

不同修枝方法对杨树人工林生长、光合叶面积和主干饱满度的影响

马永春¹, 余诚棋², 方升佐^{3*}

(1.安徽林业职业技术学院, 安徽 合肥 230088; 2.安徽省林业科技推广总站, 安徽 合肥 230088;
3.南京林业大学林学院, 江苏 南京 210037)

摘要:【目的】杨树是我国长江中下游平原地区种植面积最大、木材产量最高的速生工业用材树种之一, 如何在适地适无性系的基础上提高无节良材的出材率, 是生产中需要解决的关键技术问题。研究不同修枝方法对杨树人工林生长、光合叶面积和主干饱满度的影响, 旨在为杨树人工林的产量和质量提升提供依据。【方法】选择两种密度的无性系 I-69 杨人工林为研究对象, 设计 4 种修枝处理方法, 通过测量胸径、树高、枝下高、主干不同高度的直径、光合叶面积, 分析不同处理对杨树胸径年均生长量、树高年均生长量、枝下高、单株材积年均生长量、叶面积指数、不同高度主干分段饱满度变化的影响, 再用改进层次分析法对不同处理的修枝成效进行综合评价。【结果】3 年的研究表明, 两种密度的 I-69 杨林分对 4 种修枝方法的响应存在差异: 修枝处理 1(T1) 和处理 2(T2) 有利于株行距为 3 m×6 m 林分胸径、树高和单株材积的生长, 而对株行距为 6 m×6 m 的 I-69 杨林分生长的影响差异不显著; 与对照(T4) 相比, 修枝显著提高了林木枝下高, 并降低杨树单株叶面积和林分叶面积指数; 修枝对 I-69 杨主干不同高度区分段饱满度影响不显著, 但修枝处理 2 有利于提高两种密度林分主干的饱满度。【结论】综合评价分析得出, 采用处理 2 的修枝方法[第 1 年 4 月上旬不修枝, 第 2 年 3 月下旬修除冠层 I 的枝条(枝龄 4 a), 第 3 年 3 月下旬修除冠层 II 的枝条(枝龄 4 a)] 对 I-69 杨人工林的效果最好, 更有利于培育通直、饱满、无节的优质胶合板材。

关键词: 杨树人工林; 修枝方法; 主干饱满度; 叶面积指数

中图分类号: S757

文献标志码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):

文章编号: 1000-2006(2021)04-0137-06



Effects of pruning methods on growth, photosynthetic leaf area and plumpness of trunk segment in poplar plantations

MA Yongchun¹, SHE Chengqi², FANG Shengzuo^{3*}

(1. Anhui Vocational and Technical College of Forestry, Hefei 230088, China; 2. Anhui Extension Station of Forestry Science and Technology, Hefei 230088, China; 3. College of Forestry, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China)

Abstract: 【Objective】Poplar is one of the tree species with the highest yield, the largest planting areas and the most suitability in the middle and lower reaches of the Yangtze River of China. However, how to improve the plantation yield and wood quality is the key issue to be solved in the practices. 【Method】In this paper, the plantations of poplar clone I-69 (*Populus deltoides* cv. I-69/55) with planting spacings of 3 m × 6 m and 6 m × 6 m were taken as the research object, and four pruning treatments were designed. Based on the measurements of diameter at breast height (DBH), tree height, height under branch, trunk diameter at different height and photosynthetic leaves area, the effects of different treatments on the average annual growth of DBH, the average annual growth of tree height, the height under branch, the average annual growth of tree volume, the leaf area index and the plumpness of trunk segments at different height were analyzed, while the pruning effectiveness of different treatments was comprehensively evaluated using the improved analytic hierarchy process. 【Result】Based on the 3-year investigation, the results showed that the response of the two

收稿日期 Received: 2021-02-08

修回日期 Accepted: 2021-04-08

基金项目: 国家重点研发计划(2016YFD0600402)。

第一作者: 马永春(mayongchun1965@sina.com), 正高级工程师。* 通信作者: 方升佐(fangsz@njfu.edu.cn), 教授, ORCID(0000-0003-4370-4510)。

引文格式: 马永春, 余诚棋, 方升佐. 不同修枝方法对杨树人工林生长、光合叶面积和主干饱满度的影响[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2021, 45(4): 137-142. MA Y C, SHE C Q, FANG S Z. Effects of pruning methods on growth, photosynthetic leaf area and plumpness of trunk segment in poplar plantations[J]. Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition), 2021, 45(4): 137-142. DOI:10.12302/j.issn.1000-2006.202102013.

plantations with various planting spacings to the pruning treatments was different. Pruning treatments one and two could improve the plantation growth of DBH, tree height and tree volume in the $3\text{ m} \times 6\text{ m}$ spacing, whereas no significant effect on growth was observed among the 4 pruning treatments in the $6\text{ m} \times 6\text{ m}$ spacing. Compared with CK, pruning treatments significantly increased the height under branches, and decreased the leaf area and leaf area index. Although pruning treatments did not significantly affect the trunk plumpness, the pruning treatment two was favorable to the trunk plumpness for the plantations of two planting spacings.【Conclusion】In term of the comprehensive assesment, the pruning way of the treatment two would achieve the best effects for *P. deltoides* plantations, which is more beneficial to cultivating high quality plywood timber with straightness, large plumpness and no knots.

Keywords: poplar plantation; pruning method; trunk plumpness; leaf area index

杨树是世界中纬度平原地区栽培面积最大的树种之一,具有速生、优质、高产和适应性强等特点,特别是美洲黑杨(*Populus deltoides*)从20世纪70年代引种以来,我国通过杂交育种自主选育了一批适应长江中下游流域立地条件的南方型杨树品种^[1-2]。修枝是培育杨树人工林通直、饱满、无节良材的重要技术措施之一。目前国内外对杨树修枝的研究,主要是选择现有单一密度的杨树人工林,设置不同的修枝起始年龄、季节、强度等,分析不同处理对杨树生长量、主干尖削度的影响,得出的结论不尽相同^[3-4]。有学者从光响应曲线、光合特性的日变化等角度来探讨不同冠层光合作用的生理生态过程,以估算不同冠层的光合能力,为研制杨树修枝技术提供了科学的参考依据^[5]。然而,如何根据不同杨树人工林的冠层光合特性来制定科学的修枝方式并实现优质丰产仍然是生产实践中需要解决的问题。本研究以两种密度I-69杨人工林为研究对象,设计4种修枝处理,分析不同处理对不同密度杨树人工林胸径年均生长量、树高年均生长量、枝下高、单株材积年均生长量、不同高度主干分段饱满度的影响,并对不同处理的修枝成效进行综合评价,初步确定出最适宜的修枝处理方案,为制定科学的杨树修枝技术体系提供依据。

1 材料与方 法

1.1 试验地概况

试验地设在安徽省沿江平原区铜陵市(117°47'E, 30°57'N),属亚热带湿润季风气候,年日照时间2 123 h,年均气温16.2℃,年降水量1 217 mm,无霜期为241 d;土壤为沙壤土,全氮含量为0.934 g/kg、全磷含量为0.421 g/kg、全钾含量为0.559 g/kg。

1.2 供试材料及试验设计

选择已栽植3年的两种株行距配置($3\text{ m} \times 6\text{ m}$ 和 $6\text{ m} \times 6\text{ m}$)I-69杨(*Populus deltoides* cv. I-69/55)人工林为研究对象,3 m×6 m的I-69杨胸径、树高、枝下高均值依次为12.9 cm、9.7 m、2.5 m,6 m×6 m

的I-69杨胸径、树高、枝下高均值依次为13.1 cm、9.8 m、2.5 m。对每种株行距I-69杨人工林分别进行以下4种修枝处理(不同冠层示意图1),每个处理20~25株,设3个重复。修枝处理历时3 a。

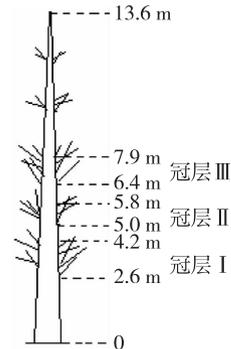


图1 5年生I-69杨不同冠层枝条的分布示意

Fig.1 Diagrammatic sketch of distribution of branches in different canopy layers of poplar clone I-69

处理1(T1):第1年4月上旬修除冠层I的枝条(即林木主干顶端在造林第1年所生的枝条,枝龄3 a);第2年3月下旬修除冠层II的枝条(即林木主干顶端在造林第2年所生的枝条,枝龄3 a);第3年3月下旬修除冠层III的枝条(即林木主干顶端在造林第3年所生的枝条,枝龄3 a)。

处理2(T2):第1年4月上旬不修枝;第2年3月下旬修除冠层I的枝条(枝龄4年);第3年3月下旬修除冠层II的枝条(枝龄4 a)。

处理3(T3):第1年4月上旬、第2年3月下旬、第3年3月下旬,分别修除树高1/3以下的枝条。

处理4(T4):各处理时间均不修枝。

1.3 指标测定

1)生长量测定。每年底采用直径卷尺测量4个处理内杨树的胸径;在此基础上,根据《南方型杨树一元材积表》^[6]推算出I-69杨单株材积。

按照标准木原则,每年底对每个处理各选10株I-69杨,用Nikon Forestry 550测高测距仪测量树高,用伸缩式测高杆测量枝下高,用搭梯方式和

直径卷尺测量主干下部不同高度处(距地面 0.02、2.0、4.0 m 处)的主干直径。

2) 叶面积测定。于修枝处理后第3年9月,从4个处理内各选择3株 I-69 杨标准木伐倒。在每株标准木上随机取30片树叶,用便携式叶面积仪测量单叶面积,并称量这30片树叶的鲜质量,3次重复。各区分段叶面积为该区分段叶片鲜质量与30片树叶鲜质量的比值乘以该标准木30片树叶总面积;单株叶面积为各区分段叶面积之和。

1.4 数据分析

1) 主干分段饱满度(T_r)。对干形质量的评定指标一般用尖削度,但尖削度有多种含义,在使用中容易产生歧义。本研究提出了主干分段饱满度的概念,即树木一定长度的某段主干的上端直径占下端直径的百分比,饱满度越大,加工出材率越高,经济价值也越高。

$$T_r = \frac{D_T}{D_B} \times 100\%$$

式中: D_T 为某段主干上端直径, D_B 为该段主干的下端直径,一般以2m为区分段长度。

2) 叶面积指数(LAI,式中记为 I_{LAI})。叶面积指数是指单位林地面积上植物叶片总面积占该单位林地面积的倍数。 I_{LAI} =叶片总面积/林地面积。

3) 综合评价。采用改进层次分析法的综合评价模型^[7]来评价杨树不同修枝处理效果,具体步骤为:

①建立各评价指标的隶属度矩阵。根据在一

定范围内评价指标的关系函数,即隶属度函数,计算各个评价指标的隶属度值。隶属度函数为: $f(x) = 0.9(x - x_{min}) / (x_{max} - x_{min}) + 0.1$ 。式中, x_{min} 和 x_{max} 分别为评价指标的最小值和最大值。

②各评价指标权重的确定。采用各评价指标的样本标准差,构建判断矩阵,根据矩阵求出最大特征根所对应的特征向量,所求特征向量即为各评价因素重要性排序,即权数分配。

③判断矩阵的一致性检验。利用公式 $C_R = C_I / R_I$ 来检验判断矩阵的一致性,其中 $C_I = (\lambda_{max} - n) / (n - 1)$, R_I 为平均随机一致性指标,取值决定于矩阵的阶数(1~11阶判断矩阵的 R_I 值依次为0,0,0.58,0.90,1.12,1.24,1.32,1.41,1.45,1.49,1.52); C_R 为一致性指标,如果 $C_R < 0.10$,表明满足判断矩阵的一致性要求^[7]。

④综合评价模型。从隶属度函数得到各个指标在不同采样点的标准化转换值,并结合权重,即可建立杨树不同修枝处理成效的综合评价模型。

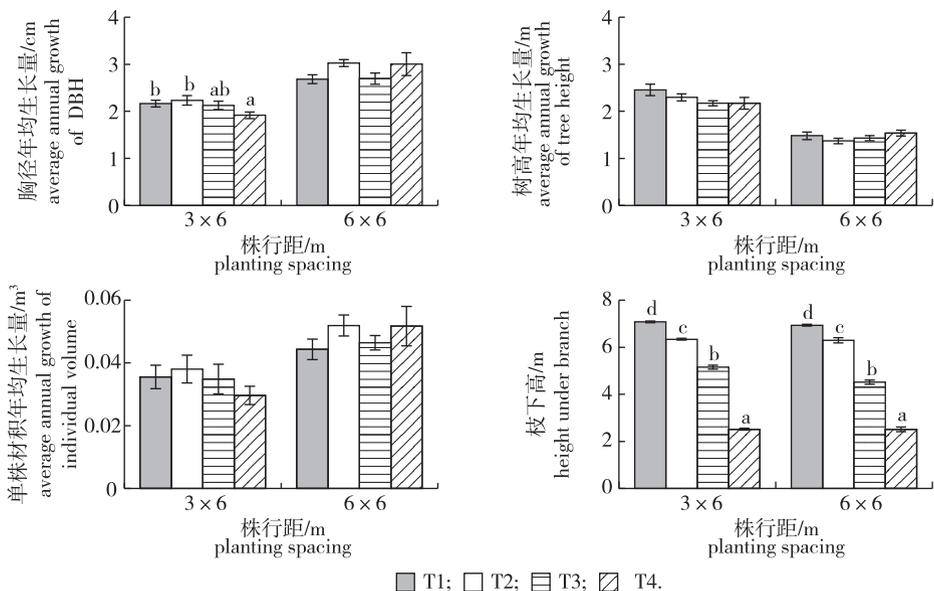
用SPSS 13.0和Excel程序对各指标进行方差分析、Duncan多重比较和综合评价。

2 结果与分析

2.1 不同修枝处理对林分生长量的影响

2.1.1 胸径年均生长量

对株行距为3m×6m的I-69杨林分来说,T1、T2、T3与T4的胸径年均生长量(图2)达到显



不同小写字母表示同一密度不同修枝处理间显著差异($P < 0.05$)。下同。Different lowercase letters in the same planting spacing indicate significant differences among pruning treatments ($P < 0.05$). The same below.

图2 不同修枝处理下I-69杨的胸径、树高、单株材积年均生长量及枝下高

Fig.2 Average annual growth of diameter at breast height, tree height, individual trunk volume, and height under branches for different pruning treatments of poplar clone I-69

著差异,3种修枝处理的胸径生长量都高于T4,增幅分别为13.2%、18.4%、10.5%。修枝处理对株行距6 m×6 m的I-69杨林分胸径年均生长量无显著影响,但T1、T3的胸径生长量年均值低于T4,而T2则略高于T4。

2.1.2 树高年均生长量

同一株行距的I-69杨树高年均生长量在不同处理间差异均未达到显著水平(图2)。4种处理下株行距3 m×6 m的I-69杨其树高年均生长量分别为2.45、2.30、2.15、2.15 m, T1、T2的树高生长量大于T4,增幅分别为14.0%、7.0%, T3与T4持平,表明I-69杨在较高密度条件下及时修除下部枝条,有利于树高的生长。4种处理株行距6 m×6 m下的I-69杨树高年均生长量分别为1.50、1.35、1.45、1.55 m, 3种修枝处理的树高生长量都小于未修枝处理,其中T2下降最多(12.9%),表明I-69杨在较低密度条件下较早进行修枝可能不利于树高的生长。

2.1.3 单株材积年均生长量

株行距3 m×6 m的I-69杨林分中4种处理的单株材积年均生长量未达到显著差异(图2), 3种修枝处理的单株材积年均生长量略高于未修枝处理,增幅分别为19.9%、28.3%、17.5%,其中以T2效果最好。株行距6 m×6 m的I-69杨4种处理的单株材积年均生长量分别为0.044 3、0.051 9、0.046 5、0.051 8 m³, T1、T3的单株材积生长量分别比T4低14.5%、10.2%,而T2与T4持平,表明在

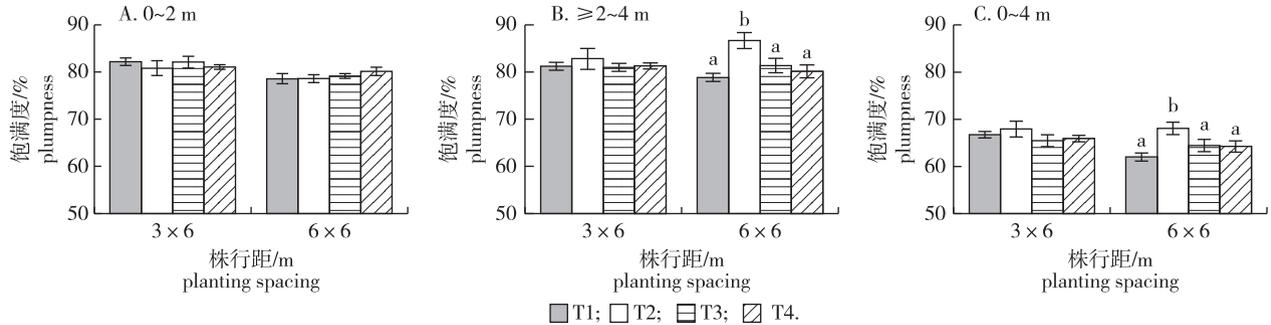


图3 不同修枝处理I-69杨主干0~2、≥2~4及0~4 m段饱满度

Fig.3 Plumpness of 0~2, ≥2~4 and 0~4 m trunk segment for different pruning treatments of poplar clone I-69 plantations

由图3可以看出,在株行距为3 m×6 m的林分中,不同修枝处理对主干饱满度影响不显著,如0~2 m段主干的饱满度分别为T1的82.2%、T2的80.8%、T3的82.1%、T4的81.1%,表明T1、T3更有利于提高I-69杨0~2 m段主干的饱满度。但在株行距6 m×6 m的I-69杨林分中除0~2 m段主干的饱满度差异不显著外,不同修枝处理显著影响0~4 m段主干饱满度。如0~4 m段主干的饱满

度分别为T1的62.0%、T2的68.1%、T3的64.4%、T4的64.2%,表明T1不利于提高I-69杨0~4 m段主干的饱满度,而T2有利于提高I-69杨0~4 m段主干的饱满度。

2.2 不同修枝处理对林分枝下高和叶面积的影响

I-69杨枝下高的变化主要受修枝方法与强度的控制,株行距3 m×6 m的I-69经杨T1、T2、T3、T4处理下枝下高分别达到7.1、6.3、5.2、2.5 m,株行距6 m×6 m的I-69杨T1、T2、T3、T4的枝下高分别达到6.9、6.3、4.5、2.5 m,两种株行距的I-69杨枝下高均达到显著差异(图2)。

I-69杨叶面积指数存在差异(表1)。I-69杨叶面积指数随着密度的增大而增大,修枝后降低了叶面积指数,但其降幅因不同修枝处理而存在差异,株行距3 m×6 m和6 m×6 m的I-69杨叶面积指数最大降幅分别为1.03、0.30。

表1 不同修枝处理下各株行距I-69的杨叶面积指数
Table 1 Leaf area index of different pruning treatments of poplar clone I-69 plantations

处理 treatment	3 m×6 m	6 m×6 m
T1	3.36	2.26
T2	3.88	2.09
T3	4.27	2.51
T4	4.39	2.56

2.3 不同修枝处理对林分主干饱满度的影响

不同修枝处理对林分主干饱满度的影响见图3。

度分别为T1的62.0%、T2的68.1%、T3的64.4%、T4的64.2%,表明T1不利于提高I-69杨0~4 m段主干的饱满度,而T2有利于提高I-69杨0~4 m段主干的饱满度。

2.4 不同修枝处理成效的综合评价

以胸径年均生长量(ΔD)、树高年均生长量(ΔH)、材积年均生长量(ΔV)、枝下高(Z)、主干0~2 m段饱满度(T_{11})、主干≥2~4 m段饱满度

(T_{r2})、主干0~4 m段饱满度(T_{r0})、叶面积指数(I_{LAI})为评价指标,采用改进层次分析法对I-69杨不同修枝处理成效进行综合评价。

首先利用各评价指标的标准差,构建出判断矩阵,如下:

$$B_{8 \times 8} = \begin{bmatrix} T_{r2} & T_{r0} & Z & T_{r1} & I_{LAI} & \Delta H & \Delta D & \Delta V \\ 1.000 & 1.951 & 2.617 & 3.993 & 5.808 & 7.473 & 7.555 & 9.000 \\ 0.513 & 1.000 & 1.666 & 3.043 & 4.857 & 6.523 & 6.605 & 8.049 \\ 0.382 & 0.600 & 1.000 & 2.377 & 4.191 & 5.856 & 5.939 & 7.383 \\ 0.250 & 0.329 & 0.421 & 1.000 & 2.815 & 4.480 & 4.562 & 6.007 \\ 0.172 & 0.206 & 0.239 & 0.355 & 1.000 & 2.665 & 2.747 & 4.192 \\ 0.134 & 0.153 & 0.171 & 0.223 & 0.375 & 1.000 & 1.082 & 2.527 \\ 0.132 & 0.151 & 0.168 & 0.219 & 0.364 & 0.924 & 1.000 & 2.445 \\ 0.111 & 0.124 & 0.135 & 0.166 & 0.239 & 0.396 & 0.409 & 1.000 \end{bmatrix}$$

根据矩阵 $B_{8 \times 8}$,求出最大特征根所对应的特征向量, $W = (0.325, 0.234, 0.182, 0.112, 0.061, 0.034, 0.033, 0.020)$ 。再利用公式 $C_R = C_1/R_1$ 来检验判断矩阵 B 的一致性,经计算得到 C_1 为0.048,查表得 R_1 为1.41,进一步计算得到 C_R 为0.034<0.10,满足判断矩阵的一致性要求。因此,得到的特征向量可作为这8个评价指标的权重值,对应的指标依次为 T_{r2} 、 T_{r0} 、 Z 、 T_{r1} 、 I_{LAI} 、 ΔH 、 ΔD 、 ΔV 。

根据公式和评价指标的权重值,计算I-69杨不同修枝处理成效质量指数(Q_1)。从表2可知,4种处理对株行距3 m×6 m的I-69杨修枝成效从优到劣依次为T2、T1、T3、T4;而对株行距6 m×6 m的I-69杨修枝成效从优到劣依次为T2、T3、T4、T1。因此,建议采用T2的修枝方案对I-69杨进行修枝,以达到预期的培育目标。

表2 各株行距I-69杨不同修枝处理成效质量指数(Q_1)

Table 2 Values of effect quality indicators (Q_1) for different pruning treatments of poplar clone I-69 plantations

处理 treatment	3 m×6 m	6 m×6 m
T1	0.689	0.298
T2	0.739	0.787
T3	0.577	0.413
T4	0.472	0.331

3 讨论

3年的研究表明,两种株行距的I-69杨林分对4种修枝方法的响应存在差异。总体看,修枝T1和T2有利于株行距为3 m×6 m林分的胸径、树高和单株材积的生长;而对株行距为6 m×6

m林分而言,不同修枝方法对林分生长的影响差异不显著。与对照(T4)相比,修枝显著提高了林木枝下高,并降低杨树单株叶面积和林分叶面积指数。修枝对I-69杨主干不同高度区分段饱满度影响不显著,但修枝T2有利于提高两种密度林分主干的饱满度。采用改进层次分析法对I-69杨不同修枝处理的成效进行综合评价后表明,各处理修枝成效略有差异,其中采用T2的修枝方案对I-69杨进行修枝的效果最好,更有利于达到培育通直、饱满、无节良材的预期目标。

关于修枝方法和修枝强度对林木生长量的影响,前人已做了相关研究。方升佐等^[8]研究了不同修枝强度(修枝高度至主干高度的1/3、1/2,不修枝作为对照)对I-69杨人工林生长的影响,结果表明修枝处理4 a后,与对照相比,两种修枝强度的平均胸径和平均单株材积都略有下降。Desrochers等^[9]对4个杨树杂交无性系分别进行修枝1/3冠幅、修枝2/3冠幅、不修枝3种处理,结果发现修枝2/3冠幅的萌蘖枝生物量是修枝1/3冠幅的2.1倍;在1~2个生长季后,修枝1/3冠幅的树高比未修枝小约2%,胸径几乎没有变化;修枝2/3冠幅的树高比未修枝的小3%~5%、胸径小4%~8%。本研究采取年龄轮生枝法(修去达到一定年龄的枝条)对I-69杨进行修枝,结果表明:修枝有利于较高密度I-69杨的胸径和单株材积的生长;而对较低密度I-69杨林分而言,连续2 a修除3年生枝条或树高1/3以下枝条,不利于胸径和单株材积的生长,修除4年生枝条对胸径和单株材积生长影响较小。王天石^[10]对I-72杨(4 m×4 m)采取年龄轮生枝法(连续4 a修除枝龄达到5 a的枝条)、冠高比法(连续4 a修枝至树高的1/3)和不修枝(对照)3种修枝处理试验,调查结果表明:年龄轮生枝法处理下4 a的胸径净生长量为7.39 cm、单株活立木蓄积净生长量为0.16 m³,分别比冠高比法处理的提高20.4%和25.7%;比不修枝的提高89.5%和121.9%,二者都存在显著差异($P < 0.05$)。由此可以推测,对不同密度的杨树人工林采取不同的修枝方法、起始年龄与修枝强度,对胸径和单株材积生长量的影响不一致,采用年龄轮生枝法修去枝龄达到4~5 a的枝条(冠层)比冠高比法修枝的效果更好。

邱贵福等^[11]研究了侧枝直径粗度与主干直径生长及圆满度的关系。结果表明,毛白杨不同粗度的侧枝与主干直径的关系显著($R=0.764$),即侧枝越粗对主干抑制作用越大,尖削度越大,反之也成

立;各轮侧枝的个数对主干的影响极显著($R = 0.982$);在不同树高的情况下,侧枝与主干的关系表现出随树高的增长侧枝对主干的抑制作用越大的趋势。马丙尧等^[12]研究修枝对杨树相对削度[指树干上各个部位的直径与某一固定部位直径(通常为胸径)之差与该固定部位直径相比的百分数]的影响表明,修枝增大了林木相对削度增量,减小了木材的尖削度,使得树干圆满通直,明显提高木材的出材率。由于树干尖削度有不同的含义,在使用中容易产生歧义,并且由于无节胶合板材主要取自于主干下部,所以本研究中提出了主干分段饱满度的概念。与未修枝处理相比,T2有利于提高1-69 杨 $\geq 2 \sim 4$ m,0~4 m段的主干饱满度,其中对高密度林分影响不显著,对低密度林分影响显著。

Maurin 等^[13]对杨树修枝时发现,修枝增加了剩余叶片的净光合速率、叶片氮浓度,减少了根的非结构性碳水化合物总量。与未修枝树相比,修枝树的碳同位素比值减少,说明修枝后树木有更大的气孔导度,可以提高其抗旱能力。马丙尧等^[12]也发现不同冠层杨树叶片光合速率的差异达显著水平,叶片光合速率自下而上有逐渐增加的趋势,最下层叶片的光合速率为负值,说明该层次的叶片主要以消耗为主,杨树主要靠上部叶片产生光合产物。本研究结果表明,修枝虽会降低杨树单株叶面积和叶面积指数,但有利于培育通直、饱满、无节的杨树良材。

参考文献(reference):

- [1] 吕义,刘扬,方升佐,等.南方型杨树无性系间生长性状和木材材性的遗传差异[J].南京林业大学学报(自然科学版),2018,42(6):20-26.LÜ Y,LIU Y,FANG S Z,et al.Genetic variation in growth and wood properties for southern type poplar clones[J].J Nanjing For Univ (Nat Sci Ed),2018,42(6):20-26. DOI:10.3969/j.issn.1000-2006.201804024.
- [2] ZHANG Y H,TIAN Y,DING S H,et al.Growth,carbon storage,and optimal rotation in poplar plantations;a case study on clone and planting spacing effects[J].Forests,2020,11(8):842. DOI:10.3390/f11080842.
- [3] 张秀秀,曹帮华,张晓文,等.杨树修枝理论和技术研究进展[J].河北林果研究,2010,25(3):235-239.ZHANG X X,CAO B H,ZHANG X W,et al.Progress in research on theory and technology of poplar pruning[J].Hebei J For Orchard Res,2010,25(3):235-239. DOI:10.3969/j.issn.1007-4961.2010.03.004.
- [4] 郭斌.杨树修枝技术研究进展[J].山西林业科技,2018,47(4):29-31,55.GUO B.Research progress of pruning technology of poplar[J].Shanxi For Sci Technol,2018,47(4):29-31,55.

DOI:10.3969/j.issn.1007-726X.2018.04.010.

- [5] 马永春,方升佐.欧美杨107不同冠层光合特性的研究[J].南京林业大学学报(自然科学版),2011,35(4):39-42.MA Y C,FANG S Z.Research on photosynthesis characteristics in different canopy layers of poplar clone 107 (*Populus × euramericana* cv.Neva)[J].J Nanjing For Univ (Nat Sci Ed),2011,35(4):39-42. DOI:10.3969/j.issn.1000-2006.2011.04.008.
- [6] 夏丰昌.河南省欧美杨立木材积表的编制研究[J].河南林业科技,2006,26(2):1-3.XIA F C.Construction of volume tables of Euro-American poplar in Henan Province[J].J Henan For Sci Technol,2006,26(2):1-3. DOI:10.3969/j.issn.1003-2630.2006.02.001.
- [7] 章海波,骆永明,赵其国,等.香港土壤研究 VI.基于改进层次分析法土壤肥力质量综合评价[J].土壤学报,2006,43(4):577-583.ZHANG H B,LUO Y M,ZHAO Q G,et al.Hong Kong soil researches VI: integrated evaluation of soil fertility quality based on the improved analytic hierarchy process[J].Acta Pedol Sin,2006,43(4):577-583. DOI:10.3321/j.issn:0564-3929.2006.04.007.
- [8] 方升佐,徐锡增,严相进,等.修枝强度和季节对杨树人工林生长的影响[J].南京林业大学学报(自然科学版),2000,24(6):6-10.FANG S Z,XU X Z,YAN X J,et al.Effects of pruning intensities and pruning seasons on the growth dynamics of the poplar plantation[J].J Nanjing For Univ (Nat Sci Ed),2000,24(6):6-10. DOI:10.3969/j.issn.1000-2006.2000.06.002.
- [9] DESROCHERS A,MAURIN V,TARROUX E. Production and role of epicormic shoots in pruned hybrid poplar: effects of clone, pruning season and intensity[J].Ann For Sci,2015,72(4):425-434. DOI:10.1007/s13595-014-0443-8.
- [10] 王天石. 年龄轮生枝法修枝在杨树大径材培育中的应用[J].安徽农学通报,2014,20(15):110-111. WANG T S. Application on pruning method by age and whorled branches in cultivating large diameter wood of poplar[J]. Anhui Agric Sci Bull,2014,20(15):110-111. DOI:10.16377/j.cnki.issn1007-7731.2014.15.054.
- [11] 邱贵福,张旭明,王树凯,等.毛白杨侧枝与主干关系的研究[J].内蒙古林业科技,2005,31(4):9-11. QIU G F,ZHANG X M,WANG S K,et al.Relationships between lateral branches and trunk of *Populus tomentosa* Carr.[J].Inn Mong For Sci Technol,2005,31(4):9-11. DOI:10.3969/j.issn.1007-4066.2005.04.003.
- [12] 马丙尧,邢尚军,井大炜,等.不同修枝强度对杨树生长的短期影响[J].山东林业科技,2014,44(4):26-28. MA B Y,XING S J,JING D W,et al. Short-term effects of different pruning intensities on poplar growth[J]. J Shandong For Sci Technol,2014,44(4):26-28. DOI:10.3969/j.issn.1002-2724.2014.04.006.
- [13] MAURIN V, DESROCHERS A. Physiological and growth responses to pruning season and intensity of hybrid poplar[J].For Ecol Manag,2013,304:399-406. DOI:10.1016/j.foreco.2013.05.039.

(责任编辑 郑琰焱)