

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2014.03.023

保水剂和灌水对小粒咖啡苗木的节水调控效应*

刘小刚¹ 耿宏焯¹ 程金焕² 杨启良¹ 施卫省¹ 杨新荣¹

(1. 昆明理工大学现代农业工程学院, 昆明 650500; 2. 云南省农业科学院热带亚热带经济作物研究所, 保山 678025)

摘要: 为探讨热带特色作物小粒咖啡的高效节水模式, 研究3个保水剂水平(高保、低保和无保)和3个灌水水平(高水、中水和低水)对小粒咖啡苗木生理、生长、干物质及水分利用的影响。结果表明: 与无保相比, 低保分别提高叶绿素、类胡萝卜素和根系活力11.8%、13.4%和52.2%, 而分别降低可溶性糖、丙二醛和脯氨酸24.9%、24.3%和55.8%, 同时提高总干物质和水分利用效率31.0%和35.9%; 而高保分别降低叶绿素、类胡萝卜素、丙二醛和根系活力3.1%、2.4%、13.5%和6.3%, 提高叶片可溶性糖和脯氨酸3.7%和75.1%, 降低总干物质21.3%, 提高水分利用效率8.6%。与低水相比, 中水分别提高总干物质、耗水量和水分利用效率89.8%、44.5%和33.2%, 高水分别提高总干物质、耗水量和水分利用效率172.8%、104.8%和34.0%。和无保低水相比, 低保中水的水分利用效率增幅最大为112.7%, 同时提高总干物质158.9%, 分别提高叶片相对含水率、叶绿素、类胡萝卜素和根系活力24.4%、19.5%、25.8%和149.9%, 分别降低可溶性糖、丙二醛和脯氨酸38.3%、36.4%和68.7%。从高效节水的角度考虑, 低保中水为最适宜的搭配方式。

关键词: 小粒咖啡 保水剂 灌溉 理化特性 水分利用

中图分类号: S365; S152.7⁺5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2014)03-0134-06

引言

云南是中国咖啡的主产区, 在云南地区栽培的小粒咖啡经常受土壤季节性干旱的制约, 产量和品质得不到保证^[1]。水分亏缺会导致咖啡的生理和生长产生明显的变化。轻度水分胁迫降低咖啡光合速率、蒸腾速率、可溶性蛋白质、叶绿素、类胡萝卜素、气孔开张率和水势, 而增加过氧化物酶活性、脯氨酸、丙二醛含量以及细胞透性^[2-4]。有关灌水对咖啡的开花数、结果数和生育期进程的影响已有较多报道^[5-6]。而对不同保水剂施用量和灌水量组合下咖啡的生长、生理、水分利用的系统研究则很少。

保水剂是近年来迅速发展起来的新型功能高分子材料, 基本特点是可吸收自重几百倍的水分储存在土壤中, 然后在土壤缺水时, 根据植物需要, 缓慢释放; 且能反复吸放水分, 可持续使用多年^[7-8]。将保水剂施于土壤后, 可以改善土壤物理特性和增加持水能力, 提高种子发芽和出苗率, 降低干旱胁迫, 延缓作物枯萎, 促进作物生长和增加产量, 降低作物灌溉用水需求^[9-11]。使用保水剂还能够稳定土壤结构, 增加水分入渗、减少水土流失^[12-13]。研究表

明, 保水剂只有与适宜的灌水定额配合使用, 才能充分发挥其保水增产效应^[14]。因此, 制定科学的灌溉和保水剂管理措施具有重要的现实意义。但对于热带特色作物小粒咖啡, 以指导节水灌溉和提高水分利用为目的, 开展保水剂与灌水的耦合效应及农业节水集成模式研究报道较少。

本文研究3种保水剂水平和3种灌水水平对小粒咖啡苗木的生理、生长、干物质累积及水分利用效率的影响, 以期小粒咖啡的最佳节水模式和水分高效利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验于2012年4~12月在昆明理工大学现代农业工程学院智能控制温室室内进行(北纬24°9', 东经102°79', 海拔高度1978.9 m)。供试土壤为燥红壤土, 田间持水量 θ_f 为24.3%。粒径小于0.02 mm的质量分数占7.8%, 0.02~0.10 mm占32.4%, 0.10~0.25 mm占45.4%, 0.25~1.00 mm占13.4%。土壤有机质质量比为13.12 g/kg, 全氮质量比为0.87 g/kg, 全磷质量比为0.68 g/kg, 全钾质量比为

收稿日期: 2013-03-25 修回日期: 2013-08-16

* 国家自然科学基金资助项目(51109102, 51009073)、云南省应用基础研究资助项目(2010ZC043)、云南省教育厅重点项目(2011Z035)、水利部公益性行业科研专项资助项目(201101042)和大学生创新创业训练计划项目(201310674010)

作者简介: 刘小刚, 副教授, 主要从事节水灌溉理论与技术研究, E-mail: liuxiaogang888@tom.com

13.9 g/kg。保水剂为白色颗粒状干粉,属于聚丙烯酸类(北京希涛技术开发有限公司),装土时均匀拌入土中。供试作物为1年生小粒咖啡(卡蒂姆P7963)苗木。

1.2 试验设计

试验设3种保水剂和3种灌水水平,完全方案设计,共9个处理,每个处理重复4次。保水剂分别为高保($S_H, 1.5 \text{ kg/m}^3$)、低保($S_L, 1 \text{ kg/m}^3$)^[15]和无保($S_Z, 0 \text{ kg/m}^3$)。灌水分别为高水(W_H),土壤含水率为(65%~80%) θ_F ;中水(W_M), (55%~70%) θ_F ;低水(W_L), (45%~60%) θ_F 。试验为完全组合共9个处理,即 $S_H W_H$ (T1)、 $S_H W_M$ (T2)、 $S_H W_L$ (T3)、 $S_L W_H$ (T4)、 $S_L W_M$ (T5)、 $S_L W_L$ (T6)、 $S_Z W_H$ (T7)、 $S_Z W_M$ (T8)和 $S_Z W_L$ (T9, CK),各处理重复4次。采用全水溶性N、P、K复合肥(总氮质量分数为10%, P_2O_5 质量分数为30%, K_2O 质量分数为20%)。施肥水平为3 g/kg,分2次等量将肥料溶液施入生长盆中,施肥时间为5月26日和8月26日。

试验于4月12日将小粒咖啡苗木移栽至生长盆(上底宽30 cm,下底宽22.5 cm,高30 cm)中,每盆只栽1株,移栽后浇水至田间持水量。盆底均匀分布着直径为0.5 cm的5个小孔以提供良好的通气条件。盆内装土14 kg,装土前将风干土过5 mm筛后装土,土壤容积密度为 1.2 g/cm^3 。土表面铺0.5 cm厚的蛭石阻止因灌水导致土壤板结。经过54 d缓苗后,6月4日从每个处理8株中挑选4株长势均一的苗木开始灌水处理。在进行水分处理前各处理土壤含水率为(65%~80%) θ_F 。称量法控制灌水。试验于12月9日即水分处理后189 d结束。

1.3 测定项目及方法

各生理指标在10月20日(旺长期灌水前1 d)测定^[16]。叶片相对含水率、叶绿素和类胡萝卜素含

量、脯氨酸含量、丙二醛含量、可溶性糖含量及根系活力测定分别采用称量法、乙醇提取比色法、酸性茚三酮法、硫代巴比妥酸比色法、蒽酮比色法和TTC还原法^[17]。

形态指标和干物质均于2012年12月9日测定。株高和枝条长度采用毫米刻度尺测定,基径和叶面积分别用游标卡尺和称量换算法测定。干物质测定时,将不同器官分开,105℃杀青30 min后80℃加热干燥至恒质量。根冠比为根系和冠层干物质质量的比值,比叶面积为叶面积与其干质量的比值,水分利用效率为总干物质质量与总耗水量的比值。

1.4 数据处理

采用SAS统计软件对数据进行方差分析(ANOVA)和多重比较,多重比较采用Duncan法进行。

2 结果与分析

2.1 小粒咖啡生理特性

保水剂除对叶片相对含水率影响不显著外,对其余各生理指标影响显著。灌水对各生理指标影响显著。灌水和保水剂的交互作用对根系活力影响显著。由表1可知,与 S_Z 相比, S_L 分别提高叶绿素、类胡萝卜素和根系活力11.8%、13.4%和52.2%,而分别降低可溶性糖、丙二醛和脯氨酸24.9%、24.3%和55.8%; S_H 分别提高叶片可溶性糖和脯氨酸3.7%和75.1%,而分别降低叶绿素、类胡萝卜素、丙二醛和根系活力3.1%、2.4%、13.5%和6.3%。与 W_L 相比, W_M 分别提高叶片相对含水率、叶绿素、类胡萝卜素和根系活力11.9%、8.4%、8.7%和25.2%,而分别降低可溶性糖、丙二醛和脯氨酸31.7%、23.3%和40.8%; W_H 分别提高叶片相对含水率、叶绿素、类胡萝卜素和根系活力14.5%、18.7%、19.5%和42.5%,而分别降低可溶性糖、丙

表1 保水剂和灌水对小粒咖啡生理生化指标的影响

Tab. 1 Effects of super absorbent polymer and irrigation on physiological and biochemical parameters of arabica coffee

处理	保水剂水平	灌水水平	叶片相对含水率/%	叶绿素质量比/($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)	类胡萝卜素质量比/($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)	可溶性糖质量分数/%	丙二醛摩尔质量浓度/($\text{nmol}\cdot\text{g}^{-1}$)	脯氨酸质量比/($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	根系活力/($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$)
T1		W_H	94.1 ^a	3.680 ^a	0.488 ^a	2.113 ^a	28.608 ^a	12.895 ^a	91.628 ^c
T2	S_H	W_M	93.9 ^b	3.488 ^b	0.457 ^b	2.415 ^b	30.207 ^b	27.65 ^b	70.258 ^e
T3		W_L	80.6 ^c	3.031 ^c	0.415 ^c	4.704 ^c	44.833 ^c	59.177 ^c	63.674 ^h
T4		W_H	97.2 ^a	4.218 ^{ad}	0.567 ^{ad}	1.951 ^{ad}	24.621 ^{ad}	5.782 ^{ad}	121.755 ^b
T5	S_L	W_M	95.5 ^b	3.945 ^{be}	0.525 ^{be}	2.268 ^{be}	29.527 ^{be}	7.869 ^{be}	136.318 ^a
T6		W_L	93.7 ^c	3.600 ^{cf}	0.487 ^{cf}	2.472 ^{cf}	36.574 ^{cf}	11.506 ^{cf}	108.152 ^d
T7		W_H	96.3 ^a	3.893 ^{ag}	0.523 ^{ag}	2.504 ^{ag}	35.152 ^{ag}	10.576 ^{ag}	109.187 ^c
T8	S_Z	W_M	91.5 ^b	3.329 ^{bh}	0.452 ^{bh}	2.724 ^{bh}	38.294 ^{bh}	21.235 ^{bh}	76.882 ^f
T9		W_L	76.8 ^c	3.300 ^{ci}	0.418 ^{ci}	3.676 ^{ci}	46.402 ^{ci}	25.137 ^{ci}	54.557 ⁱ

注:数据为平均值($n=4$),不同小写字母者表示差异($P<0.05$)显著,下同。

二醛和脯氨酸 39.5%、30.9% 和 69.5%。T1、T2、T3、T4、T5、T6、T7 和 T8 的根系活力分别为 CK 的 1.68、1.29、1.17、2.23、2.50、1.98、2.00 和 1.41 倍。与 CK 相比,除 T3 外,其余各处理能不同程度提高叶片相对含水率、叶绿素、类胡萝卜素和根系活力,并使主要渗透调节物质(可溶性糖、丙二醛和脯氨酸)累积较少。

2.2 小粒咖啡生长及形态指标

保水剂和灌水分别对小粒咖啡的株高、基径、叶面积、根冠比及根重比影响显著,而对枝条长度和比叶面积影响不显著,其交互作用对小粒咖啡各形态

指标影响不显著。由表 2 可知,与 S_z 相比, S_L 分别提高小粒咖啡株高、基径、叶面积、根冠比和根重比 10.5%、11.6%、25.9%、51.3% 和 35.1%, S_H 分别提高根冠比和根重比 42.8% 和 25.6%,对株高提高不明显,而分别降低基径和叶面积 7.1% 和 17.4%。表明 S_L 能促进生长,协调根冠比,而 S_H 抑制冠层生长。与 W_L 相比, W_M 分别提高株高、基径和叶面积 18.4%、16.8% 和 79.7%,而降低根冠比和根重比不明显。 W_H 分别提高株高、基径和叶面积 37.8%、32.1% 和 179.9%,同时分别降低根冠比和根重比 35.6% 和 26.1%。

表 2 保水剂和灌水对小粒咖啡生长及形态特征的影响

Tab. 2 Effects of super absorbent polymer and irrigation on the growth and the morphological characteristics of arabica coffee

处理	保水剂水平	灌水水平	株高/cm	基径/mm	叶面积/m ²	枝条长度/cm	根冠比	根重比	比叶面积/(m ² ·kg ⁻¹)
T1		W_H	42.783 ^a	6.660 ^a	0.248 ^a	149.150 ^a	0.273 ^a	0.214 ^a	10.562 ^a
T2	S_H	W_M	41.117 ^b	5.940 ^b	0.159 ^b	102.127 ^a	0.413 ^b	0.291 ^b	11.082 ^a
T3		W_L	34.717 ^c	4.887 ^c	0.097 ^c	72.400 ^a	0.727 ^c	0.420 ^c	10.744 ^a
T4		W_H	51.433 ^{ad}	7.833 ^{ad}	0.373 ^{ad}	206.633 ^a	0.456 ^{ad}	0.313 ^{ad}	10.815 ^a
T5	S_L	W_M	41.250 ^{bc}	6.980 ^{bc}	0.248 ^{bc}	148.183 ^a	0.580 ^{bc}	0.365 ^{bc}	12.714 ^a
T6		W_L	37.233 ^{cf}	6.187 ^{cf}	0.148 ^{cf}	93.733 ^a	0.462 ^{cf}	0.316 ^{cf}	11.020 ^a
T7		W_H	47.433 ^{ag}	7.207 ^{ag}	0.321 ^{ag}	167.167 ^a	0.255 ^{ag}	0.203 ^{ag}	10.956 ^a
T8	S_z	W_M	39.333 ^{bh}	6.263 ^{bh}	0.198 ^{bh}	132.38 ^a	0.397 ^{bh}	0.281 ^{bh}	10.458 ^a
T9		W_L	30.850 ^{ci}	5.353 ^{ci}	0.092 ^{ci}	66.933 ^a	0.338 ^{ci}	0.252 ^{ci}	11.435 ^a

2.3 小粒咖啡干物质累积及水分利用效率

保水剂和灌水对小粒咖啡根系干物质、冠层干物质及总干物质的影响显著,其交互作用对干物质影响不显著。由表 3 可知,与 S_z 相比, S_L 分别提高根系、冠层和总干物质 81.6%、15.1% 和 31.0%,而 S_H 分别降低根系、冠层和总干物质 9.9%、24.8% 和 21.3%。表明 S_L 能促进植株生长,利于干物质合成

与累积。与 W_L 相比, W_M 分别提高根系、冠层和总干物质的 88.7%、90.3% 和 89.8%。 W_H 分别提高根系、冠层和总干物质的 114.1%、200.5% 和 172.8%。T1、T2、T3、T4、T5、T6、T7 和 T8 的总干物质分别为 CK 的 2.38、1.67、0.78、3.86、2.59、1.60、2.99 和 2.16 倍。

表 3 保水剂和灌水对小粒咖啡干物质累积及水分利用的影响

Tab. 3 Effects of super absorbent polymer and irrigation on the dry mass accumulation and the water use efficiency of arabica coffee

处理	保水剂水平	灌水水平	根系干物质累积量 /(g·株 ⁻¹)	冠层干物质累 积量/(g·株 ⁻¹)	总干物质累积量 /(g·株 ⁻¹)	耗水量 /(L·株 ⁻¹)	水分利用效率 /(kg·m ⁻³)
T1		W_H	9.180 ^a	33.555 ^a	42.735 ^a	19.967 ^d	2.140 ^a
T2	S_H	W_M	8.735 ^b	21.290 ^b	30.025 ^b	17.205 ^f	1.745 ^b
T3		W_L	5.840 ^c	8.205 ^c	14.045 ^c	9.083 ⁱ	1.546 ^c
T4		W_H	21.675 ^{ad}	47.545 ^{ad}	69.220 ^{ad}	30.999 ^a	2.233 ^{ad}
T5	S_L	W_M	17.150 ^{bc}	29.300 ^{bc}	46.450 ^{bc}	17.369 ^e	2.674 ^{bc}
T6		W_L	9.060 ^{cf}	19.650 ^{cf}	28.710 ^{cf}	15.204 ^g	1.888 ^{cf}
T7		W_H	10.875 ^{ah}	42.720 ^{ah}	53.595 ^{ah}	27.997 ^b	1.914 ^{ah}
T8	S_z	W_M	10.905 ^{bi}	27.800 ^{bi}	38.705 ^{bi}	21.146 ^e	1.830 ^{bi}
T9		W_L	4.595 ^{ej}	13.345 ^{ej}	17.940 ^{ej}	14.276 ^h	1.257 ^{ej}

保水剂和灌水及交互作用对小粒咖啡的耗水量影响显著。与 S_z 相比, S_L 减少耗水量不明显,而 S_H 减少耗水量 27.1%。主要由于 S_L 的植株生长旺盛,

蒸散耗水较多;而 S_H 的干物质累积受到抑制,蒸散耗水减少。与 W_L 相比, W_M 和 W_H 分别增加耗水量 44.5% 和 104.8%。和 CK 相比,T1、T2、T4、T5、T6、

T7 和 T8 分别增加耗水量 39.9%、20.5%、117.1%、21.7%、6.5%、96.1% 和 48.1%，而 T3 减少耗水量 36.4%。

水分利用效率综合反映物质累积和水分利用状况。保水剂和灌水对小粒咖啡的水分利用效率影响显著，而两者的交互作用对其影响不显著。和 S_2 相比， S_L 和 S_H 分别提高水分利用效率 35.9% 和 8.6%，表明 S_H 提高水分利用效率不明显。与 W_L 相比， W_M 和 W_H 分别提高水分利用效率 33.2% 和 34.0%。也说明 W_L 不但抑制了干物质累积，同时降低了水分利用效率，没有达到节水的效果。T1、T2、T3、T4、T5、T6、T7 和 T8 的水分利用效率分别为 CK 的 1.70、1.39、1.23、1.78、2.13、1.50、1.52 和 1.46 倍。

3 讨论

统计表明，保水剂施用量和灌水量对小粒咖啡多数生长指标（生理、形态及干物质）和水分利用效率影响显著。这与改变土壤的持水、透水和通气状况有关，不同的根土界面水分环境会对植物的生命活动产生显著的影响。也表明可以通过优化保水剂及灌水组合来调控植株生长，实现农业高效节水的目标。

体内部分生理生化物质的变化，可以反映植物的受伤程度^[18-19]。在水分胁迫条件下，苗木通过渗透调节，提高体内可溶性糖、丙二醛和游离脯氨酸含量，以缓解土壤水分不足造成的伤害^[20]。本研究发现， S_L 能提高小粒咖啡的叶绿素、类胡萝卜素和根系活力，而降低渗透调节物质（可溶性糖、丙二醛和脯氨酸），同时提高总干物质和水分利用效率；而 S_H 能提高可溶性糖和脯氨酸，同时降低根系活力和总干物质。表明 S_L 能为小粒咖啡生长提供较好的生理代谢水分环境，没有造成水分胁迫伤害。这主要是由于适量保水剂能改善根土界面环境，蓄水保墒，缓解水分胁迫，可提供良好的根系生态环境^[21]；而 S_H 不利于植株生长和根系活力的提高。这与柑橘和木薯的研究结论一致^[22-23]。柑橘叶片的光合速率随保水剂用量的增加先增加后减少，保水剂施用量为 160 g/株时光合速率最大^[22]。保水剂的施用量为 30 kg/hm² 时，木薯的产量及经济效益最高，而施用量为 60 kg/hm² 时，产量及经济效益降低^[23]。研究还发现保水剂用量过大，可导致土壤过湿危害，不利于根系发育，并且抑制根的伸长和降低根的生理机能，影响种子萌发和生长，降低移栽成活率和出苗率^[15,24]。也有研究表明，保水剂对橡胶苗叶绿素荧光参数影响显著，对干旱胁迫的缓解作用随施用量的增大而增大^[25]。本试验结果表明，保水剂施用量

为 1 kg/m³ 时能促进小粒咖啡生长，水分利用效率最高；而保水剂施用量为 1.5 kg/m³ 时不利于干物质累积，水分利用效率也没有明显提高。这是由于保水剂的最佳用量受土壤和作物种类等诸多因素的影响^[26-27]。

保水剂节水效应与土壤水分密切相关。文献[14]表明，充足灌水配施保水剂降低棉花产量，保水剂只有与适宜的的灌水定额配合，才能发挥其保水增产效应。文献[28]指出，适量保水剂（30 g/m²）时灌水量减至对照的 50%，百慕达草生长旺盛；但灌水量减至对照的 25% 时，保水剂会抑制生长。在供水压力为 3 kPa 时，保水剂使玉米冠层干物质、根系干物质和水分利用效率分别下降 12.4%、7.3% 和 12.6%；文献[29]表明，在供水压力为 6 kPa 和 9 kPa 时，保水剂使玉米冠层干物质分别增加 40.4% 和 104.6%，根系干物质分别增加 35.3% 和 83.8%，水分利用效率分别提高 26.9% 和 65.7%。本试验发现，在相同保水剂条件下， W_L 处理同时降低干物质累积和水分利用效率。可能是由于 W_L 处理的土壤含水率偏低，而保水剂的吸水能力较强，形成了保水剂和植株的“争水”现象^[24]，限制了水分利用效率的提高。T1 的水分利用效率低于 T4 和 T5，可能是由于 S_H 处理增加了土壤的毛管孔隙度，降低了土壤中充满空气的孔隙度^[29]，也说明在土壤含水率较高时，保水剂的节水效果难以显现。和 CK 相比，T4、T5 和 T6 分别增加耗水量 117.1%、21.7% 和 6.5%，同时分别增加水分利用效率 77.7%、112.7% 和 50.2%。表明 T5 的耗水量较小，水分利用效率的增幅最大。这是由于 T5 能改善根际环境，增强根系的吸收和合成能力，提高土壤有效水含量，从而促进植株生长和提高水分利用效率。从高效节水的角度考虑，T5 为最佳的试验组合。

4 结论

(1) 与无保相比，低保分别提高叶绿素、类胡萝卜素和根系活力 11.8%、13.4% 和 52.2%，分别降低可溶性糖、丙二醛和脯氨酸 24.9%、24.3% 和 55.8%，同时提高总干物质和水分利用效率 31.0% 和 35.9%；高保分别降低叶绿素、类胡萝卜素、丙二醛和根系活力 3.1%、2.4%、13.5% 和 6.3%，提高叶片可溶性糖和脯氨酸 3.7% 和 75.1%，降低总干物质 21.3%，提高水分利用效率 8.6%。

(2) 与低水相比，中水分别提高总干物质、耗水量和水分利用效率 89.8%、44.5% 和 33.2%，高水分别提高总干物质、耗水量和水分利用效率 172.8%、104.8% 和 34.0%。

(3)和无保低水相比,低保中水的水分利用效率增幅最大为112.7%,同时提高总干物质158.9%。并分别提高叶片相对含水率、叶绿素、类胡萝卜素和根系活力24.4%、19.5%、25.8%和

149.9%,分别降低可溶性糖、丙二醛和脯氨酸38.3%、36.4%和68.7%。从高效节水的角度考虑,低保中水为最适宜的搭配方式。

参 考 文 献

- Cai Chuantao, Cai Zhiqian, Yao Tianquan, et al. Vegetative growth and photosynthesis in coffee plants under different watering and fertilization managements in Yunnan, SW China[J]. *Photosynthetica*, 2007,45(3):455-461.
- Lima A, DaMatta F, Pinheiro H, et al. Photochemical responses and oxidative stress in two clones of *Coffea canephora* under water deficit conditions[J]. *Environmental and Experimental Botany*, 2002, 47:239-247.
- 董建华, 王秉忠. 土壤干旱对小粒种咖啡有关生理参数的影响[J]. *热带作物学报*, 1996, 17(1):50-56.
Dong Jianhua, Wang Bingzhong. Effect of drying soil on relevant physiological parameters of *Coffea arabica*[J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 1996,17(1):50-56. (in Chinese)
- Pinheiro H, Damatta F, Chaves A, et al. Drought tolerance in relation to protection against oxidative stress in clones of *Coffea canephora* subjected to long-term drought[J]. *Plant Science*, 2004,167:1307-1314.
- Masarirambi M, Chingwara V, Shongwe V. The effect of irrigation on synchronization of coffee (*Coffea arabica* L.) flowering and berry ripening at Chipinge, Zimbabwe[J]. *Physics and Chemistry of the Earth*, 2009,34(16):786-789.
- Crisosto C, Grantz D, Meinzer F. Effects of water deficit on flower opening in coffee (*Coffea arabica* L.) [J]. *Tree Physiol*, 1992, 10(2):127-139.
- Hüttermann A, Orikiriza L, Agaba H. Application of superabsorbent polymers for improving the ecological chemistry of degraded or polluted lands[J]. *Clean*, 2009,37(7):517-526.
- Orikiriza L, Agaba H, Tweheyo M, et al. Amending soils with hydrogels increases the biomass of nine tree species under non-water stress conditions[J]. *Clean*, 2009,37(8):615-620.
- Yazdani F, Allahdadi I, Akbari G. Impact of superabsorbent polymer on yield and growth analysis of Soybean (*Glycine max* L.) under drought stress condition[J]. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 2007,10(23):4190-4196.
- Islam M, Eneji A, Hu Y, et al. Evaluation of a water-saving superabsorbent polymer for forage oat (*Avena sativa* L.) production in an arid sandy soil[C]. *Proceedings of InterDrought-III Conference*, Shanghai, China, 2009:91-92.
- 杨永辉, 吴普特, 武继承, 等. 复水前后冬小麦光合生理特征对保水剂用量的响应[J]. *农业机械学报*, 2011,42(7):116-123.
Yang Yonghui, Wu Pute, Wu Jicheng, et al. Response of photosynthetic parameters of winter wheat before and after re-watering to different rates of water-retaining agent[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2011,42(7):116-123. (in Chinese)
- Lentz R, Sojka R, Robbins C. Reducing phosphorus losses from surface-irrigated fields, emerging polyacrylamide technology [J]. *Journal of Environmental Quality*, 1998,27(2):305-312.
- 韩玉国, 范云涛, 赵鲁, 等. 施入保水剂土壤吸水膨胀试验[J]. *农业机械学报*, 2012,43(11):74-79.
Han Yuguo, Fan Yuntao, Zhao Lu, et al. Experiment on water-swelling property of soil with application of water retention agent [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2012,43(11):74-79. (in Chinese)
- 白文波, 王春艳, 李茂松, 等. 不同灌溉条件下保水剂对新疆棉花生长及产量的影响[J]. *农业工程学报*, 2010,26(10):69-76.
Bai Wenbo, Wang Chunyan, Li Maosong, et al. Effects of super absorbent polymer on growth and yield of cotton under different irrigation conditions in Xinjiang Uyghur Autonomous Region [J]. *Transactions of the CSAE*, 2010, 26(10): 69-76. (in Chinese)
- 黄占斌, 吴雪萍, 方峰, 等. 干湿变化和保水剂对植物生长和水分利用效率的影响[J]. *应用与环境生物学报*, 2002, 8(6):1600-1604.
Huang Zhanbin, Wu Xueping, Fang Feng, et al. Effects of soil dry-wet changes and aquasorb treatment on plant growth and water use efficiency [J]. *Chinese Journal of Applied & Environmental Biology*, 2002,8(6):1600-1604. (in Chinese)
- 孔艳菊, 孙明高, 苗海霞, 等. 干旱胁迫下元宝枫生长性状及生理特性研究[J]. *西北林学院学报*, 2006, 21(5):26-31.
Kong Yanju, Sun Minggao, Miao Haixia, et al. Growth properties and physiological characteristics of *Acer truncatum* under drought stress[J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2006, 21(5):26-31. (in Chinese)
- 高俊凤. *植物生理学实验指导*[M]. 北京:高等教育出版社, 2006.
- Foyer C, Noctor G. Oxygen processing in photosynthesis, regulation and signalling[J]. *New Phytol*, 2000, 146:359-388.
- 王东清, 李国旗, 王磊. 干旱胁迫下红麻和大麻状罗布麻水分生理及光合作用特征研究[J]. *西北植物学报*, 2012,32(6):1198-1205.
- 张永峰, 殷波. 混合盐碱胁迫对苗期紫花苜蓿抗氧化酶活性及丙二醛含量的影响[J]. *草业学报*, 2009, 18(1):46-50.
Zhang Yongfeng, Yin Bo. Influences of salt and alkali mixed stresses on antioxidative activity and MDA content of Medicago

- sativa at seedling stage[J]. Acta Prataculturae Sinica, 2009, 18(1):46–50. (in Chinese)
- 21 黄占斌. 农用保水剂应用原理与技术[M]. 北京:中国农业科学技术出版社, 2005.
- 22 杨义伶, 高洁, 徐回林, 等. 保水剂对南丰蜜橘叶绿素含量与光合速率的影响[J]. 江西农业学报, 2010, 22(2): 46–48.
Yang Yiling, Gao Jie, Xu Huilin, et al. Effects of water-holding agent on chlorophyll content and photosynthetic rate of Nanfeng orange [J]. Acta Agriculturae Jiangxi, 2010, 22(2): 46–48. (in Chinese)
- 23 莫凡, 罗兴录, 周红英, 等. 保水剂不同用量对土壤理化性状和木薯产量的影响[J]. 广西农业科学, 2010, 41(5):459–462.
- 24 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[J]. 农业现代化研究, 2000, 21(5):317–320.
- 25 姚庆群, 谢贵水, 陈海坚. 干旱下保水剂对橡胶苗叶绿素荧光参数的影响[J]. 热带作物学报, 2006, 27(1):6–11.
Yao Qingqun, Xie Guishui, Chen Haijian. Effects of water-retaining agent on chlorophyll α fluorescence parameters of hevea brasiliensis under drought stress[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2006, 27(1):6–11. (in Chinese)
- 26 寇太记, 张雅莉, 马继红, 等. 保水剂施用对丹参物质形成与养分利用的影响[J]. 水土保持学报, 2011, 25(6):64–67.
Kou Taiji, Zhang Yali, Ma Jihong, et al. Effects of water retentive agent application on the matter formation and nutrient utilization of *Salvia miltiorrhiza* Bge[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2011, 25(6):64–67. (in Chinese)
- 27 韦兰英, 袁维圆, 焦继飞, 等. 紫花苜蓿和菊苣比叶面积和光合特性对不同用量保水剂的响应[J]. 生态学报, 2009, 29(12):6772–6778.
We Lanying, Yuan Weiyuan, Jiao Jifei, et al. The response of SLA and photosynthesis of *Medicago sativa* and *Cichorium intybus* to different rates of super absorbent polymer[J]. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(12): 6772–6778. (in Chinese)
- 28 芦海宁, 韩烈保, 苏德荣. 保水剂在草坪中的应用研究进展[J]. 节水灌溉, 2005(1):14–18.
- 29 毛思帅, M. Robiul Islam, 薛绪掌, 等. 保水剂和负压供水对玉米生理生长及水分利用效率的影响[J]. 农业工程学报, 2011, 27(7):82–88.
Mao Sishuai, Islam R, Xue Xuzhang, et al. Effects of water-retaining agent and water supply tension on physiology, growth and water use efficiency of corn[J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(7): 82–88. (in Chinese)

Effect of Super Absorbent Polymer and Irrigation on Improving Water Use Efficiency of Arabica Coffee Seedling

Liu Xiaogang¹ Geng Hongzhuo¹ Cheng Jinhuan² Yang Qiliang¹ Shi Weisheng¹ Yang Xinrong¹

(1. Faculty of Modern Agricultural Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650500, China

2. Tropical and Subtropical Economic Crops Institute, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Baoshan 678025, China)

Abstract: The object was to explore the efficient water-saving method of arabica coffee seedling, experiment of three levels of super absorbent polymer (SAP), i. e. high SAP (S_H), low SAP (S_L) and no SAP (S_N), and three levels of irrigation, i. e. high water (W_H), middle water (W_M) and low water (W_L), was designed, and the effect of SAP and irrigation on physiology, growth, dry mass accumulation and water consumption of arabica coffee seedling was studied. Results showed that, compared with S_N , S_L increases chlorophyll (Chl), carotenoid and root activity by 11.8%, 13.4% and 52.2%, but reduces soluble sugar (SS), malondialdehyde (MDA) and proline (Pro) by 24.9%, 24.3% and 55.8%, and also increases total dry mass and water use efficiency (WUE) by 31.0% and 35.9%, respectively; however, S_H reduces Chl, carotenoid, MDA and root activity by 3.1%, 2.4%, 13.5% and 6.3%, and reduces total dry mass by 21.3% as well, but increases SS, MDA and WUE by 3.7%, 75.1% and 8.6%. Compared to W_L , W_M increases total dry mass, water consumption and WUE by 89.8%, 44.5% and 33.2%, while W_H increases total dry mass, water consumption and WUE by 172.8%, 104.8% and 34.0%. Compared to CK ($S_N W_L$), $S_L W_M$ has the largest increase of WUE by 112.7%, and increases total dry mass by 158.9%, as well as leaf relative water content, Chl, carotenoid and root activity by 24.4%, 19.5%, 25.8% and 149.9%, whereas reduces SS, MDA and Pro by 38.3%, 36.4% and 68.7%. Considering high efficiency water saving, $S_L W_M$ is the optimum experiment combination.

Key words: Arabica coffee Super absorbent polymer Irrigation Physicochemical properties Water use efficiency