

罗田县板栗品种授粉配置研究

魏振宇^{1,2,3}, 张 龙^{1,2}, 李爱华⁴, 余 昕^{1,2}, 李寄凡^{1,2}, 程一鸣^{1,2}, 刘文静^{1,2},
陈艳清^{1,2}, 桂爱琴⁵, 舒常庆^{1,2}

(1. 华中农业大学 园艺林学学院, 湖北 武汉 430070; 2. 华中农业大学 湖北省林业信息工程技术研究中心, 湖北 武汉 430070; 3. 湖北省十堰市林业局, 湖北 十堰 442000; 4. 湖北省林业科学研究院, 湖北 武汉 430075; 5. 湖北省罗田县林业局, 湖北 罗田 438600)

摘要: 【目的】筛选湖北省罗田县板栗 *Castanea mollissima* 品种高产优质的授粉组合。【方法】选用‘桂花香’‘Guihuaxiang’、‘八月红’‘Bayuehong’、‘六月暴’‘Liuyuebao’、‘乌壳栗’‘Wukeli’、‘玫瑰红’‘Meiguihong’、‘浅刺大板栗’‘Qiancidabanli’等6个罗田县栽培的板栗品种, 在花期相遇的基础上, 设计22个授粉组合, 开展品种授粉配置实验, 对各授粉组合的授粉结实性和果实性状进行测定分析。【结果】异交显著降低了空苞率, 除‘乌壳栗’外, 各品种的异交空苞率均低于自交。异交显著提高了成果率, 除‘乌壳栗’外, 各品种的自交成果率均低于50%。授粉品种对各品种的刺苞性状、坚果性状、种仁的蛋白质和淀粉质量分数均有显著性影响。综合成果率、果实性状等指标及主成分分析, 筛选出各品种的成果率高、果实品质较好的授粉组合(♀×♂)是: ‘桂花香’×‘八月红’、‘八月红’×‘六月暴’、‘六月暴’×‘桂花香’、‘六月暴’×‘八月红’、‘乌壳栗’×‘六月暴’、‘玫瑰红’×‘浅刺大板栗’、‘浅刺大板栗’×‘桂花香’、‘浅刺大板栗’×‘乌壳栗’。【结论】合理进行品种授粉配置可以有效降低罗田板栗品种的果实空苞率, 提高果实产量与品质, 实现高产优质栽培。图3表5参26

关键词: 板栗; 授粉配置; 花期; 成果率; 果实品质; 罗田县

中图分类号: S722.3

文献标志码: A

文章编号: 2095-0756(2024)00-0001-09

Pollination configuration of *Castanea mollissima* cultivars in Luotian County

WEI Zhenyu^{1,2,3}, ZHANG Long^{1,2}, LI Aihua⁴, YU Xin^{1,2}, LI Jifan^{1,2}, CHENG Yiming^{1,2}, LIU Wenjing^{1,2},
CHEN Yanqing^{1,2}, GUI Aiqin⁵, SHU Changqing^{1,2}

(1. College of Horticulture and Forestry Sciences, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, Hubei, China; 2. Hubei Engineering Technology Research Center for Forestry Information, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, Hubei, China; 3. Forestry Bureau of Shiyan City, Shiyan 442000, Hubei, China; 4. Hubei Academy of Forestry, Wuhan 430075, Hubei, China; 5. Forestry Bureau of Luotian County, Luotian 438600, Hubei, China)

Abstract: [Objective] This objective was to screen pollination combinations with high fruit yield and quality for *Castanea mollissima* (chestnut) cultivars in Luotian County, Hubei Province. [Method] Six chestnut cultivars cultivated in Luotian County, Hubei Province, were selected. Based on flowering period overlap, 22 pollination combinations were designed and the pollination configuration experiments were carried out, fruiting after pollination and fruit characteristic were investigated and analyzed. [Result] Cross-pollination significantly decreased the empty bract rate, except ‘Wukeli’, each other cultivars’ empty bract rate of cross-pollination was

收稿日期: 2023-08-25; 修回日期: 2024-01-16

基金项目: 中央财政林业科技推广示范资金项目(〔2018〕TG15)

作者简介: 魏振宇(ORCID: 0009-0001-8948-3242), 从事经济林育种和培育研究。E-mail: 937463578@qq.com。通信作者: 舒常庆(ORCID: 0009-0000-1150-4982), 副教授, 从事经济林育种和培育研究。E-mail: shucqing@mail.hzau.edu.cn

lower than that of self-pollination. Cross-pollination significantly increased the final fruit setting rate, the final fruit setting rate of self-pollination was lower than 50% except for 'Wukeli'. Pollination cultivars showed significant effect on bracts index, nuts index, kernel's protein and starch content. Based comprehensively on final fruit rate, fruit characteristic indexes and principal component analysis, pollination combinations(♀×♂) with high fruit setting rate and good fruit quality were: 'Guihuaxiang' × 'Bayuehong', 'Bayuehong' × 'Liuyuebao', 'Liuyuebao' × 'Guihuaxiang', 'Liuyuebao' × 'Bayuehong', 'Wukeli' × 'Liuyuebao', 'Meiguihong' × 'Qiancidabanli', 'Qiancidabanli' × 'Guihuaxiang', 'Qiancidabanli' × 'Wukeli'. [Conclusion] Proper pollination varieties configuration could efficiently decrease the fruit empty bract rate and promote the fruit yield and quality of chestnut cultivars in Luotian County, and the high yield and excellent quality production could be realized. [Ch, 3 fig. 5 tab. 26 ref.]

Key words: *Castanea mollissima*; pollination configuration; flowering period; final fruit rate; fruit characters; Luotian County

板栗 *Castanea mollissima* 是著名的木本粮食和干果树种^[1], 果实风味独特, 营养物质丰富^[2-3], 不与粮食作物争耕地, 有“千果之王”和“铁杆庄稼”之誉^[4]。板栗适应性强, 是中国重要的经济林树种^[5], 中国板栗栽培总面积与产量稳居世界第一^[6]。板栗花为风媒花, 雌、雄花同株^[7], 自花授粉结实率低, 空苞率高^[8-9], 不同品种间授粉的亲和力也存在较大差异^[10-11]。分别以河北迁西^[12-13]、河北燕山^[14]、广西隆安^[15]、云南峨山和永仁^[16]的板栗品种为试材, 根据花期相遇情况, 开展品种授粉配置试验, 测定各组合的结实率和果实综合性状, 筛选出了一批优良的授粉组合。湖北罗田县作为中国板栗的源生地, 也是中国南方板栗主产区的中心^[17-18], 尚没有明确的品种授粉配置, 单一品种种植和品种随意混植, 严重影响了罗田县板栗良种的经济效益。因此, 本研究以湖北省罗田县栽培的6个板栗品种为研究对象, 根据品种间和品种内的花期相遇情况, 选配授粉组合, 开展授粉实验, 对不同授粉组合的授粉结实性和果实性状进行测定分析, 筛选高产优质的授粉组合, 创新板栗良种的授粉配置栽培, 以期为板栗良种的优质丰产栽培提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

本研究在罗田县国家板栗良种基地进行。该基地位于湖北省罗田县骆驼坳镇赵家湾村, 海拔150 m, 年均气温为16.4℃, 无霜期为240 d, 日照时数为2 047 h, 年降水量为1 230~1 600 mm。板栗林的株行距为5 m×5 m, 树高4~7 m, 树体健壮, 长势良好, 处于盛产期, 进行常规管理。

1.2 材料

共6个品种。其中, ‘浅刺大板栗’ ‘Qiancidabanli’ 引自湖北省京山市, ‘桂花香’ ‘Guihuaxiang’、‘八月红’ ‘Bayuehong’、‘六月暴’ ‘Liuyuebao’、‘乌壳栗’ ‘Wukeli’ 和‘玫瑰红’ ‘Meiguihong’ 为罗田县本地品种。分别用浅、桂、八、六、乌、玫代表这6个品种。

1.3 实验方法

1.3.1 授粉组合设计 授粉组合见表1。根据品种间的雌、雄花花期相遇情况设计授粉组合, 开展授粉实验, 即选择授粉品种的雄花盛花期与被授粉品种的雌花盛花期相遇天数≥3 d的授粉组合, 并设置品种内自交作为对照。授粉实验于2022年5月中下旬进行, 采取人工授粉方式, 进行品种内自交和品种间异交授粉实验。每个组合授粉150朵花, 3次重复, 每重复50朵。其中, 品种间异交16个组合2 400朵花; 品种内自交6个组合900朵花。共22个组合3 300朵花。

1.3.2 授粉方法 在雌花柱头分叉前, 将雌花附近的雄花序去除干净, 用硫酸纸袋套住雌花, 金属丝扎紧套袋口, 防止外来花粉干扰; 收集新鲜花粉, 在雌花柱头分叉为30°~45°时, 去掉套袋, 将充分干燥的花粉涂在雌花的柱头上, 轻轻涂抹3~4次, 之后立即套袋。待所有板栗品种的雄花落尽后, 解除套袋。

1.3.3 授粉结实性调查统计 2022年9月上中旬, 板栗果实成熟时, 采集所有刺苞, 统计不同授粉组合

的结实率、空苞率和成果率。计算公式如下：结实率=座苞数/授粉雌花数×100%；空苞率=无坚果刺苞数/座苞数×100%；成果率=有坚果刺苞数/授粉雌花数×100%。

1.3.4 果实性状测定 ①刺苞性状：每个授粉组合随机取 30 个实蓬的刺苞，用游标卡尺测定刺苞的横径、纵径和高度。用电子天平称量刺苞质量和每个刺苞内的坚果总质量，记录每个刺苞中的坚果个数。按以下公式计算出籽率：出籽率=每个刺苞内的坚果总质量/刺苞质量×100%。②坚果性状：每个授粉组合随机取 30 个坚果，用电子天平测定坚果质量和种仁质量。依据以下公式计算出仁率：出仁率=种仁质量/坚果质量×100%。

③种仁营养物质：采用 GB/5009.5—2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》第一法测定蛋白质；采用 GB 5009.6—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》第一法测定脂肪；采用蒽酮比色法测定可溶性糖和淀粉。每个组合每个指标 3 个重复。

1.3.5 数据统计分析 应用 Excel 和 SPSS 进行数据统计分析。其中，百分数进行方差分析时，先进行反正弦转换；多重比较分析采用 Duncan 检验。

2 结果与分析

2.1 授粉结实性分析

2.1.1 结实率分析 由图 1 可见：自交结实率较低，异交显著提高了结实率。以‘桂花香’为母本的 3 个组合结实率为 60.40%~70.16%，其中，‘八月红’为父本授粉最高，自交最低，两者差异显著；以‘八月红’为母本的 3 个组合结实率为在 70.67%~78.02%，其中，‘六月暴’为父本授粉最高，自交最低，两者差异显著；以‘六月暴’为母本的 3 个组合的结实率为 55.78%~70.62%，其中，‘八月红’为父本授粉最高，自交最低，两者差异显著；‘乌壳栗’为母本的 6 个组合的结实率为 61.33%~82.26%，其中‘玫瑰红’授粉最高，‘八月红’授粉最低；‘玫瑰红’为母本的 3 个组合的结实率为 60.70%~71.48%，‘浅刺大板栗’授粉最高，自交最低，两者差异显著，相差 10.78%；‘浅刺大板栗’为母本的 4 个组合的结实率在 58.03%~77.63%，‘桂花香’授粉最高，‘玫瑰红’授粉最低，两者差异显著，相差 19.60%。

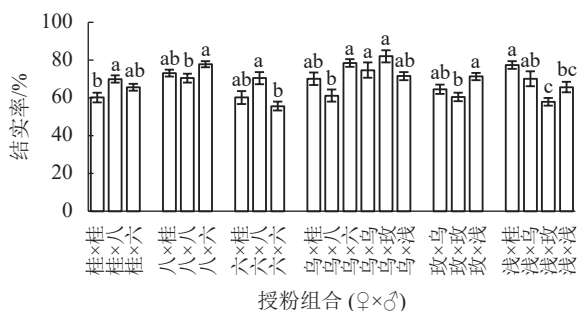
2.1.2 空苞率分析 由图 2 可见：自交空苞率较高，除‘乌壳栗’外，各品种的自交空苞率均高于异交。‘桂花香’为母本的 3 个组合空苞率为 24.33%~39.72%，‘八月红’授粉最低，自交最高；‘八月红’为母本的 3 个组合空苞率为 18.71%~32.09%，‘六月暴’授粉显著降低了空苞率；‘六月暴’为母本的 3 个

表 1 授粉组合设计

Table 1 Design of pollination combination

母本 (♀)	父本(♂)					
	桂	八	六	乌	玫	浅
桂	√	√	√	-	-	-
八	√	√	√	-	-	-
六	√	√	√	-	-	-
乌	√	√	√	√	√	√
玫	-	-	-	√	√	√
浅	√	-	-	√	√	√

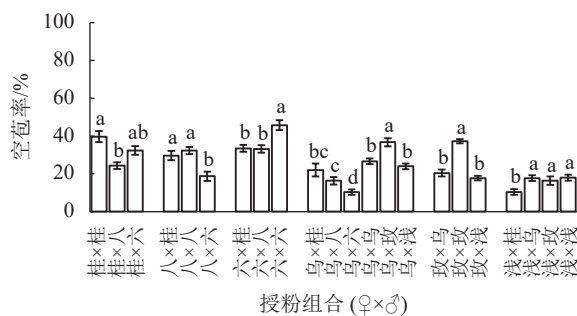
说明：√表示雌雄花盛花期相遇天数≥3 d，进行授粉实验；-表示雌雄花盛花期相遇天数<3 d，不进行授粉实验。



对同母本的不同授粉组合进行方差分析和多重比较，不同小写字母表示不同组合间差异显著 (P<0.05)。

图 1 不同组合的结实率

Figure 1 Fruiting rates of different pollination combinations



对同母本的不同授粉组合进行方差分析和多重比较，不同小写字母表示不同组合间差异显著 (P<0.05)。

图 2 不同组合的空苞率

Figure 2 Empty bract rates of different pollination combinations

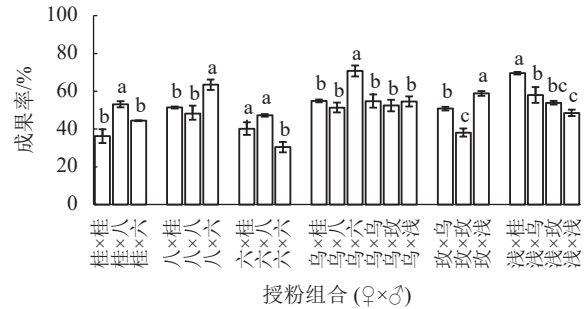
组合空苞率为 33.11%~45.72%，异交显著降低了空苞率；‘乌壳栗’为母本的 6 个授粉组合空苞率为 10.30%~36.71%，‘六月暴’授粉显著降低了空苞率；‘玫瑰红’为母本的 3 个授粉组合空苞率为 17.73%~37.25%，异交显著降低了空苞率；‘浅刺大板栗’为母本的 4 个授粉组合空苞率为 10.38%~18.00%，‘桂花香’授粉显著降低了空苞率。

2.1.3 成果率分析 自交成果率较低，除‘乌壳栗’外，各品种的自交成果率均低于 50.00%。异交显著提高了成果率。各组合的成果率详见图 3。

‘桂花香’为母本的 3 个组合成果率为 36.21%~53.09%，‘八月红’授粉显著提高了成果率；‘八月红’为母本的 3 个组合成果率为 48.14%~63.48%，‘六月暴’授粉显著提高了成果率；‘六月暴’为母本的 3 个授粉组合成果率为 30.42%~47.28%，异交显著提高了成果率；‘乌壳栗’为母本的 6 个授粉组合成果率为 51.34%~70.76%，‘六月暴’授粉显著提高了成果率；‘玫瑰红’为母本的 3 个授粉组合成果率为 38.11%~58.89%，‘浅刺大板栗’授粉的成果率最高，自交最低，两者差异显著，相差 20.78%；‘浅刺大板栗’为母本的 4 个授粉组合成果率为 48.54%~69.56%，‘桂花香’授粉显著提高了成果率。

2.2 果实性状分析

2.2.1 刺苞性状分析 由表 2 可知：授粉品种对同母本的刺苞质量、刺苞横径、刺苞纵径、刺苞高、每



对同母本的不同授粉组合进行方差分析和多重比较，不同小写字母表示不同组合间差异显著 ($P < 0.05$)。

图 3 不同组合的成果率

Figure 3 Final fruit rates of different pollination combinations

‘浅刺大板栗’为母本的 4 个授粉组合成果率为 48.54%~69.56%，‘桂花香’授粉显著提高了成果率。

表 2 不同授粉组合的主要刺苞性状

Table 2 Main bracts characters of different pollination combinations

母本(♀)	父本(♂)	质量/g	横径/mm	纵径/mm	高/mm	每刺苞坚果数	出籽率/%
桂	桂	44.03±1.79 b	68.71±1.24 c	61.23±0.95 b	57.64±0.70 a	1.17±0.07 c	31.84±0.40 c
	八	47.67±1.40 b	75.68±0.72 b	63.65±1.22 b	54.26±0.65 b	2.37±0.03 a	43.44±0.46 a
	六	59.72±0.98 a	79.34±0.58 a	67.89±0.76 a	59.54±0.32 a	1.93±0.03 b	36.48±1.80 b
八	桂	56.65±0.78 b	81.62±0.45 a	71.39±0.62 a	65.47±0.97 a	2.26±0.20 a	39.27±1.51 a
	八	66.59±0.91 a	84.00±0.93 a	73.35±0.41 a	64.44±0.27 a	1.65±0.04 b	41.35±0.18 a
	六	58.28±2.12 ab	81.78±1.03 a	71.05±1.40 a	65.90±1.37 a	2.18±0.16 ab	38.17±1.65 a
六	桂	73.32±2.60 b	92.63±1.35 ab	77.13±1.61 a	69.47±1.16 a	1.66±0.04 b	33.74±0.77 a
	八	62.74±1.28 c	88.75±1.09 b	74.06±1.00 a	63.83±1.07 b	1.46±0.05 c	28.55±1.07 b
	六	80.21±0.75 a	93.70±1.08 a	77.70±1.24 a	66.98±0.66 ab	1.91±0.04 a	35.73±1.51 a
乌	桂	70.66±0.93 a	85.53±0.47 a	70.84±0.36 a	62.32±0.67 a	2.82±0.04 a	37.61±0.69 abc
	八	58.61±2.45 bc	78.13±1.13 c	68.25±1.43 a	60.23±0.73 ab	2.59±0.14 ab	41.70±0.77 a
	六	61.00±4.99 abc	69.81±1.67 b	57.46±1.76 b	57.26±1.46 abc	2.16±0.04 c	33.72±0.17 c
	乌	62.82±2.98 abc	81.4±2.39 ab	70.31±1.89 a	60.79±1.24 ab	2.33±0.13 bc	39.39±1.96 ab
	玫	66.19±2.00 ab	70.59±1.46 c	58.16±2.52 b	55.34±1.82 bc	2.31±0.12 bc	34.85±1.70 c
玫	浅	52.74±3.17 c	65.19±2.12 c	57.94±2.43 b	53.32±2.65 c	2.38±0.08 bc	36.46±1.39 bc
	乌	65.42±1.55 a	82.72±1.04 a	70.89±1.85 a	60.92±0.17 a	2.61±0.09 a	43.83±0.75 a
	玫	56.21±1.77 b	79.12±0.20 b	66.37±0.73 a	60.15±0.77 a	2.27±0.12 b	44.85±0.36 a
	浅	62.15±2.54 ab	83.99±0.97 a	70.79±0.92 a	61.49±0.53 a	2.60±0.10 a	44.51±0.33 a
浅	桂	54.56±2.29 ab	75.14±2.17 a	65.00±1.03 a	64.23±1.11 a	1.67±0.10 a	43.62±1.27 a
	乌	59.96±2.86 ab	78.38±0.76 a	65.08±0.68 a	64.82±1.45 a	1.95±0.28 a	48.86±2.45 a
	玫	62.29±2.77 a	76.85±0.32 a	63.81±1.04 a	62.16±0.75 a	2.06±0.06 a	51.10±3.19 a
	浅	51.94±1.69 b	76.58±0.70 a	63.86±0.23 a	62.93±0.25 a	2.05±0.15 a	50.62±2.12 a

说明：数值为均值±标准误。对同母本的不同授粉组合进行方差分析和多重比较，不同小写字母表示不同组合间差异显著 ($P < 0.05$)。

刺苞坚果数、出籽率等性状具有显著影响。‘桂花香’为母本时，异交显著提高了刺苞横径、每刺苞坚果数和出籽率，‘六月暴’授粉显著提高了刺苞质量；‘八月红’为母本时，‘桂花香’授粉的每刺苞坚果数显著大于自交，刺苞质量显著小于自交；‘六月暴’为母本时，自交的刺苞质量和每刺苞坚果数显著大于异交，‘八月红’授粉显著降低了出籽率；‘乌壳栗’为母本时，‘桂花香’授粉的每刺苞坚果数显著大于自交，‘六月暴’和‘玫瑰红’授粉的出籽率显著低于自交；‘玫瑰红’为母本时，异交显著提高了每刺苞坚果数和刺苞横径，‘乌壳栗’授粉的刺苞质量显著大于自交；‘浅刺大板栗’为母本时，‘玫瑰红’授粉的刺苞质量显著大于自交。

2.2.2 坚果性状分析 由表 3 可知：授粉品种对同母本的坚果质量、仁质量、出仁率具有显著影响。‘桂花香’为母本时，‘八月红’授粉的仁质量显著小于自交，相差 2.54 g；‘八月红’为母本时，‘桂花香’授粉显著减小了坚果质量和仁质量；‘六月暴’为母本时，‘八月红’授粉显著减小了坚果质量；‘乌壳栗’为母本时，‘六月暴’和‘玫瑰红’授粉的坚果质量显著大于‘浅刺大板栗’授粉，‘六月暴’授粉的仁质量显著大于‘浅刺大板栗’授粉，‘桂花香’和‘八月红’授粉的出仁率显著大于‘玫瑰红’授粉；‘玫瑰红’为母本时，‘乌壳栗’授粉的坚果质量显著大于‘浅刺大板栗’授粉，‘浅刺大板栗’授粉显著降低了仁质量和出仁率；‘浅刺大板栗’为母本时，‘乌壳栗’和‘玫瑰红’授粉的坚果质量显著大于自交，异交显著提高了仁质量。

表 3 不同授粉组合的主要坚果性状和种仁营养物质质量分数

Table 3 Main nuts characters and nutrient contents in kernel of different pollination combinations

母本(♀)	父本(♂)	坚果质量/g	仁质量/g	出仁率/%	蛋白质质量 分数/%	可溶性糖质量 分数/%	淀粉质量 分数/%	脂肪质量 分数/%
桂	桂	11.71±0.19 a	9.82±0.22 a	83.67±0.67 a	6.52±0.02 ab	10.84±0.48 a	65.50±1.24 ab	2.18±0.07 a
	八	9.58±0.88 a	7.28±0.16 b	81.00±1.16 a	6.60±0.18 a	12.53±0.49 a	64.32±0.45 b	2.33±0.07 a
	六	9.87±0.67 a	8.91±0.42 a	81.69±0.15 a	6.12±0.12 b	10.69±0.68 a	69.57±1.52 a	2.17±0.15 a
八	桂	10.34±0.52 b	8.61±0.31 b	83.38±1.34 a	6.65±0.11 a	10.44±0.50 a	58.91±0.54 b	1.87±0.19 a
	八	13.10±1.44 a	11.03±0.74 a	84.13±0.60 a	5.60±0.04 b	10.39±0.15 a	60.38±2.43 ab	2.23±0.20 a
	六	12.65±0.71 a	10.80±0.21 a	85.41±1.38 a	6.56±0.08 a	10.24±0.21 a	67.24±2.17 a	2.17±0.13 a
六	桂	15.22±0.49 a	12.67±1.43 a	82.94±5.24 a	7.56±0.19 a	11.70±0.41 a	51.81±1.47 b	2.47±0.09 a
	八	11.79±0.66 b	9.46±0.59 a	80.59±2.76 a	7.22±0.29 a	12.11±0.45 a	54.41±0.81 b	2.60±0.15 a
	六	14.67±0.62 a	11.77±0.05 a	80.56±3.62 a	7.54±0.23 a	11.68±0.41 a	58.65±0.34 a	2.73±0.03 a
乌	桂	9.93±0.69 ab	7.87±0.62 ab	79.08±0.79 a	7.24±0.11 b	11.99±0.15 a	62.11±1.94 a	1.53±0.27 ab
	八	10.77±0.31 ab	8.58±0.27 ab	79.63±0.16 a	7.34±0.04 b	12.33±0.72 a	62.23±3.75 a	1.60±0.31 ab
	六	11.85±0.90 a	9.33±0.80 a	78.64±0.80 ab	6.49±0.17 c	8.67±0.14 b	55.36±0.24 a	1.43±0.03 ab
	乌	10.39±0.19 ab	8.12±0.25 ab	78.13±1.00 ab	7.94±0.13 a	12.22±0.79 a	60.44±1.99 a	1.30±0.31 ab
	玫	10.82±0.65 a	8.06±0.78 ab	74.20±2.21 b	6.08±0.03 d	7.87±0.13 b	56.61±0.51 a	1.27±0.03 b
玫	浅	8.75±0.30 b	6.82±0.14 b	78.23±1.43 ab	6.81±0.19 d	8.38±0.13 b	59.63±1.06 a	2.07±0.03 a
	乌	10.80±0.07 a	8.59±0.03 a	79.57±0.28 a	8.13±0.11 c	9.85±0.38 a	64.55±2.13 a	1.33±0.17 a
	玫	10.12±0.31 ab	8.11±0.29 a	80.17±0.69 a	8.84±0.17 b	10.63±0.62 a	61.36±1.11 ab	1.40±0.30 a
	浅	9.57±0.18 b	7.36±0.18 b	76.81±0.46 b	10.43±0.09 a	10.78±0.39 a	58.20±1.21 b	1.03±0.28 a
浅	桂	12.40±0.50 ab	10.57±0.36 a	85.33±0.82 a	7.42±0.07 b	10.38±0.50 a	55.39±0.74 a	1.93±0.03 a
	乌	12.88±0.29 a	10.25±0.51 a	79.47±2.86 a	7.85±0.05 a	10.25±0.16 a	55.01±1.62 a	2.07±0.03 a
	玫	13.88±0.42 a	11.33±0.37 a	81.35±1.77 a	6.52±0.04 c	10.53±0.13 a	56.03±0.80 a	1.67±0.09 b
	浅	10.59±0.77 b	8.70±0.22 b	82.84±2.13 a	7.56±0.09 b	10.24±0.29 a	52.25±1.26 a	1.94±0.06 a

说明：数值为均值±标准误。对同母本的不同授粉组合进行方差分析和多重比较，不同小写字母表示不同组合间差异显著($P<0.05$)。

2.2.3 种仁营养物质分析 由表 3 可知：总体授粉品种对同母本组合的种仁淀粉和蛋白质质量分数的影响显著，对可溶性糖及脂肪质量分数的影响较小。‘桂花香’为母本时，‘八月红’授粉的蛋白质质量

分数(6.60%)显著高于‘六月暴’授粉(6.12%),淀粉质量分数(64.32%)显著低于‘六月暴’授粉(69.57%);‘八月红’为母本时,异交显著提高了蛋白质质量分数,同时,‘六月暴’授粉的淀粉质量分数(67.24%)显著高于‘桂花香’授粉(58.91%);‘六月暴’为母本时,自交的淀粉质量分数(58.65%)显著高于异交(51.81%、54.41%);‘乌壳栗’为母本时,自交的蛋白质质量分数(7.94%)显著高于异交,淀粉质量分数差异不显著;‘玫瑰红’为母本时,‘浅刺大板栗’授粉显著提高了蛋白质质量分数,‘乌壳栗’授粉的淀粉质量分数(64.55%)显著高于‘浅刺大板栗’授粉(58.20%);‘浅刺大板栗’为母本时,‘八月红’授粉显著提升了蛋白质质量分数,‘六月暴’授粉显著降低了脂肪质量分数,但各组合的淀粉质量分数差异不显著。

2.3 果实性状主成分分析

由表4可知:按照特征根 >1 的原则,共提取到4个主成分,它们的累计贡献率为83.441%。其中, λ_1 特征根为5.092,贡献率为39.167%,刺苞高、仁质量、坚果质量、刺苞横径和刺苞纵径的载荷较高; λ_2 特征根为2.705,贡献率为20.809%,种仁蛋白质质量分数、单刺苞坚果数、刺苞横径和刺苞质量的载荷较高; λ_3 特征根为1.658,贡献率为12.751%,种仁淀粉和可溶性糖质量分数的载荷较高; λ_4 特征根为1.389,贡献率为10.688%,出籽率和出仁率的载荷较高。

表4 果实性状的载荷矩阵

Table 4 Component matrix of fruit characters

性状	第1主成分	第2主成分	第3主成分	第4主成分	性状	第1主成分	第2主成分	第3主成分	第4主成分
刺苞质量	0.560	0.508	-0.308	-0.485	出仁率	0.532	-0.497	0.331	0.487
刺苞横径	0.797	0.547	0.166	-0.105	蛋白质质量分数	-0.052	0.768	-0.072	0.310
刺苞纵径	0.792	0.477	0.310	-0.069	可溶性糖质量分数	0.459	0.337	0.606	0.142
刺苞高度	0.889	0.219	-0.098	0.224	淀粉质量分数	-0.250	-0.070	0.774	-0.117
单刺苞坚果数	-0.534	0.683	0.052	-0.016	脂肪质量分数	0.637	-0.501	0.276	-0.105
出籽率	-0.161	0.258	-0.204	0.839	特征值 λ	5.092	2.705	1.658	1.389
坚果质量	0.836	-0.211	-0.391	0.009	贡献率/%	39.167	20.809	12.751	10.688
仁质量	0.867	-0.298	-0.274	0.070	累计贡献率/%	39.167	59.975	72.726	83.414

根据主成分1~4的得分($F_1 \sim F_4$)和各主成分权重,计算总得分(F),得出各授粉组合板栗果实的综合性状排名(表5)。由表5可知:同母本的授粉组合中,排名前2的组合分别为:‘桂花香’ \times ‘六月暴’、‘桂花香’ \times ‘八月红’;‘八月红’ \times ‘八月红’、‘八月红’ \times ‘六月暴’;‘六月暴’ \times ‘桂花香’、‘六月暴’ \times ‘六月暴’;‘乌壳栗’ \times ‘桂花香’、‘乌壳栗’ \times ‘乌壳栗’;‘玫瑰红’ \times ‘浅刺大板栗’、‘玫瑰红’ \times ‘乌壳栗’;‘浅刺大板栗’ \times ‘乌壳栗’、‘浅刺大板栗’ \times ‘桂花香’。

3 讨论

父本雄花盛花期与母本雌花盛花期相遇时间较长,能保证充分授粉和受精,是开展授粉配置研究的前提^[18-19]。板栗树体高大,同一株树上,树冠上部的雌、雄花进入盛花期较早,树冠下部和内堂的雌、雄花进入盛花期较晚。在实际生产中,为了提高产量,应尽量使整株树的雌花都能够充分授粉,这就要求所选品种的花期相遇天数越多越好。本研究选择的22个授粉组合中,雌、雄花盛花期相遇天数均不少于3d。

不同授粉组合对板栗的成果率及单个刺苞内的坚果数均有较大影响,表明授粉亲和性对板栗产量的影响较大,这与刘宁伟等^[20]对板栗和张旭辉等^[21]对锥栗 *C. henryi* 的研究结果一致。郭素娟等^[22]认为:大部分板栗品种自花授粉亲和性差。在本研究中,多数自交组合不仅空苞率高,且成果率和每个刺苞中的坚果个数均显著低于异交组合。但也有自交授粉成果率较高,自交亲和性较好的品种,如‘乌壳栗’和‘浅刺大板栗’,其中,‘乌壳栗’自交所结果实的品质优良。可见,板栗自交授粉的亲和性也因品种而异。在油茶 *Camellia oleifera*^[23]、梨 *Pyrus*^[24]、文冠果 *Xanthoceras sorbifolium*^[25]、中国李

表 5 综合主成分值

Table 5 Comprehensive principal component values

授粉组合(♀×♂)	F_1	F_2	F_3	F_4	F	排名
六×桂	5.16	0.30	-1.04	-0.58	2.27	1
六×六	4.54	0.99	-0.18	-1.36	2.18	2
六×八	2.44	-0.20	0.60	-1.54	0.99	3
八×八	2.52	-1.32	0.06	-0.08	0.85	4
八×六	1.61	-1.03	1.22	0.36	0.73	5
乌×桂	-0.38	2.38	1.02	-1.01	0.44	6
八×桂	0.32	-0.01	0.66	0.45	0.31	7
玫×浅	-1.61	3.85	-0.39	0.76	0.25	8
浅×乌	0.64	0.04	-1.60	1.29	0.24	9
乌×乌	-0.73	1.92	0.62	-0.29	0.19	10
浅×桂	0.91	-1.62	-0.71	1.70	0.14	11
玫×乌	-0.88	1.92	0.14	0.05	0.09	12
浅×玫	0.67	-0.63	-1.75	1.44	0.08	13
乌×八	-0.88	1.11	1.03	0.20	0.04	14
玫×玫	-1.47	1.30	0.23	1.06	-0.19	15
浅×浅	-0.58	-0.39	-0.90	2.32	-0.20	16
桂×六	-0.42	-1.08	2.03	-0.92	-0.28	17
桂×八	-2.08	-0.69	2.36	0.63	-0.71	18
桂×桂	-0.60	-3.66	1.37	0.06	-0.98	19
乌×六	-1.97	-1.31	-2.05	-1.23	-1.72	20
乌×玫	-3.16	-0.45	-2.39	-2.35	-2.26	21
乌×浅	-4.02	-1.42	-0.32	-0.97	-2.42	22

Prunus salicina^[26] 品种的授粉研究中也发现了类似现象。

在本研究中，异花授粉显著提高了成果率和单刺苞内的坚果个数，可能原有的营养水平难以满足果实生长发育需要，导致‘六月暴’和‘八月红’异交组合的刺苞质量和体积显著小于自交组合。因此，在合理选配板栗品种授粉组合的同时，还需提高水肥供应，做好田间管理，促进板栗果实的生长和发育，提高板栗产量及果实的品质。

本研究发现这 6 个品种各有优劣。‘六月暴’各授粉组合的刺苞质量较大，为 72.32~82.21 g，种仁蛋白质、糖类和脂肪丰富，果实品质综合排名靠前。从果实成熟时间来看，‘六月暴’为早熟品种，在 8 月下旬成熟，而罗田县大多数板栗品种成熟时间为 9 月上中旬，因此‘六月暴’可较早进入市场。但‘六月暴’成果率低，仅为 30.42%~47.28%，表现出不丰产的特性。‘桂花香’风味独特，但其刺苞和坚果均较小，果实品质综合评分较低。

4 结论

不同授粉处理对板栗的结实率、空苞率、成果率、刺苞性状、坚果性状和种仁营养物质质量分数均有不同程度的影响。综合成果率和果实品质，结合主成分分析，筛选出 6 个品种的成果率高、果实品质优良的授粉组合各 1~2 个，分别为‘桂花香’×‘八月红’、‘八月红’×‘六月暴’、‘六月暴’×‘桂花香’、‘六月暴’×‘八月红’、‘乌壳栗’×‘六月暴’、‘玫瑰红’×‘浅刺大板栗’、‘浅刺大板栗’×‘桂花香’、‘浅刺大板栗’×‘乌壳栗’。在实际生产中，‘八月红’和‘六月暴’互相授粉表现均优秀，可以等比例栽植。其余组合正向授粉表现优秀，反向授粉表现一般，应以母本为主，少量栽植授粉树。由此可见，合理的品种授粉配置可以有效降低罗田板栗品种的果实空苞率，提高果实产量与品质，实现高产优质栽培。罗田县板栗品种资源丰富，本研究只研究了其中的 6 个品种，后续可

以对其余品种进行相关研究,掌握开花物候期和适宜的授粉品种。

5 参考文献

- [1] 张宇和,柳镛,维坚,等.中国果树志:板栗榛子卷[M].北京:中国林业出版社,2005:11-13.
ZHANG Yuhe, LIU Liu, WEI Jian, et al. *The Chinese Fruit Tree: Chinese Chestnut Hazelnut* [M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2005: 11-13.
- [2] 葛祎楠,李斌,范晓燕,等.板栗的功能性成分及加工利用研究进展[J].河北科技师范学院学报,2018,32(4):18-23.
GE Yinan, LI Bin, FAN Xiaoyan, et al. Research progress on functional components and processing and utilization of chestnut [J]. *Journal of Hebei Normal University of Science & Technology*, 2018, 32(4): 18-23.
- [3] 武妍妍,史文石,石新如,等.板栗坚果营养物质和抗氧化成分综合评价[J].林业科学研究,2022,35(6):12-22.
WU Yanyan, SHI Wenshi, SHI Xinru, et al. Comprehensive evaluation of nutrients and antioxidant components of chestnut nuts [J]. *Forestry Research*, 2022, 35(6): 12-22.
- [4] 曹小艳,李志,张卿,等.不同板栗品种(系)抗性淀粉综合评价[J].中国粮油学报,2019,34(7):39-46.
CAO Xiaoyan, LI Zhi, ZHANG Qing, et al. Comprehensive evaluation of resistant starch of different chestnut varieties [J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2019, 34(7): 39-46.
- [5] 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.
FAN Xiaoyun, GUO Sujuan, LI Yanhua, et al. Quality difference analysis and climate adaptability evaluation of Chinese chestnut in different ecological regions [J]. *Journal of Beijing Forestry University*, 2022, 44(11): 20-30.
- [6] MASSANTINI R, MOSCETTI R, FRANGIPANE M T. Evaluating progress of chestnut quality: a review of recent developments [J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2021(113): 245-254.
- [7] CHEN Juan, NIE Yuting, LIU Jin, et al. Growth and development of staminate inflorescence and anatomic observation of male chestnut flower [J]. *Agricultural Science and Technology*, 2015, 16(6): 1301-1305.
- [8] 刘国彬,兰彦平,曹均.中国板栗生殖生物学研究进展[J].果树学报,2011,28(6):1063-1070.
LIU Guobin, LAN Yanping, CAO Jun. Advances in research on reproduction biology in *Castanea mollissima* [J]. *Journal of Fruit Science*, 2011, 28(6): 1063-1070.
- [9] 邱文明,何秀娟,徐育海.板栗花芽性别调控研究进展[J].果树学报,2015,32(1):142-149.
QIU Wenming, HE Xiujian, XU Yuhai. Research progress on sex regulation of chestnut flower buds [J]. *Journal of Fruit Science*, 2015, 32(1): 142-149.
- [10] 刘庆香,王广鹏,孔德军.河北省主栽板栗品种(系)授粉结实特性研究[J].河北农业科学,2009,13(8):11-12,18.
LIU Qingxiang, WANG Guangpeng, KONG Dejun. Study on the pollination and seed setting characteristics of main chestnut cultivars in Hebei Province [J]. *Journal of Hebei Agricultural Science*, 2009, 13(8): 11-12, 18.
- [11] ZOU Feng, GUO Sujuan, XIONG Huan, et al. Effects of different pollination treatments on nutrition changes of the ovary in Chinese chestnut (*Castanea mollissima* Blume) [J]. *Advance Journal of Food Science and Technology*, 2015, 8(3): 157-162.
- [12] 肖鑫,郭素娟.不同板栗品种(优系)花粉的直感效应[J].中南林业科技大学学报,2023,43(12):44-55.
XIAO Xin, GUO Sujuan. The xenia effect of different chestnut varieties pollen (excellent clones) [J]. *Journal of Central South University of Forestry & Technology*, 2023, 43(12): 44-55.
- [13] 陈可可.不同板栗品种在迁西地区开花结实规律研究[D].北京:北京林业大学,2018.
CHEN Keke. *Research on the Rule of Blossoming and Fruiting of Different Chestnut Varieties in Qianxi Area* [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2018.
- [14] 王倩.品种配置对燕山板栗结实情况及果实品质影响研究[D].北京:北京林业大学,2012.
WANG Qian. *Effect on Fruiting Conditions and Nut Quality from Variety Configuration to Yan Mountain Chestnut* [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2012.
- [15] 覃腾.广西隆安县4个引进板栗品种开花特性和授粉配置研究[D].南宁:广西大学,2021.
QIN Teng. *Study on Flowering Characteristics and Pollination Configuration of Four Introduced Chestnut Varieties in Longan County* [D]. Nanning: Guangxi University, 2021.

- [16] 梁雪, 陈佳佳, 杨柳, 等. 南北板栗品种授粉组合对结实特性的影响[J]. *北方园艺*, 2016(7): 4–8.
LIANG Xue, CHEN Jiajia, YANG Liu, *et al.* Effects of pollination combinations from northern and southern chestnut on fruit characteristics [J]. *Northern Horticulture*, 2016(7): 4–8.
- [17] 舒思薇. 罗田县板栗产业发展的现状、存在问题及对策研究[D]. 武汉: 武汉轻工大学, 2023.
SHU Siwei. *Research on the Current Situation, Existing Problems, and Countermeasures of the Chestnut Industry Development in Luotian county* [D]. Wuhan: Wuhan University of Light Industry, 2023.
- [18] 刘慧敏, 敖书飞, 乌云塔娜. ‘湘林’系列油茶授粉品种配置模式研究[J]. *中南林业科技大学学报*, 2016, 36(4): 17–24.
LIU Huimin, AO Shufei, WU Yuntana. The research on the pollinated variety disposition model of oil *Camellia* in a series of ‘Xianglin’ [J]. *Journal of Central South University of Forestry & Technology*, 2016, 36(4): 17–24.
- [19] 杨琴, 刘雅兰, 张婷婷, 等. 果树花粉直感效应形成机理研究进展[J]. *经济林研究*, 2020, 38(2): 235–240.
YANG Qin, LIU Yalan, ZHANG Tingting, *et al.* Research progress on the formation mechanism of pollen allelopathy in fruit trees [J]. *Non-wood Forest Research.*, 2020, 38(2): 235–240.
- [20] 刘宁伟, 王璐, 张智勇, 等. 板栗‘燕山早丰’与‘燕晶’正反交后代果实性状的遗传倾向研究[J]. *北京林业大学学报*, 2021, 43(5): 75–85.
LIU Ningwei, WANG Lu, ZHANG Zhiyong, *et al.* Analysis of inherited tendency of fruit characteristics in F1 group of reciprocal crossing between ‘Yanshanzaofeng’ and ‘Yanjing’ in *Castanea mollissima* [J]. *Journal of Beijing Forestry University*, 2021, 43(5): 75–85.
- [21] 张旭辉, 袁德义, 邹锋, 等. 锥栗花粉直感效应研究[J]. *园艺学报*, 2016, 43(1): 61–70.
ZHANG Xuhui, YUAN Deyi, ZOU Feng, *et al.* Studies on the pollen xenia of *Castanea henryi* [J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2016, 43(1): 61–70.
- [22] 郭素娟, 吕文君, 邹锋, 等. 不同数学方法对板栗授粉组合的评价与筛选[J]. *北京林业大学学报*, 2013, 35(6): 42–47.
GUO Sujuan, LÜ Wenjun, ZOU Feng, *et al.* Comprehensive evaluation and screening of different pollination combinations of chestnut based on different evaluation methods [J]. *Journal of Beijing Forestry University*, 2013, 35(6): 42–47.
- [23] 张琰, 陈凌剑, 程一鸣, 等. 湖北省5个主栽油茶品种的授粉品种配置[J]. *湖北民族大学学报(自然科学版)*, 2021, 39(2): 121–127, 143.
ZHANG Yan, CHEN Lingjian, CHENG Yiming *et al.* Pollination variety configuration of five *Camellia oleifera* varieties in Hubei Province [J]. *Journal of Hubei Minzu University (Natural Science Edition)*, 2021, 39(2): 121–127, 143.
- [24] 赵明新, 曹刚, 王玮, 等. 5个梨授粉品种与‘玉露香梨’授粉效应比较研究[J]. *中国农学通报*, 2022, 38(28): 52–57.
ZHAO Mingxin, CAO Gang, WANG Wei, *et al.* Comparative study on pollination effects of five pear varieties for ‘Yulu Xiangli’ pear [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin.*, 2022, 38(28): 52–57.
- [25] 牛媛, 敖妍, 李云, 等. 文冠果优良无性系授粉组合选择及结实性状分析[J]. *浙江农林大学学报*, 2020, 37(2): 209–219.
NIU Yuan, AO Yan, LI Yun, *et al.* Selection of pollination combinations and analysis of fruit and seed characters of excellent clones of *Xanthoceras sorbifolium* [J]. *Journal of Zhejiang A&F University*, 2020, 37(2): 209–219.
- [26] 赵雅楠, 郑乾明, 张敏, 等. 20个中国李品种自交不亲和S-RNase基因型的鉴定[J]. *中国果树*, 2023(11): 37–42.
ZHAO Yanan, ZHENG Qianming, ZHANG Min, *et al.* Identification of self-incompatibility S-RNase genotypes of 20 Chinese plum varieties [J]. *China Fruits*, 2023(11): 37–42.