

## 保水剂在农业改土节水中的效应研究

黄占斌<sup>1,2</sup>, 朱书全<sup>1</sup>, 张铃春<sup>1</sup>, 李茂松<sup>3</sup>

(1. 中国矿业大学(北京校区), 北京 100083;

2. 中国科学院水利部水土保持研究所土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西 杨陵 712100;

3. 中国农科院环境与可持续发展研究所, 北京 100081)

**摘 要:** 综合模拟和田间试验, 比较研究了保水剂在改良土壤结构、保持土壤水分和节水农业生产中的应用, 分析了保水剂对不同作物效应、保水剂对马铃薯应用效果。研究表明, 保水剂能有效改善土壤结构, 提高土壤保水和释水能力; 能有效促进作物生长、增加作物产量和提高水分利用效率。文中还讨论了保水剂应用的发展趋势和研究方向。

**关键词:** 保水剂; 土壤改良; 节水农业

**中图分类号:** S156.2; 152.7

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1005-3409(2004)03-0057-04

## The Effect on Soil Improving and Water Saving Applied with Chemical Aquasorb in Agriculture

HUANG Zhan-bin<sup>1,2</sup>, ZHU Shu-quan<sup>1</sup>, ZHANG Ling-chun<sup>1</sup>, LI Mao-song<sup>3</sup>

(1. China University of Mining and Technology, Beijing 100083, China;

2. The State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation, CAS and MWR, Yangling 712100, Shaanxi China;

3. Institute of Environment and Sustainable Development, CAAAS, Beijing 100081, China)

**Abstract:** By colligating the methods of simulating indoor experiments and field tests, the authors studied effect of chemical aquasorb on soil amending, water conservation and applied in water saving agriculture, and analyzed the effective results of chemical aquasorb on different crops and in potato culture. The results showed that the chemical aquasorb can improve soil structure, decrease soil evaporation, and raise soil capacity of water conservation and the releasing, and also accelerate crop growth, increase crop yield and water use efficiency. The authors discussed the developing trend of chemical aquasorb, and pointed out the research direction that should be enhanced in future.

**Key words:** chemical aquasorb; soil improvement; water saving agriculture

干旱缺水和土壤退化是制约我国农业持续发展的重要因素, 目前我国 45% 的地区年均降水量不足 400 mm, 灌溉农田缺水 300 多亿 m<sup>3</sup>。近年来, 随着全球气候变暖, 干旱加剧, 干旱面积不断扩大。全国年均农田受旱面积已经由 50 年代 1 330 万 hm<sup>2</sup>, 上升到 90 年代以来的 2 670 万 hm<sup>2</sup>。另外, 全国水土流失面积 356 万 km<sup>2</sup>, 占国土 37.1%。其中耕地水土流失面积 45.5 万 km<sup>2</sup>, 占耕地面积的 34%。全国沙漠和沙漠化面积达 171.1 万 km<sup>2</sup>, 沙漠化土地面积每年仍以 2 460 km<sup>2</sup> 速度扩展。因此, 保持水土和抗旱节水已成为我国农业面向未来持续发展的选择。保水剂应用是近年来发展迅速的一项化学抗旱节水技术。保水剂 (Aquasorb 或 Super absorbent Polymer SAP) 又称高吸水剂、保湿剂、超强吸水

树脂。它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, 吸水后的水凝胶可缓慢释放水分供作物利用。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。具有用途广、投资少、见效快, 在农业生产等诸多方面, 具有较广泛的应用发展前景, 有专家称保水剂将成为化肥、农药、地膜之后第四个重要的农业化学产品。目前, 保水剂的单项研究甚多, 仅 1997~2002 年国内发表的保水剂应用论文就有 300 多篇。但在水土保持和节水农业中推广应用比较缓慢。主要原因主要有二方面: 一是保水剂合成成本较高; 二是缺乏保水剂实用技术, 单用保水剂的劳力投入过高, 而其本质是对保

收稿日期: 2004-04-26

基金项目: 国家“十五”863 课题(2002AA 2Z4171, 12003AA 6Z3301); 土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室课题(10501-125)共同资助

作者简介: 黄占斌(1961-), 男, 陕西武功人, 博士, 中国矿业大学(北京校区)教授、博士生导师, 中国科学院水利部水土保持研究所研究员, 主要研究植物生理生态、化学节水和环境工程等, 发表论文 70 余篇, 获省部级以上成果奖励 5 项。

水剂的效应机理探索不够。因此,本文通过系列实验,就保水剂在改良土壤、保持水土和节水农业生产中的应用进行研究,并结合资料 and 实际生产分析,对保水剂发展趋势和研究方向进行探讨。

1 保水剂改良土壤的效应实验

实验为室内模拟法,土壤取自陕西关中猕猴桃园 0~ 20 cm 的表土。按干土不同重量百分比,将保水剂分别与土样混合均匀,然后加水至田间持水量。然后分别测定土壤团粒结构(Yidev 法);采用人工控温(20 )和控湿(RH36 5%),每隔 12 h 测定土面蒸发(铝盒法);酸度计测定 pH 值变化;速效磷变化(Olsen 法)。

对土壤团粒结构影响:结果表明保水剂对土壤团粒结构的形成有促进作用,特别是对土壤中 0.5~ 5 mm 粒径的团粒结构形成最明显(表 1)。同时发现,随着土壤中保水剂含量的增加,土壤胶结形成团聚体,以大于 1 mm 的大团聚体最多,这些大团聚体对稳定土壤结构,改善土壤通透性,防止表土结皮,减少土面蒸发有较好作用。

表 1 保水剂对土壤团粒结构的影响

处理	各级水稳性团粒的分布/%						相对CK 增减/%
	> 5mm	5~ 2mm	2~ 1mm	1~ 0.5mm	0.5~ 0.25mm	小计%	
CK	6.77	8.46	4.82	5.76	2.31	28.12	0
0.005	8.84	10.30	5.05	6.32	3.36	33.87	17.0
0.010	12.20	13.40	9.41	8.12	3.50	46.63	65.8
0.030	11.39	14.93	10.44	9.79	3.55	50.10	78.2
0.050	15.24	17.30	9.77	8.35	4.18	54.84	95.0
0.100	16.00	16.56	11.72	8.18	6.92	59.38	111.2
0.200	16.78	17.78	11.54	9.42	6.46	61.98	120.4

对土面蒸发的影响:按上述处理加入保水剂的土壤,在 20 恒温 and 空气相对湿度 36.5% 的恒湿条件下进行蒸发,发现含保水剂的土壤,较对照大气蒸发力控制阶段结束 12~ 36 h。保水剂提高了团粒含量的同时改变了土壤孔隙的组成,降低了土壤不饱和导水率,使表层土与下层土的水势梯度变陡,证明保水剂减缓了土面蒸发。将 0.1% 保水剂土壤对照。土样水饱和后,观察自然蒸发至恒重风干状态所需时间变化,发现有保水剂处理的土壤需 25 d,而对照土只有 16 d。表明保水剂具有明显保水又供水的功效。

对土壤抗侵蚀性影响:在以色列农业研究组织(ARO)水土研究所进行试验,采用当地土壤混入 0.1% 保水剂的人工降雨模拟试验,发现土壤在第一次降雨时,土壤水分最终水分入渗率(FIR)为 11 mm/h,高于无保水剂土壤对照的 43%,径流和土壤流失量分别减少 1% 和 34%;第二次降雨时,FIR 为 9.3 mm/h,高于对照 44%,径流和土壤流失量分别减少 5% 和 9.4%。

2 保水剂对土壤保水释水特性效应试验

实验选取陕北沙壤土和关中土(表 2)。实验分两组,一组是两种土壤各加入 2% 保水剂;另一组为土加入 0.5% 的大、小两种颗粒保水剂。测定释水特性采取离心模拟法,具体做法是将风干土与保水剂按比例充分混合,装入专用容器中,下部垫纱布在蒸馏水盘中静置一昼夜充分饱和后,用高速离心机(HACH 1 产 Himac XR21 型),以不同离心力转速模拟土壤压力势,每个离心速率下进行 10 min 后,

取样测定。

表 2 土壤的颗粒组成

颗粒/mm	> 0.25	0.25~ 0.05	0.05~ 0.01	0.01~ 0.005	0.005~ 0.001
安塞土(沙壤)	0.3	18.7	59.0	6.2	6.8
武功土(重壤)	1.1	5.6	47.8	15.0	17.9

结果表明,土壤加入 2% 保水剂吸水饱和后,沙壤土和重壤土含水率分别为 113% 和 102%,无保水剂对照为 37% 和 33%(图 1)。保水剂使沙壤土含水量提高 76%,重壤土增加 69%。在土壤压力势作用下,土壤含水率降低过程为指数方程,当压力势达到- 1.0 MPa,沙壤土和重壤土含水率分别降到 59.6% 和 67.4%,较初始含水率降低 53% 和 35%;同时,无保水剂处理的沙壤土和重壤土含水率为 6.7% 和 11%,较初始含水率下降 30.6% 和 21.7%。可以说,重壤土较沙壤土的保水性能强,但加入保水剂后的沙壤土保水作用较重壤土更显著。

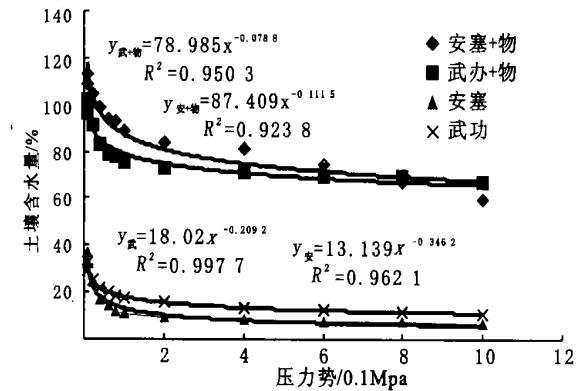


图 1 不同压力势下两种土壤的释水过程

另一结果显示,在 0.01 MPa 压力下,含 0.5% 大、小颗粒保水剂的土壤最大持水量分别为 54.4% 和 40.1%,无保水剂对照土壤为 33.3%。随着压力势减小,土壤含水量对降低。当土壤压力势为- 1.0 MPa 时,含大、小颗粒保水剂的土壤含水量分别降到 15.0% 和 13.1%,对照为 13.1%(图 2)。相对而言,大、小颗粒保水剂本身所持水的 90% 和 100% 已经被释放出来了。对于植物而言,土壤水势- 1.5 MPa 是萎蔫系数。所以,保水剂本身所持水分至少 90% 可为植物所利用。

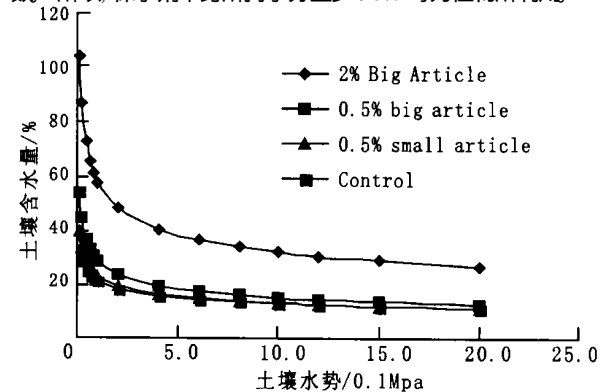


图 2 保水剂对土壤释水性能的影响

3 保水剂农业增产节水效应试验

3.1 保水剂对不同作物生长的效应试验

盆栽方法选用玉米、大豆和线辣椒分别代表谷物类、豆类和蔬菜类植物;选用聚丙烯酸盐类保水剂。实验处理:3 种作物在生长阶段控制土壤水分控水 40 d,控水前后为充分供水。土壤水分控制分高水组(HW, 80%~ 100% 的土壤田间

持水量 FC)、中水组(MW, 55% ~ 70% 的 FC)、低水组(LW, 40% ~ 50% 的 FC)。

实验结果表明, 土壤施用保水剂对 3 种作物生长差异影响不大, 但对其水分利用效率(WUE)有不同程度补偿调节作用。玉米在各种水分处理状况下, 土壤加入保水剂都能提高作物的WUE, 特别是在低水条件下效果更明显(图 3)。保水剂使玉米、辣椒和大豆在低水条件下干物质的WUE 分别提高 63.6%、47% 和 27.8%。在高水和中水条件下, 保水剂使玉米的干物质WUE 分别提高 23.7% 和 25.6%, 但对大豆和辣椒的WUE 则影响不大。

3.2 保水剂对马铃薯生长和产量效应试验

在陕北半干旱地区用保水剂和氮肥对马铃薯(*Solanum tuberosum* L.)旱台地田间试验。实验选试马铃薯品种为克新 1 号, 保水剂为西北工业大学提供的聚丙烯酸盐类保水剂, 播前马铃薯块茎种块用草木灰拌种。土壤容重 1.31 g/cm<sup>3</sup>; 田间持水量 22.89%。种植密度约 45 000 株/hm<sup>2</sup>。试验采用保水剂沟施和穴施两种方法, 5 cm 和 10~ 15 cm 两个深度, 以及现蕾期追施 N 肥三因素组合, 形成 10 个处理。田间布设采用随机。

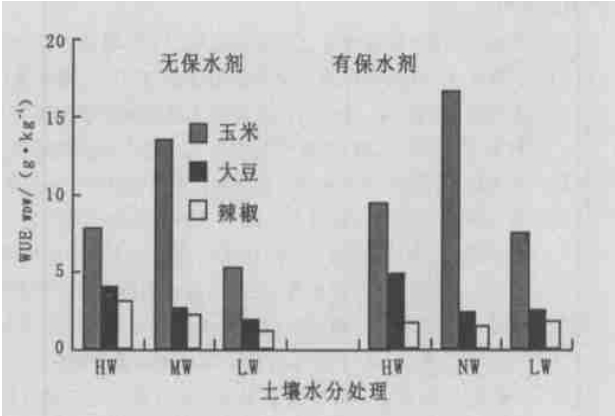


图 3 不同作物在土壤水分和保水剂变化下的水分利用效率(WUE)变化

结果表明, 在苗期, 保水剂使马铃薯的冠幅面积增加 11.8% ~ 54.8%。保水剂结合氮肥, 可以提高不同阶段马铃薯叶片的光合速率, 增加花期生物积累量 46.7% ~ 98.8%, 延长马铃薯茎叶生育期 14~ 15 d。

表 2 保水剂和 N 肥对马铃薯产量的影响

处理	浅沟+ NA <sub>1</sub> F	深沟+ NA <sub>2</sub> F	浅沟 A <sub>1</sub>	深沟 A <sub>2</sub>	浅穴+ NB <sub>1</sub> F	深穴+ NB <sub>2</sub> F	浅穴 B <sub>1</sub>	深穴 B <sub>2</sub>	对照 CK	N 肥 F
产量	20700	22500	13680	16920	19800	18900	15750	13680	10800	14400
增产/%	91.7	108.3	26.7	56.7	83.3	75.0	45.8	26.7	-	33.3
> 10 cm 块茎	7800	9600	5940	4275	6525	7050	4680	4500	2520	5670
> 10 cm 百分比/%	37.7	42.7	43.4	25.3	32.9	37.3	29.7	32.9	23.3	39.4

结果表明(表 2), 单用保水剂(A<sub>1</sub>、A<sub>2</sub>、B<sub>1</sub>、B<sub>2</sub>)和单用 N 肥(F), 马铃薯产量仅分别增加 26.67% ~ 56.67% 和 33.33%, 而保水剂+ N 肥(A<sub>1</sub>F、A<sub>2</sub>F、B<sub>1</sub>F、B<sub>2</sub>F)使马铃薯产量增加 75% ~ 108%, 特别是直径 10 cm 的商品薯产量所占比例高。保水剂可以缓解干旱胁迫, 增加土壤团聚体结构, 有利于增加土壤有效孔隙, 更有利于块茎的生长从细胞分裂为主转向细胞体积增大, 减少了在块茎形成过程中, 由于水分、肥料的不足及土壤结构的不良对物质、能量向块茎运输的不利影响, 从而提高马铃薯块茎产量, 优化了产量结构。各种方法应用保水剂都能促进马铃薯生长, 增加块茎产量, 其中以保水剂开沟深施 10~ 15 cm 结合氮肥效果最佳, 马铃薯生产栽培有很高的经济效益, 值得农业生产中推广。

4 保水剂发展方向与研究重点

(1) 从保水剂产品生产方面。发展方向主要围绕降低成本和高性能两个中心。降低成本主要改善生产工艺, 包括改分段生产为连续生产工艺, 原料选取和技术路线选取等。目前原料丙烯酸市场价格浮动较大, 造成生产成本较大, 产品价格偏高; 高性能研究主要围绕聚丙烯酸盐类保水剂对土壤等介质中的钙、镁等金属离子拮抗反应问题展开, 解决高价金属离子降低保水剂的吸水和保水倍数, 开发抗离子交联的保水剂有机分子单体, 研究抗水解、抗光老化、微生物降解缓慢的保水材料添加剂, 使得保水剂的有效期增长。

(2) 从保水剂应用方面。发展方向主要围绕多功能复合保水剂产品研制, 以及产品应用技术规范研究两方面。应加强保水剂的应用基础研究, 主要包括以下方面工作:

在保水剂对作物增产和提高水分利用效率机理研究方面。应总结以有研究积累, 分析保水剂改善土壤物理性状和

对植物成活率、生长速率和产量、水分利用效率等植物效应方面资料, 开展根据保水剂实际应用方法下的保水剂对土壤——植物学的综合效应研究, 加强从土壤学、植物生理学和微生物学等学科交叉, 重点研究保水剂不同施用方式模拟植物根土非均衡水环境下的土壤-植物联合体的土壤学效应和植物生长、产量、水分利用效率(WUE)等方面的综合效应。系统揭示保水剂应用的作用机理和效应机制, 为保水剂的合理应用和推广提供科学参考。

在保水剂应用技术及其规范方面。应明确保水剂不是造水剂, 必须具备一定条件下才能充分发挥其保水作用。应用效果实验资料以有许多报告, 近 10 年发表相关论文有 300 多篇, 但多为试验报告, 没有形成针对不同产品或应用范围的应用技术规范, 这是制约保水剂应用推广的重要方面, 需要加强系统研究, 包括研究适合不同气候、地区、土壤的保水剂最佳施用量、施用方式和施肥方式保水剂应用技术; 研究施用保水剂条件下各种作物的节水灌溉制度、灌溉模式; 研究保水剂与其它旱作农业措施相结合为特征的综合保水技术。研究长期施用保水剂对作物、土壤、环境的影响及其降解性、持效性。

在产品开发与应用结合方面。应解决保水剂应用中功能单一、劳动力投入高、投产比低等问题, 加强研究保水剂添加其它农林制剂, 形成植树造林、防沙治沙、农田生产(经济植物、大田作物)、绿化护坡等不同用途专用, 以及拌种、土壤施用、灌水施用等不同剂型的多功能保水剂系列化复合产品。形成专用性、多元素全营养性、生物防治无污染性、用途明确的环保新型多功能保水剂。同时, 加强保水剂与水、肥、土、植、气的相互作用关系, 保水剂与水、土中的盐分、肥料、矿物质等作用, 以及如何实现保水剂“保水、保肥、保土、助长、安全”五大功能的研究。

## 参考文献:

- [1] 吴德瑜 保水剂在农业上的应用进展[J] 作物杂志, 1990, (1): 22- 23
- [2] 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
- [3] 王砚田, 华孟, 等 高吸水性树脂对土壤物理形状影响[J] 北京农业大学学报, 1990, (2): 181- 186
- [4] 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
- [5] 黄占斌, 万惠娥, 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, 5(4): 52- 55
- [6] 黄占斌, 张国桢, 李秧秧, 等 保水剂特性测定及其在农业中的应用[J] 农业工程学报, 2002, 18(1): 22- 26
- [7] 黄占斌, 辛小桂, 宁荣昌, 等 保水剂在农业生产中的应用与发展趋势研究[J] 干旱地区农业研究, 2003, (3): 11- 14
- [8] 介晓磊, 李有田, 韩燕来登 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
- [9] 李景生, 黄韵株 土壤保水剂的吸水保水性能的研究动态[J] 中国沙漠, 1996, 16(1): 86- 91
- [10] 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
- [11] 黄凤球, 杨光立, 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
- [12] 蔡典雄, 王小彬, Keith Saxton 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
- [13] 逢焕成, 隋方功, 蒋家慧 高分子吸水剂的吸水保水性能与增产效果的研究[J] 莱阳农学院学报, 1992, 9(1): 41- 44
- [14] Ben Hur M, Faris J, Malik M, et al Polymers as soil conditioners under consecutive irrigation and rainfall[J] Soil Sci Soc Am J, 1989, 53: 73- 77
- [15] Levia J, Bern Hur M, Gal M, et al Rain energy and soil amendments effect on infiltration and erosion of three different soil types[J] Aust J Soil Res, 1997, 29: 455- 465
- [16] Woodhouse J, Johnson M S Effect of super absorbent polymers on survival and growth of crop seeding[J] Agricultural Water Management, 1991, 20: 63- 70
- [17] Gehring J M, Lewis A J. III Effect of hydrogel on wilting and moisture stress of bedding plants[J] J Amer Soc Hortsci 1980, 105(4): 511- 513
- [18] Arthur Wallace, Gam A Wallace Effects of soil conditioners on emergence and growth of tomato, cotton and lettuce seeding[J] Soil Sci, 1986, 141: 324- 327
- [19] Shainberg I, Levy G J. Organic polymers and soil sealing in cultivated soils[J] Soil Sci, 1994, 158(4): 267- 273
- [20] Wallace A, A. Polysaccharide (GUAR) as a soil conditioner[J] Soil Sci, 1986, 141: 371- 376

## (上接第 30 页)

人员的协助下, 对当地退化或破坏的生态系统进行实地评估, 然后相应考察实施生态重建工程的社会、经济等限制性因子。最后, 以土地利用者为主体征求意见, 得出因地制宜切实可行的方案。生态重建中发挥农民的积极性, 由农民即生态重建的最终受益者提出面临的问题即解决办法, 对工程的顺利进行和将来的管护有十分重要的意义。在这个过程中, 既可以摸清勘测的实地情况又可以了解农民的需要, 最终达到了计划与实践的整合, 为重建成果的保护及生态效益的补偿机制设计奠定了扎实的基础。20 世纪 80 年代, 世界粮食组织曾援助宁南山区的西吉县建设了“2605 工程”, 工程投资 1.7 亿元, 造林 10.4 万  $\text{hm}^2$ , 而到目前只剩下 0.33 万  $\text{hm}^2$ 。这次工程最大的特点是自上而下, 对农民的具体情况不了解, 最后出现了“重建设、轻管护”的局面, 导致乱砍乱伐的再次出现<sup>[2]</sup>。总之, 突破生态重建中的自然、社会、经济因素的限制, 从实施方法上必须与土地利用主体进行交流, 赋予他们自主权。主体参加是提高工程质量效率的最有效途径。

## 参考文献:

- [1] 陈育宁 宁夏南部山区生态重建报告书[J] 西北民族研究, 2003, 36(1): 86- 87
- [2] 米文宝, 等 宁夏西海固贫困少数民族地区可持续发展研究[M] 西安 西安地图出版社, 2001
- [3] 宁夏统计年鉴[M] 北京: 中国统计出版社, 2001
- [4] 蔡运龙, 蒙古军 退化土地的生态重建: 社会工程途径, 地理科学, 1999, 19(3): 201- 202
- [5] 姚晓艳, 杨昕, 程水英 宁南山区生态建设中退耕还林还草深层次问题的思考[J] 宁夏大学学报(自然科学版), 2003, 24(2): 117- 118
- [6] 刘孝盈, 陈月红, 汪岗, 等 参与式水土保持规划的内容及实施程序[J] 中国水土保持, 2003, (1): 33

## 3 结 语

通过以上分析得出宁南山区生态重建存在以下限制性因素: 在严酷的自然环境的胁迫下, 使宁南山区的生态系统缺乏稳定性, 长期处于逆向演替。落后的经济条件下, 使生态重建缺乏资金支持。贫困文化的惯性使当地群众生态意识淡薄, 追求短期利益而放弃长期目标, 给生态重建成果保持造成很大的威胁。计划经济影响下的制度, 在政策实施时往往缺乏对实地情况的了解, 增加了工程实施的难度。

克服以上限制性因素, 应从系统的角度出发, 制定全面的工程实施计划, 采用群众参与的工作原则。短期内应将贫困问题放在其他限制性因素之首, 把握重建中的工作规模和尺度, 协调反贫困与生态重建的关系, 加大资金投入, 因地制宜地发展一些支柱产业, 走出贫困的影响。远期来看, 发展教育事业, 提高群众的环保意识, 深入推进生态建设, 从根本上改变宁南山区的恶劣环境状况。