果　树　学　报　2019，36（2）：185-194
Journal of Fruit Science

DOI:10.13925/j.cnki.gsxb.20180356

3种矮化生长型枇杷种质的枝梢生长及空间分布

邓朝军[1,2]，陈秀萍[1,2*]，许奇志[1,2]，蒋际谋[1,2]，郑少泉[1,2*]

（[1]福建省农业科学院果树研究所，福州 350013；[2]福建省龙眼枇杷育种工程技术研究中心，福州 350013）

摘　要：【目的】探讨矮化紧凑型、矮化开张型和矮化疏散分层型等3种生长型枇杷种质的枝梢生长及空间分布，为枇杷矮生品种选育及矮化修剪提供参考依据。**【方法】**采用网格法，对国家果树种质福州枇杷圃中自然生长的3种矮化生长型种质不同冠层部位的枝梢数、花穗数、枝梢粗度、枝梢长度、叶片数和枝梢角度的空间分布进行测定分析。**【结果】**矮化紧凑型的'闽矮1号'树体矮小、枝梢短且细、枝梢密度大，抽穗率低且冠层内分布不均匀；矮化开张型的'大坡顶3号'表现树高、枝梢生长量和生长势中等，枝梢抽穗率高且在冠层内分布均匀；矮化疏散分层型的'多43号'树高较高，枝梢分布在冠层中上部且密度小。随冠层高度的增高，3种矮化种质资源的枝梢长度、粗度、叶片数均呈增加趋势，而枝梢角度呈下降趋势，'闽矮1号'的枝梢抽穗率呈增高的趋势，而'多43号'呈降低趋势。**【结论】**矮化开张型的枝梢生长与空间分布的树形特点，更适合生产上应用推广。

关键词：枇杷；矮化生长型；种质资源；枝梢生长；空间分布

中图分类号：S667.3　　　**文献标志码：**A　　　**文章编号：**1009-9980（2019）02-0185-10

Research on shoot growth and spatial distribution of three dwarf-growth type loquat genotypes

DENG Chaojun[1,2]，CHEN Xiuping[1,2*]，XU Qizhi[1,2]，JIANG Jimou[1,2]，ZHENG Shaoquan[1,2*]

([1]Fruit Research Institute, Fujian Academy of Agricultural Science, Fuzhou 350013, Fujian, China; [2]Fujian Breeding Engineering Technology Research Center for Longan and Loquat, Fuzhou 350013, Fujian, China)

Abstract:【Objective】The shoot growth and spatial distribution of three growth types of loquat (dwarf-compact-type, dwarf-open-type, and dwarf-dispersed-layer-type) were investigated in order to provide reference for breeding and pruning of dwarf loquat cultivars.【Methods】The mature trees of the three dwarf-growth loquat genotypes including 'Minai No.1' (the dwarf-compact-type germplasm), 'Dapoding No.3' (dwarf-open-type germplasm) and 'Duo No.43' (dwarf-dispersed- layer-type germplasm) under the natural growth condition, were selected for the experiment in the National Field Gene Bank for Loquat (Fuzhou，Fujian Province). The experimental trees were all 10-year-old with the same stock of 'Jiefangzhong'. With the main trunk as the center, tree crown was divided into cubes of 0.5 m×0.5 m×0.5 m with aluminum-plastic tube. The total number of shoots and flower clusters in different parts of canopy were counted, and the shoot tasselling ratio was calculated. The shoot length, shoot thickness, number of leaves and angle of shoots in different parts of canopy were measured using a vernier caliper, a ruler and a protractor respectively.【Results】The results showed that, there was obvious dissimilarity on the shoot growth and its spatial distribution among the three different dwarf-growth types. 'Minai No.1', the dwarf-compact type was ten-year-old, and its mean height was only 181.0 cm; the total number of shoots within a tree was 380, and 80% of the shoots were distributed in the layers of F2 and F3

收稿日期：2018-09-03　　　接受日期：2018-11-18

基金项目：国家自然科学基金项目（41471334）；农业农村部物种品种资源保护（热带作物）项目（151821301354052701）；物种品种资源保护费项目（111821301354052008）；国家农作物种质资源共享服务平台（NICGR2018-054）；福建省农业科学院科技创新团队建设项目（STIT2017-1-4），国家万人计划—百千万领军人才项目

作者简介：邓朝军，男，副研究员，硕士，主要从事果树栽培、育种、种质资源与生物技术研究。E-mail：dengchaojun2002@163.com

*通信作者 Author for correspondence. E-mail：cxp2516@126.com；zsq333555@163.com

(the height of canopy was 50.1-150.0 cm). Shoot density was greater closer to the main trunk with an average shoot density of 64.0 shoot · m^{-3}. Besides, those trees, whose sum of shoots was great, the density of shoots was high and the angle was small, were more likely to have thin shoots and short internodes. Further, the ratios of tasseling shoots ranged from 59.9% to 91.0% in different regions of the canopy, and trees with a high canopy tended to have a high ratio of tasselling shoot ratio. 'Dapoding No.3', the dwarf-open type, was up to 215.6 cm high, and its total number of shoots was 164, and 98.8% of the shoots were distributed on the layers of F2, F3 and F4 (the height of canopy was 50.1-200.0 cm). Shoot density near the main trunk was low, and thus shoot density on the surface of canopy and in the medium region was higher. The highest shoot density was 18.0 shoot · m^{-3}. The ten-year-old trees tended to have medium height, obvious trunk, thicker shoots and even distribution of shoots. In different regions of the canopy, the ratio of tasseling shoots ranged from 94.0% to 100.0%, and there was no significant difference. 'Dapoding No.3' had a lower density of shoots but a higher ratio of tasseling shoots than 'Minai No.1'. 'Duo No.43', the dwarf-dispersed-layer type, was 280.7 cm high, and its sum of shoots per tree was 184, and 97.7% of the shoots were distributed evenly on the layers of F3, F4 and F5 (the height of canopy ranged from 100.1 to 250.0 cm). Shoot density close to the main trunk was low so that the shoot density in the center of the canopy was high. The highest density of shoots was 27.0 shoot · m^{-3} occupying the 42.2% of all the shoots. Besides, this type had an unconspicuous main trunk, low number of shoots, low shoot density, long shoots and large shoot angle with a tasselling shoot ratio ranging from 69.9% to 100.0% in different regions of the canopy. And higher canopy tended to have a lower tasselling shoot ratio. For the above three genotypes, we found that shoot length, shoot thickness and leaf number per shoot tended to be higher while shoot angle decreased as canopy became higher. 【Conclusion】In this study, there were significant differences among the three dwarf loquat types. For the dwarf-compact type, its canopy is short and small, but shoot number was twice larger than that of the other two types. Due to the fairly short shoots and its high density, shoots and leaves shade each other, resulting in the low ratio of tasseling shoots, and therefore this type is not suitable for high-yield and high-quality production. For the dwarf-dispersed-layer type, it has the characteristics of higher height and lower density of shoots, which is not conducive to improving the yield per tree. Its shoot distribution is not good for thinning flowers and fruits and other managements. The dwarf-open type has appropriate height, shoot number and growth vigor, and even distribution of shoots, and has a high ratio tasselling shoot. Therefore, the dwarf-open type is suitable for production.

Key words: *Eriobotrya japonica;* Dwarf-growth type; Germplasm resources; Shoot growth; Spatial distribution

枇杷（*Eriobotrya japonica* Lindl.）是原产我国南方的常绿小乔木果树，自然生长的树高6~10 m[1]，树冠高大，不易实现对产量、品质的生产调控。已有研究表明，不同生长型桃种质的一次枝长度、节间长度、分枝角度等存在显著差异[2]。分枝角度[3]、定干高度[4]等是构成冠形的关键因素，影响生长类型[5]；树冠枝梢数量和分布影响产量[2,6]、品质和田间管理工作量[2]；枝条粗度影响坐果率、丰产性[2]。因此，通过修剪调整树冠枝梢、叶片数量及其空间分布，可提高产量和改善品质[7-8]。上世纪90年代以来，我国枇杷生产推广与新品种配套的矮化密植集约栽培技术模式[9]，推动枇杷从零星栽培向规模化、产业化生产转变，实现枇杷产业规模的跨越发展[10]。有关学者开展了利用野生资源为砧木或中间砧对生长结果影响的研究[11-12]，以及矮化紧凑型植株的形态、生理生化指标[13]等的观察，但未育成适合的矮化品种或矮化砧木，仍从小苗开始逐年实施定干、拉枝、撑枝、回缩修剪等园艺技术措施[9,14]，以实现矮化树冠的栽培目的，耗费大量人力和物力。树体生长型是控制树体大小的遗传因素，影响枝梢[3,15]、叶片生长[15-16]、开

花[5]，且与栽培密切相关。培育矮化树体生长型品种一直是枇杷育种的重要目标之一，但矮化生长型枇杷种质的枝梢生长及空间分布等缺乏研究。

本课题组对国家果树种质福州枇杷圃中的种质资源开展系统鉴定评价，筛选出矮化紧凑型、矮化开张型和矮化疏散分层型等矮化生长型枇杷种质资源[17]。笔者从这些矮化类型资源中挑选具有代表性的3份种质，探讨矮化紧凑型、矮化开张型和矮化疏散分层型等枇杷种质的枝梢生长、抽穗及空间分布，为枇杷矮化品种选育及修剪提供参考依据。

1　材料和方法

1.1　试验地点与材料

试验于2016年2月—2017年2月，在福建省农业科学院果树研究所国家果树种质福州枇杷圃内进行。从矮化类型中挑选具有代表性的矮化紧凑型‘闽矮1号’（圃编号：GPPP0078）、矮化开张型‘大坡顶3号’（圃编号：GPPP0210）和矮化疏散分层型‘多43号’（圃编号：GPPP0568）3份种质为试验材料，树龄10 a（年），砧木为统一培育的解放钟实生苗，种质统一嫁接、定植，定植后不定干，田间管理一致[18-19]，为了体现每个种质的树体生长型特点，除疏花、疏穗外基本未采取其他较重的修剪措施。

1.2　试验方法

利用卷尺测量树高、冠幅、干周、干高、叶幕层厚。参照张强等[6]的方法，以树干为中心，用定制铝塑管将树冠分成0.5 m×0.5 m×0.5 m的立方体。统计每个方格内的枝梢总数、花穗数，计算枝梢抽穗率，用游标卡尺、直尺、量角器等测量每个立方体方格内的枝梢粗度、长度、叶片数和枝梢角度。单株小区，3次重复。为了更好定位分析，在水平方向上将树冠分为P1（距主干水平距离0.0~50.0 cm）、P2（距主干水平距离50.1~100.0 cm）、P3（距主干水平距离大于100.0 cm）三部分，在垂直方向上将树冠分为F1（冠层高度0.0~50.0 cm），F2（冠层高度50.1~100.0 cm），F3（冠层高度100.1~150.0 cm），F4（冠层高度150.1~200.0 cm），F5层（冠层高度200.1~250.0 cm）和F6层（冠层高度大于250.0 cm）。枝梢抽穗率/%=花穗数/枝梢数×100。

1.3　数据分析

数据用Excel 2007和DPS（V15.10）数据处理系统进行统计分析，用Origin 8制作三维分布图。

2　结果与分析

2.1　3种矮化生长型的树体生长特点

从表1可以看出，3种矮化生长型的枇杷种质资源中，‘闽矮1号’的树高、冠径、叶幕层厚、干径等性状的值均最小，仅是最大的‘多43号’的64.5%、

表1　3种矮化生长型枇杷种质树体生长特点

Table 1 The tree characteristics of three dwarf-growth loquat types

类型 Dwarf type	种质名称 Germplasm	树高 Height/cm	冠径东西×南北 Crown diameter/cm East-West×South-North	叶幕层厚 The thickness of leaf canopy /cm	干径 Trunk circumference/cm	干高 Trunk height /cm	干性明显与否 Main trunk
矮化紧凑型 Dwarf-compact-type	闽矮1号 Minai No.1	181.0 b	245.6×253.3 b	155.7 b	5.62 b	38 ab	明显 Obvious
矮化开张型 Dwarf-open-type	大坡顶3号 Dapoding No.3	215.6 b	313.7×320.3 ab	172.7 b	7.83 ab	49 a	较明显 Light obvious
矮化疏散分层型 Dwarf-dispersed- layer-type	多43号 Duo No.43	280.7 a	338.6×353.6 a	251.3 a	9.99 a	35 b	不明显 Obscure

类型 Dwarf type	种质名称 Germplasm	枝梢总数 Shoot total number (shoot/plant)	枝梢密度 Shoot density/(shoot·m^{-3})	枝梢抽穗率 Ratio of shoot tasseling/%	叶片数 Leaf number (leaf / shoot)	枝梢长度 Length of shoot/cm	枝梢粗度 Thickness of shoot/mm	枝梢角度 Shoot angle/(°)	节间长度 Internode Length/cm
矮化紧凑型 Dwarf-compact-type	闽矮1号 Minai No.1	380 a	53.7 a	67.8 b	9.8 a	3.3 b	6.3 b	34.5 b	0.7 b
矮化开张型 Dwarf-open-type	大坡顶3号 Dapoding No.3	164 b	15.4 b	96.4 a	6.6 b	7.5 a	10.3 a	41.6 ab	1.0 ab
矮化疏散分层型 Dwarf-dispersed-layer-type	多43号 Duo No.43	184 b	12.1 b	82.3 ab	6.3 b	9.0 a	9.9 a	45.0 a	1.3 a

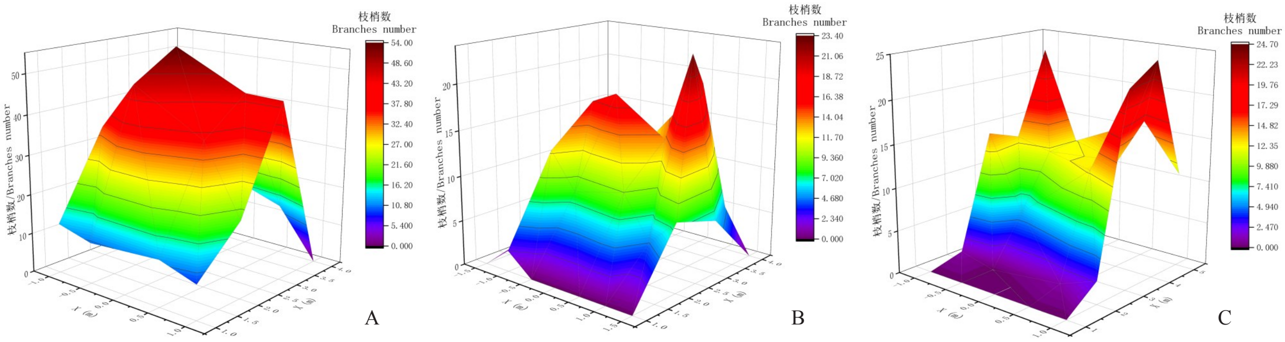
注：同一列中不同字母表示达 α= 0.05 差异显著水平。

Note: The different letter in the same column means significance（α= 0.05）.

72.1%、62.0%、56.3%，差异显著；单株枝梢数、枝梢密度以‘闽矮1号’最大，显著大于‘大坡顶3号’与‘多43号’，其中枝梢密度分别是‘大坡顶3号’与‘多43号’的3.5与4.4倍，‘大坡顶3号’与‘多43号’的单株枝梢数、枝梢密度差异不显著。枝梢抽穗率以‘大坡顶3号’的最高；‘闽矮1号’的枝梢叶片数最多，显著多于‘大坡顶3号’与‘多43号’，但‘闽矮1号’的枝梢长度、枝梢粗度、节间长度和枝梢角度等均最小，‘多43号’最大。由此可知，3个矮化生长型种质中，‘闽矮1号’的树冠最矮小，干性明显，枝梢细短且节间短，枝梢密度最大但枝梢抽穗率最低；‘大坡顶3号’的树冠中等大小，但干高最高，干性较明显，枝梢抽穗率最高；‘多43号’的树冠最高大，枝梢最长，但枝梢密度最小，说明了3个种质各具树体生长特点。

2.2 3种矮化生长型冠层内枝梢数量的分布特点

2.2.1 纵向分布特点 由图1可知，‘闽矮1号’80.0%的枝梢分布在F2、F3层，F1和F4层仅分别占10.0%。‘大坡顶3号’的枝梢有47.0%分布在F3层，其次为F2层和F4层，分别占枝梢总数的26.0%、25.8%，F1层仅个别枝梢。‘多43号’97.7%的枝梢均匀分布在F3、F4、F5层，F1层无枝梢，F2、F6层仅个别枝梢。可见，3种矮化生长型种质的枝梢数量在树冠内不同高度的分布特点不一样，但均表现底层的枝梢数量较少，中上部的数量较多。



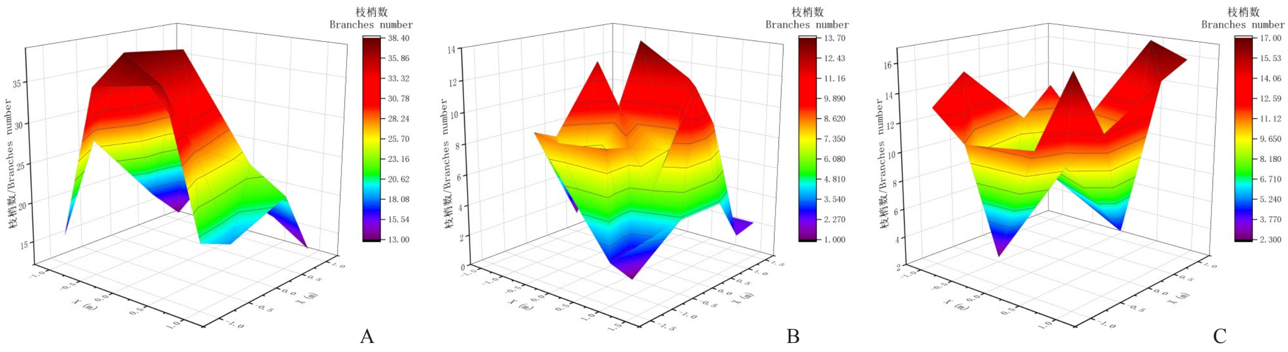
A. 闽矮 1 号，B. 大坡顶 3 号，C. 多 43 号，X 轴为东西方向距树高距离，Y 轴为树高。

A. Minai No.1，B. Dapoding No.3，C. Duo No.43.X is the distance to stem in W-E，Y is the height of canopy.

图1 3种矮化生长型种质冠层内的枝梢数纵向分布

Fig. 1 Longitudinal distribution of shootnumbers in canopy of three dwarf-growth loquat types

2.2.2 水平分布特点 从单株枝梢数量的平面分布比较来看（图2），‘闽矮1号’有33.79%的枝梢分布在P1区域，该范围内枝梢密度高达64.0枝·m^{-3}，P2区域枝梢量占比达66.21%，但密度仅为42.0枝·m^{-3}；‘大坡顶3号’的枝梢主要分布在P1、P2区，其中P1区域枝梢密度为15.0枝·m^{-3}，P2区域为18.0枝·m^{-3}，P3区域为6.0枝·m^{-3}；‘多43号’的88.04%枝梢分布



A. 闽矮 1 号，B. 大坡顶 3 号，C. 多 43 号。X 轴为东西方向距树干距离，Y 轴为南北方向距树干距离，图 4-6 同。

A. Minai No.1，B:Dapoding No.3，C. Duo No.43.X is the distance to stem in W-E，Y is the height of canopy，X is the distance from trunk in W-E，Y is the distance from trunk in N-S，the same as Fig.4-6.

图2 3种矮化生长型种质冠层内的枝梢数的水平分布

Fig. 2 Horizontal distribution of shootnumbers in canopy of three dwarf-growth loquat types

在 P2 区域，且枝梢密度高达 27.0 枝·m^{-3}，P1 区域枝梢量占 11.96%密度仅 11.0 枝·m^{-3}，P3 区域仅个别枝梢。

‘闽矮 1 号’的 F1 层 86.1%的枝梢分布在 P2 区域，枝梢密度为 25.3 枝·m^{-3}，P1 区域内占比小，枝梢密度为 11.4 枝·m^{-3}；F2 层的 P1 区域枝梢密度为 66.0 枝·m^{-3}，P2 区域枝梢数占 75.2%，密度为 68.7 枝·m^{-3}；F3 层的 P1 区域的枝梢占 34.3%，但密度高达 116.0 枝·m^{-3}，P2 区域占比为 65.7%，密度稍低为 74.2 枝·m^{-3}；F4 层仅 P1 区域有枝梢，密度为 63.2 枝·m^{-3}（图 3）。

‘大坡顶 3 号’的 F2 层的枝梢集中分布在 P2、P3

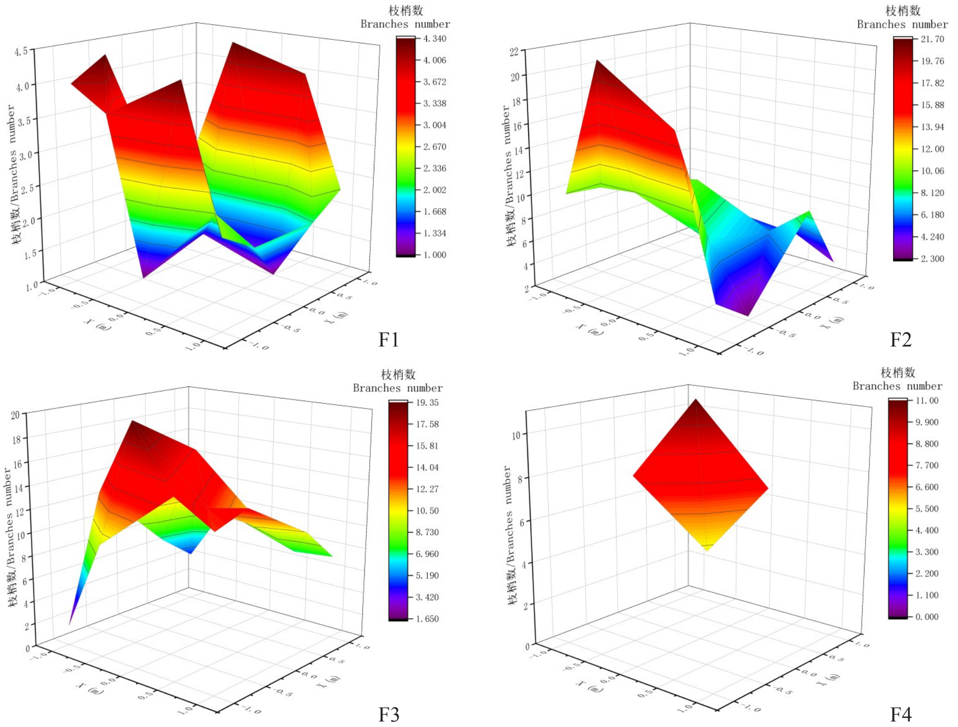


图 3　‘闽矮 1 号’不同冠层高度枝梢数量的水平分布

Fig. 3　Horizontal distribution of shoot numbers in canopy of ‘Minai No.1’

区域，P1 区域仅零星分布，P2、P3 区域枝梢占比分别为 62.1%、36.5%，密度分别为 17.8、14.2 枝·m^{-3}；F3 层 77.1%的枝梢分布在 P2 区域，密度为 39.3 枝·m^{-3}，P1 和 P3 区域分别占 8.7%和 14.3%，密度分别为 13.3 枝·m^{-3} 和 9.7 枝·m^{-3}；F4 层的 P1 区域枝梢占比达 53.6%，密度为 45.3 枝·m^{-3}，P2 区域为 13.1 枝·m^{-3}（图 4）。

‘多 43 号’的 F3 和 F4 层分别有 92.7%和 95.2%的枝梢分布在 P2 区域，密度为 34.0 枝·m^{-3} 和 39.3 枝·m^{-3}，P1 区域为 8.0 枝·m^{-3} 和 6.0 枝·m^{-3}；F5 层的分布较均匀，P1 和 P2 区域密度为 30.0 枝·m^{-3} 和 35.0 枝·m^{-3}（图 5）。

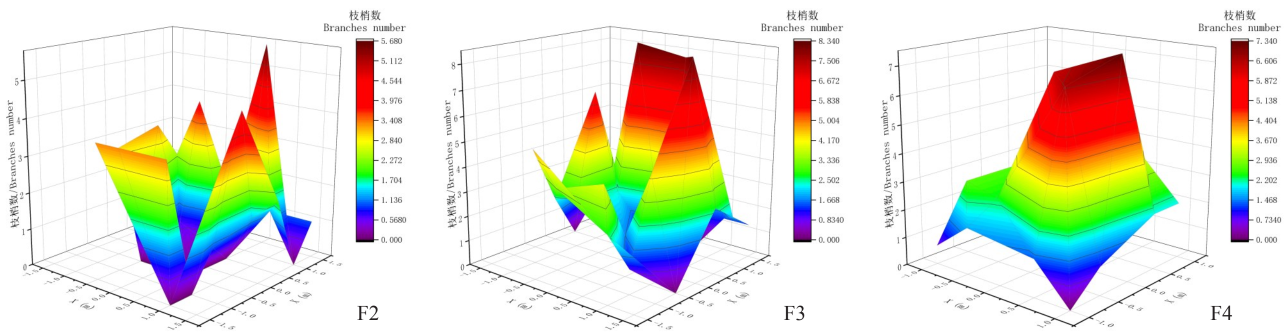


图 4　‘大坡顶 3 号’不同冠层高度枝梢数量的水平分布

Fig. 4　Horizontal distribution of shoot numbers in canopy of ‘Dapoding No.3’

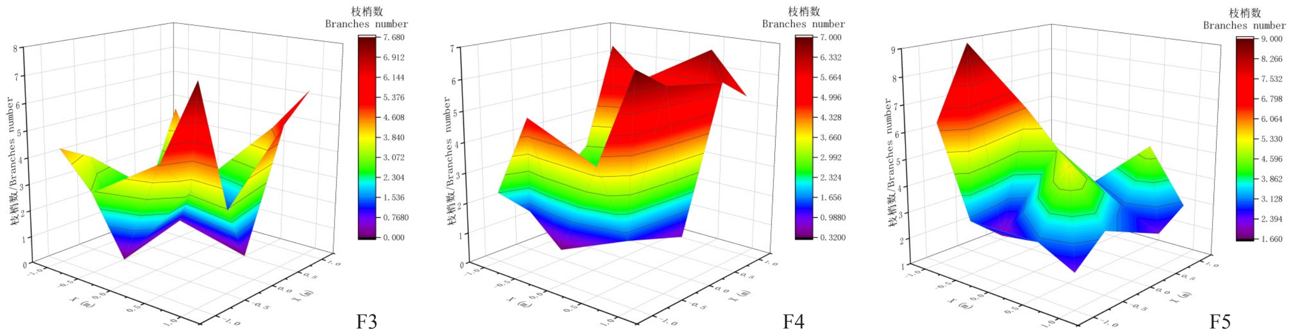


图5 ‘多43号’不同冠层高度枝梢数量的水平分布

Fig. 5 Horizontal distribution of shoot numbers in canopy of ‘Duo No.43’

2.3 3种矮化生长型冠层内枝梢长度、枝梢粗度、枝梢角度、叶片数的分布特点

2.3.1 枝梢长度 从图6可以看出,‘闽矮1号’冠层内F3P2区域的枝梢长度最长,为3.5 cm,较F3P1长0.5 cm,较F1、F2层长0.4~0.7 cm,最短的是F4P1,为2.6 cm。‘大坡顶3号’冠层内以F4P2、F4P1的枝梢最长,达7.5 cm、7.1 cm,F3层为5.9~6.1 cm,F2层最短,为5.8 cm。‘多43号’最长的是F5P1和F5P2,分别为10.0 cm与9.8 cm,大于F4P1、F4P2的8.9 cm、8.6 cm,F3P2为8.2 cm,最短的为F2P2(7.3 cm)。由

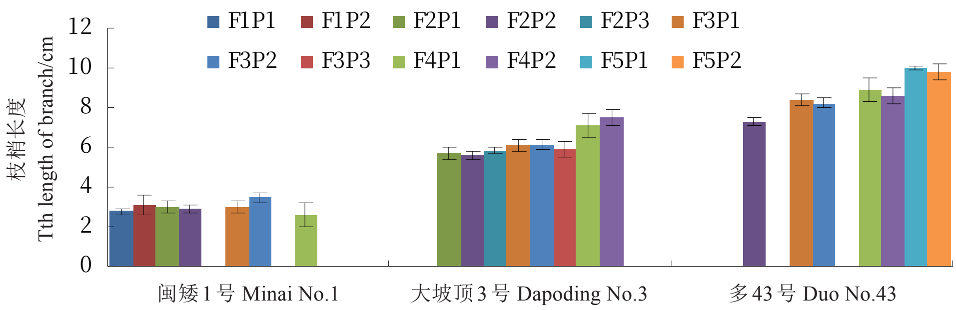


图6 3种矮化生长型种质冠层内不同部位枝梢长度差异

Fig. 6 Differences in shoots length in different parts of canopy in three dwarf-growth loquat types

此可见,3种矮化生长型种质的枝梢长度均呈现随冠层高度的增高而增长的趋势,同一冠层中高度不同区域的枝梢长度差异不显著。

2.3.2 枝梢粗度 由图7可知,‘闽矮1号’枝梢粗度最大的是F3P2、F4P1,均为6.7 mm,其次为F3P1、F2P1、F2P2的6.3 mm,最小的是F1P1,为5.7 mm,粗细相差17.54%。‘大坡顶3号’以F4P1、F4P2的枝梢最粗,达10.5、10.4 mm,其次是F3P2、F3P3、F2P2,为10.0 mm,F2P3、F3P1的最小,为9.2 mm、9.3 mm。‘多43号’粗度最大的是F5P2、F5P1,达10.5 mm、10.3 mm,F4P2、F3P2其次,为9.7 mm、9.3 mm,F4P1最小,仅8.1 mm。可见,3种矮化生长型种质均表现

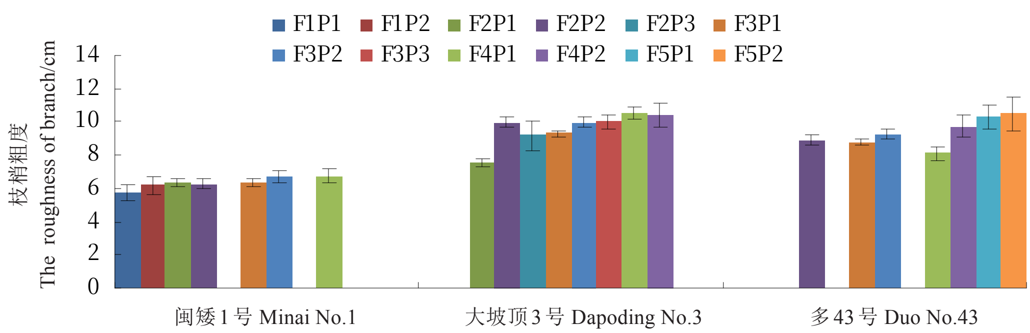


图7 3种矮化生长型种质冠层内不同部位枝梢粗度差异

Fig. 7 Differences in shoot thickness in different parts of canopy in three dwarf-growth loquat types

随冠层高度增高或接近树冠外围，枝梢粗度越大。

2.3.3　枝梢角度　从图 8 可知，‘闽矮 1 号’枝梢角度最大的是 F1P2，为 50.3 °，随冠层高度增高枝梢角度逐渐减小，至 F4P1 最小，为 28.1 °；同一冠层高度中 P2 区域的枝梢角度较 P1 大 9.5 °~11.1 °。‘大坡顶 3 号’枝梢角度最大的是 F2P2，为 52.3 °，其次是 F2P3，F3 层 P3 区域最大，为 51.8 °，P2、P1 分别为 43.5 °和 42.2 °，F4 层枝梢角度降至 33.9 °与 35.3 °。‘多 43 号’的枝梢角度最大为 F2P2 的 38.1 °，F3P2 降至 36.2 °，F4 层 P2 为 30.4 °，较 P1 大 4.6 °，F5 层 P1、P2 区域枝梢角度为 27.8 °、26.3 °。3 种矮化生长型种质的枝梢角度均呈现随冠层高度增高而减小的趋势，离中心干越近枝梢角度越小，枝梢生长越直立。

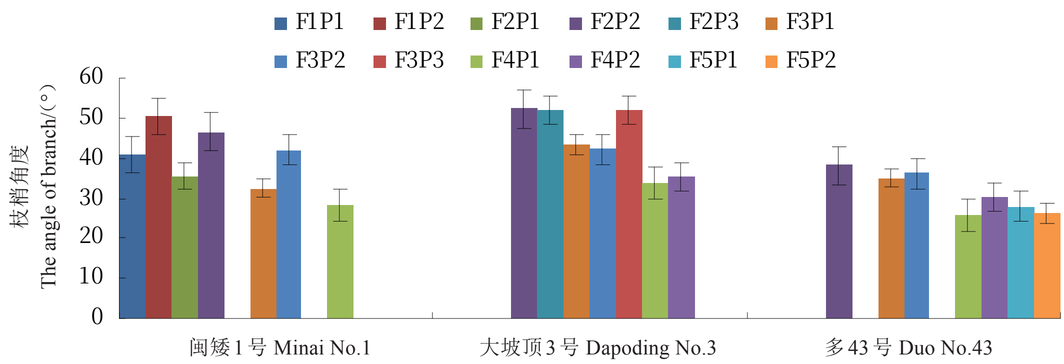


图 8　3 种矮化生长型种质冠层内不同部位枝梢角度差异

Fig. 8 Differences in shoot angle in different parts of canopy in three dwarf-growth loquat types

2.3.4　叶片数　‘闽矮 1 号’枝梢平均叶片数 6~10 枚，以 F3P1、F3P2（10 枚）最多，其次是 F2 层 P1、P2（9 枚），F1P1、F1P2 最少（6 枚）；‘大坡顶 3 号’F4P1 叶片数最多，为 7 枚，F3P2、F3P3 和 F2P2 为 6 枚，F3P1 和 F2P3 仅 5 枚；‘多 43 号’叶片数最多的是 F5P1，8 枚叶片，F4P2 其次，较 F4P1 和 F3P2 多 1 枚，F2P2 叶片数最少，为 5 枚（图 9）。可见 3 种矮化生长型种质均表现随冠层高度增高枝梢叶片数增多的趋势，但‘闽矮 1 号’的变化幅度最大（4 枚），其次为‘多 43 号’（3 枚），‘大坡顶 3 号’最小（2 枚）。

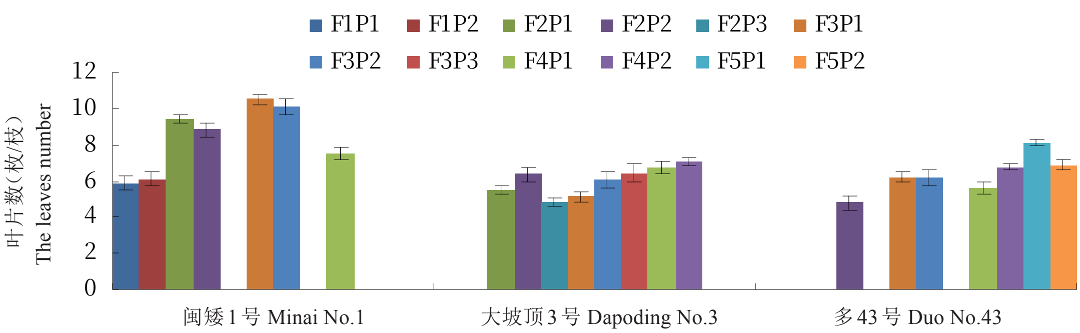


图 9　3 种矮化生长型种质冠层内不同部位枝梢叶片数差异

Fig. 9 Differences in leaf numbers in different parts of canopy in three dwarf-growth loquat types

2.4　3 种矮化生长型枝梢抽穗率的空间分布特点

‘闽矮 1 号’冠层内不同区域的枝梢抽穗率为 59.9%~91.0%，F3P1 最低，F4P1 最高，F1~F3 层的 P2 抽穗率较 P1 分别高 12.0、21.1、22.7 个百分点；‘大坡顶 3 号’冠层不同高度与不同部位的抽穗率达到 94.0%~100.0%，最低的是 F3P2，F3P1、F4P1 和 F4P2 均达到 100.0%；‘多 43 号’以 F5P1 区域的抽穗率最低，为 69.9%，F2P2 最高，达到 100.0%，随冠层高度的增高 P2 和 P1 的枝梢抽穗率均有逐渐降低的趋势（图 10）。可见，冠层内不同部位间的抽穗率以‘大坡顶 3 号’的差异最小，‘闽矮 1 号’和‘多 43 号’均较大，但‘闽矮 1 号’最随冠层高度增高抽穗率有提高趋势，而‘多 43 号’则呈相反趋势。其原因可能是矮化紧凑型‘闽矮 1 号’枝梢密度过大、相互遮荫严重，因而总体的枝梢抽穗率最低；矮化开张型‘大坡顶 3 号’枝梢分布多在同一层次，相互影响小，导致枝梢抽穗率高；矮化疏散分层型‘多 43 号’因上部枝梢长

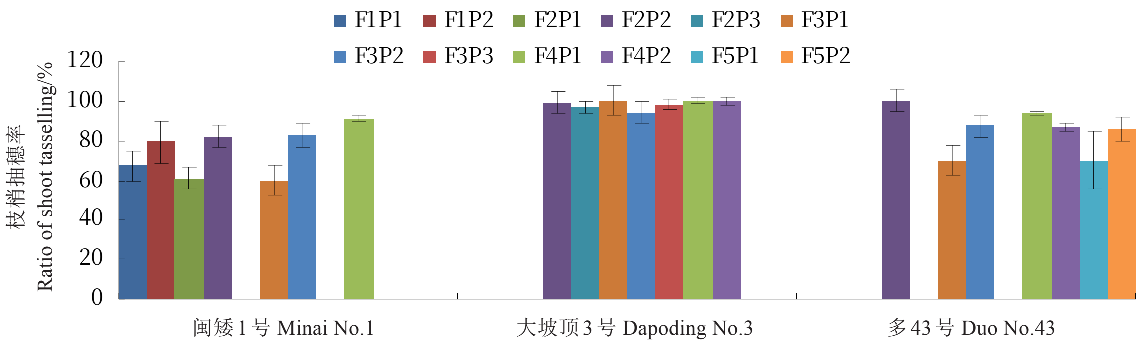


图10　3种矮化生长型种质冠层内不同部位枝梢抽穗率差异

Fig. 10 Differences in shoot tasselling ratio in different parts of canopy in three dwarf-growth loquat types

势过于旺盛，导致上部的抽穗率反而比下部小。

3 讨　论

3.1 不同矮化生长型种质的枝梢生长、抽穗及空间分布的特点不同

枝梢数量、分枝角度及其空间分布是树体生长习性的重要组成部分，枝梢数量及其空间分布[6,20]与分枝角度[2,21]能够反映生长型树体结构差异，不同树形的株高与主干节间等表现不一[15]。枇杷种质资源不仅苗期的生长量、枝梢数[18]和幼龄树的枝梢数量、抽穗数、株高、冠径、干周、叶幕层厚等存在差异[19]，而且成龄树枝梢性状也有较大区别[22]。本研究中，10年生矮化紧凑型‘闽矮1号’树体矮小，仅181.0 cm，枝梢数多且密，角度小，枝梢细、短且节间也短；大部分枝梢分布在冠层高度的50.1~150.0 cm处，距主干越近枝梢密度越大；抽穗率低，冠层越高其枝梢抽穗率越高。矮化开张型‘大坡顶3号’树高适中，干性较明显，枝梢粗；绝大多数的枝梢分布在冠层高度的50.1~200.0 cm，离主干近的枝梢密度小，中间的密度大，外围的小；抽穗率高，冠层内不同部位间抽穗率差异不显著。而矮化疏散分层型‘多43号’树体高大，达280.7 cm，干性不明显，枝梢数较少，密度也小，角度较大；97.7%的枝梢分布在冠层高度的100.1~250.0 cm处，距主干水平距离50.1~100.0 cm密度大；抽穗率较高，冠层越高其枝梢抽穗率反而越低。这3种矮化生长型的种质，其枝梢长度、粗度、叶片数均随着冠层高度的增高而增加，但枝梢角度则相反，表现出各自的枝梢生长及空间分布特点。

3.2 矮化开张型树形选择的可行性

植物冠形影响光照、温度、湿度等分布，进而影响枝梢生长、发育及开花结果。Loreti等[23]认为，紧凑型、矮化型和半矮化型等矮化桃节间较短，短枝较多，树冠透光率较低，影响花芽形成、果实着色、产量等，还会加重病虫发生。永田正夫认为，矮化并非单指树体越矮越好，宜适当提高树体高度，缩小冠径，增加树冠单位体积内枝量[24]。有研究指出，苹果树冠形状、枝（梢）类组成、数量、空间分布、枝叶密度，直接影响开花结果和果实品质[20,25]；苹果改良纺锤形的枝量最多、冠幅最大，垂帘形其次，纺锤形最小，但垂帘形徒长枝所占比例较大，改良纺锤形的短枝比例最高[26]。而枇杷是枝梢顶端抽穗、开花、结果的果树，每一个枝梢顶端仅抽生一个花穗，枝梢数量与质量显著影响果实产量与质量[27-28]。由于枇杷的叶片大，相互遮阴严重，一般自然生长枇杷成龄树的结果枝多分布在树冠中上部外层，内膛枝梢量少、长势弱，多不能成为结果枝。陈秀萍等研究认为[19]，枇杷的中心枝数、侧枝数、枝梢总数、中心枝抽穗数、枝梢抽穗数、侧枝抽穗数、株高、冠径、干周、叶幕层厚、中心枝抽穗率等性状与单株产量呈显著正相关关系。本研究的3种矮化生长型种质，矮化紧凑型的树冠矮小，但枝梢数量是另两种矮化生长型的2倍以上，且枝梢过短，枝梢密度过大，枝叶相互间遮荫，导致区域内不同空间的枝梢抽穗率低，这种树体生长型不适合作为高产优质栽培的树形。矮化疏散分层型的树偏高，枝梢密度偏小，不利于单产的提高，枝梢空间分布较高，不利于疏花、疏果、套袋和果实采摘等生产操作。而矮化开张型的表现树高、枝梢生长量和生长势适中，枝梢分布均匀，抽穗率高，更适合生产上应用推广，为枇杷矮化修剪提供参考模型。

已有研究认为多年生植物冠层分枝特性是可遗传性状[29]，但部分植物如杜梨的部分紧凑型变异不稳定[30]。本试验中的3种矮化生长种质也属于稳定

遗传的性状，‘闽矮1号’和‘大坡顶3号’的果实偏小，可食率偏低，‘多43号’的果实鲜食品质差，产量低，这些种质均不具备直接推广利用的价值，可作为矮生品种选育的杂交亲本加以改造利用。

致谢：本文得到福建农林大学研究生崔亚森、戴曲顺和李文的帮助，在此表示感谢！

参考文献 References:

[1] 邱武陵，章恢志 . 中国果树志 龙眼枇杷卷[M]. 北京: 中国林业出版社，1996: 106.
QIU Wuling，ZHANG Huizhi. China fruit-plant Monograph · Logan and Loquat Flora[M]. Beijing:Chinese Forestry Publishing House，1996: 106.

[2] 牛良，王志强，刘淑娥，宋银花，宗学普 . 半矮化型、紧凑型、普通型桃树枝条和叶片特征比较[J]. 果树学报，2005，22(4): 319-322.
NIU Liang，WANG Zhiqiang，LIU Shue，SONG Yinhua，ZONG Xuepu.Branch and leaf characteristics of different peach tree growth types[J]. Journal of Fruit Science，2005，22(4):319-322.

[3] 张莉 . 植物内源激素对杨树枝条分枝角度的影响[D]. 济南: 山东农业大学，2016.
ZHANG Li. The effect of endogenous hormones on the branch angle of Poplar [D]. Jinan: Shandong Agricultural University，2016.

[4] 郗荣庭 . 果树栽培学总论(第三版)[M]. 北京: 中国农业出版社，1997: 240-248 .
XI Rongting. The general part of pomology (Third Edition) [M]. Beijing: China Agriculture Press，1997: 240-248 .

[5] 牛良，王志强 ，刘淑娥，宋银花，宗学普 . 桃树不同生长型及其研究进展[J]. 果树学报，2004，21(4): 354-359.
NIU Liang，WANG Zhiqiang，LIU Shu'e，SONG Yinhua，ZONG Xuepu. Advances in research on growth habits of peach tree(*Prunus Persica*)[J]. Journal of Fruit Science，2004，21(4): 354-359.

[6] 张强，魏钦平，刘松忠，王小伟，尚志华，路瑾瑾 . SH6 矮化中间砧富士苹果幼树至结果初期树冠结构、产量和品质的形成[J]. 中国农业科学，2013，46(9): 1874-1880.
ZHANG Qiang，WEI Qinping，LIU Songzhong，WANG Xiaowei，SHANG Zhihua，LU Jinjin. Formation of canopy structure，yield and fruit quality of 'Fuji' apple with SH6 dwarf interstock from juvenility to fruiting early stage[J]. Scientia Agricultura Sinica，2013，46(9): 1874-1880.

[7] 宋凯，魏钦平，岳玉苓，王小伟，张继祥 . 不同修剪方式对'红富士'苹果密植园树冠光分布特征与产量品质的影响[J]. 应用生态学报，2010，21(5): 1224-1230.
SONG Kai，WEI Qinping，YUE Yulin，WANG Xiaowei，ZHANG Jixiang. Effects of different pruning modes on the light distribution characters and fruit yield and quality in densely planted 'RedFuji' apple orchard[J]. Chinese Journal of Applied Ecology，2010，21(5): 1224-1230.

[8] 肖龙，陈海江，邸葆，张海旺 . 两种桃树树形冠层参数变化及对产量和品质的影响[J]. 北方园艺，2012(17):20-23.
XIAO Long，CHEN Haijiang，DI Bao，ZHANG Haiwang. The changes in canopy parameters and the effect of yield and quality by two kinds of peach tree shape[J]. Northern Horticulture，2012 (17): 20-23.

[9] 陆修闽，郑少泉，蒋际谋，陈超，池宜寿 . 枇杷矮化速生高效产业化配套技术体系研究 II . 早钟 6 号枇杷早期高优栽培的关键技术[J]. 福建农业科技，1999(2): 12-14.
LU Xiumin，ZHENG Shaoquan，JIANG Jimou，CHEN Chao，CHI Yishou. Study on the Complete technical system for the fast- growing and high- efficiency industrialization of loquat dwarfing II. Key techniques for early high-quality cultivation of loquat Zaozhong 6 [J].Fujian Agricultural Science and Technology，1999(2): 12-14.

[10] 陆修闽，蒋际谋，郑少泉，金光，许秀淡 . 枇杷矮化集约高效产业化配套技术体系研究与推广效益分析[J]. 福建农业科技，2004(1): 16-17.
LU Xiumin，JIANG Jimou，ZHENG Shaoquan，JIN Guang，XU Xiudan. Benefit analysis and research on loquat dwarfing intensive and efficient industrialization supporting technology system [J].Fujian Agricultural Science and Technology，2004 (1): 16-17.

[11] 蒋际谋，陈秀萍，刘友接，张泽煌，许秀淡，李韬，郑少泉 . 野生砧木对枇杷生长结果与果实形质的影响[J]. 全国首届野生果树资源与开发利用学术研讨会论文汇编，2004.
JIANG Jimou，CHEN Xiuping，LIU Youjie，ZHANG Zehuang，XU Xiudan，LI Tao，ZHENG Shaoquan. Effects of wild rootstocks on growth and fruit quality of loquat[J]. Compilation of the first National Symposium on resources and development of wild fruit trees，2004.

[12] ZHANG H L，ZHANG ZK，LIN SQ，LI J G. Screening wild *Eriobotrya* species as rootstocks for loquat[J]. Journal of Horticultural Science & Biotechnology，2010，85(5): 399-404.

[13] 苏怡 . 枇杷不同矮化性株系(品种)的形态、生理和生化指标的研究[D]. 成都：四川农业大学，2014.
SU Yi. Studies on the morphological，physiological and biochemical indexes of the lines (cultivar) with varying dwarfness in loquat [D]. Chengdu: Sichuan Agricultural University，2014.

[14] 陈秀萍，蒋际谋，刘友接，郑少泉 . 几种促花措施对枇杷成花的影响[J]. 福建农业科技，2001(6): 9-10.
CHEN Xiuping，JIANG Jimou，LIU Youjie，ZHENG Shaoquan. Effects of several flower promoting measures on flowering of Loquat[J]. Fujian Agricultural Science and Technology，2001 (6): 9-10.

[15] 侯玉珏，张晓云，赵彩平，韩明玉，刘小媛，邢利博 . 矮化型、短枝型和柱型苹果苗枝芽特性和叶片特征比较[J]. 西北农业学报，2012，21(7): 134-137.
HOU Yujue，ZHANG Xiaoyun，ZHAO Caiping，HAN Mingyu，LIU Xiaoyuan，XING Libo. Comparison of Branch，bud and leaf characteristics of the dwarf- type，spur- type and columnar Young apple trees[J].Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica，2012，21(7): 134-137.

[16] 牛良，王志强，刘淑娥，宋银花 . 不同生长型桃树叶片形态解剖

结构及其与营养生长的关系[J]. 江苏农业学报，2008(4): 480-484.
NIU Liang，WANG Zhiqiang，LIU Shue，SONG Yinhua. Leaf morphological and anatomical characters of different growth types of peach tree and their relations with vegetative growth[J]. Jiangsu Journal of Agricultural Sciences，2008(4): 480-484.

[17] 蒋际谋，陈秀萍，邓朝军，胡文舜，姜帆，郑少泉 . 枇杷种质资源幼龄树性状鉴定及其树体生长型集[C]//中国园艺学会枇杷分会•第六届全国枇杷学术研讨会论文(摘要).中国园艺学会枇杷分会，2013: 1.
JIANG Jimou，CHEN Xiuping，DENG Chaojun，HU Wenshun，JIANG Fan，ZHENG Shaoquan. Identification of young tree characters and tree growth pattern of Loquat Germplasm Resources (Abstract) [C]//Loquat Chapter of Chineses Society for Horticultural Science· Proceedings of the Sixth National Symposium on Loquat (Abstract). Chineses Society for Horticultural Science，2013: 1.

[18] 陈秀萍，潘少林，黄爱萍，蒋际谋，邓朝军，郑少泉 . 枇杷种质资源繁殖更新生长特性研究[J]. 福建农业学报，2010，25(5): 590-596.
CHEN Xiuping，PAN Shaolin，HUANG Aiping，JIANG Jimou，DENG Chaojun，ZHENG Shaoquan. Propagation and renewal characteristics of loquat germplasm[J]. Fujian Journal of Agricultural Sciences，2010，25(5): 590-596.

[19] 陈秀萍，姜帆，黄爱萍，蒋际谋，郑少泉，谢丽雪，张立杰 . 枇杷种质资源幼龄树丰产性鉴定及模糊综合评判[J]. 热带作物学报，2010，31(12): 2103-2110.
CHEN Xiuping，JIANG Fan，HUANG Aiping，JIANG Jimou，ZHENG Shaoquan，XIE Lixue，ZHANG Lijie. Evaluation on the fielding ability of little seedlings among loquat germplasm and its fuzzy comprehensive estimation [J]. Chinese Journal of Tropical Crops，2010，31(12): 2103-2110.

[20] 刘业好 魏钦平，高照全，王小伟，魏胜林 .“富士”苹果树 3 种树形光照分布与产量品质关系的研究[J]. 安徽农业大学学报，2004，31(3): 353-357.
LIU Yehao，WEI Qinping，GAO Zhaoquan，WANG Xiaowei，WEI Shenglin. Relationship between distribution of relative light radiation and yield and quality in different tree shapes for "Fuji" apple[J]. Journal of Anhui Agricultural University，2004，31(3): 353-357.

[21] 郑先波，李明，谭彬，叶霞，李继东，冯建灿 . 不同生长型桃的叶脉结构与树体结构的差异与关系[J]. 华北农学报，2017，32(4): 195-200.
ZHENG Xianbo，LI Ming，TAN Bin，YE Xia，LI Jidong，FENG Jiancan. Relation between leaf vein structure of different growth habits of peach and its tree structure[J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica，2017，32(4):195-200.

[22] 谢丽雪，张小艳，张立杰，郑姗，章希娟，邓朝军，林旗华，魏秀清，许奇志，陈秀妹，郑少泉 . 枇杷种质资源枝梢与叶片性状多样性分析[J]. 福建果树，2009(2): 25-30.
XIE Xueli，ZHANG Xiaoyan，ZHANG Lijie，ZHENG Shan，ZHANG Xijuan，DENG Chaojun，LIN Qihhua，WEI Xiuqing，XU Zhiqi，CHEN Xiumei，ZHENG Shaoquan. Analysis of shoot and leaf characteristic of loquat germplasm resources[J]. Fujian Fruits，2009(2): 25-30.

[23] LORETI F，MASSAI R. The high density peach planting system: Present status and perspectives[J]. ActaHort，2002，592: 377-390.

[24] 永田正夫 . 苹果的最优矮化栽培[M]. 蒋康众，蔡传书译 . 合肥: 安徽科学技术出版社，1991.
Nagata Masao. Optimum dwarfing cultivation of apple[M]. Translated by JIANG Kangzhong，CAI Chuanshu. HEFEI：Anhui Science&Technology Publishing House，1991.

[25] 岳玉苓 . 苹果密植园改造对冠层微气候、果实品质及产量的影响[D]. 济南：山东农业大学，2008.
YUE Yuling. Effects of apple close planting on the canopy microclimate，fruit quality and yield[D]. Jinan: Shandong Agricultural University，2008.

[26] 魏常燕，宋杰强，李保国，齐国辉，张雪梅 . 苹果不同树形的树体结构及光能利用率[J]. 林业科技开发，2013，27(2): 22-25.
WEI Changyan，SONG Jieqiang，LI Baoguo，QI Guohui，ZHANG Xuemei. A Study on tree crown structure and light utilization efficiency of apple trees[J].China Forestry Science and Technology，2013，27(2): 22-25.

[27] 朱祥枝，陈秀萍，蒋际谋，黄聪敏，许家辉，张泽煌，刘友接 . 早钟 6 号枇杷结果母枝性状与果实形质的相关[J]. 福建农业学报，2002，17(1): 33-37.
ZHU Xiangzhi，CHENG Xiuping，JIANG Jimou，HUANG Congmin，XU Jiahui，ZHANG Zehuang，LIU Youjie. Correlationship between bearing base shoot character with form quality of fruit of Zaozhong 6 loquat[J]. Fujian Journal of Agricultural Sciences，2002，17(1): 33-37.

[28] 蒋际谋，陈秀萍，姜帆，黄爱萍，邓朝军，胡文舜，许奇志，郑少泉 . 枇杷种质资源抽穗特性与幼树期评价指标探讨[J]. 果树学报，2013，30(6): 938-943.
JIANG Jimou，CHEN Xiuping，JIANG Fan，HUANG Aiping，DENG Chaojun，HU Wensun，XU Qizhi，ZHENG Shaoquan. Study on earring characteristic of loquat and its evaluating index innutrition periods[J]. Journal of Fruit Science，2013，30(6): 938-943.

[29] 张抗萍，李荣飞，常耀栋，梁国鲁，陆智明，易佑文，胡涛，鲁振华，郭启高 . 果树树形的形成机制与调控技术研究进展[J]. 果树学报，2017，34(4): 495-506.
ZHANG Kangping，LI Rongfei，CHANG Yaodong，LIANG Guolu，LU Zhiming，YI Youwen，HU Tao，LU Zhenhua，GUO Qigao. A review of the canopy architecture formation mechanism and regulation technology in fruit trees[J]. Journal of Fruit Science，2017，34(4): 495-506.

[30] 马春晖，王然，宋健坤，李鼎立，杨英杰 . 梨属矮生资源的发现及主要性状评价[J]. 园艺学报，2015，42(11): 2253-2260.
MA Chunhui，WANG Ran，SONG Jiankun，LI Dingli，YANG Yingjie. The Discovery of natural dwarf mutant of *Pyrus* and the evaluation of the main characters[J]. Acta Horticulturae Sinica，2015，42(11): 2253-2260.