

郑娜,司剑华,乔建华.土壤增温对高寒冻土层地区青杨生长的影响[J].江苏农业科学,2016,44(5):234-237.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.05.067

# 土壤增温对高寒冻土层地区青杨生长的影响

郑娜<sup>1</sup>,司剑华<sup>1</sup>,乔建华<sup>2</sup>

(1.青海大学农牧学院,青海西宁 810016; 2.青海万通新能源技术开发股份有限公司,青海西宁 810016)

**摘要:**为了提高青杨在高海拔冻土层地区的生长量,采用陶瓷太阳能集热技术人工增加土壤温度,研究不同土壤温度对青杨生长的影响。分别设置2.0、3.0、4.0、5.0℃增温梯度,对4个处理组青杨根系处的土壤进行增温处理,测定青杨新生枝粗度、新生枝长度、胸径、树高,对比得出适宜青杨生长的土壤增温范围。结果表明:土壤增温4.0℃时,青杨的新生枝粗度增长量、新生枝长度增长量、胸径增长率均达到最大,分别为14.56 mm、22.91 mm、38.83%;增温3.0℃时,青杨树高增长率达到最大值,为25.79%;青杨根系基本土壤温度增加3.0~4.0℃时,最有利于青杨的生长。

**关键词:**高寒冻土层;土壤温度;青杨;生长量

**中图分类号:** S792.113.05 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)05-0234-04

青海省天峻县地处青藏高原东北端的祁连山中段南部地区,全县最高海拔5 826 m,最低海拔2 850 m,县城新源镇试验地海拔3 406 m,气候寒冷,全年无绝对无霜期。近50年内,天峻县的年均气温呈上升趋势,最高值为1℃<sup>[1]</sup>;天峻县属大陆性高原气候,寒长暑短,四季不分明,日温差大,多风少雨,蒸发量大。天峻县年均大风天数为97 d,年均沙尘暴天数

为5.4 d,年均降水量344.7 mm,县内东部海拔4 000 m以上地区,年降水量一般在400~500 mm,县境内绝大多数地区年降水量都在300 mm左右<sup>[2]</sup>。

青杨(*Populus cathayana*)属杨柳科杨属,落叶乔木,在青海省的分布范围十分广泛,具有较强的抗旱性、抗寒性和耐瘠薄能力,属于造林速生树种。青杨干形通直,树冠为阔卵形,是十分理想的城市绿化树种<sup>[3]</sup>。青海省大部分地区高寒、高旱,适宜生长的树种较少,再加上大气温度低,土壤冻土层深度较厚,不利于树种根系的生长,因此,土壤温度成了制约树木成活率的主要因素。冻土层深厚使得土壤温度和大气温度无法共同促进青杨的生长发育。乔木树种在大气温度为5~10℃下开始生长,在25~30℃下生长最快,而天峻县的年平均气温最高不过1℃左右,严重阻碍青杨的生长;并且冻土时

收稿日期:2015-11-27

基金项目:青海省天峻县高海拔冻土层造林试验示范项目(编号:2011012)。

作者简介:郑娜(1991—),女,湖南邵东人,硕士研究生,研究方向为森林培育。E-mail:719330336@qq.com。

通信作者:司剑华,教授,主要从事森林培育研究。E-mail:Sijian-hual@163.com。

[6]杨赵平,贾露.塔里木盆地碱蓬属6种植物叶的解剖学研究[J].西部林业科学,2011,40(2):36-39.

[7]刘伯燕.四种栎属植物叶解剖学研究[D].济南:山东大学,2012.

[8]赵青青,陈箐瑛,慕小倩.曼陀罗不同居群形态多样性比较研究[J].热带作物学报,2013,34(9):1836-1843.

[9]王虹,索菲娅,王剑虹,等.新疆大帽藓属6种植物茎及叶的比较解剖学研究[J].植物研究,2011,31(5):524-530.

[10]Dietger G, Walter L. On the anatomy of Asian bamboos, with special reference to their vascular bundles [J]. Wood Science and Technology, 1971, 5(4): 290-312.

[11]Guerreiro C, Rodriguez M F, Zulma E, et al. Culm anatomy: a contribution to the identification of vegetative andean woody bamboos in southernmost America [J]. Kew Bulletin, 2013, 68(2): 209-218.

[12]Yang S J, Sun M, Zhang Y J, et al. Strong leaf morphological, anatomical and physiological responses of a subtropical woody bamboo (*Sinarundinaria nitida*) to contrasting light environments [J]. Plant Ecology, 2014, 215(1): 97-109.

[13]马玉栋,苟光前,孟文艺,等.贵州特有、极危竹种——爬竹、小蓬竹的解剖学研究[J].山地农业生物学报,2012,31(1):

20-24.

[14]宋桂卿,王正平.国产簕竹属竹的解剖及其在分类中的意义[J].竹子研究汇刊,1993,12(2):42-48.

[15]李娟.珍稀濒危植物裸木群落物种多样性及其形态解剖学研究[D].临汾:山西师范大学,2012.

[16]张利军.蓝果忍冬(*Lonicera caerulea* L.)形态多样性及果实品质研究[D].哈尔滨:东北农业大学,2012.

[17]布仁图雅.植物解剖学在生态学中的应用综述[J].内蒙古科技与经济,2008(12):55-56.

[18]伊稍K.种子植物解剖学[M].2版.李正理,译.上海:上海科学技术出版社,1982:245-249.

[19]钟理,尚以顺,杨春燕,等.贵州野生匍匐剪股颖形态多样性研究[J].北方园艺,2008(6):107-110.

[21]Das M, Bhattacharya S, Basak J, et al. Phylogenetic relationships among the bamboo species as revealed by morphological characters and polymorphism analyses [J]. Biologia Plantarum, 2007, 51(4): 667-672.

[22]Zhu S, Liu T, Tang Q, et al. Evaluation of bamboo genetic diversity using morphological and SRAP analyses [J]. Russian Journal of Genetics, 2014, 50(3): 267-273.

间长、冻土层深厚使青杨在“三江源”地区扎根不深,生长极其困难<sup>[4-5]</sup>。除此之外,春季大气温度开始回升,青杨地上部分开始发芽生长,但天峻县春季大风日较多,青杨地上部分水分的蒸发量增大,冻土层深厚使得根系处的土壤温度较低,回升速度缓慢,使得青杨根系无法进行水分吸收,致使青杨失水死亡;根系处土壤温度过低也使得青杨全年的生长量减小,青杨的木质化程度降低,从而导致青杨在天峻县高寒冻土层上的成活率较低。

本试验首次在高寒冻土层地区采用陶瓷太阳能集热技术,利用集热板吸收阳光的热量,以金属导热材料传导热量,用土壤作为储能介质,构成增温保温集成系统,其特点是低成本、无污染,配套设备一次投入,可多年连续使用;在低温环境下可形成大片区域的适温微环境,保障树木顺利越冬、快速生长。以青海的乡土树种青杨为研究对象,通过测定不同土壤温度条件下青杨的生长情况,探究出适宜青杨生长的土壤增温范围,以期提高天峻县的城乡绿化树种成活率和存活率,为高寒冻土层地区造林技术提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验区位于距新源镇 25 km 处,地势平坦,交通便利,海拔 3 400 m,年均降水量为 300 mm;试验地土质为沙质壤土,pH 值在 8.4 左右,土壤含水量较高。

1.2 试验材料

青杨植株:5 年生树况接近、无病虫害的青杨,株行距 1.0 m × 1.0 m。

增温设施:青海万通新能源技术开发股份有限公司提供的陶瓷太阳能集热系统。

实验仪器:60 cm 土壤探针温度计,游标卡尺,米尺,线绳,塔尺,围尺。

1.3 试验设计

在试验区设定 4 个不同的土壤增温处理区域,分别增温 2.0、3.0、4.0、5.0 ℃ (误差 ±0.1 ℃),用 S1、S2、S3、S4 标记,设立对照组,用 CK 标记;确保青杨生长期每个区域的抚育管理一致,每个区域中随机选定 10 株青杨(编号为 1~10 号),每月定期测定每株青杨的新生枝粗度、新生枝长度、树高和胸径的增长量。

1.4 指标测定

在 2014 年 6—10 月的每月 1 日,对不同土壤增温处理组中选定的每株青杨进行生长量的测定。利用游标卡尺测定新生枝粗度的变化;利用线绳和米尺测量新生枝长度的变化;利用塔尺测量树高;利用围尺在树高 1.3 m 处测量胸径,并记录数据。

1.5 数据处理

采用 Excel 2007 进行数据初步处理,计算青杨各个生长量的增长率,利用 SAS 9.1 统计软件进行单因素方差分析,采用 Duncan’s 新复极差法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 不同土壤增温处理对青杨新生枝的影响

2.1.1 不同土壤增温处理对青杨新生枝条数的影响 于 9 月 1 日测定 5 个试验区内青杨标记株的新生枝条数,然后对青杨新生枝条数变化量的平均值进行对比、分析(表 1)。

表 1 不同土壤增温处理对青杨新生枝条数的影响

处理组	新生枝数(条)										平均数
	1 号	2 号	3 号	4 号	5 号	6 号	7 号	8 号	9 号	10 号	
S1	11	5	9	12	10	8	9	13	8	15	10.0 ± 2.9a
S2	9	8	11	13	9	15	8	10	13	14	11.0 ± 1.8a
S3	8	7	10	11	10	9	12	11	11	13	10.2 ± 2.2a
S4	9	10	6	11	7	12	13	8	10	10	9.6 ± 2.6a
CK	4	12	10	8	7	9	6	11	13	9	8.9 ± 2.8a

注:同列数据后不同小写字母表示 0.05 水平上差异显著。下表同。

由表 1 分析可知,不同土壤增温处理组新生枝条平均数都多于对照组,S2 处理组新生枝条平均数达到最大值 11.0,依次为 S2 > S3 > S1 > S4 > CK,由此可见,土壤增温处理确实有利于促进青杨发出新生枝条;每个处理组中,青杨的新生枝条个数差异较大,造成组间差异不显著。

2.1.2 同土壤增温处理对青杨新生枝粗度的影响 每株青杨上标记 3 个枝条,于每月 1 日测定 5 个试验区内每株青杨新生枝的粗度,粗度测量的位置为同一新生枝基部 3 cm 处,然后对青杨新生枝粗度变化量的平均值进行对比、分析(表 2)。

由表 2 分析可知,每个月份不同土壤增温处理下新生枝粗度的增长量都高于对照组,并且每个月份 S3 处理下新生枝粗度的增长量都高于其他处理组,依次为:S3 > S2 > S4 > S1 > CK;所有处理组当中,新生枝粗度的增长量从 6 月份到 7 月份呈现上升趋势,并在 7 月份达到最大值,7 月份到 9 月份呈现下降趋势,这是由于天峻县大气温度在 7、8 月份达到最大值,土壤增温处理和大气温度共同促进了青杨的生长发育;从

表 2 不同土壤增温处理下青杨新生枝粗度的增长量

处理组	新生枝粗度增长量(mm)				
	6 月	7 月	8 月	9 月	总增长量
S1	2.27	3.48	2.9	2.68	11.33 ± 1.21c
S2	2.44	3.75	3.43	3.16	12.78 ± 0.98b
S3	2.75	4.29	3.94	3.58	14.56 ± 0.35a
S4	2.34	3.65	3.33	2.86	12.18 ± 0.68b
CK	1.75	2.68	2.54	2.21	9.18 ± 0.82d

总增长量上来看,4 个不同增温处理下新生枝粗度的增长量都显著高于对照组( $P < 0.05$ ),S3 处理下新生枝粗度显著高于 S2 和 S4( $P < 0.05$ ),达到 14.56%,S2 和 S4 处理下新生枝粗度差异不显著,但显著高于 S1( $P < 0.05$ )。由此可见,土壤增温 4 ℃ 时,最有利于青杨新生枝粗度的增长。

2.1.3 不同土壤增温处理对青杨新生枝长度的影响 每株青杨上标记 3 个枝条,于每月 1 日测定 5 个试验区内青杨新生枝长度,利用线绳测量出青杨新生枝的长度,然后在用米尺量出

线绳的长度,得出青杨新生枝的长度,计算得出平均值,然后对青杨新生枝长度变化量的平均值进行对比、分析(表 3)。

由表 3 分析可知,土壤增温对青杨新生枝长度的增长影响十分明显,不同土壤增温处理组新生枝的总长度均比对照组有显著提高。所有处理组当中,新生枝长度的增长量在 7 月份达到最大值。从总增长量上来看,4 个不同增温处理下新生枝长度的增长量都显著高于对照组 ( $P < 0.05$ ),S2、S3 处理下新生枝长度显著高于 S1 和 S4( $P < 0.05$ ),S2 和 S3、S1 和 S4 处理下新生枝长度差异均不显著。由此可见,土壤增温 3℃或 4℃时,最有利于青杨新生枝长度的增长。

2.2 不同土壤增温处理对青杨树高的影响

在 5 个试验区中,于 6 月、9 月分别对每个试验区中选定的青杨树高进行测量,利用塔尺测量树高,计算出每个区域内树高的平均值(表 4)。

表 4 不同土壤增温处理后青杨树高

处理组	树高(m)										
	1 号	2 号	3 号	4 号	5 号	6 号	7 号	8 号	9 号	10 号	平均
S1	1.97	1.93	2.00	1.96	2.09	1.90	2.07	2.00	1.95	1.97	1.98 ± 0.06b
S2	2.00	2.07	1.96	2.01	1.93	2.04	1.91	1.95	2.05	2.01	2.00 ± 0.05b
S3	2.07	2.01	2.09	2.07	2.04	2.10	2.11	2.03	2.13	2.13	2.08 ± 0.04a
S4	1.95	1.91	2.00	1.94	1.94	1.98	2.00	1.89	1.91	1.88	1.94 ± 0.04c
CK	1.84	1.80	1.75	1.89	1.86	1.83	1.86	1.88	1.83	1.89	1.84 ± 0.04d

由表 5 分析可知,各个不同土壤增温处理组青杨树高增长率均显著高于对照组 ( $P < 0.05$ );S2、S3 处理中青杨树高生长量较为明显,树高均增加了 0.41 m,其增长率显著大于其他 3 个试验区域 ( $P < 0.05$ ),增长率分别为 25.79%、24.55%,两者之间差异不显著;S4、S1 处理组青杨树高的变化量相近,增长率分别为 23.57%、22.98%,两者之间差异不显著;对照组青杨树高生长量最缓慢,平均增长 0.29 m,增长率为 20.26%。由此可见,土壤增温 3℃或 4℃时,青杨树高增长率达到最大值。

2.3 不同土壤增温处理对青杨胸径的影响

在 5 个试验区中,对每个试验区中的每株青杨胸径进行

表 6 不同土壤温度处理下青杨的胸径

处理组	9 月青杨胸径(cm)										
	1 号	2 号	3 号	4 号	5 号	6 号	7 号	8 号	9 号	10 号	平均
S1	4.03	3.98	3.87	4.10	4.00	3.98	3.85	4.05	3.99	4.06	3.99 ± 0.08b
S2	4.21	4.23	4.20	4.14	4.17	4.16	4.24	4.18	4.28	4.25	4.21 ± 0.04a
S3	4.36	4.30	4.17	4.26	4.21	4.40	4.27	4.20	4.33	4.41	4.29 ± 0.08a
S4	3.72	3.66	3.80	4.68	3.73	3.68	3.75	3.74	3.77	3.67	3.82 ± 0.31b
CK	3.78	3.54	3.70	3.77	3.50	3.87	3.79	3.80	3.64	3.72	3.71 ± 0.12c

由表 6 可见,S3 处理中平均胸径均大于其他处理组,为 4.29 cm,平均胸径依次为 S3 > S2 > S1 > S4 > CK。不同土壤增温处理组的青杨胸径均显著高于对照组 ( $P < 0.05$ );S2、S3 处理组胸径显著高于 S1( $P < 0.05$ ),但 S2、S3 间差异性不显著;S1 处理组胸径显著高于 S4( $P < 0.05$ )。由此可见,土壤增温 3℃或 4℃时,青杨胸径增长最为明显。

由表 7 可见,各个不同土壤增温处理组青杨胸径增长率均显著高于对照组 ( $P < 0.05$ );S2、S3 处理中青杨胸径生长量较为明显,6 月到 9 月青杨平均胸径分别增加了 1.14、1.20 cm,其增长率显著大于其他 3 个试验区域( $P < 0.05$ ),

表 3 不同土壤增温处理下青杨新生枝长度的增长量

处理组	新生枝长度增长量(mm)				
	6 月	7 月	8 月	9 月	总长度
S1	3.53	4.57	7.83	4.94	20.87 ± 1.08b
S2	4.94	5.56	6.73	5.41	22.64 ± 0.48a
S3	5.01	5.31	6.65	5.94	22.91 ± 1.56a
S4	4.07	4.98	7.31	4.04	20.40 ± 0.81b
CK	3.3	4.4	6.8	2.97	17.47 ± 1.32c

由表 4 分析可知,S3 处理中平均树高大于其他处理组,为 2.08 m,平均树高依次为 S3 > S2 > S1 > S4 > CK。不同土壤增温处理组的青杨树高均显著高于对照组 ( $P < 0.05$ );S3 处理组树高显著高于 S1、S2( $P < 0.05$ ),但 S1、S2 间差异性不显著;S1、S2 处理组树高显著高于 S4( $P < 0.05$ )。由此可见,土壤增温 4℃时,青杨树高增长最为明显。

表 5 不同土壤增温处理下青杨平均树高

处理组	树高(m)		增长率(%)
	6 月	9 月	
S1	1.61	1.98	22.98 ± 0.34b
S2	1.59	2.00	25.79 ± 0.26a
S3	1.67	2.08	24.55 ± 0.41a
S4	1.57	1.94	23.57 ± 0.37b
CK	1.53	1.84	20.26 ± 0.29c

测量,利用围尺测量树高 1.3 m 处的直径,计算出每个处理组青杨植株 9 月胸径的平均值,计算出胸径增长量,然后数据分析得出最适的土壤增温温度(表 6)。

表 7 不同土壤增温处理下青杨平均胸径

处理组	青杨胸径(cm)		增长率(%)
	6 月	9 月	
S1	3.03	3.99	31.68 ± 0.37b
S2	3.07	4.21	37.13 ± 0.46a
S3	3.09	4.29	38.83 ± 0.52a
S4	3.00	3.82	27.33 ± 0.98c
CK	3.01	3.71	23.26 ± 0.71d

增长率分别为 37.13%、38.83%,两者之间差异不显著;S1 处理组青杨的胸径的增长率显著高于 S4,增长率分别为

31.68%、27.33%;在对照组中青杨胸径生长最缓慢,平均增长0.70 cm,增长率为23.26%。由此可见,土壤增温3℃或4℃时,青杨胸径增长率达到最大值。

### 3 结论与讨论

#### 3.1 结论

(1)青杨根系处的土壤经过不同程度的增温处理后,青杨的新生枝粗度、新生枝长度、树高、胸径各项生长指标相对于对照组均有明显的提高。

(2)不同土壤增温处理对青杨新生枝影响的研究表明:土壤增温4℃时,最有利于青杨新生枝粗度的增长,总增长量达到14.56 mm,优于增温3℃、增温5℃和增温2℃的处理,更优于对照组的处理,比对照组总增长量高出5.28 mm;土壤增温4℃或3℃时最有利于青杨新生枝长度的增长,分别达到22.91、22.64 mm,优于增温2℃和增温5℃的处理,更优于对照组的处理,比对照组总增长量高出5.44 mm。

(3)不同土壤增温处理对青杨树高影响的研究表明:土壤增温3℃或4℃时最有利于青杨树高的增长,增长率分别达到25.79%、24.55%,优于增温5℃和增温2℃的处理,更优于对照组的处理,增长率比对照组增长率高出5.53%。

(4)不同土壤增温处理对青杨胸径影响的研究表明:土壤增温4℃或3℃时最有利于青杨胸径的增长,增长率分别达到38.83%、37.13%,优于增温2℃和增温5℃的处理,更优于对照组的处理,增长率比对照组增长率高出15.57、13.87百分点。

(5)综合各项指标,土壤增温4℃时最有利于青杨的生长;且在大气温度最高的7月、8月,土壤增温和大气温度相结合,使得青杨各项生长指标的增长量达到最大值。

#### 3.2 讨论

影响青杨生长量的主要因素包括气候、生境、土壤等方面<sup>[6-8]</sup>。光、热、水、肥4个土壤生态因子对青杨生长的影响程度亦有差异,各生态因子对青杨生长的影响程度依次为土壤水分、土壤肥力、光照、天然降水、热量。土壤温度对青杨的宏观生长量有着显著的影响,但其作用机制以及对生殖生长的影响还需要进一步研究<sup>[9]</sup>。

自然条件下植物根系和地上部分所处的环境温度不同,根系部分温度也有一定的差异<sup>[10]</sup>。当大气温度达到一定范围时,开始影响地上部分发芽生长,而土壤温度却还未达到促进根系生长、代谢的温度范围,这就会使得植株发生“干梢”现象,从而引起植株的死亡,难以提高林木的成活率<sup>[11]</sup>,这也是冻土层造林成活率低的主要原因。Walker研究表明,土壤温度变化1℃就能引起植物生长发生明显的变化<sup>[12]</sup>。范爱武等的研究也表明,土壤温度可以通过多种不同的机制影响植物地上部分的生长<sup>[13]</sup>。因此植物的生长发育可能对土壤温度更加敏感<sup>[14-19]</sup>。

本试验通过对5个处理组所栽植的青杨的新生枝粗度、新生枝长度、树高和胸径进行测量,然后求各个生长量的平均值,通过对青杨生长量的分析,得出不同温度对青杨生长的影响;由于试验区的自然气候原因,试验地区的地理环境原因和

一些仪器中的系统误差,使得本次试验数据具有一定的误差。

近年来,随着水土流失和土地荒漠化程度的加剧,植树造林越来越受到社会各级的关注,同时育苗、造林技术的研究也逐渐向着科学化、具体化、专业化的方向发展。土壤温度和大气温度对植物的生理生态效应已经受到普遍的重视,但是对于植物生长的影响还缺乏专业性的研究。因此土壤温度和大气温度对于植物生长影响更细、更深的研究将成为未来一段时间人们研究的热点和重点。

#### 参考文献:

- [1]何武成. 青海省天峻县近50年气温变化特征[J]. 现代农业, 2011(10):96-98.
- [2]郑胜章. 青海省天峻县地质灾害特征分析及其防治措施[J]. 价值工程, 2012(21):296-298.
- [3]方月梅,姜鹏,商蕾,等. 青杨插条繁殖林分生长量及生长期研究[J]. 河北林果研究, 2013, 28(3):237-240, 244.
- [4]康兴成,张其花. 青藏高原高海拔地区柏树生长季节的探讨[J]. 冰川冻土, 2001, 23(2):149-155.
- [5]滕晓华. 论藏族生态知识的不可替代价值——以昌都地区察雅县荣周乡成功造林为例[J]. 贵州民族学院学报:哲学社会科学版, 2006(6):43-47.
- [6]王国山. 青杨生长量与土壤因素的关联分析[J]. 河北林业科技, 1989(4):19-22.
- [7]郑太晶,赵云,张家林,等. I—45/51 杨生长量与气候因素的关联分析[J]. 吉林林业科技, 1994(4):33-34, 39.
- [8]石培贤,李成郁,孙兰德,等. 黄土高原西缘青杨生长与生境的相关研究[J]. 西北林学院学报, 1997(2):21-25.
- [9]曹兵,许泽华,宋丽华,等. 土壤温度变化对枸杞苗木生长的影响[J]. 农业科学研究, 2009, 30(3):1-4.
- [10]冯玉龙,刘恩举,孙国斌. 根系温度对植物的影响(I)——根温对植物生长及光合作用的影响[J]. 东北林业大学学报, 1995, 23(3):63-69.
- [11]Lopushinsky W, Max T A. Effect of soil temperature on root and shoot growth and on budburst timing in conifer seedling transplants[J]. New Forests, 1990, 4(2):107-124.
- [12]Walker J M. One-degree increments in soil temperatures affect maize seedling behavior[J]. Soil Science Society of America Journal, 1969, 33(5):729-736.
- [13]范爱武,刘伟,刘炳成. 土温对植物生长的影响及其机理分析[J]. 工程热物理学报, 2004, 25(1):124-126.
- [14]于永辉,李雪梅,宋亚杰,等. 土壤温度对大豆产量的影响试验研究[J]. 民营科技, 2008(3):102.
- [15]Iremiren G O,王胜利. 土壤温度对玉米生长和产量的影响[J]. 国外农学:杂粮作物, 1990(2):9.
- [16]吴岳轩,吴振球. 土壤温度对亚种间杂交稻根系生长发育和代谢活性的影响[J]. 湖南农学院学报, 1995(3):218-225.
- [17]王来沂. 土壤温度与干旱对辐射松生长的影响[J]. 吉林林业科技, 1979(4):123-128.
- [18]Heninger R L, White D P, 韩恩贤. 不同土壤温度中苗木的生长[J]. 陕西林业科技, 1983(2):96-99.
- [19]程建峰,陈素珍,潘晓云,等. 土壤温度对陆稻根系生长发育的影响[J]. 江西农业大学学报, 2000, 22(1):6-10.