

密级:

论文编号:

中国农业科学院 硕士学位论文

保水剂对甜椒光合生理及氮肥利用的影响

**Effect of Water Absorbment on Sweet Pepper
Photophysiology and Nitrogen Use Efficiency**

硕士研究生: 于建慧

指导教师: 李玉中

申请学位类别: 理学硕士

专 业: 生态学

研 究 方 向: 农业生态与气象减灾

培 养 单 位: 中国农业科学院研究生院

农业环境与可持续发展研究所

提交日期 2006年6月

Secrecy:

No.

Chinese Academy of Agricultural Sciences
Master Dissertation

**Effect of Water Absorbment on Sweet Pepper
Photophysiology and Nitrogen Use Efficiency**

Candidate: Yu Jianhui

Supervisor: Professor Li Yuzhong

Degree: Master of Science

Major: Ecology

Field: Agriculture Ecology and Disaster
Reduction of Meteorology

Institute: Institute of Environment and
Development in Agriculture

Submission Date: June 2006

独创性声明

本人声明所提交的论文是我个人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。尽我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得中国农业科学院或其它教育机构的学位或证书而使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示了谢意。

研究生签名：

时间： 年 月 日

关于论文使用授权的声明

本人完全了解中国农业科学院有关保留、使用学位论文的规定，即：中国农业科学院有权保留送交论文的复印件和磁盘，允许论文被查阅和借阅，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存、汇编学位论文。同意中国农业科学院可以用不同方式在不同媒体上发表、传播学位论文的全部或部分内容。

(保密的学位论文在解密后应遵守此协议)

论文作者签名：

时间： 年 月 日

导师签名：

时间： 年 月 日

论文评阅人、答辩委员名单

论文题目	保水剂对甜椒光合生理及氮素利用的影响				
论文作者	于建慧	指导教师	李玉中	培养单位	中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所

	姓名	职称职务	导师类别	单位	专业
评阅人	郭建平	研究员	硕导	中国气象科学院	农业气象学
	王仁忠	研究员	博导	中国科学院植物所	植物生态学
答辩主席	安顺清	研究员	硕导	中国气象科学院	农业气象学
答辩委员	刘晓英	副研究员	硕导	中国农科院环发所	土壤学
	严昌荣	研究员	硕导	中国农科院环发所	植物生态学
	钟秀丽	副研究员	硕导	中国农科院环发所	生态学
	王仁忠	研究员	博导	中国科学院植物所	植物生态学
答辩时间、地点	2006年6月15日 中国农业科学院环发所301室				
记录	刘布春				

摘 要

实验通过使用便携式仪器分析施用不同种类及浓度的保水剂后土壤水分、甜椒植株光合生理指标的变化以及采用此项化学节水措施对典型肥料—氮利用的影响,分析保水剂种类及浓度与各指标之间的关系,基于土壤学、生物学探索一种衡量保水剂较佳施用量的表现方法。通过实验得出以下结论:

1. 保水剂的吸水量随时间延续而逐渐增加,并最终趋于稳定,达到饱和状态;三种保水剂在盐溶液中的水分吸收倍率相对纯水中的吸收倍率均有不同程度的下降,并且重复吸水时吸水倍数也下降。试验用保水剂中 LT-200 盐溶液中的吸收倍数相对在纯水中吸收倍数的变化不大,并且重复吸水性较好,吸水特性比较稳定。
2. 由保水剂的释水曲线可以看出,不同保水剂处理在 0~15bar 压力势下的变化趋势与原状土壤的趋势线几乎相同,只是土壤中的含水量略有增加,这对保水剂改善土壤的持水性能具有积极意义。
3. 施用三种不同的保水剂后土壤电导率均有所增加,并且均随保水剂用量的增加而有不同程度的增大。其中,林果专用保水剂对电导率的影响最大,一定程度反映了它对离子的吸附能力以及对养分的保蓄能力。
4. 水分处理前后各保水剂处理除相对CO₂浓度下降外,其余各光合指标如光合速率、蒸腾速率、气孔导度、水分利用效率及内在水分利用效率均有不同程度的提高。
5. 施用不同保水剂均未改变甜椒叶绿素荧光的日变化趋势,但数值上略有变化。苗期甜椒根系活力在保水剂 LT-100 浓度为 0.5‰ 的处理下远高于其他各处理,结果还有待于进一步验证和分析。
6. 不同品种保水剂处理下甜椒各器官的含 N 量随浓度变化的趋势虽不一致,但根、茎、果实含氮量相对对照均有明显的提高。施用保水剂量与肥料氮素的吸收并不是完全相关,使用 2‰ 保水剂后氮素吸收增加缓慢甚至下降,这在土壤施用保水剂中有重要参考价值。

关键词: 保水剂 光合生理 水分利用效率 叶绿素荧光 氮肥吸收 氮肥利用率

Abstract

The soil moisture, change of photosynthesis as well as typical fertilizer–nitrogen use efficiency in sweet pepper were studied with different types or contents of water absorbent treatments, the best dosage is estimated based on the above research results , the following conclusions are drawn:

1. The water absorbent absorbs water gradually and tends to stably, finally achieves in the saturated condition. The moisture content change of these absorbment although have same increase tendency, but its initial absorbing water percentage as well as final absorbing water percentage is different respectively. The absorption percentage of LT- 200 in salty solution nearly the same with in the pure water although not very high, and repetition hygroscopicity character is the best, quite stable.

2. It's easy to see from the water release curve that different measurement of water absorbent and original soil tendency is nearly the same under 0~15 bar pressure, only the moisture content is different. It is helpful to guaranteed the water absorbent effect in improving soil water retention property.

3. The soil conductivity increase with applying of water absorbent polymer, and it is also increase with the content of polymer used. In this study, the LinGuo have the biggest influence of water conductivity, or it reflect its ability to the ion adsorptive capacity as well as to the nutrient holding ability.

4. There are some changes among different procedures with water absorbent in pr, tr, ci, cond and WUE. They all have certion rise besides ci, and the trends of different procedures in different stages is not the same.

5. Employed with different water absorbent can not change the sweet peppers chlorophyll fluorescence of the daily variation tendency, but only the slightly change in value. The root vigious of LT-100 of 0.5‰ far higher than others, the result also waits for further confirm and analysis.

6. There are remarkably increase of N content among organs of different procedures, but the change tendency with polymer quantity of N in pepper organs is not very consistent. The quantity of polymer and the fertilizer-nitrogen absorption is not connected completely, with the increase of polymer content, the nitrogen absorption of sweet pepper increasing softly or reduce. Therefore, it is extremely essential to consider the correlate factor when determine the best amount during use.

Key words: water absorbent , water use efficiency, chlorophyll fluorescence, photophysiology , nitrogen absorption, nitrogen use efficiency

目 录

英文缩略表.....	V
第一章 绪论.....	1
1.1 研究目的和意义.....	1
1.1.1 研究背景.....	1
1.1.2 研究意义.....	2
1.2 保水剂的研究现状.....	2
1.2.1 保水剂的吸水机理及对水分利用的影响.....	2
1.2.2 保水剂与肥料间的相互作用.....	3
1.2.3 国内外保水剂的生产现状.....	4
1.2.4 保水剂在实际应用中存在的问题.....	4
1.2.5 保水剂应用方向与研究重点.....	5
1.3 土壤条件与蔬菜光合生理之间的关系.....	6
1.3.1 植株光合生理对土壤水分的响应.....	6
1.3.2 植株光合生理对土壤中氮素状况的响应.....	7
1.3.3 保水剂对植株光合生理的影响.....	7
第二章 保水剂的基本特性研究.....	9
2.1 材料与方法.....	9
2.1.1 试验材料.....	9
2.1.2 试验方法.....	9
2.1.3 保水剂对土壤特性的影响.....	10
2.2 结果与分析.....	11
2.2.1 吸水特征测定.....	11
2.2.2 保水剂对土壤特性的影响.....	13
2.3 本章小结.....	14
第三章 保水剂对甜椒光合生理的影响.....	15
3.1 材料与方法.....	15
3.1.1 试验材料.....	15
3.1.2 试验设计.....	15
3.1.3 测定方法.....	16
3.2 结果分析.....	17
3.2.1 保水剂处理后甜椒各光合参数的变化.....	17
3.2.2 甜椒光合参数相关性分析.....	20
3.2.3 保水剂对水分胁迫下甜椒叶绿素荧光特性的影响.....	21
3.2.4 不同保水剂处理对植株根系的影响.....	23
3.3 本章小结.....	25
第四章 保水剂对土壤中速效氮的影响.....	27
4.1 材料与方法.....	27
4.1.1 试验材料.....	27
4.1.2 试验方法.....	27
4.2 结果分析.....	27
4.3 讨论.....	28
第五章 保水剂对植株氮素利用率的影响.....	29

5.1	材料与amp;方法	29
5.1.1	供试材料	29
5.1.2	试验设计	29
5.1.3	计算公式	29
5.2	结果分析	29
5.2.1	保水剂对甜椒植株氮素吸收的影响	29
5.2.2	保水剂对甜椒果实氮素利用率的影响	30
5.3	本章小结	32
第六章	全文结论	34
	参考文献	36
	致 谢	42
	个人简历	43
	简介	43
	教育背景	43

英文缩略表

英文缩写	英文全称	中文名称
WUE	Water Use Efficiency	水分利用效率
Fv/Fm	Ratio of variable to maximum fluorescence	PSII 最大光化学效率
NUE	Nitrogen Use efficiency	氮素利用率
Pn	photosynthetic	光合速率
Tr	Transpiratory rate	蒸腾速率
Ci	Intercellular CO ₂ concentration	胞间CO ₂ 浓度
Cond		气孔导度

第一章 绪论

1.1 研究目的和意义

1.1.1 研究背景

我国干旱、半干旱地区总面积 455 万 hm^2 , 占国土面积的 47%, 没有灌溉条件的旱地约占耕地总面积的 65%。同时, 我国现有生产力条件下的农业又是用水大户, 农业用水占总用水量的 73.4%, 生产效率不足 $1.0 \text{ kg} / \text{m}^3$ (杜太生, 2000)。据统计, 我国农业每年缺水约 300 亿 m^3 , 水危机与食品安全和生态安全一样逐渐成为我国农业可持续发展战略面临的资源环境问题之一。当然, 水危机的产生不仅来自水资源短缺, 更主要来自于水资源利用效率低下以及对水环境的污染。

目前, 我国灌溉水的利用系数只有 0.4 左右, 也就是说, 每年经过水利工程引、蓄的 5000 多亿 m^3 水量, 有 60% 左右是在输水、配水和田间灌水过程中被白白浪费掉。输水过程中的大量损耗以及沿用传统的灌溉方式影响下的低水资源利用率, 与局部水资源短缺形成了我国农业“浪费”与“短缺”并存的矛盾现象。发达国家的灌溉水利用系数可高达 0.8~0.9, 用水管理水平也很高, 水的利用效率达到 $2.32 \text{ kg} / \text{m}^3$, 而我国却不足 $1 \text{ kg} / \text{m}^3$ 。如果采用先进的节水灌溉技术或措施, 将水利用系数提高 0.1~0.2, 按全国农业年用水总量 4000 亿 m^3 估算, 则每年可节约水量约 400~800 亿 m^3 , 这将对缓解我国水资源供需矛盾起到很大作用。节水灌溉实际上是提高水分利用效率的综合技术措施 (刘昌明, 1995)。

节水灌溉的最终目的是以最少的水量消耗获取尽可能多的农作物产量, 尽可能好的农作物品质, 最高的经济效益和生态环境效益 (冯广志, 1998)。节约灌溉水的关键在于减少灌溉水从水源到农田直至被作物吸收利用整个过程中的水量损失, 包括大气中散失 (水面蒸发、土壤蒸发、植物蒸腾、喷洒漂移损失等)、地面流失和地下渗漏损失 (Richard *et al.*, 1999) 水量损失还包括作物的奢侈蒸腾。农业用水危机的不断加剧, 农业生产要向高产、稳产方向发展的趋势, 客观地要求我国农业必须发展以充分利用有限降水为中心的节水灌溉及其他相关旱地农田节水保水技术。

同时, 我国以占世界 7% 的耕地养活占世界 22% 的人口, 资源和环境的压力要远远高于其他国家。进入 21 世纪, 面对巨大的人口、资源和环境压力, 我国农业集约化水平也在不断提高, 化肥农药等的施用成为提高土地产出水平的重要途径。目前我国已成为世界上最大的化肥使用国。2004 年, 中国的化肥施用量已经达到 4637 万吨, 尽管我国化肥的平均施用量是发达国家化肥安全施用上限的 2 倍, 但平均利用率仅为 40% 左右。并且从发展趋势上看, 我国的化肥施用量还在逐年增加。2001 年, 全国化肥施用量比 2000 年增长 2.6%, 2002 年增长率为 2%, 2003 年增长率为 1.68%, 2004 年增长率为 5.1% (数据来源 / 中国统计年鉴 2005 年)。据 31 个省、市、自治区的调查, 目前蔬菜、瓜果地里, 单季作物化肥用量通常很高。化肥的高利用、低利用效率状况在带来高产量的同时也为经济、社会以及环境带来了一系列的负面影响。以氮素为例, 我国每年因不合理施肥使得超过 1000 多万吨的氮流失, 直接经济损失约 300 亿元; 同时, 据中科院南京土壤研究所的研究显示, 每年我国有 123.5 万吨氮通过地表水径流到江河湖泊, 49.4 万吨进入地下水, 299 万吨进入大气。研究表明, 长江、黄河和珠江每年输出的溶解态无机氮达到 97.5

万吨,其中90%来自农业,化肥氮占了50%。造成江河湖及地下水源的污染。全国532条河流中,82%受到不同程度的氮污染,这些河湖水域中氨氮和硝酸盐都是主要污染物,富营养化日趋严重,同时造成地下水污染(科博网,2003)。因此,减少化肥施用量、提高化肥利用率,尤其是提高氮素利用率、减少氮素流失及其在植株的残留一直也是人们关注的问题。

1.1.2 研究意义

保水剂在节水农业和生态环境恢复中得到了较为广泛的应用,是目前试验研究中的一种新途径和新方法(皱大林,2000)。保水剂又称土壤保水剂、高吸水剂、保湿剂、高吸水性树脂、高分子吸水剂,是利用强吸水性树脂制成的具有超高吸水保水能力的高分子聚合物(杜太生,2000)。它能迅速吸收自身重量数百倍甚至上千倍的去离子水,数十倍至近百倍的含盐水分,而且具有反复吸水功能,吸水后膨胀为水凝胶,缓慢释放水分供作物吸收利用,从而增强土壤保水性,改良土壤结构(Ben Hur M,1989),减少水的深层渗漏(Ben Hur M,1997)和土壤养分流失,提高水分、养分利用率。自20世纪60年代以来这种通过改善植物根土界面环境来供给植物水分从而提高有限水资源利用率的化学节水技术受到国内外学者的普遍重视。同时我国已成为世界上最大的化肥使用国,化肥高投入、低利用率的状况给我国的经济、社会及环境带来了一系列的问题。研究证明,尿素等非电介质肥料与保水剂结合应用时,保水剂的保水和保肥作用都能得到充分发挥(黄占斌,2002;陈晓佳,2004)。但保水剂不是造水剂,影响保水剂效应发挥的因素很多,如土壤质地、土壤pH值、离子浓度、温度、使用方法、使用量、颗粒大小等,因而必须具备一定的条件才能充分发挥其保水作用。在实际生产中,尤其是保护地蔬菜栽培中如何使其节水保肥效果充分发挥,还有许多问题需进一步研究。

甜椒属茄果类蔬菜,由于甘脆味美,富含维生素C、E受到人们的喜爱。但甜椒生长相对番茄比较缓慢,并且必须保证良好的土壤条件,如合理的湿度、良好的土壤结构、良好的通气量、合适的基质温度等,并且甜椒生育期处于高温季节,蒸腾强、需水量大,水肥管理要求相对较高,不易种植。因此选用甜椒作为典型的耗水实验材料。

本实验试图通过使用便携式仪器分析施用不同种类及浓度的保水剂后土壤水分、甜椒植株光合生理指标的变化以及采用此项化学节水措施对典型肥料—氮利用的影响,分析它们之间的关系,为保水剂在农业上的推广应用提供科学依据。

1.2 保水剂的研究现状

1.2.1 保水剂的吸水机理及对水分利用的影响

保水剂是一种利用强吸水性树脂制成的具有超高吸水保水能力的高分子聚合物,其内部具有大量可电解的羧酸盐基团,并且含有氢键,吸水后其无规则的网状结构撑开,高渗透复合作用的吸水基团具有的较强的吸附水分能力,使非饱和土壤毛管悬着水分配和持水力能力迅速增强,通常数十倍甚至数百倍,有效的固持了根系周围的水分,进一步提高了作物的水分利用效率,同时有效地降低了一些抗旱指标的变化(汪立刚,2003)。试验表明,保水剂一般可提高土壤持水力40%左右。美国Munday进行菜豆盆栽试验,培养基质中分别含保水剂0.27%、0.54%、0.81%,

田间持水量相应比对照增加 9%、18% 和 36%，浇水量分别减少 37%、45% 和 55%。

保水剂的施用效果与保水剂自身的特性、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密切相关，党秀丽等（2005）将土壤有效含水量、保水剂粒径配比、土壤砂粒（2~0.2 mm）百分含量、保水剂用量 4 个参数综合考虑，通过回归分析得出用于粗略估测保水剂实际用量的方程；同时保水剂的施用效果还受到施用方式和施用时间的影响：深施保水剂可有效的提高作物的产量和水分利用效率，如玉米、马铃薯（黄占斌，2004；俞满源，2003）施用保水剂有利于植株形成壮苗，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的生物量、株高、叶数和叶面积等往往均有较大增幅；陆国盈等（2005）将甘蔗分为下种期、分蘖初期和伸长初期分别施用保水剂进行分析的结果表明，以伸长初期的效果最佳，植株的水分利用效率最高。

1.2.2 保水剂与肥料间的相互作用

1.2.2.1 保水剂对肥料的影响

保水剂表面分子有吸附、离子交换作用，肥料液中的铵离子能被保水剂中大量可解离的离子交换或络合，同时以包裹的方式把土壤溶液中的铵离子包裹起来，减少了肥料的淋失，使得土壤淋出液出现高浓度的时间推迟，所以当尿素等非电介质肥料与保水剂结合应用时，保水剂的保水和保肥作用都能得到充分发挥。陈晓佳等（2004）通过试验证明将肥料中加入PAM保水剂使土壤淋出液出现高P、K浓度的时间推迟；黄占斌等（2003）将保水剂与尿素或与尿素磷肥混合使用于玉米田，可同时提高尿素和磷肥利用效率 18.72 % 和 27.06 %。因此，当肥料施入土壤后，保水剂产品对阳离子（如 K^+ ）和阴离子（如 NO_3^- ）均有较强的吸附作用，从而降低了其流失量，并且在一定的范围内随着保水剂用量的增加，养分流失量减少（杜建军，2002）。国内外实践证明，保水剂可协调水肥耦合环境，提高氮、钾肥利用率，拌土施加保水剂可节肥 30 %。在所进行的研究中发现随保水剂用量的增加，植株的平均高、地径和叶片数均有所提高。Smith和Harrison(1991)报道，3 种保水剂（聚丙烯酸酯类，聚乙烯醇类，淀粉类聚合物）分别与肥料合施与单施肥料相比，保水剂能延缓氮素的扩散和释放，他们注意到经过干湿交替循环处理的保水剂能吸持更多的阳离子，但吸水量降低。保水剂吸纳养分的释放最终取决于聚合物扩散特性、降解速率和养分盐类的性质。研究表明，养分离子或分子从聚合物迁移到土壤中是由浓度差而产生的物质传递和布朗分子运动作用的结果。限制聚合物内养分的扩散能减缓养分向周围土壤的释放。但是由于受到土壤体系的复杂性如土壤水分干湿交替、冻融交替、PH和其他离子的影响，保水剂会出现收缩和膨胀而使其养分释放变得更为复杂（Hassan, 1990; Mikkelen, 1994; 李长荣, 1989; 杜建军, 2002）。保水剂对养分的保蓄作用是有效的。一方面，在土壤中的养分较充分时它吸附养分，起保蓄作用；另一方面，当植物生长需要土壤供给养分时，保水剂将其吸附的养分通过交换作用供给植物。并且在保水剂水分释放过程中，水分有效性的提高促进了肥料的溶解（Polyakova, 1976; Kochba, 1990; Chatzoudis, 1995）。由此可以看出，通过施用土壤保水剂，使土壤中养分的供给与植物对养分的需求更加同步。

1.2.2.2 肥料对保水剂的影响

高吸水性树脂大部分是高分子电解质，因此，目前解释这类保水剂的吸水机理一般用 Flory-Huggins 关于离子型网络的膨胀理论来预测。其公式如下：

$$Q^{5/3} = \frac{(i/2VuS^{1/2})^2 + (1/2 - x_1)/V_1}{Ve/Vo}$$

式中Q代表保水剂吸水膨胀率， i/Vu 代表聚合分子网络上固定电荷的浓度，S代表外界溶液离子浓度， x_1 代表相互作用参数， V_1 代表水的体积分数， Ve/Vo 即交联密度（何绪生，2005）。由上式可以看出，保水剂的吸水力与外界离子浓度成正比。保水剂在盐溶液中的吸水倍率比在纯水中的吸水倍率有所降低，降低的程度取决于盐的种类和盐离子的电价数。在实际应用中，有些肥料元素会使保水剂失去亲水性，降低保水能力，如钠类保水剂，因其吸水后，钠离子游离，与溶液中的二价阳离子发生置换反应，使得保水剂结构发生变化，网孔缩小、吸水倍数减小，当溶液中钙、镁离子达到 200 mg/kg时，钠类保水剂的吸水倍数由 228 减少到 100 左右，因此，钠类保水剂不能与锌、锰、镁等二价金属元素的肥料混用（黄占斌，2002），但氮肥与保水剂混合使用相互抑制作用微小，20 mM的尿素溶液保水剂凝胶的水合作用降低 4%（Bowman, 1990；黄占斌，2002）。

1.2.3 国内外保水剂的生产现状

20 世纪 60 年代，美国科学家研制出淀粉型保水剂，70 年代在玉米、大豆包衣和造林等方面应用，取得良好效果。之后，各国竞相研制出数十种保水剂。其中，日本发展最快，现已成为世界上最大的超强吸水性树脂生产国，拥有生产公司 20 余家，其中日本触媒公司生产量最大，年产达 8 万吨。在生产能力方面，1980 年世界保水剂年总产 0.5 万吨，1989 年升至 21 万吨，1998 年发展到 85 万吨，现已超过 100 万吨，我国保水剂研制和应用始于 80 年代，虽起步较晚，但发展较快。90 年代以来，一批新型的保水剂厂家和产品陆续问世，在科研部门和生产企业共同努力下，目前单一保水剂生产技术基本成熟，产品如北京KH 841、长春IAC 213、兰州晶体、兰州片状、广州H₂S₂PAN、北京SA、原航天部SAP、陕西永泰田等。保水剂在农业上的应用研究范围广泛，涉及面广、种类较多、品种齐全，据统计已在粮、棉、油、糖、烟、果、菜、林等 60 多种植物上进行了应用试验，全国试验示范推广面积超过 7 万多公顷（吴德瑜，1991）。当前，复合化、多功能化的方向发展是我国保水剂生产的一个重要趋势。

1.2.4 保水剂在实际应用中存在的问题

保水剂所吸持的水分主要保持在 10 kPa~50 kPa低吸力范围内，是植物最易吸收利用的水分。它的最大吸水力高达 13 kg/cm²~14 kg/cm²，而根系的吸水力大多为 17 kg/cm²~18 kg/cm²，所以一般情况下不会出现根系水分倒流。国外试验表明，一般使保水剂所吸持的水分保持在 30% 以上可保证根系吸水。保水剂用量只有在一定范围内，所保持的水分才能被植物有效利用并促进其成活及生长发育。用量过低，不能发挥其应有的作用，而用量过高时，因根系周围贮水量过大

通气不畅,影响其呼吸,甚至会导致根系腐烂;或者因未饱和的保水剂吸水的影响,反而存在负作用。例如在蘑菇培养试验中产生保水剂倒吸水现象,引起蘑菇旱害而减产,其主要原因就是保水剂未保持足够的吸水量所引起的(王晗生,2001)。此外,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。由于所施用的保水剂类型、土壤质地、水质、试验条件等并不一致,致使很多试验结果相互矛盾。与国外相比,我国保水剂应用研究中深层次的研究较少,存在很多类似幼苗、根系发育的低层次重复,缺乏系统的组合研究。国内一批新型高吸水率的保水剂已投产并逐渐应用于农业生产,原来的一些研究成果以及检验方法必须进行修订和完善,否则将很难满足干旱半干旱地区保水剂应用与推广的要求,同时,保水剂在农业生产中的应用,目前仍处于小面积、少作物零散试验示范阶段,系统的应用研究及其对土壤、环境节水保水机理研究还不多。

1.2.5 保水剂应用方向与研究重点

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,因此在保水效能不变的情况下选用具有相同作用的材料或者添加辅料解决材料的价格问题成为当前的研究热点,如PAM-atta聚丙烯酸盐保水剂中加入经过处理的凹凸棒黏土(刘瑞凤等,2005);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是目标。

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。加强保水剂的应用基础研究,主要包括以下方面工作:

1. 保水剂对作物增产和提高水分利用效率机理研究方面。应总结已有研究积累,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,系统地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依据。

2. 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,必须具备一定的条件才能充分发挥其保水作用。应用效果实验资料已有许多报告,近10年发表相关论文有500余篇。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、如何利用简易方法判断土壤保水剂最佳施用量、施用方式和施肥方式的保水剂应用技术;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。

3. 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。

1.3 土壤条件与作物光合生理之间的关系

1.3.1 植株光合生理对土壤水分的响应

灰色关联度分析表明辣椒耗水量与其总生物量的关系最密切, 地上部干物质量、地下部干物质量、叶数和叶面积次之(黄占斌等, 2002)。干旱对作物的影响是广泛而深远的, 它不仅影响作物各个生育阶段, 从种子萌发及营养、生殖生长, 到开花、结实, 同时还影响到作物的各种生理代谢, 如光合作用、呼吸代谢、水分和养分的吸收和转化等。水分的变化直接引起内部的生理变化, 经过一系列信号传导, 最终表现在形态建成和产量形成上。作物水分养分状况和环境因子对光合作用的影响也主要是通过调节气孔和叶肉细胞活性来达到的。水分胁迫常使植物光合作用下降, 这种下降是由气孔关闭和叶绿体的变化引起的(Farquhar GD, 1982)。土壤含水量降低引起叶片水势降低, 气孔阻力增大, 最终导致叶片扩散阻力加大, CO_2 扩散受阻, 光合速率下降, 叶片含水量与其光合速率密切相关。当土壤含水量低于 65% 的田间持水量时光合速率随土壤含水量的增大而增大, 高于 65% 田间持水量时, 光合速率随土壤含水量的增加而降低(田永超, 2005); 叶绿体偶联因子对水分胁迫极为敏感, 由于水分胁迫抑制了偶联因子的活性及光合磷酸化活性, 可以认为叶绿体活性降低使作物光合作用受到抑制。

从植株外部土壤环境看, 土壤水分状况与光合作用的关系一方面通过影响叶片气孔阻力及 CO_2 扩散阻力来影响光合速率, 这一过程持续时间较短; 另一方面土壤水分亏缺使土壤热容重增加, 土温升高, 根系呼吸加强, 蛋白酶活性提高, 植株衰老加快, 叶片光合速率和光合能力下降, 这一过程持续时间较长。水分胁迫对光合的影响分为气孔限制与非气孔限制两方面。若水分胁迫下气孔导度减小, 叶肉细胞仍在活跃地进行光合, 细胞间隙 CO_2 浓度明显下降, 气孔阻力上升, 就是气孔限制在起作用; 若叶肉细胞本身光合能力明显下降, 气孔阻力下降, 而细胞间隙 CO_2 浓度升高或基本不变, 就是非气孔限制在起作用。如轻度水分胁迫对大白菜光合作用的影响表现为气孔限制, 而严重水分胁迫则表现为非气孔限制, 这是由于叶肉细胞光合活性下降所致; 大白菜光合速率随叶片相对含水量(RLWC)的减少而下降, 当RLWC低于 86% 时, 光合速率急剧下降。

植株的水分状况与气孔行为关系密切, 水分的散失量主要取决于气孔数目的多少和气孔开张度的大小。单位叶面积上的气孔数目属于遗传性状, 主要受遗传基因的控制, 但也受到环境条件的影响。大白菜叶片的气孔数目与气孔开张度随土壤含水量的增加而增加(张宪法, 2000)。一般情况下, 蔬菜的气孔开张度小于 $4.5 \mu\text{m}$ 时就应该进行灌溉。因此, 气孔导度也是植物受到水分胁迫的重要指标。与“表观性”的气体交换指标相比, 叶绿素荧光参数更具有反映“内在性”的特点, 是一种简便、快速、灵敏, 既不破坏被测试植物, 又能较准确反应光抑制程度的可靠指标(郭盛磊, 2005)。

目前,作物水分亏缺诊断方法可分为间接估算、直接测定和综合法三类。间接估算是根据对引起作物水分亏缺的环境因素(如土壤湿度或水势和空气湿度等)的测定诊断作物水分亏缺状况;直接测定是指对作物自身水分亏缺的直接测定;综合法则是根据环境因素和作物本身的水分生理指标的测定来综合诊断作物的水分亏缺状况。充分供水下,保水剂促进生长而减小根在整个生物量中比重,促进地上部分生长;渐进干旱下,土壤施用保水剂增加根和叶比重,增强玉米叶片光合作用和根系对土壤水分吸收,以适应土壤水分的不足(黄占斌等,2004)。康绍忠等(1997)根据根系在干湿交替环境下表现出的补偿效应提出了控制性作物根系分区交替灌溉(CRDI),山仑和苏佩等(2000)研究表明,春小麦和马铃薯在干湿交替环境下可获得与充分供水相当的产量,水分利用效率得到提高。

1.3.2 植株光合生理对土壤中氮素状况的响应

氮素是影响植物生长发育的重要营养因子。植物叶片大约75%的氮素存在于叶绿体中(Evans JR,1989;刘国栋,2003),这其中的30%~50%被碳同化的关键酶——核酮糖21,52二磷酸羧化酶所占据,还有一部分被用于光捕获和电子传递等相关蛋白的合成(Evans JR,1996)。许多研究表明,植物的叶氮含量与其净光合速率有着很强的相关性(Evans JR,1996; Reich PB,1994),供氮水平可通过影响叶氮含量而直接影响植物的光合能力。此外,氮素供给对植物叶片的气孔导度(Ciampi S,1996; Cech,1998)、光合色素(Lima JD,1999; Zhang WF,2003)以及叶绿素荧光参数(Zhang LM,2003; Guan YX,2000)也都有很大的影响。饱和光强下的净光合速率(Pn)是最能反映植株光合能力的参数。植物叶片的氮含量随外界环境中氮有效性的增加而增加(Tan W,1995; Brown KR,1996; Ripullone F,2003),即使当供氮过量并限制植物生长时依然如此(Nakaji T,2001)。

在对小麦、棉花、菜豆及玉米的研究中发现,与“表观性”的气体交换指标相比,叶绿素荧光参数更具有反映“内在性”的特点。因为供氮不足通常导致蛋白合成能力的下降,以致光破坏的PS中心不能有效的被修复,从而产生光抑制现象(郭盛磊,2005)。Fv/Fm和随供氮水平的降低而下降的这一变化,但也有一些研究中并未发现外界供氮对植株的光化学效率(Fv/Fm)产生影响(Ciampi S,1996; Cechin I,1998)。这种氮依赖的Fv/Fm变化的分歧可能是源于植物体内氮有效循环机制的差异和叶内潜在的氮分配格局的不同(Lima JD,1999)。

1.3.3 保水剂对植株光合生理的影响

保水剂具有增强土壤保水性,改良土壤结构,减少水的深层渗漏和土壤养分流失(陈晓佳,2004)提高水分的功能,通过对土壤中水、肥的作用影响着植株的光合生理。俞满源(2002)研究表明,保水剂与肥料对植株的光合生理有明显的主效应和交互效应,保水剂与肥料的交互效应对植株的生存期和生长量均有显著影响。刘煜宇等(2005)研究还发现,在施加保水剂条件下,即使是不施肥的处理,其生长量也要高于施肥而不加保水剂的处理,这说明苗木的生长更多地依赖于水分的作用,水分充足可以提高苗木的光合速率。在马铃薯实验中(俞满源,2002),保水剂与氮肥从以下几个方面促进了光合作用:(1)保水剂在苗期实现壮苗,增加冠幅,增加了马铃薯植株有效光合面积;(2)在盛花期及块茎膨大期保水剂结合氮肥提高了马铃薯叶片光合速率;(3)

保水剂与氮肥结合有利于增加生物量，该期生物量的最大积累有利于光合同化物向块茎的转移运输，确保了块茎的生长发育；(4) 氮肥和保水剂结合延长了植株生育期，增加了光合时间。光合能力、有效光合面积增加，光合时间增长，产量得到相应增长。

第二章 保水剂的基本特性研究

土壤物理肥力是指土壤结构对土壤肥力的贡献部分,土壤结构决定土壤的物理肥力,同时也决定有效肥料元素在土壤中的迁移运动和土壤生物的生存,因此是土壤肥力的基础。粒径大于 0.25 mm 的团粒对土壤的农学价值起主要作用,通常把粒径大于 0.25 mm 的团粒含量作为评价土壤结构的标准。研究表明,保水剂对土壤团粒结构的形成有显著促进作用,特别是对创建土壤中 0.5~4 mm 粒径的团粒影响显著。随着保水剂用量的增加,土壤中>0.25 mm 的水稳性团粒总含量增大。在施用量 0%~0.3% 范围内,保水剂用量与土壤中大于 0.25 mm 团聚体的含量近似呈线性关系。增加保水剂用量,土壤中大颗粒团聚体的含量不断增大,这些大团聚体的形成有助于稳定土壤结构,改善土壤通透性,防止表土结皮。

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、见效快的特点。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。

影响保水剂效应发挥的因素很多,如土壤质地、土壤 pH 值、离子浓度、温度、保水剂使用方法、使用量、保水剂颗粒大小等。加入保水剂明显减缓了水分向土壤深层的入渗,使水分滞留于土体表层,各处理土壤的水吸力随着土壤含水量的下降而增大,土壤含水量愈接近凋萎湿度,土壤水吸力愈大,即水分能态愈低。在相同土壤水吸力下,随着保水剂用量的增加,土壤含水量相应增大。相同含水量时,土壤水吸力随着保水剂用量增大而增大,即水分能态随保水剂的增加而下降,这在一定程度上降低了水分的有效性。高浓度保水剂在同一土壤含水量条件下明显的降低了水势,而低浓度所受的影响要小些。随着保水剂用量的增加,土壤的毛管持水量相应增大,凋萎系数虽亦增大,但增幅较小,毛管持水量提高幅度远大于凋萎系数提高幅度,土壤有效水的贮量明显增大。但保水剂浓度过大,凋萎系数增加很大,有效水含量也随之加大,低吸力范围内的有效水过多对植物生长极为不利,也不利于植株成活,使用不当会加大土壤无效蒸发的潜力。因此,不同土壤质地下保水剂的粒径、用量都有一个适宜值,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,同时也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;超过这个值土壤有效水含量反而下降。因此,了解不同保水剂的基本理化性质是十分必要的。

2.1 材料与amp;方法

3.1.1 试验材料

林果专用保水剂(中国唐山)、LT-100、LT-200(日本三洋化工)

3.1.2 试验方法

2.1.1.1 吸水速率测定

称取三种保水剂各 1 g 分别装入 200 目的纱布袋内,将其分别放入 200 mL 的去离子水中,

每隔 5 min 测定吸水后的保水剂质量，直至保水剂充分吸水至恒重，计算不同时间段内的吸水速率、

用不同时间保水剂的吸水量与时间的变化作图描述吸水速率。

$$Q_1 \text{ (g/g*min)} = Q/t \quad (1)$$

式中 Q_1 — 吸水速率, g /g * min

Q — 吸水倍率, g /g

t — 时间, min

2.1.1.2 吸水倍率测定

采用自然过滤法，称取三种保水剂各 1 g 分别装入 200 目的尼龙袋内，将其分别放入 200 mL 的去离子水中，待保水剂充分吸水膨胀至恒重时取出袋子，用滤纸拭去袋面明水后称重量，计算吸水倍率。

$$\text{计算公式为: } Q \text{ (g/g)} = (m_2 - m_1) / m_1 \quad (2)$$

式中 Q — 吸水倍率

m_1 — 保水剂的质量, g

m_2 — 吸液后保水剂的质量, g

2.1.1.3 保水剂对盐溶液吸收倍率的测定

称取三种保水剂各 1 g 分别装入 200 目的尼龙袋内，将其分别放入 200mL 0.1 mol/L 的 K_2SO_4 盐溶液中，待保水剂充分吸水膨胀至恒重时取出袋子，用滤纸拭去袋面明水后称量重量，计算吸液倍率。公式同 (2)。

2.1.2 保水剂对土壤特性的影响

2.1.2.1 保水剂对土壤水分特征曲线的影响

采用压力室法进行保水剂及保水剂处理后土壤的水分特征曲线的测定和描述。称量三种保水剂各 2 g，放入 200 目砂袋中充分吸水膨胀。取出后置于环刀内称重，然后将其放置在浸好的陶瓷压力板上。按照土壤水分特征曲线的压力室法测定吸水饱和后保水剂分别在 0~15bar 压力处理后的质量，据此计算不同压力平衡下保水剂持水量，并做出保水剂的脱水曲线。

2.1.2.2 保水剂对土壤溶液电导率的影响

将混施过保水剂的各盆栽处理施入 10mL 浓度为 0.05mol/L 的 KNO_3 溶液，待溶液入渗 30min 后利用电导仪测定不同处理中土壤溶液的电导率。

2.2 结果与分析

2.2.1 吸水特征测定

2.2.1.1 吸水倍率测定

保水剂的吸水量随时间延续而逐步增加，最终趋于稳定，并达到饱和状态。由图 2-1 可以看出，三种保水剂在纯水中的水分变化虽有相同的增加趋势，但其各自的初始吸水倍率以及最终饱和和吸水倍率都是不同的。国产林果专用保水剂吸水量变化较为平缓，尽管开始时吸水倍率低于 LT-100，但在吸水 13min 后吸水倍率高于 LT-100，并且其饱和后的最终吸水量也达到三种保水剂中的最大值；LT-200 的吸水量变化虽比较平缓，但其吸水量最低。

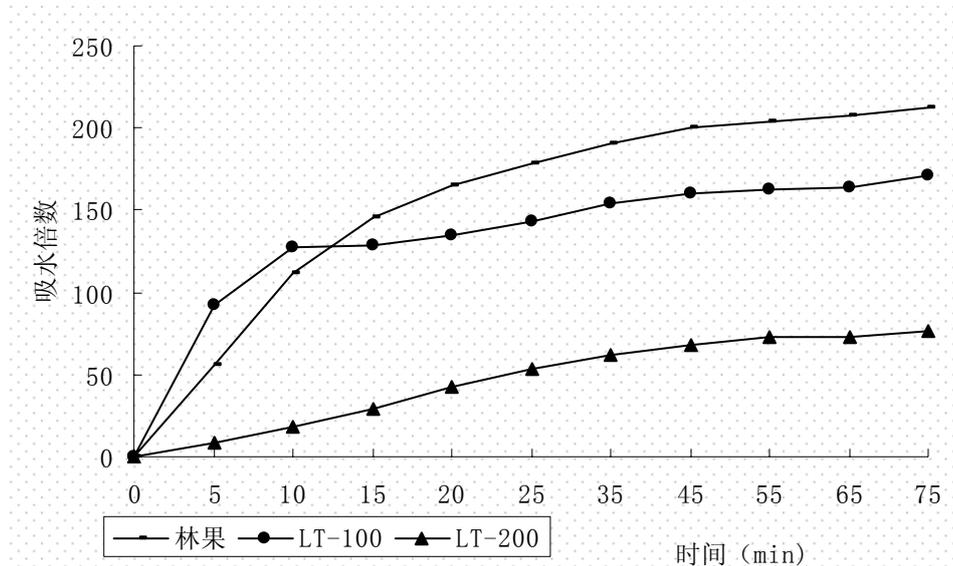


图 2-1 三种保水剂在不同时间吸水倍率比较

Fig. 2-1 Absorption of deionized water by water absorbent as a function of time

2.2.1.2 保水剂对盐溶液吸收倍率的测定

保水剂的吸水倍数随离子浓度、PH值的变化而有所改变。如图 2-2 所示，保水剂在 0.1mol/L 的 K_2SO_4 盐溶液中对水分的吸收倍率远低于在纯水中的吸水倍率，同时观察不同时间吸水倍数的变化可知，三种保水剂均在初始的 3 min 内快速吸收水分，之后的吸水速率趋于平缓。林果专用保水剂的吸水速率在 40 min 内的比较稳定，LT-100、200 的吸水速率下降但仍缓慢吸水。其中林果专用保水剂在盐溶液中的吸水倍率仍为最高，但林果专用、LT-100 两种保水剂在 K_2SO_4 盐溶液中的吸水倍率、速率有很大下降，与其在纯水中的吸收倍率进行比较可以发现 LT-200 几乎不变化，虽然吸水倍率在三种保水剂中较低，但其性质比较稳定，这在一定程度上可以增加其适用范围。三种保水剂在盐溶液中吸水 40 min 后的质量变化均不大，几乎均在此时达到饱和吸水量。

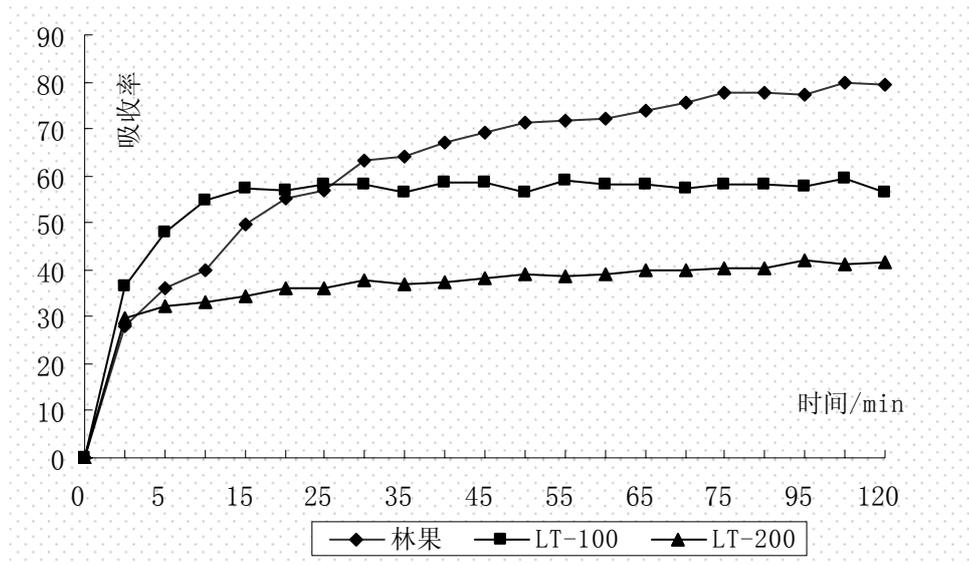


图 2-2 不同保水剂在 K_2SO_4 溶液中吸收倍数的比较

Fig. 2-2 Absorption of K_2SO_4 by water absorbent as a function of time

2.2.1.3 保水剂在盐溶液中重复吸水能力比较

保水剂由于其特有的分子结构与组成可以反复吸水-释水，从而起到节水、保水的作用。但各自重新的吸水倍数都有不同程度的下降。其中，林果专用保水剂的吸水倍数从 79.2 降到 67.3；LT-100 在 K_2SO_4 溶液中的吸水倍数从 56 降到 45，相对于在纯水中的初次吸收量降低了 50 倍。

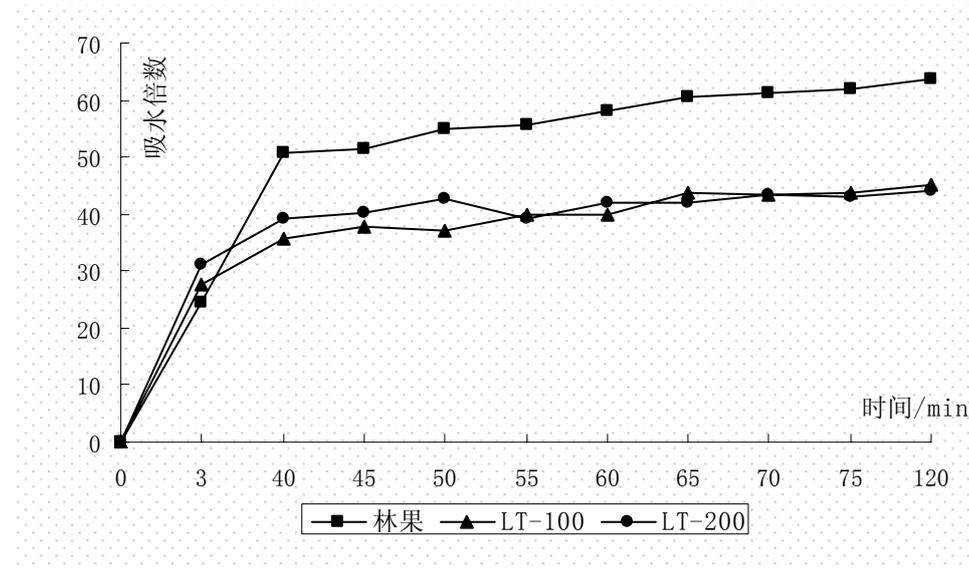


图 2-3 不同保水剂饱和后释水重吸溶液倍数的比较

Fig. 2-3 Re-absorption of water absorbent as a function of time

试验的三种保水剂中 LT-200 在纯水中的吸收倍率虽不大，但其在盐溶液中的吸收倍数也不大，并且重复吸水性较好，吸水特性比较稳定。

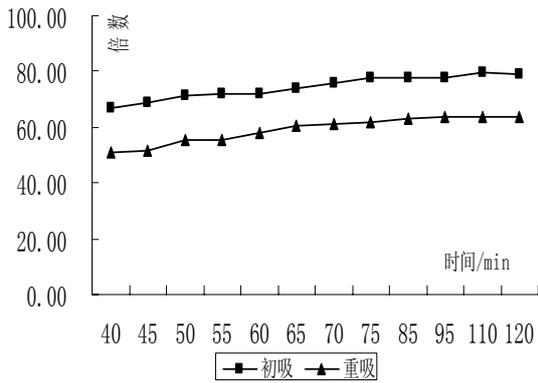


图 2-4 林果专用保水剂两次吸水倍数的比较

Fig. 2-4 The contrast of Linguo absorb during 2 periods

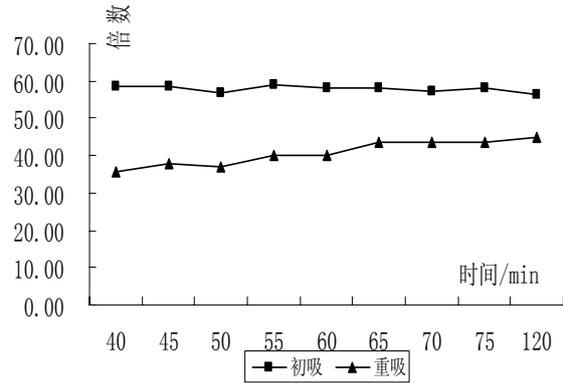


图 2-5 LT-100 保水剂两次吸水倍数的比较

Fig. 2-5 The contrast of LT-100 during 2 periods

比较图 2-4、2-5 可以看出，尽管保水剂在 0.1 mol/L 的 K_2SO_4 盐溶液中的吸水倍率有所下降，但是其在不同时间内吸收盐溶液中水分的趋势线几乎平行。

2.2.2 保水剂对土壤特性的影响

2.2.2.1 保水剂对土壤水分特征曲线的影响

将 3 种保水剂与土分别以 0.5‰、1‰、1.5‰ 混匀充分吸水后水分含量变化很大，从 45%~65%，经过 0~15bar 梯度压力处理后，各处理含水量差异不大。由保水剂的释水曲线（图 2-6）可以看出，不同保水剂处理在不同压力势下的变化趋势与原状土壤的趋势线几乎相同，只是土壤中的含水量有所提高。保水剂在加压的情况下所吸收的水分仍可以有效的保持，这对保水剂改善土壤的持水性能具有积极意义。

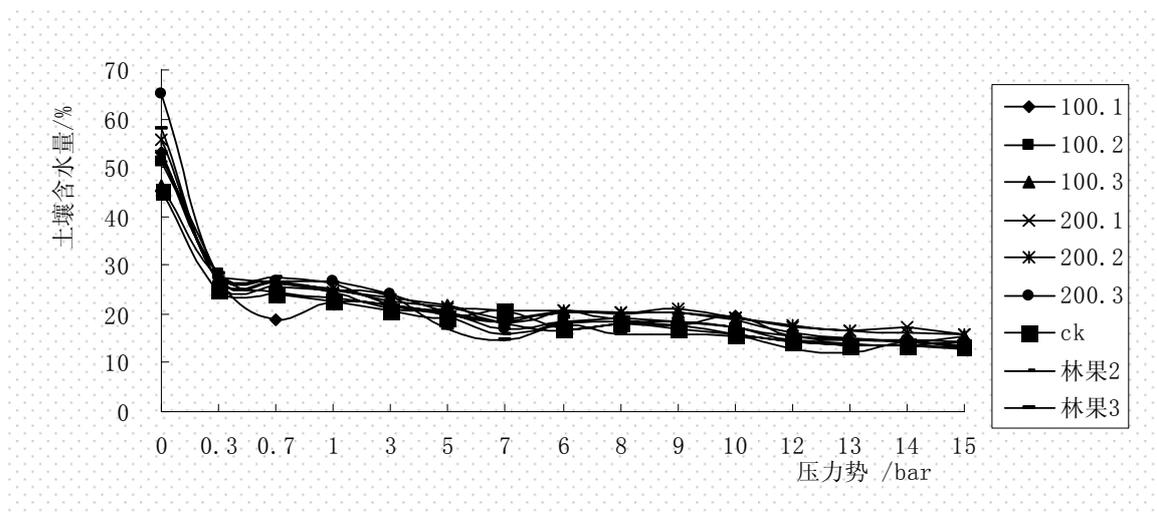


图 2-4 不同压力势下保水剂处理土壤的释水曲线

Fig.2-6 The curve of water release of water absorbent under different pressure potential.

2.2.2.2 保水剂对土壤溶液电导率的影响

土壤电导率虽然受土壤盐分和含水量的影响，但一定条件下土壤盐分对电导率的影响远大于含水量的影响，因此在忽略含水量差异的前提下通过测量电导率可以间接地估计土壤中的盐分含量。

由图 2-7 可以看出，施用三种不同的保水剂后土壤电导率均有所增加，并且随着保水剂用量的增加而有不同程度的增大。其中林果专用保水剂在浓度为 1.5‰ 时对电导率的影响最大，一定程度反映了它对离子的吸附能力；LT-100 虽然吸水能力与之相似，但不同保水剂浓度对土壤电导率的影响的变化幅度相对较为平缓，1‰ 与 1.5‰ 下土壤的电导率几乎相同。

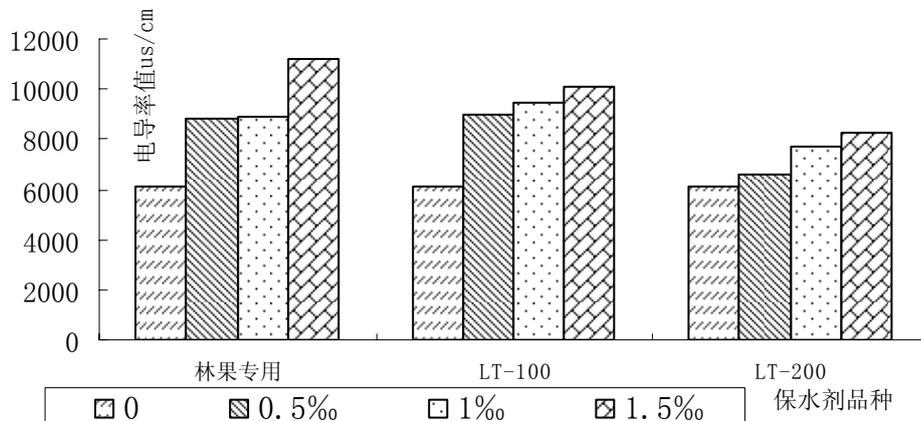


图 2-7 不同浓度保水剂对土壤电导率的影响
Fig.2-7 Effects of water absorbent on soil superabsorbent

2.3 本章小结

保水剂的吸水量随时间延续而逐步增加，最终趋于稳定，并达到饱和状态。三种保水剂的水分变化虽有相同的增加趋势，但其各自的初始吸水倍率以及最终饱和吸水倍率都是不同的。

试验结果表明，不同保水剂在盐溶液中的吸收倍数较在纯水中都有不同程度的下降，并且重复吸水能力下降，试验的三种保水剂中 LT-200 在纯水中的吸收倍率虽不大，但其在盐溶液中的吸收倍数也不大，并且重复吸水性较好，吸水特性比较稳定。

由保水剂的释水曲线可以看出，不同保水剂处理在 0~15 bar 压力势下的变化趋势与原状土壤的趋势线几乎相同，只是土壤中的含水量略有增加，这对保水剂改善土壤的持水性能具有积极意义。

施用三种不同的保水剂后土壤电导率均有所增加，并且随着保水剂用量的增加而有不同程度的增大。其中林果专用保水剂对电导率的影响最大，一定程度反映了它对离子的吸附能力。

第三章 保水剂对甜椒光合生理的影响

光合作用是作物产量形成的基础,对田间水分状况比较敏感。在作物生长季内,水分会通过对作物光合速率的作用,最终影响作物的产量形成。水分对光合作用的影响主要分成光合作用的气孔限制和光合作用的非气孔限制两大类。短时间的水分胁迫主要是由于水分胁迫引起叶片水势下降造成气孔导度下降,CO₂进入叶片受阻,导致植物因光合底物供应不足引起光合速率下降。一旦水分供应恢复,气孔会重新开放,胞间CO₂浓度(Ci)会很快回升,短时间内光合速率就可以恢复到最大值,此时植株的潜在光合能力并没有受到多大影响;随着胁迫的加剧,土壤相对含水量值(RWC)很低,此时提高空气中CO₂浓度的作用很小,植株潜在的光合作用受到了代谢的限制,即非气孔限制。在低RWC和光合效率减小的情况下,从光能捕获到CO₂固定间许多代谢反应受到损伤,包括Rubisco酶活性、RUBP再生、ATP和NADPH供给、电子传递和跨类囊体膜、质子浓度、光合系统光能捕获和传导、叶绿体外同化产物等。有的时候,气孔限制和非气孔限制之间没有严格的界限,而是同时进行。气孔是光合作用和蒸腾作用CO₂的共同通道,叶片光合速率与蒸腾速率的比值即植物叶片水分利用效率(WUE),作为植物生理活动过程中消耗水形成有机物质的基本效率,成为确定植物体生长发育所需要的最佳水分供应的重要指标之一,WUE理论应用于农作物生产,取得了一定的效果。光合参数日变化是作物生产过程中物质积累与生理代谢的基本单元,也是分析环境因素对作物生长和光合作用影响的重要环节。在不同供水条件下,研究作物的光合生理指标的日变化特征及其机理,对提高作物水分利用效率和寻求增产新途径具有积极的意义。

3.2 材料与方 法

3.2.1 试验材料

供试甜椒品种为中椒 26 号,中国农科院蔬菜所提供;所用保水剂为:林果专用保水剂(中国唐山)、LT-100 和LT-200(日本三洋)。盆栽试验供试土壤取自中国农科院环发所东门试验站棉花地表层土壤,土壤含有机质 28.1 mg/kg,速效氮 126.8 mg/kg,速效磷 11.8 mg/kg,速效钾 38.4 mg/kg,pH 为 7.43;土壤容重为 1.18 g/cm³,最大田间持水量为 33%。

3.2.2 试验设计

试验设计为包括 3 种保水剂及保水剂 3 种不同浓度梯度及无氮无保水剂(wnwb)和有氮无保水剂(wnb)两种对照,共 11 个处理,每个处理 5 次重复。保水剂的浓度梯度分别为:0.5:1000,1:1000,1.5:1000(保水剂:土壤)。首先称量各处理用土 12.5 Kg,记录初始盆与土的重量。盆底放置托盘,防止水分过量时流失。浇水在每日傍晚进行,每天浇水 400mL(日温较高水分蒸发速率较快阶段每日浇水 800mL)直至进行水分处理,水分处理以对照甜椒植株萎蔫 2d 作为终止,测定各处理水分胁迫前后土壤含水量,同时进行光合观测。以此了解经不同保水剂处理后相同供水量下土壤水分与甜椒光合生理指标的差异。

3.2.3 测定方法

3.2.3.1 光合参数的测定

使用便携式光合分析系统 (Licor-6400, Inc, USA) 进行光合速率、蒸腾速率、气孔导度、叶温、相对CO₂浓度测定。测定时间为每日 7:00-12:00, 每两小时测定一次, 连续测定 3~5 日 (以对照含水量低叶片萎蔫 2 日作为胁迫标准)。选取叶片为植株下部倒数第 3 片叶, 设置仪器参数光量子通量密度为 1500 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 的人工光源。使用 Fim-1500 进行叶绿素荧光参数的测定, 测定前暗适应 25 min, 脉冲时间 5s。

3.2.3.2 根系活力的测定 (TTC 法)

一、原理

氯化三苯基四氮唑 (TTC) 是标准氧化电位为 80 mV 的氧化还原色素, 溶于水中成为无色溶液, 但还原后即生成红色而不溶于水的三苯甲腙, 生成的三苯甲腙比较稳定, 不会被空气中的氧自动氧化, 所以 TTC 被广泛地用作酶试验的氢受体, 植物根系中脱氢酶所引起的 TTC 还原, 可因加入琥珀酸, 延胡索酸, 苹果酸得到增强, 而被丙二酸、碘乙酸所抑制。所以 TTC 还原量能表示脱氢酶活性并作为根系活力的指标。

二、材料、设备仪器及试剂

(一) 材料: 水培或砂培小麦、玉米等植物根系。

(二) 仪器设备: 1. 分光光度计; 2. 分析天平 (感量 0.1 mg); 3. 电子顶载天平 (感量 0.1 g); 4. 温箱; 5. 粉碎机。

(三) 试剂: 1. 乙酸乙酯 (分析纯)。2. 次硫酸钠 ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$), 分析纯, 粉末。3. 1% TTC 溶液 准确称取 TTC 1.0 g, 溶于少量水中。定容到 100 mL。用时稀释至各需要的浓度。4. 磷酸缓冲液 (1 / 15 mol/L, pH7)。5. 1 mol/L 硫酸 用量筒取比重 1.84 的浓硫酸 55 mL, 边搅拌边加入盛有 500 mL 蒸馏水的烧杯中, 冷却后稀释至 1000 mL。6. 0.4 mol/L 琥珀酸 称取琥珀酸 4.72 g, 溶于水中, 定容至 100 mL 即成。

三、实验步骤

(1) TTC 标准曲线的制作

取 0.4% TTC 溶液 0.2 mL 放入 10 mL 量瓶中, 加少许 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ 粉摇匀后立即产生红色的甲腙。再用乙酸乙酯定容至刻度, 摇匀。然后分别取此液 0.25 mL、0.50 mL、1.00 mL、1.50 mL、2.00 mL 置 10 mL 容量瓶中, 用乙酸乙酯定容至刻度, 即得到含甲腙 25 μg 、50 μg 、100 μg 、150 μg 、200 μg 的标准比色系列, 以空白作参比, 在 485 nm 波长下测定吸光度, 绘制标准曲线。

(2) 称取根尖样品 0.2~0.5 g, 放入 10 mL 烧杯中, 加入 0.4% TTC 溶液和磷酸缓冲液的等量混合液 10 mL, 把根充分浸没在溶液内, 在 37 $^{\circ}\text{C}$ 下暗保温 1~3 h, 此后加入 1 mol/L 硫酸 2 mL, 以停止反应。(与此同时做一空白实验, 先加硫酸, 再加根样品, 其他操作同上)。

(3) 把根取出, 吸干水分后与乙酸乙酯 3~4 mL 和少量石英砂一起在研钵内磨碎, 以提出甲腙。红色提取液移入试管, 并用少量乙酸乙酯把残渣洗涤二、三次, 皆移入试管, 最后加乙酸乙

酯使总量为 10 mL，用分光光度计在波长 485 nm 下比色，以空白试验作参比测出吸光度，查标准曲线，即可求出四氮唑还原量。

四、结果计算

$$\text{四氮唑还原强度 (mg/g(根鲜重)/h)} = \text{四氮唑还原量 (mg)} / [\text{根重 (g)} \times \text{时间(h)}]$$

3.3 结果分析

植物的抗旱性是多种抗旱途径或方式共同作用的结果。在水分胁迫条件下植物对不同生理过程表现出不同的反应，也就是说它们抵御干旱的方式不同。如沙枣、香椿在干旱的条件下仍能维持较高的净光合速率，说明其抗旱生产力较高；杜仲、金链树在干旱的条件下能维持较低的蒸腾速率说明推迟脱水能力，即避旱能力较强。不同处理的几种光合指标的变化并不完全一致。在生理层面上，常以净光合速率与蒸腾速率的比值来表示植株个体水平的水分利用效率（WUE）。WUE值越大表明固定单位数量的CO₂所需水量越少，因而水分利用效率高。在干旱条件下WUE越大，则表明植物节水能力越强，耐旱生产力越高。应当指出，研究WUE的目的在于经济用水,发挥水的最大生产效应，它与植物的抗旱性有关，但不是同一个概念。

3.3.1 保水剂处理后甜椒各光合参数的变化

3.3.1.1 不同处理下气孔导度的差异

在水分胁迫下导致光合速率和蒸腾速率下降的主要原因是气孔关闭，气孔导度是反映气孔开度的一个重要指标。作物水分养分状况和环境因子对光合作用的影响也主要是通过调节气孔和叶肉细胞活性来达到的。水分胁迫常使植物光合作用下降，这种下降是由气孔关闭和叶绿体的变化引起的。

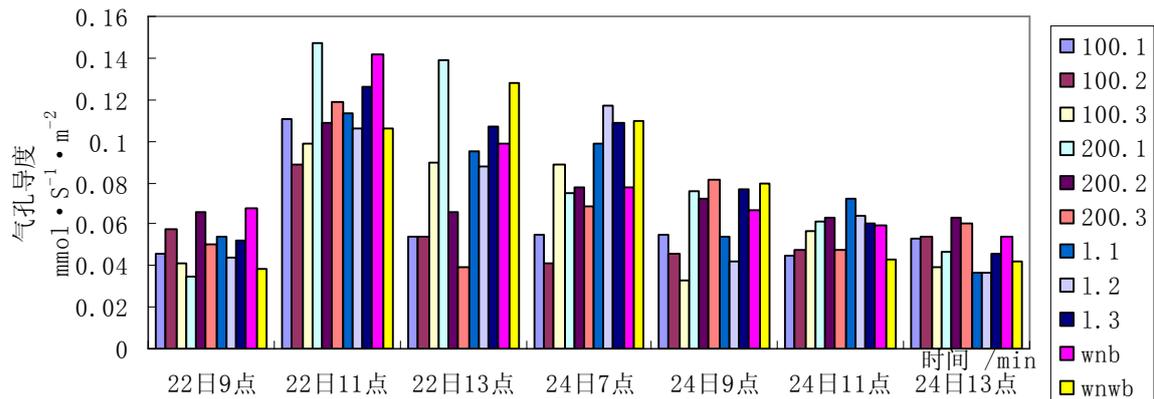


图 3-1. 水分胁迫下保水剂对甜椒气孔导度的影响

Fig.3-1 Changes in Cond in sweet pepper during water stress

黄占斌等（2004）在分根区施保水剂对玉米气孔导度的研究中发现，叶片的气孔导度不仅与土壤中总的水分含量有关，还与土壤中水分的分布状况有关，这在本实验中也有体现，因为施入等量的水，各处理之间的差异只是体现不同的保水剂处理导致水分在土盆中的不同分布上。如图

3-1 水分胁迫前后总的趋势是气孔导度下降，但在水分处理前施用不同保水剂各处理之间的气孔导度差异明显，尤其是在 13:00 的观测中。

3.3.1.2 不同处理对光合速率的影响

随着植物发育时期的不同，植物的光合和蒸腾速率日进程曲线分别呈双峰型单峰型和平缓型，其受多种环境因子的影响，而且各环境因子之间相互制约，同时也受植物体内多种因素的影响。主要原因是由于气孔阻力及其对环境条件反应的灵敏程度的不同。

不同保水剂处理的净光合速率表现不同， P_n 下降幅度最大值出现在浓度 1。3 种保水剂浓度对光合速率影响基本一致。

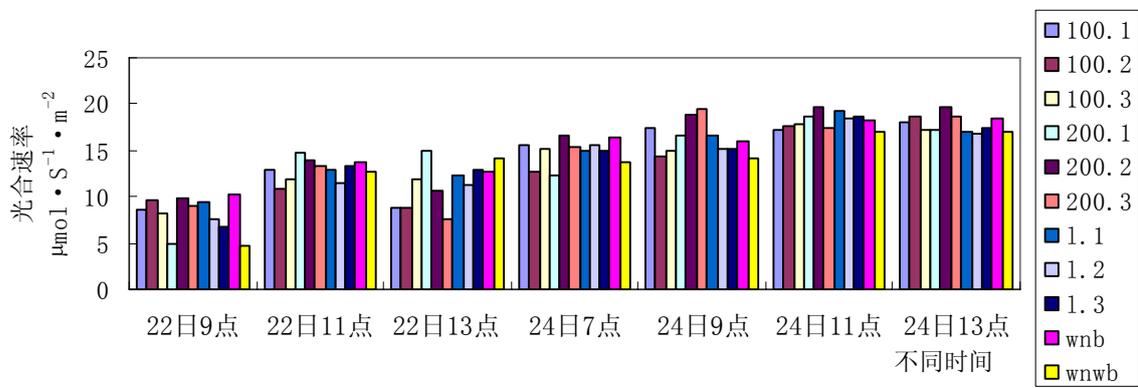


图 3-2 水分胁迫下保水剂对甜椒光合速率的影响

Fig.3-2 Changes in net photosynthetic rates of sweet pepper during water stress

如图 3-2 所示，在每日相同的时间段内，由于水分胁迫光合速率反而有了整体提高的趋势。实验条件为温室内相同仪器相同的参数设置，并且通常反映仪器处于正常工作状态的 CO_2 -R比较稳定。因此排除了仪器误差。若只考虑水分的变化则可以说明适当的水分胁迫似乎对植株的生长及产量的提高更有积极的作用，实验结果与Turner提出的在适当时间内亏缺适当的水量，引起作物的补偿效应，反而有利作物的增产理论比较一致。谢伯承等（2003）也提出过高的土壤含水量，土壤气相部分相对较少，不利作物生长的结论。

3.3.1.3 不同处理下蒸腾速率的变化

在干旱胁迫条件下，甜椒维持较低的蒸腾速率反映了其控制失水和维持体内水分平衡能力较强是适应干旱的一种方式。

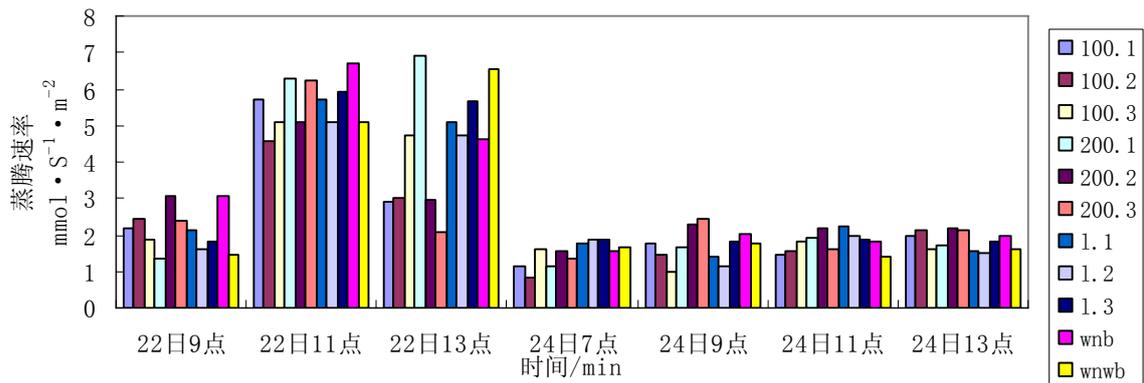


图 3-3.水分胁迫下保水剂对甜椒蒸腾速率的影响

Fig.3-3 Changes in Tr in sweet pepper during water stress

进行水分胁迫两日后,不同处理植株的蒸腾速率在每日相同的时间段内均明显下降,这主要与甜椒的抗旱方式有关。如图 3-3 所示,不同保水剂处理过的甜椒经水分胁迫下降的幅度不同。其中下降幅度最为明显的是 2 个对照:无氮无保水剂 (wnwb) 和未施用氮但有保水剂 (wnb) 的处理。

3.3.1.4 不同处理对甜椒水分利用效率的影响

植物叶片水分利用效率除受基因型影响外,也受环境条件影响,如提高大气 CO_2 浓度、降低大气湿度、土壤施肥、土壤控水等,均能提高叶片水分利用效率。Turner曾提出适度水分亏缺有利于作物增产的观点,事实上轻度水分亏缺也能提高植物叶片WUE。山仑和苏佩等(2000)研究表明,春小麦和马铃薯在干湿交替环境下可获得与充分供水相当的产量,并且水分利用效率得到提高;玉米不同的根系形态形状(总根长、根系表面积和根系干物质重)与植物整体水分利用效率间具有显著或极显著的相关性。水分利用效率是一个较为稳定的指标,随叶龄、枝条部位、树冠部位等的变化不大,是一个较为稳定可靠的生理指标(傅大立等,2003)。

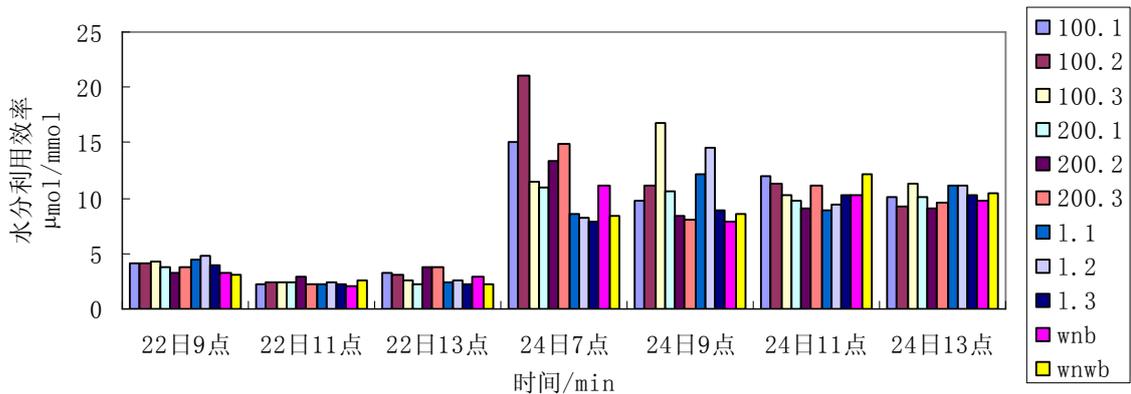


图 3-4 水分胁迫下保水剂对甜椒水分利用效率的影响

Fig.3-4 Changes in water use efficiency in sweet pepper during water stress

如图 3-4 所示,灌溉的第一天(22日),各处理之间的水分利用效率差异不大,并且数值分布于 $0\sim 5 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} / \text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 之间;经过 2 日的水分胁迫,各处理的水分利用效率在不同时间段内均有较大的提高,几乎均高于 $10 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} / \text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。保水剂之间的差

异相对不是十分明显，只是在 24 日 9:00 时保水剂 LT-100 的处理 3、林果专用保水剂处理 1、处理 2 明显高于其他处理。

3.3.1.5 甜椒内在水分利用效率分析

植物叶片净光合速率与气孔导度的比值，称为潜在水分利用效率，它反映了单位气孔导度变化对净光合速率的影响。当气孔导度成为植物叶片的气体交换的主导限制因子时，以净光合速率与气孔导度的比值来描述植物光合作用过程的水分利用效率较为适宜。

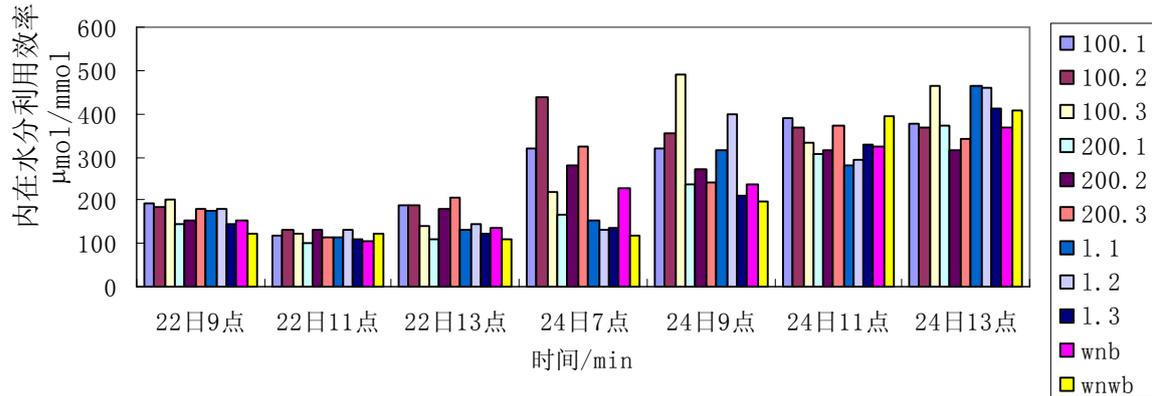


图 3-5 水分胁迫下保水剂对甜椒内在水分利用效率的影响
Fig.3-5 Changes in NWUE in sweet pepper during water stress

在本次试验过程中，各处理进行水分控制 3 天，由图 3-6 可以看出，甜椒的潜在水分利用效率均有所提高。水分控制初期，由于充分灌溉 800 mL 水各处理水分充足，上半日的甜椒内在水分利用效率变化不大，并且各保水剂处理间的差异亦不明显；水分控制第 3 天，未施用保水剂的对照甜椒叶片开始萎蔫，此时保水剂的效果开始显现。实验设置的两组对照无氮无保水剂 (wdwb) 和有氮无保水剂 (wnb) 在充分灌溉上半日中的内在水分利用效率无明显变化，但在水分胁迫后期其内在水分利用效率逐渐增大。说明水分胁迫使各处理已进入了非气孔限制阶段。

3.3.2 甜椒光合参数相关性分析

实验结果分析如表 3-1，利用 SPSS 分析软件将测得光合指标瞬时水分利用效率 (WUE) 与光合速率 (pr)、蒸腾速率(tr)、气孔导度(cond)、及光合内在水分利用效率(NWUE)进行相关分析，其中 WUE 与 pr、tr、cond 呈显著相关关系，与 NWUE 呈极显著相关关系，其相关系数分别 0.877；pr 与 tr、cond、NWUE 呈极显著正向相关关系。

表 3-1 甜椒光合指标相关系数表

Table3-1 Correlations analysis of physiological traits of peper leaf

	wue	pr	tr	cond	nwue
wue	1				
pr	.314(*)	1			
tr	-.303(*)	.781(**)	1		

cond	-.333(*)	.671(**)	.924(**)	1
nwue	.877(**)	.378(**)	-.168	-.356(**)

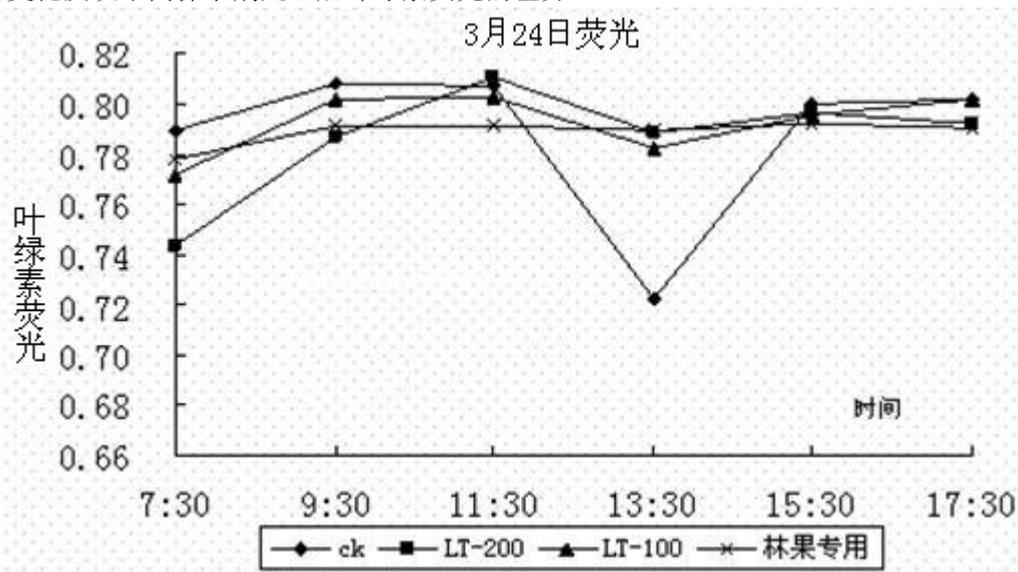
* Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

水分利用效率 (water use efficiency, WUE) 是当前我国农业研究的一个重要的问题。目前从土壤肥料、灌溉、生理、育种进化乃至基因定位和分子标记等不同层次入手, 对小麦、沙棘等植物进行了系统的研究, 同时也有许多对水分利用效率与其他光合指标相关关系研究的报道。叶片水平上的水分利用效率指水的生理利用效率或蒸腾效率, 即为单位水量通过叶片蒸腾散失时光合作用所形成的有机物量, 它取决于光合速率与蒸腾速率的比值, 是植物消耗水分形成干物质的基本效率, 也是水分利用效率的理论值, 这决定了它在其它层次水分利用效率研究中的基础地位。植物叶片水分利用效率除受基因型影响外, 也受环境条件影响, 如提高大气CO₂浓度、降低大气湿度、土壤施肥、土壤控水等, 均能提高叶片水分利用效率; Turner曾提出适度水分亏缺有利于作物增产的观点, 事实上轻度水分亏缺也能提高植物叶片WUE。玉米不同的根系形态形状 (总根长、根系表面积和根系干物质重) 与植物整体水分利用效率间具有显著或极显著的相关性。由表 1 同时可以看出甜椒植株叶面水平的水分利用效率与内在 (潜在) 水分利用效率极显著相关, 二者的相关系数为 0.877。

3.3.3 保水剂对水分胁迫下甜椒叶绿素荧光特性的影响

叶绿素荧光动力学是以光合作用为理论基础, 利用植物体内叶绿素荧光作为天然探针, 研究和探测植物光合生理性状及各种外界因子对其影响的新型植物活性测定和诊断技术。Krause 等指出该分析技术具有快速、对环境变化十分灵敏和非破坏性等优点。因此本实验中, 通过叶绿素荧光的日变化反映不同保水剂处理后叶绿素荧光的差异。



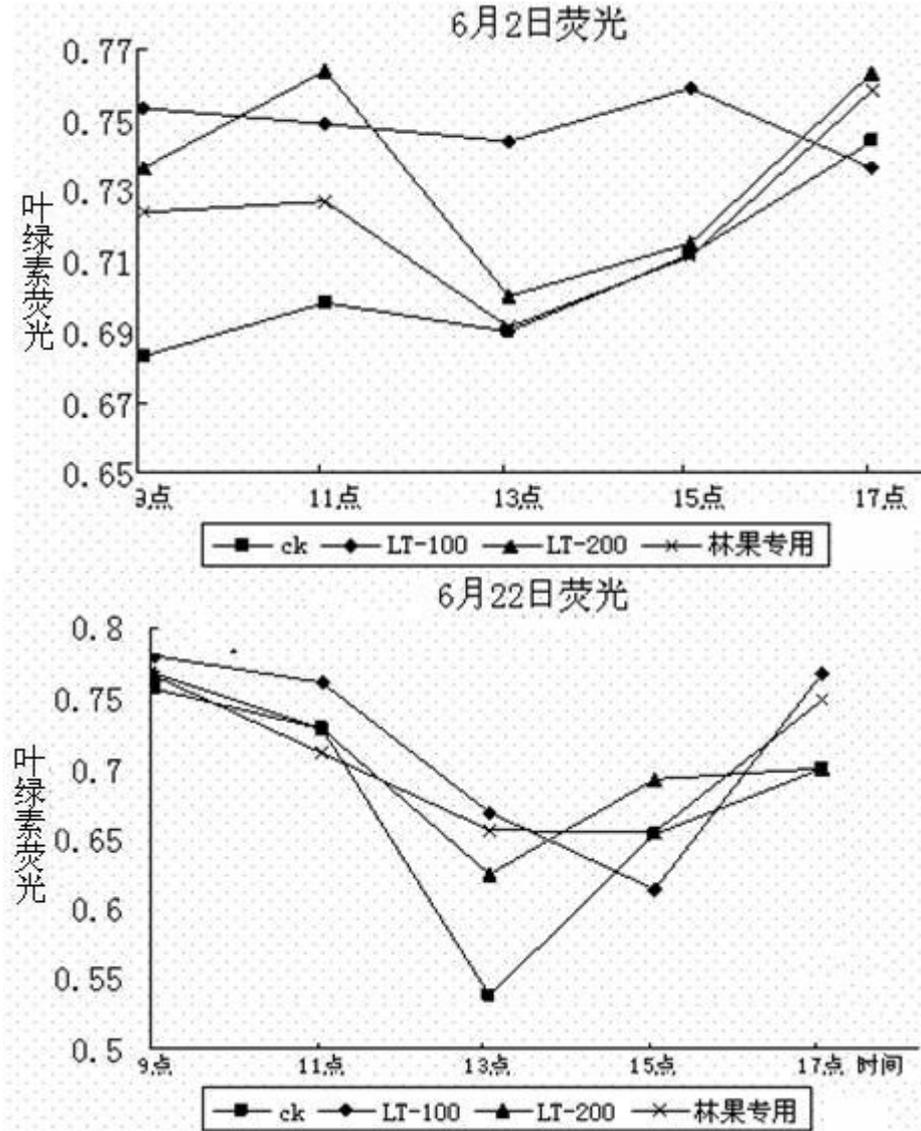


图 3-6 不同阶段 Fv/Fm 日变化比较

Fig.3-6 The varies of Fv/Fm during a day at different stages

在甜椒的三个典型测定时期中，只有3月24日7:30分应用保水剂处理后的甜椒叶绿素荧光低于对照，其余时间内施用不同保水剂后的甜椒叶绿素荧光均高于对照处理。Fv/Fm最低值往往出现在正午12:00左右，在强光下植株的光合速率降低受到气孔因素和非气孔因素（张秋英等，2003）的影响，进行光合“午休”，因此叶绿素荧光在此期间呈现最低值。但使用三种保水剂处理后，在此阶段的甜椒植株净光合速率均有不同程度的提高。综合上图，施用不同保水剂均未改变甜椒叶绿素荧光的日变化趋势，只是数值上略有增加。

3.3.4 不同保水剂处理对植株根系的影响

3.3.4.1 保水剂对减小甜椒所受水分胁迫程度影响

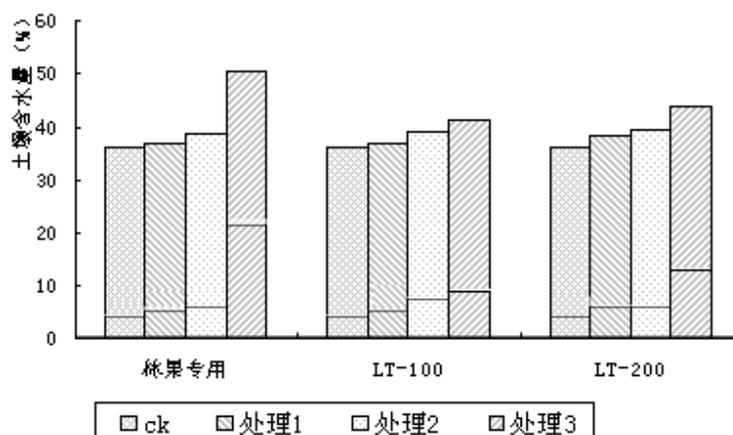
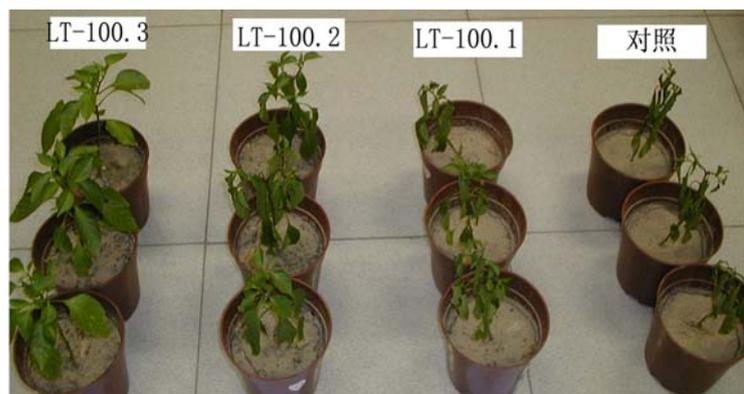


图 3-7 水分胁迫前后土壤含水量的变化

Fig.3-7 The water content of soil during water stress

水分处理初期，充分灌水各处理土壤含水量（WC 值）均高于 35%，并且随着保水剂使用浓度的升高，处理间的 WC 值也有不同程度的增加。水分胁迫后期，即未施用保水剂的对照甜椒植株萎蔫 2 d 时，各处理的 WC 值相对处理前显著降低。其中对照的含水量从 36.1%降低到 4%，施用不同浓度及品种保水剂后土壤 WC 值在胁迫后均高于对照（如图 3-7），并且均随保水剂使用浓度的增加而提高。



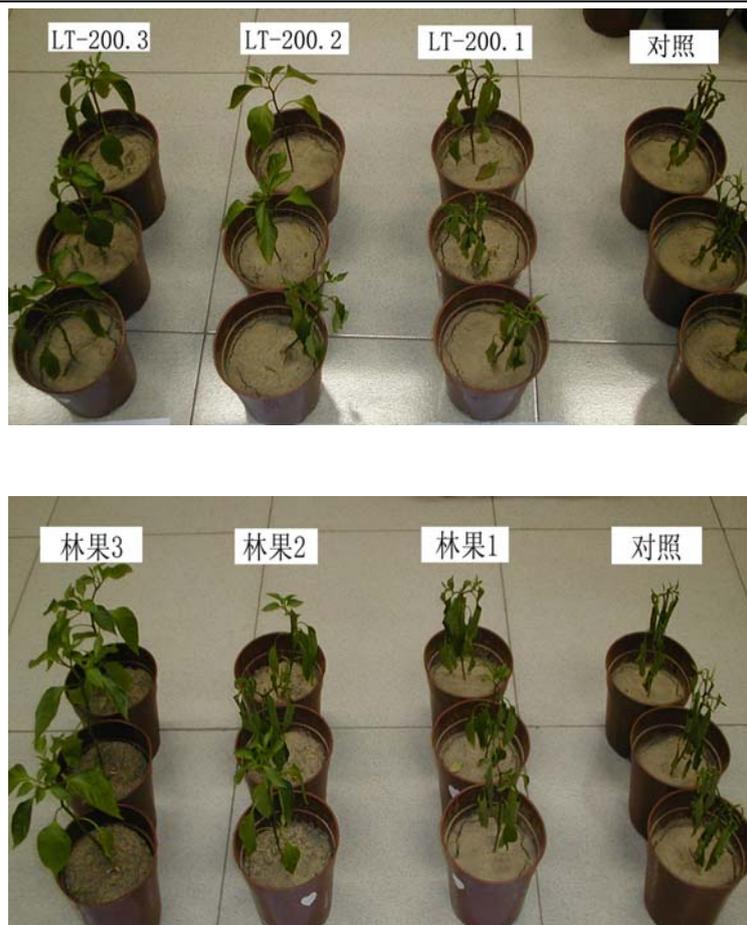


图 3-8 水分胁迫后不同处理甜椒生长状况对比

Fig.3-8 The living condition of sweet pepper after water stress

如图所示，施用不同浓度的保水剂在进行一定时间的水分胁迫后，相互之间的变化比较显著，均随保水剂浓度的加大受水分胁迫的危害程度减小。当对照处理植株叶片已经萎蔫时，施用中等浓度保水剂处理的植株叶片才刚刚开始萎蔫，并且上部叶片仍未失水萎蔫；处理 3 在水分胁迫一段时间后，只有少数几个下部叶片开始萎蔫。由图可见，三种保水剂中，LT-100 和林果专用保水剂的保水效果较好。

3.3.4.2 保水剂对甜椒根系活力的影响

植物根系是活跃的吸收器官和合成器官，根的生长情况和活力水平直接影响地上部的生长和营养状况及产量水平。周广生等（2001）提出根系整个生育期内的根系活力平均值与单株产量密切相关。除决定于遗传因子外，根系的生长发育在很大程度上受土壤水分和养分等环境条件的控制（翟丙年，2003）作物吸收能力的强弱和根系的生长发育与活动有很大的关系。保水剂增强了作物关键生长期内的根系活动，从而促进作物对水分和养分的利用，提高了水分的利用效果。



图 3-9 不同保水剂处理后甜椒根系形态的差异比较

Fig.3-9 Different root statue of sweet pepper after apply with water absorbents

甜椒的培养基质中施入不同浓度的保水剂，一定程度影响了与土壤接触根系，观察不同的保水剂处理可以发现，3种保水剂处理植株根的横截面积与保水剂浓度变化十分一致，均随保水剂浓度增加显著加大，但根的总数未有明显变化（如图 3-9）。一方面，保水剂改变了根土界面的通气状况；另一方面，保水剂吸收土壤中水分的同时，形成了养分聚集的小环境。有效的固持养分，减少养分的流失增加了根系的吸收。施用保水剂后保水剂附着在根际周围，有效地固持了水分和养分。

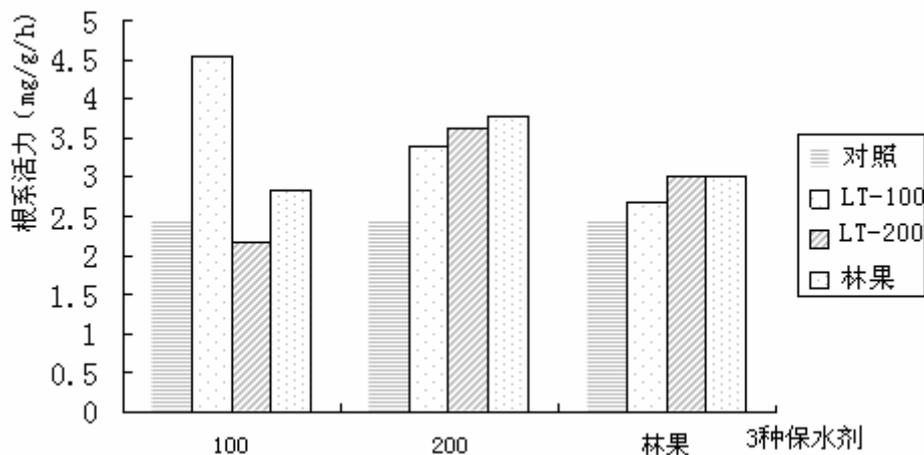


图 3-10 保水剂对甜椒根系活力的影响

Fig.3-10 Efferent of different water absorbment on pepper root activity

施用不同品种及浓度保水剂后甜椒植株的根系活力变化如图 3-10 所示，3种保水剂中除 LT-100 在浓度 2 中甜椒植株的根系活力略有下降外，其余处理均有不同程度的增强，并且总的趋势是随保水剂用量的增加而升高，如保水剂 LT-200 和林果专用保水剂的变化趋势。保水剂 LT-100 在浓度 1 中各重复的根系活力均远高于其他各处理，结果还有待于进一步验证和分析。

3.4 本章小结

1. 水分胁迫前后各保水剂处理的甜椒光合速率、蒸腾速率、气孔导度、相对CO₂浓度及水分利用效率均有不同程度的变化。除不同保水剂处理的相对CO₂浓度下降外，其他各光合指标均有不同程度的提高。各保水剂处理下光合参数的显著性差异趋势在不同时间的顺序并不相同，而且相互间差异并不十分明显。

各保水剂处理间甜椒在水分胁迫前期的水分利用效率差异不大, 并且数值分布于 $0\sim 5\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}/\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 之间; 经过 2 日的水分胁迫, 各处理的水分利用效率在不同时间段内比水分胁迫前均有较大的提高, 几乎均高于 $10\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}/\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 并且保水剂处理相对对照更高。但保水剂处理间差异并不十分明显, 只是在 24 日 9:00 时保水剂 LT-100 的处理 3、林果专用保水剂处理 1、处理 2 明显高于其他处理。甜椒的内在水分利用效率均有所提高。实验设置的两组对照无氮无保水剂 (wdwb) 和有氮无保水剂 (wnb) 内在水分利用效率在充分灌溉时上半日无明显变化, 但在水分胁迫后期其内在水分利用效率逐渐增大。说明水分胁迫使各处理已进入了非气孔限制阶段。

2. 利用 SPSS 分析软件将测得光合指标瞬时水分利用效率 (WUE) 与光合速率 (pr)、蒸腾速率 (tr)、气孔导度 (cond)、相对 CO_2 浓度 (ci) 及光合内禀水分利用效率 (NWUE) 进行相关分析, 其中 WUE 与 pr、tr、cond 呈显著相关关系, 与 ci、NWUE 呈极显著相关关系, 其相关系数分别为 -0.878 和 0.877; pr 与 tr、cond、NWUE 呈极显著正向相关关系, 与 ci 呈极显著负相关关系。

3. 施用不同保水剂均未改变甜椒叶绿素荧光的日变化趋势, 只是数值上略有变化。

4. 施用不同浓度的保水剂在进行一定时间的水分胁迫后, 相互之间的变化比较显著, 均随保水剂浓度的加大受水分胁迫的危害程度减小。当对照处理植株叶片已经萎蔫时, 施用中等浓度保水剂处理的植株叶片才刚刚开始萎蔫, 并且上部叶片仍未失水萎蔫; 处理 3 在水分胁迫一段时间后, 只有少数几个下部叶片开始萎蔫。对比施用不同品种及浓度保水剂后甜椒植株的根系活力变化 3 种保水剂中除 LT-100 在浓度 2 中甜椒植株的根系活力略有下降外, 其余处理均有不同程度的增强, 并且总的趋势是随保水剂用量的增加而升高, 如保水剂 LT-200 和林果专用保水剂的变化趋势。保水剂 LT-100 在浓度 1 中各重复的根系活力均远高于其他各处理, 结果还有待于进一步验证和分析。

第四章 保水剂对土壤中速效氮的影响

氮素直接影响作物的生长、产量和品质,因而受到人们的广泛关注。为了满足生产的需要,人们普遍采用各种以 $\text{NH}_4\text{-N}$ 和 $\text{NO}_3\text{-N}$ 为基础的氮肥。这些氮在施入土壤后在外界环境条件的作用下发生一系列转化、迁移过程。其中大部分为作物和微生物等吸收利用,一部分为土壤固持,还有一部分从土壤中淋失或逸失。凡是影响氮肥转化的土壤因素均可能对氮素的利用产生影响,如土壤自身的氮素状况、水分状况、通气状况、温度、酸碱度、有机质含量、阳离子代换量(CEC)、氧化还原状态、微生物生长状况(钟玲玲,2002)。保水剂施入土壤,因其吸持和释放水分的胀缩性,可使周围土壤有紧实变得疏松,从而在一定程度上使土壤结构和水热状况得到改善,并且保水剂溶于水形成的网状结构与土壤形成的微环境有效的减少了离子的流失,进而影响了N在土壤中两种形态的转化。

4.1 材料与方法

4.1.1 试验材料

试验材料及试验处理设置同第三章,试验用肥料为 KNO_3 (北京化学试剂),每个处理用量为2g。试验设计为包括3种保水剂及保水剂3种不同浓度梯度及无氮无保水剂(wnwb)和有氮无保水剂(wnb)两种对照,共11个处理,每个处理5次重复。保水剂的浓度梯度分别为:0.5:1000,1:1000,1.5:1000(保水剂:土)。

4.1.2 试验方法

施入 KNO_3 10 d后,于盆栽土中 $\text{NO}_3\text{-N}$ 的施入点处取约100g土样,带回实验室-20℃冰箱内保存直至测定。 $\text{NH}_4\text{-N}$ 和 $\text{NO}_3\text{-N}$ 的分析中各取土40g应用KCl法进行提取,提取液中 $\text{NH}_4\text{-N}$ 和 $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量由Lachat QC 8000流动注射分析仪进行测定。分析物测定参数如下:

$\text{NO}_3\text{-}$

Concentration units: mg N/L

Peak Base Width: 25s

%Width Tolerance: 100

Threshold: 3000

Inject to peak start: 36s

$\text{NH}_4\text{-}$

Concentration units: mg N/L

Peak base width: 47s

% Width Tolerance: 100

Threshold: 5000

Inject to peak start: 56s

Chemistry: direct

4.2 结果分析

作物可直接利用的矿质氮素主要是土壤中的 $\text{NH}_4\text{-N}$ 和 $\text{NO}_3\text{-N}$,在旱地 $\text{NO}_3\text{-N}$ 是其利用的主要形态,原因在于 $\text{NH}_4\text{-N}$ 很容易转化为 $\text{NO}_3\text{-N}$;而 $\text{NO}_3\text{-N}$ 在水分缺乏的旱地条件下,即不容易淋失,也不容易发生反硝化作用,可以在一定的土层中累积起来,因而 $\text{NO}_3\text{-N}$ 的含量既包含着 $\text{NH}_4\text{-N}$ 的

信息,又反映了土壤的供氮水平(李生秀,1995)。保水剂施入土壤,因其吸持和释放水分的胀缩性,可使周围土壤由紧实变得疏松,从而在一定程度上使土壤结构和水热状况得到改善,并且保水剂溶于水形成的网状结构与土壤形成的微环境有效的减少了离子的流失。

表 4-1 施用不同保水剂处理后两种速效氮含量差异

Table4-1 Different content of NH_4^+ and NO_3^-

处理	NH_4^+ ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	NO_3^- (g/kg)	Tatal (g/kg)	与CK- NO_3^- 比较
wnwb	0.43	0.034	0.03443	
nwb	0.40	0.110	0.1104	
100.1	0.44	0.108	0.10844	-0.0181
100.2	0.52	0.124	0.12452	0.1272
100.3	0.28	0.124	0.12428	0.1272
200.1	0.48	0.108	0.10848	-0.0181
200.2	0.34	0.082	0.08234	-0.254
200.3	0.38	0.046	0.04638	-0.5818
1.1	0.33	0.129	0.12933	0.1727
1.2	0.29	0.092	0.09229	-0.1636
1.3	0.37	0.154	0.15437	0.4

试验结果如上表,当土壤中施用不同品种及浓度保水剂后,速效氮 NH_4^+ 的变化幅度不大,变化幅度在 $0.4\mu\text{g}/\text{kg}$ 之间;施用保水剂处理土壤中 NO_3^- 与对照相比总的趋势是下降(表 4-1),但施用保水剂 LT-100 中 1%、1.5% 以及林果专用保水剂 0.5%,在浓度为 1.5% 时相对对照反而增加。

4.3 讨论

NH_4^+ -N 呈还原态,易被土壤胶体吸附和固定; NO_3^- -N 呈氧化态,存在于土壤溶液中,易到达根系表面或被淋失。肥料 N 施入土壤后,除部分被作物吸收和土壤固定外,其余大部分经过硝化作用转化成 NO_3^- -N (金雪霞,2005)。如上所述,土壤中两种形态氮的吸收和转化受到多重因素的影响。当施用保水剂后,一方面,扩大了不同处理间土壤含水量的差异,在一定范围内有利于硝化作用的进行,理论计算与实验室和田间试验都表明,在 50%~60%WFPS 时,硝化速率最大。;另一方面,改变了土壤的物理性质,增加了植株的吸收量(见第五章),减少了 NO_3^- -N 的淋失。综合分析保水剂对土壤影响的多种原因,导致产生以上结果。因此设置梯度不足导致趋势不明显是本章结论无力的原因之一。

第五章 保水剂对植株氮素利用率的影响

影响肥料氮素利用率的因素很多,除氮肥本身的形态、品种及作物、土壤气候条件等因素外,施肥方法(包括施肥量、施肥时期、施肥次数及土壤性质等)及栽培管理措施等均影响作物的肥料利用率。保水剂对养分的保蓄作用是有效的。一方面,在土壤中的养分较充分时,它吸附养分,起保蓄作用;另一方面,当植物生长需要土壤供给养分时,保水剂将其吸附的养分通过交换作用供给植物。由此可以看出,通过施用土壤保水剂,使土壤中养分的供给与植物对养分的需求更加同步。

5.1 材料与amp;方法

5.1.1 供试材料

试验材料同第三章。施用同位素为KNO₃丰度为10.28%。

5.1.2 试验设计

试验处理设置同第三章。在甜椒开花结果期施用同位素氮肥40 d后,将植株整株取回,将甜椒根、茎、叶、果实分开。105℃杀青后,于60℃烘箱内烘干。分别取烘干样品0.3~0.5 g,利用元素分析仪-同位素质谱仪进行全氮、氮丰度的分析。

5.1.3 计算公式

植物吸收肥料N的百分率(Nutrient derived from fertilizers,简称为N_{dff})为:

$$N_{dff} = \frac{\text{植物样品中N}^{15}\text{原子百分超}}{\text{肥料N}^{15}\text{原子百分超}} \times 100$$

肥料养分利用率(Nutrient Utilization Efficiency,简称为NUE)计算公式(毛达如,1998)

$$\text{氮肥利用率\%(NUE\%)} = \frac{N_{dff}\% \times \text{植物体内含氮量}}{\text{施用氮量}} \times 100$$

5.2 结果分析

5.2.1 保水剂对甜椒植株氮素吸收的影响

表 5-1 不同保水剂处理对甜椒不同器官氮素吸收的影响
Table 5-1 The absorbment of papper under different water absorbment treatments

品种	浓度梯度	根 (g/kg)	茎 (g/kg)	叶 (g/kg)	果实 (g/kg)
CK		9.98	4.93	8.63	12.51
LT-100	100.1	11.07	11.81	10.23	17.14
	100.2	13.27	10.47	9.93	15.41

	100.3	10.95	10.88	6.91	16.69
LT-200	200.1	6.14	10.90	11.72	19.17
	200.2	7.57	8.69	10.77	15.76
	200.3	8.05	9.78	12.05	8.70
林果专用	林果专用1	10.88	10.69	9.53	17.33
	林果专用2	11.24	10.49	8.23	15.69
	林果专用3	15.59	10.34	8.05	13.93

从表 5-1 可以看出, 追施氮素后不同处理甜椒各器官含氮量差异明显, 从高到低的顺序是果实、根、叶片、茎。氮含量的变幅从果实的 17.14g/kg 到茎的 4.93g/kg。不同品种保水剂不同浓度处理下甜椒各器官的 N 含量变化趋势不是很一致。施用不同品种及浓度保水剂追施同位素氮后甜椒根、茎、果实含氮量均有明显的提高, 3 种保水剂在处理 1 即使用浓度为 0.5 % 时, 甜椒果实含氮量显著高于对照处理, 达到最大值, 分别为 $17.14 \text{ g} \cdot \text{k g}^{-1}$ 、 $19.17 \text{ g} \cdot \text{k g}^{-1}$ 和 $17.33 \text{ g} \cdot \text{k g}^{-1}$; 茎叶含氮量也在此浓度保水剂处理后含氮量达到最大值, LT-100 在保水剂为此浓度时茎叶含氮量分别为 11.81 、 $10.23 \text{ g} \cdot \text{k g}^{-1}$, 林果专用保水剂在此浓度处理后茎叶含氮量分别为 10.69 、 $9.53 \text{ g} \cdot \text{k g}^{-1}$ 而达到氮素的最大吸收, 与黄占斌等推论一致。黄占斌等分析表明, 当土壤中保水剂含量在 0.5 %~1 % 范围时, 土壤团聚体增加量明显, 此时保水剂应用效果较为明显。在不同保水剂处理中, 根的氮素含量均高于对照, 但是与对照的增幅在与地上器官的比较中相对较小且, 无相同趋势, LT-100 根的含氮量在处理 2 时达到最大吸收为 $13.27 \text{ g} \cdot \text{k g}^{-1}$, 而林果专用保水剂在处理 3 时根达到了最大吸收值为 $15.59 \text{ g} \cdot \text{k g}^{-1}$ 。施用保水剂数量与肥料氮素的吸收并不是完全相关, 使用较多保水剂后氮素吸收增加缓慢甚至会与初衷背道而驰, 这在土壤施用保水剂中有重要参考价值。

5.2.2 保水剂对甜椒果实氮素利用率的影响

表 5-2 不同保水剂处理对甜椒果实氮素利用率的影响

Table 5-2 The fertilizer use efficiency of papper under different water retainig treatments

Level	利用率 (%)	与CK比较 (%)
CK	4.53	
100.1	6.96	+2.43
100.2	5.48	+0.95
100.3	3.65	-0.88
200.1	5.59	+1.06
200.2	7.67	+3.14
200.3	4.38	-0.15
林果专用1	9.21	+4.68
林果专用2	5.52	+0.99
林果专用3	3.57	-0.96

观察表 5-2, 不同品种保水剂在浓度为 1 % (处理 2) 及 0.5 % (处理 1) 时, 相对对照均有不同程度的提高, 但 2 % (处理 3) 相对对照却有降低的趋势。LT-100 和林果专用两种保水剂的趋势是随保水剂用量的增加氮素利用率相应降低, LT-200 在标准用量时的利用率最高。

施用保水剂后,土壤可在较长时间内保持较高的水分含量,且随保水剂用量增加,土壤容重下降,总孔隙度和毛管孔隙度则呈上升趋势,从而增加了作物可利用的有效水,提高作物的水分利用率;另一方面,保水剂对提高植株对养分的吸收能力也有显著的作用。

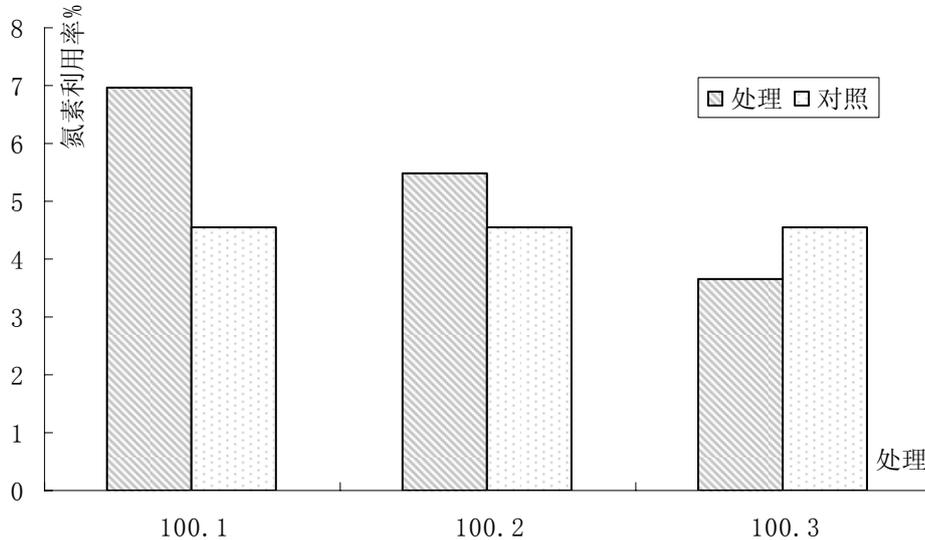


图 5-1 不同浓度 LT-100 处理对甜椒果实氮素利用率的影响

Fig.5-1 The fertilizer use efficiency of papper under different LT-100 treatments

本实验中,LT-100和林果专用两种品种的保水剂在处理1和2(即浓度为 $0.5 \text{ g} \cdot \text{k g}^{-1}$ 及 $1.0 \text{ g} \cdot \text{k g}^{-1}$)时,相对对照均有不同程度的提高,并且两种保水剂在处理1时对氮素的利用率与其他两种处理相比均达到最大为6.958%和9.208%,相对对照的提高幅度分别为2.423%和4.673%;两种保水剂在浓度为1%时对氮素利用率提高作用次之,氮素利用率分别为5.475%和5.517%,比对照提高了0.94%和0.982%。两种保水剂在处理3(即浓度为 $1.5 \text{ g} \cdot \text{k g}^{-1}$)时的氮素利用率比对照处理降低了0.889%和0.97%(如图5-1)

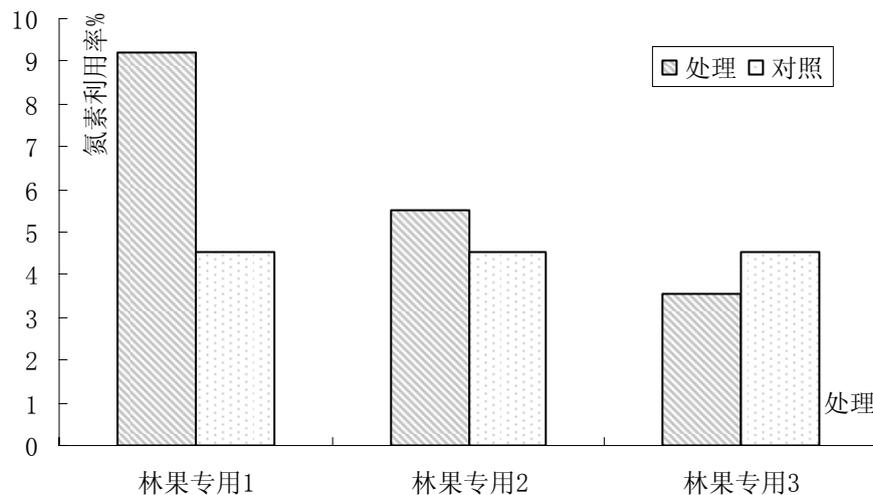


图 5-2 林果专用保水剂不同浓度处理对甜椒果实氮素利用率的影响

Fig.5-2 The fertilizer use efficiency of papper under different LinGuo treatments

施用不同浓度的林果专用保水剂后甜椒对氮素利用效果随梯度的变化趋势较为明显。由图 5-2 可以看出, 随施用保水剂浓度的增加, 甜椒植株对氮素的利用率逐渐减小。其中施用浓度为 0.5% 时对氮素的利用效果最好, 显著高于对照; 施用林果专用保水剂与土比例为 1% 时 (处理 2), 氮肥的利用率虽然有所增加, 但幅度不大; 施用保水剂浓度为 1.5% 时 (处理 3), 甜椒的氮素利用率相对对照反而有所降低, 这与前人的实验结果一致。

由下图可以看出, 施用不同 LT-200 浓度保水剂后, 各处理差异较为明显。其中 LT-200 保水剂推荐用量 1% (处理 2) 对植株吸收氮素的影响最大, 显著高于对照; 0.5% 相对对照虽有所升高, 但幅度不大; 处理 3 相对对照的变化幅度不大, 只是降低了 0.25%

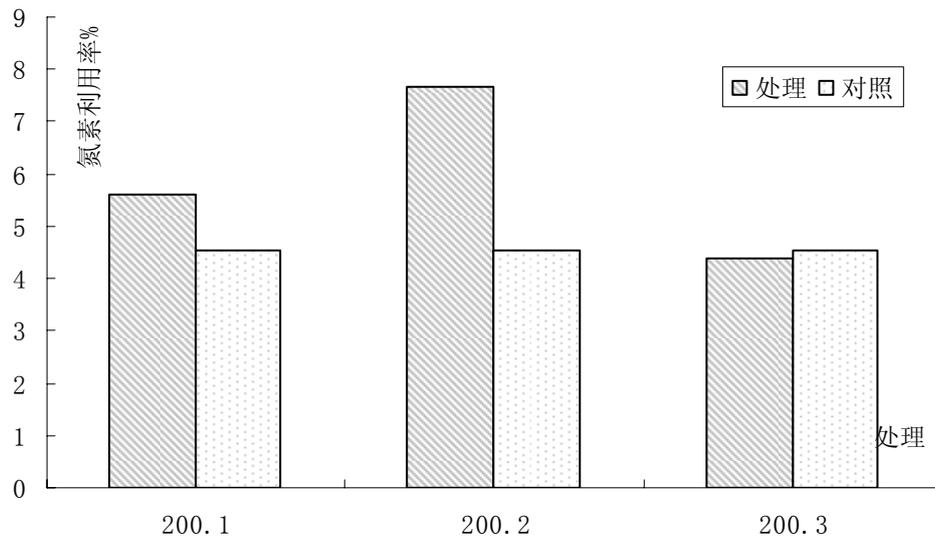


图 5-3. LT-200 不同浓度处理对甜椒果实氮素利用率的影响

Fig.5-3 The fertilizer use efficiency of papper under different LT-200 treatments

三种保水剂提高氮素利用率的最佳浓度有所差异, 这种差异在保水剂的吸水倍数上也有体现。主要是由于保水剂不同的合成材料导致吸水方式的变化, 但其吸水机理是相同的。因此使用时综合考虑相关因素确定最佳用量是十分必要的。

5.3 本章小结

1. 追施氮素后不同处理甜椒各器官含氮量差异明显, 从高到低的顺序是果实、根、叶片、茎。不同品种保水剂不同浓度处理下甜椒各器官的 N 含量变化趋势不是很一致。施用不同品种及浓度的保水剂, 追施同位素氮后甜椒根、茎、果实含氮量均有明显的提高, 3 种保水剂在处理 1 即使用浓度为 $0.6 \text{ g} \cdot \text{k g}^{-1}$ 时, 甜椒果实含氮量显著高于对照处理达到最大值, 分别为 $17.14 \text{ g} \cdot \text{k g}^{-1}$ 、 $19.17 \text{ g} \cdot \text{k g}^{-1}$ 和 $17.33 \text{ g} \cdot \text{k g}^{-1}$ 。

2. 施用保水剂数量与肥料氮素的吸收并不是完全相关, 使用较多保水剂后氮素吸收增加缓慢甚至会与初衷背道而驰, 这在土壤施用保水剂中有重要参考价值。施用保水剂浓度为 2% 时 (处理 3), 甜椒的氮素利用率相对对照均有所降低, 这与前人的实验推论一致。

3. 三种保水剂提高氮素利用率的最佳浓度有所差异, 这种差异在保水剂的吸水倍数上也有体现。主要是由于保水剂不同的合成材料导致吸水方式的变化, 但其吸水机理是相同的。因此使用

时综合考虑相关因素确定最佳用量是十分必要的。

第六章 全文结论

我国干旱、半干旱地区面积广大，农业水资源利用效率低，地区上生产力发展不均衡，使得节水灌溉技术必须适应地区发展而多元化，因此化学节水技术有着广阔的发展空间。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、见效快的特点。近年来，保水剂在节水农业和生态环境恢复中得到了较为广泛的应用，是目前试验研究中的一种新途径和新方法，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。

本实验通过使用便携式仪器分析施用不同种类及浓度的保水剂后土壤水分、甜椒植株光合生理指标的变化以及采用此项化学节水措施对典型肥料—氮利用的影响，分析它们之间的关系，基于土壤学、生物学探索一种衡量保水剂较佳施用量简便的表观方法，通过实验得出以下结论：

1、保水剂的吸水量随时间延续而逐步增加，并最终趋于稳定，达到饱和状态。三种保水剂的水分变化虽有相同的增加趋势，但其各自的初始吸水倍率以及最终饱和吸水倍率都是不同的。3种保水剂在盐溶液中的吸收倍数相对纯水中对水分的吸收倍率都有不同程度的下降，并且重复吸水时吸水倍数也有所下降。试验的三种保水剂中 LT-200 在纯水中的吸收倍率虽不大，但其在盐溶液中的吸收倍数相对在纯水中吸收倍数的变化也不大，并且重复吸水性较好，吸水特性比较稳定。

2、由保水剂的释水曲线可以看出，不同保水剂处理在 0~15bar 压力势下的变化趋势与原状土壤的趋势线几乎相同，只是土壤中的含水量略有增加，这对保水剂改善土壤的持水性能具有积极意义。

3、施用三种不同的保水剂后土壤电导率均有所增加，并且随着保水剂用量的增加而有不同程度的增大。其中林果专用保水剂对电导率的影响最大，一定程度反映了它对离子的吸附能力以及对养分的保蓄能力。

4、水分胁迫前后各保水剂处理的甜椒光合速率、蒸腾速率、气孔导度、相对CO₂浓度及水分利用效率均有不同程度的变化。除不同保水剂处理的相对CO₂浓度下降外，其他各光合指标均有不同程度的提高。各保水剂处理下光合参数的显著性差异趋势在不同时间的顺序并不相同，而且相互间差异并不十分明显。

5、各保水剂处理间甜椒在水分胁迫前期的水分利用效率差异不大，经过 2 日的水分胁迫，各处理的水分利用效率在不同时间段内相对水分胁迫前均有较大的提高，几乎均高于 10 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}/\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ，并且施用保水剂处理甜椒的水分利用效率比对照更高。水分胁迫 2 d后甜椒的内在水分利用效率均有所提高，说明水分胁迫使各处理已进入了非气孔限制阶段。

6、利用 SPSS 分析软件将测得光合参数瞬时水分利用效率 (WUE) 与光合速率 (pr)、蒸腾速率 (tr)、气孔导度 (cond) 光合内禀水分利用效率 (NWUE) 进行相关分析，其中 WUE 与 pr、tr、cond 呈显著相关关系，与 NWUE 呈极显著相关关系，其相关系数分别为 0.877；pr 与 tr、cond、NWUE 呈极显著正向相关关系。施用不同保水剂均未改变甜椒叶绿素荧光的日变化趋势，只是数值上略有变化。施用不同浓度的保水剂在进行一定时间的水分胁迫后，相互之间的变化比较显

著，均随保水剂浓度的加大受水分胁迫的危害程度减小。保水剂 LT-100 在浓度 1 中各重复的根系活力均远高于其他各处理，结果还有待于进一步验证和分析。

7、不同处理甜椒各器官追施氮素后的含氮量差异明显，从高到低的顺序是果实、根、叶片、茎。不同品种保水剂不同浓度处理下甜椒各器官的N含量变化趋势不是很一致。施用不同品种及浓度保水剂追施同位素氮后甜椒根、茎、果实含氮量均有明显的提高，3种保水剂在处理1即使用浓度为0.5‰时，甜椒果实含氮量显著高于对照处理达到最大值，分别为 $17.14 \text{ g} \cdot \text{k g}^{-1}$ 、 $19.17 \text{ g} \cdot \text{k g}^{-1}$ 和 $17.33 \text{ g} \cdot \text{k g}^{-1}$ 。

8、施用保水剂数量与肥料氮素的吸收并不是完全相关，使用较多保水剂后氮素吸收增加缓慢甚至会与初衷背道而驰，这在土壤施用保水剂中有重要参考价值。三种保水剂提高氮素利用率的浓度有所差异，主要是由于保水剂不同的合成材料导致吸水方式的变化，但其吸水机理是相同的。因此使用时综合考虑相关因素确定最佳用量是十分必要的。

综合分析以上实验结果可以初步得出结论，施用保水剂后植株及土壤的系列指标可以通过便捷的仪器(如 Licor-6400 光合分析仪，Fim-1500 叶绿素荧光分析仪)观测出。因此在不同地区应用保水剂时了解保水剂自身的性质，通过光合参数尤其是对叶绿素荧光随其浓度变化规律的分析，有助于初步确定保水剂在应用于不同土壤及作物时的最适用量。

参考文献

1. 蔡典雄, 王小彬等. 土壤保水剂对土壤持水性及作物出苗的影响. 土壤肥料, 1999, 1:13~16
2. 蔡典雄, 赵兴宝. 浅谈保水剂在南方果树区的应用及前景. 中国南方果树, 2000, 29(2):50~52
3. 陈学仁. 保水剂在农村水利领域开发和应用的探索. 中国农村水利水电, 2000, (6):19~24.
4. 程学刚, 张玉红. 保水剂在农业上的应用. 现代农业, 1993, 4 :9~105
5. 党秀丽, 张玉龙, 黄毅. 保水剂对土壤持水性能影响的模拟研究. 农业工程学报, 2005, 21 (4) 191~192
6. 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. 农业现代化研究, 2000, 21(5):317-320
7. 范杰英, 郭军战, 彭少兵. 10 个树种光合和蒸腾性能对水分胁迫的响应. 西北林学院学报, 2005,20(2):36~3
8. 方锋, 黄占斌, 俞满源. 保水剂与水分控制对辣椒生长及水分利用效率的影响研究. 中国生态农业学报, 2004, (12): 73~76
9. 冯广志. 全面认识节水灌溉在农业和国民经济发展中的作用, 正确处理节水灌溉工作中的几个关系. 节水灌溉, 1998, (2): 3~6
10. 傅大立, 李芳东, 赵天榜. 玉兰属 5 树种生理指标的对比研究. 林业科学, 2003, 39 (1) 44~50
11. 郭盛磊, 阎秀峰, 白冰. 供氮水平对落叶松幼苗光合作用的影响. 生态学报, 2005, 25 (6): 1291-1299
12. 候静华, 李良君, 杜晓宁. 稳定同位素¹⁵N在我国农业研究中的应用. 化肥工业, 2004, 30 (6) :11~16
13. 黄占斌, 吴雪萍, 方锋等. 干湿变化和保水剂对植物生长和水分利用效率的影响. 应用与环境生物学报, 2002,8 (6):600~604
14. 黄占斌. 保水剂在农业生产中的应用与发展趋势. 干旱地区农业研究, 2003, 11~14
15. 黄占斌, 张国桢, 李秧秧等. 保水剂特性测定及其在农业上的应用. 农业工程学报, 2002, 18 (1) :22~29
16. 黄占斌, 朱书全, 张铃春. 保水剂在农业改土节水中的效应研究. 水土保持研究, 2004, 11 (3) :57~61
17. 介晓磊, 李有田, 韩燕来等. 保水剂对土壤持水性的影响. 河南农业大学学报, 2000, 34 (1) :222~243
18. 金雪霞, 范晓晖, 蔡贵信. 菜地土氮素的主要转化过程及其损失. 土壤, 2005, 37(5): 492~499
19. 李长洪, 李华兴, 张新明. 用¹⁵N同位素稀释法研究沸石对氮肥利用率的影响. 核农学报, 2002, 16 (4):237~241
20. 李景生, 黄韵珠. 土壤保水剂的吸水保水性能研究动态. 中国水漠, 1996, 16 (1) :86~91

21. 李卫民, 周凌云. 氮肥对旱作小麦光合作用与环境关系的调节. 植物生理学通讯, 2003, 39 (2): 119~122
22. 李玉中, 祝延成等. ^{15}N 标记肥去向及平衡状况. 中国草地, 2002, 24 (5): 15~17
23. 刘昌明, 王会肖. 节水农业内涵商榷. 见: 石元春, 刘昌明, 龚元石主编. 节水农业应用基础研究进展. 北京: 中国农业出版社, 1995, 7~19
24. 刘国栋. 水稻的氮素利用效率、光合作用和产量潜力. 世界农业, 2003, 3: 26
25. 刘金祥, 王铭铭, 肖生鸿. 干旱胁迫对香根草生长及光合生理主要特征的影响. 四川草原, 2005, 3(112): 28~31
26. 陆国盈, 韩世健, 裴铁雄等. 不同时期施保水剂对甘蔗抗旱性和产量及品质的影响. 广西蔗糖, 2005, 41: 3~8
27. 马焕成, 陈义群, 林文杰. 保水剂的吸水和保水特性研究. 西部林业科学, 2004, 33 (2): 71~75.
28. 马焕成, 罗质斌, 陈义群等. 保水剂对土壤养分的保蓄作用. 浙江林学院学报, 2004, 21(4): 404~409
29. 马新明, 王志强, 王小纯. 氮素形态对不同专用型小麦根系及氮素利用率影响的研究. 应用生态学报, 2004, 15 (4): 655~658
30. 田永超, 曹卫星, 王韶华. 不同水、氮条件下水稻不同叶位水、氮含量及光合速率的变化特征. 作物学报, 2006, 30 (1): 1129~1134
31. 汪立刚, 武继承, 王林娟. 保水剂有效使用的土壤水分条件及对小麦的增产效果. 土壤, 2003, 1: 80~82
32. 王百群, 张卫, 余存祖. 用 ^{15}N 示踪法研究不同土壤水分条件下小麦对氮的吸收. 核农学报, 1999, 13 (6): 362~367
33. 王晗生, 王青宁. 保水剂农用抗旱增效研究现状. 干旱地区农业研究, 2001, 19 (4): 38~452
34. 王龙昌, 贾志宽. 北方旱区农业节水技术[M]. 西安: 世界图书出版公司, 1998
35. 王志琴, 杨建昌, 朱庆森. 土壤水分对水稻光合速率与物质运转的影响. 中国水稻科学, 1996, 10 (4): 235~240
36. 巫东堂, 王九志. 土壤结构改良剂及其应用. 土壤通报, 1990, 3: 140~143.
37. 吴德瑜. 保水剂与农业[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1991, 1~3
38. 谢伯承, 薛绪掌, 王纪华等. 保水剂对土壤持水性状的影响. 水土保持通报, 2003, 23 (6): 44~47
39. 徐凯, 郭延平, 张上隆. 不同光质对草莓叶片光合作用和叶绿素荧光的影响. 中国农业科学, 2005, 38 (2): 369~375
40. 许大全等. C_3 植物光合速率的日变化. 植物生理学报, 1990, 16(1): 1~5
41. 俞满源, 黄占斌, 方锋. 保水剂、氮肥及其交互作用对马铃薯生长和产量的效应. 干旱地区农业研究, 2002, 21 (3): 15~20
42. 张富仓, 康绍忠. BP 保水剂及其对土壤与作物的效应. 农业工程学报, 1999, 5: 74~78
43. 张鸿雁, 王百田. 半干旱黄土区保水剂使用浓度的研究. 北京林业大学学报, 2003, 25: 14~

44. 张娟, 张正斌, 谢惠民. 小麦叶片水分利用效率及相关生理性状的关系研究. 作物学报, 2005, 31 (5) 1593~1599
45. 张秋平, 杨晓光, 杨捷等. 不同灌溉处理下旱稻光合生理特征及水分利用效率. 2005, 23 (6) :68~73
46. 张宪法, 于贤昌, 张凌云. 水分对蔬菜生长动态和生理活动的影响, 2000, 4: 48~50
47. 张永平, 王志敏, 吴永成. 不同供水条件下小麦不同绿色器官的气孔特性研究. 作物学报, 2006, 32 (1): 70-75
48. 钟玲玲. 关于土壤中氮素转化规律的研究. 北方环境, 2002, 3: 49~53
49. 周海燕, 黄子琛. 不同时期毛乌素沙区主要植物种光合作用和蒸腾作用的变化. 植物生态学报, 1996, 20 (2) :120~131
50. 周晓梅. 松嫩平原羊草草地土一草一畜间主要微量元素的研究 [博士学位论文] .哈尔滨: 东北师范大学, 2004
51. 皱大林. 关注保水剂的第三次浪潮. 中国林业, 2000, 7:36~374
52. Arthur Wallance, Gam A Wallace. Effects of soil conditioners on emergence and growth of tomato, cotton and lecture seeding. Aust J Soil Res, 1997, 29:324~327
53. Atklnson CJ, Policarpo, Webster M, *et al*. Drought tolerance of clonal Malus determined from measurements of stomatal conductance and leaf water potential. Tree Physiol, 2000, 20: 557~ 563
54. Basu PS, Sharma A, Sukumaran NP. Changes in net photosynthetic rate and chlorophyll fluorescence in potato leaves induced by water stress. Photosynthetica ,1998, 35: 13~ 19.
55. Ben Hur M, Faris J, M alik M, *et al*. Polymers as soil conditioners under consecutive irrigation and rainfall. Soil Sci Soc Am J, 1989, 53: 73~77.
56. Ben Hur M, Keren R. Polymer effects on water infiltration and soil aggregation. Soil Sci Soc Am J, 1997, 61:565~570.
57. Bouwmeester RBJ. Vlek PLG, Stumpe JM. Effects of environment facter on ammonia from a urea fertilized soil. Soil Sei Soc AM J, 1985, 49:376~381
58. Bowman DC, Evans RY. Calciuminhibition of polyacrylimidegel hydration is partially reversible by potassium. Hort Sci, 1999, 26(8):1063~ 1065.
59. Bowman, WD. Effect of nitrogen nutrition on photosynthesis and growth in C₄ Panicum species. Plant, Cell and Environment, 1991,14: 295~ 301.
60. Brown KR, Thomp sonW A, Camm EL, *et al*. Effects of N addition rates on the productivity of Picea sitchensis, Thujap licata, and Tsugaheterophylla seedlingsÊ. Photosynthesis, 13C discrimination and N partitioning in fo liage, T rees, 1996, 10: 198~205
61. Cao J, Govindjee. Chlorophyll a fluorescence transient as an indicator of active and inactive photosystem II in thylakoid membranes. Biochimica et Biophysica Acta, 1990, 1015(2): 180~ 188
62. Cechin I. Photosynthesis and chlorophyll fluorescence in two hybrids of sorghum under different nitrogen and water regimes. P hotosy nthetica, 1998, 35: 233~240
63. Chatzoudis G K, G.N.Valkanas. Monitoring the combined action of controlled-release fertilizers and a soil conditioner in soil. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 1995, 26

(17-18):3099~3111

64. Ciompi S, Gentili E, Guidi L, *et al.* The effect of nitrogen deficiency on leaf gas exchange and chlorophyll fluorescence parameters. *Plant Science*, 1996, 118: 177~184

65. DanilR, Taub, Manuel T, *et al.* Relationship between leaf nitrogen and photosynthetic rate for three NAD-ME and three NADP-ME C₄ grasses, *American Journal of Botany* 2000,87(3): 412~ 417.

66. Davies WJ, Zhang J. Root signals and the regulation of growth and development of plants in drying soil. *Plant Physiol Plant Mol Biol*, 1991, 42: 55~ 76.

67. Demesin C, Ranfial S. Field study of leaf photosynthetic performance by a Mediterranean's oak tree (*Quercus pubescens*) during a severe summer drought. *Plant, cell and Environment*, 1995, 131: 159~ 167

68. Doo-Won Lim, Kee-Jong Yoon, Sohk-Won Ko. Synthesis of AA-based superabsorbent interpenetrated with sodium PVA Sulfate. *J Appl Polym Sci*, 2000, 78: 2525~2529.

69. Ehleringer JR, Monson RK. Evolutionary and ecological aspects of photosynthetic pathway variation. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1993, 24: 411~ 439.

70. Evans JR. Photosynthesis and nitrogen relationship in leaves of C₃ plants. *Oecologia*, 1989, 78: 9~ 19

71. Ewers BE, Oren R, Sperry JS. Influence of nutrient versus water supply on hydraulic architecture and water balance in *Pinus taeda*. *Plant Cell Environ*, 2000, 23: 1055~ 1066

72. Farquhar GD, Sharkey TD. Stomatal conductance and photosynthesis. *Annu Rev Plant Physiol*, 1982, 33 : 137~ 143

73. Govindjee. Sixty-three years since Kautsky: chlorophyll a fluorescence. *Australian Journal of Plant Physiology*, 1995, 22: 131~ 160.

74. Guan YX, Lin B, Ling BY. The interactive effects of growth light condition and nitrogen supply on Maize seedling photosynthetic traits and metabolism of carbon and nitrogen. *Acta Agronomica Sinica*, 2000, 26: 806~812

75. Hassink J, Bouwman LA, Zwart KB. Relationships between Soil Texture, Physical Protection of Organic Matter, Soil Biota, and C and N Mineralization in Grassland Soils. *Geoderma*, 1993, 57: 105~ 128.

76. H Omidian SA, Hashemi PG. Sannes I. Meldrum Polymer. A model for the swelling of superabsorbent, *Polymers*, 1998, 26: 6697~6704.

77. Lima JD, Mosquim PR, Da Matta FM. Leaf gas exchange and chlorophyll fluorescence parameters in *Phaseolus vulgaris* as affected by nitrogen and phosphorus deficiency. *Photosynthetica*, 1999, 37: 113~121

78. Levin J, Ben Hur M, Gal M, *et al.* Rain energy and soil amendment effects on infiltration and erosion of three different soil types. *Aust J Soil Res*, 1991, 29: 455~465.

79. Lichtenthaler HK. The Kautsky effect: 60 years of chlorophyll fluorescence induction kinetics. *Photosynthetica*, 1992, 27 (1-2) : 45~ 55

80. Luquez VM, Guiamet J, Montaldi ER. Net photosynthetic and transpiration rates in a

chlorophyll-deficient isoline of soybean under well watered and drought conditions. *Photosynthetic*, 1997,125~ 131

81. Mann CJ, Wetzel RG. Photosynthesis and stomatal conductance of *Juncus fusus* in a temperate wetland ecosystem. *Aquatic Botany*, 1999,63:127~ 144,

82. Meinzer FC, Goldstein G, Franco AC, *et al.* Atmospheric and hydraulic limitations on transpiration in Brazilian cerrado woody species. *Funct Ecol* 1999, 13:273~ 282

83. Mrema AF, Granhall U. Senner by Forst plant growth, leaf water potential, nitrogenase activity and nodule anatomy in *Leucaena leucocephala* as affected by water stress and nitrogen availability. *Trees-Structure and Function*, 1997,12(1): 42~ 48.

84. Nakaji T, Fukam IM, Dokiya Y, *et al.* Effects of high nitrogen load on growth, photosynthesis and nutrient status of *Cryptomeria japonica* and *Pinus densiflora* seedlings. *Trees*, 2001, 15: 453~461

85. Franks PJ, Farquhar GD. A relationship between humidity response, growth form and photosynthetic operating point in C_3 plants. *Plant Cell and Environment*, 1999,22,1337~ 1349

86. Polyakova Y. Polymers soil conditioners and nitrogen fertilizers. *Soviet Soil Science*, 1976, 8(4):443~446

87. Reich PB, Walters MB, Ellsworth DS, *et al.* Photosynthesis nitrogen relations in Amazonian tree species. *Ecology*, 1994, 75: 73~81

88. Reynolds MP, Delgado MIB. Photosynthesis of wheat in a warm, irrigated environment I: Genetic diversity and crop productivity. *Field Crops Research*, 2000, 66: 37~ 50.

89. Zobayed SMA, Afreen F, Kozai T. Phytochemical and physiological changes in the leaves of *St. John's wort* plants under a water stress condition. *Environmental and Experimental Botany*, 2005,1~ 8

90. Schulze ED. Carbon dioxide and water vapor exchange in response to drought in the atmosphere and in the soil. *Annu Rev Plant Physiol*, 1986,37:247~ 274

91. Shainberg I, Levy GJ. Organic polymers and soil sealing in cultivated soils. *Soil Sci*, 1994, 158 (4):267~273.

92. Shangguan ZP, Shao MA, Dyckms J. Nitrogen nutrition and water stress effects on leaf, photosynthetic gas exchange and water use efficiency in winter wheat. *Environmental and Experimental Botany*, 2000, 44: 141~ 149

93. Silberbush M, Adar E, De Malach Y. Use of an hydrophilic polymer to improve water storage and availability to crops grown in sand dunes. Cabbage irrigated by sprinkling with different water salinities. *Agricultural water Management*, 1993, 23:303~ 327.

94. Silberbush M. Use of an hydrophilic polymer to improve water storage and availability to crops grown in sand dunes corn irrigated by trickling. *Agricultural Water Management*, 1993, 23:303~313.

95. Smith JD, Harrison HC. Evaluation of polymers for controlled release properties when incorporated with nitrogen fertilizer solutions. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 1991, 22(5&6):559~573

96. Sojka RE, Lentz RD, Westerman DT. Water and erosion management with multiple application of polyacrylamide in furrow irrigation. *Soil Sci So AmJ*, 1998, 62:1672~1680.

97. Sollins P, Specher G, Glassmen C A. Net Nitrogen Mineralization from Light and Heavy Fraction

Forest Soil Organic Matter J. Soil Biol Biochem, 1984, 16: 31~57.

98. Stanford G, Epstein E. Nitrogen Mineralization Water Relations in Soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc, 1974, 38:103~107.

99. Stocking CR, Ongun A. The intracellular distribution of some metallic elements in leaves. American Journal of Botany, 1962, 49: 284~ 289

100. Tan W, Hogan GD. Limitations to net photosynthesis as affected by nitrogen status in jack pine (*Pinus banksiana* Lamb) seedlings. Journal of Experimental Botany, 1995, 46: 407~413

101. Tardieu F, Davies WJ. Stomatal response to abscisic acid is a function of current plant water status. Plant Physiology, 1992, 98: 540~ 545.

102. Tardieu F, Davies WJ. Integration of hydraulic and chemical signalling in the control of stomatal conductance and water status of droughted plants. Plant Cell Environ, 1993, 16: 341~ 349.

103. Tissue D, Wright S. Effect of seasonal water availability on phenology and the annual shoot carbohydrate cycle of tropical forest shrubs. Functional Ecology, 1995, 9: 518~ 527.

104. Toni L Ceccardi, Irwin P Ting. Effect of temperature and water stresses on gas exchange, fluorescence kinetics, and solute levels of jojoba. Industrial Crops and Products, 1996, 5:279~ 290

105. Van Koten O, Snel JFH. The use of chlorophyll fluorescence non-invasive plant stress physiology. Photosynthesis Research, 1990, 25:147~ 150.

106. Verasani V, Ronald E. Effects of soil water stress on growth and nutrient accumulation in corn. Agron (Phillips). 1978, 70:613~618

107. Wallace A. A polysaccharide (GUAR) as a soil conditioner. Soil Sci, 1986, 141:371~376.

108. Whitehead D. Regulation of stomatal conductance and transpiration in forest canopies. Tree Physiology, 1998, 18:633~ 644

109. Whitehead D, Livingston NJ, Kelliher FM, *et al.* Response of transpiration and photosynthesis to a transient change in illuminated foliage area for a *Pinus radiata* Don tree. Plant Cell Environ, 1996, 19:949~ 957

110. Woodhouse J, Johnson MS. Effect of superabsorbent polymers on survival and growth of crop seedling. Agricultural Water Management, 1991, 20: 63~70.

111. Yong JWH, Wong SC, Farquhar GD. Stomatal responses to changes in vapor pressure difference between leaf and air. Plant, Cell and Environment, 1997, 20: 1213~ 1216

112. Zhang LM, Shangguan ZP, Mao MC, *et al.* Effects of long term application of nitrogen fertilizer on leaf chlorophyll fluorescence of up land winter wheat. Chinese Journal of Applied Ecology, 2003, 14: 695~698

113. Zhang WF, Gou L, Wang ZL, *et al.* Effect of nitrogen on chlorophyll fluorescence of leaves of high-yielding cotton in Xinjiang. Scientia Agricultura Sinica, 2003, 36: 893~898

致 谢

本论文是在我的导师李玉中研究员的指导下完成的。从论文的选题、研究方向、实验的设计与实施到论文的修改，处处凝聚着导师的心血。三年来，导师以其严谨的治学态度、敏锐的科学洞察力和忘我的敬业精神深深地感染着我，使我受益非浅，并将激励我在以后的工作学习中不断前行。在此向导师致以诚挚的感谢与崇高的敬意。

感谢本实验室王庆锁、刘晓英等几位老师的热心指导和帮助，他们给我许多宝贵的建议和鼓励；感谢程延年老师，在论文的修改过程中提出了详细的建议，让我更加体会了科技编辑严谨、踏实的工作态度；感谢汪聪慧老师，在环发所公共实验室进行HPLC学习期间教会了我许多实践经验和实验技能，提供了许多技术支持，在此一并表示感谢。

感谢我的同学、朋友在学习、生活中给予的帮助和鼓励，感谢环发所节水实验室的全体人员。

感谢家人在我多年求学过程中的付出和支持！

个人简历

简介

姓 名：于建慧	性 别：女
出生日期：1981年3月	籍 贯：黑龙江省五常市
毕业院校：中国农业科学院研究生院	专 业：生态学

教育背景 (Education background)

2003年—2006年	中国农业科学院 研究生院	生态学专业
1999年—2003年	东北农业大学农学院	植物保护专业
1996年—1999年	黑龙江省五常市山河镇山林一中	