

文章编号: 1001-1498(2002)05-0620-07

# 保水剂及其在林业上的应用研究进展

罗志斌<sup>1</sup>, 马焕成<sup>1</sup>, 饶龙兵<sup>2</sup>

(1. 西南林学院环境科学与工程系, 云南 昆明 650224; 2. 中国林业科学研究院亚热带林业研究所, 浙江 富阳 311400)

**摘要:** 本文阐述了保水剂的研究开发历史、种类、特点和作用机理, 综述了保水剂对土壤理化性质的影响及其在林业上的应用情况。保水剂是一种吸水倍率高、保水性能好的高分子化合物。它可以提高土壤含水量、抑制土壤蒸发、改善土壤结构、增强土壤对养分的吸附力。保水剂在林业上的应用方法主要有拌土、拌种、包衣、根部涂层和用作培养基质等。在林业生产中应用保水剂可使种子提前发芽、提高出苗率和移植成活率、促进植物生长发育、延缓凋萎时间等。在干旱地区造林中保水剂具有广阔的应用前景。

**关键词:** 干旱; 保水剂; 应用; 造林; 研究进展

**中图分类号:** S318

**文献标识码:** A

干旱是困扰世界 50 多个国家和地区种植业的一大难题。我国干旱、半干旱地区所占比例达国土总面积的 52.5%<sup>[1]</sup>。据统计, 我国 45% 的地区年均降水量不足 400 mm。在林业生产中, 因其用地的复杂性, 使得天然降水成为林业生产的唯一水源; 同时, 在干旱、半干旱区有限的降水因其季节分配不均、利用效率不高而严重制约了人工植被的生存和发展。因此, 如何充分利用有限的降水资源, 实现这些地区人工植被的可持续发展, 成为国内外林业界关注和研究的热点问题。近年来, 就造林困难地段的植被恢复问题, 人们从树种选择、造林模式等方面进行了广泛的研究。然而问题的本质在于这些造林困难地段水分不足或有限的降水并未充分利用。新型节水保水材料保水剂的出现为解决这一难题提供了新的有效途径。20 世纪 70 年代以来, 保水剂在土壤结构改良、农业保水抗旱、浸种、植树造林、工业泥浆处理、日常生活用品和鲜花、蔬菜、水果保鲜等领域中的应用取得了重要进展<sup>[2]</sup>。本文主要对保水剂及其在林业上的应用研究进展和前景作一评述, 并就存在的一些问题进行探讨。

## 1 保水剂的研究开发历史

保水剂又称土壤保水剂、高吸水性树脂、高分子吸水剂。它是利用强吸水性树脂制成的一种具超高吸水保水能力的高分子聚合物。1969 年, 美国农业部北部研究中心(NRRC) 首先研制出保水剂, 并于 20 世纪 70 年代中期将其应用于玉米和大豆的种子涂层、树苗移植等方面。随后, 美国农业部林务局和一些大学采用 Terra-sorb(TAB) 进行了一系列试验, 发现 TAB 用于地面撒施可节约用水 50%~85%<sup>[3]</sup>。1974 年, 保水剂在美国 Granprocessing 公司实现了工业化生产。日本随后重金购买了其专利, 并在此基础上迅速赶上并超过了美国, 相继开发了聚丙烯酸

收稿日期: 2002-01-24

基金项目: 1999~2001 年中德合作项目“保水剂在长江上游干热河谷地区植被恢复中的应用”资助

作者简介: 罗志斌(1973-), 男, 湖南湘乡人, 硕士研究生。

盐等一系列新产品,成为目前生产和出口保水剂最多的国家<sup>[4]</sup>。英国、德国等国家也投入大量资金进行保水剂的开发研究和工业化生产<sup>[5]</sup>。

我国保水剂的研制始于 20 世纪 80 年代初期,但发展速度较快。至今全国已有 40 多个单位进行过研制和开发,但产品生产还比较落后,总产量不过 1 000 t<sup>[4]</sup>。20 世纪 80 年代初,北京化学纤维研究所成功研制 SA 型保水剂,中科院兰州物理研究所研制成 LPA 型保水剂,中科院化学研究所、长春应用化学研究所也分别研制了 KH841 型和 IAC-13 型保水剂,并陆续应用于农林生产领域,但均未进行批量生产。20 世纪 90 年代以来,一批新型的保水剂产品陆续问世。1998 年,河北保定市科瀚树脂公司科技人员采用生物实验技术研制成功“科瀚 98”系列高效抗旱保水剂并批量生产。此外,唐山博亚高效抗旱保水剂等新型保水剂产品也投入了工业化生产。

## 2 保水剂的种类和特点

保水剂是一种交联密度很低、不溶于水、吸水膨胀的高分子化合物。按制品形态可分为粉末状、膜状和纤维状等;按研制原料可分为淀粉系(淀粉接枝、羧甲基化等)、纤维素系(纤维素接枝、羧甲基化)和合成聚合系(聚丙烯酸系、聚乙烯醇系等)3 种<sup>[6]</sup>;按保水剂的成分可分为两大类:丙烯酰胺-丙烯酸盐共聚交联物(聚丙烯酰胺)和淀粉接枝丙烯酸盐共聚交联物(聚丙烯酸钠、聚丙烯酸钾、聚丙烯酸铵、淀粉接枝丙烯酸盐等),在农林业中,这两大类产品都进行了一定的应用研究<sup>[7]</sup>。

聚丙烯酰胺呈白色颗粒状晶体,该产品的特点是:使用周期和寿命较长,在土壤中的蓄水保墒能力可维持 4 a 左右,在造林中当年的吸水倍率维持在 100—120 倍,但其吸水能力会逐年降低。聚丙烯酸钠为白色或浅灰色颗粒状晶体,其主要特点是:吸水倍率高(在造林中当年的吸水倍率为 130—140 倍),吸水速度快,但保水性能只能保持 2 a 有效。由于聚丙烯酸钠会造成土壤中钠离子含量的递增,导致土壤盐碱化,因此,对于应用于农林业的保水剂,目前生产厂家大多改为生产聚丙烯酸钾或聚丙烯酸铵。淀粉接枝丙烯酸盐为白色或淡黄色颗粒状晶体,本产品的特点是:吸水倍率和吸水速度等性状较好,用于造林时,吸水倍率为 150—160 倍,但使用寿命只有 1 a 左右<sup>[7]</sup>。

保水剂安全、无毒,施入土壤后逐渐被微生物分解,对环境无不良影响<sup>[8]</sup>。

## 3 保水剂的吸水保水机理

保水剂的吸水机理不同于纸浆、海绵等以物理吸水为主、吸水量小的普通吸水材料。保水剂的吸水是由于高分子聚合物中的离子排斥所引起的分子扩张和网状结构引起阻碍分子的扩张相互作用所产生的结果。在这种高分子化合物内,分子链无限长地连接着,分子间呈复杂的三维网状结构,使其具有一定的交联度。在这种交联的网状结构上有许多羧基、羟基等亲水基团,当它与水接触时,其分子表面的亲水性基团电离并通过氢键与水分子结合,以这种方式吸持大量的水分。高分子的聚集态同时具有线性和体型两种结构,由于链与链间的轻度交联,线性部分可自由伸缩,而体型结构却使之保持一定的强度,不能无限地伸缩,因此,保水剂在水中只膨胀形成凝胶而不溶解。当凝胶中的水分释放殆尽后,只要分子链未被破坏,其吸水能力仍可恢复<sup>[9]</sup>。

保水剂的最大吸水力高达  $13 \sim 14 \text{ kg} \cdot \text{cm}^{-2}$ , 可吸收自身质量的数百倍至上千倍的去离子水, 并且这些被吸收的水分不能用一般的物理方法排挤出来, 所以它具有很强的保水性。由于树木根系的吸水力大多为  $17 \sim 18 \text{ kg} \cdot \text{cm}^{-2}$ , 一般情况下不会出现根系水分的倒流, 而林木根系却能直接吸收贮存在保水剂中的水分, 这一特性决定了保水剂在农林业抗旱保水中的广泛应用。

## 4 保水剂对土壤理化性质的影响

### 4.1 保水剂对土壤水分含量和地温变率的影响

目前, 保水剂对提高土壤水分含量的研究是应用研究中的热点。其中大量的研究集中在保水剂保持土壤水势及水分特征曲线的研究上<sup>[4,9,10]</sup>。国内外研究表明, 在林业生产中应用保水剂, 土壤含水量能明显提高<sup>[5,7,11-19]</sup>, 但提高的程度, 依保水剂的种类、土壤溶液的 pH 值、土壤中离子的类型及浓度、土壤质地的不同而有显著的差异。一般来说, 纤维素接枝改性型保水剂对土壤含水量的提高程度较淀粉接枝改性型的要高; 离子性保水剂对土壤含水量的提高程度较非离子性的要高, 而且保水剂的离子化程度越高, 其对土壤含水量的提高程度也愈大。但随土壤溶液中盐分含量的升高, 保水剂对土壤含水量提高的程度大打折扣<sup>[20]</sup>。研究表明, 土壤溶液中的 pH 值为 6~7 时, 保水剂对土壤含水量的提高最有效。土壤溶液中的盐分种类、含量及 pH 值对离子性保水剂作用效果影响较大, 而对非离子性保水剂的影响不显著<sup>[5]</sup>。在粗质地的土壤中保水剂对土壤水分含量的提高效果最好<sup>[13]</sup>。

在实际应用中, 保水剂吸持的水分不能完全被植物吸收利用。有研究表明, 吸水率低的保水剂在缓释所吸水分的 2/3 后, 剩余水分很难再被根吸收。保水剂所吸收的水分的利用效率还取决于保水剂对水分的吸附力和植物的水分生理特征<sup>[21]</sup>。因此, 在研究保水剂所吸水分的有效性时, 应把土壤水势特征与植物的水分生理特征结合起来进行研究<sup>[22]</sup>。

水的比热较土壤成分的比热大, 由于保水剂提高了土壤的水分含量, 从而降低了地温变率。试验表明, 用保水剂处理的土壤, 在 6 d 内, 最高地温比对照低  $3^\circ\text{C}$ , 最低地温却高出  $1.5^\circ\text{C}$ , 地温日较差比对照缩小近 5%<sup>[17]</sup>。

### 4.2 保水剂对土壤蒸发的影响

保水剂吸收的水分在自然条件下蒸发速度明显下降, 而且加压也不易离析。蔡典雄等<sup>[23]</sup>在恒温条件下对美国 Polysort 公司生产的保水剂进行的蒸发试验表明, 保水剂抑制水分蒸发的作用显著。这一结论得到了张敦论、任兆元等人<sup>[10,24]</sup>的进一步证实。

### 4.3 保水剂对土壤结构的影响

保水剂能改善土壤的整体结构, 增强其抗侵蚀能力。保水剂吸水后膨胀, 而待其吸收的水分释放时, 它又收缩, 再吸水又膨胀。这一过程在土壤中反复发生, 因此, 造成土壤中三相比例的不断改变。保水剂吸水时, 土壤中液相显著增加, 气相和固相减少, 而保水剂释放水分后, 土壤中气相显著增加<sup>[20]</sup>。因此, 土壤中应用保水剂后, 降低了土壤容重, 提高了土壤总孔隙度、毛管孔隙度, 增加了土壤团聚体, 改善了土壤透气性<sup>[18,24,25]</sup>。

### 4.4 保水剂对土壤养分的影响

土壤中加入保水剂后其对肥料的吸附作用增强, 尤其对氨态氮, 保水剂有明显的吸附作用。在保水剂用量一定时, 其吸肥量随肥料的增加而增多<sup>[26,27]</sup>。但保水剂的效果同时受到所

施肥料的影响。李长荣等人<sup>[27]</sup>研究认为:尿素等非电解质肥料能使保水剂的保水保肥效果得到充分发挥,是水肥耦合的最佳选择,而  $\text{NH}_4\text{Cl}$ 、 $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$  等电解质肥料则降低了保水剂的吸水能力。

## 5 保水剂在林业上的应用

### 5.1 保水剂在林业上的应用方法

目前,国内外保水剂的使用方法主要有拌土、拌种、包衣、根部涂层、用作育苗培养基质等。

**拌土:**分为直接拌和与其它成分复配拌。直接拌是指将纯保水剂按一定比例拌入基质或土中。施入量依保水剂的类型、土壤质地、栽培植物特性不同而异。一般来说,需水较多的植物或土质较差的地区掺入保水剂的比例相对要高。保水剂复配其它成分作为土壤改良剂。土壤改良剂的主要组成成分有 4 种:保水剂、NPK 肥、微量元素和植物生长调节剂。把后 3 种物质溶于水,经保水剂吸收后,可连同水一起缓释。有的土壤改良剂还掺有沙子以提高改良剂的分散性和土壤的透气性。在复配时一般含 40% 左右原始粒径为 0.3—1 mm 和 0.5—3 mm 的保水剂。

**拌种:**将保水剂吸足水成饱和凝胶状后,拌入种子、营养物质和辅助材料。这类种子主要用于液力喷播。

**包衣:**先将保水剂吸水呈凝胶状后浸种,使种子表面增加粘着性,再向细土中加入质量分数为 0.5%—1.0% 的保水剂,混合均匀后,以种子与土壤质量比为 1:3—1:2 的比例在制丸机中包衣,包衣过程中不断用质量浓度为 0.1%—0.3% 的保水剂溶液喷雾,以增强包衣种子的“外壳”强度。经过包衣的种子用于播种造林,可明显提高种子发芽率及成活率。

**根部涂层:**主要用于处理裸根苗根系。将保水剂加水配成水凝胶,质量浓度为 0.75% 或 1%。在进行根部涂层时应尽量均匀,并使水凝胶附着良好,涂层后须立即包装,出圃栽植,不能晾晒。在水凝胶中加入泥浆,用混有保水剂的泥浆涂层可增强凝胶在根部的附着性。

**育苗基质:**在扦插育苗中用植物纤维、腐殖质及轻体矿物质等纯天然无土材料与保水剂、复合肥等按一定比例制成基质。使用时喷湿基质,待完全膨胀后再停水 1—2 d 进行扦插。插条插入基质的深度一般在 3 cm 左右。容器育苗基质中也可拌入一定量的保水剂。

### 5.2 保水剂对森林植物的影响

研究表明,保水剂施用得当,可促进植物根系发育,提高出苗率和移植成活率,促进植物生长发育,延缓凋萎时间。但保水剂用量过大,不仅不能促进根系发育,反而抑制根的伸长和降低根的生理机能<sup>[20]</sup>,抑制种子萌芽,降低出苗率和移植成活率<sup>[7]</sup>。

**5.2.1 保水剂对育苗的影响** 保水剂在林业育苗中的应用可分为培育裸根苗和营养袋苗。用于培育裸根苗时,可使种子提前发芽、提高出苗率、增加出圃时的苗高和地径、减少人工浇次数、降低育苗成本和用种量。任兆元等<sup>[24]</sup>应用保水剂培育枸杞(*Lycium Chinese Mill.*)裸根苗后认为使用保水剂可改善苗床土壤的墒情,降低育苗成本。朱跃贤等<sup>[28]</sup>将保水剂应用于培育马尾松(*Pinus massoniana Lamb.*)裸根苗,结果表明,使用保水剂可分别提高单位面积成苗株数 24.8%、苗高 11.3%、地径 10.5%。保水剂用于培育营养袋苗,可提高苗木上山造林的成活率<sup>[29]</sup>。

**5.2.2 保水剂对植苗造林的影响** 将保水剂应用于苗木移植过程中可分为根部涂层和拌土

二类。根部涂层可以防止苗木从起苗到栽植过程中根部失水,保持苗木的根活力、延长苗木萎蔫期,提高造林成活率。同时也有利于苗木低成本长途运输。左永忠等<sup>[30]</sup>研究表明,应用保水剂在苗木根部涂层可使苗木含水率明显提高,较好地保持苗木的根活力,显著提高造林成活率。王洪学等<sup>[31,32]</sup>的研究也认为,应用保水剂处理苗木可显著提高干旱地造林成活率。王斌瑞等<sup>[7]</sup>研究认为,裸根苗在保水剂凝胶中浸泡 0.5 min 后,可保证苗木根系在 10 h 内不失水。用这种苗木造林,其成活率可相应提高 15% 以上。将保水剂应用于大苗移植造林,成活率亦较对照高出近 20%。

保水剂拌土施用(种植沟撒施和穴施)亦能有效地提高造林成活率。王斌瑞等的研究表明,在年降水量 400 mm 的黄土半干旱区穴施质量分数为 0.1% 的保水剂可使造林成活率达到 90% 以上<sup>[7]</sup>。张敦论等<sup>[10]</sup>的研究认为,在沙质土壤中造林时,穴施 10~20 g·株<sup>-1</sup> 的保水剂能显著提高黑松(*Pinus thumbergii* Parl.) 的造林成活率。任兆元等<sup>[24]</sup>在云杉(*Picea asperata* Mast.) 造林中应用保水剂也使其成活率获得显著提高。滕元文等<sup>[18]</sup>也认为,在沙地幼龄果树的栽植中应用保水剂可提高其成活率。

国外亦有人研究认为,在干旱胁迫下,保水剂显著延长了新植苗木的存活期<sup>[33]</sup>。

5.2.3 保水剂对林木生长的影响 保水剂施入土壤后,其作用过程为:吸水膨胀、释水收缩、再吸水膨胀。一方面,这使土壤疏松,容重降低,总孔隙度增加,从而改善土壤通气状况,增强土壤保肥能力。另一方面,在干旱胁迫下,保水剂吸收的水分被植物吸收后,保证了植物体内各种物质代谢仍能正常进行。从这两方面来看都十分有利于植物的营养生长和生殖生长。

在国内,黄凤球等<sup>[34]</sup>的研究表明,保水剂拌土可有效降低植物的蒸腾速率,提高植物的叶片水势,增加植物叶绿素含量,增加光合强度,降低叶片相对电导率。滕元文等<sup>[18]</sup>的研究认为,保水剂处理的苹果(*Malus pumila* Mill.) 幼树可显著提高其地上部分生物量、根系生物量、根冠比、株高、胸径、冠幅;保水剂处理的杏树(*Armeniaca vulgaris* Lam.) 成花率提高。李秋梅等<sup>[17]</sup>的研究表明,保水剂施于果树下的土壤能改善果树水环境,使单果质量增加,单株结果量提高。

国外有人研究认为,施用保水剂促进了植物嫩枝和根系的生长,促使植物干物质质量增加,显著提高了植物的生物量和叶面积<sup>[15,33,36]</sup>。

## 6 讨论及建议

目前,保水剂在节水抗旱中的应用研究多集中于保水剂的吸持水能力和电解质对保水剂吸水能力的影响研究。在研究保水剂所吸水分的有效性时,把土壤水势特征与植物的水分生理特征结合起来进行的研究较少。对保水剂的保肥作用也进行了大量的研究,但对保水剂的吸肥保肥机理、保水性能与保肥功效的合理优化、保水剂与不同肥料的混合施用比例、施用方法等方面的研究甚少。

保水剂对土壤结构的改良作用是当前应用研究中的又一重点,但由于保水剂类型、土壤质地、试验地的气候条件等并不一致,使得这些研究成果不能大面积推广。保水剂对植物影响的研究也较多,主要集中在保水剂对种子发芽、苗木移植成活率、植物的生长与产量等方面的影响。而对于保水剂对植物的影响机理,不同类型的保水剂在不同气候条件下、不同土壤质地上、不同植物上的施用方法及适用量等方面的研究甚少。这说明,我国对保水剂缺乏系统研

究。在应用研究方面深层次研究较少,而低层次重复研究较多。

综上所述,笔者认为应对以下几个问题进行深入研究:(1)保水剂的水分利用效率与植物的水分生理特征间的关系。(2)保水剂与肥料的耦合效应。(3)保水剂对植物的影响机理。(4)保水剂在不同气候条件、不同土壤质地、不同植物上的最佳施用量及施用方式。

通过以上问题的研究,将使保水剂的“保水、保肥、保土、保苗、助长、增产”功效得到更加全面的发挥。这将使降水量十分有限的干旱半干旱地区的水分生产潜力得到充分挖掘,防止土壤退化和荒漠化,提高造林困难地段的造林成活率和经济林木的产量。

### 参考文献:

- [1] 王进鑫,黄宝龙.世界旱区径流林业的研究进展[J].南京林业大学学报,2000,24(3):5-10
- [2] 王惠忠,张书香,王华年,等.改性玉米淀粉保水剂的研制[J].山东建材学院学报,1995,9(1):110-112
- [3] 吴德瑜.保水剂与农业[M].北京:中国农业科技出版社,1991.1-3
- [4] 马天新,庞中存,陆秀珍.土壤保水剂在我省旱作农业上的应用展望[J].甘肃林业科技,1997,(12):31-32
- [5] 杜尧东,王丽娟,刘作新.保水剂及其在节水农业上的应用[J].河南农业大学学报,2000,34(3):255-259
- [6] 张秉刚,骆伯胜,卓慕宁,等.不同类型吸水剂及其在持续农业中的应用[A].见:庄季屏.土壤物理与农业持续发展[C].北京:科学出版社,1995
- [7] 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
- [8] Al-Harbi A R. Efficacy of a hydrophilic polymer declines with time in greenhouse experiments[J]. Hort Sci,1999,34(2):223-224
- [9] 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
- [10] 王砚田,华孟,赵小麦,等.高吸水性树脂对土壤物理性状的影响[J].北京农业大学学报,1990,16(2):181-187
- [11] 张敦论,乔勇进,郝金标,等.高分子吸水剂对沙质海岸土壤物理性能及造林成活率的影响[J].山东林业科技,2000,(3):9-11
- [12] 介晓磊,李有田,韩燕来,等.保水剂对土壤持水特性的影响[J].河南农业大学学报,2000,34(1):22-24
- [13] 罗惠宁,李曙明,刘世农.SSAP及其在林业生产中的应用[J].贵州林业科技,2000,28(2):48-52
- [14] Johnson M S. The effects of gel-forming polyacrylamides on moisture storage in sandy soils[J]. Sci Food Agric,1984,35:1196-1200
- [15] Haas H P, Rober R. Substrate additives, watering and growth of *Euphorbia pulcherrima*[A]. Gartenbau-Magazin,1993,12(2):68-70
- [16] 罗盛国,乔红霞,魏自民,等.高分子树脂保水效果研究[J].东北农业大学学报,2000,31(1):7-13
- [17] 李秋梅,刘明义,王跃邦.保水剂在果树丰产栽培中的应用研究[M].中国水土保持,2000,(7):26-27
- [18] 腾元文,赵金龙,周湘红.保水剂与塑料袋栽植技术对沙地幼龄果树生长发育的影响[J].干旱地区农业研究,1996,14(1):19-22
- [19] 王进鑫,黄宝龙.渗水漠与吸水剂蓄水保墒耦合效应研究[J].南京林业大学学报,2000,24(3):11-16
- [20] 川岛和夫.农用土壤改良剂-新型保水剂[J].土壤学进展,1986,(3):49-52
- [21] 李景生,黄韵珠.土壤保水剂的吸水保水性能研究动态[J].中国沙漠,1996,16(1):86-91
- [22] 杜太生,康绍忠,魏华.保水剂在节水农业中的应用研究现状与展望[J].农业现代化研究,2000,21(5):317-320
- [23] 蔡典雄,王小彬,KEITH Saxtan.土壤保水剂对土壤持水特性及作物出苗的影响[J].土壤肥料,1999,(1):13-16
- [24] 任兆元,郭殿沪,孔凡贵,等.高能抗旱保水剂在育苗造林方面应用的试验[J].黑龙江林业调查,2000,(3):23-25
- [25] Brandsma R T, Fullen M A, Hocking T J. 土壤结构改良剂对土壤结构和土壤侵蚀的影响[J].水土保持科技情报,2001,(2):14-17
- [26] Janardan Singh, Singh J. Effect of stockosorb polymers and potassium levels on potato and onion[J]. Journal of Potassium Research, 1998,(4):78-82
- [27] 李长荣,邢玉芬,朱健康,等.高吸水性树脂与肥料相互作用的研究[J].北京农业大学学报,1989,15:187-191
- [28] 朱跃贤,方运凤,万建容,等.马尾松(*Pinus massoniana* Lamb.)保水剂育苗试验初报[J].贵州林业科技,2000,28(4):34

- [29] 蔡典雄,赵兴宝. 保水剂的特点和应用[J]. 中国林业,2001,(2):30
- [30] 左永忠,刘春兰,陆贵巧,等. 保水剂蘸根对苗木保湿效果的影响[J]. 北京林业大学学报,1994,16(1):106-109
- [31] 王洪学,金春梅,王继锋,等. 应用高分子吸水剂处理苗木提高干旱地造林成活率[J]. 林业科技,1999,24(4):10-12
- [32] 毛秀齐,梁红卫. 干旱山区应用 SA-105 型林用保水剂造林试验[J]. 河南林业科技,2000,20(1):39-40
- [33] Huttermann A, Zomrodi M, Reise K. Addition of hydrogels to soil for prolonging the survival of *Pinus halepensis* seedling subjected to drought[J]. Soil and Tillage Research,1999,50(4):295-304
- [34] 黄凤球,杨光立,黄承武,等. 化学节水技术在农业上的应用效果研究[J]. 水土保持研究,1996,3(3):118-124
- [35] Viero P W M, Litt