

BAOSHUIJI DUI TURANG HUANJING YU
ZUOWU XIAOYING DE YINGXIANG

保水剂对土壤环境与 作物效应的影响

武继承 杨永辉 张 彤 编著



黄河水利出版社

保水剂对土壤环境与 作物效应的影响

武继承 杨永辉 张 彤 编著

黄河水利出版社

· 郑州 ·

内 容 提 要

本书针对农用保水剂的研制、应用及其影响,对保水剂研究应用的现状与问题、保水剂对土壤水分环境、土壤结构特征、土壤持水能力及水分常数、作物生理生化特征、土壤微生物和作物生长、产量及水分利用效率的影响等方面进行了系统研究。可供从事旱作农业、节水农业、水土保持、生态环境建设与保护等方面的科技工作者参考,也可供农业节水产品研发企业参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

保水剂对土壤环境与作物效应的影响/武继承,杨永辉,
张彤编著. —郑州:黄河水利出版社,2011. 12

ISBN 978 - 7 - 5509 - 0226 - 8

I. ①保… II. ①武…②杨…③张… III. ①保水剂 -
影响 - 土壤环境 IV. ①X21

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 059471 号

策划编辑:简 群 电话:0371 - 66026749 邮箱:w_jq001@163. com

出 版 社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合楼 14 层

邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371 - 66026940, 66020550, 66028024, 66022620(传真)

E-mail:hhslchs@126. com

承印单位:河南地质彩色印刷厂

开本:787 mm × 1 092 mm 1/16

印张:12. 25

字数:280 千字

版次:2011 年 12 月第 1 版

印数:1—1 000

印次:2011 年 12 月第 1 次印刷

定价:36.00 元

编辑委员会名单

主 编 武继承 杨永辉 张 彤

副主编 郑惠玲 周 岩 管秀娟 任岩岩 赵玉坤
康永亮

编 委 (按姓氏笔画排列,排名不分先后)

马孝仁 王洪伟 王淑凤 田志浩 任岩岩

杜炎斌 李宗军 李学军 何 方 张 彤

杨永辉 武继承 郑惠玲 金海霞 周 岩

尚 莉 赵玉坤 阎惊涛 康永亮 程 俊

韩伟锋 管秀娟 褚小军 潘晓莹

统 稿 杨永辉 武继承

前 言

干旱缺水是 21 世纪面临的全球性环境生态问题,是人类农业生产活动面临的主要自然灾害,是制约我国农业可持续发展的重要因素之一。我国干旱、半干旱地区约占国土面积的 52%,旱作耕地面积约 0.78 亿 hm^2 ,其中没有灌溉条件的旱地约占耕地面积的 60%。因此,发展旱作节水农业,实施土壤增容扩蓄、减少土壤无效蒸发,提高有效水资源的利用率和利用效率,建立雨水高效利用技术与模式,探讨化学节水技术在农业中的应用,对促进我国旱作节水农业和雨养农业的高效持续发展具有重要的作用。

在国家高新技术研究计划(863)课题“绿色环保多功能保水制剂”(2006AA100215)、河南省杰出青年基金项目“保水剂应用对土壤环境的影响研究”(104100510024)和河南省重大公益性科研项目“河南省潮土区中低产田增产关键技术研究 with 示范”(081100911600)等项目的资助下,我们系统地开展了保水剂对土壤环境和作物效应的影响研究。本书第 1 章系统地分析了保水剂研究应用的现状与问题;第 2 章剖析了保水剂应用及与其他技术相结合对土壤水分变化特征的影响;第 3 章阐述了保水剂应用对不同土壤质地、土壤结构特征的影响;第 4 章系统分析了保水剂应用对土壤持水能力及水分常数的影响;第 5 章揭示了保水剂对作物生理生化特征的影响;第 6 章简述了保水剂应用对土壤微生物变化的影响;第 7 章重点论述了保水剂对作物生长、产量及水分利用的积极效果。本书可供从事旱作农业、节水农业、水土保持、生态环境建设与保护等方面的科技工作者参考使用,也可供农业节水产品研发企业参考使用。

本书第 1 章由武继承、杨永辉、张彤等撰写,第 2 章由杨永辉、周岩、郑惠玲等撰写,第 3 章由周岩、杨永辉、武继承等撰写,第 4 章由杨永辉、武继承、周岩等撰写,第 5 章由管秀娟、杨永辉、赵玉坤等撰写,第 6 章由任岩岩、郑惠玲、张彤等撰写,第 7 章由武继承、杨永辉、管秀娟等撰写。编撰人员虽然尽了最大努力,但书中仍有这样或那样的不足,敬请广大读者批评指正。同时,希望本书能起到抛砖引玉的作用,促进化学节水技术产品的研发,推动河南省乃至全国旱作节水农业的高效持续发展。

武继承

2011 年 11 月于郑州

目 录

前言

第 1 章 综述	(1)
1.1 保水剂的研制与发展	(1)
1.2 保水剂的使用方法	(2)
1.3 保水剂对水分调控、土壤性质及作物生理特征的影响	(2)
1.4 保水剂对养分调控及作物生理特征的影响	(4)
1.5 保水剂对土壤微生物的影响	(6)
1.6 保水剂在农业生产中的应用效果	(7)
1.7 保水剂研究中需要进一步解决的问题与展望	(8)
第 2 章 保水剂对土壤水分环境的影响	(10)
2.1 保水剂与地膜覆盖对小麦不同生育期土壤水分的影响研究	(10)
2.2 不同用量保水剂对烟草各生育期土壤水分含量的影响	(14)
2.3 不同保水剂对不同生育期砂壤土和砂土表层土壤水分的影响	(15)
2.4 保水剂与氮肥对旱作冬小麦不同生育期土壤水分的影响	(17)
第 3 章 保水剂对土壤结构特征的影响	(22)
3.1 不同保水剂对不同土壤质地土壤结构的影响	(22)
3.2 保水剂对不同土壤冬小麦各生育期土壤孔隙的影响	(32)
3.3 保水剂与氮肥配施对土壤结构的影响	(58)
第 4 章 保水剂对土壤持水、保肥能力及水分常数的影响	(73)
4.1 不同保水剂对不同土壤持水能力的影响研究	(73)
4.2 保水剂与氮肥配施对土壤水分参数的影响	(76)
4.3 保水剂对室内土柱氮肥的保持及吸收膨胀的影响	(81)
第 5 章 保水剂对作物生理生化特征的影响	(84)
5.1 保水剂与地膜覆盖对冬小麦不同育期生理特性的影响	(85)
5.2 不同用量保水剂对烟草各生育期植株生理特性的影响	(95)
5.3 不同用量保水剂对玉米苗期植株生理特性的影响	(104)
5.4 保水剂与氮肥对旱地冬小麦生理特征的影响	(105)
5.5 保水剂与氮肥配施条件下复水前后不同生育期光合生理变化特征	(116)
第 6 章 保水剂对土壤微生物的影响	(132)
6.1 研究方法与试验设计	(133)
6.2 培养基和土壤溶液制备	(134)
6.3 保水剂对土壤微生物的影响	(135)

第 7 章 保水剂对作物生长、产量及水分利用的影响 (142)

7.1 保水剂与地膜覆盖对小麦生长、产量及水分利用的影响 (142)

7.2 不同用量保水剂对烟草各生育期植株生长的影响 (155)

7.3 不同用量保水剂对玉米苗期植株生长的影响 (156)

7.4 保水剂不同施用年限对小麦的产量及生物量的影响 (157)

7.5 不同保水剂对不同土壤冬小麦生物量及产量的影响 (158)

7.6 保水剂与氮肥配施对小麦生长及产量的影响 (161)

7.7 保水剂与秸秆覆盖对小麦 - 玉米两熟制水分利用的影响 (171)

参考文献 (174)

第1章 综述

干旱缺水是21世纪面临的全球性环境生态问题,是人类农业生产活动面临的主要自然灾害,是制约我国农业可持续发展的重要因素之一。我国干旱、半干旱地区约占国土面积的52%,旱作耕地面积约0.78亿 hm^2 ,其中没有灌溉条件的旱地约占耕地面积的60%。全国人均水资源占有量仅为2200 m^3 ,相当于世界人均水平的1/4。保水剂是一种交联密度很低、不溶于水、高水膨胀性、吸水力强的高分子聚合物,也是土壤的良好胶结剂,能够改善土壤结构,促进团粒形成,有植物“微型水库”之称。它能迅速吸收并保持自身质量数百倍乃至数千倍的水分,达到蓄水保墒的效果;当土壤干旱缺水时,又可迅速释放出水分供作物吸收利用,且可提高肥料利用效率,达到作物增产的目的。保水剂具有调节土壤水、热、气状况,提高土壤肥力和保持水土等功能。随着全球气候变暖和干旱程度的进一步加剧,如何利用保水剂降低土壤水分的流失和探明保水剂的抗旱作用机理,对提高作物生产抗旱与应对气候变化的能力就显得十分重要。

1.1 保水剂的研制与发展

早在20世纪30年代,苏联就开始用石脑油皂抑制土壤水分蒸发,可减少水分蒸发60%~70%,到60年代,化学节水技术在日本、法国、印度等国家引起了广泛重视,先后在农业上应用化学覆盖技术,增产效果很好。70年代中期美国研制成了吸水性很强的保水剂,用于种子造林、种子涂层和树苗移栽等方面,取得了良好的效果。我国在60年代后期,在抑制蒸腾方面做了大量的研究工作,并研制出“土面增温剂”、“保墒增温剂”,其抑制和增温效果已达国际水平。70年代末,我国从风化煤中提取的黄腐酸(FA)是一种极好的调节植物生长的抗蒸腾剂,具有显著的抗旱节水功能。到90年代,化学节水技术的研究和应用已被列入“八五”国家科技攻关计划,并取得重大进展,研制出了保水种衣剂、抗旱剂、FA旱地龙和土壤保墒剂;且科技部在“十五”863计划的“生物与现代农业”领域节水重大专项中专门设立“新型多功能保水剂系列产品研制与产业化开发”专题,且“十一五”继续设立国家高技术研究发展计划(863计划):现代节水农业技术与产品项目“绿色环保多功能保水剂”专题。同时,“十一五”国家科技支撑计划重大项目再次明确提出研制抗旱种衣剂、雨水入渗剂、生物保水剂、植物蒸腾抑制剂。至今已有10多个单位研制出了多种类型的保水剂,在60多种作物上试验示范,应用面积7万 hm^2 。

目前,保水剂的成分因生产厂家和剂型不同而分为不同系列:①淀粉系列,包括淀粉接枝、羟甲基化淀粉、磷酸酯化淀粉和淀粉黄原酸盐等。②纤维素系列,包括纤维素接枝、羟甲基化纤维素、羟丙基化纤维素和黄原酸化纤维素等。③合成聚合物系列,包括聚丙烯酸盐类、聚乙烯醇类、聚氧化烷烃类和无机聚合物类等。④蛋白质系列,包括大豆蛋白、丝蛋白类和谷蛋白类等。⑤其他系列,包括果胶、藻酸、壳聚糖等。⑥混合系列,各种不同类

别的保水剂及营养元素或作物生长条件物质的混合物。其中,以淀粉接枝丙烯酸盐共聚交联物和丙烯酰胺-丙烯酸盐共聚交联物的应用最为广泛。

1.2 保水剂的使用方法

保水剂有多种施用方式,包括条施、沟施、穴施、面施、蘸根、拌种、地面喷施和用于食用菌基质培养等。对于不同的作物,施用方法不同,施用量也有差别。小麦、玉米、花生和大豆使用种子包衣技术,即在待播的种子表面形成一层保水剂水凝胶的保护膜。保水剂和水比例一般在1:50~1:200。在经济作物栽植及育苗中,常用的方式是沟施或穴施,保水剂随开沟施入或者开穴施入,保水剂用量在7.5~150 kg/hm²不等。将种子与保水剂、某些化肥、微量元素、农药及填充料拌和造粒成丸,目的是在种子发芽成苗时能及时有效地供给作物营养,杀菌消毒,促进作物生长发育。该方法适用于精量播种,常用于飞机播种造林种草。保水剂用量一般为种子质量的1%~3%。苗木或甘薯蔬菜幼苗移栽,多用根部涂层,保水剂浓度一般是0.5%~1%,该方式使得植株根部形成保护膜,防止根系水分散失,有利于移栽成活。蔬菜种植多用流体播种,效果明显。

此外,保水剂添加其他元素或材料可合成抗旱种衣剂、吸水改土剂或果蔬保鲜剂等多功效合成剂。综合措施可以累加交互优势,效果显著提高。无论哪种施用方法,都应在施用后充分灌溉。

1.3 保水剂对水分调控、土壤性质及作物生理特征的影响

1.3.1 保水剂的吸水原理

保水剂结构式及离子网状结构见图1-1、图1-2。

有机高分子化合物保水剂具有三维网状结构,有大量羧基(—COO—)、羟基(—OH)、季铵盐等亲水性官能团,通过吸水和溶胀两种方式进行吸水。当聚合物接触水时,水分子渗入树脂中使树脂膨胀并凝胶化,呈现高吸水性状态。由于其具有一定的交联度,所以吸水后并被水溶解。在保水剂内部,高分子电解质离子间的相斥作用使水进入分子而扩张,但交联作用使水凝胶具有一定的强度,当二者达到平衡时,保水剂吸水达到饱和。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。

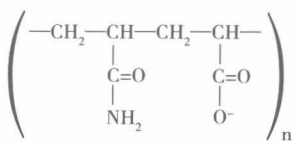


图1-1 高分子保水剂结构式

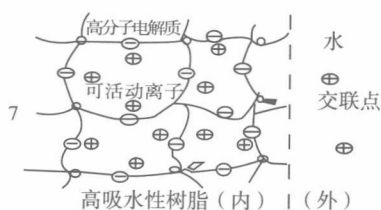


图1-2 保水剂的离子网状结构

1.3.2 保水剂对土壤水分调控及土壤结构的影响

1.3.2.1 保水剂对土壤水分调控的影响

保水剂具有反复吸水的功能,其所吸收的水分在作物可以吸收利用的范围($0 \sim 15$ bar, $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$),且保持的这部分水大多在低吸力段($0 \sim 0.8$ bar, $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$),是可以被作物吸收利用的水分。黄占斌等研究指出,土壤加入2%保水剂吸水饱和后所持水分至少90%可为植物所利用,但因保水剂类型的不同,表现的结果并不一样。杨永辉等研究表明,在相同土壤水吸力下,随着保水剂用量的增加,土壤含水率相应增加;在相同含水率时,土壤水吸力随着保水剂用量的增大而增大。但针对不同作物,其能够吸收利用保水剂所吸持水的效率是多少,有待进一步研究。

同时,保水剂可以有效改善作物根际水环境,通过其保存降水或灌水直接提供给作物,且其能够增强入渗性能,增加毛管孔隙度、提高总孔隙度,减缓地温波动,减少氮肥损失,降低土壤容重,提高土壤持水及土壤含水量,抑制表土结皮和土面蒸发等。杨永辉等分别对黑垆土、黄绵土及娄土施用聚丙烯酰胺(PAM)、聚丙烯酸钠(PAA)及沃特多功能保水剂,三种保水剂对黑垆土和黄绵土的饱和导水率都有所提高,但针对不同土壤有个适宜量,且当土壤含水量接近田间持水量时,保水剂抗蒸发作用明显。而黄占斌等研究则发现,土壤饱和后自然蒸发至恒重所需时间以0.1%保水剂处理的土壤需25 d,而对照土壤只有16 d,表明保水剂具有明显保水和供水的功效。所以,保水剂施入到土壤中能显著增加土壤有效水分含量,在生产实践中表现出明显的抗旱成苗和稳产增产效应。但研究结果因保水剂及作物种类、当地气候条件、土壤pH值、土壤离子类型及浓度、土壤质地的不同而有显著的差异。

目前,保水剂对提高土壤水分含量的研究主要集中在保水剂保持土壤水势、水分特征曲线及土壤抗蒸发等方面,在实际应用中,保水剂所吸收的水分的利用效率取决于保水剂对水分的吸附力和植物的水分生理特征。因此,在研究保水剂的调控及所吸水分的有效性时,最好把土壤水势特征与植物的水分生理特征结合起来进行研究。

1.3.2.2 保水剂对土壤结构的影响

保水剂施入土壤后,因其吸持和释放水分的胀缩性,可使周围土壤由紧实变为疏松,从而在一定程度上使土壤结构和水热状况得到改善。具体表现为:①降低土壤容重,增加孔隙度,0.75%保水剂与沙土混合,饱和吸水后体积膨胀率增加15.91%,总孔隙度增加8.89%,土壤固、液、气三相比例由对照的1:0.69:0.10变为1:1.11:0.01,即增加了液相比比例,降低了气相比比例,使之趋于协调;②提高土壤团粒的水稳性,在砂壤土中加入0.1%~0.3%的保水剂,充分混合后灌水,湿筛可形成粒径为0.9~0.076 mm的不同土壤团粒,对照土壤团粒的水稳性为0,而处理可达79.1%~97.0%;③增加土壤团聚体,在每公顷施15 kg保水剂的条件下,湿筛时其大于0.5 mm的团聚体多于对照18.88%,相应增加了较大孔隙的含量,从而增加累计入渗量9.52%,使处理土壤含水量明显高于对照。

孙宏义等将保水剂施用于风沙土、黄土、粉煤灰,在不同风速和不同喷洒量下,对其抗风蚀情况进行了野外及“风洞”研究测试,结果显示,当保水剂大浓度 50 g/m^3 时具有明显的抗风蚀、抑制沙尘的效果,且只有当保水剂和固沙复合材料共同施用于风沙土,防风蚀

效果才能更为显著,从而对沙尘暴尘源发生地、土地荒漠化、城市尘源治理等有积极作用。刘瑞凤等研究了 PAA-atta、PAM-atta 和 PAAM-atta 三种复合保水剂施用于土壤后对土壤物理性质的影响,认为土壤平均含水量随保水剂用量的增加而增加,且保水剂粒径越小,土壤平均含水量越高;保水剂还可以降低土壤的 pH 值,改善土壤电导率、0.25 ~ 5.00 mm 团聚体、土壤容重和土壤孔隙度等土壤理化性能。党秀丽等利用正交回归设计试验求得保水剂粒径、土壤质地、保水剂用量与土壤有效水含量的关系的数学模型,通过对其分析认为保水剂在施用时间、粒径、土壤质地、保水剂用量都有一个适宜的值,超过这个值土壤有效水含量反而下降。一般认为,施用量过少达不到预期效果,而过大不仅会提高成本,而且会在水分少时与作物发生争水矛盾,或是使土壤气相部分过少,造成湿害。崔英德的研究认为,保水剂能够改良水稳性团粒结构,并能显著抑制土壤水分的蒸发,随着施用量的增加抑制蒸发作用增强,保水剂颗粒大小对抑制水蒸发有一定的影响,颗粒小则抑制水蒸发的效果相对要好。

1.3.3 保水剂对作物生理特征的影响

植物的生理生化指标有很多,其中用于鉴定小麦抗旱性的生理生化指标有 20 多项,而目前研究较多的作物生理生化指标主要为光合速率、叶绿素、叶片相对含水量、可溶性糖、可溶性蛋白、脯氨酸、甜菜碱、丙二醛、细胞质膜透性、根系活力、ABA 及超氧化物歧化酶、过氧化氢酶及过氧化物酶等。

研究表明,施用保水剂可以增加土壤含水量,扩大根系的吸收面积,增强根系的吸收能力和叶绿素含量,增加叶长、叶宽和叶面积,调节植株叶片气孔开闭状态、调节蒸腾作用,维持植物体内水分平衡,提高出苗率和移栽成活率,延缓凋萎时间,可取得显著的增产效果。同时,当植物受到干旱胁迫时,保水剂能够缓慢释放水分,提高根系周围含水量,维持体内水分平衡,对植物的生理生化产生影响。保水剂的施用应因土壤质地而异,用量过大,不仅不能促进根系发育,反而抑制根的伸长和降低根的生理机能,抑制种子萌芽,降低出苗率和移植成活率及影响作物生理生化特征。

总之,保水剂对作物生理特征产生重要影响,但尚缺乏系统性及更加深入的研究。因此,系统研究植物生理生化各指标,揭示其对作物水分利用率及利用效率影响的作用机理,对于保水剂的合理应用具有科学意义。

1.4 保水剂对养分调控及作物生理特征的影响

养分进入土壤后,以土壤溶液形式存在于土壤孔隙当中或以离子态吸附于土壤表面,受降雨条件、土壤特性、植被、大孔隙以及地下水等多种因素的影响。保水剂具有高分子网状结构,有大量亲水性基团,进入保水剂网状结构内部的分子或离子可以以交换吸附、电荷激活、配位、氢键和聚合物大分子“包裹”等形式而吸持下来,在凝胶性能和外界条件变化时又能缓慢地释放出来。因此,保水剂可将溶于水中的化肥、农药等农作物生长所需要的营养物质固定其中,并且对土壤或肥料养分的吸附具有缓慢释放的作用,可以减少可溶性养分的淋溶损失,使土壤中养分的供给与植物对养分的需求更加同步,达到节水节

肥、提高水肥利用率的效果。

1.4.1 保水剂对养分的吸持

保水剂作为土壤水分控制的调节剂,能够改善土壤的水分环境,影响土壤中溶质的运移,有效吸附土壤中的营养和污染物质,减少化学肥料等对土壤的污染。保水剂(聚丙烯酰胺)能够吸附 NH_4^+ ,但对 NO_3^- 吸附很弱,这与两种养分离子所带电荷及溶解性差异有关。聚丙烯酸钾和聚丙烯酰胺淀粉接枝共聚物可明显增加盆栽介质中 NH_4^+ 吸附量,而 NO_3^- 吸附量没有明显增大。乙烯醇-丙烯酸共聚物(保水剂)显著降低土柱中 NH_4^+ 和 K^+ 的淋失量,而对 NO_3^- 淋失量降低不明显。杜建军等研究表明,土壤中施入保水剂后,尿素氮挥发量显著降低,并随着保水剂用量的增加效果更加明显。施用保水剂明显减少氮、磷、钾养分的淋溶损失。Sojka 等研究发现,在土壤中施入保水剂能够促进土壤中微生物活动,提高土壤养分的利用效率。Melissa 和 Paul Walker 研究表明,在废水中和动物粪便溶液中加入保水剂可以吸附溶液中的氮、磷、钾等营养元素。James 等研究表明,PAM 可以清除污水中的微生物和细菌,降低水沟侵蚀,减少养分流失。Sojka 等研究发现,PAM 可以控制灌水过程中的土壤侵蚀,同时增加了土壤入渗,减少了氮、磷、钾的流失和生物需氧量。员学锋等通过室内模拟试验发现,淋溶过程中保水剂处理的土壤淋溶液中 PO_4^{3-} 、 K^+ 、 NO_3^- 的含量均远远低于对照。以上研究表明,保水剂能够吸持土壤、废水中的养分,减少养分的流失,提高养分的利用率。

1.4.2 养分对保水剂溶胀力及吸水倍率的影响

保水剂的溶胀力及吸水倍率在其吸附养分的同时,受溶液中盐类的影响降低,例如:当保水剂在浓盐溶液中水合时,与它们在无盐溶液中的水合相比,其膨胀能力降低。保水剂在各种肥料溶液中的吸水倍率显著下降,并随肥料浓度的增加下降幅度增加。但尿素对保水剂吸水性能影响很小,20 mmol/L 的尿素溶液保水剂凝胶的水合作用只降低了4%。苟春林等研究发现,随着肥料浓度的增大,保水剂对氮素的吸持量增大,但吸持率却逐渐减小。聚丙烯酸酯类、聚乙烯醇类、淀粉类聚合物保水剂和肥料合施与单施肥料相比,氮素养分扩散和释放减慢,干湿交替处理有助于保水剂吸附更多阳离子,但保水剂吸水量降低。说明,保水剂与肥料或盐分作用后,保水剂的溶胀力及吸水倍率降低。

1.4.3 保水剂对作物养分吸收利用的影响

保水剂可以吸附土壤或水体中的养分以供作物利用,提高养分的利用率。刘世亮等研究表明,施用保水剂能显著提高玉米株高,增加总叶面积,增加作物的生物学产量和提高肥料利用率、改变土壤的固、液、气相比,使之更趋于合理。Chatzoudis 和 Rigas 在栽培介质中加入保水剂溶胶使得 K^+ 淋失量减少,作物利用钾效率提高。Magalhaes 等在温室研究中发现,土壤中保水剂明显促进萝卜地上部分生长和氮、磷、铁的吸收。黄占斌等将保水剂与尿素或尿素磷肥混合使用,分别使玉米对尿素和磷肥的利用效率提高了18.72%和27.06%。相关的研究还有很多,在此不再赘述。研究表明,保水剂的使用能够提高养分利用率和利用效率。

1.4.4 保水剂与养分的作用效果及对作物生理生化的影响

保水剂通过改善土壤水分环境和吸附、释放养分来影响养分的供应而影响作物的生理变化。在这方面,国内学者做了一定的研究,而国外主要涉及养分及盐胁迫对作物生理及光合作用的影响等研究。

有研究显示:土壤保水剂与氮肥具有互作效应,在一定浓度的氮肥溶液中保水剂吸水率降低,并且随溶液浓度增加吸水率降低的幅度增大,保水剂对溶液中 NH_4^+ 与 NO_3^- 均有明显的吸附作用,且更易吸附阳离子型的 NH_4^+ ,保水剂释放和吸附氮肥的能力,受保水剂的粒级以及生产过程中添加营养成分影响较大,而受聚合物类型影响较小。李继成研究了施肥条件下保水剂对土壤蒸发和土壤团聚性状的影响,认为土壤中施加保水剂后的土壤团聚体含量均较对照处理有了显著的提高,保水剂用量越大,土壤团聚体含量越多,但当保水剂与肥料共同作用时,能降低土壤的团聚体含量,肥料用量越大,土壤团聚体含量越低,当保水剂施加在土壤中与肥料共同作用时,可以减少铵态氮挥发,增加铵态氮贮量。

Field 等研究养分与光合作用之间的关系发现,养分主要用来增加叶面积及促进地上部分的生长,减少氮的供应导致单位叶片叶绿素含量和蛋白质的降低,从而降低了羧化作用的效率以及核酮糖(光合酶)的恢复,进而影响光合作用。同时,水分亏缺减少了叶片对氮的吸收,从而致使最大光合作用能力受到抑制,但仍不清楚水分胁迫对氮素的影响机理。Pagter 等的研究表明,植物的光合能力一般随离子浓度的增加而下降,可能与气孔的关闭降低了 CO_2 的同化能力,或者离子直接影响光合器官,以及叶绿素含量对植物净光合速率的影响有关。张渝洁等研究不同胁迫条件对青菜生理生化指标的影响发现,随着胁迫时间的增长,植株体内超氧化物歧化酶总活性、叶绿素的含量均呈下降趋势,丙二醛和可溶性糖的含量均呈上升趋势,且不同品种的青菜幼苗的各项生理生化指标的变化及程度不同,分别表现出不同的耐低温弱光和对低温弱光盐胁迫的抗性。

国内学者对保水剂+养分对作物生理生化的影响作了初步研究,俞满源等研究表明,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,增加马铃薯块茎产量 75.0%~108.3%。不同方式施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。刘煜宇等在水分胁迫条件下,以盆栽石楠为材料,研究了保水剂与肥料的交互效应对苗木光合生理特性的影响。结果表明,保水剂与肥料对苗木的光合生理有明显的主效应和交互效应。在水分充足时可以提高施肥效益,保水剂与肥料的交互效应有利于提高光合速率;保水剂与肥料的交互效应对苗木的生存期和生长量均有显著影响;其提高了脯氨酸、丙二醛含量和叶片相对电导率,表明保水剂与肥料的交互效应能提高苗木叶片的渗透调节能力,减轻苗木的干旱胁迫。

1.5 保水剂对土壤微生物的影响

土壤微生物主要指土壤中那些个体微小的生物体,主要包括细菌、放线菌、真菌等。

细菌是土壤微生物的主体,在数量上和种类上超过所有其他的土壤有机体。放线菌对于土壤有机质的分解和养分的释放具有很重要的作用,即使相当稳定的化合物如纤维素、几丁质和磷脂类等,也都能被它们降解为较简单的形式,同时,放线菌对有机物的矿化、环境净化、土壤改良起着重要作用。真菌可以分解纤维素、淀粉、树胶、木质素以及较易分解的蛋白质和糖类。

这些微生物主要生存在土壤颗粒表面及孔隙内。细菌存在所需要的孔隙,至少是它自身直径的3倍,细菌生物量与 $0.2 \sim 1.2 \mu\text{m}$ 直径的孔隙有很强的正相关性,而主要存在于 $0.5 \sim 5 \mu\text{m}$ 大小的孔隙中,真菌和放线菌存在的孔隙较大。适量施用保水剂对增大土壤孔隙有积极作用,因此可以推定土壤微生物有增加的趋势。过量施用保水剂会破坏土壤结构,减小孔隙,对土壤微生物可能产生消极影响。土壤孔隙中的水对微生物也有影响。水分通过影响孔隙中的氧气进而影响了相关土壤中微生物的活性。土壤中细菌在高的水势下活性高,而真菌、放线菌在相对低的水势下活性高。当土壤含水量降低到一定程度时,微生物数量就会大幅度下降。Joshua 等研究了桦树凋落物分解过程中湿度对微生物活性和群落结构的影响,发现长时间干燥导致微生物呼吸和生物量降低,微生物群落结构变化,特别是潮湿和干燥的时间长度对微生物影响很大。

在保水剂高施用量条件下,微生物生物量比无保水剂条件下小的多。推测其原因为保水剂使得微生物与土壤颗粒紧密结合,或者微生物之间结合紧密,从而抑制了微生物的增长。研究表明,多年连续施用保水剂与每年的用量和总用量有关。在高水平保水剂施用条件下,微生物生物量差别不是很显著,这可能与过量施用保水剂减少土壤孔隙有关。

土壤微生物群落结构受土壤所含元素影响比较大,随着土壤中可利用含量的减少,土壤微生物数量降低,微生物群落结构改变。Griffiths 等研究发现,向土壤中施加碳含量高的物质能提高土壤微生物群落中真菌和革兰氏阴性细菌的比例,降低放线菌和革兰氏阳性菌的比例。土壤中的元素被微生物吸收利用后,在体内用于合成具有重要生理作用的蛋白质、核苷酸等生物大分子。因此,土壤中元素不足将严重限制土壤微生物的正常生长和活性。土壤微生物对土壤氮源利用能力也有差别,通常氮源易利用大小顺序为铵态氮 > 硝态氮 > 有机氮。此外,不同土壤微生物利用氮源能力也不同,这就使得土壤中氮源的多少和种类将影响到土壤微生物的群落结构。土壤中的微生物可利用的碳氮比在 25:1 时,土壤微生物生长状况最好。过高或过低,分别会受到氮或碳的限制。

1.6 保水剂在农业生产中的应用效果

汪立刚等研究了保水剂对冬小麦的作用效果,认为在土壤水分适宜范围内用保水剂拌种可提前小麦出苗期,提高出苗率,同时也可提高麦苗抗旱性,显著增加小麦的有效穗数,使田间小麦增产 4.49% ~ 6.09%。向晓明研究了保水剂对春小麦生长的影响,其结果表明,用保水剂包衣处理可使小麦提前 1 ~ 2 d 出苗,提高壮苗率,增加春小麦千粒重,提高其产量,且具有较高的经济效益,投入产出比一般为 1:7 ~ 1:10.5。赵敏研究了保水剂对夏玉米的影响,认为土壤沟施保水剂后能提高玉米的出苗速度和出苗率,能促进根系发育,增加根条数,保水剂处理玉米后可增加玉米穗长、行粒数、千粒重,提高玉米田间产

量。王汉民等研究认为,保水剂能够显著提高棉花的产量,使用量在 $30 \sim 45 \text{ kg/hm}^2$ 时,皮棉产量增加 10% 以上,单位面积的铃数和铃重都有不同增加,同时棉花现蕾提前,增加了有效结铃时间,对棉花纤维品质没有明显影响。

陆海燕等将保水剂施用于大豆种植上,结果表明,施用保水剂能提高大豆体内过氧化氢酶(CAT)、谷胱甘肽还原酶(GR)、抗坏血酸过氧化物酶(AsA-POD)的活性,提高大豆体内还原型谷胱甘肽(GSH)含量,增加大豆细胞内与渗透调节有关的物质含量,降低丙二醛(MDA)、脯氨酸(Pro)含量,从而避免了干旱对大豆造成的伤害。刘殿红等研究了保水剂施用方式对马铃薯产量和水分利用效率的影响,认为侧施保水剂对马铃薯的株高影响明显,浅施保水剂改变土壤表层水热分布不利根系生长,施用保水剂能增大马铃薯的根冠比,有利于块茎的形成及后期块茎的膨大,提高马铃薯生物量。在水分充分或亏缺条件下,侧施保水剂马铃薯产量分别比对照增加 39.4% 和 21.5%,其水分利用效率(WUE)分别比对照增加 58.8% 和 59.5%,为最佳方式。方锋等研究了保水剂对辣椒生长的影响,从统计学角度论证了施用保水剂对促进辣椒生育和提高其水分利用效率有明显促进作用,认为施用保水剂有利于辣椒形成壮苗,增加分枝,提高生物产量和保持土壤水分,提高干旱区有限水分利用率,相同水分条件下施用保水剂比未施保水剂处理生物量、株高、叶数和叶面积等均有较大增幅,中水和低水处理复水后生物量、叶数和叶面积均比充分供水的高水处理增幅在 100% ~ 600%。朱林等研究了保水剂对油菜的增产效果,认为保水剂为油菜提供适宜的水分条件,促进其生长,油菜株高和茎粗均有明显提高,缓释型保水剂能显著增加油菜的一次分枝数,显著提高油菜的产量。罗维康等研究了保水剂对甘蔗生长的影响,结果表明,在旱坡地甘蔗园施用保水剂,可以保证甘蔗根系对水分的吸收,增强甘蔗的抗旱能力,提高出苗率,促进甘蔗生长伸长,增加甘蔗青叶数,增强光合作用,有利于甘蔗的生长和糖分的积累,提高甘蔗的单产和品质,且保水剂施用量以 7.5 g/m^2 比较合适。另外,在保水保肥极好或者保水保肥差的土壤上使用保水剂,甘蔗增产效果不明显,因此在大田应用保水剂时应视其具体土壤情况而定。

保水剂能够改善土壤物理性质、提高土壤水分利用率以及为作物生长发育提供一个相对水分条件稳定的“小环境”等,因此在我国节水农业上具有巨大的开发潜力和广阔的应用前景。保水剂有可能成为继化肥、农药、地膜之后又一个对农作物起重要作用的化学制品,通过对保水剂在农业上应用技术及其效应的研究,对于缓解我国水资源紧缺矛盾、提高水肥利用效率、促进旱作农业的发展有着极其重要的意义。

1.7 保水剂研究中需要进一步解决的问题与展望

在保水剂产品研发方面,主要发展方向是如何实现低成本、高性能。降低成本主要通过改善生产工艺来实现,可以改分段生产为连续生产,在原料和技术路线上选取低成本且可行性高的材料。目前保水剂原料以丙烯酸居多,而丙烯酸市场价格浮动较高,造成生产成本较高,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等。

在保水剂机制研究方面,主要集中在保水剂对于土壤水分特征、土壤结构及土壤侵蚀方面的影响、保水剂与不同肥料的相互作用(养分吸持率、保水剂吸水倍率等)以及保水剂的耐盐性、保水剂与不同灌溉方式及水分亏缺条件下对作物水分吸收利用的影响机制和生理生化影响,但大都偏重于保水剂对地上部分(叶片)的影响或多为盆栽试验或对作物苗期的影响、保水剂不同施用方式对作物水分利用的影响以及不同作物专用型保水剂的研发与应用等,缺乏系统性。

在保水剂的应用方面,还需从以下几个方面加强研究:①保水剂不是造水剂,必须具备一定条件才能充分发挥其保水作用,保水剂的施用效果还受到保水剂特性、气候条件、土壤质地、土壤水分条件、土壤盐分及离子类型、灌溉水质及灌水量等多种因素的影响,必须针对不同地区、不同土壤类型、不同作物,广泛开展试验研究,探讨适合不同地区的保水剂施用方法和施用量,加强系统研究,为其大面积的推广应用提供理论支持;②应进一步研究保水剂与其他农业措施相结合的综合应用技术,如保水剂如何与肥料施用、其他化学制剂施用、灌溉方式等相结合,进而加强旱作区农业用水的高效率利用;③保水剂施用于田间土壤后是否安全无毒,另外其持续作用年限、微生物降解过程究竟如何,还有待于研究;④保水剂对作物影响的研究多是关于出苗率、产量等宏观指标,而对施用保水剂后作物的抗旱生理指标以及作物生理调节适应机制研究较少,还未形成系统的理论结构,应就此方面加强研究。

保水剂可协调“土壤-植物-大气”系统中的水分平衡,减少水肥的深层渗漏,提高降水和灌溉水利用率,进而促进粮、棉、蔬菜、水果等农副产品的增产。通过对保水剂“保水、保肥、保土、助长、安全”五大功能的研究,将会形成一套以保水剂应用为中心的综合保水节水技术体系,可有效缓解我国水资源严重短缺的局面,保障节水农业可持续快速发展。

第2章 保水剂对土壤水分环境的影响

水分是限制作物生长与发育的重要因素之一。作物不同生育阶段对水分的需求与利用特征,对于提高作物水分利用效率和实行科学节水补灌具有重要意义与参考价值。

不同保水措施能够调节作物地上部分和地下根系的生长,以前不同生育期的生长发育状况,最终影响作物的产量。相关研究表明,保水剂能够改善土壤水分环境,减少土壤无效蒸发,促进作物正常生长和减少因干旱胁迫对作物带来的伤害。而在半干旱区、半湿润易旱的丘陵旱作区研究保水剂对作物生长过程中的耗水及土壤水分动态变化特征的影响,对了解和摸清保水剂施入土壤后,在作物不同生育期对土壤水分的改善效果及耗水特征具有重要意义。

2.1 保水剂与地膜覆盖对小麦不同生育期土壤水分的影响研究

本试验设在“863”节水农业禹州试验基地的岗旱地,该地年降水量为 674.9 mm,其中 60% 以上集中在夏季,存在较严重的春旱、伏旱和秋旱;土壤为褐土,土壤母质为黄土性物质,耕层中含有机质 12.3 g/kg、全氮 0.80 g/kg、水解氮 47.82 mg/kg、速效磷 6.66 mg/kg、速效钾 114.8 mg/kg。

试验小麦品种为周麦 18,试验保水剂为营养型抗旱保水剂(河南省农业科学院研制)。秸秆为收获的玉米残茬,覆盖时被碎成了 4 cm 左右的节段。地膜为厚度 0.005 mm 的聚乙烯塑料薄膜,即农用膜。

试验采用二因素随机区组设计,二因素即覆盖保墒技术和灌溉制度两因素,覆盖保墒技术又分两个保水剂用量(保水剂 45、60 kg/hm²)、两种秸秆覆盖量(秸秆 3 000、6 000 kg/hm²)、地膜覆盖,灌溉制度又分灌溉(水分来源为降雨+灌溉)和非灌溉(水分来源仅为降雨),再加一对照,共 12 个处理:①对照;②营养型抗旱保水剂 45 kg/hm²;③营养型抗旱保水剂 60 kg/hm²;④覆盖秸秆 3 000 kg/hm²;⑤覆盖秸秆 6 000 kg/hm²;⑥营养型抗旱保水剂 45 kg/hm²+秸秆覆盖 3 000 kg/hm²;⑦营养型抗旱保水剂 60 kg/hm²+秸秆覆盖 3 000 kg/hm²;⑧营养型抗旱保水剂 45 kg/hm²+秸秆覆盖 6 000 kg/hm²;⑨营养型抗旱保水剂 60 kg/hm²+秸秆覆盖 6 000 kg/hm²;⑩营养型抗旱保水剂 45 kg/hm²+地膜覆盖;⑪营养型抗旱保水剂 60 kg/hm²+地膜覆盖;⑫地膜覆盖。灌溉区在接纳天然降水的同时,于孕穗期补充灌水量为 600 m³/hm²,其余水分只由天然降水补充。保水剂 45 kg/hm²即每小区 64.8 g,60 kg/hm²即每小区 86.4 g。秸秆覆盖 3 000 kg/hm²即每小区 4.32 kg,6 000 kg/hm²即每小区 8.64 kg。地膜用量为每小区 14.4 m²。共计处理 24 个,每处理 3 次重复,共 72 小区,每小区面积 3.6 m×4 m,每小区四边 0.5 m 范围内的植株不采样,保护行的实际宽度 1.0 m,为保证试验的精度以及操作的方便,在田间布置时,先将试验地分成灌溉区与非灌溉区两部分,然后分别布置所设覆盖保墒技术处理。2006 年 10