

# 泾河流域植被景观格局对流域径流的调节作用<sup>\*</sup>

索安宁, 于波, 王天明, 王辉, 葛剑平

(北京师范大学 生命科学院, 北京 100875)

**摘要:** 对黄土高原腹地泾河流域12个子流域植被景观格局和流域径流动态的关系进行了探讨。结果表明景观层次上植被的整体空间格局对流域径流动态有着如下调节作用: (1) 泾河流域4种植被景观类型中, 森林灌丛植被景观流域年径流量最大, 径流年内分配比较均匀, 但年际变化很大; 其次为复合植被景观, 农业植被景观流域径流量较小, 且主要集中在汛期; 草地植被景观流域径流极小, 主要发生在汛期的7~8月份, 年际变化比较小。(2) 在主要植被景观指数中, 景观破碎度、景观多样性与流域径流正相关, 景观聚集度、景观优势度与流域径流负相关, 景观形状与流域径流相关不显著。(3) 结构复杂的植被景观对流域径流具有较好的调洪补枯作用。随着景观破碎度和景观多样性的增大, 流域径流年内分配趋于均衡; 而随景观聚集度的增大, 流域径流年内分配则趋向集中, 景观形状对流域径流调节作用不明显。(4) 多样性高的植被景观可降低极端径流出现, 维持流域生态系统的稳定性。

**关键词:** 植被景观; 流域; 径流; 黄土高原

中图分类号: S715.3

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2005)04-0040-04

## Regulation of Vegetation Landscape Pattern on Runoff in Watershed of Loess Plateau

SUO An-ning, YU Bo, WANG Tian-ming, WANG Hui, GE Jian-ping

(College of Life Science, Beijing Normal University, Beijing 100875)

**Abstract:** The landscape pattern is indicator of the regional climate and many other factors, and it also has significant effect on runoff. The vegetation landscape pattern and runoff in Jinghe river basin on the Loess Plateau was studied in this paper, the result showed as follow: Average runoff and its yearly variation increased with the vegetation landscape structure turned to complex and landscape diversity enlarged. Compared with grass landscape watershed, runoff of forest and shrub watersheds was bigger and more uniform, while that of compound landscape watersheds was inferior. The landscape contagion index and dominant index related to runoff positively, while the landscape diversity index and the landscape patchiness index related to runoff negatively, and the landscape shape index did not relate to watershed runoff. The annual variation of runoff turned to uniform with the landscape patchiness index and landscape diversity index increased, and it turned to extreme with the landscape contagion index and landscape dominant index increased, and it did not relate to landscape shape index. The extreme runoff (very big or very small) of watershed decreased with the landscape diversity increasing.

**Key words:** vegetation landscape; watershed; runoff; Loess Plateau

景观生态学是研究景观单元的类型组成、空间配置及其与生态学过程相互作用的综合性学科, 强调空间格局和生态过程之间的相互作用是景观生态学研究的核心所在<sup>[1]</sup>。黄土高原植被的蓄水保土、截留降水、拦截泥沙等方面的作用已被大量的研究成果所证实<sup>[2-3]</sup>。但更多的研究集中于单一植被类型对流域降水的截留转换、河川径流的调洪补枯和水土保持方面<sup>[4-5]</sup>, 这种在单一植被类型上得出的植被水文效应结论, 很难上推到流域尺度上各种植被类型形成的复合景观的生态水文效应<sup>[6]</sup>。本文选择位于黄土高原腹地泾河流域不同植被景观格局的12个子流域, 着重从景观生态角度来分析不同流域的植被空间整体分布格局与流域径流动态之间的关系, 以期揭示景观层次上植被的空间格局对流域径流的调亏作用, 为黄土高原植被重建和流域水环境演变研究提供科学依据。

## 1 研究地区与方法

### 1.1 研究地区概况

泾河流域位于黄土高原中部, 106°20' ~ 108°48' E, 34°24' ~ 37°20' N, 处于六盘山和子午岭之间, 流域绝大

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2004-11-10

基金项目: 国家重大基础研究规划项目(2002CB111507)和教育部科学技术研究重点项目(NO01016)资助

作者简介: 索安宁, 男, 生于1977年, 博士研究生。研究方向为植物生态学、景观生态学。E-mail: san720@sina.com

部分属于陇东黄土高原。泾河发源于宁夏回族自治区泾源县关山东麓,由西北向东南流经宁夏、甘肃、陕西3省区的固原、平凉、庆阳和咸阳等地市,在陕西省高陵县注入渭河,泾河全长483 km,流域面积45 421 km<sup>2</sup>,为渭河的一级支流,黄河的二级支流。流域内地形西北高、东南低,总体地势是东北西三面向东南倾斜,泾河及各级支流均深切于梁、塬、峁和黄土沟壑镶嵌的黄土地貌景观中。

流域黄土层深厚,一般在50~ 80 m 不等,部分黄土残塬黄土厚达100 m 以上。土壤为典型的黄棉土和黑垆土,结构疏松,极易塌陷、流失。植被为温带森林草原过渡类型,流域北部为典型温带草原,由于开发历史早,植被覆盖受人类活动破坏大,退化荒草地占流域面积的很大部分。

流域气候为典型的温带大陆性气候,处于温带半湿润向半干旱气候的过渡地带。据流域各气象站点多年观测资料,流域多年平均气温8 ,最冷月平均气温- 8~ - 10 ,最热月平均温度22~ 24 ,年降水量在350~ 600 mm 之间,主要集中于夏季,夏季降水量一般占到年降水量的50% 以上,且降水强度大,年际变化也大。

1.2 研究方法

1.2.1 植被数据的来源与处理 本文以全球土地利用数据库(Global Land Cover Facility, GLCF)提供的MOD IS5000m 32- day 影像数据为基本研究材料,影像数据为2001~ 2003年共33期。用MOD IS 影像的1,2波段合成植被指数NDV I<sup>[7]</sup>,并将33期NDV I 取平均值NDV Iavg。将平均植被指数NDV Iavg 导入 ERDAS M GNE8.6中,根据野外实地调查和相关资料报道<sup>[8]</sup>,将泾河流域植被覆盖划分为7种主要类型,其分别为森林、疏林、郁闭灌丛、稀疏灌丛、草地、农田、退化草地。结合野外调查资料和GPS 定点对NDV Iavg 进行监督分类,获得泾河流域植被景观图,并以GPS 所定的120个点进行分类结果进行检验,准确率为68.33%。

1.2.2 景观特征指数 采用景观破碎度、景观形状指数、景观聚集度来反映斑块的空间分布特征;采用景观丰富度、多样性、优势度来反映植被景观的整体格局特征,各景观指数的计算方法见参考文献[1]。分析采用景观分析软件Fragstats 完成。

1.2.3 流域径流指标构建 各个子流域的径流量采用黄河水利委员会水文局提供的1960~ 2003年43年的泾河流域水文资料为基础,子流域下游出水口处有长期水文观测资料的,其流域径流量以该水文站观测径流量为准,流域下游水文站与上游一个或多个水文站之间的区域,用下游水文站点的观测径流量减去同期上游水文站点观测径流量的结果作为该区域的径流量。流域径流指标主要采用以下4个指标:(1)径流深度:子流域单位面积多年平均产流深度;(2)径流变率:河流断面年径流量的多年离差;(3)最大径流指数:河流断面多年平均最大月径流量与年平均月径流量的比值;(4)最小径流指数:河流断面多年平均最小月径流量与年平均月径流量的比值;(5)径流极端变化:河流断面多年平均年最大日径流量与最小日径流量的比值。其中,径流深度反映了流域单位面积的产流量,径流变率反映了流域径流的稳定程度,最大径流指数和最小径流指数反映了流域径流年内分配的均匀程度,径流极端指数反映了流域径流多年平均极端变化。

2 结果与分析

表1 泾河流域各子流域植被景观格局数量特征

|                 | 斑块数 | 斑块破碎度  | 形状指数   | 聚集度    | 多样性   | 丰富度 | 优势度   | 优势类型 |
|-----------------|-----|--------|--------|--------|-------|-----|-------|------|
| 2.1 各子流域的植被景观格局 |     |        |        |        |       |     |       |      |
| 环江上游            | 435 | 0.0939 | 12.992 | 54.14  | 0.648 | 3   | 0.451 | 稀疏草地 |
| 环江下游            | 819 | 0.137  | 19.567 | 57.572 | 0.661 | 4   | 0.725 | 稀疏草地 |
| 东川              | 525 | 0.166  | 17.818 | 59.734 | 0.951 | 7   | 0.759 | 草地   |
| 合水川             | 693 | 0.282  | 20.476 | 38.531 | 1.625 | 7   | 0.321 | 森林   |
| 汭河              | 555 | 0.263  | 17.239 | 33.479 | 1.764 | 7   | 0.182 | 森林灌丛 |
| 泾河              | 890 | 0.332  | 22.850 | 28.496 | 1.808 | 7   | 0.138 | 森林灌丛 |
| 蒲河              | 765 | 0.189  | 19.773 | 57.572 | 1.076 | 6   | 0.716 | 草地   |
| 茹河              | 635 | 0.177  | 20.722 | 49.101 | 1.198 | 7   | 0.448 | 草地   |
| 洪河              | 493 | 0.272  | 17.456 | 39.233 | 1.447 | 7   | 0.499 | 农田   |
| 黑河              | 423 | 0.294  | 15.770 | 40.919 | 1.472 | 7   | 0.474 | 农田   |
| 达奚河             | 615 | 0.248  | 18.948 | 39.329 | 1.616 | 7   | 0.330 | 森林灌丛 |
| 三水河             | 621 | 0.193  | 17.497 | 43.777 | 1.551 | 7   | 0.395 | 森林灌丛 |

程度小,多呈集聚分布。流域东、西两边由子午岭和六盘山向中部黄土高原过渡的合水川、泾河和汭河子流域为森林灌丛植被景观,景观格局因地形复杂、相对高差大而表现出植被景观多样性高,优势度低且斑块破碎度大,聚集度低,形状相对复杂的特征。流域中部的蒲河、茹河、洪河子流域为农业植被景观区,其植被景观类型以农田、草地为主,优势度和多样性中等,由于人类活动原因,斑块相对比较破碎,形状指数小,且有集聚分布的特点。流域南部的黑河、达奚河和三水河子流域降水丰沛,地形复杂,植被景观优势度低,多样性比较高,优势植被不明显,斑块数量多,相对破碎,

为多种植被景观组成的复合植被景观。

2.2 不同植被景观类型下的流域径流动态

图1为泾河流域不同植被景观类型各月多年平均径流深的动态变化过程。可以看出,以草地植被景观为主的环江、东川子流域,年径流量很小,而且分配极不均匀,主要集中在汛期(6~10月的7、8月份占年径流量的60%以上);以农田植被景观为主的蒲河、茹河、洪河子流域,年径流量有所增加,但径流仍主要发生在汛期(汛期径流量占年径流量的70%以上);以复合植被景观为主的三水河、达奚河和黑河子流域年径流量增大,径流年内分配相对均匀,但还是明显集中于后半年;在山地森林灌丛植被景观为主的泾河、内河子流域,年径流深度较大,而以山地森林植被景观为主的合水川子流域年径流深度比较小,但是不管是大流域还是小流域,年径流量的动态变化都表现比较平稳,显示出森林对汛期径流有明显的拦截作用。对不同植被景观的子流域多年径流深度做离差分析(径流变率),发现山地森林灌丛植被景观的泾河、内河子流域径流多年变化最大,森林-灌丛-农田等组成的复合植被景观流域次之,而农业植被景观流域径流年际变化较小,草地植被景观流域多年径流变化最为平稳。

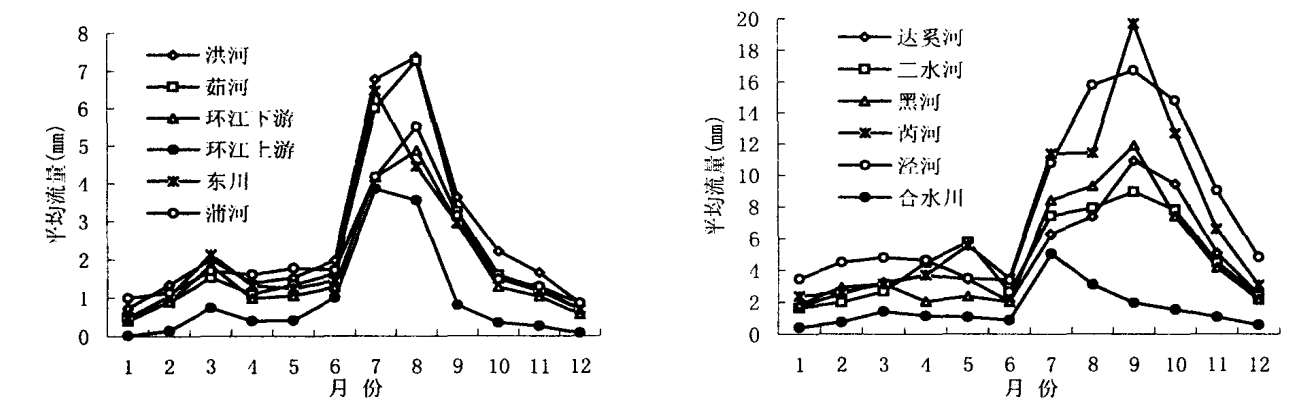


图1 不同植被景观格局流域年径流变化

2.3 植被景观格局与流域径流动态的关系

表2为5种景观格局指标与流域径流深度关系,表明流域径流越大,对应的植被景观多样性就越大,植被景观多样性与流域径流之间存在正相关关系,二者相关较为显著;景观优势度随流域径流增大而减小,二者呈负相关,而景观破碎度与流域径流也有较大的相关性,但是景观破碎度对流域径流的变化不是很敏感;景观聚集度与流域径流呈负相关,即径流越大的流域,景观聚集度越小,而景观斑块形状与流域径流极不相关,说明景观斑块形状与流域径流之间不存在必然联系。

表2 泾河流域景观指数与径流的相关分析

| 径流指标   | 景观指标    | 相关模型                       | R <sup>2</sup> |
|--------|---------|----------------------------|----------------|
| 径流深度   | 景观多样性指数 | $Y = 0.437 \ln(x) - 0.193$ | 0.552**        |
|        | 景观优势度指数 | $Y = 0.749 \exp(-0.0144x)$ | 0.597**        |
|        | 景观破碎度指数 | $Y = 0.081 \ln(x) - 0.061$ | 0.592**        |
|        | 景观聚集度指数 | $Y = 55.23 \exp(-0.005x)$  | 0.389*         |
| 最大径流系数 | 景观多样性指数 | $Y = 0.429 \ln(x) + 0.478$ | 0.441*         |
|        | 景观优势度指数 | $Y = 0.724 \exp(-0.063x)$  | 0.434*         |
|        | 景观破碎度指数 | $Y = 0.079 \ln(x) + 0.065$ | 0.464*         |
|        | 景观聚集度指数 | $Y = 53.63 \exp(-0.021x)$  | 0.240          |
| 最小径流系数 | 景观多样性指数 | $Y = 0.484 \ln(x) + 0.632$ | 0.406*         |
|        | 景观优势度指数 | $Y = 0.761 \exp(-0.125x)$  | 0.310*         |
|        | 景观破碎度指数 | $Y = 0.10 \ln(x) + 0.076$  | 0.542**        |
|        | 景观聚集度指数 | $Y = 60.57 \exp(-0.062x)$  | 0.380*         |
| 径流极端指数 | 景观多样性指数 | $Y = 1.498 \exp(-0.005x)$  | 0.689**        |
|        | 景观破碎度指数 | $Y = 0.253 \exp(-0.005x)$  | 0.425*         |

流域径流变率与植被景观格局之间表现出与景观多样性、破碎度成正相关,与景观聚集度、景观优势度呈负相关,与景观形状不相关的规律。可以看出,流域最大径流指数随斑块破碎度增大(植被景观破碎增大)而不断减小,而最小径流指数随斑块破碎度的增大略有增大,二者相关均较为显著,反映了破碎度大的植被景观对流域径流的调洪补枯作用;景观形状与流域最大径流指数不相关,与最小径流指数相关,但最小径流指数对斑块形状的变化很不敏感,最大径流指数随斑块聚集度的增大而增大,最小径流指数随景观聚集度的增大略有减小,说明各类植被斑块在空间上分布越均匀,其对汛期径流的拦截作用越大,对枯季径流也有一定的调补作用;景观多样性与最大径流指数呈负相关,与最小径流指数呈正相关,反映了多样性大的植被景观空间结构对流域径流年内分配有较好的调节作用。对不同植被景观多样性的流域径流极端指数比较发现,植被景观多样性最小的环江上游径流极端指数达48 849.61,多样性次之的环江下游为13 092.70,多样性最大的泾河子流域极端径流指数为4 815.91,植被景观多样性与流域径流极端指数相关显著( $R^2 = 0.689, P > 0.05$ )。

### 3 结果与讨论

在黄土高原, 除个别林区流域外, 植被稀少, 地面过渡裸露, 植被景观组成成分单纯, 植被对流域径流的调节作用微弱, 这些是众多小流域的共同特点。对泾河流域各个子流域的植被景观与流域径流特征的关系研究表明: (1) 森林灌丛植被景观流域年径流量最大, 其年内径流分配比较均匀; 其次为森林- 灌丛- 农田等组成的复合植被景观流域, 农业植被景观流域径流量较小, 且主要集中在汛期; 草地植被景观流域径流极小, 仅发生在汛期的7~ 8月份。各植被景观流域径流年际变化大小为森林灌丛流域> 复合植被景观流域> 农业植被景观流域> 草地植被景观流域。(2) 各种植被景观格局指标中, 景观破碎度、景观多样性与流域径流深度及其变率呈正相关, 景观聚集度、景观优势度与流域径流深度及其变率呈负相关, 景观形状与流域径流深度及其变率不相关。(3) 植被景观格局对流域径流具有较好的调洪补枯作用, 随着景观破碎度和景观多样性的增大, 流域最大月径流比例逐渐减小, 最小月径流比例逐渐增大, 径流年内分配趋于均衡。而与此相反, 随景观聚集度的增大, 径流年内分配则趋向集中, 景观形状对流域径流调节作用不明显。(4) 组成丰富、多样性高的植被景观可有效地削减流域极端径流的出现, 提高流域生态系统的稳定性。

探求景观格局与过程之间的关系来解释生态系统的外在表现和内在机制是景观生态学最基本的研究内容, 景观过程经常不仅受到景观空间格局的控制, 而且也反过来影响着景观格局<sup>[9]</sup>。在黄土高原小流域生态系统中, 林草地是径流的滞纳区, 而裸露地尤其是农田是径流产生区, 梯田也有类似林草地的功能, 流域径流的多少是流域农、林、草地等生态系统之间产流与截流两种作用相互平衡的结果<sup>[6]</sup>。对于黄土高原大多数流域而言, 植被景观基质以农田为主, 植被景观对流域径流的调节效应取决于包括农田在内的各种植被景观的类型、斑块大小、数目及其空间分布格局。

以前对该地区植被径流关系的研究多集中于单一植被类型和单一景观方面<sup>[2~ 3]</sup>, 从景观层次上对黄土高原多个流域的植被景观与流域径流特征进行分析, 可以更深刻地了解黄土高原植被景观格局和流域径流特征之间的关系及其植被景观格局对流域径流的调节机制。尺度是景观格局分析中一个关键因素, 本文仅从一个尺度来研究植被景观格局与流域径流特征之间的关系可能并不完整, 这也是我们期待探讨的下一个问题。

#### 参考文献

- [1] 邬建国. 景观生态学: 格局、过程、尺度与等级[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [2] 沈慧, 姜凤歧. 森林水土保持的效益评价综述[J]. 应用生态学报, 1999, 10(4): 492- 496.
- [3] 黄明斌, 康绍忠, 李玉山. 黄土高原沟壑区森林和草地小流域水文动态比较[J]. 自然资源学报, 1999, 14(3): 226- 231.
- [4] 孙长忠, 黄宝龙, 刘淑明. 黄土高原森林和荒地土壤水分动态[J]. 应用生态学报, 2000, 11(4): 523- 526.
- [5] 黄明斌, 刘贤赵. 黄土高原森林植被对流域径流的调节作用[J]. 应用生态学报, 2002, 13(9): 1057- 1060.
- [6] 王晗生, 刘国彬, 王青宁. 流域植被整体防蚀作用及景观结构剖析[J]. 水土保持学报, 2000, 14(5): 73- 78.
- [7] Deering D W, Rouse J W, Haas R H, et al. Measuring forage production of grass units from Landsat MSS data[J]. Environment, 1975, 23: 1169- 1173.
- [8] 程积民, 万惠娥. 中国黄土高原植被建设与水土保持[M]. 北京: 中国林业出版社, 2002. 15- 23.
- [9] Li H B, Wu J G. Use and misuse landscape indices[J]. Landscape Ecology, 2004, 19: 389- 399.

上接第35页

#### 参考文献

- [1] 韦朝阳, 陈同斌. 重金属超富集植物及植物修复技术研究进展[J]. 生态学报, 2001, 21(7): 1196- 1203.
- [2] Reeves R D, Brooks R R. European species of *Thlaspi* L. (Cruciferae) as indicators of Ni and Zn[J]. J. Geochem. Explor., 1983, 18: 275- 283.
- [3] 杨明杰, 林咸永, 杨肖娥. Cd 对不同种类植物生长和养分积累的影响[J]. 应用生态学报, 1998, 9(1): 89- 94.
- [4] 廖敏, 黄昌勇. 黑麦草生长过程中有机酸对镉毒性的影响[J]. 应用生态学报, 2002, 13(1): 109- 112.
- [5] Zhou D M, Xue Y, Liu X H, et al. Responses of different pakchoi Brassica cultivars to Cu toxicity[J]. Pedosphere, 2005, 15(1): 9- 15.
- [6] 南京农业大学. 土壤农化分析(第二版)[M]. 北京: 农业出版社, 1988.
- [7] 刘秀梅, 聂俊华, 王庆仁. 6种植物对 Pb 的吸收与耐性研究[J]. 植物生态学报, 2002, 26(5): 533- 537.
- [8] 王春春, 沈振国. 镉在植物体内的积累及其对绿豆幼苗生长的影响[J]. 南京农业大学学报, 2001, 24(4): 9- 13.