

Evaluation of Water Conservation and Soil Conservation Service Values of Different Vegetation Types in Luoshan National Nature Reserve, Ningxia

Ze Qin Xiong¹, Haonan Wei², Yingying Bian^{2*}

¹Management Bureau of Luoshan National Nature Reserve, Wuzhong Ningxia

²Agricultural School of Ningxia University, Yinchuan Ningxia

Email: 649149449@qq.com, *bianyy@nxu.edu.cn

Received: June 13th, 2019; accepted: June 28th, 2019; published: July 5th, 2019

Abstract

Water conservation and soil conservation are the most important function of forest ecosystem services. We took Luoshan National Nature Reserve as a study area. According to the forestry industry standard of the People's Republic of China "Forest Ecosystem Services Evaluate Specification" (LY/T 1721-2008), we measured some indicators such as precipitation, soil bypass flow, soil unit weight, amount of soil nutrition, and soil erosion, etc., which could calculate the values of the water conservation and soil conservation service. The results show: 1) Different vegetations have the significant differences in annual amount of water regulating, amount of water regulating per unit area and the value of regulating/purifying water ($P < 0.01$). The rate of contribution of different vegetation to amount of water regulating in study area is Chinese pine > other bushes > spruce > aspen > *Caragana korshinskii* > white birch. The amount of water regulating per unit area is Chinese pine > aspen > white birch > spruce > other bushes > *Caragana korshinskii*. 2) There are significant differences in soil conservation value and soil conservation value in per unit of different vegetations ($P < 0.01$), the soil conservation value is Chinese pine > spruce > other bushes > *Caragana korshinskii* > aspen > white birch. The soil conservation value in per unit is spruce > Chinese pine > aspen > white birch > other bushes. 3) There is the significant difference among fertilizer preservation values of different vegetations ($P < 0.01$), and it has significantly positively correlated with the content of nitrogen, potassium and organic matter in soil. The fertilizer preservation value is spruce > other bushes > Chinese pine > aspen > white birch > *Caragana korshinskii*. There are no differences among the fertilizer preservation values in per unit of different vegetations ($P > 0.05$).

Keywords

Water Conservation, Soil Conservation, Service Values, Different Vegetation Types, Luoshan

*通讯作者。

宁夏罗山自然保护区不同植被类型水源涵养及保育土壤功能价值评估

熊泽钦¹, 魏浩男², 卞莹莹^{2*}

¹宁夏罗山国家级自然保护区管理局, 宁夏 吴忠

²宁夏大学农学院, 宁夏 银川

Email: 649149449@qq.com, *bianyy@nxu.edu.cn

收稿日期: 2019年6月13日; 录用日期: 2019年6月28日; 发布日期: 2019年7月5日

摘要

本文依据中华人民共和国林业行业标准《森林生态系统服务功能评估规范》(LY/T 1721-2008), 以宁夏罗山自然保护区不同植被为研究对象, 通过测定研究区内不同植被样地降雨量、土壤径流量、土壤容重、全量养分、土壤侵蚀量等相关指标, 对研究区内不同植被水源涵养、保育土壤物质和价值量进行评估, 得到以下结果: 1) 不同植被调节水量、单位面积调节水量、调节/净化水价值有极显著差异($P < 0.01$), 调节水量与其面积显著正相关, 相关系数为0.88。不同植被对研究区森林调节水量贡献率为油松 > 其他灌木 > 云杉 > 山杨 > 柠条 > 白桦。单位面积调节/净化水价值为油松 > 山杨 > 白桦 > 云杉 > 其他灌木 > 柠条。2) 不同植被固土价值、单位面积固土价值有极显著差异, 固土价值为油松 > 云杉 > 其他灌木 > 柠条 > 山杨 > 白桦, 单位面积固土价值为云杉 > 油松 > 山杨 > 白桦 > 其他灌木 > 柠条。3) 不同植被保肥价值有极显著差异, 与其土壤中氮、钾、有机质含量显著正相关, 保肥价值为云杉 > 其他灌木 > 油松 > 山杨 > 白桦 > 柠条, 不同植被单位面积保肥价值无显著差异。

关键词

水源涵养, 保育土壤, 价值评估, 不同植被类型, 罗山

Copyright © 2019 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

森林生态系统具有结构复杂、类型多样、稳定性强、生产力高等特点[1], 是地球生命的支持系统, 是维持生命物质的水文循环系统和生物地化循环系统[2]。水源涵养、保育土壤是森林生态系统重要的环境服务功能。森林的水源涵养功能通过林分的林冠截留、枯落物拦截和土壤储水对降雨量的再分配来体现的[3], 通过径流调节和水源涵养功能, 降低洪峰流量、减缓洪峰到来的速度, 将洪水破坏力降到最低[4]。此外, 森林生态系统通过减少土壤侵蚀, 减少土壤肥力的损失, 改善土壤结构, 从而达到水土保持的功能[5] [6]。罗山国家级自然保护区与贺兰山、六盘山齐名为宁夏三大天然林区, 是宁夏中部的水源涵养林和区域生态环境的重要屏障[7]。本文对罗山国家级自然保护区内不同植被类型的水源涵养和保育土壤功能进行定量分析及价值评估, 探讨不同植被类型涵养水源和保育土壤能力的大小, 目的是增进对保护区内森林生态系统水源涵养、土壤保育价值的科学认知, 为保护区内森林资源的合理经营与保护提供

理论依据。

2. 研究区概况

宁夏罗山国家级自然保护区位于宁夏回族自治区吴忠市同心县和红寺堡开发区境内，地理位置北纬 37°11'~37°25'，东经 106°04'~106°24'，由南北走向的大、小罗山两个山体构成[8]，海拔 1560.00~2624.50 m，总面积 33,710.00 hm²，森林覆盖率 18.13%，活立木总蓄积量 220,434.82 m³ [9]。保护区属温带干旱大陆性气候，冬春长、夏秋短[10]，年平均日照 2881.50 h，年平均气温 7.2℃~10.6℃，年平均降水量 268.9 mm，降水量少而集中且年际变化大，年平均蒸发量为 2460 mm。保护区内植被类型随海拔升高而变化，海拔 2100 m 以下的阳坡和山麓为暖温带荒漠草原，主要分布有锦鸡儿属、红砂、猪毛菜等耐旱小灌木和草类；海拔 2100~2500 m，主要分布有油松、山杨以及灰榆、白桦等；海拔 2500 米以上，主要为云杉、山杨等。大小罗山主要的土壤类型有：暗灰褐土、灰褐土、石灰性灰褐土、灰钙土、淡灰钙土、粗骨土、新积土、风沙土等，并呈典型的垂直地带性分布。

3. 材料与方法

3.1. 实验设计

2017 年 1 月至 2018 年 12 月，在立地条件和林分郁闭度相近的云杉林、山杨林、白桦林、油松纯林、其他灌木林地、柠条灌木林地中各设置标准样地(20 m × 20 m) 3 块。在各标准样地中，沿各样地的坡向，分别在坡上、中、下部设置 1 m × 1 m 样方。在样方中按对角线选择采样点 5 个。标准样地具体情况如表 1。

Table 1. General situation of the standard sample-plots

表 1. 标准样地情况

样地名称	面积/hm ²	经度/°	纬度/°	土壤名称	pH	覆盖度/郁闭度	成土形状描述
柠条	608.30	106.26	37.26	风沙土	8.86	0.51	表土具有 30 cm 或大于 30 cm 的比较松散的沙土层，无结构或初具不稳定的块状结构。
其他灌木	1043.80	106.31	37.31	新积土	8.18	0.50	土壤剖面土层变化较大，无明显发育特征，土壤质地较轻，以轻壤土和沙壤土为主。
油松	790.50	106.29	37.27	淡灰钙土	7.83	0.55	土壤剖面自上而下可分为有机质层(0~20 cm)、钙积层(20~40)和母质层。有机质层呈浅灰棕色。钙积层在地表小 30 cm 左右可见钙积层，厚度 40 cm 左右，碳酸钙呈灰白色斑块状淀积，坚实或很紧实。淡灰钙土质地较粗，一般为沙壤土。
白桦	19.90	106.29	37.28	淡灰钙土	8.03	0.45	土壤剖面自上而下可分为有机质层(0~20 cm)、钙积层(20~40)和母质层。有机质层呈浅灰棕色。钙积层在地表小 30 cm 左右可见钙积层，厚度 40 cm 左右，碳酸钙呈灰白色斑块状淀积，坚实或很紧实。淡灰钙土质地较粗，一般为沙壤土。
山杨	208.40	106.29	37.29	淡灰钙土	8.03	0.40	土壤剖面自上而下可分为有机质层(0~20 cm)、钙积层(20~40)和母质层。有机质层呈浅灰棕色。钙积层在地表小 30 cm 左右可见钙积层，厚度 40 cm 左右，碳酸钙呈灰白色斑块状淀积，坚实或很紧实。淡灰钙土质地较粗，一般为沙壤土。
云杉	568.20	106.29	37.29	暗灰褐土	8.02	0.43	土壤剖面自上而下可分为腐殖质层(0~30 cm)、过渡层(30~60 cm)、淀积层(40~100 cm)。腐殖质层草本植物根系密集，呈暗褐色，质地为中壤土或轻壤土，粒状结构，生物活动强烈。过渡层呈灰褐色，质地为中壤土或轻壤土为主，粒状或块状结构，稍紧实，孔隙、根系较多。淀积层质地多数为中壤土或重壤土，少数为轻壤土或沙壤土，粒状或块状结构，紧实，孔隙较上层少，胶膜明显，有白色霉状碳酸盐新生体。

3.2. 相关指标测定方法

3.2.1. 降雨量测定

研究区内降雨量测定来源于布设在各标准样地内外的雨量筒，每次降雨后采集单次降雨量数据，记录数据并倒空雨量筒。

3.2.2. 土壤采集

从2017年1月起至2018年12月，每月15日采集土壤样品，如遇到降水，在降水结束补充采样。根据罗山科考调查报告，研究区土壤层较薄，一般至100 cm深，从土壤表层至50 cm左右处为沉积层，分布有大量砾石，土壤采集困难，因此取样至40 cm。在各样地采样点，用土钻按0~10 cm、10~40 cm土层取样，各土层3个重复，分层取样后，相同层均匀混合，所有土样挑去活体根系，密封后带回实验室内，仔细除去其中可见植物残体及土壤动物，过100目筛，供室内分析使用，用于土壤含水量、土壤养分含量测定。

3.2.3. 土壤储水量测定

采用烘干法测定土壤质量含水量[11]。将各土层采集到的土壤样品混合均匀，取一干燥的铝盒称重，在其中加土约5 g后再称重。将盛有土壤样品的铝盒置于 $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 下烘干至恒重后取出，放入干燥器内，冷却20 min称重，计算每层土壤质量含水量，计算公式如下：

$$SMC = [(B_1 + W_1) - (B_2 + W_2)] / [(B_1 + W_1) - B_0] \times 100\%$$

B_1 ：烘干前铝盒重量； W_1 ：烘干前土壤重量； B_2 ：烘干后铝盒重量； W_1 ：烘干后土壤重量； B_0 ：烘干铝盒的重量。

每层土壤储水量计算式为：

$$SMS = SMC \times \rho \times H$$

式中： SMC (Soil Moisture Content)为每层土壤含水量，%； SMS (Soil Moisture Storage)为每层土壤储水量，mm； ρ 为土壤容重， g/cm^3 ； H 为每层取样深度，mm。

3.2.4. 蒸散量测定

采用水量平衡方程计算蒸散量，公式如下：

$$E = P - \Delta SMS - R$$

式中： P 为大气降水量(mm)； E 为蒸散量(mm)， ΔSMS 为土壤贮水变化量(mm)； R 为土壤径流量(mm)。

3.2.5. 土壤径流量测定

采用原状土模拟法测定土壤径流。分别在乔木、灌木林地各标准样地中进行，每块土体尽量保持原有结构，坡度 $\geq 5^{\circ}$ ，每块土体面积为 0.4 m^2 ，土体用4块面积为 $1 \text{ m} \times 0.4 \text{ m}$ 的PVC板围成，插入土中30 cm外露10 cm，防止降雨泥沙溅出和试验土体外围水分进入，在土体的第四边距试验土体表层土壤5 cm、10 cm、20 cm和30 cm处均设置导流管外接橡胶软管，分别用于收集地表径流(0~5 cm)和壤中流(5~30 cm)。

3.2.6. 土壤容重测定

用铁铲铲平各样地采样点，将环刀托放在已知质量的环刀(精确至0.01 g)上，环刀内壁擦上凡士林，将环刀刃口向下垂直压入土中，直至环刀筒中充满土样为止，每个土层3个重复样品。用削土刀切开环刀周围的土样，取出已充满土的环刀，用削土刀细心削平环刀两端多余的土，并擦拭干净环刀外面的土，

立即加盖以免水分蒸发, 带回实验室。将盛有土样的环刀除去顶盖, 然后放入烘箱中, 在 $105^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 下烘干 4 h, 再在干燥器中冷却后, 称重(精确至 0.01 g)。

3.2.7. 土壤养分测定

土壤全氮、全磷、全钾测定参照《土壤农化分析》中的方法进行[11]。

3.2.8. 土壤侵蚀量测定

采用钢钎法测定土壤侵蚀量。将直径 0.5~1.0 cm、长 50~100 cm 类似钉子形状的钢钎, 沿铅垂方向, 按一定距离分上中下打入标准样地, 钉帽与坡面齐平, 上涂红漆, 编号登记入册, 同时测量坡面坡度值。在每次降雨后, 观测钉帽距地面高度并记录。

3.3. 相关指标计算方法

依据中华人民共和国林业行业标准《森林生态系统服务功能评估规范》(LY/T 1721-2008), 森林涵养水源主要功能表现在增加可利用水资源、净化水质和调节径流三个方面, 本研究选择调节水量和净化水质两部分进行的效益评价, 采用替代工程法进行价值评估。保育土壤功能主要表现在固土和保肥两方面, 森林固土功能主要从有林地地区相对无林地地区减少的土壤侵蚀模数进行估算, 保肥功能是指有林地地区相比无林地地区较少土壤侵蚀, 避免带走大量的土壤以及土壤内的营养物质, 例如氮、磷、钾以及有机质等, 防止土壤肥力下降。具体指标及计算公式表 2。

Table 2. Evaluation indexes and counting formulas for forest water conservation and soil conservation function benefit
表 2. 森林涵养水源及保育土壤功能效益评价指标及相关计算公式

类别	指标/单位	公式及说明
水源 涵养	物质质量 调节水量/ $\text{t}\cdot\text{a}^{-1}$	$G_{\text{调}} = 10A(P - E - C)$; 式中: $G_{\text{调}}$ 为林分调节水量; P 为降水量, 单位: $\text{mm}\cdot\text{a}^{-1}$; E 为林分蒸散量, 单位: $\text{mm}\cdot\text{a}^{-1}$; C 为地表径流量, 单位: $\text{mm}\cdot\text{a}^{-1}$; A 为林分面积, 单位: hm^2 。
	价值量 调节水量/ $\text{元}\cdot\text{a}^{-1}$ 净化水质/ $\text{元}\cdot\text{a}^{-1}$	$U_{\text{调}} = 10C_{\text{库}}A(P - E - C)$; $U_{\text{水质}} = 10KA(P - E - C)$; 式中: $U_{\text{调}}$ 为林分年调节水量价值; $U_{\text{水质}}$ 为林分年净化水质价值; $C_{\text{库}}$ 为水库建设单位库容投资(占地拆迁补偿、工程造价、维护费等等), 单位: $\text{元}\cdot\text{t}^{-1}$; P 为降水量, 单位: $\text{mm}\cdot\text{a}^{-1}$; E 为林分蒸散量, 单位: $\text{mm}\cdot\text{a}^{-1}$; C 为地表径流量, 单位: $\text{mm}\cdot\text{a}^{-1}$; A 为林分面积, 单位: hm^2 ; K 为水的净化费用, 单位: $\text{元}\cdot\text{t}^{-1}$ 。
保育 土壤	物质质量 固土保肥/ $\text{t}\cdot\text{a}^{-1}$	$G_{\text{固土}} = A(X_2 - X_1)$; $G_{\text{磷}} = AP(X_2 - X_1)$; $G_{\text{氮}} = AN(X_2 - X_1)$; $G_{\text{钾}} = AK(X_2 - X_1)$; 式中: $G_{\text{固土}}$ 为林分年固土量, 单位: $\text{t}\cdot\text{a}^{-1}$; $G_{\text{氮}}$ 为减少的氮流失量, 单位: $\text{t}\cdot\text{a}^{-1}$; $G_{\text{磷}}$ 为减少的磷流失量, 单位: $\text{t}\cdot\text{a}^{-1}$; $G_{\text{钾}}$ 为减少的钾流失量, 单位: $\text{t}\cdot\text{a}^{-1}$; X_1 为林地土壤侵蚀模数, 单位: $\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$; X_2 为无林地土壤侵蚀模数, 单位: $\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$; A 为林分面积, 单位: hm^2 ; N 为土壤含氮量, 单位: %; P 为土壤含磷量, 单位: %; K 为土壤含钾量, 单位: %。
	价值量 固土/ $\text{元}\cdot\text{a}^{-1}$ 保肥/ $\text{元}\cdot\text{a}^{-1}$	$U_{\text{固土}} = 0.024AC_{\pm}(X_2 - X_1)/\rho$; $U_{\text{肥}} = A(X_2 - X_1)(NC_1/R_1 + PC_2/R_2 + KC_3/R_3 + MC_3)$; 式中: $U_{\text{固土}}$ 为林分年固土价值; $U_{\text{肥}}$ 为林分年保肥价值; C_{\pm} 为挖取和运输单位体积土方所需费用; ρ 为泥沙的平均容重, 单位: $\text{t}\cdot\text{m}^{-3}$; X_1 为林地土壤侵蚀模数, 单位: $\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$; X_2 为无林地土壤侵蚀模数, 单位: $\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$; 根据文献, 宁夏回族自治区无林地水土流失土壤年侵蚀模数平均取值为 $30 \text{ t}/(\text{hm}^2\cdot\text{年})$ 。 N 为土壤含氮量, 单位: %; P 为土壤含磷量, 单位: %; K 为土壤含钾量, 单位: %; M 为林分土壤有机质含量, 单位: %; R_1 为磷酸二铵化肥含氮量, 单位: %; R_2 为磷酸二铵化肥含磷量, 单位: %; R_3 为氯化钾化肥含钾量, 单位: %; C_1 为磷酸二铵化肥价格, 单位: $\text{元}\cdot\text{t}^{-1}$; C_2 为氯化钾化肥价格, 单位: $\text{元}\cdot\text{t}^{-1}$; C_3 为有机质价格, 单位: $\text{元}\cdot\text{t}^{-1}$; A 为林分面积, 单位: hm^2 。

注: 表格中计算公式来源于森林生态系统服务功能评估规范》(LY/T 1721-2008)。

4. 结果与分析

4.1. 不同植被涵养水源功能比较

4.1.1. 不同植被涵养水源物质量比较

不同植被水源涵养物质量有极显著差异($P < 0.01$),油松涵养水源物质量最大,为 $9011.28 \pm 237.28 \text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$,其他灌木与其无显著差异;云杉涵养水源物质量次之,再次为山杨和柠条,白桦涵养水源物质量最小,仅为 $787.45 \pm 15.11 \text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$ 。不同植被单位面积调节水量有极显著差异($P < 0.01$),油松单位面积调节水量为所有植被类型种最高,为 $46.22 \pm 10.17 \text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$,并与白桦山杨无显著差异;云杉单位面积调节水量与油松有显著差异,但与白桦、山杨、其他灌木无差异,为 $36.52 \pm 3.59 \text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$;柠条单位面积调节水量最小,仅为 $14.81 \pm 0.39 \text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$ (图 1)。

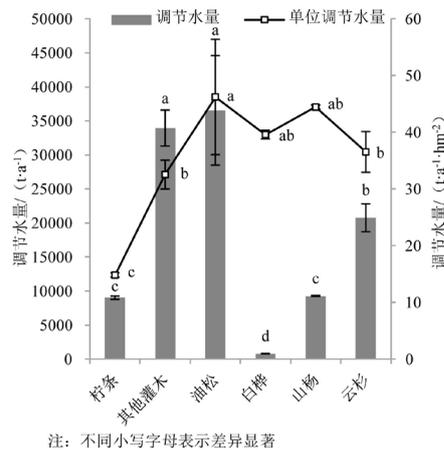


Figure 1. Water regulating amount of different vegetations
图 1. 不同植被调节水量

4.1.2. 不同植被涵养水源价值比较

如表 3 所示,不同植被涵养水源价值有极显著差异($P < 0.01$)。油松调节/净化水价值最高,其他灌木与其无显著差异;其次是云杉,与其他植被有显著差异;再次为山杨,其与柠条无显著差异;最后为白桦,与其他植被有显著差异。不同植被对研究区森林调节水量贡献率为油松 > 其他灌木 > 云杉 > 山杨 > 柠条 > 白桦。相关分析结果表明,研究区不同植被类型调节水量与其面积呈显著成相关关系($P = 0.021$)。不同植被单位调节/净化水价值有极显著差异($P < 0.01$)。单位面积油松调节/净化水价值量最高,白桦、山杨与其无显著差异;云杉次之,其他灌木与其无显著差异;单位面积柠条调节/净化水价值量最低。

Table 3. Water regulating amount and water purifying amount of different vegetations
表 3. 不同植被调节水与净化水价值量比较

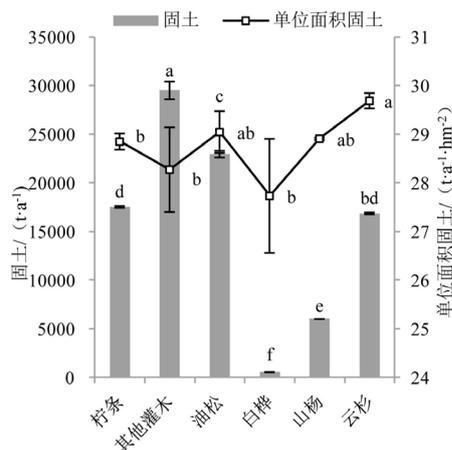
样地	调节水价值/(万元·a ⁻¹)	净化水价值/(万元·a ⁻¹)	单位面积调节水价值/(元·a ⁻¹ ·hm ⁻²)	单位面积净化水价值/(元·a ⁻¹ ·hm ⁻²)	调节/净化水贡献率
柠条	$7.20 \pm 0.19c^{**}$	$1.89 \pm 0.05c^{**}$	$118.36 \pm 3.12c^{**}$	$30.96 \pm 0.82c^{**}$	0.08
其他灌木	$27.13 \pm 2.11a^{**}$	$7.10 \pm 0.55a^{**}$	$259.87 \pm 20.24b^{**}$	$67.98 \pm 5.29b^{**}$	0.31
油松	$29.19 \pm 6.43a^{**}$	$7.64 \pm 1.68a^{**}$	$369.27 \pm 81.27a^{**}$	$96.59 \pm 21.26a^{**}$	0.33
白桦	$0.63 \pm 0.01d^{**}$	$0.17 \pm 0.00d^{**}$	$316.17 \pm 6.07a^{**}$	$82.70 \pm 1.59a^{**}$	0.01
山杨	$7.40 \pm 0.06c^{**}$	$1.94 \pm 0.02c^{**}$	$355.05 \pm 2.84a^{**}$	$92.87 \pm 0.74a^{**}$	0.08
云杉	$16.58 \pm 1.63b^{**}$	$4.34 \pm 0.43b^{**}$	$291.79 \pm 28.70b^{**}$	$76.32 \pm 7.51b^{**}$	0.19

注: * : $P < 0.05$, ** : $P < 0.001$ 同列不同小写字母表示差异显著。

4.2. 不同植被保育土壤功能比较

4.2.1. 不同植被保育土壤物质质量比较

如图 2, 不同植被固土量有极显著差异($P < 0.01$), 其他灌木 > 油松 > 柠条 > 云杉 > 山杨 > 白桦, 其中云杉年固土量与柠条无显著差异。不同植被单位面积固土量有显著差异($P < 0.05$), 云杉单位面积固土量最大, 为 $29.69 \pm 0.16 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1} \cdot \text{hm}^{-2}$, 与山杨、油松无显著差异; 油松、山杨单位面积固土量与柠条、其他灌木、白桦无显著差异; 白桦单位面积固土量最少, 仅为 $27.73 \pm 1.17 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

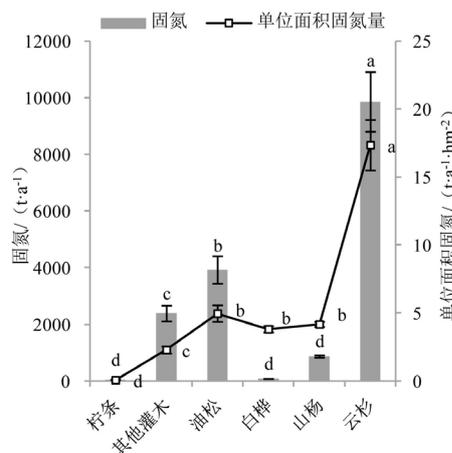


注: 不同小写字母表示差异显著

Figure 2. Soil fixation amounts of different vegetations

图 2. 不同植被固土量

如图 3, 不同植被固氮量有极显著差异($P < 0.01$)。云杉固氮量最高, 为 $9856.18 \pm 1052.96 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$, 并与其他植被有显著差异; 油松次之; 山杨、白桦、柠条固氮量低于其他灌木, 且三者之间无显著差异。不同植被单位面积固氮量有极显著差异($P < 0.01$)。单位面积云杉固氮量最高, 为 $17.35 \pm 1.85 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1} \cdot \text{hm}^{-2}$, 并与其他植被有显著差异; 油松、山杨、白桦次之, 且三者之间无显著差异; 单位面积其他灌木固氮量高于柠条。

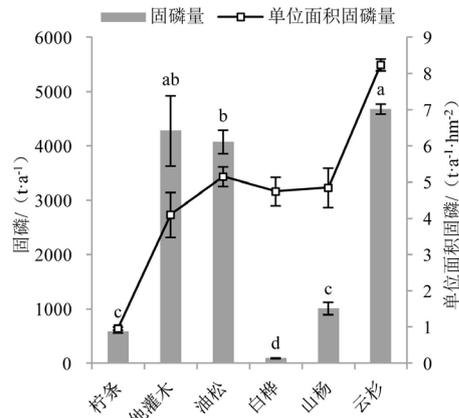


注: 不同小写字母表示差异显著

Figure 3. Nitrogen fixation amounts of different vegetations

图 3. 不同植被固氮量

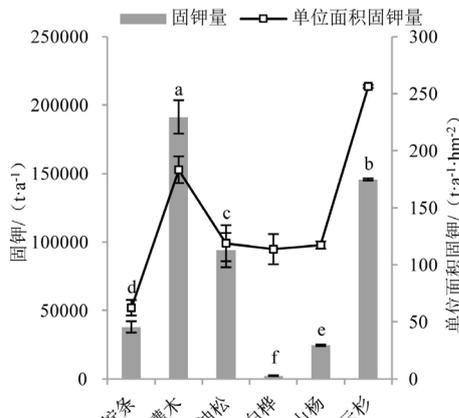
如图 4, 不同植被固磷量有极显著差异($P < 0.01$)。云杉固磷量最多, 且与其他灌木无显著差异; 油松次之; 山杨、柠条固磷量低于油松, 且两者间无显著差异; 白桦固磷量最低, 仅为 $94.48 \pm 7.86 \text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$ 。不同植被单位面积固磷量无显著差异($P > 0.05$), 云杉 > 油松 > 山杨 > 白桦 > 其他灌木 > 柠条。



注: 不同小写字母表示差异显著

Figure 4. Phosphorus fixation amounts of different vegetations
图 4. 不同植被固磷量

如图 5, 不同植被固钾量有极显著差异($P < 0.01$)。其他灌木固钾量最高, 为 $191,199.59 \pm 12,176.43 \text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$, 且与其他植被有显著差异; 白桦固磷量最少, 仅为 $2259.37 \pm 263.16 \text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$ 。不同植被单位面积固钾量无显著差异($P > 0.05$), 云杉 > 其他灌木 > 油松 > 山杨 > 白桦 > 柠条。



注: 不同小写字母表示差异显著

Figure 5. Potassium fixation amounts of different vegetations
图 5. 不同植被固钾量

4.2.2. 不同植被保育土壤价值量比较

如表 4 所示, 不同植被固土价值有极显著差异($P < 0.01$), 其固土价值及对研究区森林固土价值贡献率为油松 > 云杉 > 其他灌木 > 柠条 > 山杨 > 白桦。不同植被单位面积固土价值有极显著差异($P < 0.01$), 云杉单位面积固土价值最大, 为 $14.48 \pm 0.08 \text{ 元}\cdot\text{a}^{-1}\cdot\text{hm}^{-2}$, 柠条最小, 仅为 $6.66 \pm 0.04 \text{ 元}\cdot\text{a}^{-1}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。不同植被保肥价值有极显著差异($P < 0.01$), 其保肥价值及对研究区森林保肥价值贡献率为云杉 > 其他灌

木 > 油松 > 山杨 > 柠条 > 白桦。不同植被单位面积保肥价值无显著差异($P > 0.05$), 单位面积其他灌木保肥价值最高, 为 7.63 ± 0.53 万元·a⁻¹·hm⁻², 单位面积柠条保肥最低, 仅为 0.43 ± 0.03 万元·a⁻¹·hm⁻²。

Table 4. Soil fixation values of different vegetations

表 4. 不同植被固土价值

样地	固土价值 (元·a ⁻¹)	保肥价值 (万元·a ⁻¹)	单位面积固土价值 (元·a ⁻¹ ·hm ⁻²)	单位面积保肥价 值/(万元·a ⁻¹ ·hm ⁻²)	固土价值 贡献率	保肥价值 贡献率
柠条	4051.11 ± 23.20d**	0.03 ± 20.95d**	6.66 ± 0.04f**	0.43 ± 0.03	0.13	0.01
其他灌木	7693.70 ± 236.58c**	7965.05 ± 554.13b**	7.37 ± 0.23e**	7.63 ± 0.53	0.24	0.26
油松	9919.55 ± 146.91a**	2326.84 ± 181.01c**	12.55 ± 0.19b**	2.94 ± 0.23	0.31	0.08
白桦	162.04 ± 6.85f**	53.51 ± 4.91e**	8.14 ± 0.34d**	2.69 ± 0.25	0.01	0.00
山杨	1768.83 ± 1.44e**	591.75 ± 55.31d**	8.49 ± 0.01c**	2.84 ± 0.27	0.06	0.02
云杉	8228.14 ± 43.99b**	19,547.64 ± 277.46a**	14.48 ± 0.08a**	3.44 ± 0.49	0.26	0.64

注: * : $P < 0.05$, ** : $P < 0.001$ 同列不同小写字母表示差异显著。

4.3. 不同植被固土保肥价值与植被面积、土壤养分相关分析

采用 Pearson 相关分析, 分析植被的面积、土壤养分与其固土保肥价值与之间的相关性。植被面积与调节水量、调节水价值、净化水价值、固土价值有显著性差异($P < 0.05$)。植被土壤氮、钾、有机质含量与其保肥价值、单位面积保肥价值有显著正相关关系。植被单位面积固土价值仅与其氮磷含量显著正相关(表 5)。

Table 5. Correlation coefficients of soil fixation and fertility values with area and soil nutrient of different vegetations

表 5. 不同植被固土、保肥价值与其面积、土壤养分相关系数

	调节 水量	调节水 价值	净化水 价值	单位面积 调节水量	单位面积 调节水价值	单位面积 净化水价值	固土 价值	保肥 价值	单位面积 固土价值	单位面积 保肥价值
面积	0.88*	0.88*	0.88*	-0.25	-0.25	-0.25	0.85*	0.34	0.12	0.13
磷含量	0.23	0.23	0.23	0.69	0.69	0.69	0.31	0.71	0.82*	0.77
氮含量	0.14	0.14	0.14	0.33	0.33	0.33	0.37	0.87*	0.87*	0.95**
钾含量	0.40	0.40	0.40	0.28	0.28	0.28	0.48	0.94**	0.63	0.89*
有机质含量	0.19	0.19	0.19	0.08	0.08	0.08	0.43	0.97**	0.74	1.00**

注: * : 在 0.05 层面有显著差异(双尾); ** : 在 0.01 层面有显著差异(双尾)。

5. 讨论

基于以往的研究, 学者采用室内浸水法、烘干法、环刀法[12][13]等方法, 应用系统论和水分平衡原理、灰色关联分析法[14]、层次分析法[15]、主成分分析法[16]、TOPSIS 法[17]以及定量分析和综合评价等方法[18], 对森林中不同植被类型的水源涵养功能进行研究, 不约而同的得出阔叶林和针阔混交林水源涵养能力好于针叶林的结论。本研究中单位面积油松调节/净化水价值量最高, 白桦、山杨与其无显著差异, 云杉次之, 这与前人的研究结果相符。但研究区不同植被涵养水源价值量针叶林高于阔叶林、针阔混交林, 这主要是由于不同植被类型调节水量与其面积显著正相关, 面积越大的森林类型, 其水源涵养量也越大, 相对的贡献率也越大[19], 研究区油松、云杉的面积显著高于其他植被。此外, 研究区不同植

被土壤产生径流量不同,这与不同植被土壤蓄水能力[20]、土壤基岩岩性本身的特点、土层厚度[19]、坡位等立地因子、以及树种本身的特点[21]等存在一定的关系,有待进一步的研究。

土壤养分含量和土壤结构对植物的生长至关重要[22]。不同植被的固土价值与其面积显著正相关,本研究中,其他灌木固土价值低于油松和云杉,主要是由于其土壤侵蚀量大的原因;油松固土价值高于云杉高于其他植被,主要是由于其面积大于其他植被。云杉的保肥价值高于其他植被,这与孙颖等的研究结果保持一致[23],但与魏冬等人的研究结果不同[24]。相关分析的结果表明,不同植被保肥价值量的大小与其土壤中氮、钾、有机质的含量有关,本研究中云杉林地土壤中氮、钾、有机质含量高于其他植被,因此其保肥价值相对较高。

6. 结论

通过与研究区不同植被水源涵养及保育土壤价值的评估,得出以下结论:

1) 研究区不同植被调节水量与其面积显著正相关,不同植被调节水量有极显著差异($P < 0.01$),其对研究区森林调节水量贡献率为油松 > 其他灌木 > 云杉 > 山杨 > 柠条 > 白桦。不同植被单位调节/净化水价值有极显著差异($P < 0.01$),其大小关系为油松 > 山杨 > 白桦 > 云杉 > 其他灌木 > 柠条。

2) 研究区不同植被固土价值与其面积显著正相关,不同植被固土价值有极显著差异($P < 0.01$),其对固土价值为油松 > 云杉 > 其他灌木 > 柠条 > 山杨 > 白桦。不同植被单位面积固土价值有极显著差异($P < 0.01$),其大小关系为云杉 > 油松 > 山杨 > 白桦 > 其他灌木 > 柠条。

3) 研究区不同植被保肥价值与其土壤中氮、钾、有机质含量显著正相关,不同植被保肥价值有极显著差异($P < 0.01$),其保肥价值为云杉 > 其他灌木 > 油松 > 山杨 > 白桦 > 柠条。不同植被单位面积保肥价值无显著差异($P > 0.05$)。

基金项目

横向课题“罗山国家级自然保护区生态系统服务价值评估”资助。

参考文献

- [1] 鲁绍伟, 靳芳, 余新晓, 等. 中国森林生态系统水源涵养功能[J]. 水土保持研究, 2005, 12(4): 223-226.
- [2] 王伟, 陆健健. 生态系统服务功能分类与价值评估探讨[J]. 生态学杂志, 2005, 24(11): 1314-1316.
- [3] 王晓学, 沈会涛, 李叙勇, 等. 森林水源涵养功能的多尺度内涵、过程及计量方法[J]. 生态学报, 2013, 33(4): 1019-1030.
- [4] 张引, 张楠, 梁文俊, 郭宾良. 接坝地区 6 种典型华北落叶松林分类型水源涵养功能[J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版), 2019, 40(2): 26-31.
- [5] 姜文来. 森林汉阳水源的价值核算研究[J]. 水土保持学报, 2003, 17(2): 34-40.
- [6] 王顺利, 刘贤德, 王建宏, 等. 甘肃省森林生态系统保育土壤功能及其价值评估[J]. 水土保持学报, 2011, 25(5): 35-39.
- [7] 施兴文, 刘超, 秦伟春, 曹兵. 宁夏罗山国家级自然保护区野生观赏植物资源调查与分析[J]. 黑龙江农业科学, 2016(4): 93-97.
- [8] 张占强, 杨雪霞, 杨艳华. 宁夏罗山自然保护区野生动物资源保护现状及对策[J]. 安徽农学通报, 2009, 3(15): 49-51.
- [9] 曹兵, 李小伟, 李涛, 等. 宁夏罗山维管植物[M]. 银川: 阳光出版社, 2001.
- [10] 秦伟春. 宁夏罗山国家级自然保护区兽类区系和生态分布研究[J]. 宁夏林业通讯, 2014(4): 31-36.
- [11] 鲍士旦. 土壤农化分析(第三版)[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [12] 李阳, 万福绪. 黄浦江中游 5 种典型林分枯落物和土壤水源涵养能力研究[J]. 水土保持学报, 2019, 33(2): 264-271.

- [13] 陈琦, 刘苑秋, 刘士余, 等. 杉木取代阔叶林后林下水源涵养功能差异评价[J]. 水土保持学报, 2019, 33(2): 244-250.
- [14] 蒋文伟, 姜志林, 余树全, 等. 安吉主要森林类型水源涵养功能的分析与评价[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2002, 26(4): 71-74.
- [15] 刘学全, 唐万鹏, 崔鸿侠. 丹江口库区主要植被类型水源涵养功能综合评价[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2009, 33(1): 59-63.
- [16] 高岗, 琴富仓, 姚云峰, 等. 农牧交错带小流域防护林水源涵养功能研究[J]. 干旱区资源与环境, 2009, 23(8): 180-185.
- [17] 莫菲, 李旭勇, 何淑霞, 等. 东灵山林区不同森林植被水源涵养功能评价[J]. 生态学报, 2011, 31(17): 5009-5016.
- [18] 丁绍兰, 杨乔媚, 赵串串, 等. 黄土丘陵区不同林分类型枯落物层及其林下土壤持水能力研究[J]. 水土保持学报, 2009, 23(5): 104-108.
- [19] 罗毓融, 杨青. 不同喀斯特岩性区森林生态系统水源涵养功能分析[J]. 贵州科学, 2019, 37(1): 54-59.
- [20] 王勇, 杨瑞, 瞿爽, 等. 楠杆自然保护区不同植被类型土壤物理特性及涵养水源功能分析[J]. 水土保持研究, 2018, 25(6): 183-188.
- [21] 王正安. 六盘山叠叠沟小流域不同坡位华北落叶松人工林生态水文功能研究[D]: [硕士学位论文]. 兰州: 甘肃农业大学, 2018.
- [22] 唐铭灿. 湘中丘陵区 3 种林分保水保肥功能及其价值评估[D]: [硕士论文]. 长沙: 中南林业科技大学, 2016.
- [23] 孙颖, 王得, 张浩. 宁夏森林生态系统服务功能的价值研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2009, 37(12): 91-97.
- [24] 魏冬, 杨阳, 倪细炉, 等. 区域森林生态系统服务功能评估——以宁夏回族自治区为例[J]. 西北林学院学报, 2018, 33(3): 278-284.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网首页: <http://cnki.net/>, 点击页面中“外文资源总库 CNKI SCHOLAR”, 跳转至: <http://scholar.cnki.net/new>, 搜索框内直接输入文章标题, 即可查询;
或点击“高级检索”, 下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2169-2432, 即可查询。
2. 通过知网首页 <http://cnki.net/>顶部“旧版入口”进入知网旧版: <http://www.cnki.net/old/>, 左侧选择“国际文献总库”进入, 搜索框直接输入文章标题, 即可查询。

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: wjf@hanspub.org