

黄土丘陵区穴衬膜造林技术

曹世雄¹ 冷平生² 陈莉³ 陈源泉¹ 高旺盛¹

(1 中国农业大学农学与生物技术学院区域农业发展研究中心

2 北京林业大学水土保持学院 3 延安市水土保持研究所)

摘要:穴衬膜栽植技术是指树木栽植时,在挖好的栽树坑底部和四周衬贴一层防渗薄膜(厚度为0.000 7 mm可降解塑料薄膜),树木栽好覆土浇水后,再在地表面覆膜,防止栽树浇水(施肥)的渗漏和蒸发,使树根在栽植后较长时间内处于含水量较高、四周封闭的潮湿土壤之中,从而达到提高成活率和促进林木前期生长的目的。1997—2001年,作者在延安市宝塔区枣园镇下砭沟小流域采用田间对比试验法进行了5 a试验。结果表明,该技术可有效防止树根周围土壤水分和养分的蒸发与渗漏,促进浅层根系的生长发育,保水作用可持续4个月以上,对各种树木成活率和生长量均有显著促进作用,在黄土丘陵地区可提高林木成活率31.5%,年均枝条生长量提高57%,在人工造林中具有广阔的推广前景。

关键词:人工造林,穴衬膜栽植技术,黄土丘陵区

中图分类号:S728 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-1522(2005)03-0001-05

CAO Shi-xiong¹; LENG Ping-sheng²; CHEN Li³; CHEN Yuan-quan¹; GAO Wang-sheng¹. **Effects of "cave padded plastic film" afforestation technique in Loess hilly-gully regions.** *Journal of Beijing Forestry University* (2005)27(3)1-5[Ch, 20 ref.]

¹ Regional Agriculture Research and Development Centre, College of Agronomy and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing, 100094, P. R. China;

² College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, 100083, P. R. China;

³ Institute of Soil and Water Conservation, Yan'an, Shaanxi, 716000, P. R. China.

A new afforestation technique, "cave padded plastic film", was proposed which was designed for forestation in Loess hilly-gully areas. The design of this technique is to dig a soil pit before planting, padding plastic film (the thickness of the film is 0.000 7 mm, decomposable) around the wall and on the bottom of the soil cave; then planting, filling with soil and covered with film to avoid leakage and evaporation, making a closed and wet environment suitable for plant growth. From 1997 to 2001, the authors made many tests in Xiabian Valley, Zaoyuan Town, Baota District of Yan'an City, West China's Shaanxi Province, to test the effects of this new technique, compared with traditional ways. The results show that the "cave padded plastic film" afforestation technique can prevent evaporation of soil moisture and leakage of soil nutrition and remarkably improve the survival rate and growth of artificial afforestation, and this situation can last for more than 4 months. The survival rate can increase by 31.5% and the biomass of branches by 57%.

Key words artificial afforestation, cave padded plastic film afforestation technique, Loess hilly-gully region

如何提高造林成活率和促进林木生长发育是人工造林技术研究的重要方向,迄今国内外已有许多关于林木生长与防蚀机理的研究报道。Gale等人证实,根系分布深度由于影响到林木拥有营养空间大

小和对土壤水分及养分利用,是制约人工林生产水平的关键因素^[1-3]。近年来近自然林(Near-natural Forestry)林业理论、恢复生态学^[4]、造林对气候环境和生态环境的影响及景观生态学方面的研究非常活

收稿日期:2004-05-11

http://journal.bjfu.edu.cn

资助项目:国家重点基础研究发展规划项目(G2000018606)、延河流域世界银行贷款项目(3222CHA)。

第一作者:曹世雄,高级工程师,博士生。主要研究方向:水土保持。电话:010-62731163 Email:shixiongcao@163.com 地址:100094 北京海淀区圆明园西路2号中国农业大学农学与生物技术学院区域农业发展研究中心。

责任作者:高旺盛,教授。主要研究方向:宏观农业、区域农业发展。电话:010-62731163 Email:wshgao@cau.edu.cn 地址:同上。

跃^[5-8]。在广大黄土高原区,由于不同区域立地条件、土壤水肥状况和物理状态相差悬殊,因此对植被的生长和分布产生了较大影响^[9]。我国学者对该地区主要造林树种根系抗旱机理^[10]、集流抗旱造林技术优化模式^[11]、柠条植苗造林技术^[12]、森林植被培育^[13,14]和集雨造林原理与保水剂在造林绿化中的应用做了大量研究^[15-20]。但是,这些研究理论探讨较多,特别是针对天然降水的利用和化学试剂的应用研究很活跃,对如何提高造林时人工补充水分的利用效率方面的研究还极少。我国黄土丘陵区土壤含沙量高、通透性好、水分蒸发散失容易,近年来,各地积极推广了地面覆盖(覆膜、覆草等)浇水造林技术,取得了良好效果。但实践证明,当遇到持续干旱时,覆膜技术因无法改变土壤自身缺水状态和无法阻止土壤浇水的渗漏,仍难以满足树木对水分的需要,影响了树木栽植成活率。1997年我们设计提出了“穴衬膜造林栽植技术”,以达到提高成活率和促进林木生长的目的。本文是我们连续5a试验和应用的主要研究结果。

1 试验区自然概况

试验区位于黄土高原陕西省延安市下砭沟小流域,东经 109°26'15",北纬 36°32'30"。地处延安市北郊 1.2 km,设点前流域内植被破坏严重,两沟两梁地形破碎,属黄土丘陵区第二副区,海拔高度 993.7~1 191.2 m。试验区面积 1.21 km²,土壤侵蚀强烈,年侵蚀模数 15 000 t/km²。年平均气温 9.4℃,年平均降水 547.4 mm,多年汛期平均降水 413.6 mm,1997—2001 年汛期降水 364.0 mm,其中 71.2%集中于 6—9 月份,年无霜期 147 d,干旱霜冻危害较为频繁。试验区地势由低到高,形成了自然土层立体差异,具有黄土高原丘陵沟壑区典型地貌特征和典型土壤类型,在研究黄土丘陵区人工造林技术方面具有较强代表性。

2 材料与方法

2.1 树种

试验选用枣树(*Ziziphus jujuba* var. *inermis*)、李子(*Prunus simonii*)、仁用杏(*Armeniaca mandshurica*)、山桃(*Prunus davidiana*)、山杏(*Prunus armeniaca*)、白桃(*Prunus persica*)、元宝枫(*Acer truncatum*)、柠条(*Caragana korshinskii*)、梨树(*Pyrus bretschneideri*)、榆叶梅(*Rosa xanthina*)、黑穗醋栗(*Ribes burejense*)等树种。

2.2 穴衬膜栽植技术设计

对试验地进行宽 2.0 m、边坎 30 cm×30 cm 水

平沟隔坡整地,隔坡距离为 2.0 m,穴植,分 22 个小区,每小区分 3 个重复,小区面积为 2~3 hm²,形状为顺坡面长方形,栽植密度为 1 250 株/hm²(4.0 m×2.0 m)。树坑大小为 60 cm×60 cm×60 cm,采用传统栽植与穴衬膜栽植技术(图 1、2),除衬膜方法不同外其他条件力求一致。穴衬膜栽植技术是在挖好的栽树坑底部和四周衬贴一层防渗薄膜(厚度为 0.007 mm 可降解塑料薄膜,要求在雨季到来时基本降解,确保雨季过多水分正常渗漏,不在根部形成积水)。树木栽好覆土后每株浇水 7.5 kg,然后再在地表面覆膜,防止栽树浇水的渗漏和蒸发,使树根在栽植后较长时间内处于含水量较高、四周封闭的潮湿土壤之中,从而达到提高成活率和促进林木前期生长的目的。覆膜时树干从膜中心穿出,形成入水孔,以便降水入渗,孔口用土掩埋,防止膜内蒸气溢出烫伤树干。

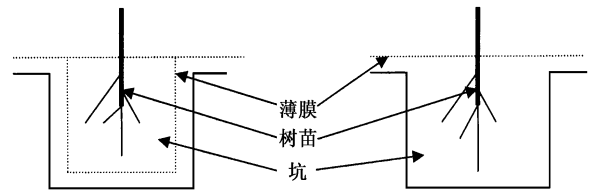


图 1 穴衬膜栽植示意图

图 2 传统栽植技术示意图

FIGURE 1 The "cave padded plastic film" afforestation technique

FIGURE 2 The traditional afforestation technique

2.3 测定指标与方法

1)成活率:所有树种 1997 年春天栽植,1997 年秋季进行实地随机抽样,测定其成活率,每种树木抽样不少于 300 株,确保数据的准确性。

2)生长量与林冠面积:每年树木停止生长后(11 月中旬),用钢卷尺测定当年枝条生长量。每年分别于旺长期(6 月中旬)测定树木林冠面积,每种每次随机取样 20 株以上,然后取其平均值。

3)郁闭度:每年分别于旺长期(6 月中旬)测出树冠面积,实地根据株行距,得出郁闭度,树木相互交叉时,计算中减去相互重叠部分。

4)土壤水分:栽植当年汛期(5—10 月)每月 10、20、30 日对实验与对照栽植坑内土壤含水量进行定期测定,随机选点取土,深度为 20、40、60 及 80 cm 各取 1 个土样,每个小区每次选 3 个取土点。

5)树木根系:2001 年 10 月中旬在各样地内不同树种随机选取 30 株样木。取样时,以样木为中心分别在半径 0.5 和 1.5 m 的弧线上按等距离确定 3 个取样点,分土层(10 cm)用土钻($\phi=6.8$ cm)采土样,直至无根系出现。从各土层所采土样中拣出所有根系,编号后置于 105℃烘箱,烘干至恒重,称重记录。

3 结果与分析

3.1 土壤水分

研究结果(表1)表明,“穴衬膜栽植技术”在栽植当年4—10月平均提高栽植坑内土壤水分含量30.69%,20、40、和60 cm土层含水量分别提高28.90%、30.10%和33.04%,各土层年平均含水量相差不大,但不同月份变化显著.在最干旱的5—6月栽植坑内0~60 cm土壤平均水分含量比对照高62.83%~85.33%,4、7、8月份分别比对照高

26.50%、31.63%和22.81%,而9—10月份与对照差异不显著.这可能与树根的穿透作用和薄膜的逐渐降解导致薄膜保水作用下降有关.

此外,薄膜把树坑内和树坑外隔离开来,会影响坑内外水分和养分的交流.在栽植后的前3个月,坑内土壤水分含量比膜下高38.88%~43.55%;在栽植后的第1个月,膜下土壤水分比对照低14.67%.随着薄膜的逐渐降解和树根的穿透作用,薄膜的副作用逐步减小(见表1).

表1 不同栽植技术树根附近土壤水分含量

TABLE 1 Soil water content nearby the roots of different trees by “care padded plastic film” and traditional afforestation technique

月份	20 cm			40 cm			60 cm			平均			80 cm			
	对 照	穴衬膜 栽植	提 高	对 照	穴衬膜 栽植	提 高	对 照	穴衬膜 栽植	提 高	对 照	穴衬膜 栽植	提 高	对 照	穴衬膜 栽植	提高	
															①	②
4	14.20	17.45	22.89	14.20	17.67	24.44	14.31	18.92	32.22	14.24	18.01	26.50	13.29	11.34	-14.67	-40.06
5	10.22	16.34	59.88	10.39	16.78	61.50	10.45	17.44	66.89	10.35	16.85	62.83	10.48	10.66	1.72	-38.88
6	8.02	14.58	81.80	8.02	14.65	82.67	8.02	15.36	91.52	8.02	14.86	85.33	8.00	8.67	8.38	-43.55
7	9.98	13.11	31.36	10.00	13.12	31.20	10.00	13.23	32.30	9.99	13.15	31.62	10.16	10.77	6.00	-18.59
8	9.20	11.23	22.07	9.27	11.34	41.54	9.32	11.56	24.03	9.26	11.38	22.81	9.54	10.08	5.66	-11.42
9	10.54	10.72	1.70	10.65	10.77	1.13	10.93	11.08	1.37	10.71	10.86	1.37	11.22	10.76	-4.10	-2.89
10	12.45	12.77	2.57	12.50	13.30	6.40	13.35	14.01	4.94	12.77	13.36	4.62	14.03	13.24	-5.63	-5.50
平均	10.66	13.74	28.92	10.72	13.95	30.10	10.91	14.51	33.04	10.76	14.07	30.69	10.96	10.79	-1.56	-25.64

注:①是与对照的比,②是与坑内60 cm的比.

3.2 栽植成活率与生长发育

通过对11个树种的观测,穴衬膜栽植技术对大部分树种成活率作用都很明显,11种树种平均成活率提高了48.27%,其中对生长缓慢、成活率差的树种作用更显著.枣树成活率由5.35%提高到83.0%,提高了14.51倍,其次是李子、仁用杏、山

桃、山杏、白桃,分别提高了98.69%、94.74%、72.59%、70.51%和65.56%.对容易栽植的树种也有作用,元宝枫、柠条、梨树、黑穗醋栗、榆叶梅分别提高了20.27%、16.67%、15.91%、14.88%和2.60%(见表2).

表2 不同栽植方法树木成活率与生长的变化

TABLE 2 Growth and development of different trees by “cave padded plastic film” and traditional afforestation technique

	成活率			年均枝条生长量			第4年林冠面积			第4年郁闭度		
	实验/%	对照/%	提高/%	实验/cm	对照/cm	提高/%	实验/m ²	对照/m ²	提高/%	实验/%	对照/%	提高/%
白桃	74.5	45.00	65.56	0.99	0.60	65.00	4.46	2.93	52.44	52.79	36.63	44.61
李子	76.00	38.25	98.69	1.17	1.00	17.00	2.17	2.13	1.88	27.13	26.63	1.88
山桃	75.37	42.67	72.59	0.86	0.83	3.61	2.01	1.95	3.08	25.13	24.38	1.03
山杏	65.50	39.00	70.51	0.55	0.45	22.22	1.44	1.30	10.77	18.00	16.25	10.77
梨树	81.53	70.34	15.91	0.50	0.44	11.36	1.72	1.63	5.52	21.50	20.38	5.52
元宝枫	90.20	75.00	45.00	0.50	0.41	21.95	2.33	1.98	17.68	29.13	24.75	17.68
枣树	83.00	5.35	1451.4	0.92	0.36	155.56	0.58	0.32	81.25	7.25	4.00	81.25
榆叶梅	98.50	96.00	2.60	1.60	1.55	3.23	3.37	3.30	2.12	42.06	41.25	1.96
仁用杏	74.00	38.00	94.74	1.07	0.55	94.55	3.32	1.76	88.64	41.46	22.00	88.46
醋栗	98.80	86.00	14.88	0.53	0.46	15.69	0.24	0.24	—	3.00	3.00	—
柠条	84.00	72.00	16.67	1.17	1.00	17.00	0.43	0.40	7.50	5.38	5.00	7.50
平均	82.04	55.33	48.27	0.88	0.68	27.88	2.02	1.63	23.93	24.80	20.39	21.63

穴衬膜栽植技术能有效促进树木生长(见表2),11种树木4 a枝条平均生长量提高了27.88%,其中枣树、仁用杏和白桃表现最明显,生长速度分别增加了155.56%、94.55%和65.00%,山杏、元宝枫、

柠条、黑穗醋栗、梨树、山桃、榆叶梅、李子分别增加了22.22%、21.95%、17.00%、15.21%、11.36%、3.61%、3.23%和1.36%.从成林角度来看,穴衬膜栽植技术促进了树木的生长发育,从而促进了树木

的成林速度,4 a 内林冠面积平均提高了 23.93%,郁闭度提高了 21.63%(见表 2). 其中仁用杏、枣树、桃树表现显著,林冠面积和郁闭度分别提高了 88.64%、81.25%和 52.44%与 44.61%. 穴衬膜栽植技术有效防止栽植坑内水分的蒸发与渗漏,在较长时间内使树根周围土壤保持较高水分含量,从而提高了树木的成活率,促进了树木的生长.

试验结果(图 3、4)表明,穴衬膜栽植技术对树木前期生长促进作用表现更显著,第 1 年生长量提高了 38.30%,第 2、3、4 年分别提高了 34.33%、30.55%和 23.88%;第 1 年森林覆盖度比对照提高了 36.98%,第 2、3、4 年分别比对照提高了 26.47%、10.04%和 21.63%,这可能与后期薄膜的保水作用下降有关.

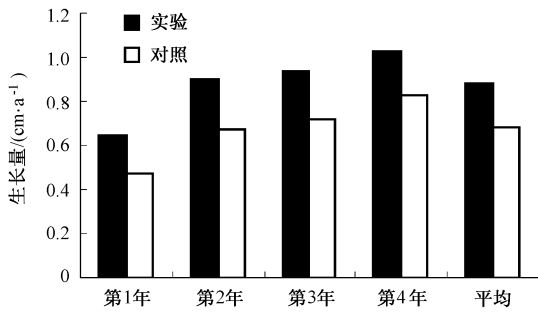


图 3 生长量对照图

FIGURE 3 Annual biomass compared with CK

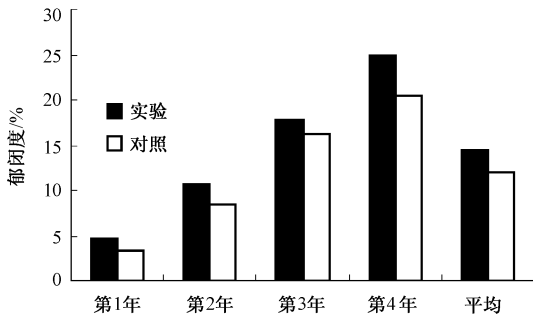


图 4 郁闭度对照图

FIGURE 4 The crown density compared with CK

3.3 根系垂直分布

对树木根系调查结果(见表 3)表明,穴衬膜栽植树根生物量与对照没有明显区别,但根系分布发生了很大变化. 各树种根系主要分布在 10~80 cm 土层,0~40 cm 浅土层根量比对照增加 14.3%,表现最突出的是桃树、李子、山杏,0~40 cm 浅土层根量分别比对照增加 47.1%、38.9%、33.8%,梨树 0~60 cm 土层根量比对照增加 34.1%,元宝枫和枣树 0~40 cm 浅土层根量分别比对照增加 58.8%和 35.7%. 而在 40 cm 以下土层多数供试树种的根量比对照低,如 50~60 cm 与 60~70 cm 土层根量分别

比对照低 45.8%和 32.6%. 在干旱胁迫下,传统栽植技术促进了根系向土壤深层生长发育,在理论上提高了树木抗旱性能. 因此,穴衬膜栽植技术在干旱条件下对树木生长发育的长期影响需要做进一步研究.

表 3 不同树种根系垂直分布特征 $g \cdot m^{-3}$

TABLE 3 The vertical distribution of roots of different trees

树木	处理	土层深度/cm					合计
		0~20	20~40	40~60	60~80	80~100	
桃树	试验	43	65	82	32	2	224
	对照	24	55	80	39	3	201
李子	试验	24	54	80	28	1	186
	对照	20	63	86	54	6	229
山桃	试验	33	80	46	26	3	188
	对照	29	66	84	60	2	221
山杏	试验	56	37	24	69	1	187
	对照	46	28	19	78	3	174
梨树	试验	7	54	57	33	4	135
	对照	11	31	46	46	8	142
元宝枫	试验	56	71	24	36	3	190
	对照	26	54	29	54	14	177
枣树	试验	4	15	9	1	2	31
	对照	1	13	12	7	3	36
榆叶梅	试验	49	106	27	4	1	187
	对照	38	121	43	12	3	217
仁用杏	试验	22	57	62	19	3	163
	对照	13	56	94	29	6	198
黑穗醋栗	试验	10	24	6	3		43
	对照	10	16	11	4		41
拧条	试验	12	33	17	6	1	69
	对照	8	36	13	12	4	73
平均	试验	25.7	54.1	34.8	23.4	2	145.7
	对照	20.6	49	47	35.9	4.8	155.4
试验:对照		1.25	1.10	0.74	0.65	0.42	0.94

4 结论与建议

研究表明,“穴衬膜栽植技术”有效防止了树根周围土壤水份与肥料的渗漏和蒸发. 在栽植当年 4—10 月平均提高栽植坑内土壤水分含量 30.69%,在最干旱的 5—6 月高达 62.83%~85.33%. 穴衬膜栽植技术促进了树木浅土层根系的生长发育,因此对各种树木成活率和生长量均有显著促进作用. 在黄土丘陵地区对常规技术栽植成活率低的树种——枣树、李子、仁用杏、山桃、山杏、桃树作用最明显,成活率分别提高了 14.51 倍和 98.69%、94.74%、72.59%、70.51%和 65.56%,4 年平均生长量提高了 155.56%、1.36%、94.55%、3.61%、22.22%和 65.0%,大面积推广证实可提高树木成活率 31.5%以上. 由于地膜在地里难以降解,在推广时应注意使用易降解的新型薄膜或纸膜材料. 穴衬膜栽植技术的原理与把树木栽植在容器里(如容器育苗)一样,为树木的成活和生长发育提供

了一个良好环境,在人工造林中有极其广阔的推广前景.穴衬膜栽植技术的保水作用可持续4个月以上,而每株成本仅为0.05~0.1元左右,是一项简单和经济可行的实用技术.

参 考 文 献

- [1] GALE M R, GRIGAL D F, HARDING R B. Soil productivity index: predictions of site quality for white spruce plantations[J]. *Soil Sci Soc Am J*, 1991, 55: 1 701-1 708.
- [2] WOO M, FANG G, DICENZO P D. The role of vegetation in the retardation of rill erosion[J]. *Catena*, 1997, 29(2): 145-159.
- [3] De ROO A P J, WESSELING C G, RITSEMA C J. LISEM: a single-event physically based hydrological and soil erosion model for drainage basins. I: Theory, input and output [J]. *Hydrological Processes*, 1996, 10: 1 107-1 117.
- [4] IVANKO J. Planting trees for the future [J]. *Environmental Magazine*, 2001, 12: 14.
- [5] PENG C H. Growth and yield models for uneven-aged stands: Past, present and future[J]. *Forest Ecology and Management*, 2000, 132: 259-279.
- [6] APADULAA F, GOTTIA A, PIGINIA A, et al. Localization of source and sink regions of carbon dioxide through the method of the synoptic air trajectory statistics [J]. *Atmospheric Environment*, 2003, 37: 3 757-3 770.
- [7] FOX A D M, BRYAN R B. The relationship of soil loss by inter rill erosion to slope gradient[J]. *Catena*, 2000, 38(2): 211-222.
- [8] WANG H J, ZHOU H. A simulation study on the eco-environmental effects of 3N Shelterbelt in North China[J]. *Global and Planetary Change*, 2003, 37: 231-246.
- [9] 代亚丽. 水土保持林学[M]. 陕西杨凌: 西北农业大学出版社, 1993.
- DAI Y L. *Forestry of soil and water conservation* [M]. Yangling, Shaanxi: North-western Agriculture University Press, 1993.
- [10] 赵忠, 李鹏. 渭北黄土高原主要造林树种根系分布特征及抗旱性研究[J]. 水土保持研究, 2002, 16(1): 96-100.
- ZHAO Z, LI P. Researches on vertical root distributions and drought resistance of main planting tree species in Weibei Loess Plateau[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2002, 16(1): 96-100.
- [11] 余清珠, 王进鑫, 高文秀, 等. 集流抗旱造林技术优化模式的研究[J]. 水土保持通报, 1993, 13(4): 15-19.
- YU Q Z, WANG J X, GAO W X, et al. Study on the optimized model of anti-dry forestation technique [J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 1993, 13(4): 15-19.
- [12] 王正秋, 郭玉奇. 柠条直播与植苗造林效果[J]. 中国水土保持, 1992(6): 35-37.
- WANG Z Q, GUO Y Q. Effect of *Caragana korshinskii* Kom. by line-sowing[J]. *Soil and Water Conservation of China*, 1992(6): 35-37.
- [13] 彭鸿, STIMM B, KATEB H E I. 渭北刺槐和油松人工林林分质量初步研究[J]. 陕西林业科技, 2001(3): 1-7.
- PENG H, STIMM B, KATEB H E I. A preliminary study on the stand quality of *Robinia pseudoacacia* and *Pinus tabulaeformis* plantations on the Weibei Loess Plateau[J]. *Shaanxi Forest Science and Technology*, 2001(3): 1-7.
- [14] 彭鸿, 陈晓荣, 余仲东. 刺槐人工林培育实践的认知[J]. 水土保持学报, 2003, 17(5): 11-15.
- PENG H, CHEN X R, YU Z D. Know-how on sivilculture of black locust plantation[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2003, 17(5): 11-15.
- [15] 张光灿, 贺康宁, 刘霞. 黄土高原半干旱区林木生长适宜土壤水分环境的研究[J]. 水土保持学报, 2001, 15(4): 1-5.
- ZHANG G C, HE K N, LIU X. Fitting soil moisture environment of trees growth on Loess Plateau in semi-arid region[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2001, 15(4): 1-5.
- [16] HE K N, HOU Z H. The dynamic study on transpiration consumption of black locust forest [J]. *Forestry Studies in China*, 2001, 3(2): 10-17.
- [17] 王斌瑞, 贺康宁, 史长青. 保水剂在造林绿化中的应用[J]. 中国水土保持, 2000(4): 22-24.
- WANG B R, HE K N, SHI C Q. Application in forestation and virescence of water-saver[J]. *Soil and Water Conservation of China*, 2000(4): 22-24.
- [18] 贺康宁, 田阳, 史常青, 等. 黄土半干旱区集水造林条件下林木生长适宜的土壤水分环境[J]. 林业科学, 2003, 39(1): 10-16.
- HE K N, TIAN Y, SHI C Q, et al. The suitable soil moisture condition for forest growth in catchment afforestation in semi-arid region on Loess Plateaus[J]. *Science Silvae Sinicae*, 2003, 39(1): 10-16.
- [19] 贺康宁, 王斌瑞, 张光灿. 黄土集水造林地土壤热特性的研究[J]. 北京林业大学学报, 2000, 22(3): 27-32.
- HE K N, WANG B R, ZHANG G C. Study on soil thermal properties in forest land of catchment in Loess [J]. *Journal of Beijing Forestry University*, 2000, 22(3): 27-32.
- [20] 侯振宏, 贺康宁, 张小全. 晋西黄土高原半干旱区刺槐林分需水量的研究[J]. 水土保持学报, 2003, 17(4): 180-183.
- HOU Z H, HE K N, ZHANG X Q. Study on water requirement of black locust forest in semi-arid region on Loess Plateau of Northwest Shanxi[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2003, 17(4): 180-183.

(责任编辑 赵 勃)