

DOI:10.12403/j.1001-1498.20220614

不同板栗品种坚果表型差异分析及 稳定性指标筛选

李彤彤¹, 郭素娟^{1*}, 江锡兵²

(1. 北京林业大学省部共建森林培育与保护教育部重点实验室, 北京 100083; 2. 中国林业科学研究院亚热带
林业研究所, 浙江 杭州 311400)

摘要: [目的] 通过比较分析不同品种板栗表型性状, 筛选出表型差异较大且不易受环境影响的指标, 以期为生产实践中板栗品种鉴别及实现精准应用提供参考。[方法] 以来自我国不同板栗产区的 80 个品种, 共 3 200 个坚果为试验材料, 对其 21 个表型性状进行差异性、多样性分析; 对表型与环境因子相关性进行分析, 筛选出变异系数较小的稳定性指标; 利用多地栽培的 3 个品种进行稳定性验证。[结果] (1) 不同地区板栗表型指标存在显著差异, 湖北、江苏、安徽地区品种坚果、底座大小均显著高于其它地区。(2) 21 个表型指标变异范围为 4.05%~42.28%, 除去在群体内及群体间存在显著差异的指标, 筛选出 9 个在品种间存在差异且变异系数较小的相对稳定指标, 即果形指数、坚果圆度、底座圆度及相关比值指标。(3) 相关性分析显示: 坚果大小、底座大小相关指标与年平均温度、生长季平均温度、年降水量、生长季降水量均存在极显著正相关, 与年日照时数、生长季日照时数均存在极显著负相关。(4) 多地栽培的 3 个品种的 9 个坚果表型指标变异系数为 1.13%~5.99%; 方差分析结果显示, 底座圆度在区域间差异显著, 其余 8 个指标在区域间及个体间均差异不显著。[结论] 不同板栗品种在 21 个坚果表型指标中具有丰富多样性及显著差异性, 其中, 果形指数、坚果圆度、底座长宽比、相对底座大小、底座弧长/坚果周长、底座面积/横切面积、底座长/横径、底座宽/厚度等 8 个坚果表型指标为稳定性指标, 可应用于生产实践板栗品种鉴别。

关键词: 板栗; 坚果表型; 品种鉴别; 稳定性; 环境因子

中图分类号: S664.2

文献标识码: A

文章编号: 1001-1498(2023)04-0099-10

板栗 (*Castanea mollissima* Blume) 属于壳斗科 (Fagaceae) 栗属 (*Castanea* Mill.), 是我国重要的木本粮食树种。我国板栗品种丰富, 目前国审和省审品种达 100 余个, 均在生产上推广应用。然而, 品种虽多但大多品种的开发和利用率低, 在实际生产、销售过程中常出现品种混淆、难以鉴别等问题。因此, 正确识别全国范围板栗品种, 对其合理利用、保护品种以及引种栽培等具有重要意义。

近年来, 育种家和种质资源科学家越来越认识

到植物表型研究的重要性^[1]。表型性状具有直观、易于识别的特点, 建立品种表型数据是一种有效进行品种鉴定的重要方法^[2]。植物种子形态相关性状作为比较稳定的遗传特征, 相较于种子大小、颜色、单粒质量等性状, 不易受到微环境的影响^[3-5], 使其在品种分类与鉴别中具有重要价值。对于板栗等经济林树种, 坚果作为其主要获取器官, 在品种资源表型性状调查方面具有简便直观、易获取的优点^[6]。

收稿日期: 2022-12-26 修回日期: 2023-02-07

基金项目: 国家重点研发计划项目“主要经济林优质高产新品种创制与精准栽培技术 (2022YFD2200400) 资助; 林业和草原科技成果国家级推广项目 (2020133118)

作者简介: 李彤彤, 硕士, 主要研究方向: 经济林 (果树) 栽培与利用。电话: 13146852857。Email: 534966294@qq.com

* 通讯作者: 郭素娟, 教授, 博士生导师。主要研究方向: 经济林 (果树) 栽培与利用。电话: 18801376443。Email: gwangzs@263.net

到目前为止,在板栗坚果形态方面也有诸多研究,自2005年起有研究者对不同种质坚果的横纵径、单粒质量指标进行群体间及群体内的差异分析,也证明了坚果的部分形态指标在品种及地域间存在显著差异^[7]。此后,刘国彬等^[8]验证了杂交后代坚果表型性状出现了显著差异;江锡兵等^[9]对中国地方板栗品种的坚果、叶片相关表型性状进行了变异分析,证明坚果表型遗传稳定性高于叶片表型及坚果品质性状;刘亚斌等^[10]通过研究引种于迁西地区的39份板栗种质资源的坚果及刺苞相关表型性状,进行区域间形态多样性分析。对板栗表型数据进行收集,从而可以建立表型数据库,利用计算机查询,提高鉴定效率。王凤格等^[11]建立了一套-DUS测试,通过选择一套适合的形态性状进行表型数据采集,通过对比进行品种鉴定。

综上所述,目前板栗坚果表型性状的研究还存在以下不足:(1)大多集中在遗传多样性分析及资源评价方面,无法准确地应用于品种鉴别;(2)板栗资源的研究大部分利用种质资源以及区域性地方品种,对于全国主栽品种涉及不充分;(3)坚果表型指标只局限于横纵径、果形指数、颜色等性状比较,分析角度单一且缺少坚果底座等重要品种鉴别部位;(4)关于环境地理因子对板栗坚果表型的影响鲜有报道。本研究对板栗坚果的横切面、纵切面、外侧面、底座等部位进行全面综合测量分析,增加相关比值指标,从不同角度对板栗坚果表型进行分析,探究不同地区板栗坚果表型差异,通过探究坚果表型与环境因子的关系,筛选出板栗坚果表型相对稳定指标,对生产实际中板栗品种鉴别及精准应用提供参考。

1 材料与方 法

1.1 样本采集

于2020-2021年各品种板栗成熟期,在中国的10个省、市(直辖市)选择80个品种(表1),在来源地重复采集坚果样本,每一品种2年采集相同数量。每个品种随机选取当地发育良好、健壮板栗树10株并进行标记(每株间隔50 m以上),在每株板栗树的树冠外围东南西北4个方位的结果枝上随机选取球苞共8个,每个品种80个球苞,剥开后随机选出40粒边果,80品种共3 200粒,2年间共计6 400粒。

此外,以同样的采集方法在我国不同地区分别

采集‘燕山早丰’、‘处暑红’、‘罗田乌壳栗’3个板栗品种(表2)。

1.2 试验方法

1.2.1 坚果表型数据获取 参照《中国果树志:板栗,榛子卷》^[12]和《板栗种质资源描述规范和数据标准》^[13]对80个板栗品种进行部分坚果表型性状指标的测定,形态见图1,包括:外侧面弧长(Lac),边果横径、纵径、厚度、果形指数(边果横径/纵径),底座长、宽、底座形状指数(底座长宽比),相对底座大小(底座宽度/外侧面弧长即Lbc/Lacb),共9个表型指标。每个指标测量40组数据,并求其平均值,精确到0.01。

对坚果平面、底面、侧立面角度进行拍照,利用image J^[14]测量边果面积(平面面积)、周长(平面周长)、圆度,边果横切面积(底座角度面积)、横切面周长,底座面积、周长、圆度,共8个表型指标,每个指标测量40组数据,并求其平均值,精确到0.01。

利用上述测量指标计算:底座弧长/坚果周长(Lfg/Lafg)、底座面积/横切面积、底座长/横径、底座宽/厚度,共4个相关比值指标。

实际面积=参照面积×(实际面积像素点数/参照面积像素点数),参照面积为A4大小。

实际叶片的周长=测得的周长像素点数×2.54/图片分辨率。(1像素点数=1/图片高分辨率inch,1inch=2.54cm)

1.2.2 地理气候数据获取 各地区地理位置信息来源于地理位置查询系统,气候因子数据来源于当地各气象站数据资料及中国气象数据网(1981-2020)(<http://www.nmic.cn/data.html>)。根据前人研究,选择影响板栗表型最密切的7个气候因子^[15],即年平均温度、生长季平均温度、生长季温差、生长季日照时数、年日照时数、生长季降水量、年降水量,各指标按照6-9月计算平均值。

1.2.3 数据处理 利用Excel对21个性状指标进行数据整合,计算各性状平均值、标准差、标准误差;利用SPSS Statistics 23进行多样性分析,利用Origin 2021进行差异性分析,利用R 3.6.1进行相关性分析。

2 结果与分析

2.1 不同板栗品种坚果表型多样性分析

2.1.1 不同板栗品种坚果表型差异性分析 对供

表1 80个板栗品种名称及来源
Table 1 Names and sources of 80 chestnut varieties

编号 NO.	品种 Varieties	来源 Source	编号 NO.	品种 Varieties	来源 Source
1	'烟泉' 'Yanquan'	山东烟台 Yantai, Shandong	41	'燕龙' 'Yanlong'	河北昌黎 Changli, Hebei
2	'东丰' 'Dongfeng'	山东烟台 Yantai, Shandong	42	'燕明' 'Yanming'	河北昌黎 Changli, Hebei
3	'金丰' 'Jinfeng'	山东招远 Zhaoyuan, Shandong	43	'昌黎8号' 'Changli8'	河北昌黎 Changli, Hebei
4	'红光' 'Hongguang'	山东莱西 Laixi, Shandong	44	'八月红' 'Bayuehong'	湖北罗田 Luotian, Hubei
5	'烟清' 'Yanqing'	山东烟台 Yantai, Shandong	45	'罗田乌壳栗' 'Luotianwukeli'	湖北罗田 Luotian, Hubei
6	'泰安薄壳栗' 'Taianbokeli'	山东泰安 Taian, Shandong	46	'中迟栗' 'Zhongchili'	湖北罗田 Luotian, Hubei
7	'清丰' 'Qingfeng'	山东海阳 Haiyang, Shandong	47	'桂花香' 'Guihuaxiang'	湖北罗田 Luotian, Hubei
8	'泰栗一号' 'Taili1'	山东泰安 Taian, Shandong	48	'九月寒' 'Jiuyuehan'	湖北罗田 Luotian, Hubei
9	'黄棚' 'Huangpeng'	山东泰安 Taian, Shandong	49	'六月暴' 'Liuyuebao'	湖北罗田 Luotian, Hubei
10	'上丰' 'Shangfeng'	山东海阳 Haiyang, Shandong	50	'罗田早栗' 'Luotianzaoli'	湖北罗田 Luotian, Hubei
11	'红栗' 'Hongli'	山东泰安 Taian, Shandong	51	'浅刺大板栗' 'Qiancidabanli'	湖北宜昌 Yichang, Hubei
12	'鲁岳早丰' 'Luyuezaofeng'	山东泰安 Taian, Shandong	52	'魁栗' 'Kuili'	浙江上虞 Shangyu, Zhejiang
13	'沂蒙短枝' 'Yimengduanzhi'	山东泰安 Taian, Shandong	53	'毛板红' 'Maobanhong'	浙江诸暨 Zhuji, Zhejiang
14	'丽抗' 'Likang'	山东泰安 Taian, Shandong	54	'铁粒头' 'Tielitou'	江苏宜兴 Yixing, Jiangsu
15	'宋家早' 'Songjiazao'	山东泰安 Taian, Shandong	55	'处暑红' 'Chushuhong'	江苏宜兴 Yixing, Jiangsu
16	'鲁栗2号' 'Luli2'	山东泰安 Taian, Shandong	56	'九家种' 'Jiujiazhong'	江苏洞庭 Dongting, Jiangsu
17	'石丰' 'Shifeng'	山东泰安 Taian, Shandong	57	'广德大红袍' 'Guangdedahongpao'	安徽广德 Guangde, Anhui
18	'蒙早' 'Mengzao'	山东费县 Feixian, Shandong	58	'舒城大红袍' 'Shuchengdahongpao'	安徽舒城 Shucheng, Anhui
19	'海丰' 'Haifeng'	山东泰安 Taian, Shandong	59	'蜜蜂球' 'Mifengqiu'	安徽舒城 Shucheng, Anhui
20	'红栗2号' 'Hongli2'	山东泰安 Taian, Shandong	60	'叶里藏' 'Yelicang'	安徽舒城 Shucheng, Anhui
21	'玉丰' 'Yufeng'	山东莒南 Junan, Shandong	61	'粘底板' 'Zhandiban'	安徽舒城 Shucheng, Anhui
22	'燕山红栗' 'Yanshanhongli'	北京昌平 Changping, Beijing	62	'镇安大板栗' 'Zhenandabanli'	陕西镇安 Zhenan, Shanxi
23	'燕昌' 'Yanchang'	北京昌平 Changping, Beijing	63	'柞板11号' 'Zhaban11'	陕西柞水 Zhashui, Shanxi
24	'银丰' 'Yinfeng'	北京昌平 Changping, Beijing	64	'柞板14号' 'Zhaban14'	陕西柞水 Zhashui, Shanxi
25	'短花' 'Duanhua'	北京密云 Miyun, Beijing	65	'长安明拣' 'Changanmingjian'	陕西西安 Xian, Shanxi
26	'怀黄' 'Huaihuang'	北京怀柔 Huairou, Beijing	66	'长安灰拣' 'Changanhuigjian'	陕西西安 Xian, Shanxi
27	'怀九' 'Huajiu'	北京怀柔 Huairou, Beijing	67	'确山紫油栗' 'Queshanziyouli'	河南确山 Queshan, Henan
28	'燕丰' 'Yanfeng'	北京怀柔 Huairou, Beijing	68	'豫丰红' 'Yufenghong'	河南罗山 Luoshan, Henan
29	'燕昌早生' 'Yanchangzaosheng'	北京昌平 Changping, Beijing	69	'豫罗红' 'Yuluohong'	河南罗山 Luoshan, Henan
30	'京暑红' 'Jingshuhong'	北京怀柔 Huairou, Beijing	70	'易门1号' 'Yimen1'	云南易门 Yimen, Yunnan
31	'紫珀' 'Zipo'	河北遵化 Zunhua, Hebei	71	'易门2号' 'Yimen2'	云南易门 Yimen, Yunnan
32	'遵达栗' 'Zundali'	河北遵化 Zunhua, Hebei	72	'易门3号' 'Yimen3'	云南易门 Yimen, Yunnan
33	'遵化短刺' 'Zunhuaduanci'	河北遵化 Zunhua, Hebei	73	'宝塔板栗' 'Baotabanli'	云南宝塔 Baota, Yunnan
34	'东陵明珠' 'Donglingmingzhu'	河北遵化 Zunhua, Hebei	74	'弥勒板栗' 'Milebanli'	云南弥勒 Mile, Yunnan
35	'塔丰' 'Tafeng'	河北遵化 Zunhua, Hebei	75	'永仁板栗' 'Yongrenbanli'	云南永仁 Yongren, Yunnan
36	'燕山短枝' 'Yanshanduanzhi'	河北迁西 Qianxi, Hebei	76	'荔波早栗' 'Libozao li'	贵州荔波 Libo, Guizhou
37	'燕山早丰' 'Yanshanzaofeng'	河北迁西 Qianxi, Hebei	77	'荔波中栗' 'Libozhongli'	贵州荔波 Libo, Guizhou
38	'大板红' 'Dabanhong'	河北迁西 Qianxi, Hebei	78	'荔波晚栗' 'Libowanli'	贵州荔波 Libo, Guizhou
39	'迁西早红' 'Qianxizaohong'	河北迁西 Qianxi, Hebei	79	'野毛栗' 'Yemaoli'	贵州黔西 Qianxi, Guizhou
40	'燕宝' 'Yanbao'	河北昌黎 Changli, Hebei	80	'贵州油栗' 'Libowanli'	贵州玉屏 Yuping, Guizhou

表2 3个板栗品种的不同来源信息

Table 2 Information from different sources of 3 chestnut varieties

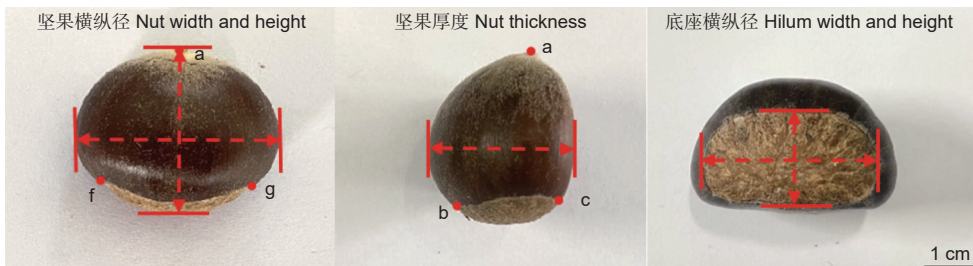
品种 Varieties	来源 Source
'燕山早丰' 'Yanshanzaofeng'	河北迁西 Qianxi, Hebei
	天津蓟州 Jizhou, Tianjing
	北京怀柔 Huairou, Beijing
	山东泰安 Taian, Shandong
	河南信阳 Xinyang, Henan
	浙江杭州 Hangzhou, Zhejiang
	云南易门 Yimen, Yunnan
'处暑红' 'Chushuhong'	江苏宜兴 Yixing, Jiangsu
	山东泰安 Taian, Shandong
	山东乳山 Rushan, Shandong
	山东费县 Feixian, Shandong
	浙江杭州 Hangzhou, Zhejiang
'罗田乌壳栗' 'Luotianwukeli'	河南信阳 Xinyang, Henan
	湖北罗田 Luotian, Hubei
	浙江杭州 Hangzhou, Zhejiang
	山东泰安 Taian, Shandong
	河南信阳 Xinyang, Henan
	河北迁西 Qianxi, Hebei
	福建宁德 Ningde, Fujian

试的80个板栗品种按来源地所在省份分类进行差异分析,结果(图2)显示:不同区域的板栗品种在坚果主要表型性状间存在差异。代表坚果长度、面积、弧长等指标是描述坚果大小的重要指标,其中,江苏、湖北、安徽地区的板栗品种平均值较高,北京、河北地区的平均值较低;底座面积、周长及底座长、宽是描述坚果底座大小的重要指标,湖北、江苏、安徽地区的板栗坚果底座平均值高于

其他地区;底座弧长/坚果周长、相对底座大小均反映底座占坚果的大小,安徽、湖北、江苏的平均值较高,河北、河南地区的平均值较低;底座面积/横切面积、底座长/坚果横径、底座宽/坚果厚度反映底座占坚果的大小,湖北、江苏、安徽、陕西地区的平均值较高,山东、北京、河北地区的平均值较低;底座长宽比、底座圆度是描述坚果底座形态的指标,江苏、安徽地区的坚果底座形态呈椭圆形,陕西等地区的底座形态接近圆形;坚果果形指数、坚果圆度是描述坚果形态的指标,山东、河北、云南地区的板栗坚果更接近圆形,湖北、江苏、安徽的更接近椭圆形。

综上所述,湖北、江苏、安徽等长江中下游地区在坚果及底座大小相关指标上均大于其他地区,坚果、底座形态均以长椭圆形为主;云南、贵州、河南、陕西地区部分品种,坚果与底座大小中等,坚果厚度较大,果形以圆形或短椭圆形为主,底座长椭圆形;北京、河北、山东地区部分品种,特征为坚果、底座均小于其它地区,坚果厚度适中,果形以椭圆形为主,底座短椭圆形。

2.1.2 不同板栗品种坚果表型变异特征 对80个板栗品种的21个坚果表型性状基本参数及多样性进行统计,结果(表3)表明:不同板栗品种在坚果表型性状间表现出较高的多样性,变异系数为4.05%~42.28%,有12个性状的变异幅度大于20.00%,其中系数较大的为坚果横切面周长(42.28%)、底座面积(37.42%),坚果横切面积(30.41%)、坚果面积(30.38%),这些指标主要与板栗大小有关,证明不同板栗品种代表坚果大小相关性状的遗传稳定性较低;变异系数较小的为坚果圆度(4.05%)、果形指数(5.43%)、底座宽/厚度(9.15%),这些指标主要代表坚果的

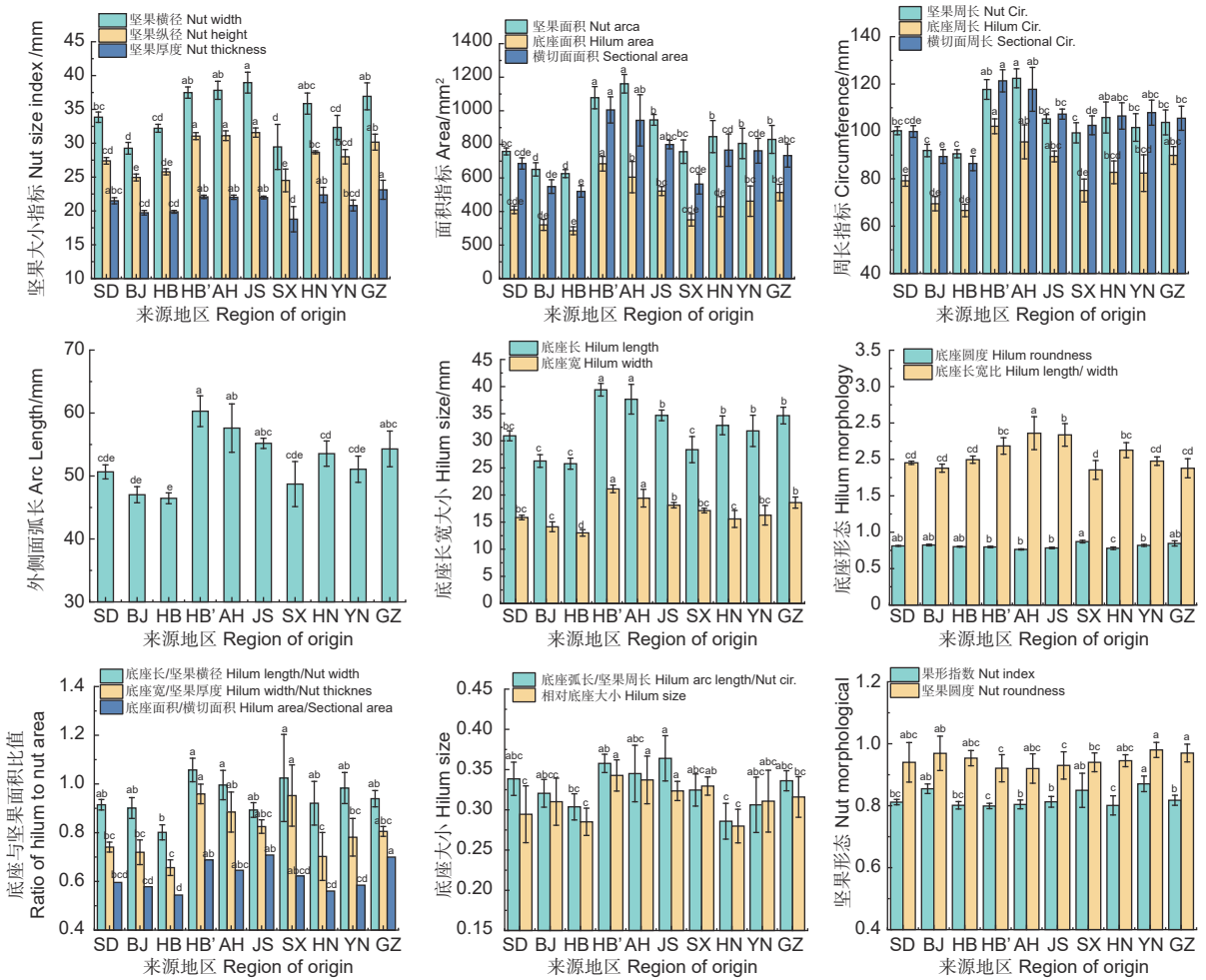


注: a: 果顶; b c: 底座宽度极值点; f g: 底座长度极值点

Notes: a: Nut top; b c: Hilum width extreme point; f g: Hilum transverse extreme point

图1 坚果表型测量示意图

Fig. 1 Schematic diagram of nut phenotype measurement



注: SD: 山东; BJ: 北京; HB: 河北; HB': 湖北; AH: 安徽; JS: 江苏; SX: 陕西; HN: 河南; YN: 云南; GZ: 贵州。

Notes: SD: Shandong; BJ: Beijing; HB: Hebei; HB': Hubei; AH: Anhui; JS: Jiangsu; SX: Shanxi; HN: Henan; YN: Yunnan; GZ: Guizhou.

图2 板栗坚果表型性状指标

Fig. 2 Phenotypic traits indicators of chestnut nuts

形态指标, 证明不同板栗品种在形态及相关比值方面变异较稳定。

对 80 个板栗品种在同一性状下进行方差分析, 用于样本均数差别的显著性检验, 探究板栗坚果相关性状在群体间和群体内的差异性。表 4 表明: 坚果圆度、果形指数、底座圆度 3 个指标在群体间和群体内均差异不显著; 相对底座大小、底座弧长/周长、底座面积/横切面积、底座长/横径、底座宽/厚度、底座长宽比 6 个指标在群体间差异极显著, 而在群体内差异不显著。此外, 其它性状指标在群体内和群体间均差异极显著。

综上所述, 来源于不同地区的不同板栗品种在所选取的坚果表型相关指标上部分表现较大的差异, 证明品种变异丰富, 在群体内差异明显说明性状易受环境影响。因此, 为探究稳定性指标, 初步

筛选出变异系数较小的 9 个指标作为稳定性指标, 即坚果圆度、果形指数、底座圆度、相对底座大小、底座弧长/周长、底座面积/横切面积、底座长/横径、底座宽/厚度、底座长宽比。

2.2 坚果表型指标与环境因子相关性

对不同板栗坚果表型指标与气象因子之间进行相关性分析, 相关系数 (表 5) 显示: 坚果面积、坚果周长、横切面积、坚果横径、纵径、底座面积、底座周长、底座长、底座宽、外侧面弧长 11 个指标均与年平均温度、生长季平均温度、年降水量、生长季降水量呈极显著正相关, 与年日照时数、生长季日照时数呈极显著负相关; 坚果横切面周长与年日照时数呈极显著负相关; 底座圆度与生长季平均温度呈极显著负相关; 果形指数、相对底座大小、底座长/横径均与年平均温度呈显著正

表3 板栗坚果表型性状基本参数及多样性

Table 3 Basic parameters and diversity of phenotypic traits related nut for chestnut

性状指标 Characteristic index	均值 Mean	标准差 SD	最大值 Max.	最小值 Min.	极差 Range	变异系数 CV/%
坚果面积 Nut area (NA) /mm ²	800.57	195.21	1 348.60	486.70	861.9	30.38
坚果周长 Nut circumference (NC) /mm	98.38	12.96	117.41	77.33	40.08	32.78
坚果圆度 Nut Roundness (NR)	0.95	0.02	0.98	0.91	0.07	4.05
横切面积 Sectional area (SA) /mm ²	702.63	213.66	1 014.53	623.40	391.13	30.41
横切面周长 Sectional circumference (SC) /mm	110.24	79.68	123.79	97.00	26.97	42.28
坚果横径 Nut width (NW) /mm	31.92	4.22	40.18	28.02	12.16	22.43
坚果纵径 Nut height (NH) /mm	27.83	2.94	32.02	22.84	9.18	20.57
坚果厚度 Nut thickness (NT) /mm	21.04	1.89	25.30	14.24	11.06	21.99
果形指数 Nut index (NI)	0.82	0.04	1.03	0.80	0.06	5.43
底座面积 Hilum area (HA) /mm ²	432.99	162.04	809.43	296.37	513.06	37.42
底座周长 Hilum circumference (HC) /mm	80.71	14.67	109.80	67.56	42.24	28.17
底座圆度 Hilum Roundness (HR)	0.81	0.03	0.91	0.74	0.17	9.84
底座长 Hilum length (HL) /mm	31.25	5.83	42.16	25.48	16.68	20.66
底座宽 Hilum width (HW) /mm	16.36	3.24	23.04	12.89	10.15	20.81
底座长宽比 Hilum length/ width (HH)	2.05	0.38	2.16	1.70	0.46	18.29
外侧面弧长 Arc length (AL) /mm	51.47	6.35	58.53	35.93	22.60	24.33
相对底座大小 Hilum size (HS)	0.31	0.15	0.35	0.23	0.12	10.51
底座弧长/坚果周长 Arc length of base/Nut circumference (X1)	0.33	0.05	0.40	0.21	0.19	13.75
底座面积/横切面积 Nut circumference/Sectional area (X2)	0.61	0.08	0.80	0.47	0.33	13.51
底座长/横径 Hilum length/Nut Width (X3)	0.92	0.15	1.41	0.78	0.63	11.30
底座宽/厚度 Hilum width/Nut thickness (X4)	0.84	0.16	1.01	0.61	0.40	9.15

表4 不同板栗品种在同一性状下的方差分析

Table 4 Variance analysis of chestnut varieties in different regions under the same trait

性状指标 Characteristic index	群体间F值 F value among population	群体内F值 F value within population	性状指标 Characteristic index	群体间F值 F value among population	群体内F值 F value within population
NA	15.27**	13.92**	AL	13.01**	7.33**
SA	28.57**	25.95**	NI	1.46	0.12
NC	19.14**	18.95**	NR	1.05	0.50
SC	41.70**	25.38**	HR	2.21	0.80
NW	17.57**	12.52**	HH	8.04**	1.14
NH	17.88**	11.98**	HS	4.83**	1.41
NT	14.32**	15.61**	X1	5.86**	1.24
HA	30.81**	27.79**	X2	4.18**	0.53
HC	23.38**	21.10**	X3	7.53**	1.02
HL	13.61**	10.76**	X4	9.01**	0.87
HW	10.26**	9.84**			

注：各指标代码同表3。*表示显著相关 ($P < 0.05$)，**表示极显著相关 ($P < 0.01$)。下同。

Notes: The index code is the same as Table 3. * Indicates correlation $P < 0.05$ level, ** means correlation is significant at $P < 0.01$ level. The same below.

表5 3个板栗品种坚果表型指标与环境因子相关性

Table 5 Correlation between phenotypic indexes of chestnut nuts and environmental factors in 3 Chinese chestnut varieties

性状指标 Character index	海拔 高度 Altitude	年平均温度 Annual mean T	生长季平均温度 Meangrowing season T	生长季温差 Growing season T difference	年日照时数 Annual sunshine hours	生长季日照时数 Sunshine hour growing season	年降水量 Annual precipitation	生长季降水量 Growing season precipitation
NA	0.06	0.42**	0.42***	-0.11	-0.55***	-0.53***	0.69***	0.59***
NC	0.06	0.40***	0.41***	-0.12	-0.55***	-0.53***	0.67***	0.57***
NR	0.04	0.09	0.21	-0.04	0.04	0.02	0.04	0.17
SA	0.11	0.42***	0.49***	-0.08	-0.42***	-0.41***	0.62***	0.54***
SC	0.16	0.07	-0.23*	-0.02	-0.33**	-0.21	0.05	-0.03
NW	0.05	0.36**	0.49***	-0.08	-0.44***	-0.38**	0.60***	0.60***
NH	0.11	0.44***	0.56***	-0.12	-0.52***	-0.50***	0.71***	0.71***
NT	0.02	0.25*	0.40***	-0.14	-0.31**	-0.31**	0.44***	0.45***
NI	0.20	0.22*	-0.08	-0.05	-0.03	-0.08	0.02	-0.05
HA	0.11	0.40***	0.49***	-0.08	-0.49***	-0.45***	0.68***	0.61***
HC	0.14	0.41***	0.49***	-0.09	-0.52***	-0.48***	0.69***	0.60***
HR	0.06	0.03	-0.34**	-0.06	-0.12	-0.08	-0.04	-0.17
HL	0.13	0.42***	0.51***	-0.09	-0.52***	-0.48***	0.68***	0.61***
HW	0.10	0.38***	0.39***	-0.07	-0.56***	-0.49***	0.65***	0.53***
HH	-0.05	0.15	0.13	-0.16	-0.04	-0.08	0.13	0.19
AL	0.07	0.38***	0.51***	0.02	-0.44***	-0.39**	0.63***	0.53***
HS	0.06	0.26*	0.19	0.02	-0.16	-0.08	0.11	0.20
X1	-0.16	-0.10	0.14	0.04	-0.20	-0.08	0.12	0.17
X2	0.04	0.18	0.17	-0.04	-0.12	-0.18	0.17	0.23*
X3	0.17	0.27*	0.15	-0.03	-0.07	-0.15	0.11	0.20
X4	0.10	0.16	0.17	0.01	-0.14	-0.08	0.12	0.28*

注: ***表示极显著相关 ($P < 0.001$)。Notes: *** means correlation is extremely significant at $P < 0.001$ level.

相关; 底座面积/横切面积、底座宽/厚度与生长季降水量呈显著正相关。

综合来看, 坚果大小及底座大小相关指标极易受到光照、温度、降水等因素的影响, 而坚果圆度、果形指数、底座长宽比、相对底座大小、底座弧长/坚果周长、底座面积/横切面积、底座长/横径、底座宽/厚度 8 个指标与环境因子的相关性显著度较低, 受环境影响较小, 可以作为相对稳定性指标。

2.3 表型指标稳定性验证

选择多地栽培的 3 个板栗品种进行试验, 探究环境对表型指标的影响, 验证筛选出稳定性指标的可靠性。结果 (表 6) 显示: 3 个板栗品种的 9 个板栗坚果表型指标变异系数为 1.13%~5.99%, 变

表6 3个板栗品种表型性状平均变异系数

Table 6 Average CV of phenotypic traits of 3 chestnut varieties

性状指标 Characteristic index	‘燕山早丰’ ‘Yanshanzaofeng’	‘处暑红’ ‘Chushuhong’	‘罗田乌壳栗’ ‘Luotianwukeli’	%
坚果圆度 Nut R.	2.28	3.20	1.13	
果形指数 Nut I.	2.36	1.87	1.72	
底座圆度 Hilum R.	2.40	1.36	1.39	
相对底座大小 Hilum size	4.39	3.88	4.24	
底座长宽比 Hilum length/width	5.99	5.72	4.94	
底座弧长/坚果周长 X1	4.51	4.58	4.41	
底座面积/横切面积 X2	4.89	5.09	5.96	
底座长/横径 X3	5.17	2.89	4.50	
底座宽/厚度 X4	5.11	4.63	5.06	

异系数均小于 6.00%，表明具有较高的遗传稳定性，且 3 个板栗品种变异规律一致。方差分析检验结果（表 7）表明：除‘燕山早丰’（ $F=3.32$ ）、‘处

暑红’（ $F=4.62$ ）底座圆度指标在区域间存在显著差异外，其它指标在区域间及个体间均差异不显著。

表 7 3 个板栗品种坚果表型指标在不同栽培区的方差分析

Table 7 Variance of phenotypic traits of three Chinese chestnut varieties in different cultivation areas

品种 Varieties	变异来源 Sources of variation	表型指标 Characteristic index (F 值)								
		NR	NI	HR	HS	HH	X1	X2	X3	X4
‘燕山早丰’ ‘Yanshanzaofeng’	区域间 (7)	0.23	1.27	3.32*	2.21	0.47	1.32	0.68	1.35	1.63
	个体间 (560)	0.11	0.95	1.07	1.45	0.95	0.46	0.48	1.26	1.25
‘处暑红’ ‘Chushuhong’	区域间 (6)	1.52	1.28	4.62*	1.83	0.77	0.78	0.91	1.62	1.03
	个体间 (480)	1.08	0.69	1.59	1.74	0.69	0.54	0.36	1.05	0.87
‘罗田乌壳栗’ ‘Luotianwukeli’	区域间 (6)	1.89	0.78	1.78	1.21	1.63	0.89	1.42	2.09	1.21
	个体间 (480)	1.18	0.84	1.23	1.62	0.54	0.56	0.56	1.04	0.35

3 讨论

3.1 板栗坚果表型多样性分析

板栗在我国分布广泛，不同生态环境使板栗在表型指标上存在差异。综合来看，南方板栗品种显著大于北方品种，尤其是湖北、江苏、安徽等长江中下游地区板栗最大，这与江锡兵等^[9]、樊晓芸等^[16]的研究结果一致。品种资源的遗传多样性主要与群体内个体的基因差异有关，是生物遗传多样性的重要组成部分^[17-18]。对表型性状进行数据统计，对品种分类及资源培育具有重要作用。此外，在植物中生殖器官（花、果实、种子）的遗传变异最稳定^[19]，因此，本研究选择板栗坚果进行形态分析，对筛选稳定性性状较可靠。

变异系数反映数据离散程度的绝对值，变异系数越大，则性状值离散程度越大。本研究以来自不同板栗产区的 80 个板栗品种所统计的 21 个表型指标中，变异系数分布在 4.05%~42.28%，差异较大，其中，坚果形态指数、底座形态指数及相关比值等指标变异系数最小，这与陈旭等^[20]、江锡兵等^[21]、刘亚斌等^[10]对板栗坚果表型研究中形态指标在板栗品种间变异较小的结果一致，说明这些指标在自然选择中表现出较强的适应性。本研究根据性状遗传变异初步筛选出 9 个相对稳定性指标，其中，大多为底座相关指标，也证明了底座在不同板栗品种坚果表型鉴定的重要性，这与刘庆忠^[13]的理论一致，而底座研究一直以来都是板栗坚果表型

研究的不足之处。

3.2 坚果表型指标与环境因子相关性

植物表型与其本身基因型及外部环境共同作用有关，要实现利用表型进行品种鉴定需探究环境与表型的相关性，筛选出相对稳定指标^[22]。结果证明，板栗作为喜光树种，其坚果及底座大小极易受到光照、日照时数、降水量等环境因素影响，尤其是生长季（6-9 月）的气候条件，这与杜常健等^[23]、王姝^[24]的研究一致。

3.3 板栗坚果表型稳定性指标筛选

植物表型鉴定需要在适宜其生长的环境下鉴定，若要考察其稳定性，降低环境对表型数据的干扰，则应采取多环境方式鉴定^[25-27]。本研究首先选取不同来源地的板栗品种进行表型性状对比分析，得到变异系数较小指标，再利用来自不同地区的同一品种进行性状分析，以考察性状在不同环境下的变异性，选出适于全国主栽品种的较稳定指标。结果表明，代表坚果及底座大小等相关指标均易受环境的影响。只有果形指数、坚果圆度、相对底座大小、底座长宽比、底座弧长/坚果周长、底座面积/横切面积、底座长/横径、底座宽/厚度 8 个指标变异系数较小且同一品种在不同区域间也无显著差异，说明在不同环境中的稳定性高。李亚兰等^[6]研究证明了核桃（*Juglans regia* Carl von Linne.）坚果的横纵截面形态比值指标在不同环境中变异较小；MartínGómez 等^[28]研究证明了同一品种杉木（*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.）

种子在不同环境下长短轴之比等形态指标变异较小,均与本研究结果相似,说明坚果相关比值指标是较稳定指标。

4 结论

板栗坚果表型性状在不同品种间存在丰富的遗传变异,其中,代表坚果大小相关指标、底座大小相关指标极易受到环境气候因子的影响,不适宜品种间鉴定,而筛选出的坚果圆度、果形指数、相对底座大小、底座长宽比、底座弧长/坚果周长、底座面积/横切面积、底座长/横径、底座宽/厚度 8 个具有稳定性的差异指标,更适用于全国板栗品种鉴定,为实际生产应用中板栗品种区分提供参考。

参考文献:

- [1] 李长喜. 林木天然群体表型变异研究概述[J]. 林业科学研究, 1988, 1(6): 657-664.
- [2] LEISHMAN M R, JURADO W E. Correlates of seed size variation: A comparison among five temperate floras[J]. *Journal of Ecology*, 1995, 83(3): 517-529.
- [3] 马 骥, 李新荣, 张景光, 等. 我国种子微形态结构研究进展[J]. 浙江师范大学学报(自然科学版), 2005, 28(2): 121-127.
- [4] 黄瑞敏, 潘 刚, 周 晔, 等. 西藏核桃引种到内地后坚果品质变化研究[J]. 中国油脂, 2019, 44(5): 144-148.
- [5] 刘 莉, 王 磊, 吴 丹, 等. 不同种源文冠果种子的表型变异[J]. 经济林研究, 2021, 39(4): 97-105.
- [6] 李亚兰, 潘存德, 陈 虹. 坚果表型性状在核桃种质鉴定中的应用[J]. 西南农业学报, 2020, 33(6): 1113-1120.
- [7] 兰彦平, 周连第, 姚砚武, 等. 中国板栗坚果性状表型多样性研究[M]//中国林学会. 首届中国林业学术大会论文集. 北京: 当代中国出版社: 120-123.
- [8] 刘国彬, 龚榜初, 赖俊声, 等. 锥栗农家品种的遗传多样性及亲缘关系分析[J]. 林业科学研究, 2011, 24(6): 707-712.
- [9] 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.
- [10] 刘亚斌, 郭素娟, 孙传昊. 基于巢式分组设计的板栗刺苞与坚果形态多样性分析[J]. 中南林业科技大学学报, 2020, 40(10): 51-60.
- [11] 王风格, 田红丽, 易红梅, 等. 植物品种DNA指纹鉴定原理及其鉴定方案[J]. 分子植物育种, 2018, 16(14): 4756-4766.
- [12] 张宇和. 中国果树志: 板栗·榛子卷[M]. 北京: 中国林业出版社, 2005.
- [13] 刘庆忠. 板栗种质资源描述规范和数据标准[M]. 北京: 中国农业出版社, 2006.
- [14] MARTIN T N, FIPKE G M, WINCK J E M. ImageJ software as an alternative method for estimating leaf area in oats[J]. *Acta Agronomica*, 2020, 69(3): 162-169.
- [15] 樊晓芸, 郭素娟, 江锡兵, 等. 不同栽培区气候条件对‘燕山早丰’板栗坚果经济性状的影响[J]. 林业科学研究, 2023, 36(1): 22-30.
- [16] 樊晓芸, 郭素娟, 李艳华. 不同生态区域板栗品质差异性分析及气候适应性评价[J]. 北京林业大学学报, 2022, 44(11): 20-30.
- [17] 胡晓艳, 杜淑辉, 王兆山, 等. 山西省酸枣遗传多样性及遗传结构分析[J]. 林业科学研究, 2020, 33(5): 137-144.
- [18] 张海燕, 樊军锋, 郑 涛. 18份杨树资源的遗传多样性分析[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2020, 48(12): 47-54, 63.
- [19] 刘剑光, 赵 君, 徐剑文, 等. 200份陆地棉种质资源的遗传多样性分析[J]. 江苏农业科学, 2021, 49(14): 66-69.
- [20] 陈 旭, 郝雅琼, 聂兴华, 等. 板栗总苞和坚果主要性状与SSR标记的关联分析[J]. 中国农业科学, 2022, 55(13): 2613-2628.
- [21] 江锡兵, 滕国新, 范金根, 等. 长江中下游区板栗主栽品种果实表型和品质综合评价[J]. 林业科学研究, 2022, 35(1): 70-81.
- [22] 马道承, 王凌晖, 梁 机. 形态标记在植物中的应用研究进展[J]. 江苏农业科学, 2022, 50(8): 55-62.
- [23] 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.
- [24] 王 姝. 植物表型可塑性与稳定性研究[D]. 长春: 东北师范大学, 2016.
- [25] MILLET E J, KRUIJERW, COUPEL-LEDRU A, *et al.* Genomic prediction of maize yield across European environmental conditions[J]. *Nature Genetics*, 2019, 51(6): 952-956.
- [26] 伊六喜, 高风云, 周 宇, 等. 胡麻种质资源表型性状的鉴定与分析[J]. 中国油料作物学报, 2020, 42(3): 411-419.
- [27] 王晓鸣, 邱丽娟, 景蕊莲, 等. 作物种质资源表型性状鉴定评价: 现状与趋势[J]. 植物遗传资源学报, 2022, 23(1): 12-20.
- [28] MARTINGÓMEZ J J, REWICZ A, RODRIGUEZL J, *et al.* Seed morphology in silene based on geometric models[J]. *Plants (Basel, Switzerland)*, 2020, 9(12): 1787-1787.

Phenotypic Difference Analysis and Screening Stability Indexes of Different Chinese Chestnut Varieties Nuts

LI Tong-tong¹, GUO Su-juan¹, JIANG Xi-bing²

(1. Key Laboratory for Silviculture and Conservation of Ministry of Education, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 2. Research Institute of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Hangzhou 311400, Zhejiang, China)

Abstract: [Objective] By comparing and analyzing the phenotypic traits of different varieties of chestnut, we screened out the indicators with large phenotypic differences and not easily affected by the environment for providing reference for the identification and accurate application of chestnut varieties in production practice. [Method] The differences and diversity of 21 phenotypic characters of 3 200 nuts from 80 varieties in different Chinese chestnut producing areas were analyzed. The correlation between phenotype and environmental factors was analyzed, and the stability index with a small coefficient of variation was screened out. The stability of three varieties cultivated in multiple fields was verified. [Result] (1) There were significant differences in the phenotypic indexes of chestnut in different regions and the nut size and hilum size of varieties in Hubei, Jiangsu and Anhui were significantly higher than those in other regions. (2) The variation of 21 phenotypic indexes ranged from 4.05% to 42.28%, and 9 relatively stable indicators with small variation coefficient were screened out, namely nut index, nut roundness, hilum roundness and correlation ratio index, excluding indicators of significant differences within and between groups. (3) Correlation analysis showed that the correlation indexes of nut size and hilum size were positively correlated with mean annual temperature, mean temperature in growing season, annual precipitation and precipitation in growing season, and negatively correlated with annual sunshine duration and growing season sunshine duration. (4) The variation coefficients of 9 phenotypic indexes of nuts from 3 cultivars from different regions ranged from 1.13% to 5.99%. The results of variance analysis showed that the other 8 indexes had no significant differences between regions and individuals except the hilum roundness. [Conclusion] Different chestnut varieties have rich diversity and significant differences in 21 nut phenotypic indexes, among which 8 nut phenotypic indexes, including nut index, nut roundness, hilum length-to-width ratio, relative hilum size, hilum arc length / nut perimeter, hilum area / transverse area, hilum length/transverse diameter and hilum width / thickness, are stability indexes. It can be applied to the identification of chestnut varieties in production practice.

Keywords: *Castanea mollissima* Blume; nuts phenotype; variety identification; stability; environmental factors

(责任编辑: 徐玉秀)