

伊犁河流域新垦区杨树水保林水分生态效益研究

罗青红¹, 宋锋惠¹, 史彦江¹, 朱首军²

(1. 新疆林科院 造林治沙研究所, 乌鲁木齐 830063; 2. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨陵 712100)

摘 要: 对伊犁河流域新垦区两种造林密度杨树水保林林地土壤水分渗透速率、土壤含水量、土壤温度、土壤蒸发量、杨树蒸腾速率进行了测定, 结果表明: (1) 加水初期(0~4 h)内 3 种测地土壤水分渗透速率排序为 $2\text{ m} \times 4\text{ m} > 1.5\text{ m} \times 2\text{ m} > \text{对照地}$ 。(2) 加水后土壤含水量以 $2\text{ m} \times 4\text{ m}$ 林地变幅最大(2.09%), 其水分增加值分别为对照地和 $1.5\text{ m} \times 2\text{ m}$ 林地的 1.47 倍和 4.18 倍。(3) $2\text{ m} \times 4\text{ m}$ 林地 1 天中最高地温(23.87°C)出现在 16:00, 而 $1.5\text{ m} \times 2\text{ m}$ 林地地温在 14:00–18:00 较高。(4) 全天各时段 $2\text{ m} \times 4\text{ m}$ 林地的蒸发量均大于 $1.5\text{ m} \times 2\text{ m}$ 林地, $2\text{ m} \times 4\text{ m}$ 林地土壤日蒸发总量为 $2.47\text{ g}/(\text{dm}^2 \cdot \text{d})$, 比 $1.5\text{ m} \times 2\text{ m}$ 林地高 $0.91\text{ g}/(\text{dm}^2 \cdot \text{d})$ 。(5) $1.5\text{ m} \times 2\text{ m}$ 林地杨树日蒸腾量为 $111.47\text{ g}/(\text{dm}^2 \cdot \text{h})$, $2\text{ m} \times 4\text{ m}$ 林地仅有 $87.81\text{ g}/(\text{dm}^2 \cdot \text{h})$ 。

关键词: 杨树水保林; 渗透速率; 土壤含水量

中图分类号: S157; S727.22

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2010)06-0039-05

Research on Ecological Benefit to Polar Forest for Soil and Water Conservation in the Vergin Exploit Region of Iii River Basin

LUO Qing-hong¹, SONG Feng-hui¹, SHI Yan-jiang¹, ZHU Shou-jun²

(1. Institute of Afforestation and Sand Control, Xinjiang Academy of Forestry Sciences, Urumqi 830063, China;

2. College of Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: The seep rate of soil water, soil water content, soil temperture, soil evaporation, leaf transpiration were determined. The results showed that the order of the seep rate of soil water was $2\text{ m} \times 4\text{ m} > 1.5\text{ m} \times 2\text{ m} > \text{CK}$ after water was added for 0~4 hours and the varying range of soil water content of $2\text{ m} \times 4\text{ m}$ forest was greatest (+2.09%), whose increased value were 1.47 and 4.18 times more than CK and $1.5\text{ m} \times 2\text{ m}$ forest. The highest temperature of soil in $2\text{ m} \times 4\text{ m}$ forest appeared at 16:00, and higher temperature of soil in $1.5\text{ m} \times 2\text{ m}$ forest appeared during 14:00–18:00. Soil evaporation of $2\text{ m} \times 4\text{ m}$ forest was larger than that of $1.5\text{ m} \times 2\text{ m}$ forest in all day. The total forest evaporation of $2\text{ m} \times 4\text{ m}$ forest [$2.47\text{ g}/(\text{dm}^2 \cdot \text{d})$] was higher than that of $1.5\text{ m} \times 2\text{ m}$ [$0.91\text{ g}/(\text{dm}^2 \cdot \text{d})$]. The total leaf transpiration of $1.5\text{ m} \times 2\text{ m}$ forest [$111.47\text{ g}/(\text{dm}^2 \cdot \text{d})$] was higher than that of $2\text{ m} \times 4\text{ m}$ forest [$87.81\text{ g}/(\text{dm}^2 \cdot \text{d})$] in all day.

Key words: polar forest for soil and water conservation; seep rate of soil water; soil water content

水分作为植物生存的基本生活因子, 在干旱半干旱地区具有特殊的生理生态意义^[1]。林地水分特征不仅是气候、植被、地形及地质等自然条件综合作用的结果, 而且也是森林生态系统水分小循环中林分结构与功能特征的综合体现。研究林地水分生态特征, 是科学认识和评价林地水分机理和功能大小的基础^[2]。

平原人工林是我国森林资源的主体, 它既是主要的木材生产基地, 又是维护生态环境的屏障, 现阶段

加强水保林地造林力度已成为伊犁河流域水土资源开发中亟待解决的问题。伊犁地区具有丰富的杨树品种资源, 以及适宜杨树产业发展得天独厚的自然和社会条件, 近年来, 杨树已逐渐成为伊犁河谷倾斜平原和台地水保林造林首选树种, 本试验通过对杨树水保林土壤水分的入渗、运移及水分收支规律、树木蒸腾及小气候因子的测定研究, 对深入地分析本区的宜林性及合理造林有一定的理论和实用意义。

收稿日期: 2010-05-31

资助项目: “十一五”国家科技支撑计划“伊犁河谷水土流失综合治理关键技术开发与示范”(2007BAC15B07-1)

作者简介: 罗青红(1980-), 女, 重庆人, 硕士, 助理研究员, 主要从事干旱区林业生态及林木引种育种研究。E-mail: lqh482325@sina.com

通信作者: 宋锋惠(1967-), 女, 山东人, 博士, 研究员, 主要从事林木引种育种研究。E-mail: sfh1111@126.com

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验区设在伊犁河流域新垦区察布查尔县孙扎其牛录乡杨树水保林示范基地(43°46′N、81°03′E,海拔 664 m),面积 100 hm²。地处山前倾斜平原,地势总体南高北低,东高西低,由东南向西北倾斜,总坡度 2‰。属大陆性北温带温和干旱气候,年均降水量 150~ 250 mm,年均气温 5.0~ 7.5℃,≥10℃积温为 3 800~ 2 800℃,年蒸发量 1 400~ 1 630 mm;多年平

均风速为 2.5 m/s,春、秋季节受风蚀影响较严重,大风日数平均每年 21 d,最多年份可达 31 d。目前灌溉水源为井水,采用漫灌方式灌溉,水土流失较重。土壤质地较为均匀,多为中壤或沙壤质灰钙土,土壤地力不高,硫酸盐含量高。

1.2 试验材料

以杨树水保林为研究对象。造林苗木来源于伊犁州平原林场苗木繁育基地,2003 年春季南北向造林。林地水、肥、土、病虫害、修剪等管理正常。杨树水保林林分情况见表 1。

表 1 水保林林分类型

造林密度/ (m×m)	树种构成	树龄/ a	树高/ m	胸径/ cm	冠幅/ (m×m)	枝下高/m	盖度/%
1.5×2	少先队杨、加小×俄	7	10.9	4.83	1.85×1.89	2.41	25
2×4	少先队杨、加小×俄	7	12.3	5.73	2.14×2.10	2.39	60

注:林下植被类型为天然芦苇。

1.3 测定指标和方法

所有测定项目均在水保林林地中部行间进行。

1.3.1 土壤含水量 使用 TRIME-IPH 原样土壤水分测定仪(德国),于 2009 年 4-9 月杨树生长期,对林地 0-160 cm 共 7 个土层(0-22,22-44,44-66,66-88,88-110,110-132,132-154 cm)土壤的体积含水量进行测定。测定前 1 个月,在林地和对照地分别埋入 160 cm 深的探管,缝隙用土壤紧实,待探管平衡后,每隔半个月左右,采用传感器直接读数,分别记录 7 个土层含水量。并在 6-7 月树体耗水量较大期,加测灌水前 1 天及灌水后 1~3 d 土壤含水量变化。

1.3.2 土壤水分渗透速率 采用注水法,使用同心环装置,外环直径 60 cm,内环直径 30 cm,环高 15 cm,厚约 5 mm,环下沿呈刀口状。选好测点,先后将内环、外环按照同一圆心打入土中,入土深度一般为 10 cm,环口水平。对内环定量加水,外环不定量但同时加水,内外环中维持同样水层深度,通过记录某一时段的入渗量来计算土壤水分入渗变化过程。该试验开展前一个月,在内环中部埋入 160 cm 深的探管,试验时用 TRIME-IPH 测定加水前后双环内 0-160 cm 土层土壤水分动态变化情况。

1.3.3 林地小气候因子日变化测定 在 6-7 月选择 3 个晴朗日,在 10:00-20:00 每隔 2 h,同步测定以下指标,取 3 d 的平均值进行数据分析。

(1)土壤温度。选择林地中部行间及株间中心位置作为测点,分别用地面温度表(WQG-15)和曲管地温计(WQG-16),测定 0,5,10,15,20 cm 共 5 个层次的土壤温度。

(2)土壤蒸发。在林地中部两行树之间,用体积为 100 cm³的环刀,取林地表层 0-10 cm 原状土样 6 个,将土体上下表面削平,加底盖放回取土处,每隔 2 h 取出环刀分别称重,计算出不同时段土壤蒸发量。

(3)叶片蒸腾。用精度为 0.01 g 的便携式电子天平,采用快速称重法进行测定^[3]。测定时,每个林地定株测量 3 株树共 9 个带叶小枝条,重约 50~100 g,叶面积为 1~3 dm²,剪下立即进行第一次称重,并记录开始时间及被测材料重量,然后迅速将离体带叶枝条放回原取样的母株上,使其在原来环境条件下进行蒸腾 5 min 后,迅速进行第二次称重,并求出 5 min 内的蒸腾失水量,计算公式为:蒸腾速率=蒸腾水量×60/叶面积×测定时间。

2 结果分析

2.1 土壤水分渗透速率

土壤水分入渗渗透速率是指在实际土壤入渗过程中,通过土壤表面吸进水分的通量密度,即单位时间内通过单位面积入渗到土壤中的水分^[4]。对对照地和水保林地土壤水分渗透进行测定,结果显示(图 1):双环加水过程中,3 种测地土壤渗透速率变化趋势基本一致,均呈近“L”型曲线。加水初期,1.5 m×2 m、2 m×4 m 及对照空地渗透速率都迅速出现一高值,分别为 1.57 L/(m²·min)、1.18 L/(m²·min)和 0.53 L/(m²·min),之后缓慢下降至 0.5 h 左右趋于平缓。此外,加水初期约 10 min 内,两种密度杨树林地渗透速率差异不大,约 1.2 L/(m²·min),只是就整个观测过程来看,1.5 m×2 m 密度造林地土壤渗透速率比 2 m×4 m 林地高约 56%。

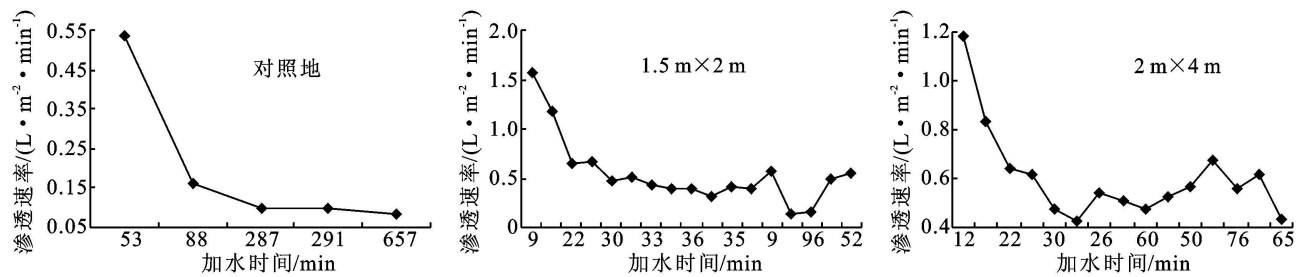


图 1 杨树林地与对照地土壤水分渗透速率

图 2a 显示了加水后 0~12 h 期间, 3 种测地土壤水分渗透速率随时间延长的变化情况, 整体来看, 各测地土壤渗透速率随加水时间的延长而逐渐减小。加水前期(0~4 h)内水分渗透速率较大, 3 种测地渗透速率大小排序为 2 m×4 m>1.5 m×2 m>对照地, 分析原因, 主要是此时段内灌溉水垂直渗透空间主要为土壤

的上、中层, 2 m×4 m 造林密度杨树根系活动频繁, 根幅较大, 改善了林地表层及中层土壤的疏松度和通透性, 从而具有较 1.5 m×2 m 和对照地高的水分渗透速率。此外, 整个加水过程, 2 m×4 m 林地降幅最大 [0.5 L/(m²·min)]。加水中期 4~8 h 和后期 8~12 h 时段内同种测地土壤渗透速率变异较小。

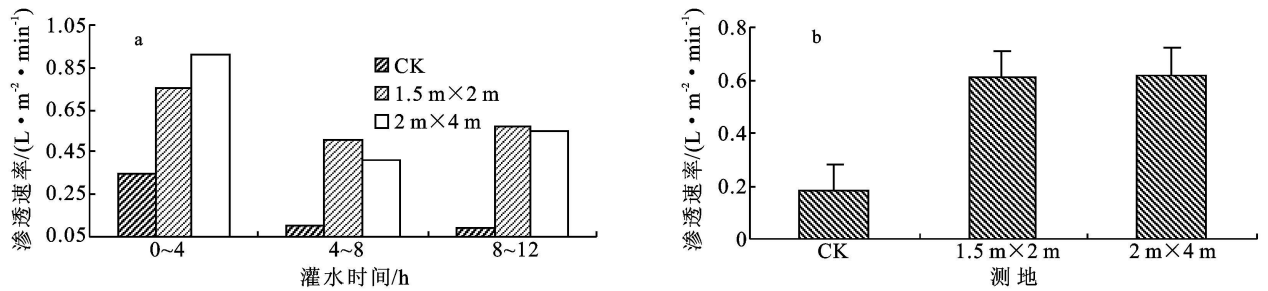


图 2 三种测地加水后渗透速率差异比较

进一步比较 3 种测地全时段内水分渗透速率大小差异, 由图 2b 可以看出: 1.5 m×2 m 和 2 m×4 m 杨树林地土壤水分渗透速率分别为对照空地 [0.18 L/(m²·min)] 的 3.37 倍和 3.42 倍, 而两种密度造林地间差异不大。说明水保造林措施有效改善了林下机械组成和通透性, 从而提高了土壤的渗透速率。

2.2 土壤含水量

林地土壤水分状况是气候、立地条件和林木根系吸水等综合作用的结果^[5]。本试验在测定水分渗透速率期间, 同步测定了双环内土壤含水量垂直运移规律。结果显示(图 3): 对照地加水后 1~12 h 耕作层

(0~44 cm) 土壤湿度比加水前有所上升, 随加水时间的延长土壤含水量逐渐增大, 而中层(66~154 cm)土壤含水量在加水前后变异不大。对于水保林地来说情况有所不同, 1.5 m×2 m 林地加水前、后各土层含水量变化较小; 而 2 m×4 m 林地 88~154 cm 土层土壤含水量有明显增加, 分析原因, 主要是由于该密度造林地杨树根系活动频繁, 有效改善了上中层土壤的物理结构, 孔隙度增加, 透水性增强, 而下层土壤结构变化不大, 紧密且保水性能较强。由此断定此种造林密度的杨树水保林, 对提高林地下层土壤的蓄水能力效果显著, 而在干旱缺水季节, 该层水分可起到补充调节根系用水的作用。

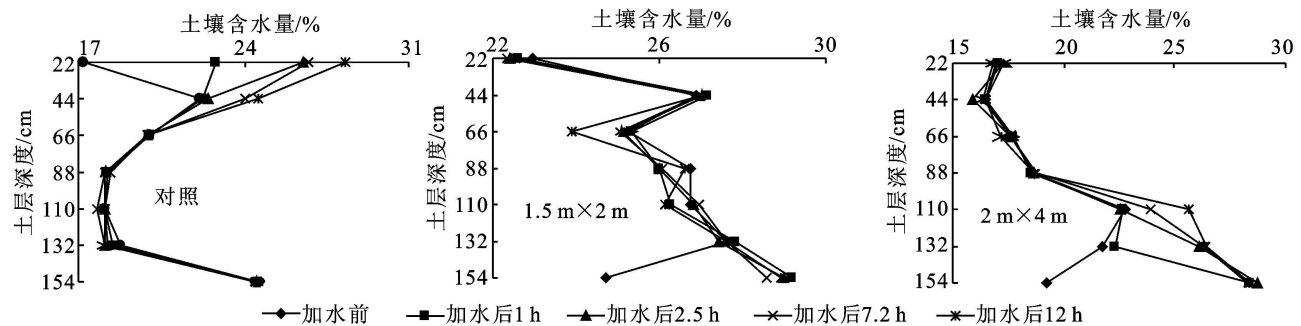


图 3 三种测地加水前、后土壤水分垂直变化

进一步分析各测地加水前后土壤含水量的变化, 以 2 m×4 m 林地土壤水分含量增幅最大 (2.09%), 分别为对照地和 1.5 m×2 m 杨树林地土壤含水量增

加值的 1.47 倍和 4.18 倍。6 月初, 当两种林地土壤湿度基本一致时, 进行常规灌溉, 与灌水前相比, 灌后 3 d 两种杨树林地土壤湿度都有所上升, 且造林密度

较小的林地(2 m×4 m) 土壤水分增幅更高, 为 55.3%。说明 2 m×4 m 杨树林地土壤保水能力较强, 林地灌溉水的利用率也较高。

2.3 土壤温度

对 1.5 m×2 m 和 2 m×4 m 两种杨树水保林地表层(0– 20 cm) 土壤温度的日变化测定结果如表 2

表 2 两种杨树水保林地土壤温度日变化特征

造林密度/ (m×m)	测定时间						日均值
	10: 00	12: 00	14: 00	16: 00	18: 00	20: 00	
1. 5× 2	17. 92	18. 73	21. 18	21. 46	22. 32	22. 40	20. 67
2× 4	18. 02	19. 19	20. 24	23. 87	22. 14	21. 33	20. 80

2.4 土壤蒸发量

对林地土壤蒸发特性进行测定, 结果显示(表 3): 两种林地单位面积蒸发量日变化均呈单峰型。1 天中 1.5 m×2 m 和 2 m×4 m 林地土壤的最大蒸发量均在 14: 00– 16: 00 时间段内, 分别为 0.59 g/dm²

所示: 整体来看, 1 天中同时段内两种林地土温差异不大, 只是 1.5 m×2 m 林地土温的日变幅较小, 2 m×4 m 林地日变化曲线波动较大。2 m×4 m 林地 1 天中最高地温(23. 87 ℃) 出现在 16: 00, 而 1.5 m×2 m 林地 14: 00– 18: 00 时段内气温较高且变异不大。另外, 土壤日均温也以 2 m×4 m 林地的较高。

表 3 两种杨树水保林地土壤蒸发耗水比较

造林密度/ (m×m)	时间段					全时段土壤 蒸发量总计
	10: 00– 12: 00	12: 00– 14: 00	14: 00– 16: 00	16: 00– 18: 00	18: 00– 20: 00	
1. 5× 2	0. 15	0. 24	0. 59	0. 32	0. 26	1. 56
2× 4	0. 18	0. 34	1. 27	0. 47	0. 21	2. 47

2.5 杨树蒸腾速率

植物蒸腾是通过根系从土壤中吸收水分, 直到植物和土壤间不再有水分张力梯度为止。蒸腾速率是衡量植物水分平衡的一个重要生理指标, 可以反映树种调节自身水分损耗能力及适应干旱环境的能力^[6]。对杨树水保林树体蒸腾速率测定显示(图 4): 1.5 m×2 m 和 2 m×4 m 林地蒸腾速率日变化曲线走势基本一致, 峰值均出现在 16: 00 左右, 分别为 22. 89 g/(dm²·h) 和 26. 01 g/(dm²·h)。进一步比较 1.5 m×2 m 和 2 m×4 m 两种林地全日总蒸腾量, 前者[111. 47 g/(dm²·h)] 明显大于后者[87. 81 g/(dm²·h)]。

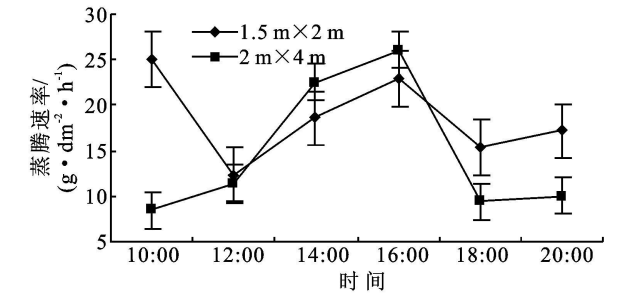


图 4 两种密度水保林地杨树蒸腾日变化规律

3 小结与讨论

在伊犁河流域干旱半干旱地区, 已大力开展了水土保持林为核心的防护林建设, 而在此区域水是环境

体系中最活跃的因素, 土壤干旱是限制该地区防护林建设和发展的核心问题。本研究以土壤– 植物– 大气连续系统(SAPC) 理论为基础, 以伊犁河流域新垦区水保林主要造林树种杨树为对象, 对其林地的水分生态特征进行了测定研究, 旨在为深入地分析本区的宜林性及合理造林提供一定的理论指导。

土壤的渗透性能是林分涵养水源的重要指标, 土壤渗透性能的好坏, 直接关系到地表产生径流量的大小, 对土壤侵蚀的影响很大。土壤的渗透性能越好, 地表径流就越少, 土壤的侵蚀量也会相应地减少^[7]。本研究结果显示: 加水后, 杨树水保林林下土壤的水分渗透能力都明显高于对照地, 且以 1.5 m×2 m 测地的渗透速率较高, 2 m×4 m 林地土壤水分含量增幅最大。由此可见在伊犁河流域新开垦区营建的杨树水保林, 通过林地树体根系伸展和根际微生物活动, 对原本质地紧实、通透性差的土壤物理组成和机械结构进行了改良, 使得土壤孔隙性状得到改善, 非毛管孔隙度越大, 则地表径流渗入土壤的速度越快, 地表灌溉水转化为地下径流的效率提高, 使土壤保持长期湿润, 这一点在干旱、半干旱地区水保林建设具有特别重要的意义。

林地小气候特征研究是揭示森林与环境的相互关系的必要途径, 而林地内小气候变化特征不同于林外气候变化, 这是因为当林地组成、结构及动态变化

达到相对平衡状态时, 林地就会维持在一个相对稳定状态。正是因林地具有这种能够维持自身生长所需的 生产力, 才使得林地具有的自我调节能力。因此开展林地小气候特征的研究, 对正确评价林地的作用和价值具有理论参考和现实意义^[8]。从 7 龄杨树林地与土壤相关的小气候因子的测定结果来看, 土壤日均温及土壤蒸发量均以 2 m × 4 m 林地较高, 但 1.5 m × 2 m 林地杨树枝叶蒸腾速率明显较大。说明造林密度大小直接影响到杨树林水保林微环境, 大密度造林, 在幼龄期, 可增加地面覆被, 减少林中水分散失, 促进树体生长, 而至 6~ 8 龄, 密度较大水保林地生态调节功能明显开始降低, 主要表现在林地土壤水分渗透特性及土壤保水性能受到影响。因此, 在杨树生长进入青年期后, 需对水保林林地密度进行调整, 以确保水保生态效益和经济效益的最大化。而前人对林木耗水量的相关研究, 也显示半干旱环境下, 不合理的植树造林可能引起土壤干化, 当降水量或灌溉量一定时, 群落生产力过高、密度过大、会加剧深层土壤的干燥化进程^[9-10]。

综上所述, 伊犁河流域水保林造林, 主要作用在于增加地面植被, 调节地表径流, 固结土体, 减少土壤冲刷, 改良土壤性状、改善农区耕作环境, 同时兼顾经济效益。因此, 对于新垦区倾斜平原和台地来说, 对于局部生态脆弱、农业生产力低下、土壤侵蚀发生较为严重的区域, 营建杨树水保林将是生态和经济效益并举的有效措施之一。而从本试验的结论来看, 建议营建杨树水保林时 1.5 m × 2 m 和 2 m × 4 m 的株行距均可, 只是杨树到 5 年以后, 需对 1.5 m × 2 m 造林地进行间伐, 调整密度至 3 m × 4 m, 以增加林地通风透光, 促进地上部分生长, 增强树体的光合能力, 扩大根幅, 增强根系对土壤的改良作用, 最大程度地发挥其生态、经济效益。

目前, 伊犁河流域水保林的建设, 在立地条件选

择、树种选择、造林技术、效益评价等方面已做了许多的工作, 取得了很大的成就, 而本试验也为水保林造林密度的确定和林地灌溉制度的确定提供了数据参考。在今后的研究中, 应继续加强该区域水土保持林空间结构配置的尺度转换、水土保持林稳定性研究以及如何达到水土保持林高效的空间配置等方面的研究和探索, 将对于深入地分析本区的宜林性及合理造林有一定的理论和实用意义。

参考文献:

[1] 杨会蒲. 黄土丘陵区油松人工林水分生态效益研究[J]. 水土保持研究, 2002, 9(4): 74-79.
[2] 党宏忠, 周泽福, 赵雨森, 等. 祁连山水源涵养林土壤水文特征研究[J]. 林业科学研究, 2006, 19(1): 39-44.
[3] 蒋太明, 刘海隆, 刘洪斌. 黄壤坡地土壤水分入渗垂直变异特征分析[J]. 水土保持学报, 2004, 18(6): 49-54.
[4] 陈瑶, 张科利, 罗利芳. 黄土坡耕地弃耕后土壤入渗变化规律及影响因素[J]. 泥沙研究, 2005, 5(10): 45-51.
[5] 陈云明, 刘国彬, 侯喜录. 黄土丘陵半干旱区人工沙棘林水土保持和土壤水分生态效益分析[J]. 应用生态学报, 2002, 13(11): 1389-1393.
[6] 王百田, 张府娥. 黄土高原主要造林树种苗木蒸腾耗水特性[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2003, 27(6): 93-97.
[7] 胡江波, 杨改河, 贺桂芹, 等. 不同植被恢复模式土壤水分生态效应研究[J]. 中国水土保持, 2007(10): 29-31.
[8] Hee M, Yong R. Water use of young "Fuji" apple trees at the soil moisture regions in drainagely simeters[J]. Agricultural Water Management, 2001, 50(3): 185-196.
[9] 陈丽华, 鲁绍伟, 张学培, 等. 晋西黄土区主要造林树种林地土壤水分生态条件分析[J]. 水土保持研究, 2007, 14(4): 394-397.
[10] Deseroix L, Viramontes D, Vauelin M. Influence of soil surface features and vegetation on runoff and erosion in the Westem Sierra Madre Dulango[J]. Northwest Mexico Catena, 2001, 43: 115-135.

(上接第 38 页)

[7] 易开华. 山区铁路工程建设水土流失的防治[J]. 资源开发与市场, 1995, 11(6): 272-274.
[8] 田杏芳, 王坤平. 西北铁路沿线的水土流失与防治[J]. 中国水土保持, 1997(7): 33-36.
[9] 肖满, 张瑞峰. 铁路工程建设水土流失预测研究[J]. 石家庄铁道学院院报, 2006, 19(4): 74-76.
[10] 何吉成, 徐雨晴, 刘静茹, 等. 广梅汕铁路电气化改造工程的水土流失量预测[J]. 亚热带水土保持, 2009, 21(3): 55-59.
[11] 何吉成, 徐雨晴, 周铁军. 新街-恩格阿娄铁路工程建设的水土流失量预测[J]. 北方环境, 2010, 22(1): 28-33.
[12] 郭索彦, 苏仲仁. 开发建设项目水土保持方案编写指南[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2009.
[13] 铁道第四勘察设计院. 新建铁路武汉至广州客运专线乌龙泉至花都段水土保持方案报告书[R]. 2004.
[14] 铁道第四勘察设计院. 新建铁路郑州至西安客运专线水土保持方案报告书[R]. 2004.
[15] 铁道第三勘察设计院. 新建京沪高速铁路水土保持方案报告书(简明本)[R]. 2006.