

退耕还林工程中保水剂应用造林成本分析

陈宝玉¹, 王志彬², 张岩³, 张卫强³, 王洪君¹, 张玉珍⁴

(1. 中国农业科技东北创新中心农业环境与资源研究中心, 吉林 长春 130124; 2. 河北省赤城县黑龙山林场, 河北 赤城 075500; 3. 河北省林业局, 河北 石家庄 050081; 4. 河北农业大学 林学院, 河北 保定 071000)

摘要: 为了比较退耕还林工程中应用保水剂造林和常规造林成本, 以河北省张家口市崇礼县和康保县为例, 对其应用保水剂造林成本进行了核算, 结果表明, 利用保水剂造林成本较高。但此方法可以提高造林的成活率, 减少补植工作量或重造次数, 也就相应降低了造林成本。保水剂作用发挥是在有降水或者提前吸水的条件下, 因而选用保水剂造林时, 要因地制宜, 选择合适的保水剂类型。只有掌握了使用比例、方法, 选好造林季节, 保水剂造林效果才能保证, 成本方能降低。

关键词: 退耕还林; 保水剂; 造林; 成本; 成活率和保存率

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2009)05-0109-05

中图分类号: S157.9

Sylvicultural Cost of Super Absorbent Polymers in the Converting Cropland to Forest Program

CHEN Bao-yu¹, WANG Zhi-bin², ZHANG Yan³,
ZHANG Wei-qiang³, WANG Hong-jun¹, ZHANG Yu-zhen⁴

(1. Agricultural Environment and Resource Centre, Northeast Agricultural Research Centre of China, Changchun, Jilin 130124, China; 2. Heilongshan Forest Centre of Chicheng County, Chicheng, Hebei 075500, China; 3. Forest Bureau of Hebei, Shijiazhuang, Hebei 050081, China; 4. College of Forestry, Hebei Agricultural University, Baoding, Hebei 071000, China)

Abstract: This study was conducted to compare the cost of forestation using super absorbent polymers (SAP) and the cost of conventional forestation in the converting cropland to forest program. Chongli County and Kangbao County were taken as two examples to estimate sylvicultural cost of SAP. Results showed that the sylvicultural cost of SAP was higher than that of conventional planting. However, the survival rate of forestation using SAP was increased and the cost of replanting was reduced. Thus, the sylvicultural cost can be reduced relatively. SAP function was affected by moisture condition because SAP can not product water. When SAP was used in forestation, soil type, SAP type, dosage, method, and forestation season should be considered.

Keywords: converting cropland to forest; super absorbent polymer; forestation; cost; survival rate and preservation

保水剂(super absorbent polymers, 简称 SAP)是近年来发展迅速的化学节水技术。保水剂是利用强吸水性树脂制成的一种超高吸水保水能力的高分子聚合物, 它能迅速吸收比自身重数百倍, 甚至上千倍的纯水, 而且有反复吸水功能, 吸水后的水可缓慢释放供植物利用^[1-2]。运用以保水剂为中心的综合保水技术, 提高植物本身的抗旱性和水分利用效率, 是发展旱地农林业的中心问题, 也是目前国内外半干旱、半湿润地区的植物生理及农业研究的热点^[3]。也有研究表明, 只有在适宜的土壤水分范围内, 保水剂的应用才能获得最佳效果^[4]。因此, 国内外研究者报

道, 保水剂施用得当, 可促进植物根系发育, 提高出苗率和移栽成活率, 延缓凋萎时间^[5-7]。

虽然国内外众多的学者和机构对保水剂进行了多方面的研究和探讨, 而且在我们国内, 甘肃、陕西、山西、河北、北京、天津等地都有农民在抗旱和造林中使用保水剂^[8-10]。但从全国总的来看, 推广速度缓慢, 很多地方的农民甚至没有听说过保水剂。一般来说, 一项新技术、新材料的适用性, 不仅决定于其本身的先进与否和效果的大小, 而且在很大程度上取决于应用成本的高低和经济效益的大小。本文在地处河北省张家口地区的崇礼县和康保县, 采用田间试验研

收稿日期: 2009-02-25

修回日期: 2009-03-08

资助项目: 国家自然科学基金(30571489); 科技部“十一五”科技支撑计划(2006BAD24B06)

作者简介: 陈宝玉(1976—), 男(汉族), 河北省唐山市人, 博士, 主要研究方向为植物生态学、植物节水抗旱研究。E-mail: bych76@126.com。

通信作者: 张玉珍(1961—), 女(汉族), 内蒙古自治区集宁县人, 副教授, 硕士生导师, 主要研究方向为森林培育。E-mail: lxr1962@163.com。

究方法,研究保水剂造林的使用方法和应用效果,以及应用保水剂成本效益分析。试图为干旱半干旱地区的造林提供理论指导,为保水剂使用者在估算应用成本时提供参考依据。

1 试验地概况、试验材料与方法

1.1 试验地概况

1.1.1 崇礼县二道营乡 崇礼县全境为冀西北山地,地貌属坝上与坝下过渡型山区,地处东经 $114^{\circ}47' - 115^{\circ}45'$, 北纬 $40^{\circ}48' - 41^{\circ}27'$ 之间,正东与赤城县相连,东北与沽源县交界,西北与张北县接壤,西南与张家口市毗邻,南隔长城与遵化县相望,总面积 $2.33 \times 10^5 \text{ hm}^2$ 。地质构造属于内蒙古背斜与燕山准地接触,属燕山余脉大马群山支系,永定河上游流域。境内东、中、西 3 条大沟纵贯全境,合并为清水河,经张市注入洋河。境内东北高,西南低,山势陡峭,地形复杂,一华里以上大小支沟有 4 725 条,海拔为 813~ 2 174 m,境内北、西北、西与坝上接壤,俗称“坝头”。

试验地位于崇礼县东北 12 km 的二道营乡,属于山地干旱阳坡,海拔 1 200 m,气候为大陆性季风气候,凉爽,干燥多风,光照充足,昼夜温差大,蒸发量大,是全县气候的主要特征,年平均气温 $3.3 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $\geq 10 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 的有效积温 $2 244.7 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 年日照时数为 $2 739.2 \text{ h}$, 日照率为 61%, 正常年份降水量平均 480 mm 蒸发量为 1 339.6 mm, 无霜期年均 102 d, 8 级以上的大风日数位 21.5 d/a, 干旱是全县的主要自然灾害。试验地土壤为栗钙土。pH 值一般在 6~ 7.5 之间。

1.1.2 康保县卢家营乡 康保县属内蒙古高原东南边缘的一部分,地势平坦,以丘陵为主,无明显高山,平均海拔约 1 450 m。卢家营乡位于县城的西北部,全属大陆性季风气候,由于全年多受蒙古高压所控制,形成冬季严寒漫长,春季干燥多风,夏季温和短促,多风少雨,气候干燥,无霜期短,连年干旱的特点。年平均气温 $1.2 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 无霜期平均 100 d 左右, $\geq 10 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温为 $1 728.1 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 年均降雨量 320 mm, 且主要集中在 7~9 月, 占年降水总量的 75% 左右。年蒸发量 1 722 mm, 六级以上大风日数平均 60 d, 年均日照时数 3 100 h, 年极端最低气温为 $-36.4 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 最高为 $33.6 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 。试验区土壤基本上以栗钙土为主, 占总土地面积的 95% 以上。土层薄, 地势平缓的地方多存在上位钙积层, 影响了土壤的通透性, 有机质含量低, 极缺磷是试验区土壤的主要特点。试验区植被属干旱草原类型。自 20 世纪 60 年代开始大面积垦荒种地, 自然植被遭到严重破坏。人工植被, 乔木树种有

杨树(*Populus* spp.)、榆树(*Ulmus pumila*) 等, 灌木有柠条(*Caragana Korshinskii* K.)、枸杞(*Lycium chinese*)、杞柳(*Salix integra*)、沙棘(*Hippophae rhamnoides* L.), 草本植物有披碱草(*Elymus dahuricus* T.)、直立黄芪(*Astragalus adsurgens*)、草木樨(*Trifolium repens* L.) 等, 农作物主要有小麦(*Triticum aestivum* L.)、莜麦(*Avena chinensis* M.)、胡麻(*Linum usitatissimum* L.) 等。

1.2 供试保水剂

供试保水剂由青海绿宝集团提供, 有大颗粒、小颗粒、粉末 3 种剂型。

粉末用来蘸根处理, 称量粉末状保水剂和自来水, 按 0.5%, 1.0% 和 1.5% 的质量浓度(g/g) 配置 3 桶保水剂溶液, 搅拌使保水剂溶解均匀, 待用。

小颗粒用来做混土处理, 在苗木根部周围做成一个环状土沟, 以期用土壤隔开保水剂和根, 防止保水剂吸水膨胀时架空根部周围的土壤。分别称取 10, 20 和 30 g 小颗粒保水剂, 均匀撒在苗木根部的环状土沟内, 然后覆土按实。

大颗粒用来做干水处理, 大颗粒在使用之前用温水浸泡 12~ 24 h, 使其充分吸水成凝胶状, 然后按实验设计用量(1, 2, 3 kg) 均匀撒在苗木根部周围, 同小颗粒一样, 保水剂凝胶不要距离根部太近, 用土壤隔开。

1.3 供试植物

实验苗木均为 2 年生本地乡土树种。崇礼县为白榆(*Ulmus pumila* L.)、落叶松(*Larix principis-rupprechtii* M.)、云杉(*Picea asperata* M.); 康保为白榆、毛白杨(*Populus tomentosa* C.)、云杉。

1.4 试验方法

2002 年春季在崇礼二道营乡和康保卢家营乡造林, 2003 年春季检查成活率(“非典”期间, 此项工作在崇礼县没完成), 2004 年春季测量保存率。所有试验小区均观测, 计算时求相同保水剂处理的平均值。

造林成本核算主要是按工序记录利用保水剂造林的实际开支, 然后折合成单位面积造林投入的苗木、保水剂购置费、以及栽植前后苗木处理、苗木运输、整地和栽植等全部费用^[11], 用以与一般常规造林方法进行比较。

2 结果与分析

2.1 崇礼县保水剂造林保存率和成本核算

2.1.1 崇礼县二道营乡保水剂造林保存率 2004 年春季, 按小区调查苗木保存率, 然后再取平均值, 调查结果见表 1。从表 1 中可以看出, 用保水剂处理过的苗木造林, 各树种保存率均比对照高 2.2% ~

18.4%。其中,均以小颗粒 10 g 混土处理保存率最高,榆树、云杉和落叶松保存率分别为 66.3%, 72.9%和 75.2%,分别比对照高出 8.53%, 18.4%和 8.2%。大颗粒干水处理的苗木,用量为 3 kg 保水剂凝胶处理的苗木保存率高,其中,榆树和云杉保存率为 62.2%和 83.1%。而落叶松则为 2 kg 处理的保存率最高,为 69.3%,这可能与苗木本身的生态学和生物学特性有关。根据造林经验,榆树是造林比较容易成功的树种,而云杉栽苗后则需大水浇灌,苗木才能成活。因此 3 kg 保水剂正适应了它们这些特点,所以效果显著。粉末蘸根的苗木均为 1.0% 处理的保存率最高,榆树、云杉和落叶松保存率分别为 66.3%, 85.9%和 77.0%,比对照高出 8.5%, 12.8%和 11.4%。所以用保水剂造林时,小颗粒保水剂混土后直接施入植树穴内,依靠其自身吸收大气降水是不够的,因为这不能保证苗木栽植后迅速得到发根所需要的水分,而蘸根和干水栽植方法却能够满足这些条件。可能这也正是崇礼县春季造林的原因,接坝地区冬天寒冷,降雪较多,春天积雪融化,苗木可以利用这些水分成活,直接施入的保水剂也可以吸足水分。但这种“依天成事”是没有保证的,所以不可取。

表 1 保水剂处理苗木保存率

剂型	处理	保存率/ %		
		榆树	云杉	落叶松
小颗粒/ g (混土)	10	66.3	72.9	75.2
	20	64.8	69.1	71.3
	30	60.0	72.2	69.6
	CK	57.8	54.4	67.0
大颗粒/ kg (干水)	1	58.9	80.4	66.9
	2	60.7	76.3	69.3
	3	62.2	83.1	67.6
	CK	53.3	68.9	65.7
粉末/ % (蘸根)	0.5	60.0	75.4	74.8
	1.0	66.3	85.9	77.0
	63	1.5	80.0	73.0
CK	57.8	73.1	65.7	

2.1.2 崇礼县二道营乡保水剂造林成本核算 2002年 4 月在该乡造林 3.3 hm²,按项目明细折合为每 1 hm²的苗木和用工佣金如表 2。由于崇礼县有自己的苗圃,造林苗木不用外调,少了运输费,所以种苗费相对来说比较少。崇礼县属于冀西北山地,造林地又是条状梯田,整地较困难,所以劳动力价格较高,苗木处理、整地栽植的费用较高,为 787.5 元/ hm²,高于苗木费 4.7%。“绿宝”保水剂的市场价并不便宜,所

以购买保水剂的费用较高,尤其施用比例高时费用更高。用粉末 0.5% 比例保水剂造林时投资 1 837.65 元/ hm²,使用 1% 比例和小颗粒 10 g 造林投资 2 137.35 元/ hm²,使用小颗粒 20 g 造林投资 2 736.75 元/ hm²。而不用保水剂直接用蘸泥浆造林时,因减少了保水剂的费用为 299.7~ 11 98.8 元/ hm²,造林成本为粉末保水剂造林的 72.0% ~ 83.7%,为小颗粒保水剂造林的 56.2% ~ 72.0%。

表 2 崇礼县二道营乡造林成本 元/ hm²

剂型	比例	保水剂成本	苗木费	营造费	保水剂造林成本	直接造林成本
粉末/ %	0.5	299.7	750.45	787.5	1 837.65	1 537.95
	1.0	599.4	750.45	787.5	2 137.35	1 537.95
小颗粒/ g	10.0	599.4	750.45	787.5	2 137.35	1 537.95
	20.0	1 198.8	750.45	787.5	2 736.75	1 537.95

注:苗木费每株平均 0.23 元,按每 1 hm² 实际栽植 3 330 株计。保水剂购置费按“绿宝”保水剂市场售价 18.0 元/kg 计。营造费(包括苗木处理、整地和栽植费)每 1 hm² 用工 52.5 个,15 元/(d·工)。苗木费数据由崇礼县林业局提供。

2.2 康保县保水剂造林保存率和成本核算

2.2.1 康保县卢家营乡保水剂造林成活率与保存率

康保县试验地的地理条件与崇礼县有很大区别,崇礼县地属高山丘陵,康保县却属于坝上高原,北接著名的风沙源内蒙,是有名的风口,十年九旱,严重限制了造林的成活率和当地经济的发展。由于降雨量极低,造林又不成活,所以试验地周围以及整个康保县很少看见高大的乔木,所见最多的为榆树和杨树,大多为“小老树”。所以用保水剂在这里造林,也面临着极大的挑战。作者在康保县用不同保水剂处理造林,经过调查、测量和取样,保水剂造林效果显著。保水剂处理苗木造林的成活率和保存率见表 3。由表可见,以保水剂处理造林的榆树、毛白杨和云杉保持很高的成活率和保存率。榆树和毛白杨成活率几乎均在 90% 以上,云杉相比虽稍低点,但也在 70% 以上。经过处理的榆树成活率比对照增加:小颗粒 3.7% ~ 4.9%,大颗粒 9.1% ~ 11.6%,粉末 5.8% ~ 7.6%;杨树成活率比对照增加:小颗粒 0.2% ~ 2.2%,大颗粒 0.7% ~ 3.5%,粉末 2.3% ~ 5.2%;云杉成活率比对照增加:小颗粒 13.2% ~ 17.2%,大颗粒 24.3% ~ 29.5%,粉末 17.4% ~ 23.2%。可见对于墒情好一点的春季,造林易成活的榆树和毛白杨与对照成活率差别不是很大,但对造林不易成活的云杉效果就很不同,保水剂可以发挥很好的作用,能很大程度提高了造林成活率。其中的原因是,自国家实施退耕还林还草工程和防沙治沙工程以来,林业局在这两县所作的

工作取得了巨大成效,退耕还草减少了风力和扬沙,降雨和降雪逐渐增多。但对需水量多的云杉来说,这些还远远不够,所以保水剂起了主要作用。经过 2002 年春秋和 2003 年夏的干旱,保存率出现了巨大的差别。与成活率相比,保水剂处理的各树种保存率降低幅度为 10%~15%,而对照保存率比成活率下降了 25%~37%。用保水剂处理的苗木保存率均比对照增加,榆树增加范围:小颗粒 14.2%~16.4%,大颗粒 9.0%~16.5%,粉末 12.2%~17.7%;毛白杨增加范围:小颗粒 7.6%~12.7%,大颗粒 11.3%~13.9%,粉末 16.9%~17.2%;云杉增加范围:小颗粒 24.8%~30.8%,大颗粒 30.9%~35.7%,粉末 32.1%~40.5%。原因是:使用保水剂处理的苗木,从造林之时就处在人工营造的湿润环境中,缓苗期短,成活进程稳定,不会因较长时间的无雨引起苗木的枯死。而对照苗木在造林后,面临的首要问题是造林地干旱缺水条件,虽然栽植后浇了部分水,但对于试验地所处的风口地区属于杯水车薪,风过后,水就蒸发殆尽。因此,对照苗木缓苗期长,遇到干旱,苗木就要缺水而死。所以到调查时,大、小颗粒和粉末保水剂处理的榆树苗木保存率仅为 63.1%、67.4%和 62.4%;毛白杨为 70.5%、67.0%和 71.6%;对水分最敏感的云杉下降最多,保存率仅仅为 26.9%、34.0%和 21.7%。保水剂剂型中小颗粒表现的作用效果较好。所以,在不可能充足浇水的情况下,使用保水剂可以减少造林补植次数,在墒情较好的季节造林,使用低比例保水剂可以降低造林成本,又可发挥保水剂的抗旱节水作用。

表 4 康保县芦家营乡造林成本

元/hm²

剂型	比例	保水剂成本	苗木费	营造费	保水剂造林成本	直接造林成本
粉末/%	0.5	299.7	637.5	750.0	1 687.2	1 387.5
	1.0	599.4	637.5	750.0	1 986.9	1 387.5
小颗粒/g	10	599.4	637.5	750.0	1 986.9	1 387.5
	20	1 198.8	637.5	750.0	2 586.3	1 387.5

注:苗木费每株(未分榆树、毛白杨、云杉)平均 0.19 元,按每 1 hm² 实际栽植 3 330 株计。保水剂购置费按“绿宝”保水剂市场售价 18.0 元/kg 计。营造费(包括苗木处理、整地和栽植费)每 1 hm² 用工 75 个,10 元/(d·工)。苗木费数据由康保县林业局提供。

从上述两个例子可以看出,在张家口两个地区用保水剂造林,使用粉末保水剂 0.5% 比例的需投资 1 680~1 845 元/hm²,使用 1.0% 比例和小颗粒 10 g 的需投资 1 995 元/hm²,使用小颗粒 20 g 的需投资 2 580~2 745 元/hm²,而不用保水剂直接蘸泥浆造林需投资 1 380~1 545 元/hm²。实际上使用保水剂造林的成本还要高些,如需要购买配制一定比例保水剂的器具(天平、量筒、量杯和桶等)。因此要降低保

表 3 保水剂处理苗木的成活率和保存率

剂型	处理	成活率/%			保存率/%		
		榆树	毛白杨	云杉	榆树	毛白杨	云杉
小颗粒/g (混土)	10	94.7	94.9	77.9	81.5	89.7	64.8
	20	95.1	93.8	75.1	82.2	84.6	61.3
	30	96.6	92.7	73.9	83.8	86.5	57.8
	CK	91.7	92.5	60.7	67.4	67.0	34.0
大颗粒/kg (干水)	1	95.8	92.3	73.9	74.7	82.9	57.8
	2	94.9	95.1	75.8	72.1	84.3	60.9
	3	97.4	94.0	79.1	79.6	81.8	62.6
	CK	85.8	91.6	49.6	63.1	70.5	26.9
粉末/% (蘸根)	0.5	90.6	96.4	68.7	74.6	88.8	53.8
	1.0	89.5	94.7	70.2	77	88.5	59.4
	1.5	91.3	93.5	74.5	80.1	88.7	62.2
	CK	83.7	91.2	51.3	62.4	71.6	21.7

2.2.2 康保县卢家营乡保水剂造林成本核算 2002 年 5 月在该乡造林 3.3 hm²,按项目明细折合为每 1 hm² 的苗木和用工佣金见表 4。康保县属于坝上高原,风沙较大。与崇礼县相比,虽然立地条件较差,但整地、栽植、浇水相对来说较容易,康保县又是经济不发达地区,劳动力价格较低,所以试验地的营造费用较低。县林业局有自己的苗圃,造林所需苗木能自给自足,所以苗木费基本上是苗圃的幼苗培育费。同崇礼县造林一样,保水剂施用量越大,造林成本越高。不使用保水剂直接蘸泥浆造林,因减少了保水剂的费用,造林成本仅相当于粉末 0.5% 保水剂造林成本的 82.2%,1.0% 造林成本的 69.8%,小颗粒 10 g 保水剂造林成本的 69.8%,20 g 保水剂造林成本的 53.6%。

水剂造林的成本,关键是购进价格低廉的保水剂,同时在不影响使用效果的前提下注意合理的施用量。

2.3 保水剂造林与常规造林的成本比较

据调查,张家口地区造林一般需投资 1 500 元/hm²。这样,使用 0.5% 保水剂造林多支出 180~345 元/hm²,即增加成本 10.7%~18.7%;使用 1.0% 和小颗粒 10 g 保水剂造林多支出 495 元/hm²,增加成本 24.8%;使用小颗粒 20 g 保水剂造林多支出 1 080

~ 1 245 元/hm², 增加成本 41.9%~ 45.4%。从这些数据看, 用保水剂造林确实比一般造林成本高, 但经过前面一系列的实验证明, 采用这些方法有利于提高苗木的成活率, 增加造林保存率, 增加造林的保险系数, 减少补植或重造的次数。据有关资料介绍, 过去各地一般造林的成活率仅 30% 左右, 年年造林不见林, 按国家退耕还林政策规定属于“重造”级^[12]。如果一块地重复营造 3 次, 造林的投资合计为 4 500 元/hm²。而使用保水剂造林 1 次就可成功, 即使在立地、气候极端恶劣条件下造林 2 次也可成功。如果使用 0.5% 比例处理造林 2 次, 投资金额约为 3 360~ 3 690 元/hm², 为营造 3 次造林成本的 74.7%~ 82.0%, 或者说降低成本 18.0~ 25.3%; 若用 1.0% 比例或小颗粒 10 g 造林 2 次, 投资金额约为 3 990 元/hm², 为营造 3 次造林成本的 88.7%, 或者说降低成本 11.3%。作者进行温室盆栽和田间试验分析得出^[2, 13-14], 保水剂处理造林效果以小颗粒 10 g 效果最好, 20 g 处理效果不理想而且成本很高, 所以只做效益评价的对比, 不适宜用来大面积造林。

保水剂造林的成本并不算高, 问题是怎样计算才能视为合理。保水剂造林的成功, 还可以争取退化生态环境恢复的时间, 有利于加快造林的步伐, 使沙尘暴得到遏制, 使戈壁披上绿装, 发挥良好的生态效益和经济效益。

3 结论

(1) 张家口地区用保水剂造林, 其造林成本比一般常规方法造林高。使用粉末 0.5% 比例保水剂造林成本 1 680~ 1 845 元/hm², 使用 1.0% 比例和小颗粒 10 g 造林成本为 1 995 元/hm², 使用小颗粒 20 g 造林成本为 2 580~ 2 745 元/hm²。不用保水剂造林成本为 1 380~ 1 545 元/hm²。一般常规方法造林成本约为 1 500 元/hm²。

(2) 利用保水剂造林成本较高, 但此方法可以提高造林的成活率, 增加单位面积上存活株数, 可以增大造林成功的把握, 减少补植工作量或重造次数, 也就相应降低了造林成本。因而只要掌握保水剂的使用方法及合理的施用量, 保水剂造林不仅效果好, 而

且经济上是可行的, 这种效益在立地条件差的地区更明显。

目前国内外各厂家生产的保水剂价格相差不小, 但多数价格偏高。因此降低保水剂造林成本的关键之一是有价格低廉效果又好的产品问世, 同时需要进一步研究使用方法和合适的用量。

[参 考 文 献]

- [1] 陈宝玉, 武鹏程, 张玉珍, 等. 保水剂的研究开发现状及应用展望[J]. 河北农业大学学报, 2003, 26(S): 242-245.
- [2] 陈宝玉, 黄选瑞, 邢海富, 等. 3 种剂型保水剂的特性比较. 东北林业大学学报[J], 2004, 32(6): 99-100.
- [3] 山仑, 黄占斌, 张岁歧. 节水农业[M]. 北京: 清华大学出版社, 2000: 16-38.
- [4] 王斌瑞, 贺康宁, 史常青. 保水剂在造林绿化中的应用[J]. 中国水土保持, 2000(4): 22-23.
- [5] Alasdair B. Superabsorbents improve plant survival world [J]. Crop, January/February, 1984: 101-105.
- [6] 黄占斌, 张玲春, 董莉, 等. 不同类型保水剂性能及其对玉米生长效应的比较[J]. 水土保持学报, 2007, 21(1): 140-143, 163.
- [7] 张富仓, 康绍忠. BP 保水剂及其对土壤与作物的效应[J]. 农业工程学报, 1999, 15(2): 74-78.
- [8] 党秀丽, 张玉龙, 黄毅. 保水剂在农业上的应用与研究进展[J]. 土壤通报, 2006, 37(2): 352-355.
- [9] 庄文化, 冯浩, 吴普特. 高分子保水剂农业应用研究进展[J]. 农业工程学报, 2007, 23(6): 265-270.
- [10] 陈宝玉, 黄选瑞, 张玉珍, 等. 水分胁迫下保水剂对爬山虎和廊坊杨苗木水分生理生态特性的影响[J]. 东北林业大学学报, 2007, 35(4): 7-10, 13.
- [11] 王九龄, 孙健, 王志明. 混剂土物理性质的研究[C] // 王九龄. 林业科技论文选. 北京: 中国林业出版社, 2002: 298-310.
- [12] 甘肃省科学技术厅. 退耕还林与林木培育技术[M]. 兰州: 甘肃人民出版社, 2001: 282-283.
- [13] 陈宝玉, 张林, 滕轶葵, 等. 保水剂对混剂土特性的影响[J]. 中国水土保持科学, 2008, 6(5): 62-65.
- [14] 陈宝玉, 王洪君, 滕轶葵, 等. 保水剂对土壤温度 and 水分运动动态的影响[J]. 中国水土保持科学, 2008, 6(6): 32-36.