**	1.14	C37	1.80	1.11				
C75	15.74**	1.21	C71	6.49	1.05	C86	91.73**	1.13	C3	1.79	1.11				
C86	15.62**	1.20	C7	6.45	1.04	C33	91.39**	1.13	C54	1.77	1.09				
C12	15.38**	1.18	C16	6.45	1.04	C22	90.95**	1.12	C28	1.75	1.08				
总均值 Total mean	13.05	1.00	总均值 Total mean	6.18	1.00	总均值 Total mean	80.85	1.00	总均值 Total mean	1.62	1.00				

表 5 板栗坚果表型及营养成分指标主成分分析

Table 5 Principal component analysis of phenotype and nutrient of Chinese chestnut

		主成分 Principal component			
		1	2	3	4
特征值 Eigenvalue		4.069 4	1.547 0	0.814 4	0.640 5
累计贡献率 Cumulate contribution rate/%		50.87	70.21	80.38	88.39
特征向量 Eigenvector	坚果长度 NL	−0.382 7	0.452 4	0.053 8	0.092 1
	坚果宽度 NW	−0.427 1	0.368 6	0.015 7	0.136 5
	单果重 SNW	−0.436 8	0.313 1	0.070 4	0.138 4
	淀粉含量 SC	0.235 9	0.260 9	−0.849 3	0.313 2
	可溶性糖含量 SSC	0.233 9	0.489 4	0.043 7	−0.748 1
	总蛋白含量 TPC	0.355 3	0.388 9	−0.014 6	−0.027 9
	钙含量 CC	0.355 5	0.168 7	0.418 7	0.445 2
	铁含量 IC	0.342 5	0.272 2	0.305 3	0.311 4

表 6 板栗品种各主成分得分

Table 6 Principal component values of chestnut cultivars

品种编号 No. of cultivars	FAC1	FAC2	FAC3	FAC4	品种编号 No. of cultivars	FAC1	FAC2	FAC3	FAC4
C1	0.580 46	−2.137 20	−0.486 98	−0.627 89	C32	−2.314 85	−0.846 38	−0.394 03	1.309 19
C2	0.861 59	−0.830 34	−0.325 88	1.316 57	C33	3.154 05	1.895 64	−0.049 39	0.601 77
C3	4.521 98	1.751 02	−0.025 08	0.174 43	C34	−3.088 34	−0.534 30	−0.496 51	0.251 89
C4	4.391 24	0.292 92	0.518 08	−0.715 12	C35	1.286 57	−1.359 37	−0.825 26	−1.213 02
C5	−0.890 20	−1.964 81	0.085 73	−0.232 62	C36	−2.001 67	−0.934 51	0.048 49	0.652 86
C6	−0.460 91	1.850 22	−1.014 78	−0.719 24	C37	−1.133 46	−0.054 70	0.894 08	0.575 91
C7	−0.986 94	0.105 27	−1.000 47	−1.545 54	C38	−0.873 30	−0.922 39	−0.469 84	−0.491 60
C8	−1.872 24	0.603 58	−0.222 84	−0.478 65	C39	0.994 53	0.778 32	0.928 24	0.816 16
C9	0.146 72	0.476 49	−0.705 51	0.410 81	C40	2.427 13	0.279 82	0.170 89	1.335 12
C10	1.110 65	−0.226 55	1.584 75	0.521 03	C41	0.025 10	0.711 67	0.223 74	0.044 62
C11	−1.611 12	−0.510 38	−0.280 55	0.548 51	C42	6.315 48	1.388 74	−1.070 96	0.421 13
C12	2.516 14	−0.267 19	1.037 30	−0.176 44	C43	−0.103 74	−0.566 93	−0.609 26	−0.058 93
C13	−3.150 27	1.770 73	0.507 41	−0.110 50	C44	−0.720 00	−0.401 09	0.053 83	0.012 03
C14	−1.265 00	−0.051 70	0.188 20	−0.319 72	C45	0.428 62	1.867 39	−0.646 13	−0.735 01
C15	−0.643 88	−2.198 10	−0.757 96	0.061 24	C46	−2.211 34	0.455 33	0.474 37	0.270 79
C16	1.894 46	−0.290 74	−0.949 93	−0.807 27	C47	3.001 34	1.547 48	−0.777 11	0.145 16
C17	2.715 06	−0.067 63	1.204 12	0.109 77	C48	−1.778 26	1.411 08	−0.096 81	−0.681 44
C18	1.058 05	−0.582 94	0.474 05	−0.144 35	C49	−2.813 91	0.247 55	−0.944 73	1.395 77
C19	−1.936 49	−0.437 18	0.112 12	−0.514 43	C50	−2.478 70	−0.453 11	0.153 37	0.395 80
C20	−2.439 16	−0.670 34	0.034 87	0.464 67	C51	2.288 28	2.083 00	0.457 10	0.790 41
C21	−2.832 33	2.192 34	0.207 39	−1.180 62	C52	1.450 75	0.722 63	0.431 19	−0.697 87
C22	−0.613 85	0.380 44	0.845 58	0.351 82	C53	−1.448 09	0.238 87	0.117 76	0.337 20
C23	−0.195 38	−0.867 94	1.170 10	−0.168 55	C54	0.688 93	1.474 04	0.930 61	1.245 22
C24	1.660 77	0.287 87	2.031 44	−0.548 41	C55	−0.547 91	0.513 29	0.799 86	1.036 61
C25	−2.206 37	−0.053 42	−0.119 98	0.467 60	C56	1.276 76	−0.228 19	1.661 47	0.467 23
C26	−1.469 79	−0.395 35	−0.347 04	−0.324 25	C57	1.448 79	1.067 51	0.830 72	−1.650 45
C27	2.118 88	−0.008 86	0.480 70	0.568 35	C58	−2.929 47	−1.061 36	0.162 33	0.628 41
C28	0.195 62	0.440 92	0.458 44	0.223 01	C59	−2.330 54	0.311 11	0.265 41	−0.470 48
C29	0.277 82	0.929 94	−0.883 87	−0.517 66	C60	4.397 02	2.083 90	0.031 18	1.215 41
C30	−1.772 07	2.503 86	0.081 59	−1.553 09	C61	−3.064 00	−0.048 98	0.451 84	1.118 12
C31	2.083 82	−2.121 10	1.478 83	2.048 43	C62	−0.481 25	−0.460 43	−1.629 95	−0.377 86

续表 6 Continued Table 6

C63	-0.797 29	1.847 89	1.064 96	-0.598 19	C81	0.093 78	0.709 54	1.859 12	-0.668 47
C64	-0.591 23	-1.931 98	1.484 41	0.883 91	C82	0.409 04	-2.294 26	-0.484 30	-1.394 33
C65	-3.418 15	0.979 97	0.122 72	-0.049 63	C83	1.077 37	-0.137 07	1.199 96	-0.739 78
C66	-0.138 55	-3.010 57	0.093 93	-1.34975	C84	0.101 55	-0.125 29	-0.667 15	-0.507 32
C67	-2.449 82	1.197 44	-0.192 42	0.283 41	C85	-0.078 73	1.554 47	-0.686 57	-0.325 39
C68	-1.571 02	-0.561 68	-0.714 80	-0.462 96	C86	1.883 19	1.046 36	0.520 24	0.012 38
C69	2.332 06	-2.028 28	0.376 85	0.866 80	C87	1.016 03	-1.350 06	-0.567 00	0.389 21
C70	0.276 30	0.179 94	-0.166 28	-1.101 78	C88	0.622 17	0.490 82	-0.461 71	-2.096 12
C71	-0.058 78	0.046 63	0.476 45	-0.575 04	C89	0.580 44	-1.875 23	-0.411 79	0.200 05
C72	0.603 04	-0.303 36	-0.091 26	-0.773 15	C90	-0.891 87	-1.868 95	-0.560 09	0.146 32
C73	2.502 20	1.738 16	-5.001 05	1.920 58	C91	-1.367 48	-0.590 64	0.287 21	0.034 34
C74	-1.227 89	0.110 87	-0.968 09	0.102 84	C92	2.570 24	0.663 42	0.606 80	-0.017 10
C75	0.648 08	-0.755 37	0.515 22	-0.726 02	C93	-3.817 30	1.845 04	0.080 23	0.686 24
C76	-0.056 61	-0.282 94	-0.591 56	-0.077 20	C94	-1.171 61	0.538 17	-0.348 12	0.185 42
C77	0.348 57	-1.283 12	-1.623 83	-0.970 53	C95	-2.098 78	0.384 03	-0.451 79	1.533 84
C78	1.076 55	-1.889 34	-1.042 84	0.693 11	C96	-0.638 42	-0.068 41	0.216 05	-0.532 52
C79	3.753 06	-4.111 07	-0.380 59	-0.458 92	C97	-2.050 29	-0.045 65	0.216 05	0.516 12
C80	3.256 80	1.011 12	-0.165 30	-0.302 41					

出,4 个主成分值较大的 43 个板栗品种均具有单个或多个性状的优势,其果粒较大,或营养价值较高,或二者兼有,可以初步选择为果型或品质优良的板栗品种材料。

3 讨 论

板栗是中国古老和驯化栽培最早的果树之一,在长期的栽培历史过程中,受地貌及气候类型复杂多样的生境因子影响和分离、突变、迁徙、自然选择、人工选择的综合作用,其群体已经产生了大量遗传变异,创造了许多优良遗传特性的变异。其中,山东、河北、江苏、湖北、浙江、陕西等省份是中国板栗的主要产区,也是中国板栗特有的种质资源库和优质板栗生产品种的重要来源^[7]。本研究以来自山东、河北等 10 个省份的 97 个板栗品种为材料,对其坚果表型和品质 8 个性状进行遗传变异研究,发现 97 个品种间存在广泛的遗传变异,坚果表型及品质性状品种间差异均达到极显著水平;其中单果重和可溶性糖含量遗传变异系数最大,变异范围最广,遗传潜力较大,为国内外市场及栗农迫切需求的大果粒、品质好的板栗良种选育提供了良好的素材。各性状重复力均较大,表明各性状受遗传因素自身控制较强,利用这些性状对板栗品种进行选择是可行的,而且能够获得较大遗传增益,取得较好的遗传改良效果。

坚果表型性状如长度、宽度、单果重决定着果粒的大小,也是衡量板栗经济性状的重要指标。因此,

对板栗品种坚果表型性状进行多重比较分析,从中筛选出大果型、中果型、小果型品种,对板栗果型定向育种,有着重要的意义。本研究中,‘中明栗’(C93)等 22 个品种、‘大公书 4 号’(C13)等 27 个品种、‘大公书 4 号’(C13)等 29 个品种分别在坚果长度、坚果宽度、单果重上与 97 个板栗品种均值有着极显著差异。其中,‘大公书 4 号’(C13)等 29 个品种单果重均在 12 g 以上,属于大果型品种,可以作为板栗果型定向育种的首选材料。此外,一部分中果型板栗品种可以结合其品质性状,择优选择,用于糖炒及加工品种选育,能够获得较好的经济效益。

板栗坚果含有大量的淀粉、可溶性糖、蛋白质、维生素以及矿物质元素等物质,营养丰富,具有养胃健脾、补肾强筋、活血止血等功效,素有“干果之王”的美称。然而,不同板栗品种营养成分含量有着较大的差异。本实验对 97 个板栗品种淀粉含量、可溶性糖含量、总蛋白含量、钙含量以及铁含量 5 个营养成分指标进行多重比较,分析得出,‘无名 1 号’(C73)等 20 个品种淀粉含量较高,均在 29% 以上;‘潘庄 1 号’(C57)等 30 个品种可溶性糖含量较高,与均值存在极显著差异;‘灰拣’(C42)等 13 个品种总蛋白含量在 7.5% 以上;‘超短枝 1 号’(C3)等 31 个品种钙含量较高;‘迁安’(C60)等 17 个品种铁含量明显高于均值。随着社会的进步和人民生活水平的提高,人们对板栗坚果的品质要求也越来越高,因此,应该合理充分地利用单个或多个营养指标含量较高的板栗品种,进一步开展良种选育,为山区栗农

带来更多的收益。

植物的许多性状之间存在着一定的相关性,利用这些相关性可以提高育种效率。板栗坚果表型及品质性状间相关性分析表明,坚果表型各性状间呈现正相关关系,且相关极显著;营养成分各指标间亦显示出正相关关系;而表型各性状与营养成分各指标间表现为负相关关系。据此,作者认为可以将坚果表型性状、品质性状作为两个相互独立又有一定关联的综合因子,利用这 2 个综合因子对 97 个板栗品种进行综合选择,以达到高效选择的目的。

主成分分析是将少数几个彼此不相关的新指标代替原来为数较多的彼此有一定相关关系的指标,能够解决因评价指标间的相关关系造成评价信息相互重叠、相互干扰,而难以客观地反映被评价对象的相对地位的问题。杨志玲等^[8]运用主成分分析法对 41 个锥栗单株 7 个经济性状进行分析,确定了锥栗

的产量特性和结实特性 2 个综合因子,利用主成分方程计算出 41 个单株在 2 个综合指标上的得分值,以综合值的大小排序,将 41 个锥栗单株分成大果、中果、小果和野生 4 个类型。刘莹等^[9]对分布于湖北省秭归县境内的一个由 169 株板栗和 281 株锥栗组成的天然同域居群的 20 个叶表型性状进行主成分分析,构建了 3 个主成分,并以前 2 个主成分中高负载值的性状将板栗和锥栗几乎完全分成 2 个类群。本研究利用坚果表型和品质性状 8 个指标对 97 个板栗品种进行主成分分析,确定了 4 个主成分,按照 4 个主成分值大小进行筛选,并结合 97 个板栗品种坚果表型及品质各性状多重比较结果,综合选择出 43 个品种,此 43 个板栗品种均具有单个或多个性状的优势,其果粒较大,或营养价值较高,或二者兼有,可以初步选择为果型或品质优良的板栗品种材料。

参考文献:

- [1] ANAGNOSTAKIS SL. Measuring resistant of chestnut tree to chestnut blight[J]. *Canadian Journal of Forest Research*, 1992, **22**(4): 568—571.
- [2] EIICHI I, LIN N, HIROMICHI H, *et al.* Development of simple sequence repeat markers in Chinese chestnut and their characterization in diverse chestnut cultivars[J]. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 2009, **134**(6): 610—617.
- [3] TIAN H(田 华), KANG M(康 明), LI L(李 丽), *et al.* Genetic diversity in natural populations of *Castanea mollissima* inferred from nuclear SSR markers[J]. *Biodiversity Science*(生物多样性), 2009, **17**(3): 296—302(in Chinese).
- [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: 9—17.
- [5] LI B G(李保国), ZHANG L P(张林平), GUO S P(郭素萍), *et al.* Studies on the method of joint determination of soluble sugar and amy-lum in Chinese chestnut seeds[J]. *Hebei Journal of Forestry and Orchard Research*(河北林果研究), 1997, **12**(2): 122—125(in Chinese).
- [6] 陈钧辉, 李 俊, 张太平, 等. 生物化学实验(第 4 版)[M]. 北京: 科学出版社, 2008: 16—17.
- [7] WANG T K(王同坤), DONG CH H(董超华), QI Y SH(齐永顺), *et al.* Analysis of genetic diversity of Yanshan chestnut by RAPD[J]. *Journal of Fruit Science*(果树学报), 2006, **23**(4): 547—552(in Chinese).
- [8] YANG ZH L(杨志玲), GONG B CH(龚榜初), CHEN Z H(陈增华), *et al.* Quantitative analysis on the economic characters of *Castanea henryi* nut[J]. *Forest Research*(林业科学研究), 2001, **14**(1): 90—94(in Chinese).
- [9] LIU Y(刘 莹), NING Z L(宁祖林), WANG J(王 静), *et al.* Study on leaf phenotypic variation of a sympatric population of *Castanea mollissima* and *C. henryi*[J]. *Journal of Wuhan Botanical Research*(武汉植物学研究), 2009, **27**(5): 480—488(in Chinese).