

化学物质对提高雨水利用率的应用研究进展¹

吴淑芳, 吴普特
(中国科学院水利部水土保持研究所, 西北农林科技大学, 陕西 杨陵 712100)

摘 要: 就化学物质作为土壤改良剂和集雨材料对降雨径流调控、提高雨水利用率及防止水土流失方面的应用现状进行了论述, 并对其应用过程需要解决的问题作了探讨。
关键词: 土壤改良剂; 集雨材料; 雨水利用率
中图分类号: S 273. 1; S 156. 2 文献标识码: A 文章编号: 1005-3409(2002) 02-0146-04

Recent Development of Application of Chemical Substance to Improving the Rate of Rainwater Utilization

WU Shu-fang, WU Pu-te
(Institute of Soil and Water Conservation, the Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Northwest Sci-tech University of Agriculture and Forestry, Yangling 712100, Shaanxi Province, China)

Abstract: The application status of chemical substance is expounded, which is used to as amendments and rainwater catchments materials in the aspects of regulating and controlling rainfall-runoff , improving rate of rainwater-utilization and preventing the loss of soil and water. And questions needto resolve in the course of application are discussed.
Key words: soil amendment; rainwater catchments materials; the rate of rainwater utilization

1 引言

水是人类赖以生存的基本要素之一, 也是社会经济发展的根本保证。随着人类社会的进步和农业生产的不断发展, 水资源不足越来越引起人们的关注。我国干旱半干旱地区面积较大, 水资源十分贫乏, 约有 41 003 hm² 的耕地因缺水而无法灌溉。在西部黄土地区, 降水是该地区现今惟一可供利用的较大水源, 但由于降雨时间分布不均, 降雨期常常与作物生理需水期发生错位, 利用率仅为 30% ~ 40%, 水分生产效率为 3. 0 ~ 6. 0 kg/(mm · hm²), 约有 60% ~ 70% 的降雨以地表径流或无效蒸发的形式而白白浪费。我国又是世界上水土流失最严重的国家之一, 而黄土高原则是我国土壤侵蚀最严重的地区。水土流失不仅使土地退化、植被破坏、生产力低下, 而且导致生态环境更加恶化。据多年研究,

引起该地区水土流失的主要动力是由降雨径流所产生的冲刷力所致, 如果能通过某手段切割地表径流即可消除或降低水土流失动力, 再通过某手段, 将被切割的径流加以利用, 则可以同时达到既消除水土流失又可缓解作物及苗木干旱缺水的双重目标。
由此可看出, 干旱缺水与水土流失并存是制约干旱半干旱地区经济社会可持续发展的重要限制因子, 两者之间的矛盾焦点是水。如何对该区降雨径流调控和提高雨水利用率, 解决干旱缺水, 保证植被正常生长及人民生活用水; 以及如何根治水土流失, 提高农林牧生产力和综合效益, 许多学者提出从工程措施、生物措施、农业措施等方面治理水土流失, 并发展集水农业和林业。而近年来, 化学措施对降雨径流调控和提高雨水利用率, 防止水土流失已成为一个新的研究领域。一方面化学物质可作为土壤改良

¹ 收稿日期: 2002-02-25
基金项目: 国家重大科技产业示范工程项目“渠灌类型区农业高效用水模式与产业化示范(99- 021- 01- 02)。
作者简介: 吴淑芳, 女, (1977-), 宁夏灵武人, 硕士生, 主要从事水资源高效利用与径流调控方面的研究工作。

剂, 通过改变土壤物理状况, 改善土壤结构, 使尽可能多的降雨就地入渗, 减少水土流失。另一方面化学物质也可作为人工坡面集雨材料, 通过坡面化学处理, 在坡地上形成人工集流面, 使尽可能多的降雨产生径流, 进行雨水汇集利用, 缓解作物及苗木干旱缺水。因此, 研究化学物质对表层土壤的影响, 对降雨径流调控和提高雨水利用率, 缓解干旱缺水和发 展水土保持新技术有着重要的意义。本文主要针对土壤改良剂(主要是高分子化合物)及化学集雨材料对土壤改良, 防止水土流失及提高雨水利用率方面的研究现状进行论述, 并探讨了它在应用过程中可能存在的问题和应用前景。

2 高聚物土壤改良剂对防止水土流失的应用现状

水土流失等劣质土壤是因为物质组成失衡和结构失常所致。土壤中的有机物质组成决定其结构和价值。选择和腐殖酸等土壤有机质具有相似功能团, 相似性质高分子聚合物。模拟土壤中有机大分子物质的作用, 可创建人工团粒和稳定天然团粒, 增大土壤的孔隙度和渗透性, 减少地表径流; 同时, 形成水蚀保护层, 提高土壤稳定性, 增加土壤抗外力侵蚀能力, 防止水土流失, 使土壤具有农林牧价值, 这是一项水土保持新技术。

近年来, 有关高聚物改良剂对防止水土流失的研究引起了国内外广泛的关注。自 Bear 在 1951 年率先提出名叫 Krilium 的化学改良剂以来, 其它化学改良剂陆续被报道, 但并不是所有的都被证明有效, 而且大多数有效的又因太昂贵而无法用于农业生产。现在对化学改良剂的研究主要是提高使用技术和使用率。国外相继出现了一批新兴的较便宜的结构改良剂用来改善土壤结构, 例如聚丙烯酰胺(PAM), 基丙酰胺(Methacrylate)、艾莫利而硫酸盐(Ammonium—sulfate)、磷硫酸钙(Phosphogypsum)等等。据国外研究表明: 壤土上使用结构改良剂与对照相比, 土壤产生的可推移泥沙由 27.7 kg 减少到 19.3 kg, 而径流量则没有显著变化。以土壤改良剂和除草剂混合液的组合对降低地表径流, 减少土壤流失, 增加土壤渗透性能效果较好。尿醛树脂混亚硫酸盐纸废液可以增加土壤的水稳性团粒数及改善其渗透性, 当用尿醛树脂的三嗪修饰衍生物改良松散土壤时, 能改善该土壤的团粒稳定性和粒径分布、保水性、抗压性等, 而且有利于植物的根系生长。尿醛树脂与七水硫酸亚铁混合物使沙性土的稳定系数和稳定值分

别从 0.53, 21.29 增至 7.9, 519.27, 粒径大于 2 mm 的团粒数从 40.18% 增至 65.73%。

聚乙烯醇(PVA)用于改良沙土时, 土壤中的团粒数从 6.67% ~ 63% 增至 7.5% ~ 79%, 并影响土壤容重、最大持水量、土壤温度和抑制水分蒸发。聚乙烯醇和水铝矿、绿泥石混合后使用, 有效地抑制了土壤的表层板结, 磺化木质素加强了这种作用, 表土的可结皮性明显降低, 提高土壤的入渗能力, 减少径流量, 土壤侵蚀量也减少。利用阴离子沥青乳剂和 PVA 改良土壤, 可以抑制土壤蒸发 14.7% ~ 32.31%; 在 0 ~ 15 cm 土层内, 土壤含水量可分别增加 19.33% ~ 27.44%; 土壤团聚体含量增加 5.6% ~ 19.4%。

腐植酸和丙烯酰胺的接枝共聚物可以使水稳性团粒的含量由 1% ~ 2% 增至 26.7% ~ 94.2%。丙烯酸和淀粉的接枝共聚物, 可以提高团粒结构的水稳性, 施用 0.1% 氰化乙烯和磺化木质素的接枝共聚物, 黏性土的团粒数提高 46.4%。丙烯晴接枝硝化腐植酸的聚合物能够在沙性土的表层形成黏结薄层, 防止风和水对土壤的侵蚀。腐植酸与丙烯酸、丙烯酰胺的接枝共聚物对赤红壤具有改良作用, 大于 0.25 mm 水稳性团粒结构由空白样的 26.9% 提高到 43.7% ~ 67.5%, 渗透系数由 1.8×10^{-5} cm/s 增加到最高的 20.7×10^{-5} cm/s, 土壤容重由 1.36 g/cm^3 降低到 $1.26 \sim 1.02 \text{ g/cm}^3$ 。改良后的土壤毛管持水量、含水量明显增加。

有关聚丙烯酰胺(PAM)在水土保持方面的研究和应用较多, 在坡度为 6°; 10°; 15°坡地上施用阴离子性分子量 300 ~ 400 万的 PAM, 按不同的施用方法、施用剂量、施用次数进行试验研究, 结果表明, 处理较对照减少土壤侵蚀量分别为 57%, 67%, 77%。其保肥率分别为 55%, 65%, 80%。15°坡面上减少径流量 $225 \text{ m}^3/\text{hm}^2$, 土壤结构也得到了改善。在 8 次扰动土壤的情况下, 防止水土流失的效果下降 50% 左右, 聚合物的作用可持续 2 ~ 3 年。PAM 减少土壤侵蚀量的原因在于能促进土壤沉降, 改善土壤结构, 提高土壤水稳性。据试验研究表明在中壤土上施用聚丙烯酰胺后较对照土壤沉降系数提高 11% ~ 14%, 结构系数提高 5.5% ~ 6.0%, 水稳性团粒含量增加 4.16% ~ 11.32%。在阴离子聚丙烯酰胺中添加少量石膏, 把该混合物喷洒于干土表面, 粒径大于 0.5 mm 团粒增加 45%, 水土流失量从 1.62 kg/m^2 减少至 0.03 kg/m^2 。高聚物的电子密度、土壤的湿度及其可交换性离子的种类等影响高聚物增加干湿团粒稳定性的最低施用量。

水解聚丙烯晴工业废料能控制土壤板结,使种子出苗率提高 80% ~ 90%,作物产量提高 70% ~ 90%。应用水解聚丙烯晴改良黄绵土时,团粒数量与改良剂的施用量之间的线性关系达到显著或极显著水平,并且促进了幼林生长。聚环乙亚胺使土壤侵蚀率由 19% ~ 20% 下降至 1%,苯酚树脂可改善耕作土壤中空气和水分的状况,聚环乙烷能够促进水在土壤中的迁移。

3 化学物质作为集雨材料的应用研究

近年来,很多化学材料被用来地下或地上收集雨水,它主要是通过填塞土壤孔隙,在土壤表层或土壤内部形成致密层,以降低土壤入渗或防止水分向深层下漏。这些物质常施用在坡耕地上,形成人工集流面,收集利用后可缓解苗木及作物的干旱缺水。另外,还将它用在渗透较快的沙性土表层或表层以下 35 cm 处防止水分下漏,促进植物生长。

表 1 几种化学材料处理集水区表面的效果对比

材料种类	用量 / %	产流率初值 / %	平均产流率 / %	有效年限 / a	费 用 / (\$ · m ⁻²)
石蜡+ 2% 防蚀剂	250. 0	> 90	87	7	0. 1
钠盐喷施溶液 混合土壤	44. 9 1120. 0	81 81	46 80	3 3	0. 2 ~ 0. 5
硅酮+ 2% 黏结剂	220. 0	> 90	50	> 4	

据北京林业大学王百田在提高造林地坡面产流率上提出在坡耕地喷施高分子化合物 YJG- 1 号,使土壤表面形成一层坚硬光滑的不透水膜,结果坡面产流次数提高,较对照增加了 40% 的径流量,果树及林木的成活率也较对照增加了 35% ~ 60%。

聚丙烯酸不透水膜置与土壤表层下 35 cm 处,能够防止水分渗漏,促进植物生长,可用于绿化沙漠。丙烯酸—甲基丙烯酸甲基共聚物的也能够在沙性土壤中形成不渗透膜,抑制水分向深层渗漏,起到节约灌溉水的作用。聚丙烯酰胺置与土表层以下 25 cm 处时的保水效果明显,植物长到花期的需水量仅为对照实验的 11%,土壤容重由 1. 6 g/cm³ 减至 1. 06 ~ 1. 15 g/cm³,水容量由 23. 8% 增加至 41. 7% ~ 43. 5%

4 小 结

综上所述,在利用化学改良剂方面,主要是增加土壤团粒含量,改善土壤结构,增加土壤稳定性,使降雨就地入渗,从而起到保肥、保水,抑制土壤板结和防止水土流失等作用。化学改良剂的种类及性质、

据多年研究表明,用于集流场的化学处理防渗材料主要有 HEC (High Strength and Water Stability Earth Consolidator) 土壤固化剂和 AAM (Active Aluminates Mixture) 水泥添加剂等。这些化学物质在一定量的水分条件下与地表土充分混合后,添加的材料与土颗粒发生作用。结果使土粒之间吸附叠加,形成某些聚集体,使土体强度提高,抗渗能力增加,水稳性良好,从而具有较高的集雨效率,平均达 78% 以上,最大达 92. 29%,并且坡度对集流效率没有影响。

除了以上高强度固结剂外还有一些坡面化学处理剂,如钠盐、石蜡、沥青、硅酮、有机硅、土壤稳定剂和防蚀剂等,集雨面的产流效果见表 1。钠盐可以破坏土壤结构,使土壤黏粒充塞土壤孔隙,在土壤表面形成致密层以降低土壤入渗率。所以,一般在土壤黏粒含量> 10% 的土壤使用效果较理想。石蜡、沥青、硅酮可直接阻塞土壤孔隙,降低入渗。

待改良土壤种类和结构性质、聚合物的施用量和技术这 3 方面的因素影响施用聚合物后的改良效果。然而,到目前为止,真正实际使用的高聚物改良剂不多且应用量不大,因为高聚物改良剂的成本较高,这需要国家乃至全球投资扶持。另外,在技术上,进一步需要解决以下几个问题,人工团粒创建机理;人工团粒和天然团粒稳定性及再生能力的进一步提高;高聚物土壤改良剂的结构和改良效果之间的关系;延长改良剂应用持续期,降低施用量;研制出高效多功能、对环境无污染的改良剂。

在对集水面的化学处理方面,主要是在土壤表面或表层以下施用化学物质与土颗粒发生作用,使土粒之间吸附叠加,形成一层致密不透水膜,抗渗能力增加,防止了水分向下渗漏,使尽可能多的降雨产生径流,进行雨水汇集。但是集水面的化学处理要根据当地的降雨特性、地形、生态环境状况和经济条件而定。目前,化学集雨材料用于坡面处理汇集雨水较少,一方面由于种类少,应用范围窄,另一方面投资大,寿命短。因而,需要进一步解决的是开发研制寿命长、种类多、应用范围广、价格低廉、无污染的新型化学集雨材料。

综合可见,如果用于化学方法调控降雨径流和提高雨水利用率与传统的水土保持方法(植物措施、兴修梯田、牧区种草等)相结合,则能最大限度的发挥两种方法的优势,对植被恢复和生态建设以及农业可持续发展将会有突出、明显的效果。

参考文献:

[1] 黄占斌,山仑. 黄土高原雨水利用与农业的持续发展[A]. 雨水利用论文集[C], 1998. 60– 68.

[2] 吴钦孝等. 黄土高原水土保持目标及对策[J]. 水土保持研究, 1999, 6(2): 76– 80.

[3] 黄力,张光远,等. 侵蚀紫色土土壤颗粒流失的研究[J]. 水土保持学报, 1999, 5(1): 35– 39.

[4] 龙明杰. 高聚物土壤改良剂的研究进展, I. 淀粉接枝共聚物改良赤红壤的研究[J]. 土壤学报, 2000, 38(4): 584– 589.

[5] 傅涛,倪九派,等. 坡耕地土壤侵蚀研究进展[J]. 水土保持学报, 2001, 15(3): 123– 128.

[6] 张兴昌,等. 坡地节水农业的物理化学方法和蓄水耕作法研究概述[J]. 水土保持研究, 1998, 5(4).

[7] Michael Hickman. Influence of soil amendment-herbicide interactions on soil eroion[J]. Journal of Soil Erosion and Soil and Water Conservation, 1998. (3).

[8] 龙明杰,等. 聚合物在水土保持中的应用[J]. 水土保持通报, 2000, 20(3): 5– 9.

[9] 张淑芬,夏海江. 坡耕地使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. 300– 307.

[10] 王久志. 沥青乳液、聚乙烯醇对土壤物理性质的影响[J]. 土壤学报, 1988, 25(3): 303

[11] 冯浩,吴普特,等. 聚丙烯酰胺(PAM)对黄土坡地降雨产流产沙过程的影响[J]. 水土保持学报, 2000, 20(4): 23– 27.

[12] 王百田. 径流农业——发展干旱农业的重要途径[A]. 雨水利用论文集[C]. 1998. 15– 21.

[13] 高丽,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.

[14] 夏海江. 聚丙烯酰胺的保土保水保肥改土增产作用[J]. 水土保持研究, 1997, 4(4): 37– 41.

[15] 龙明杰,曾繁森. 高聚物土壤改良剂的研究进展[J]. 土壤通报, 2000, 31(5): 199– 202.

[16] 何丙辉. 土壤改良剂和除草剂的交互作用对土壤侵蚀的影响[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1997, 4(3): 48– 51.

[17] 夏海江,等. 聚丙烯酰胺防止坡地土壤侵蚀的室内模拟实验[J]. 水土保持学报, 2000, 14(3): , 15– 17.

(上接第 71 页)

表 3 5 个牧草品种穗部形状

品种	Sweeter Honey	Pace Setter	Honey Grace	MMR 360– 42	Graze All
一级分枝 (平均值)	54		73	56	62
二级分枝 (平均值)	7. 5		10. 5	7. 2	9. 2

表 4 5 个牧草品种鲜重

品种	Sweeter Honey	Pace Setter	Honey Grace	MMR 360– 42	Graze All
鲜重/ (t · hm ⁻²)	114	157. 5	117	994. 5	6842

2. 8 抗逆性

在试验过程中,大风过后,进行田间实际观察,发现除 Pace Setter 外,其余品种均有严重倒伏现象。

参考文献:

[1] 丁成龙,沈益新. 10 个苏丹草品种在南方的生长表现[J]. 中国草地, 2001, (2): 34– 37.

[2] 邓小华,郑建民. 登海系列玉米引种试验简报[J]. 作物研究. 2001, (2): 33– 34.

[3] 邵生荣,等. 不同行距及播种量对宁农苏丹草种子生产性能的影响[J]. 中国草地. 1997, (2): 12– 15.

3 小结与讨论

(1) 各引进品种生长适应性比较强,均能够在杨凌地区正常生长,除 Pace Setter 不能开花外,其余品种均能够开花结实。

(2) 从生产性能看, Pace Setter、Sweeter Honey、Honey Grace 鲜草产量均较高,其中产量最高的是 Pace Setter,可作为重要牧草品种进行引种,并进行技术配套、生产示范。

(3) 没有发现病虫害侵害,可能与种植年气候有关。抗倒伏能力最强的是 Pace Setter,这与其自身根系发达、茎秆粗壮有直接关系。

总的看来,各参试品种中 Pace Setter 的生育期最长,植株最高,叶面积最大,鲜重最大,抗倒伏能力最强,其综合性状较其它参试品种好。初步看来,宜在本地区推广。