

文章编号: 1007-4929(2005)01-0014-04

# 保水剂在草坪中的应用研究进展

芦海宁, 韩烈保, 苏德荣

(北京林业大学省部共建森林培育与保护教育部重点实验室, 北京 100083)

**摘要:** 针对当前草坪绿地灌溉节水的需要, 概述了保水剂的特性、作用机理及其应用概况, 从应用方法、应用效果、包衣技术及其影响因素等方面综述了保水剂在草坪中的应用研究进展, 并对该领域研究中存在的问题和发展前景进行了探讨。

**关键词:** 保水剂; 草坪; 包衣技术

**中图分类号:** S157.9 **文献标识码:** A

## Review of Application of Super Absorbent Polymers in Turf Irrigation

LU Hai-ning, HAN Lie-bao, SU De-rong

(Key Laboratory for Silviculture and Conservation of Ministry of Education, Beijing Forestry University, Beijing City 100083, China)

**Abstract:** Aiming at the current demand of water saving in turf irrigation, the author summarized the characteristics, action mechanism and application situation of super absorbent polymers. Also, the advance in application research, the existing problem and developmental prospect of super absorbent polymers was introduced from the aspects of usage, application effects, coating technology and influencing factors in this paper.

**Key words:** super absorbent polymers; turf; coating technology

## 0 引言

干旱胁迫是限制草坪草生长的最重要的环境因子之一<sup>[1,2]</sup>。草坪草中水分约占鲜重的75%~90%, 其体内水分降低10%, 就有可能导致草坪草死亡<sup>[3]</sup>。因此, 保持草坪草体内充足的水分供应是至关重要的。然而, 随着我国城市化进程日益加快, 城市水资源的匮乏日益严峻, 草坪绿地灌溉用水也逐渐受到限制。也就是说, 人们在日益倚重于草坪的功能性、娱乐性和观赏性的同时, 又面临着解决草坪草生长所需水分的问题。因此, 如何充分、合理、高效利用有限水资源, 提高草坪的水分利用率, 降低草坪绿地的灌溉用水, 成为促进我国草坪业发展的关键所在。

在众多节水措施中, 应用保水剂是近年来迅速发展的化学节水技术之一, 它是一种通过改善植物根土界面环境、供给植物水分的化学节水技术<sup>[4]</sup>。作为研究中的一种新途径, 保水剂已逐渐应用于草坪绿地, 并取得了一定效果。本文主要对保水剂在草坪上的应用研究进展进行了综述, 并对其中存在的一些问题进行了探讨。

## 1 保水剂作用机理及应用概况

保水剂是利用强吸水性树脂制成的一种具有超强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去离子水、数十倍甚至近百倍的含盐水分, 具有反复吸水功能, 所吸持水分的85%~95%可缓慢释放, 供植物吸收利用。同时, 保水剂能增强土壤保水性, 改良土壤结构, 减少土壤水分养分流失, 提高水肥利用率。保水剂本身无毒副作用, 不会污染环境, 最终可被生物降解为水、CO<sub>2</sub>和氮。它是调节土壤水、热、气状况, 改善土壤结构, 提高土壤肥力的有效手段<sup>[5,6]</sup>。

20世纪70年代中期, 美国农业部北部研究中心(NRRC)制得了最早的高吸水性树脂——部分水解的淀粉接枝丙烯腈共聚物, 将其利用于玉米、大豆种子涂层、树苗移栽等方面, 作为“改善水分状况的重要工具”在西部干旱地区推广应用, 取得了良好的效果, 引起了各国研究者的浓厚兴趣。现已在北美、欧洲、中东和日本等地广泛应用于农作物种植、造林、花卉、铺草和沙漠改造等方面。20世纪80年代以来, 我国开始研制保

收稿日期: 2004-07-28

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863计划)“北方半干旱都市绿地灌溉区节水综合技术体系集成与示范”项目(2002AA2Z428)。

作者简介: 芦海宁(1979-), 女, 硕士研究生。

水剂并且应用于农林生产,在飞播造林、种草和苗木沾根移栽等方面取得了较好的效果,但与国外还有很大差距<sup>[7~10]</sup>。

## 2 保水剂在草坪上的应用

### 2.1 保水剂在草坪上的应用方法

根据植物类型及施用目的,保水剂有多种施用方法:种子涂层(种子包衣、浸种)、土壤混施、植物体喷施、凝胶蘸根、飞播、喷播、作培养基质等<sup>[11,12]</sup>。由于草坪的特殊性,目前保水剂在草坪上常用的方法主要有:土壤混施、液压喷播及注射施用。

土壤混施多用于种子直播和草皮铺植。保水剂施入深度应结合草坪根系层深度和使用目的而定。保水剂吸持的水分不会自动外溢渗透到土壤中,主要靠草坪草根系的被动吸收加以利用,所以,应将保水剂施在草坪根系的主要分布层,才能使保水剂发挥其最大作用<sup>[13]</sup>。对于某些排水要求较为严格的草坪(如运动场草坪),可根据需要加深保水剂的施入深度。另外,保水剂与土壤应该混合均匀,否则,量少的地方可能会在干旱条件下出现干点,而量多的地方则由于保水剂快速而大量吸水后产生局部凝胶堆积(特别是粉末状保水剂),使土壤蓄水过高,严重影响土壤通气性,造成根系腐烂,影响草坪草正常生长<sup>[13]</sup>。

液压喷播是保水剂在草坪上应用最为广泛的一种用法。它是利用流体原理把优选出的草坪草种子、粘着剂、肥料、保水剂、纤维覆盖物、着色剂等与水按一定比例混合成喷浆,通过液压喷播机直接喷射到待播区域的一种新的植草方法。作为液压喷播的一种辅助介质,一般情况下配比用量为 1.0~2.0 kg/m<sup>3</sup>,在干旱少雨地区和粉煤灰堆等贫脊土地上植草,是不可缺少的物质<sup>[14]</sup>。

注射施用保水剂多用于退化草坪的修复,其工作原理可概括为:打孔→施保水剂→覆土。早期施用多为手工操作,由于操作相对困难,在实践中比较少见。随着草坪机械化程度的提高,目前已有专用机械出现。

无论哪种施用方法,施用后应立即、充分灌水,且在草坪草根层发达(达到保水剂的施入土层)之前,都需保持正常的灌溉管理。

### 2.2 保水剂在草坪上的应用效果

#### 2.2.1 对草坪草出苗和幼苗的影响

国内外研究结果表明,保水剂对草坪草出苗和幼苗生长均会产生不同程度的影响,但随保水剂种类及用量差异较大。Bigelow 等(1999)研究表明,保水剂对“L-93”匍匐剪股颖草(*Agrostis palustris* Huds.)种子萌发和幼苗生长具有明显的促进作用,地上生物量和地下生物量显著增加<sup>[15]</sup>。Fry 和 Butler(1989)研究了保水剂对干旱条件下“Rebel”高羊茅草(*Festuca arundinacea* Schreb.)幼苗生长的影响,发现保水剂用量高于 1%(体积比)时,可以提高幼苗存活率,促进幼苗生长,干旱胁迫得到缓解<sup>[16]</sup>。Woodhouse 和 Johnson(1991)研究发现,施用保水剂对白三叶草(*Trifolium repens* cv. S. 100)种子发芽有促进作用,但不同保水剂种类(淀粉 A、B,纤维素 C 和合成树脂系 J、K)及其不同用量(0、0.2%、0.5%质量比)之间差异较大,保水剂 K 及 0.5%用量对种子萌发效果最明显;研究还发现,保水剂种类与用量之间存在着明显的交互作用,以保水剂 K 在 0.2%用量时效果最佳。各种保

水剂无论用量高低,均可以明显促进幼苗生长,但不同保水剂之间存在差异,保水剂 C 促进作用最显著<sup>[17]</sup>。

保水剂不是造水剂,其应用效果是与土壤中的水分含量紧密结合的,灌水量和灌水频率对保水剂的应用效果有着显著影响。Fry 和 Butler(1989)发现在灌水量为 100%潜在蒸散量(ET)时,保水剂效果显著,但在灌水量为 50%ET 时,保水剂反而降低了“Rebel”高羊茅草的出苗率,不利于幼苗生长<sup>[16]</sup>。李志华等(1999)将保水剂作为百慕达草(*Cynodon dactylon* Pars.)坪床土壤改良剂,发现适量保水剂(30 g/m<sup>2</sup>)时灌水量减少到对照的 50%,百慕达草表现(株高、密度、盖度、成坪性等)仍较好,但灌水量为对照的 25%时,施用保水剂对百慕达草生长不利<sup>[18]</sup>。Rubio 和 Wood(1989)等人以改变灌水频率的方法,研究了保水剂(PAM)对垂穗草(*Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr.)、画眉草(*Eragrostis chloromelas* Steud.)和 Alkali sacaton(Torr.)3 种草出苗的影响,结果表明,每 5 天浇水 250 ml 时,保水剂对 3 种草的整体出苗情况无显著影响,而每 8 天浇水 250 ml 时,保水剂明显提高了出苗<sup>[19]</sup>。

施用保水剂对增强草坪植物抗旱性具有一定的促进作用<sup>[20,21]</sup>。孙国荣等(1996)发现,经保水剂处理的星星草(*Puccinellia tenuiflora* Scribn. et Merr.)植株幼苗生长状况较好,其脯氨酸含量远低于干旱处理的植株<sup>[21]</sup>。

以上研究表明,保水剂施用得当,不仅可以提高草坪植物出苗率,促进幼苗生长,同时还对增强抗旱性具有一定的促进作用。但也有研究发现,施用保水剂对草坪草出苗及幼苗生长影响不大或产生负面影响。如 MacPhail 和 Eggens 等(1980)研究了保水剂对“Baron”草地早熟禾(*Poa pratensis* L.)发芽(发芽试验在培养皿中测定)及幼苗生长的影响,发现保水剂推迟了“Baron”的发芽时间,降低了“Baron”的发芽率,且随用量的加大,发芽率呈降低趋势。对于保水剂延迟“Baron”发芽的原因,他们认为并非由于保水剂吸水而造成<sup>[22]</sup>。

李青丰等(1996)认为,对保水剂的应用应该慎重,特别要注重土壤水分状况。如果土壤中吸水剂浓度过高或土壤中水分含量低于某一限度时,使用吸水剂不仅达不到促进种子萌发和幼苗生长的效果,反而会带来一定的负效应<sup>[23]</sup>。

#### 2.2.2 对草坪草生长的影响

目前有关保水剂对草坪草生长影响的研究较少,且仅有的研究结果表明影响不显著。Letey 和 Morgan 等(1966)研究发现,保水剂对普通狗牙根草坪根系生长影响不显著。分析认为,保水剂的用量过少是主要原因<sup>[24]</sup>。McGuire 和 Carrow 等(1978)以温室栽培和大田试验相结合的方法,研究了 8 种保水剂(Hy-phobic B E, Hy-philic B E, Labofina PAM, Cy P26 PAM, Cy A370 PAM, Separon PAM, Cy P250 PAM, Gel 20-90BP PVA)对“Manhattan”多年生黑麦草(*Lolium perenne* L)和“Pennecross”匍匐剪股颖草坪草地上、地下生物量及密度的影响。发现 Labofina PAM 保水剂仅对草坪草密度影响显著,密度值增加了 25.5%,其余保水剂影响均不显著<sup>[25]</sup>。John Karlik(1995)研究了建植草坪前土施保水剂(保水剂与表层 3 cm 土壤混合)对高羊茅和普通狗牙根草坪坪用质量的影响。结果表明,在充足或限量灌水条件下,施用保水剂对草坪的出苗及

坪用质量影响均不显著<sup>[26]</sup>。

保水剂在农林业上的研究结果表明,保水剂可以促进作物及苗木生长,尤其是对根系生长影响效果明显,对小麦的分蘖也具有明显促进作用<sup>[7,11,21,27,28]</sup>。而有关保水剂对草坪草生长影响不显著的原因,有待于进一步研究。

### 2.2.3 保水剂对草皮铺植效果的影响

铺植草皮是草坪建植的一种重要方法,将保水剂用于草皮铺植,可以提高草坪草存活率,缩短缓苗期,促进成坪。MacPhail 和 Eggens 等(1980)通过苗圃和田间两组试验,测定了保水剂对“Merion”草地早熟禾草皮移植的影响。结果表明,干旱条件下施用高剂量保水剂可以显著提高草坪草的存活率,并促进成坪,但对草坪草根系生长的影响不显著,且苗圃试验效果好于田间试验。田间试验发现,铺植后施用保水剂的效果明显好于铺植前在土表撒施和混施(5 cm)。分析认为,后两种方法实施过程中手工操作精度不高,保水剂撒施不均匀,影响了保水剂作用的发挥,而实践中实施机械化操作可能会大大减轻此种影响,在干旱缺水地区可以提高草皮铺植的成功率<sup>[22]</sup>。安万福等(2001)在高速公路护坡工程中施用了保水剂,效果显著。草皮铺栽后,生根快,缓苗期短,提前出现护坡效果,在建植与养护阶段节水率达 30% 以上<sup>[29]</sup>。

### 2.2.4 对灌溉频率的影响

国内外许多研究表明,施用保水剂可以提高植物根系区域的有效含水量,且保水剂施入层附近含水率变化明显低于表层及深层,使土壤的失水过程显著减慢,从而减缓干旱胁迫,延缓植物凋萎<sup>[10,30~34]</sup>。河北保定园林绿化管理局对野牛草(*Buchloe dactyloides* Engelm.) 进行高效保水剂应用试验(1998),发现施用保水剂可延缓出现干旱的时间(施用保水剂 14 d 后出现干旱,未施保水剂为 7 d)<sup>[12]</sup>。美国佛罗里达州立大学(1993)研究表明,施用保水剂后草坪在 6 月份(试验的第 3 个月)仅需 1 次灌水,在没有降雨的情况下,草坪草在 14 d 以后才开始出现干旱胁迫,较未施保水剂的草坪大大延长<sup>[35]</sup>。

施用保水剂降低灌水频率,主要是因为保水剂在根系区可以快速吸收并持久保存大量水分,减少径流、蒸发和渗漏损失,提高了水分利用率,而并不是减少了植物的用水量。

### 2.2.5 对土壤的影响

保水剂在土壤中吸水膨胀,可以把分散的土壤颗粒粘结成团块状,促进土壤团粒结构的形成,增加孔隙度,降低土壤容重。研究发现,施用保水剂可以提高草坪坪床水分入渗率及土壤含水量,减少氮肥损失,并降低土壤容重<sup>[15,36]</sup>。Schamp 等(1975)和 Vandeveld, DeBoot(1972)研究结果表明,施用保水剂改良土壤理化性状的效果随着保水剂用量的增加而提高<sup>[37,38]</sup>。但 McGuire 和 Carrow 等(1978)却发现保水剂对草坪坪床土壤(沙土)持水能力和理化性状影响不明显<sup>[25]</sup>。导致结论差异的部分原因可能在于他们的研究方法不同:前者对土壤没有施加任何外力,而后者在田间试验中,采用践踏器(a power roller)对土壤进行周期性践踏处理。

由于草坪特有的使用功能,一些学者还就保水剂对草坪硬度的影响进行了研究。John Karlik(1995)采用践踏器(Brinkman traffic simulator)处理方法研究了保水剂对高羊茅和普通

狗牙根草坪床硬度的影响,发现施用保水剂对狗牙根草坪坪床硬度影响不明显,但对高羊茅坪床硬度影响显著。John Karlik 认为施用保水剂会影响草坪坪床硬度(尤其在灌水之后),且保水剂施用量越多,灌水之后坪床越软<sup>[26]</sup>。

## 2.3 保水剂包衣技术在草坪中的应用研究

在保水剂中添加各种营养元素、土壤有机活性物质、螯合剂等物质可以形成保水储肥剂或者保水改土剂。早在 1963 年,Bedemer 就曾报道过有关保水储肥剂在草坪上应用<sup>[39]</sup>,随着保水剂和包衣技术的不断发展,相关研究逐渐增多。Hummel(1989)、Peacock 和 DiPaola(1992)曾先后研究过不同保水剂种类及不同包衣层厚度的 PCU(polymer-coated urea)。在 Hummel(1989)的研究中,以不同剂量的保水剂为包衣材料,得到了不同释放速度(70~270 d)的 N 肥,取得了良好的试验效果。Peacock 和 DiPaola(1992)研究了不同厚度包衣层的 PCU 在草坪上的应用,结果表明肥效时间与保水剂包衣厚度一致,包衣层厚的肥效时间长(35~70 d),包衣层薄的肥效时间短(0~35 d)。相对于其他缓释 N 肥,PCU 产品田间施用效果很好<sup>[40,41]</sup>。Carrow(1997)研究了保水剂添加营养元素(S, N, P, K)形成的保水储肥剂对“Tifway”杂交狗牙根草坪的影响,结果表明,随着保水储肥剂 PCSCU (polymer-coated S-coated ureas)和 PCU (polymer-coated urea)中保水剂含量的提高,草坪质量有所提高,但保水剂颗粒大小的影响不明显。保水储肥剂 PCSCU 和 PCSCF (polymer-coated S-coated NPK fertilizers)对狗牙根草初期和长期的表现质量均有影响,且影响程度与保水剂种类、重量和厚度有关<sup>[42]</sup>。

Deying 和 Joo 等(2000)在运动场草坪坪床介质(沙床)中施用土壤改良剂 PC(polymer coated clay),发现 PC 使坪床土壤的容重降低了 10.7%,但对坪床的持水力(water retention)和阳离子交换能力(CEC)影响不明显。他们认为容重的降低除了受总孔隙度增加影响之外,还可能与冻融交替增加了大孔隙有关<sup>[43]</sup>。

## 3 影响保水剂使用的主要因素

### 3.1 草坪种类

不同草坪草的耐旱能力和对土壤肥力的要求差异较大。一般情况下,对水分敏感、需频繁浇水的草坪,可适当加大保水剂用量,抗旱性较强或浇水易染病的草坪可减少用量。

### 3.2 土壤条件

主要包括土壤质地、土壤盐分和土壤酸碱度等。不同质地的土壤吸水保水性不同。一般而言,保水剂用量应随土壤沙性的增加而增加。保水剂吸水能力还受盐分及 pH 值影响。有研究表明,随着土壤盐分含量的提高,保水剂吸水倍率大大减小<sup>[44]</sup>。所以,当土壤盐分含量较高时,可适当增加保水剂用量。pH 值为 6.0~8.0 时,保水剂的吸水能力最强;酸性或碱性过强时,吸水能力均显著降低<sup>[45]</sup>。而大部分草坪草生长最适宜的 pH 值是中性到弱酸性(6.0~7.0),一般改良后的坪床土壤,其 pH 值对保水剂的作用影响不大。

### 3.3 气候条件

气候条件对保水剂施用效果影响较大,具体用量需根据各

地区降水、光照、湿度等气候因素综合考虑。一般干旱少雨或者蒸发较大地区用量稍多,湿润多雨地区或者土壤排水性较差时用量酌减。

### 3.4 灌溉水质

盐分及 pH 值对保水剂作用的发挥影响较大(见土壤条件部分),当灌溉用水盐分含量较大,或其酸性或碱性过强(pH 值 <6.0 或 pH 值 >8.0 时)时,可适当增加保水剂用量。

## 4 保水剂在草坪应用研究中存在的问题

保水剂品种繁多,应用效果又受多种因素的影响,相对于农林业,保水剂在草坪上的应用研究较少,且研究方法单一,在实际应用中如何使其节水节肥的效果得到充分发挥,尚存在以下几个问题。

(1)土壤作为生长的介质,对草坪草的生长尤为重要,而目前有关保水剂对草坪床土土壤影响的研究较少,尤其是对长期综合效应的研究。

(2)有关保水剂对草坪草生长生理的影响研究多局限于出苗和幼苗生长,缺乏系统性和深入性。

(3)缺乏对施用保水剂条件下不同草坪的节水灌溉制度、灌溉模式的研究。

(4)将保水剂添加各种物质,如营养元素、植物生长调节剂、杀虫剂、杀菌剂等,结合形成各种功效混合剂的方法,目前在生产实践中已有应用,但尚缺乏相关的理论研究,如保水剂与不同物质的混合使用比例、使用方法及相互作用机理等。

通过对以上问题的进一步研究,将会形成一套以保水剂应用为中心的综合保水节水技术体系,大大缓解我国草坪灌水短缺的局面。近年来城市美化绿化发展迅速,草坪的发展不仅仅局限于城市,在许多灌溉条件较差或者不具备灌溉条件的地区(如公路、铁路的边坡绿化和水土保持中),保水剂对草坪绿地节水的作用将日益突现,其前景十分广阔。 □

### 参考文献:

[1] Beard J B. Turfgrass: Science and culture [M]. Englewood Cliffs, N J: Prentice Hall, 1973.

[2] Huang B R, J D Fry. Root anatomical, physiological, and morphological responses to drought stress for tall fescue cultivars[J]. Crop Science, 1998, 38: 1017-1022.

[3] Turgeon A J. Turfgrass Management[A]. Prentice Hall, Upper Saddle River[M]. New Jersey: 1996, 15-42.

[4] Shan L, Sup, Guo L K. Reaction of different cropsto alternate dry wetting environment[J]. Acta Bot Bor Sin, 2000, 20(2): 164-170.

[5] 吴德瑜. 保水剂与农业[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1991: 1-3.

[6] 赵永贵. 保水剂的开发及应用进展[J]. 中国水土保持, 1999, (5): 52-54.

[7] 黄占斌, 万会娥, 邓西平等. 保水剂在改良土壤和作物抗旱节水中的效应[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1999, 12(4): 52-55.

[8] Costigan, P A, S J Locascio. Fertilizer additives within or around the gel for fluid-drilled cabbage and lettuce[J]. Hort-

Science, 1982, 17(5): 746-748.

[9] Woodhouse J, M S Johnson. Effect of super absorbent polymers on survival and growth of crop seedling[J]. Agricultural Water-Management, 1991, 20: 63-70.

[10] Johnson M S. The effects of gel forming polyacrylamides on moisture storage in sandy soils[J]. J. Sci. FoodAgric., 1984, 35: 1196-1200.

[11] 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.

[12] 陈学仁. 保水剂在农村水利领域开发和应用的探索[J]. 中国农村水利水电, 2000, (6): 19-25.

[13] 刘效军, 王子峰. 施用保水剂应注意的几个问题[J]. 河北果树, 2001, (3): 53-54

[14] 吴长文, 章梦涛, 付奇峰. 喷播绿化技术在斜坡水土保持生态环境建设中的研究. 水土保持学报, 2000, 14(2): 11-14.

[15] Cale A Bigelow, Dan C Bowman, Ph D, D Keith Cassel. Germination and establishment with root-zone amendments[J]. Journal of Experimental Botany, 1999, 50(2): 80-85.

[16] Fry, Jack D, Jack D Butler. Water Management during Tall Fescue Establishment[J]. HortScience, 1989, 24(1): 79-81.

[17] Woodhouse, J M, M S Johnson. The effect of gel-forming polymers on seed germination and establishment[J]. Journal of Arid Environments, 1991, 20: 375-380.

[18] 李志华, 杨志民, 王槐三, 等. TQ 型吸水剂在百慕达 419 坪床中应用的盆栽试验[J]. 草业科学, 1999, 16(2): 64-66.

[19] Rubio H O, M K Wood, M Cardenas, et al. Effect of polyacrylamide on seedling emergence of three grass species[J]. Soil Science, 1989, 148(5): 355-360.

[20] 陈本建. 保水剂对多年生黑麦草出苗和幼苗生长的影响[J]. 草业科学, 2000, 17(3): 28-30.

[21] 孙国荣, 肖 玮, 阎秀峰, 等. 土壤保水剂对星星草幼苗抗旱性的影响[J]. 草业科学, 1996, 13(3): 29-31.

[22] MacPhail J M, J L Eggens, P M Harney, M J Tsujita. Effect of Viterra 2 Hydrogel on Germination and Sod Establishment of Kentucky Bluegrass[J]. Can. J. Plant Sci., 1980, 60: 665-668.

[23] 李青丰, 房丽宁, 徐 军, 等. 吸水剂对促进种子萌发作用的置疑[J]. 干旱地区农业研究, 1996, 14(4): 56-60.

[24] Letey, J, W C Morgan, S J Richards, N. Valoras. Physical Soil Amendments, Soil Compaction, Irrigation and Wetting Agents in Turfgrass Management III. Effects on Oxygen Diffusion Rate and Root Growth[J]. Agron. J, 1966, 58: 531-535.

[25] McGuire, E, R N Carrow, J Troll. Chemical Soil Conditioner Effects on Sand Soils and Turfgrass Growth[J]. Agron. J., 1978, 70: 317-321.

[26] John Karlik. Effects of Pre-Plant Incorporation of Polymers on Turfgrasses[J]. California Turfgrass Culture. 1995, 45(3, 4): 19-22.

[27] 胡 芬, 姜雁北. 高吸水剂 KH841 在旱地农业中的应用[J]. 干旱地区农业研究, 1994, 12(4): 83-86.

[28] 董香芳, 张毛岭, 荣雪峰, 等. TAB 在旱地小麦生产上的应用效果[J]. 甘肃农业科技, 1999, (6): 39-40.