

# 聚丙烯酰胺在农业生产中的应用及研究进展

张蕊<sup>1</sup>, 于健<sup>2</sup>, 白岗栓<sup>3,4\*</sup>

(1. 西北农林科技大学林学院, 陕西杨凌 712100; 2. 内蒙古水利科学研究院, 内蒙古呼和浩特 010020;

3. 中国科学院水利部水土保持研究所, 陕西杨凌 712100; 4. 西北农林科技大学水土保持研究所, 陕西杨凌 712100)

**摘要** 我国面临严峻的水资源短缺状况, 聚丙烯酰胺(PAM)作为一种高分子聚合物, 在农业生产中具有改良土壤结构, 提高土壤保水、保土、保肥、保温能力, 具有一定的增产功能。针对聚丙烯酰胺在农业生产中的应用, 介绍了其特性、作用机理、涉及的因素、存在问题及应用前景。聚丙烯酰胺的施用效果随土壤类型、施用方法、施用量的不同而异, 在具体的应用过程中应注意结合实际情况, 才能充分发挥其优势。国内外大量研究表明聚丙烯酰胺应用于农业生产, 具有显著的经济价值, 应用推广前景广阔。

**关键词** 聚丙烯酰胺; 作用机理; 农用性质; 发展前景

**中图分类号** S156.2 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2012)10-06093-03

## Application and Research of PAM in Agriculture Production

ZHANG Rui et al (College of Forestry, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100)

**Abstract** China is facing severe water shortage. As a high molecular polymer, PAM could improve soil structure, increase soil and water conservation, fertilizer and heat preservation ability, and also improve crop yields in agriculture production. Aiming at the application of PAM in agriculture production, this paper mainly introduced the characteristics, mechanism, involved factors, problems and prospects of PAM. The application effects of PAM varied primarily with soil types, application methods and application amounts. In order to give full play to PAM superiority, PAM should be applied according to the actual situation in the specific application process. The domestic and overseas researches indicated that the application of PAM to agriculture production had remarkable economic value and broad prospects.

**Key words** Polyacrylamide(PAM); Mechanism; Farm-oriented properties; Development prospect

水利是农业的命脉, 我国北方地区的持续干旱及地下水的严重超采, 促使水资源的高效利用成为人们关注的焦点。研究表明, 农业灌溉用水约 50% 消耗在田间, 加强对田间节水技术的研究和开发, 可显著减少灌溉量, 提高雨水利用效率及作物产量<sup>[1]</sup>。聚丙烯酰胺(PAM)作为土壤结构改良剂, 可增加土壤表层颗粒间的凝聚力, 维系良好的土壤结构, 防止土壤结皮, 增加土壤水分入渗, 防止水土流失, 抑制土壤水分蒸发, 提高雨水利用率, 具有保水、保土、保肥、保温、增产等效用; 聚丙烯酰胺还能够提高肥料的利用率, 改善生态环境。目前, 有关聚丙烯酰胺对土壤入渗及产流产沙以及水土保持机理的研究比较深入, 而在土壤保水、保肥等方面由于其投入成本较高而并未得到推广, 开展聚丙烯酰胺在干旱、半干旱地区农业生产中的应用, 对提高灌溉水及自然降水的利用效率、节水灌溉等有着重要的意义。

### 1 聚丙烯酰胺特性

聚丙烯酰胺是一种水溶性线性高分子聚合物, 其单体为丙烯酰胺(AM), 几乎不溶于苯、乙醚、酯类等一般有机溶剂, 易溶于水, 是目前应用最为广泛的水溶性聚合物。聚丙烯酰胺为无色颗粒状, 其水溶液为近透明的粘稠液体, 无毒、无腐蚀性, 在 150 ℃ 以上时才可热分解, 在环境中稳定性好。聚丙烯酰胺有阳离子、阴离子、非离子、两性离子和超高分子量等类型, 随聚合程度的不同, 分子量在 500~2 400 万 Da (Da 表示一个<sup>12</sup>C 原子质量的 1/12) 之间变动。聚丙烯酰胺具有特殊的物理化学性质, 可作为絮凝剂、增稠剂、减阻剂、泥浆

处理剂、表面活性剂、土壤改良剂、水土保持剂、种子包衣剂、纸力增强剂等被广泛运用于石油开采、水处理、纺织、造纸、医药、农业等<sup>[2]</sup>。

20 世纪 90 年代, 聚丙烯酰胺作为土壤结构改良剂应用于农业生产, 近年来有关聚丙烯酰胺在农业生产中的研究较多。20 世纪 80 年代中期, 聚丙烯酰胺由比利时介绍到我国, “七五”期间中国农业科学院土壤肥料研究所先后在北京、山东、河北、山西、陕西、宁夏、新疆等地进行了室内模拟、盆栽和大田等试验, 结果表明, 聚丙烯酰胺增加了土壤水分入渗, 减少了地表径流, 并对土壤温度产生影响, 但由于聚丙烯酰胺的应用成本较高, 未能在我国推广; “九五”期间, 国外新型聚丙烯酰胺介绍到我国, 大田试验表明, 新型的聚丙烯酰胺可提高作物产量, 增加经济效益<sup>[3]</sup>。

### 2 作用机理

聚丙烯酰胺分子式为  $[C_3H_5ON]_n$ , 具有很强的絮凝作用。聚丙烯酰胺与水接触时, 疏水基由于疏水作用转向内侧, 形成不溶于水的粒状结构, 亲水基团通过氢键与水分子结合形成水合水。聚丙烯酰胺分子结构中三维网络上—COOH 基团遇水发生解离, 产生—COO<sup>-</sup> 和 H<sup>+</sup> 离子, 由于高分子链上的—COO<sup>-</sup> 不能向水中扩散, 则网络中的 H<sup>+</sup> 浓度高于水中的 H<sup>+</sup> 浓度, 产生了浓度差, 使高分子聚合物网络外部的水向网络内部渗透, 以达到网络内外 H<sup>+</sup> 浓度的平衡, 因此网状结构内外产生了渗透压, 水分子便在渗透压的作用下向网内渗透形成了网孔水<sup>[4]</sup>。这种网孔水是被高分子网空间所束缚的自由水, 但这种被束缚的水分子仍具有普通水的理化性质, 只是水分子的运动受到限制。施用聚丙烯酰胺, 在土壤中形成很多的“小水库”, 当遇到干旱时, “小水库”因渗透压的作用而缓慢释放水分供作物吸收利用, 从而有效防止水分流失和无效蒸发, 达到抗旱保墒。聚丙烯酰胺分子在

**基金项目** 水利部科技推广项目(TG1144); 国家“十二五”科技支撑计划项目(2011BAD31B05-02)。

**作者简介** 张蕊(1987-), 女, 陕西西安人, 硕士研究生, 研究方向: 保水剂及土壤结构调理剂在农业上的应用, E-mail: lingersz@nwsuaf.edu.cn。\* 通讯作者, 研究员, 从事果树栽培及保水剂应用研究, E-mail: gshb@nwsuaf.edu.cn。

**收稿日期** 2012-01-06

土壤中遇水溶解时,分子与土壤颗粒相互作用,对土壤团聚体的形成起到了一定促进作用,促使土壤的沉降系数、结构系数和各级水稳性团聚体总量明显提高,并增加土壤水分入渗率,阻碍土壤结皮的形成,减少地表径流,为作物增产提供条件。冒建华等试验表明,聚丙烯酰胺能减少0.1 mm粒径的颗粒51.3%~62.5%<sup>[5]</sup>。

### 3 农业生产中的作用

**3.1 保水** 土壤水分是土壤的重要组成部分,它不仅是作物生长需水的主要供给源,而且是土壤内生物活动和养分转化的必要条件,且对物理性质及土壤耕作有很大影响。土壤中加入聚丙烯酰胺能显著提高土壤含水率,抑制土壤结皮形成,增加水分入渗。土壤结皮存在于土壤表层,具有密度大、孔隙小、低饱和导水率的性质,能够阻碍土壤水分入渗、增加地表径流以及妨碍种子发芽<sup>[6]</sup>。聚丙烯酰胺可增加土壤水分入渗,即增加土壤的含水率,能够在降雨后一定时间内保持土壤的含水量。聚丙烯酰胺的覆盖率越高,土壤的含水率就越大。于晓光等对砂土进行了试验,结果表明,施用聚丙烯酰胺可以缩短水分入渗时间,提高水分入渗速率,减少土壤水分渗出量,抑制土壤水分蒸发<sup>[7]</sup>。介晓磊等研究结果表明,土壤吸力较低的阶段,随着聚丙烯酰胺施用量的增加,土壤持水量增加,作物可利用的有效水增加<sup>[8]</sup>。聚丙烯酰胺可提高土壤含水量,并且施用量越大,土壤水分提高的幅度也越大<sup>[5]</sup>。员学锋等的试验表明,聚丙烯酰胺可有效增加土壤入渗速率、增加土壤持水力、抑制土壤水分蒸发,且聚丙烯酰胺的浓度增加,其改土的效果愈明显;但当聚丙烯酰胺浓度过高时,则会在土壤表层过度黏结土粒,反而抑制水分入渗<sup>[9]</sup>。也有试验表明,聚丙烯酰胺的吸水倍率与溶液中的金属盐离子浓度有关,一般呈现负相关<sup>[10]</sup>。

**3.2 土壤结构改良与保肥** 聚丙烯酰胺在减少土壤侵蚀的同时,可有效改善土壤结构,使土壤大团聚体数目增加,使土壤总孔隙度和毛管孔隙度上升,降低土壤容重,最终使土壤颗粒和孔隙结构保持稳定<sup>[11]</sup>。聚丙烯酰胺还显著影响土壤对肥料元素的吸附,聚丙烯酰胺通过稳定水稳性团粒结构以及对肥料元素吸附,抑制肥料元素流失,提高肥料利用率。经过聚丙烯酰胺处理后的土壤有机质、速效氮、速效磷和速效钾等含量会显著提高。龙明杰等<sup>[12]</sup>通过土壤吸附肥料和土壤肥料淋溶试验得出,聚丙烯酰胺可以使土壤对 $\text{NH}_4^+$ 和 $\text{NO}_3^-$ 的吸附分别增加30.6%~62.6%和2.5%~16.3%。肇普兴等的试验结果表明,在坡度为6°、10°、15°时施聚丙烯酰胺,其保肥率分别提高了80%、65%和55%<sup>[13]</sup>。杜尧东等通过田间坡地试验研究表明,坡地施用阴离子型分子量300万~400万Da的聚丙烯酰胺,可减少地表径流,提高土壤水分含量,促进土壤沉降,减少土壤侵蚀量和肥力流失<sup>[14]</sup>。员学锋等通过室内模拟试验表明,聚丙烯酰胺处理可使土壤淋溶溶液中的N、P累积量分别较对照减少了42.40%、43.85%,同时随着聚丙烯酰胺浓度的增加,土壤中养分淋失进一步减少<sup>[15]</sup>。曹丽花等试验结果表明,在浓度为0.05%~0.4%,聚丙烯酰胺可促进土壤>0.25 mm水稳性团聚体的形成,并

有效降低土壤团聚体分形维数,改善土壤结构<sup>[16]</sup>。聚丙烯酰胺对土壤结构的改良与其施用量有很大程度的关系,由表1可知,聚丙烯酰胺施用后使土壤孔隙度明显增加,但随着施用量的增大增加的幅度减慢;使用量在1.0~1.5 g/m<sup>2</sup>,容重变化显著,平均减少0.09~0.11,再增大则效果不明显。

表1 不同施用量的聚丙烯酰胺对土壤容重和土壤孔隙度的影响<sup>[5]</sup>

聚丙烯酰胺施用量//g/m <sup>2</sup>	土壤容重	土壤孔隙度//%
0.0	1.28	25.10
0.5	1.25	53.20
1.0	1.19	55.40
1.5	1.17	56.20
2.0	1.16	56.50

**3.3 保温** 聚丙烯酰胺施入土壤,水分被网状结构吸持,自由水减少,从而使土壤传导率降低,因此土壤的温度白天较低,夜间较高,日温差减小,利于植物生长发育。研究表明,聚丙烯酰胺对创建土壤中粒径0.25~4.00 mm的团粒结构有利,同时还可以明显提高土壤的膨胀率和土壤的保温性能<sup>[17]</sup>。中国农业科学院土壤肥料研究所在北京潮褐土冬小麦地地表撒施0.1%聚丙烯酰胺,发现其对5 cm土层温度影响最大,地表最高、最低温度和平均温度均提高<sup>[3]</sup>。

**3.4 增产** 聚丙烯酰胺增强了土壤的保水性和保肥性,增强了土壤的团粒结构,提高了土壤的通透性和抗旱能力,给作物的生长提供了相对优越的条件,显著促进作物生长发育并提高了作物产量。Stern R随灌溉向地表撒施20 kg/hm<sup>2</sup>的聚丙烯酰胺,小麦产量提高了9.0%<sup>[8]</sup>。J. Wood House等的试验结果表明,施用聚丙烯酰胺可促使苜蓿、大麦干物质质量提高,最高处理较对照增产4倍,水分利用率增长了3倍<sup>[19]</sup>。Shock C. C.等在马铃薯地施聚丙烯酰胺,增大了马铃薯块茎,产量提高了7.6%~2.5%<sup>[20]</sup>。杜社妮等试验表明,玉米生育期间浅层土壤贮水量随聚丙烯酰胺的使用量增加而提高;玉米叶片光合速率、茎叶生物量、根系生物量、果穗生物量、茎秆粗度、籽粒产量、千粒重也随聚丙烯酰胺施用量的增加而提高;从播种到成熟期,玉米耗水量减少,水分利用效率、水分生产率极显著提高<sup>[21]</sup>。研究表明,聚丙烯酰胺在黄土地旱作农业中应用,具有提高经济效益的作用,为聚丙烯酰胺大面积推广提供了条件<sup>[22]</sup>。

## 4 影响因素

**4.1 施用方式及使用量** 在干旱地区,土壤结构不稳定,降水或灌溉期间易导致土壤板结,造成土壤水分入渗减少和地表径流增加。夏江海等认为聚丙烯酰胺用量为0.3~1.2 g/m<sup>2</sup>,相当于3~12 kg/hm<sup>2</sup>,可有效防止土壤侵蚀<sup>[23]</sup>;当聚丙烯酰胺用量为5、10、20 mg/L时,可增加降水入渗,但对不同质地的土壤应具体分析<sup>[24]</sup>。聚丙烯酰胺在低用量时具有较好的凝结作用,可稳定土壤结构,可作为土壤稳定剂;用量太大,成本提高,造成浪费,甚至有时还会起到反作用。聚丙烯酰胺在土壤中应用存在一个阈值,通过对这个阈值的分析,可充分发挥其保水保土作用<sup>[25]</sup>。

通常聚丙烯酰胺的施用方法主要有两种:一是将聚丙烯

酰胺随灌溉水施用,另一种是在地表直接撒施<sup>[5]</sup>。对于雨养农业地区,若将聚丙烯酰胺溶于水喷洒在地表,需要大量的水,操作困难,因此一般情况下选用干洒法。R E Sojka 等对沙壤土采用两种施用方法:一是在施用前将聚丙烯酰胺溶于水,喷洒于土壤,另一种是直接撒施聚丙烯酰胺颗粒,喷洒聚丙烯酰胺可减少泥沙 81%,撒施可减少泥沙 88%<sup>[26]</sup>。于健等对不同形态聚丙烯酰胺(溶胶态、溶液与干粉状)的土壤入渗、侵蚀量进行了研究,结果表明,3 种形态的聚丙烯酰胺对增加土壤水分入渗,减少土壤侵蚀均有显著影响,且干粉状聚丙烯酰胺由于施用效果较好,方法简便易推广<sup>[27]</sup>。由于聚丙烯酰胺溶解、喷洒等不便,一般很少采用喷洒法<sup>[25]</sup>。

**4.2 分子量** 聚丙烯酰胺是高分子聚合物,在分散土壤细粒间的桥键作用和土壤团粒外表面形成保护网的作用较强。在水土保持方面高分子量的聚丙烯酰胺比低分子量的效果好,但分子量过高,分子不易在土层中扩散和对流,限制改良土层深度,并容易在土壤表面形成高分子胶结土壤膜状薄层,反而减弱土壤的渗透性<sup>[12]</sup>。农业生产中,高分子量聚丙烯酰胺链长过长,会在相邻的黏粒之间形成“搭接桥”,使粘粘作用增强,但链长过长则会使水分难以穿透,不能进入土壤团聚体空隙,使施用效果下降,一般选择中分子量聚丙烯酰胺。同时还需根据不同土质选择适宜分子量的聚丙烯酰胺。一般来说,砂土通常选择高分子量的聚丙烯酰胺(18 mg/mol),而质地较密实的壤土可以选择分子量较低的聚丙烯酰胺(6 mg/mol)<sup>[28]</sup>。同时还应注意到在分子量相同的情况下,高离子度能引起聚合物分子间相互排斥,降低土粒对其的吸收程度,因此一般采用的离子度是 20%~30%<sup>[29]</sup>。

**4.3 土壤质地** 土壤类型不同,施用聚丙烯酰胺的效果也不同。小颗粒的土壤吸收的聚丙烯酰胺量比大颗粒多,故聚丙烯酰胺适用于粉沙至黏质土壤,在沙性土上的效果不好<sup>[30]</sup>,结构差的土壤缺少分散的黏粒,聚丙烯酰胺起着絮凝作用,但在絮凝泥沙同时,长链尾部堵塞了土壤的传导空隙,而在土壤表面形成结皮,降低入渗。施用聚丙烯酰胺,对于结构好的土壤其水力传导度随聚丙烯酰胺质量浓度的增加而增加,持水能力、孔隙度也均有很大程度的提高;对于中等结构的土壤,其水力传导度的增加值要比结构好的土壤大<sup>[31]</sup>。杨永辉等对黄土高原主要类型土壤的保水作用进行试验,结果表明,在一定量范围内,聚丙烯酰胺可以提高不同类型土壤的持水和导水性能,并且减少了土壤水分蒸发<sup>[32]</sup>。故在实际应用中,应根据土壤类型选用聚丙烯酰胺,否则可能与预期效果大相径庭。

**4.4 与其他物质的复合作用** 土壤因表面具有负电性而产生静电排斥,阴离子聚合物分子在负电性的分散土粒表面难于吸附,改良土壤的作用不明显,多价金属阳离子在两者之间形成桥状化学键,促进了阴离子聚合物分子的吸附。在土壤中阳离子含量比较低时,单独施用聚丙烯酰胺,不仅土壤表面吸附的聚丙烯酰胺量较少,而且形成的聚丙烯酰胺分子链较长,长分子链堵塞了土壤颗粒间的孔隙,只有较少的水分入渗。土壤中的多价阳离子可以分别结合土壤颗粒表

面的阴离子和聚丙烯酰胺的负相,形成阳离子桥,促进了阴离子聚合物分子的吸附。而且由于多价阳离子的存在,使得形成的聚丙烯酰胺链比较短,既可以增加水分入渗,又能够稳定土壤结构,减少土壤流失。聚丙烯酰胺与石膏结合、聚丙烯酰胺与黄绵土混合以及 PAM-atta 复合保水剂不但在水土保持方面作用可靠,在防止土壤结皮及增加入渗方面效果显著,对农业生产也起到极大帮助,同时,PAM-atta 复合保水剂还克服了一般保水剂耐盐性差、成本高等不理想因素,因此,开发新型聚丙烯酰胺具有广阔前景<sup>[24]</sup>。

## 5 存在问题及发展前景

**5.1 存在问题** 聚丙烯酰胺是一种水溶性、高分子量的有机聚合物,其本身及其水解体均无毒。美国使用聚丙烯酰胺的实践表明,聚丙烯酰胺不会对生态环境造成危害,它在土壤和水中不具毒性,同时也不会产生在作物中产生积累<sup>[33]</sup>。目前,聚丙烯酰胺作为土壤结构改良剂应用于农业生产,但是寻求一套较为合适的聚丙烯酰胺施用技术体系很重要,同时聚丙烯酰胺是一种较易挥发的颗粒,选用聚丙烯酰胺的时机和方法是一个较难解决的问题<sup>[34]</sup>。在实际应用中要结合土壤性质等具体因素而定。

总的来说,聚丙烯酰胺应用于农业生产,最终目的是改良土壤性质,并获得高产,不同土壤类型、不同灌溉条件下的适宜施用量、施用时期、与肥料的耦合作用及相应的施用方法,以及经济效益都是需要考虑的重要因素。聚丙烯酰胺在农业生产中应用有其显著的优越性,但同时还面临着多种条件的制约,因此,应加大对新型聚丙烯酰胺的研究力度,克服传统聚丙烯酰胺在应用过程中的一些问题,提高聚丙烯酰胺的耐盐碱强度,提高吸水倍数,降低成本,发挥其在农业生产中的最大效应。

**5.2 发展前景** 我国水资源紧缺,水土流失严重,聚丙烯酰胺用做土壤改良剂,技术操作简单、方便、易学、且投入少,可直接产生经济效益,且改土、保土、保水、保肥等效益显著,是保水增产的一条新途径。目前聚丙烯酰胺在农林业上的应用研究已经深入开展,聚丙烯酰胺将成为农林业生产上不可缺少的物质,具有深刻的意义,聚丙烯酰胺在农业领域中应用前景相当广阔。

## 参考文献

- [1] 贾大林,孟兆江,王和洲. 农业高效用水及农艺节水技术[J]. 节水灌溉,1999(4):7-10.
- [2] 罗在波. PAM 对紫色土坡地氮素迁移淋失的控制效应[D]. 重庆:西南大学,2008.
- [3] 王小彬,蔡典雅. 土壤调理剂 PAM 的农用研究和应用[J]. 植物营养与肥料学报,2000,6(4):457-463.
- [4] 刘东,任树梅,杨培岭. 聚丙烯酰胺(PAM)对土壤水分蓄渗能力的影响[J]. 灌溉排水学报,2006,25(4):56-63.
- [5] 冒建华,雷廷武,周清. 聚丙烯酰胺提高苜蓿出苗率的研究[J]. 北京水利,2005(2):24-31.
- [6] 唐泽军,雷廷武,赵小勇,等. PAM 改善黄土水土环境及对玉米生长影响的田间试验研究[J]. 农业工程学报,2006,22(4):216-219.
- [7] 于晓光,宋国献,宗兆博. 聚丙烯酰胺增强砂土保水性试验研究[J]. 中国水土保持,2003(5):26-27.
- [8] 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(1):22-24.

续表 8

植物类型	植物名称	成活率/覆 盖度//%	种植方式
灌木	火炬( <i>Rhus typhina</i> Nut.)	87.2	栽植
	枣树( <i>Zizyphus jujuba</i> Mill.)	89.5	栽植
	沙枣( <i>Elacagnus angustifolia</i> Linn)		
	云杉( <i>Picea asperata</i> Mast.)	100	栽植
	金银木( <i>Lonicera maackii</i> )	95	栽植
	怪柳( <i>Tamarix austromongolica</i> )	85.5	栽植
	紫丁香( <i>Syringa oblata</i> Lindl.)	98.7	栽植
	榆叶梅( <i>Amygdalus triloba</i> )	51.2	栽植
	珍珠梅( <i>Sorbaria kirilowii</i> )	31.9	栽植
	紫玫瑰(var. <i>typica</i> Reg.)	63.4	栽植
	柠条( <i>Caragana microphylla</i> Lam.)	84.2	栽植
	刺玫( <i>Rosa xanthina</i> Lindl.)	97.8	栽植
	连翘( <i>Forsythia suspensa</i> )	96.8	栽植
	沙地柏( <i>Sabina vulgaris</i> Ant.)	98.6	栽植
	探春( <i>Jasminum</i> )	89.7	栽植
藤本	五叶地锦( <i>Parthenocissus tricuspidata</i> )	82.1	栽植
草花、草本	荷兰菊( <i>Aster novi-belgii</i> )	100	撒播
	蜀葵( <i>Althea rosea</i> (L.) cav(Hollyhock))	100	撒播
	碱茅( <i>Puccinellia distans</i> (L.) Parl.)	100	撒播
	小冠花( <i>Coronilla buxifolia</i> Hance)	99	撒播
	紫花苜蓿( <i>Medicago sativa</i> Linn.)	99.5	撒播
	马蔺( <i>Kalimeris indica</i> )	54	撒播
	红豆草( <i>Onobrychis viciaefolia</i> Scop.)	100	撒播
	苦豆子( <i>Sophora alopecuroides</i> )	100	撒播
	多年生黑麦草( <i>Lolium perenne</i> L.)	95	撒播
	高羊茅( <i>Festuca elata</i> Keng)	95	撒播

## 3 结论

对西北地区乡土植物试验及调查结果表明,受干旱与盐碱等条件制约,除了养护条件相对较好的互通立交区外,高速公路各功能区的乡土植物选择范围较小。由于各种植物的建成与该区实施工程技术有着紧密的联系,故在工程实践中需要加强对边坡、中央分隔带各功能区的养护。

研究所调查区域中央分隔带可选用乔木有 4 种,分别为侧柏、桧柏、圆柏、榆树;灌木有 9 种,分别为枸杞、怪柳、刺玫、连翘、四翅滨藜、榆叶梅、沙棘、紫穗槐、丁香;另皂荚、刺槐、沙枣、火炬、垂柳、旱柳及白腊树形高大、饱满,景观效果好,适宜作为行道树种植;灌木分枝多、树形散乱、高度有限不宜单植,与植株比较高的树种配合栽种可达到较好的景观效果;山桃、榆树易受虫害,宜和其他树种间植,在空间上阻隔传播。

## 参考文献

- [1] BRIGGS D, GIORDANO A, CORINE Soil Erosion Risk and Important Land Resources in the Southern Regions of the European Community[M]. Luxembourg: Commission of the European Communities Publication, 1992.
- [2] MORGAN R R C, RICKSON R J. Slope Stabilization and Erosion Control: a Bioengineering Approach[M]. London: E & FN Spon, 1995.
- [3] PAUWELS F, GULINCK H. Changing minor rural road networks in relation to landscape sustainability and farming practices in West Europe[J]. Agr Ecosyst Environ, 2000, 77: 95-99.
- [4] LIU S L, CUI B S, DONG S K, et al. Evaluating the influence of road networks on landscape and regional ecological risk—a case study in Lancang River Valley of Southwest China[J]. Ecol Eng, 2008, 34: 91-99.
- [5] 任海, 彭少麟. 恢复生态学导论[M]. 北京: 科学出版社, 2001.

(上接第 6095 页)

- [9] 员学锋, 汪有科, 吴普特, 等. PAM 对土壤物理性状影响的试验研究及机理分析[J]. 水土保持学报, 2005, 19(2): 37-40.
- [10] 张俊平, 刘瑞凤, 王爱勤. PAM/凹凸棒粘土复合高吸水性树脂的吸水性能[J]. 高分子材料科学与工程, 2006, 22(5): 151-158.
- [11] 张淑芬. 坡耕地施用聚丙烯酰胺防治水土流失试验研究[J]. 水土保持科技情报, 2001(2): 18-19.
- [12] 龙明杰, 张宏伟, 谢芳, 等. 高聚物土壤结构改良剂的研究 II. 高聚物对土壤肥料的作用[J]. 土壤肥料, 2000(5): 13-18.
- [13] 肇普兴, 夏海江. 聚丙烯酰胺的保土保水保肥及改土增产作用[J]. 水土保持研究, 1997, 4(4): 98-104.
- [14] 杜尧东, 夏海江. 聚丙烯酰胺防治坡地水土流失田间试验研究[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 2000, 14(3): 10-13.
- [15] 员学锋, 吴普特, 汪有科, 等. 施加 PAM 条件下土壤养分淋溶试验研究[J]. 水土保持通报, 2003, 23(2): 26-28.
- [16] 曹丽花, 赵世伟, 梁向峰, 等. PAM 对黄土高原主要土壤类型水稳性团聚体的改良效果及机理研究[J]. 农业工程学报, 2008, 24(1): 45-49.
- [17] 杨瑞香, 杨妙贤, 贾振宇, 等. 新型多功能保水剂对广东赤红壤的改良作用研究[J]. 仲恺农业技术学院学报, 2007, 20(1): 33-35.
- [18] STERN R, VAN DER MERWE A J, LAKER M C, et al. Effect of soil surface treatments on runoff and wheat yields under irrigation[J]. Agron. J, 1992, 84(1): 114-119.
- [19] WOOD HOUSE J, JOHNSON M J. 超吸水性多聚物对作物幼苗存活和生长的影响[J]. 水土保持科技情报, 2001(3): 17-19.
- [20] SHOCK C C, FEIBERT B G, SAUNDERS L D. A comparison of straw mulching and PAM for potato production[J]. OSU. Malhey Experiment Station Report, 1998, 978: 71-78.
- [21] 杜社妮, 赵世伟, 白岗桧, 沃特和 PAM 对土壤水分及玉米生长的影响[J]. 浙江大学学报: 农业与生命科学版, 2008, 34(1): 81-88.
- [22] 陆军, 黄兴法, 唐泽军, 等. PAM(聚丙烯酰胺)应用于西北黄土地区旱

作农业的经济分析[J]. 农业工程学报, 2004, 20(2): 97-100.

- [23] 夏海江, 杜尧东, 孟维忠. 聚丙烯酰胺防治坡地土壤侵蚀的室内模拟试验[J]. 水土保持学报, 2000, 14(3): 14-18.
- [24] 陈渠昌, 雷廷武, 李瑞平. PAM 对坡地降雨径流渗入和水力侵蚀的影响研究[J]. 水科学学报, 2006, 37(11): 1290-1296.
- [25] 李晶晶, 白岗桧. 聚丙烯酰胺的保土保水机理及研究进展[J]. 中国水土保持科学, 2011(5): 115-120.
- [26] SOJKA R E, MORISHITA D W, FOERSTER J A, et al. Weed seed transport and weed establishment as affected by polyacrylamide in furrow-irrigated corn[J]. Soil and Water Conservation, 2003(5): 319-325.
- [27] 于健, 雷廷武, SHAINBERG I, 等. 不同 PAM 施用方法对土壤入渗和侵蚀的影响[J]. 农业工程学报, 2010, 26(7): 38-44.
- [28] GREEN V S, STOTT D E, NORTON L D, et al. Effect of polyacrylamide molecular weight and charge on infiltration under simulated rainfall[J]. Soil Science of America Journal, 2000, 64: 1786-1791.
- [29] 董英, 郭绍辉, 詹亚力. 聚丙烯酰胺的土壤改良效应[J]. 高分子通报, 2004(5): 83-87.
- [30] LU J H, WU L, LETEY J. Effects of soil and water properties on anionic polyacrylamide sorption[J]. Soil Science Society of America Journal, 2002, 66: 578-584.
- [31] LENTZ R D. Inhibiting water infiltration with PAM and surfactants: applications for irrigated agriculture[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2003, 58(5): 290-300.
- [32] 杨永辉, 武继承, 赵世伟, 等. PAM 的土壤保水性能研究[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2007, 35(12): 120-124.
- [33] BARVENIK F W. Polyacrylamide characteristics related to soil applications[J]. Soil Sci, 1994, 158: 235-243.
- [34] 夏卫生, 雷廷武, 刘纪根. PAM 防治水土流失的研究现状及评述[J]. 土壤通报, 2002, 33(1): 78-80.