

黄土丘陵区植被恢复与流域养分环境演变研究进展

赵护兵^{1,2}, 刘国彬², 许明祥²

(1. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100; 2 中国科学院水利部 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

摘 要: 针对在陕北黄土丘陵沟壑区实施的植被恢复及不同土地利用类型调整的政策, 在小区和流域尺度上, 就植被恢复对流域水土流失、养分流失、养分循环平衡影响方面的国内外研究概况进行了综述。指出植被恢复可减少流域水土流失和养分流失, 使流域养分循环平衡能力加强, 向良性循环方向发展, 同时指出了在这方面需进一步研究的问题。

关键词: 植被恢复; 流域; 水土流失; 养分流失; 养分循环平衡

文献标识码: A **文章编号:** 1000—288X (2004) 02—0072—04 **中图分类号:** S157. 433; Q 948. 15

Review on Vegetation Restoration on Nutrient Changes in Watershed of Loess Hilly Region

ZHAO Hu-bing^{1,2}, LIU Guo-bin², XU Ming-xiang²

(1. College of Resources and Environment, Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling 712100, Shaanxi Province, China; 2 Institute of Soil and Water Conservation,

Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling 712100, Shaanxi Province, China)

Abstract: According to the policy of vegetation restoration and different land use type adjustment in loess hilly region, vegetation restoration affecting the soil erosion, nutrient discharge and nutrient cycling and balance of watershed are reviewed on field plot and watershed. It is pointed out that vegetation restoration can reduce soil erosion and nutrient discharge, strengthen the ability of watershed nutrient cycling and balance, make the watershed nutrient cycling and balance develop to a health way on the watershed. Several issues should be deeply researched in the this area.

Keywords: vegetation restoration; watershed; soil erosion; nutrient discharge; nutrient cycling and balance

水土流失是世界上的主要灾害之一, 它破坏土地资源, 使大量表层肥沃土壤随降雨流失掉, 表土流失导致土壤性状遭到破坏, 肥力降低, 土地生产力下降。同时流失的泥沙会毁坏农田与农业生产设施, 淤积河道, 恶化生态环境。在当今水土流失已经严重威胁着人类的生存和发展, 成为各国普遍关注的问题。黄土高原丘陵区沟壑纵横, 梁峁坡地分布广泛, 表层土壤结构疏松易蚀, 水土流失十分严重。据史料记载, 在秦汉前期, 黄土高原还是植被茂密的森林, 植被破坏不严重, 人为加速侵蚀和养分流失也就很轻微。在秦汉时期, 由于人口数量的增加人们开始对该区的森林进行砍伐破坏, 此后这种乱砍滥伐风气愈演愈烈, 到 1949—1985 年间由于人口数量的骤增人们对黄土高原进行了前所未有的破坏^[1], 此时黄土高原变得沟壑

纵横, 水土流失和养分流失令人触目惊心, 人为加速侵蚀和养分流失达到极点。

植树种草恢复植被可以涵养水源改良土壤, 增加地面覆盖防止水蚀及风蚀进而减少土壤养分流失。改善植被是水土流失治理的根本措施。由于植被覆盖面积大, 生存时间长, 可以在较大范围内长期起作用。所以植被保持水土的机理、功能历来是水土保持研究的一项重要内容。植被减蚀作用表现为 5 个方面: (1) 植被茎叶对降雨雨滴动能的消减作用; (2) 对降雨的截流作用; (3) 植物茎及枯枝落叶对径流流速的减缓作用; (4) 植物根系对提高土壤抗冲抗蚀性的作用; (5) 改良土壤结构, 增加水分入渗。侵蚀是土壤养分流失的主要方式, 植被同时通过减少侵蚀而对养分保蓄产生影响。

收稿日期: 2003-09-03 修回日期: 2003-12-30

资助项目: 中国科学院知识创新项目 (KZCX1—06); 国家重点基础研究发展规划项目 (G2000018606); 国家“十五”科技攻关项目 (2001BA 508B 17)

作者简介: 赵护兵 (1974—), 男 (汉族), 陕西乾县人, 助理研究员, 在读硕士, 主要从事植物营养及流域养分管理研究。电话 (029) 87088741。

在流域范围内进行植被恢复,不但可以改善流域生态环境,而且对整个流域内因水土流失而产生的养分演变影响深远。本文就该研究领域国内外研究动态和进展进行分析,对其中有关问题进行探讨。

1 植被恢复与流域水土流失的作用

植被盖度对防止侵蚀有着重要作用。在澳大利亚, R. D. Lang 和 I. A. H. Mccaffrey 的试验资料表明: 土壤流失速率在地表覆盖度不足 50% 的地方比土壤形成的速率大的多, 而在地表覆盖为 75% 以上的地方土壤流失的速率比土壤形成的速率要小; 土壤流失和形成相平衡的地表覆盖应在 50% ~ 75% 之间。侯喜禄分析有关黄土丘陵区林地资料表明, 林分保持水土有效盖度为 60%, 在此值以上林分减少土壤侵蚀量的作用大且趋于稳定。这一结论, 得到了较多学者的认可。蔡强国等人的试验资料表明^[2], 植被覆盖度在防止土壤侵蚀与溅蚀产沙过程中有着重要的作用。当覆盖度不变, 覆盖高度越大, 溅蚀作用亦随之增强。并得到一个反映溅蚀率 (Y) 与覆盖度 (V)、覆盖高度 (H) 之间的二元多项式回归模型:

$$Y = 17.08 - 37.86V + 20.59V^2 + 0.78H + 2.38VH \quad (r = 0.994, n = 28)$$

就植被类型而言, 不同植被类型对水土流失影响很大。张兴昌等利用 5~6a 野外径流小区资料, 研究了安塞县纸坊沟流域山坡地作物、草地、草粮间作和草灌间作不同植被类型覆盖对土壤侵蚀的影响, 结果发现, 作物、草地、草粮间作和草灌间作不同植被类型覆盖在年平均径流量和年平均侵蚀量比相应撂荒依次有不同程度的减少^[3]。一般而言, 农田比林地、草地的土壤侵蚀量大, 特别是在陡坡条件下, 情况更是如此^[4]。在安塞试区, 林草地与坡耕地相比, 一般可以减少侵蚀量 60% 以上, 减少径流量 50% 以上, 有些可以高达 99% 以上^[5]。其中植被覆盖度对坡面土壤侵蚀量的影响最大, 有植被覆盖的农田比没有植被覆盖的农田, 水土流失的速率会减少 10~102 倍^[6]。

由于坡耕地、林地和草地等不同植被类型的土壤侵蚀方式和强度不同, 所以不同植被类型会影响水土流失的变化。Rai 和 Shama 在 Sikkim Himalaya 的 Mamlay 农业集水区的研究表明, 在由传统农田、休闲地、森林和复合农林生态系统组成的集水区中, 传统农田对整个集水区的径流贡献为 81%, 侵蚀土壤的贡献为 97%。传统农田、休闲地、小豆蔻复合农林生态系统和温带森林的土壤侵蚀率分别为 47.70, 4.30, 3.00, 0.60 t/(km²·a)^[7]。孟庆华在黄土丘陵坡面小区尺度上, 研究了不同植被类型与水土流失的

发生方式和流失数量的关系。结果表明, 在坡度、坡长、小区面积、降雨量和降雨强度相同的条件下, 6 种植物类型径流量和泥沙量的变化趋势为: 农田 > 油松幼林 > 荒地 > 林地 > 幼年沙棘 > 成年沙棘。农田退耕可以显著降低径流量和泥沙量。除成年沙棘外, 其余 5 种植物类型的径流量与泥沙量关系明显, 径流量的多少决定泥沙量的高低^[8]。

Ludwig 等在 4 种不同景观结构中的研究表明, 景观中的灌丛斑块对景观功能有重要影响。没有灌丛斑块的景观其径流损失比有斑块的景观多 25%。条纹状和线状灌丛镶嵌格局比点状灌丛镶嵌格局截获径流能力高 8%, 且使生产力提高 10%^[9]。

孙立达等的研究表明, 在一个流域内, 当林草面积比例从零增加到 30% 时, 在小于等于 10 km² 的流域内, 水土流失可减少 65~70%; 在大于 10 km² 小于 50 km² 的流域内, 水土流失平均可以减少 87.30%^[10]。

以上研究表明, 植被能显著降低水土流失, 且不同植被类型对水土流失减少的程度不同。在陕北黄土丘陵沟壑区流域内进行植被恢复措施, 对不同土地利用类型进行调整, 由于林草植被的减蚀作用, 这必将使流域的水土流失得到有效遏制。

2 植被恢复与流域养分流失关系研究

水土的流失伴随着养分的流失, 水土流失的过程也是土壤表层养分流失的过程。随水土流失而流出农田汇入河流、湖泊等水体的养分, 从农业角度讲, 属于养分流失和土地生产力下降, 是一种经济损失; 从环境角度讲, 属于水环境的非点源污染。

Follett 和 Stewart 估计, 美国每年从农林牧用地上侵蚀掉的 2.70 × 10⁹ t 泥沙中, N, P, K 的总量为 3.80 × 10⁷ t。为恢复因水土流失而损失的土壤养分, 每 1 hm² 农田的花费是 100 美元^[11]。我国每年流失的 N, P, K 总量接近 1.00 × 10⁹ t, 黄河流域每年流失泥沙所携带的 N, P, K 总量高达 4.00 × 10⁷ t^[12], 陕北黄土丘陵沟壑区每年的土壤养分流失量折合化肥为 2.250 kg/hm², 坡耕地的养分损失相当于当年化肥投入量的 17.90 倍^[13]。

目前, 国内外学者虽然对于不同的耕作方式、施肥方式和灌溉措施下养分流失进行了许多研究, 但是很少有人研究在一个流域内不同植被类型以及由不同植被类型而导致的不同耕作方式和施肥方式等条件下养分流失状况差异情况。如果不能比较一个流域内不同植被类型的养分流失状况, 那么在流域综合治理过程中就不能选择合适的植被类型, 所以治理措施

就不能很好地起作用^[14]。

研究发现,在农田利用方式中,侵蚀泥沙是养分的主要载体,且农田养分流失的主要原因是施用肥料,施肥到发生暴雨的间隔时间越短,养分流失量越大。在林地、草地和没有土壤侵蚀发生的土地利用方式中,地表径流是养分流失的主要载体之一。

张兴昌等利用 5~6 a 的野外径流小区资料,研究了陕北安塞县纸坊沟流域和沿河湾镇茶坊村后山坡地作物、草地、草粮间作和草灌间作不同植被类型覆盖氮素流失的影响,研究发现,作物、草地、草粮间作和草灌间作不同植被类型覆盖在土壤氮素流失量上比相应撂荒依次有不同程度的减少,泥沙全氮富集率有不同程度的增加,且不同侵蚀形态养分流失的形态不同^[3]。

在黄土丘陵沟壑区的研究表明,坡地土壤有机质及速效氮、磷、钾养分的流失强度与坡长呈指数函数关系 ($N_t = a_1 \exp(b_1 x)$, $a_1 > 0$, $b_1 > 0$),养分流失强度随坡长的增加呈指数增加趋势;坡地土壤有机质的流失强度与坡度呈指数函数关系 ($N_s = a_2 \exp(b_2 x)$, $a_2 > 0$, $b_2 > 0$)^[15]。孟庆华和杨林章在三峡库区对不同地形因素及植被类型养分流失结果表明,坡地农田的养分流失量 > 梯田农田 > 梯田果园 > 坡地果园^[16]。

孟庆华在黄土丘陵坡面小区尺度上,研究了不同植被类型和养分流失的关系。他的研究表明,不同植被类型不但影响氮素和磷素的流失方式,而且还影响它们流失的总量。农田、荒地、油松幼林、林地和幼年沙棘氮素和磷素流失的主要载体是侵蚀泥沙,成年沙棘的则是径流。农田流失的氮素和磷素最多;农田退耕可以显著地降低氮素和磷素的流失量,荒地和油松幼林流失大量的氮素和磷素,林地,幼年沙棘和成年沙棘可以明显地降低氮素和磷素淋失量。通过退耕还林还草,改变土地利用方式可以减少水土流失和养分流失^[17]。

王国梁等研究发现,纸坊沟流域经过 20 a 的封山育林和人工植被恢复,流域内的植物群落对土壤养分产生明显影响。在植被作用下,土壤全氮、水解氮、全磷、水解磷以及有机质向土壤上层富集,且不同植被对土壤养分的影响不同^[18]。

Zhang Ganlin 等研究了中国亚热带山地一个典型流域的养分流失情况,其研究结果发现,流域径流量受降雨量的影响,但整个流域径流系数却和流域植被类型和流域大小有关,流域内不同植被类型的单位面积平均养分流失量有很大的差别,其中农田养分流失量最大^[19]。

总而言之,植被通过影响水土流失进而影响养分

的流失,不同植被类型对养分流失的影响不同,且养分流失(保蓄)的类型、形态也不相同,和流域的研究放在一起,在流域范围内进行植被恢复以及不同土地利用类型调整,必然减少流域的养分流失量。

3 植被恢复与流域养分循环与平衡

早在 20 世纪初,人们就从植物营养生理的角度开始了营养物质循环平衡的研究^[20]。1955 年 A llison 将系统和整体的观点引入生态系统物质循环的研究后^[21],农业生态系统养分循环成为世界各国生态学家、土壤学家、营养学家、农学家等所关注的研究热点。1976 年在荷兰 Amsterdam 首次召开了农田生态系统中矿质营养元素循环的国际会议,会上发表了 65 个国家和地区不同类型农业生态系统养分循环平衡的研究成果^[22]。

20 世纪 60 年代中期,Bo mann 和 L iken 发现具有一定条件的小型集水区是在田间进行生物地球化学循环研究的理想场所,从而使这项研究工作从室内转向大自然^[23]。集水区是具有明显系统边界——分水岭的,它是包括陆地和水体 2 类系统相互作用的小型生态系统,其优点是便于控制、监测,可获得水分平衡和矿质养分循环的大部分资料。1969 年 Bo mann 和 L iken 对美国赫巴德河的集水区进行了养分和水分循环的系统分析。Hallberg 运用这种流域测定养分变化的工作方法,在委内瑞拉 M antecall 附近的热带稀树草原上布置了一个流域面积为 20 000 km² 的堤坝系统模型。我国类似的工作有何园球(1988)、李昌华(1981)、龚子同(1985)等分别在海南岛吊罗山、江西梅林、海南岛尖峰岭、湖南会同和广西南宁等地进行的研究。

类似农田生态系统,通常一个小流域内养分循环和平衡受输入和输出因子的影响(图 1)。养分的输入主要是养分随化肥、有机肥、沉降作用及生物固氮等进入流域;养分的输出主要通过侵蚀、作物的收获、残留物的移走、养分的淋溶及挥发等途径移出流域。在黄土丘陵沟壑区由于水土流失严重,养分随径流的流失在所有养分的输出途径中占主导地位。



图 1 养分循环过程中控制养分平衡的因素

从一个封闭的循环系统中移走一些子项要么就会使循环能力削弱, 要么就需要一些相应的补偿以维持系统的能量, 在养分循环系统中也是如此^[24]。一般, 当养分的输入多于输出时, 养分的平衡表现为正值。这表明土壤养分的积累和土壤肥力水平的提高。另一方面, 当养分的输出多于输入时, 养分平衡就表现为负值, 表明土壤养分在减少、土壤肥力水平在下降。流域做为一个封闭的循环系统, 它的养分循环也遵循上面规律。研究流域植被恢复过程中不同植被类型及整个流域养分的循环平衡能反映出通过综合治理措施后整个流域的养分循环平衡现状及土壤肥力变化情况。

由于流域在植被恢复、不同土地利用类型调整过程中, 水土流失得到遏制, 养分流失量有所减少, 所以流域的养分循环平衡能力必然得到加强, 流域养分的循环平衡会随植被恢复朝健康的方向发展。

4 结 语

针对流域植被恢复对流域水土流失、养分流失以及养分循环平衡影响的国内外研究现状, 在今后研究中, 需要对以下 4 个问题进行深入研究: (1) 流域土地利用结构调整与土地生产力和养分平衡的关系; (2) 流域植被恢复与养分流失形态的研究; (3) 植被恢复对流域养分循环与平衡的评价; (4) 生态恢复的养分环境效应。

[参 考 文 献]

- [1] 蒋定生, 等. 黄土高原水土流失与治理模式[M]. 中国水利水电出版社, 1997.
- [2] 王晗生, 刘国彬. 植被结构及其防止土壤侵蚀作用分析[J]. 干旱区资源与环境, 1999, 13(2): 62—68
- [3] 张兴昌. 水蚀条件下土壤氮素流失机理及影响因子[D]. 西北农业大学 1999 届博士毕业论文, 1999 52—62
- [4] 周佩华, 等. 黄土高原土壤侵蚀特点与植被对土壤侵蚀影响的研究[J]. 水土保持通报, 1993, 13(1): 29—34
- [5] 杨文治, 余存祖. 黄土高原区域治理与评价[M]. 北京: 科学出版社, 1992
- [6] Pimentel et al. Deforestation: interdependency of fuelwood and agriculture[J]. *Oikos*, 1986, 46: 404—412
- [7] Rai S C Shama E. Hydrology and nutrient flux in an agrarian watershed of the Sikkim Himalaya[J]. *Journal of Soil and Water Cons* 1998, 53(2): 125—132
- [8] 孟庆华. 黄土丘陵坡面土地利用与水土流失研究[D]. 中国科学院研究生院博士毕业论文, 2002 35—42
- [9] Ludwig J A, Tongway D J, Marsden S G. Stripes, strands or stipples: modeling the influence of three landscape banding patterns on resource capture and productivity in semi-arid woodlands [J]. *Australia Catena*, 1999, 37: 257—273
- [10] 孙立达, 孙保平, 等. 西吉县黄土丘陵沟壑区小流域土壤侵蚀量预报[J]. *自然资源学报*, 1988, 3(20): 141—153
- [11] Pimentel D, Harvey C, Resosudamo P, et al. Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits [J]. *Science* 1995a 267: 1117—1123
- [12] 柳长顺, 等. 土地利用变化与土壤侵蚀关系的研究进展[J]. *水土保持学报*, 2001, 15(5): 10—13
- [13] 张兴昌, 卢宗凡. 农作物水土保持效益的数值化综合评价[J]. 1996, 7(2): 51—56
- [14] Sharply A N, Tunney H. Phosphorus research strategies to meet agricultural and environmental challenges of the 21 century [J]. *J. Environ. Qual*, 2000, 29: 176—181.
- [15] 王百群, 刘国彬. 黄土丘陵沟壑区地形对坡地土壤养分流失的影响[J]. *土壤侵蚀与水土保持学报*, 1999, 5(2): 18—22
- [16] 孟庆华, 杨林章. 三峡库区不同土地利用方式的养分流失研究[J]. *生态学报*, 2000, 20(6): 1028—1033
- [17] 王国梁, 刘国彬, 许明祥. 黄土丘陵区纸坊沟流域植被恢复的土壤养分效应[J]. *水土保持通报*, 2002, 22(1): 1—5
- [18] 孟庆华. 黄土丘陵坡面土地利用与水土流失研究[D]. 中国科学院研究生院博士毕业论文, 2002 63—98
- [19] Zhang Ganlin, Yang Jinling, Zhao Yugao. Nutrient discharges from a typical watershed in the hilly area of subtropical China [J]. *Pedosphere* 2003, 13(1): 23—30
- [20] 卢兵友. 农业生态系统氮磷循环研究概况[J]. *山东农业大学学报*, 1992, 23(4): 457—460
- [21] Allison F E. The enigma of soil N balance sheets [J]. *Adv. Agron.*, 1955, 7: 213—250
- [22] Frissel M J. Cycling of mineral nutrients in agricultural ecosystem [M]. Elsevier scientific pub company. 1976 7—16, 277—316
- [23] Hallberg R. Annual budgets of some elements in a flooded savanna in environment biogeo-chemistry, Academic press Inc New York 1983
- [24] 周健民. 农田养分平衡与管理[M]. 河海大学出版社, 2002