

7 个小粒种咖啡新品种在云南普洱不同地区农艺和产量性状研究

杨 婧¹, 李学俊^{1*}, 董云萍¹, 吕振江¹, 王培斌¹, 何安乐¹, 侯家志², 罗正阳²

1. 云南农业大学热带作物学院, 云南普洱 665099; 2. 雀巢咖啡中心, 云南普洱 665099

摘 要: 为选育出高产、品质优良的小粒种咖啡新品种, 提高云南咖啡的产量和品质, 本研究从法国雀巢研发中心引进小粒种咖啡新品种杂交种 F_1 , 在普洱不同地区开展了植株生长量、结果特性、产量以及咖啡豆物理性状的研究。新品种分别为 107、117、118、120、121、10×25、12×25, 对照品种为生产主栽品种 T8667, 共 8 个参试品种进行对比分析。试验地点设于普洱市思茅区、宁洱县、孟连县、江城 4 个咖啡种植区。结果表明: 各品种 3 年生株高为 84.20~175.00 cm, 茎粗为 21.69~53.34 mm, 冠幅为 74.80~165.30 cm, 各品种植株矮生, 117 的茎粗和冠幅、118、121 的冠幅优于对照; 3 年生一级分枝数量为 34.00~62.20 条, 长度为 43.40~89.00 cm, 粗度为 4.86~11.40 mm, 综合来看, 117、118、121 的一级分枝数量多, 粗壮且长度长, 是性状表现优良的品种。10×25 一级分枝长度超过对照, 107、120 品种一级分枝粗壮且长, 是在今后育种中可以利用的优良性状; CCCA 12×25 和 T8667 的单节果实数较少, 其余品种均超过 15 粒; 107、117、118、120、121、10×25 单株鲜果产量和每公顷干豆产量最高为 4.50~6.58 kg、3289.46~4968.57 kg, 品种 117、118、120 盛产期 2 年平均每公顷干豆产量大于 3000 kg, 产量处于较高水平, 显示出杂交种高产的优势; 鲜干比为(4.31~6.48): 1, 百粒带壳豆重为 14.93~20.67 g, 10×25 鲜干比最高, 12×25 百粒带壳豆重最小, 其余各品种果实饱满, 粒度中等。本研究筛选出植株矮生、茎粗壮、冠幅宽, 一级分枝数量多、粗壮且长、产量高、果实饱满, 粒度中等, 性状优于生产主栽品种 T8667 的优良品种 117、118、120、121、10×25, 为生产上推广丰产优质咖啡新品种提供科学依据。

关键词: 小粒种咖啡; 营养生长; 产量; 咖啡豆品质

中图分类号: S571.2 文献标志码: A

Agronomic and Yield Traits of 7 Arabica Coffee Hybrids F_1 in Different Regions of Pu'er, Yunnan, China

YANG Jing¹, LI Xuejun^{1*}, DONG Yunping¹, LYU Zhenjiang¹, WANG Peibin¹, HE Anle¹, HOU Jiazhizhi², LUO Zhengyang²

1. College of Tropical Crops, Yunnan Agricultural University, Pu'er, Yunnan 665099, China; 2. Necafe Coffee Center, Pu'er, Yunnan 665099, China

Abstract: The study was aimed to breed new coffee varieties with good characteristics for improving the yield and quality of Yunnan coffee production. Arabica coffee hybrid F_1 was introduced from Nestle R&D Center in France to Pu'er to study plant growth, fruiting characteristics, yield and bean physical properties. The varieties are 107, 117, 118, 120, 121, 10×25 and 12×25, and the control is T8667, a widely planted cultivar. The test sites were Simao, Ning'er, Menglian and Jiangcheng. The results indicated that the plant height, stem diameter and crown width of the 3-year-old plant for the varieties was 84.20–175.00 cm, 21.69–53.34 mm, and 74.80–165.30 cm, respectively. All test varieties were dwarf plant. GPFA117 showed thicker stems and wider crown, 118 and 121 had better crown width than the control.

收稿日期 2024-08-16; 修回日期 2024-09-24

基金项目 云南省宁洱哈尼族彝族自治县咖啡产业科技特派团项目 (No. 202304BI090006); 思茅区农民院士科技服务站项目; 云南省科技厅重点研发计划项目-云南省咖啡产业绿色发展国际联合研发中心 (No. 202303AP140010)。

作者简介 杨 婧 (1981—), 女, 硕士, 讲师, 研究方向: 咖啡栽培。*通信作者 (Corresponding author): 李学俊 (LI Xuejun), E-mail: 2003056@ynau.edu.cn。

The number of primary branches was 34.00~62.20. The longest primary branch length and diameter range was 43.40~89.00 cm, 4.86~11.40 mm respectively. The varieties with excellent performance were those with more number of primary branches, strong and long branches. 117, 118 and 121. 10×25 showed longer primary branches than the control, and the primary branch of 107, 120 varieties was thicker and longer, which can also be used as a good trait in future breeding. The least number fruits per node were 12×25 and T8667, and other varieties had more than 15 fruits per node. The variety 107, 117, 118, 120, 121 and 10×25 had the highest fresh fruit yield per plant and dry bean yield per hectare, up to 4.50~6.58 kg and 3289.46~4968.57 kg. Varieties 117, 118 and 120 had an average dry bean yield of over 3000 kg/hm² during the two-year peak production period, indicating a relatively high level of yield. It showed the advantage of high yield of hybrid varieties respectively. The fresh-dry ratio was (4.31~6.48) : 1, the highest was 10×25. The weight of 100 parchment beans was 14.93~20.67 g, and that of 12×25 was the smallest one. Others showed completely filled fruit and medium bean granularity. Varieties 117, 118, 120, 121 and 10×25 had some excellent traits such as plants shorter, thicker stems, wider crown, more thicker and longer primary branches, high yield, plump fruits, medium grain size over T8667. The varieties would provide scientific basis for promoting high-yield and high-quality coffee varieties in production.

Keywords: *Coffea arabica* L.; vegetative growth; yield; bean quality

DOI: 10.3969/j.issn.1000-2561.2025.02.007

根据云南省咖啡产业工作组、云南省咖啡产业专家组发布的《云南省咖啡产业发展报告(2023年度)》，2023年云南省咖啡种植面积、产量分别为7.64万hm²、14.6万t，农业总产值54.3亿元。咖啡产业已成为云南高原特色农业的重要产业之一，对边境少数民族脱贫增收、边境稳定和社会经济发展具有重要作用。

我国小粒种咖啡栽培品种主要是卡蒂姆系列品种，有Catimor 7963、P4、T5175、T8667、PT、德热3号等，品种极为单一，遗传基础狭窄，目前已经在云南省多个咖啡种植区出现不同程度的锈病^[1-3]。咖啡产业存在锈病流行、产量损失、品质下降等较大的风险。气候变化、病虫害频发、市场竞争加剧等问题更是对产业发展构成了严峻考验。改良云南现有咖啡品种，是提高云南咖啡的精品率、实现产业提质增效的重要基础工作。

所有的阿拉比卡咖啡起源于铁比卡和波邦，1970年以前，国际上通过自然突变、种内杂交选育出Caturra、Villa Sarchi、黄色波邦、象豆等^[4]，这些品种具有优秀的杯品质量，但不抗咖啡叶锈病。随着产业发展的需要和育种手段的不断进步，选育种的主要目标是高产、抗叶锈病且具有良好的杯品质量，育种策略是使用种间杂交技术(introgressed)，利用高抗病害的品种，与矮生、高风味传统品种进行杂交，经过20a或8个世代的系谱选择，育出抗锈病品种。如1960年，葡萄牙咖啡锈病研究中心(CIFC)选育出卡蒂姆(Catimor)品种，1970年选育出萨奇姆(Sarchimor)品种。巴西坎皮纳斯研究所(Instituto

Agronómico de Campinas, IAC)选育出Icatu种群(*C. canephora*×*C. arabica*)杯品品质与传统的小粒种相似^[5]。

传统选育种周期长，自交不亲和、豆缺陷、不良风味等性状往往与抗叶锈病基因存在连锁效应，导致种间杂交小粒种风味品质下降。从2015年起，由世界咖啡研究中心(WCR)联合法国农业研究发展中心(CIRAD)、巴西坎皮纳斯农业研究所(IAC)、哥斯达黎加热带农业研究与高等教育中心(CATIE)开展了最新育种计划，将抗锈病栽培品种与埃塞俄比亚自然变种(地方品种或传家宝品种)进行杂交，F₁杂交品种经过产量、杯测、抗叶锈病等评估后，投入商业种植，如H1/Centroamericano、H10/Milenio、H16/Mundo Maya、Starmaya、Casiopea等。杂交F₁携带了父母本基因，在生长、抗病虫害、环境适应性方面更具有优势，对这些杂交种进行农艺、抗病虫害、产量、品质性状表现鉴定评价，有利于分子标记开发有用的多态性，进行基因组学分析，确定与农艺性状相关的关键基因，使得选育种计划目标更准确，对开发具有特定性状的转基因品种至关重要^[6]，并且可以缩短选育种周期。

云南农业大学热带作物学院联合雀巢咖啡，从法国雀巢研发中心引进7个小粒种咖啡杂交种F₁组培苗，李学俊等^[7]研究表明，这些杂交种F₁归属于小粒种咖啡波邦型品种类群。于2019年在云南省普洱市的4个咖啡种植区布置了区域试验，进行生长量、开花结果特性、产量表现和咖啡豆品质的观测研究，为筛选出适应普洱地区气

候、土壤条件,且具有高产、优质、抗逆性强的咖啡新品种推广生产种植提供科学依据,并为下一步开展咖啡选育种研究奠定基础。

1 材料与方法

1.1 材料

7 个小粒种咖啡新品种 F_1 分别为 107、117、118、120、121、10×25、12×25,为法国雀巢研发中心培育的小粒种基因库咖啡组培苗,2012 年定植于西双版纳雀巢咖啡试验及示范农场,采集杂交种 F_1 优良母树芽条进行嫁接扩繁,嫁接苗生长 1 a,定植到试验点,对照为生产推广品种 T8667。

试验点分别位于思茅区南岛河试验示范场(100°59'48"E, 22°37'37"N),简称 NDH,海拔 1020 m,年降雨量 1500 mm,年平均气温 18.2 °C;宁洱县普义乡志帆咖啡场(101°25'23"E, 22°59'56"N),简称 NE,海拔 1090 m,年降水量 1400 mm,年平均气温 18.2 °C;孟连县勐马镇桥安咖啡场(99°25'60"E, 22°13'38"N),简称 ML,海拔 1163 m,年降水量 1400 mm,年平均气温 19.6 °C;江城县康平镇云南农业大学康平基地(101°28'27"E, 22°33'56"N),简称 KP,高海拔 980 m,年降雨量 2200 mm,年平均气温 18.7 °C。4 个试验点属南亚热带季风气候区,土壤为砖红壤。

1.2 方法

每个试验点种植株行距为 2 m×1.5 m,每个品种 10 株,小区面积 30 m²,每个试验点面积 240 m²。选择各品种长势一致的 1 年生嫁接苗,康平试验点于 2019 年 6 月定植,其余试验点于 2020 年 6 月定植。各试验点管理水平一致,每年施肥 3 次。

1.2.1 植株生长量 7 个咖啡新品种在 4 个试验点的 3 年生植株生长量。株高,用钢卷尺测量从地面到植株顶端的距离;茎粗,用游标卡尺测量植株茎干离地 10 cm 处直径;冠幅,测量植株东西、南北 2 个方位最宽处距离,取 2 个方位的平均值;一级分枝对数,记录植株主干上所有一级分枝对数;最长一级分枝长度,用钢卷尺测量最长的一级分枝从分枝基部到顶端的距离;最长一级分枝粗度,测量最长一级分枝距离分枝基部 5 cm 处直径;最长一级分枝节数,记录最长一级分枝的节数。

1.2.2 结果特性 观测 7 个咖啡新品种在 4 个试验点的结果特性。单节果实粒数,于 2023 年 10

月,在第一批果实成熟前,每个品种选取长势一致的植株 3 株,每株植株中部,按东、西、南、北 4 个方位各选一条结果枝中部 3 节,统计每一节上的果实数;单株鲜果产量,在 2022/2023、2023/2024 2 个结果年度,每个品种固定 5 棵植株,在果实成熟期 10 月至次年 3 月,分批采摘每棵植株上的所有成熟果实,并称量收获的鲜果质量,采收结束,统计单株鲜果实质量。统计每公顷干豆产量,计算每公顷干豆产量(kg/hm²)。

1.2.3 果实及咖啡豆物理性状 观测 7 个咖啡新品种在 4 个试验点的果实及咖啡豆物理性状。果实大小,每个品种对成熟期收获的一批咖啡鲜果,用游标卡尺测量单个鲜果的纵径、横径、侧径,每个品种测量 50 粒鲜果;鲜干比,每个品种分别在 11 月、12 月、1 月各收获一批鲜果,随机称量 500 g 鲜果,采用湿法加工,脱去果皮、果胶,置于烘箱 40 °C 烘干至恒重,称量干豆的质量,计算鲜干比;百粒重,取 100 粒咖啡带壳豆,称量质量,脱去种壳后再次称量咖啡米质量,计算出米率。鲜干比=鲜果质量/带壳豆质量;出米率=(咖啡米质量/带壳豆质量)×100%;每公顷干豆产量=(单株鲜果产量/鲜干比)×222×15。

1.3 数据处理

使用 Excel 2021 软件进行数据整理和作图,应用 SPSS 19.0 软件进行单因素方差分析,应用 Duncan 多重比较进行显著性分析。

2 结果与分析

2.1 不同试验点 7 个咖啡新品种的植株生长量

由表 1 可知,在不同试验点各品种 3 年生株高、冠幅生长量品种间差异显著,茎粗生长量在康平试验点差异小,在南岛河试验点差异不显著。植株生长量孟连试验点较差,其余试验点长势较好。各品种株高生长量为 84.20~175.00 cm,均小于或与对照差异不显著,但康平试验点 118、120 表现出最高的株高生长量;各品种茎粗生长量为 21.69~53.34 mm,孟连试验点 117 显著高于对照,茎粗显著小于对照的有孟连试验点 107、宁洱试验点(107、117、118、120)、康平试验点 12×25,其余各试验点各品种茎粗生长量与对照差异不显著,品种 117 除宁洱试验点外,在其余 3 个试验点均表现出最高的茎粗生长量。各品种冠幅生长量为 74.80~165.30 cm,冠幅生长量显著小于对照的有孟连试验点的 107,冠幅生长量显著高于对

表 1 7 个咖啡新品种在不同试验点植株生长量
Tab. 1 Plant growth of 7 coffee varieties at different experimental points

性状 Character	品种 Variety	孟连 ML	宁洱 NE	康平 KP	南岛河 NDH
株高/cm	107	84.20±8.06 ^b	134.20±6.56 ^d	159.60±4.88 ^{ab}	130.40±4.47 ^b
	117	110.60±2.56 ^a	116.40±2.54 ^e	160.60±4.27 ^{ab}	166.60±6.25 ^a
	118	109.60±8.24 ^a	137.40±2.14 ^{cd}	175.00±4.01 ^a	161.60±2.16 ^a
	120	87.20±8.52 ^b	138.60±4.11 ^{cd}	173.40±3.14 ^a	160.20±7.44 ^a
	121	115.00±2.55 ^a	152.80±4.44 ^{abc}	159.60±8.05 ^{ab}	163.60±6.11 ^a
	10×25	97.80±4.53 ^{ab}	140.80±4.04 ^{bcd}	166.60±3.79 ^{ab}	139.60±8.43 ^b
	12×25	102.20±4.22 ^{ab}	155.40±3.85 ^{ab}	151.80±10.01 ^b	129.60±2.96 ^b
	T8667	116.80±5.65 ^a	164.20±8.96 ^a	159.20±9.63 ^{ab}	170.80±5.12 ^a
茎粗/mm	107	21.69±2.96 ^c	34.62±2.371 ^b	45.38±1.35 ^a	33.90±1.86 ^a
	117	40.19±2.12 ^a	31.96±1.84 ^b	53.34±2.65 ^a	36.12±1.09 ^a
	118	31.97±2.11 ^b	31.87±2.73 ^b	50.94±4.33 ^a	35.42±1.27 ^a
	120	25.83±2.11 ^{bc}	34.78±1.22 ^b	52.88±1.25 ^a	33.88±1.85 ^a
	121	32.85±2.28 ^b	37.34±1.92 ^{ab}	46.76±2.67 ^a	33.56±2.05 ^a
	10×25	28.50±2.48 ^{bc}	37.96±2.21 ^{ab}	46.84±2.39 ^a	28.56±1.98 ^a
	12×25	29.67±1.77 ^b	35.60±0.45 ^{ab}	35.02±4.60 ^b	34.02±0.90 ^a
	T8667	31.57±1.95 ^b	41.05±0.93 ^a	47.48±4.80 ^a	32.64±1.95 ^a
冠幅/cm	107	74.80±8.31 ^b	147.20±8.75 ^{bc}	147.20±2.52 ^{ab}	141.10±7.60 ^{abcd}
	117	125.80±7.77 ^a	128.10±7.57 ^d	138.80±2.78 ^{ab}	156.00±5.82 ^{ab}
	118	131.80±7.31 ^a	149.90±5.13 ^{abc}	154.80±15.15 ^a	160.20±4.48 ^{ab}
	120	106.50±13.51 ^a	159.40±5.26 ^{ab}	148.00±10.49 ^{ab}	161.10±7.74 ^a
	121	128.80±2.90 ^a	165.30±3.54 ^a	156.80±4.26 ^a	147.20±9.15 ^{abc}
	10×25	101.90±12.75 ^{ab}	159.80±3.98 ^{ab}	142.40±10.79 ^{ab}	137.20±9.59 ^{bcd}
	12×25	111.10±10.46 ^a	165.20±1.59 ^a	123.20±11.20 ^b	127.80±4.75 ^{cd}
	T8667	130.20±9.65 ^a	141.40±4.65 ^{cd}	145.60±9.33 ^{ab}	121.80±7.87 ^d

注：同列不同小写字母表示差异显著（ $P<0.05$ ）。
Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant difference ($P<0.05$).

照的为宁洱试验点的 120、121、10×25、12×25 和南岛河试验点的 117、118、120、121。

由表 2 可知，7 个咖啡新品种株高生长量变异系数为 15.54%~25.76%，株高生长变异较大的品种有 120、107、10×25；茎粗生长量变异系数在 16.65%~29.40%之间，茎粗生长变异较大的品种有 120、118、T8667、10×25；冠幅生长量变异系数为 12.02%~27.21%，冠幅生长变异较大的品种有 107、10×25、120、12×25。由此可见，品种 120、107、12×25、10×25 性状不稳定，在不同的种植条件下生长量性状变异大。

2.2 不同试验点 7 个咖啡新品种的一级分枝生长量

由表 3 可知，在不同试验点各品种 3 年生一级分枝数量、一级分枝长度和节间距在宁洱试验点品种间差异显著，在其他试验点差异小。一级分枝粗度在康平试验点品种间差异显著。各品种

表 2 7 个咖啡新品种植株生长量的变异系数
Tab. 2 Growth parameters coefficient variation of 7 coffee varieties %

品种 Variety	株高 Plant height	茎粗 Stem diameter	冠幅 Crown width
107	24.10	16.65	27.21
117	19.68	22.95	12.98
118	18.79	26.46	14.48
120	25.76	29.40	21.03
121	15.54	19.65	12.02
10×25	20.35	24.27	21.83
12×25	18.53	16.89	20.12
T8667	17.50	24.58	14.27

一级分枝数量为 34.00~62.20 条，孟连试验点 107，宁洱试验点 107、117、118、120，显著小于对照，其余与对照差异不显著。孟连试验点 117、118、121，宁洱试验点 107、121、10×25、12×25、T8667，

康平试验点 107、118、121，南岛河 117 一级分枝数量超过 50 条，显示出较高的生长量。各品种一级分枝长度为 43.40~89.00 cm，显著小于对照的有孟连试验点的 107，显著大于对照的有宁洱试验点的 10×25，南岛河试验点的 121，其余与对照差异不显著；品种 107、118、120、121 至少在 2 个试验点一级分枝长度显著大于 80 cm，表现出较高的一级分枝长度生长量。各品种一级分枝粗

度为 4.86~11.40 mm，显著小于对照的仅有孟连试验点的 107，显著高于对照的有南岛河试验点的 118，其余与对照差异不显著，品种 107、118、120、121、T8667 至少在 2 个试验点一级分枝粗度大于 8.0 mm，一级分枝较粗壮。各品种一级分枝节间距为 27.54~40.70 mm，宁洱试验点 107 显著低于对照，其余与对照差异不显著，一级分枝节间距除 T8667 和 118 较长外，其余品种都较短。

表 3 7 个咖啡新品种在不同试验点的一级分枝生长情况
Tab. 3 Primary branch growth of 7 coffee varieties at different experimental points

性状 Character	品种 Variety	孟连 ML	宁洱 NE	康平 KP	南岛河 NDH
一级分枝数/条	107	34.00±5.40 ^c	51.60±4.58 ^{bcd}	54.60±5.40 ^a	43.40±4.39 ^{ab}
	117	53.80±3.89 ^a	48.20±3.12 ^d	45.80±1.20 ^{ab}	53.80±3.22 ^a
	118	54.80±4.32 ^a	48.60±5.86 ^{cd}	53.20±4.37 ^a	47.40±0.51 ^{ab}
	120	36.20±9.65 ^{bc}	47.20±1.98 ^d	49.00±3.51 ^{ab}	44.80±1.36 ^{ab}
	121	53.20±2.69 ^a	57.40±2.11 ^{abc}	50.80±3.96 ^a	51.00±2.02 ^{ab}
	10×25	49.00±5.22 ^{ab}	57.80±2.40 ^{ab}	48.60±4.12 ^{ab}	41.00±4.23 ^b
	12×25	48.40±4.39 ^{ab}	55.40±1.66 ^{abcd}	37.20±5.05 ^b	40.80±0.80 ^b
	T8667	47.80±4.62 ^{ab}	62.20±3.26 ^a	45.00±2.58 ^{ab}	51.40±5.80 ^{ab}
最长一级分枝长度/cm	107	43.40±5.21 ^b	82.20±4.25 ^{abc}	78.20±4.02 ^a	80.40±1.66 ^{ab}
	117	70.60±3.17 ^a	74.60±3.71 ^c	79.00±3.16 ^a	83.20±2.82 ^{ab}
	118	72.00±2.35 ^a	77.80±3.31 ^{bc}	84.80±9.31 ^a	85.80±2.35 ^{ab}
	120	65.00±7.09 ^a	82.20±2.96 ^{abc}	79.80±3.67 ^a	86.20±4.02 ^{ab}
	121	71.00±1.61 ^a	86.60±3.26 ^{ab}	79.00±3.63 ^a	88.80±7.95 ^a
	10×25	65.20±6.15 ^a	89.00±2.97 ^a	71.60±3.60 ^{ab}	78.80±5.31 ^{ab}
	12×25	66.40±4.52 ^a	86.00±3.16 ^{ab}	61.20±6.89 ^b	72.60±3.34 ^b
	T8667	69.80±3.35 ^a	77.80±2.47 ^{bc}	74.80±3.85 ^{ab}	72.60±3.42 ^b
最长一级分枝粗度/mm	107	4.86±0.56 ^b	9.17±0.78 ^a	10.00±0.43 ^{abc}	7.54±0.57 ^{ab}
	117	7.88±0.57 ^a	7.89±0.34 ^a	9.60±1.04 ^{abc}	7.62±0.15 ^{ab}
	118	7.10±0.77 ^a	7.73±0.33 ^a	11.40±0.98 ^a	8.36±0.47 ^a
	120	6.70±0.55 ^a	9.23±0.59 ^a	10.20±1.02 ^{ab}	7.80±0.51 ^{ab}
	121	7.17±0.24 ^a	8.77±0.52 ^a	10.90±0.59 ^a	8.26±0.87 ^{ab}
	10×25	7.56±0.59 ^a	9.56±1.00 ^a	7.76±0.47 ^{bc}	7.34±0.58 ^{ab}
	12×25	6.44±0.68 ^{ab}	8.52±0.44 ^a	7.26±0.91 ^{bc}	7.30±0.08 ^{ab}
	T8667	6.72±0.32 ^a	8.51±0.41 ^a	9.78±1.22 ^{abc}	6.60±0.42 ^b
最长一级分枝节间距/mm	107	29.17±1.19 ^a	30.12±1.90 ^c	28.91±1.17 ^{ab}	33.06±1.96 ^a
	117	29.06±1.06 ^a	31.76±1.78 ^{bc}	26.74±0.37 ^b	36.57±1.54 ^a
	118	30.31±2.10 ^a	39.98±2.04 ^a	30.48±2.50 ^{ab}	39.45±1.87 ^a
	120	28.66±1.36 ^a	32.10±1.58 ^{bc}	27.54±1.00 ^b	35.67±0.73 ^a
	121	27.71±1.11 ^a	33.83±1.26 ^{bc}	30.59±1.36 ^{ab}	40.70±2.93 ^a
	10×25	32.18±2.12 ^a	32.48±1.56 ^{bc}	33.28±6.01 ^{ab}	35.14±1.05 ^a
	12×25	31.36±1.38 ^a	33.72±1.35 ^{bc}	37.24±2.40 ^a	34.52±1.33 ^a
	T8667	32.10±0.93 ^a	36.84±2.73 ^{ab}	30.08±1.84 ^{ab}	40.02±5.01 ^a

注：同列不同小写字母表示差异显著（ $P<0.05$ ）。
Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant difference ($P<0.05$).

2.3 不同试验点 7 个咖啡新品种一级分枝单节果实数性状

由图 1 可见，在不同试验点一级分枝单节果实数品种间差异显著。在孟连试验点 118 单节果

实数为 15.67 粒，显著高于其余品种；宁洱、康平、南岛河 3 个试验点的 12×25 和 T8667 单节果实数显著低于其余品种。其中宁洱试验点 10×25、120、121、117、107，康平试验点 121，南岛河

试验点 121、107、118、10×25 单节果实数超过 20 粒，表现出较高的产量潜力。

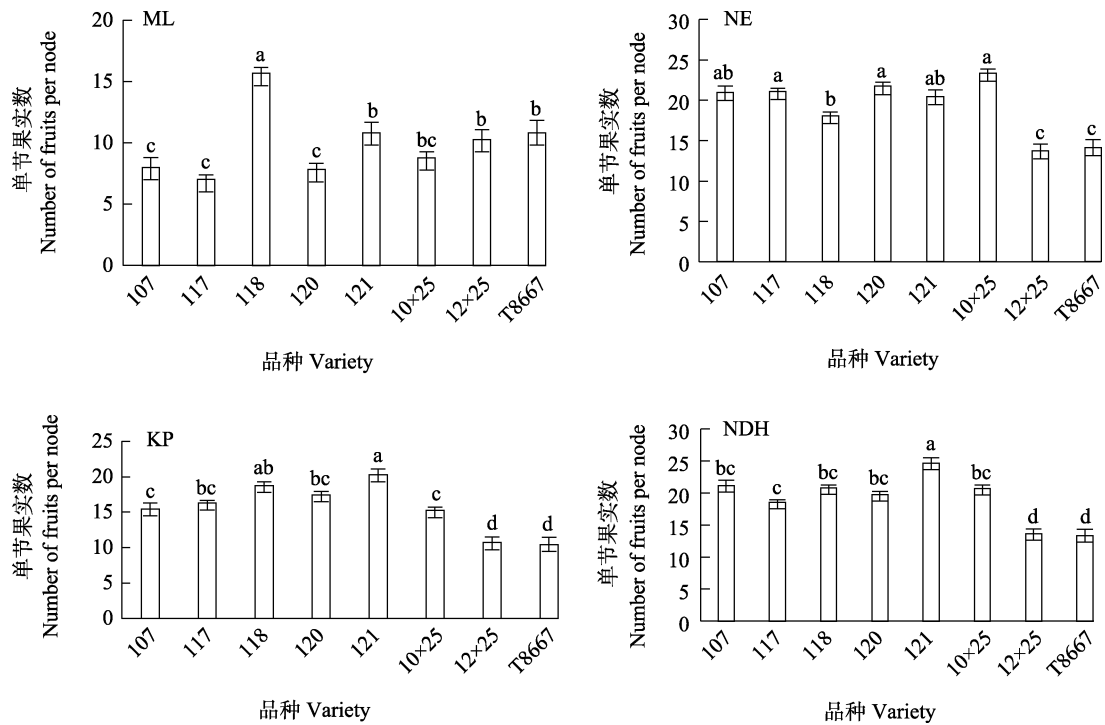
2.4 不同试验点 7 个咖啡新品种产量性状

由表 4 可见，7 个咖啡新品种在不同试验点的单株鲜果产量和每公顷干豆产量品种间差异显著。孟连试验点由于 2022/2023 年度结果量较少，因此未进行测产。宁洱和南岛河试验点 2022/2023 年度为初产期，因此产量低于康平试验点。2022/2023 年度单株鲜果产量和每公顷干豆产量，除宁洱和康平试验点 12×25 品种低于或与对照 T8667 差异不显著外，其余品种均显著高于对照。2023/2024 年度单株鲜果产量和每公顷干豆产量，孟连试验点 107、120、10×25 显著低于对照，其余品种与对照差异不显著。在宁洱试验点除 118 与对照差异不显著外，其余品种均显著高于对照。康平试验点 121、12×25，与对照差异不显著，其余品种均显著高于对照。在南岛河试验点，单株鲜果产量 107、117、118，每公顷干豆产量 107、117、118、121 显著高于对照，其余品种与对照差异不显著。2023/2024 年度所有试验点均已进入盛产期，孟连试验点由于前期管理差，各品种长势差，未体现出品种的实际产量水平。综合宁洱、

康平、南岛河 3 个试验点各品种产量，107、117、118、120、121、10×25 单株鲜果产量和每公顷干豆产量最高为 4.50~6.58 kg、3289.46~4968.57 kg，产量水平较高；宁洱、康平、南岛河 3 个试验点 2 年平均每公顷干豆产量为 319.11~3319.18 kg，所有品种均高于对照，除宁洱试验点 118，康平试验点 12×25，南岛河试验点除 10×25、12×25，与对照差异不显著，其余各试验点各品种每公顷干豆产量均显著高于对照，其中康平基地 117、118、120 每公顷干豆产量大于 3000 kg。

2.5 不同试验点 7 个咖啡新品种果实和咖啡豆性状

由图 2 可见，7 个咖啡新品种在不同试验点的果实纵径、横径和侧径品种间差异显著。果实纵径在所有试验点 10×25、12×25 均显著小于对照 T8667，孟连试验点 117、118 以及康平试验点 118、120 显著小于对照；孟连试验点 121 和宁洱试验点 107、121 的纵径分别为 15.30、15.53、15.68 mm，显著大于对照；除此之外，各品种果实纵径为 14.09~16.65 mm 与对照差异不显著。果实横径孟连试验点 117、118、10×25、12×25 显著小于对照。南岛河试验点除 10×25 小于对照，其余品种与对



不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。
Different lowercase letters indicate significant difference ($P<0.05$).
图 1 7 个咖啡新品种在不同试验点一级分枝单节果实数
Fig. 1 Number of fruits per primary branches node of 7 coffee varieties at different experimental points

表 4 7 个咖啡新品种在不同试验点的产量
Tab. 4 Yield of 7 coffee varieties at different experimental points

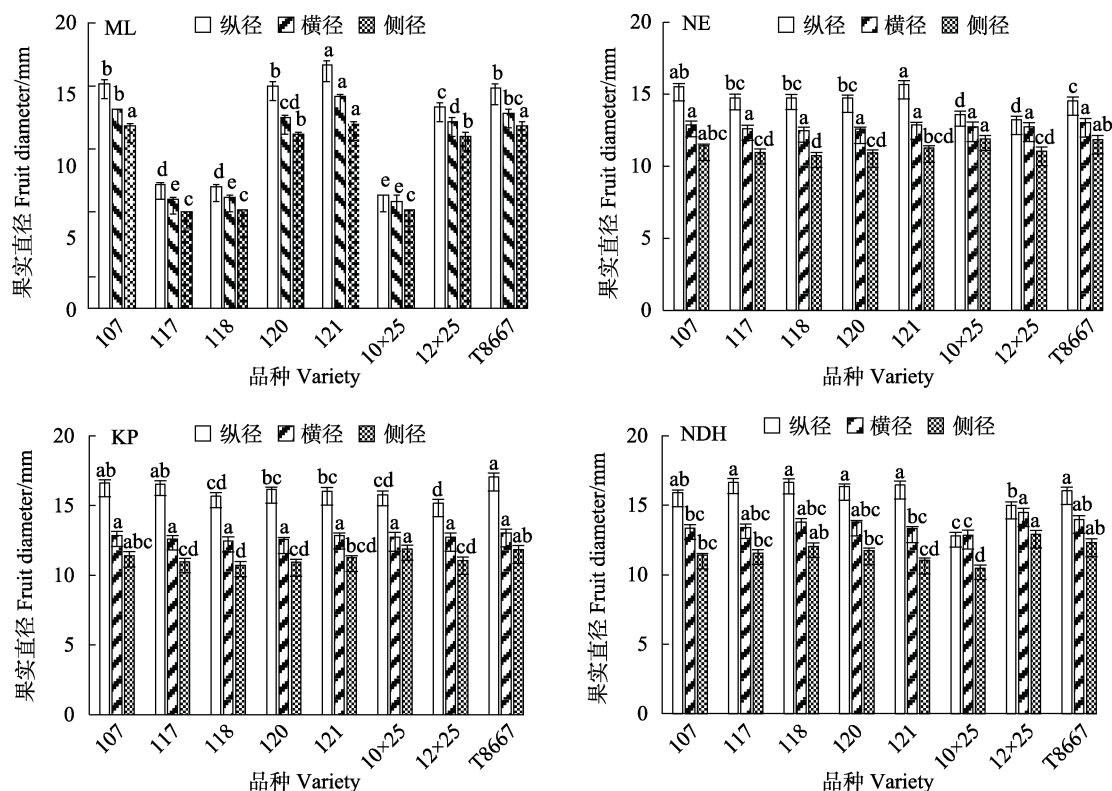
试验点 Test site	品种 Variety	2022/2023		2023/2024		平均干豆产量 Average dry cherries yield/(kg·hm ⁻²)
		每株鲜果产量 Weight fresh cherries per plant/kg	干豆产量 Weight parchment bean/(kg·hm ⁻²)	每株鲜果产量 Weight fresh cherries per plant/kg	干豆产量 Weight parchment bean/(kg·hm ⁻²)	
孟连	107	—	—	0.25±0.05 ^c	161.01±33.93 ^c	—
	117	—	—	0.52±0.15 ^{bc}	342.28±96.46 ^{abc}	—
	118	—	—	0.94±0.25 ^a	596.10±160.31 ^a	—
	120	—	—	0.34±0.16 ^c	210.32±100.49 ^c	—
	121	—	—	0.39±0.11 ^{bc}	248.55±71.25 ^{bc}	—
	10×25	—	—	0.29±0.03 ^c	166.70±17.70 ^c	—
	12×25	—	—	0.39±0.15 ^{bc}	258.91±100.356 ^{bc}	—
	T8667	—	—	0.82±0.04 ^{ab}	506.78±24.12 ^{ab}	—
宁洱	107	0.68±0.06 ^a	415.49±35.63 ^{ab}	5.22±0.30 ^a	3633.42±208.96 ^a	2024.45±92.05 ^a
	117	0.70±0.07 ^a	466.20±47.09 ^a	3.29±0.21 ^{bc}	2469.00±156.93 ^{ab}	1467.60±89.57 ^{ab}
	118	0.54±0.06 ^{ab}	317.14±29.95 ^{bcd}	2.52±0.58 ^{cd}	1835.28±423.75 ^{bc}	1076.21±211.66 ^{bc}
	120	0.60±0.05 ^{ab}	399.60±36.48 ^{abc}	4.86±0.60 ^{ab}	3657.85±452.88 ^a	2028.72±215.19 ^a
	121	0.62±0.06 ^a	416.25±39.15 ^{ab}	4.50±0.78 ^{ab}	3289.46±568.13 ^a	1852.85±270.41 ^a
	10×25	0.60±0.04 ^{ab}	303.19±22.60 ^{cd}	5.19±0.86 ^a	3604.95±597.58 ^a	1954.07±294.94 ^a
	12×25	0.44±0.02 ^b	290.14±16.15 ^d	4.11±0.56 ^{abc}	3026.63±413.44 ^{ab}	1658.38±212.89 ^{ab}
	T8667	0.44±0.04 ^b	309.77±28.16 ^{cd}	1.05±0.41 ^d	761.88±294.82 ^c	535.83±151.41 ^c
康平	107	2.14±0.05 ^e	1166.32±28.27 ^e	4.43±0.73 ^b	3399.06±555.10 ^b	2282.69±279.43 ^b
	117	2.79±0.05 ^d	1669.79±30.33 ^c	6.58±0.44 ^a	4968.57±334.64 ^a	3319.18±155.78 ^a
	118	3.64±0.07 ^b	2136.36±39.83 ^b	5.41±0.83 ^{ab}	4039.30±621.48 ^{ab}	3087.83±328.59 ^a
	120	4.30±0.12 ^a	2617.73±71.28 ^a	5.11±0.36 ^{ab}	3893.89±276.17 ^{ab}	3255.81±167.41 ^a
	121	3.27±0.16 ^{bc}	2004.13±95.43 ^b	3.73±0.21 ^{bc}	2884.97±161.99 ^{bc}	2444.55±82.07 ^b
	10×25	3.11±0.17 ^{cd}	1401.49±77.74 ^d	4.78±0.55 ^b	3283.31±374.60 ^b	2342.40±201.45 ^b
	12×25	1.61±0.20 ^f	802.79±101.81 ^f	2.56±0.54 ^c	1959.72±409.64 ^c	1381.26±160.15 ^c
	T8667	1.80±0.17 ^{ef}	797.61±75.94 ^f	2.43±0.33 ^c	1945.17±264.76 ^c	1371.39±160.88 ^c
南岛河	107	0.43±0.06 ^{cd}	269.39±34.79 ^{cd}	2.59±0.49 ^a	1674.69±316.33 ^a	972.04±158.02 ^{ab}
	117	1.58±0.09 ^a	1091.58±65.21 ^a	2.52±0.32 ^a	1691.09±211.22 ^a	1391.33±131.73 ^a
	118	0.90±0.11 ^b	605.33±71.51 ^b	2.30±0.44 ^{ab}	1466.77±282.07 ^{ab}	1036.05±171.40 ^{ab}
	120	0.85±0.08 ^b	534.82±47.80 ^b	1.77±0.53 ^{abc}	1107.12±330.74 ^{abc}	820.97±166.89 ^{bc}
	121	0.92±0.08 ^b	617.56±54.96 ^b	1.93±0.44 ^{abc}	1408.79±321.60 ^{ab}	1013.18±160.13 ^{ab}
	10×25	0.44±0.04 ^{cd}	239.72±22.65 ^{cd}	1.82±0.67 ^{abc}	933.60±344.86 ^{abc}	586.66±177.30 ^{bcd}
	12×25	0.61±0.08 ^c	366.00±46.55 ^c	1.00±0.31 ^{bc}	626.61±191.15 ^{bc}	496.31±83.42 ^{cd}
	T8667	0.22±0.04 ^d	133.69±22.74 ^d	0.72±0.11 ^c	504.54±74.67 ^c	319.11±35.84 ^d

注：同列不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)；—表示未测定产量。
Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant difference ($P<0.05$); — indicates undetermined yield.

照差异不显著。果实侧径在孟连试验点 107、121，宁洱试验点 10×25、121、107，康平试验点 10×25、121、107，南岛河试验点 12×25、118、117、107、120 与对照差异不显著，除此之外，其他品种果实侧径均显著小于对照。

由表 5 可见，在不同试验点，品种间鲜干比仅在康平试验点和南岛河试验点 10×25 显著高于其

余品种，除此之外，品种间差异均不显著；各品种百粒带壳豆重为 14.93~20.67 g，孟连试验点最轻，其次为康平试验点，宁洱和南岛河试验点最重。康平试验点 10×25、121、120、118、107 百粒带壳豆重显著小于对照，除此之外，各品种与对照差异不显著；各品种出米率为 76.46%~86.18%，除康平试验点 117、南岛河试验点 12×25



不同小写字母表示相同试验点不同品种间差异显著 ($P < 0.05$)。

Different lowercase letters indicate significant difference among different variety in the same site ($P < 0.05$).

图2 7个咖啡新品种在不同试验点果实大小

Fig. 2 Fresh cherry size of 7 coffee varieties at different experimental points

显著小于对照外, 其余品种与对照差异不显著。

3 讨论

3.1 植株及一级分枝生长量

研究表明, 咖啡株高、茎粗、分枝对数、冠幅、最长一级分枝长和最长一级分枝节数与单株产量间存在极显著的正相关关系, 在品种选育过程中是主要的观测对象^[8-10]。本研究选取的对照品种 T8667 是 HdT 和 Caturra 的杂交后代, 其农艺性状与植株矮生、节间密集的 Caturra 非常相似^[11-12]。参试的 7 个咖啡品种株高均比对照矮或与对照相当, 属于植株矮生品种。7 个咖啡新品种, 除了 120、107、12x25、10x25 植株生长量在不同的试验点性状变异大外, 其余品种主干粗壮、冠幅宽, 特别是 117 品种在茎粗和冠幅优于对照, 118、121 在冠幅生长量方面优于对照 T8667。

一级分枝在咖啡主干上成对着生, 是主要结果枝, 分枝对数与单株产量呈显著正相关^[13]。一级分枝的数量越多、长度越长、粗度越粗、节间距越短, 说明咖啡植株具有更多的结果节数, 和更高的产量潜力^[14]。本研究各品种一级分枝条数

低于对照, 117、118、121 一级分枝条数超过 50 条, 与相关研究报道^[15-18]相比处于中间水平, 一级分枝长度宁洱试验点 10x25 和南岛河试验点 121 显著大于对照, 品种 107、118、120、121 至少在 2 个试验点一级分枝长度大于 80 cm, 且比对照长, 与相关研究报道^[15-18]相比性状优良。107、118、120、121 为一级分枝较粗度的品种, 其中 118 显著大于对照。各品种一级分枝节间距为 27.54~40.70 mm, 比对照短, 与相关研究报道^[15-18]相比处于中间水平。综合来看, 117、118、121 一级分枝数量多, 粗壮且长度长, 是性状表现优良品种。此外 10x25 一级分枝长度大于对照, 120、107 品种一级分枝粗壮且长, 是在今后育种中可以利用的优良性状。

3.2 一级分枝的单节果实数和产量性状

研究表明, 果丛数、平均果丛浆果数均与产量呈极显著相关^[19-20]。观测单株果实数的时期选择在果实发育的第 8 个月至第 9 个月^[21], 此期果实体积稳定, 青熟果质量占成熟果质量的 79%左右^[22], 果实发育后期主要是胚乳干物质的累积, 一般果实不会脱落。通过测定品种的单节果实数

表 5 7 个咖啡新品种在不同试验点的果实性状
Tab. 5 Fruit and bean characters of 7 coffee varieties at different experimental sites

性状 Character	品种 Variety	孟连 ML	宁洱 NE	康平 KP	南岛河 NDH
鲜干比	107	5.16±0.15 ^a	4.78±0.13 ^a	4.34±0.18 ^b	5.14±0.39 ^b
	117	5.04±0.20 ^a	4.44±0.06 ^a	4.41±0.06 ^b	4.97±0.26 ^b
	118	5.27±0.18 ^a	4.58±0.19 ^a	4.46±0.17 ^b	5.22±0.15 ^b
	120	5.36±0.51 ^a	4.42±0.07 ^a	4.37±0.07 ^b	5.32±0.05 ^b
	121	5.26±0.37 ^a	4.56±0.06 ^a	4.31±0.20 ^b	4.57±0.27 ^b
	10×25	5.71±0.27 ^a	4.79±0.42 ^a	4.85±0.04 ^a	6.48±0.18 ^a
	12×25	5.06±0.22 ^a	4.52±0.13 ^a	4.35±0.12 ^b	5.33±0.354 ^b
	T8667	5.36±0.30 ^a	4.61±0.14 ^a	4.16±0.54 ^b	4.77±0.04 ^b
百粒带壳豆重/g	107	15.57±0.52 ^a	18.33±0.43 ^a	17.23±0.22 ^c	19.23±0.78 ^{ab}
	117	16.40±0.55 ^a	19.63±0.58 ^a	18.23±0.27 ^{abc}	18.50±1.21 ^{ab}
	118	15.20±0.15 ^a	19.93±1.24 ^a	17.53±0.47 ^{bc}	19.20±1.54 ^{ab}
	120	15.63±0.41 ^a	19.33±0.44 ^a	16.60±0.72 ^c	19.83±0.77 ^a
	121	16.67±0.50 ^a	18.77±0.78 ^a	17.27±0.22 ^c	20.67±0.62 ^a
	10×25	14.97±0.59 ^a	18.40±0.49 ^a	17.47±0.38 ^{bc}	15.67±0.62 ^b
	12×25	14.93±0.90 ^a	19.27±0.39 ^a	19.17±1.01 ^{ab}	17.93±1.84 ^{ab}
	T8667	15.53±1.03 ^a	20.17±0.52 ^a	19.57±0.44 ^a	18.80±0.62 ^{ab}
出米率/%	107	80.02±0.02 ^a	86.18±0.01 ^a	81.25±0.01 ^{ab}	77.06±0.04 ^{bc}
	117	81.06±0.01 ^a	83.17±0.01 ^{abc}	77.33±0.01 ^b	79.72±0.12 ^{abc}
	118	80.86±0.02 ^a	84.82±0.03 ^{ab}	79.33±0.01 ^{ab}	85.26±0.02 ^a
	120	81.25±0.01 ^a	79.96±0.01 ^c	79.29±0.02 ^{ab}	78.71±0.01 ^{abc}
	121	81.48±0.01 ^a	80.15±0.02 ^{bc}	81.81±0.02 ^{ab}	81.56±0.02 ^{abc}
	10×25	81.18±0.01 ^a	81.20±0.01 ^{bc}	80.61±0.02 ^{ab}	83.99±0.03 ^{abc}
	12×25	80.24±0.01 ^a	83.19±0.01 ^{abc}	80.91±0.01 ^{ab}	76.46±0.02 ^c
	T8667	82.63±0.02 ^a	84.01±0.01 ^{abc}	82.99±0.01 ^a	84.51±0.02 ^{ab}

注：同列不同小写字母表示差异显著（ $P<0.05$ ）。
Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant difference ($P<0.05$).

和单株总果节数预测单株产量，可解决咖啡由于多次开花，果实多次成熟，单株测产耗时较多的问题。本研究中 12×25 和 T8667 单节果实数显著低于其余品种，进行单株产量实测，这 2 个品种在各试验点单株产量均低于其余品种。107、117、118、120、121、10×25 均具有单节果实数多的优良性状。

2023/2024 年咖啡盛产期，宁洱、康平、南岛河 3 个试验点各品种长势较好，体现出品种的实际产量水平。107、117、118、120、121、10×25 单株鲜果产量和每公顷干豆产量最高为 4.50~6.58 kg、3289.46~4968.57 kg，与相关报道^[23-28]相比，产量处于较高水平。显示出杂交 F₁ 长势强壮、高产的杂交优势，与 MARIE 等^[29]杂交种 F₁ 比传统纯系小粒种具有产量优势的研究结果相同。由于宁洱和南岛河试验点 2022/2023 为初产期，产量较低，因此这 2 个试验点 2 年平均产量

还处于中等偏低水平。本研究康平试验点测定的是各品种结果第 2、第 3 年的产量，品种 117、118、120 盛产期 2 年平均每公顷干豆产量大于 3000 kg，达到较高产量水平。下一步将对宁洱、南岛河试验点进行结果第 3 年产量和康平试验点结果第 4 年产量测定，以全面观测品种在不同结果周期的产量变化规律。

3.3 果实和咖啡豆性状

鲜干比是反映果实质量的重要农艺性状，鲜干比小，说明果实饱满、空瘪率少，本研究中除了 10×25 鲜干比稍大，其余品种鲜干比小，品种间差异不大，说明果实都较为饱满。在国际咖啡市场上，咖啡豆的质量基本上取决于烘焙之前生咖啡豆的大小和缺陷的数量^[29]，而基因型是咖啡豆的形状、大小的主要驱动因素^[30]。百粒重是反映咖啡豆大小的最直接的指标。本研究各品种咖啡豆百粒重按出米率折算为生咖啡百粒重后为 11.94~

16.95 g, 与研究报道^[31-32]相比处于中等范围。李学俊等^[33]研究表明, T8667 咖啡带壳豆百粒重为 230 g, 是目前云南咖啡主栽品种中豆粒较大的品种。各参试品种咖啡豆百粒重除康平试验点部分品种小于对照外, 其他均与对照差异不显著, 说明这些参试品种咖啡豆粒度性状优良, 与生产上优良的主推品种相当。

4 结论

通过对 7 个小粒种咖啡新品种在不同试验点营养生长、结果特性、果实和咖啡豆品质等农艺性状及产量性状的分析, 表明 7 个小粒种咖啡 3 年生株高为 84.20~175.00 cm, 均小于对照或与对照差异不显著, 表现为植株矮生, 117、118、121 茎粗为 46.76~53.34 mm, 冠幅为 156.00~165.30 cm, 一级分枝数量为 53.8~57.40 条, 一级分枝粗度为 9.6~11.40 mm, 一级分枝长度为 83.2~88.8 cm, 表现为茎粗壮、冠幅宽、分枝数量多, 粗壮且长度长, 生长优于对照 T8667。10×25、107、120 品种一级分枝长度为 82.2~89.0 cm, 是育种中可利用的优良性状; 107、117、118、120、121、10×25 单节果实数超过 15 粒, 单节果实数多, 单株鲜果产量和每公顷干豆产量处于较高水平, 显示出 F₁ 杂交种高产的杂交优势。除 12×25 品种外, 其余参试品种果实饱满、出米率高, 咖啡豆粒度中等。但 120、107、12×25、10×25 植株生长量在不同的试验点变异大, 性状不稳定。品种的产量性状仅做了 2 a 的观测, 还不能了解全周期产量变化规律。下一步有待继续进行产量、果实、咖啡豆品质等性状以及杯品质量、抗叶锈病性状的测定, 为生产上推广丰产、稳产、品质及抗性优良的新品种提供更全面的科学依据。

参考文献

- [1] 周华, 张洪波, 李锦红, 李文伟, 夏红云, 郭铁英, 白学慧, 肖兵, 杨秋鸣. 咖啡种质资源收集、保存、评价及创新利用研究[J]. 热带作物学报, 2012, 33(9): 1554-1561.
- [2] 白学慧, 郭铁英, 周华, 萧自位, 马关润, 李锦红. 侵染卡蒂姆 7963 的咖啡锈菌生理小种鉴定[J]. 中国热带农业, 2017(77): 41-43.
- [3] 张洪波, 郭铁英, 匡钰, 李锦红, 白学慧, 肖兵, 夏红云, 周华, 林兴文, 萧自位. 影响云南卡蒂姆咖啡杯品质量的因素及对策[J]. 热带农业科技, 2018, 41(1): 36-42.
- [4] SCHILTER B, CAVIN C, TRITSCHER A, CONSTABLE A. Coffee: recent developments[M]. New York: Elsevier Applied Science, 2001: 165-183.
- [5] ZAMBOLIM L, ZAMBOLIM E M, VÁRZEA V M P. Durable resistance to coffee leaf rust[D]. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2005: 215-232.
- [6] MEDINA-FILHO H P, MALUF M P, BORDIGNON R, GUERREIRO-FILHO O, FAZUOLI L C. Traditional breeding and modern genomics: a summary of tools and developments to exploit biodiversity for the benefit of the coffee agroindustrial chain[J]. Acta Horticulturae, 2007, 745: 351-368.
- [7] 李学俊, 王步天, 赵猛, 施学东, 陈治华, 谢纯, 卢云峰, 董相书, 马银波, 葛宇. 基于 SLAF-Seq 的阿拉比卡咖啡遗传多样性分析[J]. 南方农业学报, 2024, 55(6): 1583-1593.
- [8] 区靖祥, 蒋爱湘. 小粒种咖啡幼龄树营养性状与产量性状的典型相关分析[J]. 热带作物学报, 1991, 12(1): 51-60.
- [9] 吕玉兰, 黄家雄. 小粒种咖啡品种的灰色关联度分析[J]. 西南农业学报, 2014, 27(4): 1393-1398.
- [10] 萧自位, 白学慧, 马关润, 赵明珠, 苏琳琳, 郭铁英, 李锦红, 周华. 小粒种咖啡主要农艺性状与产量关系分析[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 1991, 12(1): 51-60. (in Chinese)
- [11] LYU Y L, HUANG J X. Grey correlation degree analysis on *Coffea arabica* L. cultivars, southwest China [J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2014, 27(4): 1393-1398. (in Chinese)
- [12] ZHANG H B, GUO T Y, KUANG Y, LI J H, BAI X H, XIAO B, XIA H Y, ZHOU H, LIN X W, XIAO Z W. The influence factors on catimor cupping quality and its promotion measures[J]. Tropical Agricultural Science & Technology, 2018, 41(1): 36-42. (in Chinese)
- [13] LI X J, WANG B T, ZHAO M, SHI X D, CHEN Z H, XIE C, LU Y F, DONG X S, MA Y B, GE Y. Genetic diversity analysis of *Coffea arabica* based on SLAF-Seq technology[J]. Journal of Southern Agriculture, 2024, 55(6): 1583-1593. (in Chinese)

- 南方农业学报, 2022, 53(1): 166-172.
- XIAO Z W, BAI X H, MA G R, ZHAO M Z, SU L L, GUO T Y, LI J H, ZHOU H. Association among main agronomic traits and yield in *Coffea arabica*[J]. Journal of Southern Agriculture, 2022, 53(1): 166-172. (in Chinese)
- [11] CARVALHO A, FAZUOLI L C. Cafe. in: o melhoramento de plantas no instituto agronomico[J]. Instituto Agronomico, Campinas, 1993, 1: 29-76.
- [12] ANTHONY F, COMBES M, ASTORGA C, BERTRAND B, GRAZIOSI G, LASHERMES P. The origin of cultivated *Coffea arabica* L. varieties revealed by AFLP and SSR markers[J]. Theoretical and Applied Genetics, 2002, 104: 894-900.
- [13] 王雪松, 刘杰, 武瑞瑞, 周萌, 唐一春, 李贵平, 程金焕, 刘婷, 袁晶晶, 李荣福. 5 个咖啡品种在保山市潞江坝干热河谷区生长及产量性状调查[J]. 热带农业科学, 2014, 34(1): 4-8.
- WANG X S, LIU J, WU R R, ZHOU M, TANG Y C, LI G P, CHENG J H, LIU T, YUAN J J, LI R F. Growth and yield of five coffee varieties in dry and hot valley of Lujiangba, Baoshan[J]. Chinese Journal of Tropical Agriculture, 2014, 34(1): 4-8. (in Chinese)
- [14] 杨和鼎, 颜书连, 颜速亮, 陈良秋, 叶秀宜. 海南岛低海拔小粒种咖啡分枝结果特性及与产量构成关系的研究[J]. 热带作物学报, 1997, 18(2): 28-32.
- YANG H D, YAN S L, YAN S L, CHEN L Q, YE X Y. Relations between branch fruitsetting characteristics and economic yield components of *Coffea arabica* at low altitudes of Hainan island[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 1997, 18(2): 28-32. (in Chinese)
- [15] 周华, 张洪波, 李文伟, 钊相仙. 小粒种咖啡 Ruiru11 引种试种初报[J]. 云南热作科技, 1999, 22(2): 15-17.
- ZHOU H, ZHANG H B, LI W W, CHUAN X X. Preliminary report on experimental planting of *Arabica coffee* cv. Ruiru11[J]. Journal of Yunnan Tropical Crops Science & Technology, 1999, 22(2): 15-17. (in Chinese)
- [16] 周华, 李文伟, 李锦红, 张洪波, 李桂琳, 张孝云. 云南小粒咖啡优良品种比较试验及丰产栽培示范[J]. 热带农业科技, 2006, 29(3): 1-5, 28.
- ZHOU H, LI W W, LI J H, ZHANG H B, LI G L, ZHANG X Y. Varieties comparison and cultivating model on fine varieties of *Coffea arabica* in Yunnan[J]. Tropical Agricultural Science & Technology, 2006, 29(3): 1-5, 28. (in Chinese)
- [17] 李岫峰, 彭忠良, 李贵华, 杨世贵, 吕玉兰. 小粒种咖啡卡蒂莫在干热区的生长比较[J]. 云南热作科技, 2002, 25(2): 14-16.
- LI X F, PENG Z L, LI G H, YANG S G, LYU Y L. Growth of *Coffea arabica*, cv. catimor in arid-hot area[J]. Journal of Yunnan Tropical Crops Science & Technology, 2002, 25(2): 14-16. (in Chinese)
- [18] 王开玺, 魏定耀, 陆明金, 杨创平, 蔡志青. 卡杜拉 7 号等小粒种咖啡品种比较试验[J]. 热带作物学报, 1991, 12(2): 17-22.
- WANG K X, WEI D Y, LU M J, YANG C P, CAI Z Q. Varietal trials of *Coffea arabica* in northwest Hainan[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 1991, 12(2): 17-22. (in Chinese)
- [19] 吴坤南, 龙宇宙. 咖啡园产量预测模式研究[J]. 热带农业科学, 1993, 13(3): 45-47.
- WU K N, LONG Y Z. Study on forecast model for coffee yield[J]. Chinese Journal of Tropical Agriculture, 1993, 13(3): 45-47. (in Chinese)
- [20] SARMIENTO-SOLER A, VAAST P, HOFFMANN M P, JASSOGNEE L, ASTEN P V, GRAEFE S, RÖTTER R P. Effect of cropping system, shade cover and altitudinal gradient on coffee yield components at Mt. Elgon, Uganda[J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2020, 295: 1-12.
- [21] 闫林, 董云萍, 黄丽芳, 孙燕, 宗吉勇, 林兴军, 王晓阳, 龙宇宙. 咖啡种间嫁接与不嫁接植株主要农艺和品质性状比较[J]. 热带作物学报, 2019, 40(7): 1253-1258.
- YAN L, DONG Y P, HUANG L F, SUN Y, ZONG J Y, LIN X J, WANG X Y, LONG Y Z. Main agronomic and quality characters of coffee plants grafted and not grafted[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2019, 40(7): 1253-1258. (in Chinese)
- [22] CLIFFORD M N, WILLSON K C. Coffee: botany, biochemistry and production of beans and beverage[M]. Sydney: Croom Helm Australia Pty Ltd., 2001.
- [23] BERTRAND B, AGUILAR G, BOMPARD E, RAFINON A, ANTHONY F. Agronomic performance and resistance to the main pests of sarchimor and catimor lines in Costa Rica[J]. Plantations Recherche Developpement, 1997, 5: 312-321.
- [24] 周华, 郭铁英, 马关润, 萧自位, 苏琳琳, 李锦红, 白学慧. 咖啡新品种德热 3 号选育报告[C]//2019 年全国热带作物学术年会论文集, 西安, 2019: 277-280.
- ZHOU H, GUO T Y, MA G R, XIAO Z W, SU L L, LI J H, BAI X H. Breeding report of new coffee variety 'Dere 3'[C]//Proceedings of China Tropical Crops Annual Meeting, Xi'an, 2019: 277-280. (in Chinese)
- [25] 刘成, 马关润, 肖兵, 周华, 赵明珠, 白学慧, 李锦红. 咖啡新品种德热 4 号的选育及栽培技术[J]. 热带农业科技, 2023, 46(2): 75-78.
- LIU C, MA G R, XIAO B, ZHOU H, ZHAO M Z, BAI X H, LI J H. Breeding and cultivation technology of the new coffee variety 'Dere 4'[J]. Tropical Agricultural Science & Technology, 2023, 46(2): 75-78. (in Chinese)

- [26] RODRÍGUEZ R P, GONZÁLEZ W, BOSQUES O. Identificación de líneas interespecíficas de cafetos con resistencia a *Hemileia vastatrix* Berk. et Br. y adaptabilidad a la region cafetalera de Puerto Rico[J]. The Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico, 2020, 104(2): 165-180.
- [27] CATALINA J B, RICARDO H S S, HERMINIA E P M. Production and vegetative growth of coffee tree under fertilization and shade levels[J]. Science Agrícola, 2010, 67(6): 639-645.
- [28] SNOECK D, LACOTE R, KÉLI J, DOUMBIA A, CHAPUSET T, JAGORET P, GOHET E. Association of *Hevea* with other tree crops can be more profitable than *Hevea* monocrop during first 12 years[J]. Industrial Crops and Products, 2013, 43: 578-586.
- [29] MARIE L, ABDALLAH C, CAMPA C, COURTEL P, BORDEAUX M, NAVARINI L, LONZARICH V, BOSSELMANN A S, TURREIRA-GARCÍA A N, ALPIZAR E, GEORGET F, BREITLER J C, ETIENNE H, BERTRAND B. G×E interactions on yield and quality in *Coffea arabica*: new F₁ hybrids outperform American cultivars[J]. Euphytica, 2020, 216: 78-94.
- [30] KOUTOULEAS A, BLUNT C, BREGAR A, HANSEN J K, RÆBILD A, ETIENNE H, GEORGET F. Effects of inter-specific grafting of *Coffea arabica* and elevation on coffee growth, yield, and quality attributes in Costa Rica[J]. Scientia Horticulturae 2023, 320: 1-16.
- [31] KITILA O, ALAMEREW S, KUFA T, GAREDEW W. Variability of quantitative traits in limmu coffee (*Coffea arabica* L.) in Ethiopia[J]. International Journal of Agricultural Research, 2011, 6(6): 482-493.
- [32] TOLESSA K, D'HEER J, DUCHATEAUB L, BOECKXC P. Influence of growing altitude, shade and harvest period on quality and biochemical composition of Ethiopian specialty coffee[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2016, 97(9): 2849-2857.
- [33] 李学俊, 黎丹妮. 普洱市不同品种的小粒种咖啡品质评价研究[J]. 热带农业科学, 2014, 34(3): 45-48, 65.
- LI X J, LI D N. Qualities of Arabica coffee from different germplasm resources in Pu'er city[J]. Chinese Journal of Tropical Agriculture, 2014, 34(3): 45-48, 65. (in Chinese)