

应用岩棉材料提高丘陵区经济林 土壤水分保蓄能力

顾佳悦, 方伟, 高竞, 严淑娴, 冯歌林, 刘彩霞, 徐秋芳

(浙江省森林生态系统碳循环与固碳减排重点实验室, 浙江 临安 311300)

摘要:为缓解无灌溉丘陵区土壤季节性干旱问题,以岩棉为供试材料,通过室内模拟结合野外林地试验,研究了岩棉对不同质地土壤的增水潜力、岩棉水分扩散能力、岩棉材料对不同坡位土壤水分保蓄能力以及对山核桃林地土壤水分保蓄和油菜生长的影响,以期探索出一种新型实用的土壤水分保蓄技术。室内模拟试验结果表明,供试岩棉最大容积持水量为 64.64%;分析了岩棉应用于松砂土、砂壤土、中壤土和轻粘土等 4 种不同质地土壤的保水潜力,土壤最大容积有效含水量分别增加 54.02%、50.67%、41.41% 和 50.31%。将吸水饱和的岩棉埋入风干土壤中,水分在垂直和水平方向均有扩散作用,并在一定时间内达到相对稳定状态。距岩棉垂直方向和水平方向 5 cm 处最高土壤含水量分别为 27.89% 和 20.67%,10 cm 处土壤最高含水量分别为 13.13% 和 13.00%,由此建议,岩棉埋设位置距离根系不宜太远。林地试验表明,岩棉对红豆杉林地不同坡位土壤均能充分发挥水分保蓄作用,持续晴天无雨时,红豆杉林地上、下坡位土壤含水量顺序为岩棉附近>岩棉地植物根附近>无岩棉地(对照)。久旱和雨后山核桃林地岩棉附近土壤含水量比无岩棉地分别提高 29.19% 和 23.39% ($P<0.05$);油菜生长宽度范围为 80 cm,岩棉保水影响范围是岩棉自身宽度的 5 倍之多;与无岩棉对照相比,埋设岩棉地油菜植株(开花期)的地茎、株高、叶面积和单株鲜重等指标分别提高了 58.63%、62.85%、65.66% 和 44.51% ($P<0.05$)。在土壤中合理使用岩棉材料是解决无灌溉丘陵区土壤季节性干旱问题的有效措施之一。

关键词:岩棉;土壤水分保蓄;经济林;季节性干旱;丘陵区

中图分类号:S152.7⁺5 **文献标志码:**A

Improving soil water retention capacity of economic forest using rock wool in hilly area

GU Jiayue, FANG Wei, GAO Jing, YAN Shuxian, FENG Gelin, LIU Caixia, XU Qiufang

(Zhejiang Provincial Key Laboratory of Carbon Cycling in Forest Ecosystems and
Carbon Sequestration, Lin'an, Zhejiang 311300, China)

Abstract: In order to explore a novel and practical way to conserve soil moisture and alleviate the seasonal drought of soil in hilly area where irrigation is not available, rock wool (RW) was used as the test material. The water increasing potential of RW in different texture soil, the diffusing capacity of water absorbed by RW in soil, the water-holding capacity of RW on different slope positions, and the effects on the growth of rapeseed in *Carya cathayensis* forest were studied through indoor simulation and field woodland experiments. Indoor simulation experiment results showed that the maximum volumetric water holding capacity of RW was 64.64%. When soil was replaced with RW, the water-holding capacity characteristic of maximum effective water content ($v\%$) increased by 54.02%, 50.67%, 41.41%, and 50.31% for loose sand, sandy loam, neutral loam, and light clay soil, respectively. The water diffusing speed from water-saturated RW in soil reached a steady level in both vertical and horizontal directions. The maximum soil moisture content at the point of 5 cm apart from water-saturated RW was 27.89% and 20.67% for vertical and horizontal directions respectively, and at 10 cm was 13.13% and 13.00%, re-

收稿日期:2019-07-30

修回日期:2020-02-24

基金项目:浙江省科学技术重点研发计划项目(2015C02013);浙江省省院合作林业科技项目(2017SY01)

作者简介:顾佳悦(1996.4-),女,浙江嘉兴人,硕士,研究方向为植物保护与资源利用。E-mail:244003180@qq.com

通信作者:徐秋芳(1963.9-),女,浙江东阳人,教授,主要从事森林土壤与生态研究。E-mail:xuqiufang@zafu.edu.cn

spectively. Therefore, it was suggested that the embedding position of RW should be close to the roots. The forest-land experiment showed that RW played a great role on soil water conservation in different slope of *Taxus chinensis* forest land. The soil moisture content of different points was following the order: near RW > near plant roots of RW > non-RW (control) at both up and down slopes of *T. chinensis* forest during continuous sunny days. The soil moisture content near RW was 29.19% and 23.39% higher than that of non-RW woodland in *C. cathayensis* woodland after long-term drought and rain ($P<0.05$), respectively. The width of the base distribution of rapeseed was measured to be 80 cm, which was more than five times of RW itself. The stem diameter, plant height, leaf area, and fresh weight of flowering rape plants in buried RW land were 58.63%, 62.85%, 65.66%, and 44.51% higher than those in non-RW land ($P<0.05$), respectively. It was concluded that using RW material was one of the effective measures to solve the problem of the seasonal drought in hilly land without irrigation.

Keywords: rock wool; soil moisture conservation; economic forests; seasonal drought; hilly areas

我国南方地区虽雨量充沛,但降雨呈现明显的季节变化,部分地区依然存在伏旱、秋冬旱等季节性干旱问题,特别是平均海拔约为 50~100 m 的丘陵地区,地下水供给少,植物生长主要依赖天然降水^[1-3]。浙江省山多田少,在广域的丘陵山地上种植着不同种类的经济林(梨、板栗、银杏和苹果等),种植面积达 112.52 万 hm^2 ,占全国经济林总面积的 7.07%^[4],而普遍存在的季节性干旱问题严重影响经济林产品的产量与质量,极大地制约了丘陵地区林业生产发展^[5-6],实现水资源的有效利用已成为亟待解决的社会经济问题。

目前在应对干旱问题方面,普遍使用的喷灌、管道输水和蓄水池蓄水等节水技术在一定程度上可以改善区域缺水问题^[7-8],但修建管道工程量大、经济成本高。因此,对于无灌溉的丘陵经济林地,通过合适的水分保蓄措施、最大限度地利用天然降水,是提高无灌溉丘陵山地商品经济林产量和品质的有效途径之一^[9]。保水材料的应用研究始于 20 世纪 60 年代初,美国农业部率先研制出适用于农业的土壤保水剂^[10],随后日本也研发出能够应用于农林业生产的高吸水性树脂型保水剂^[11-12],这类保水剂具有优异的吸水保水性能,能同时达到保肥和保土作用,但土壤盐分和电解质肥料施用会大幅降低保水剂吸水保水性能^[13-15],同时又因其普遍价格昂贵,应用成本较高,因此需要寻求一种价格相对低廉、适于大面积推广的保水材料。岩棉是一种多孔材料,保水能力强,如表面增施亲水性黏结剂又可提高其吸水能力,最大吸水量能达到自身重量的数倍。土壤中埋设岩棉可充分吸收降水,类似一个微型蓄水库,在降雨季节吸收水分,之后缓慢释放^[16]。岩棉本身不吸持任何养分,但可通过水分固持水溶性肥料养分,并随水分扩散释放至土壤中^[17],因此,岩棉材料兼具保水和保肥功能。当前,在农林业生

产方面主要应用于经济效益较高的设施园艺上,如岩棉作为无土栽培的载体基质已在月季^[18]、番茄^[19]、冰菜^[20]和黄瓜^[21]等花卉蔬菜栽培上取得成功;而将岩棉作为水分保蓄材料应用于丘陵区土壤水分保蓄方面的研究尚未见报道。本研究先通过室内试验研究分析岩棉材料在不同质地土壤中水分保蓄潜力及岩棉保蓄的水分在土壤中的扩散运动规律;然后进一步结合野外林地试验,研究应用岩棉材料对林地不同坡位土壤水分保蓄的影响,并以此为依据将岩棉水分保蓄技术应用于山核桃林地,同时监测种植在林地的油菜生长指标,研究岩棉在山核桃林地土壤中的水分保蓄效果和对植物生长的影响,为解决丘陵区季节性干旱提供一种新的保水技术,促进区域经济林生产与生态系统可持续发展。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试岩棉(施可达岩棉股份有限公司,安徽宣城)主要由 83% 的玄武岩、14% 的高炉矿渣和 3% 的白云石在 1580℃ 的高温下进行熔化成纤,容重一般在 $70\sim 100\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$,pH 值为 7~8,纤维直径 $\leq 50\text{ }\mu\text{m}$,树脂含量为 1.8%,孔隙度 $>95\%$,不含重金属,其主要化学成分是 CaO 、 MgO 、 SiO_2 、 Al_2O_3 和 Fe_2O_3 。加工过程中添加了亲水性黏结剂,使其具有良好的亲水性。

1.2 室内试验设计

1.2.1 岩棉吸水特性试验及增水潜力估算 为研究吸水饱和的岩棉对不同质地土壤最大容积有效水的增加潜力,通过测定岩棉最大吸水量来估算岩棉材料在不同质地土壤中的最大增水潜力。参考张标富^[16]的方法,截取长 11.5 cm、宽 10 cm、高 10 cm、质量为 66.9 g 的干燥岩棉块,将其浸没于蒸馏

水中,与水箱四周壁面均无接触,待岩棉块充分吸水后取出,沥除擦去表面浮水,立即称重并记录质量。将等体积岩棉和土壤最大有效容积含水量的差值作为岩棉在土壤中的增水量,即为施用岩棉后土壤增加的有效容积含水量。

岩棉最大容积持水量用下面的公式计算:

$$w_1 = (m_2 - m_1) / \rho v \times 100\%$$

式中, w_1 为岩棉最大容积持水量(%), m_2 为岩棉吸水饱和后的质量(g), m_1 为干燥岩棉的质量(g), ρ 为标况下水的密度($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$), v 为岩棉体积(cm^3)。

岩棉最大有效容积持水量用下面的公式计算:

$$w_2 = w_1 \times (1 - 10\%)$$

式中, w_2 为岩棉最大有效容积持水量(%),10% 为岩棉水分无法被植物利用的百分比^[22]。

1.2.2 岩棉水分扩散室内模拟试验 通过设计岩棉水分扩散室内模拟试验来研究岩棉吸持的水分 在风干土壤中的扩散规律。2019 年 3 月 5 日至 18 日在浙江农林大学温室阳光大棚内进行试验,裁取长 30 cm、宽 10 cm、高 10 cm 的岩棉试件,充分吸水并去除表面浮水,放置于长 30 cm、宽 30 cm、高 30 cm 的方形亚克力箱子底部角落,与箱底、箱隔贴合,填入过 2 mm 筛的风干土(中壤土,容重 $1.32 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$),箱内土壤的总高度约 25 cm,水分测量探针为 TZS-2X-G 多参数水分记录仪(浙江托普云农科技股份有限公司,浙江杭州),分别埋设于离岩棉上侧表面垂直方向和右侧表面水平方向 5、10 cm 处,选取每天水分集中扩散时间段的开始时刻(10:00)和结束时刻(16:00)测定土壤含水量,共 3 次重复。

水分扩散速率用下面的公式计算:

$$\theta = (U_2 - U_1) / t$$

式中, θ 为水分扩散速率($\% \cdot \text{d}^{-1}$), U_1 表示同一监测点前一天测定土壤含水量(%), U_2 表示同一监测点后一天测定土壤含水量(%), t 表示前后两天测定的时间差(d)。

1.3 野外试验设计

1.3.1 研究区概况 林地试验分别于 2018 年 2 月至 5 月和 2018 年 8 月至 2019 年 3 月在浙江农林大学红豆杉试验地和临安大明山山核桃林试验地进行。试验区均位于浙江省杭州市临安区(30°14'N, 119°42'E),属中亚热带季风气候,年降水量 1 613.9 mm,年平均气温 16.4℃,光照充足,年平均日照时数 1 847.3 h,境内主要以丘陵山地为主,季节性干旱主要包括秋旱、伏旱等。

1.3.2 红豆杉自然林不同坡位岩棉保水试验 为探究岩棉在不同坡位土壤中的水分保蓄效果,选取浙江农林大学 2016 年新造红豆杉幼林试验样地,面积为 10 m×20 m,坡度约为 20°,红豆杉种植密度为 3 000 株·hm⁻²,行间间隔 2 m。土壤质地为粉黏土,pH 为 4.78,有机质为 12.03 g·kg⁻¹,碱解氮为 80.35 mg·kg⁻¹,速效磷为 1.57 mg·kg⁻¹,速效钾为 158.61 mg·kg⁻¹。红豆杉幼林地不施肥,土壤水分主要依靠天然降水。

在 2018 年 11 月选择林地上坡、中坡、下坡等 3 个不同位置埋设岩棉,并在平行于各坡位的位置设置无岩棉对照 CK1、CK2 和 CK3,同时布设水分测量探针(TDR),通过时域反射原位测定土壤水分技术实时监测土壤水分动态,试验地岩棉、TDR 布设图如图 1。在植株行间开挖长 130 cm、宽 25 cm、高 25 cm 的沟渠,埋入长 120 cm、宽 15 cm、高 15 cm 岩棉条,沟与岩棉空隙之间填土,最后覆土 10 cm;水分测量探针分别埋设于距岩棉水平方向侧面 5 cm 处和 10 cm 处的植物根附近,对照组水分测量探针埋设坡位和深度与岩棉地处理相同;试验地内处理器 4 台,用于数据收集与传输,水分测量探针共 27 个,探针埋设深度均在地表下方 10 cm 左右,每 6 h 自动测定土壤含水量,取日平均值作为当日土壤含水量。水分测量设备调试完毕后于 2018 年 2—5 月进行红豆杉自然林土壤岩棉水分保蓄试验。

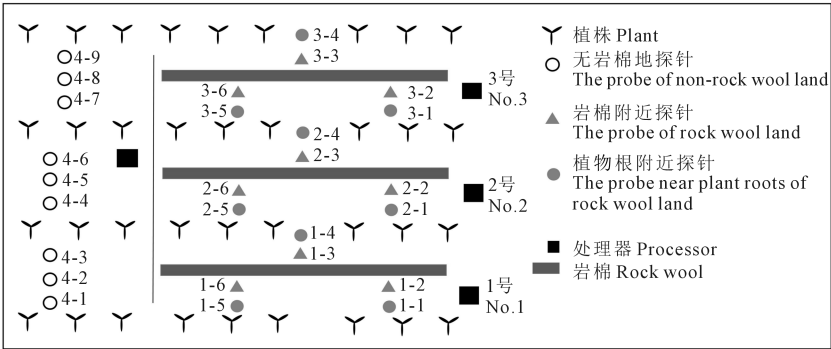


图 1 红豆杉林地岩棉、水分测量探针布设图

Fig.1 The layout of rock wool and water probe in *Taxus chinensis* forest

1.3.3 野外山核桃经济林土壤岩棉保水试验 为验证岩棉在野外经济林土壤中保蓄水分的效果,在2018年8月开展山核桃经济林岩棉水分保蓄试验。该试验地位于临安大明山山核桃林地,坡度约30°,土壤质地为粉壤土,土层厚度30 cm, pH为4.52,有机质为 $25.18\text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,碱解氮为 $179.43\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,速效磷为 $19.67\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,速效钾为 $239.83\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,植株密度约 $600\text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$,每年5月施复合肥 $150\text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ (每50 kg肥料N:P₂O₅:K₂O=15%:15%:15%,总养分含量≥45%),定期除草。

2018年8月,在山核桃树前方20 cm处挖沟埋设长120 cm、宽15 cm、高15 cm的岩棉条,共计100条。山核桃树生长周期长,为直观验证岩棉保蓄水分对野外经济作物生长的影响,9月份在整片林地随机均匀撒播油菜籽。2018年10月14日(久旱后,前期连续20d未降雨)和2019年3月30日(雨后第一天)随机采集同一片林地相同坡位岩棉地(距岩棉5~10 cm处)和无岩棉地的0~20 cm表层土壤,采用烘干法测定土壤质量含水量,同时监测油菜苗期、开花期形态生长情况及测定岩棉水分影响宽度范围,以此评价岩棉对山核桃林地土壤水分保蓄效果。

1.3.4 土壤取样及土壤理化性质测定

(1)取样方法。随机采取试验地不同坡位3个重复土样,取0~20 cm土壤土层用于土壤物化指标分析,各重复土样混合均匀,四分法取样,所取土壤样品剔除肉眼可见的植物残体及石块,过2 mm筛备用。

(2)土壤水分测定方法。本研究土壤水分测定方法主要有烘干法^[23]和TDR200时域反射原位测定土壤水分技术。TDR技术是利用不同介质中电磁波传播速度的不同来间接测定土壤含水量。与传统烘干法相比较,该方法可原位测定土壤水分,操作简单快捷,受环境干扰小,适用性广^[24-25]。室内岩棉水分扩散试验、红豆杉自然林保水试验和山核桃林保水试验分别利用托普云农TZS-2X-G多参数水分记录仪(测定原理同TDR)、TDR200水分测定仪和烘干法测定土壤含水量。

(3)土壤物理化学指标。基础土壤物理化学指标均用常规方法测定^[23],测定指标包括土壤质地(比重计法),土壤容重(环刀法),pH(电位法),碱解氮(碱解扩散法),有效磷(盐酸-氟化铵法),速效钾(乙酸铵提取-火焰光度计法),有机质含量(高温外热重铬酸钾氧化-容量法)。

1.3.5 山核桃林油菜形态生长指标测定方法 株高用卷尺测定植株地上根部距土表2 cm处到主茎顶部的高度;地茎用游标卡尺测定垂直距离土表2 mm处的植株横径;叶面积为每株选取顶部向下第3叶测定长、宽最大值的乘积;单株鲜重:小心挖松油菜根部土壤,轻取植株,洗净吸干水分,用百分之一电子秤称重。以上均重复测定3次取平均值。

1.4 数据处理

利用Microsoft Excel 2007进行初步数据统计,通过IBM SPSS Statistics 22.0中Duncan's法进行数据的显著性分析(显著水平取0.05),并用Origin Pro 8.5绘图。

2 结果与分析

2.1 岩棉吸水特性及增水潜力分析

通过室内岩棉吸水试验测定,充分吸水后的岩棉块质量为810.3 g,从而得到岩棉的最大吸水量为743.4 g和最大容积持水量64.64%。以岩棉的最大有效容积持水量(58.18%)为依据来分析岩棉应用于不同质地土壤的最大有效容积含水量的增加潜力。选取松砂土、砂壤土、中壤土和轻黏土等4种典型质地土壤,根据《土壤学》^[26]得到4种质地土壤的容重和有效水范围(表1),如将岩棉埋入不同质地土壤,最大有效容积含水量增加值依次为松砂土>砂壤土>轻黏土>中壤土,增水潜力最大的松砂土增量达54.02%,最低的中壤土增量也达41.41%。

2.2 岩棉水分扩散室内模拟试验

岩棉在土壤中吸水后形成微型水库,随水势梯度向周围土壤扩散。连续14 d监测水饱和岩棉在风干土壤中垂直和水平2个方向的扩散情况(图2A、2B)发现,在垂直和水平两个方向距离岩棉5 cm和10 cm的位置,岩棉中的水分最终都能在土壤达到稳定扩散。垂直方向距岩棉5 cm和10 cm处水分扩散达到稳定后土壤最高含水量分别为27.89%和13.13%,水平方向距岩棉5 cm和10 cm处水分扩散达到稳定后土壤最高含水量分别为20.67%和13.00%。同时,距岩棉5 cm处垂直及水平方向的监测位点(图2C),土壤含水量从开始至第2天呈线性升高趋势,土壤含水量增长速率分别为 $8.28\% \cdot \text{d}^{-1}$ 和 $7.62\% \cdot \text{d}^{-1}$;第2天至第4天土壤含水量增长速率分别为 $6.78\% \cdot \text{d}^{-1}$ 和 $2.01\% \cdot \text{d}^{-1}$,第4天以后基本达到稳定水平,稳定时间持续较长(约10 d)。距岩棉10 cm处垂直及水平方向的监测位点(图2D),垂直方向土壤含水量从第1天开始

表 1 不同质地土壤使用岩棉的有效水潜在增加效果

土壤质地 Soil texture	容重/(g·cm ⁻³) Bulk density	质量有效水范围/% Mass available water range	容积有效水范围/% Volumetric available water range	土壤最大容积有效含水量增加百分比/% The maximum volume available water content of soil increases by percentage
松砂土 Loose sand	1.54	2.70	4.16	54.02
砂壤土 Sandy loam	1.39	5.40	7.51	50.67
中壤土 Neutral loam	1.30	12.9	16.77	41.41
轻黏土 Light clay	1.23	6.40	7.87	50.31

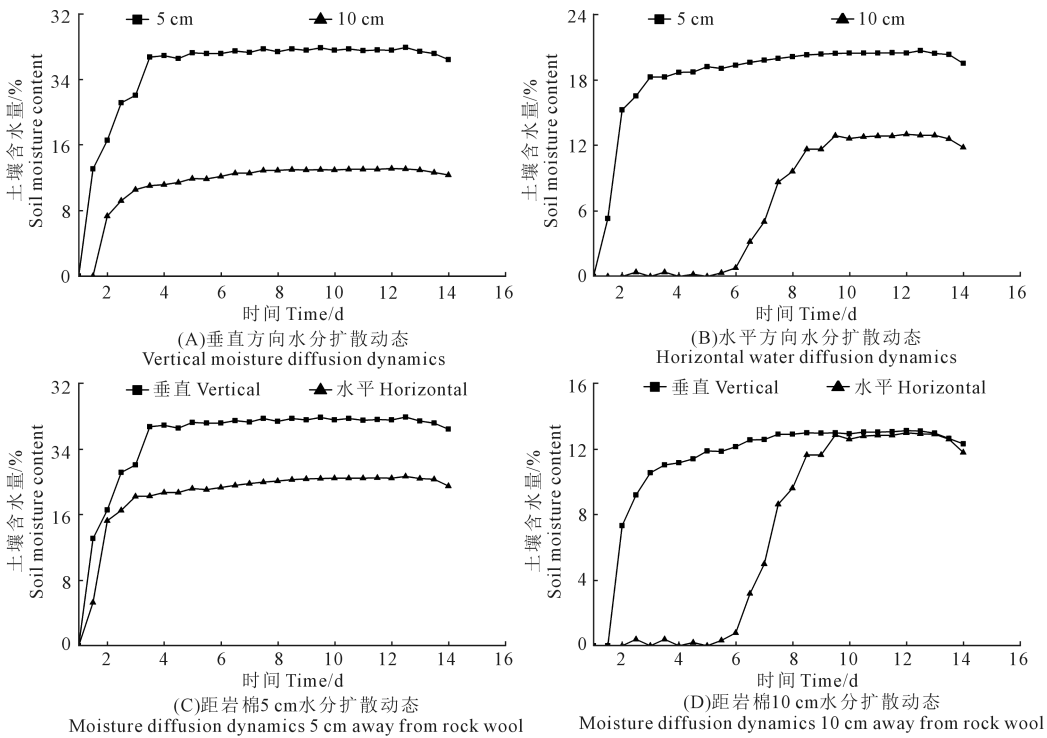


图 2 水饱和和岩棉水分在土壤中扩散的动态变化

Fig.2 Dynamics of water diffusion from water absorbing saturated rock wool

增加,始终高于水平方向,土壤含水量稳定持续时间约为 6 d,水平方向岩棉吸收的水分在前 5 d 未扩散到达,直到第 6 天土壤含水量开始随时间增加,第 9 天达到稳定,稳定持续时间较短(约 4 d)。

2.3 岩棉对林地不同坡位土壤水分保蓄效果的影响

在 2018 年 2—5 月,比较红豆杉自然林不同坡位处岩棉附近、岩棉地植物根附近和无岩棉地土壤含水量发现,连续晴天无雨期间上、下坡位土壤含水量总体表现为岩棉附近>岩棉地植物根附近>无岩棉地(图 3、4、5),其中 2018 年 5 月 9—17 日无降雨期间,上坡和下坡的岩棉附近土壤含水量比对照组分别高出 3%~5%和 3%~9%(图 3),上坡和下坡植物根附近含水量也比对照组分别高出 1%~4%和

3%~7%(图 4),而中坡则没有表现出上述规律,这可能与样地中坡地势较平缓有关。比较同一坡位岩棉附近与植物根附近土壤含水量发现,降雨期间两者土壤含水量接近(如 3 月 19 日、4 月 5 日、4 月 22 日和 5 月 15 日等),但连续晴天无雨时岩棉附近土壤含水量高出植物根附近 1%~4%(图 5),这可能与植物根附近水分较容易被植物根吸收利用有关。本研究中,土壤含水量受降水影响波动明显,3 个坡位最高土壤含水量一般出现在降水次日,主要是土壤对降水吸收及水分迁移存在滞后反应。同时,土壤含水量随着降雨量的增加而增加,但各坡位土壤含水量并没有超出其他时间段的最大含水量(如 4 月 22 日降雨量达到 54.4 mm)。长期监测

数据表明,3 个月内土壤饱和和容积含水量随时间增加略有减小。以上结果说明,在不同坡位的土壤中,岩棉均可保蓄降雨输入土壤的过剩水分,并在无雨时持续补给植物根系,为植物生长提供更多的水分。

2.4 岩棉对山核桃林土壤水分保蓄效果的影响

自 2018 年 8 月进行山核桃经济林土壤岩棉水分保蓄试验,以土壤含水量和油菜生长情况为依据,研究岩棉对山核桃林土壤水分保蓄的影响。分别在久旱后和雨后测定岩棉附近和无岩棉土壤含水量,结果表明,山核桃林地岩棉附近土壤质量含水

量均显著高于无岩棉地(图 6)($P<0.05$),其中久旱后和雨后岩棉附近土壤含水量分别比无岩棉地提高了 29.20% 和 23.39%。由图 7 油菜生长指标表明:岩棉处理的林地油菜长势良好,与无岩棉地相比,植株地茎、株高、单株鲜重和叶面积均显著高于无岩棉地($P<0.05$),分别增加了 58.63%、62.85%、65.66%和 44.51%;岩棉地油菜生长分布宽度为 80 cm(以土表上方 10 cm 高的为基准),岩棉条宽度为 15 cm,岩棉保水效果影响植株生长的宽度范围是其自身宽度的 5 倍。

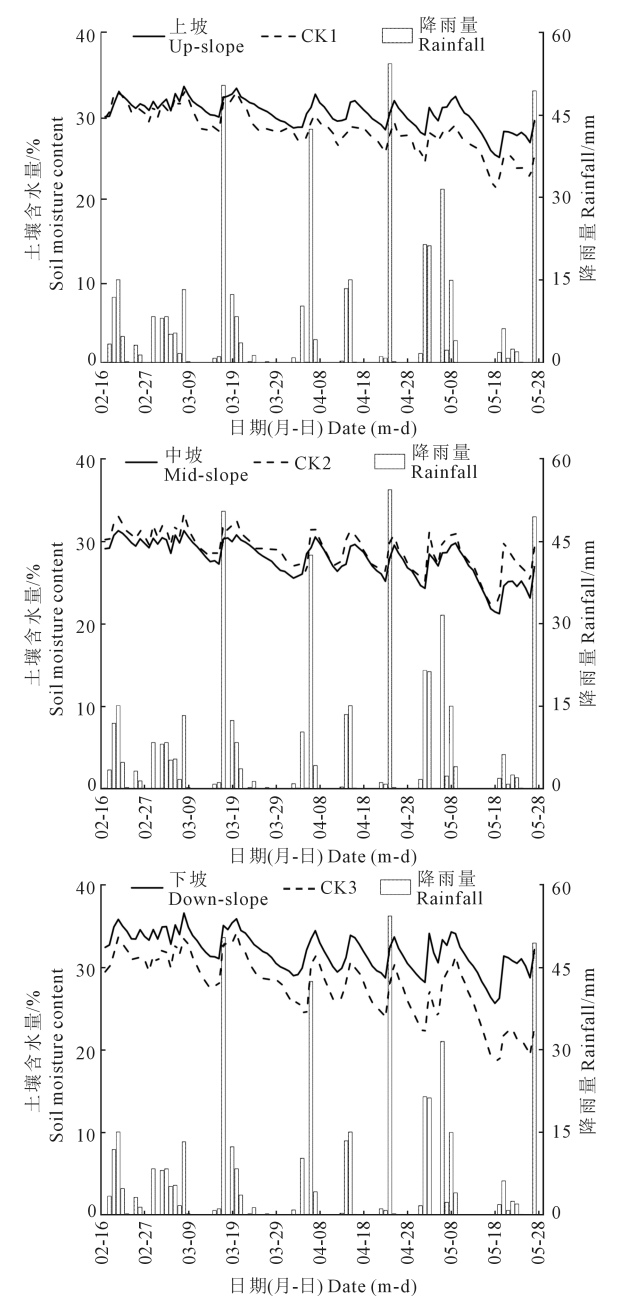


图 3 各坡位岩棉附近及对照土壤水分动态
Fig.3 Soil moisture dynamics near rock wool and control of different slope positions

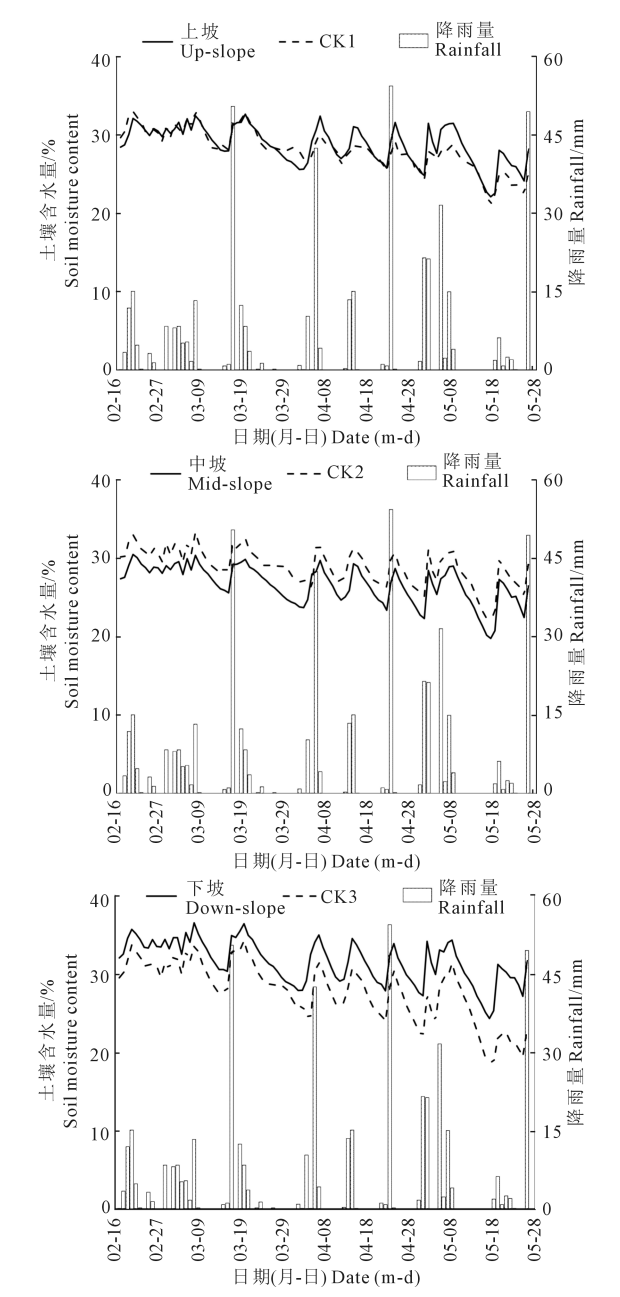


图 4 各坡位岩棉地植物根附近及对照土壤水分动态
Fig.4 Soil moisture dynamics near plant roots in rock wool land and control of different slope positions

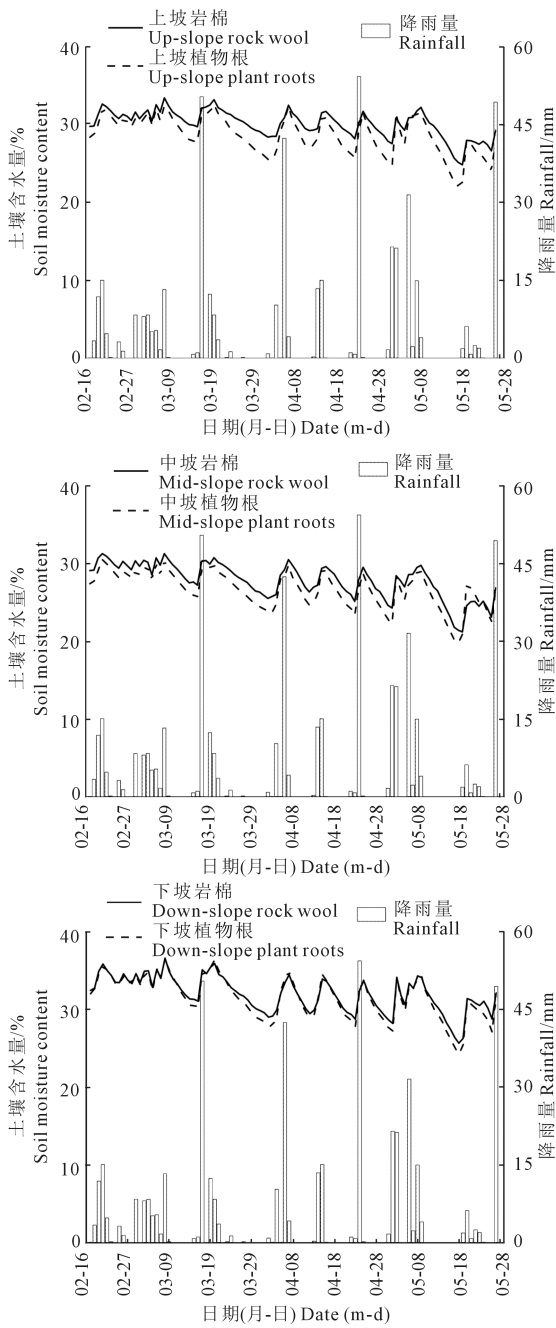


图 5 同一坡位岩棉附近与植物根附近土壤水动力学
Fig.5 Soil moisture dynamics near rock wool and plant roots at the same slope position

3 讨 论

3.1 岩棉对不同质地土壤水分保蓄能力

土壤质地显著影响土壤有效水含量^[27],不同质地土壤由于其不同颗粒机械组成、土壤孔隙度等差异较大,从而影响水分在土壤中的扩散和保蓄能力^[28]。本研究通过室内吸水试验得到岩棉最大容积持水量为 64.64%,进一步估算岩棉埋入不同质地土壤后土壤有效水含量的增加潜力发现,岩棉埋入松砂土、砂壤土、中壤土和轻粘土等 4 种典型质地土

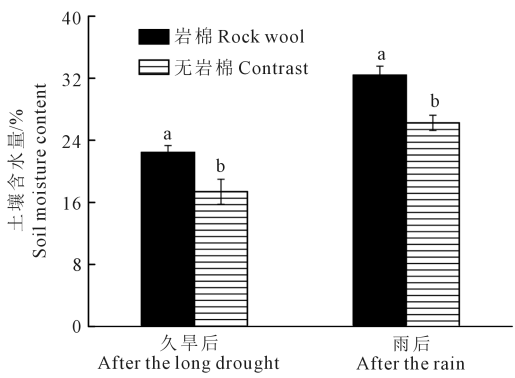


图 6 久旱后、雨后山核桃林地岩棉与无岩棉地
土壤含水量比较

Fig.6 Comparison of soil water content between rock wool and non-rock wool in *Carya cathayensis* forest in different periods after long drought and rain

壤中有效水含量均有不同程度的增加,说明埋入岩棉提高土壤水分保蓄能力的技术对不同质地土壤均有效,体现了岩棉埋入对土壤有效水含量的提高具有普适性意义。对不同质地土壤施用岩棉后的土壤容积有效水含量的增加量进行比较,以偏砂质土壤的增水潜力最优,这与田丹等^[29]在研究生物炭对不同质地土壤水分扩散影响的结果一致,砂质土壤或者质地较粗的林地土壤孔隙较大,保水保肥能力差,与其他质地土壤相比,保水材料的施入对提高其持水性能效果更佳。

3.2 室内模拟岩棉保蓄水分在土壤中的扩散规律

已有研究表明,在土壤中添加保水剂不仅可以提高土壤保水能力,同时会影响水分在土壤中的扩散过程^[30]。本研究中,垂直及水平方向距岩棉 5 cm 的监测点岩棉水分在开始至第 2 天垂直和水平方向土壤含水量增长速率接近,可认为是等速扩散阶段;第 2 天至第 4 天垂直扩散速度($6.777\% \cdot d^{-1}$)大于水平扩散速度($2.013\% \cdot d^{-1}$),为非等速扩散阶段;随着岩棉内部水分的充分释放,土壤水分逐步均匀化,最后达到稳定水平,这与朱德兰^[31]等研究结果一致,他们认为水分在土壤中的扩散主要经历 3 个阶段:第一阶段为等速扩散阶段,在该阶段水分运移由土壤水吸力、热运动和重力 3 种力驱动,其中土壤水吸力起主要作用,而水平和垂直方向上土壤水吸力基本相同,因此水分水平和垂直方向扩散速度基本相同;第二阶段为非等速阶段,土壤水吸力随土壤含水量的增大而逐渐减小,此时热运动和重力起主要作用,水分垂直扩散速度大于水平扩散速度;第三阶段受热运动和土壤颗粒结合力作用,土壤水分逐步均匀化,最后达到稳定水平。本研究发

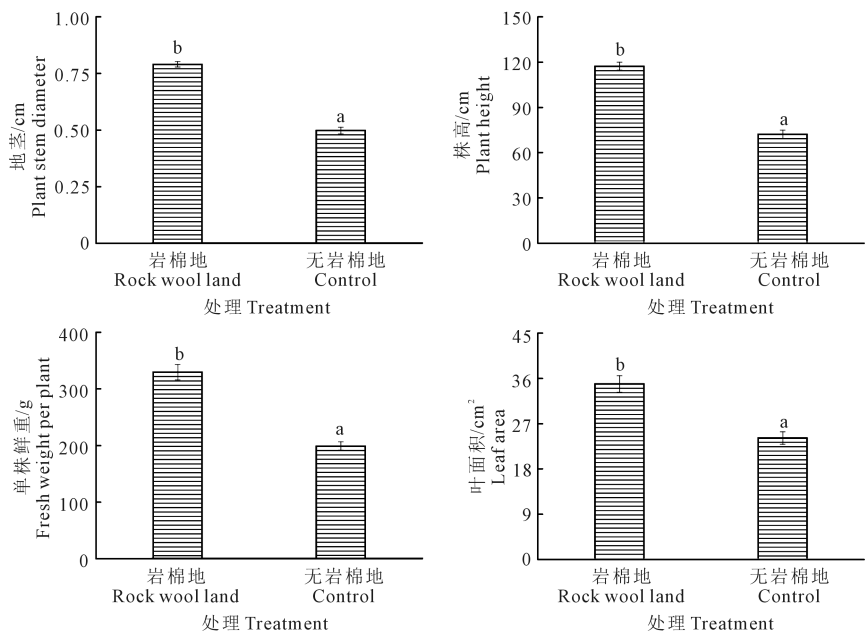


图 7 岩棉和无岩棉地油菜开花期地茎、株高、单株鲜重和叶面积对比图

Fig.7 Comparison of plant stem diameter, plant height, fresh weight of single plant and leaf area in the anthesis stage between with and without rock wool

现,岩棉水分在向上垂直和水平两个方向均有扩散能力,且均能实现水分的稳定供应。相同水分扩散方向距岩棉 5 cm 处的土壤含水量高于距岩棉 10 cm 方向,这与薛万来等^[32]研究微润带附近土壤水分动态结果一致,他们发现以微润带为中心土壤含水量向管带四周逐渐降低,这说明在实际应用中岩棉埋设位置距离根系不宜太远。

3.3 岩棉对林地不同坡位土壤水分保蓄的影响

本研究中红豆杉林地上、下坡位岩棉附近和岩棉地植物根附近的土壤含水量均高于无岩棉处理,表明岩棉对野外不同坡位土壤均能够充分发挥保蓄水分的作用。下坡岩棉附近和岩棉地植物根附近土壤含水量的增幅较上坡大,可能原因在于下坡不仅能够保蓄天然降水,同时对上坡通过地表径流到达下坡的过剩水也有保蓄作用,因此下坡土壤含水量增幅较大,这说明岩棉埋入对坡下部土壤的水分保蓄效果更好。在监测时间段内,林地土壤饱和容积含水量随时间略有下降,可能原因是:第一,新垦坡地土壤颗粒孔隙较大,随时间变化土壤细微颗粒填充了土壤中的大孔隙,导致土壤孔隙数目减少,从而降低了土壤饱和容积含水量;第二,土壤细微颗粒填充了岩棉孔隙,导致孔隙度下降,本研究所用岩棉材料孔隙度达 95% 以上,随埋藏时间的增加岩棉孔隙逐渐被土壤细微颗粒填充而降低了水分保蓄能力,进而降低了土壤饱和容积含水量。强降雨天气易造成坡地土壤水土流失^[33],岩棉的应用

不仅能够提高丘陵地不同坡位土壤水分保蓄能力,同时通过水分保蓄过程,土壤中部分水溶性养分也进一步得到固持,这为丘陵坡地种植植物的生长提供了更多的水肥资源。

3.4 岩棉对山核桃林土壤水分保蓄的影响

在经营措施相同的情况下,土壤水分是影响山核桃林地油菜生长的主要因素。本研究中岩棉处理不仅提高了山核桃林地土壤含水量,并且在岩棉地种植的油菜株高、地茎及单株鲜重均显著高于对照样地种植的油菜,在其他生境条件类似的情况下,通过油菜生长方面的差异也体现了岩棉对山核桃林地土壤水分保蓄能力的提升,说明在丘陵区山核桃经济林土壤中埋入岩棉材料能够有效提升土壤有效水含量。通过对天然降雨的有效截获以及在长时间无雨期水分的缓慢释放,能够提供更多的水分来供应林地植物生长,有效缓解了丘陵区山核桃林地季节性干旱的问题,对于保障山核桃果实的产量与质量以及山核桃林地可持续发展有积极意义。因此,尽管目前依然存在着在野外林地埋藏岩棉工作相对不易开展等问题,但是岩棉提高土壤水分保蓄技术依然值得在丘陵区经济林作物栽培领域进行大面积推广。

4 结论与展望

本研究所用岩棉材料最大容积持水量为 64.64%,保水蓄水能力较强,且理论上对提高不同

质地土壤的水分保蓄能力均有效果。吸水饱和的岩棉材料能够将保蓄的水分有效扩散到周围 10 cm 左右土壤范围内,且能实现水分的稳定供给,垂直和水平方向最高土壤含水量距岩棉 5 cm 处高于 10 cm 处,建议实际应用中岩棉埋设位置宜在距离植物根系 10 cm 范围内。针对丘陵区土壤保蓄水分能力差的问题,岩棉保蓄土壤水分技术有较好的应用效果。晴天无雨时,红豆杉林地上、下坡土壤含水量岩棉附近最高,岩棉地植物根附近次之,无岩棉地(对照)最低;山核桃林地久旱后和雨后土壤含水量岩棉地显著高于无岩棉地;岩棉地种植的油菜株高、地茎及单株鲜重均显著高于对照样地种植的油菜。岩棉材料能够有效地蓄积天然降水且持续供应给植物利用,从而缓解季节性干旱对经济林生产的影响,提高经济林收益并促进林业生产可持续发展。

由于岩棉材料在提高丘陵山地经济林土壤水分保蓄能力方面的研究还处于探索性阶段,在实际应用中还需根据不同作物根系分布情况设置岩棉埋设深度和岩棉埋设的用量,结合不同质地土壤自身物理特性尝试改变岩棉的分散状态,比如对于粘性较高的土壤可以考虑应用颗粒状岩棉,同时起到降低土壤粘度和保蓄水分的作用。同时,还需进一步研究岩棉反复吸水的能力和使用寿命等问题,完善岩棉在农林业应用方面的理论实践体系,以期在生产实践中更充分发挥岩棉对提高土壤保蓄水分的能力。

参 考 文 献:

[1] 雷川华, 吴运卿. 我国水资源现状、问题与对策研究[J]. 节水灌溉, 2007, (4): 41-43.

[2] 叶云雪. 我国农业用水及节水农业发展现状[J]. 现代农业, 2015, (12): 75.

[3] 张利平, 夏 军, 胡志芳, 等. 中国水资源状况与水资源安全问题分析[J]. 长江流域资源与环境, 2009, 18(2): 116-120.

[4] 陈金海, 胡健全. 我国经济林资源的现状及其发展对策[J]. 华东森林经理, 2010, 24(2): 1-5.

[5] 李 钢, 田 刚. 浙江省降雨量变化趋势时空特征分析[J]. 亚热带水土保持, 2014, 26(1): 9-14.

[6] 沈 颖, 徐秋芳, 沈振明, 等. 自制林木废弃物再生型保水剂在林业生产中的应用潜力评价[J]. 水土保持学报, 2013, 27(4): 136-141, 147.

[7] 刘卫平, 刘 涓, 魏朝富. 西南丘陵区小流域蓄水池优化选址[J]. 农业工程学报, 2014, 30(23): 112-120.

[8] 夏 秋, 喻冠军, 吴定红, 等. 丘陵区农业节水抗旱技术与对策[J]. 中国农学通报, 2002, 18(1): 102-103.

[9] 余 晓, 彭 燕, 徐秋芳. 竹锯屑再生型保水剂的保水保肥潜力及施用技术[J]. 浙江农林大学学报, 2017, 34(3): 473-483.

[10] 尤 晶, 李永胜, 朱国鹏, 等. 保水剂农业应用研究现状与展望[J]. 广东农业科学, 2012, 39(12): 76-79.

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

[12] 庄文化, 冯 浩, 吴普特. 高分子保水剂农业应用研究进展[J]. 农业工程学报, 2007, 23(6): 265-270.

[13] 李 杨. 保水剂与肥料及土壤的互作机理研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2012.

[14] 张保军, 丁瑞霞, 王成社, 等. 保水剂在农业上的应用现状及前景分析[J]. 水土保持研究, 2002, 9(2): 51-54.

[15] 张富仓, 李继成, 雷 艳, 等. 保水剂对土壤保水持肥特性的影响研究[J]. 应用基础与工程科学学报, 2010, 18(1): 120-128.

[16] 张标富. 透水型岩棉制品透水及保水性能研究[J]. 砖瓦, 2018, (8): 23-26.

[17] 崔国庆. 岩棉优质育苗及栽培技术应用指导[J]. 农业工程技术, 2017, 37(10): 94-95.

[18] 张启翔, 康红梅, 唐 菁, 等. 切花月季无土栽培技术的研究[J]. 北京林业大学学报, 2003, 25(3): 22-27.

[19] 任少勇, 丁 丽. 不同无土栽培基质对番茄产量和品质的影响[J]. 长江蔬菜, 2018, (4): 62-64.

[20] 郭子卿, 朱 璞, 周 秦, 等. 冰菜岩棉栽培技术[J]. 长江蔬菜, 2018, (7): 35-37.

[21] 侯苗苗, 郭玲娟, 刘鲁江, 等. 黄瓜岩棉椰糠复合基质长季节栽培技术[J]. 长江蔬菜, 2017, (9): 42-44.

[22] 刘学军. 岩棉的理化特性及其在无土栽培中的应用[J]. 中国蔬菜, 1992, (S1): 62-65.

[23] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000: 146-185, 282, 289.

[24] Topp G C, Reynolds W D. Time domain reflectometry: a seminal technique for measuring mass and energy in soil [J]. Soil & Tillage Research, 1998, 47(1): 125-132.

[25] 李笑吟, 毕华兴, 刁锐民, 等. TRIME-TDR 土壤水分测定系统的原理及其在黄土高原土壤水分监测中的应用[J]. 中国水土保持科学, 2005, 3(1): 112-115.

[26] 孙向阳. 土壤学[M]. 北京: 中国林业出版社, 2000: 147-149.

[27] 党秀丽, 张玉龙, 黄 毅. 保水剂在农业上的应用与研究进展[J]. 土壤通报, 2006, 37(2): 2352-2355.

[28] 马 鑫, 魏占民, 于 健, 等. 保水剂粒径与不同质地土壤吸、失水特性的相关关系[J]. 水土保持学报, 2014, 28(1): 270-275.

[29] 田 丹, 屈忠义, 勾芒芒, 等. 生物炭对不同质地土壤水分扩散率的影响及机理分析[J]. 土壤通报, 2013, 44(6): 1374-1378.

[30] 韩玉国, 郭亨飞, 杨培岭, 等. 保水剂对土壤的物理性质与水分入渗的动态影响[J]. 干旱地区农业研究, 2013, 31(5): 161-167.

[31] 朱德兰, 李昭军, 王 健, 等. 滴灌条件下土壤水分分布特性研究[J]. 水土保持研究, 2000, 7(1): 81-84.

[32] 薛万来, 牛文全, 张 俊, 等. 压力水头对微润灌土壤水分运动特性影响的试验研究[J]. 灌溉排水学报, 2013, 32(6): 7-10.

[33] 王小博, 朱永清, 吴宜进, 等. 不同植被下降雨类型对红壤坡地土壤侵蚀特征的影响[J]. 水土保持研究, 2017, 24(2): 6-11.