

Y

1213766

分类号:

密级:

兰州大学

研 究 生 学 位 论 文 (农业推广硕士)

论文题目 (中文) 利用高分子吸水材料改良沙化地效应研究

论文题目 (外文) The effect research on the improvement of
desertification by using polymer absorbent material

研 究 生 姓 名 程 登 喜

学 院 草地农业科技学院

农业推广硕士领域 草业科学

校内导师姓名及职称 张自和 教授

校外导师单位及姓名 白银市科学技术局 宋宝兴 博士

论文工作起止年月 2006 年 3 月至 2007 年 11 月

论 文 提 交 日 期 2007 年 11 月

论 文 答 辩 日 期 2007 年 12 月

学 位 授 予 日 期

摘 要

土地沙化,是指因人类不合理活动所导致的天然沙漠扩张和沙质土壤上植被及覆盖物被破坏,形成流沙及沙土裸露的过程。土地沙化是全球性的生态问题,是当今世界上最严重的环境问题之一,是严重影响人们生产生活的重大自然灾害。荒漠化问题已影响到全球 100 余个国家的 36 亿 hm^2 的土地,全世界陆地面积约 $1/3$ 是干旱、半干旱荒漠地,而且每年以 6 万 hm^2 的速度在扩大。

甘肃省沙漠化土地主要分布在河西走廊的腾格里、巴丹吉林和库姆塔格三大沙漠的前沿及其与绿洲的交接地带,风沙线东西长 1600km,约 66.7 万 hm^2 的流动沙丘直接威胁着全省重要产粮基地的安全,土地沙化面积已经达到 1203.5 万 hm^2 ,占全省国土总面积的 28.3%,范围涉及 8 个市、州的 24 个县市区,不仅面积较大、分布集中,而且危害严重、扩展很快,使河西地区变成了全国四大沙尘暴策源地之一,直接危及全省大部分地区的生态安全。曾有“绿洲”美誉的民勤县有 94% 土地已经沙化。沙化土地面积的扩大,加剧了全省生态环境的恶化程度,严重制约着我省经济的可持续发展。2001 年以来,温家宝总理就民勤的生态建设多次做出重要批示,要求全力以赴加快石羊河流域重点治理,决不能让民勤成为第二个罗布泊。

尽管如此,荒漠化和土地沙化的总体形势仍然很严峻,主要表现在:①我国荒漠化、沙化土地面积基数大,防治任务十分艰巨。②导致荒漠化形成的诱因还没有消除,荒漠化地区经济社会发展缓慢与该地区群众对经济利益和物质文化需求快速增长之间的矛盾依然尖锐。

根据对沙化地的研究和实践现状的认识,作者认为高分子吸水材料的科学应用,是解决沙化地增产问题的一个发展方向。由此提出本文研究工作的思路——围绕高分子吸水材料的科学应用展开本项研究工作:首先在查阅资料和现场调查的基础上,详细研究了沙化地和高分子吸水材料的特殊性;并在使用高分子吸水材料的条件下,研究水分和养分在沙化地土壤中传输的科学规律;以西北沙化区具有典型代表意义的农作物——马铃薯作为主要对象,检验本项研究工作的思路和技术方案的正确性和有效性。在整个研究工作中,既充分关注科学性,又充分关注实用性和可操作性。

本项研究采用现有资料的查阅与实际试验相结合、室内模拟实验与田间试验相结合的技术路线,进行了下述主要方面的研究:

(1)通过沙层条件下线性高分子吸水材料不同处理的试验,研究提高沙层的

含水量、速效氮含量与马铃薯根系在沙层中的真实分布情况。

(2) 根据沙化地的特殊性,对试验地的基础养分状况和不同种植年限的沙地条件进行测定,对马铃薯播种后的生长过程进行分析,并对马铃薯的产量进行测定与分析,得出马铃薯在沙化地的较好种植模式,以指导农民进行农业生产。

(3) 通过以上试验,在受到约束的条件下,使水分和速效氮的下渗量明显减小,较大幅度地提高沙层的含水量和速效氮含量,为降低化肥使用量,提供可参考性的依据,并找到一条用高分子吸水材料改造、治理沙化地的途径。

根据文献资料和现有的实际应用情况,试验选用由西北工业大学研制的线性分子结构的丙烯酸钾-丙烯酰胺聚合物,作为目前高分子吸水材料的代表样品来进行研究。

本研究取得的主要成果:

1. 经过模拟试验,发现高分子吸水材料的吸水特性和对吸附、保持土壤水分的特性是有区别的,以前仅以吸附去离子水量,作为衡量吸水材料应用效果的方法,不能反映吸水材料在土壤溶液环境下的实际作用规律。

2. 提出的定位定量施用高分子吸水材料的方法,改变了水分和养分在沙层中的扩散分布,在作物主要根系分布的沙层中,实现了水分和主要养分的同步富集,实验地沙层速效氮的含量比对照增加了 87.3%,水分含量也比对照明显增加。结果表明,用高分子水溶胶定位定量施用来改良沙化地,是一种具有研发潜力和推广价值的方法。

3. 经过测定发现,马铃薯的根系发育深度在 0~20cm 之间,此深度范围的鲜根重量占到鲜根总量的 86.4%。其中以 5~15cm 深度范围的根系密度最大,占到鲜根总量的 56.9%。

4. 高分子吸水材料的应用,使作物根系周围富集了较多的水分和养分,促进了作物根系的发育,使马铃薯的根鲜重和根干重分别多出了 74.87%和 69.35%。

5. 发现影响高分子吸水材料提高沙层含水量的主要因素有,高分子聚合物的分子结构、沙层中的含泥量、施用方法、施用位置及用量。

6. 常规条件下的沙化地,影响作物产量的因素主要是种植年限,即因灌溉黄河水所增加的沙层中的含泥量。在沙层含泥量低、水分和速效氮吸附能力差的沙化地中,经过聚合物的处理,改善了沙化地所种植作物的养分供给,马铃薯总产量超过了种植条件相对较好的土壤土质地块。

关键词: 高分子吸水材料; 沙化地; 沙化地改良; 马铃薯种植模式

Abstracts

Desertification is defined as a result that natural desert expansion and vegetation cover is destroyed in sandy soil and the exposed sand and quicksand are formed by unreasonable human activities. Desertification is a global ecological problems, the one of the world's most serious environmental problem and natural disasters which people's production and livelihood of major are affected seriously. The problem of desertification has affected 3.6 billion hm^2 of land in more than 100 countries., the world land area of about 1 / 3 is arid, semi-arid desert, but Desertification is enlarging at the rate of expansion every year 60,000 hm^2 .

Gansu Province desertified land are distributed mainly in the forefront and the transition zone of oasis which located in Tengger, Badain Jaran and Kumutage desert, landline is 1,600 km from east to west at length and about 667,000 ha of mobile dunes are directly threatened the province's major grain-producing base security. Desertified land area has reached 12.035 million ha, which accounting for the province's total land area of 28.3% and covering the 24 counties in eight cities, it is not only larger and centralized in distribution, but also a serious threat and expand quickly, which it result in Hexi area where became one of the four major source of dust storms, the province most directly threaten the ecological safety. There has been the "Oasis" Minqin County's reputation as a 94 percent land has been desertified. The expansion of desertified land area, the province's ecological environment exacerbated the extent of the deterioration, seriously restricting the sustainable economic development of our province. Since 2001, Premier Wen Jiabao on the ecological construction Minqin made important instructions on many occasions, go all out to speed up the Shiyang River Basin requirements focus governance, must not be allowed to become the second Minqin Lop Nor.

Nevertheless, desertification and sandyland of the overall situation remains grim. It shows mainly as follows: First, the area of China desertification and sandy land base is large and the task is very arduous. Second, incentives lead to the formation of desertification has not been eliminated, the contradiction between slow economic and social development in the region and rapid growth of the masses of material and cultural demand for the people dwelling the region is still sharp.

According to research of the deserts and understanding of the practice status, the authors believe that superabsorbent polymer materials science applications is a development direction to solve increasing production of desertification. This raised the idea of this research – it start the research around polymeric absorbent material on the scientific application: First, the special nature of polymeric and absorbent materials have been studied in detail by data access and on-site investigation; scientific laws of transmission of moisture and nutrients have been studied under the conditions of the use of absorbent material in the polymer; with a typical representative of potato crops as a main target in Northwest sandy areas, legitimacy and effectivity of the ideas and the technical program have been tested. Throughout

the study, both full attention scientific, and full attention practical, and serviceable have been considered .

The study used routes of technology which combined the existing data access with the actual test, which combined indoor simulated experiments with field test, the following main areas of research were carried out :

First,it may raise sand layer on the water content, available nitrogen content and the real distribution of potato root in the sand layer under the conditions of the use of polymeric absorbent material with different tests.

Second,we would test nutrient status and conditions of sand different planting years in the field,analyze the growth process of potatoes after sowing and the production of potatoes,and the conclusion that the better cropping patterns can adjust to potatoes can be arrived at ,which guide farmers to undertake agricultural production.

The last, Through these experiments, in the constrained conditions, the water and the infiltration of available N significantly were reduced, sand layers and the available nitrogen content of moisture were enhanced greatly,it provide referenc to reduce the use of chemical fertilizers, and find a way to control desertification to use polymeric absorbent material transformation.

According to written information and the practical application, as the current high representatives of superabsorbent material samples-- the potassium acrylate - acrylamide polymer were chose ,which were made by the Northwestern Industry University.

The major achievements of this study has made:

1. After simulation test and found that the absorbent polymer absorbent material properties and adsorption, and maintain the characteristics of soil moisture is differentiated,Previously only adsorption deionized water absorbent materials as a measure of effectiveness of the method, does not reflect the absorbent material in the soil solution in the actual effects of environment laws.
2. The application of quantitative positioning superabsorbent polymer materials, changes the moisture and nutrients in the sediment layer diffusion distribution, mainly root crops in the distribution of sand layers, and achieving the water and the main nutrient enrichment synchronization, experimental and sand layers available N content than the control increased by 87.3 % . Results showed that using polymer hydrosol positioning quantitative application to upgrade deserts, is a kind of research and development potential and to promote value method.
3. The result indrcated that the depth of Potato root development is 0 to 20 cm .between the depth that the fresh root weight account for the total 86.4%. thereinto 5 ~ 15 cm depth ,the root system is the greatest density, account for the total of fresh root 56.9%.
4. Polymeric absorbent material around the root crops enriched with more moisture and nutrients, and promote the development of root crops, potatoes fresh weight of the root and root dry weight were more of 74.87% and 69.35%.
5. Found that the impact of superabsorbent polymer materials raising sand layer

moisture has a major factor, the molecular structure of polymers, mud contend in sand layer, application method, location and amount of application.

6. Desertification under conventional conditions, factors affecting crop yield is the main planting period, that is due to the increase in irrigation water of the Yellow River mud containing in sediment layer. In the sand layer with a low volume of mud, water and available nitrogen adsorption capacity is poor in this desertification, by the polymer processing, improved crops plants the nutrient supply in the desertification. the total output of potato more than cultivation conditions relatively good sandy loam texture block.

Key words: Polymer absorbent material; sandy land; deserts improvement; potato cropping patterns

原创性声明

本人郑重声明：本人所呈交的学位论文，是在导师的指导下独立进行研究所取得的成果。学位论文中凡引用他人已经发表或未发表的成果、数据、观点等，均已明确注明出处。除文中已经注明引用的内容外，不包含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的科研成果。对本文的研究成果做出重要贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标明。

本声明的法律责任由本人承担。

论文作者签名：张金寿 日期：2007.12.2

关于学位论文使用授权的声明

本人在导师指导下所完成的论文及相关的职务作品，知识产权归属兰州大学。本人完全了解兰州大学有关保存、使用学位论文的规定，同意学校保存或向国家有关部门或机构送交论文的纸质版和电子版，允许论文被查阅和借阅；本人授权兰州大学可以将本学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用任何复制手段保存和汇编本学位论文。本人离校后发表、使用学位论文或与该论文直接相关的学术论文或成果时，第一署名单位仍然为兰州大学。

保密论文在解密后应遵守此规定。

论文作者签名：程金奎 导师签名：张伯红 日期：2007.12.2

第一章 绪 论

1.1 研究背景

土地沙化,是指因人类不合理活动所导致的天然沙漠扩张和沙质土壤上植被及覆盖物被破坏,形成流沙及沙土裸露的过程。土地沙化是全球性的生态问题,是当今世界上最严重的环境问题之一,是严重影响人们生产生活的重大自然灾害。荒漠化问题已影响到全球 100 余个国家的 36 亿 hm^2 的土地,全世界陆地面积约 $1/3$ 是干旱、半干旱荒漠地,而且每年以 6 万 hm^2 的速度在扩大^[1]。

中国是世界上受沙化危害最严重的国家之一,全国共有荒漠化土地 263.6 万 km^2 , 占国土面积的 27.46%, 每年因土地沙化造成的直接经济损失高达 500 多亿元,近 4 亿人口的生产、生活受到影响^[1]。干旱半干旱地区总面积为 455 万 hm^2 , 占国土总面积的 47%, 即使在降水较多的地区,也存在着季节性干旱或水分胁迫的问题^[2,3]。

据《2005 年中国环境状况公报》显示,中国总的水土流失面积 356 万 km^2 , 占国土总面积的 37.1%, 全国每年因水土流失土壤 50 亿吨。在所有水土流失中,水力侵蚀面积 165 万 km^2 , 风力侵蚀面积 191 万 km^2 ^[4]。

不断的荒漠化和土地沙化,使沙尘暴在中国出现的频率增加。据统计,60 年代沙尘暴在我国发生过 8 次,70 年代发生过 13 次,80 年代发生过 14 次,而 90 年代发生了 23 次。强沙尘暴还造成严重的破坏,给国家和人民的财产造成很大的损失。1993 年 5 月 5 日,一次特强沙尘暴影响范围总面积 110 万 km^2 , 涉及西北四省区的 18 个地市的 72 个县旗,1200 多万人,造成直接经济损失 5.6 亿元^[5]。

甘肃省沙漠化土地主要分布在河西走廊的腾格里、巴丹吉林和库姆塔格三大沙漠的前沿及其与绿洲的交接地带,风沙线东西长 1600km。据 2004 年检测,约 66.7 万公顷的流动沙丘直接威胁着全省重要产粮基地的安全,土地沙化面积已经达到 1203.5 万公顷,占全省国土总面积的 28.3%,范围涉及 8 个市、州的 24 个县市区,不仅面积较大、分布集中,而且危害严重、扩展很快,使河西地区变成了全国四大沙尘暴策源地之一,直接危及全省大部分地区的生态安全^[6]。曾有“绿洲”美誉的民勤县有 94% 土地已经沙漠化。沙漠化土地面积的扩大,加剧了全省生态环境的恶化程度,严重制约着我省经济的可持续发展^[7]。

从 2001 年以来,温总理就民勤的生态建设多次作出重要批示,要求全力以赴加快石羊河流域重点治理,决不能让民勤成为第二个罗布泊。今年国庆期间,

又专程到民勤看望基层干部群众,进行视察指导,对拯救民勤绿洲和石羊河流域综合治理作了重要指示。

干旱已经给世界农业生产造成严重影响,不断地荒漠化和土地沙化,不断肆虐的沙尘暴,严重的水土流失,不断威胁着 13 亿中国人的生存环境,造成大量的财产损失,还有更多潜在的看不见的破坏,对当代对后代人的生存和发展产生无法估量的有害影响。因此,研究干旱地区和干旱条件,尤其是沙化地条件下的作物栽培是我们面临的共同课题。

1.2 沙化地治理国内外研究概况

严重的沙漠化不仅造成土地生产力的丧失,也严重威胁着区域和周边地区的生态环境。对沙地土壤的改良和合理利用,多年来一直是区域环境整治和农业发展的重要研究内容。已往的研究表明,对沙质土壤的改良,乃是以大量的有机物质投入为基础,通过有机物质的增加来提高土壤的结构性能和持水性能,促进团粒结构的形成,达到改善土壤物理性状,提高抗风蚀能力的目的;同时通过有机质的增加,提高土壤保蓄养分的能力,以提高土地生产力^[8,9]。以往进行的在有机质改良沙质土壤的试验研究中所选用的有机物土壤改良剂主要来源于农作物秸秆、厩肥和绿肥等,对来源于城市垃圾和工业废料的有机物质的农业利用尚处于一种较小的应用范围或处于研发试用阶段^[10-13]。已有的一些研究认为,有些有机物并不一定对土壤微环境产生正效应。如Garcia等(1990)研究表明,一些有机废料作为土壤改良剂时,反而使作物产量下降;Maureen等(1982)指出,由于绿肥中含有某种植物性毒素,可以使种子萌发和幼苗生长受到严重抑制;还有许多学者曾对有机物改良剂中一些毒素如石炭酸、有机酸以及过量的铵对植物生长的影响进行了研究^[14,15]。

新中国成立以来,我国政府高度重视荒漠化防治工作,从20世纪50年代起,在重点荒漠化地区开展了以植树种草为主要内容的群众性防治荒漠化运动。自1978年启动实施“三北”防护林体系建设工程,特别是1991年实施全国防沙治沙工程以来,我国荒漠化防治进入了有计划、有步骤、有规模的发展阶段。进入21世纪,我国启动实施了京津风沙源治理工程和以荒漠化防治为主攻方向的“三北”防护林体系建设工程四期工程,荒漠化防治步入了以大工程带动大发展和整体推进的新阶段。特别是近5年来,通过实施退耕还林、防沙治沙、天然林资源保护等六大林业重点工程,我国荒漠化治理步伐明显加快,林草植被迅速得到恢复和增加,局部地区生态环境得到明显改善,荒漠化加剧扩展的态势得到缓解。

2005年6月14日我国发布了第三次全国土地沙化、荒漠化监测结果:2004年

全国荒漠化土地总面积为263.62万 hm^2 ，占国土总面积的27.46%，分布于北京、天津、河北、山西、内蒙古等18个省(区、市)的498个县(旗、区)。其中，新、内蒙古、藏、甘、青、陕、宁、冀等8省(区)的荒漠化面积总和占全国荒漠化总面积的98.45%。根据这次监测结果，全国沙化土地面积为17397万，占国土总面积的18.12%，与1999年相比，2004年全国荒漠化土地面积减少379.24万 hm^2 ，年均减少75.85万 hm^2 ；与1999年相同监测范围内的沙化土地面积相比，全国沙化土地面积净减少64.16万 hm^2 ，年均减少12.83万 hm^2 。荒漠化和土地沙化动态变化数据表明：在21世纪初期，通过实施以生态建设为主的林业发展战略，我国重点荒漠化、沙化地区已从20世纪90年代的“破坏大于治理”转为“治理与破坏相持”，荒漠化和沙化整体扩展的趋势得到初步遏制。

尽管如此，我国荒漠化和土地沙化的总体形势仍然很严峻，主要表现在：①我国荒漠化、沙化土地面积基数大，防治任务十分艰巨。②目前还有近3200万 hm^2 具有明显沙化趋势的土地，如果保护利用不好，极易变成新的沙化土地。③荒漠化、沙化形势从总体上得到了遏制，但局部地区仍在继续扩展。④这几年荒漠化防治取得的初步成果，不仅与重点治理工程发挥作用有关，还与近几年降水比常年偏多有关。⑤导致荒漠化形成的诱因还没有消除，荒漠化地区经济社会发展缓慢与该地区群众对经济利益和物质文化需求快速增长之间的矛盾更加尖锐^[16]。

1.2.1 沙化地种植现状分析

沙化区群众生活存在很大困难，因此沙化区广大群众迫切要求对沙化区进行改造。他们曾尝试采取挖沙改沙、植树种草，引黄河水灌溉沉淤土压沙等多种办法改造、改良荒沙区，但实施效果均不理想。由于沙化区面积大，通过挖沙改土方式，不可能在较短的历史时期内，解决大面积沙化地的改良问题。同时，由于受气候变暖和沙化地水、肥供给条件的制约，所种植物成活率低、植被生长缓慢，植树种草防风固沙效果不尽如人意^[17]。

在与腾格里沙漠接壤的景电二期灌区，十个行政村中有九个村仍属贫困村。在“去沙覆膜”方法失败后，目前没有解决沙化地水分和养分淋失的改土办法。沙化土地区域内的群众土地较少或很少，急需将沙化土地改造用于农作物种植，或急于改善沙化区恶劣的生产和生活环境^[18]。自发的采用了“翻壤压沙”，即采取翻沙化区土地下层的壤土放置在改造后土地的顶层、将沙化区土地顶层的沙土层放置在改造后土地的下层的办法改造沙化土地。但是，随黄河水的连年灌溉和化肥的大量施用，翻至地表的粘土土质逐年呈盐碱化趋势。在广大沙化地域群

众面前,解决沙化地的高投入、低产出,是十分迫切但又十分遥远的事情。

本项目的实施将带动项目区的发展,为地区经济注入活力,有助于提高农民的经济收入,进而推动农村经济的整体发展。

1.2.2 沙化地治理的常规方法分析

目前,世界各国在沙化地的治理工作中都采取了多种多样的办法,但至今没有一项治沙技术能够解决治沙的根本问题。治理沙化地的初衷和目的,是使在沙化地种植的植物得以生存,任何植物在无水分状态下是无法存活的,而治沙的真正关键在于保持沙土中的水分和植物必需的酸性物质和其它养分,在光合作用下植物才能存活。

近些年来,国内外固沙研究早已开展,固沙方法有机械固沙(如编制草方格)和植物固沙(栽植沙生植物等)两种,由于都是手工操作,费工费时,施工较慢,造价越来越高,因而没有得到普遍推广。目前高效、廉价、快速、方便的化学固沙日益受到关注。国外化学固沙研究始于20世纪30年代,到50年代有了较大发展。60年代起,国内出现了化学固沙的研究与试验,取得了一定的效果。鉴于此,在沙化地治理中,一些专家学者也提出了开展化学—生物一体化固沙新观点^[19]。

防治治沙需要长期投入巨额资金。据测算,对于治理难度不大的沙化地,每治理1亩也需要平均投资300元,耗时4年至6年。按这一标准,要将我国沙区可治理的52.9万平方公里沙化土地基本治理好,需投资2340亿元之巨,这一数字,尚不包括具有明显沙化趋势土地的预防费用,因此,防治沙漠化需要新思维^[20],坚持沙化地区生态保护与扶贫相结合的原则^[21]。

1.2.3 沙化地水分和氮素扩散分析

土壤水分条件是影响作物生长和作物产量的重要因素。目前,我国已成为世界上氮肥年用量最多的国家之一,单位面积的施用量也高于世界平均水平。而我国氮肥利用率却仅为30~50%,即有一半左右的氮肥施入土壤后通过各种途径而损失掉。这不仅使肥料的生产效益大为降低,而且还造成了难以治理的环境污染问题。例如,地表富集的大量营养元素随地表径流进入周围水体,可溶性氮素养分如铵态氮和硝态氮的淋失是引起水体富营养化的主要原因之一。农田中氮素损失的途径主要包括:氮的挥发,反硝化脱氮,铵的固定,径流冲刷和硝态氮的淋失等,由于淋溶引起的氮素损失占施氮量的5%~15%^[23]。而在沙化地条件下,氮素的淋溶损失远大于正常农田中的壤土土质。

土壤碱解氮和硝态氮是土壤速效氮素养分,能被植物直接吸收,可以反映出

土壤的供氮水平^[24]。土壤水解氮又称为土壤有效性氮，它包括无机的矿物态氮和部分有机物质中易分解的、比较简单的有机态氮，是铵态氮、硝态氮、氨基酸、酰胺和易水解的蛋白质氮的总和。

尽管硝态氮在旱地土壤中也是植物可利用的优良氮素养分的来源，但与碱解氮相比，硝态氮在土层中移动性较大。土壤中硝态氮反映土壤的供氮水平和土壤的通气状况，是可被植物直接吸收的优良氮源^[24]。

土壤主要是各种硅酸盐、水、空气等形成的分散体。土壤中的硅酸盐具有一定的胶体性质，胶体的吸附能力的强弱，对土壤的保肥、供肥能力起着决定性作用。在一定 pH 值条件下，土壤阳离子交换量 (cation exchange capacity, CEC) 是土壤保肥能力的指标，CEC 的大小取决于土壤的胶体数量和类型。就硅酸盐胶体而言，CEC 随土壤质地粘重程度的增加而增加。因为西北地区多为沙质土，CEC 明显偏小，使养分离子容易淋失，导致土壤中的养分偏低。同时，土壤对水分的持有能力与土壤组成 (如粒径的分布和含泥量等) 相关，而沙化地由于 CEC 偏低，对 N 素的持有能力差。

氮肥在水中的溶解性好，氮素在土壤中的运移，通常被认为是“水到哪、肥到哪”。在现有技术中，采用的是控制灌溉水量及设施给水方式，作为减少氮素无效浪费的主要技术措施。

苏文强等试验表明，在土壤中加入 0.25% ~ 1.00% 质量分数的高吸水树脂，随着高吸水树脂含量的增加，土壤保水量显著增加。高吸水树脂含量越高，含水总量越大，土壤维持高水分含量的时间就越长。在 $(40 \pm 1)^{\circ}\text{C}$ 下，随着时间的推移，土壤水分不断蒸发，土壤含水率都呈现下降的趋势，但高吸水树脂加入量不同的土壤水分减少情况是不同的。加入高吸水树脂吸水材料的样品所保持的水分明显高于对对照。这说明当土壤供水后，吸水材料的存在提高了土壤蓄水容量和持水能力，在脱水干燥过程中能有效地抑制土壤蒸发，从而在较长时间内使土壤保持较多的水分。高吸水树脂的吸水贮水网络中的水分包含自由水、半结合水和结合水三部分，水分的蒸发由快速蒸发到缓慢蒸发，在蒸发初始阶段，由于蒸发的是网络中的自由水，速度较快；中期阶段，自由水和半结合水蒸发，速度稍慢；水分蒸发后期主要是结合水的蒸发，速度较慢。高吸水树脂可明显增加土壤中结合水总量，延长土壤保湿时间^[22]。

结果表明，缓释型吸水材料为植株提供适宜的水分条件和氮素养分条件；缓释型吸水材料具有保持水分和持续供应养分的作用，施用缓释型吸水材料后土壤中速效氮素养分增加，能持续释放养分；土壤剖面中缓释型吸水材料处理碱解氮和硝态氮比常规肥料处理淋失较少，有较强的保肥作用^[23]。

1.3 高分子吸水材料有关问题及其在农业方面的应用

干旱缺水 and 土壤退化乃至沙化,是制约我国农业持续发展的重要因素,保持水土和抗旱节水已成为我国农业持续发展的选择。整治日趋恶化的生态环境,防止自然生态系统退化,重建复合生态系统,是西部乃至全国生态环境的关键,也是实现西部大开发战略的关键和切入点。

西部地区自然条件恶劣,生态环境脆弱,荒漠化成为西部最严重的生态环境问题。近年来,西部地区大规模实施的生态建设项目,已取得了可喜的成绩。但是,西部黄土地区具有降水量少、土壤易板结、土壤盐碱大和土壤退化乃至沙化等特征,在这样苛刻的环境条件下进行生态恢复,其植被的成活率和保存率低,如何提高植被的成活率是当前迫切需要解决的问题。

退化和破坏的生态环境在自然状态下难以治理和恢复,人为的干预行为是必要的。在人为干预措施中,除常规生物、农艺、工程措施以外,化学材料的利用是非常重要的干预手段,尤其是对地势起伏大,干旱缺水,水土流失和沙漠化严重的西部地区。

高分子吸水树脂又称为超强吸水剂(super absorbent polymer, 简称SAP),是一种含强亲水性基团、并经过适度交联的功能高分子材料,能在短时间内吸收其自身质量几百倍甚至几千倍的水,并具有良好的保水性能。是近年来迅速发展的一项化学节水技术。然而,吸水材料的保水能力不仅受到外界因素(如补灌液体盐分、树脂在土壤中的分布状态、土壤水分含量和土壤保持高含水量的时间等因素)的影响,还受到自身结构(线性或网状的分子结构)的影响。

美国是最早研制和开发使用吸水材料的国家。1974年,美国农业部发明了淀粉——丙烯腈接枝聚合技术,率先研制出吸水材料,并将其应用于玉米、大豆种子涂层、树苗移栽等方面^[25,26]。此后,日本、德国、英国、法国、比利时以及南非、北非等国家也相继对此类产品进行了大量研究和开发。1975年,日本三洋化学公司首先开发了淀粉——丙烯酸接枝共聚物,并于1978年将其产品投入市场。进入20世纪80年代后,世界各国的吸水材料发展更快,美国的Hercules Co公司、National Starch Co公司、日本的住友化学公司、花王石碱公司等相继成功的开发出了多种不同类型的吸水材料^[27]。目前,日本已成为世界上生产和出口吸水材料最多的国家^[28]。与此同时,世界上许多国家在吸水材料应用方面也做了大量的应用研究,在节水、保水、抗旱、改良土壤等方面都收到了良好效果,其产量也在逐年增加。据统计,1998年,世界吸水材料需求总量在70万t左右。其中美国市场占1/3,欧盟国家消费22万t,日本市场消费8.2万t^[29]。据美国农业部估计,美

国近几年吸水材料的年消费量可达20万t, 超过20世纪80年代初估计数字的20倍^[30,31]。

我国吸水材料的研制和应用始于20世纪70年代后期, 随着相关研究的不断深入, 一批新型的吸水材料产品也陆续问世。据统计, 1996年我国高吸水性树脂的年生产能力仅6000 t, 实际产量仅1200 t, 用于农、林业的吸水材料不足200t, 离需求差距甚远^[28]。

我国西北地区是世界上干旱缺水最严重的地区之一, 随着人口增加和经济发展, 水已成为制约西部经济社会发展及生态环境改善的主要因素^[32]。西北地区深居内陆腹地而远离海洋, 加之高山峻岭的阻隔, 气候十分干旱, 许多地方平均降水量小于300mm, 内陆河区降水量一般都在200mm以下, 蒸发量却高达1000—2800mm。降水少而蒸发大, 使得西北地区的水分短缺程度远高于国内其他地区。西北地区水资源总量2344亿立方米, 仅占全国水资源总量的8%^[33]。因此, 有效利用和开发高效的节水材料是解决西部干旱的重要途径之一。

吸水材料是一种新型的功能高分子节水材料, 能够吸收自身质量几百甚至几千倍的水分, 具有很强的吸水保水功能。吸水材料施用到土壤中, 不仅可以充分吸收灌溉水或自然降雨, 防止水分渗漏和流失, 提高水分利用率, 而且可促进土壤团聚体的形成, 改善土壤孔隙结构, 防止肥料、农药和水土流失, 提高肥料的有效利用率^[34]。

因此, 吸水材料已在农业、林业和其他节水领域得到了广泛使用。但是, 目前已商品化的吸水材料, 大多是聚丙烯酸或聚丙烯酰胺类的, 还存在成本高和耐盐碱性能差等不足^[35,36]。

1.3.1 高分子吸水材料的特性

1.3.1.1 吸水材料的作用机理

通常的吸水材料如棉花、海绵、纸等的吸水作用是依靠毛细管原理而进行的, 是属于物理吸附。其吸水能力只有自身质量的20—40倍, 并且挤压时大部分水被排挤出来。而吸水材料的吸水是靠化学作用进行的, 吸水材料是一种三维网状结构的高分子聚合物, 在交联的网状结构上有许多羧基($-\text{COOH}$)、羟基($-\text{OH}$)、酰胺基和醚基等亲水性基团, 当它与水接触时, 这些基团便会与水分子结合成氢键, 并通过这种方式吸持大量的水分。由于网状结构本身具有弹性, 因而它能容纳许多的水分子, 外表则成一种凝胶状态。同时, 吸水材料又是一种电介质, 在水或溶剂中电离后产生的离子之间的相互作用, 使聚合物溶胀。聚合物随着内部离子浓度的增加, 由于聚合物内部与外界溶液之间的浓度差而产生的反

渗透,使得水进入聚合物内部。吸水材料在水中只膨胀形成凝胶而不溶解。所以,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^[37-39]。即具有可重复使用的性质。

吸水材料本身的交联网状结构又限制了它不能无限地吸水膨胀。上述两种因素平衡的结果决定了吸水能力的大小。此外,只要分子链未被破坏,吸水材料吸水持水分的能力在失水后仍可恢复^[40,41-43]。高吸水树脂的吸水分几个阶段。最初阶段是通过毛细管吸附和分散作用来实现的,接着水分子通过氢键与树脂的亲水基团作用,使之发生离解,阴离子固定在高分子链上,阳离子则可自由移动。随着亲水基团的进一步离解,阴离子数目增多,离子之间的静电排斥力使树脂的网络扩张,同时为了维持电中性,阳离子不能向外部溶剂扩散,导致阳离子在树脂网络内浓度增大,于是网络内外产生渗透压,水分进一步渗入。随着吸水量的增大,网络内外的渗透压差趋向于零,而网络扩张的同时,其弹性收缩力也在增加,逐渐抵消阴离子的静电排斥,最终达到吸水平衡^[44]。

1.3.1.2 吸水材料的类型

(1) 从原料来分,吸水材料有淀粉类(淀粉—聚丙烯酰胺型、淀粉—聚丙烯酸型)、纤维素类(羧甲基纤维素型、纤维素型)和聚合物类(聚丙烯酸型、聚丙烯腈型、聚乙烯醇型)。

淀粉类树脂。由极性吸水基团组成,具有吸水倍率和速率较大,成本相对较低,能被微生物降解,对环境无害等优点。但吸水后凝胶强度较低,稳定性和耐盐性较差^[45,46],在吸水状态下会发生缓慢水解,尤其是在光照或加热情况下,使用寿命一般只能维持1~2 a左右。

纤维素类。纤维素是一类含有多羟基的高分子多糖,由于羟基的亲水性,天然纤维素本身就具有一定的吸水吸湿能力,只是其高度结晶结构使大部分羟基处于氢键缔合状态,限制了这种吸水能力。目前,这一类吸水树脂合成反应条件苛刻、工艺复杂、吸水倍率普遍不高,是有待解决的问题^[47]。

合成聚合物类。纯合成的高吸水性树脂,主要包括聚丙烯酸类和聚乙烯醇类。目前研究最多、产量最大的是聚丙烯酸类。近年来人们不断探索新的合成方法,使聚丙烯酸类树脂的吸水能力不断提高,并通过引入非离子性单体,提高了吸水材料的耐盐能力^[44]。目前,聚丙烯酸类吸水材料在农林业上应用最为广泛。

(2) 从形态来分,吸水材料有粉末状、薄片状、纤维状、液体状。粉末状吸水材料应用相对广泛^[48,49,50]。此外,吸水材料还可按亲水化方法、亲水基团的种类、交联方法等分类。

不同品种吸水材料经过在农业上试验, 所得数据表明: 聚丙烯酰胺的蓄水保墒能力为4-6年; 聚丙烯酸钾或铵只有2年; 淀粉接枝型则最多为一年。

1.3.1.3 吸水材料的性质及性能

(1) 吸水性优良。吸水材料的吸水性包括①吸水能力大, 吸水材料的吸水倍率一般为自身重量的几十倍、几百倍甚至几千倍。②吸水速度快。离子性吸水材料达到饱和需几小时到几十小时, 0.5小时左右可达饱和吸水量的1/2; 非离子性吸水材料达到饱和只需20-60分钟, 几秒钟至2分钟就可达到饱和吸水量的112以上。③吸湿能力强, 吸湿速率快。如能吸收空气及土壤环境中的汽态水分子。吸水材料的吸湿能力和吸湿速率主要取决于吸水材料的种类和环境湿度的大小。

(2) 保水性很好。吸水材料因为吸水后变为水凝胶, 所以其吸收的水分在自然条件下蒸发速度很慢, 而且加压也不易离析。

(3) 有效持续性强。吸水材料具有反复吸水功能, 即吸水——释水——干燥——再吸水。

(4) 具有安全性。吸水材料的水溶液呈弱酸性或弱碱性, 无刺激性。经大量动物试验和农业试验证明用于食品、医药卫生等方面的吸水材料安全无毒: 用于农林业方面的吸水材料不会改变土壤的酸碱度^[51,54]。

紫外光是吸水树脂降解的主要因素, 试验表明, 在室外露天放置的吸水材料胶冻(水晶泥)经6~8万b(太阳光照射后一周左右)完全降解。其产品降解后最终产物为二氧化碳和水, 均为植物所需营养成分, 无公害。经卫生部门详细的动物毒性试验, 证实该产品实际无毒, 对小鼠精子畸形试验为阴性, 微核试验为阴性^[55]。

1.3.1.4 吸水材料的吸水性能及其影响因素

(1) 树脂本身的影响。吸水树脂交联度越大, 其吸水能力越低; 离子型吸水材料的吸水能力高于非离子型树脂; 树脂粒径越小, 吸水率越高, 但粒径太小, 树脂颗粒又易粘结成团, 适宜粒径一般在20~140目。

(2) 溶液pH值的影响。吸水材料的吸水基团主要是一COONa、—COOK, 在强酸条件下, 羧酸钠基上的Na(K)被H⁺所置换, 从而使树脂内部阳离子浓度下降, 使得树脂内部及溶液中的渗透压下降, 最终导致吸水率的下降。而在强碱条件下, 不存在这个问题, 因此碱性条件对吸水材料吸收能力的影响不如酸性条件明显。Lee W Y^[56]等人研究发现pH值为3~11的溶液中, 树脂的吸水能力较大, 且基本保持不变, 当pH>11或<3时, 吸水率陡降。马凤国等^[57]也曾报道当pH<4

或 $\text{pH}>10$ 时吸水材料的吸水率明显下降, pH 值在6~8时吸收率最大。

(3) 溶液离子强度的影响。根据Flory理论^[58], 树脂的吸水能力与离子强度有关, 并随离子强度增大而减小。所以同一种电解质的浓度增大时, 离子强度随之增大, 吸水率下降, 因此, 树脂吸收纯水的能力要远大于吸收盐溶液的能力; 而对不同电解质而言, 当浓度相同时, 高价电解质的离子强度大于低价电解质的离子强度。

1.3.2 高分子吸水材料对土壤基本物理性状的影响

高吸水树脂对土壤温度的影响。在土壤中加入高吸水树脂, 日照时温度上升缓慢, 在早8:00后添加高吸水树脂的土壤温度上升比对照样品明显偏低, 而在晚间20:00时两者温度基本持平, 而后对照样品的温度低于添加高吸水树脂的土壤温度, 因此添加高吸水树脂的土壤温度在夜间下降的缓慢。这可归因于高吸水树脂的添加, 使土壤的孔隙率提高, 水分被树脂吸收, 土壤中的自由水减少, 土壤的热传导效应降低的缘故。这一现象, 实质上是降低了作物生活环境的昼夜温差, 对作物的生长是十分有利的。

吸水树脂与土壤混合后, 明显改变了土壤的基本物理性状。吸水树脂吸水后形成水凝胶, 体积膨胀, 土壤容积质量降低, 总孔隙度提高, 土壤毛管水饱和时的固、液、气三相组成发生了不同程度的变化。随着吸水树脂含量的增加, 吸水量增大, 土壤液相组成比例(相当于毛管孔隙度)增加, 土壤蓄水功能增强。固相、气相组成比例相对减少, 容积质量明显降低, 而总孔隙度增大, 主要是增加了毛管孔隙度, 即增大了毛细管持水容量。因此, 吸水树脂的加入, 除本身可以吸取和保持较多水分外, 吸水膨胀后对土壤孔隙性质的改善, 提高毛管孔隙度方面也起了显著作用。当吸水树脂质量分数达0.75%时, 吸水树脂吸水后, 由于体积膨胀过大, 挤占了气相空间, 导致非毛细孔隙减少, 气相比例有所下降。

吸水树脂对土壤团粒结构的形成有明显的促进作用。在土壤中加入0、0.25%、0.50%质量分数的高吸水树脂, 土壤中团聚体(团粒径 $>0.25\text{ mm}$)的数量分别为28.63%、65.64%、83.22%。这表明随着吸水树脂含量的提高, 土壤团聚体数量增加。而对照试样中粒径小于 0.05 mm 的微粒占土粒组成的64.61%, 尤其是粒径小于 0.001 mm 微粒的比例占30.52%, 导致土壤水稳定性差, 容易分散。添加的高吸水树脂的高分子链结构可增强易分散微粒间的粘结力, 使微粒能够彼此粘结, 团聚成水稳性团粒, 从而引起粒径组成的变化。土壤团聚体数量的增加, 对改善土壤通透性, 防止表土结皮, 减少土面蒸发等都有较好作用^[59]。

因此, 吸水材料已在农业、林业和其他节水领域得到了推广使用。但是目前

已商品化的吸水材料,大多是聚丙烯酸或聚丙烯酰胺类的,还存在成本高和耐盐碱性能差等不足^[60, 61]。因此,有效利用和开发高效的吸水材料是解决西部干旱的重要途径之一^[62]。

1.3.3 高分子吸水材料与水分和氮素的关系

高分子吸水材料是一种新型高吸水特性的高分子聚合物。它能迅速吸收和保持自身重量数百倍乃至数千倍的无离子水,当液体中含少量盐分时,其吸水倍率仅有数十倍。从吸水材料发展的历程来看,单一使用吸水材料或化学肥料都不能同时满足作物对水分和养分的需求,而将吸水材料与肥料混合施用,由于不能充分发挥吸水材料在吸水、持水和释水的同时缓慢溶出肥料中的养分,而不能为作物生长持续地供应养分,造成肥料的利用率降低。

根据吸水材料的吸水机理,离子型吸水材料与水接触后,由于离子型亲水基团的电离,造成树脂结构内外产生渗透压,是吸水材料吸水的动力之一。当水溶液中有电解质盐类存在时,就会使树脂内部的渗透压降低,结果吸水材料吸水能力降低。外部电解质的种类和浓度都会影响聚合物的吸水性。显然,高价离子对溶液总离子强度的贡献大于低价离子,同价态离子对溶液离子强度的影响程度相近。

尿素是中性分子,在水中不被离解成离子,还是以分子形式存在,对吸水材料吸水能力影响较小,吸水倍率下降幅度小。由于尿素溶液浓度的增大,吸水材料对氮素的吸持量和吸持率也随着增大。而碳酸氢铵、硝酸铵、硫酸铵和氯化铵等在水中即可发生电离作用,电解质离子对吸水材料的吸水倍率影响比较大,吸水倍率下降幅度大。随着肥料浓度的增大,吸水材料对氮素的吸持量增大,但吸持率却逐渐减小。碳酸氢铵、硝酸铵、硫酸铵和氯化铵溶于水后,由于电解质性质不同,离子带电量不同,吸水倍率、吸持量和吸持率都有差异^[63]。

在3种大量元素化肥中,吸水材料吸水能力受尿素的影响较小,而磷二铵和硫酸钾则可使吸水材料吸水能力显著降低。在4种供试微肥中硫酸锌、硫酸锰可使吸水材料吸水能力下降。硫酸亚铁能使保水剂的初坎吸水能力有一定提高,但以后各次的吸水能力却明显降低,在离子水中吸水材料的再吸水率逐步下降^[64]。

电解质盐溶液对吸水材料吸水倍数有着十分明显的影响,电解质阳离子所带电荷数越多,其对吸水材料吸水倍数的抑制作用越明显;当所带电荷数相同时,阳离子的原子量大,其影响也较大,这是由于外部溶液的离子强度越大,树脂网络内外的渗透压差就越小,树脂的吸水能力越低^[65]。因此,树脂吸收纯水的能力要远大于吸收盐溶液的能力。在同一种电解质中,随电解质浓度的升高,树脂吸

水倍数下降,而在电解质浓度相同时,树脂在高价电解质溶液中的吸水倍数低于低价电解质溶液的吸水倍数^[66]。

溶液pH 对吸水材料吸水倍数也能产生显著影响,吸水材料在pH6~8能保持较好的吸水性能,当pH≤4或pH≥10,吸水倍数明显下降,且吸水材料对酸性溶液更为敏感。马凤国等认为,这是由于吸水材料的吸水基团主要是一COO⁻,在强酸条件下,羧酸盐基团上阳离子可能被H⁺所置换,从而使树脂内部阳离子浓度下降,使得树脂内部及溶液中的渗透压下降,导致吸水倍数迅速下降,而在碱性溶液中,不会出现这种离子互换作用,因此酸性条件对吸水材料吸收能力的影响比碱性条件明显^[67]。

在沙土和壤土分别与吸水材料按照1 / 50和1 / 100比例混合,对饱和含水量和有效水均有促进,但由于土壤质地和结构的差异,壤土与吸水材料混合后的持水性能较强;沙土和壤土与吸水材料混合能够较好地减少水分的无效蒸发,保持水分,有利于作物的吸收,提高水分利用效率(WUE),结果表明其对于沙土的效果明显好于壤土;吸水材料吸收的水分,在土壤中仍然遵循水分运动的基本原理,即从水势高的地方向水势低的地方运动,因此,将充分吸水的吸水材料混入水分不饱和土壤后,吸水材料中的水分会向土壤运动,使土壤过湿,从而影响根系发育;在农业的推广应用中,吸水材料应非均匀地分布且施入深度低于10 cm以下的耕层土壤,这样才能够更好地起到节水的作用^[68]。

缓释型吸水材料是将肥料与吸水材料胶结起来,在保水、持水的同时肥料中的养分持续地释放出来,以达到养分缓慢释放的目的。由于其兼有相对的长期保水、持续供肥的特性,不会对环境造成污染,是一种很有前途的对环境友好的保水肥料。

目前,国际上吸水材料一般有两类,即淀粉接枝丙烯酸盐共聚交联物和丙烯酸胺-丙稀酸盐共聚交联物。但这两种吸水材料均为高分子化合物,降解速度慢、失效快,第二年保水能力仅为第一年的40%,长期施用于土壤,必然会在土壤中积累,当它的含量超过一定的浓度时,就会对土壤造成污染。所以在选择吸水材料时,不但要考虑它的保水性、稳定性,更要考虑土壤中微生物对它的可降解程度,以求做到在保水抗旱的同时,不对生态环境造成新的污染。笔者选择植物秸秆制成超吸收聚合物,将其施于土壤中以达到保水、保肥的目的,同时引入生物活性因子,在超吸收聚合物的保水作用明显降低或失去时,用微生物加速其降解。在微生物降解聚合物的过程中产生的有机质,带有负电荷的—NO₂,=CH₂,—OH, —C=O等基团与土壤中的Mg、Ca结合,可以促进荒漠化土壤腐殖化,加速土壤团粒结构的形成,从而改变土壤的理化性质,使脆弱的生态环境得到恢

复和重建^[69]。

如何使吸水材料在我国的干旱内陆地区发挥保水保肥的优势作用,改善土壤结构,提高农作物的产量,扩大吸水材料在旱作地区的应用范围,成为目前干旱地区农作物增产的研究热点。

1.3.4 高分子吸水材料在农业方面应用的主要方法与效果

(1)吸水材料在农业生产中的应用主要有以下方式:

种子表面涂层。将吸水材料与水按一定比例混拌,再将种子倒入拌和均匀,晾干后即可用于播种^[70]。

种子造粒。将一定浓度吸水材料、种子、细土、营养元素等物质,混匀形成种子丸粒称为种子造粒,造粒后的种子可直接用于播种^[71]。

拌土、蘸根移栽。蘸根移栽是把吸水材料配成一定浓度的溶液,浸泡作物的根系后直接栽植^[72]。

地面喷施与地面撒施。地面喷施就是将吸水材料配成一定浓度的溶液,用喷雾器喷洒在苗木周围形成一层吸水材料薄膜,减少地面蒸发,以达到提高苗木成活率及苗期抗旱能力的目的。灌溉前或旱地雨季前,将吸水材料散施于土壤表面,可防止土壤表面结皮,提高灌、降水的土壤入渗速率,增加水分利用效率,提高土壤有效含水量的持续时间,减少栽植损失^[73-76]。有研究表明,在灌溉水中加入少量可溶性吸水材料,可有效防止土壤侵蚀^[77,78]。

扦插育苗以及其他方面的应用。

(2)效应与不足:

吸水材料因其突出的吸水保水能力,使它在农业中有越来越广泛的应用。大量的研究表明,吸水材料能有效地改善土壤、植株体内的水分状况,促进作物生长发育,提高作物水分利用率和产量。然而,对于这一类物质的环境毒理学还缺乏研究,特别是它对土壤群居微生物、有益微生物的种类和数量的影响研究对开展大面积推广应用有重大价值。

关于吸水材料的农林业应用研究主要集中在作物的生长性状、收获性状上,忽略了吸水材料在其他方面的应用。由于吸水材料能吸持大量的水分,吸持的水分能有效的降低植株的表面温度,水分的释放还能起到灭火的作用,因此在森林防火、制备防火材料中都有着潜在的应用价值。此外,吸水材料在植物病害的防治中也有着潜在的应用价值,特别是在一些寄主主导性病害,通过试用吸水材料可促进植物的生长,提高寄主的抗病性。

开展吸水材料的研发和应用研究,已成为国内外吸水材料研究的热点,推广

应用范围也逐年增加,优良吸水材料筛选是研究吸水材料促生抗逆以及进行吸水材料的大面积推广应用的前提。此外,随着吸水材料的应用范围在不断扩大,积极开展吸水材料的土壤毒理学研究,以及吸水材料对土壤生物多样性、生态多样性影响的评估也是当前亟待研究的问题^[79]。

今后,吸水材料以其独特的吸水保水特性,使其在干旱半干旱地区的农业生产中的应用前景十分广阔。借鉴现有的研究成果和经验,结合农林业生产特点,在改良吸水材料吸水性能的同时,应积极探索吸水材料与其他生产措施配合应用的综合配套应用技术,以充分发挥吸水剂在我国开展西部大开发、改善生态环境中巨大的作用。

目前,我国在这方面的研制和生产已上了一个新的台阶,除了将吸水材料大量应用于工业中外,由于吸水材料是一种具有超高吸水、保水能力的高分子聚合物,能吸收和保存其自身重量数百倍或上千倍的水^[80],当土壤缺水时就会逐渐释出水供作物吸收,具有反复吸水的功能且能够持续利用^[81]等特点,其在农业、林业和其他节水领域中的应用也日益广泛^[82-85],得到了推广使用。但将其应用于水土保持中还处于起步阶段,由于近年来缺水日趋加重,防治水土流失中的生物措施显得势单力薄,因此吸水材料作为一种化学措施,成为了沙地治理、防治水土流失的新的研究领域^[86]。

但是,由于高分子吸水材料目前的生产成本较高,网状结构的材料使用量较大,缺乏根据拌种、土壤撒施、随水灌施及液化化等不同使用方式,研究的多功能的、专用型的高分子吸水材料,从而使其未能在农业生产中大量应用。

1.4 研究思路、内容与技术路线

1.4.1 研究思路

干旱缺水和土壤退化、沙化,是制约我国农业持续发展的重要因素,保持水土和抗旱节水已成为我国农业持续发展的选择。吸水材料是近年来迅速发展的一项化学节水技术,然而,吸水材料的保水能力不仅受到外界因素(如补灌液体盐分、树脂在土壤中的分布状态、土壤水分含量和土壤保持高含水量的时间等因素)的影响,还受到自身结构(线性或网状的分子结构)的影响。如何使吸水材料在我国的内陆干旱、沙化地区发挥保水保肥的优势作用,改善土壤结构,提高农作物的产量,扩大吸水材料的应用范围,成为目前干旱、沙化地区农作物增产的研究热点。

沙化地保持水肥的能力很差,尤其是对速效氮的吸附能力差,氮素淋失量大。在气候干热的伏季,因0-20cm沙层中水分蒸发量和叶面蒸腾量大,沙层含水量

很难维持作物正常生长。而目前,已商品化的吸水材料,大多是聚丙烯酸或聚丙烯酰胺类的,存在着成本高和耐盐碱性差等不足^[87,88]。目前阶段在沙化地种植的秸秆基本上作为牲畜饲料被二次利用了,除每年施入少量农家肥外,再无有机质施入,尽管经过多年种植,沙层的有机质含量依旧很低。

本研究以马铃薯为主要供试作物。虽然马铃薯具有耐旱和耐瘠薄特性,但为了达到较高的产量,马铃薯又是一种需水、需肥量很多的作物。由于沙层含水量低和保持正常较高含水量的时间短,制约了对马铃薯养分的连续供给。所以,提高沙化地对水分和速效氮的吸附量、保持0~20cm深度范围内的较高含水量时间,是实现沙化地高产、高效种植的关键因素。

就沙化地种植而言,既有灌溉水的大量浪费,又有施入养分的大量淋失,二者构成了开发沙化地时,资源浪费严重、种植效应低下。

目前,在沙化地种植的秸秆基本上作为牲畜饲料被二次利用了,除每年施入少量农家肥外,再无有机质施入,尽管经过多年的种植,沙层的有机质含量依旧很低。

试验研究的目的是:针对已具备灌溉条件,但因沙层较厚,且含泥量低的沙化地,通过解决在耕作层深度范围,保持沙层水分和增加对氮素的吸附量等关键问题,使这部分沙化地在短的种植年限内,达到或接近正常农田的种植效益。

针对沙化地水分与氮肥淋失严重的问题,本项研究有别于以往沙化土地的技术研究,拟通过高分子聚合物的使用,改善沙化土地沙粒表面的特性,实现固相材料与液相材料的复合、有机高分子材料与无机养分的复合、沙层中水分与施入养分的耦合、对沙土的养分供给量与植物生长量的耦合、对沙土养分的供给时间与植物的需肥时间的耦合等,使在植物根系分布的沙层范围内,增加沙化土对入渗水分和养分的吸附量。将以前单纯提高水分的利用率,转变为以利用高分子聚合物为手段,在提高沙层含水量的同时,增加沙层中的养分量,并且提高养分的平衡度。最终达到对沙化土地改良,提高土地利用率和作物产量的目的。

研究思路是:①根据线性结构聚丙烯酰胺具有吸附速效氮的特性,采用不同的使用方法,使聚合物在预设的空间位置形成富集,通过聚合物对随水入渗速效氮的作用,达到增加速效氮含量的效果;②用清水分散线性结构聚丙烯酰胺后形成的高分子水溶胶,施入预设沙层之中,以较少的高分子材料和简单的处理方法,解决以往聚合物用量大、沙化地改造成本高的问题;③通过固相材料与液相材料的复合、有机高分子材料与无机养分的复合、增加了设计沙层中的水分量与施入养分量的耦合、施入养分量和养分施入时间与作物生长需肥时间的耦合,以实现当季作物达到较高产量和获得较高种植效益的目的。

本文进一步探索吸水材料在沙化土壤中的作用机制,为旱地农业节水增产、合理应用土壤吸水材料、提高灌溉和雨水利用率提供理论依据。

1.4.2 主要研究内容

(1)通过模拟 50cm 沙层以下为粘土的试验结果,模拟完全沙层条件下线性聚合物不同处理的试验结果,完全沙层条件下用不同分子结构聚合物和不同处理方法的试验,搞清楚提高设定沙层的水分量。

(2)进行模拟沙层以下为粘土条件下,提高速效 N 含量的试验;完全沙层条件下,提高速效 N 含量的试验;不同处理条件下,用不同吸水材料,沙层含水量、速效 N 含量与作物根系的分布;搞清楚提高设定沙层中速效氮含量的分布情况。

(3)进行马铃薯根系水平分层分布的测定,马铃薯根系随深度变化的分布测定,搞清楚马铃薯根系在沙层中的真实分布情况。

(4)根据沙化地的特殊性,对试验地的基础养分状况和不同种植年限的沙地条件进行测定,对马铃薯播种后的生长过程进行分析,并对马铃薯的产量进行测定与分析,得出马铃薯在沙化地的较好种植模式,以指导农民进行农业生产。

(5)通过以上试验,在受到约束的条件下,使水分和速效氮的下渗量明显减小,较大幅度地提高土层的速效氮含量,为降低化肥使用量,提供可参考性的依据,并找到一条用高分子吸水材料改造、治理沙化地的途径。

1.4.3 主要技术路线

本研究采用现有资料的查阅与实际试验相结合、室内模拟实验与田间试验相结合的原则。

根据目前干旱农业研究存在的问题,通过查阅文献,深入农村、农户调查研究,采取与农业科技人员相互配合的方式,确立了以应用高吸水树脂,结合农业科学技术,帮助贫困地区农民群众显著增收的课题方向。为了提高试验、研究的实用性和可操作性,适度简化了对吸水材料内禀特性的实验室测定工作,直接面对农民,开展田间试验和示范的技术路线。

在所选择研究内容上,结合农业科学理论,从制约因素的具体问题入手,以保持设定沙层范围内水分为手段,在满足作物水分需求的基础上,达到以下几方面的目的:通过高分子聚合物对水溶性无机养分的扩散性的约束作用,并从土壤水分的扩散、下渗及蒸发多角度实施约束,使补施养分相对集中的蓄积于局部沙层之中,按作物生长需求,缓慢地被作物吸收和利用,体现出相对于普通肥料的缓释性。

(1)采用粘均分子量 1600 万左右的线性高分子聚合物,在距地表 10cm、

10cm~20cm、25cm~35cm 及 40~50cm 深度，用不同方法施用线性聚合物，通过改变沙粒表面结构特性增加对水分的吸附，以及聚合物吸水后膨胀的材料特性，部分阻塞水分的下渗通道，增加设定层段的吸附水量，使土壤水分向耕作层富集。

(2) 针对新开沙化地中含泥量较低的问题，采用线性高分子聚合物与粘土及其它材料进行复合处理，通过改善耕作层中的组成，以达到增加沙层对水分和速效氮吸附量的效果。

(3) 在作物根系分布层内建立起相对富水、富氮的区域性环境，使沙化地在较短时间内获得较高的种植效益，是有效利用沙化地的关键所在。

(4) 根据线性聚合物对土壤中速效氮的约束机理，当马铃薯生长进入施肥最大效益期时，追施复合养分，在增大土壤养分供给的同时，提高土壤养分的平衡程度。

(5) 在具备灌溉条件但水分下渗强度较大沙化地中，以旱作晚熟马铃薯品种“宁薯4号”为种植品种，以回避沙化地的持水能力低、现行种植作物耐旱性差和不能及时供水，导致马铃薯商品率较低的区域性劣势。

(6) 掌握马铃薯根系在沙层中的真实分布，制定科学的追肥制度。

(7) 通过对播种时间、种植密度、灌溉和追肥时间等因素的调整，使马铃薯生长早期形成较发达的根系，并使马铃薯在气温达到较高时期前，形成较大的营养生长量，依靠发达的叶面面积抵御高温天气对马铃薯生长带来的不利影响。

根据文献资料和现有的实际应用情况，试验选用由西北工业大学研制的线性分子结构的丙烯酸钾-丙烯酰胺聚合物（以下简称：线性高分子聚合物）和网状分子结构聚丙烯酰胺吸水树脂（以下简称：网状结构高分子聚合物），这两种材料是具有不同的分子结构基团的两类材料，可以作为目前高吸水材料的代表样品来进行研究。

第二章 提高设定沙层水分量的模拟研究

2.1 前言

从第一章有关研究人员的试验结果中可以看出, 0~20cm 深度范围的水分量是制约形成沙化地农作物产量关键因素之一。但由于沙漠边缘地区的沙化地的水分下渗量大、沙层保持水分的能力低, 农作物生长关键期时午间气温高、空气湿度低、水分蒸发量大。6 月中旬至 8 月下旬间, 沙层深度超过 40cm 深的地块, 当 667m² 浇水 130m³ 后的 10 天左右, 0~15cm 沙层中的绝对含水量低于 3%, 已接近多数农作物枝叶的萎蔫点, 常规方法难以解决沙漠边缘地区的沙化地的具体问题, 这就要求我们创新思路, 充分发挥高分子吸水材料的优势, 寻找解决问题的有效方法。

本试验的研究思路是: 利用高分子聚合物的吸(保)水作用, 提高和保持设定沙层范围内的含水量; 根据不同分子结构高分子聚合物在沙层中与水分作用的机理, 选择适宜的施入方法, 使高分子聚合物在沙层的设定深度范围形成富集, 以达到较大幅度增加设定沙层深度范围内水分含量和持水时间的效果。

试验结果表明: 在高分子吸水材料自身吸水和约束水分运移的共同作用下, 含 CaSO₄ 清水中加入线性高分子聚合物的水溶胶处理, 具有显著增加设定深度范围沙层含水量的效果。但是, 吸水材料在沙层中的真实保水性能, 虽与其自身吸水性能有关, 更重要的是取决于沙层的持水能力, 与吸水材料的使用量无明显关系。

2.2 试验设计和材料

2.2.1 试验方法

试验在内径 28.0cm、高度 80cm 的 PVC 管中进行。开挖出 3.0m×3.0m×0.7m 的试验区, 底部铺 40cm 厚的原沙, 以模拟水分的下渗。在试验管内按 1.52g/cm³ 的容重分层装填, 装填高度为 70cm。以装填后的上表面向下 20cm, 按设计进行不同方法的处理。试验区的处理, 见图 2-1; 试验管的布置, 见图 2-2; 试验管的填装, 见图 2-3; 向管内注入定量液体, 见图 2-4。



图 2-1 铺渗透层的过程



图 2-2 试验管的布置



图 2-3 定量填装沙土



图 2-4 定量注入液体

2.2.2 试验材料

试验采用当地荒沙，沙层中 $<0.25\text{mm}$ 的泥土含量仅为 72.21%、而 $>5.0\text{mm}$ 的粗沙含量达到了 12.51%。沙层实测容重为 $1.51\text{g}/\text{cm}^3$ 、最大持水能力为 6.45%；沙层以下粘土的容重为 $1.44\text{g}/\text{cm}^3$ ，最大持水能力为 19.89%。

试验用高分子聚合物是山东胜利油田聚合物公司生产的聚丙烯酰胺，其粘重分子量为 2500 万，以及该公司生产的吸水材料，其吸附纯净水的能力为 400 倍。

2.2.3 试验设计

模拟 50cm 沙层以下为粘土层的试验，设四个处理和一个对照，各 5 次重复，试验方法见表 2-1；在完全沙层条件下，用水溶胶处理的试验，设三个处理和一个对照，各 6 次重复，试验方法见表 2-2；在完全沙层条件下，用不同分子结构聚合物的试验，设三种方法、三个材料水平，共 6 个处理，各 2 次重复，试验方

法见表 2-3。

表 2-1 模拟 50cm 沙层以下为粘土的试验

内容	方法
0~15cm 水溶胶处理	试验柱装填高度 70cm，自下而上为 20cm 粘土层和 50cm 沙层。0~15cm 深度范围内施入含 0.25%聚合物的水溶胶。
10~20cm 水溶胶处理	试验柱装填高度 70cm，自下而上为 20cm 粘土层和 50cm 沙层。10~20cm 深度范围内施入含 0.25%聚合物的水溶胶，0~10cm 填沙。
10~20cm 加入 CaSO ₄ 后的水溶胶处理	试验柱装填高度 70cm，自下而上为 20cm 粘土层和 50cm 沙层。10~20cm 深度范围内，施入加 0.03%的 CaSO ₄ 和 0.25%聚合物的水溶胶，0~10cm 填沙。
10~20cm 含溶胶后的夯实处理	试验柱装填高度 70cm，自下而上为 20cm 粘土层和 50cm 沙层。10~20cm 深度范围内施入含 0.25%聚合物的水溶胶后夯实，0~10cm 填沙。
CK	试验柱装填高度 70cm，按容重自下而上分层装填，粘土层为 20cm 和沙层厚度为 50cm。

注：① 粘土层容重按 1.44g/cm³、沙层容重按 1.51g/cm³，按每层 10cm 高度分层装填；② 灌注的清水量，按试验管持水能力的 150%计算，每试验管中一次性注入清水 10L；③ 注入清水 72h 后，取样测定含水量。

表 2-2 不同处理方法增加沙层含水量模拟的试验

内容	方法
单纯水溶胶处理	装填高度 70cm，0~20cm 深度范围内施入含 0.25%聚合物的水溶胶。
0~20cm 掺粘土的水溶胶处理	装填高度 70cm，在 0~20cm 深度范围内的沙层中掺入粘土后，施入含 0.25%聚合物的水溶胶。
0~20cm 掺粘土清水加 CaSO ₄ 的水溶胶处理	装填高度 70cm，在 0~20cm 深度范围内的沙层中掺入粘土后，施入清水中加入 0.03%CaSO ₄ 再加 0.25%聚合物的水溶胶。
CK	按容重沙层装填高度为 70cm。

注：①装填方法同于表 2-1，0~70cm 均为模拟沙层；②第 1 次液体注入量 10L/柱，其后每隔 3 天注入清水 4.5L/柱，累计注入液体 23.5L；③第三次注入清水后，待 CK 沙柱的干沙层深度达到 4cm~5cm 时，取样测定沙层含水量。

表 2-3 不同分子结构和不同处理方法增加沙层含水量模拟的试验

内容	方法
单纯吸水材料处理	沙层装填高度 70cm，在 0~20cm 深度范围内，分别混入吸水材料，加入量分别为 0.98g/柱、1.75g/柱和 2.50g/柱。
水溶胶+吸水材料处理	沙层装填高度 70cm，在 0~20cm 深度范围内，分别混入吸水材料，加入量分别为 0.70g/柱、0.88g/柱和 1.06g/柱。在 0~20cm 注入含 0.25%聚合物的水溶胶。
含 CaSO ₄ 的水溶胶+吸水材料处理	沙层装填高度、处理深度、吸水材料用量和方法同上，在等量清水中加入 0.03%的 CaSO ₄ 后，再加入 0.25%的聚合物，按设计液体量注入。

注：①装填方法同于表 2-2，0~70cm 均为模拟沙层；②在等量清水条件下，分别加入不同量的吸水材料，待其充分吸水后，同未吸附的清水一同施入 0~20cm 沙层；③第 1 次液体注入量 10L/管，其后每隔 3 天注入清水 4.5L/管，累计注入液体 23.5L；④第三次注入清水后，待单纯吸水材料处理沙管的干沙层深度达到 4cm~5cm 时，取样测定沙层含水量。

2.3 结果与分析

2.3.1 模拟 50cm 沙层以下为粘土的试验结果

(1) 在 50cm 以下为粘土层的条件下,不同处理方法的含水量变化,见图 2-5。

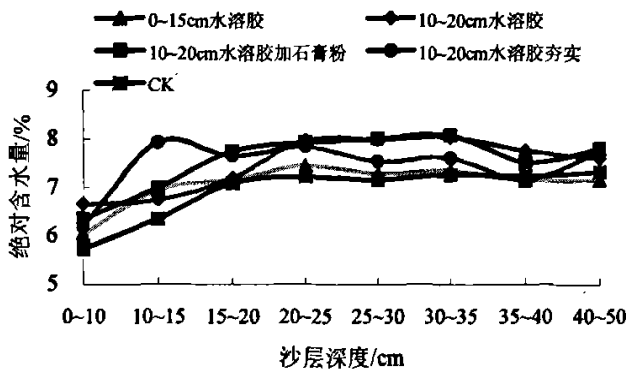


图 2-5 50cm 以下为粘土层的含水量测定结果

(2) 不同处理与对照含水量的比较分析,见表 2-4。

表 2-4 不同处理比对照的增加含水量对比%

深 度 /cm	A1 0~15cm 水溶胶处理	A2 10~20cm 水溶胶处理	A3 10~20cm 清水中加 CaSO ₄ 的水溶胶处理	A4 10~20cm 施入水溶胶并夯实处理
0~10 B1	5.08	15.92	10.59	7.84
10~15 B2	9.31	6.03	10.05	24.76
15~20 B3	1.20	1.57	9.20	7.89
20~25 B4	3.03	10.16	9.65	8.49
25~30 B5	1.76	11.52	11.79	5.20
30~35 B6	1.10	10.51	11.11	4.75
35~40 B7	-1.14	7.14	4.05	-1.12
40~50 B8	-2.38	3.69	6.37	5.69

表 2-5 不同处理比对照的增加含水量对比 方差分析表

变异来源	平方和	df	均方	F 值	显著水平
A 因子	238.1755	3	79.39183	4.64019	0.01218
B 因子	320.7189	7	45.81698	2.67785	0.03788
误差	359.3017	21	17.1096		
总和	918.196	31			

表 2-6 不同处理比对照的增加含水量对比 因子 A 各水平间 Duncan's 新复极差检验

处理	均值	5%显著水平	1%极显著水平
A3	9.14	a	A
A2	8.3175	a	AB
A4	7.9375	a	AB
A1	2.245	b	B

表 2-7 不同处理比对照的增加含水量对比 因子 B 各水平间 Duncan's 新复极差检验

处理	均值	5%显著水平	1%极显著水平
B2	12.5375	a	A
B1	9.8575	ab	AB
B4	7.91	abc	AB
B5	7.5675	abc	AB
B6	6.8675	abc	AB
B3	4.965	bc	AB
B8	3.3425	bc	AB
B7	2.2325	c	B

从图 2-5 和表 2-4~表 2-7 中可以看出, 在 50cm 沙层以下为粘土层的条件下, 用线性高分子聚合物的不同处理, 均可以增加沙层中的水分量。在 0~25cm 深度范围中, 0~15cm 水溶胶处理增加了 4.49%, 10~20cm 水溶胶处理增加了 8.14%, 10~20cm 清水中加 CaSO_4 的水溶胶处理增加了 12.14%, 10~20cm 施入水溶胶后夯实处理增加了 9.86%。A1 与其它处理之间的差异达到了显著或极显著水平。

从处理方法看, 0~15cm 和 10~20cm 水溶胶处理比较简单。10~20cm 施入水溶胶后夯实处理, 虽然在夯实层深度范围的含水量较高, 但用工量较大, 且失水后的沙层坚硬, 不易于根系向下发育。所以从对作物生长有利的意义上评价, 应以 10~20cm 清水中加 CaSO_4 的水溶胶处理为好。

2.3.2 模拟完全沙层条件下线性聚合物不同处理的试验结果

(1) 在试验管中装填 70cm 沙层的含水量变化, 见图 2-6; 不同处理后试验管中干沙层深度的差异, 见图 2-7。

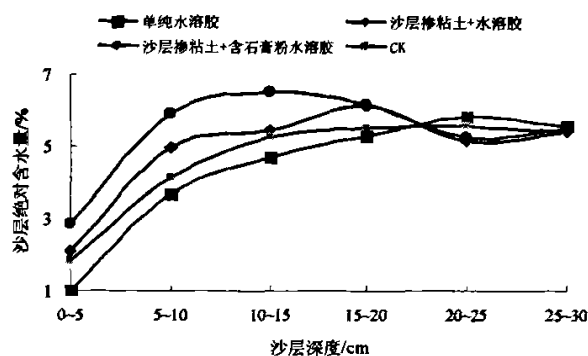


图 2-6 装填全沙后不同处理的含水量变化

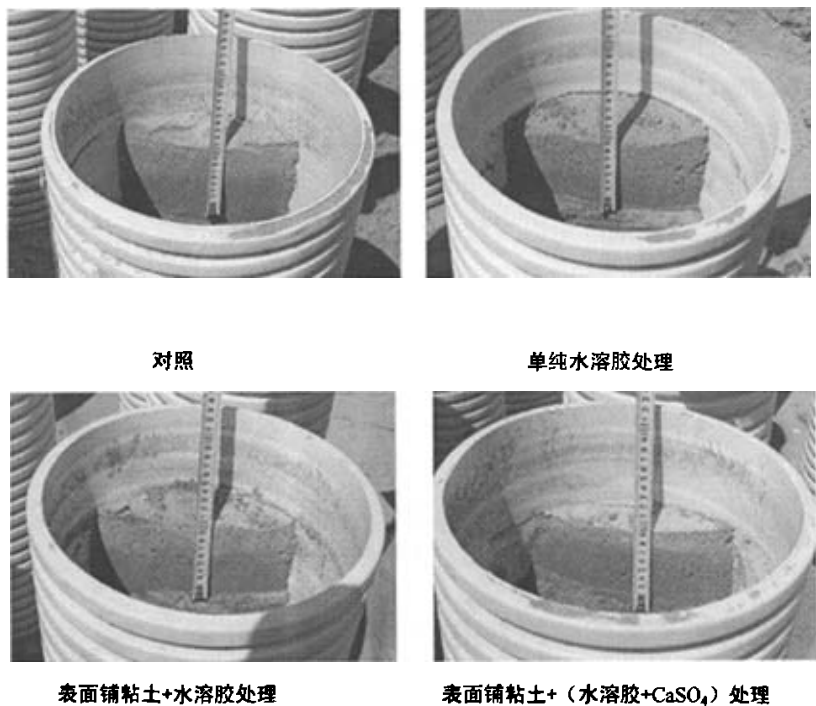


图 2-7 不同处理的干沙层深度比较

(2) 相同处理层深度、不同水溶胶处理方法，与对照含水量的比较分析，见表 2-8。

表 2-8 不同处理比对照的增加含水量对比%

深度/cm	单纯水溶胶	沙层掺粘土+水溶胶	沙层掺粘土+含 CaSO_4 的水溶胶
0~5	-45.20	15.12	56.79
5~10	-10.29	20.69	43.70
10~15	-10.99	3.73	23.70
15~20	-4.66	10.63	11.45
20~25	4.94	-7.65	-5.47
25~30	2.36	-0.50	0.85

对图 2-6 和表 2-8 的结果分析后看出:

①用未经黄河水灌溉过的荒沙装填的试验管,单纯水溶胶处理在 0~20cm 范围不仅未能增加水分量,反而低于对照。分析此现象的原因有二:其一,水溶胶沙层中混合后,在沙粒表面和沙粒间形成了具有一定厚度且比较连续的胶体膜,由于胶体膜受热脱水后的体积收缩,在处理层深度范围内沿胶体膜的分散位置,产生了适宜水分蒸发的连续通道。其二,经过多次注水,水溶胶有下移现象。

②沙层掺粘土+水溶胶处理,在 0~20cm 内的含水量平均增加了 12.5%。说明在沙层中增加少量粘土,起到了改变水分蒸发通道和减缓水溶胶下移的作用。

③沙层掺粘土+含 CaSO_4 的水溶胶处理,在 0~20cm 内的含水量平均增加了 33.9%。与沙层掺粘土+水溶胶处理比较说明,在清水中加入 CaSO_4 后,再加线性高分子聚合物的处理方法,通过 Ca^{+2} 在线性高分子支链间的络合作用,改变高分子链的结构特征,增大线性分子随水迁移的阻力,使水溶胶滞留于耕作层中,进而有效地减缓了水溶胶的下移,使其在设定的沙层范围内形成富集,并通过自身吸水 and 约束水分的运移,较大幅度地增加了沙层中的含水量。

2.3.3 完全沙层条件下,不同分子结构材料和不同处理方法试验

不同分子结构的聚合物材料、不同处理方法和不同材料水平的含水量测定结果,见表 2-9;不同处理的含水量变化趋势,见图 2-8;不同处理的浅表沙层状态,见图 2-9。

表 2-9 不同材料及不同处理的沙层含水量%

深度 /cm	单纯吸水材料处理 A1			水溶胶+吸水材料处理 A2			加 CaSO ₄ 的水溶胶+吸水材料处理 A3		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
0~5 B1	1.63	1.39	1.47	2.65	2.82	2.85	2.57	2.81	2.97
5~10 B2	4.81	4.74	4.97	5.30	5.59	5.27	5.14	5.20	5.74
10~15 B3	5.69	5.49	5.96	5.59	5.40	5.32	5.47	5.24	5.67
15~20 B4	6.01	5.82	5.63	5.79	5.54	5.53	5.99	5.42	5.68
20~25 B5	6.02	6.13	5.92	6.37	5.71	6.01	6.31	6.10	5.79
25~30 B6	6.38	5.93	6.15	6.38	6.40	6.01	7.51	6.25	6.07

表 2-10 不同材料及不同处理的沙层含水量 方差分析表

变异来源	平方和	df	均方	F 值	显著水平
A 因子	1.01401	2	0.507	6.589	0.00364
B 因子	94.5188	5	18.9038	245.7	0
A×B	3.38789	10	0.33879	4.403	0.00046
误差	2.76993	36	0.07694		
总和	101.691	53			

表 2-11 不同材料及不同处理的沙层含水量 因子 A 各水平间 Duncan`s 新复极差检验

处理	均值	5%显著水平	1%极显著水平
A3	5.32944	a	A
A2	5.25167	a	AB
A1	5.00778	b	B

表 2-12 不同材料及不同处理的沙层含水量 因子 B 各水平间 Duncan`s 新复极差检验

处理	均值	5%显著水平	1%极显著水平
B6	6.34222	a	A
B5	6.04	b	AB
B4	5.71222	c	BC
B3	5.53667	c	CD
B2	5.19556	d	D
B1	2.35111	e	E

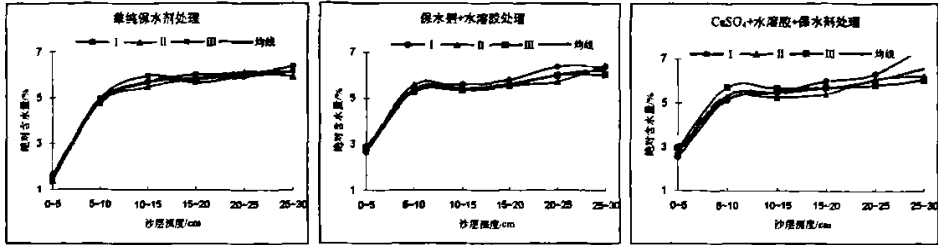


图 2-8 不同分子结构高分子聚合物处理的含水量变化



单纯吸水材料处理

水溶胶+吸水材料处理

石膏粉+水溶胶+吸水材料处理

图 2-9 不同分子结构高分子聚合物处理的浅表沙层状态

从表 2-9~表 2-12 和图 2-8 中可以看出:A3 与 A1 处理之间存在极显著差异。
①相同高分子结构聚合物处理,随吸水材料增量的变化不明显,不同吸水材料水平的处理与均线接近;②在 0~5cm 深度范围,两种水溶胶加吸水材料处理的含水量高于单纯吸水材料处理。说明在试验条件下,单纯吸水材料处理的失水速率相对较高;③在单纯吸水材料处理处理中,水平Ⅲ吸水材料的加入量高出水平 I 1.5 倍,而且都是在吸水材料充分吸水后施入沙层的,但沙层中的真实含水量无明显差距。此现象说明,吸水材料在沙层中的真实保水性能,不仅与其自身吸水性能有关,更重要的是取决于沙层的持水能力;④两种水溶胶加吸水材料处理间的差异不如表 2-8 明显,是因为此试验时间迟于前一试验,受季节变化因素影响,气温下降、雨水增多、空气湿度增大,使二者间未能形成差距。

2.4 小结

经过以上试验,在对试验结果进行观察与分析的基础上,我们可以初步得出以下结论:

(1) 增加沙层中的粘土含量,有提高线性高分子聚合物在沙层中保持水分的明显效果;

(2) 由于在含 CaSO_4 的清水中加入线性高分子聚合物, 改变了线性高分子链的结构特征, 使其稳定于设定深度的沙层, 形成聚合物的含 CaSO_4 的清水中加入线性高分子聚合物相对集中。在吸水材料自身吸水和约束水分运移的共同作用下, 含 CaSO_4 清水中加入线性高分子聚合物的水溶胶处理, 具有显著增加设定深度范围沙层含水量的效果。

(3) 吸水材料在沙层中的真实保水性能, 不仅与其自身吸水性能有关, 更重要的是取决于沙层的持水能力, 而与吸水材料的使用量无明显关系。

第三章 提高设定沙层中速效氮含量的模拟试验

3.1 前言

氮在作物生长发育过程中是最活跃的元素,氮在作物体内的移动性大且再利用率高,并在体内随着作物生长中心的更替而转移。作物对氮素营养的丰欠状态极为敏感,氮的营养失调对作物的生长发育、产量与品种有着深刻的影响。

土壤对铵的吸附(adsorption)与解吸(desorption)是铵在土壤液相与固相之间的平衡过程,铵的吸附量随土壤中粘粒含量、有机质含量、溶液中铵的相对浓度的增加而增多。

土壤质地、土壤 PH、铵的浓度、其它阳离子和有机质等是固定相铵的主要因素,不同土质条件的固定态铵的含量差距很大(高的可达到 600mg/kg 以上,低的仅有 10mg/kg 左右)。固定态铵的生物有效性差异明显,固有的(土壤中原有)固定态铵的有效性低,而通过施肥新增固定态铵的有效性很高,大多在 90%以上。新增固定态铵在作物生长旺盛时,所释放铵态氮是作物氮素的主要补给源。

因此,增加沙层中的新增固定态铵的量,可以提高沙层对氮的缓冲能力,起到把速效氮肥转化为缓效氮肥的作用,这不仅有利于作物的良好生长,而且也有助于减少氮素的气化或淋失。

本试验的研究思想是:①根据线性聚合物支链上带有负电荷的羧酸根,具有吸附 NH_4^+ 的作用,用线性高分子聚合物对含尿素溶液中的 NH_4^+ 的预吸附后,施入所设计沙层中的方法,约束速效氮的随水淋失,达到提高和保持沙层中速效氮含量的效果,以提高局部沙层中新增固定态铵的量;②将含线性高分子聚合物的水溶胶预先施入所设计的沙层深度范围,通过线性高分子聚合物对入渗水分和施入速效氮的吸附,使设定沙层中的水分和速效氮含量,达到同步增加的效果;③在加入线性高分子聚合物前的溶液中加入 CaSO_4 , 通过 Ca^{+2} 与高分子支链上带有负电荷的羧酸根之间的络合作用,使高分子链间产生搭接或缠绕,以增大线性高分子链在沙层中的迁移阻力,达到水溶胶在所施深度范围内的定位效果。

试验结果表明:将线性分子结构的聚丙烯酰胺均匀分散施于沙层之中,可以明显增加沙化地对速效氮的吸附量;加 CaSO_4 水溶胶处理,在作物根系密集的 0~20cm 沙层中,得到了同步提高速效氮含量和含水量目的。

3.2 试验设计和材料

3.2.1 试验方法

试验方法同于 2.2.1。

3.2.2 试验材料

试验用氮素选择兰化公司产的含氮量为 46.4%尿素，其余同于 2.3.2。

3.2.3 试验设计

增加设定沙层深度范围内含水量的试验，共分为 4 组，各设 2 次重复。试验方法分别见表 3-1、表 3-2 和表 3-3。

表 3-1 模拟 50cm 沙层以下为粘土层 增加速效氮含量的试验

内容	方法
0~15cm 水溶胶处理	试验管装填高度 70cm，自下而上为 20cm 粘土层和 50cm 沙层。0~15cm 深度范围内施入含 0.25%聚合物的水溶胶。在试验管上表面分别撒施 3g、6g、9g、12g 和 15g 尿素，而后按设计量注入清水。
10~20cm 水溶胶处理	试验管装填高度 70cm，自下而上为 20cm 粘土层和 50cm 沙层。10~20cm 深度范围内施入含 0.25%聚合物的水溶胶，0~10cm 填沙。在试验管上表面分别撒施 3g、6g、9g、12g 和 15g 尿素，而后按设计量注入清水。
10~20cm 加入 CaSO ₄ 后的水溶胶处理	试验管装填高度 70cm，自下而上为 20cm 粘土层和 50cm 沙层。10~20cm 深度范围内，施入加 0.03%CaSO ₄ 和 0.25%聚合物的水溶胶，0~10cm 填沙。在试验管上表面分别撒施 3g、6g、9g、12g 和 15g 尿素，而后按设计量注入清水。
10~20cm 含溶胶后的夯实处理	试验管装填高度 70cm，自下而上为 20cm 粘土层和 50cm 沙层。10~20cm 深度范围内施入含 0.25%聚合物的水溶胶后夯实，0~10cm 填沙。在试验管上表面分别撒施 3g、6g、9g、12g 和 15g 尿素，而后按设计量注入清水。
CK	试验管装填高度 70cm，按容重自下而上分层装填，粘土层为 20cm 和沙层厚度为 50cm。在试验管上表面分别撒施 3g、6g、9g、12g 和 15g 尿素，而后按设计量注入清水。

注：① 粘土层容重按 1.44g/cm³、沙层容重按 1.50g/cm³，以每层 10cm 高度分层装填；② 液体量按试验沙管持水能力 150%计算，每试验管中一次性注入清水 10L；③ 注入清水 72h 后，取样测定速效氮含量。

表 3-2 不同处理方法增加沙层含水量模拟的试验

内容	方法
单纯水溶胶处理	装填高度 70cm，0~20cm 深度范围内施入含 0.25%聚合物的水溶胶。在试验管上中分别注入 1L 含 3g、6g 和 9g 的尿素溶液，而后按设计量注入清水。
0~20cm 掺粘土的水溶胶处理	装填高度 70cm，在 0~20cm 深度范围内的沙层中掺入粘土后，施入含 0.25%聚合物的水溶胶。在试验管上中分别注入 1L 含 3g、6g 和 9g 的尿素溶液，而后按设计量注入清水。
0~20cm 掺粘土清水加 CaSO ₄ 的水溶胶处理	装填高度 70cm，在 0~20cm 深度范围内的沙层中掺入粘土后，施入清水中加入 0.03%CaSO ₄ 再加 0.25%聚合物的水溶胶。在试验管上中分别注入 1L 含 3g、6g 和 9g 的尿素溶液，而后按设计量注入清水。
CK	按容重沙层装填高度为 70cm。在试验管上中分别注入 1L 含 3g、6g 和 9g 的尿素溶液，而后按设计量注入清水。

注：①装填方法同于表 2-2，0~70cm 均为模拟沙层；②第 1 次清水的注入量为 9L/管，其后每隔 3 天注入液体 4.5L/管，累计用水量 23.5L；③第三次注入清水后，待单纯吸水材料处理沙管的干沙层深度，达到 4cm-5cm 时，取样测定速效氮含量。

表 3-3 相同材料成本不同处理方法增加沙层含水量模拟的试验

内容	方法
单纯吸水材料	沙层装填高度 70cm，在 0~20cm 深度范围内混入吸水材料，加入量分别为 0.98g/管、1.75g/管和 2.50g/管。各试验管中分别注入 1L 3% 尿素溶液，而后按设计量注入清水。
水溶胶+吸水材料	沙层装填高度 70cm，在 0~20cm 深度范围内混入吸水材料，加入量分别为 0.70g/管、0.88g/管和 1.06g/管。在 0~20cm 注入含 0.25% 聚合物的水溶胶。各试验管中分别注入 1L 3% 的尿素溶液，而后按设计量注入清水。
含 CaSO ₄ 的水溶胶+吸水材料	沙层装填高度、处理深度、吸水材料用量和方法同上，在等量清水中加入 0.03g% 的 CaSO ₄ 后，再加入 0.25% 的聚合物，按设计液体量注入。各试验管中分别注入 1L 3% 的尿素溶液，而后按设计量注入清水。

注：①装填方法同于表 2-2，0~70cm 均为模拟沙层；②在等量清水条件下，分别加入不同量的吸水材料，待其充分吸水后，同未被吸水材料吸附的清水一同施入 0~20cm 沙层；③第 1 次清水的注入量 10L/管，其后每隔 3 天注入液体 4.5L/管，累计用水量为 23.5L；④第三次注入清水后，待单纯吸水材料处理沙管的干沙层深度，达到 4cm~5cm 左右时，取样测定速效氮含量。

3.3 结果与分析

3.3.1 沙层以下为粘土条件下提高速效氮含量的试验结果与分析

线性高分子聚合物在不同处理条件下，与对照组在沙层中速效氮的含量变化趋势，见图 3-1。

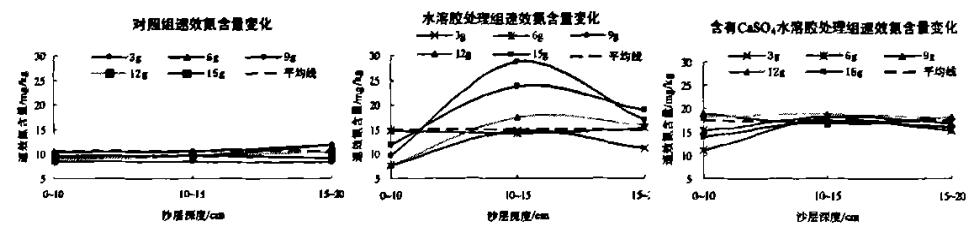


图 3-1 不同处理的速效氮含量

从图 3-1 中看出，①对照组沙层中速效氮的含量，并不随尿素施入量的增加而增加，每试验管尿素加入量由 3g/管，分 5 个水平增加至 15g/管，但其相互间无明显差距；②对照组沙层中速效氮的含量，随深度变化呈明显的一致性，说明尿素具有较强的随水扩散性；③在 0~20cm 范围，三种方式不同尿素量处理的平均线不同，对照组平均值为 9.8mg/kg、水溶胶处理的平均值为 15.0mg/kg、水溶胶中含 CaSO₄ 处理的平均值为 16.8mg/kg，说明了沙层中分散的水溶胶起到了吸附随水入渗速效氮的效果。沙层中胶体量低，对速效氮的吸附量小，增加沙层中的高分子有机胶体含量，是提高沙层新增固定态铵的有效措施。速效氮含量平均

线的高度差,反映出不同处理下,线性高分子聚合物在 0~20cm 沙层中分布量的差别;④两种水溶胶处理的变化趋势不同,水溶胶处理呈开口向下的曲线,在 10~15cm 深度出现峰值。而水溶胶中含 CaSO_4 的处理呈现先升后平的变化趋势。分析其原因是,因为清水中加入 CaSO_4 后,使两种处理的高分子聚合物线性分子结构发生了改变,所以在沙层中的分布出现了差异,导致了沙层中速效氮含量的不同。

通过上述方法说明,虽然三种处理方法相互间有较为明显差异,但不同处理组自身具有较为明显的一致性,其显著的特点是沙层中速效氮含量不随尿素施入量的递增而变化,但速效氮含量的高低,与沙层中有机高分子胶体含量和分布状态有明显关系。

3.3.2 完全沙层条件下提高速效氮含量的试验结果与分析

不同尿素水平在不同处理条件下,速效氮含量的变化趋势,见图 3-2。

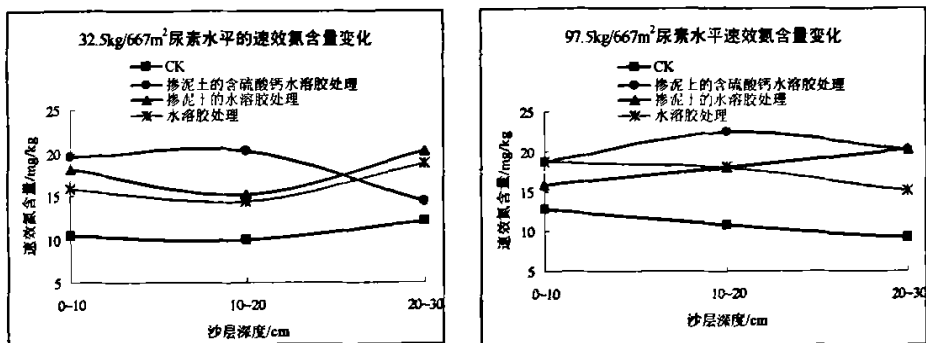


图 3-2 不同尿素水平在不同条件下的速效氮含量

从图 3-2 中可以看出,①与图 3-1 相似,在胶体和有机质含量低的条件下,沙层中的速效氮含量不随施入尿素量的增加而增加;②三种施入水溶胶处理的沙层中速效氮含量明显高于 CK;③在不同尿素施入量的条件下,CK 随深度变化呈近似直线趋势,而施入水溶胶的处理,有随深度变化的差异特征;④从表 2-9 的测定结果得出,0~20cm 沙层掺粘土+水溶胶处理的含水量明显高于单纯水溶胶处理,但二者的速效氮含量无明显差异。只是在尿素水平较低条件下,沙层掺粘土+水溶胶处理的速效氮含量略高于单纯水溶胶处理,说明增加沙层中的粘土量不仅有利于发挥高分子水溶胶的吸(保)水作用,而且有利于提高设定沙层中的速效氮含量;⑤各处理方法中,在清水中加入 CaSO_4 后,再加线性高分子聚合物的处理方法,速效氮含量随深度变化的趋势最为明显。同时该处理方法的速效氮

分布，与沙层中高含水层及作物根系富集层的深度吻合性最好。

3.3.3 不同处理条件下沙层含水量、速效氮含量与作物根系的分布

表 3-5 不同处理不同深度上的含水量 速效氮含量与根系分布的对应分析

沙层厚度 /cm	根系分布 /g	速效氮含量/mg/kg			含水量/%		
		加 CaSO ₄ 的水 溶胶处理	单纯水溶胶	CK	加 CaSO ₄ 的水 溶胶处理	单纯水溶胶	CK
0~5	17.07	19.5	15.8	12.8	2.85	1.00	1.82
5~10	23.83				5.92	3.70	4.12
10~15	20.70				6.52	4.69	5.27
15~20	10.59	20.2	14.3	10.7	6.18	5.29	5.54
20~25	8.36	14.4	18.7	9.2	5.26	5.84	5.56
25~30	5.56				5.47	5.56	5.43

对表 3-5 的进一步分析，得出表 3-6。

表 3-6 预设深度内加 CaSO₄的水溶胶与单纯水溶胶和 CK 的比较

沙层厚度 /cm	加 CaSO ₄ 水溶胶的 速效氮多出/mg/kg		相比了增加/%		加 CaSO ₄ 水溶胶的 绝对含水量多出/%		相比了增加/%	
	比单纯 水溶胶	比 CK	比单纯 水溶胶	比 CK	比单纯 水溶胶	比 CK	比单纯 水溶胶	比 CK
0~5	3.7	6.7	23.4	52.3	1.85	1.03	185.0	56.6
5~10					2.22	1.80	60.0	43.7
10~15	5.9	9.5	41.3	88.8	1.83	1.25	39.0	23.7
15~20					0.89	0.64	16.8	11.6

从表 3-5 和表 3-6 中看出，①CK 在根系密集的 0~20cm 沙层中的含水量低、速效氮含量仅略高于平均值，其分布状态不利于作物根系对水分和速效氮的吸收利用；②单纯水溶胶处理在其范围内的速效氮含量虽然高于 CK，但沙层中的含水量过低，不利于作物对养分的吸收；③单纯水溶胶处理在三个测定深度中，以 20~30cm 深度范围的速效氮含量最高，说明施入水溶胶后的清水灌注，使水溶胶富集层有压缩或下移现象；④加 CaSO₄水溶胶处理在预设的 0~20cm 沙层中的速效氮含量，比单纯水溶胶处理高出了 3.7mg/kg 和 5.9mg/kg，增加了 23.42% 和 41.26%。比 CK 高出了 6.7mg/kg 和 9.5mg/kg，增加了 52.34%和 88.79%。0~20cm 沙层中的绝对含水量比单纯水溶胶处理高出了 1.85、2.22、1.83 和 0.89，

增加了 185%、60.0%、39.0%和 16.8%。比 CK 高出了 1.03、1.80、1.25 和 0.64, 增加了 56.6%、43.7%、23.7 和 11.6%。

通过上述分析得出, 加 CaSO_4 水溶胶处理在预设的 0~20cm 沙层中的速效氮含量和含水量明显高于单纯水溶胶处理和 CK, 实现了沙层水分和速效氮与作物根系密集层的吻合, 达到了保持沙层水分和控制速效氮下渗的效果。

3.4 小结

(1) 用清水对线性分子结构的聚丙烯酰胺分散后, 并均匀施于沙层之中, 可以明显增加沙化地对速效氮的吸附量;

(2) 由于线性高分子材料的分子量是平均值, 其分散于清水后的水溶胶中的部分线性分子在多次灌溉后, 在其富集层有相对压缩, 或随水下移现象;

(3) 加 CaSO_4 后的水溶胶粘度有所降低, 但由于其在设定深度范围内的富集效应, 沙层中的速效氮含量较高;

(4) 加 CaSO_4 水溶胶处理, 在作物根系密集的 0~20cm 沙层中, 得到了同步提高速效氮含量和含水量目的。

第四章 马铃薯根系在沙层中的分布研究

4.1 前言

在农作物研究和栽培中,通常是以作物根系的鲜重、干重、最大长度和侧根数量,来描述根系的发育程度。但针对水分下渗强、浅表沙层水分蒸发量大、氮素持有能力差、养分淋失严重的沙化地,需要通过对根系分布更为具体和相对精准的测定,才能为提高沙化地种植效益的技术研究,提供必要的理论依据。

本项试验的研究思想是:通过对在沙化地中栽培的马铃薯的根系,进行不断、详细的分层观测和测定,弄清马铃薯根系的具体分布位置和密度,以确定高分子吸水材料的施用深度等,以便达到最好的施用效果。

试验结果表明:马铃薯的根系发育深度为 0~20cm 之间,此深度范围的鲜根重量占到鲜根总量的 86.4%。其中,以 5~15cm 深度范围的根系密度最大,占到鲜根总量的 56.9%;当马铃薯生长之显蕾期时,追施复合肥,使马铃薯的根鲜重和根干重分别多出了 74.87%和 69.35%,因此,具有增加根系生长量的作用。

4.2 试验设计和材料

4.2.1 试验方法

试验在景泰县红水镇白银市林业局刘家梁试验站进行,采取定点、定时、定生长期,在试验地实际挖沙、洗根观测,了解起根系的鲜重和干重。

4.2.2 试验材料

试验点沙化地中栽培的正常生长的马铃薯根系。

4.2.3 试验设计

根据马铃薯的生长时期,以马铃薯植株为中心,定期对其根系进行水平分层和生长深度的测定。按照根系的鲜重和干重比,找出马铃薯根系的分布情况。

4.3 测定方法

4.3.1 马铃薯根系分层测定的方法

(1) 根据马铃薯的实际种植密度,确定进行分层测定根系的位置。本试验测定根系的位置是以马铃薯植株为中心,取长 45cm、宽 33cm、高 30cm 沙柱,按每 5cm 分 6 层取样。

(2) 对取出的土样进行处理, 去除沙土和杂物, 用吸水纸吸取毛根表面水分, 用 1g% 电子天平称量根的鲜重。

(3) 对各层鲜根进行烘干处理, 并称量根的干重。

根系分层测定的操作过程, 见图 4-1~图 4-4。



图 4-1 确定测定植株及取样位置



图 4-2 确定测定高度



图 4-3 切取测定层土样



图 4-4 用水冲洗去沙、去杂

4.3.2 马铃薯根系立体分布的测定方法

由于养分在沙化地中的扩散不同于粘土质, 所以在测定马铃薯根系的分层分布之后, 对其根系立体分布的测定, 有利于对肥料品种的选择和施肥方法确定。

马铃薯根系立体分布测定的方法是:

- (1) 在同一地块选择相同株高的试验及对照样株, 并用三脚架将其固定;
- (2) 开挖相同直径和深度的排水槽;
- (3) 在不断排除排水槽泥水的条件下, 用水冲洗植株根系;
- (4) 测定马铃薯根系立体分布的真实面积。

马铃薯根系立体分布测定的过程, 见图 4-5~图 4-10



图 4-5 确定测定植株



图 4-6 用三脚架固定测定植株



图 4-7 确定排水槽位置



图 4-8 开挖后的排水槽



图 4-9 冲洗马铃薯根系

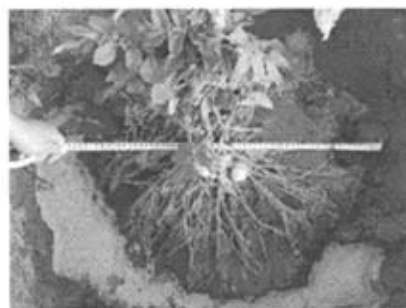


图 4-10 测量根系的分布面积

4.4 结果与分析

4.4.1 马铃薯根系随深度变化的分布

马铃薯根系在不同深度的分布变化，见表 4-1。

表 4-1 马铃薯根系在不同沙层深度的重量测定

测试植株性状(1)				测试植株性状(2)			
株高/cm	68	茎叶重/g	790	株高/cm	75	茎叶重/g	1040
深度	根鲜重/g	根干重/g	占鲜根总量%	深度	根鲜重/g	根干重/g	占鲜根总量%
0~5	9.22	1.69	15.98	0~5	17.07	2.52	19.82
5~10	18.12	2.95	31.40	5~10	23.83	3.72	27.67
10~15	17.67	3.53	30.62	10~15	20.70	3.70	24.04
15~20	6.28	1.18	10.88	15~20	10.59	1.75	12.30
20~25	3.33	0.69	5.77	20~25	8.36	1.64	9.71
25~30	3.08	0.53	5.34	25~30	5.56	0.89	6.46

从表 4-1 中看出,马铃薯根系分布的深度范围集中于 0~20cm,在其范围内鲜根重量分别占到了 88.8%和 83.83%。而 5~15cm 间是根系的主分布层,鲜根重量分别达到了 62.02%和 51.71%。

在试验地播种时,试图通过薯块深播的措施,达到根系主要分布层较深的效果,播种时的深度一般在 15~20cm 之间,但马铃薯主要根系的真实分布高于播种深度。虽然 0~5cm 深度范围,沙层温度高、失水速率高,但其鲜根的重量反而大于 15~30cm 的分层鲜根重量。

分析原因有:① 马铃薯属须根系,在特定深度层内呈一定角度的水平分布;② 尽管播种深度较深,但由于毛细根的穿透力弱,根系向下发育时,在犁底层受阻,难以向下生长;③ 虽然 15~20cm 间水分供给好于 0~5cm,但养分和氧气的供给条件相对较差,使水分供给相对较好的沙层中的根系生长量反而较小。

4.4.2 马铃薯根系的立体分布

试验植株与对照植株的根系发育对比,见图 4-11 和 4-12。



图 4-11 试验株的马铃薯根系



图 4-12 对照株的马铃薯根系

试验过程中发现，根系水平测定植株的真实分布直径均大于 60cm。在直径 85cm 以外开挖槽的外壁上，仍有被挖断的马铃薯根。如图 4-13 和 4-14 所示。



图 4-13 开挖排水槽后的试验植株



图 4-14 开挖排水槽后的对照植株

表 4-2 冲洗后的全根比较

	植株高度 /cm	植株鲜重 /g	根鲜重 /g	试验：对照 多/%	根干重 /g	试验：对照 多/%
试验	65	1085	102.58	74.87	38.34	69.35
对照	63	867	58.66		22.64	

从图 4-13~图 4-15 中明显看出，在相近株高条件下，试验植株的根系生长量明显好于对照植株。试验植株的鲜重为 1085g，鲜根重量为 102.58g；对照植株的鲜重为 867g，鲜根重量为 58.66g，经自然干燥后的全根重量分别为 38.34g 和 22.64g。试验马铃薯根的鲜重比对照高出 74.87%，干燥后的根系重量试验比对照多出了 69.35%。

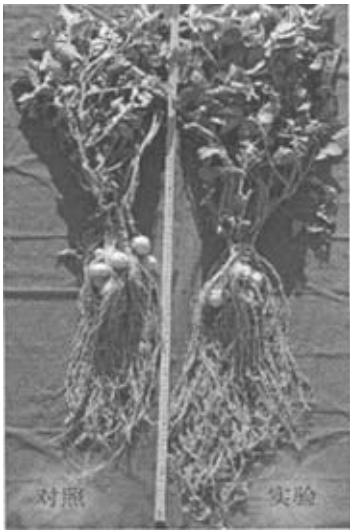


图 4-15 马铃薯根系发育程度的对比

4.5 小结

本试验定量分析马铃薯在沙层中的分布，可以得出的结论有：

(1) 沙化地条件下采用深播措施，利用了沙层深处的水分，为马铃薯的出苗和苗期生长提供了有利条件，但对主要根系发育的深度没有明显作用；

(2) 马铃薯的根系发育深度为 0~20cm 之间, 此深度范围的鲜根重量占到鲜根总量的 86.4%。其中以 5~15cm 深度范围的根系密度最大, 占到鲜根总量的 56.9%;

(3) 当马铃薯生长至初花期时, 其根系真实的分布半径达到了 40cm 左右, 其中在半径 30cm 范围内, 毛细根的密度较大;

(4) 当马铃薯生长之显蕾期时, 追施复合肥, 使马铃薯的根鲜重和根干重分别多出了 74.87%和 69.35%, 因此, 具有增加根系生长量的作用。

第五章 马铃薯在沙化地的种植试验

5.1 前言

沙化地保持水肥的能力很差,尤其在气候干热的伏季,因 0~20cm 沙层中水分蒸发量和叶面蒸腾量大,沙层含水量很难维持作物正常生长。虽然马铃薯具有耐旱和耐瘠薄特性,但为了达到较高的产量,也需要很多的水和肥。

沙化地对速效氮的吸附能力差,氮素淋失量大。更由于沙层含水量低和保持正常较高含水量的时间短,制约了对植物养分的连续供给。所以,提高沙化地对水分和速效氮的吸附量、保持 0~20cm 深度范围内的较高含水量时间,是实现沙化地高产、高效种植的关键因素。

试验目的是:针对已具备灌溉条件,但因沙层较厚,且含泥量低的沙化地,通过解决在耕作层范围内,保持沙层水分和增加对氮素的吸附量等关键问题,使这部分沙化地在较短的种植年限内,达到或接近正常农田的种植效益。

试验研究思路是:①根据前面模拟试验结果和线性结构聚丙烯酰胺具有吸附速效氮的特性,采用不同的使用方法,使聚合物在预设的空间位置形成富集,通过聚合物对随水入渗速效氮的作用,达到增加速效氮含量的效果;②用清水分散线性结构聚丙烯酰胺后形成的高分子水溶胶,施入预设沙层之中,以较少的高分子材料和简单的处理方法,解决以往聚合物用量大、沙化地改造成本高的问题;③通过固相材料与液相材料的复合、有机高分子材料与无机养分的复合、增加设计沙层中的水分量与施入养分量的耦合、养分施入量和施入时间与作物生长需肥时间的耦合,以实现当季作物达到较高产量和获得较高种植效益的目的。

试验结果表明:在沙层含泥量低、水分和速效氮吸附能力差的条件下,经过聚合物的处理,改善了沙化地所种植作物的养分供给,马铃薯总产量超过了种植条件相对较好的沙壤土地块;当马铃薯进入膨大期时,沙层中的水分供给能力,与种植年限相对较长的沙壤土质的地块比较接近,大中薯产量相当。

5.2 试验地条件

5.2.1 试验区概况

试验区位于腾格里沙漠西南缘的景泰县红水镇,为白银市林业局试验林场,距腾格里沙漠直线 3km。试验点内即有经过 16 年种植改造的沙壤土,又有未曾耕种过的沙化地,且沙层厚度相差悬殊,试验地条件有利于试验内容的多元化。试验面积 2100m²,全部为可灌溉沙化地。试验区地块的沙层厚度为 30~75cm。

5.2.2 沙化地的特殊性

经过多次深入现场调研和实践,认为沙化地有其特殊性:

(1)产生沙化地的原因是来自沙漠的吹沙,而沙层以下为粘土质土壤(土壤容重 $1.44/\text{cm}^3$)。现场实际测定结果表面,当灌溉水量使沙层以下的粘土层超过最大持水量后,粘土以上 $10\sim 15\text{cm}$ 沙层中的含水量,超过了沙层的真实持水能力,可达到 8.2% 左右。

(2)沙层的田间持水量低(试验地持水量为 6.45%),以 60cm 沙层厚度为例,沙层对水的吸附量仅有 $38\text{m}^3/667\text{m}^2$,而实际浇水量达到了 $150\text{m}^3/667\text{m}^2$,大量灌溉水下渗至作物无法利用的较深粘土层。

(3)由于地表蒸发量大,地表向下 15cm 层段沙层的失水速率高。在气温很高的夏季,灌水后 15 天左右,作物即出现水分亏缺症状。

(4)在现有技术条件下,可用于耕作沙化地的沙层厚度一般小于 30cm ,可种植玉米和马铃薯。当沙层深度超过 40cm ,作物在生长过程中,主要根系难以与土层接触,造成减产甚至绝产。

(5)因沙化地的水分下渗快、扩散体积量大,易于随水分扩散的氮素淋失严重;新开垦沙地中由于有机质含量低、土壤胶体贫瘠,沙层不能对随水施入的氮素进行有效吸附(试验沙地对速效氮的吸附量仅有 10mg/kg 左右)。

5.2.3 试验地的基础养分状况

不同种植年限的沙地,其基础养分状况明显不同。当地沙化地的有机质含量为 0.7% ,全磷为 0.039% ,全钾 2.62% ,水解氮 24mg/kg ,速效磷 21mg/kg ,速效钾 55mg/kg ,pH 值 8.6 ,全盐含量 0.0365% 。试验地块的种植年限为 $1\sim 3$ 年,部分地块的种植年限为 $7\sim 9$ 年。不同种植年限沙化粒度分布的测定结果,见表 5-1;不同种植年限沙地中泥沙含量分析,见图 5-1;试验地沙层持水能力的测定结果,见表 5-2;相同沙层深度不同种植年限沙化地浇水后 48h 时的含水量测定,见表 5-3。

表 5-1 不同种植年限沙地沙层粒度分布的测定结果

种植年限 /年	粒径 (mm)						
	>5.0	$5.0\sim 3.0$	$3.0\sim 2.0$	$2.0\sim 1.0$	$1.0\sim 0.5$	$0.5\sim 0.25$	<0.25
9	0.10	0.08	0.16	0.04	0.24	5.40	93.98
7	0.14	0.11	0.37	0.09	0.45	11.92	86.92
3	8.08	1.13	2.57	0.26	1.32	6.07	80.57
1	12.51	1.78	4.00	0.32	2.55	6.64	72.21

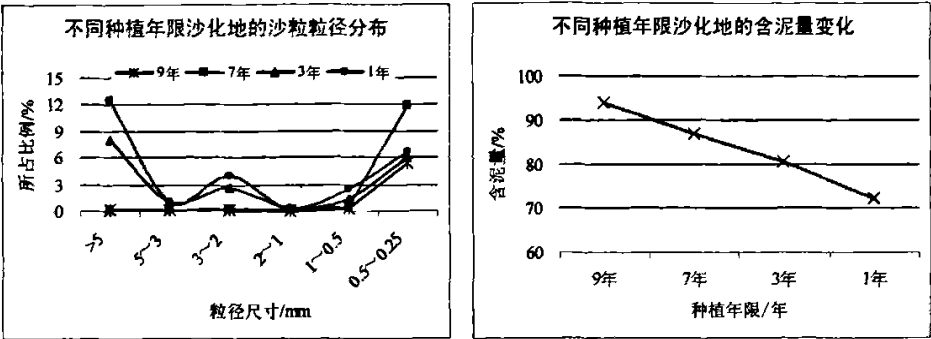


图 5-1 不同种植年限沙地泥沙含量的分析

表 5-2 试验地沙层持水能力的测定结果/%

取样深度/cm	重复			平均持水能力
	I	II	III	
10~40	6.76	6.31	6.29	6.45

表 5-3 相同沙层深度不同种植年限沙化地浇水后 48h 时的含水量测定

沙层厚度/cm	重复 A1				重复 A2				相差/%
	I	II	III	平均	I	II	III	平均	
10~20 B1	6.73	6.48	6.10	6.44	4.91	4.88	4.73	4.84	26.0
20~30 B2	8.06	8.17	7.76	8.00	4.25	4.44	4.19	4.29	80.8
30~40 B3	8.78	8.68	8.45	8.64	5.94	5.69	5.93	5.85	44.4
40~50 B4	8.63	8.60	8.40	8.54	6.88	6.83	6.69	6.80	23.5

表 5-4 不同种植年限沙化地浇水后 48h 含水量 方差分析表

变异来源	平方和	自由度	均 方	F 值	显著水平
A 因素间	36.2112	1	36.2112	24.893	0.0155
B 因素间	16.0429	3	5.3476	3.676	0.1567
AxB	4.3641	3	1.4547	47.302	0
误 差	0.4921	16	0.0308		
总变异	57.1102	23			

表 5-5 不同种植年限沙化地浇水后 48h 含水量 A 因素 SSR 检验

处理	均值	5%显著水平	1%极显著水平
A1	7.90333	a	A
A2	5.44667	b	B

表 5-6 不同种植年限沙化地浇水后 48h 含水量 B 因素 SSR 检验

处理	均值	5%显著水平	1%极显著水平
B4	7.67167	a	A
B3	7.245	b	B
B2	6.145	c	C
B1	5.63833	d	D

表 5-7 不同种植年限沙化地浇水后 48h 含水量 AB 各个组合 SSR 检验

处理	均值	5%显著水平	1%极显著水平
A1B3	8.63667	a	A
A1B4	8.54333	a	A
A1B2	7.99667	b	B
A2B4	6.8	c	C
A1B1	6.43667	d	C
A2B3	5.85333	e	D
A2B1	4.84	f	E
A2B2	4.29333	g	F

从表 5-1 和图 5-1 中明显看出,因种植年限的延长,黄河水累计灌溉量的增多,随灌溉水进入沙地的泥量逐渐增加。在 0~20cm 深度范围,因灌溉黄河水,每年沙地中的含泥量可增加 2.5%左右。在种植年限短的沙化地中,较大粒径的沙粒明显多于种植年限较长的沙地,而种植年限较长的沙地中大于 1~0.5mm 的沙粒含量较低。

从表 5-2~表 5-7 可以看出:当年新开试验地的持水能力很低,仅有 6.45%。在不同种植年限、沙层厚度和灌溉水量相同条件下(测定时间为 4 月 20 日),72h 时取样,测定分层含水量的结果差异明显。在 10~20cm 深度范围内,种植 7 年的沙化地,比当年种植沙化地的含水量高出了 26.0%;在 20~30cm 沙层深度范围内的含水量,高出了 80.8%。说明多年连续灌溉黄河水,是改善沙化地种植条件的有效方法,同时说明,提高开发年限较短沙化地的种植效益的重要性。

5.3 试验地设计和处理方法

5.3.1 试验地的设计

(1) 根据试验地的具体条件，分为衬底和不衬底两种处理方式。沙土层厚度小于 40cm 地块不衬底，采用正常种植模式，当马铃薯进入施肥最大效益期时追补复合养分。试验方法及面积，见表 5-8；试验地的地貌及平整情况，见图 5-2 和图 5-3。

表 5-8 改变沙层水分分布试验的处理方法

序号	处理方法	试验面积/m ²
1	沙化地表面向下松弛 10cm→淋洒水溶胶→常规灌溉	520
2	去地表沙 10cm→向下松弛沙层 10cm→淋洒水溶胶→回填表层沙→常规灌溉	520
3	于地表向下深度 10cm 松弛沙层 10cm 后，淋洒含氮水溶胶，待水溶胶完全入渗后夯实→回填表层沙→常规灌溉	540
4	常规灌溉等量水	520

- (2) 线性高分子聚合物的处理方法：
- ① 衬底液体为加入 0.25%线性结构聚丙烯酰胺水溶胶。
 - ② 水溶胶的配制方法是：在搅拌条件下缓慢加入聚合物，聚合物加入完毕后，放置时间不少于 30min，期间进行间隙搅拌。
 - ③ 阻渗层深度分别为距地表 0cm、10cm 和 25cm，每次开挖跨度为 2m 左右。
 - ④ 在耙松后的土层面上均匀撒施水溶胶。
 - ⑤ 用密齿窄耙耙松撒施水溶胶的沙层，其深度大于 10cm；再次均匀撒施溶胶，待水溶胶润湿于沙土后，压实被水溶胶润湿的沙土层。
 - ⑥ 回填表层沙土，并逐次开挖处理。



图 5-2 实验地初始地貌



图 5-3 实验地的平整

5.3.2 试验地的种植

(1) 种植作物的选择

近年来,景泰县大力推广“沙漠洋芋”。但是由于沙化地的特性,农民种植马铃薯的产量和效益较低。因此,我们首先选择了马铃薯作为沙化地的供试作物。

马铃薯品种选用宁夏西吉县良种繁殖场选育的“宁薯4号”,其性状是:开花时株高80~90cm,株型直立,分枝多,茎红褐色,叶深绿色,营养生长旺盛,花冠蓝紫色,块茎白皮淡黄色肉。选用原因是该品种茎叶抗花叶、卷叶病毒,较抗马铃薯的晚疫病和环腐病,耐旱、耐瘠薄、生育期长(120天左右)、淀粉含量高(16%左右)。原产地一般产量1500kg/667m²,高产时可达2500kg/667m²。

而中、早熟的“克星6号”等马铃薯,进入显蕾期后对水肥供给的要求较高,而沙化地水分的蒸发量和下渗量大,马铃薯根系分布的沙层中(深度0~20cm沙层)失水、失氮问题突出,制约了马铃薯的正常发育,其表征为小薯个数多,大中薯少、商品马铃薯产量和经济效益较低。

(2) 种植方法

种植方法为平栽,施化肥量与当地农民相同,为:70kg/667m²,其中尿素10kg、普通过磷酸钙40kg、含量33%的硫酸钾20kg。行距45cm、株距33cm,种植密度约为4500株/667m²,保苗数约为4000株/667m²。栽培管理也与当地农民相同。

马铃薯的播种过程,见图5-4至图5-7。



图 5-4 播种前的地块

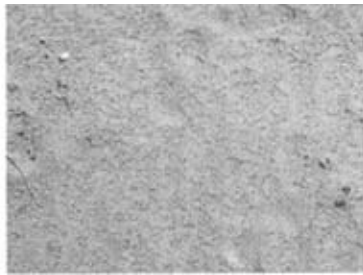


图 5-5 均匀撒施的化肥



图 5-6 播种马铃薯

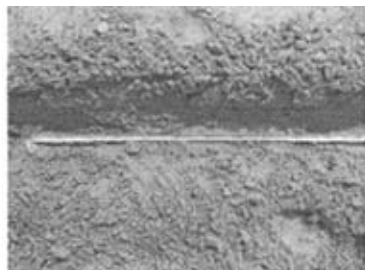


图 5-7 马铃薯播种密度

5.4 马铃薯播种后的生长过程分析

(1) 不同地块马铃薯的苗期长势。试验地的播种时间为 5 月 1 日, 马铃薯播种后的 25~40 天之间出苗。5 月 24 日时的薯苗生长状态比较, 见图 5-8 和 5-9; 6 月 4 日时, 不同地块马铃薯植株生长状态, 见图 5-10 和图 5-11。



图 5-8 土质好地块的薯苗状态



图 5-9 沙层厚度>30cm 地块的薯苗状态



图 5-10 土质好地块的植株状态



图 5-11 沙层厚度>30cm 地块的植株状态

从图 5~8 至图 5~11 中看出, ①所选择的种植品种“宁薯 4 号”在两种不同的试验地条件下, 马铃薯的出苗率接近; ②沙化地薯苗的营养生长明显弱于土地, 且随出苗后时间的延长, 其差距增大。

(2) 追施复合肥对马铃薯营养生长的影响。追施复合养分后 15 天, 土质较好地块追施处理前后的对比, 见图 5-12 和图 5-13。



图 5-12 土质较好地块追施前状态



图 5-13 土质较好地块追施后状态

从图 5-12 和图 5-13 的比较中看出,在马铃薯施肥最大效益期时追施复合养分后,起到了养分平衡供给的作用,土质好地块马铃薯营养生长的速度明显加快。



图 5-14 沙化地追施前的植株状态



图 5-15 沙化地追施后的生长变化

从图 5-14 和图 5-16 的比较中看出,对于沙化地的马铃薯,追施复合养分后不仅有加快生长速度的作用,而且追施后 15 天左右,马铃薯茎叶对地面形成了覆盖,具有降低沙地温度和减少水分蒸发保持沙层水分的作用。

6 月 30 日 14 时,流动空气温度为 31℃,试验地中被叶面覆盖与未被覆盖沙地分层温度的测定结果,见表 5-9;沙层含水量的测定结果,见表 5-10 和图 5-16。

表 5-9 叶面下与裸晒地在不同深度的温度测定

叶面下不同深度的温度		裸露沙地不同深度的温度	
深度/cm	温度/℃	深度/cm	温度/℃
0	35	0	55
5	25	5	37
15	81	15	29
25	16	25	25

从表 5-9 中可以看出,被叶面覆盖与未被覆盖沙地的分层温度相差很大,未被茎叶覆盖沙地的分层温度已超出马铃薯正常生长的温度,而被茎叶覆盖下的沙层温度属马铃薯所能适应的温度范围。

表 5-10 叶面下与裸露沙地在不同深度的含水量测定

叶面下的沙层含水量/% A1				裸露沙地的沙层含水量/% A2			
深度/cm	重复 1	重复 2	平均值	深度/cm	重复 1	重复 2	平均值
0~5 B1	0.62	0.73	0.66	0~5	0.24	0.24	0.24
5~10 B2	1.29	2.31	1.63	5~10	0.63	0.63	0.63
10~15 B3	2.55	4.08	3.06	10~15	1.24	1.24	1.24
15~20 B4	3.18	4.52	3.62	15~20	2.54	2.54	2.54
20~25 B5	3.90	3.98	3.92	20~25	3.39	3.39	3.39
25~30 B6	4.44	4.05	4.31	25~30	4.33	4.33	4.33

表 5-11 叶面下与裸露沙地在不同深度的含水量 方差分析表

变异来源	平方和	自由度	均 方	F 值	显著水平
A 因素间	4. 9595	1	4. 9595	8. 463	0. 0334
B 因素间	43. 6254	5	8. 7251	14. 889	0. 005
AxB	2. 9301	5	0. 586	2. 63	0. 0789
误 差	2. 6737	12	0. 2228		
总变异	54. 1888	23			

表 5-12 叶面下与裸露沙地在不同深度的含水量 A 因素 SSR 检验

处理	均值	5%显著水平	1%极显著水平
A1	2. 97083	a	A
A2	2. 06167	b	B

表 5-13 叶面下与裸露沙地在不同深度的含水量 B 因素 SSR 检验

处理	均值	5%显著水平	1%极显著水平
B6	4. 2875	a	A
B5	3. 665	ab	AB
B4	3. 195	b	BC
B3	2. 2775	c	C
B2	1. 215	d	D
B1	0. 4575	e	D

表 5-14 叶面下与裸露沙地在不同深度的含水量 AB 各个组合 SSR 检验

处理	均值	5%显著水平	1%极显著水平
A2B6	4. 33	a	A
A1B6	4. 245	a	A
A1B5	3. 94	a	AB
A1B4	3. 85	a	AB
A2B5	3. 39	ab	AB
A1B3	3. 315	ab	AB
A2B4	2. 54	bc	BC
A1B2	1. 8	cd	CD
A2B3	1. 24	de	CD
A1B1	0. 675	e	D
A2B2	0. 63	e	D
A2B1	0. 24	e	D

从表 5-10~表 5-14 的含水量测定结果和图 5-16 的沙层水分的分布分析中可以看出,在茎叶覆盖下的 0~25cm 深度范围内的沙层含水量高于裸露沙地的沙层含水量,且高出的水分层与根系的分布吻合。

说明沙化地在进入高温干燥期之前,采用促进马铃薯营养生长的技术措施,通过增加茎叶量降低了沙层温度,减少了水分的蒸发,为维持马铃薯在自然条件较差时间段的正常生长,起到了重要作用。

(3) 处理使沙地中速效氮含量产生了差距。追施复合养分后 20 天、并经一次 150t/667m² 水量的灌溉后,在植株两侧 10cm 位置分别采集土样,进行速效氮含量的对比分析,速效氮含量的测定结果,见表 5-15。

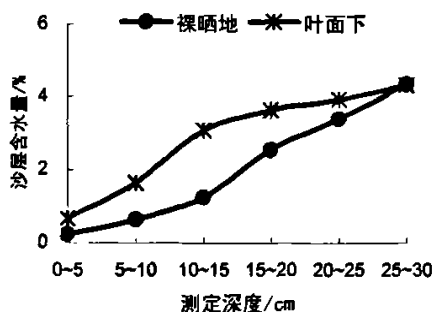


图 5-16 沙层含水量的对比

表 5-15 追施复合肥后沙层中速效氮含量的结果

20cm 处理地块			10cm 处理地块		
采样部位	沙层深度/cm	速效氮含量/mg/kg	采样部位	沙层深度/cm	速效氮含量/mg/kg
靠近追施 部位	0~10	37.8	靠近追施 部位	0~10	26.8
	10~20	15.1		10~20	21.0
	20~30	14.3		20~30	45.9
对照部位	0~10	15.8	对照部位	0~10	21.0
	10~20	14.3		10~20	12.1
	20~30	14.4		20~30	10.7

从表 5-15 中可以看出,用线性结构聚丙烯酰胺处理后,可使速效氮在设定位置形成明显的相对富集。①20cm 处理地块 0~20cm 深度范围内的速效氮的平均含量是 26.45mg/kg,而仅隔 20cm 的植株另一侧的速效含量是 15.05 mg/kg,速效氮含量增加了 75.8%。对照部位及施肥位置的 20~30cm 深度范围内,速效氮的含量在 14.3 mg/kg 以上,超过了试验地沙层的速效氮的吸附量,说明线性结构聚丙烯酰胺的处理层,达到了增加沙层速效氮含量的效果;②10cm 处理地块 0~20cm 深度范围内的速效氮的平均含量是 23.9mg/kg,另一侧的速效含量是 16.6 mg/kg,速效氮含量增加了 44.4%。施肥位置 20~30cm 深度范围内的速效

氮含量高达 45.9mg/kg, 表明水溶性聚合物有随水下移现象。对照位置 0~10cm 深度范围内的速效氮含量较高, 是随灌溉水施用的碳酸氢铵未完成随水扩散造成的, 而 10~30cm 深度范围的速效氮含量仅有 12.1mg/kg 和 10.7mg/kg, 说明此测定值是试验区沙化地对速效氮的实际吸附能力。

对田间试验速效氮含量的分析, 是线性聚丙烯酰胺对沙层中速效氮吸附作用模拟试验的进一步验证。测定结果证明, 大田试验与模拟试验的速效氮分布趋势相同, 即在对速效氮吸附能力差的沙化地中, 线性聚丙烯酰胺有明显增加沙层吸附速效氮的作用; 所增加速效氮的量与线性聚丙烯酰胺在取样点的量成正比; 较高速效氮含量的空间位置, 与较高线性聚丙烯酰胺量的空间位置相吻合。

5.5 马铃薯产量测定结果与分析

2007 年 9 月 23 日, 在甘肃省科技厅成果处领导现场监督下, 由甘肃农业大学、甘肃条农集团、白银市农科所、白银市农技中心及白银市技术开发服务中心等单位的农业专家组成测产专家组, 对不同试验地块进行了马铃薯产量的测产。

(1) 马铃薯产量的测定方法。采取每地块 5 小区取样方法进行。

(2) 马铃薯产量的测定结果与分析。不同地块条件及不同处理方法的马铃薯处理测定结果, 见表 5-16; 沙化地种植年限与马铃薯产量的比较, 见图 5-17; 不同种植年限的马铃薯大薯产量比较, 见图 5-18。

表 5-16 马铃薯产量的测定结果

序号	测定地块条件与处理方法	折合产量/kg/667m ²	
		总产	大薯
1	沙壤土质、种植年限>16 年, 浇水后板结层厚度>8cm, 追施缓释处理液态肥	3436.8	3016.9
3	沙壤土质、种植年限 7<年, 表层未板结, 沙土层厚度 20~30cm, 追施缓释处理液态肥	2543.5	1873.4
5	沙化地、种植年限 3 年, 连续 3 年使用聚合物, 沙土层厚度 45~60cm, 追施缓释处理液态肥	3066.1	1874.2
6	沙化地、种植年限 3 年, 连续 3 年使用聚合物, 沙土层厚度 45~70cm, 20~30cm 深度用水溶胶处理, 追施缓释处理液态肥	2963.1	1532.2
7	沙厚 30~45cm, 种植年限>7 年, 追施缓释处理液态肥	2593.6	1622.6
8~1	当年种植, 沙层厚度 50~70cm, 10~20cm 深度用含氮水溶胶处理、追施缓释处理液态肥	2134.1	1026.6
8~2	当年种植, 沙层厚度 40~60cm, 10~20cm 处理用含氮水溶胶处理、未追施液态肥	1963.0	629.7

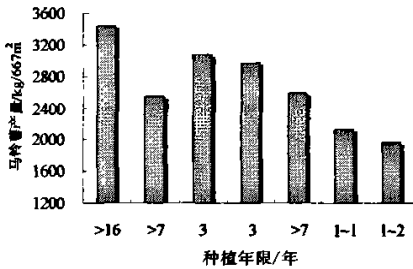


图 5-17 不同种植年限的马铃薯产量比较

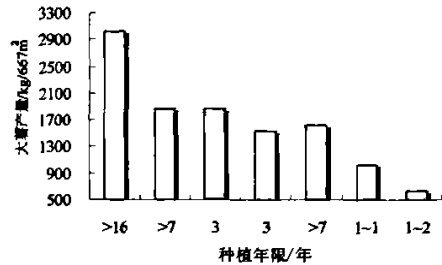


图 5-18 不同种植年限的大薯产量比较

在表 5-16、图 5-17 和图 5-18 中看出，沙化地的种植年限与马铃薯产量和大中薯产量有明显的相关性，由于种植年限长的沙化地中粘土量大而改变了土质特性，此类型地对水分养分的保持能力显著好于沙化地，种植年限对于 16 年地块的马铃薯测产产量达到了 3436.8kg，其中大中薯产量为 3016.9kg；随种植年限的减少，不同沙层厚度沙化地的马铃薯产量下降，种植年限>7 年地块沙层厚度 20~30cm 及 30~45cm 地块，马铃薯测产的产量为 2543.5 和 2593.6kg，其中大中薯产量为 1873.4 和 1622.6kg。两测产地块的总产量差 50.1kg，仅相差 1.93%，而沙层厚度 20~30cm 地块的大中薯产量比 30~45cm 地块多出了 250.8kg，高出 15.46%，说明当马铃薯生长进入膨大期时，沙层较深地块的水分的保持能力相对较差，影响到了马铃薯的快速膨大。

在沙化地常规种植条件下，决定马铃薯总产量和大中薯产量的主要因素是该地块的种植年限和沙层厚度。灌溉黄河水所携带泥土的累计效果改变了沙地的结构，逐渐使沙化地变成了沙壤土质；而沙层之下的粘土层，经充分吸附水分后，所提高的粘土层之上 10cm 范围含水量的作用，对大中薯的产量形成起到了重要作用。沙层厚度<30cm 时，粘土层之上 10cm 范围的水分可以被作物吸收利用，当沙层厚度>45cm 后，粘土层之上所增加的沙层水分，作物根系难以吸收利用。因此认为，影响沙化地马铃薯大中薯产量的主要原因是：马铃薯进入膨大期后，沙层中水分的平衡供给。

种植年限 3 年、沙厚 45~60cm 的两测产地块，因采用了聚合物的处理，马铃薯测产的产量为 3066.1 和 2963.1kg，其中大中薯产量为 1874.2 和 1532.2 kg。计算分析得出，在沙层厚度 40~70cm 范围、相等种植年限、聚合物处理方法相同条件下，沙层较浅地块马铃薯产量比较深地块多 103.0kg/667m²，高出 3.48%，而大中薯产量则多了 342.0kg/667m²，高出 22.32%，沙层厚度对马铃薯产量和大薯产量的影响与相等种植年限沙化地的趋势相同。

对不同种植年限、沙层厚度接近地块的测产结果分析看出,由于采用了聚合物的处理,在 0~30cm 沙层中含泥量相差 6.35%、浇水后 48h 时,沙层含水量 10~20cm 相差 26.0%、20~30cm 相差 80.8%的沙化地,马铃薯产量比种植年限>7 年的沙壤土地块多 522kg,高出了 17.05%;而大中薯产量基本相同,仅差了 0.8kg。

试验结果证明:在沙层含泥量低、水分和速效氮吸附能力差的条件下,经过聚合物的处理,改善了沙化地所种植作物的养分供给,马铃薯总产量超过了种植条件相对较好的沙壤土地块;当马铃薯进入膨大期时,沙层中的水分供给能力,与种植年限相对较长的沙壤土质的地块比较接近,大中薯产量相当。

5.6 马铃薯沙化地种植模式

5.6.1 播种

(1) 选用良种:选用品种是沙化地马铃薯栽培的基础。要选用中晚熟、属于生育期长、抗晚疫病的优良品种,如“宁薯 4 号”等。

(2) 种薯切块:要求种薯不小于 50g。每个切块重量不低于 20~25g,带有 1~2 个芽眼。切块后切块后用草木灰拌种,温度保持在 17~18℃,相对湿度保持在 80~85%,以使切口尽快愈合,并要在 3~5 天内播种。

(3) 整地施肥:沙化地土壤结构性差,水分蒸发量大,保水、保肥力差,播种前应及早平整土地,要求有机肥料、磷肥、钾肥全部做底肥,氮素肥料 2/3 用作底肥,余下的 1/3 用作追肥。一般情况下在 667m² 范围内施用腐熟有机肥料 4000~5000kg、磷酸氢二铵 50kg、尿素 20kg、硫酸钾 40kg。

(4) 适期播种:

沙化地马铃薯的种植时间宜迟不宜早,但过迟又有遭受霜冻的风险。4 月下旬至 5 月上旬播种,前期温度高,有利于发芽、出苗和茎叶生长加快,而块茎形成膨大期的 8—9 月,温度低于 22℃,有利于块茎生长。

(5) 播种密度:沙化地不易起垄,采取大田深犁平播的方式较佳。每 667m² 种植 4000~4200 株为宜。

5.6.2 田间管理

(1) 播种后 20~30 天左右,即可出苗。

(2) 肥水管理:发芽期保持土壤疏松透气,出苗前一般不浇水。齐苗后要早追肥,早浇水,若发现薯苗黄弱,就应追施速效氮肥,施肥后盖土,浇水。初花期和盛花期喷施磷酸二氢钾、微肥和膨大素 2~3 遍。现蕾期和膨大期是决定马铃薯产量的关键时期,应保持土壤湿润。现蕾期不宜大水漫灌,花蕾应及时摘

除。

(3) 马铃薯显蕾期追施缓释处理液态复合肥技术

在马铃薯显蕾期,依据每生产 1000kg 薯块,大约需要从土壤中吸收养分量,并结合当地的土壤质地,以每生产 1000kg 量级所需 N: 5kg、P2O5: 2kg、K2O:12kg 的比例,液体量按 2000L/667m²,线性高分子聚合物以 0.3‰浓度,按 2000kg/667m² 的养分量级配制缓释处理液态复合肥,补施时间于马铃薯块茎膨大初期,追施部位在近根部。

(4) 化学控制:若发现植株有徒长趋势,就应喷施 50~100ml/L 多效唑(pp333)溶液。在发棵期和现蕾期喷施,既可抑制植株徒长又可促进块茎膨大。

(5) 病虫草害防治:早熟马铃薯生长期间一般病虫害较少,应采取预防为主,结合防治的植保方针,预防晚疫病等病害的发生,选用无公害农药,生产绿色食品。

5.6.3 收获

收获时要选在晴天,避免雨天,收获中一要避免大量损伤块茎,也不可损伤表皮;二要收获彻底,不能将块茎大量遗漏在地中。收获应视市场需求,一般 10 月初即可收获。

第六章 讨论与结论

沙化地由于其固有的特殊性,保持水肥的能力很差,尤其在气候干热的伏季,因0~20cm沙层中水分蒸发量和叶面蒸腾量大,沙层含水量很难维持作物正常生长。沙化地对速效氮的吸附能力差,氮素淋失量大。更由于沙层含水量低和保持正常较高含水量的时间短,制约了对植物养分的连续供给。所以,提高沙化地对水分和速效氮的吸附量、保持0~20cm深度范围内的较高含水量的时间,是实现沙化地高产、高效种植的关键因素。

鉴于此,本文在查阅资料和现场调查的基础上,对沙化地的现状、研究目的和意义等研究背景进行了叙述,对沙化地治理国内外研究概况进行了介绍,并在此基础上,对研究的思路、内容与技术路线等进行了描述。

在后面的章节中,又模拟了提高沙层含水量、速效氮含量和马铃薯根系在沙层中的分布研究,进而又进行了马铃薯在沙化地的种植试验,并在对试验结果进行了分析与讨论的基础上,总结了马铃薯在沙化地的初步种植模式。

6.1 讨论

(1) 土地的不断地荒漠化和沙化,已经给世界农业生产造成严重影响,对沙地土壤的改良和合理利用,多年来一直是区域环境整治和农业发展的重要研内容。鉴于此,国内外学者争相开展了沙漠治理和沙化地条件下的作物栽培问题,但截至目前成效不大,导致荒漠化的诱因还没有消除,荒漠化地区经济社会发展缓慢与该地区群众对经济利益和物质文化需求快速增长之间的矛盾仍然尖锐。

(2) 以往进行的沙质土壤的改良试验研究,是以大量的有机物质投入为基础,所选用的有机物土壤改良剂主要来源于农作物秸秆、厩肥和绿肥等。通过有机物质的增加来提高土壤的持水性能,促进团粒结构的形成,达到改善土壤物理性状、提高土壤保蓄养分的能力、提高抗风蚀能力的目的。

(3) 而对于高分子吸水材料的农业利用,尚处于一种较小的应用范围或处于研究试用阶段,这些仅有的试验研究,大多停留在干法使用上,对于液化(水溶胶)使用的研究,在国内还没有见到相关报道。由于缺乏可借鉴的经验,因此,本项研究从构想、方案设计、技术措施等方面均存在不足之处,对相关因素考虑的还不全面,一些试验结果仅为初步结论;对于液化后施入土壤深层的高分子吸水材料的下渗、分解等问题,由于时间关系,还没有进行系统的研究。

(4) 在大田试验中,存在参试作物单一的问题;又由于大田试验不同于室内试验,所设置的对比方案不可能达到完全一致的条件(如:试验区的大田中无

一沙层厚度均匀的地块), 对试验结果也存在不同程度的影响。

6.2 结论

(1) 经过室内外试验, 发现高分子吸水材料的吸水特性和对吸附、保持土壤水分的特性是有区别的, 以前仅以吸附去离子水量作为衡量吸水材料应用效果的方法, 不能反映吸水材料在土壤溶液环境下的实际作用规律。

(2) 提出了定位定量施用高分子吸水材料的方法, 改变了水分和养分在土壤中的扩散分布, 在作物主要根系分布的土壤中, 实现了水分和主要养分的同步富集, 实验地土壤速效氮含量比对照增加了 87.3%, 水分含量也比对照明显增加。试验结果表明, 用高分子吸水材料的水溶胶定位定量施用来改良沙化地, 是一种有潜力和推广价值的行之有效的办法。

(3) 马铃薯的根系发育深度为 0~20cm 之间, 此深度范围的鲜根重量占到鲜根总量的 86.4%。其中以 5~15cm 深度范围的根系密度最大, 占到鲜根总量的 56.9%。

(4) 高分子吸水材料在作物根系周围约束了较多的水分和养分, 促进了作物根系的发育, 使马铃薯的根鲜重和根干重分别多出了 74.87%和 69.35%。

(5) 发现了不同分子结构的高分子聚合物的很多不同之处, 如: 吸液量因去离子水和含盐分溶液的不同而不同, 分散性和均匀性的不同, 用料量和应用成本的不同等。

(6) 在沙层含泥量低、水分和速效氮吸附能力差的条件下, 经过聚合物的处理, 改善了沙化地所种植作物的养分供给, 马铃薯总产量超过了种植条件相对较好的沙壤土质地块; 当马铃薯进入膨大期时, 沙层中的水分供给能力, 与种植年限相对较长的沙壤土质的地块比较接近, 大中薯产量相当。

参考文献

- [1] 李星, 世界荒漠化现状与防治对策[J], 世界林业研究, 2000, 13(5): 1-6.
- [2] 邹志荣等, 西北荒漠化地带发展设施园艺的意义与作用[J], 华中农业大学学报, 2004 (12) (增刊): 26—28.
- [3] 郑良永, 保水剂在我国的研究应用现状与展望[J], 广西热带农业, 2005(6): 26-27.
- [4] 《2005年中国环境状况公报》.
- [5] 楚可要, 生态脆弱带沙化地流失规律研究[J], 草地生态, 2006(11): 41-43.
- [6] 徐守盛在甘肃省防沙治沙大会上的讲话, 甘肃日报, 2007-11-17, 第一版.
- [7] 韩茂莉, 论西北开发的可持续性进程[J], 北京大学学报(哲学社会科学版), 2003, 40(3): 109—116.
- [8] 王晓娟, 粘淮海等, 平原沙地不同治理利用措施下土壤性质的差异[J], 中国沙漠, 1999, 19(3): 289-292.
- [9] 段争虎, 肖洪浪等, 流沙和改良后土壤无机磷形态分级及其有效性研究[J], 中国沙漠, 2001, 21(2): 195-199.
- [10] 陈建斌等, 有机物料对土壤中外源铜形态及土壤化学性质的影响[J], 农业环境保护, 2000, 19(1): 38-40.
- [11] 傅汝文等, 糖蜜酒精废液制半有机肥料的生产实践[J], 广西轻工业, 2000(2): 33-34.
- [12] 张亚丽等, 有机肥料对土壤有机磷组分及生物有效性的影响[J], 南鹏农业大学学报, 1998, 21(3): 59-63.
- [13] 周艺敏等, 有机肥料在半干旱条件下的残留特点[J], 天津农业科学, 1997, 3(2): 5-8.
- [14] Roldan A lAlbanladejo J, Aggregate stability changes in semiarid soil after treatment with different organic amendments [J]. Arid Soil Research and Rehabilitation, 1996, 10: 139-148.
- [15] Chandrasekaran S, Yoshida T. Effect of organic acid transformation in

submerged soils on rice plants [J]. Soil Science and Plant Nutrition, 1973 (19): 39-45.

[16] 彭继平, 论制约我国荒漠化防治的若干问题[J], 中国水土保持, 2006(4): 1.

[17] 范永军, 阿拉善地区沙地治理开发环境影响因素分析及对策探讨[J], 内蒙古水利, 2006 (3): 52-59.

[18] 陈洪山, 东平湖库区“翻壤压沙”改土技术研究与分析[J], 水利经济, 2004(3).

[19] 对在沙漠地区应用化学固沙剂固沙的探讨[J], 灾害学, 第18卷第1期, 2003年12月: 1-2

[20] 江帆, 防治沙漠化需要新思维[J], 环境经济杂志, 2004 (10).

[21] 蒋亚娟, 沙化地区生态保护与扶贫的冲突及整合初探, 第17卷第4期, 2002年12月: 57-59

[22] 苏文强, 高吸水树脂在土壤改良中的效应[J], 东北林业大学学报, 2004, 32 (5): 35-36

[23] 孟志伟, 施用缓释型保水剂条件下土壤水分状况及氮素运移特征的研究, 安徽农学通报, 2006, 12(5): 52—54

[24] 西南农业大学主编, 土壤学第二版[M], 农业出版社, 1986: 104—108.

[25] 王晗生等, 保水剂农用抗旱增效研究现状[J]. 干旱地区农业研究, 2001, 19(4): 38—44.

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

[27] 陈宝玉等, 保水剂的研究开发现状及应用展望[J]. 河北农业大学学报, 2003 (26): 242-245.

[28] 陈茂铨等, 保水剂及其在水土保持和造林绿化中的应用[J]. 林业科技开发, 2002, 16(4): 12—14.

[29] 朱云峰, 保水剂对松苗抗旱及与抗松树枯梢病关系的研究[D], 南京林业大学, 2004.

[30] 王九龄, 林业科技论文集[G], 中国林业出版社, 2002.

[31] Reda A I, Polymers conditioner gels for desert soils[J], Communication in Science and Plant annuals, 1983(8): 38--40.

- [32] 韩茂莉, 论西北开发的可持续性进程[J]. 北京大学学报(哲学社会科学版), 2003, 40(3): 109-116.
- [33] 王浩, 西部大开发战略下的西北水资源开发、利用与保护[R]. 中国水利学会2003学术年会特邀报告
- [34] 李雅丽, 耐电解质高吸水性树脂的合成及其吸液性研究[J]. 应用化工, 2003, 32(4): 27-29.
- [35] 李云开等, 保水剂农业应用及其效应研究进展[J], 农业工程学报, 2002, (2): 182—186.
- [36] 何腾兵等, VAMA对土壤保肥供肥性能影响的研究[J], 土壤通报, 1997, 28(6): 257—260.
- [37] 李云开等, 保水剂农业应用及其效应研究进展[J], 农业工程学报, 2002(2): 182-186.
- [38] 介晓磊等, 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.
- [39] 邹新禧, 超强吸水剂[M], 化学工业出版社, 2002(1), 473-35.
- [40] 李建法等, 纤维素制备高吸水材料研究进展[J], 林产化学与工业, 2002, 22(2): 81-85.
- [41] Wellace A, Effects of energy level of a polymer as a soil conditioner on yield and mineral nutrition of plants[J], Soil Sci, 1986, 141(5): 89-92.
- [42] Wellace A, Amelioration of soils with polymers[J], Soil Sci, 1986, 141(5): 121-129.
- [43] Mithell A R, Polyacrylamide application in irrigation water to increase in filtration[J], Soil Sci, 1986, 141(5): 51-57.
- [44] 杨本宏, 强高分子吸水材料的研究进展与应用[J], 合肥联合大学学报, 2002, 12(3): 97-102.
- [45] 蔡典雄等, 保水剂及其应用技术[J], 农业科技通讯, 2000(8): 22.
- [46] 王斌瑞等, 保水剂在造林绿化中的应用[J], 中国水土保持, 2000(4): 22-24.

- [47] 杨本宏, 超强高分子吸水材料的研究进展与应用[J], 合肥联合大学学报, 第12卷第3期, 2002年9月: 98
- [48] 李云开等, 保水剂农业应用及其效应研究进展[J], 农业工程学报, 2002(2): 182-186.
- [49] 何天白等, 功能高分子与新技术[M], 化学工业出版社, 2001 (1): 523-555
- [50] 赵永贵, 保水剂的开发及应用进展[J], 中国水土保持, 1995(5): 52-54.
- [51] 何天白等, 功能高分子与新技术[M], 化学工业出版社, 2001 (1): 523-555.
- [52] 赵永贵, 保水剂的开发及应用进展[J], 中国水土保持, 1995(5): 52-54.
- [53] 张保军, 保水剂在农业上的应用现状及前景分析[J], 水土保持研究, 2002(6): 51-54.
- [54] Woodbouse J, Johnson MS, Effect Of upper Absorbent olymers n urvival and rowth f rop eedling[J]Agricultural ater Management1991 (20): 63-70.
- [55] 李青峰, 高分子吸水材料的农业应用研究进展[J], 湖南农业科学, 2001 (3): 45-46.
- [56] Lee W Y, Wu R J. Studies on the synthesis of water-absorbing polymers[J]. Appl Polym Sci, 1996(62): 1009-1017.
- [57] 马凤国等, 超强吸水树脂的吸水性能研究[J], 高分子材料科学与工程, 2002, 18(5): 199-201.
- [58] Flory P J. Principles of polymer chemistry[M]. New York: Cornell Univ. Press, 1953.
- [59] 中国科学院南京土壤研究所[M], 土壤理化分析, 上海科学技术出版社, 1978. 502-532.
- [60] 李云开等, 保水剂农业应用及其效应研究进展[J], 农业工程学报, 2002, (2): 182—186.
- [61] 李雅丽, 耐电解, 质高吸水性树脂的合成及其吸液性研究[J]. 应用化工, 2003, 32(4): 27-29.
- [62] 刘瑞凤, PAA—atta复合保水剂对土壤物理性质的影响[J], 土壤通报,

第37卷第2期, 2006年4月, 231-235.

[63] 苟春林, 氮肥对保水剂吸水保肥性能的影响[J], 干旱地区农业研究, 2006年11月, 第24卷第6 期, 78-84.

[64] 王东晖, 化肥与微肥对保水剂吸水性的影响试验初报[J], 甘肃农业科技, 2002 (5): 22-23

[65] Flory P J.principles of Polymer Chemistry[M]. New York: Cornell University Press, 1953

[66] 黄麟等, 6种保水剂吸水保水性能的比较[J], 南京林业大学学报(自然科学版), 第31卷第2期, 2007年3月: 01-104.

[67] 马凤国等, 超强吸水树脂的吸水性能研究[J]. 高分子材料科学与工程, 2002, 18(5): 199-201.

[68] 谢伯承, 保水剂对土壤持水性状的影响[J], 水土保持通报, 第23卷第6期, 2003年12月: 44-46.

[69] 王振宇, 生物活性保水剂对模拟沙化土地治理效果的分析[J], 东北林业大学学报, 第31卷第3期, 2003年5月: 27-28.

[70] 康玲玲等, PAMN保水剂施用量与施用方法对作物出苗率的影响[J]. 河南农业科学, 1998(7): 16-18.

[71] 徐卯林等, 高吸水种衣剂及其在水稻旱育秧上的应用技术[J], 种子, 1998(2): 61-63.

[72] 肖冰雪等, 高分子吸水剂在沙地植被重建中的盆栽效果试验[J], 四川草原, 2003(1): 30-34.

[73] 何景峰等, SA型高效保水剂对造林成活率及苗木生长的影响[J], 陕西林业科技, 1994(3): 76-78.

[74] Ben Hur M, Fails J, Malik M, et al. Polymers as soil conditioners under consecutive irrigation and rainfall[J]. Soil Sci Soc Am J, 1989(53): 1173-1177.

[75] Ben Hur M, Keren R. Polymer effects on water in filtration and soil aggregation[J]. Soil Sci Soc Am J, 1997(61): 565-570.

[76] Levin J, Ben Hur M, Gal M, et al. Rain energy and soil amendment effects on infiltration and erosion of three different soil types [J]. Aust J Soil Res.1991, 29:

455-465.

[77] Lentz R D, Shainberg R E, Sojka, et al. Preventing irrigation rille roasion with small application of polymers[J]. Soil Sci Soc Am J, 1992(56):

1926-1932.

[78] Sojka R E, Lentz R D, Westerman DT. Waterand erosionmanagemen twith multiple application of polyacrylamide in furrow irrigation[J]. Soil Sci Soc Am J, 1998(62): 1672-1680.

[79] 黄麟等, 6种保水剂吸水保水性能的比较[J], 南京林业大学学报(自然科学版), 第31卷第2期, 2007年3月: 101-104.

[80] 赫延龄等, 保水剂结合矿质元素对水稻幼苗生长发育的影响[J], 西北植物学报, 1997, 17(1): 124-127.

[81] 马天新等, 土壤保水剂在我省旱作农业上的应用展望[J], 甘肃农业科技, 1997,(12): 31-32.

[82] 盛志政, 化学抗旱剂保水剂在农业上的应用[J], 中国农学通报, 1990, 6 (4): 41.

[83] 杜尧东等, 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

[84] 史兰波, 李云荫_保水剂在节水农业中的应用[J]. 生态农业研究, 1993, 1(2): 89-94.

[85] 李云开等, 保水剂在农业上的应用技术与效应[J], 节水灌溉, 2002, (2): 12-17.

[86] 汪亚峰, 20种保水剂吸水特性研究[J], 中国农学通报, 第21卷第1期, 2005年1月, 167-170.

[87] 李云开等, 保水剂农业应用及其效应研究进展[J], 农业工程学报, 2002(2): 182—186.

[88] 李雅丽, 耐电解质高吸水性树脂的合成及其吸液性研究[J], 应用化工, 2003, 32(4): 27-29.

致 谢

本研究在实施过程中，得到了来自多方面的支持。大家都非常关心三农问题，本着依靠科学技术，帮助贫困地区农民群众脱贫致富的精神，为研究工作给予了大力的支持和无私的帮助。

本硕士学位论文是在导师张自和教授的指导下完成的，张自和教授以他博学、严谨和开放的教学思想，从本论文的选题、研究思路、试验设计、数据采集和结果分析，以及结构安排、具体内容的撰写等方面，均给予了悉心指导。

在此之际，特向兰州大学张自和教授、沈禹颖教授等各位老师，向给予作者指导和帮助的，白银市科技局宋宝兴博士、甘肃农业大学陈宝书教授等工农业方面的各位专家，表示深切的谢意。

最后，谨向参加本论文评阅和答辩的各位专家学者，向理解并积极支持试验工作的农民群众，表示最诚挚的谢意！

程 登 喜

2007 年 11 月