

岷山地区大熊猫 (*Ailuropoda melanoleuca*) 生境 影响因子连通性及主导因子

肖 赓¹, 欧阳志云^{1,*}, 赵景柱¹, 黄宝荣¹, 朱春全²

(1. 城市与区域生态国家重点实验室, 中国科学院生态环境研究中心, 北京 100085; 2. 世界自然基金会北京办公室, 北京 100011)

摘要:岷山地区是大熊猫保护的关键地区。运用图论分析法研究了岷山地区大熊猫生境影响因子,及其相互作用关系。结果表明:在岷山地区,12 个影响因子 66 对组合中,47.0% 的影响因子间存在直接的联系,其中 89.2% 的影响具有增大效应,这说明人类活动对大熊猫生境的影响具有协同增大效应,并占主导地位。研究发现,在影响因子关系集中,存在强连通性的子集 $K = \{(TD); (RB); (MI); (HPL); (AP); (AD); (SR); (TH); (FC)\}$,这表明近期进行的旅游景点开发,公路建设,采矿,高压电线走廊建设,以及传统的农业开发,畜牧业,薪柴采集等影响因子之间存在着强烈相互作用关系,这些人类活动还会将其他人类活动对大熊猫生境的影响放大,加剧其对大熊猫生境的不利影响,是影响岷山地区大熊猫生境的主导因素。研究还表明如果不能对主导因子进行有效的控制,很难有效地保护岷山地区大熊猫生境。研究表明图论分析法是研究大熊猫生境影响因子的一个有效工具,有助于明确影响熊猫生境的主导和关键因子,为制定有效的大熊猫保护策略提供科学依据。

关键词:大熊猫生境;影响因子;图论分析;岷山地区

文章编号:1000-0933(2008)01-0267-07 中图分类号:Q142,Q149,Q958 文献标识码:A

An assessment of giant panda (*Ailuropoda melanoleuca*) habitat stressors in Minshan region

XIAO Yi¹, OUYANG Zhi-Yun¹, ZHAO Jing-Zhu¹, HUANG Bao-Rong¹, ZHU Chun-Quan²

1 State Key Lab of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

2 WWF-Beijing Office, Beijing 100011, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(1): 0267 ~ 0273.

Abstract: The mountainous Minshan region has been the key region for giant panda conservation activities in China. In this paper, we applied the method of graph-theoretic to analyze and assess giant panda habitats stressors and their interactions. The results suggested that there existed 66 combinations between 12 stressors, among which 47.0% of the combinations directly interacted with each other, and 89.2% of interactions of stressors had aggravating effects. There was a strong linkage component $K = \{(TD); (RB); (MI); (HPL); (AP); (AD); (SR); (TH); (FC)\}$. It meant that these stressors, including tourism activities and site construction, hydropower engineering, transportation, road construction, agricultural development, stock raising and fuel wood collection would create additional impacts on giant panda habitat through the interactions with other stressors. We were able to conclude that these were the predominate stressors for giant

基金项目:国家自然科学基金资助项目(40621061;30428028);世界自然基金会(WWF)岷山森林景观保护资助项目(CN0090.02)

收稿日期:2006-11-01; **修订日期:**2007-11-05

作者简介:肖赓(1972~),女,博士,湖南长沙人,主要从事系统生态和地理信息系统及其在自然保护研究中的应用, E-mail: xiaoyi@rcees.ac.cn

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zyouyang@rcees.ac.cn

Foundation item: This work was financially supported by National Natural Science Foundation of China(No. 40621061;30428028), Bio-assessment and Planning for Minshan Initiative (No. WWF China; CN0090.02)

Received date:2006-11-01; **Accepted date:**2007-11-05

Biography: XIAO Yi, Ph. D., mainly engaged in systems ecology and GIS and its applications in nature conservation. E-mail: xiaoyi@rcees.ac.cn

panda habitat in Minshan region. The study also demonstrated that graph-theoretic analysis was a useful tool to simplify the reticular interactions within the various giant panda habitat stressors and as a means to identify the main stressors.

Key Words: giant panda habitat; anthropogenic stressors; graph-theoretic analysis, Minshan region

近一个世纪以来,由于人类活动的影响,大熊猫(*Ailuropoda melanoleuca*)生境大量丧失,大熊猫分布范围减少,种群数量不断下降,有效保护大熊猫仍面临挑战^[1~3]。研究与评价大熊猫生境的人为影响因素,是认识和了解大熊猫濒危原因、制定合理的大熊猫保护措施的科学基础^[4,5]。

图论分析法是应用数学的一个分支。图论中的图是由若干给定的点及连接两点的线所构成的图形,这种图形通常用来描述某些事物之间的某种特定关系,用点代表事物,用连接两点的线表示相应两个事物间的相互关系。图论分析法是一种研究网络的稳定性和网络结构与功能关系的重要分析工具,广泛应用于统计物理学、计算机网络、生态学、社会学以及经济学等各个不同领域。在生态领域的研究中,得到愈来愈广泛的重视,如 Dunne, Girvan, Garlaschelli 等将图论分析方法应用于食物网的结构的研究^[6~8], Giavelli, Bodini and Rossi 等用图论分析方法研究了群落食物网特征,并探讨了在野生动植物保护中的应用^[9,10], Camacho, Dunne 进一步分析了食物链网络上讨论个别或部分物种灭绝对整体生态系统的影响^[11,12]。Brooks 运用图论分析方法在景观生态角度,研究了集合种群在生境斑块间连通性分析方法。Wenger 等首次将该方法运用于生态系统影响因子的相互作用关系研究^[13],对促进图论分析方法在生态影响评价的应用起了重要的推动作用。

岷山地区是大熊猫的主要分布区,分布有 37% 的大熊猫栖息地和 46% 野生大熊猫,岷山地区是我国能否成功保护大熊猫的关键区域^[14]。但近年来,岷山地区发展迅速,交通建设与资源开发在岷山地区大规模的开展将进一步加剧岷山生境破碎化程度,威胁包括大熊猫在内的野生生物的生存与繁衍。本文拟运用图论分析方法,分析影响岷山地区大熊猫生境的人类活动影响因子,揭示影响因子之间所隐含的内在联系,明确其主导影响因子,以期协调岷山地区大熊猫保护及其与岷山地区资源开发、有效保护大熊猫生境提供依据。

1 研究方法

在研究岷山地区大熊猫生境影响因子与胁迫机制中,首先分析岷山地区的主要人类活动类型及其对大熊猫生境的可能影响;然后,分析各类大熊猫生境影响因子间的相互关系;最后运用图论方法计算它们之间的连通性,以明确岷山地区影响大熊猫生境的主导人类活动。

1.1 影响大熊猫生境的人类活动类型分析

岷山地区位于四川盆地西北部,主要包括岷江以东山地,面积为 349.81 万 hm^2 。区内地形复杂,以高山峡谷地貌为主。气候的垂直变化明显,属山地亚热带向高原气候的过渡地带。由于生境的多样性与复杂性,岷山地区保存了丰富的生物多样性,是我国生物多样性保护的优先地区^[15],也是全球生物多样性保护的关键地区。但近年来,岷山地区发展迅速,交通建设与资源开发在岷山地区大规模的开展将进一步加剧岷山生境破碎化程度,威胁包括大熊猫在内的野生生物的生存与繁衍。

在岷山地区,大熊猫主要生活在落叶阔叶林、针阔混交林、亚高山针叶林等森林生境中^[14,16],显然导致森林退化与破坏、森林景观破碎化等对岷山地区森林不利影响的人类活动均可能对大熊猫生境带来不利影响^[3,4],主要包括,森林采伐与薪柴采集直接破坏大熊猫生境,导致大熊猫生境的丧失;道路建设一方面是使大熊猫生境丧失,更主要的是导致生境的隔离;旅游开发与旅游活动则通过景点的开发与道路的建设导致生境的丧失与隔离^[4~6,14];水电开发与输电线路的建设通过公路建设、高压输电走廊的建设破坏生境,加剧生境隔离等(表 1)。这些人为活动将可能影响大熊猫生境的利用,降低生境质量,严重时导致生境丧失、加剧生境的破碎化^[4,14]。

1.2 图论分析法

在图论中,图 G 是指两个集合 (S, A) , 其中集合 A 是集合 $S \times S$ 的一个子集。集合 S 称为图的顶点集,往

往被用来代表实际系统中的个体,集合 A 被称为图的边集,多用于表示实际系统中个体之间的关系或相互作用。在本研究中,影响大熊猫生境的人类活动因子定义为图的顶点集 S ,这些因子之间的相互作用为图的边集 A ,而且相互作用是有向的。具体的分析过程包括如下 6 个步骤:

表 1 岷山地区对大熊猫生境有不利影响的人类活动

Table 1 Human stressors for giant panda habitat in Minshan region

编号 Number	人类活动类型* Human stressors	对大熊猫生境的不利影响 Impacts on giant panda habitat
1	旅游景点开发 Tourism development (TD)	导致生境丧失,加剧生境破碎 Cause habitat lost and habitat fragmentation
2	水电开发 Hydro-power exploitation (HE)	导致生境丧失 Cause habitat lost
3	公路建设 Road building (RB)	导致生境丧失,加剧生境破碎 Cause habitat lost and habitat fragmentation
4	采矿 Mining (MI)	导致生境丧失 Cause habitat lost
5	高压电线 High-tension power line (HPL)	加剧生境破碎 Cause habitat fragmentation
6	交通噪音 Traffic noise (TN)	影响大熊猫对生境的利用 Influence giant panda using habitat
7	人工造林 Artificial plantation (AP)	导致生境丧失 Cause habitat lost
8	农业开发 Agricultural development (AD)	导致生境丧失,加剧生境破碎 Cause habitat lost and habitat fragmentation
9	放牧 Stock raising (SR)	导致生境丧失,影响大熊猫对生境的利用 Cause habitat lost , Influence giant panda using habitat
10	木材砍伐 Timber harvest (TH)	导致生境丧失,加剧生境破碎 Cause habitat lost and habitat fragmentation
11	采药 Herbal medicine collecting (HMC)	影响大熊猫生境利用 Influence giant panda using habitat
12	薪柴采集 Fuel-wood collecting (FC)	导致生境丧失,加剧生境破碎 Cause habitat lost and habitat fragmentation

* 下同 the same below

(1) 构建大熊猫生境影响因子集合 $S = \{S_1, S_2, \dots, S_n\}$ 。

(2) 然后根据集合 S 中不同大熊猫生境影响因子相互直接作用关系构建影响因子间联结矩阵 $A = (a_{ij})$,其中,

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{当 } S_i \text{ 对 } S_j \text{ 有直接增大效应} \\ 0, & \text{当 } S_i \text{ 对 } S_j \text{ 没有直接影响} \\ -1, & \text{当 } S_i \text{ 对 } S_j \text{ 有直接消减效应} \end{cases} \quad (1)$$

(3) 利用联结矩阵 A 、单位矩阵 I 和布尔矩阵 B 计算不同影响因子间的可达性矩阵 R ,如下:

$$R = (r_{ij}) = B\{[I + B(A)^{n-1}]\} \quad (2)$$

可达性矩阵用于判断一个影响因子对另一个影响因子是否存在直接的或通过其它作用途径的间接影响。当 $r_{ij} = 1$ 时, S_i 对 S_j 存在影响;当 $r_{ij} = 0$, 不存在影响。

(4) 判断不同大熊猫生境影响因子之间关系的连通性:

通过连通性矩阵和可达性矩阵判断不同影响因子之间关系的连通性。当 $R = J$ 时,为强连通性;当 $B[R + R'] = J$ 时,为单向连通性;当 $B\{[I + B(A) + B(A')]\} = J$ 时,为弱连通性(其中 J 为所有元素都为 1 的矩阵)。

连通性反映的是大熊猫生境影响因子集合 S 中因子之间相互作用关系的强弱。

(5) 通过 $R \cap R'$ 矩阵判断影响因子集合 S 中具有强连通性的子集 K_m

$K = (k_{ij}) = R \cap R'$ (位置相同的对应元素相乘),当集合 S 中 p 个影响因子所构成的矩阵 $R \cap R'$ 中所有元素值为 1 时,那么由这 p 个影响因子构成的新集合 K_m 为 S 中的强连通性子集之一。

(6) 通过联结矩阵 A 的 n 次幂矩阵 A^n 判断边数为 n (间隔 $n-1$ 个其它影响因子)的不同影响因子间的间接作用关系。矩阵中对应的元素值 c_{ij} 反映的是从 i 影响因子到 j 影响因子边长为 n 的增大效应路径数同消减效应路径数的差值。

2 结果与讨论

2.1 不同大熊猫生境影响因子直接相互作用

以表 1 为基础,通过调查分析岷山地区大熊猫生境各影响因子之间的相互作用关系构建联结矩阵 A (表

2),如岷山地区水电开发必然会增加岷山地区高压电线的数量,具有增大效应,标记为1;而水电的开发,将可能减少当地居民对薪柴的利用,具有消减效应,标记为-1。

通过统计分析,12个影响因子66对组合中,47.0%的影响因子间存在直接的联系,其中89.2%的联系具有增大效应,证明人类活动对大熊猫生境的影响协同增大效应占主导地位。有6对组合之间存在反馈环,其中包括5个具有协同增大效应的正反馈环旅游景点开发-公路建设、公路建设-采矿、公路建设-森林砍伐、农业开发-森林砍伐、农业开发-畜牧业,以及1个负反馈环森林砍伐-人工造林。在大熊猫生境的保护中需要防止正反馈环的协同增大效益。在所有的直接作用关系中,旅游景点建设、水电开发和公路建设对其它影响因子直接放大效应的最明显,是影响岷山地区大熊猫生境的主要人类活动,需要重点控制;而森林砍伐受其它多种影响因子,如旅游景点的开发、农业开发、薪柴利用、畜牧业的发展的增大效应影响,需要加强保护。

表2 岷山大熊猫生境不同影响因子之间的联结矩阵

Table 2 Adjacency matrix of the digraph of giant panda habitat in Minshan region

人类活动类型 Human stressors	TD	HE	RB	MI	HPL	TN	AP	AD	SR	TH	HMC	FC
旅游景点开发 (TD)	0	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0
水电开发 (HE)	1	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	-1
公路建设 (RB)	1	0	0	1	0	1	0	1	1	1	0	1
采矿 (MI)	0	0	1	0	1	1	-1	0	0	1	0	0
高压电线走廊 (HPL)	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
交通噪音 (TN)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
人工造林 (AP)	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	-1	0	0
农业开发 (AD)	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1
畜牧业 (SR)	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
森林砍伐 (TH)	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0
采药 (HMC)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
薪柴采集 (FC)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0

2.2 不同大熊猫影响生境影响因子可达性

通过式(2)和表2的联结矩阵得到大熊猫生境影响因子之间的可达性矩阵 R 如表3。可达性矩阵表明,除交通噪音外,其余11个影响因子对其它大部分影响因子都存在直接或间接影响;除水电开发、采药外,其余10个影响因子都受到了其它大部分影响因子的直接或间接影响。有的人类活动对大熊猫生境的直接影响小,但可以通过间接影响增大影响效应,如旅游景点的开发和旅游活动,将增加交通流量,从而加剧噪声污染,影响大熊猫生境质量与生境隔离。尽管有时单个因素的不利影响不大,但是通过多种因素的直接或间接关联作用有可能把影响放大,在大熊猫生境影响分析中应该受到重视。

表3 岷山地区大熊猫生境影响因子可达性矩阵

Table 3 Reachability matrix of giant panda habitat stressors in Minshan region

人类活动类型 Human stressors	TD	HE	RB	MI	HPL	TN	AP	AD	SR	TH	HMC	FC
旅游景点开发 (TD)	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1
水电开发 (HE)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1
公路建设 (RB)	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1
采矿 (MI)	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1
高压电线走廊 (HPL)	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1
交通噪音 (TN)	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
人工造林 (AP)	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1
农业开发 (AD)	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1
畜牧业 (SR)	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1
森林砍伐 (TH)	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1
采药 (HMC)	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
薪柴采集 (FC)	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1

2.3 不同影响因子间的连通性分析

矩阵计算发现 $R \neq J, B(R + R') \neq J, B\{[I + B(A) + B(A')]\} = J$, 表明表 1 所列不同大熊猫生境影响因子之间具有弱连通性, 这说明在岷山大熊猫生境影响因子中有的因子起主导作用。从表 4 可以看出不同影响因子之间具有强连通性子集 $K = \{(TD); (RB); (MI); (HPL); (AP); (AD); (SR); (TH); (FC)\}$, 这表明旅游景点开发, 公路建设, 采矿, 高压电线走廊, 以及人工造林, 农业开发, 畜牧业, 木材砍伐, 薪柴采集等影响因子之间存在着强烈相互作用关系。管理活动对强连通性子集中任何一影响因子产生影响, 都会对其它影响因子产生一定影响, 有时这种影响会十分显著, 如控制岷山地区旅游景点的开发, 可减弱交通对生境的不利影响。分析表明, 在岷山地区水电开发对其它影响因子有较大的增大效应, 但受其它影响因子的作用不大, 表现出同其它影响因子间的弱连通性。交通噪音虽然受到其它多个影响因子的影响, 但交通噪音和采药两个影响因子对其它影响因子的影响作用小, 也表现出弱连通性。

表 4 强连通性子集判断矩阵 $R \cap R'$

Table 4 $R \cap R'$ -matrix

人类活动类型 Human stressors	TD	HE	RB	MI	HPL	TN	AP	AD	SR	TH	HMC	FC
旅游景点开发 (TD)	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1
水电开发 (HE)	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
公路建设 (RB)	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1
采矿 (MI)	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1
高压电线走廊 (HPL)	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1
交通噪音 (TN)	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
人工造林 (AP)	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1
农业开发 (AD)	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1
畜牧业 (SR)	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1
森林砍伐 (TH)	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1
采药 (HMC)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
薪柴采集 (FC)	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1

2.4 不同大熊猫生境影响因子间接增大和消减效应分析

联结矩阵的平方矩阵中的元素值表明的是边长为 2 的增大效应路径数同消减效应路径数之间的差值, 反映的是不同影响因子之间边长为 2 的间接作用关系。分析发现, 边长为 2 的间接增大效应路径比减小效应路径多 88 条, 说明不同影响因子之间边长为 2 的间接增大效应关系非常强烈, 再次说明了岷山地区主要人类活动对大熊猫生境的协同增大效应显著, 加大了对大熊猫生境的不利影响。如, 水电开发对公路建设、交通、噪音、农业开发、木材采伐等有间接增大效应, 而旅游景点和旅游活动则对农业开发、畜牧业、木材采伐、薪柴利用等有间接的增大效应, 类似的有公路建设和交通、采矿、农业开发等影响因子对其他大熊猫生境影响因子均有不同程度的间接增大效应(表 5)。而在适宜点人工造林(如坡耕地、公路两侧)可以间接削减农业开发、畜牧业与木材采伐等活动对大熊猫生境的不利影响。从边长为 2 的间接影响路径多的总条数来看, 旅游景点开发、水电开发、公路建设、采矿及高压电线走廊对其它影响因素的间接增大效应大, 需要认真规划; 而公路建设、农业开发、森林砍伐及薪柴采集容易受到其它影响因素的间接驱动, 需要慎重进行。

3 讨论

岷山地区作为大熊猫最重要的分布区, 为我国保护大熊猫起着关键的作用。近年来, 岷山地区旅游开发、公路建设、水电开发等发展很快, 与长期以来的农业、畜牧业、薪柴利用等相互作用, 对大熊猫生境造成巨大的威胁。

运用图论分析方法研究表明: 在岷山地区影响大熊猫生境的影响因子中, 存在相互作用关系。结果表明旅游景点开发, 公路建设, 采矿, 高压电线走廊建设, 以及农业开发, 畜牧业, 薪柴采集等影响因子之间存在

着强烈相互作用关系,这些人类活动还会将其他人类活动对大熊猫生境的影响放大,加剧其对大熊猫生境的不利影响。尤其旅游景点的开发,往往促进了公路的建设,进一步推动公路沿线的森林采伐、薪柴的利用等,加剧其对大熊猫生境的影响,在今后相当一段时期中,是影响岷山大熊猫生境的主导因素。由于对岷山地区旅游开发对其他人类活动的放大影响认识不够,现在还没有对开发旅游的不利影响给予应有的重视。研究表明,如果不能有效控制岷山旅游开发等主导影响因子,将很难有效地保护岷山地区大熊猫生境。

表 5 大熊猫生境胁迫联结矩阵平方值

Table 5 The square of the adjacency matrix for giant panda habitat stressors

人类活动类型 Human stressors	TD	HE	RB	MI	HPL	TN	AP	AD	SR	TH	HMC	FC	Sum
旅游景点开发 (TD)	1	0	2	1	0	1	1	2	2	3	0	2	15
水电开发 (HE)	1	0	3	1	1	2	1	3	1	2	0	1	16
公路建设 (RB)	0	0	3	0	2	2	0	3	1	4	0	2	17
采矿 (MI)	1	0	2	1	0	1	1	3	1	3	0	1	14
高压电线走廊 (HPL)	1	0	1	1	0	1	1	2	1	1	0	1	10
交通噪音 (TN)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
人工造林 (AP)	0	0	-1	0	0	0	-1	-1	-1	-1	0	-1	-6
农业开发 (AD)	0	0	1	0	0	0	1	2	0	1	0	1	6
畜牧业 (SR)	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	1	4
森林砍伐 (TH)	1	0	0	1	0	1	0	0	2	1	0	2	8
采药 (HMC)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
薪柴采集 (FC)	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	3
合计 Sum	5	0	12	5	3	8	5	15	8	17	0	10	88

本研究表明图论分析法是研究大熊猫生境影响因子的一个有效工具,有助于把各种影响因子错综复杂的交互作用关系简洁明了化,有助于明确主导和关键影响因子,为制定有效的保护策略提供科学依据。

References:

- [1] Hu J C, George B. Schaller, *et al.* Wolong's Giant Panda. Chengdu, Sichuan People Press, 1985.
- [2] Hu J C. Research on Giant Panda, Shanghai: Shanghai Technological Education Press, 2001.
- [3] Pan W S, Lue Z. Qinling Refuse for Giant Panda. Beijing: Beijing University Press, 1988.
- [4] Ouyang Z Y, Liu J G, Xiao H. Giant panda habitat assessment in Wolong nature reserve, Sichuan, China, *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(11): 1869—1874.
- [5] Liu J G, Ouyang Z Y, Taylor W, Groop R, Zhang H M, Tan Y C. Impacts of human factors on wildlife habitat: framework and case study on change habitat for giant pandas, *Conservation Biology*, 1999, 13: 1360—1370.
- [6] Girvan M, Newman M E J. Community structure in social and biological networks, *Pnas*, 2002, 99(12): 7821—7826
- [7] Dunne J A, Williams R J, Martinez N D. Food-web structure and network theory: The Role of Competence and Size, *PNAS* 99, 2002, 20, 12917—12922.
- [8] Garlaschelli D, Caldarelli G, Pietronero L. Universal scaling relation in food webs, *Nature*, 2003, 423, 165—168.
- [9] Dunne J A, Williams R J, Martinez N D. Network structure and biodiversity loss in food webs: robustness in cress with connectance, *Ecol. Lett.*, 2002, 5, 558—567.
- [10] Christopher Brooks. Quantifying population substructure: extending the graph-theoretic approach, *Ecology*, 87(4), 2006. 864—872
- [11] Renner R. Ecological risk assessment struggles to define itself. *Environmental Science and Technology*, 1996, 30: A172—A174.
- [12] Bodini A, Giavelli G and Rossi O. The qualitative analysis of community food webs: implications for wildlife management and conservation. *Journal*

of Environmental Management, 1994, 41: 49—65

- [13] Wenger R B, Harris H J, Sivanpillai R and DeVault. A graph-theoretic analysis of relationships among ecosystem stressors. Journal of Environmental Management, 1999, 57:109—122
- [14] Xiao Y, Ouyang Z Y, Zhu C Q, Zhao J Z, He G J, Wang X K. An assessment of giant panda habitat in Minshan, Sichuan, China. Acta Ecologica Sinica, 2004, 24(7): 1373 ~ 1379.
- [15] State Environmental Protection Administration. China's Biodiversity Action Plan. Beijing: Chinese Environmental Science Press, 1995.
- [16] Hu J C, *et al.* Progresses in study of giant panda biology. Chengdu: Sichuan Science and Technology Press, 1990.

参考文献:

- [1] 胡锦涛,夏勒,卧龙的大熊猫,成都:四川人民出版社,1985.
- [2] 胡锦涛.大熊猫研究.上海:上海科技教育出版社,2001.
- [3] 潘文石,吕植.秦岭大熊猫庇护所.北京:北京大学出版社,1988.
- [4] 欧阳志云,刘建国,肖寒,2001,卧龙大熊猫生境评价研究,生态学报,21(11):1869~1874.
- [14] 肖赓,欧阳志云,朱春全,赵景柱,何国金,王效科,2004,岷山地区大熊猫生境评价与保护对策研究,生态学报,24(7):1373~1379.
- [15] 国家环境保护局.中国生物多样性保护行动计划.北京:环境科学出版社,1995.
- [16] 胡锦涛,等.大熊猫生物学研究与进展.成都:四川科学技术出版社,1990.