

3种四照花一年生播种苗生长规律初探

杨玲¹, 杜文婷², 鲁强¹, 袁佳秋¹, 洪香香^{1*}

(1. 南方现代林业协同创新中心, 南京林业大学林学院, 南京 210037; 2. 江苏农林职业技术学院, 江苏 镇江 212400)

摘要: 为揭示3种四照花的苗期生长规律, 对1 a生大花四照花(*Cornus florida*)、香港四照花(*C. hongkongensis*)和东京四照花(*C. hongkongensis* subsp. *tonkinensis*)幼苗的年生长节律进行了观测分析。结果表明, 根据拟合的 Logistic 方程生长模型($R^2 > 0.98$, $P < 0.01$), 可将3种四照花苗期的苗高和地径年生长进程划分为生长初期、生长盛期、生长后期3个时期。其中, 生长盛期的苗高和地径的生长量分别占全年的55.23%~59.06%和59.46%~60.71%。大花四照花的年生长积累均大于2种东亚类常绿四照花, 而香港四照花和东京四照花的苗高和地径生长相似; 大花四照花的生长初期和生长盛期的启动时间早于2种东亚类四照花, 但持续时间最短。3种1 a生四照花的苗高和地径生长呈现出“慢-快-慢”的生长节律, 符合“S”型生长曲线; 且地径和苗高呈现出异速生长现象。这为四照花栽培推广、引种驯化提供了理论依据。

关键词: 四照花; 生长节律; 生长曲线; 异速生长

doi: 10.11926/jtsb.4166

Annual Growth Rhythm of 1-year-old Seedlings of Three *Cornus* Species

YANG Ling¹, DU Wen-ting², LU Qiang¹, YUAN Jia-qiu¹, FU Xiang-xiang^{1*}

(1. Southern Modern Forestry Collaborative Innovation Centre, College of Forestry, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China; 2. College of Forestry, Jiangsu Vocational College of Agriculture and Forestry, Zhenjiang 212400, Jiangsu, China)

Abstract: In order to reveal the growth rhythm of *Cornus*, the height and ground diameter of one-year-old seedlings for *C. florida*, *C. hongkongensis* and *C. hongkongensis* subsp. *tonkinensis* were observed. According to the fitting analysis using Logistic equation for three *Cornus* seedlings ($R^2 > 0.98$, $P < 0.01$), the seedling growing process of both height and ground diameter could be divided into 3 stages, including initial stage, fast stage and later stage. Among three stages, the seedling growth of height and ground diameter at fast stage accounted for 55.23%–59.06% and 59.46%–60.71%, respectively. The annual growth accumulation of *C. florida* were larger than the other two evergreen *Cornus* species, while the seedling growth patterns of height and ground diameter for *C. hongkongensis* and *C. hongkongensis* subsp. *tonkinensis* were similar. The starting time of initial and grow fasting stages of *C. florida* were earlier than that of two evergreen others, but the duration of two stages of *C. florida* were also shorter than that of evergreen ones. In conclusion, the growth rhythms of height and ground diameter of one-year-old seedlings of three *Cornus* showed the similar pattern of “slow-fast-slow”, according with “S” shape. Moreover, the growth of height and ground diameter of *Cornus* seedlings was allometric. So, these would provide the theoretical foundation for cultivation promotion, introduction and domestication of *Cornus*.

Key words: *Cornus*; Growth rhythms; Growth curve; Allometric growth

收稿日期: 2019-10-18 接受日期: 2020-01-09

基金项目: 江苏林业科技创新与推广项目(LYKJ[2018]06); 江苏高校优势学科建设工程项目(PAPD)资助

This work was supported by the Project for Innovation and Promotion of Forestry Science in Jiangsu Province (Grant No. LYKJ[2018]06), and the Priority Academic Program Development (PAPD) of Jiangsu Higher Education Institutions.

作者简介: 杨玲(1995~), 女, 硕士研究生, 研究方向为林木种苗科学与技术。E-mail: 1048085975@qq.com

* 通信作者 Corresponding author. E-mail: xxfu@njfu.edu.cn

四照花属(*Cornus*)植物为山茱萸科(*Cornaceae*)常绿或落叶小乔木或灌木, 别名石枣、野荔枝、凉子、青皮树、石楂子、羊婆奶^[1]。四照花树种观赏价值极高, 其树姿秀丽、树形优美, 是极具开发应用前景的园艺树种^[2]; 此外, 它们在森林生态系统中也发挥着良好的生态效益^[3]。

四照花有分布于东亚的东亚四照花和分布于北美大陆的北美四照花 2 个类群^[4-5], 东亚四照花类群主要分布于中国^[6]。根据 Xiang 等^[7]的分类, 东亚四照花类群包括 5 种, 分别是尖(狭)叶四照花(*C. angustata*)、头状四照花(*C. capitata*)、四照花(*C. kousa* subsp. *chinensis*)、多脉四照花(*C. multinervosa*)和香港四照花(*C. hongkongensis*)。其中, 香港四照花包含 6 个亚种, 分布于浙江东部、江西南部、湖南南部以及广东、广西、四川、贵州、云南等省区, 均为常绿树种, 东京四照花(*C. hongkongensis* subsp. *tonkinensis*)为其亚种之一, 分布于广西、四川、贵州、云南等省区^[8]。北美四照花类群包括大花四照花(*C. florida*)、墨西哥四照花(*C. urbaniana*)和太平洋四照花(*C. nuttallii*); 大花四照花因其极高的观赏价值, 在北美广泛栽植, 成为园林美化最优秀的观赏树种之一^[9]。

中国是东亚四照花类群的主要分布区, 也被认为是北美四照花及其栽培品种的适宜引种栽培区, 尤其是中国的亚热带地区^[10]。目前对东亚四照花的研究报道主要集中在抗性生理^[11-12]、资源价值利用^[2]和种子休眠^[10]等。对于四照花类群植物生长节律的研究较少, 仅报道了狭叶四照花^[13]和中国四照花(*C. kousa* subsp. *chinensis*)^[14]。东亚四照花的开发利用和北美四照花栽培品种的引种驯化, 需建立在弄清四照花树种生长节律的基础上。前期对北美四照花引种驯化的研究表明, 不同种的异速生长导致了种间嫁接形成“头重脚轻”型树形。因此, 本研究拟通过对两个类群的代表种大花四照花、香港四照花和东京四照花一年生苗生长的定期观测, 并采用数学模型进行拟合, 初步了解两大类四照花生长节律, 为其栽培推广、引种驯化特别是种间嫁接的可行性提供理论依据。

1 试验地概况

试验地设在江苏省句容市江苏农林职业技术学院内, 地处 31°14'~32°37' N、118°22'~119°14' E。

该地属于北亚热带中部气候区, 具有明显的季风气候特征, 干湿冷暖, 四季分明; 年平均气温 15.2℃, 日平均气温高于 10℃的植物生长期 226 d, 总积温 4 859℃; 无霜期 229 d, 年均降雨量 1 058.8 mm, 年均光照 2 157 h; 每年 6 月下旬到 7 月中旬为梅雨季节。

2 材料和方法

2.1 播种育苗

育苗用大花四照花(*Cornus florida*)来源于自美国路易斯安那州(29°~33° N, 89°~94° W), 香港四照花(*C. hongkongensis*)及东京四照花(*C. hongkongensis* subsp. *tonkinensis*) 种子采自江苏溧水无想寺四照花园(119°2'53" N, 31°35'22" E)。种子用 500 mg/L 赤霉素浸泡 3 d 后, 与湿沙混合(种子与沙子的体积比为 1:3)进行低温(0℃~5℃)层积 60 d。2018 年 3 月 28 日将露白的种子进行点播, 采用无纺布袋容器(上下口径均为 8 cm、高 12 cm)育苗; 育苗基质为黄棕壤: 泥炭土: 蛭石=5:3:2。苗期常规管理。

2.2 方法

苗高、地径的测定 在生长期(2018 年 5 月 4 日~11 月 29 日)每种四照花选取生长相对一致的 72 株幼苗, 每 10 d 用钢卷尺测定苗高和用游标卡尺测量地径。

苗木生长曲线的拟合方程 Logistic 方程多用于植物生长曲线的拟合^[14-17]。该模型的拟合方程为: $y=k/[1+e^{(a-bx)}]$, 式中, y 为生长量; x 为生长时间; k 为生长终极量; a 、 b 为待定常数。对 Logistic 方程求一阶导数可得连日生长量曲线方程: $dy/dt=abke^{-bt}/(1+ae^{-bt})^2$, 求导可得: $d^2y/dt^2=ab^2ke^{-bt}(1-ae^{-bt})/(1+ae^{-bt})^2$, 令 $d^2y/dt^2=0$, 求得连日生长量最大时间为: $t=(\ln a)/b$ 。对连日生长量曲线方程求三阶导数, 可以求出苗木生长变化速度曲线的左拐点 t_1 和右拐点 t_2 , $t_1 \sim t_2$ 即为速生期^[14], $t_1=\ln(a/3.733205)/b$, $t_2=\ln(a/0.26795)/b$, t 表示连日生长最大的时间, t_1 、 t_2 是连日生长量变化速率最快的 2 个点, t_1 、 t_2 分别作为划分生长初期与生长盛期的分界点和生长盛期与生长后期的分界点^[14]。

2.3 数据分析

利用 MATLAB 的 Curve Fitting 对 3 种四照花

的苗高和地径生长曲线进行拟合。

3 结果和分析

3.1 苗高生长规律

年生长动态拟合 记录从 5 月 4 日开始, 到 11 月 29 日结束为止。大花四照花、香港四照花和东京四照花的苗高分别为 21~43、17~45 和 17~45 cm, 平均为 31、27 和 27 cm。播种后, 生长初期幼苗苗高生长量较小; 6 月上旬开始, 苗高生长开始加快, 7

月中旬出现高峰, 此后生长速度逐渐降低, 直到 8 月底 9 月初苗高生长变缓, 11 月底生长停止。3 种四照花的苗高生长均呈现出“慢-快-慢”的生长节律; 大花四照花的 1 a 生苗高生长量大于 2 种常绿四照花; 而香港四照花和东京四照花的生长量相似(图 1)。利用 MATLAB 对 3 种四照花的苗高生长进行拟合(图 1, 表 1), 可见, 3 种四照花的苗高生长节律表现出相似的变化趋势。四照花实测苗高与 Logistic 方程拟合程度较高, 方程回归检验均达极显著水平 ($P<0.01$), 可真实反映四照花的苗高实际生长规律。

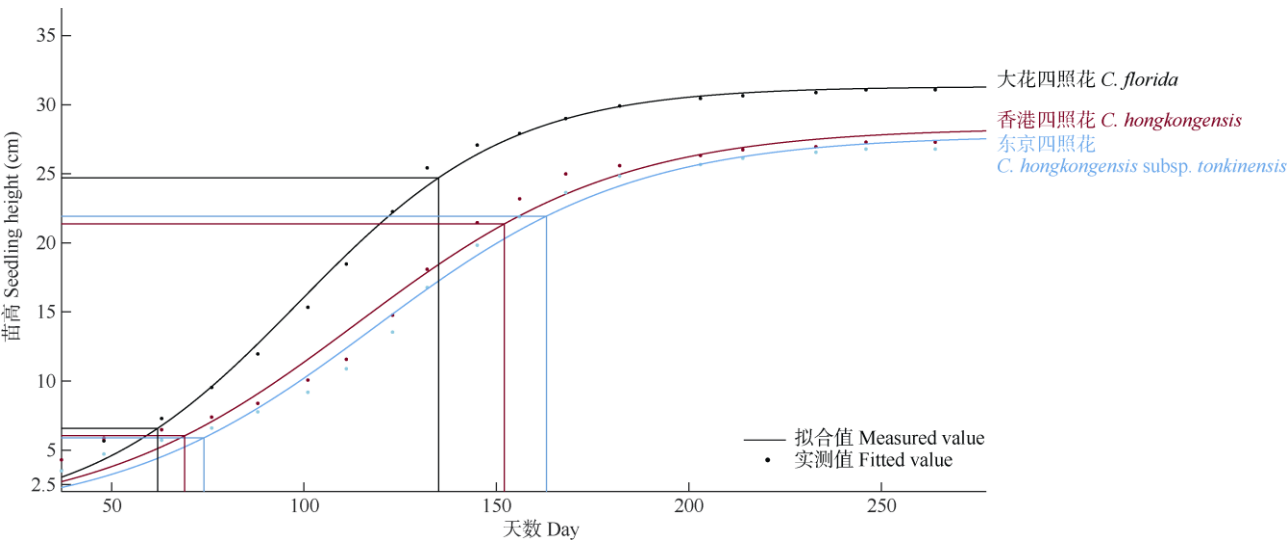


图 1 四照花苗高生长量的 Logistic 拟合曲线
Fig. 1 Logistic fitting curves of height growth of *Cornus* seedlings

表 1 3 种四照花苗高生长的 Logistic 方程

Table 1 Logistic equations of height of three *Cornus* seedlings

植物 Species	R^2	方程 Equation	F	P
大花四照花 <i>C. florida</i>	0.997	$y = 31.32 / (1 + e^{3.569 - 0.03621x})$	4 991.311 4	0.000
香港四照花 <i>C. hongkongensis</i>	0.984	$y = 28.34 / (1 + e^{3.324 - 0.02924x})$	1 107.938 5	0.000
东京四照花 <i>C. hongkongensis</i> subsp. <i>tonkinensis</i>	0.990	$y = 27.78 / (1 + e^{3.503 - 0.0296x})$	1 775.953 3	0.000

苗高生长阶段的划分 经过计算, 大花四照花的 $t=98$, $t_1=62$, $t_2=135$; 香港四照花的 $t=114$, $t_1=69$, $t_2=152$; 东京四照花 $t=118$, $t_1=74$, $t_2=163$ 。以 3 月 28 日播种为计算起点, 大花四照花苗高生长的理论速生始点和速生终点分别为 5 月 30 日和 8 月 10 日, 速生期持续时间为 73 d, 连日生长量最大的日期为 7 月 4 日(表 2); 香港四照花的理论速生始点和速生终点分别为 6 月 6 日和 8 月 27 日, 速生期持续时间为 83 d, 连日生长量最大的日期为 7

月 20 日; 东京四照花的理论速生始点和速生终点分别为 6 月 11 日和 9 月 7 日, 速生期持续时间为 89 d, 连日生长量最大的日期为 7 月 24 日。大花四照花速生期早于 2 种东亚类四照花, 而速生期持续时间则短于后两者。

生长初期的划分因为前期没有实测数据, 根据拟合曲线的趋势划分。根据 Logistic 曲线, 四照花的苗高年生长过程可划分为生长初期、生长盛期和生长后期 3 个阶段(表 2)。可见, 大花四照花的总生

表 2 四照花苗高生长时期的划分和生长量

Table 2 Height growth of three *Cornus* seedlings

植物 Species	生长阶段 Growth stage	时间 Date (M/D)	持续时间 Duration time		净生长量 Net growth (cm)	
			天数 Day	%	生长量 Growth	%
大花四照花 <i>C. florida</i>	初期 Initial	4/26–5/29	34	13.82	4.32	13.91
	盛期 Fast	5/30–8/10	73	29.67	18.13	58.34
	后期 Later	8/11–11/16	98	45.12	6.37	20.49
香港四照花 <i>C. hongkongensis</i>	初期 Initial	4/26–6/05	41	16.67	3.90	14.05
	盛期 Fast	6/06–8/27	83	33.74	15.33	55.23
	后期 Later	8/29–11/29	94	38.21	6.39	23.02
东京四照花 <i>C. hongkongensis</i> subsp. <i>tonkinensis</i>	初期 Initial	4/26–6/10	46	18.70	4.10	15.09
	盛期 Fast	6/11–9/07	89	36.18	16.04	59.06
	后期 Later	9/08–11/29	83	33.74	5.23	19.25

长期最短，但其生长量是 3 种四照花中最大的，达 31 cm。大花四照花的初期阶段最短(34 d)，但其净生长量最大。苗木生长盛期持续时间一般较长，生长量也较大；相较于香港四照花和东京四照花，大花四照花进入生长盛期最早且持续时间最短，但其净生长量最大；香港四照花和东京四照花生长盛期的持续时间和生长量相近。苗木进入生长后期时，高生长逐渐减缓甚至停止，此阶段大花四照花结束时间最早，香港四照花和东京四照花结束时间相同。生长初期和盛期持续时间依次为大花四照花<香港四照花<东京四照花，说明 2 种常绿四照花生长持续时间长于落叶的大花四照花。

3.2 地径的生长规律

年生长动态曲线拟合 地径的记录从 6 月 12 日开始，直到 11 月 29 日生长结束为止。大花四照

花、香港四照花和东京四照花的地径分别为 2.5~6.0、2.0~5.0 和 2.0~5.0 mm，平均地径生长量分别为 4.5、4.0 和 3.5 mm。根据拟合曲线和观测，5 月中旬以后，地径生长开始加快；7 月上旬出现高峰，此后生长量逐渐减小，直到 8 月底地径生长变缓。可见，地径生长呈现出“慢-快-慢”的生长节律(图 2)。从利用 MATLAB 拟合的地径生长量 Logistic 生长曲线(图 2，表 3)可见，3 种四照花的地径生长节律表现出相似的变化趋势。四照花地径拟合的 Logistic 方程的回归检验均达极显著水平($P<0.01$)，说明利用 Logistic 拟合曲线与实测值间的符合程度较高，可真实反映四照花的地径实际生长规律。

生长阶段的划分 根据 Logistic 曲线将四照花地径生长划分为 3 个阶段：初期、盛期和后期。大花四照花地径生长的理论速生起始点和速生终点分别为 5 月 14 日和 8 月 22 日，速生期持续 101 d，

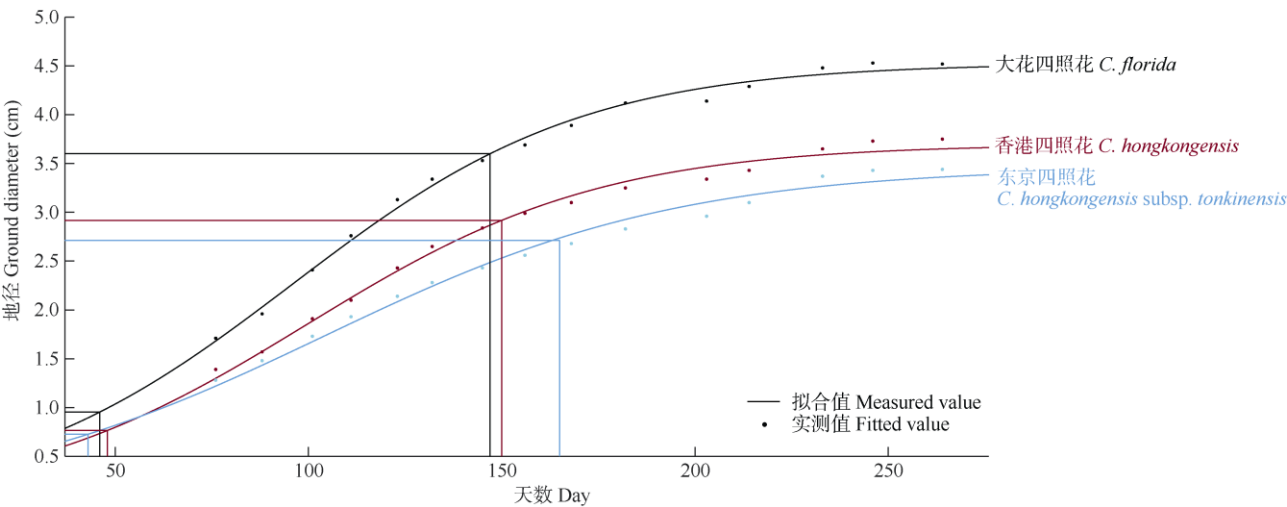


图 2 3 种四照花地径生长量的 Logistic 拟合曲线
Fig. 2 Logistic fitting curves of ground diameter for three *Cornus* seedlings

表 3 3 种四照花地径生长的 Logistic 模型分析

Table 3 Logistic equations of ground diameter for three *Cornus* seedlings

植物 Species	R^2	方程 Equation	F	P
大花四照花 <i>C. florida</i>	0.995	$y=4.53/(1+e^{2.541-0.0265x})$	1 737.647 5	0.000
香港四照花 <i>C. hongkongensis</i>	0.990	$y=3.7/(1+e^{2.597-0.02609x})$	1 483.252 1	0.000
东京四照花 <i>C. hongkongensis</i> subsp. <i>tonkinensi</i>	0.995	$y=3.466/(1+e^{2.262-0.02173x})$	799.579 1	0.000

表 4 3 种四照花地径生长时期的划分及生长情况比较

Table 4 Ground diameter growth of three *Cornus* seedlings

植物 Species	生长阶段 Growth stage	时间 Date (M/D)	持续时间 Duration days		净生长量 Net growth (mm)		
			天数 Day	%	生长量 Growth		%
大花四照花 <i>C. florida</i>	初期 Initial	4/26–5/13	18	7.32	0.31		6.98
	盛期 Fast	5/14–8/22	101	41.06	2.65		59.53
	后期 Later	8/23–11/29	99	40.24	0.85		19.03
香港四照花 <i>C. hongkongensis</i>	初期 Initial	4/26–5/15	20	8.13	0.27		7.44
	盛期 Fast	5/16–8/25	102	41.46	2.15		59.46
	后期 Later	8/26–11/29	96	39.02	0.70		19.41
东京四照花 <i>C. hongkongensis</i> subsp. <i>tonkinensi</i>	初期 Initial	4/26–5/10	15	6.10	0.17		5.12
	盛期 Fast	5/11–9/17	122	49.59	2.01		60.71
	后期 Later	9/18–11/29	81	32.93	0.58		17.37

日生长量最大为 7 月 2 日；香港四照花的理论速生起始点和速生终点分别为 5 月 16 日和 8 月 25 日，速生期持续 102 d，日生长量最大为 7 月 5 日；东京四照花的理论速生起始点和速生终点分别为 5 月 11 日和 9 月 17 日，速生期持续 122 d，日生长量最大为 7 月 10 日。从表 4 可见，3 种四照花的生长初期持续时间和生长量相近；大花四照花地径生长盛期持续时间最短、生长量最大，香港四照花比东京四照花生长盛期持续时间短 20 d，但生长量相近。

4 结论和讨论

4.1 四照花类树种的年生长特点

根据 Logistic 模型分析，3 种 1 a 生四照花的苗高和地径年生长均呈现“S”型曲线，表现出“慢-快-慢”的生长节律；生长阶段可分为初期、盛期和后期。这种年生长规律不仅与同属的狭叶四照花和中国四照花的生长节律一致^[13–14]，也与多种阔叶树种的年生长规律相似，如青檀(*Pteroceltis tatarinowii*)^[18]、黄连木(*Pistacia chinensis*)^[19]等；一些针叶树种如云南松(*Pinus yunnanensis*)和赤松(*P. densiflora*)也出现了类似的生长节律^[20–21]。

无论是苗高还是地径，大花四照花的年生长积累均高于东亚类的 2 种四照花，但其年生长周期却

相对较短。一方面大花四照花是落叶树种，其原生境是美国路易斯安那州，属亚热带季风性湿润气候，生长启动早，结束也早；另一方面是其叶表面积(202~290 cm²)约是东亚类的东京四照花(42~62 cm²)的 5 倍，且其净光合速率[7.5 μmol/(m²·s)]是东京四照花[5 μmol/(m²·s)]的 1.5 倍(未发表)，可见大花四照花的光合效率较高。

四照花是小乔木，年生长量积累与一般小乔木的生长量相似，如紫玉兰(*Magnolia liliiflora*，苗高 24 cm、地径 7.5 mm)、八棱海棠(*Malus robusta*，苗高 45 cm)、云南紫薇(*Lagerstroemia intermedia*，苗高 28 cm、地径 6.0 mm)，但远低于速生树种大乔木，如杨树(*Populus nigra*，苗高 330~400 cm、地径 30~40 mm)，说明四照花不是速生树种。

4.2 落叶和常绿树种生长节律的差异

同一地区，落叶树种的生长启动和结束往往早于常绿树种^[22]。不同生境下常绿树种以维持生长、延长叶片寿命为适应策略，而落叶树种表现为提高资源利用效率^[23]。这在四照花属树种中得到很好的验证，即落叶类大花四照花的生长启动要早于常绿类香港四照花和东京四照花；这种现象也出现在落叶树柚木(*Tectona grandis*)和喜树(*Camptotheca acuminata*)上，这 2 种树在秋季生长量显著下降，而同一时期常绿树火烧花(*Mayodendron igeum*)仍有较

大的增长^[24]。

4.3 异速生长与苗期管理

具 Logistic 生长节律的树种常表现为生长盛期的生长速度快, 生长量大^[25], 其生长盛期生长量占年生长量的 50%以上。四照花也表现出相似的生长节律, 苗高生长盛期持续时间约占整个生长期的 29.67%~36.18%, 盛期生长量占生长总量的 55.23%~59.09%; 地径生长盛期持续时间占整个生长期的 41.06%~49.59%, 生长量占 59.46%~60.7%。

一般树种的生长盛期表现出苗高生长普遍早于地径生长的规律^[26], 但 3 种四照花 1 a 生实生苗生长盛期均表现出地径生长比苗高开始早, 结束迟, 持续时间长, 呈现出异速生长现象。这是由于四照花幼苗的地径生长进入生长盛期的时间早于苗高, 地径生长迅速时, 苗高的生长则相对缓慢, 反映出苗木在不同时期有不同的“生长中心”, 以保证光合产物的重点分配, 确保各器官的均衡生长^[27], 这与黄连木的生长节律^[19]一致。大多数树种均表现出苗高生长盛期的持续时间比地径的短, 生长盛期苗高的生长速度较快, 而地径的增速相对缓慢^[20]。对大叶栎(*Castanopsis fissa*)、杨树(*Populus spp.*)等苗期生长的研究也表明, 苗高生长速生期的持续时间比地径的短 20~30 d^[28-29], 本研究也有相似的生长规律, 狭叶四照花和中国四照花也表现出相同的生长规律。

树木生长规律是其遗传特性与环境条件相适应的反映, 掌握了树木生长规律, 可以根据苗木生长过程中不同时期的生长特性进行科学管理, 加快树木生长^[30]。四照花生长初期叶面积小、抗逆性差, 因此需做好水肥管理(4~5 月); 生长盛期对四照花的苗高生长及地径生长起着关键作用, 而生长盛期也属于高温干旱的夏季, 因此需要加强水、肥管理。另外, 地径和苗高的生长盛期不处于同一个时间段, 因此夏季水肥管理的时间应适当延长(6~9 月); 10~11 月下旬四照花进入生长后期, 此时四照花处于硬化期, 应停止施肥, 做好水分管理。

参考文献

[1] YANG C H, WANG G, HOU N, et al. Study on the resources and utilization value of wild *Dendrobenthamia* plants in Guizhou Province [J]. Seed, 2013, 32(2): 61–62,66. doi: 10.3969/j.issn.1001-4705.2013.

02.017.

杨春华, 王港, 侯娜, 等. 贵州野生四照花属植物资源及利用价值研究 [J]. 种子, 2013, 32(2): 61–62,66. doi: 10.3969/j.issn.1001-4705.

2013.02.017.

[2] FU X X, XU J, LIU G H. Germplasm resources and their development and utilization of *Cornus* [J]. China For Sci Technol, 2015, 29(3): 1–6. doi: 10.13360/j.issn.1000-8101.2015.03.001.

狄香香, 徐杰, 刘国华. 观赏型四照花种质资源及其开发利用 [J]. 林业工程学报, 2015, 29(3): 1–6. doi: 10.13360/j.issn.1000-8101.2015.03.001.

[3] JENKINS M A, WHITE P S. *Cornus florida* L. mortality and understory composition changes in western great smoky mountains national park [J]. J Torrey Bot Soc, 2002, 129(3): 194–206. doi: 10.2307/3088770.

[4] HAN W D. Development and utilization of germplasm resources of dogwoods [J]. China Wild Plant Res, 1993(1): 37–40.

韩维栋. 四照花类群种质资源及其开发利用 [J]. 中国野生植物资源, 1993(1): 37–40.

[5] RUSHFORTH K. Trees of Britain and Europe [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1999: 231.

[6] CHEN X C, ZHANG Z G. Utilization and propagation technique of *Dendrobenthamia japonica* var. *chenesis* [J]. China For Sci Technol, 2003, 17(3): 50–51. doi: 10.3969/j.issn.1000-8101.2003.03.024.

陈西仓, 张振纲. 四照花的利用和繁育技术 [J]. 林业科技开发, 2003, 17(3): 50–51. doi: 10.3969/j.issn.1000-8101.2003.03.024.

[7] XIANG Q Y, BOOUFFORD D C. Flora of China, Vol. 14 [M]. Beijing: Science Press & St. Louis: Missouri Botanical Garden Press, 2005: 206–221.

[8] FANG W P, HU W G. Flora Reipublicae Popularis Sinicae, Tomus 56 [M]. Beijing: Science Press, 1993: 18.

方文培, 胡文光. 中国植物志, 第 56 卷 [M]. 北京: 科学出版社, 1993: 18.

[9] WITTE W T, WINDHAM M T, WINDHAM A S, et al. Dogwoods for American Gardens [M]. Tennessee: University of Tennessee, 2000: 8.

[10] FU X X, LIU H N, ZHOU X D, et al. Seed dormancy mechanism and dormancy breaking techniques for *Cornus kousa* var. *chinensis* [J]. Seed Sci Technol, 2013, 41(3): 458–463. doi: 10.15258/sst.2013.41.3.12.

[11] LU Q, XU J, FU X X, et al. Physiological and growth responses of two dogwoods to short-term drought stress and re-watering [J]. Acta Ecol Sin, 2020, 40(2): 172–177. doi: 10.1016/j.chnaes.2019.05.001.

- [12] LÜ X, ZHAO J Y. Cultivation and management techniques of *Cornus* [J]. Spec Econ Animal Plant, 2006, 9(6): 38. doi: 10.3969/j.issn.1001-4713.2006.06.032.
- 吕寻, 赵静英. 四照花的栽培与管理技术 [J]. 特种经济动植物, 2006, 9(6): 38. doi: 10.3969/j.issn.1001-4713.2006.06.032.
- [13] YI Y M, LI Y, AI X R, et al. Annual growth dynamics of one-year-old seedlings for *Dendrobenthamia angustata* [J]. Jiangsu Agric Sci, 2005 (5): 77–78, 119. doi: 10.3969/j.issn.1002-1302.2005.05.028.
- 易咏梅, 李艳, 艾训儒, 等. 狭叶四照花一年生播种苗年生长节律的初步研究 [J]. 江苏农业科学, 2005(5): 77–78, 119. doi: 10.3969/j.issn.1002-1302.2005.05.028.
- [14] HUO D, DENG L X, CHEN J Y, et al. Annual growth rhythm of *Cornus kousa* subsp. *chinensis* one-year-old seedling [J]. Seed, 2015, 34(3): 79–82. doi: 10.3969/j.issn.1001-4705.2015.03.022.
- 霍达, 邓伦秀, 陈景艳, 等. 四照花一年生播种苗年生长节律研究 [J]. 种子, 2005, 34(3): 79–82. doi: 10.3969/j.issn.1001-4705.2015.03.022.
- [15] YANG Y X, BIAN Y R, YAO X H. The selection of grey models for some tree species in seedling stage [J]. For Res, 1991, 4(2): 211–216.
- 杨耀仙, 卞尧荣, 姚小华. 林木苗期生长灰色模型的选择 [J]. 林业科学研究, 1991, 4(2): 211–216.
- [16] CHEN C C, CHEN C L. Studies on the growth and biomass dynamics of *Cunninghamia lanceolata* sowing plants [J]. J Fujian For Sci Technol, 1999, 26(3): 73–75.
- 陈春成, 陈彩聆. 杉木播种苗生长量和生物量动态研究 [J]. 福建林业科技, 1999, 26(3): 73–75.
- [17] LAI W S. Study on annual growth dynamics of one-year-old seedlings for *Ulmus elongata* [J]. J Nanjing For Univ (Nat Sci), 2001, 25(4): 57–60. doi: 10.3969/j.issn.1000-2006.2001.04.013.
- 赖文胜. 长序榆一年生播种苗的年生长规律 [J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2001, 25(4): 57–60. doi: 10.3969/j.issn.1000-2006.2001.04.013.
- [18] FU X X, FANG S Z, WANG H W, et al. Studies on annual growth dynamics of one-year seedlings of *Pteroceltis tatarinowii* [J]. J Nanjing For Univ (Nat Sci), 2001, 25(6): 11–14. doi: 10.3969/j.issn.1000-2006.2001.06.003.
- 洪香香, 方升佐, 汪红卫, 等. 青檀一年生播种苗的年生长规律 [J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2001, 25(6): 11–14. doi: 10.3969/j.issn.1000-2006.2001.06.003.
- [19] GUO H H, LIU Y, YAO F, et al. Seedling growth rhythm, biomass allocation and nutrient accumulation of *Pistacia chinensis* [J]. J CS Univ For Technol, 2018, 38(7): 71–75. doi: 10.14067/j.cnki.1673-923x.2018.07.012.
- 郭欢欢, 刘勇, 姚飞, 等. 黄连木苗期年生长节律、生物量分配及养分积累 [J]. 中南林业科技大学学报, 2018, 38(7): 71–75. doi: 10.14067/j.cnki.1673-923x.2018.07.012.
- [20] CAI N H, XU Y L, BAI Q S, et al. Annual seedling growth dynamic rhythm and variation of one-year *Pinus densata* among Populations [J]. J NE For Univ, 2013, 41(5): 11–15, 74. doi: 10.3969/j.issn.1000-5382.2013.05.003.
- 蔡年辉, 许玉兰, 白青松, 等. 不同种群高山松 1 年生播种苗木生长节律及其变异 [J]. 东北林业大学学报, 2013, 41(5): 11–15, 74. doi: 10.3969/j.issn.1000-5382.2013.05.003.
- [21] ZHANG J, YU L F, WANG Y C, et al. Relationship between growth rhythm and rainfall of *Pinus densiflora* [J]. Prot For Sci Technol, 2017 (11): 9–13, 16. doi: 10.13601/j.issn.1005-5215.2017.11.003.
- 张靖, 于凌飞, 王一辰, 等. 赤松生长节律与降雨量关系研究 [J]. 防护林科技, 2017(11): 9–13, 16. doi: 10.13601/j.issn.1005-5215.2017.11.003.
- [22] YANG L. Study on leaves phenology in spring of evergreen broad-leaved forest in Tiantong, Zhejiang [D]. Shanghai: East China Normal University, 2009: 1–85.
- 杨乐. 浙江天童常绿阔叶林植物春季叶物候研究 [D]. 上海: 华东师范大学, 2009: 1–85.
- [23] LIU W, LI D Z, JI Q Q, et al. Leaf nitrogen allocation of evergreen and deciduous broad-leaved tree species and their relationships with photosynthetic capacity in the two habitats [J]. Ecol Sci, 2015, 34(1): 1–8. doi: 10.3969/j.issn.1008-8873.2015.01.001.
- 刘微, 李德志, 纪倩倩, 等. 两种生境常绿和落叶树种叶片氮素分配及与光合能力的关系 [J]. 生态科学, 2015, 34(1): 1–8. doi: 10.3969/j.issn.1008-8873.2015.01.001.
- [24] CHEN Z H, ZHANG D M, GUO Z H. Diameter growth of three tree species in the lower subtropical climate [J]. Acta Ecol Sin, 1999, 19(6): 939–943.
- 陈章和, 张德明, 郭志华. 南亚热带气候下三种树木径向生长季节节律研究 [J]. 生态学报, 1999, 19(6): 939–943.
- [25] DU K, WANG J H, JIA Z R, et al. Variations of the seed and seedling growth of *Sophora moorcroftiana* from different provenances [J]. J NW For Univ, 2012, 27(4): 144–148. doi: 10.3969/j.issn.1001-7461.2012.04.27.
- 杜坤, 王军辉, 贾子瑞, 等. 不同种源砂生槐种子及幼苗生长变异

- 研究 [J]. 西北林学院学报, 2012, 27(4): 144–148. doi: 10.3969/j.issn.1001-7461.2012.04.27.
- [26] LI J H, XU Y L, DUAN A A, et al. Comparison of growth rhythm of one-year family seedlings of *Pinus yunnanensis* with different stem types [J]. Seed, 2019, 38(3): 67–72. doi: 10.16590/j.cnki.1001-4705.2019.03.067.
- 李建华, 许玉兰, 段安安, 等. 不同干型云南松子代一年生家系苗生长节律比较 [J]. 种子, 2019, 38(3): 67–72. doi: 10.16590/j.cnki.1001-4705.2019.03.067.
- [27] CAO J K, HUANG H, CHEN L. Study on growth performance of annual seedling of *Acer buergerianum* Miq. [J]. J Huangshan Univ, 2006, 8(3): 66–69. doi: 10.3969/j.issn.1672-447X.2006.03.025.
- 曹健康, 黄虹, 陈黎. 三角枫苗期生长特性的初步研究 [J]. 黄山学院学报, 2006, 8(3): 66–69. doi: 10.3969/j.issn.1672-447X.2006.03.025.
- [28] JIANG C P, SUN J J, SUI R G, et al. Study on growth regularity of new clones of *Populus aigeiros* (L35 et al.) in seedling stage [J]. J Shandong For Sci Technol, 2006(4): 23–24. doi: 10.3969/j.issn.1002-2724.2006.04.011.
- 姜成平, 孙家京, 隋日光, 等. L35 等黑杨新无性系苗期生长规律研究 [J]. 山东林业科技, 2006(4): 23–24. doi: 10.3969/j.issn.1002-2724.2006.04.011.
- [29] PANG S L, HUANG Z L, HAO H K, et al. Analysis on growth dynamics of *Castanopsis fissa* seedlings [J]. China For Sci Technol, 2011, 25(5): 36–39. doi: 10.3969/j.issn.1000-8101.2011.05.009.
- 庞世龙, 黄志玲, 郝海坤, 等. 大叶栎苗期生长模型及分析 [J]. 林业科技开发, 2011, 25(5): 36–39. doi: 10.3969/j.issn.1000-8101.2011.05.009.
- [30] WANG L L. Dynamic study on species height growth of evergreen broad-leaved trees of Tiantong in Zhejiang [D]. Nanjing: Nanjing Normal University, 2014: 1–52.
- 王林林. 浙江天童常绿阔叶树种高生长动态研究 [D]. 南京: 南京师范大学, 2014: 1–52.