

不同土壤保水剂对春小麦种植、树苗移栽与 树木育苗的影响

王琦^{1,2}, 张恩和², 李凤民^{3,4}, 王田涛², 鱼小军²

- (1. 中国科学院 寒区旱区环境与工程研究所, 甘肃 兰州 730000; 2. 甘肃农业大学, 甘肃 兰州 730070;
3. 兰州大学 干旱与草地农业生态教育部重点实验室, 甘肃 兰州 730000;
4. 中国科学院 水利部 水土保持研究所 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 采用大田试验, 对春小麦种植、树苗移栽和树木育苗实施了不同土壤保水剂(LT-200, LT-100, 博亚和皇冠)处理, 研究了不同土壤保水剂应用效果及对植物生长的影响。结果表明, 施用土壤保水剂能显著提高春小麦产量和水分利用效率。LT-200, LT-100, 博亚和皇冠的产量分别较对照(不施加土壤保水剂)增加 13.60%, 11.43%, 4.13% 和 3.52%。水分利用效率分别较对照提高 1.00, 0.84, 0.31 和 0.26 kg/(mm·hm²)。在春小麦收获期, 表土层(0—30 cm)土壤容重较对照下降, 其中 LT-200 和 LT-100 最明显, 分别较对照降低 9.4% 和 10.1%。土壤保水剂可以提高土壤贮水量, 在春小麦开花期, LT-200, LT-100, 博亚和皇冠 0—120 cm 土层中的土壤贮水量分别较对照提高 27.64, 26.92, 14.04 和 13.82 mm。施用土壤保水剂对春小麦根干重、旗叶干重及其含水量产生一定的影响, 但规律不明显。施用土壤保水剂对树苗移栽和树木育苗也产生一定的影响。

关键词: 土壤保水剂; 春小麦; 树苗移栽; 树木育苗

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2007)06-0061-06

中图分类号: S157.9

Effects of Different Water-holding Agents on Spring Wheat Plant, Tree Transplant and Tree Seeding Raising

WANG Qi^{1,2}, ZHANG En-he², LI Fen-ming^{3,4}, WANG Tian-tao², YU Xiao-jun²

- (1. Cold and Arid Region Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 73000, China; 2. Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China;
3. The Laboratory of Arid Agroecology, School of Life Science, Lanzhou University, Gansu 730000, China;
4. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Soil water-holding agent is a kind of material for water saving developed in recent years. The agents of LT-200, LT-100 (made in San-yan Industrial Company, Japan), Huang-guan and Bo-ya were tested in field experiments to study the effects of different soil water-holding agents on spring wheat plant, tree transplant, and tree seeding raising. Results showed that in the experiment of spring wheat plant, LT-200, LT-100, Huangguan and Boya increased yields by 13.60%, 11.43%, 4.13% and 3.52%, respectively, with the average of 8.17%. They increased water use efficiency by 1.00, 0.84, 0.31 and 0.26 kg/mm·hm², respectively, compared with controls (field without adding soil water-holding agents). Especially, the increases by adding LT-200 and LT-100 agents were significant. At same time, LT-200, LT-100, Huangguan and Boya enhanced soil water storage in 120 cm depth by 27.64, 26.92, 14.04 and 13.82 mm, respectively, compared with controls in spring wheat planting experiment. Soil water-holding agents could

收稿日期: 2007-04-16

修回日期: 2007-07-03

资助项目: 国家科技支撑计划(2006BAD04B06); 黄土高原丘陵沟壑区保护性耕作技术集成研究与示范(2006BAD15B06); 甘肃农业大学科技创新基金(GAU-CX0514)

作者简介: 王琦(1970—), 男(汉族), 甘肃省陇西县人, 博士生, 从事牧草和作物节水技术的教学与研究。E-mail: wangqi512@sohu.com.

通讯作者: 李凤民(1962—), 男(汉族), 河北省新乐市人, 博士, 教授, 主要从事植物生态学和旱地农田生态系统的教学与研究。E-mail: fml@lzu.edu.cn.

increase the dry root weight of spring wheat, but the increases were insignificant. Effects of different soil water-holding agents on tree transplant and tree seeding raising in one year growth were limited. Applied methods and the amount of soil water-holding agents added to soil need further studies.

Keywords: soil water-holding agents; spring wheat; tree transplant; tree seeding raising

甘肃省中部黄土丘陵地区,土层较厚,日照充足,干旱少雨,且 60%~70%的降雨分布在 6—9 月,3—4 月份是该地区作物播种、树苗移栽与树木育苗最佳季节,降雨缺乏往往造成植株出苗不齐或烧苗等现象^[1]。土壤保水剂是一种高分子聚合吸水材料,将它施入土壤中,不仅能吸收空气及土壤中的水分,而且还能将大量的雨水牢固地保存在土壤中,然后缓慢释放,供种子萌发和作物生长利用^[2-6]。土壤中施加保水剂可提高幼苗的成活率,推迟萎蔫时间,提早作物成熟期,增加产量^[4-7]。由于土壤保水剂吸水时可膨胀几百倍乃至上千倍,放水后,恢复收缩,能使土壤变得疏松,为土壤微生物活动提供了有利的生活环境,从而提高了土壤肥力^[5-6,8,12]。土壤保水剂吸收的水分 85%以上对植物有效,似微型水库,随着植物的生长和根际土壤水分的变化可以反复释放与吸收水分,供植物根部缓慢吸收利用^[7-9,13]。干旱半干旱区节水问题得到较快发展,但对土壤保水剂在作物播种和树木生长等方面的应用还缺乏深入研究^[1,14-15],通过比较 4 种不同土壤保水剂(LT-200, LT-100, 皇冠和博亚)对春小麦生长、树苗移栽和树木育苗的影响,探索适合半干旱黄土丘陵地区农业可持续发展的土壤保水剂栽培途径。

1 试验设计与方法

1.1 试验区自然条件

试验区位于兰州市榆中县夏官营镇兰州大学榆中校区(35.9°N, 104.1°E),地貌上处在黄土高原向内陆风蚀高原过渡地区,是水蚀和风蚀的交错地带。受蒙古高压和青藏高原热动力垂直作用的影响,降水偏少,年平均降水量为 283 mm(榆中县),降水的变率较大,60%~70%的降雨分布在 6—9 月份。最大年降水量为 392.4 mm,最小年降水量为 154.9 mm,年降水量相对变率为 21.9%。此区在自然景观上处于由半干旱草原带向干旱荒漠草原带的过渡区,海拔 1 800 m 左右。年平均气温为 7.1 °C,最低气温为 -9.1 °C(1 月),最高气温为 20.7 °C(7 月),≥0 °C 的年积温 3 324.5 °C。年潜在蒸发量为 930.6 mm,年平均日照时数为 2 768.1 h。试验区土壤为黄绵

土,田间持水量 26%,永久凋萎系数为 7.5%。

1.2 试验设计

(1) 不同土壤保水剂种植春小麦(试验 1)。试验选取皇冠、博亚、LT-200 与 LT-100 4 种不同型号的土壤保水剂作为处理,未施加土壤保水剂的处理作为对照(CK),其中皇冠和博亚生产于中国唐山亚科技有限公司,LT-200 和 LT-100 保水剂生产于日本东京三洋化成工业公司。供试春小麦品种为甘春 18 号,春小麦播种量为 375 kg/hm²,各处理保水剂用量相等(50 kg/hm²)。播种时将春小麦种子和保水剂混合,采用条播方式施入,施入土壤的深度大约为 5 cm,小区面积 30 m²,小区间的间距为 40 cm,重复 4 次。播种时间为 2004 年 3 月 20 日,各处理施肥量与灌溉量相等,播种之前各小区分别施用尿素(含氮 46%)150 kg/hm²和纯 P(过磷酸钙,含 P₂O₅ 为 46%)41 kg/hm²作基肥,于 5 月 24 日追施尿素一次,施用量为 150 kg/hm²。春小麦生育期灌溉量为 250 mm(包括苗期、拔节期和灌浆期 3 次灌水),春小麦生育期降雨量为 67.7 mm。

(2) 不同土壤保水剂移栽树苗(试验 2)。供试土壤保水剂品种与试验 1 完全相同。供试树种为落叶松[Larix Gmelinii(Rupr.)],树龄为 2 a,树高 25~30 cm,树杆直径 1~1.5 cm,主根长 10~15 cm,移栽日期 2004 年 4 月 16—19 日,保水剂用量为 0.4 kg/株,小区面积 80 m²,行间距为 40 cm。在移栽之前首先将保水剂与水按 1:50 比例混合,混合 30 min 后,然后将挖起土坑(深 50 cm,直径 50 cm)的土与吸过水的保水剂混合,将 1/5 吸水保水剂和土的混合物填入坑底,再将树植入,然后将其余的混合物逐层填入,用脚踩实。

(3) 不同土壤保水剂树木育苗(试验 3)。保水剂名称及用量与试验 1 完全相同。供试树种为龙柏,小区面积 4 m²(2 m×2 m),树苗种子播种量 30 kg/hm²,播种深度约为 5 cm,在播种之前将种子用 35 °C 温水浸种 6 min 左右,每小区种 9 行树苗,小区间的间隔为 40 cm,未施加保水剂作为对照。3 次重复。

1.3 测定项目与方法

采用烘干法测定土壤含水量。试验 1 在春小麦

播种期、开花期和收获期测定土壤含水量,测定深度 120 cm,按 20 cm 分层;试验 2 在 2004 年 4—6 月降雨量稀少(总降雨量 36 mm),这期间主要靠人工浇灌,每株树苗每次的浇灌量相等,4 月 19 日—6 月 20 日每株树苗的总灌水量 0.6 m³,树苗成活以后(6 月 20 日)依靠天然降雨。土壤含水量测定时段为 7 月 20 日—9 月 20 日,测定时间间隔为 10 d,测定深度 60 cm,按 20 cm 分层,每一小区取 6 个土样,然后计算平均值。试验 3 未测定土壤含水量,于 2004 年 9 月 20 日测定树苗成活率、小区株数与株高。

采用环刀法测定土壤容重,用挖掘法取样测定春小麦根干重。在春小麦收获期(2004 年 7 月 12 日),小区中间取 2 行生长均匀 2 m 长的植株测定产量,从中任意选取 20 株测定产量构成要素。

1.4 研究方法

按照田间水分平衡方程计算春小麦全生育期的耗水量

$$W_U = P + I + \Delta W$$

式中: W_U ——春小麦生育期耗水量; P ——生育期降水量 (mm); I ——生育期内灌溉量 (mm); ΔW ——土壤供水量 (mm),即播前与收获两时段土壤贮水量的差值。

土壤贮水量采用下式计算:

$$W = h \times p \times b \times 10$$

式中: W ——土壤贮水量 (mm); h ——土层深度 (cm); p ——土壤容重 (g/cm³); b ——土壤水分重量百分数。

水分利用效率 (WUE) = 产量 (kg/hm²)/耗水量 (mm)。试验结果用 SPSS13.0 与 Excel 软件进行显著性检验与方差分析。

2 结果与分析

2.1 不同保水剂对春小麦生长的影响

2.1.1 土壤贮水量 如图 1 所示,在小麦开花期测定土壤含水量,LT-200 和 LT-100 处理土壤贮水量显著高于皇冠和博亚处理,皇冠和博亚土壤贮水量显著高于对照。LT-200,LT-100,博亚与皇冠在 120 cm 深土壤中的贮水量分别比对照高出 27.64, 26.92, 14.04 与 13.82 mm,分别较对照增加 16.89%,14.25%,8.80%与 6.21%。

2.1.2 春小麦叶片干重及其含水量 通过对不同土壤保水剂种植春小麦单株叶片干重、叶片含水量、单株旗叶干重和旗叶含水量进行测定(表 1)。结果表

明皇冠处理的单株叶片干重最大,LT-200 处理单株叶片干重最小。博亚处理叶片含水量最大,对照叶片含水量最小。LT-100 处理的单株旗叶干重相对最大,LT-200 处理单株旗叶干重相对最小。博亚处理旗叶含水量最大,皇冠处理旗叶含水量最小。各处理的单株叶片干重、叶片含水量、单株旗叶干重与旗叶含水量的差异没有达到显著性水平。施用土壤保水剂能够对春小麦叶片与旗叶干重及其含水量产生一定的影响,但规律性不明显。

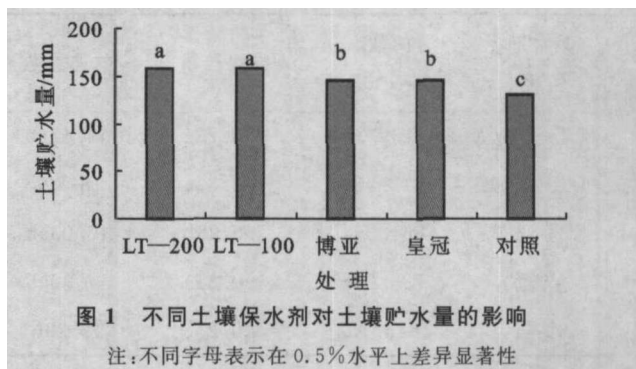


表 1 不同保水剂对春小麦叶片干重及其含水量的影响

保水剂名称	单株叶片干重/g	叶片含水量/%	单株旗叶干重/g	旗叶含水量/%
LT-200	1.15a	186a	1.47a	236a
LT-100	1.41a	183a	2.28a	228a
博亚	1.32a	208a	1.72a	248a
皇冠	1.89a	176a	1.87a	224a
对照	1.59a	165a	1.76a	225a

注:同一列不同字母表示在 0.5% 水平上差异显著性。下同。

2.1.3 春小麦产量及产量构成 从表 2 可以看出,LT-200 处理单位面积穗数较多,皇冠处理较少,各处理之间的差异不显著。对于单穗粒重,LT-100 与皇冠显著高于博亚,博亚显著高于 LT-200 与对照,并且差异达到显著性水平。但 LT-100 与皇冠之间,LT-200 与对照之间的差异未达到显著性水平。对于单穗粒数,LT-100 相对较大,对照最小,LT-100 与对照之间的差异达到显著性水平,其它处理与对照之间的差异没有达到显著性水平。LT-200 千粒重相对较大,博亚千粒重相对较小,LT-200 与博亚千粒重之间的差异达到显著性水平,LT-100、皇冠、对照与博亚之间差异没有达到显著性水平。这一结果表明,施用土壤保水剂能对单穗粒重、单位面积穗数和千粒重产生一定的影响,规律性不明显,相比较,LT-200 的单位面积穗数与千粒重相对较大,对于单穗粒数,LT-100 相对较大。

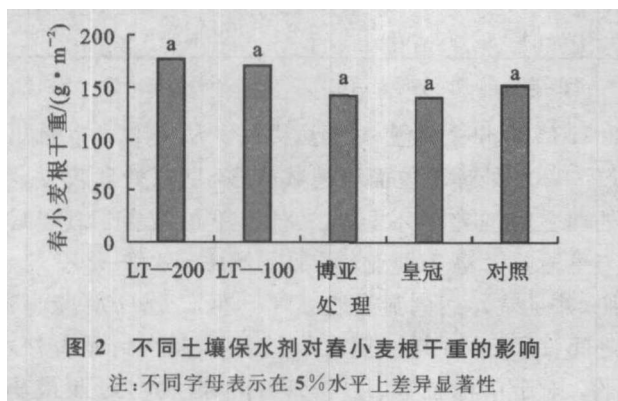
产量是衡量土壤保水剂对春小麦生长影响的最重要指标之一。从表 2 可以看出,施用土壤保水剂能有效提高春小麦产量,尤其 LT-200 与 LT-100 增产效果较为突出。LT-200,LT-100,博亚和皇冠较对照分别增产 13.60%,11.43%,4.13% 和 3.52%。经单因素方差分析,在 0.5% 显著水平上,LT-100 与 LT-200 显著高于博亚与皇冠,博亚与皇冠显著高于对照,但 LT-100 与 LT-200 之间、

博亚与皇冠之间没有达到显著性水平。在相同灌溉与降雨条件下,水分利用效率越高,产量也越高,水分利用效率在半干旱区对提高产量,提高水分利用效率起至关重要的作用。LT-200,LT-100,博亚,皇冠与对照之间水分利用效率差异显著,排列顺序是 LT-200 > LT-100 > 博亚 > 皇冠 > 对照,LT-200,LT-100,博亚与皇冠的水分利用效率较对照提高 1.00,0.84,0.31 和 0.26 kg/(mm·hm²)。

表 2 不同土壤保水剂对春小麦产量、产量构成要素及水分利用效率 (WUE) 的影响

保水剂名称	穗数/ (穗·m ⁻²)	单穗粒重/g	单穗粒数	千粒重/g	产量/ (kg·hm ⁻²)	增产率/%	WUE/ (kg·mm ⁻¹ ·hm ⁻²)
LT-200	1 169.75a	0.23c	14.47ab	29.12a	2 646.25a	13.60	8.33a
LT-100	812.25a	0.32a	18.89a	25.90ab	2 595.75a	11.43	8.17b
博亚	861.25a	0.28b	13.03ab	24.78b	2 425.75b	4.13	7.64c
皇冠	785.25a	0.31a	17.86ab	26.31ab	2 411.50b	3.52	7.59d
对照	1023.75a	0.23c	12.23b	25.86ab	2 329.50c	—	7.33e

2.1.4 春小麦根干重 从图 2 可以看出,LT-200 处理根干重较大,皇冠处理根干重较小。LT-200,LT-100,对照,博亚和皇冠处理根干重分别为 176.81,170.72,151.13,142.62 和 139.17 g/m²。可见,施用土壤保水剂对小麦根干重产生一定的影响,但在土壤保水剂的第一年施用中,各处理小麦根干重差异未达到显著性水平。



2.1.5 土壤容重 土壤容重可以反映土壤的孔隙状况、松紧程度和肥力状况,也是与农作物灌溉制度有关的一项重要指标。小麦施用土壤保水剂一季后表土层 (0—30 cm) 土壤容重较对照明显下降 (图 3),尤以施用 LT-200 和 LT-100 效果最明显,LT-200 和 LT-100 土壤容重较对照分别降低 9.4% 和 10.1%,并且在 0.5% 显著水平上,LT-100 和 LT-200 的土壤容重显著低于博亚和皇冠,博亚和皇冠土壤容重显著低于对照。这是由于土壤保水剂能促进

土壤团粒结构的形成,特别是对土壤中 0.55 mm 粒径的团粒结构形成作用最明显,使土壤的孔隙度增加,随着土壤保水剂用量的增加,土壤胶结形成团聚体多以大于 1 mm 的大团聚体状态出现,这对于改善土壤团粒结构具有积极意义^[12]。

2.2 不同保水剂树苗移栽的影响

于 2004 年 9 月 20 日测定了各处理的树苗成活率,LT-200,LT-100,博亚,皇冠与对照处理树苗成活率分别为 86%,80%,76%,77% 与 75%。LT-200 和 LT-100 树苗成活率相对较高,但各处理间的树苗成活率差异未达到显著性差异。

图 4 显示不同土壤保水剂作用下的移栽树苗水分动态图,从图中可以看出,7 月 20 日—8 月 30 日由于天然降雨增加,各处理间的土壤含水量差异变大,尤其在 7 月 30 日—8 月 20 日之间各处理间的土壤水分差异最大,如,8 月 20 日测定 LT-200,LT-100,博亚,皇冠与对照处理土壤含水量分别为 10.32%,8.84%,6.65%,6.78% 与 5.45%。LT-200,LT-100,博亚,皇冠在 0—60 cm 深的土壤贮水量分别比对照增加 89%,62%,22% 和 24%。从 8 月 30 日以后随着降雨量的减少与地温的下降等因素,各处理间的土壤含水量差值逐渐减少。虽然施加土壤保水剂可以增加土壤含水量,尤其在降雨量较大时效果最明显,但由于在树苗移栽前期,降雨量较少,各处理间的树苗成活率差异未到达显著性差异。

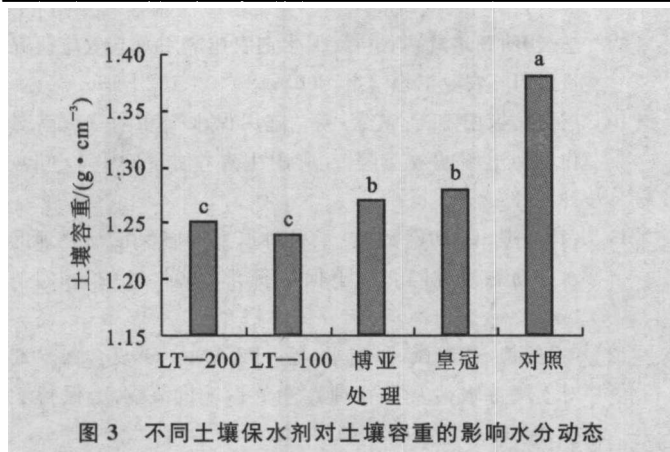


图 3 不同土壤保水剂对土壤容重的影响

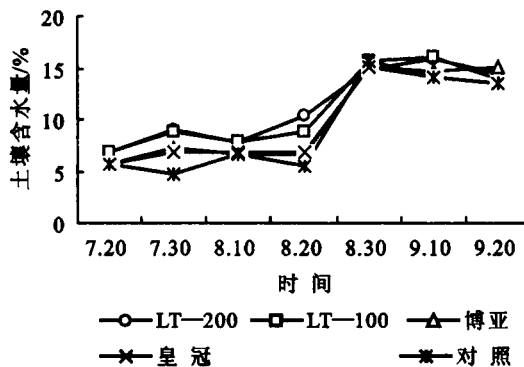


图 4 不同土壤保水剂移栽树苗土壤水分动态

2.3 保水剂对树木育苗的影响

从表 3 可以看出,皇冠和博亚处理的小区株数相对较大,LT-200 和 LT-100 小区株数次之,对照处理相对最小,它们间差异不显著。对于单株叶片数,皇冠和 LT-100 处理相对较多,对照和 LT-200 处理次之,博亚最小,处理间差异未达到显著水平。对于株高,LT-100 处理最高,皇冠处理次之,博亚,LT-200 和对照处理相对较小,处理间差异没有达到显著水平。

表 3 不同保水剂对小区株数、单株叶片数和株高的影响

处理	博亚	皇冠	LT-200	LT-100	对照
小区株数	181.03a	191.33a	144.67a	135.33a	128.67a
单株叶片数	10.19a	13.18a	12.01a	13.81a	12.82a
株高/cm	11.89a	14.55a	12.64a	17.17a	12.76a

3 结论

土壤保水剂通过改进土壤团粒结构与提高土壤含水量等因素来增加作物产量及作物产量性状。在春小麦种植试验中,LT-200,LT-100,博亚与皇冠较对照分别增产了 13.60%,11.43%,4.13%与 3.52%,小麦产量平均比对照提高 8.17%,其中 LT-200 和 LT-100 的效果较为突出。保水剂具有超高吸水性、保水性、膨胀性、缓释性与亲和性,同时保水剂可以减少降雨与灌溉时土壤水分的下渗流失与蒸发损失,增加土壤基质持水量,使植物达萎蔫点时间延长,减少灌水次数,提高水分利用效率^[12]。LT-200,LT-100,博亚与皇冠的水分利用效率较对照提高 1.00,0.84,0.31 与 0.26 kg/(mm·hm²),其中 LT-200 与 LT-100 的效果较为突出。随着植株生长,蒸散耗水,干旱时土壤保水剂可将储蓄的水分慢慢释放以供作物利用,在一定时期内供植株生长,在土壤局部形成微型水库,为植物生长提供一个适宜的水分生态条件和水分供需条件。

在春小麦种植试验中,施用土壤保水剂一季后表土层土壤容重较对照下降,尤以施用 LT-200 和 LT-100 效果最明显,LT-200 和 LT-100 较对照分别降低 9.4%和 10.1%,主要因为保水剂中含有特殊纤维状晶体形态结构的铝硅酸盐矿物质,增加土壤孔隙度,减小土壤容重。

土壤保水剂可以吸收和保存土壤水分,在干旱时期释放其贮存的水分供作物生长利用。春小麦种植试验中,在小麦开花期,LT-200,LT-100,博亚与皇冠在 0—120 cm 深土壤中的贮水量分别较对照增加 16.89%,14.25%,8.80%与 6.21%,平均比对照提高 11.54%;树苗移栽试验中,在土壤水分差异最大的时期,LT-200,LT-100,博亚与皇冠在 0—60 cm 深的土壤贮水量分别比对照增加 89%,62%,22%与 24%。林文杰等的研究表明,土壤保水剂能增加土壤孔隙度,能吸收并贮存土壤水分,从而提高土壤田间持水量(10.8%~93.2%),其结论与该研究一致^[11]。

施用土壤保水剂对树苗移栽和树木育苗产生一定的影响,但对树苗成活率、小区株树与株高的影响没有出现明显差异。据杨晓晖等在北京市昌平区的研究报道^[14],在造林初期,保水剂的施用可以提高树苗的成活率,但与对照相差无几,同时施用 2 种保水剂确实可以提高造林地干旱季节的土壤含水量,提高幅度约为 8.52%~11.95%,此结论与本研究基本一致^[15]。刘春生等通过 2 a 的大田试验^[8],保水剂对树体的生长、径干增粗、枝条加长都有促进作用,可以增大单果重和单株果实产量。在一年大田试验中,不同保水剂对树苗成活率、小区株树与株高的影响没有出现明显的差异,这可能与移栽前期降雨量少、树苗生长缓慢等生物特性、保水剂用量等有关,这有待进一步研究,尤其是在保水剂施用剂量与苗木个体生理响应关系方面。

[参 考 文 献]

[1] 王琦,张恩和,李凤民.半干旱地区膜垄和土垄的集雨

- 效率和不同时期土壤水分比较[J]. 生态学报, 2004, 24(8): 1816—1819.
- [2] 黄占斌, 辛小贵, 宁荣昌, 等. 保水剂在农业生产中的应用与发展趋势[J]. 干旱地区农业研究, 2003, 21(3): 11—14.
- [3] 蔡典雄, 王小彬, Keith Sax ton. 土壤保水剂对土壤持水特性及作物出苗的影响[J]. 土壤肥料, 1999, 1: 13—16.
- [4] Ben-Hur M, Faris J, Malik M, et al. Polymers as soil conditioners under consecutive irrigation and rainfall[J]. Soil Science, 1989, 53:1173—1177.
- [5] 俞满源, 黄占斌, 方锋, 等. 保水剂、氮肥及其交互作用对马铃薯生长和产量的效应[J]. 干旱地区农业研究, 2003, 21(3): 15—19.
- [6] 黄占斌, 张国祯, 李秧秧, 等. 保水剂特性测定及其在农业上的应用[J]. 农业工程学报, 2002, 18(1): 22—26.
- [7] 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[J]. 土壤, 2003(1): 80—82.
- [8] 刘春生, 杨吉华, 马玉增, 等. 抗旱保水剂在果园中的应用效应研究[J]. 水土保持学报, 2003, 17(6): 134—136.
- [9] 李云开, 杨培岭, 刘洪禄. 保水剂农业应用及其效应研究进展[J]. 农业工程学报, 2002, 18(2): 182—186.
- [10] 孙进, 徐阳春, 沈其荣, 等. 施用保水剂和稻草覆盖对作物和土壤的效应[J]. 应用生态学报, 2001, 12(5): 731—734.
- [11] 林文杰, 马焕成, 周蛟. 干旱胁迫下不同保水剂处理的水分动态研究[J]. 水土保持研究, 2004, 11(2): 121—124.
- [12] 杨红善, 刘瑞凤, 张俊平, 等. PAAM-atta 复合保水剂对土壤持水性及其物理性能的影响[J]. 水土保持学报, 2005, 19(3): 38—41.
- [13] 邱莉萍, 刘军, 王益权, 等. 长期施肥土壤中酶活性的剖面分布及其动力学特征研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(6): 737—741.
- [14] 杨晓晖, 张朝荣, 李国旗, 等. 2 种保水剂对北京南口风沙区侧柏成活及生长的影响[J]. 林业科学研究, 2006, 19(2): 235—240.
- [15] 崔英德, 郭建维, 阎文峰, 等. SA—IP—SPS 型保水剂及其对土壤物理性能的影响[J]. 农业工程学报, 2003, 19(1): 28—31.

(上接第 8 页)

[参 考 文 献]

- [1] 李香兰. 黄土高原不同林型对土壤物理性质的影响[J]. 林业科学, 1992, 28(2): 98—105.
- [2] 解文艳, 樊贵盛. 土壤结构对土壤入渗能力的影响[J]. 太原理工大学学报, 2004, 35(4): 381—384.
- [3] 田积莹. 黄土地区土壤的物理性质与黄土成因的关系[J]. 中国科学院西北水保所集刊, 1987(5): 1—12.
- [4] 蒋定生, 黄国俊, 谢永生. 黄土高原土壤入渗能力野外测试[J]. 水土保持通报, 1984, 4(4): 7—9.
- [5] 李成华, 马成林. 有机物覆盖地面对土壤物理因素影响的研究 II 有机物覆盖对土壤孔隙度的影响[J]. Transaction of CSAE. 1997, 13(2): 82—85.
- [6] Huang Gaobao, Zhang Renzhi, Zhang Guosheng, et al. Conservation tillage effects on spring wheat and field pea in the western loess plateau, China [C]. Soil management for sustainability. International Soil Tillage Research Organization Conference, 2003: 560—565.
- [7] 罗珠珠, 黄高宝, 张国盛. 保护性耕作对黄土高原旱地表土容重和水分入渗的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23(4): 7—12.
- [8] 韩战省. 澳大利亚的保护性农业[J]. 山西农机, 1998, 16(3): 40—41.
- [9] 许中旗, 李文华, 郑均宝, 等. 太行山区不同土地利用方式保水防蚀能力研究[J]. 水土保持学报, 2004, 18(4): 101—104.
- [10] 罗永蕃. 我国少耕与免耕技术推广应用情况与发展前景[J]. 耕作与栽培, 1991, 10(2): 1—7.
- [11] 高克昌. 旱地玉米整秸覆盖免耕试验[J]. 山西农业科学, 1992, 31(12): 4—6.
- [12] Ismail I, Blevins R L, Frye W W. Long-term no-tillage effects on soil properties and continuous corn yields [J]. Soil Sci. Soc. Am. J. 1994, 58: 193—198.
- [13] 张志国, 徐琪. 长期秸秆覆盖免耕对土壤某些理化性质及玉米产量的影响[J]. 土壤学报, 1998, 35(3): 384—391.
- [14] 徐阳春, 沈其荣. 水旱轮作下免耕和施用有机肥对土壤某些肥力性状的影响[J]. 应用生态学报, 2000, 11(4): 549—552.
- [15] 陈效民, 潘根兴, 王德建, 等. 太湖地区农田生态环境中土壤饱和和导水率研究[J]. 水土保持通报, 2000, 20(5): 11—13.
- [16] 刘贤, 康绍忠. 降雨入渗和产流问题研究的若干进展及评述[J]. 水土保持通报, 1999, 19(2): 57—65.