

DOI: 10.11929/j.swfu.201810046

引文格式: 谢虹, 马骏, 尹江, 等. 昆明地区油用牡丹‘凤丹’引种适应性研究 [J]. 西南林业大学学报 (自然科学), 2019, 39(5): 182–188.

昆明地区油用牡丹‘凤丹’引种适应性研究

谢虹 马骏 尹江 宋升治 王飞

(昆明市林业科技推广总站, 云南昆明 650223)

摘要: 通过观测昆明地区5个试验地中‘凤丹’的保存率、生长情况、开花结实率相关生物性状, 对其进行方差分析、相关性分析, 研究不同海拔、土壤、林分、郁闭度对‘凤丹’生长的影响, 研究‘凤丹’在昆明种植的适应性。结果表明: 在海拔约为1 900~2 600 m的试验中, ‘凤丹’生长差异不明显。在胶泥土、腐殖土、红壤中, 次年保存率、开花率、结实率生长差异不明显, 但在腐殖土中果荚生长最好。在郁闭度为0.4的不同林分中, ‘凤丹’生长差异不明显。当林分郁闭度小于0.5时, 不同郁闭度对生长量、开花、结实的影响也小, 但当各林分郁闭度大于0.5时, 开花、结实、新枝生长量与林分郁闭度小于0.5时的对应指标相比影响较大, 且‘凤丹’生长情况与郁闭度呈负相关。因此, 在昆明海拔约为1 900~2 600 m地区栽种具有一定的适应性, 在黏性土、腐殖土、红壤中可以开花、结实, 植株光照生态幅相对较宽, 且适当遮阴利于植株生长。

关键词: 海拔; 土壤类型; 林分; 郁闭度; 适应性

中图分类号: S722.7

文献标志码: A

文章编号: 2095-1914(2019)05-0182-07

Adaptability Study on the Introduction of *Paeonia suffruticosa* cv. 'Fengdan' in Kunming

Xie Hong, Ma Jun, Yin Jiang, Song Shengzhi, Wang Fei

(Institute of Forestry Science and Technology of Kunming, Kunming Yunnan 650223, China)

Abstract: By observing the conservation rate, growth status, flowering and fruiting rate-related biological traits of *Paeonia suffruticosa* cv. 'Fengdan' in 5 experimental sites in Kunming, and analyzing the variance and correlation analysis. The effects of different altitudes, soils, standes, canopy closures on growth and adaptation of 'Fengdan' in Kunming were studied. The results show that the growth of 'Fengdan' is not obvious in different altitude experiments with altitudes of 1 900–2 600 m. In the clay soil, humus soil and red soil, the difference of the annual preservation rate, flowering rate and seed setting rate of 'Fengdan' is not obvious, but the growth of 'Fengdan' fruit pod is best in humus soil. In the different stands with a canopy closure of 0.4, the difference in the growth of 'Fengdan' is not obvious. When the canopy density is less than 0.5, the effect of different canopy closure on the growth, flowering and fruiting of 'Fengdan' is also small. However, when the canopy density of each forest is greater than 0.5, the flowering, fruiting, and new planting growth of 'Fengdan' has a greater impact on the corresponding index of 'Fengdan' than that of the forest. The growth of 'Fengdan' is negatively correlated with canopy closure. Therefore, planting in Kunming with an altitude of 1 900–2 600 m has certain adaptability. It can

收稿日期: 2018-10-26; 修回日期: 2018-11-16

基金项目: 昆明市科技局重点计划科技项目 (2015-1-N-01075, 2015-3-A-02199) 资助。

第1作者: 谢虹 (1988—), 女, 硕士, 工程师。研究方向: 经济林栽培技术与推广。Email: xiehong.yn@qq.com。

通信作者: 马骏 (1965—), 男, 正高级工程师。研究方向: 森林培育。Email: kmmajun200@126.com。

be flowering and fruiting in cohesive soil, humus soil and red soil. The plant light ecology is relatively wide, and proper shading is beneficial to plant growth.

Key words: altitude; soil type; forest stand; canopy density; adaptability

牡丹 (*Paeonia suffruticosa*) 为芍药科芍药属重要的观赏植物, 花大色艳, 雍容华贵, 具有较高的观赏价值, 其丹皮还可以入药, 花瓣花粉可食用, 具有极高的食药价值。‘凤丹’是其一个具有较强结籽能力, 耐瘠薄、耐高寒、耐干旱等特点的品种^[1], 2011 年‘凤丹’由药用牡丹转变为了油、药兼用牡丹品种^[2]。随着卫生部批准‘凤丹’种子油作为新资源食品^[1]后, 为新型的油料作物, 其在滇中地区栽培区域逐渐扩大。滇中地区为山地高原地形, 林地资源丰富, 其生境适应性仍知之甚少, 缺乏生境气候条件等的研究, 影响推广栽培效果。有研究认为, ‘凤丹’对光照生态幅度较宽, 适度遮阴能促进光合作用^[3], 在春季、夏季午间有明显的“午休”现

象, 是一种耐阴的阳生植物^[4], 而有研究则指出, 牡丹具有较高的光补偿点和较低的光饱和点, 对光能的利用范围较窄, 对生境环境要求严苛^[5]。因此, 研究‘凤丹’不同立地条件、不同林分下的栽培表现, 有利于了解‘凤丹’的适应性, 促进‘凤丹’的标准化栽培。

1 试验地概况

选取富民县罗免乡试验基地、禄劝县中屏乡忠平忠义核桃合作示范基地、禄劝县翠华乡漩渦塘林场、五华区西翥核桃示范基地、西山区海口林场等地种植‘凤丹’, 研究其引种适应性。各试验地情况如表 1。

表 1 5 个试验地的概况
Table 1 Overview of 5 study plots

序号	试验地	海拔/m	经纬度	年平均 温度/℃	平均相对 湿度/%	平均降 水量/mm	土壤	林情
A	富民县罗免乡试验基地	2 040 ~ 2 050	102°27'33E 25°1'20'N	15.8	75	830	黏性壤	种植多种早熟核桃
B	禄劝县中屏乡忠平忠义核 桃合作示范基地	2 420 ~ 2 600	102°34'26'E 25°53'41'N	14.3	74	1 031	红壤	种植多种早熟核桃
C	西山区海口林场	1 900 ~ 1 930	102°36'20'E 24°48'2'N	15.9	75	1 035	红壤	20 世纪 50 年代 营造的油橄榄林
D	禄劝县翠华乡漩渦塘林场	2 035 ~ 2 060	102°32'35'E 25°33'56'N	15.6	74	968	红壤	20 世纪 70 年代—80 年代 营造的人工云南松林
E	五华区西翥核桃示范基地	2 050 ~ 2 060	102°41'24'E 25°4'13'N	15.1	75	1 035	红壤	2000 年种植的早实 核桃林

2 材料与方 法

2.1 试验材料

试验用苗均为山东省菏泽购进的 3 年生‘凤丹’实生苗, 苗木地径在 15 ~ 20 mm, 根系健壮, 生长良好, 无病虫害。

2.2 试验方法

2014 年 10 月, 在 A、B、C 3 个不同海拔地点种植规格一致的‘凤丹’苗木, 开展试验, 通过 1 a 调查发现海拔在 1 900 ~ 2 600 m 对其生长的影响差异小。次年, 开展不同试验研究, 在数据调查中对各试验每个试验地块随机选取 3 个样方, 每个样方大小为 5 m×5 m, 分别于 3 月中下

旬, 5 月中下旬、8 月中旬对各试验样地开展植株盛花期时的开花率、结实率、保存率地调查, 此外对每个样地内 20 株结实植株的果夹长度等进行测量。使用变异系数衡量各地块数据的变异程度。

2.2.1 海拔对‘凤丹’生长的影响

在海拔约为 1 900 ~ 2 600 m 的 A、B、C 3 点种植规格一致的‘凤丹’苗木, 调查分析不同海拔高度对‘凤丹’生长的影响。

2.2.2 土壤条件对‘凤丹’生长的影响

试验点 A 主要为黏性土 (或称胶泥土), 根据昆明地区土壤情况, 通过对土壤改良, 与沙子混合在表层覆盖 30 ~ 40 cm 的腐殖质形成腐质层

土，与沙子、红壤混合形成红壤。在胶泥土、腐殖土、红壤 3 种土壤中栽种‘凤丹’，调查分析研究 3 种土壤类型对牡丹生长情况的影响。

2.2.3 林分对‘凤丹’生长的影响

在前期的试验，在海拔约 1 900~2 000 m 范围内，海拔因素对其生长影响差异不显著，且在该海拔范围内的试验点 C、D、E 的气温、降水量与种源地相似^[1-4]，因此，在气候条件等较一致的 C、D、E 试验点中，且林分郁闭度均为 0.4 的核桃、云南松、油橄榄林下栽种‘凤丹’，通过调查分析研究 3 种林分对‘凤丹’生长的影响。

2.2.4 郁闭度对‘凤丹’生长的影响

为了进一步研究同一种林分下郁闭度大小^[6]对‘凤丹’的影响，分别在试验点 C 郁闭度为 0.2、0.4、0.6、0.8 的核桃林、试验点 D 郁闭度为 0.4、0.5、0.6 的云南松林、试验点 E 郁闭度为 0.2、0.4、0.6 的油橄榄林下，分别对不同郁闭度下栽

种的‘凤丹’调查分析，研究不同郁闭度对‘凤丹’生长的影响。

2.3 数据统计

使用 Excel、WPS 2016 版进行对试验中‘凤丹’的存活率、开花率、结实率、果荚生长情况、植株生长量（地径和苗高）的调查数据进行整理，运用 SPSS 17.0 进行方差分析、相关性分析。

3 结果与分析

3.1 海拔高度对‘凤丹’生长的影响

由表 2 可知，在海拔约为 1 900~2 600 m 区域内，3 个试验点植株的保存率、开花率、结实率、果实生长情况差异不显著，通过变异系数分析，各指标变化均为正常。‘凤丹’生长具体表现为次年保存率均为 95% 以上，开花率达 49% 以上，结实率占种植株数的 43% 以上，约为开花植株数的 85.9%，蓇葖果聚合数约为 4.84 个，其单个果荚长度可达 4.11 cm。

表 2 不同海拔‘凤丹’的开花结实情况

Table 2 Flowering and fruiting of *P. suffruticosa* cv. 'Fengdan' at different altitude

试验地	保存率/%		开花率/%		结实率/%		果荚数		果荚长	
	平均值	变异系数	平均值	变异系数	平均值	变异系数	平均值/个	变异系数/%	平均值/cm	变异系数/%
A	95.05±3.53 ^a	3.72	51.11±5.84 ^a	11.43	43.33±2.98 ^a	6.88	4.88±0.27 ^a	5.53	4.33±0.53 ^a	12.24
B	96.37±4.18 ^a	4.38	48.98±4.75 ^a	9.70	43.12±4.47 ^a	10.37	4.92±0.28 ^a	5.69	4.04±0.49 ^a	12.12
C	95.24±3.80 ^a	3.99	50.00±3.85 ^a	7.70	42.67±4.35 ^a	10.19	4.72±0.48 ^a	7.17	3.96±0.57 ^a	14.39

注：不同小写字母表示差异显著（*P*<0.05）。

3.2 土壤条件对‘凤丹’生长的影响

由表 3 可知，将‘凤丹’分别栽植到胶泥土、腐殖土、红壤 3 种类型土壤的试验地，次年保存率均为 95% 以上，开花率达 46% 以上，结实率占种植株数的 42% 以上，约为开花植株数的

91.5%，蓇葖果聚合数约为 4.86 个，其单个蓇葖果的长度达 3.89 cm。在 3 种土壤条件下种植‘凤丹’，第 1 年均能结实开花，且植株的保存率、开花率、结实率差异不显著，在腐殖土中，‘凤丹’的果实生长最好。

表 3 不同土壤类型‘凤丹’开花结实情况

Table 3 Flowering and fruiting of *P. suffruticosa* cv. 'Fengdan' of different soil types

土质	保存率/%		开花率/%		结实率/%		果荚数		果荚长	
	平均值	变异系数	平均值	变异系数	平均值	变异系数	平均值/个	变异系数/%	平均值/cm	变异系数/%
胶泥	96.66±5.08 ^a	5.26	46.76±5.08 ^a	5.43	42.85±4.91 ^a	11.46	4.79±0.58 ^a	12.11	3.86±0.47 ^{ab}	12.18
腐殖	96.37±4.18 ^a	4.34	50.34±3.67 ^a	3.65	46.33±5.29 ^a	11.42	4.92±0.28 ^a	5.69	4.11±0.52 ^a	12.65
红壤	95.36±4.34 ^a	4.55	47.27±6.51 ^a	6.88	42.79±5.48 ^a	12.81	4.88±0.35 ^a	7.17	3.71±0.45 ^b	12.13

注：不同小写字母表示差异显著（*P*<0.05）。

3.3 林分对‘凤丹’生长的影响

由表 4 可知，在郁闭度为 0.4 的云南松、核

桃、油橄榄林下种植‘凤丹’，其次年保存率、开花率、结实率、果实生长情况差异不显著。

表 4 不同林分‘凤丹’开花结实情况

Table 4 Flowering and fruiting of *P. suffruticosa* cv. 'Fengdan' in the different forest

地点	林分	保存率/%		开花率/%		结实率/%		果荚数		果荚长	
		平均值	变异系数	平均值	变异系数	平均值	变异系数	平均值/个	变异系数/%	平均值/cm	变异系数/%
C	油橄榄	95.71±3.71 ^a	3.88	46.94±4.57 ^a	9.74	39.63±5.16 ^a	13.02	4.72±0.37 ^a	7.83	3.76±0.38 ^a	10.10
D	云南松	97.40±2.63 ^a	2.70	42.12±5.97 ^a	14.17	38.18±4.80 ^a	12.57	4.67±0.48 ^a	10.28	3.34±0.37 ^a	11.08
E	核桃	96.25±3.75 ^a	3.90	42.97±6.16 ^a	14.33	40.67±6.25 ^a	15.37	4.77±0.44 ^a	9.22	3.33±0.34 ^a	10.21

注：不同小写字母表示差异显著（*P*<0.05）。

3.4 郁闭度对‘凤丹’生长的影响

由表 5 可知，在不同郁闭度油橄榄林下种植‘凤丹’的次年保存率差异不显著。在郁闭度为 0.4、0.5 的云南松林下的‘凤丹’的开花率、结实率及果荚生长情况差异不显著，但是当郁闭度为 0.6 时，‘凤丹’的开花率、结实率及果荚生长情况与郁闭度为 0.4、0.5 的‘凤丹’的对应指标相比差异显著（*P*<0.05）。同时，分别在云南松林、核桃林下开展的郁闭度试验，其结果与油

橄榄林的郁闭度试验具有相类似的结果。因此，通过在云南松、核桃、油橄榄 3 种林分下开展郁闭度试验得出，在不同郁闭度下‘凤丹’次年保存率均差异不显著。当林分郁闭度小于 0.5 时，不同郁闭下‘凤丹’开花率、结实率及果荚生长情况差异不显著，但当林分郁闭大于 0.5 时，‘凤丹’的开花率、结实率及果荚生长情况与林分郁闭度小于 0.5 的‘凤丹’的对应指标相比较差异显著（*P*<0.05）。

表 5 不同郁闭度下‘凤丹’开花结实情况

Table 5 Flowering and fruiting of *P. suffruticosa* cv. 'Fengdan' under different canopy density

地点	林分类型	郁闭度	保存率/%	开花率/%	结实率/%	果荚数/个	果荚长/cm
C	油橄榄	0.2	96.67±3.34 ^a	51.31±5.11 ^a	43.89±5.74 ^a	4.88±0.34 ^a	4.10±0.63 ^a
		0.4	95.71±3.71 ^a	46.94±4.57 ^a	39.63±7.16 ^a	4.72±0.77 ^a	3.76±0.89 ^a
		0.6	94.44±1.93 ^a	28.15±5.56 ^b	21.11±2.89 ^b	3.89±0.76 ^b	2.62±0.46 ^b
D	云南松	0.4	97.40±2.63 ^a	42.12±5.97 ^a	38.18±4.80 ^a	4.67±0.48 ^a	3.34±0.53 ^a
		0.5	97.14±3.00 ^a	40.37±4.08 ^a	33.67±4.21 ^a	4.55±0.57 ^{ab}	3.09±0.39 ^{ab}
		0.6	96.76±2.73 ^a	27.66±5.94 ^b	20.17±5.24 ^b	3.93±0.64 ^{ab}	2.98±0.56 ^b
E	核桃林	0.2	96.66±3.34 ^a	42.03±6.42 ^a	38.12±6.06 ^a	4.80±0.41 ^a	3.21±0.61 ^a
		0.4	96.25±3.75 ^a	42.97±6.86 ^a	40.67±6.25 ^a	4.77±0.44 ^a	3.33±0.54 ^a
		0.6	94.44±4.04 ^a	31.11±5.02 ^b	26.25±8.86 ^b	4.17±0.67 ^b	2.58±0.70 ^b
		0.8	95.71±3.71 ^a	19.45±4.91 ^c	14.44±3.44 ^c	4.15±0.80 ^b	2.55±0.57 ^b

注：不同小写字母表示差异显著（*P*<0.05）。

由表 6 可知，油橄榄郁闭度为 0.2、0.4 时‘凤丹’的生长量差异不显著，但当郁闭度为 0.6 时，新枝直径、苗高、冠幅与郁闭度为 0.2、0.4 ‘凤丹’的对应指标相比差异显著（*P*<0.05）。当云南松林郁闭度为 0.4、0.5 时，‘凤丹’的生长量差异不显著，然而当郁闭度为 0.6 时，新枝生长量、冠幅与郁闭度为 0.4、0.5 时‘凤丹’的对应指标相比差异显著（*P*<0.05）。核桃林郁闭度为 0.2、0.4 时，‘凤丹’的生长量

差异不显著，然而当郁闭为 0.6、0.8 时，‘凤丹’的新枝直径、苗高、冠幅与郁闭度为 0.2、0.4 时‘凤丹’的对应指标相比差异显著（*P*<0.05）。

因此，在云南松、核桃、油橄榄 3 种不同林分下均得到相类似的结果，郁闭度小于 0.5 时，‘凤丹’牡丹生长量差异不显著，但当郁闭度大于 0.5 时，‘凤丹’生长量与郁闭度小于 0.5 时‘凤丹’的对应指标相比差异显著（*P*<0.05）。

表 6 不同郁闭下‘凤丹’植株生长量

Table 6 The growth of *P. suffruticosa* cv. 'Fengdan' under different canopy density

林分类型	郁闭度	老枝地径/mm	老枝苗高/cm	新枝直径/mm	新枝苗高/cm	冠幅	
						东西/cm	南北/cm
油橄榄	0.2	8.76±1.60 ^a	12.10±6.79 ^a	8.03±1.97 ^a	17.17±9.10 ^a	43.77±8.96 ^a	45.67±7.95 ^a
	0.4	8.62±1.41 ^a	12.53±5.35 ^a	7.36±1.35 ^{ab}	16.77±8.43 ^a	47.27±9.96 ^a	46.67±9.58 ^a
	0.6	8.67±1.25 ^a	12.13±3.65 ^a	6.80±1.07 ^b	14.97±6.67 ^a	35.90±7.77 ^b	31.50±7.11 ^b
云南松	0.4	8.50±1.77 ^a	15.63±5.23 ^a	6.54±2.47 ^a	14.17±3.11 ^a	36.00±8.25 ^a	32.00±8.07 ^a
	0.5	8.69±1.87 ^a	15.45±4.97 ^a	5.69±0.78 ^a	14.03±3.07 ^a	34.45±6.20 ^a	30.20±7.44 ^a
	0.6	8.52±1.71 ^a	15.90±5.84 ^a	6.09±1.14 ^a	11.43±2.73 ^b	30.40±7.58 ^b	29.70±8.11 ^a
核桃林	0.2	8.40±1.38 ^a	19.03±5.93 ^a	7.07±2.31 ^a	15.87±4.49 ^a	39.10±7.45 ^a	38.67±8.10 ^a
	0.4	8.41±1.37 ^a	18.77±5.64 ^a	6.56±1.07 ^{ab}	13.83±4.52 ^{ab}	37.73±6.20 ^a	39.03±7.96 ^a
	0.6	8.39±2.32 ^a	20.86±3.36 ^a	6.16±1.21 ^b	12.07±4.93 ^b	29.25±6.47 ^b	28.82±7.62 ^b
	0.8	8.46±1.77 ^a	20.53±4.24 ^a	5.90±1.50 ^b	10.70±4.94 ^c	32.60±8.78 ^b	31.13±8.57 ^b

注：不同小写字母表示差异显著（ $P<0.05$ ）。

3.5 郁闭度与‘凤丹’生长情况的相关性分析

由表 7 可知，‘凤丹’的生长情况与林分的郁闭度存在负相关性，具体表现为开花率，结实率，果荚数，果荚长，新枝直径，新枝苗高，冠

幅与所在林分的郁闭度呈显著性负相关（ $P<0.05$ ），尤其植株的开花率、结实率的相关性最高，相关性系数为-0.91。

表 7 郁闭度与‘凤丹’植株生长情况的相关性

Table 7 Correlation between canopy density and growth of *P. suffruticosa* cv. 'Fengdan'

指标	开花率	结实率	果荚数	果荚长	新枝直径	新枝高	冠幅a	冠幅b	郁闭度
果荚数	0.90**	0.93*	1						
果荚长	0.91**	0.86**	0.81**	1					
新枝直径	0.69*	0.63*	0.55	0.77**	1				
新枝苗高	0.84**	0.78**	0.68*	0.78**	0.85**	1			
冠幅a	0.77**	0.73*	0.71*	0.84**	0.84**	0.89**	1		
冠幅b	0.77**	0.73*	0.73*	0.86**	0.87**	0.80**	0.95**	1	
郁闭度	-0.91**	-0.91**	-0.84**	-0.81**	-0.75*	-0.83**	-0.69*	-0.71*	1

注：*表示显著相关（ $P<0.05$ ），**表示极显著相关（ $P<0.01$ ）。

4 结论与讨论

在昆明地区开展‘凤丹’栽培试验结果表明‘凤丹’在海拔 1 900~2 600 m 区域内对开花率、结实率、果荚生长情况影响小，表明‘凤丹’适宜在中高度海拔地区生长^[7]，随着海拔升高，环境条件会更严峻，往往具有温度降低，紫外线增强^[8]，‘凤丹’饱和脂肪酸含量呈现递减趋势，不饱和脂肪酸含量呈递增趋势且差异显著^[9]。在昆明地区海拔 1 900~2 600 m 能正常开花结实，随着海拔的升高还有可能利于种子内不饱和脂肪酸的积累，但具体情况需进一步研究。在昆明 5 个试验

区对‘凤丹’开展的海拔试验、土壤试验、林分试验、及郁闭度试验中保存率均在 90% 以上，开花结实率均在 30% 以上，开花结实正常^[10]并且与黔东南州^[11]引种 2、4 a 油用牡丹栽培的开花结实率成活率，与福建寿宁^[12]等地成活率等情况相比，可看出在昆明地区‘凤丹’的成活情况、开花结实情况较好。‘凤丹’的适应生态幅相对较宽，自身较强适应性的特点^[1, 13]。因此，‘凤丹’在昆明地区具有较好的适应性。

在胶泥土、腐殖土、红壤 3 种类型土壤中栽培‘凤丹’，其次年保存率均较高，开花，结实正常，膏荚果生长良好，反应出‘凤丹’耐瘠薄

特性^[1],再次证实‘凤丹’具有较强的适应性。在腐殖土中,‘凤丹’果荚生长情况相对较好。有研究表明牡丹在干旱胁迫下叶片的光合潜力受到显著抑制,而光合速率与结实率显著正相关且相关性高^[14],因此,土壤水分过低,当其对‘凤丹’造成胁迫后才会对其生长、结实形成影响,这解释了本试验中不同土壤类型中种植的‘凤丹’开花结实影响小。但有研究则指出不同土壤类型中除水分因子有区别外,矿物质、微生物等综合因素的均有差异性^[15],这则解释‘凤丹’在腐殖土中果荚生长较好。此外,根际促生菌(PGPR)定殖于植物根际土壤中,通过产生植物激素^[16]、提高营养成分等^[17]促进植物的生长。有研究指出,‘凤丹’根土壤中变形菌门和酸杆菌门为文库中的主要菌群^[18],变形菌属(*Pseudomonas* sp.)、伯克氏菌属(*Burkholderia* sp.)和节杆菌属(*Arthrobacter* sp.)为优势菌属,具有抑制植物病原菌,促进植物生长的作用^[19]。多年连作‘凤丹’有利于PGPR群落,特别是特异性强的优势菌群的增加^[20],实际中通过连作‘凤丹’是否利于种植区域内其他林分的生长还有待进一步研究。周科等人的研究也指出,随‘凤丹’连作,土壤中积累的根系分泌物对4种土壤酶活性表现出抑制作用,可能影响了土壤理化性质^[21],今后可以通过研究土壤中PGPR的差异及变化,试图探究腐殖土利于果荚生长的原因,同时可以通过对PGPR的研究探究‘凤丹’与不同林分间的共生关系。

适当遮阴的林缘生境和林窗是植株生长的最适合环境^[22],适当的复合群落种植方式能够营造适宜牡丹生长的小气候,30%遮光最合牡丹生长^[23],50%遮光减轻了牡丹中午的光抑制,改变了叶片的光合功能^[24],林下生境中,‘凤丹’的光合速率、光能利用率及水分利用率均比空旷生境中好^[25]。这些均可证实本试验结果,林分郁闭度对‘凤丹’的生长情况有影响,林分郁闭度小于0.5时‘凤丹’的生长结实情况优于郁闭大于0.5的生长情况。太阳方位与高度角度的变化,与及林木密度和冠幅的作用,可以改变种林分内的小气候因子,其中光合有效辐射强度的变化尤为明显^[26],适当遮光有利于植株光合作用,可改善油用牡丹的光合午休现象^[25],而光合午休现象减弱,有利于提高光合日同化量。至此,本试验研究指出林分郁闭度逐渐升高,尤其当郁闭度超过0.5以后对‘凤丹’生长造成负面影响,这些影响

是否与光合有效辐射强度等相关因素直接相关,而这些因素又是以何种方式影响植株生长等还需进一步研究。此外,昆明地区过度遮阴(自然强光15%~25%)时,严重抑制油用牡丹的净光合速率,且与产量直接相关的花朵数量和种子数量也显著下降^[5],这间接证实了在云南松、核桃、油橄榄郁闭度小于0.5时适宜‘凤丹’生长,即适当遮阴利于‘凤丹’的生长。

‘凤丹’是一种新型的油料木本植物,本研究为从植物生长情况的角度探讨了‘凤丹’在昆明地区引种栽培提供案例,‘凤丹’在昆明地区海拔约为1 900~2 600 m具有较好的适应性,生态幅较宽,耐瘠薄,适应性较强且适当遮阴利于生长,本研究结果可以作为‘凤丹’在昆明地区引种栽培的参考依据。

[参 考 文 献]

- [1] 朱恒星,唐佳佳,戴前莉,等.油用牡丹良种‘凤丹’引种栽培观察[J].南方农业,2016,10(1):10-12.
- [2] 张涛,高天姝,白瑞英,等.油用牡丹利用与研究进展[J].重庆师范大学学报(自然科学版),2015,32(2):143-149.
- [3] 宋华,赵世伟,王莲英,等.遮荫对牡丹光合特性及观赏品质的影响[J].西北植物学报,2012,32(4):731-738.
- [4] 毕玉伟,秦俊,王奎玲,等.不同季节凤丹光合特性的初步研究[J].天津农业科学,2011,17(1):18-21.
- [5] 蔡艳飞,李世峰,王继华,等.遮荫对油用牡丹植株生长和光合特性的影响[J].西北植物学报,2016,36(8):1623-1631.
- [6] 余付蓉,高峻,付晶.基于腾讯街景的林地郁闭度提取方法研究[J].西南林业大学学报(自然科学),2018,38(5):139-144.
- [7] 陈慧玲,李洪喜,张建华,等.‘保康紫斑’牡丹生长适应性及结籽性状[J].林业科技开发,2014,28(4):43-46.
- [8] 冯春慧,何照棚,田昆,等.不同海拔生长的水葱功能适应性对比研究[J].西南林业大学学报(自然科学),2019,39(1):166-171.
- [9] 王文文,吴三林,廖鸿,等.海拔和栽培密度对油用牡丹产量品质的影响[J].南方农业,2017,11(34):73-76.
- [10] 谢虹,马骏.昆明地区‘凤丹’牡丹植株开花相关的生物学特性[J].西部林业科学,2017,46(5):99-105.
- [11] 王勇,刘蓉蓉,龙安燕,等.黔东南州引种油用牡丹栽

- 培研究初报 [J]. 种子, 2015, 34(2): 105–106.
- [12] 金苏华. ‘凤丹’牡丹在福建寿宁的引种试验初报 [J]. 福建林业, 2017(3): 22–24, 28.
- [13] 董兆磊. ‘凤丹’(*Paeonia ostii* ‘Feng Dan’) 生殖生物学的初步研究 [D]. 北京: 北京林业大学, 2010.
- [14] 郭丽丽, 郭大龙, 赵威, 等. 不同品种油用型牡丹的光合与生理特性及其与结实率的相关性分析 [J]. 上海农业学报, 2017, 33(3): 54–59.
- [15] 阿日文. 土壤水分对牡丹生长及生理特性影响的研究 [D]. 长春: 吉林农业大学, 2015.
- [16] Davies P. J The plant hormones: Their nature, occurrence, and functions. [J]. Plant Hormones: Biosynthesis, Signal Transduction, 2010(3): 1–15.
- [17] Berg G. Plant-microbe interactions promoting plant growth and health: Perspectives for controlled use of microorganisms in agriculture [J]. Applied Microbiology and Biotechnology, 2009, 84(1): 11–18.
- [18] 张永敢, 赵娟, 张玉洁, 等. 药用植物凤丹 (*Paeonia suffruticosa*) 根际土壤细菌群落 16S rRNA 基因的 ARDRA 分析 [J]. 生态学报, 2016, 36(17): 5564–5574.
- [19] Jorquera M A, Crowley D E, Marschner P, et al. Identification of β -propeller phytase-encoding genes in culturable *Paenibacillus* and *Bacillus* spp. from the rhizosphere of pasture plants on volcanic soils [J]. FEMS Microbiology Ecology, 2011, 75(1): 163–172.
- [20] 李昱莹, 刘曙光, 廉小芳, 等. 油用牡丹‘凤丹’不同种植年限根际真菌群落多样性变化研究 [J]. 基因组学与应用生物学, 2019(4): 47–59.
- [21] 周科, 刘欣, 聂刘旺, 等. 凤丹连作对土壤理化性质和酶活性影响的研究 [J]. 生物学杂志, 2011, 28(2): 17–20.
- [22] 陈剑, 原晓龙, 谭芮, 等. 基于 MaxEnt 滇牡丹潜在适生区研究 [J]. 西部林业科学, 2018, 47(3): 24–29.
- [23] 周曙光, 孔祥生, 张妙霞, 等. 遮光对牡丹光合及其他生理生化特性的影响 [J]. 林业科学, 2010, 46(2): 56–60.
- [24] 张衷华, 唐中华, 杨逢建, 等. 2 种主要油用牡丹光合特性及其微环境影响因子分析 [J]. 植物研究, 2014, 34(6): 770–775.
- [25] 戴前莉, 黄小辉, 黄馨, 等. 不同生境条件下凤丹生长及光合特性比较 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2018, 40(9): 54–58.
- [26] 程鹏, 马永春, 肖正东, 等. 不同林分内茶树光合特性及其影响因子和小气候因子分析 [J]. 植物资源与环境学报, 2012, 21(2): 79–83.

(责任编辑 冯 雪)

