

修枝对杨树人工林林内小气候及林下植被的短期效应

张康, 黄开栋, 赵小军, 余建炜, 郑旭, 唐罗忠*

南京林业大学南方现代林业协同创新中心/南京林业大学林学院, 江苏 南京 210037

摘要: 通过研究不同修枝强度对杨树林内小气候和林下植被的影响, 为杨树人工林合理修枝和林下间作提供理论依据。对 5 年生的南林 3804 杨 (*Populus deltoides* 'Nanlin 3804') 人工林进行不同强度的修枝处理, 分别为 1/2 修枝强度 (修去下部枝条, 使枝下高达到树高的 1/2)、1/3 修枝强度 (修去下部枝条, 使枝下高达到树高的 1/3) 和 CK (对照, 不修枝)。修枝 4 个月 (7 月) 对不同处理的林下光照强度、气温、相对湿度等林内小气候以及林下植被状况进行调查与分析。结果表明, (1) 修枝改变了林下光照强度和空气温湿度。与 CK 相比, 1/2 修枝强度下林内不同位点的日平均光照强度和气温分别提高了 37.83% 和 5.30%, 而空气相对湿度降低了 9.56%; 1/3 修枝强度下不同位点的日平均光照强度和气温分别提高了 15.03% 和 3.93%, 空气相对湿度降低了 7.72%。(2) 1/2 和 1/3 修枝强度的林分地表温度分别比 CK 提高了 0.89 °C 和 0.62 °C; 不同处理之间的 5 cm 深土壤温度和土壤湿度差异均不显著。(3) 修枝后林下植被会发生较大变化。与 CK 相比, 1/2 和 1/3 修枝强度下的林下植被生物量分别提高了 76.24% 和 51.26%, Shannon-Weiner 指数分别提高了 43.63% 和 19.47%; 1/3 修枝强度下的 Menhinick 丰富度指数和 Pielou 均匀度指数均高于 CK, 但 1/2 修枝强度下的 Menhinick 丰富度指数和 Pielou 均匀度指数均低于 CK。总体而言, 修枝能增强林下光照强度, 提高林内气温和地表温度, 降低空气相对湿度, 改变林下植被组成, 提高林下植物物种多样性和生物量。

关键词: 修枝; 杨树人工林; 小气候; 林下植被

DOI: 10.16258/j.cnki.1674-5906.2019.08.007

中图分类号: S718.5; X17

文献标志码: A

文章编号: 1674-5906 (2019) 08-1548-09

引用格式: 张康, 黄开栋, 赵小军, 余建炜, 郑旭, 唐罗忠, 2019. 修枝对杨树人工林林内小气候及林下植被的短期效应[J]. 生态环境学报, 28(8): 1548-1556.

ZHANG Kang, HUANG Kaidong, ZHAO Xiaojun, SHE Jianwei, ZHENG Xu, TANG Luozhong, 2019. Effects of pruning on microclimate and understory vegetation in a poplar plantation [J]. Ecology and Environmental Sciences, 28(8): 1548-1556.

杨树 (*Populus*) 是世界中纬度地区栽培面积最大的用材树种之一, 具有速生、丰产、易更新等特点。中国的杨树人工林面积已达 700 万公顷 (方升佐, 2008), 在保持水土、涵养水源等方面起到了巨大的作用, 同时也为胶合板、纤维板、纸浆等工业产品的生产提供了重要原料。杨树是阳性树种, 在自然生长过程中, 树干上容易形成大量死的节疤, 影响木材质量和经济效益 (郝建等, 2017)。近年来随着人民生活水平的不断提升, 对木材质量的要求也越来越高, 培育高干、通直、圆满、无节的优质木材具有重要意义。修枝是一项重要的人工林抚育措施, 通过合理修枝可以有效控制树干节疤数量和大小, 提高木材质量、促进林木和林下植被生长, 从而提高人工林经济效益 (Fang et al., 2010; 段劼等, 2010; 黄开栋等, 2018; 沈国舫, 2001)。

中国的杨树人工林几乎都没有进行修枝抚育, 导致树干结疤多, 木材品质差, 林下空间资源得不到充分利用, 针对这一问题, 开展杨树修枝试验研究, 确定合理的修枝强度和修枝方法, 提高木材质量和林地效益十分必要。

林下植被是森林生态系统的重要组成部分, 在维持生态系统稳定性、促进养分循环等方面具有重要作用 (贾亚运等, 2016; 王祖华等, 2010)。在森林生态系统中, 上层林木的冠型和郁闭度对下层植被的物种种类、数量和分布具有重要影响。人工修枝可改变林下光照、温度、湿度等环境因子, 进而影响林下植被物种的种类和数量 (Alem et al., 2015; Tinya et al., 2016; 杜有新等, 2018)。以南方地区主要的用材林树种——杨树为研究对象, 开展了不同修枝强度下林内小气候及自然植被的差

基金项目: “十三五”国家重点研发计划项目 (2016YFD0600402); 江苏省杨树种质创新与品种改良重点实验室; 江苏高校优势学科建设工程项目 (PAPD)

作者简介: 张康, 男, 硕士, 研究方向为森林培育理论与技术。E-mail: 1760053060@qq.com

*通信作者: 唐罗忠, 男, 教授, 博士, 研究方向为森林培育理论与技术。E-mail: luozhongtang@njfu.edu.cn

收稿日期: 2019-06-20

异性研究, 以掌握杨树修枝对林内小气候和林下植被的影响状况, 为合理确定修枝强度, 提高杨树人工林质量提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究地概况

选择江苏省宿迁市林柴场南林 3804 杨 (*Populus deltoides* ‘Nanlin 3804’) 人工林作为本研究地。南林 3804 杨是近年来选育的不飘絮雄性无性系, 2010 年被审定为国家级林木良种。2014 年春季采用 1 年生苗木进行造林, 造林株行距为 6 m×8 m, 东西向为行距 (8 m), 南北向为株距 (6 m)。造林成活率和保存率均在 95% 以上。造林后第 1 年 (2014 年) 与第 2 年 (2015 年) 在林内地内培育杨树扦插苗, 第 3 年 (2016 年) 间种大豆, 2016 年后未间作, 呈自然状态。

1.2 样地设置

采用完全区组试验设计, 设置 3 种处理, 即 CK (不修枝, 对照处理)、1/3 修枝强度 (沿着树干修去树木下部枝条, 使枝下高达到树高的 1/3 左右)、1/2 修枝强度 (沿着树干修去下部枝条, 使枝下高达到树高的 1/2 左右)。每个处理设 3 块重复样地, 共 9 块样地, 每块样地面积大约 2 500 m², 林木株数不少于 50 株。2018 年 3 月采用高枝锯进行修枝处理。修枝前林木平均高度为 16.7 m, 平均胸径为 21.1 cm, 平均冠幅为 4.85 m, 平均枝下高为 2.5 m, 林分郁闭度约 0.5。样地基本状况如表 1 所示。

1.3 林内小气候测定

2018 年 7 月下旬, 选择晴朗的天气, 在各个样地, 分别于 9:00、11:00、13:00、15:00、17:00 和 19:00 在树行西侧的 2、4 和 6 m 处分别采用 TES 1332A 光照强度计 (TES, Taiwan)、水银温度计、testo 610 温湿度计 (Testo AG, Germany) 和 HH2 土壤温湿度计 (AT Delta-T Devices, England) 测定林内小气候。为了与常见林下间作物 (如小麦、大豆等) 的生长高度相一致, 林内小气候主要测定了距离地面 0.5 m 高度处的光照强度、气温、空气相对湿度; 此外还测定了地表温度、5 cm 深处的土

壤温度和土壤湿度。

1.4 林下植被物种多样性测定

2018 年 7 月下旬, 在 9 块样地内, 在树行西侧 2、4 和 6 m 处分别设置 2 个 1 m×1 m 的小样方, 共 54 个, 调查林下植被物种的种类、数量、高度、盖度。分别计算物种的重要值以及 Shannon-Weiner 多样性指数 (H')、Menhinick 丰富度指数 (D_m) 和 Pielou 均匀度指数 (J_{sw}) (杜有新等, 2018; 张金屯, 1995)。

相关指标计算公式如下:

$$\text{重要值} = (\text{相对多度} + \text{相对高度} + \text{相对盖度}) / 3 \quad (1)$$

Shannon-Weiner 指数:

$$H' = -\sum_{i=1}^S P_i \ln P_i \quad (2)$$

Menhinick 丰富度指数:

$$D_m = S / \sqrt{N} \quad (3)$$

Pielou 均匀度指数:

$$J_{sw} = H' / \ln S \quad (4)$$

式中, N 是样方单元中的植被物种总个体数; S 是样方单元中的总物种数; P_i 为样方中第 i 种的重要值。

1.5 林下植被生物量测定

林下植被物种多样性调查后, 分别收割各个小样方内所有植物地上部分, 用便携式电子秤精确称重后, 采集每个小样方中的部分植物鲜样密封后带回实验室, 置于 105 °C 烘箱内杀青处理 30 min, 然后在 65 °C 下烘至恒重, 计算干鲜比, 进而计算不同处理不同样方的林下植被生物量。

1.6 数据处理

运用 Microsoft Excel 2010 软件对数据进行处理和制图, SPSS 19.0 软件进行数据统计分析, 选择单因素方差分析 (One Way ANOVA) 和 Duncan 法对不同处理下的相关指标进行多重比较。文中数据均为平均值±标准差。

表 1 样地基本状况

Table 1 Basic conditions of sample sites

项目 Project	处理 Treatment	胸径 Diameter at breast height/cm	树高 Height/m	枝下高 Height under branch/m	冠幅 Crown width/m
修枝前 Before pruning	CK	20.89±1.30	17.08±0.67	2.35±0.28	4.84±0.32
	1/3	21.52±1.17	16.83±0.84	2.58±0.29	4.96±0.46
	1/2	21.20±0.84	16.79±0.45	2.50±0.30	4.74±0.35
修枝后 After pruning	CK	20.89±1.30	17.08±0.67	2.35±0.28	4.84±0.32
	1/3	21.52±1.17	16.83±0.84	5.48±0.46	4.36±0.57
	1/2	21.20±0.84	16.79±0.45	8.32±0.51	4.22±0.44

$n=3$

2 结果与分析

2.1 不同修枝处理的林下光照强度

由图1可知,不同位点、不同修枝处理的林下光照强度日变化呈现先升高后降低的趋势,最大值出现在13:00;相同位点不同修枝处理间林下光照强度差异显著($P<0.05$),表现为随着修枝强度增加光照强度增强($1/2>1/3>CK$)的趋势。此外,光照强度于13:00左右基本表现为4 m处高于2 m和6 m处,其余时间段不同位点之间差异较小。1/3修枝处理的2、4和6 m处的日平均光照强度比CK分别提高了13.9%、9.5%和21.7%;1/2修枝处理比CK分别提高了41.0%、26.0%和46.5%。修枝后2 m和6 m处的林下日平均光照强度的增加幅度明显大于4 m处。

2.2 不同修枝处理的林下温度

光照条件的改变对林下气温和地表温度都有

一定的影响,由图2可知,不同修枝处理、不同位点的林下气温和地表温度日变化均呈单峰趋势,林下气温最大值出现在13:00,最小值出现在19:00;地表温度最大值出现在15:00,最小值出现在19:00。修枝处理的林下气温和地表温度均高于对照,且随着修枝强度的增强而增高($1/2>1/3>CK$)。1/3修枝处理的2、4和6 m处的日平均气温比对照分别提高了1.74%、4.67%和5.37%;1/2修枝处理比对照分别提高了3.47%、5.45%和6.99%。不同修枝处理3个位点的日平均地表温度表现为:1/2($33.37\text{ }^{\circ}\text{C}$)>1/3($33.10\text{ }^{\circ}\text{C}$)>CK($32.48\text{ }^{\circ}\text{C}$)。

2.3 不同修枝处理的林下空气相对湿度

不同修枝处理、不同位点林下空气相对湿度日变化呈现先降低后升高的趋势(见图3),最小值均出现在15:00,最大值均出现在19:00;相同位点的空气相对湿度随修枝强度的增加显著降低

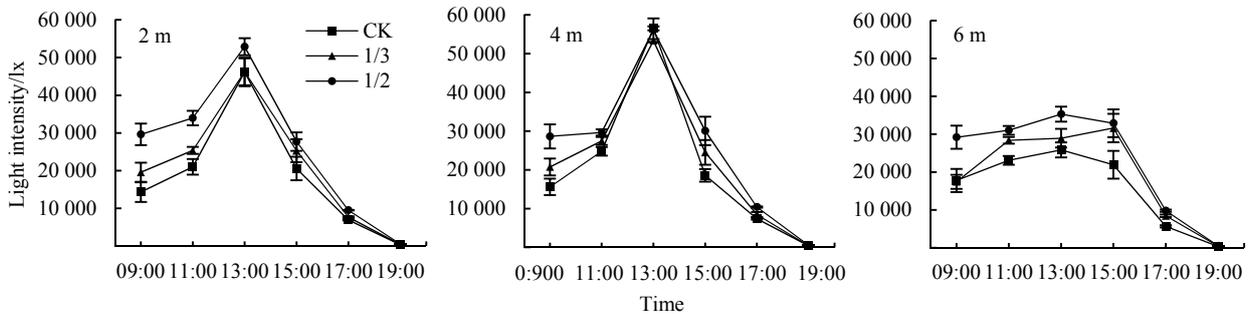


图1 不同修枝处理、不同位点的林下光照强度日变化

Fig. 1 Diurnal variations of light intensity in different pruning treatments and different locations

$n=10$

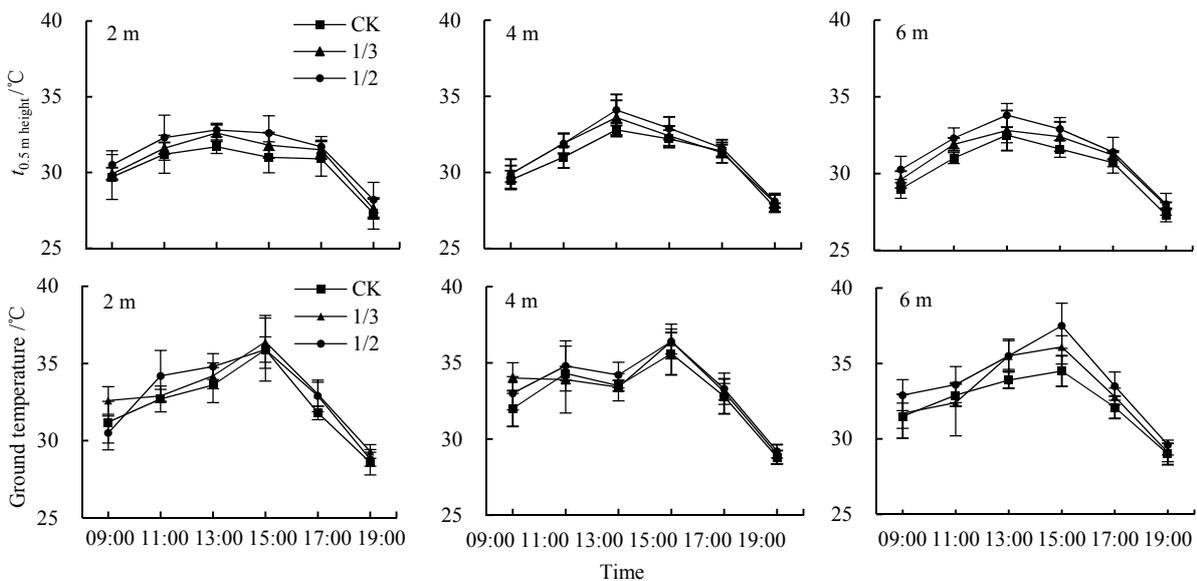


图2 不同修枝处理、不同位点的林下温度日变化

Fig. 2 Diurnal variations of temperature in different pruning treatments and different locations

$n=5$

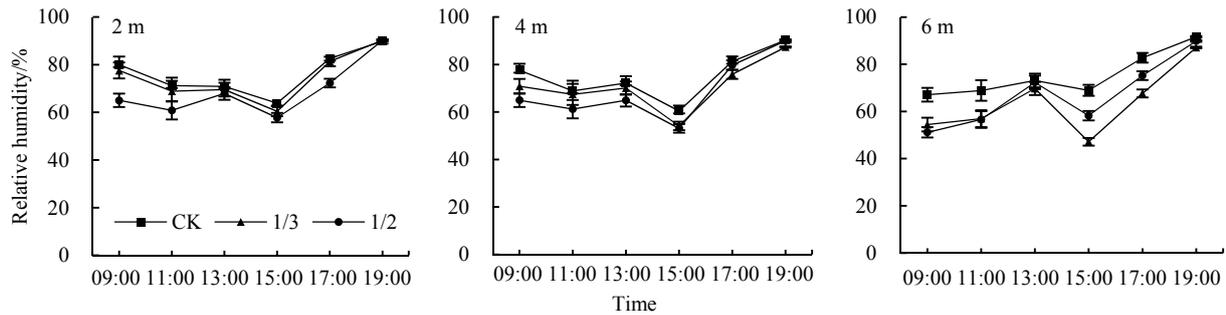


图3 不同修枝处理、不同位点的林下空气相对湿度日变化
Fig. 3 Diurnal variations of air relative humidity in different pruning treatments and different locations

n=3

(CK>1/3>1/2)。1/3 修枝处理下 2、4 和 6 m 处的日平均空气相对湿度比 CK 分别下降了 2.26%、5.56% 和 15.33%，1/2 处理比 CK 分别下降了 9.65%、8.18% 和 10.85%。相同修枝处理不同位点之间的空气相对湿度存在一定差异，其中 6 m 与 2 m、4 m 之间的差异较大，而 2 m 与 4 m 之间差异较小。

2.4 不同修枝处理的林内土壤温湿度

由图 4 可知，不同修枝处理、不同位点的 5 cm 深土壤温度日变化呈先升高后降低的趋势，不同处理之间差异不显著 (P>0.05)。不同修枝处理 3 个位点 (2、4 和 6 m) 的最高温度均出现在 15:00 (分别为 31.87、30.80 和 30.40 °C)，最低温度均出现在 9:00 (分别为 28.77、28.80 和 28.79 °C)，日平均温度分别为 30.44、30.80、30.40 °C，日极差分别为 3.10、2.00、1.61 °C，可见 2 m 处的日极差最

大，其次是 4 m 处，而 6 m 处的日极差最小。

从图 4 还可知，不同修枝处理、不同位点的 5 cm 深土壤湿度差异总体较小 (P>0.05)，土壤湿度总平均值为 44.11%；2、4 和 6 m 处的日平均值分别为 42.7%、44.9% 和 44.8%。

2.5 不同修枝处理的林下植被生物量

由图 5 可知，林下植被生物量总体随修枝强度增强而增加 (1/2>1/3>CK)，1/3 修枝处理下 2、4 和 6 m 处的林下植被生物量分别比 CK 增加了 27.89%、0.39% 和 125.59%；1/2 修枝处理下 2、4 和 6 m 处的林下植被生物量分别比 CK 增加了 66.30%、29.95% 和 132.46%，可见修枝后 6 m 处增幅最大，其次是 2 m 处，而 4 m 处的增幅最小。总体而言，3 种处理下 4 m 处的林下植被生物量大于 2 m 和 6 m 处。

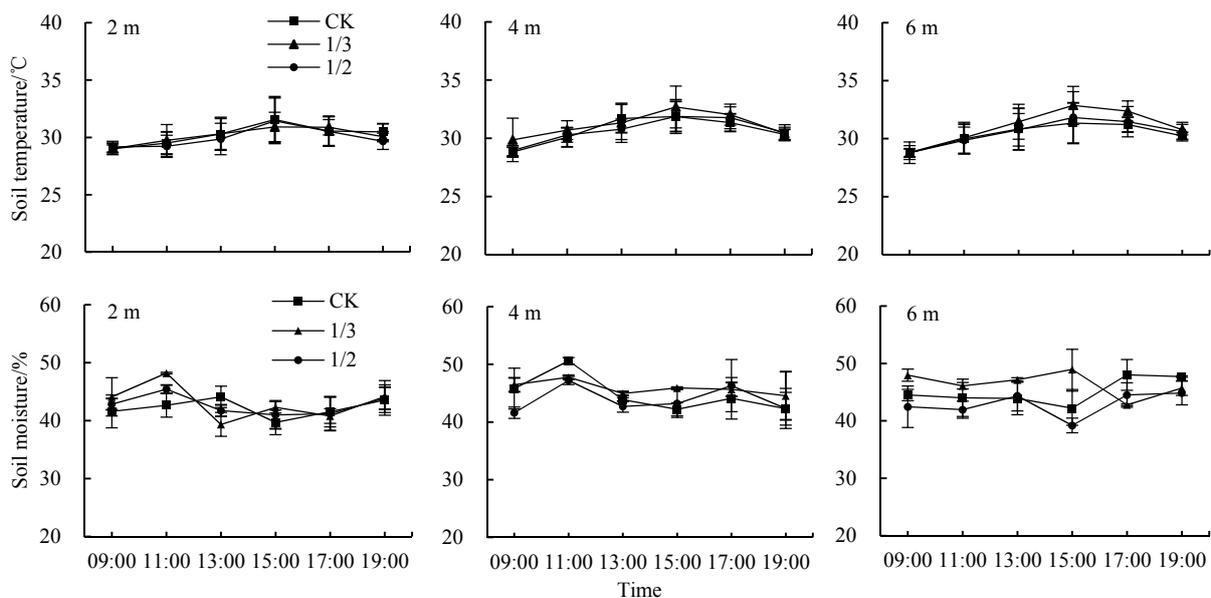


图4 不同修枝处理、不同位点的 5 cm 深土壤温度和湿度日变化
Fig. 4 Diurnal variations of soil temperature and soil moisture at 5 cm depth in different pruning treatments and different locations

n=5

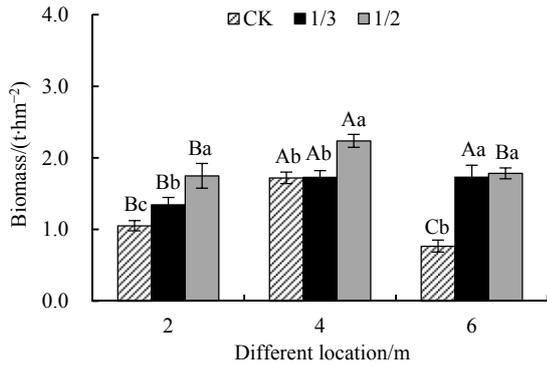


图5 不同修枝处理、不同位点林下植被生物量

Fig. 5 Biomass of understory vegetation in different pruning treatments and different locations

不同大写字母表示相同处理不同位点之间差异显著 ($P < 0.05$), 不同小写字母表示相同位点不同处理之间差异显著 ($P < 0.05$)。n=6

Different capital letters indicate significant differences between different sites for the same treatment ($P < 0.05$). Different lower-case letters indicate significant differences between different treatments at the same location ($P < 0.05$). n=6

2.6 不同修枝处理的林下植被特征

由表2可知,杨树人工林林下植被物种主要有8种,均为草本植物,分别是芦苇(*Phragmites australis*)、马唐(*Digitaria sanguinalis*)、铁苋菜(*Acalypha australis*)、钻叶紫菀(*Aster subulatus*)、鬼针草(*Bidens pilosa*)、叶下珠(*Phyllanthus urinaria*)、鸡矢藤(*Paederia scandens*)和小蓬草(*Conyza canadensis*)。不同处理之间的林下植被物种种类和数量存在一定差异,总体而言,修枝后林下植被的物种种类多于对照,总体呈现1/3修枝处理>1/2修枝处理>CK的趋势;林下植被物种的多度和盖度基本上随着修枝强度的增强而增加。林下植被的高度主要与植物种类相关,钻叶紫菀、芦苇和小蓬草的高度较大,铁苋菜、马唐、鬼针草、叶下珠和鸡矢藤的高度较小。不同位点的植物特征有所

不同,在2 m处,CK、1/3和1/2修枝处理的林下植被物种重要值最大的分别是钻叶紫菀、铁苋菜和铁苋菜;在4 m处分别是钻叶紫菀、马唐和铁苋菜;在6 m处分别是铁苋菜、马唐和马唐。

2.7 不同修枝处理的林下植被物种多样性

从图6可知,杨树修枝后林下植被物种的Shannon-Weiner指数(H')比对照CK有较大幅度的提高,其中2 m和4 m处比较明显($P < 0.05$),1/3修枝处理的2、4和6 m处Shannon-Weiner指数分别比CK增加了21.67%、17.65%和19.10%,1/2修枝处理后分别比CK增加82.30%、41.19%和7.40%;与CK相比,1/2修枝处理在4 m和6 m处的Menhinick丰富度指数(D_m)有所下降,1/3修枝处理在2 m和6 m处有所上升;不同修枝处理之间以及不同位点之间的Pielou均匀度指数(J_{sw})总体上差异较小($P > 0.05$)。

不同修枝处理的Shannon-Weiner指数平均值为:1/2处理(1.2262)>1/3处理(1.076)>CK(0.8692);Menhinick丰富度指数平均值为:1/3处理(0.3087)>CK(0.2816)>1/2处理(0.2528);Pielou均匀度指数平均值为:1/3处理(0.9039)>CK(0.9004)>1/2处理(0.8842)。可以看出,与对照相比,高强度(1/2)修枝后Menhinick丰富度指数和Pielou均匀度指数有所下降,1/3强度修枝后Menhinick丰富度指数和Pielou均匀度指数有所上升。

2.8 不同指标之间的相关性分析

表3表明,林下光照强度、林下气温、地表温度、土壤温度、 H' 指数、 J_{sw} 指数和林下植被生物量等7个指标之间均呈正相关关系,且多数呈极显著正相关关系;空气湿度、土壤湿度和 D_m 指数三者之间基本上呈正相关关系,但与上述光照强度、林下气温等指标基本呈负相关关系,表明修枝后林下光照增强,有利于提高气温、土壤温度、林下植被 H' 指数和 J_{sw} 指数,也有利于提高林下植被生物量;

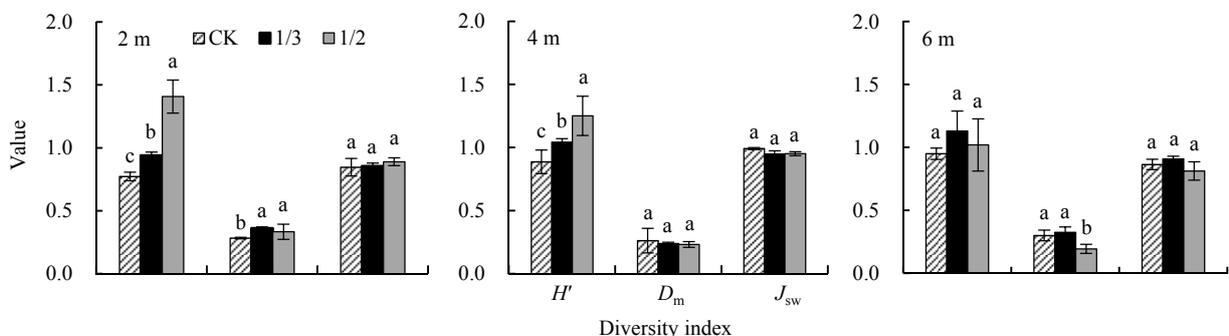


图6 不同修枝处理、不同位点的林下植被多样性指数

Fig. 6 Diversity indices of understory vegetations in different pruning treatments and different locations

表 2 不同修枝处理、不同位点的林下植被特征
Table 2 Characteristics of understory vegetations in different pruning treatments and different locations

位置 Location	处理 Treatment	物种名 Species	多度 Abundance	高度 Height/cm	盖度 Coverage/%	重要值 Importance value	重要值排序 Ranking of importance value
2 m	CK	钻叶紫菀 <i>Aster subulatus</i>	27	84.5	36.5	0.535	1
		芦苇 <i>Phragmites australis</i>	5	102.0	3.5	0.203	2
		铁苋菜 <i>Acalypha australis</i>	27	14.5	2.5	0.169	3
		马唐 <i>Digitaria sanguinalis</i>	11	22.0	1.0	0.093	4
		小计 Total	70	—	43.5	1.000	
	1/3	铁苋菜 <i>Acalypha australis</i>	97	10.5	15.0	0.376	1
		钻叶紫菀 <i>Aster subulatus</i>	21	58.5	17.0	0.307	2
		马唐 <i>Digitaria sanguinalis</i>	14	29.0	2.5	0.109	3
		芦苇 <i>Phragmites australis</i>	2	37.0	1.0	0.083	4
		叶下珠 <i>Phyllanthus urinaria</i>	6	22.0	1.0	0.064	5
		鬼针草 <i>Bidens pilosa</i>	3	20.0	2.0	0.062	6
	小计 Total	143	—	38.5	1.000		
	1/2	铁苋菜 <i>Acalypha australis</i>	121	11.8	26.0	0.423	1
		钻叶紫菀 <i>Aster subulatus</i>	11	79.0	13.5	0.239	2
		芦苇 <i>Phragmites australis</i>	9	61.0	7.5	0.169	3
		马唐 <i>Digitaria sanguinalis</i>	12	30.0	2.5	0.092	4
		鸡矢藤 <i>Paederia scandens</i>	8	10.0	7.5	0.078	5
	小计 Total	161	—	57.0	1.000		
4 m	CK	钻叶紫菀 <i>Aster subulatus</i>	8	115.0	28.5	0.424	1
		铁苋菜 <i>Acalypha australis</i>	106	17.0	18.8	0.372	2
		马唐 <i>Digitaria sanguinalis</i>	45	33.5	6.8	0.204	3
		小计 Total	159	—	54.1	1.000	
	1/3	马唐 <i>Digitaria sanguinalis</i>	76	37.0	15.0	0.273	1
		铁苋菜 <i>Acalypha australis</i>	71	11.5	11.0	0.214	2
		芦苇 <i>Phragmites australis</i>	7	110.0	12.5	0.195	3
		钻叶紫菀 <i>Aster subulatus</i>	17	69.0	14.5	0.186	4
		小蓬草 <i>Conyza canadensis</i>	1	115.0	3.0	0.132	5
	小计 Total	172	—	56.0	1.000		
	1/2	铁苋菜 <i>Acalypha australis</i>	106	10.0	18.0	0.283	1
		马唐 <i>Digitaria sanguinalis</i>	56	45.0	22.5	0.266	2
芦苇 <i>Phragmites australis</i>		19	95.0	20.0	0.261	3	
钻叶紫菀 <i>Aster subulatus</i>		8	81.0	13.0	0.190	4	
小计 Total	189	—	73.5	1.000			
6 m	CK	铁苋菜 <i>Acalypha australis</i>	65	12.0	19.0	0.385	1
		芦苇 <i>Phragmites australis</i>	13	105.0	10.5	0.318	2
		马唐 <i>Digitaria sanguinalis</i>	37	37.0	4.5	0.212	3
		钻叶紫菀 <i>Aster subulatus</i>	2	37.8	1.5	0.085	4
		小计 Total	117	—	35.5	1.000	
	1/3	马唐 <i>Digitaria sanguinalis</i>	155	40.0	37.0	0.529	1
		钻叶紫菀 <i>Aster subulatus</i>	16	64.5	14.0	0.237	2
		铁苋菜 <i>Acalypha australis</i>	48	11.5	6.0	0.130	3
		芦苇 <i>Phragmites australis</i>	3	47.0	0.5	0.104	4
	小计 Total	222	—	57.5	1.000		
1/2	马唐 <i>Digitaria sanguinalis</i>	128	36.0	16.0	0.326	1	
	铁苋菜 <i>Acalypha australis</i>	70	11.5	25.0	0.249	2	
	钻叶紫菀 <i>Aster subulatus</i>	18	61.0	16.5	0.199	3	
	芦苇 <i>Phragmites australis</i>	2	115.0	5.0	0.195	4	
	鸡矢藤 <i>Paederia scandens</i>	3	6.0	3.5	0.031	5	
小计 Total	221	—	66.0	1.000			

n=6

但是修枝会导致空气湿度和土壤湿度下降,也会导致林下植被 D_m 指数有所下降。

3 讨论

修枝会减少树冠下层枝叶数量,提高林内光照

表3 不同指标之间的相关性分析
Table 3 Correlation analysis of different factors

指标 Factor	光照强度 Light intensity	林下气温 Forests temperature	地表温度 Ground temperature	土壤温度 Soil temperature	空气湿度 Air humidity	土壤湿度 Soil moisture	H'	D_m	J_{sw}	植被生物量 Biomass
光照强度 Light intensity	1									
林下气温 Forests temperature	0.699**	1								
地表温度 Ground temperature	0.627**	0.772**	1							
土壤温度 Soil temperature	0.026	0.347**	0.334**	1						
空气湿度 Air humidity	-0.666**	-0.522**	-0.631**	0.052	1					
土壤湿度 Soil moisture	-0.054	-0.047	-0.042	0.013	0.007	1				
H'	0.155**	0.181**	0.122**	0.018	-0.209**	0.204**	1			
D_m	-0.065	-0.079	-0.122**	-0.111*	0.08	0.038	0.198**	1		
J_{sw}	0.03	0.043	0.051	0.190**	-0.04	0.259**	0.278**	-0.131**	1	
植被生物量 Biomass	0.183**	0.187**	0.195**	0.061	-0.236**	0.036	0.656**	-0.489**	0.318**	1

*和**分别表示相关性达到了显著水平 ($P<0.05$) 和极显著水平 ($P<0.01$)

* and ** indicates correlation level at $P<0.05$ and $P<0.01$ respectively

强度 (Gorelick, 2006)。本研究表明,随着修枝强度的增加,林下光照强度增强,与孙尚伟等 (2009) 研究修枝对农林复合系统小气候的影响的结果一致。在光照强度日变化中,13:00 的林下光照强度最强,且表现为 4 m 位点 (树行中间) >2 m 位点 (距离东侧树行 2 m, 即距离西侧树行 6 m) >6 m 位点 (距离东侧树行 6 m, 即距离西侧树行 2 m)。本研究地林分的株距为 6 m (南北向), 行距为 8 m (东西向), 中午时分太阳位于南侧, 且高度角较大, 树行之间的太阳辐射比较强。修枝后林木的冠幅从 5 m 左右减小为 4 m 左右, 因此, 对照处理的林分在 2 m 和 6 m 位点容易被树冠遮阴, 其光照强度低于修枝处理 (包括 1/2 和 1/3 强度修枝) 的林分; 而 4 m 位点 (行距中间) 不易被遮阴, 其光照强度高于 2 m 和 6 m 位点, 且不同修枝处理之间的差异较小。

光照强度的差异是引起林下温度、空气湿度、土壤温度和土壤湿度变化的直接原因, 也是引起林下植被物种种类和数量变化的根本原因。研究表明, 林下温度和地表温度的日变化与林下光照强度的日变化基本一致, 相互之间呈极显著正相关 (表 3)。修枝后冠幅减小, 郁闭度降低, 透光率增大, 到达地表的太阳辐射增强, 因此修枝处理的林内气温和地表温度均高于对照 (孙尚伟等, 2009)。

林下空气相对湿度日变化较大, 且与林下光照强度和林下温度之间呈极显著负相关 (表 3), 但是 5 cm 深度的土壤温度和湿度日变化比较小。一方面是因为土壤本身具有较大的热容量和保水性, 对温度和水分变化具有较强的缓冲性; 另一方面是因为本研究地林下植被较多, 覆盖度较大 (表 2), 林下植被层可以有效缓解土壤温度和湿度的剧烈变化

(Abd Latif et al., 2010; Zou et al., 2007; 杜忠等, 2016; 原志坚等, 2018)。

林下植被生物量是衡量林下植被生长状况的重要指标, 能够反映林地资源的利用潜力, 为林下间作提供重要参考。本研究结果表明, 修枝后林下植被生物量显著提高, 其原因可能是修枝后林下光照增强, 林下植被光合作用加强, 有机物积累增多, 生物量提高 (Verschuyl et al., 2011; 王凯等, 2013; 汤景明等, 2018; 王丽娟等, 2017)。在 2、4 和 6 m 3 个位点中, 4 m 位点的林下植被生物量最大, 但与不修枝的 CK 相比, 修枝后该位点的生物量增幅最小, 而 2 m 和 6 m 位点的增幅较大, 也说明修枝对光照条件的改变是林下植被生物量变化的主要原因。

修枝后林下植被的物种组成和数量特征会发生一定变化 (表 2)。研究发现, 马唐的重要值会随着修枝强度的提高而提高, 这可能与马唐的生物学特性相关, 马唐是比较喜光的植物, 随着修枝强度增强, 林下光照增强, 马唐的数量及其重要值提高 (包和平等, 2007)。但是, 高强度修枝处理 (1/2 修枝处理) 的林下植被种类增加幅度小于低强度修枝处理 (1/3 修枝处理), 其原因可能是高强度修枝对林下光照、温度、湿度等环境因子的干扰程度较大, 在短期内 (从 2018 年 3 月修枝到 7 月植被调查, 经历了 4 个月), 原有的较耐阴植物受到影响, 而喜光植物可能尚没有完全形成, 因而导致高强度修枝处理的林下植被种类增加幅度反而不如低强度修枝处理 (Connell, 1978; Van den Berg et al., 2012; 段劼等, 2010), 物种的丰富度指数变化趋势也验证了这一规律。

杨树修枝后林下光照强度明显增强, 林内温度

也有所提高,促进了林下植物的生长,林下植被的多度、物种数均有所提升(表2), Shannon-Weiner多样性指数(图6)随修枝强度的增强而提高,这与段劼等(2010)以及原志坚等(2018)的研究结果相似。1/3修枝处理下的林下植被 Menhinick 丰富度指数和 Pielou 均匀度指数均高于 CK,但高强度(1/2处理)修枝后 Menhinick 丰富度指数和 Pielou 均匀度指数均低于 CK,其原因一方面可能是高强度修枝对环境干扰较大,经历时间又较短(4个月),林下植物对改变幅度较大的环境尚未适应,导致林下植被丰富度和均匀度下降;另一方面也可能是因为高强度修枝后物种数量增加的幅度小于物种个体数量增加的幅度。可以看出,3种指数中 Shannon-Weiner 指数变化较大,对修枝处理更为敏感。当然,本研究所经历的时间较短,次数也较少,今后有必要进行长期的动态调查和分析,以获得更加科学的结果。

4 结论

与不修枝的对照林分相比,杨树修枝后林下光照强度、气温、林下植被生物量、物种 Shannon-Weiner 指数显著增加,林下空气相对湿度显著降低,其效果随着修枝强度的增强而提高;但是不同处理之间的土壤温度和土壤湿度差异不显著。总体而言,杨树修枝能增强林下光照强度,提高地表温度,降低林下空气相对湿度,改变林下植被组成,增加林下植物物种多样性,提高林下植被生物量。

参考文献:

ABD LATIF Z, BLACKBURN G A, 2010. The effects of gap size on some microclimate variables during late summer and autumn in a temperate broadleaved deciduous forest [J]. *International Journal of Biometeorology*, 54(2): 119-129.

ALEM S, PAVLIS J, URBAN J, et al., 2015. Pure and mixed plantations of *Eucalyptus camaldulensis* and *Cupressus lusitanica*: Their growth interactions and effect on diversity and density of undergrowth woody plants in relation to light [J]. *Open Journal of Forestry*, 5: 375-386.

CONNELL J H, 1978. Diversity in tropical rain forests and coral reefs [J]. *Science*, 199(4335): 1302-1310.

FANG S Z, LI H L, SUN Q X, et al., 2010. Biomass production and carbon stocks in poplar-crop intercropping systems: a case study in northwestern Jiangsu, China [J]. *Agroforestry Systems*, 79(2): 213-222.

GORELICK R, 2006. Combining richness and abundance into a single diversity index using matrix analogues of Shannon's and Simpson's indices [J]. *Ecography*, 29(4): 525-530.

TINYA F, ÓDOR P, 2016. Congruence of the spatial pattern of light and understory vegetation in an old-growth, temperate mixed forest [J]. *Forest Ecology and Management*, 381: 84-92.

VAN DEN BERG E, CHAZDON R, CORREA B S, 2012. Tree growth and death in a tropical gallery forest in Brazil: understanding the

relationships among size, growth, and survivorship for understory and canopy dominant species [J]. *Plant Ecology*, 213(7): 1081-1092.

VERSCHUYL J, RIFFELL S, MILLER D, et al., 2011. Biodiversity response to intensive biomass production from forest thinning in North American forests -A meta-analysis [J]. *Forest Ecology and Management*, 261(2): 221-232.

ZOU C B, BARRON-GAFFORD G A, BRESHEARS D D, 2007. Effects of topography and woody plant canopy cover on near-ground solar radiation: Relevant energy inputs for ecohydrology and hydrogeology [J]. *Geophysical Research Letters*, 34(24): 1-6.

包和平, 王晓波, 陈光, 2007. 旱田几种禾本科杂草结实期光合特性的研究[J]. *华南农业大学学报*, 28(1): 82-85.

BAO H P, WANG X B, CHEN G, 2007. Photosynthetic characteristics of several gramineous weeds during fructification period in dry farm land [J]. *Journal of South China Agricultural University*, 28(1): 82-85.

段劼, 马履一, 贾黎明, 等, 2010. 抚育间伐对侧柏人工林及林下植被生长的影响[J]. *生态学报*, 30(6): 1431-1441.

DUAN J, MA L Y, JIA L M, et al., 2010. Effect of thinning on *Platycladus orientalis* plantation and the diversity of undergrowth vegetation [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 30(6): 1431-1441.

杜有新, 刘伟, 王军峰, 等, 2018. 采伐林窗对白云山3种人工林林下植物多样性的早期影响[J]. *应用生态学报*, 29(7): 2121-2128.

DU Y X, LIU W, WANG J F, et al., 2018. Early effects of forest harvesting gap on understory plant diversity of three different plantations in Baiyun Mountain, China [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 29(7): 2121-2128.

杜忠, 蔡小虎, 包维楷, 等, 2016. 林下层植被对上层乔木的影响研究综述[J]. *应用生态学报*, 27(3): 963-972.

DU Z, CAI X H, BAO W K, et al., 2016. Understory effects on overstory trees: A review [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 27(3): 963-972.

方升佐, 2008. 中国杨树人工林培育技术研究进展[J]. *应用生态学报*, 19(10): 2308-2316.

FANG S Z, 2008. Silviculture of poplar plantation in China: A review [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 19(10): 2308-2316.

郝建, 蒙明君, 黄德卫, 等, 2017. 格木人工林节子的分布特征及预测模型[J]. *南京林业大学学报(自然科学版)*, 41(3): 100-104.

HAO J, MENG M J, HUANG D W, et al., 2017. Distribution and statistical analysis of knots in *Erythrophloeum fordii* plantations [J]. *Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition)*, 41(3): 100-104.

黄开栋, 钱壮壮, 唐罗忠, 2018. 林木修枝对林地环境的影响研究进展[J]. *世界林业研究*, 31(2): 43-48.

HUANG K D, QIAN Z Z, TANG L Z, 2018. Research progress in the effect of pruning on plantation environment [J]. *World Forestry Research*, 31(2): 43-48.

贾亚运, 周丽丽, 吴鹏飞, 等, 2016. 不同发育阶段杉木人工林林下植被的多样性[J]. *森林与环境学报*, 36(1): 36-41.

JIA Y Y, ZHOU L L, WU P F, et al., 2016. Characterization of understory community of *Cunninghamia lanceolata* plantations at different developmental stages [J]. *Journal of Forest and Environment*, 36(1): 36-41.

沈国舫, 2001. 森林培育学[M]. 北京: 中国林业出版社.

SHEN G F, 2001. Silviculture [M]. Beijing: China Forestry Publishing House.

孙尚伟, 尹伟伦, 夏新莉, 等, 2009. 修枝对复合农林系统内小气候及作

- 物生长的影响[J]. 北京林业大学学报, 31(1): 25-30.
- SUN S W, YIN W L, XIA X L, et al., 2009. Effects of different pruning intensity on microclimate, growth and yield of crops in agroforestry systems [J]. Journal of Beijing Forestry University, 31(1): 25-30.
- 汤景明, 孙拥康, 冯骏, 等, 2018. 不同强度间伐对日本落叶松人工林生长及林下植物多样性的影响[J]. 中南林业科技大学学报, 38(6): 90-93, 122.
- TANG J M, SUN Y K, FENG J, et al., 2018. Influence of thinning on the growth and the diversity of undergrowth of *Larix kaempferi* plantation forest [J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 38(6): 90-93, 122.
- 王凯, 马履一, 贾忠奎, 等, 2013. 不同林龄油松人工林林下植物对不同间伐强度的短期响应[J]. 东北林业大学学报, 41(10): 1-9.
- WANG K, MA L Y, JIA Z K, et al., 2013. Short-term responses of undergrowth of *Pinus tabulaeformis* plantation at different stand ages to different thinning intensity [J]. Journal of Northeast Forestry University, 41(10): 1-9.
- 王丽娟, 王孝安, 原志坚, 等, 2017. 抚育对黄土高原人工油松林林下植被的影响[J]. 生态环境学报, 26(8): 1301-1309.
- WANG L J, WANG X A, YUAN Z J, et al., 2017. Effects of tending on undergrowth vegetation of artificial *Pinus tabulaeformis* forests on the Loess Plateau [J]. Ecology and Environmental Sciences, 26(8): 1301-1309.
- 王祖华, 李瑞霞, 王晓杰, 等, 2010. 间伐对杉木人工林林下植被多样性及生物量的影响[J]. 生态环境学报, 19(12): 2778-2782.
- WANG Z H, LI R X, WANG X J, et al., 2010. Effects of thinning on biomass and species diversity of understory in Chinese fir plantations [J]. Ecology and Environmental Sciences, 19(12): 2778-2782.
- 原志坚, 王孝安, 王丽娟, 等, 2018. 抚育对黄土高原油松人工林林下植被功能多样性的影响[J]. 生态学杂志, 37(2): 339-346.
- YUAN Z J, WANG X A, WANG L J, et al., 2018. Effects of tending on functional diversity of understory vegetation in *Pinus tabulaeformis* plantation on the Loess Plateau [J]. Chinese Journal of Ecology, 37(2): 339-346.
- 张金屯, 1995. 植被数量生态学方法[M]. 北京: 中国科学技术出版社.
- ZHANG J T, 1995. Method of quantitative plant ecology [M]. Beijing: China Science and Technology Publishing House.

Effects of Pruning on Microclimate and Understory Vegetation in A Poplar Plantation

ZHANG Kang, HUANG Kaidong, ZHAO Xiaojun, SHE Jianwei, ZHENG Xu, TANG Luozhong

Co-Innovation Center for the Sustainable Forestry in Southern China, College of Forestry, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China

Abstract: The effects of pruning on microclimate and vegetation in a poplar plantation were studied to provide a theoretical basis for the plantation management. In March 2018, the plantation of poplar clone Nanlin 3804 (*Populus deltoides* 'Nanlin 3804') in five years old was pruned in 1/2 treatment (height under branch was up to 1/2 of tree height after pruning), 1/3 treatment (height under branch was up to 1/3 of tree height after pruning) and CK (control treatment without pruning). Four months after pruning (in July 2018), the changes of microclimate such as light intensity, air temperature, relative humidity and understory vegetation situation were investigated. The result showed that: (1) Pruning changed the light intensity, air temperature and air humidity of plantation. Compared with the CK, the daily average light intensity and air temperature at different sites under 1/2 pruning treatment increased by 37.83% and 5.30%, respectively, but the air relative humidity decreased by 9.56%. Meanwhile, the daily average light intensity and air temperature at different sites under 1/3 pruning treatment increased by 15.03% and 3.93%, respectively, and the air relative humidity decreased by 7.72% compared to the CK. (2) Compared with the CK, ground surface temperatures in 1/2 and 1/3 pruning treatments increased by 0.89 °C and 0.62 °C respectively. There was no significant difference in soil temperature and soil moisture at 5 cm depth among different treatments. And (3) the understory vegetation changed greatly after pruning. Compared with the CK, the biomass of understory vegetations under 1/2 and 1/3 pruning treatments increased by 76.24% and 51.26% respectively. Menhinick richness index and Pielou evenness index of the understory vegetations under 1/3 pruning treatment were higher than that of the CK. However, the Menhinick richness index and Pielou evenness index under 1/2 pruning treatment were lower than that of the CK. On the whole, poplar pruning could enhance the light intensity, increase the soil surface temperature, while reducing the air relative humidity, changing the understory vegetation composition, and increasing the understory vegetation diversity and biomass as well.

Key words: pruning; poplar plantation; microclimate; understory vegetation