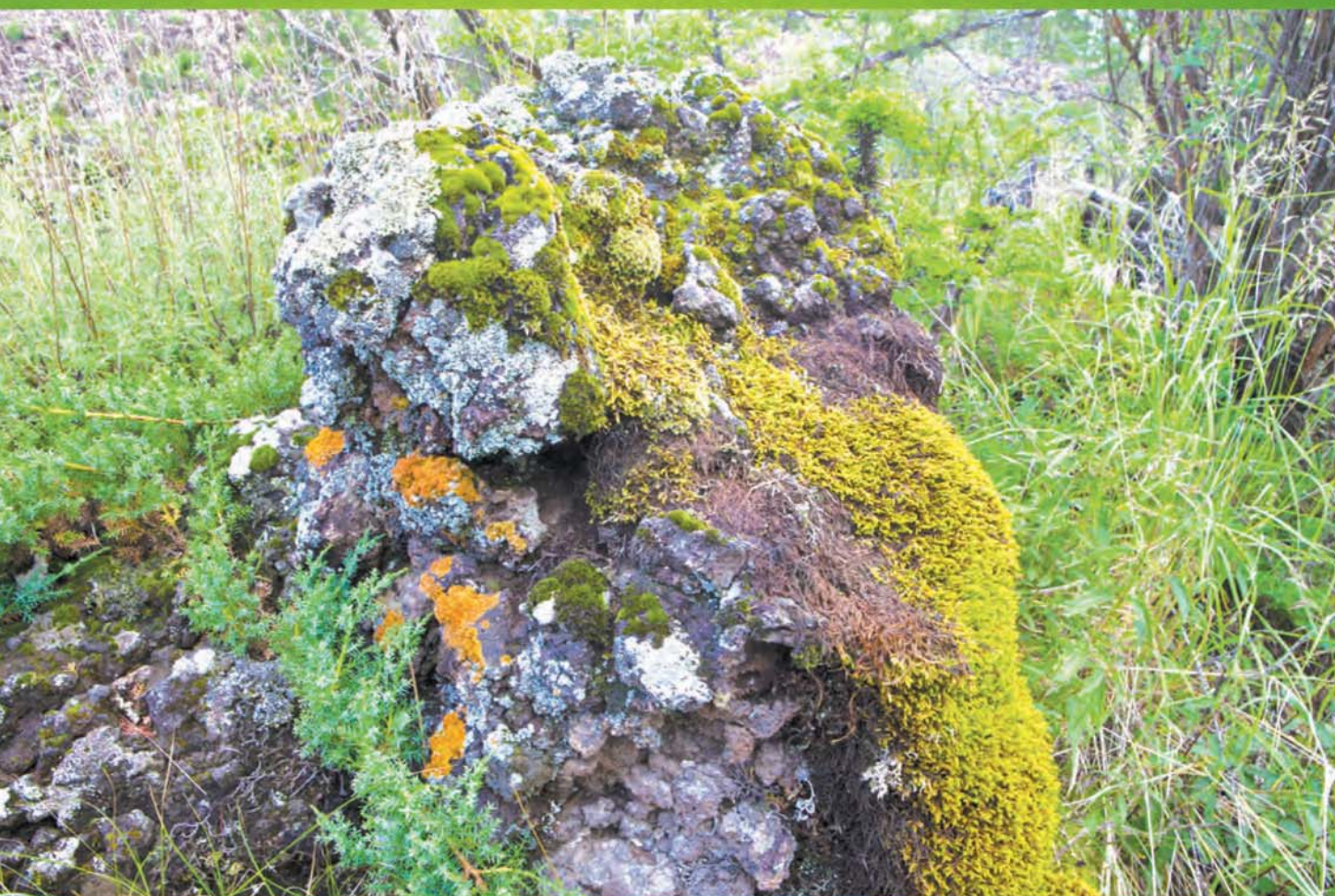


ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第32卷 第6期 Vol.32 No.6 **2012**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 32 卷 第 6 期

2012 年 3 月 (半月刊)

目 次

高原草被退化程度的遥感定量监测——以甘肃省玛曲县为例·····	周坚华,魏怀东,陈芳,等 (1663)
基于着生藻类的太子河流域水生态系统健康评价·····	殷旭旺,渠晓东,李庆南,等 (1677)
哀牢山常绿阔叶林水源涵养功能及其在应对西南干旱中的作用·····	杞金华,章永江,张一平,等 (1692)
青岛沿岸水体原生生物群落与水质状况的关系·····	杨金鹏,姜勇,胡晓钟 (1703)
增温对青藏高原高寒草甸生态系统固碳通量影响的模拟研究·····	亓伟伟,牛海山,汪诗平,等 (1713)
三峡水库消落带植物叶片光合与营养性状特征·····	揭胜麟,樊大勇,谢宗强,等 (1723)
三峡库区澎溪河鱼类时空分布特征的水声学·····	任玉芹,陈大庆,刘绍平,等 (1734)
强壮前沟藻化感物质分析·····	冀晓青,韩笑天,杨佰娟,等 (1745)
饥饿对中间球海胆 MYP 基因转录表达的影响·····	秦艳杰,孙博林,李霞,等 (1755)
贺兰山牦牛冬春季的生境选择·····	赵宪南,苏云,刘振生,等 (1762)
利用元胞自动机研究一类捕食食饵模型中的斑块扩散现象·····	杨立,李维德 (1773)
转 <i>Cry1Ab</i> 和 <i>Cry1Ac</i> 融合基因型抗虫水稻对田间二化螟和大螟种群发生动态的影响·····	李志毅,隋贺,徐艳博,等 (1783)
光谱和光强度对西花蓟马雌虫趋光行为的影响·····	范凡,任红敏,吕利华,等 (1790)
荧光素对舞毒蛾核型多角体病毒不同地理品系的增效与光保护作用·····	王树娟,段立清,李海平,等 (1796)
不同利用强度下绿洲农田土壤微量元素有效含量特征·····	李海峰,曾凡江,桂东伟,等 (1803)
稻田温室气体排放与土壤微生物菌群的多元回归分析·····	秦晓波,李玉娥,石生伟,等 (1811)
黄土高原典型区域土壤腐殖酸组剖面分布特征·····	党亚爱,李世清,王国栋 (1820)
紫色土菜地生态系统土壤 N_2O 排放及其主要影响因素·····	于亚军,王小国,朱波 (1830)
中国亚热带典型天然次生林土壤微生物碳源代谢功能影响因素·····	王芸,欧阳志云,郑华,等 (1839)
基于 K-均值算法模型的区域土壤数值化分类及预测制图·····	刘鹏飞,宋轩,刘晓冰,等 (1846)
淹水条件下秸秆还田的面源污染物释放特征·····	杨志敏,陈玉成,张赞,等 (1854)
推迟拔节水对小麦氮素积累与分配和硝态氮运移的影响·····	王红光,于振文,张永丽,等 (1861)
江苏省冬小麦渍害的风险区划·····	吴洪颜,高苹,徐为根,等 (1871)
草原植物根系起始吸水层深度测定方法及其在不同群落状态下的表现·····	郭宇然,王炜,梁存柱,等 (1880)
亚热带 6 种树种细根序级结构和形态特征·····	熊德成,黄锦学,杨智杰,等 (1888)
高寒草原植物群落种间关系的数量分析·····	房飞,胡玉昆,张伟,等 (1898)
菊花近缘种属植物幼苗耐阴特性分析及其评价指标的确定·····	孙艳,高海顺,管志勇,等 (1908)
南方菟丝子寄生对喜旱莲子草生长及群落多样性的影响·····	王如魁,管铭,李永慧,等 (1917)
基于 cDNA 克隆的亚热带阔叶林和针叶林生态系统担子菌漆酶基因多样性及其群落结构研究·····	陈香碧,苏以荣,何寻阳,等 (1924)
细柄阿丁枫和米槠细根寿命影响因素·····	黄锦学,凌华,杨智杰,等 (1932)
基于 TM 遥感影像的森林资源线性规划与优化配置研究·····	董斌,陈立平,王萍,等 (1943)
基于 CFD 的城市绿地空间格局热环境效应分析·····	刘艳红,郭晋平,魏清顺 (1951)
专论与综述	
生态补偿效率研究综述·····	赵雪雁 (1960)
研究简报	
黄河三角洲石油生产对东营湿地底栖动物群落结构和水质生物评价的影响·····	陈凯,肖能文,王备新,等 (1970)
期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 316 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 34 * 2012-03	



封面图说: 植物生命演进石——这不是一块普通的火山岩,而是一块集中展示植物“原生演替”过程最有价值的石头。火山熔岩冷却后的玄武岩是无生命无土壤的真正“裸石”,风力使地衣的孢子传入,在一定温湿度环境下,开始出现了壳状地衣,壳状地衣尸体混合了自然风化的岩石碎屑提供的条件使叶状、枝状地衣能够侵入,接着苔藓侵入,是它们启动了土壤的形成,保持了土壤的湿度,并使营养物质反复循环。于是蕨类定居,草丛长了起来,小灌木出现,直到树木生长,最终形成森林。

彩图提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201102270235

赵宠南, 苏云, 刘振生, 姚志诚, 张明明, 李志刚. 贺兰山牦牛冬春季的生境选择. 生态学报, 2012, 32(6): 1762-1772.

Zhao C N, Su Y, Liu Z S, Yao Z C, Zhang M M, Li Z G. Habitat selection of feral yak in winter and spring in the Helan Mountains, China. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(6): 1762-1772.

贺兰山牦牛冬春季的生境选择

赵宠南¹, 苏云², 刘振生^{1,3,*}, 姚志诚¹, 张明明¹, 李志刚⁴

(1. 东北林业大学野生动物资源学院, 哈尔滨 150040; 2. 内蒙古贺兰山国家级自然保护区管理局, 巴彦浩特 750300;
3. 国家林业局野生动物保护学重点实验室, 哈尔滨 150040; 4. 宁夏贺兰山国家级自然保护区管理局, 银川 750021)

摘要:在 2009 年 12 月—2010 年 1 月和 2010 年 4—5 月, 采用样线法结合直接观察法对贺兰山牦牛的冬春季生境选择进行了研究。结果表明, 牦牛冬季对 11 种生境因子有选择性, 偏爱山地针叶林带, 海拔小于 2000 m, 优势乔木为灰榆, 坡度小于 10°, 下坡位, 距水源距离大于 1200 m, 人为干扰距离 2000—4000 m, 隐蔽级大于 70%; 春季牦牛对 13 种利用生境生态因子有选择性, 偏爱于亚高山灌丛和草甸带, 海拔大于 3000 m, 乔木密度小于 1 株, 乔木高度小于 3 m, 乔木距离大于 3 m, 灌木密度大于 40 株, 灌木距离小于 1 m, 植被盖度大于 70%, 上坡位, 距水源的距离小于 800 m, 人为干扰距离大于 4000 m, 隐蔽级大于 70%。冬春季牦牛在海拔、植被类型、地形特征、优势乔木、灌木种类、坡度、坡向、人为干扰距离、距水源距离上存在显著差异。主成分分析表明冬季第一主成分的贡献率 21.100%, 其中绝对值较大的相关系数是乔木距离、优势乔木、乔木高度和乔木密度; 春季第一主成分的贡献率是 31.247%, 其中绝对值较大的相关系数是植被类型、海拔高度、地形特征和灌木密度。与其他分布地区的牦牛相比, 贺兰山地区的牦牛能适应当地的地理特征和气候环境。

关键词:牦牛 (*Bos grunniens*); 生境选择; 主成分分析; 冬季; 春季; 贺兰山

Habitat selection of feral yak in winter and spring in the Helan Mountains, China

ZHAO Chongnan¹, SU Yun², LIU Zhensheng^{1,3,*}, YAO Zhicheng¹, ZHANG Mingming¹, LI Zhigang⁴

¹ College of Wildlife Resources, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China

² Helan Mountains National Nature Reserve of Inner Mongolia, Bayanhaote 750300, China

³ Key Laboratory of Conservation Biology, State Forestry Administration, Harbin 150040, China

⁴ Helan Mountains National Nature Reserve of Ningxia, Yinchuan 750021, China

Abstract: The yak (*Bos grunniens*), sometimes called “the boat of the plateau”, is an endemic species of the Qinghai-Tibet Plateau, famous for its resistance to cold and importance as a form of transport. The total number of adults may be close to 10,000 because the total population was estimated to be around 15,000 in 1995. Nevertheless, the species was listed as “Vulnerable” in the World Conservation Union’s Red List of Threatened Animals because it is inferred that it has declined by over 30% over the last 30 years. Poaching, including commercial poaching for meat, has been the most serious threat to wild yaks. The species was listed on CITES Appendix I. Wild yaks have been protected in China since 1962, and are currently listed as a Class I protected animal, which means that they are fully protected by government law. In China, wild yaks are found in a number of large nature reserves, including the Arjin Shan, Chang Tang, Kekexili, Sanjiangyuan, and Yanchiwan Nature Reserves, although none of these reserves provide complete protection from habitat loss or occasional poaching. The yak population in the Helan Mountains is a reintroduced population from Qinghai-Tibet Plateau, and is only distributed in the Halawu Valleys and the surrounding areas, in the Helan Mountain Reserve in Inner Mongolia. Because

基金项目:国家新世纪优秀人才支持计划资助项目 (NCET-08-0753); 国家自然科学基金资助项目 (30970371); 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目 (DL09CA03); 国家林业局野生动植物保护与自然保护区管理司资助项目

收稿日期: 2011-02-27; 修订日期: 2011-06-13

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhenshengliu@163.net

their habitat selection had not been previously studied, we conducted surveys from December 2009 to January 2010 and from April to May 2010 to study yak habitat selection in winter and spring. Twenty line transects were established along seven valleys. We identified a total number of 103 used plots in winter and 129 in spring. To provide comparison plots for the analysis of habitat selections, we surveyed 188 randomly placed plots in winter and 207 randomly placed plots in spring by systematically placing transects in areas with no obvious evidence of yak use. Data on 18 topographic and biological variables were collected in each plot. In winter, yaks preferred montane coniferous forest, lower altitude (<2000 m), habitat dominated by *Ulmus glaucescens*, more gentle slopes ($<10^\circ$), sites closer to the foot of the mountain, areas distant from water resource (>1200 m), moderate distance from human disturbance (2000—4000 m) and abundant hiding cover ($>70\%$). In spring, yak preferred subalpine shrubland and meadow, higher altitude (>3000 m), lower tree density (<1 tree/100 m²), lower tree height (<3 m), greater distances from trees (>3 m), higher shrub density (>40 trees/100 m²), short distance to shrub (<1 m) and higher vegetation coverage ($>70\%$). Habitat selection of the yak showed significant differences in vegetation type, landform feature, dominant tree species, shrub type, position on mountain (e. g. top or base), slope direction, distance from human disturbance and distance from water resource between winter and spring. Results of principal components analysis indicated that the first principal component axis accounted for 21.10% of the total variance in habitat use during winter, with the highest correlation coefficient for distance to nearest tree, dominant tree species, tree height, tree density. In spring, the first principal components axis accounted for 31.247% of the variance, with highest correlation coefficient for vegetation type, altitude, landform feature, shrub density. Compared to other migrating yak populations distributed in Qinghai-Tibet Plateau, there were significant differences in yak habitat selection between different seasons in the Helan Mountains. Yaks are acclimatized to the particular geography and climate in the Helan Mountains.

Key Words: feral yak (*Bos grunniens*); habitat selection; principal component; winter; spring; the Helan Mountains

动物对生境的选择是野生动物管理的重要内容,弄清野生动物对生境的选择性,是正确评价生境质量的基础,而只有不断的对野生动物生境进行研究和评价,才能有效的保护和管理动物的生境,实现满足动物生活需要、提高动物繁殖与存活能力的目标^[1]。因此,野生动物生境选择的研究对野生动物的保护和管理有十分重要的意义。野生动物生境主要包括三大要素,即食物、水和隐蔽。在北方地区,冬季食物资源缺乏,对动物的存活具有重要的影响,因此动物对生境的选择尤为关键,而到了春季,随着食物资源的不断丰富,动物对生境选择的策略将会发生改变^[2-6]。因此,研究冬春季野生动物对生境的选择和利用,对了解其如何适应环境变化有重要的意义。

牦牛(*Bos grunniens*)属于青藏高原特有种,分布区域南自西藏的喜马拉雅山北麓,北与新疆的昆仑山(包括支脉阿尔金山和可可西里山)和甘肃西北的祁连山接壤,东达青海和四川^[7-9]。由于受到人为猎杀的影响,其种群数量在过去的 30 a 间剧减了大约 30%,因此被世界自然保护联盟(IUCN)濒危物种红皮书列为易危种(VU),同时也被濒危野生动植物种国际贸易公约(CITES)收录到附录 I 濒危物种。中国自 1962 年始加大了对野生牦牛种群的保护力度,被列为国家 I 级重点保护野生动物^[9]。贺兰山生活的牦牛属于野化种群,据传于 200 多年前的清乾隆年间,作为喇嘛驮运经书的工具,从青海、甘肃等地带入贺兰山,后将其放入山中,逐渐野化形成现在的种群,集中分布于哈拉乌沟及其周边区域^[10]。目前,对牦牛的研究主要集中于牦牛的分布、数量及基础生物学方面^[11-15],而贺兰山的牦牛作为一个特殊的种群,对其生态研究还很匮乏,仅有姚志诚等对该种群的冬春季食性进行了报道^[16]。牦牛在贺兰山地区的生存机制成为亟待解决的科学问题,而贺兰山地区牦牛种群的生境选择研究不仅有利于增加对其生态学信息的了解,也有利于对本地区同域分布的其他物种生境选择进行科学研究。因此,对贺兰山牦牛的冬春季生境选择进行了调查,以期通过对贺兰山牦牛与原分布区牦牛生境选择和利用的对比分析,探讨牦牛对新环境的适应机制,研究其与贺兰山其他有蹄类动物之

间的关系。

1 研究区域自然概况

贺兰山位于银川平原和阿拉善高原之间(N:38°21'—39°22', E:105°44'—106°42'),呈南北走向,海拔高度一般为2000—3000 m,最高峰鄂博疙瘩3 556.1 m。属温带大陆性气候,是荒漠和半荒漠草原之间的分界线。年平均气温由下部的8.5℃,降至2 900 m处的-0.8℃。年均降水量200—400 mm,蒸发量2000 mm,年均无霜期170 d。贺兰山是典型温带山地森林系统。在行政区划上,宁夏贺兰山国家级自然保护区跨越银川和石嘴山两市,是贺兰山的东坡,内蒙古贺兰山国家级自然保护区位于阿拉善左旗境内,是贺兰山的西坡,两个保护区之间自然相连,贺兰山牦牛主要分布于贺兰山的西坡^[17-19]。

2 研究方法

2.1 野外调查

在2009年12月—2010年1月和2010年4—5月,在贺兰山的北寺沟、水磨沟、哈拉乌南沟、哈拉乌北沟、后沟、强岗岭沟、镇木关沟等处设置了20条样线(图1),冬季和春季的样线总长分别为188.4 km和207.5 km。冬季和春季的样线基本一致,但由于冬季牦牛主要在沟口活动,因此冬季的样线长度稍短。

根据贺兰山牦牛的活动习性和在贺兰山分布的特点,主要采用痕迹检验法对其生境进行调查,根据牦牛啃食草被、灌木和乔木,或者剥食、刮擦树皮所留下的痕迹以及在附近的卧迹、足迹、粪便、残留的毛发等来确定。当见到牦牛实体活动后,用直接观察法对其生境进行研究,即在不干扰其活动的情况下进行生态学观察,待离去后对其生境进行记录。具体测定方法为,首先用全球定位仪(GPS)定位,然后以利用的痕迹为中心设置一个10 m×10 m样方,在该样方中心及4个角各设置一个1 m×1 m样方,记录样方内的18种生态因子,包括海拔高度、植被类型、地形特征、优势乔木、乔木密度、乔木高度、乔木距离、灌木种类、灌木密度、灌木高度、灌木距离、植被盖度、坡度、坡向、坡位、距水源距离、人为干扰距离、和隐蔽级。其中地形特征参见Oli^[20-21],乔木高度、乔木距离、灌木高度和灌木距离的测定方法和等级划分标准参见滕丽微等^[22],其余的生态因子参见刘

振生等^[19]、骆颖等^[23]。冬季测量了103个牦牛利用样方,春季测量了129个牦牛利用样方。同时在样带上利用GPS每隔1000 m设置一个对照样方^[18,23],其设定方法和测定内容同利用样方,冬季和春季各测量了188和207个对照样方。

海拔高度:利用全球定位仪(GPS)记录样方的海拔高度。

植被类型:依据牦牛分布地区的植被分布划分为山地疏林草原带、山地针叶林带、亚高山灌丛和草甸带3种类型。

地形特征:根据山坡的坡度和断裂程度等划分为5个等级,平滑起伏的坡、中等断裂的坡、明显断裂的坡、岩石堆或崩塌的坡和悬崖。

优势乔木:为一种乔木密度在10 m×10 m样方中占有所有乔木密度的70%以上。主要有灰榆(*Ulmus*

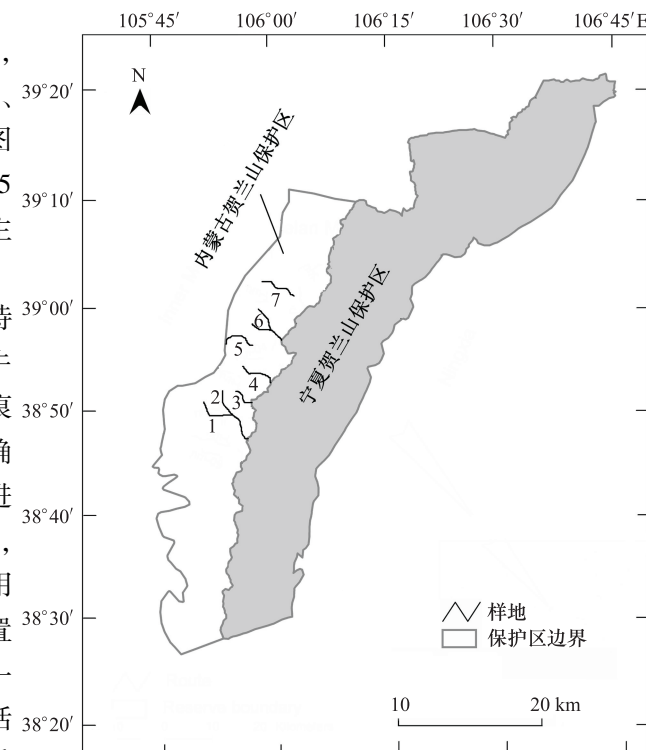


图1 调查地区位置和样线设置示意图

Fig. 1 Location of study area and line transects

1: 镇木关; 2: 强岗岭沟; 3: 后沟; 4: 哈拉乌南沟; 5: 哈拉乌北沟; 6: 水磨沟; 7: 北寺沟

glaucescens)、柳(*salix* spp.)、青海云杉(*Picea crassifolia*)、混合型(样方内有2种或者以上的乔木且均未超过70%)和无树(样方内无乔木)5种类型。

乔木密度:统计在10 m×10 m样方中乔木的棵数。

乔木高度:测算在10 m×10 m样方中乔木的平均高度。

乔木距离:测算10 m×10 m样方的中心点距最近的乔木的距离

优势灌木:为一种灌木密度在10 m×10 m样方中占有所有灌木密度的70%以上。包括毛蕊杯腺柳(*Salix cupularis*)、鬼箭锦鸡儿(*Caragana jubata*)、小叶金露梅(*Dasiphora parvifolia*)、银露梅(*Dasiphora mandshurica*)、混合型(样方内有2种或者以上的灌木且均未超过70%)和无灌木(样方内无灌木)6种类型。

灌木密度:统计在10 m×10 m样方中灌木的丛数。

灌木高度:测算在10 m×10 m样方中灌木的平均高度。

灌木距离:测算10 m×10 m样方的中心点距最近的灌木的距离。

植被盖度:测算10 m×10 m样方中4个角和中心点5个1 m×1 m小样方的草本覆盖度,取平均值作为10 m×10 m样方的植被盖度。

坡度:利用65式军用罗盘仪上的坡度计测量样方所在山坡的坡度。

坡向:利用65式军用罗盘仪测定,正北方向为0°,沿逆时针方向记数。阳坡(247.50°—337.50°)、半阴和半阳坡(337.50°—67.50°、157.50°—247.50°)、阴坡(67.50°—157.50°)。

坡位:上坡位,位于山坡的上1/3部;中坡位,位于山坡的中部;下坡位,位于山坡的下1/3部。

距水源距离:估算样方中心到水源的直线距离。

人为干扰距离:以离护林点、山中公路等的距离来确定,估算样方中心到干扰源的直线距离。

隐蔽级:在样方中心树立一个1 m的木杆,在周围东、南、西、北4个方向距离中心20 m处测量木杆的能见度,即可以看见木杆长度占总长度的百分比,然后计算平均值。

2.2 数据处理

集群动物的生境选择研究通常是使用卡方检验对动物的利用生境和可利用生境进行对比分析^[24],Neu等较早使用了Bonferroni置信区间来判断生境的选择性,基于每个生境类型的利用频率,通过对比可利用生境类型的Bonferroni置信区间可以确定出野生动物对生境类型的利用频率多于或者少于对照生境频率^[25],Byers和Haufler对这个方法进行了改进,并在实验中证明了其检验动物生境选择的准确性^[26],本研究使用拟合优度卡方检验牦牛对18种生态因子是否有选择性,再用Bonferroni不等式分析牦牛对所设定生境因子中的哪些种类偏好或回避。然后基于Marcum法^[27]对生境选择和利用的描述,使用卡方检验对比分析贺兰山牦牛对冬春季生境的18种生态因子的利用存在的差异性。Bonferroni置信区间的计算公式如下:

设 p_i 、 r_i 分别表示对照样方和利用样方在资源 i 上出现的频率,则 $p_i - r_i$ 的置信区间为

$$(p_i - r_i) \pm Z_{1-\alpha/2k} \times \sqrt{p_i(1-p_i)/n_i + r_i(1-r_i)/m_i}$$

式中, $p_i = n_i/n$, $r_i = m_i/m$, n_i 为对照样方在资源 i 上的数量, m_i 为利用样方在资源 i 上的数量, $Z_{\alpha/2k}$ 是显著性概率为 $\alpha/2k$ 对应的正态分布上侧分位数, α 为显著性水平, k 为资源数, n 为对照样方总数, m 为利用样方总数。

如果0落在置信区间内,则 $p_i = r_i$,表明牦牛对资源 i 随机利用;如果0不在置信区间内,且置信区间的两端都 >0 ,则 r_i 显著小于 p_i ,表明牦牛避免资源 i ;如果0不在置信区间内,且置信区间的2端都 <0 ,则 r_i 显著大于 p_i ,表明牦牛偏好资源 i 。

对冬春季牦牛的18种生态因子的数据进行主成分分析,以确定牦牛对利用生境起主导作用的主要因子,确定各主要成分和贡献率。

所有数据用SPSS 15.0进行统计。

3 结果

3.1 贺兰山牦牛冬季对生境的选择

3.1.1 贺兰山牦牛冬季生态因子的特征

冬季贺兰山牦牛对 11 个生态因子具有选择性,选择海拔高度小于 2000 m、植被类型为山地针叶林带、优势乔木为灰榆、无灌木的或者灌木为银露梅、灌木密度小于 20 株、坡度小于 10°、坡位是下坡位、距水源距离大于 1200 m、人为干扰距离为 2000—4000 m、隐蔽级大于 70% 的生境(表 1)。

表 1 贺兰山牦牛冬季对 11 种生态因子的选择性

Table 1 Utilization and selection of 11 factors in habitat used by feral yak during winter in the Helan Mountains

生态因子 Ecological factor	类别 Category	实际利用比例 Actual proportion used(r_i)/%	期望利用比例 Expected proportion used(p_i)/%	Bonferroni 置信区间 Bonferroni interval for p_i-r_i	选择性 Preference
海拔高度 Altitude/m	<2000	0.204	0.000	$-0.2990 \leq p_i - r_i \leq -0.1087$	+
	2000—3000	0.796	0.245	$-0.6914 \leq p_i - r_i \leq 0.4112$	0
	>3000	0.000	0.755	$0.6532 \leq p_i - r_i \leq 0.8572$	-
	$\chi^2 = 111.682$, $df = 2$, $P < 0.01$				
植被类型 Vegetation type	山地疏林草原带	0.204	0.000	$-0.3033 \leq p_i - r_i \leq 0.1047$	0
	山地针叶林带	0.796	0.216	$-0.7222 \leq p_i - r_i \leq -0.4378$	+
	亚高山灌丛和草甸带	0.000	0.784	$0.6812 \leq p_i - r_i \leq 0.8858$	-
	$\chi^2 = 115.395$, $df = 2$, $P < 0.01$				
优势乔木 Dominant tree	灰榆	0.233	0.000	$-0.3330 \leq p_i - r_i \leq -0.1330$	+
	青海云杉	0.000	0.377	$0.2618 \leq p_i - r_i \leq 0.4992$	-
	柳	0.000	0.000	$0.0000 \leq p_i - r_i \leq 0.0000$	0
	无树	0.767	0.623	$-0.2965 \leq p_i - r_i \leq 0.0085$	0
	$\chi^2 = 29.591$, $df = 3$, $P < 0.01$				
乔木高度 Tree height/m	<3	0.767	0.755	$-0.1550 \leq p_i - r_i \leq 0.1310$	0
	3—6	0.233	0.020	$-0.3184 \leq p_i - r_i \leq -0.1076$	+
	>6	0.000	0.225	$0.1258 \leq p_i - r_i \leq 0.3242$	-
	$\chi^2 = 50.786$, $df = 2$, $P < 0.01$				
灌木种类 Shrub type	鬼箭锦鸡儿	0.000	0.127	$0.0380 \leq p_i - r_i \leq 0.2160$	-
	小叶金露梅	0.019	0.108	$-0.0016 \leq p_i - r_i \leq 0.1796$	0
	银露梅	0.214	0.010	$-0.3163 \leq p_i - r_i \leq -0.0917$	+
	混合型	0.194	0.588	$0.2255 \leq p_i - r_i \leq 0.5625$	-
	无灌木	0.573	0.167	$-0.5711 \leq p_i - r_i \leq -0.2909$	+
	$\chi^2 = 194.798$, $df = 4$, $P < 0.01$				
灌木密度 Shrub density	<20	0.961	0.431	$-0.6563 \leq p_i - r_i \leq -0.4307$	+
	20—40	0.039	0.373	$0.2103 \leq p_i - r_i \leq 0.4577$	-
	>40	0.000	0.196	$0.1017 \leq p_i - r_i \leq 0.2903$	-
	$\chi^2 = 164.839$, $df = 2$, $P < 0.01$				
坡度 Slope degree/(°)	<10	0.961	0.235	$-0.8367 \leq p_i - r_i \leq -0.6153$	+
	10—20	0.000	0.096	$0.0260 \leq p_i - r_i \leq 0.1660$	-
	>20	0.039	0.667	$0.5070 \leq p_i - r_i \leq 0.7490$	-
	$\chi^2 = 1894.051$, $df = 2$, $P < 0.01$				
坡位 Slope position	上坡位	0.000	0.814	$0.7220 \leq p_i - r_i \leq 0.9065$	-
	中坡位	0.029	0.186	$0.0656 \leq p_i - r_i \leq 0.2567$	-
	下坡位	0.971	0.000	$-1.0110 \leq p_i - r_i \leq -0.9313$	+
	$\chi^2 = 774.00$, $df = 2$, $P < 0.01$				
距水源距离	<800	0.030	0.471	$0.3157 \leq p_i - r_i \leq 0.5663$	-

续表

生态因子 Ecological factor	类别 Category	实际利用比例 Actual proportion used(r_i)/%	期望利用比例 Expected proportion used(p_i)/%	Bonferroni 置信区间 Boferroni interval for p_i-r_i	选择性 Preference
Distance to water resource/m	800—1200 >1200	0.290 0.680	0.431 0.098	$-0.0183 \leq p_i - r_i \leq 0.3003$ $-0.7130 \leq p_i - r_i \leq -0.4510$	0 +
$\chi^2 = 176.961, df = 2, P < 0.01$					
人为干扰距离 Distance to human disturbance/m	<2000 2000—4000 >4000	0.233 0.738 0.029	0.029 0.059 0.912	$-0.3116 \leq p_i - r_i \leq 0.0964$ $-0.7971 \leq p_i - r_i \leq -0.5609$ $0.8049 \leq p_i - r_i \leq 0.9611$	0 + -
$\chi^2 = 1902.750, df = 2, P < 0.01$					
隐蔽级 Hiding cover/%	<50% 50%—70% >70	0.000 0.000 1.000	0.000 0.127 0.873	$0.0000 \leq p_i - r_i \leq 0.0000$ $0.0479 \leq p_i - r_i \leq 0.2061$ $-0.0206 \leq p_i - r_i \leq -0.0479$	0 - +
$\chi^2 = 36.516, df = 2, P < 0.01$					

“+”代表选择

3.1.2 贺兰山牦牛冬季生态因子的主成分分析

对贺兰山牦牛冬季利用生境进行主成分分析。结果表明,前6个成分的特征值大于1,主成份的累计贡献率达86.339%,可以较好的反映出牦牛冬季利用生境的特征(表2)。其中第一个主成份的贡献率为21.100%。可以看出,在第一主成分里,乔木距离、优势乔木、植被类型和距离水源距离相关系数较高,对第一主成分的贡献大,其中绝对值较大的相关系数是乔木距离、优势乔木、乔木高度、乔木密度,说明这几个生态因子有较大的信息载荷量;第二主成分中人为干扰距离、隐蔽级、植被类型相关系数较高,对第二主成分的贡献大,其绝对值较大的相关系数出现在人为干扰距离、隐蔽级、植被类型、距离水源的距离和坡向上,说明这几个生态因子有较大的信息载荷量。第三主成分里面,灌木距离的相关系数高,对第三主成分贡献大,绝对值较高的相关系数出现在灌木高度、灌木密度和灌木距离上,说明这几个生态因子有较高的信息载荷量。

表2 贺兰山牦牛冬季的18种生态因子的主成分分析结果

Table 2 Principal components of 18 ecological factors of feral yak in winter

生态因子 Ecological factor	1	2	3	4	5	6
海拔高度 Altitude / m	0.198	0.408	-0.062	-0.772	-0.222	0.136
植被类型 Vegetation type	0.347	0.711	-0.030	0.072	-0.034	-0.196
地形特征 Landform feature	-0.408	0.448	-0.118	-0.047	0.765	0.085
优势乔木 Dominant tree	0.894	-0.240	-0.239	-0.036	0.257	0.061
乔木密度 Tree destiny / (株/100 m ²)	-0.852	0.222	0.204	-0.028	-0.062	-0.104
乔木高度 Tree height / m	-0.884	0.227	0.256	0.040	-0.246	-0.032
乔木距离 Distance to tree / m	0.900	-0.235	-0.236	-0.033	0.248	0.056
灌木种类 Shrub type	-0.068	-0.243	0.417	0.207	-0.070	0.769
灌木密度 Shrub density / (丛/100 m ²)	-0.083	0.243	-0.711	0.182	-0.164	0.505
灌木高度 Shrub height / m	-0.149	0.213	-0.799	0.038	-0.135	-0.339
灌木距离 Distance to the nearest shrub/m	0.167	-0.138	0.896	-0.043	0.261	0.018
植被盖度 Vegetation coverage /%	0.008	-0.469	0.330	-0.506	0.127	-0.376
坡度 Slope degree / °	-0.481	0.390	-0.199	-0.146	0.725	0.123
坡向 Slope direction	-0.403	-0.531	-0.308	-0.186	-0.013	0.124
坡位 Slope position	-0.177	-0.230	-0.034	0.879	0.157	-0.179
距水源距离 Distance to water resource / m	0.458	0.570	0.272	0.527	-0.033	-0.176
人为干扰距离 Distance to human disturbance/m	0.233	0.792	0.190	-0.345	-0.070	0.099
隐蔽级 Hiding cover /%	0.334	0.664	0.312	0.232	-0.106	0.097
累计贡献率 Variance explained /%	21.100	39.326	52.196	65.060	76.119	86.339

3.2 贺兰山牦牛春季对生境的选择

3.2.1 贺兰山牦牛春季生态因子的特征

春季贺兰山牦牛对 14 种生态因子有选择性,偏爱于海拔高度大于 3000 m、植被类型为亚高山灌丛和草甸带、乔木密度小于 1 m、乔木高度小于 3 m、乔木距离大于 3 m、灌木种类是多种灌木、灌木密度大于 40 株、灌木距离小于 1 m、植被盖度大于 70%、坡位是上坡位、距水源距离小于 800 m、人为干扰距离大于 4000 m、隐蔽级大于 70% 的生境(表 3)。

表 3 贺兰山牦牛春季对 14 种生态因子的选择性

Table 3 Utilization and selection of 14 factors in habitat used by feral yak during spring in the Helan Mountains

生态因子 Ecological factor	类别 Category	实际利用比例 Actual proportion used(r_i)/%	期望利用比例 Expected proportion used(p_i)/%	Bonferroni 置信区间 Bonferroni interval for $p_i - r_i$	选择性 Preference
海拔高度 Altitude / m	<2000	0.000	0.079	$0.0220 \leq p_i - r_i \leq 0.1360$	-
	2000—3000	0.070	0.921	$0.7721 \leq p_i - r_i \leq 0.9299$	-
	>3000	0.930	0.000	$-0.9846 \leq p_i - r_i \leq -0.8754$	+
	$\chi^2 = 111.682, df = 2, P < 0.01$				
植被类型 Vegetation type	山地疏林草原带	0.008	0.090	$0.0139 \leq p_i - r_i \leq 0.1441$	-
	山地针叶林带	0.047	0.910	$0.7881 \leq p_i - r_i \leq 0.9439$	-
	亚高山灌丛和草甸带	0.946	0.000	$-0.9963 \leq p_i - r_i \leq -0.8957$	+
	$\chi^2 = 115.395, df = 2, P < 0.01$				
优势乔木 Dominant tree	灰榆	0.023	0.111	$0.0144 \leq p_i - r_i \leq 0.1618$	-
	青海云杉	0.256	0.389	$-0.0061 \leq p_i - r_i \leq 0.2719$	0
	柳	0.000	0.008	$-0.0108 \leq p_i - r_i \leq 0.0267$	0
	无树	0.721	0.492	$-0.3716 \leq p_i - r_i \leq -0.0863$	+
	$\chi^2 = 29.591, df = 3, P < 0.01$				
乔木密度 Tree density	<1	0.721	0.492	$-0.3717 \leq p_i - r_i \leq -0.0863$	+
	1—4	0.264	0.206	$-0.1852 \leq p_i - r_i \leq 0.0692$	0
/(株/100 m ²)	>4	0.016	0.302	$0.1853 \leq p_i - r_i \leq 0.3866$	-
	$\chi^2 = 50.786, df = 2, P < 0.01$				
乔木高度 Tree height/m	<3	0.814	0.556	$-0.3920 \leq p_i - r_i \leq -0.1240$	+
	3—6	0.016	0.167	$0.0677 \leq p_i - r_i \leq 0.2324$	-
	>6	0.170	0.278	$-0.0161 \leq p_i - r_i \leq 0.2321$	0
	$\chi^2 = 38.530, df = 2, P < 0.01$				
乔木距离 Distance to the nearest tree/m	<1	0.047	0.056	$-0.0547 \leq p_i - r_i \leq 0.0754$	0
	1—3	0.147	0.365	$0.0912 \leq p_i - r_i \leq 0.3448$	-
	>3	0.806	0.579	$-0.3613 \leq p_i - r_i \leq -0.0927$	+
	$\chi^2 = 28.407, df = 2, P < 0.01$				
灌木种类 Shrub type	鬼箭锦鸡儿	0.124	0.000	$-0.2033 \leq p_i - r_i \leq -0.0447$	+
	小叶金露梅	0.055	0.040	$-0.0790 \leq p_i - r_i \leq 0.0570$	0
	银露梅	0.000	0.079	$0.0220 \leq p_i - r_i \leq 0.1431$	-
	混合型	0.767	0.270	$-0.6237 \leq p_i - r_i \leq -0.3504$	+
	无灌木	0.054	0.571	$0.4018 \leq p_i - r_i \leq 0.6466$	-
	$\chi^2 = 194.798, df = 4, P < 0.01$				
灌木密度 Shrub density	<20	0.357	0.905	$0.4283 \leq p_i - r_i \leq 0.6677$	-
	20—40	0.395	0.095	$-0.4215 \leq p_i - r_i \leq -0.1765$	+
/(丛/100m ²)	>40	0.248	0.000	$-0.3403 \leq p_i - r_i \leq -0.1557$	+
	$\chi^2 = 164.839, df = 2, P < 0.01$				
灌木距离 Distance to the nearest shrub/m	<1m	0.558	0.103	$-0.5917 \leq p_i - r_i \leq -0.3309$	-
	1—2m	0.225	0.262	$-0.0919 \leq p_i - r_i \leq 0.1659$	0
	>2m	0.217	0.635	$0.2834 \leq p_i - r_i \leq 0.5526$	-
	$\chi^2 = 294.960, df = 2, P < 0.01$				
植被盖度 Vegetation coverage/%	<50	0.380	0.603	$0.0765 \leq p_i - r_i \leq 0.3695$	-
	50—70	0.225	0.238	$-0.1138 \leq p_i - r_i \leq 0.1398$	0
	>70	0.395	0.159	$-0.3660 \leq p_i - r_i \leq -0.1060$	+

续表

生态因子 Ecological factor	类别 Category	实际利用比例 Actual proportion used(r_i)/%	期望利用比例 Expected proportion used(p_i)/%	Bonferroni 置信区间 Bonferroni interval for $p_i - r_i$	选择性 Preference
$\chi^2 = 56.264, df = 2, P < 0.01$					
坡位	上坡位	1.000	0.143	$-0.9311 \leq p_i - r_i \leq -0.7832$	+
Slope position	中坡位	0.000	0.659	$0.5585 \leq p_i - r_i \leq 0.7587$	-
	下坡位	0.000	0.198	$0.1141 \leq p_i - r_i \leq 0.2827$	-
$\chi^2 = 774.000, df = 2, P < 0.01$					
距水源距离	< 800	0.566	0.294	$-0.4152 \leq p_i - r_i \leq -0.1288$	+
Distance to water	800—1200	0.388	0.127	$-0.3867 \leq p_i - r_i \leq -0.1353$	+
resource/m	>1 200	0.046	0.579	$0.4195 \leq p_i - r_i \leq 0.6465$	-
$\chi^2 = 176.961, df = 2, P < 0.01$					
人为干扰距离	<2000	0.000	0.413	$0.3090 \leq p_i - r_i \leq 0.5170$	-
Distance to human	2000—4000	0.000	0.524	$0.4185 \leq p_i - r_i \leq 0.6295$	-
disturbance/m	>4000	1.000	0.063	$-0.9983 \leq p_i - r_i \leq -0.8857$	+
$\chi^2 = 1902.750, df = 2, P < 0.01$					
隐蔽级	<50	0.000	0.048	$0.0028 \leq p_i - r_i \leq 0.0932$	-
Hiding cover/%	50—70	0.078	0.278	$0.0893 \leq p_i - r_i \leq 0.3107$	-
	>70	0.922	0.674	$-0.3624 \leq p_i - r_i \leq -0.1366$	+
$\chi^2 = 36.516, df = 2, P < 0.01$					

“+”代表选择

3.2.2 贺兰山牦牛春季生态因子的主成分分析

贺兰山牦牛春季利用生境的主成分分析结果表明,牦牛春季利用生境的前4个成分的特征值大于1,累积贡献率为75.661%,可以较好的反映出野化牦牛春季利用生境的特征(表4)。在第一主成分里,植被类型、海拔高度、地形特征、坡度、灌木密度的相关系数较高,对第一主成分的贡献大,其中绝对值较大的相关系数出现在植被类型、海拔高度、地形特征、坡度、灌木密度上,说明这几个生态因子有较大的信息载荷量;第二主成分里,乔木高度和乔木密度相关系数较高,对第二主成分的贡献大。绝对值较大的相关系数出现在坡位、乔木

表4 贺兰山牦牛春季的18种生态因子的主成分分析结果

Table 4 Principal components of 18 ecological factors of feral yak in spring

生态因子 Ecological factor	1	2	3	4
海拔高度 Altitude / m	0.844	0.424	0.176	-0.069
植被类型 Vegetation type	0.868	0.337	0.142	-0.006
地形特征 Landform feature	0.834	0.305	-0.022	0.117
优势乔木 Dominant tree	0.531	-0.669	0.064	0.203
乔木密度 Tree density / (株/100 m ²)	-0.576	0.589	0.195	0.174
乔木高度 Tree height / m	-0.498	0.726	0.061	-0.073
乔木距离 Distance to tree / m	0.528	-0.735	0.025	0.147
灌木种类 Shrub type	0.098	-0.032	-0.128	0.889
灌木密度 Shrub density / (丛/100 m ²)	0.718	0.183	-0.299	0.105
灌木高度 Shrub height / m	0.038	-0.011	-0.847	-0.138
灌木距离 Distance to the nearest shrub / m	-0.647	-0.195	0.564	0.207
植被盖度 Vegetation coverage /%	0.515	-0.473	0.287	-0.238
坡度 Slope degree / °	0.826	0.351	-0.024	0.111
坡向 Slope direction	-0.601	0.162	-0.155	-0.128
坡位 Slope position	-0.666	-0.574	-0.139	-0.028
距水源距离 Distance to water resource / m	-0.521	-0.081	0.559	0.083
人为干扰距离 Distance to human disturbance/m	0.616	0.371	0.541	-0.125
隐蔽级 Hiding cover /%	0.521	-0.609	0.211	-0.237
累计贡献率 Variance explained /%	31.247	56.101	67.009	75.661

距离、乔木高度、优势乔木、隐蔽级上,说明这几个生态因子有较大的信息载荷量。第三主成分里面,灌木距离、距水源的距离、人为干扰距离的相关系数高,对第三主成分贡献大,绝对值较高的相关系数出现灌木高度、距水源的距离、人为干扰距离和灌木距离上,说明这几个生态因子有较高的信息载荷量。

3.3 贺兰山牦牛冬春季利用生境生态因子的比较

卡方检验表明贺兰山牦牛冬春季的利用生境在植被类型($\chi^2 = 115.39, df = 2, P < 0.01$)、地形特征($\chi^2 = 2161.92, df = 5, P < 0.01$)、优势乔木($\chi^2 = 24.71, df = 3, P < 0.01$)、灌木种类($\chi^2 = 295.89, df = 4, P < 0.01$)、坡位($\chi^2 = 129.00, df = 2, P < 0.01$)、坡向($\chi^2 = 60.55, df = 2, P < 0.01$)上存在显著的差异。Mann-whitney U 检验表明冬春季贺兰山牦牛在海拔高度、坡度、灌木密度、灌木距离、人为干扰距离、隐蔽级、灌木高度、距水源距离、人为干扰距离上存在显著差异($P < 0.05$)。与春季相比,冬季牦牛偏爱于海拔低,灌木数量少且高度低和距离远,坡度低,距离水源距离远,人为干扰距离近,隐蔽级低(表5)。

表5 贺兰山牦牛冬春季利用生境 12 种生态因子比较

Table 5 Characteristics of 12 ecological factors at utilization habitat by feral yak during winter and spring in the Helan Mountains

生态因子 Ecological factor	冬季 Winter /(mean±SD)	春季 Spring /(mean±SD)	Mann-whitney U test z	P
海拔高度 Altitude / m	2058.72±12.13	3139.11±8.04	-13.080	0.000
乔木密度 Tree density / (株/100m ²)	2.80±0.04	0.64±0.11	-0.984	0.325
乔木高度 Tree height / m	0.85±0.16	2.10±0.39	-1.101	0.271
乔木距离 Distance to tree / m	19.60±0.97	18.35±0.91	-0.713	0.476
灌木密度 Shrub density / (丛/100m ²)	3.87±0.61	28.07±1.71	-10.442	0.000
灌木高度 Shrub height / m	0.19±0.026	0.36±0.02	-5.977	0.000
灌木距离 Distance to shrub / m	6.20±0.44	1.55±0.20	-7.426	0.000
植被盖度 Vegetation coverage / %	63.85±1.71	56.94±2.16	-1.379	0.168
坡度 Slope degree/(°)	2.75±0.57	36.41±1.17	-12.253	0.000
距水源距离 Distance to water resource / m	2238.17±96.86	802.99±21.09	-10.945	0.000
人为干扰距离 Distance to human disturbance/m	2772.09±84.43	4976.12±39.17	-12.477	0.000
隐蔽级 Hiding cover / %	88.45±0.53	84.18±0.66	-4.018	0.000

4 讨论

通过对比贺兰山牦牛冬春季的 18 种生态因子的选择可以看出,冬季牦牛主要在低海拔地区(小于 2000 m),以山地针叶林带为主的地区活动,春季牦牛在高海拔地区(大于 3000 m),以亚高山灌丛和草甸带为主要植被类型,这表明随着贺兰山冬春季气候的变化,生活在贺兰山的牦牛在冬季和春季对生境中的生态因子的选择上存在着明显的季节性差异。

生境作为动物生存的空间,动物必然会选择能使自己的适合度达到最大的生境,而动物对生境的选择因素是复杂的,主要包括生境本身的特性、动物本身的特性、食物的有效性、捕食和竞争等关系^[2]。从食物资源上讲,特别是冬季时食草动物对食物的需求关系到个体的存活,它们对生境的选择更为严格^[28]。冬季贺兰山牦牛在海拔 2000 m 以下的山地针叶林带,这主要与贺兰山的冬季气候特征和牦牛对食物的需求及生活习性有关。在我国,牦牛主要分布于青藏高原地区,平均海拔 4500 m,以严酷的大陆性气候为主,年均气温为 0—-6℃,冬季气温可到-40℃以下,植被类型以高寒草地为主^[12,29-30]。而在贺兰山地区其海拔一般为 2000—3000 m,属于典型的大陆性气候,年平均气温为-0.9℃,极端最低气温为-31℃^[10]。在贺兰山地区冬季高海拔地区,较低的气温并不是限制牦牛的主要因素,由于积雪的覆盖,高海拔地区的食物数量和质量都低,牦牛因取食需求迁移到低海拔的地区。在低海拔地区,积雪薄,或在降雪后很快融化,食物数量和质量比高海拔地区好,可以为牦牛提供相对充足的食物,满足了牦牛冬季食物的需要。这在贺兰山马鹿冬春季生境选择的研究中得到证实^[23]。

除了食物因素以外,生理因素可能也是导致牦牛季节性迁移的原因之一,从动物的本身特性上分析,牦牛

有随植被的季节生长而迁移的现象^[12]。牦牛喜群居,它们易兴奋或惊群,稍有外界刺激(如驱赶、恐吓等)就奔跑。并且牦牛的生活习性存在随气温变化而迁徙的特点,炎热天有蚊虫干扰时,喜欢往高山有风凉爽处,或到水深处站立^[31]。春季时,随着气温回升,高海拔地区积雪融化,气候凉爽,食物数量增加。同时,深山中人类活动活动干扰少,因此牦牛向高海拔地区迁移。春季牦牛主要活动在海拔 3000 m 上的亚高山灌丛和草甸带,该区域人迹罕至,空气凉爽湿润,离水源的距离近。由此看出,牦牛春季迁移的主要决定因素是为了寻找更好的适合生存的环境。从分析数据的结果上看出,冬春季牦牛的利用生境在植被类型、地形特征、优势乔木、灌木种类、坡位、坡向上都存在显著差异,这也验证了牦牛春季的迁移是为了寻找适合自己本身生理特性的更好的生境。

在贺兰山地区几乎不存在大型食肉动物^[32-33],因此,躲避天敌对牦牛选择生境的影响不大。研究结果发现冬季和春季利用生境中的隐蔽级生态因子都是大于 70%,而在冬季时候,牦牛为了尽可能的避开人类活动干扰,与距离人为活动干扰的距离尽可能的远。在贺兰山地区生活的野化牦牛数量有 200—300 只^[10],其种群数量与其他的草食性动物(主要是岩羊和马鹿)相比是较小的^[34-35]。因此牦牛对生境的选择和利用不会对其他的草食性动物构成竞争。冬季马鹿和岩羊对生境的选择和利用也在低海拔地区,对生境选择和利用与牦牛存在重叠^[19,23,36]。另外,动物生存所依赖的生境存在着时间异质性,随着季节的变化而变化。春季时,随着温度的回升,贺兰山高海拔地区的亚高山灌丛和草甸带的灌木和草本植物开始生长,食物资源逐渐丰富,其丰富度超过山地疏林草原带和针叶林带。而作为食草动物,牦牛有逐水草而栖息的习性^[12],在春季向高海拔迁移也是一种对食物资源的选择取向。除此之外,牦牛选择在高海拔地区活动还与人为干扰和温度有一定关系:一方面,高海拔地区距人为活动区较远,牦牛受到的人为干扰程度也比较小,适合其生存活动;另一方面,高海拔地区空气凉爽湿润,特别是春季时随着气温的升高,牦牛作为一种耐寒怕热的动物在低海拔地区要消耗更多的热量来维持自己的体温。从生存策略和生境选择上来讲,高海拔地区更能适宜牦牛的生存和发展。

References:

- [1] Ma J Z, Zou H F, Jia J B. Wildlife Management. Harbin: Northeast Forestry University Press, 2004: 53-57.
- [2] Yan Z C, Chen Y L. Habitat selection in animals. Chinese Journal of Ecology, 1998, 17(2): 43-49.
- [3] Chen H P, Gao Z X. Animals Ecology. Harbin: Northeast Forestry University Press, 1992: 5-42.
- [4] Mautz W W. Sledding on a bushy hillside: the fat cycle in deer. Wildlife Society Bulletin, 1978, 6(2): 88-90.
- [5] Parker K L, Robbins C T. Thermoregulation in mule deer and elk. Canadian Journal of Zoology, 1984, 62(7): 1409-1422.
- [6] Schmitz O J. Thermal constraints and optimization of winter feeding and habitat choice in white-tailed deer. Ecography, 1991, 14(2): 104-111.
- [7] Wang S. China Red Data Book of Endangered Animals-Mammals. Beijing: Science Press, 1998: 295-299.
- [8] Zheng S W, Shao M M. Fauna of Rare and Endangered Animals in Northwestern China. Beijing: China Forestry Publishing House, 1994: 151-152.
- [9] Piao R Z, Ma Y Q, Cui H S. Current situation of the yak population in China. Life Science Research, 1999, 3(2): 161-169.
- [10] Liu Z S. Vertebrates in Helan Mountains. Yinchuan: Ningxia People's Publishing House, 2009: 395-396.
- [11] Chang M H, Lang X. Relationship between behaviour of wild yak and environment. China Cattle Science, 2009, 35(3): 23-24.
- [12] Yao J, Yang B H, Yan P, Liang C N, Guo J, Jiao S, Lang X, Guo X, Feng R L, Cheng S L. Analysis on habitat variance and behaviour of *Bos gruiens* in China. Acta Prataculturae Sinica, 2006, 15(2): 124-128.
- [13] Ma Z X, Dou Y Z. Ecological Characteristics of Yak's Producing Areas in China and Biological Traits of Yak. Chengdu: Sichuan Scientific and Technical Publishers, 1989: 21-35.
- [14] Liu W L, Schaller G B. Distribution and current situation of wild yak. Tibet Science and Technology, 2003, (11): 17-23.
- [15] Li K L, Lu Z L. Memoir of Yak Science. Lanzhou: Gansu Nationalities Publishing House, 1990: 78-82.
- [16] Yao Z C, Liu Z S, Wang Z D, Hu T H, Li Z G. Winter and spring diet composition of feral yak in Helan Mountains, China. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(3): 673-679.
- [17] Di W Z. Plantae Vasculares Helan Mountain. Xi'an: Northwestern University Press, 1987: 20-22.
- [18] Liu Z S, Cao L R, Wang X M, Li T, Li Z G. Winter bed-site selection by blue sheep (*Pseudois nayaur*) in Helan Mountains, Ningxia, China. Acta Theriologica Sinica, 2005, 25(1): 1-8.
- [19] Liu Z S, Wang X M, Li Z G, Cui D Y, Li X Q. Comparison of seasonal feeding habitats by blue sheep (*Pseudois nayaur*) during winter and spring in Helan Mountain, China. Zoological Research, 2005, 26(6): 580-589.

- [20] Oli M K. Snow leopards and blue sheep in Nepal; densities and predator: prey ratio. *Journal of Mammalogy*, 1994, 75(4): 988-1004.
- [21] Oli M K. Seasonal patterns in habitat use of blue sheep and *pseudois nayaur* (Aritiodactyla, Bovidae) in Nepal. *Mammalia*, 1996, 60(2): 187-193.
- [22] Teng L W, Liu Z S, Song Y L, Zeng Z G. Habitat selection of wild boar (*Sus scrofa*) in Hainan Datian Reserve. *Chinese Journal of Zoology*, 2007, 42(1): 1-7.
- [23] Luo Y, Zhang M M, Liu Z S, Li Z G, Hu T H, Zhai H. Winter and spring habitat selection of red deer (*Cervus elaphus alxaicus*) in the Helan Mountains, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(5): 2757-2763.
- [24] David L G. Delusions in habitat evaluation: measuring use, selection, and importance // Boitani L, Fuller T K, eds. *Research Techniques in Animal Ecology*. New York: Columbia University Press, 2000: 111-164.
- [25] Neu C W, Byers C R, Peek J M. A technique for analysis of utilization-availability data. *The Journal of Wildlife Management*, 1974, 38(3): 541-545.
- [26] Beyer D E Jr, Haufler J B. Diurnal versus 24-hour sampling of habitat use. *The Journal of Wildlife Management*, 1994, 58(1): 178-180.
- [27] Marcum C L, Loftsguarden D O. A nonmapping technique for studying habitat preferences. *The Journal of Wildlife Management*, 1980, 44(3): 963-968.
- [28] McCorquodale S M. Sex-specific movements and habitat use by elk in the cascade range of Washington. *The Journal of Wildlife Management*, 2003, 67(4): 729-741.
- [29] Zhang R Y. The Yak of China. Lanzhou: Gansu Scientific and Technical Publishers, 1989: 36-44.
- [30] Lu Z L, Li K L, Lu H J. Distribution, ecological types and utilization of wild yak in China. *Chinese Journal of Zoology*, 1993, 28(4): 41-44.
- [31] Wang X M, Li M, Tang S X, Liu Z X, Li Y G, Sheng H L. Conservation status of even-toed ungulates in Helan mountain, China. *Chinese Journal of Zoology*, 1999, 34(5): 26-29.
- [32] Wang X M, Schaller G B. Status of large mammals in Inner Mongolia, China. *Journal of East China Normal University: Special Issue of Mammals*, 1996, 6(1): 94-104.
- [33] Lang X, Yang B H. Features of environmental physiology of yak. *Ecology of Domestic Animal*, 2004, 25(4): 103-104.
- [34] Liu Z S, Wang X M, Li Z G, Zhai H, Hu T H. Distribution and abundance of blue sheep in Helan Mountains, China. *Chinese Journal of Zoology*, 2007, 42(3): 1-8.
- [35] Zhang X L, Li Z G, Li Z, Ma Y X, Zhang T S, Zhai H. Studies on population quantity and dynamics of red deer in spring for Helanshan Mountain of Ningxia. *Journal of Ningxia University: Natural Science Edition*, 2006, 27(3): 263-265.
- [36] Liu Z S, Zhang M M, Li Z G, Hu T H, Zhai H. Feeding and bedding habitat selection by red deer (*Cervus elaphus alxaicus*) during winter in the Helan Mountains, China. *Acta Theriologica Sinica*, 2009, 29(2): 133-141.

参考文献:

- [1] 马建章, 邹红菲, 贾竞波. 野生动物管理学. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 2004: 50-63.
- [2] 颜忠诚, 陈永林. 动物的生境选择. *生态学报*, 1998, 17(2): 43-49.
- [3] 陈化鹏, 高中信. 野生动物生态学. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 1992: 5-42.
- [7] 汪松. 中国濒危动物红皮书-兽类. 北京: 科学出版社, 1998: 295-299.
- [8] 郑生武, 邵孟明. 中国西北地区珍稀濒危动物志. 北京: 中国林业出版社, 1994: 151-152.
- [9] 朴仁珠, 马逸清, 崔花淑. 中国野牦牛现状研究. *生命科学研究*, 1999, 3(2): 161-169.
- [10] 刘振生. 贺兰山脊椎动物. 银川: 宁夏人民出版社, 2009: 394-396.
- [11] 常明华, 郎侠. 野牦牛行为及其环境关系的研究. *中国牛业科学*, 2009, 35(3): 23-24.
- [12] 姚军, 杨博辉, 闫萍, 梁春年, 郭健, 焦硕, 郎侠, 郭宪, 冯瑞林, 程胜利. 中国野牦牛栖息地环境及种群行为分析. *草业学报*, 2006, 15(2): 124-128.
- [13] 马宗祥, 窦耀宗. 中国牦牛产区的生态特点和牦牛的生物学特性. 成都: 四川科学技术出版社, 1989: 21-35.
- [14] 刘务林, Schaller G B. 野牦牛的分布和现状. *西藏科技*, 2003, (11): 17-23.
- [15] 李孔亮, 陆仲璘. 牦牛科学研究论文集. 兰州: 甘肃民族出版社, 1990: 78-82.
- [16] 姚志诚, 刘振生, 王兆铤, 胡天华, 李志刚. 贺兰山野化牦牛冬春季食性. *生态学报*, 2011, 31(3): 673-679.
- [17] 狄维忠. 贺兰山维管植物. 西安: 西北大学出版社, 1987: 20-22.
- [18] 刘振生, 曹丽荣, 王小明, 李涛, 李志刚. 贺兰山岩羊冬季对卧息地的选择. *兽类学报*, 2005, 25(1): 1-8.
- [19] 刘振生, 王小明, 李志刚, 崔多英, 李新庆. 贺兰山岩羊冬春季取食生境的比较. *动物学研究*, 2005, 26(6): 580-589.
- [22] 滕丽微, 刘振生, 宋延岭, 曾治高. 海南大田自然保护区野猪的生境选择. *动物学杂志*, 2007, 42(1): 1-7.
- [23] 骆颖, 张明明, 刘振生, 李志刚, 胡天华, 翟昊. 贺兰山马鹿冬春季生境的选择. *生态学报*, 2009, 29(5): 2757-2763.
- [29] 张容昶. 中国的牦牛. 兰州: 甘肃科学技术出版社, 1989: 36-44.
- [30] 陆仲璘, 李孔亮, 卢鸿计. 中国野牦牛的分布、类型及利用. *动物学杂志*, 1993, 28(4): 41-44.
- [31] 王小明, 李明, 唐绍祥, 刘志霄, 李元广, 盛和林. 贺兰山偶蹄类动物资源及保护现状研究. *动物学杂志*, 1999, 34(5): 26-29.
- [33] 郎侠, 杨博辉. 牦牛的环境生理特征. *家畜生态学报*, 2004, 25(4): 103-104.
- [34] 刘振生, 王小明, 李志刚, 翟昊, 胡天华. 贺兰山岩羊的数量与分布. *动物学杂志*, 2007, 42(3): 1-8.
- [35] 张显理, 李志刚, 李正, 马勇玺, 张铁师, 翟浩. 宁夏贺兰山马鹿春季种群数量与种群动态研究. *宁夏大学学报: 自然科学版*, 2006, 27(3): 263-265.
- [36] 刘振生, 张明明, 李志刚, 胡天华, 翟昊. 贺兰山马鹿冬季取食和卧息生境选择. *兽类学报*, 2009, 29(2): 133-141.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 6 March, 2012 (Semimonthly)

CONTENTS

Quantitatively monitoring undergoing degradation of plateau grassland by remote sensing data; a case study in Maqu County, Gansu Province, China	ZHOU Jianhua, WEI Huaidong, CHEN Fang, et al (1663)
Using periphyton assemblages to assess stream conditions of Taizi River Basin, China	YIN Xuwang, QU Xiaodong, LI Qingnan, et al (1677)
Water-holding capacity of an evergreen broadleaf forest in Ailao Mountain and its functions in mitigating the effects of Southwest China drought	QI Jinhua, ZHANG Yongjiang, ZHANG Yiping, et al (1692)
The relationship between protistan community and water quality along the coast of Qingdao	YANG Jinpeng, JIANG Yong, HU Xiaozhong (1703)
Simulation of effects of warming on carbon budget in alpine meadow ecosystem on the Tibetan Plateau	QI Weiwei, NIU Haishan, WANG Shiping, et al (1713)
Features of leaf photosynthesis and leaf nutrient traits in reservoir riparian region of Three Gorges Reservoir, China	JIE Shenglin, FAN Dayong, XIE Zongqiang, et al (1723)
Spatio-temporal distribution of fish in the Pengxi River arm of the Three Gorges reservoir	REN Yuqin, CHEN Daqing, LIU Shaoping, et al (1734)
Analysis on allelochemicals in the cell-free Filtrates of <i>Amphidinium carterae</i>	JI Xiaoqing, HAN Xiaotian, YANG Baijuan, et al (1745)
Effect of starvation on expression patterns of the MYP gene in <i>Strongylocentrotus intermedius</i>	QIN Yanjie, SUN Bolin, LI Xia, et al (1755)
Habitat selection of feral yak in winter and spring in the Helan Mountains, China	ZHAO Chongnan, SU Yun, LIU Zhensheng, et al (1762)
Using cellular automata to study patchy spread in a predator-prey system	YANG Li, LI Weide (1773)
Effects of insect-resistant transgenic <i>Bt</i> rice with a fused <i>Cry1Ab+Cry1Ac</i> gene on population dynamics of the stem borers, <i>Chilo suppressalis</i> and <i>Sesamia inferens</i> , occurring in paddyfield	LI Zhiyi, SUI He, XU Yanbo, et al (1783)
Effect of spectral sensitivity and intensity response on the phototaxis of <i>Frankliniella Occidentalis</i> (Pergande)	FAN Fan, REN Hongmin, LU Lihua, et al (1790)
The synergistic action and UV protection of optical brightener on three different geographic isolates of Asian Gypsy Moth Nucleopolyhedrovirus (LdMNPV)	WANG Shujuan, DUAN Liqing, LI Haiping, et al (1796)
The availability of trace elements in an oasis soil under different utilization intensity in an arid area in China	LI Haifeng, ZENG Fanjiang, GUI Dongwei, et al (1803)
Multivariate regression analysis of greenhouse gas emissions associated with activities and populations of soil microbes in a double-rice paddy soil	QIN Xiaobo, LI Yu'e, SHI Shengwei, et al (1811)
Distribution characteristics of humus fraction in soil profile for the typical regions in the Loess Plateau	DANG Ya'ai, LI Shiqing, WANG Guodong (1820)
N ₂ O emissions from vegetable farmland with purple soil and the main factors influencing these emissions	YU Yajun, WANG Xiaoguo, ZHU Bo (1830)
Relationships between carbon source utilization of soil microbial communities and environmental factors in natural secondary forest in subtropical area, China	WANG Yun, OUYANG Zhiyun, ZHENG Hua, et al (1839)
Numerical soil classification using fuzzy K-means algorithm and predictive soil mapping at regional scale	LIU Pengfei, SONG Xuan, LIU Xiaobing, et al (1846)
Releasing characteristics of nonpoint source pollutants from straws under submerging condition	YANG Zhimin, CHEN Yucheng, ZHANG Yun, et al (1854)
Effects of delayed irrigation at jointing stage on nitrogen accumulation and its allocation, and NO ₃ -N migration in wheat	WANG Hongguang, YU Zhenwen, ZHANG Yongli, et al (1861)
Risk division on winter wheat suffering from spring wet damages in Jiangsu Province	WU Hongyan, GAO Ping, XU Weigen, et al (1871)
Determination of the initial depth of water uptake by roots of steppe plants in restored and overgrazed communities, Inner Mongolia, China	GUO Yuran, WANG Wei, LIANG Cunzhu, et al (1880)
Fine root architecture and morphology among different branch orders of six subtropical tree species	XIONG Decheng, HUANG Jinxue, YANG Zhijie, et al (1888)
Numerical analysis of inter-specific relationships in Alpine steppe community in Bayanbulak	FANG Fei, HU Yukun, ZHANG Wei, et al (1898)
Analysis of shade-tolerance and determination of evaluation indicators of shade-tolerance in seedlings of <i>Chrysanthemum grandiflorum</i> and its closely related genera	SUN Yan, GAO Haishun, GUAN Zhiyong, et al (1908)
Effect of the parasitic <i>Cuscuta australis</i> on the community diversity and the growth of <i>Alternanthera philoxeroides</i>	WANG Rukui, GUAN Ming, LI Yonghui, et al (1917)
Diversity and community structure of basidiomycete laccase gene from subtropical broad-leaved and coniferous forest ecosystems based on cDNA cloning	CHEN Xiangbi, SU Yirong, HE Xunyang, et al (1924)
Fine root longevity and controlling factors in subtropical <i>Alingia grilipes</i> and <i>Castanopsis carlesii</i> forests	HUANG Jinxue, LING Hua, YANG Zhijie, et al (1932)
Linear programming and optimal distribution of the forest resources based on TM remote sensing images	DONG Bin, CHEN Liping, WANG Ping, et al (1943)
Urban green space landscape patterns and thermal environment investigations based on computational fluid dynamics	LIU Yanhong, GUO Jinping, WEI Qingshun (1951)
Review and Monograph	
Review of the ecological compensation efficiency	ZHAO Xueyan (1960)
Scientific Note	
The effects of petroleum exploitation on water quality bio-assessment and benthic macro-invertebrate communities in the Yellow River Delta wetland, Dongying	CHEN Kai, XIAO Nengwen, WANG Beixin, et al (1970)

《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的自然科学高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 70 元/册,全年定价 1680 元。

国内邮发代号:82-7 国外邮发代号:M670 标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 32 卷 第 6 期 (2012 年 3 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 6 2012

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100071	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元