

基于地形特征分异的土地利用分布研究

——以珠穆朗玛峰国家级自然保护区为例

石运杰¹, 蔡葵², 吴文春², 徐娅楠¹, 李珂羽¹, 拉巴次仁³, 拱子凌⁴

(1.云南大学 地球科学学院, 昆明 650500; 2.云南大学 经济学院, 昆明 650500;

3.珠穆朗玛峰国家级自然保护区管理局, 西藏 日喀则 857000; 4.珠峰雪豹保护中心, 西藏 日喀则 857000)

摘要:为了协调地形特征显著区域的土地利用与生态保护活动,以珠穆朗玛峰国家级自然保护区为例,利用DEM和Landsat OLI数据,研究土地利用在高程、坡度和地形位级上的分布指数,并构建土地利用垂直带谱,进而分析了研究区2017年基于地形特征分异的土地利用分布特点和规律。结果表明:各高程级上地类表现出垂直分布规律,由低到高各主导地类表现为林地、耕地、建设用地—耕地、水域、建设用地—草地、水域、裸地—草地、裸地、冰川及永久积雪—冰川及永久积雪;各坡度级上地类分布较为复杂,随坡度级升高,分布着耕地、水域、建设用地—耕地、草地、裸地、建设用地—耕地、草地、林地、裸地、冰川及永久积雪、建设用地—草地、林地、裸地、冰川及永久积雪—草地、林地、冰川及永久积雪;各地形位级的地类分布呈现出层级性,随地形位级增加,主导地类基本分布规律为水域—耕地、建设用地—耕地、草地、裸地—林地、草地、冰川及永久积雪—林地、冰川及永久积雪。研究区土地利用受地形因子影响较大,不同地形级别上的土地利用以自然地类为主导,分布格局相对稳定,但高原土地利用活动对土地利用结构的形成也产生着深远影响。

关键词:土地利用; 地形特征分异; 地形位; 珠穆朗玛峰国家级自然保护区

中图分类号:F301.24

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2021)02-0394-07

Research on Land Use Distribution Based on Topographic Differentiation

—A Case Study of Qomolangma National Nature Reserve

SHI Yunjie¹, CAI Kui², WU Wenchun², XU Yanan¹, LI Keyu¹, LHABA Cering³, GONG Ziling⁴

(1.School of Earth Sciences, Yunnan University, Kunming 650500, China;

2.School of Economics, Yunnan University, Kunming 650500, China; 3.Administration of Qomolangma National

Nature Reserve, Shigatse, Tibet 857000, China; 4.Snowleopard Conservation Center, Shigatse, Tibet 857000, China)

Abstract: In order to coordinate land use and ecological protection in areas with remarkable topographic characteristics, the Qomolangma National Nature Reserve was taken as a case, the land use distribution indexes in regard of elevation, slope, and terrain niche in the study area were analyzed by using DEM and Landsat OLI data. Meanwhile, the vertical zonation of land use in the study area was constructed for further identifying the characteristics and patterns of land use distribution in 2017 based on the differentiation of topographic features. The results are demonstrated as follows. The distribution of land types changing showed obvious vertical belts. The dominant land types from low elevation to high elevation were forestland, cultivated land, construction land—cultivated land, water, construction land—grassland, water, bare land—grasslands, bare land, glaciers and permanent snow cover—glaciers and permanent snow cover; the distribution of land types with different slope showed complex distribution patterns. As the slope gradient increases, it presents combining patterns of cultivated land, water, construction land—cultivated land, grassland, bare land, construction land—cultivated land, grassland, woodland, bare land, glaciers and permanent snow cover, construction land—grassland, woodland, bare land, glacier and permanent snow cover—grassland, woodland, glacier and permanent snow cover; the distribution of land types presents gradability at various terrain

收稿日期:2020-05-02

修回日期:2020-05-14

资助项目:西藏自治区自然科学基金(XZ2019ZRG-110(Z));珠穆朗玛峰国家级自然保护区草地和湿地资源利用调查项目(2019090401)

第一作者:石运杰(1993—),男,山东临沂人,硕士,研究方向为土地资源管理。E-mail:shi_yunjie@foxmail.com

通信作者:蔡葵(1967—),女,云南昆明人,研究员,主要从事社区发展、土地资源利用研究。E-mail:caikui@ynu.edu.cn

niches. As the terrain niche gradient increases, the major distribution patterns of the dominant land types are water—cultivated land, construction land—cultivated land, grassland, bare land—woodland, grassland, glaciers and permanent snow cover—woodland, glaciers and permanent snow cover. The land use in the study area is greatly affected by topographical factors, and the natural land type is dominant at different topographic levels, and the distribution pattern is relatively stable. However, plateau land-use activities also have the profound impact on the formation of the land use structure.

Keywords: land use; topographic differentiation; terrain niche; Qomolangma National Nature Reserve

土地资源是承载人类发展的基石,也是人类使用、保护和改造的对象^[1]。在当前生态文明建设和乡村振兴战略大背景下,土地资源分布和利用的研究为土地资源的再分配和可持续利用提供了重要依据。受海拔、坡度等自然条件的影响,不同地域的土地利用呈现出地域分异特点^[2-3]。不同的高程和坡度因子组合,会产生不同的土地利用类型,作物种类和种植方式及水资源利用方式等也有很大差异,而我国东西部巨大的地形差异,也导致了不同区域各自不同的土地利用特点,社会经济发展也受到极大影响^[4-6]。目前,在土地利用类型的地形梯度效应研究方面,我国学者对中、低海拔区域的研究较为丰富,以土地利用变化、地形分布关系等方面为主开展研究^[4,7-9],并且较为准确地发现了土地利用在地形因子作用下的分布规律,但是缺少对青藏高原地形第一阶梯高海拔区域的研究和探讨。

珠穆朗玛峰国家级自然保护区(以下简称“珠峰自然保护区”)位于青藏高原西南部,受印度洋暖湿气流影响,拥有阶梯式垂直生态系统和多种地貌地形的极其复杂的现代地表形态,其显著的特点是高差巨大,地形起伏明显,土地利用格局受地形因素影响较大。保护区目前生活着约 10.6 万农牧民,区内社区土地利用和生态保护矛盾初显^[10-15],了解掌握土地利用的地形梯度分布就显得尤为关键。因此,本文以珠峰自然保护区 2017 年土地利用为研究对象,通过研究土地利用在地形上的分布变化特征,探究各土地利用类型在各地形因子上的空间分布规律,以期保护区协调土地利用与生态保护提供一些基础参考。

1 研究区概况

珠峰自然保护区位于西藏自治区西南部,与尼泊尔王国接壤,其坐标为北纬 $27^{\circ}48'$ — $29^{\circ}12'$,东经 $84^{\circ}27'$ — $88^{\circ}21'$,包括吉隆县、聂拉木县、定日县和定结县,保护区成立于 1988 年、1994 年升级为国家级自然保护区,2004 年 2 月加入联合国教科文组织(UNESCO)“世界人与生物圈保护区网络”。保护区总面积 3.38 万 km^2 ,平均海拔 $4\,961 \text{ m}$,拥有世界屋脊珠穆朗玛峰在内的 5 座 $8\,000 \text{ m}$ 级高山,也拥有独

特的山脉下切河谷谷地,最低处 $1\,440 \text{ m}$,相对高差超过 $7\,400 \text{ m}$ 。垂直阶梯式的极高山生态系统、原始山地森林生态系统、半干旱荒漠灌丛和草原生态系统组成了以高喜马拉雅山脉和藏南分水岭为骨架,以高原湖盆、宽谷为基底,并含有河流、湖泊、冰川、冰缘、风沙等多种地貌地形的极其复杂的现代地表形态。形成了保护区多样的土地覆被类型,也造就了独特的土地利用方式。目前,保护区内大约存在 310 个社区居民点,分布在海拔 $4\,800 \text{ m}$ 以下区域,不同海拔社区气候环境和资源种类不同,土地资源利用有着显著差异。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据获取与处理

本文使用的遥感数据是美国陆地卫星 Landsat-8 的陆地成像仪(Operational Land Imager,OLI)中的多波段数据,来源于美国地质调查局 USGS 网站(<https://earthexplorer.usgs.gov>),OLI 数据具有较高的影像质量,能够满足土地利用分类与解译。本研究选取景号为 139/040,139/041,140/040,140/041,141/040,141/041,获取日期为 2017 年 3 月的 Landsat-8 影像作为数据源。在分类前,以 ENVI 5.3 作为图像预处理软件,对获取的影像按序进行辐射定标、FLAASH 大气校正、影像拼接及裁剪。参考的高分辨率影像来自 91 卫图助手平台(www.91weitu.com)。DEM 数据来源于中国科学院计算机网络信息中心地理空间数据云平台(<http://www.gscloud.cn>) 30 m 分辨率的 DEM 数据,借助 ArcGIS 10.5 通过 DEM 数据进行坡度和地形位的计算提取。

2.2 研究方法

2.2.1 土地利用分类与解译 以 Landsat-8 OLI 数据为数据源,运用非监督分类与人机交互式解译的方法进行土地利用信息提取。通过高分辨率影像对解译后的数据进行检查修正,得到珠峰自然保护区 2017 年土地利用现状数据(表 1)。在 ArcGIS 10.5 中使用软件内置工具采用分层随机法在研究区域内生成 1 000 个随机采样点,利用 91 卫图助手平台中

Google Earth 高清影像作为参考进行人工检视,对比自动分类算法与人工检视判断结果,得到解译精度为 85.80%,Kappa 系数 0.82,满足研究的需要。土地利用现状数据的分类参照第二次全国土地调查^[16]和第

表 1 珠峰自然保护区 2017 年各地类面积及比例

地类	耕地	草地	林地	水域	冰川及永久积雪	建设用地	裸地
面积/km ²	215.54	18526.82	1991.64	655.72	9358.79	27.92	3702.70
比例/%	0.63	53.73	5.78	1.90	27.14	0.08	10.74

2.2.2 高程分级 珠峰自然保护区位于青藏高原,拥有珠穆朗玛峰等 8 000 m 级高山,相对高差超过 7 400 m,根据实地调查情况分析,保护区内以高程 3 900 m 为分界线的两个区域土地覆被有显著差异,且在高程 3 900~5 600 m 土地利用类型变化较大,高程 5 600 m 以上区域土地类型单一。因此,本研究使用 30 m 分辨率的 DEM 数据,在高程区间为 1 440~8 844 m(图 1),将研究区依次划分为 6 个高程等级(表 2)。

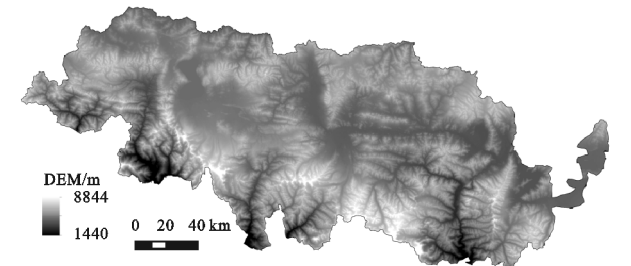


图 1 珠峰自然保护区高程

表 2 高程分级

高程级别	分级/ m	面积比例/%
低	≥1440~3900	2.74
较低	>3900~4500	15.45
一般	>4500~4800	20.78
高	>4800~5200	28.22
较高	>5200~5600	22.32
极高	>5600~8844	10.49

2.2.3 坡度分级 借助 30 m 分辨率的 DEM 数据,在 ArcGIS 10.5 中生成珠峰自然保护区坡度数据(图 2)。参考第二次和第三次全国土地调查中的耕地坡度分级标准^[16-17],结合珠峰自然保护区特殊的地形地貌特征,将研究区依次划分为 6 个坡度级(表 3)。

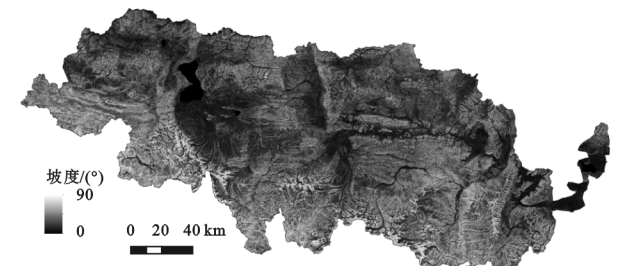


图 2 珠峰自然保护区坡度

2.2.4 地形位指数及分级 地形位(terrain niche)是反映高程和坡度综合影响的地形因子,高程越大,坡度

三次全国土地调查^[17]的分类体系,根据珠峰自然保护区特殊地理地貌特征,将保护区土地利用类型划分为耕地、草地、林地、水域、冰川及永久积雪、建设用地和裸地 7 大类。

越大,地形位指数就越大,反之则越小,计算公式为^[1-2]:

$$T=\ln[(E/E_0+1)\times(S/S_0+1)]$$
 (1)

式中:T 为地形位;E,S 分别为某点的高程(m)和坡度(°);E₀,S₀分别为该点所在区域的平均高程(m)和坡度(°)。

表 3 坡度分级

坡度级别	分级/(°)	面积比例/%
低	≥0~5	9.17
较低	>5~15	31.30
一般	>15~25	26.24
高	>25~35	18.82
较高	>35~45	9.97
极高	>45~90	4.50

针对珠峰自然保护区地形位特征(图 3)。本研究采用等数量重分类法^[18]对地形位指数 0.336~2.502进行分级,以 0.361 为等级间隔分级,分别代表 6 个地形位级别(表 4)。

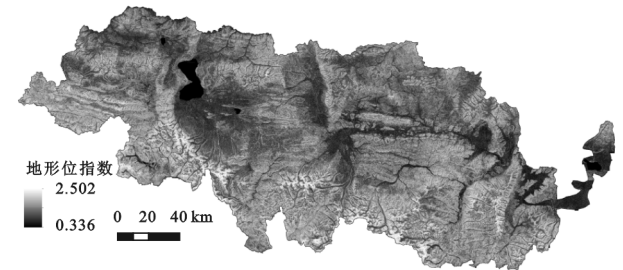


图 3 珠峰自然保护区地形位

表 4 地形位分级

地形位级别	分级	面积比例/%
低	≥0.336~0.697	1.61
较低	>0.697~1.058	21.72
一般	>1.058~1.419	36.32
高	>1.419~1.780	31.72
较高	>1.780~2.141	8.26
极高	>2.141~2.502	0.37

2.2.5 分布指数 分布指数(distribution index,DI)可以反映不同土地利用各组分在地形梯度上的分布状况,其中,DI>1 时,土地利用类型呈现优势分布,DI<1 时,呈现出劣势分布,优势度随着 DI 值增大而提高,反之则劣势度提高。其公式为^[1,19]:

$$DI=(A_{ij}/A_i)/(A_j/TA)$$
 (2)

式中:DI 为分布指数; j 为地形因子; A_{ij} 为 j 地形因子某等级下 i 种土地利用组分的面积; A_i 为研究区内第 i 种土地利用组分的总面积; A_j 为研究区内 j 地形因子某等级的总面积; TA 为研究区总面积。

3 结果与分析

3.1 基于高程分异的土地利用分析

3.1.1 不同高程级的土地利用分布 从图 4 可以看出,珠峰自然保护区各高程级别上各土地利用分布指数差异较为明显。在高程低级内,耕地、林地、建设用地分布指数大于 1,耕地和建设用地值较大,林地接近 26,因此,林地占绝对主导地位,人类对土地の利用强度较大;在高程较低级内,除冰川及永久积雪的分布指数为 0 外,其他地类的分布指数均超过 1,因此人类活动较强,各地类的空间分布竞争大,土地利用强度大;在高程一般级内,草地、水域和裸地的分布指数大于 1,自然类型地类分布占主导,土地利用强度较低;在高程高级内,只有草地的分布指数大于 1,草地分布占主导,人类活动影响极小;在高程较高一级高级内,冰川及永久积雪的分布指数大于 1,其他地类分布指数都较小,因此这两个高程级内主要分布为冰川及永久积雪,人类活动直接影响极其微弱。综上所述,珠峰自然保护区内各高程等级的地类分布具有一定的规律,土地利用强度高,人类活动影响大的区域主要集中在 4 500 m 以下的低高程级,尤其是在 3 900~4 500 m 高程级内更加显著,随着高程级的升高,土地利用强度逐渐减弱。

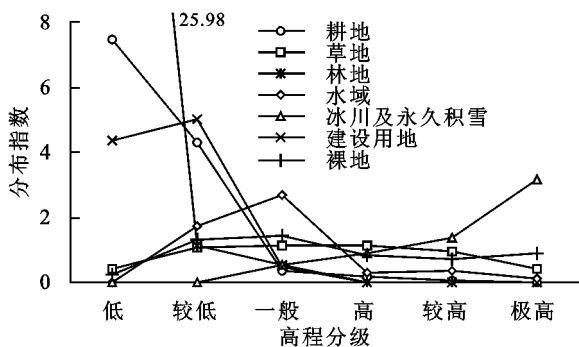


图 4 珠峰自然保护区不同高程级下的土地利用分布指数

3.1.2 土地利用垂直带谱分析 由图 5 可知,珠峰自然保护区土地利用类型分布呈现出一定的垂直分异规律。随着高程的升高,依次交错分布着林地、耕地、建设用地—耕地、水域、建设用地—草地、水域、裸地—草地、裸地、冰川及永久积雪—冰川及永久积雪。林地随高程的升高呈现显著减少趋势,耕地、建设用地、草地、裸地和水域随高程的升高先增加后减少,而冰川及永久积雪随着高程增高逐渐增加。其中,基带为高程 1 440~3 900 m 的低海拔带,由于受印度洋

暖湿气流的强烈影响,气候温暖湿润,主要类型为林地;高程 3 900~4 500 m 范围内,由于处在降水过渡带,加之人类活动相对频繁,土地类型较为丰富,耕地和建设用地比例较高;水域主要分布在 4 500~4 800 m 范围内;在高程 3 900~5 200 m 范围内,气候变得寒冷,草地、裸地成为主导地类;高程 5 200 m 以上逐渐接近雪线,冰川及永久积雪成为绝对优势地类。

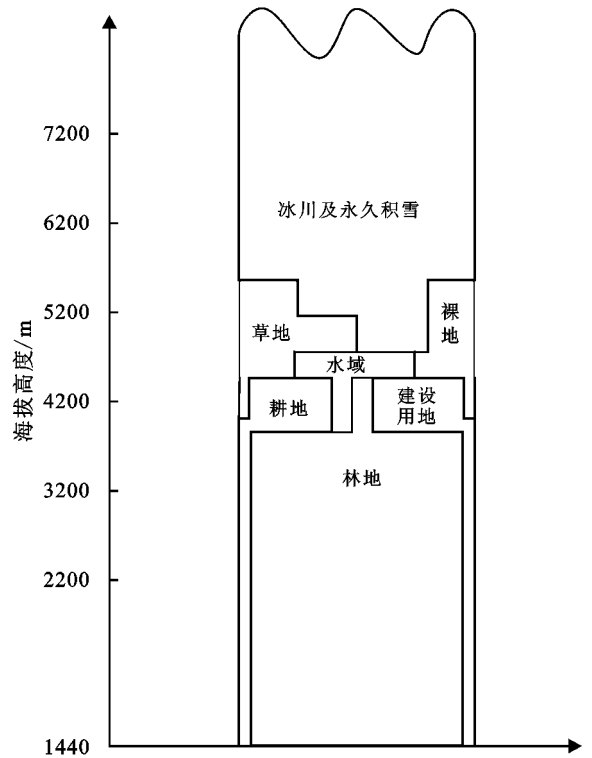


图 5 珠峰自然保护区土地利用垂直带谱

3.2 基于坡度分异的土地利用分析

3.2.1 不同坡度级的土地利用分布 从图 6 的变化趋势看,珠峰自然保护区各坡度级土地利用分布状况具有一定的规律。在坡度低级中,人类活动的干扰大,土地利用强度大,耕地和建设用地分布指数均超过 3,与水域、裸地一同成为此级别内的优势地类;在坡度较低级中,人类活动的干扰有较大幅度的下降,耕地和建设用地分布指数均降低到 2 以内,但仍然表现出绝对优势分布状态;在坡度一般级中,自然类型地类逐渐占据主导,人类活动影响持续减弱,土地利用强度逐渐降低,草地成为优势地类;在坡度高级—极高级中,林地和冰川及永久积雪的分布指数持续上升且均大于 1,自然地类成为绝对主导。由此可以发现,珠峰自然保护区高强度的土地利用方式主要集中在<15°的平地 and 缓坡区域,自然地类则主要分布在>15°的陡坡区域。

3.2.2 土地利用在坡度带的分布格局 根据图 7 可知,珠峰自然保护区土地利用随坡度的变化呈现较为

复杂的分布特点。由坡度低级到高级依次交错分布着耕地、水域、建设用地—耕地、草地、裸地、建设用地—耕地、草地、林地、裸地、冰川及永久积雪、建设用地—草地、林地、裸地、冰川及永久积雪—草地、林地、冰川及永久积雪。其中,水域多处于 5°以下地形平坦区域,建设用地、耕地和裸地主要分布于在 0°~15°带内;草地分布的坡度范围跨度较大,以 15°~35°带为主;25°以上地形陡峭带,林地、冰川及永久积雪的分布带与林地相似。

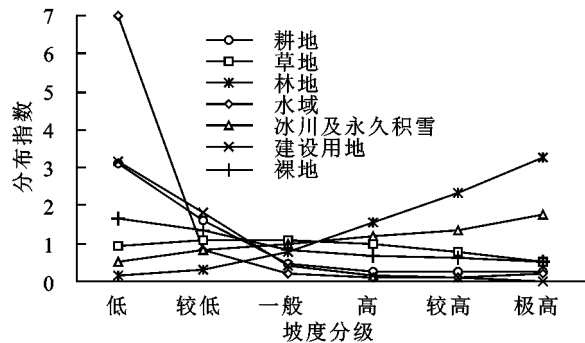


图 6 珠峰自然保护区不同坡度级下的土地利用分布指数

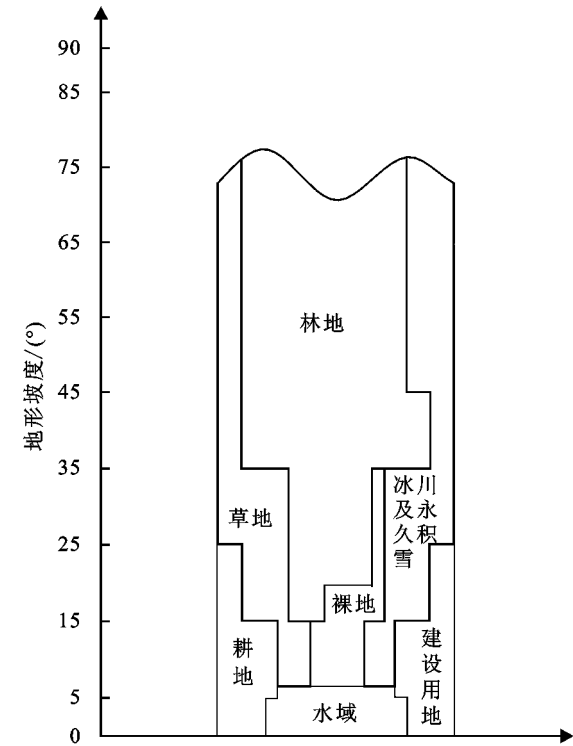


图 7 珠峰自然保护区土地利用在坡度带的分布

3.3 基于地形位分异的土地利用分析

3.3.1 不同地形位级的土地利用分布 由图 8 可知,珠峰自然保护区各地形位级别内各土地利用分布指数差异显著。地形位低级内,耕地、水域、建设用地分布指数超过 1,耕地和建设用地分布指数均大于 4,水域最大达到了 31.64,因此,在该地形位级别内水域占绝对主导地位,人类活动对土地利用的影响也较大;在地形位较低级内,耕地和建设用地的分布指数

在 3 左右,属于主导地类,裸地、水域和草地的分布指数为 1~2,也处于较为优势的分布地位,因此,地形位较低级内不仅存在相对强度较大的土地利用活动,自然地类的分布也相对集中,且易受人类土地利用活动的影响;在地形位一般级内,各地类的分布指数相对集中,草地、裸地和冰川及永久积雪的分布指数在 1 附近,为优势分布地类,以自然类型地类分布为主,土地利用强度较低;在地形位高一极高级内,林地和冰川及永久积雪的分布指数均大于 1,林地占主导地位,冰川及永久积雪也处于优势分布状态,人类活动影响极小,土地利用强度极低。综上所述,珠峰自然保护区内各地形位级别的地类分布呈现出如下特点:土地利用强度高,人类活动影响大的区域主要集中在地形位指数 0.336~1.058 范围内,耕地、建设用地分布优势较大;受人类活动影响大的地类向自然地类转变的区域主要在地形位指数 1.058~1.419 范围内,属于过渡区域,各类型地类分布相对均匀;地形位指数在 1.419~2.502 范围内,优势地类主要为林地和冰川及永久积雪,人类活动影响微弱。

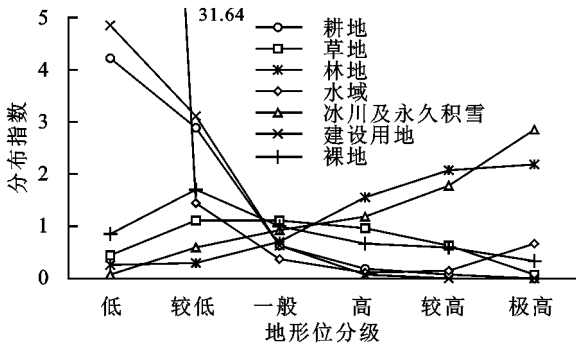


图 8 珠峰自然保护区不同地形位级下的土地利用分布指数

3.3.2 土地利用在地形位带的分布特点 从图 9 可知,珠峰自然保护区土地利用类型在地形位上的分布交错复杂。其中,从低级带向上发展,其主导地类基本分布规律为:水域—耕地、建设用地—耕地、草地、裸地—林地、草地、冰川及永久积雪—林地、冰川及永久积雪。其中,水域以低地形位带分布为主;耕地和建设用地分布状况类似,主体分布于 0.697~1.058 带;草地、裸地的优势带主要为 0.697~1.780 范围内;林地、冰川及永久积雪分布范围主要集中于 1.419~2.502 的高地形位带,并在 1.780 地形位带以上为主导地类。

4 讨论

青藏高原是我国乃至亚洲的重要生态屏障,处于特殊的研究地位^[20]。从本研究可以看出,珠峰自然保护区土地利用受地形因子的影响大。与中低海拔地区相比,该地区生态环境更加脆弱敏感,一旦土地覆被遭到破坏,将会严重影响到当地的生态安全,威

胁保护区的生物多样性保护。目前保护区内各地形级别上土地利用格局相对稳定,自然地类占绝对主导地位,但是人类活动对土地利用结构已经产生了较大影响,在保护区地广人稀的土地上,尤其是高程较低、坡度平缓、地形位指数低的区域,耕地和建设用地的开发和利用已经出现了对自然覆被的侵蚀现象,如不进行合理管理,将对生态环境产生不利影响。

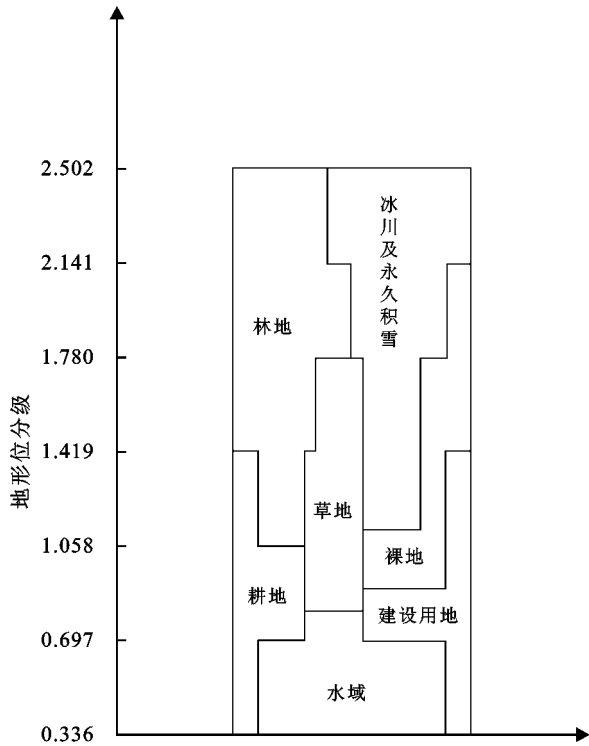


图 9 珠峰自然保护区土地利用在地形位带的分布

无论是自然土地类型还是人类活动干扰较大的土地利用类型的分布,地形因素在其中都起到重要的推动作用。因此,从保护区层面出发,应在地形要素分析基础上开展土地资源利用和管理,尤其是在保护区人类活动密集区,要因地制宜,从生态保护的角度优化配置土地资源,合理利用草地资源,保护冰川、湿地和森林。在协调当地社区生计发展过程中,更要综合考量经济、社会和生态特征,探讨既能充分发挥社区土地经济和社会功能,又能保护当地生态环境的土地利用方式。

本研究表明,在保护区各高程带、坡度带和地形位带上,不同地类分布具有显著差异,而且都表现出了较为明显的分布规律。一方面,土地利用的规律性可以更加清晰地展现保护区土地利用现状,对于土地的有效利用和生态利用起到积极的指导作用;另一方面,土地类型的地形分布格局突出表现了人类活动对自然地类的影响程度,为管理决策者生态保护策略的制定提供了基础参考。进一步针对土地利用的动态过程可开展更深入的探究,在积累一定年限的土地利用数据的前提下,从时间动态变化角度继续开展相关

研究,可为保护区协调土地利用与生态保护提供更加详实的基础参考。同时,随着当前气候变化的加剧,土地利用多样化程度的提高,从气候变化及地形分异相结合的角度分析土地利用状况,对珠峰自然保护区乃至整个青藏高原的土地合理利用与保护,土地利用变化的追踪与预测都会起到关键的作用。

5 结论

(1) 研究区不同土地利用类型在不同高程级上分布具有显著差异,表现出一定的垂直分布规律,且随着高程级的增加,人类活动对地类的影响程度逐渐减弱。其中,在 3 900 m 以下的高程级,优势地类主要为林地、耕地和建设用地,草地、水域和裸地的优势分布区集中于 3 900~5 200 m 高程级,5 200 m 以上的高程级优势地类为冰川及永久积雪。随着高程级的升高,依次交错分布着林地、耕地、建设用地—耕地、水域、建设用地—草地、水域、裸地—草地、裸地、冰川及永久积雪—冰川及永久积雪。

(2) 研究区不同土地利用类型在不同坡度级上分布不同,并且在坡度级上随坡度的变化呈现较为复杂的分布特点,高强度土地利用方式主要集中在平地 and 缓坡区域,低强度土地利用方式则主要分布在陡坡区域。其中,在低于 15°的坡度梯度区,耕地、水域、建设用地和裸地为主要优势地类,草地的主要优势分布区为 15°~35°坡度梯度区,大于 35°的坡度梯度区主要优势地类为林地和冰川及永久积雪。由坡度低级到高级依次交错分布着耕地、水域、建设用地—耕地、草地、裸地、建设用地—耕地、草地、林地、裸地、冰川及永久积雪、建设用地—草地、林地、裸地、冰川及永久积雪—草地、林地、冰川及永久积雪。

(3) 研究区内各地形位级的土地利用分布呈现出层级性,且在地形位级中表现出复杂性,土地利用强度高,人类活动影响大的地类主要集中于较低地形位指数范围,受人类活动影响大的地类向自然地类的过渡区主要集中于地形位指数中间范围,自然地类为优势地类的区域,地形位指数在较高范围内。其中,在地形位指数 0.336~1.058 地形位级,耕地、建设用地、水域和裸地为优势地类,地形位指数 1.058~1.419 地形位级,优势地类为草地和裸地,林地和冰川及永久积雪的优势分布区集中在地形位指数 1.419~2.502 地形位级。并且,从低地形位带向上发展,其主导地类基本分布规律为:水域—耕地、建设用地—耕地、草地、裸地—林地、草地、冰川及永久积雪—林地、冰川及永久积雪。

参考文献:

- [1] 幸瑞桑,周启刚,李辉,等.基于地形梯度的三峡库区万州区土地利用时空变化分析[J].水土保持研究,2019,26(2):297-304.
- [2] 王启名,杨昆,许泉立,等.滇池流域土地利用变化图谱的地形梯度效应[J].水土保持研究,2018,25(3):237-244.
- [3] 冯朝阳,于勇,高吉喜,等.地形因子对京西门头沟区土地利用/覆盖变化的影响[J].山地学报,2007,25(3):274-279.
- [4] 孙丕苓,许月卿,王数.环京津贫困带土地利用变化的地形梯度效应分析[J].农业工程学报,2014,30(14):277-288.
- [5] 邱扬,傅伯杰,王军,等.黄土丘陵小流域土地利用的时空分布及其与地形因子的关系[J].自然资源学报,2003,18(1):20-29.
- [6] 李欣,叶长盛,吕雪.基于地形因子的鄱阳湖地区土地利用格局变化分析[J].水土保持研究,2017,24(4):210-218.
- [7] 哈凯,丁庆龙,门明新,等.山地丘陵区土地利用分布及其与地形因子关系:以河北省怀来县为例[J].地理研究,2015,34(5):909-921.
- [8] 周启刚,陈丹.重庆山地都市区土地利用地形特征分异研究[J].水土保持研究,2013,20(3):86-91.
- [9] 董顺舟,赵宇鸾,李秀彬.基于地形梯度的高原山区土地利用格局时空特征:以贵州省盘县为例[J].水土保持研究,2017,24(2):213-222.
- [10] 蔡葵,郑坤,拱子凌.基于资源承载力的珠峰自然保护区社区草场资源利用研究[J].中国人口·资源与环境,2018,28(S1):194-197.
- [11] 蔡葵,石运杰,拱子凌.基于一年期物候监测的珠穆朗玛峰国家级自然保护区河谷阶地青稞地块生态利用研究[J].生态与农村环境学报,2020,36(4):470-479.
- [12] 蔡葵,甘春艳,拱子凌.精准扶贫背景下的珠峰自然保护区农民专业合作社发展研究[J].西藏民族大学学报:哲学社会科学版,2018,39(4):8-12,153.
- [13] 孙静.珠穆朗玛峰国家级自然保护区城域农牧用地效率评价及其空间分异研究[D].昆明:云南大学,2019.
- [14] 郑坤.珠穆朗玛峰国家级自然保护区社区草场资源利用效益研究[D].昆明:云南大学,2019.
- [15] 甘春艳.基于农户感知的珠峰自然保护区生态补偿绩效评价研究[D].昆明:云南大学,2019.
- [16] 中华人民共和国国土资源部.第二次全国土地调查技术规程 TD/T1014—2007[S].北京:中国标准出版社,2007.
- [17] 中华人民共和国国土资源部.第三次全国国土调查技术规程 TD/T1055—2019[S].北京:中国标准出版社,2019.
- [18] 李升发,董玉祥.广州市土地利用垂直分层模式及其演变过程[J].自然资源学报,2013,28(6):1019-1029.
- [19] Mottet A, Ladet S, Coqué N, et al. Agricultural land-use change and its drivers in mountain landscapes: A case study in the Pyrenees[J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2006,114(2/4):296-310.
- [20] 孙鸿烈,郑度,姚檀栋,等.青藏高原国家生态安全屏障保护与建设[J].地理学报,2012,67(1):3-12.

(上接第 393 页)

- [6] 刘佳,王继军.黄土丘陵区农业生态系统和经济系统的互动关系:以安塞县纸坊沟小流域为例[J].应用生态学报,2009,20(6):1401-1407.
- [7] 李芬,王继军.黄土丘陵区纸坊沟流域近 70 年农业生态安全评价[J].生态学报,2008,28(5):2380-2388.
- [8] 彭珂珊.我国水土保持在生态文明建设中的实践与思考[J].首都师范大学学报:自然科学版,2016,37(5):58-69.
- [9] 季曦,李刚.推动中国生态经济学复兴,助力中国生态文明建设:首届“生态经济学与生态文明”国际会议综述[J].生态经济,2020,36(6):13-18,33.
- [10] Hu X N, Si M Z, Luo H, et al. The method and model of ecological technology evaluation[J]. Sustainability, 2019, 11(3). DOI:10.3390/su11030886.
- [11] 乔梅.陕北退耕区水土保持技术评估[D].陕西杨凌:西北农林科技大学,2019.
- [12] 柯奇画,张科利,陈月红,等.西南岩溶区水土保持生态效应指标体系与定量评价[J].水土保持研究,2019,26(1):148-154.
- [13] 王海燕,田凤霞,鲍玉海,等.水土保持功能服务价值评价指标体系构建[J].中国水土保持,2018(5):24-26,50.
- [14] 乔梅,王继军,赵晓翠,等.基于评价指标为潜变量背景下的纸坊沟流域水土保持技术评估[J].生态学报,2019,39(16):5787-5797.