

黄河源区景观格局与生态功能的动态变化

王根绪, 郭晓寅, 程国栋

(中国科学院寒区旱区环境与工程研究所冻土工程国家重点实验室, 兰州 730000)

摘要: 利用 20 世纪 70 年代、80 年代与 90 年代三期遥感资料, 选取有代表性的 9 个有关度量景观空间结构与景观异质性的定量指标, 通过 FRAGSTATS 计算方法, 系统研究了黄河源区景观生态结构与景观格局变化, 表明在近 30a 来, 区域景观空间格局趋于破碎化和多样化, 其形成与发展的主要内在因素是高寒稀疏化草原草地、黑土化与杂类草地和沙化草地等景观类型的迅速发展, 其景观面积分别增加了 384.16%、66.63% 和 421.09%; 选取景观生物生产力、景观土壤养分、景观植被覆盖度等景观功能的表征参数, 提出了景观格局动态演变下分析景观功能变化的定量方法及其数学模型。在明确近 30a 来区域景观格局演变特征的基础上, 研究了黄河源区不同时段不同景观类型间生态功能的转移流动特征及其区域生态环境效应, 表明: 近 30a 来, 黄河源区景观功能变化强烈; 区域景观动态演变将形成区域内部景观功能向减退与增强两个方向的变化, 两个方向的强度均衡将形成区域整体生态功能的特征。研究区域景观格局的动态变化所引起的区域生态功能演变特征, 可充分认识区域生态系统变化的内在因素和演变趋势。

关键词: 景观功能; 景观格局; 动态演变; 转移矩阵; 黄河源区

Dynamic Variations of Landscape Pattern and the Landscape Ecological Functions in the Source Area of the Yellow River

WANG Gen-Xu, GUO Xiao-Yin, CHENG Guo-Dong (Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, State Key Laboratory of Frozen Soil Engineering, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(10): 1587~1598.

Abstract: The study of landscape heterogeneity is an important means to researching regional ecological processes. According to remote sensing data of 1970s, 1980s and 1990s, some representative quantitative indices of the landscape spatial structure and landscape heterogeneity were selected to study the changes in landscape ecological structure and landscape pattern in the source area of the Yellow River using FRAGSTATS calculation method. In recent 30 years the landscape spatial pattern in the area tended to become fragmented and diversified, main internal cause for this lies in the rapid development of such landscape types as the alpine cold sparse grassland, black soil-weed grassland and desertified grassland, their areas increased by 384.16% 66.63% and 421.09% respectively. Both the landscape diversity and spatial heterogeneity in the area increased and the change in the landscape pattern was most intense in the 10 years from 1980~1990, such a change reflects the continuous deterioration of eco-environment in the area.

The relationship and feedback between landscape pattern, function and process serve to describe the behavior of a regional landscape. Based on landscape function characteristics such as biological productivity, soil nutrient content, vegetative cover, etc. a quantitative method and digital model for analyzing evolving landscape functionality in the headwaters area of the Yellow River in the People's Republic of China were devised. Through the analysis of three-phase remote sensing data from 1975, 1985

基金项目: 中国科学院资助项目 KZCX1-10-06; 中国科学院“西部之光”计划资助项目; 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所创新课题资助项目 (CACX210042)

收稿日期: 2002-04-10 **万方数据** **日期:** 2002-04-10

作者简介: 王根绪, (1965~), 男, 甘肃天水人, 博士, 研究员。主要从事寒区旱区生态与环境问题研究。

and 1995 and based upon the well-defined characteristics of this region's evolving landscape over the past 30 years, the attendant ecology of the different functional landscape ecotypes was investigated. Between 1975 and 1995 the area of AC&S meadow (alpine cold meadow and steppified meadow) in the source area of the Yellow River has decreased by 27.25%, ACSW meadow (alpine cold swamp meadow) has decreased by 27.04%, ALP steppe (alpine steppe) by 38.18% and lakes by 9.78%. The grass biomass production decreased by 752.37 Gg, of which AC&S meadows accounted for 83.8% of these losses. The overall stock capacity of the headwaters area of the Yellow River decreased by 518.36 thousand sheep units. Soil nutrients showed a similar pattern, soil nutrient loss was greater from 1985~1995 than from 1975~1985. Changes in the overall ecological functionality of the area were not simply a result of a summation of the changes associated with individual evolving landscapes, but rather an integration of positive and negative influences. Landscape evolution occurs in two main directions: degradation and strengthening. An understanding of the direction, force and integration of parameters influencing landscape evolution as it impacts the attending ecosystems can allow one to foresee how the landscape of the Yellow River source area will evolve in the coming years.

Key words: landscape evolution; landscape pattern; transfer matrix; source area of the Yellow River

文章编号:1000-0933(2002)10-1587-12 中图分类号:Q149 文献标识码:A

景观异质性是景观生态学的核心概念之一,其具体表现就是景观的空间格局,与景观功能流动密切相关^[1,2],景观结构和功能,格局与过程之间的联系与反馈是景观生态学的基本命题^[3~6]。在景观生态学中,能量流动、物质循环和信息传递等都称为景观元素流^[2],它不同于群落和生态系统尺度上的元素循环,对景观格局的形成以及景观功能特征与变化具有决定作用。但反过来,景观格局对其中的元素流产生影响,使得不同景观格局或景观格局的动态演变导致区域景观功能发生变化^[4]。一种景观类型所具有的生态功能指作为一个特定生态系统所能完成的能量、物质、信息和价值等的转换能力,根据肖笃宁等人提出的观点^[5],景观功能的表征参数主要有:景观的生物生产力、景观能值指标、景观水分与养分、景观经济密度和景观的信息流等。这些参数中大多数实质是景观元素流的状态反映,如生态生产力、土壤养分与水分、CO₂ 储存量以及物种多样性等等一般与其嵌块占据的空间大小、嵌块数量以及嵌块连结程度等有关^[4,7]。景观动态变化实质是嵌块的出现、持续与消失^[5],因此区域景观格局的动态变化势必引起区域生态功能流动。研究景观功能在不同景观类型间的迁移变化特征,可直接揭示区域景观格局演变是有助于提高区域生态系统功效的良性发展或是促使区域生态系统低能化而导致环境恶化,有助于充分识别区域生态环境的变化趋势及其内在因素,对认识区域景观行为,制定合理的景观生态管理与保育对策具有十分重要意义。

在景观尺度上,研究景观结构与空间格局演变对区域生态系统功能的影响以及景观结构与功能之间的相互关系一直是景观生态学的热点问题^[6,7],近年来,有些景观功能参数如土壤养分流动、生物多样性尤其是景观格局变化对区域生物多样性的影响与管理对策等方面的研究进展较快^[8,9],但总体上对景观功能变化的定量化与系统化研究尚未取得突破性进展,本文以近年来广泛关注的黄河源区为研究对象,以景观格局动态变化的转移量化为基础,尝试定量化与系统化研究景观空间格局演变下区域生态系统功能的变化特征。

1 研究区域概况与区域景观类型

1.1 研究区域概况

黄河源区系指位于青海省玛多县多石峡以上的黄河河源集水范围^[10],大致介于 N33°56'~35°51', E95°55'~98°40',区域总面积约为 $2.54 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。区域地势西高东低,高原面保留完整,山体相对高度不大,湖泊众多,为低山宽谷和湖盆组合地貌。该区域气候为典型的高原大陆性高寒气候,寒冷干燥,年均气温 -4.3℃,为干旱数据,多年平均降水量为 350mm,多为降雪和暴雨形式,年蒸发量 1327.9mm;研究区域海拔高度介于 4200~5266m。本区植被类型较为简单,以高寒草甸和高山草原化草甸为主,局部高海拔地

带分布垫状植被和流石滩稀疏植被。土壤以高山草甸土为主,沼泽化草甸土分布也较普遍,但面积不大;区内多年冻土极为发育,形成了分布极为广泛的冻胀丘、融冻泥流阶地、滑塌和热融湖塘等冻土地貌。该区隶属于青海省曲麻莱与玛多县,总人口约 3.8 万人(1996 年),以藏族为主,全部从事牧业生产,区域人口密度很低,每平方公里仅有约 1.5 人,牧业为其主要经济产业。受水热条件空间分布差异的影响,区域山地阳坡多为高寒草原和草原化草甸,山地阴坡多为高寒草甸,在区域西部的约古宗列曲及星宿海一带和河谷两侧低湿滩地上,分布大面积藏嵩草沼泽草甸,在鄂陵湖东侧及北侧一带分布以小嵩草、紫花针茅为优势种群的高寒草原和草原化草甸^[11]。在这种总体的植被水平分带基础上,植被的垂直分带也较为明显,研究区南部从湖岸到巴颜喀拉山顶部,依次分布藏嵩草沼泽草甸-小嵩草、紫花针茅草原化草甸-小嵩草、矮嵩草甸-高山流石坡稀疏植被和永久冰雪带;在区域北部从湖岸到布青山顶,植被的垂直分布规律为:线叶蒿草、紫花针茅草原化草甸-紫花针茅草原-高山流石坡稀疏植被^[11]。

1.2 研究区域景观类型的确定

根据研究区域土地类型和卫星遥感影像资料解译结果,将研究区景观生态划分为 7 种类型:(1)高寒典型草甸和草原化草甸,高寒草甸主要分布在研究区南部的巴颜喀拉山北坡中上部以及河湖滩地,以矮生嵩草(*K. humilis*)、线叶蒿草(*K. capillifolia*)、小嵩草(*Kobresia pygmaea*)、早熟禾(*Poa* sp)、扇穗茅(*Littledalea racemosa*)和碱茅(*Puccinella* spp)等为优势植物,覆盖度 50%~90%;草原化草甸包括小嵩草+紫花针茅草原化草甸和线叶蒿草+紫花针茅(*Stipapurpurea*)草原化草甸两种,覆盖度一般在 40%~80%之间,与高寒草甸相间分布于山地中下部,分布面积较大。(2)高寒沼泽化草甸,组成草群植物多为湿生、湿中生的藏嵩草(*Kobresia tibetica*)、小嵩草(*K. pygmaea*)及矮生嵩草等,覆盖度可达 80%~90%;(3)高寒草原,以紫花针茅为优势种,主要分布于研究区域北部布青山阳坡及其下部的冲洪积丘陵地带,呈东西向带状分布,群落总盖度在 40%~80%之间。(4)高寒稀疏草原,在黄河源区系由高寒草原化草甸以及高寒草原退化演变的生态景观,植被稀疏,原有优势植物种群变化较大,杂类草数量增多,草场载畜能力显著下降;(5)“黑土型”草甸及杂类草草甸,系由高寒草甸及沼泽草甸退化形成的景观类型,表现为植被退化、杂类草或牲畜不食毒草成分显著增加,沼泽疏干,植被盖度降低,总盖度在 40%以下,严重地带呈现斑状裸露黑土;(6)流动及半固定沙地;(7)湖泊水域,本区域湖泊水域具有重要的河源调蓄与涵养功能,另外盛产高原特有的裸斑鲤鱼,是高原珍稀鸟类——长嘴百灵、斑头雁、黑颈鹤等的主要栖息地之一。这 7 种生态景观类型代表黄河源区主要的生态环境的表现体系,其空间格局变化集中反映了区域生态环境质量演变。现状各类景观的分布面积及其生态特征如表 1 所示。

表 1 黄河源区景观类型及其分布特征*

Table 1 Landscape types and ecological features in the source area of the Yellow River

分布特征 Ecological features	高寒典型草甸和草原化草甸 AC&S meadow	高寒沼泽化草甸 ACSW meadow	高寒草原 ALP steppe	高寒稀疏化草原 ALPCS steppe	黑土型草甸及杂类草草甸 BS&W meadow	流动及半固定沙地 SAND lands	湖泊水域 Lakes
面积 Area(hm ²)	1185864.0	59664.0	317952	671048.0	109728.0	81440.0	119868
% LAND	46.59	2.07	12.49	26.36	4.31	3.47	4.71
嵌块数 Path number	10	5	6	40	10	9	6
植被盖度 Vegetation cover(%)	40~90	80~90	40~80	<30	<40	<20	—
单位面积产草量 Grass biomass(kg/hm ²)	2765.4	3362.1	1322.25	1316.8	1458.75	925.5	—

* AC&S meadow: alpine cold meadow and steppified meadow, ACS meadow: alpine cold swamp meadow, ALP steppe: alpine steppe, ALPCS steppe: alpine cold sparse steppe, BS&W meadow: "Black-soil" meadow and weed meadow

2 研究方法

2.1 景观空间格局分析方法

2.1.1 景观格局数据指标 采用 FRAGSTATS 软件^[12],通过 ARC/INFO、ARCVIEW 对图形进行数字化和处理后,计算景观结构分析指标。选取下列指标来分析研究区域景观空间结构特征与演变规律。

嵌块类型面积 A_i 设定某类嵌块类型 i 的嵌块数量为 n , 某个嵌块面积为 aij , 则该类嵌块总面积为:

$$A_i = \sum_{j=1}^n a_{ij} \quad (1)$$

嵌块平均大小 MPS 用来表征嵌块破碎程度, 反映景观异质性特征。在分析景观空间结构的嵌块特征时, 用下式计算, 其中 n_i 表示 i 类嵌块总数:

$$MPS_i = \frac{A_i}{n_i} \quad (2)$$

嵌块形状 AW 通过对各类嵌块形状的面积加权, 以反映嵌块形状的复杂程度以及景观空间结构的形状特征与可能的演化趋势:

$$AW_i = \sum_{j=1}^m \left[\left(\frac{0.25 p_{ij}}{\sqrt{a_{ij}}} \right) \left(\frac{a_{ij}}{A_i} \right) \right] \quad (3)$$

邻近度 MPI 用来度量同类嵌块间的邻近程度, 反映景观格局的破碎程度:

$$MPI_i = \sum_{j=1}^m \frac{a_{ij}}{h_{ij}^2} / n_i \quad (4)$$

分形指数 $MPFD$ 通过面积加权的分数维指数, 反映景观格局的总体特征, 采用 FRAGSTATS 的栅格数据计算公式:

$$MPFD_i = \sum_{j=1}^n \left[\left(\frac{2 \lambda n 0.25 p_{ij}}{\lambda n a_{ij}} \right) \left(\frac{a_{ij}}{A_i} \right) \right] \quad (5)$$

平均最近距离 MNN 度量同类嵌块间的相隔距离, 揭示景观格局的团聚与分散程度:

$$MNN_i = \sum_{j=1}^n h_{ij} / n_i \quad (6)$$

2.1.2 景观异质性分析 景观多样性指数, 包括景观丰度 (PR)、Shannon 多样性指数 ($SHDI$)、均匀度 ($SHEI$) 等, 其中景观丰度 PR 为景观嵌块类型总数:

$$SHDI = - \sum_{i=1}^n (P_i \ln P_i), \quad SHEI = SHDI / \ln m \quad (7)$$

蔓延度指数 $CONTAG$ 反映景观不同嵌块类型的聚集和延展程度, 高蔓延度值表明景观中存在连通性较好的某种优势嵌块类型, 反之则表明景观由连结性较差的多种嵌块类型所组成, 景观破碎化。蔓延度的计算有多种方式^[4,13], 本文采用 FRAGSTATS 公式:

$$CONTAG = \left[1 + \left\{ \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^m \left[\left(P_i \frac{g_{ik}}{\sum_{k=1}^m g_{ik}} \right) \ln \left(P_i \frac{g_{ik}}{\sum_{k=1}^m g_{ik}} \right) \right] \right\} / 2 \ln m \right] \quad (8)$$

式中, m, k 为嵌块类型数; n 为嵌块数目; P_i 嵌块类型 i 所占景观面积的比例; g_{ik} 为嵌块类型 i 和 k 之间相邻的格网单元数; n_i 为类型 i 的嵌块数目; p_{ij} 为嵌块 ij 的周长 (m); h_{ij} 为从嵌块 ij 到同类型嵌块的最短距离 (m)。

2.2 景观生态过程研究方法

采用 20 世纪 70 年代 MSS 影像图片 (部分为航片)、80 年代中期 (1985~1987) 以及 90 年代中期 (1995~1997) TM 影像图片及部分数据资料, 采用 1:10 万工作比例尺, 对比分析研究区生态景观的变化过程。根据不同时期景观格局和景观异质性指数的比较, 分析近 30a 来黄河源区景观生态演变过程的基本特征。从两个角度来讨论这一问题, 一是转移矩阵法, 采用基于转移概率的随机景观模型, 直观揭示 10a 尺度上, 不同景观类型的演化趋向与幅度; 二是 %LAND 指标法, 利用不同时期某类景观嵌块所占景观面积的比例: %LAND = A_i/A , 其中, A 代表总的景观面积 (hm^2), 与上述 3 期同步对比分析, 以反映景观类型变化所导致的区域生态变化过程。

2.3 景观生态功能指标的选取与变化特征分析

根据研究区生态类型的实际生态意义以涵养水源 (需要植被高覆盖)、发展草地畜牧业 (高草地生产力)、维护生物多样性以及防止水土流失等方面, 这里景观功能的表征选取地表植被覆盖度、生物

产力(以单位面积产草量、草地载畜量来表示)、土壤类型及其占据面积比例、土壤养分含量(以有机质、氮素来反映)等 3 类 6 个指标。景观生态功能变化特征的分析方法如下,其相关数据均来源于不同景观类型的实地样方测定。

(1)生物生产力变化 任意景观类型 i 在向景观类型 j 的转化过程,必将引起景观生物生产力的转移,用 M_i 和 M_j 表示各自单位面积的生物生产力水平(本文表示单位面积产草量),则转移量 ΔP_i 可由下式计算:

$$\Delta P_i = \frac{1}{100} \sum_{j=1}^n (M_i - M_j) F_i a_{ij} \quad (1)$$

其中, F_i 为景观类型 i 的总面积, a_{ij} 就是不同时期的转移概率元素, n 是景观类型数。

(2)土壤养分变化 景观类型 i 和景观类型 j 的土壤养分含量分别为 Y_i 和 Y_j (量纲为 g/kg), 如果已知各自土壤的容重 γ_i 和 γ_j , 则景观转化过程中, 土壤养分的转移量 ΔY_i 为:

$$\Delta Y_i = \sum_{j=1}^n (\gamma_i Y_i - \gamma_j Y_j) H F_i a_{ij} \times 10^6 \quad (2)$$

其中, H 为土壤养分测定的平均深度(本文按 0.2m 考虑)。

(3)景观载畜水平变化 实质也属于景观生产力转移的标志之一, 伴随景观植被地面产量的转移, 草地载畜能力也将发生变化。如果景观类型 i 和景观类型 j 的载畜水平系数(每只羊单位需要的景观面积)分别为 β_i 和 β_j , 则由于景观类型的转移所引起的草地载畜量的变化量 ΔC_i 为:

$$\Delta C_i = \frac{1}{100} \sum_{j=1}^n \frac{1}{(\beta_i - \beta_j)} a_{ij} F_i \quad (3)$$

(4)景观植被覆盖度变化 在区域范围内, 分析景观动态演变导致的区域总体的植被覆盖度变化情况。采用覆盖度面积加权平均的方法, 设景观类型 i 的总覆盖度为 λ_i , 区域总面积为 A , 则 t 时段末区域景观植被总的覆盖度为:

$$RC_t = \frac{1}{A} \sum_{i=1}^n F_{it} \lambda_i \quad (4)$$

任意时段前后, 区域植被总的覆盖度变化, 可由下式计算:

$$\Delta RC_t = \frac{1}{A} \left(\sum_{i=1}^n F_{it-1} \lambda_i - \sum_{i=1}^n F_{it} \lambda_i \right) \quad (5)$$

3 研究结果与讨论

3.1 景观空间格局特征

表 2 列出了黄河源区现状(1995~1996)景观生态空间格局指标的计算结果, 结合表 1 中所列出的景观面积、%LAND 以及嵌块数等指标, 分析黄河源区景观生态空间的现状特征, 可以发现: ①分布面积占研究区域总面积达 46.59% 的高寒草甸和草原化草甸景观的 MPS 、 AW 、 $MPFD$ 和 MPI 等指标值都显著大于其他景观类型, 反映出该类景观在研究区域占据绝对优势, 其连结性、完整性较其他景观类型好, 但嵌块和景观的空间形状较为复杂, 表现出受到强烈干扰的特征。②由高寒草原和高寒草原化草甸退化形成的高寒稀疏化草原的嵌块数最多, 约占研究区域各类景观嵌块总数的 46.5%, 但其分布面积只占总面积的 26.63%, 因此具有较小的 MPS 值, 同时, 该类景观具有较大的 AW 、 $MPFD$ 、 MPI 值, 仅次于高寒草甸和草原化草甸类型, 显著大于原有高寒草原景观类型的这些指标值, 表现出较强的扩张特征。③代表草地严重退化形式的流动与半固定沙地的嵌块总面积相对较小, 但同样具有较高的 AW 、 $MPFD$ 、 MPI 值, 也表现出一定的扩张态势, 其较大的 MNN 值反映出该类景观十分破碎, 嵌块相隔距离较大而较为分散。对于高寒沼泽草甸景观, 与上述沙化草地景观不同, MPI 为研究区域所有景观类型中最小, 但 MNN 值最大, 反映出该类景观最为破碎, 嵌块间邻接性很差。

3.2 景观格局变化特征

表 3 列出了利用 FRAGSTATS 软件分析计算的不同时期黄河源区描述景观格局特征的指标值, 明显反映出近 30a 来这些指标值所体现的变化态势, 景观嵌块数 (NP) 增加; MPS 、 AW 、 $MPFD$ 、 MNN 等指标

减小;反映多样性特征的 *SHDI*、*SHEI* 指标值增大, *CONTAG* 指标值减小;根据这些指标所代表的景观生态学意义,分析这种变化态势所揭示的区域生态演变特征:①景观趋于破碎化。表现为 *NP* 增大, *MPS* 与 *CONTAG* 减小;由于优势景观嵌块的连结性较差,同类景观嵌块的相间距离相对缩短(*MNN* 值减小),不同景观类型呈相间团聚分布。②景观趋于多样化, *SHDI*、*SHEI* 增大,既说明区域景观类型增加,或景观类型多样化,也反映出各类景观嵌块呈均衡化趋势发展,由于 *SHEI* 和优势度指标呈负相关, *SHEI* 增大的结果是优势度减小,表明研究区域将逐渐丧失优势景观类型。这种演变趋势的结果,使得原有的以高寒草甸和草原化草甸为绝对优势的生态景观不复存在。

表 2 黄河源区景观生态空间结构指标的计算结果

Table 2 Calculated results of landscape ecological spatial structural indices in the source area of the Yellow River

格局指标 Landscape pattern index	高寒典型 草甸和草 原化草甸 AC&S meadow	高寒沼泽 化草甸 ACSW meadow	高寒草原 ALP steppe	高寒稀疏 化草原 ALPCS steppe	黑土型草 甸及杂类 草草甸 BS&W meadow	流动及半 固定沙地 SAND lands	湖泊水域 Lakes
<i>MPS</i>	118586.0	11532.8	52992.0	16776.2	10972.8	9016.67	19978.0
<i>AW</i>	7.02	1.58	2.4	3.18	1.85	2.15	1.78
<i>MPFD</i>	1.17	1.05	1.08	1.1	1.06	1.07	1.06
<i>MPI</i>	1024.11	0.69	74.86	177.63	3.72	33.53	5.66
<i>MNN</i>	2918.11	25205.07	7353.1	3251.95	15742.09	18532.59	5815.82

表 3 近 30a 来黄河源区景观格局指标变化特征

Table 3 Features of landscape pattern index change in the source area of the Yellow River in the past 30 years

年代	<i>NP</i>	<i>MPS</i>	<i>AW</i>	<i>MPFD</i>	<i>MNN</i>	<i>SHDI</i>	<i>SHEI</i>	<i>CONTAG</i>
20 世纪 70 年代 1970s	69	36892.23	5.10	1.14	11480.8	1.12	0.58	68.77
20 世纪 80 年代 1980s	76	33494.26	5.47	1.14	10418.1	1.18	0.60	67.30
20 世纪 90 年代 1990s	86	29599.53	4.68	1.12	8006.0	1.44	0.74	59.82

从图 1 可以看出各类景观 %LAND 指数的变化,近 30a 来,黄河源区高寒草甸与草原化草甸 %LAND 减少了 15.43%,其中 20 世纪 70 年代到 80 年代仅减少 2.15%,而 20 世纪 80 年代到 90 年代急剧减少了 13.28%;高寒沼泽草甸减少了 0.78%,其中 0.67%是在 80 年代到 90 年代减少的;高寒草原在 30a 中减少了 7.72%,80 年代以来减少了 6.5%。这 3 种景观类型是原有的优势景观,这些类型的草地具有丰富的优质牧草种类和较高的第一性生产力,同时构成这些草地的优势植被以高草和紫花荆芥为主,其致密的根系和密生群落结构十分有利于地表产流,在涵养水源以及维护多年冻土环境方面具有其卓越的生态功能^[14]。与此相反,高寒稀疏草原景观的 %LAND 在 30a 中增加了 21%;黑土化与杂类草草甸的 %LAND 增加了 1.82%,沙化草地增加了 2.8%。这些景观类型的增加,严重破坏了原有景观的生态功能,造成区域生态环境劣变。

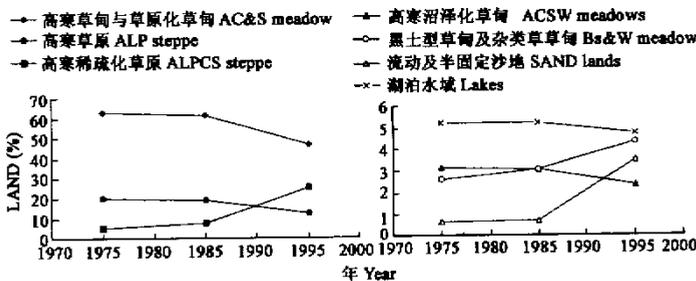


图 1 近 30a 来黄河源区各景观类型 %LAND 变化过程

Fig. 1 %LAND changes of various landscape ecotypes in the headwaters region of the Yellow River in recent 30 years

3.3 景观动态演变特征

利用 20 世纪 70 年代以来 3 期遥感资料,建立两个 10a 段的转移概率矩阵如表 4 和表 5 所示,矩阵元素表示由一种景观转移到另一类景观的面积比例。矩阵表中对角线的数值代表 10a 期末各类景观自身继承的面积比率,由此可以直观地看出各类景观动态演化趋向与演化幅度。

表 4 20 世纪 80~90 年代景观元素转移矩阵(%)

Table 4 Transfer matrix of landscape elements between 1985 and 1995 in the headwaters area of the Yellow River

20 世纪 80 年代 1980s	20 世纪 90 年代 1990s						
	高寒典型草 甸和草原化草 甸 AC&S	高寒沼泽 化草甸 ACSW	高寒草原 ALP steppe	高寒稀疏 化草原 ALPCS	黑土型草甸 及杂类草甸 BS&W	流动及半 固定沙地 SAND	湖泊水域 Lakes
	meadow	meadow	steppe	steppe	meadow	lands	Lakes
高寒典型草甸和草原化草甸 ^①	64.5	0.3	1.5	29.4	2.0	2.1	0.2
高寒沼泽化草甸 ^②	15.5	76.1	3.2	1.1	3.7	0.4	0.0
高寒草原 ^③	13.1	1.5	56.6	16.2	8.5	4.0	0.1
高寒稀疏化草原 ^④	33.3	0.0	6.7	53.2	3.9	2.9	0.0
黑土型草甸及杂类草甸 ^⑤	21.8	0.7	6.7	15.9	34.8	20.1	0.0
流动及半固定沙地 ^⑥	3.7	0.0	0.7	18.3	0.3	75.3	1.7
湖泊水域 ^⑦	4.7	0.4	0.6	6.3	0.0	0.2	87.8

①AC & S meadow ②ACSW meadow ③ALP steppe ④ALPCS steppe ⑤BS & W meadow ⑥SAND lands ⑦Lakes

在 20 世纪 70~80 年代期间,高寒草甸与草原化草甸、高寒沼泽草甸分别保存原有面积的 87%和 84%以上,变化幅度较小,且大部分演替景观的去向为高寒草原、高寒稀疏化草原和黑土化与杂类草甸,有将近 5%的高寒沼泽草甸是由高寒典型草甸和草原化草甸景观演化而来;在这期间,高寒草甸与草原化草甸向高寒稀疏化草原的演变较为剧烈,占高寒稀疏化草原景观面积的 49.2%,其次是向沙化草地和黑土型与杂类草甸的转化;另外,高寒草原向黑土化与杂类草甸的演变以及该类草甸向沙化草地的演变也相当显著。在 80~90 年代,黄河源区原有地带性景观变化剧烈,高寒草甸与草原化草甸、高寒沼泽草甸分别仅继承时段初面积的 64.5%和 76.1%,高寒草原仅继承时段初面积的 56.6%,湖泊水域面积也只有初期面积的 87.8%;这期间区域不同景观类型的相互转化十分复杂,最显著的演变过程有高寒草甸与草原化草甸向高寒稀疏化草原和黑土化与杂类草甸的演变、高寒稀疏化草原的沙化等。

表 5 20 世纪 70~80 年代景观元素转移矩阵(%)

Table 5 Transfer matrix of landscape elements between 1975 and 1985 in the headwaters area of the Yellow River

20 世纪 70 年代 1970s	20 世纪 80 年代 1980s						
	高寒典型草 甸和草原化草 甸 AC&S	高寒沼泽 化草甸 ACSW	高寒草原 ALP steppe	高寒稀疏 化草原 ALPCS	黑土型草甸 及杂类草甸 BS&W	流动及半 固定沙地 SAND	湖泊水域 Lakes
	meadow	meadow	steppe	steppe	meadow	lands	Lakes
高寒典型草甸和草原化草甸 ^①	87.9	0.3	3.8	7.0	0.7	0.0	0.3
高寒沼泽化草甸 ^②	4.8	84.3	9.3	0.0	1.6	0.0	0.0
高寒草原 ^③	11.7	0.7	71.7	6.3	6.9	2.0	0.7
高寒稀疏化草原 ^④	49.2	0.8	17.0	31.3	0.3	1.4	0.0
黑土型草甸及杂类草甸 ^⑤	24.9	1.6	33.6	0.0	38.3	0.0	1.6
流动及半固定沙地 ^⑥	28.9	0.0	11.2	13.0	20.8	26.1	0.0
湖泊水域 ^⑦	6.3	0.0	0.6	0.0	0.0	0.6	92.5

①AC & S meadow ②ACSW meadow ③ALP steppe ④ALPCS steppe ⑤BS & W meadow ⑥SAND lands ⑦Lakes

万方数据

3.4 景观生态功能变化特征

根据不同年代研究区域各类景观的分布面积,利用上述景观功能流动分析方法,分别计算出景观转化过程中发生的景观功能转移量,其中景观生物生产力的指标如单位面积产草量在 20 世纪 80 年代至 90 年代的转移变化情况分别列于表 6,可清楚地揭示 20 世纪 80 年代以来,由于区域景观格局演变所导致的景观产草量和载畜能力在随景观演替的转移状况以及各类景观间生产力转移量。同理可以计算并列出其他表征景观功能转移的矩阵表,本文仅列出表 6,其他矩阵表从略。

表 6 黄河源区 20 世纪 80~90 年代各类景观的产草量转移状况(10^2kg)

Table 6 Grass output transfer states of various landscape types between 1985 and 1995 in the headwaters area of the Yellow River (Gg)

20 世纪 80 年代 1980s	20 世纪 90 年代 1990s						合计 Total
	高寒典型草甸和草原化草甸 AC&S meadow	高寒沼泽化草甸 ACSW meadow	高寒草原 ALP steppe	高寒稀疏散草原 ALPCS steppe	黑土型草甸及杂类草甸 BS&W meadow	流动及半固定沙地 SAND lands	
高寒典型草甸和草原化草甸 AC&S meadow	0.0	-28507.9	344739	7625167	416175.9	615320.1	8972894
高寒沼泽化草甸 ACSW meadow	75008.17	0.0	52938.19	19851.9	57113.82	7904.33	212816
高寒草原 ALP steppe	-914107	-147946	0.0	145263.4	-56100.4	76734.62	-896156
高寒稀疏散草原 ALPCS steppe	-917166	0.0	-23713.4	0.0	-23963.2	11694.72	-953148
黑土型草甸及杂类草甸 BS&W meadow	-219875	-10284.4	7059.41	39513.6	0.0	82734.75	-100852
流动及半固定沙地 SAND lands	-12233.3	0.0	-499.07	-6948.62	-287.47	0.0	-19968.5

表 6 中矩阵元素的正负分别表示景观转移后产草量的减少与增加量,可以看出,由于高寒沼泽草甸景观的单位面积产草量最高,其他景观向其演变的结果均引起产草量增加,而该类景观向其他类型的转变均形成产草量减少,在 20 世纪 80~90 年代,高寒沼泽草甸景观的产草量总体减少 $2128.2 \times 10^4\text{kg}$ (即 $2.128 \times 10^4\text{t}$);高寒典型草甸和草原化草甸景观类型则减少了 $89728.94 \times 10^4\text{kg}$,约占现状黄河源区总产草量的 18.31%。利用这两类景观所减少的面积和单位面积产草量的积来分析产草量的减少是习惯上常采用的方法,按照此方法计算的两类景观减少的产草量分别为 $6604.7 \times 10^4\text{kg}$ 和 $10.693 \times 108\text{kg}$,分别比上述结果多 210.8% 和 19.16%,究其原因,由于后者简单地认为草地面积的减少,意味着产草量的消失,而忽略了这两类景观所减少的面积,是转化为仍具有一定产草量的其他类型,所减少的面积只意味着该部分草地的产草量降低(也有可能增加)的客观事实,因此其结果要大于本文方法,由此也论证了本文分析方法的客观可行性。

不同景观类型在同一时间段具有不同的功能变化特征,同一景观类型在不同时间段也具有显著的动态差异(如表 7)。为直观显示景观功能在不同时期的变化,表 7 中列出了 20 世纪 70~80 年代和 80~90 年代两个阶段各类景观功能参数的计算结果,这里把原公式计算的减少值直接标示负号。在 20 世纪 70 年代以来,黄河源区高寒典型草甸和草原化草甸景观所分析的各项功能指标呈现持续下降,且下降幅度随时间不断增大,80~90 年代比 70~80 年代平均增大降幅 2~3.5 倍;高寒沼泽草甸的各项功能指标也呈持续下降态势,但幅度较小,除了载畜量进入 80~90 年代下降幅度增加 2.0 倍以外,产草量、全氮含量的下降增幅较小,有机质含量的减少幅度甚至要小于 70~80 年代;在景观嵌块转移变化过程中,由于高寒草原、高寒稀疏散草原、黑土型及杂类草甸和沙化草地景观类型的生态功能较低,这些景观嵌块向高寒典型草甸和草原化草甸以及高寒沼泽草甸景观的转移演变以及后两者向这些景观的转化过程,在景观功能方面都使这些景观的功能指标相对提高,但与 70~80 年代相比,80~90 年代其增加幅度明显减小,其中黑土化及杂类草甸景观的土壤养分含量在 80~90 年代甚至出现较大

幅度减少。

表 7 近 30a 来不同时段各景观类型功能指标变化

Table 7 Changes in landscape functional indices at different periods in recent 30 years

时期 Time	功能指标 Interval/Landscape functional indices	高寒典型草 甸和草原化草 甸 AC&S meadow	高寒沼泽 化草甸 ACSW meadow	高寒草原 ALP steppe	高寒稀疏 化草原 ALPCS steppe	黑土型草甸 及杂类草甸 BS&W meadow	流动及半 固定沙地 SAND lands
20 世纪 70 ~80 年代	产草量 Grass output 10 ⁴ kg	-27552.46	-2017.78	8361.4	14450.55	2392.78	1284.05
1970s~1980s	载畜量 Stock capacity (10 ⁴ 羊单位)	-25.17	-4.09	9.43	13.94	3.10	0.53
	有机质 Organic Matter 10 ⁴ kg	-2494.2	-112.6	600.7	1682.98	34.64	168.51
	全氮 Total N(10 ⁴ kg)	-103.21	-6.64	13.96	77.78	4.66	7.14
20 世纪 80~90 年代	产草量 Grass output(10 ⁴ kg)	-89728.94	-2128.16	8961.56	9531.48	1008.52	199.68
1980s~1990s	载畜量 Stock capacity (10 ⁴ 羊单位)	-52.28	-8.92	4.10	5.07	2.29	0.16
	有机质 Organic Matter10 ⁴ kg	-8633.31	-99.01	454.45	1129.52	-199.34	24.79
	全氮 Total N(10 ⁴ kg)	-376.28	-7.799	0.99	51.19	-7.276	0.961

根据上述公式计算结果,近 30a 来,黄河源区土壤损失有机质 $852.21 \times 10^4 \text{kg}$,全氮含量损失 $344.51 \times 10^4 \text{kg}$ 。对比 20 世纪 70~80 年代和 80~90 年代的变化幅度,可以看出,所有表征景观功能特征的指标值在 70~80 年代变化幅度显著地小于 80~90 年代的变化,80 年代以来区域草地产草量减少了 $7.216 \times 10^8 \text{kg}$,年平均减少 $7216 \times 10^4 \text{kg}$,其减少幅度是 70~80 年代的 23.4 倍(表 8);土壤全氮含量平均减少幅度是 70~80 年代的 53.6 倍,载畜量减少幅度是 70~80 年代的 24.5 倍,其它指标也达到数倍至 10 多倍。表征黄河源区水源涵养生态功能的景观总体植被覆盖度,在 80~90 年代平均下降了将近 10 个百分点,加之水源涵养性能优越的高寒典型草甸和草原化草甸以及高寒沼泽草甸景观面积的大幅度减少(表 8),表明黄河源区水源涵养生态功能在不断削弱。

表 8 不同时间段景观演变产生的区域总体生态功能变化

Table 8 Ecological functional changes caused by landscape variations in different periods

时段 Time Interval	产草量 Grass biomass production (10 ⁴ kg)	有机质 Organic matter (10 ⁴ kg)	全氮 Total N (10 ⁴ kg)	载畜量 Stock capacity (10 ⁴ 羊单位)	景观覆盖度 Landscape cover(%)	高寒典型与 草原化草甸 AC&S meadow (hm ²)	高寒沼泽 草甸 ACSW meadow (hm ²)
70~80 年代 1970s~1980s	3081.46	119.92	6.31	-2.258	-0.91	-30304	-3152
80~90 年代 1980s~1990s	72155.86	732.29	338.2	-49.578	-8.94	-386678	-19642

景观功能流动强度的这种时间差异,与不同时间景观动态演化幅度的差异具有一致性,从表 2 和表 3 可以反映出,在 20 世纪 80~90 年代区域各类景观演化强烈,相对而言,70~80 年代景观变化较小,据此可以认为,景观功能流动强度与景观动态演化幅度成正相关,景观演化越剧烈,其功能流动程度就越强。由于功能流动具有增强与减退两种方向,不同时期两种方向流动的程度强弱差异,将决定区域整体的生态环境质量是趋于良性发展、退化或是动态稳定。自 20 世纪 70 年代以来,黄河源区始终处于生态功能减退的动态变化趋势中,且这种减退幅度在 80 年代以后显著增加,因此黄河源区生态环境处于持续恶化的演变过程。

4 关于黄河源区景观生态变化成因的初步分析

区域生态景观格局的形成原因一般可以归纳为两方面:一是自然因素,包括气候、水文以及土壤等要素,在自然因素中,较短时间尺度如百年尺度以内的生态环境变化,气候条件及其变化是决定性的;二是人

为因素,人类活动对生态环境的作用,无论是改造或是破坏,均将引发自然环境的变化。在黄河源区,其特殊的冰冻圈冻融作用和冻土基质条件及其变化在一定程度上将控制该区域生态环境变化趋向与幅度,是仅次于气候条件的重要因素之一。

4.1 气候变化及其对生态与环境的影响

黄河源区 20 世纪 80 年代平均气温比 50 年代高 0.12~0.9℃,大部分地区高于 0.3℃,属于青藏高原高温区或升温幅度最大的地区之一,平均升温 0.44℃,明显比全国 80 年代、50 年代平均升温 0.2℃要高一倍^[15,16]。近 40a 来黄河源区气候变化的总趋势是气温升高,降水量增加,但降水量的增加主要体现在春季降水和近 15a 来冬季降水的明显增加上,对植被生长起重要作用的夏季降水量呈明显减少趋势。气候条件的这种变化对广泛分布于玛多、沱沱河一带的高寒草原和高寒沼泽草甸植被生长不利,气温升高,尤其是夏季气温升高将使蒸发强度增大,相同时期降水量没有增加甚至减少,将造成植被因干旱而退化,沼泽草甸因干旱而疏干、湿生草甸植被向中旱生植被演替。气候的暖湿变化趋势将促使区域冰川大量融化,冰川末端退缩。70 年代以来,黄河源区冰川普遍出现的显著退缩和物质负均衡就是这种气候变化的直接结果^[17]。冰川退缩又是冰缘湿地退化的原因之一。

4.2 人类活动对生态环境的影响

黄河源区土地开垦很少,基本以天然草场放牧活动为主,因此这里主要分析放牧活动对生态环境的影响。自 20 世纪 50 年代以来,黄河源区畜牧业发展迅速,区内各县牲畜呈同步波动快速增长,在 20 世纪 70 年代末至 80 年代初(大致在 1978~1981 年间)达到最高峰,玛沁、达日一度超过 200 万只羊单位,甘德、玛多达到 178 和 136 万只羊单位的历史最高记录,与区域理论载畜水平对比分析^[14],甘德、玛沁、达日超载 4~5 倍,玛多接近夏秋草场载畜量,冬春草场超载 41.5%。研究区冷季(冬春季)和暖季(夏秋季)草场面积分布不均,冷季草场面积小于暖季草场,同时在草场理论载畜水平方面两者相差较大,冷季草场要明显小于暖季草场;另外,在放牧时间上也显著不平衡,冷季草场达到 240d 左右,而暖季草场一般为 120d 左右,两者相差 1 倍^[14,15]。因此,研究区冷季草场存在较为严重的超载过牧现象,尤其是当地放牧习惯于在离居民点和水源近的滩地、山坡中下部及河谷两岸等主要冷季草场频繁、集中放牧,加剧冷季草场的载畜压力。这样因草场季节分布不平衡和人为的草场不合理利用,导致局部冷季草场超载过牧问题严重,造成这些草地植被衰退。

4.3 高原鼠害影响

研究区域常见的鼠群种类如高原鼠兔、根田鼠(*Microtus aeconomus*)、高原鼯鼠等,它们对草地植被的影响是多方面的,根田鼠与高原鼠兔以各种优良牧草的茎、叶、花及果实为主要采食对象,据测定^[15,18],65 只鼠兔的日食量相当于 1 只藏羊的日食量。在严重过牧条件下,加之高原鼠兔的危害,以高草为主早熟禾等优良牧草为优势种的草地发生植物种群演替,在这些牧草丧失其优势地位的同时,以细叶亚菊、橐吾、火绒草、马先蒿等为主的杂、毒草滋生蔓延,并迅速成为优势种,土壤表层根系层也发生变化,此时,喜食地下多汁轴根、肉质根茎的高原鼯鼠替代高原鼠兔而成为优势动物群,高原鼯鼠营地下生活,具有很强的挖掘能力,不仅啃食植物根茎、切断植物根系,而且把大量心土推出地面,形成密布土丘,这些土丘压埋植被,并在水蚀和风蚀作用下形成斑状秃斑地,并随地下洞穴密度加大,土壤疏松,土壤侵蚀作用加强,植被逐渐消亡,斑状秃斑也连片并形成黑土滩。经测算,研究区退草地因鼠害影响而导致的退化面积占 13%~58.25%,推算平均因此而减少的草场载畜量达到 8.07~55.74 万羊单位。可以认为,鼠虫害是青藏高原区域草地生态退化的主要因素之一。

4.4 冻土环境变化及其影响

冻土广泛分布于黄河源区的玛多、曲麻莱、治多、杂多、唐古拉乡以及达日和玛沁的部分地区,是高寒草甸植被发育、生长与繁衍的重要基质条件,冻土冻融条件变化对植被生态的影响可以归纳为两个方面:

①冻融侵蚀:在高海拔草甸草地区,由于季节间冻融交替和土壤干湿变化,地表草皮层因冻胀常形成不规则多边形裂隙(冻融裂隙),在坡地上,反复冻胀还使得草皮层与下伏土壤间断开,在水蚀和风蚀作用下,草皮层沿断面发生滑塌(冻融滑塌)或发生流动泥流等不良冻土破坏现象,形成秃斑地;在缓坡和平地,因冻

胀形成冻胀裂缝的同时,在沼泽草甸草地还常形成冻胀土丘,这些裂缝和土丘成为鼠类活动的方便场所,常常成为鼠洞密集之地,在鼠害作用下,加之水蚀和风蚀作用,冻胀裂隙逐渐增大、连通,最后导致草地退化形成黑土滩。②草地疏干旱化:高原多年冻土层的存在对于高寒草甸植被生长发育意义重大,一方面多年冻土层能有效阻止地表水和土壤水分下渗迁移,使植被根系层维持较高水分;另一方面冻土层使活动层淋溶或淋滤的多种营养成分在此聚集,并维持土壤的低温条件而易于有机质积累;因此高原上如象黄河源区这些冻土发育的低洼盆地和山间谷地是高寒草甸及高寒沼泽草甸植被最为发育的地区。众多观测研究表明^[17],在近 30a 来,随气温逐渐转暖以及人为活动强度增大,青藏高原冻土上部(20m)地温明显升高(平均升高 0.2~0.3℃),并已影响深 40m 以上冻土地温状况,造成冻土融区范围扩大,季节融化层增厚,甚至下伏多年冻土层完全消失。在青藏公路沿线多年冻土变化异常明显,岛状冻土北界向南退缩,同时连续冻土南界向北退缩,冻土岛消失、冻土厚度变薄,公路路基下冻土上限下降。多年冻土退化使植被根系层土壤水分减少,表土干燥,沼泽疏干;并使土壤结构、组分发生变化,从而使高寒草甸、沼泽草甸植被退化,优势植物种群发生演替。冻土冻融过程变化对植被生态的影响具有区域性,其过程也是渐进和缓慢的,随气候日趋暖化,冻土带的响应将趋于强烈,由此引起区域性植被退化或演替将会加剧黄河源区生态环境恶化。

5 结论与讨论

(1)近 30a 来,区域景观空间格局趋于破碎化和多样化,其形成与发展的主要内在因素是高寒稀疏化草原草地、黑土化与杂类草草地和沙化草地等景观类型的迅速发展,使原有优势景观类型的空间面积减少、嵌块分割破碎。代表草地退化形式的新生景观类型如高寒稀疏化草原、黑土型或杂类草草甸以及沙化草地等的面积比例显著上升,自 20 世纪 70 年代以来,黄河源区高寒草甸与草原化草甸面积减少了 27.25%,高寒沼泽草甸减少了 27.04%,高寒草原减少了 38.18%,湖泊水域面积减少了 9.78%;与此相反,高寒稀疏草原景观面积增加了 384.16%,黑土化与杂类草草甸面积增加了 66.63%,沙化草地面积增加了 421.09%。从景观转移变化过程来看,在 20 世纪 80~90 年代,黄河源区原有地带性景观变化最为剧烈,其中高寒草甸与草原化草甸向高寒稀疏化草原和黑土化与杂类草草地的演变、高寒稀疏化草原的沙化等是景观演化的主要过程。区域景观格局的这种变化所反映的实质是区域生态环境趋于恶化,因此,景观异质性与多样性所代表的生态意义应视不同区域的生态系统的具体特性区别对待,从本文的实例研究来看,在极端环境下形成的稳定草地生态系统,一旦出现景观多样性增加,则表明原有稳定生态系统的破坏。

(2)区域景观动态变化过程明确反映不同生态类型的演变趋向和幅度,对于揭示区域生态环境变化的内在机理、制定有效的防治对策意义重大。利用转移矩阵原理对黄河源区近 30a 来 10a 尺度上景观动态变化的研究表明:在 20 世纪 70~80 年代,高寒草甸与草原化草甸向高寒稀疏化草原的演变较为剧烈,占高寒稀疏化草原景观面积的 49.2%,其次是向沙化草地和黑土型与杂类草草甸的转化;另外,高寒草原向黑土化与杂类草草地的演变以及该类草地向沙化草地的演变也相当显著;在 20 世纪 80~90 年代,最显著的景观演变过程是高寒草甸与草原化草甸向高寒稀疏化草原和黑土化与杂类草草地的演变、高寒稀疏化草原的沙化等正过程,以及高寒稀疏化草原向高寒草原化草甸、沙化草地向杂类草草地演变的逆过程。上述动态过程说明,70~80 年代黄河源区景观生态演变以单一的草地缓慢退化为主,80~90 年代虽然草地退化十分剧烈,但区域草地退化与逆转的相反过程同时存在,深入研究其逆转的机理和驱动因素,将可为黄河源区乃至青藏高原高寒区生态环境保育提供重要的科学依据。

(3)基于景观格局与功能之间相互联系与反馈的关系和景观格局动态演变过程分析的转移矩阵原理,选择表征景观功能的指标如景观生物生产力(景观地面植物生产量、草地放牧承载力)、景观养分(有机质、全氮含量)以及水源涵养效能(景观植被覆盖度、具较高水源涵养功能景观的面积比例)等,通过景观功能变化的分析计算,可以准确掌握区域生态系统的演变特征与发展趋势。近 30a 来,黄河源区高寒沼泽草甸景观的产草量减少了 $4145.98 \times 10^4 \text{kg}$,高寒典型草甸和草原化草甸景观类型则减少了 $117281.4 \times 10^4 \text{kg}$,其中在 80~90 年代,分别减少了 $2128.2 \times 10^4 \text{kg}$ 和 $89728.94 \times 10^4 \text{kg}$,占 51.3% 和 76.51%,相当于现状黄河源区总产草量数据 1%;高寒典型草甸与草原化草甸景观牲畜可承载量减少了 77.46×10^4 只羊单位,高寒沼泽草甸景观的牲畜承载量减少了 13.01×10^4 只羊单位。土壤养分含量变化具有相同的规律,80~90

年代土壤养分损失幅度要显著大于 70~80 年代,且近 30a 区域总的有机质与全氮损失量仅是高寒典型草甸与草原化草甸景观损失量的 7.65% 和 71.84%。说明区域总体功能变化并不是单个景观功能变化的简单叠加,区域景观动态演变将形成区域内部景观功能向减退与增强两个方向的变化,两个方向的强度均衡将形成区域整体生态功能的特征;景观演化越剧烈,其功能变化幅度就越大。

(4) 区域气候变化(气温升高与夏秋季降水减少)及其引起的冻土环境退化,以及所叠加的草场超载过牧和较为严重的鼠虫害是黄河源区生态环境急剧恶化的主要成因。

参考文献

- [1] Forman R T T. Some general principles of landscape and regional ecology. *Landscape Ecology*, 1995, **10**: 133~142.
- [2] Farina A. *Principles and Methods in Landscape Ecology*. London: Chapman & Hall Press, 1998. 79~130.
- [3] Xiao D N (肖笃宁). Central conception frame of landscape ecology, In Xiao D N (肖笃宁) ed. *Progress in Landscape Ecological Study* (in Chinese). Changsha: Hunan Science and Technology Press, 1999. 8~14.
- [4] Xiao D N (肖笃宁), Bu R C (布仁仓), Li X Z (李秀珍). Ecological space theory and landscape heterogeneity, *Acta Ecologica Sinica* (in Chinese) (生态学报), 1997, **17**(5): 453~361.
- [5] Xiao D N (肖笃宁), Zhong L S (钟林生). Ecological Principles for landscape classification and evaluation. *Journal of Applied Ecology* (in Chinese) (应用生态学报), 1998, **9**(2): 217~221.
- [6] Li X Z (李秀珍). Viewed the ecological developmental hot point and preface from the 15th Annual Meeting of American Landscape Ecology, *Acta Ecologica Sinica* (in Chinese) (生态学报), 2000, **20**(6): 1113~1115.
- [7] Fu Bojie, Chen Liding, He Chansheng. Integrating landscape ecological principles and land evaluation for sustainable land use. *Journal of Environmental Sciences*, 1999, **11**(2): 136~140.
- [8] Fu Bojie and Gulincek H. *Land evaluation in area of severe erosion: The loess Plateau of China, Land Degradation & Rehabilitation*, 1994, **15**(1): 33~40.
- [9] Vincent J. Burke. Landscape Ecology and species Conservancy. *Landscape Ecology*, 2000, **15**(1): 1~3.
- [10] Institute of Geography, Chinese Academy of Sciences (中国科学院地理所). *Atlas of Qinghai-Tibetan Plateau* (in Chinese). Beijing: Science Press, 1990. 77~79.
- [11] Peng M (彭敏). Vegetation types and distribution in Gyaring Lake and Ngoring Lake regions. *Memoirs of the Institute of Plateau Biology* (in Chinese) (高原生物学集刊), 1987, **7**: 71~79.
- [12] Mc Garigal K and Marks B J. *FRAGSTATS: Spatial analysis program for quantifying landscape structure*. Forest Science Department, Oregon State University, Corvallis Oregon, March 1994, 62.
- [13] Ritters K H, O'neill R V. A factor analysis of landscape pattern and structure metrics. *Landscape Ecology*, 1995, **10**: 23~39.
- [14] Wang G X (王根绪), Shen Y P (沈永平), Cheng G D (程国栋). Eco-environmental changes and causal analysis in the source area of the Yellow River. *Journal of Glaciology and Geocryology* (in Chinese) (冰川冻土), 2000, **22**(3): 200~205.
- [15] Cheng G D (程国栋), Wang G X (王根绪). Eco-environment changes and causal analysis of headwater region in Qinghai-Xizang Plateau. *J. Adv. Earth Sci.* (in Chinese) (地球科学进展), 1998, **13**(Suppl): 24~31.
- [16] Kang X C (康兴成). Characteristics of climatic changes over last 40 years in Qinghai-Xizang plateau. *Journal of Glaciology and Geocryology* (in Chinese) (冰川冻土), 1996, **18** (Suppl): 281~288.
- [17] Li S X (李述训), Cheng G D (程国栋), Guo D X (郭东信). The future thermal regime of numerical simulating permafrost on Qinghai-Xizang (Tibet) Plateau, China, under climate warming. *Science in China (Series D)* (in Chinese) (中国科学(D 辑)), 1996, **26**(4): 342~347.
- [18] Liu W (刘伟), Wang Q J (王启基), Wang X (王溪), et al. Causes and ecological processes of "Black soil Type" degradation of alpine cold meadow grassland. *Journal of Grassland* (in Chinese) (草地学报), 1999, **7**(4): 300~304.