

漏斗状覆膜对不同密度新疆杨生长及光合特性的影响

郭 斌<sup>1</sup>,郑智礼<sup>1\*</sup>,杨 飞<sup>1</sup>,赵 娟<sup>1</sup>,杨延青<sup>1</sup>,姚建忠<sup>2</sup>,李丕全<sup>2</sup>,胡海东<sup>2</sup>

(1. 山西省林业科学研究院,山西 太原 030012;2. 山西省杨树丰产林实验局,山西 大同 037006)

**摘 要:**以晋北半干旱风沙区为研究区域,采用漏斗状覆膜技术造林,探讨覆膜对不同密度(株行距分别为 2 m×2 m、3 m×3 m、4 m×4 m、4 m×6 m)新疆杨生长和光合特性的影响。结果表明,漏斗状覆膜技术对不同密度新疆杨生长和光合特性有显著影响( $P<0.05$ ),2 m×2 m 密度的新疆杨生长性状和光合特性表现最优,不同密度的树高、胸径、当年生长量、成活率、叶绿素含量、净光合速率表现出随密度减小而递减的规律,相关分析显示树高、胸径与净光合速率的相关系数分别为 0.991、0.863,与叶绿素含量的相关系数分别为 0.858、0.584。综合分析结果,在晋北半干旱风沙区,覆膜面积所占比例显著影响树木的成活与生长,新疆杨初植密度为 2 m×2 m 且漏斗状覆膜效果最佳。

**关键词:**漏斗状覆膜;密度;新疆杨;生长性状;光合特性

**中图分类号:**S718.45      **文献标志码:**A      **文章编号:**1001-7461(2018)06-0015-05

Effects of Funnel-shaped Film Mulching on the Growth and Photosynthetic Characteristics of *Populus bolleana* with Different Densities

GUO Bin<sup>1</sup>, ZHENG Zhi-li<sup>1\*</sup>, YANG Fei<sup>1</sup>, ZHAO Juan<sup>1</sup>, YANG Yan-qing<sup>1</sup>, YAO Jian-zhong<sup>2</sup>,  
LI Pi-quan<sup>2</sup>, HU Hai-dong<sup>2</sup>

(1. Shanxi Academy of Forest Sciences, Taiyuan, Shanxi 030012, China;

2. The Experimental Bureau of Poplar High-yielding Forest of Shanxi Province, Datong, Shanxi 037006, China)

**Abstract:** Taking the semi-arid sandy region of northern Shanxi Province as research area, the effects of funnel-shaped film mulching on the growth and photosynthesis of *Populus bolleana* seedlings with different planting densities (2×2, 3×3, 4×4, and 4 m×6 m) were examined. Significant influences ( $P<0.05$ ) were observed. The growth indexes and photosynthetic characteristics were the best in the density of 2 m×2 m. The tree height (H), diameters at breast height (DBH), annual growth, survival rate, chlorophyll content (ChlC) and net photosynthetic rate ( $P_n$ ) decreased with the decrease of planting density. Correlation analysis showed that the correlation coefficients were 0.991 (between H and  $P_n$ ), 0.863 (DBH and  $P_n$ ), 0.858 (H and ChlC), 0.584 (DBH and ChlC), respectively. Over all, the proportion of film mulching significantly affected the survival and growth of *P. bolleana*, and the initial density of 2 m×2 m with funnel-shaped film mulching was suggested in semi-arid sandy area of Northern Shanxi Province.

**Key words:** funnel-shaped mulching; density; *Populus bolleana*; growth trait; photosynthetic characteristics

新疆杨(*Populus bolleana*)是半干旱地区的主要造林树种,不同的造林方法对林木的生长发育影

响不一致<sup>[1-2]</sup>,抗旱造林技术能够集中利用有限的水分条件来改善林木的生长环境<sup>[3-4]</sup>,覆膜是一种提高

收稿日期:2018-03-28 修回日期:2018-05-08

基金项目:国家重点研发计划课题(2016YFD0600403);国家林木(含竹藤花卉)种质资源平台建设与运行服务(2005DKA21003)。

作者简介:郭 斌,男,工程师,研究方向:半干旱区植被恢复。E-mail:531188058@qq.com

\* 通信作者:郑智礼,男,教授级高工,研究方向:半干旱区植被恢复。E-mail:zhilizheng@126.com

苗木成活率和促进苗木生长有效的措施<sup>[5]</sup>。覆膜通过改变土壤与大气界面层状况,在土壤表面形成一层物理阻隔层,减缓了土壤与大气层之间的水分交换<sup>[6]</sup>,使土壤中水、肥、气、热状况得到改善,具有保温、保湿、防病抗虫、抑制杂草等多种功能<sup>[7]</sup>。许多学者关于覆膜对杨树<sup>[8]</sup>、油松<sup>[9]</sup>、花椒<sup>[10]</sup>、沙枣<sup>[11]</sup>等树种的影响进行了研究,覆膜显著改善了土壤理化性质<sup>[12-13]</sup>,提高了植物的净光合速率和蒸腾速率<sup>[14]</sup>,增加了林木的生长量<sup>[15]</sup>和根枝叶的养分含量<sup>[16]</sup>。目前关于覆膜方式对杨树生长和光合生理的影响报道较少,然而在生产实践中,采用不同覆膜方式以及对应的不同初植密度,甚至是不同的苗龄,产生的影响也不一致<sup>[17]</sup>。本试验铺设了不同密度的新疆杨造林试验,采用漏斗状覆膜技术进行造林,探究漏斗状覆膜技术对不同密度新疆杨生长和光合特性的影响。

1 研究区概况

试验地点位于山西省杨树丰产林实验局林业科技服务中心,地处大同盆地南端。气候属温带半干旱草原气候,四季分明,特点是冬季寒冷干燥,春季多风,夏季高温少雨,秋季温度适中,年内温差和昼夜温差大。年均温 7.5℃,≥10℃ 的年积温 2 737.5℃,无霜期 122~130 d,年均降水量 414 mm,年日照时数 2 800 h。

2017 年山西晋北春夏连旱现象非常严重,长时间无有效降雨且蒸发量大,苗木生长环境情况恶劣。

2 材料与方法

2.1 材料

苗木材料选择 4 年生的新疆杨,膜材料选择厚度 4S(40 μm)以上的塑料膜。

2.2 方法

2.2.1 试验设计 采用完全随机区组设计,设置 4 个初植密度,株行距分别为 2 m×2 m、3 m×3 m、4 m×4 m、4 m×6 m;每个密度设置 3 次重复(区组),共 12 个小区,每小区选择 60 株生长相对均一的新疆杨进行栽植。

2.2.2 漏斗状覆膜 首先将塑料膜裁剪成 1.3 m 左右见方的膜块,中心剪出直径 15 cm 左右的圆孔;其次将加工好的膜块从中心孔套过树干,呈中心低、四周高的漏斗状覆于树干基部;最后在膜上部覆盖 10~15 cm 厚的土并且浇上足量的水。

2.2.3 调查方法

2.2.3.1 生长性状调查 2017 年 10 月下旬,新疆杨停止生长后,测量树高、胸径和当年生长量。

2.2.3.2 叶片叶绿素含量测定 每小区取 10 株树进行测定,称取新鲜叶片 0.2 g,充分研磨,利用 95%乙醇浸提 24~48 h,用分光光度计在波长 665 nm 和 649 nm 下测定吸光度<sup>[18]</sup>,计算叶绿素 a(Chl a)、叶绿素 b(Chl b)及总叶绿素含量(Chl a+b),公式如下:

$$\begin{aligned} C_a &= 13.95A_{665} - 6.88A_{649} \\ C_b &= 24.96A_{649} - 7.32A_{665} \\ C_{a+b} &= 6.63A_{665} + 18.08A_{649} \end{aligned}$$

叶绿素含量(mg/g)=色素浓度(C)×提取液体积×稀释倍数/样品鲜重

2.2.3.3 光合作用参数测定 利用美国 LI-COR 公司 Li-6400 型便携式光合仪,于 9:00—11:00 对 4 个密度新疆杨的净光合速率( $P_n$ ,  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )、蒸腾速率( $T_r$ ,  $\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )、气孔导度( $G_s$ ,  $\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )及胞间  $\text{CO}_2$  浓度( $C_i$ ,  $\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ )等指标进行测定<sup>[19]</sup>。在 3 次重复的 12 个小区中,每小区取 10 株树进行测定,每株待测植株上取 3 片功能叶进行检测。

2.3 数据处理

计算高径比(Slenderness ratio,%),叶片水分利用效率(WUE,  $\text{mmol} \cdot \text{mol}^{-1}$ ),高径比=株高/基径,叶片水分利用效率=净光合速率/蒸腾速率。

利用 SPSS 22.0 软件分析新疆杨树高、胸径、叶绿素含量、净光合速率、水分利用效率之间的相关性;以净光合速率、叶绿素含量为自变量,树高、胸径、当年生长量为因变量进行一元线性回归分析;多重比较采用 LSD 法,相同字母表示差异不显著,不同字母表示差异显著( $P<0.05$ )。

3 结果与分析

3.1 漏斗状覆膜对不同密度新疆杨生长的影响

新疆杨树高、胸径、当年生长量、成活率、高径比表现出随密度的减小而递减的规律如图 1~图 4 所示。2 m×2 m 密度的成活率和生长情况表现最好,不同密度的新疆杨树高、胸径、当年生长量差异显著,2 m×2 m 密度的树高分别比 3 m×3 m、4 m×4 m 和 4 m×6 m 密度的大 23.1%、44.4%、53.9%(表 1);2 m×2 m 密度的胸径分别比 3 m×3 m、4 m×4 m 和 4 m×6 m 密度的大 6.8%、8.6%、11.1%(表 1);2 m×2 m 密度的当年生长量分别比 3 m×3 m、4 m×4 m 和 4 m×6 m 密度的大 66.3%、173.2%、264.2%(表 1)。以上情况表明,2 m×2 m 密度的漏斗状覆膜抗旱造林技术效果最好,提高了造林成活率,促进了林木的生长。

表 1  不同密度新疆杨的生长情况

Table 1  General growth characteristics of *Populus bolleana* with different densities

密度	树高/m	胸径/cm	当年生长量/m	成活率/%	高径比
2 m×2 m	3.51±0.08a	3.26±0.04a	1.53±0.07a	98a	1.08
3 m×3 m	2.85±0.07b	3.05±0.05b	0.92±0.06b	94b	0.93
4 m×4 m	2.43±0.04c	3.00±0.04b	0.56±0.03c	91c	0.81
4 m×6 m	2.28±0.03c	2.96±0.04b	0.42±0.02c	90c	0.77

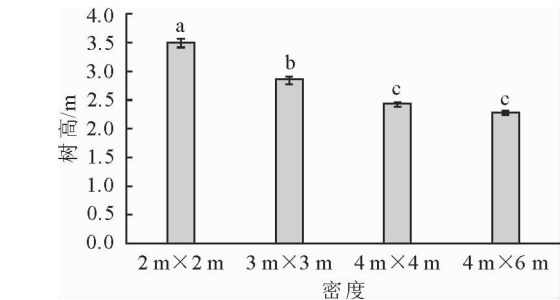


图 1  不同密度新疆杨的树高对比

Fig. 1  Tree height contrast of *P. bolleana* with different densities

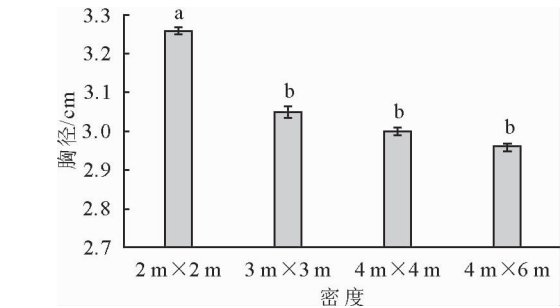


图 2  不同密度新疆杨的胸径对比

Fig. 2  DBH contrast of *P. bolleana* with different densities

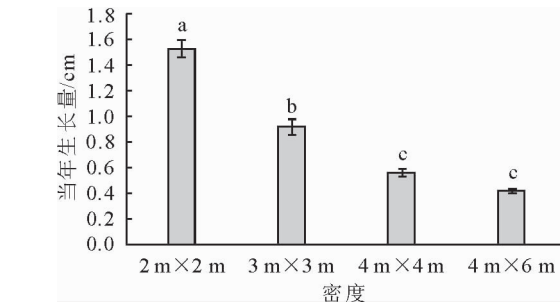


图 3  不同密度新疆杨的当年生长量对比

Fig. 3  Increment contrast of *P. bolleana* with different densities

3.2  漏斗状覆膜对不同密度新疆杨叶绿素含量的影响

4 个密度的新疆杨叶绿素 a、叶绿素 b 与总叶绿素表现出随密度的减小而递减的趋势,且不同密度的新疆杨叶绿素含量都达到了差异显著水平,2 m×2 m 密度的新疆杨叶绿素 a、叶绿素 b、总叶绿素含量最高(图 5),4 m×4 m 密度的新疆杨叶绿素 a、叶绿素 b、总叶绿素含量最低,2 m×2 m 比 4 m×4

m 密度新疆杨的叶绿素 a、叶绿素 b、总叶绿素含量分别高 53.5%、49.2%、50.9%。

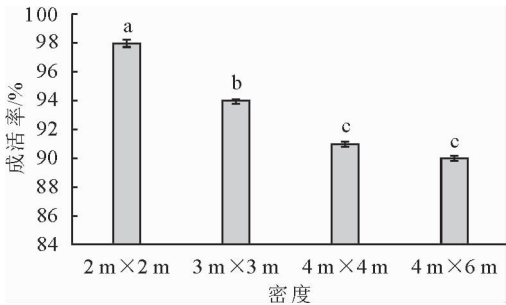


图 4  不同密度新疆杨的成活率对比

Fig. 4  Survival rate contrast of *P. bolleana* with different densities

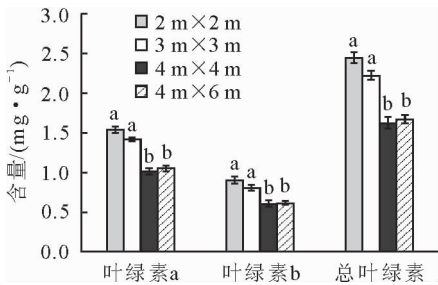


图 5  不同密度新疆杨叶绿素含量的比较

Fig. 5  Chlorophyll content contrast of *P. bolleana* with different densities

3.3  漏斗状覆膜对不同密度新疆杨光合特性的影响

新疆杨的净光合速率、水分利用效率表现出随密度的减小而递减的规律(表 2),且不同密度的净光合速率和水分利用效率达到了差异显著水平( $P<0.05$ ),2 m×2 m 密度新疆杨的净光合速率、水分利用效率最大,4 m×6 m 密度新疆杨净光合速率、水分利用效率最小,2 m×2 m 比 4 m×6 m 密度新疆杨的净光合速率、水分利用效率分别高 32.89%、28.57%。

3.4  生长性状与光合生理指标相关性分析

对新疆杨的生长性状与光合生理指标进行相关性分析,各个性状的相关系数见表 3。由表 3 可知,树高、胸径、叶绿素含量、净光合速率、水分利用效率两两之间正相关显著,树高、胸径与净光合速率相关系数分别为 0.991、0.863,树高、胸径与水分利用效率的相关系数分别为 0.97、0.813,树高、胸径与叶绿素含量的相关系数分别为 0.858、0.584。

表 2 不同密度新疆杨光合参数的比较

Table 2 Photosynthetic parameter of *P. bolleana* with different densities

密度	净光合速率 $P_n$ /( $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )	蒸腾速率 $T_r$ /( $\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )	气孔导度 $G_s$ /( $\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )	胞间 $\text{CO}_2$ 浓度 $C_i$ /( $\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ )	水分利用效率 $WUE$ /( $\text{mmol} \cdot \text{mol}^{-1}$ )
2 m×2 m	24.52±0.25a	4.95±0.02a	0.42±0.02a	288.47±1.38c	4.95±0.03a
3 m×3 m	21.47±0.23b	4.76±0.02bc	0.39±0.02a	294.37±1.73c	4.51±0.04b
4 m×4 m	18.74±0.13c	4.85±0.02b	0.46±0.02ab	314.77±1.99a	3.86±0.02c
4 m×6 m	18.45±0.18c	4.79±0.03b	0.37±0.02a	305.32±2.40b	3.85±0.01c

以净光合速率为自变量,树高、胸径为因变量,分别进行一元线性回归分析并构建回归方程,表 4 列出了一元线性回归模型拟合方差结果,对各回归方程的参数进行  $t$  检验表明,树高、胸径和当年生长量均达显著水平,说明随着净光合速率的增大,树高、胸径和当年生长量呈显著线性增加,与相关性分析的结果一致。以叶绿素含量为自变量,树高、胸径为因变量,分别进行一元线性回归分析并构建回归方程,树高、胸径和当年生长量均达显著水平,说明随着叶绿素含量的增大,树高、胸径和当年生长量呈

显著线性增加,与相关性分析的结果一致。

表 3 生长性状与光合生理指标相关性分析

Table 3 Correlation analysis among growth traits and photosynthetic physiology

生理指标	树高 H	胸径 $D_{1.3}$	叶绿素含量 $\text{Chl(a+b)}$	净光合速率 $P_n$
胸径	0.909**			
叶绿素含量	0.858**	0.584*		
净光合速率	0.991**	0.863**	0.909**	
水分利用效率	0.970**	0.813**	0.942**	0.992**

注: \*\* 表示相关显著水平为 0.01, \* 表示相关显著水平为 0.05。

表 4 生长性状与光合生理指标回归分析

Table 4 Regression analysis between growth traits and photosynthetic physiology

因变量	自变量	参数	估计值	标准误	$t$	$R^2$	回归方程
树高(H)	净光合速率( $P_n$ )	常数项	-1.311	0.177	-7.401	0.982	$H=0.197P-1.311$
		P 项系数	0.197	0.008	23.26		
胸径( $D_{1.3}$ )	净光合速率( $P_n$ )	常数项	2.087	0.184	11.337	0.744	$D_{1.3}=0.047P+2.087$
		P 项系数	0.047	0.009	5.394		
生长量	净光合速率( $P_n$ )	常数项	-2.781	0.133	-20.877	0.987	$I=0.175P-2.781$
		P 项系数	0.175	0.006	27.488		
树高(H)	叶绿素含量(Chl)	常数项	0.489	0.441	1.107	0.736	$H=1.146C+0.489$
		C 项系数	1.146	0.217	5.278		
胸径( $D_{1.3}$ )	叶绿素含量(Chl)	常数项	2.641	0.193	13.689	0.642	$D_{1.3}=0.216C+2.641$
		C 项系数	0.216	0.095	2.278		
生长量	叶绿素含量(Chl)	常数项	-1.241	0.36	-3.418	0.776	$I=1.043C-1.241$
		C 项系数	1.043	0.177	5.889		

4 结论与讨论

4.1 漏斗状覆膜对不同密度新疆杨生长的影响

本研究发现 2 m×2 m 的新疆杨生长最佳,并且显著优于其他 3 个密度( $P<0.05$ )。分析其原因,本试验采用直径 1.3 m 的膜块套过树干进行覆盖,且所有新疆杨的周围都采用相同的覆膜面积,2 m×2 m 新疆杨的周围未覆膜土壤面积最小,4 m×6 m 新疆杨的周围未覆膜土壤面积最大,即 2 m×2 m 新疆杨的覆膜面积所占比例是最大的,土壤蓄水保墒的效果最好,覆膜面积所占比例显著影响了新疆杨的生长与光合特性。本研究还发现在该地区当年春夏连旱现象十分严重的情况下,4 个密度的造林成活率均在 90% 以上,突显出漏斗状覆膜抗旱技术对树木成活与生长的重要性,已有研究表明覆膜可以有效减少表层土壤水分的蒸发,调节土壤

水分的空间与时间分布,提高土壤水分利用效率<sup>[20-21]</sup>,这与本试验的结果一致,在晋北半干旱风沙区,漏斗状覆膜增加了土壤水分供应的有效性,提高了造林成活率。

4.2 漏斗状覆膜对不同密度新疆杨光合生理的影响

光合作用一定程度上反映了植物的生长情况,叶绿素是植物叶片的主要光合色素,其含量与光合作用密切相关,不同的覆膜方式显著影响杨树的光合特性。本试验对 4 个不同密度新疆杨的叶绿素含量和光合生理指标进行了测定,发现不同密度之间存在显著性差异( $P<0.05$ ),2 m×2 m 密度的新疆杨叶绿素含量和净光合速率是最高的,相关分析与回归分析显示,随着叶绿素含量和净光合速率增大,树高、胸径、当年生长量表现为线性增加趋势,说明采用漏斗状覆膜抗旱造林技术,改善了土壤水分环境,影响了植物的叶绿素含量和净光合速率,进一步

决定了植物的生长性状。已有研究发现覆膜可以明显提高树木的净光合速率和蒸腾速率<sup>[22]</sup>,具有改善土壤微域生态环境、减少水土流失和提高养分利用率的作用,本试验同样发现漏斗状覆膜显著影响不同密度新疆杨的叶绿素含量和净光合速率,并且光合生理与生长性状呈线性显著相关,说明漏斗状覆膜影响了林木的光合生理,促进了林木的生长。

在晋北半干旱风沙区,漏斗状覆膜是有效的新疆杨抗旱造林措施。覆膜面积所占比例对不同密度新疆杨生长和光合特性有显著影响( $P<0.05$ )。采用漏斗状覆膜措施栽植新疆杨,建议选择对应的初植密度  $2\text{ m}\times2\text{ m}$ 。

本试验探索了采用漏斗状覆膜措施栽植新疆杨适宜的初植密度,随着时间的推移,树木不断生长,势必因密度过大而造成争光、争水、争肥的情况,建议进一步探索密度控制技术。

参考文献:

[1] 黄彩霞,张明,巴玉春,等.造林密度对新疆杨人工林生长发育和光合特性的影响[J].甘肃农业大学学报,2017,52(2):61-64.

[2] 王涛,温俊宝,许志春,等.新疆杨不同混交模式对天牛危害和林木生长的影响[J].林业科学研究,2006,19(4):504-508.

[3] 蔡进军,李宝生,蒋齐,等.半干旱黄土丘陵区典型抗旱造林整地技术集流效果研究[J].水土保持研究,2009,16(5):127-130.

[4] KADER M A,SENGE M,MOJID M A,*et al.* Effects of plastic-hole mulching on effective rainfall and readily available soil moisture under soybean (*Glycine max*) cultivation [J]. Paddy Water Environ,2017,15:659-668.

[5] 王力刚,李峰,王炜烨,等.黑龙江西部地表覆盖保墒的抗旱造林技术[J].中国水土保持科学,2016,14(2):147-154.

[6] 张德奇,廖永成,贾志宽,等.旱区地膜覆盖技术的研究进展及发展前景[J].干旱地区农业研究,2005,23(1):208-213.

ZHANG D Q,LIAO Y C,JIA Z K,*et al.* Research advances and prospects of film mulching in arid and semi-arid areas [J]. Agricultural Research in the Arid Areas,2005,23(1):208-213. (in Chinese)

[7] KWABIAH A. Growth and yield of sweet corn(*Zea mays* L.) cultivars in response to planting date and plastic mulch in a short-season environment[J]. Scientia Horticulturae,2004,102(2):147-166.

[8] 韩艳英,叶彦辉,张昆林,等.不同造林技术措施对藏川杨生理生化特性的影响[J].西北林学院学报,2012,27(6):101-104.

HAN Y Y,YE Y H,ZHANG K L,*et al.* Effects of different afforestation technique on the physiological and biochemical characteristics of *Populus szechuanica* var. *tibetica* [J]. Journal of Northwest Forestry University,2012,27(6):101-104. (in Chinese)

[9] 马成才.辽宁沙质海岸不同覆膜处理对油松造林地土壤物理性质及幼树生长状况的影响[D].沈阳:沈阳农业大学,2017.

[10] 吴佳,孙丙寅,王敏.地面覆盖对花椒林生理生态效应的影响[J].西北林学院学报,2005,20(4):27-30.

WU J,SUN B Y,WANG M,*et al.* The ecological and physio-

logical effect of different ground covering in *Zanthoxylum bungeanum* forest[J]. Journal of Northwest Forestry University,2005,20(4):27-30. (in Chinese)

[11] 李银芳,潘伯荣,刘力,等.覆膜增温对沙枣树产胶的增产作用[J].干旱区资源与环境,2012,26(10):112-116.

LI Y F,PAN B R,LIU L,*et al.* Effect of temperature increase caused by plastic film mulching on the gum yield for *Elaeagnus angustifolia* [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment,2012,26(10):112-116. (in Chinese)

[12] MUÑOZ K,SCHMIDT-HEYDT M,STOLL D,*et al.* Effect of plastic mulching on mycotoxin occurrence and mycobiome abundance in soil samples from asparagus crops [J]. Mycotoxin Research,2015,31:191-201.

[13] LIU X H,HE B L,LIU X,*et al.* The soil water dynamics and hydraulic processes of crops with plastic film mulching in terraced dryland fields on the Loess Plateau[J]. Environ Earth Sciences,2016,75:809.

[14] HOU F Y,ZHANG L M,XIE B T,*et al.* Effect of plastic mulching on the photosynthetic capacity, endogenous hormones and root yield of summer-sown sweet potato (*Ipomoea batatas* (L). Lam.) in Northern China[J]. Acta Physiologiae Plantarum,2015,37(8):1-10.

[15] 井大炜.不同栽培措施对欧美 T-107 杨的增长效应及作用机理研究[D].济南:山东农业大学,2013.

[16] 张敬敏.调控措施对高产杨树的生长代谢及土壤条件的影响[D].济南:山东农业大学,2011.

[17] LIU J L,CHEN X P,ZHAN A,*et al.* Methane uptake in semiarid farmland subjected to different mulching and nitrogen fertilization regimes [J]. Biology and Fertility of Soils,2016,11:29-41.

[18] 江锡兵,宋跃朋,马开峰,等.杨树杂种无性系生长与光合生理遗传变异研究[J].西北植物学报,2011,31(9):1779-1785.

JIANG X B,SONG Y P,MA K F,*et al.* Genetic variation of growth traits and photosynthetic physiology of *Populus hybrid* clones [J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica,2011,31(9):1779-1785. (in Chinese)

[19] 党亚玲,韩炜,张娅,等.西北干旱区五叶地锦在交通环境下的光合特性研究[J].西北林学院学报,2018,33(1):78-83.

DANG Y L,HAN W,ZHANG Y,*et al.* Effects of traffic on photosynthetic of *Parthenocissus quinque folia* in arid region of Northwestern China[J]. Journal of Northwest Forestry University,2018,33(1):78-83. (in Chinese)

[20] FANG S Z,XIE B D,LIU D,*et al.* Effects of mulching materials on nitrogen mineralization, nitrogen availability and *Poplar* growth on degraded agricultural soil [J]. New Forests,2011,41:147-162.

[21] 井大炜.不同覆膜方式对杨树林下土壤物理性状及呼吸速率的影响[J].水土保持通报,2014,34(2):38-42.

JING D W. Effects of different plastic film mulching on soil physical properties and respiration rate of *Poplar* forest[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation,2014,34(2):38-42. (in Chinese)

[22] 叶桂梅,马海林,杜振宇,等.不同覆膜方式对杨树光合特性及生长的影响[J].山东林业科技,2014,4(2):29-32.