

陕北黄土区陡坡柠条林地雨水转化及土壤水分承载力

张占雄^{1,2}, 王延平^{2,3}

(1. 安塞县科技开发培训中心, 陕西 安塞 717400; 2. 西北农林科技大学 资源环境学院 陕西 杨陵 712100; 3. 农业部黄土高原农业资源与环境修复重点开放实验室, 陕西 杨陵 712100)

摘 要: 为了给陕北黄土区陡坡灌木林地的可持续健康发展提供科学依据, 连续 3 a 对陡坡柠条林地的降雨、冠层截留、地表径流、降水入渗深度和土壤水分进行了定位观测。结果表明: 陡坡柠条林地林冠截留总量平均占总降雨量的 11.73%; 地表径流量占降雨量的 16.275%; 自然降雨入渗深度为 120 cm; 陡坡柠条林地降雨量(P)与根层土壤水分补给量(SWS)、根层平均土壤水分补给量($Y_{\text{补}}$)与密度(D)、土壤水分消耗量与密度均呈线性关系。陡坡地土壤水分可承载的柠条密度为 2 852 穴/ hm^2 。因此建议陡坡柠条林地建设中适当控制密度, 合理利用雨水资源, 确保陡坡柠条林地的持续健康发展。

关键词: 陕北黄土区; 陡坡地; 柠条; 雨水转化; 土壤水分承载力

中图分类号: S152.7

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2010)05-0080-06

Rain Transformation and Soil Water Carrying Capacity of *Caragana Microphylla* Forest in Steep Slope on Loess Region in Northern Shaanxi Province

ZHANG Zhan-xiong^{1,2}, WANG Yan-ping^{2,3}

(1. Science and Technology Development and Training Center of Ansai County, Ansai, Shaanxi 717400, China; 2. College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 3. Key Laboratory for Agricultural Resources and Environmental Remediation in Loess Plateau of Agriculture Ministry of China, Yangling, Shaanxi 721000, China)

Abstract: In order to provide the scientific basis to sustainable healthy development of shrub land in steep slope on loess region in northern Shaanxi, rain, interception, runoff, natural precipitation infiltration depth and soil water dynamics in peashrub forest on sloping land in loess region of Northern Shaanxi had observed at fixed position from 2006 to 2008 continuously. The results indicated: interception of shrub land in steep slope accounts for 11.73% of the total rainfall; runoff accounts for 16.275% of mean precipitation; natural precipitation infiltration depth is 120 cm; relationship between natural precipitation and soil water supply, between soil water supply and density, between soil water consumption and density are all tested linear relationship. In this region the peashrub density carrying was 2 852 clump/ hm^2 on sloping land. We propose to control density suitable, uses the rain water resources reasonably, achieve sustainable and healthy development of peashrub forest land on steep slope.

Key words: loess region in northern Shaanxi province; steep slope; *Caragana Microphylla*; rain transformation; vegetation carrying capacity of soil water

陕北黄土区是我国黄土高原的重要组成部分, 生态环境极度脆弱, 水土流失最严重, 土壤侵蚀模数 1.6 万 $\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 以上, 入黄沙量占黄河总输沙量的 56%, 农村经济贫困^[1]。柠条(*Caragana Microphylla*) 根系发达, 保持水土能力强; 具有特殊的旱生结构, 如枝干的周皮层发达, 叶两面密被柔毛, 托叶和

叶子轴多硬化为针刺, 能抗严寒、酷暑和干旱; 嫩枝叶是羊喜食的优质饲料; 因此在陡坡地种植生态效益好、又可获得一定的经济利用价值, 是该区陡坡地治理利用的先锋灌木物种, 在陡坡地分布最广、面积最大。但一方面由于降水资源短缺, 土壤水分补给量有限, 蒸发量和林木蒸腾耗水量较大, 在林地土壤深层

收稿日期: 2010-07-18

资助项目: 陕西省科技攻关项目(2005K01-G14-03, 2006K03-G10, 2009K01-19); 西北农林科技大学科研启动专项

作者简介: 张占雄(1959-), 男, 农艺师, 主任, 主要从事生态环境建设和农业技术的推广和培训。

通信作者: 王延平(1968-), 男, 博士, 副教授, 研究方向为土壤水分与植物生长。E-mail: ylwangyp@163.com

常出现干化现象,使水分成为林业生产的首要限制因子^[2-3];另一方面林地密度、生物量、覆被率与水资源的承载力不相适应,常常由于超载使植被的水量平衡失调,而造成植被生长衰退^[4-5],生态经济效益降低。研究分析自然降水及其转化的特点,土壤水分补给、消耗与杏树生长的关系,找出所能维持的适宜密度,合理利用宝贵的雨水资源,建立生物量、覆被率与土壤水分承载力和谐关系,是实现该区柠条林地持续健康发展的关键。这不仅可为黄土高原退耕还林还草和植被恢复提供重要的科学依据,而且对促进区域生态、经济、社会的可持续发展,防治林草地大面积土壤旱化,具有重要的现实意义。

1 研究区概况

陕北黄土区人口密度大,试区高达 198 人/hm²,人地矛盾十分突出,柠条多种植于 35°以上陡坡地,进行保护性治理。鉴于此,在土壤水分综合调查的基础上,选定米脂县泉家沟村有代表性的 38°柠条林地作为实验地。实验地立地条件能够反映陡坡地柠条种植的一般情况。该村位于米脂县东沟流域的泉家沟流域,属无定河水系的二级支沟,流域面积 5.19 km²,主沟道长 4.13 km,有 18 条支沟,大小山峁 38 个,沟壑密度 4.66 km/km²,具有第一副区峁状丘陵沟壑区的典型特征;面积 4.21 km²,沟间地面积占总面积的 47.0%,沟谷地面积占总面积的 53.0%,25°以上陡坡地占总土地面积的 59.4%。峁梁起伏,沟壑纵横,坡度陡峻,地形破碎,土壤为黄绵土,土质疏松,侵蚀模数达 16 279 t/km²,年输沙量为 8.4 万 t,土壤侵蚀达强烈侵蚀程度,水土流失极其严重。年均降雨量 423 mm。实验地坡向 SE,面积 3.3 hm²,海拔 980~1 031 m,柠条林为 28 a 生,平均密度 1.5 m × 1.7 m,平均冠幅 92.5 cm × 80.9 cm,高 89.3 cm,地径 13.5 mm,分枝数 28 个。

2 研究方法

2005 年修建 5 m × 20 m 的简易径流小区 5 个,分别挖除 0, 1/5, 2/5, 3/5, 4/5 做不同处理,挖除后灌丛大小和空间分布基本保持均匀,小区实际密度分别 4 000, 3 200, 2 400, 1 600, 800 丛/hm²。在每个小区中心林下各安置标准雨量器一个,小区边缘空旷地安置雨量器 3 个。每次降雨后测定林下降雨量、林外降雨量和地表径流量。于上年休眠期平茬,当年柠条秋季落叶前进行刈割,小区全收获法测定生物量,然后取样烘干,计算出含水量及干重。土壤水分采用土钻法和 CNC503B(DR)型智能中子水分仪法测定。在

径流场中心和样点安置两个相距 10 m 的 6.3 m 和 4.3 m 中子仪套管,测定前对中子仪进行标定,标定方程为 $y = 52.887x - 0.3027 (R^2 = 0.9344, n = 30)$ 。测定深度为 0~600 cm,每月测定 1~2 次,每 20 cm 记录一次。多年气象资料来源于米脂县气象局。取柠条单丛东西-南北长求算平均单株林冠覆盖面积;郁闭度 = 平均单株林冠覆盖面积 × 丛数 / 土地面积;冠层截留量 = [林外降雨量 - 树下降雨量] × 郁闭度;林冠截留率 = 林冠截留量 / 林外降水量 × 100%;自然降水的土壤水分补给量 = Σ 林外降水量 - Σ 林冠截留量 - Σ 地表径流量 - Σ 深层渗漏;土壤水分消耗量(蒸发散) = Σ 前期土壤储水量 - Σ 末期土壤储水量 + Σ 期间降雨的土壤水分补给量。

3 结果分析

3.1 陡坡柠条林地的雨水转化

3.1.1 陡坡柠条林地的冠层截留 林冠截留是指雨滴落在林木的枝、叶、干等树体表面后,由于表面张力和重力的均衡作用,一部分雨水被吸附了,或者积贮在枝叶分叉处被保留下来。影响林冠截留的因素包括降水形态、风速降水量、雨强及其间隔、大气相对湿度及林冠特性(郁闭度、林龄、林种、生育期等)等。一般降雨量大,截留量大,但不是直线关系^[6]。当降雨量较小时,林冠截留量随降水的增加而增加。由于林冠对雨水的拦截有一个饱和值,当林冠截留量达到此值后,若降水量继续增加,截留量不再增加。生育期的影响主要表现在春节枝梢生长量相对较小,冠幅也较小,截留量小,之后,随枝梢不断生长,冠幅和冠层厚度均有所增加,林冠截留量逐渐增大。实验柠条林地坡度陡,土壤干旱严重,植株生长较弱,林冠截留量较小。4~11 月柠条生长季节观测结果(图 1)表明,林冠截留量受降雨量和生育期的影响,次变化在 0.21~3.2 mm,林冠截留率变化在 2.0%~28.0%,平均 13.2%;实验期间林冠截留总量占总降雨量的 11.73%,其中,丰雨年 10.06%、平水年 12.65%、欠水年 13.01%;(表 1)降雨次数多、暴雨次数少,林冠截留总量所占比例增大。

3.1.2 陡坡柠条林地的地表径流 地表径流(坡地产流)与降雨入渗密切相关,是下垫面对降雨的再分配过程。地表产流有三种类型:超渗产流、蓄满产流和混合产流。由于降雨时温度降低,空气湿度大,水汽梯度较小,土壤水分蒸发量较小。因此穿过林冠到达林内的降雨(包括干流),除很少一部分被蒸发外,绝大部分不是沿坡面流失,就是渗入到土壤。影响地表径流的主要因素为降雨量及其雨强、土壤因素、坡

度和植被类型。陕北黄土区的地表径流多为超渗产流,一年中只有少数几次暴雨才产生地表径流。次降雨 10 mm 以下,一般不产生径流。对于坡度大、植株小、覆盖度低的陡坡柠条林地来说,地表径流是一个较大的水分分量,但因表层土壤严重干旱、黄绵土渗水性能强,历时较长、降雨量低于 20 mm 则很少产生径流。观测其内实验地共产流 13 次,2006 年丰水

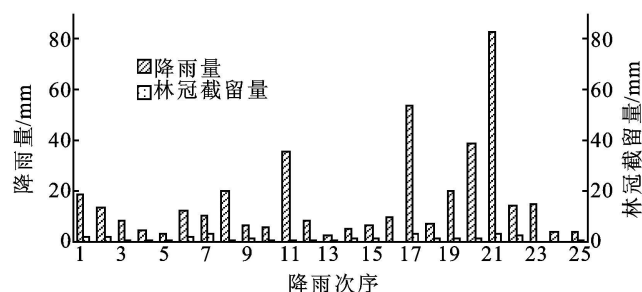
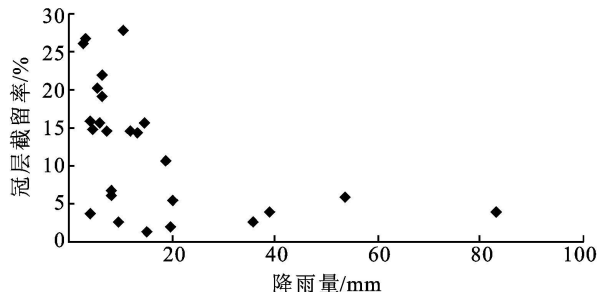


图 1 降雨量与林冠截留量、截留率的关系

年,产流 6 次,地表径流量 86.1 mm,占降雨量的 19.03%;2007 年平水年,产流 4 次,地表径流量 64.5 mm,占降雨量的 16.29%;2008 年干旱年,产流 3 次,地表径流量 41.0 mm,占降雨量的 13.50%。2008 年 4 月 1 日-11 月 15 日实验地的土壤水分补给量为 223.2 mm,比 2006 年的 320.9 mm 低 97.7 mm,比 2007 年的 281.4 mm 低 58.2 mm。



3.1.3 陡坡柠条林地自然降水的入渗深度 陡坡地柠条林地土壤水分循环是从自然降水的入渗开始的。入渗深度和入渗量能够直观地反映自然降水对植被土壤水分环境改善状况和阶段供水的能力。大雨过后,表土层土壤含水量较高,几乎达到饱和状态。土壤剖面水分一方面由于表土蒸发和根系吸水使表层土壤含水量逐步下降,另一方面由于上层土壤含水量和水势较高,而下层土壤含水量和水势较小,水势差引起上层土壤水分的再分配,使得较深层次土壤含水量升高,有可能在较深土层形成含水量较高的土层。双向补偿层使得雨后剖面土壤水分的湿润锋下移,入渗深度增加。根据天气预报和当时天气变化可能发生降水的经验预测,分别在大雨发生前 0.5~1 h 和降雨结束后 24 h 两次对 中子管 读数,为了消除表层土壤水分测定的误差,0~20 cm 土层土壤含水量采用土钻法测定,将两次测得的土壤剖面含水量分布情况进行比较分析,即可确定土壤水分的入渗深度和入渗量。2006 年 7 月 4 日,从上午 11 时 20 分至下午 17 时 10 分,当地下了一场降水量达 38.9 mm 的大雨,准确把握住雨前和雨后两次机会,对柠条林地的土壤水分进行了测定,结果如图 2 所示。柠条地降雨入渗深度仅为 60 cm,土壤贮水量仅增加 31.2 mm,这可能是柠条林地坡度陡,大雨产生的地表径流流失快而导致。

为了确定自然降水的最大入渗深度,根据当地天气变化情况和降雨的经验判断,于 2006 年 8 月 24 日集中降雨来临前测定柠条林地的土壤含水量,8 月 25 日凌晨 4 时 40 分至上午 10 时 30 分下了一场大雨,降雨量 34.3 mm,8 月 26 日上午再次测定了柠条林地的土壤含水量,26 日下午 16 时至 16 时 35 分又下了一场暴雨,降雨量 40.3 mm,27 日下午再次测定了

柠条林地的土壤含水量,29 日上午 7 时 20 分至 11 时 30 分又下了一场大雨,降雨量 82.0 mm,31 日下午再次测定了柠条林地的土壤含水量,9 月 4 日凌晨 1 时 20 分至 2 时 30 分又下了 15.4 mm 的降水,9 月 5 日下午再次测定了柠条林地的土壤含水量。11 d 内连续降雨 4 次,降雨量达 172 mm。从图 3 可以看出,在连续降水过程中,随着降水时间的延长和降水量的增加,柠条林地土壤剖面的湿润锋逐渐下移,入渗深度不断增大。由于连续降水使得气温大幅下降,土壤蒸发和植株蒸腾强度很小,且季节已是当年柠条生长的后期,根系吸水急剧减少,有利于水分下移,使下层土壤水分不断得到补偿。柠条林地的最大入渗深度仅为 120 cm,0~200 cm 土层的土壤贮水量增加 71.4 mm。9 月 5 日以后,上层土壤含水量比下层高得多,且上层土壤温度逐渐下降,而下层温度相对较高,水分入渗的深度还可能继续加深。由于测定年份为丰水年,测定季节在雨季,测定时段降雨连续集中,降水量大,时段内总降水量在多年降水资料中罕见,因此,所得的入渗深度可以被认为是自然条件下陡坡地柠条林地的最大入渗深度。

3.1.4 陡坡柠条林地的土壤水分补给 黄土高原因其特殊的地理位置和土壤气候条件,基本上不存在水分的侧向径流和深层渗漏,因黄土的垂直节理性,土壤中的壤中径流量甚少,林分蓄水变化量与林分生长量和季节有关,就一年来说其变化只不过几毫米,与降雨量相比很小,汽态凝结水量和树干径流量更小,它们在水量平衡中可以忽略不计^[7]。降雨时空气湿度大、温度低,直接蒸发量很小,忽略不计;黄土区土层深厚,地下水埋深超过 60 m^[8-9],难以上移补给,在有植被参与的情况下,多雨年份降水入渗不超过 2

m, 深层渗漏可以忽略不计。根据水量平衡方程, 陡坡柠条林地的土壤水分补给量 $Y_{补}$ (mm) 可通过降水量 P (mm) - 林冠截流量 I (mm) - 地表径流量 R (mm) 而求得, 即 $Y_{补} = P - I - R$ 。从表 1 可以看出, 影响土壤水分补给的主要因素是天然降水, 其次是地表径流量和林冠截留损耗。2008 年 4 月 1 日- 11 月 15 日实验地的土壤水分补给量为 223. 2 mm, 比 2006 年的 320. 9 mm 低 97. 7 mm, 比 2007 年的 281. 4 mm 低 58. 2 mm。2006- 2008 年陡坡柠条林地的土壤水分补给量占降水总量的 71. 65%, 其中丰水年 70. 92%, 平水年 71. 06%, 欠水年 73. 49%。将实验地 2006- 2008 年的平均土壤水分补给量与降水量进行回归分析, 结果表明, 陡坡柠条林地降雨量(P) 与根层土壤水分补给量(S_{ws}) 的关系为线性关系, 关系式为: $S_{ws} = 0.5708P + 28.579$, 相关系数为 0.965 8。不难看出, 降雨量对陡坡地柠条林地土壤水分的补给量影响最大, 不同降雨年份土壤水分的补给量存在明显的差异, 丰水年 > 平水年 > 欠水年; 在降雨量基本一致的条件下, 影响冠层截留和地表径流的因素如冠幅、冠层厚度、郁闭度、坡度、水土保持工程、土壤结构、地

表粗糙度、枯枝落叶等都会对土壤水分的补给量产生不同的影响。柠条林地主要是地表径流的影响, 其次是林冠截留。

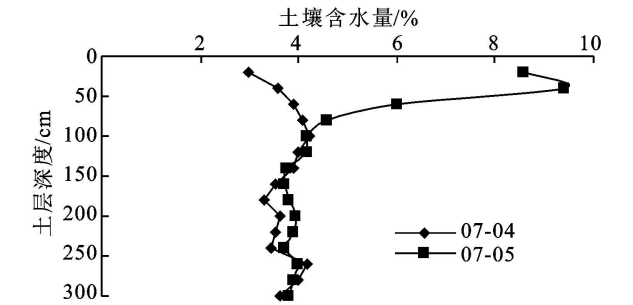


图 2 大雨前后陡坡柠条林地土壤剖面含水量变化

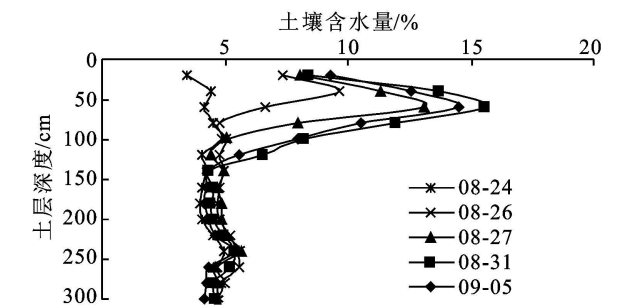


图 3 连续降雨前后陡坡柠条林地土壤剖面含水量变化

表 1 柠条林地天然降雨与土壤水分补给量

项目	2006 年		2007 年		2008 年	
	0401—0730	0801—1115	0401—0730	0801—1115	0401—0730	0801—1115
林外降雨量	255.0	197.5	145.8	250.2	123.3	180.4
林下降雨量	231.9	175.1	125.3	220.6	105.0	159.2
林冠截留量	23.1	22.4	20.5	29.6	18.3	21.2
地表径流量	49.2	36.9	8.3	56.2	7.5	29.8
土壤水分补给量	182.7	138.2	117	164.4	97.5	129.4

3.1.5 陡坡柠条生长与土壤水分关系 陡坡地柠条生长与温度季节变化、降水季节变化一致。一年内柠条生长与土壤水分动态变化大致可以分为四个阶段: 第一阶段, 12 月至次年 3 月, 气温较低, 最低温度达 - 25℃以下, 柠条林处于休眠期。第二阶段, 4 月初至 6 月底, 柠条从开始萌发到完全展叶, 再到速生阶段前期。4 月中旬, 气温逐渐升高, 柠条林开始萌发, 但降雨稀少, 生长缓慢。5 月初- 6 月底, 气温迅速升高, 平均气温上升到 18℃以上, 柠条展叶逐步进入快速生长期, 蒸腾蒸发对土壤水分的消耗加大, 但降水量仍然较少, 不能满足柠条生长发育对水分的需求, 从而使深层土壤水分大量消耗, 到 6 月底土壤剖面含水量达到最低。由图 4 可以看出, 此阶段土壤剖面含水量大幅降低, 0- 500 cm 土层的土壤贮水量从 234. 9 mm 下降到 199. 1 mm, 下降了 15. 24%, 其中, 0- 200 cm 土层下降了 16. 4 mm。第三阶段, 7 月初至 8 月底, 柠条快速生长阶段。这段时间气温高, 降

水量增大, 柠条生长迅速而旺盛, 林冠达到最大, 是大量需水和耗水时期, 柠条生长对土壤水分的反应非常敏感。由于高温, 日晒强烈, 土壤蒸发和植株生理耗水量大, 尽管已进入雨季, 降雨量较多, 土壤水分补给量较大, 但是植物生长对土壤水分要求也高, 常常还会出现短期干旱, 植株体内含水下降。图 4 表明, 0- 500 cm 土层的土壤贮水总量仅仅比 6 月底增加了 49. 5 mm, 这是由于降水增多使表层土壤含水量提高所致, 1 m 以下土层的土壤含水量并未得到明显提高, 干旱年份反而会降低。第四阶段, 9 月初至 11 月底, 柠条生长缓慢到停止生长, 最后落叶。9 月份, 由于雨季连续降水, 气温逐渐回落, 植株耗水逐渐减弱, 土壤水分逐渐得到补充, 图 3 表明, 0- 500 cm 土层的土壤贮水总量比 8 月底增加了 72. 8 mm; 10- 11 月, 植株停止生长, 最后落叶; 但由于降水量减少, 土壤水分蒸发消耗还在不断进行, 土壤剖面含水量逐渐降低, 11 月底的土壤贮水量比 9 月底减少了 20. 4 mm。

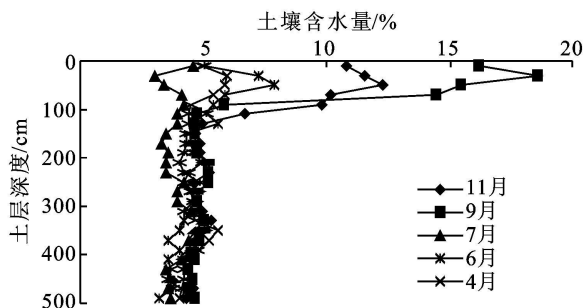


图 4 柠条不同生长阶段土壤剖面含水量的变化

3.2 陡坡柠条林地的土壤水分承载力

3.2.1 密度与土壤水分补给的关系 植物群落密度是土地承载力的主要表达方式^[10-11], 在单一种植的植物群落中, 当密度低于一定值(K 值)时, 植株个体小, 彼此不争光、水或肥, 植株间不发生种内竞争, 植株体重不随密度变化, 当密度大于一定值时, 受种内竞争的影响, 个体生物量随密度的增加而减少。在黄土高原干旱半干旱地区, 水分供应状况决定着人工植被的生物生产力, 密度直接影响着林草地的水分状况^[7-10, 16, 19], 密度过大造成林地水分条件恶化, 土壤干化层面积扩大, 最终导致林木生长不良。在立地条件和降雨量相同条件下, 密度的变化会引起林冠截留和地表径流数值大小的改变, 造成土壤水分补给量的不同。在立地条件, 雨量、雨强、植被类型、生长发育阶段相同条件下, 密度越大, 林冠的郁闭度或盖度(灌木和草本植物用盖度表示)越大, 单位面积枝叶量大, 林冠截留量大^[7]。将实验地 2006–2008 年林冠截留量按照各种降水年份发生比例计算出加权平均值, 然后与对应的密度进行回归分析, 结果表明, 林冠截留量(I)与密度(D)的定量关系为: $I = 0.7359D^{0.4925}$, $R^2 = 0.9642$ 。黄土高原地表径流一般为超渗产流。在降雨强度大于入渗速率时形成。由于冠层拦截降低了雨滴动能, 防止了地表结皮的形成; 植被增加了地表粗糙度。森林植被改善土壤结构能增加降雨入渗; 活立木的机械栅栏作用, 增加了坡面径流阻力, 延缓了径流的流速, 增加了雨水入渗。随着密度增加, 林地地表径流量减少。地表径流(R_{un})和密度(D)关系为: $R_{\text{un}} = -0.021D + 152.53$, $R^2 = 0.9509$ 。

由于密度变化改变了林冠截留和地表径流的数值大小, 必然会引起土壤水分补给量变化。将实验地 2006–2008 年土壤水分补给量按照各种降水年份发生比例计算出加权平均值, 然后与对应的密度进行回归分析, 结果表明柠条根层平均土壤水分补给量($Y_{\text{补}}$)与密度(D)的关系为线性关系(图 5), 关系为: $Y_{\text{补}} = 0.0145D + 215.4$, $R^2 = 0.9582$ 。

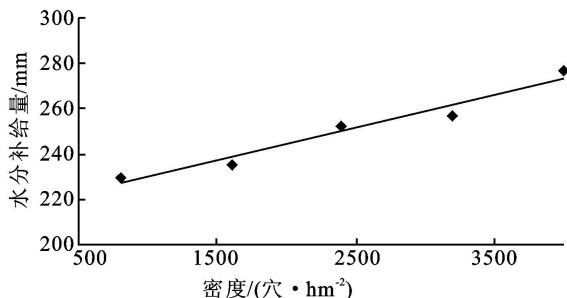


图 5 陡坡柠条林地土壤水分补给量与密度的关系

3.2.2 土壤水分消耗与密度的关系 柠条林地的土壤水分一方面不断得到自然降雨入渗的水分补给, 另一方面又被植物蒸腾利用和蒸发消耗。由于陕北黄土区特定的自然地理条件, 地下水补给量和土壤水渗漏量可以忽略, 故在某一时段内, 土壤水分消耗量(蒸发散) = 前期土壤贮水量 – 末期土壤贮水量 + 期间降雨的土壤水分补给量。柠条生育期内土壤水分消耗量的大小与密度直接相关。若密度过高, 生物间的竞争加剧, 植物生长不良, 而且消耗大量水分, 破坏土壤的水分平衡, 造成土壤的干燥化, 但如果覆盖度较低, 一是雨滴溅蚀和水土流失严重, 难以发挥生态效益, 二是水分的利用率低。因此, 只有林草正常生长的耗水量和水分供应量的相互协调, 植被才能得到持续发展。密度大则耗水量大, 反之则小。将实验地 2006–2008 年 0–500 cm 土层土壤水分消耗量按照各种降水年份发生比例计算出加权平均值, 然后与对应的密度进行回归分析, 可得到陡坡柠条地土壤水分消耗量与密度的关系为: $Y_{\text{耗}} = 0.00001D^2 - 0.0089D + 200.82$, $R^2 = 0.9537$ (图 6)。

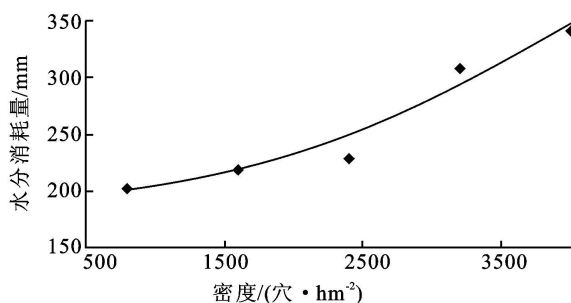


图 6 陡坡柠条林地土壤水分消耗量与密度的关系

3.2.3 陡坡柠条林地土壤水分承载力 1987 年可持续发展的概念提出后, 承载力(Carrying Capacity)作为可持续发展的核心问题已逐渐得到国内外研究者的普遍认可与重视^[10-11]。近年来, 由于我国干旱半干旱地区多年生人工林草地土壤旱化问题日益突出, 严重影响了生态环境和植被建设的持续健康发展, 人们提出了土壤水分植被承载力的概念^[17-18]。它是指某一区域的某种植物在生命期的 1 年至多年内, 在现有的条件下, 以维护水分生态良性循环和可持续

发展为前提, 当地土壤水分中雨水的补给量可支撑的植物群落健康生产或生长的最大数量, 是用来限制植物生长的重要指标。

根据土壤水分植被承载力的定义, 如果获得了一定条件下某种植被土壤水分补给量与植物生长之间的定量关系和土壤水分消耗量与植物生长之间的定量关系, 那么, 满足土壤水分消耗量等于补给量时, 植物的群落密度即为该条件下土壤水分植被承载力。本研究中 38° 陡坡柠条林地密度实验结果可求得, $D_1 = 2852$, $D_2 = -512$ (舍去), 即 38° 陡坡地土壤水分可承载的柠条密度为 $2\ 852$ 穴/ hm^2 。在本研究中, 试验小区在同一位置, 气候条件、土壤条件和管理水平的影响可以不考虑, 植被均为柠条, 所以植被的影响也可不考虑, 试验小区的坡形、坡位、坡向一致, 坡度方面, 选定代表性坡度, 可以反映陡坡柠条林地的一般情形。土壤水分条件是植物生长发育的基础, 在一定条件下, 土壤水分补给量增加, 利于承载较大的植物群落生产和生长数量; 植被建设中整修水保工程等措施可以抑制径流、促进下渗, 增加雨水对土壤水分的补给量, 有助于土壤水分承载力的提高。而植物群落生产和生长数量的提高必然要消耗更多的土壤水分, 所以针对植物生长发育特点, 提高水分利用效率是提高土壤水分承载力的重要环节。

4 结论

在陕北黄土区, 陡坡地柠条生长季林冠截留量受降雨量和生育期的影响, 次变化在 $0.21 \sim 3.2$ mm, 林冠截留率变化在 $2.0\% \sim 28.0\%$, 平均 13.2% ; 林冠截留总量平均占总降雨量的 11.73% , 其中, 丰雨年 10.06% 、平水年 12.65% 、欠水年 13.01% 。丰水年陡坡柠条林地地表径流量占降雨量的 19.03% ; 平水年占 16.29% ; 干旱年占降雨量的 13.50% 。陡坡柠条林地的最大入渗深度仅为 120 cm。陡坡柠条林地降雨量(P)与根层土壤水分补给量(S_{ws})的关系为线性关系, 关系式为: $S_{ws} = 0.5708P + 28.579$, 相关系数为 0.9658 。陡坡地柠条生长与温度季节变化、降水季节变化一致, 一年内柠条生长与土壤水分动态变化大致可以分为4个阶段, 9月中旬后雨量增大、气温降低、柠条生长缓慢, 土壤含水量迅速提高。

在陕北黄土区, 陡坡柠条林地的林冠截留量(I)与密度(D)的定量关系为: $I = 0.7359D^{0.4925}$, ($R^2 = 0.9642$)。地表径流量(R_m)和密度(D)关系为: $R_m = -0.021D + 152.53$ ($R^2 = 0.9509$)。柠条根层平均土壤水分补给量($Y_{补}$)与密度(D)呈线性关系, 关系式为: $Y_{补} = 0.0145D + 215.4$ ($R^2 = 0.9582$)。陡坡柠条地土

壤水分消耗量与密度的关系为 $Y_{耗} = 0.00001D^2 - 0.0089D + 200.82$ ($R^2 = 0.9537$)。在自然降雨条件下陡坡地土壤水分可承载的柠条密度为 $2\ 852$ 穴/ hm^2 。建议陡坡柠条林地建设中适当控制密度, 合理利用雨水资源, 确保陡坡柠条林地的持续健康发展。

参考文献:

- [1] 朱象三. 黄土高原开发治理研究[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1990: 5-8.
- [2] 傅伯杰, 王军, 王克明. 黄土丘陵区土地利用对土壤水分的影响[J]. 中国科学基金, 1999(4): 225-227.
- [3] 胡良军, 邵明安. 黄土高原植被恢复的水分生态环境研究[J]. 应用生态学报, 2002, 13(8): 1045-1048.
- [4] 侯庆春, 韩蕊莲, 韩仕峰. 黄土高原人工林草地“土壤干层”问题初探[J]. 中国水土保持, 1999(5): 11-14.
- [5] 杨维西. 试论我国北方地区人工植被的土壤干化问题[J]. 林业科学, 1996, 32(1): 78-85.
- [6] 王正非, 朱廷翟, 朱劲伟, 等. 森林气象学[M]. 北京: 林业出版社, 1985: 185-189.
- [7] 杨新民, 杨文治. 灌木林地的水分平衡研究[J]. 水土保持研究, 1998, 5(1): 109-118.
- [8] 李玉山. 土壤水库的功能与作用[J]. 水土保持通报, 1983, 3(5): 27-30.
- [9] 王宗明, 张柏. 西北黄土高原区生态恢复重建与农业可持续发展[J]. 农业系统科学与综合研究, 2003, 19(2): 12-15.
- [10] David P. Carrying Capacity Reconsidered[J]. Population and Environment, 1999, 21(1): 5-26.
- [11] Philip J R. Plant water relations: Some physical aspects[J]. Am. Rev. Plant physiol., 1966, 17: 245-268.
- [12] 刘增文, 余清珠, 王进鑫. 刺槐林更新改造对林地水分环境的影响[J]. 西北林学院学报, 1995, 10(增): 53-57.
- [13] 孙长忠, 黄保龙, 陈海滨, 等. 黄土高原人工植被与其水分环境相互作用关系研究[J]. 北京林业大学学报, 1998, 20(3): 7-14.
- [14] 王克勤, 王斌瑞. 黄土高原刺槐林间伐改造研究[J]. 应用生态学报, 2002, 13(1): 1-15.
- [15] 王克勤, 王百田, 高海平. 集水造林不同密度林分生长研究[J]. 林业科学, 2002, 38(2): 54-60.
- [16] 苑增武, 张庆宏, 张延新. 不同密度樟子松人工林土壤水分变化规律[J]. 吉林林业科技, 2000, 29(1): 1-4.
- [17] 郭忠升, 邵明安. 半干旱区人工林草地土壤旱化与土壤水分植被承载力[J]. 生态学报, 2003, 23(8): 1640-1647.
- [18] 郭忠升, 邵明安. 雨水资源、土壤水资源与土壤水分植被承载力[J]. 自然资源学报, 2003, 18(5): 522-528.
- [19] 王彦辉, 于澎涛, 徐德应, 等. 林冠截留降雨模型转化和参数规律的初步研究[J]. 北京林业大学学报, 1998, 20(6): 25-30.