

文章编号: 1674-7054(2022)06-0644-07



乔木矮化技术的研究进展

杨杰¹, 蔡泽坪¹, 吴繁花², 罗佳佳^{3,4}, 肖娴¹, 于旭东¹

(1. 海南大学 林学院/热带特色林木花卉遗传与种质创新教育部重点实验室, 海口 570228;

2. 海南大学 生命科学学院, 海口, 570228; 3. 中国热带农业科学院 热带作物品种资源研究所, 海口 571101;

4. 海南大学 热带作物学院, 海口 570228)

摘要: 乔木的株高是影响植物产果量以及观赏性的重要性状。笔者在查阅文献的基础上, 对物理矮化栽培、化学矮化栽培、基因及病毒对植株的矮化等技术及效果等进行了综述, 同时总结了矮化技术在园林发展与果产业中的应用, 以期为进一步优化乔木矮化技术及其在园林园艺中的应用提供参考。

关键词: 乔木; 果树矮化; 物理矮化; 生长延缓剂; 园林发展

中图分类号: S 31 **文献标志码:** A

引用格式: 杨杰, 蔡泽坪, 吴繁花, 等. 乔木矮化技术的研究进展 [J]. 热带生物学报, 2022, 13(6): 644-650.

DOI: 10.15886/j.cnki.rdsxb.2022.06.015

乔木是一类株高超过 6 m, 由根部发生独立主干且树干和树冠有明显区分的木本植物。包括色彩、线条、质地、形态均有着丰富变化的观赏乔木和果实营养美味的果树。矮化技术是利用不同的处理方法对植物进行栽培, 改变株高、形态等特征, 使观赏效果提升。同时实现园林及果园工作机械化、规模化, 降低劳动与生产成本, 推动产业高质量发展。据初步统计, 至今为止已成功矮化观赏乔木 40 余种, 果树 30 余种。常见的有夹竹桃(*Nerium oleander*)、木槿(*Hibiscus syriacus*)、楝树(*Melia azedarach*)、碧桃(*Amygdalus persica*)、红枫(*Acer palmatum* ‘Atropurpureum’)、罗汉松(*Podocarpus macrophyllus*)、苹果(*Malus pumila*)、樱桃(*Cerasus pseudocerasus*)、柑橘(*Citrus reticulata*)、杨梅(*Myrica rubra*)、桃(*Amygdalus persica*)等^[1-7]。多数观赏乔木树干挺拔, 枝繁叶茂, 不便于庭院及室内盆栽种植观赏, 所以将乔木矮化才能更好地发挥其自身价值^[8]。大众熟知的盆栽罗汉松(*Podocarpus macrophyllus*)随着矮化技术的成熟, 形态和株型也更加多样化, 不仅可以

在多种园林景观营造中展现观赏性, 还可通过展览、拍卖等活动提升其经济价值。此外, 对桂花(*Osmanthus fragrans*)、高山杜鹃(*Rhododendron lapponicum*)等观赏乔木进行矮化栽培, 不仅达到了株高降低、树冠紧凑、花色艳丽的效果, 还可在制作观赏盆栽时实现当年上盆、当年开花, 使植株更好地发挥自身观赏价值^[9]。大多数果树因树形高大使人工和机械化作业难度加大, 导致产业整体效率降低, 因此, 对果树进行矮化是果树产业发展中的重要一项任务^[8]。如美国矮化密植苹果园很好地实现机械化、规模化、标准化, 一人操控机器可完成约 34 hm² 的果蔬灌溉、喷药、采收等工作, 大大降低了劳动力成本, 提升经济效益。随着我国科技不断进步, 利用矮化技术在果树产业领域也取得了一些成效, 如重庆市一柑橘园将柑橘矮化后由传统栽植的 1 200 株·hm⁻² 增长至 3 000 株·hm⁻², 规范化的密植使管理更加方便, 节约土地资源, 同时降低了投资成本。陕北榆林市一果园对 5 年生枣树(*Ziziphus jujuba*)进行了矮化密植试验, 成熟时测量, 传统栽培红枣平均纵横径为

收稿日期: 2021-08-22

修回日期: 2022-04-13

基金项目: 海南省重大科技计划项目(ZDKJ2021018)

第一作者: 杨杰(1998-), 女, 海南大学林学院 2020 级硕士研究生. E-mail: 835858070@qq.com

通信作者: 于旭东(1973-), 男, 博士, 副教授. 研究方向: 林学、植物学. E-mail: doeast@163.com

26.5、25.76 cm, 而矮化枣树平均纵横径为 34.09、27.79 cm, 枣品质得到了提升^[10]。莆田市农业科学研究所对杧果(*Mangifera indica*)进行矮化栽培, 采收时矮化栽培杧果产果量为 11 049 kg·hm⁻², 比传统栽培增产 24.6%^[11]。由上可知, 矮化技术不仅可使植株树冠饱满紧凑、形态保持良好, 还可使果树高度降低、提升果实产量与品质, 使盆栽乔木上盆、包装、运输以及果园田间机械管理、采收等工作更加便捷。笔者在查阅文献的基础上, 对物理法、化学法及基因技术等如何实现植株矮化进行了细致的阐述, 并对乔木矮化技术在农业生产与园林中的应用现状及前景进行简述, 旨在为进一步优化矮化技术提供参考。

1 物理矮化栽培

1.1 砧木嫁接矮化

矮化砧是可以控制接穗生长、使嫁接后的树体小于常规树体的一类砧木, 首先在苹果中发现并被利用, 后期逐渐应用于梨、桃、柑橘等果树矮化^[12]。从组织结构上来说, 矮化砧木皮层厚, 射线和薄壁细胞等活性组织比例高, 木质部较细小, 筛管和导管小而少, 致使地上部光合产物积累较多, 抑制了植株生长。从生理功能上来说, 砧、穗间的嫁接亲和力存在着轻度不亲和, 矮砧呼吸强度和蒸腾强度低, 细胞内电解质含量较多, 并且矮化砧木含脱落酸等生长抑制剂的数量较多。这些都是矮化砧木可以使植株矮化的原因^[13-15], 但因矮化砧根系浅, 固地性和抗寒力差常作为中间砧使用, 即使用优良的乔化砧作为基础, 在上面嫁接具有矮化效果的中间砧。各国经过多年研究培育出许多优良的矮化砧, 英国东茂林系(M系)、茂林-茂登系(MM系)矮化砧因其矮化效果显著、早果、优质、丰产等特性已成为世界范围内广泛应用的砧木品种^[16-18]。

嫁接矮化是利用发育良好、木质化程度较高且无病害的矮化砧木和穗条对植物进行嫁接, 矮化目标树体, 使其节间距缩短, 树型饱满紧凑(图1)。嫁接矮化苗木繁殖快, 技术操作方便、快捷、成活率高。通过嫁接矮化可以增强植株适应性、抗逆性, 同时加快更新来培养和繁殖优良品种。对樱桃进行矮化砧嫁接, 嫁接接口上下部碳水化合物的累积与植株生长势的相关性表明, 嫁接在矮化砧的接穗可溶性糖的含量高于乔化砧上的

接穗, 矮化砧根的结构影响碳水化合物的向下输送, 从而影响激素的合成, 验证了砧木降低营养与水分的运动, 实现了植株的矮化^[19]。对 10 个光皮树(*Swida wilsoniana*)嫁接苗的株高、地径、叶面积生长势进行测定, 结果表明: 相同的接穗嫁接在不同光皮树无性系砧木上, 不同嫁接苗的生长势存在显著的差异, 并且株高显著小于未处理光皮树的株高^[20]。



图1 嫁接图解

1.2 密植矮化

密植栽培多采用“窄株距宽行距”的方式种植, 既能提高光能的利用率, 又便于田间工作^[21]。合理密植不仅可以实现矮化, 还可提升单位面积内果实产量。利用宽窄行距种植对香椿(*Toona sinensis*)进行密植矮化栽培, 当宽、窄行距和株距分别为 1.5、0.5、0.5 m, 每 4 m 开 1 条宽度和深度均为 0.4 m 的排水沟时, 香椿矮化效果显著^[22]。对杜仲(*Eucommia ulmoides*)进行不同株行距密植, 10 个月后株高增长量显著低于对照组, 并得出种植株行距为 60 cm×100 cm 为杜仲最优密植距离^[23]。此外, 望春花(*Magnolia biondii*)、板栗(*Castanea mollissima*)等乔木也通过密植栽培实现了矮化^[24-25]。密植栽培可以有效地缩小大型乔木的占地面积, 但密植矮化对土肥、水分的要求较高, 必须加强管理以达到密植的最佳效果。

1.3 整形修剪

对植株进行修剪, 去除顶端优势, 促使侧芽萌发、增加侧枝数目或促进侧枝生长, 改善树体内膛的光照条件, 促使内部枝条健康生长, 促进树冠扩大, 达到减缓生长势的目的, 同时便于生产管理和游客采摘^[26-27]。合理的修剪可以使树木达到矮化, 修剪中遵循“去直留斜, 控高去密, 通风透光, 立体结果”的原则效果会更加显著。将杨梅进行落头开心修剪, 剪去树冠中心主枝, 结果表明: 不同修剪强度后的树高均小于未修剪树高, 而在春季剪去全树 1/5 枝干量和夏季剪去全树 2/5 枝干量时矮化效果最显著^[28]。刘珠琴等^[29]对樱桃进行连续 3 年整形修剪, 保持一定光照, 结

果表明:矮化后平均树冠高度为 2.76 m,未处理樱桃平均树冠高度为 3.71 m,矮化效果显著。将水蜜桃(*Prunus persica*)进行 5 主枝开心形矮化修剪,不留侧枝和副侧枝,改变传统自然开心的整形修剪,植株长势得到了控制,矮化效果明显^[30]。将矮化砧和整形修剪进行结合,可以达到明显的矮化效果,这也是目前生产上常用方法之一。

1.4 环剥矮化 碳限制会阻碍植物的生长发育,改变植物的碳素分配模式,环剥是引起植物碳限制的常用方法之一^[31]。环剥即把植株树皮剥去 1 圈,调节植株养分平衡,使树干的养分不会回流到树根,从而实现植株矮化。20 世纪 80 年代,华南热带作物科学研究院橡胶栽培室对橡胶树(*Hevea brasiliensis*)进行短截和环剥,使树体根系更加发达,同时降低树冠,从而增强了植株抗风能力。对核桃(*Juglans regia*)距离地面 25 cm 处骨干进行环剥,环剥宽度为主干粗的 1/10,深达木质部但不损伤,环剥后及时用塑料膜进行保护,以不环剥为对照,结果表明:180 d 后枝条粗度增加,生长量明显减少,实现了矮化^[32]。对刺槐(*Robinia pseudoacacia*)、侧柏(*Platycladus orientalis*)在距离地面 8 cm 处用小刀环剥 3 cm 宽皮层,用保水硅胶包住,防止木质部失水,可实现刺槐和侧柏的矮化^[33]。环剥最适宜的时期为春季末期或夏季初期(落花后 40 d 以内),环剥对抑制植株生长效果明显,但剥皮后要注意保护树干,在新生组织未长出之前尽可能不要暴露于空气中。

1.5 断根矮化 断根使根冠平衡被打破,主干营养生长受到抑制,进而增加了短枝和花芽比例,使树体矮化紧凑^[34-35]。断根矮化即铲断地下 30~40 cm 深的主根,控制垂直根的生长,培养水平根,结合施肥控制树冠长势达到矮化。断根后注意及时灌水、适量追肥,以利于苗木根系迅速恢复生长。对香椿树基部两侧浅挖,切断根系,促使萌发新株,经观察断根处理后的植株树高降低^[36]。对杨梅树冠滴水线附近开深 30~40 cm 的沟渠进行断根处理,大型树梢末花期进行螺旋状环割,对树干进行环剥,结果表明:杨梅枝条生长受到抑制,实现了矮化^[37]。断根要充分考虑枝条修剪和土肥管理,使根系在修剪后可以及时分生新根,提高其在土壤中的活动与吸收能力,保证植株在实现矮化的同时生长不受影响。

2 化学矮化栽培

研究表明,植物株高的形成最主要是依靠内源激素赤霉素(GA)来调节的(图 2),使细胞壁伸长来调节茎节间的长度,从而影响植株的高度^[38]。化学矮化即施用植物生长延缓剂来抑制赤霉素的合成,在不影响植物发育的前提下,减缓植物茎端分生组织细胞分裂、伸长和生长速度,使植株达到矮化^[39-40]。当今生长调节剂种类丰富,并随着开发、推广、应用逐渐进入更加成熟的阶段,依据矮化剂不同的化学特性及其在抑制赤霉素合成作用的阶段分为 3 类,常见的矮化剂包括多效唑、矮壮素、烯效唑、调环酸钙。

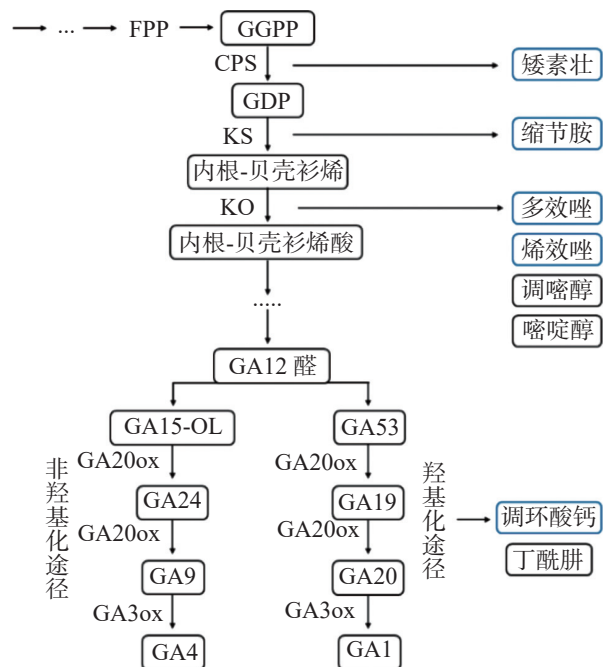


图 2 赤霉素的合成途径及矮化剂的分类

2.1 多效唑 多效唑(paclobutrazol, PP₃₃₃),化学式为 C₁₅H₂₀ClN₃O,外观为白色结晶性固体,通过根、茎组织进入植株体内。有研究表明,PP₃₃₃从根进入树体后通过茎向上横向运转,并积累于叶片中^[41]。早期的研究表明,多效唑不仅阻碍植物体内 GA 的合成,加速内源生长素(IAA)的分解,同时还影响着脱落酸(ABA)、过氧化氢酶(CAT)、乙烯和多胺的代谢^[42-45]。将日桂香(*Osmanthus fragrans*)使用有效成分含量为 50% 的多效唑可湿性粉剂进行喷施,新枝生长量比对照组缩短 47.05%,有效地抑制了枝条的生长,其中 700 mg·L⁻¹ 效果最显著^[46]。使用有效成分含量为 15% 多效唑

对牛心柿树(*Diospyros*)进行喷施,成功抑制了新梢生长,并得出矮化最显著浓度为 $1\ 200\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ [47]。使用有效成分含量为25%多效唑悬浮剂粉剂对槟榔(*Areca catechu*)进行处理,结果表明:施加多效唑后的植株高度增长量均小于对照组[48]。目前,多效唑对植物常见有效的施用方式为叶面喷施和土壤浇灌。

2.2 矮壮素 矮壮素(chlorocholine chloride, CCC),化学式为 $\text{C}_5\text{H}_{13}\text{Cl}_2\text{N}$,外观为白色结晶性固体,类似鱼腥味,易潮解。喷施矮壮素可以增加玉米素核苷(ZR)的含量,降低吲哚乙酸(IAA)和赤霉素(GA)的含量,使植株枝条的生长受到抑制[49]。设置不同浓度矮壮素对杨树(*Populus simonii*)进行喷施,置于光照 $8\ \text{h}\cdot\text{d}^{-1}$,光照强度为 $2\ 000\ \text{lx}$ 条件下60 d后,与对照组相比株高显著降低,其中, $200\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 矮壮素效果最佳[50]。利用不同浓度矮壮素对木棉(*Bombax ceiba*)进行喷施,采用灌根处理,以清水为对照,结果表明: $2\ 500\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 对苗高生长的矮化效果最好[7]。使用有效成分含量为50%矮壮素对枣树(*Ziziphus jujuba*)进行喷施,结果表明:60 d后枣树节间长度与对照组相比明显缩短,其中,浓度为 $200\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 的矮壮素喷施效果最显著[51]。施加适当浓度的矮壮素具有延缓植株生长,提高抗性,增加茎干木质化程度的作用。

2.3 烯效唑 烯效唑(uniconazole, S3307),纯品为白色结晶固体,难溶于水。通过根或叶片吸收,并且抗逆性强,不仅可以矮化植株,还具有杀菌除草的作用[52-53]。选择适宜时间施加烯效唑,可减少植株的营养生长,对植株大小和高度进行控制,使植株紧凑饱满,同时不影响花的大小,提升观赏价值。对核桃进行不同浓度烯效唑喷施,结果表明:核桃枝条生长量均显著低于对照组,并且枝茎明显变粗,其中土施效果更佳[54]。对柚树(*Citrus grandis*)进行不同浓度烯效唑的叶面喷施,90 d后测定生长及生理指标,结果表明:柚树株高相比对照组下降了17.6%,实现了矮化[55]。对红花玉兰(*Yulania sprengeri* 'Wufengensis Group')进行不同浓度烯效唑喷施,采用灌根的方式,结果表明:各组株高均小于对照组,其中,浓度 $300\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 烯效唑的喷施最显著[56-58]。烯效唑是一种低毒、残留量小、不污染环境的植物延缓剂,可以高效地控制植物株型、增强植物抗逆性、提高植株品质和

产量。

2.4 调环酸钙 调环酸钙(Prohexadione-calcium, KUH-833),纯品为白色无固定体,在光、热及水溶液下稳定,低毒。调环酸钙只抑制茎叶的伸长生长,不抑制繁殖器官的发育,同时调环酸钙的半衰期很短,对环境不造成污染。喷施调环酸钙可以显著地控制轮台白杏(*Prunus armeniaca* L.)的株高,降低新梢的生长量,增加新梢的粗度,实现矮化,塑造高产株型并提高座果率[59]。对苹果喷施不同浓度调环酸钙,结果显示,与对照组相比新梢生长量显著降低,生产中以选择喷施 $250\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 调环酸钙矮化效果最好[60]。调环酸钙活性很高,通过叶面处理而起作用,效果明显且喷施后安全无残留,还具有一定的防病虫害能力。

3 基因技术及病毒矮化

随着科技的发展,对乔木的矮化逐渐深入到分子和基因层面。目前,人工诱导植物矮化一般通过发根农杆菌(*Agrobacterium rhizogenes*)侵染实现[61-62]。*rol*基因即发根质粒(Ri质粒)上的诱根基因,将含*rol*基因表达载体导入植物体内可提高植物的生根能力,并且影响植物的生长发育[63]。利用农杆菌介导法将*rolABC*基因转入枳橙等柑橘砧木基因组中,结果显示,转基因植株的分枝变多、节间缩短、树体明显缩小[63-66]。光敏色素(phytochrome)是一类吸收红光或远红光可逆转换的光受体,其单体由1个脱辅基蛋白(120~130 ku)N端cys残基保守序列和1个线性的四吡咯生色团在细胞质中共价结合而成。高等植物中存在5种基因型的光敏色素分子(phyA~phyE)[67]。phyB作为红光的主要受体,在抑制黄化幼苗或其他细胞伸长生长、避阴反应以及根据日长控制开花时间等方面发挥着主要的作用。利用转基因技术,使*phyB*基因在M26苹果中得到超表达,获得矮化植株[68-70]。

除转基因技术外,也可通过矮化病毒实现。有研究认为,矮化病毒(Citrus viroid, CV)中CV-IIa和CV-IIIa可以引起柑橘的矮化[71]。我国部分地区的矮化杏树(*Armeniaca vulgaris*)和矮化李树(*Prunus salicina*)的1年生枝条中,存在啤酒花矮化类病毒(*Hop stunt viroid*, HSVd),且HSVd序列变异较小[72],但病毒矮化植株往往会对乔木的外部

形态和生理健康产生影响,并且存在变异的危险可能,所以病毒矮化在生产上不常用。

4 矮化技术在产业中的应用

4.1 降低树高,提升观赏性 因乔木在室内或庭院内会占用很大空间,不便于摆放观赏,人们开始追求高质量观赏盆栽,将高观赏性的乔木打造成盆栽观赏植株越来越广泛。矮化技术在不影响植株发育过程的同时降低植株高度,使株型饱满紧凑,盆栽形态多样,进一步提升了植株的观赏效果。经过矮化的盆栽可以满足室内美化,还可以利用无土栽培建造屋顶花园,使乔木在园林景观打造及小区、庭院美化中更好地发挥价值。

4.2 生产规模化,品种更新快 传统果树的树体高大,无论是人工搭梯采摘还是机械作业,均有一定危险和困难,并且劳动强度大,容易产生浪费^[8]。矮化技术将树体矮化,降低株高,简化树形结构,减少多余层次,使果树便于修剪、采收、喷药等管理。并且相对于传统果树,矮化果树的树冠矮小,生长缓和枝条不易徒长,营养成分可以更多作用于果实的生长,增强连续结果能力。总体表现株高降低,管理工作机械化、规模化等特点,很大程度上提高了单位面积产值。同时伴随着社会的进步,优良品种不断出现,为满足需求要在短期内更换老、差品种。矮化技术可以使果树栽培周期大大缩短,实现品种快速更新。

4.3 提高产量,实现高效益 我国国土面积辽阔,但伴随人口日渐增多,可利用的耕地面积随之减少,并且大部分耕地要用于种植玉米、小麦、水稻等粮食作物。一般果树树体庞大,传统栽植稀疏不规范且单位面积产量不高。传统果树栽培的种植密度为 150~300 株·hm⁻²,采用矮化技术后可增加到 675~1500 株·hm⁻²,从而显著提升果树种植业的经济效益。同时,在园林应用中高质量的盆景树可以用来展览、拍卖,在生产、包装和运输中也会降低成本,提升观赏价值和经济效益。

5 展望

矮化栽培技术在世界范围内已被广泛应用,我国矮化栽培技术在改善植株种植密度、生产管理机械化、规模化、提升单位面积产值等方面展现出优势。对抑制果树的枝条、株高生长等方面应

用较多,成为了果树产业发展中不可或缺的一部分。同时,随着城市进化过程的加快和园林绿化水平的提高,对道路、公园、城区、庭院的造景效果要求也随之增高,但目前对矮化观赏植物的研究还不够全面,对株型高大以及一些新兴观赏植株缺少完整的矮化技术体系。物理矮化方法成本低,便于操作,效果显著。若能对矮化剂施用的最佳时期和药效持续性进行深入研究,比较矮化剂在植物生长不同时间段使用的效果,得出最优施加浓度及施加时间并与物理矮化有效结合,为生产生活中矮化植株减少成本的同时实现高品质。除此之外,若能利用基因技术筛选出优良的矮化植株,实现永久矮化型乔木,培育出更多观赏价值高的矮化植株,以满足消费者的不同需求,同时丰富园林景观中的树种应用。

参考文献:

- [1] 陈华湘. 夹竹桃的盆栽矮化经验[J]. 中国花卉盆景, 1988(6): 13.
- [2] 包尚理. 盆栽桂花矮化整形的两点措施[J]. 花木盆景(花卉园艺), 1997(3): 17.
- [3] 武介章. 无花果矮化盆栽[J]. 中国花卉盆景, 2006(11): 13.
- [4] 王莹. 木槿花的盆栽、矮化及引种技术研究[J]. 园林科技, 2001(1): 46.
- [5] 陈云霞, 赵复泉, 姜洪华, 等. 盆栽楝树矮化试验研究初报[J]. 现代农业科技, 2007(19): 27-29.
- [6] 刘丽, 杨银虎, 许杨. 红叶碧桃培育[J]. 中国花卉园艺, 2018(10): 58-59.
- [7] 罗晓滔, 赵冬, 胡世俊, 等. 多效唑、矮壮素对木棉苗木矮化效果的研究[J]. 云南大学学报(自然科学版), 2021, 43(1): 174-181.
- [8] 刘新颖. 矮化技术在农业上的应用[J]. 花卉, 2019(16): 293.
- [9] 解玮佳, 唐毓玮, 李世峰, 等. 矮壮素和多效唑对盆栽高山杜鹃‘红粉佳人’的矮化效应[J]. 山东农业科学, 2021, 53(3): 45-49.
- [10] 杨阳, 郭珍, 徐福利. 施用钾肥对黄土丘陵区山地矮化密植红枣产量与品质的影响[J]. 北方园艺, 2010(10): 36-39.
- [11] 林革, 彭建平, 刘国强, 等. 矮化避雨栽培对‘金煌1号’芒果物候期与果实形质、产量的影响[J]. 中国果树, 2016(5): 34-37.
- [12] 李丙智, 张林森, 韩明玉, 等. 世界苹果矮化砧木应用现状[J]. 果农之友, 2007(7): 4-6.
- [13] 冯轶, 许雪峰, 张新忠, 等. 苹果矮化砧木致矮机理的研究进展[J]. 园艺学报, 2018, 45(9): 1633-1641.
- [14] 李春燕, 杨廷桢, 高敬东, 等. 苹果矮化砧扦插生根解

- 剖学机理研究进展[J]. *山西农业科学*, 2017, 45(10): 1719 - 1720.
- [15] 里程辉, 刘志, 王宏, 等. 苹果砧木致矮机理的研究现状与展望[J]. *西北农业学报*, 2016, 25(10): 1427 - 1435.
- [16] 王乔春. 英国东茂林试验站科研成果介绍[J]. *北方园艺*, 1993(6): 4 - 5.
- [17] HEDDEN P, GRAEBE J E. Inhibition of gibberellins biosynthesis by paclobutrazol in cell-free homogenates of *Cucurbita maxima* endosperm and *Malus pumila* embryos [J]. *J. Plant Growth Regul.*, 1985, 4: 111 - 112.
- [18] LU C, WANG J Z, XUE X M, et al. Current cultivation status, regional cultivation proposal and development countermeasure of main types of dwarf rootstock in apple in Shandong Province [J]. *Journal of Agricultural Sciences.*, 2012, 33(3): 55 - 57.
- [19] OLMSTEAD, MERCY A, LANG, N, et al. Carbohydrate profiles in the graft union of young sweet cherry trees grown on dwarfing and vigorous rootstocks [J]. *Experimental Botany*, 2008, 59(5): 1743 - 1751.
- [20] 佟金权. 光皮树矮化砧资源选择及矮化机理研究[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2012.
- [21] 王田利. 我国梨矮化栽培技术应用现状与生产建议[J]. *西北园艺(果树)*, 2013(2): 13 - 14.
- [22] 钟必凤, 张全军, 邓家林, 等. 大竹县巴山红香椿矮化密植高效栽培技术[J]. *中国蔬菜*, 2016(3): 84 - 86.
- [23] 赵丹, 秦利军, 赵德刚. 杜仲矮化密植栽培模式研究[J]. *山地农业生物学报*, 2021, 40(3): 74 - 78.
- [24] 刘海良, 方家选, 党兰玉, 等. 望春花辛夷矮化高产栽培技术[J]. *中药材*, 2006(10): 1007 - 1009.
- [25] 贾云霞, 李立强, 宋颖, 等. 板栗良种紫珀的品种特性及栽培技术要点[J]. *河北果树*, 2021(1): 40 - 41.
- [26] 邵琪锋. 修剪和外源物质对辽东楸木矮化及侧枝生长的影响[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2020.
- [27] 杨洪斌, 廖兴建. 植物顶端优势机理的研究进展[J]. *生物学教学*, 2020, 45(10): 75 - 77.
- [28] 吴振旺, 杨平庭, 余宏傲. 东魁杨梅落头开心修剪的矮化效应[J]. *中国南方果树*, 2010, 39(2): 39 - 42.
- [29] 刘珠琴, 张成军, 厉鑫, 等. 中国樱桃矮化修剪技术研究[J]. *上海农业科技*, 2018(3): 65.
- [30] 唐晓英, 张淑玲. 水蜜桃矮化设施栽培基肥试验[J]. *现代园艺*, 2020, 43(23): 62 - 63.
- [31] MCDOWELL N G. Mechanisms linking drought, hydraulics, carbon metabolism, and vegetation mortality [J]. *Plant Physiology*, 2011, 155: 1051 - 1059.
- [32] 张翔. 修剪措施及生长调节剂对薄壳山核桃枝条发育和结果潜力的影响[D]. 南京: 南京农业大学, 2014.
- [33] 薛彩峰. 遮阴和环剥对刺槐、侧柏生长和生物量分配的影响[J]. *山西农经*, 2020(19): 68 - 69.
- [34] MATHIYAZHAGAN K, BOSE M S C. Root pruning-a growth regulation practice in fruit crops [J]. *CAB Reviews*, 2021, 16(12): 1 - 12.
- [35] 冯海月, 张冬梅, 张敬丽, 等. 断根处理及环境因子对白玉兰全冠树木移植茎流速率的影响研究[J]. *园林*, 2021, 38(10): 94 - 100.
- [36] 戴则民. 香椿矮化生产整枝技术要点[J]. *上海蔬菜*, 2008(3): 51.
- [37] 吴丽芳, 郑衍英, 虞友娥. 杨梅矮化栽培集成技术应用与推广[J]. *果农之友*, 2010(10): 25.
- [38] SUN T P. Gibberellin- GID1- DELLA: A pivotal regulatory module for plant growth and development [J]. *Plant Physiology*, 2010, 11: 567 - 570.
- [39] 董运斋, 王四清. 生长延缓剂在观赏植物中应用的研究进展[J]. *北方园艺*, 2004(6): 14 - 16.
- [40] 贺莹莹, 孙振元, 葛红. 植物生长延缓剂在观赏植物上的应用研究[J]. *农学学报*, 2018, 8(6): 53 - 57.
- [41] HAU J, RIEDIKER S, VARGA N, et al. Determination of the plant growth regulator chlormequat in food by liquid chromatography-electrospray ionisation tandem mass spectrometry [J]. *J. Chromatogr*, 2000, 878(1): 77 - 86.
- [42] GIANFGANA G H, SHEARING S J. Review of effects of paclobutrazol on ornamental totted plants [J]. *Acta Hort*, 1985, 167: 339.
- [43] NORMAN S M. , BENNETT R D, POLING S M, et al. Paclobutrazol inhibits abscisic acid biosynthesis in *Cercospora rosicola* [J]. *Plant Physiol*, 1986, 80: 122 - 125.
- [44] GRAEGE J E. Gibberellin biosynthesis and control [J]. *Ann Rev Plant Physiology*, 1987, 38: 419.
- [45] LU C, YU G, XUE X, et al. Investigation and evaluation of cultivation adaptability of apple dwarf rootstock M26 in Shandong Province [J]. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 2012, 9: 14.
- [46] 王萍, 杨秀莲, 王春君, 等. 两种植物生长延缓剂对盆栽日香桂的矮化效应[J]. *南京林业大学学报(自然科学版)*, 2014, 38(S1): 30 - 34.
- [47] 魏素玲, 畅凌冰, 王治军, 等. 多效唑对牛心柿树新梢生长抑制效应初试[J]. *科技视界*, 2015(2): 385 - 386.
- [48] 周焕起, 刘小玉, 付登强. 不同药剂对槟榔幼苗的矮化效应[J]. *中国热带农业*, 2021(2): 72 - 76.
- [49] 袁雅琪, 王丽云, 袁小军, 等. 生长调节剂对南方红豆杉大孢子叶球和内源激素的影响[J]. *中南林业科技大学学报*, 2020, 40(6): 16 - 24.
- [50] 许灿. 矮壮素在杨树组织培养中的应用[J]. *南方农业*, 2017, 11(3): 120 - 121.
- [51] 肖莉娟, 曹亚军, 李嫣然, 等. 不同浓度的矮壮素对‘骏枣’枝梢生长及果实品质的影响[J]. *经济林研究*, 2021(3): 150 - 155.
- [52] NOGUCHI H. New growth regulators and S-3307 [J]. *Japan Pesticide Information*, 1987(51): 15 - 22.
- [53] 陈俊伟. 新型植物生长延缓剂—S3307D[J]. *世界农业*, 1993(4): 21.
- [54] 周燕. 烯效唑对主干结果核桃生长及果实品质的影响[D]. 阿拉尔: 塔里木大学, 2019.
- [55] 阮少艺, 聂磊, 刘鸿先. 烯效唑对柚树苗生长和生理特

- 性的效应研究[J]. *福建热作科技*, 2002(2): 1-4.
- [56] 张梦珂. 基质配比和三种生长调节剂对红花玉兰容器苗生长的影响[D]. 北京: 北京林业大学, 2018.
- [57] 陈思雨. 红花玉兰矮化栽培技术研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2018.
- [58] 张山山. 红花玉兰矮化栽培技术研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2019.
- [59] 章世奎, 罗晓琴, 王亚铜, 等. 调环酸钙对轮台白杏营养生长和果实品质的影响[J]. *新疆农业科学*, 2021, 58(5): 846-853.
- [60] 胡真, 李文胜, 王安丽, 等. 调环酸钙对红富士苹果生长的影响[J]. *现代农业科技*, 2021(1): 140-142.
- [61] KANEYOSHI J, KOBAYASHI S. Genetic transformation of trifoliolate orange (*Poncirus trifoliata*) [M]. *Transgenic Trees*. Springer Berlin Heidelberg, 2000: 212-220.
- [62] GENTILE A, DENG Z N, MALFA S L, et al. Morphological and physiological effects of rolABC genes into citrus genome [J]. *Acta Horticulturae*, 2004, 632(632): 235-242.
- [63] 袁飞荣, 李芳, 蒋巧巧, 等. 转基因枳橙中 *GA20ox1* 与 *rol* 基因互作关系的研究[J]. *中国农学通报*, 2011, 27(19): 214-221.
- [64] 李泽宏. 不同处理条件下银杏 miRNA 的测序结果及表达特点分析[D]. 武汉: 武汉轻工大学, 2018.
- [65] 董翠翠. 三种柑橘砧木及其嫁接苗矮化性状相关参数研究[D]. 重庆: 西南大学, 2017.
- [66] 陈晶晶, 胡玉林, 胡会刚, 等. 植物矮化相关基因的研究进展[J]. *广东农业科学*, 2014, 41(15): 126-132.
- [67] 胡新喜, 袁飞荣, 邓子牛, 等. 转 *phyB* 基因枳橙生物学特性分析[J]. *热带作物学报*, 2010, 31(3): 440-445.
- [68] HOLEFORS A, XUE Z T, ZHU L H, et al. The *Arabidopsis* phytochrome B gene influences growth of the apple rootstock M26 [J]. *Plant Cell Reports*, 2000, 19: 1049-1056.
- [69] JIA D, GONG X, LI M, et al. Overexpression of a novel apple NAC transcription factor gene, MdNAC1, confers the dwarf phenotype in transgenic apple (*Malus domestica*) [J]. *Genes (Basel)*, 2018, 9(5): 229.
- [70] BRUCHNER C H, DEJONG T M. Proposed pre-selection method for identification of dwarfing peach rootstocks based on rapid shoot xylem vessel analysis [J]. *Scientia Horticulturae*, 2014, 165: 404-409.
- [71] 曹孟籍. 柑橘类病毒的鉴定及其小RNA的深度测序分析研究[D]. 重庆: 西南大学, 2012.
- [72] 杨元爱, 李世访, 成卓敏, 等. 杏和李树啤酒花矮化类病毒的检测与序列分析[J]. *园艺学报*, 2006(6): 1193-1198.

Advances in arbor dwarfing

YANG Jie¹, CAI Zeping¹, WU Fanhua², LUO Jiajia^{3,4}, XIAO Xian¹, YU Xudong¹

(1. College of Forestry/ Ministry of Education Key Laboratory of Genetics and Germplasm Innovation of Tropical Special Forest Trees and Ornamental Plants, Hainan University, Haikou, Hainan 570228; 2. School of Life Sciences, Hainan University, Haikou, Hainan 570228; 3. Tropical Crops Genetic Resources Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Haikou, Hainan 571101; 4. College of Tropical Crops, Hainan University, Haikou, Hainan 570228, China)

Abstract: The plant height of trees is an important trait that affects the fruit yield and ornamental quality of plants. The physical dwarfing cultivation, spraying of growth retarders, and the dwarfing effects of genes and viruses on plants were reviewed based on the literature, and at the same time the application of dwarfing in garden development and fruit industry was summarized in order to provide reference for further optimization of arbor dwarfing and its application in gardening.

Keywords: trees; fruit dwarfing; physical dwarfing; growth retarder; garden development

(责任编辑: 罗启香 责任编辑: 潘学峰)