

贵州梵净山黔金丝猴生境适宜性评价

杨海龙¹, 李迪强², 成钢¹, 朵海瑞³, 张于光², 王秀磊² (1. 山西省环境规划院, 山西太原 030002; 2. 中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所, 北京 100091; 3. 北京林业大学自然保护区学院, 北京 100083)

摘要 以 GIS 为平台, 建立了包括坡度、坡向、海拔、植被类型在内的黔金丝猴生境数据库, 建立了黔金丝猴生境适宜性评价模型, 并利用 ArcGIS 软件对各图层进行了叠加分析。结果表明, 在不考虑人为干扰的情况下, 适宜黔金丝猴生存的面积为 204.53 km², 约占保护区总面积的 47.27%, 不适宜面积为 229.00 km², 约占保护区面积的 52.73%。

关键词 黔金丝猴; 梵净山; 生境评价

中图分类号 S865.3⁺1 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2013)08-03403-04

Habitat Suitability Evaluation for *Rhinopithecus brelichi* in Fanjing Mountain, Guizhou Province

YANG Hai-long et al (Shanxi Academy for Environmental Planning, Taiyuan, Shanxi 030002)

Abstract *Rhinopithecus brelichi* habitat database including slope, aspect, elevation, vegetation was built by using GIS software. Landscape connectivity, as a parameter measuring ecological processes by which the subpopulations of a landscape are interconnected into a demographic functional unit, was employed to evaluate the habitat suitability for *Rhinopithecus brelichi* in Fanjing Mountain. It was carried out by using landscape ecological model and GIS. It was found that, with no human activities being considered, 204.53 km² (47.27%) of the total area is suitable for *Rhinopithecus brelichi* to live, while unsuitable area is 229.00 km² (52.73%).

Key words *Rhinopithecus brelichi*; Fanjing Mountain; Habitat evaluation

早在 20 世纪初期就有专门为评价野生动物栖息地而构建的栖息地评价程序 (HEP) 和栖息地适宜度指数 (HSI) 模型。HEP 模型可用来评价环境条件对研究物种的影响与该物种对生境变化的反馈。由于野生动物的栖息地选择可能包含一系列对处于不同空间尺度的环境特征的反应, 这使得栖息地评价过程中必须考虑空间因子的影响。因此, 当 GIS 技术应用于动物栖息地研究后, 对栖息地的适宜性评价工作才得以较快发展^[1-2]。GIS 技术能对大量数据进行迅速有效的加工分析, 它结合于栖息地模型中是一种非常有效的方法^[3]。目前, 大多采用依据专家知识先对各个环境因子进行分类, 然后将环境因子图层叠加, 进而确定整个研究区域的适宜性, 该方法更多地依赖专家的主观判断。近几年研究者开始探讨生境适宜性指数计算的量化模型, 笔者在不考虑人为干扰的情况下, 以野外调查数据为基础, 对影响黔金丝猴生境的不同生境因子进行适宜性赋值, 建立了黔金丝猴生境适宜性评价模型, 以期对黔金丝猴的保护提供借鉴。

1 材料与与方法

1.1 研究地概况 梵净山自然保护区位于贵州省东北部江口、印江、松桃兰县交界处。该山山体庞大, 地势隆起显著, 突立于贵州山原东部斜坡向湘西丘陵过渡之间。地理位置为 27°49'50"~28°1'30"N, 108°45'55"~108°48'30"E。保护区东临江口县快场村, 西至印江县豆鼻林村, 南抵江口县高峰村, 北至印江县芙蓉村。东西宽 21 km, 南北长 27 km。全区总面积 419 km²。梵净山是武陵山脉主峰山脉走向多呈北东—南西向。全区相对高差达 2 000 m 以上; 沟谷切深一般 500~700 m, 最深达 1 000 m 以上。由于地层产状陡立或倒转, 山坡坡度一般多在 30~35°, 峡谷坡度达 40~50°。梵净

山地区属于东亚季风气候区, 年平均气温在 5.0~17.0℃, 年平均降水量在 1 100~2 600 mm, 相对湿度年平均超过 80% (迎风坡), 并随地势抬升而增大。

1.2 方法

1.2.1 研究区生境数据库的建立。 将覆盖整个梵净山保护区的 26 幅 1:10 000 的地形图进行配准和拼接, 在此基础上进行数字化, 建立保护区的数字高程模型 (DEM)。将 1:10 000 的 DEM 数据栅格化, 栅格大小确定为 10 m×10 m。地理属性包括海拔、坡度、坡向等因子, 结合梵净山保护区植被类型图^[4], 为黔金丝猴生境分析奠定数据基础。

通过 ArcGIS 软件的重分类功能将研究区按间距 200 m 划分海拔带; 针对研究区坡度, 以 10°为 1 个梯度对梵净山的坡度进行划分和重分类, 共分为 0~10°、11~20°等 7 个坡度段; 坡向分为北坡 (坡向为 315~360°和 0~45°)、东坡 (坡向为 45~135°)、南坡 (坡向为 135~225°) 及西坡 (坡向为 225~315°) 4 种类型。

1.2.2 野外数据调查。

1.2.2.1 样方数据收集。 在梵净山保护区内黔金丝猴活动最频繁的岩高坪、牛风包、牛角洞及刘家纸厂等区域, 分别在海拔 1 500、1 700 和 1 900 m 3 个梯度上设置调查样线。调查中仔细观察和记录在调查路线上发现的黔金丝猴实体、粪便、采食痕迹、蹬踏痕迹等标记, 并对每一处发现实体或活动痕迹的地方都以此为中心设置一个 20 m×20 m 的大样方, 同时测定样方内的坡度、坡向、乔木密度、乔木层郁闭度、乔木平均树高、乔木平均胸径、乔木平均冠幅 7 个因子, 每个大样方内随机设置一个 5 m×5 m 的灌木样方, 并测定样方内灌木密度、灌木盖度和灌木平均高度 3 个因子。该次调查共设置 41 条样线, 205 个样方。各个因子的测量情况见表 1。

1.2.2.2 黔金丝猴对梵净山不同植被类型的利用和选择分析方法。 以梵净山国家级自然保护区植被类型图为基础, 结

作者简介 杨海龙 (1982-), 男, 山西忻州人, 工程师, 博士, 从事生态学研究, E-mail: yanghailong_caf@163.com。

收稿日期 2013-03-18

表1 黔金丝猴生境因子测量结果

变量	变异范围	均值	标准差
坡度//°	8~65	34.78	12.17
坡向//°	0~355	166.56	120.30
郁闭度	0.10~0.95	0.77	0.14
乔木密度//棵/m ²	0.01~0.42	0.14	0.07
乔木平均高度//m	3.25~16.00	7.80	1.96
乔木平均冠幅//m ²	4.64~78.25	20.32	11.28
乔木平均胸径//cm	8.20~32.82	16.56	4.74
灌木密度//棵/m ²	0.25~33.00	6.74	5.80
灌木盖度	0.05~0.95	0.61	0.29
灌木平均高度//m	0.15~2.50	1.29	0.60

合野外调查数据分析黔金丝猴对不同植被类型的选择性。在野外调查中,利用手持GPS记录黔金丝猴活动痕迹的地理位置,同时收集梵净山国家级自然保护区的巡护数据,其中包括巡护人员每次见到黔金丝猴实体或是其活动痕迹时记录的GPS数据,共采集249个GPS样点,将这些GPS样点数据与植被类型图层进行叠加,最终得到这些点在不同植被类型中的分布情况,即黔金丝猴在各种植被类型中的活动频率。通过卡方检验表明,黔金丝猴对这10种植被类型的利用有明显的选择性($X^2=375.831, df=8, P<0.05$)。然后,再利用选择系数和选择指数来判断黔金丝猴对各种植被类型的喜好程度^[5]。

$$W_i = (r_i/p_i) / \sum (r_i/p_i)$$

$$E_i = (W_i - 1/n) / (W_i + 1/n)$$

式中, W_i 为选择系数; E_i 为选择指数; i 为植被类型; n 为植被类型总数; p_i 为第*i*种植被所占的总面积比例; r_i 为黔金丝猴在第*i*种植被类型中的活动频率。 E_i 值介于-1.0~1.0。 $-0.1 \leq E_i \leq 0.1$ 表示黔金丝猴对这种植被的选择是随机的; $E_i < -0.1$ 表示黔金丝猴不喜欢这种植被类型; $E_i > 0.1$ 表示黔金丝猴喜欢这种植被类型。

1.2.3 黔金丝猴生境分析与适宜性评价。

1.2.3.1 生境适宜性赋值。根据前人的研究结果和野外调查^[6-11],影响野生动物生境的因素包括地形因素、生物因素和人类活动。因此,选择海拔、坡度、坡向、植被类型作为生境因素对黔金丝猴的潜在生境进行总体评价。利用野外样方以及保护区巡护数据(GPS)中海拔、坡度、坡向、植被类型等因素出现的频次作为赋值标准,理论上认为这些点分布的位置有着黔金丝猴最适宜生存的环境条件,通过在生态地理环境空间中计算整个研究区域每一点与样本数据的相似性,明确各空间单元对黔金丝猴的适宜性特征^[12]。

以海拔因素为例:通过205个样方的调查,将黔金丝猴活动痕迹出现频次最多的海拔段定为最适宜海拔段(坡向、坡度以此类推),赋值为1,其他各段海拔黔金丝猴活动痕迹的频次与最适宜海拔段的频次相比,得出适宜性系数。建立公式:

$$I = r_{ni} / R_{ni}$$

式中, I 为生境适宜性系数; r_{ni} 为样方中第*i*因素在不同海拔、坡度、坡向、植被类型出现的频次; R_{ni} 为样方中第*i*因素出现最多的频次; n 代表4个生境因素^[13]。

1.2.3.2 黔金丝猴生境评价模型。上述分析了影响黔金丝猴生存的几种典型的景观因素以及人为干扰因素,并根据不同景观因素对黔金丝猴的适宜程度进行了生境适宜性赋值,如何将几种不同因素依据其重要性合并起来评价黔金丝猴的生境质量是最关键的。该研究根据前人研究^[13-14]以及野外调查情况,建立了黔金丝猴生境适宜性评价模型:

$$S_j = \prod_{i=1}^n u_i$$

式中, S_j 表示不同单元针对黔金丝猴总的生境适宜性水平; u_i 表示不同生境因子对黔金丝猴生境适宜性赋值; n 表示海拔、坡度、坡向、植被类型、道路和居民点6个生境因子。从该表达式可以看出,当6个生境因子乘积都为1时,栖息地为最适合,而当生境因子中有1个为0时,该单元将不适合黔金丝猴生存,由此可得出人类活动干扰对黔金丝猴栖息地面积的影响。对于最后的计算结果^[9,14-15],根据前人的研究成果,结合野外调查情况,将黔金丝猴的栖息地分为如下4个等级:0~0.1记为不适宜生境;0.1~0.3为次适宜生境;0.3~0.6为较适宜生境;0.6~1.0为最适宜生境。

2 结果与分析

2.1 黔金丝猴对梵净山不同植被类型的利用和选择 由表2可知,黔金丝猴在典型常绿阔叶林、山地湿润常绿落叶阔叶混交林、山顶苔藓矮曲林活动的频率较高,占活动总频率的80.72%,同时选择指数都大于0.1,说明该3种植被类型提供了较好的隐蔽条件和充足的食物资源,因而成为黔金丝猴理想的栖息场所;对山地落叶阔叶林和山地凉温性针阔混交林表现为随机选择($-0.1 < E_i < 0.1$),主要是因为该2种植被类型人类活动频率较高,或是提供的隐蔽条件和食物有限;对高山灌丛、暖性竹林、暖性常绿针叶林、温性常绿针叶林、温性竹灌丛表现为不选择($E_i < -0.1$),说明这几种类型的环境条件很难满足黔金丝猴的生存需要,所以黔金丝猴的活动频率很低,甚至无活动痕迹;至于农业植被中出现黔金丝猴的活动痕迹,主要是因为冬季食物匮乏时猴子偶尔会到农田中寻找食物。

表2 黔金丝猴对不同植被类型的利用情况

植被类型	p_i //%	r_i //%	W_i	E_i
山地湿润常绿落叶阔叶混交林	33.97	45.38	0.204 1	0.383 7
典型常绿阔叶林	17.55	19.68	0.171 3	0.306 6
山顶苔藓矮曲林	12.31	15.66	0.194 4	0.362 7
高山灌丛	3.45	1.61	0.071 1	-0.122 1
暖性竹林	2.79	1.20	0.066 0	-0.158 9
山地落叶阔叶林	13.10	9.24	0.107 7	0.084 7
农业植被	3.23	1.20	0.057 0	-0.229 4
山地凉温性针阔混交林	5.96	4.02	0.103 0	0.062 4
暖性常绿针叶林	7.25	1.20	0.025 4	-0.563 6
温性常绿针叶林	0.08	0	0	-1.000 0
温性竹灌丛	0.31	0	0	-1.000 0

2.2 生境适宜性赋值结果

2.2.1 地形因子(表3)。地形因子主要包括海拔、坡度和坡向,根据野外调查,黔金丝猴通常在海拔1 000~2 200 m、坡

度 20~50° 范围内活动,但不同海拔高度和坡度范围内出现的频率明显不同。另外,黔金丝猴对坡向的选择以东坡和北坡为主,这与杨业勤等的研究结果相符^[16],主要是因为梵净山地处我国亚热带中心,水热条件较好,故黔金丝猴通常选择温凉的区域活动。

表 3 地形因子生境适宜性赋值

地形因子	累记次数	适宜性
海拔小于 800 m	35	0.438
海拔 800~1 200 m	43	0.538
海拔 1 200~1 800 m	80	1.000
海拔 1 800~2 200 m	64	0.800
海拔大于 2 200 m	27	0.338
东坡	73	0.890
南坡	16	0.200
西坡	34	0.414
北坡	82	1.000
坡度小于 20°	21	0.188
坡度 20~30°	55	0.491
坡度 31~50°	112	1.000
坡度大于 50°	17	0.152

2.2.2 植被类型(表 4)。植被不仅为黔金丝猴提供了隐蔽场所,同时也是黔金丝猴的食物来源。梵净山地区由于特殊的地理位置,植被类型较复杂,不同类型中提供给黔金丝猴的食物资源的质量和数量也不尽相同,所以黔金丝猴在不同植被类型中的活动频率基本上也反映了对食物来源的选择。结果表明,黔金丝猴对植被类型的选择以山地湿润常绿落叶阔叶混交林、典型常绿阔叶林、山顶苔藓矮曲林等为主。

表 4 不同植被类型的生境适宜性赋值

植被类型	累记次数	适宜性
暖性常绿针叶林	3	0.027
温性常绿针叶林	0	0
山地凉温性针阔叶混交林	10	0.089
山地湿润常绿落叶阔叶混交林	113	1.000
山地落叶阔叶林	23	0.204
典型常绿阔叶林	52	0.460
山顶苔藓矮曲林	39	0.345
高山灌丛	4	0.035
温性竹灌丛	0	0
暖性竹林	3	0.027
农业植被	3	0.027

2.3 黔金丝猴生境适宜性评价结果 在无人干扰时,黔金丝猴潜在生境主要受海拔、坡度、坡向和植被类型 4 个因素限制,通过分析显示,在不考虑人类活动对黔金丝猴影响的情况下,适宜其生存的面积为 204.53 km²,约占保护区总面积的 47.27% (表 5),其中最适宜黔金丝猴生存的区域主要分布在梵净山北部(图 1),该区域属于保护区的核心区,区内无居民,多数属于原生植被,以常绿落叶阔叶混交林和常绿阔叶林为主,植物种类丰富,林冠季相变化明显,为黔金丝猴提供了丰富的食物资源和良好的隐蔽场所,是整个梵净山猴群活动最频繁的区域。保护区南面也有一部分区域适

宜黔金丝猴生存,但由于该部分面积较小并处于孤立状态,空间分布上十分零散,黔金丝猴活动频率较低。

表 5 无人干扰情况下黔金丝猴栖息地适宜性评价

生境质量等级	生境适宜性水平	面积 km ²	面积所占比例//%
不适宜	0~0.1	229.00	52.73
次适宜	0.1~0.3	105.00	24.31
较适宜	0.3~0.6	58.97	13.60
最适宜	0.6~1.0	40.56	9.36

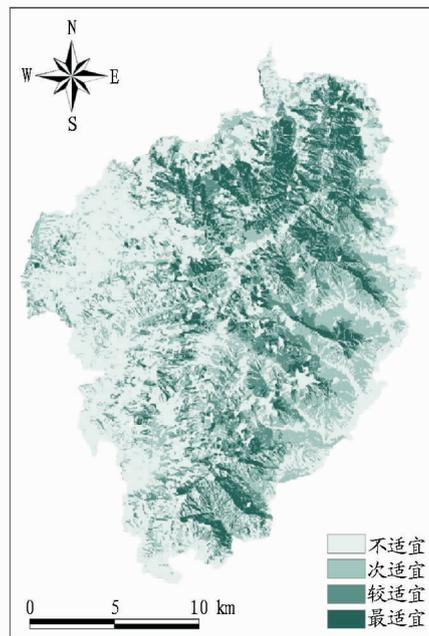


图 1 梵净山保护区黔金丝猴潜在生境分布特征

3 结论与讨论

黔金丝猴是一种极度濒危物种,其现存栖息地只分布在贵州省梵净山地区,该研究利用资源选择指数针对黔金丝猴对梵净山不同植被类型的选择和利用进行了分析,明确了典型常绿阔叶林、山地湿润常绿落叶阔叶混交林和山顶苔藓矮曲林是黔金丝猴主要选择的植被类型。结合前人的研究成果,建立了黔金丝猴的生境分布关系模型,应用地理信息系统对黔金丝猴生境适宜性进行了评价。

该研究对黔金丝猴生境适宜性评价过程中,根据前人的研究^[6-11]和野外调查的结果,选择了海拔、坡度、坡向、植被类型等因子从物理因素、生物因素 2 个方面对黔金丝猴生境适宜性进行评价,应用地理信息系统进行生境质量评价,能够方便地计算出每个评价单元的数量值,且具有空间精确性,但是该研究采用的模型是通过各生境因子的乘积来评价生境的适宜性,所以该模型的前提是假设各个生境因子对黔金丝猴生境选择影响权重相等,故对计算结果的精度有一定影响。

参考文献

- [1] RADELOFF V C, PIDGEON A M, HOSTERT P. Habitat and population modelling of roe deer using an interactive geographic information system [J]. Ecological Modelling, 1999, 114(2/3): 287-304.
- [2] SINGER F J, BLEICH V C, GUDORF M A. Restoration of bighorn sheep

- metapopulations in and near Western National Parks[J]. *Restoration Ecology*, 2000, 8(43): 14-24.
- [3] 曾治高. 秦岭羚牛栖息地的利用和选择及其适宜性评价[D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2003: 1-130.
- [4] 杨海龙, 李迪强, 朵海瑞, 等. 梵净山国际级自然保护区植被分布与黔金丝猴生境选择[J]. *林业科学研究*, 2010, 23(3): 393-398.
- [5] 江红星, 楚国忠, 钱法文, 等. 江苏盐城黑嘴鸥(*Larus saundersi*)繁殖微生境的选择[J]. *生物多样性*, 2002, 10(2): 170-174.
- [6] LI B G, CHEN C, JI W H, et al. Seasonal home range changes of the Sichuan snub-nosed monkey *Rhinopithecus roxellana* in the Qinling Mountains of China[J]. *Folia Primatologica*, 2000, 71: 375-386.
- [7] 李迪强. 普氏原羚的生境分析(中国科学院动物研究所博士后研究工作报告)[R]. 1997: 1-80.
- [8] 王秀磊, 李迪强, 吴波, 等. 青海湖东一克图地区普氏原羚生境适宜性评价[J]. *生物多样性*, 2005, 13(3): 213-220.
- [9] 张文广, 唐中海, 齐敦武, 等. 评估动物栖息地适宜性的两种方法比较:

- 以大相岭山系大熊猫种群为例[J]. *生态学杂志*, 2006, 25(12): 1465-1469.
- [10] 肖焱, 欧阳志云, 朱春全. 岷山地区大熊猫生境评价与保护对策研究[J]. *生态学报*, 2004, 24(7): 1373-1379.
- [11] 徐卫华, 欧阳志云, 蒋泽银, 等. 大相岭山系大熊猫生境评价与保护对策研究[J]. *生物多样性*, 2006, 14(3): 223-231.
- [12] 武瑞东. 基于“3S”技术的滇金丝猴(*Rhinopithecus bieti*)生境分析[D]. 昆明: 西南林学院, 2006: 1-90.
- [13] 张文广, 唐中海, 齐敦武, 等. 大相岭北坡大熊猫生境适宜性评价[J]. *兽类学报*, 2007, 27(2): 146-152.
- [14] 陈利顶, 刘雪花, 傅伯杰. 卧龙自然保护区大熊猫生境破碎化研究[J]. *生态学报*, 1999, 19(3): 291-297.
- [15] 欧阳志云, 刘建国, 肖寒, 等. 卧龙自然保护区大熊猫生境评价[J]. *生态学学报*, 2001, 21(11): 1869-1874.
- [16] 杨业勤, 雷孝平, 杨传东, 等. 黔金丝猴的野外生态[M]. 贵阳: 贵州科技出版社, 2002: 2-121.

(上接第 3392 页)

[RBC(15.30 ± 2.55) × 10¹² 个/L, HGB(172.5 ± 7.79) g/L]、普氏原羚(*Procapra przewalskii*) [RBC(13.34 ± 2.15) × 10¹² 个/L, HGB(170.88 ± 7.88) g/L]^[15] 和伊朗野绵羊(*Ovis orientalis esphahanica*) [RBC(8.20 ± 0.60) × 10¹² 个/L, HGB(143.60 ± 6.50) g/L]^[16] 等其他高海拔地区羊类的血液低氧适应机制趋同。

高原土生动物的 RBC 数增多, 增强了血液的氧运载能力, 从而增强了其对低氧的适应性。但增多的 RBC 会导致血液黏滞性增加, 从而增加血液阻力。这使得血液流速降低, 心脏负担增加, 对机体是不利的^[12]。RBC 量增多的高原土生动物高原鼠兔和灰尾兔是通过减小红细胞体积来降低血浆黏滞度的^[17]。王晓君等也证实高原鼯鼠[(56.67 ± 2.57) fL]和高原鼠兔[(52.34 ± 5.20) fL]的 MCV 均显著低于同海拔条件下的 SD 大鼠[(76.47 ± 4.83) fL]^[17]。有关巴勒斯坦鼯鼠(*Spalax ehrenbergi*)的研究表明, 其红细胞也通过高 RBC 和低 MCV 来适应低氧、高二氧化碳的生境^[18-19]。该研究表明, 岩羊血液 MCV [(41.52 ± 1.54) fL] 极显著高于绵羊 [(34.48 ± 1.19) fL], 这一结果与盘羊 [(40.22 ± 0.25) fL]^[13] 和普氏原羚 [(38.21 ± 4.76) fL]^[15] 的 MCV 接近, 说明三者血液均采取了不同于上述 4 种高原动物的低氧适应机制。

岩羊 HCT [(36.35 ± 2.01)%] 远远小于藏羚羊 [(50.00 ± 5.00)%]、藏原羚 [(49.00 ± 9.00)%] 和普氏原羚 [(50.00 ± 5.00)%]^[15] 3 种动物, HCT 含量低有利于缓解由红细胞和血红蛋白的增加所造成的血液黏滞, 对于减小血液循环阻力、减轻心脏负担、提高氧气输送效率具有积极意义^[20]。

综上, 岩羊血液在应对长期低氧胁迫过程中形成了一套完整的低氧适应机制。高含量 RBC 和 HGB 提高了岩羊血液的携氧能力, 虽然 MCV 较大, 但 HCT 远低于同种饲养条件下的藏羚羊、藏原羚和普氏原羚, 血液黏稠度低, 有利于血液循环, 提高氧气运输效率。

参考文献

- [1] 郑作新. 脊椎动物分类学[M]. 北京: 农业出版社, 1982: 409-422.

- [2] 中国科学院西北高原生物研究所. 青海经济动物志[M]. 西宁: 青海人民出版社, 1983: 657-658.
- [3] 上海自然博物馆, 青海省野生动物资源管理委员会办公室. 青海经济鸟兽[M]. 西宁: 青海人民出版社, 1983: 145-146.
- [4] WILSON P. Ecology and habitat utilisation of blue sheep *Pseudois nayaur* in Nepal[J]. *Biological Conservation*, 1981, 21(1): 55-74.
- [5] SAKAI A, MATSUMOTO T, SAITOH M, et al. Cardiopulmonary hemodynamics of blue-sheep, *Pseudois nayaur*, as high-altitude adapted mammals[J]. *Japanese Journal of Physiology*, 2003, 53: 577-583.
- [6] 谢庆英, 董为民, 湛守新, 等. 岩羊血清生化指标的测定[J]. *中国养羊*, 1996(4): 24-25.
- [7] 张才骏. 岩羊血清生化遗传多态性的研究[J]. *中国动物检疫*, 2001, 18(12): 25-27.
- [8] 谢庆英, 董为民, 湛守新, 等. 昆仑山脉岩羊布氏杆菌病调查报告[J]. *中国养羊*, 1996(3): 45.
- [9] 吴宝山. 野生动物——岩羊的寄生虫调查[J]. *青海畜牧兽医杂志*, 1983(3): 23-24.
- [10] 曹宏, 李季芬, 万玛措. 岩羊型布鲁氏菌的实验研究(第二报)[J]. *青海畜牧兽医杂志*, 1985(5): 12-13.
- [11] 尚海忠. 岩羊住肉孢子虫感染的调查[J]. *中国兽医杂志*, 1996, 22(7): 37.
- [12] 袁青妍, 谢庄. 动物对高原低氧的适应性研究进展[J]. *生物科学进展*, 2005, 36(2): 179-182.
- [13] 朱晓光, 张银国, 马长宾, 等. 成年盘羊血液生理生化指标的测定[J]. *动物医学进展*, 2010, 31(9): 123-125.
- [14] 马森, 王荣鑫, 张才骏, 等. 青海高原家畜生理生化参数[J]. *青海畜牧兽医杂志*, 1994, 24(4): 36-41.
- [15] 王勇, 汪晓飞. 藏羚羊、藏原羚和普氏原羚部分血液生理生化指标的测定[J]. *畜牧与兽医*, 2009, 41(9): 88-90.
- [16] MOSTAGHNI K, BADIEI K, EMADI M. Haematology and serum biochemistry of captive wild sheep (*Ovis orientalis esphahanica*) in Iran[J]. *Comp Clin Path*, 2005, 13: 158-161.
- [17] 王晓君, 魏登邦, 魏蓬, 等. 高原鼯鼠和高原鼠兔红细胞低氧适应特性[J]. *四川动物*, 2008, 27(6): 1100-1103.
- [18] ARIELI R, HETH G, NEVO E, et al. Hematocrit and hemoglobin concentration in four chromosomal species and some isolated populations of actively speciating subterranean mole rats in israel[J]. *Experientia*, 1986, 42(4): 441-443.
- [19] ARIELI R, AR A. Heart rate responses of the mole rat (*Spalax ehrenbergi*) in hypercapnic, hypoxic, and cold conditions[J]. *Physiological zoology*, 1981, 54(1): 14-21.
- [20] 程守科, 于军一, 司本辉, 等. 高原低氧环境下红细胞增多和血液粘度间关系的研究[J]. *中国应用生理学杂志*, 2001, 17(3): 231-235.
- [21] 田兴贵, 朱红刚, 主性, 等. 贵州黑山羊母羊部分血液生理指标的测定与分析[J]. *西南农业学报*, 2011(1): 366-368.
- [22] 于红妍. 高原鼯鼠对低氧环境适应的生理指标研究进展[J]. *安徽农业科学*, 2012, 40(33): 16145, 16158.