

· 城市生态保护 ·

中国生物多样性变化趋势分析

张 明, 高吉喜

(环境保护部南京环境科学研究所 生态保护与气候变化研究中心, 江苏 南京 210042)

摘 要: 在生物多样性受到严重威胁前提下, 为评估中国生物多样性保护的成效, 引入了世界自然保护联盟(IUCN)开发设计的红色名录指数(Red List Index, RLI), 结合我国实际情况修订后, 计算脊椎动物和维管植物的红色名录指数。结果显示, 以均值法(Equal-steps method)计算的脊椎动物RLI有所上升, 脊椎动物整体多样性丧失速率下降; 而以灭绝风险法(Extinction risk method)计算的脊椎动物RLI有所下降, 表明有部分高濒危等级的脊椎动物物种进一步丧失; 两种方法计算的维管植物RLI均有所下降, 说明维管植物多样性丧失速率加快; 而基于均值法计算的维管植物RLI下降速率更快, 说明数量较多的物种丧失速率加快, 亟需加强保护。这是RLI在国家水平上进行应用, 也是在国家水平上对RLI指数进行验证, 计算结果将为我国生物多样性保护提供参考。

关键词: 生物多样性; 红色名录指数; 脊椎动物; 维管植物; 趋势

中图分类号: X37; Q16

文献标志码: A

DOI:10.16803/j.cnki.issn.1004-6216.2016.06.017

Analysis of Biodiversity Variation Trend in China

Zhang Ming, Gao Jixi

(Research Center for Ecological Protection and Climate Change Response, Nanjing Institute of Environmental Sciences, MEP, Nanjing 210042, China)

Abstract: Biodiversity is undergoing more and more threat in the recent years. In order to evaluate the effects of biodiversity conservation in China, Red List Index (RLI) designed by IUCN (World Conservation Union) is introduced and revised to observe the rate of biodiversity loss of vertebrate and vascular plant. The results show that ascending of the RLI of vertebrate by Equal-steps indicates descending of the rate of biodiversity loss, but descending of the RLI of vertebrate by Extinction risk indicates further loss of some high Red List Categories species. RLI of vascular plant by Equal-steps and Extinction-risk all decline in some degree, indicating that the rate of biodiversity loss of vascular plant is quickened. Furthermore, RLI of vascular plant by Equal-steps declines faster than by Extinction risk, indicating that a majority of vascular plant species are facing a rising loss rate and therefore corresponding protection is necessarily enhanced. It's not only an application but also verification of RLI at national level and the calculation results would be used as a reference for biodiversity conservation in China.

Keywords: Biodiversity; Red List Index; Vertebrate; Vascular plant; Trend

CLC number: X37; Q16

20世纪以来, 全球生物多样性面临大规模灭绝的危机, 其特征是许多物种在短期内快速灭绝, 其范围涉及全球的所有生物类群^[1-2]。21世纪初, 生物多样性评价受到广泛关注, 在《生物多样性公约》积极倡导下, 千年生态系统评估项目、全球环境展望项目、国际生物多样性计划(DIVERSITAS)等项目在全球有效开展, 对生物多样性保护起到了积极作用。同时, 生物多样性评价指标体系也逐步建立^[3-9]。在生物多样性

现状评价体系逐步成熟的形势下, 有必要对生物多样性的变化趋势进行分析。

在世界自然保护联盟(IUCN)的濒危红色名录(Red List)被全球广泛认可的情形下, 为了评价生物多样性丧失的速率, 红色名录联合单位(IUCN, Species Survival Commission, Bird Life International, Conservation International-Centre of Applied Biodiversity Science and NatureServe)设计了红色名录指数(Red List Index, RLI), 根据

收稿日期: 2016-04-10

作者简介: 张 明(1982-), 男, 硕士研究生、助理研究员。研究方向: 生态保护与修复、生物多样性保护研究。

IUCN濒危物种红色名录(www.iucnredlist.org)数据进行计算,得到各种类型物种整体上的受威胁现状的变化趋势。

红色名录指数的值是指在保护措施下物种能够维持现状的比例^[10]。 RLI 的值的范围从0到1。值为0表示所有物种全部绝灭,值为1表明所有物种均为无危。 RLI 最初设计并在鸟类中使用^[11],随后应用在两栖类上^[12],均取得了较好的效果。 RLI 已被广泛认为是评判生物多样性保护成效的重要指标之一^[13]。

某类物种经过两次红色名录评估后,可计算出该类物种的 RLI 指数。 RLI 指数不仅可以用于表示生物多样性整体的指数,也可以表示鸟类^[11]、两栖类^[12]等某一类型物种的指数;既可以表示全球生物整体的指数,也可以表示不同生物地理区域、生态系统、生境等的指数^[11-12]。 RLI 指数具有较为广泛的应用性,这也有利于不同国家或地区之间进行比较。为此,我们引入红色名录指数^[13],并分析中国生物多样性的变化趋势。

1 计算方法

1.1 计算公式

根据2004年IUCN的红色名录物种濒危等级划分标准,物种的濒危等级分为:绝灭(Extinct, EX)、野外绝灭(Extinct in the Wild, EW)、地区绝灭(Critically Endangered, RE)、极危(Critically Endangered, CR)、濒危(Endangered, EN)、易危(Vulnerable, VU)、近危(Near Threatened, NT)、无危(Least Concern, LC)、数据缺乏(Data Deficient, DD)和不宜评估(Not Applicable, NA)。

在两次评估的红色名录中,对每一濒危等级赋一权重值(Weight, 见1.2),根据现状发生真实变化的物种数及其濒危等级来计算指数^[10],公式如下:

$$RLI_t = (M - T_t) / M \quad (1)$$

其中: M 为最大受威胁分值(Maximum threat score); T_t 为当前受威胁分值(current threat

score)。最大受威胁分值 M 等于最大等级权重乘以现状发生真实变化物种数,即:

$$M = W_{EX} \cdot N \quad (2)$$

其中: N 为评估的现状发生真实变化的物种总数,不包括数据不足(Data Deficient)物种、首次评估中列为灭绝的物种和不宜评估(Not Applicable, NA)的物种; W_{EX} (最大等级权重)为物种绝灭等级的权重,如在“Equal-steps”方法(均值法)中则为5(见1.2)。

当前受威胁分值(current threat score) T_t 为现状发生真实变化的物种总数 N 乘以其当前等级权重 W ,即:

$$T_t = \sum_c W_c \cdot N_{c(t)} = \sum_s W_{c(t,s)} \quad (3)$$

其中: W_c 为每一濒危等级 c 的权重(Weight for category c)。综合公式(1)、(2)、(3), RLI 指数计算公式则为:

$$RLI_t = 1 - \frac{\sum_s W_{c(t,s)}}{W_{EX} \cdot N}$$

1.2 不同濒危等级的权重设置

为了反映出不同濒危等级的区别,就要为每一濒危等级设置不同的权重(Weight)。等级权重设置有多种方法,最简单易行的就是均值法(Equal-steps method)^[12],从无危(LC)到灭绝(EX)分别赋值0至5,见表1。

表1 等级权重设置方法

濒危等级	均值法	灭绝风险法
无危	0	0
近危	1	0.000 5
易危	2	0.005
濒危	3	0.05
极危	4	0.5
地区绝灭	5	1.0
绝灭和野外绝灭	5	1.0

而要突出高濒危物种发生等级变化时,则可使用灭绝风险法(Extinction-risk method),加大高濒危等级物种的权重。两种等级权重设置方法的优缺点见表2。

表2 两种权重设置方法的优缺点

均值法	
优点	简单易行，计算结果主要反映大尺度上物种的变化情况，具有代表性。
缺点	不能区分出物种在低濒危等级间变化和高濒危等级间变化。例如一个物种从近危降为无危，而另一物种由濒危升为极危，在整体上 <i>RLI</i> 没有发生变化。而低濒危等级的物种数量远远要大于高濒危等级的数量，低濒危等级的物种等级发生变化，对计算结果影响较大。
灭绝风险法	
优点	能反映出物种在不同濒危等级变化的区别，加大了高濒危等级物种的权重，以示物种绝灭风险。
缺点	受高濒危等级物种数量变化的影响大，计算结果往往由少数几个高濒危等级物种决定。

1.3 濒危等级发生变化的判断

物种濒危等级在两次评估中发生变化，可能有多种原因，见表3。除了现状真实发生了好转或恶化，由其它原因造成等级变化就会导致红色名录指数产生误差。“近期现状真实变化”（Recent genuine status change）和“长期现状真

实变化”（Genuine status change since first assessment）都是物种的现状发生了真实的改变，以此计算得出的红色名录指数才能真正反映出物种生物多样性的变化情况。而“信息延时”、“标准变化”和“分类变化”导致物种等级的变化都不是真实的现状变化。

表3 物种等级变化的情形

情形	具体说明
近期现状真实变化	自上一次评估以来，物种现状发生的真实变化，如好转或恶化。
长期现状真实变化	自首次评估以来，物种现状发生的真实变化，如好转或恶化。
信息延时	物种现状发生改变，但在评估时未能获得这些信息，在评估之后再行修订。
标准变化	由于 IUCN 的濒危物种评价标准变化而导致物种濒危等级变化。
分类变化	物种分类学上的变化而引起等级的改变。

例如鸟类的白颈长尾雉 (*Syrmaticus ellioti Swinhoe*) 在1998年列为易危，但2004年评估发现，其数量虽然下降且狩猎压力大，但近10年来对本种的野外研究，尤其是对本种分布范围的报道使得以往的评估意见不再适用。而在2004年评估中被列为近危。因此，白颈长尾雉等级由易危到近危的变化并不是状况的好转，而是由于信息获得的延时，所以不包括在红色名录指数计算中。

2 数据处理

数据来源于1998年的《中国濒危动物红皮书》^[14]和2004年《中国物种红色名录》^[15]以及《1997 IUCN Red List of Threatened Plants》^[16]。

1998年的《中国濒危动物红皮书》参考了IUCN1994年以前的濒危等级划分标准，并结合中国国情制定了划分等级，增加了稀有(Rare, R)等级。2004年的《中国物种红色名录》则采用

2001年3.1版《IUCN物种红色名录濒危等级和标准》，并参考2003年《IUCN物种红色名录标准在地区水平的应用指南》。

由于两次评估的标准有所差别，我们在此进行技术上处理。1998年《中国濒危动物红皮书》上的“稀有”(Rare)等级是指从分类订名以来，迄今总共只有为数有限的发现记录，其数量稀少的原因主要不是人为的因素，如丛林猫 (*Felis chaus*)、中华鼯鼠 (*Sicista concolor*)。因此，我们将“稀有”这一等级与近危相对应。乌龟 (*Chinemys reevesi*) 在1998年被列为依赖保护 (Conservation Dependent, CD)，我们在计算中则也将其与近危相对应。而1998年中物种等级为未定 (I) 的，是指情况不明了，但有迹象表明可能已经属于或疑为“濒危”或“易危”者，如普氏原羚 (*Procapra przewalskii*) 和印度假吸血蝠 (*Megaderma lyra*)。因此，我们将未定这一等级作为数据不足，不进行指数计算。

1998年IUCN对植物的评估是一次全球范围的评估,我们认为其中中国特有植物的评估结论相对来说比较适合中国的情况。两次评估中有162个物种(均为中国特有植物)可以用作植物红色名录指数的计算,见表4。

表4 两次评估对应等级情况

1998	2004
	绝灭
野生绝迹	野外绝灭
国内绝迹	区域绝灭
	极危
濒危	濒危
易危	易危
稀有/依赖保护	近危
	无危
未定	数据缺乏
	不宜评估

在计算过程中,排除以下物种:①首次评估中,列为灭绝的物种;②任何一次评估中列为未评估(I)、数据缺乏(DD)和不宜评估(NA)的物种;③首次进行了评估而当前没有评估的物种,无法

了解其当前受胁现状,也排除在外;④并非由于现状真实改变而引起濒危等级变化的物种(见2.3),如白颈长尾雉(*Syrnaticus ellioti*);⑤对于第二次评估中新增的评估物种(*newly added species*),按照Butchart et al^[12]2007所介绍的回溯法(Back-casting)进行处理,直至再次评估该物种时才可计算,因此,在文章计算过程中也予排除。

3 结果

3.1 两栖类

从1998~2004年,东北小鲵(*Hynobius leechii*)、极北鲵(*Salamandrella keyserlingii*)和中国林蛙(*Rana chensinensis*)由易危降为无危,刘氏髭蟾(*Vibrissaphora liui*)、版纳鱼螈(*Ichthyophis bannanicus*)、棕黑疣螈(*Tylototriton verrucosus*)由濒危降为近危,这是两栖类RLI上升的主要原因。两栖类的RLI有所上升,见图1。1998年评估的两栖类只有29种,从而导致只有21种涉及两栖类RLI的计算,只占中国两栖类(共321种)的6.54%。

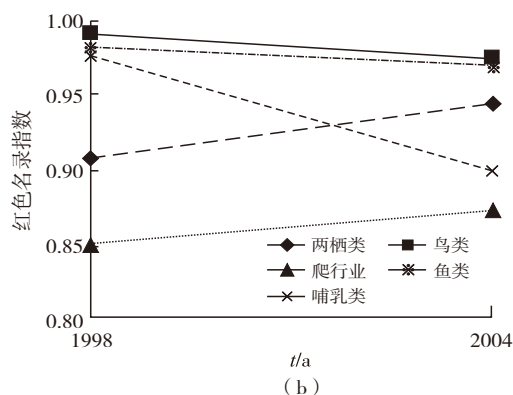
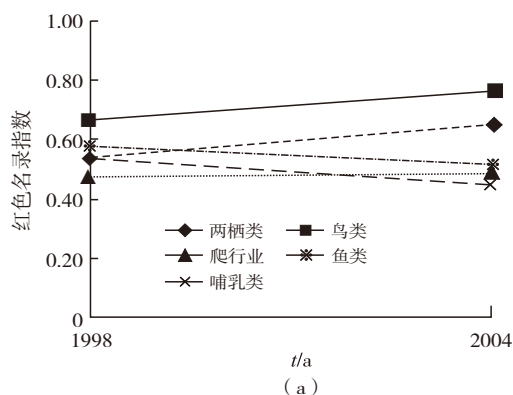


图1 (a)均值法红色名录指数, (b)灭绝风险法红色名录指数(两栖类: n=21; 鸟类: n=139; 爬行类: n=68; 哺乳类: n=107; 鱼类: n=81)

3.2 鸟类

图1(a)表明中国鸟类生物多样性丧失速率下降。鸟类红色名录指数下降原因为部分物种从1998~2004等级由濒危降为无危(黑鹳*Ciconia nigra*和黑冠鵙*Gorsachius melanolophus*),以及由易危降为无危(黑颈鸛*Phalacrocorax niger*、原鸡*Gallus gallus*、红腹锦鸡*Chrysolophus pictus*、白腹锦鸡*Chrysolophus amherstiae*、黑翅鸛*Elanus*

caeruleus、凤头蜂鹰*Pernis ptilorhynchus*、扁嘴海雀*Synthliboramphus antiquus*、西藏毛腿沙鸡*Syrnaptus tibetanus*、胡兀鹫*Gypaetus barbatus*、蛇雕*Spilornis cheela*、血雉*Ithaginis cruentus*、金雕*Aquila chrysaetos*、猎隼*Falco cherrug*、红头咬鹃*Harpactes erythrocephalus*、绿皇鸛*Ducula aenea*)。

如果将濒危等级高的物种权重设置高,所得的鸟类RLI则主要反映高濒危等级物种的变化

情况(图1(b))。结果表明,从1998年至2004年,中国鸟类高濒危等级物种的丧失速率加快。其原因是白鹤(*Grus leucogeranus*)、白背兀鹫(*Gyps bengalensis*)、朱鹮(*Nipponia nippon*)和黑嘴端凤头燕鸥(*Sterna bernsteini*)由1998年的濒危和易危上升为极危,以及镰翅鸡(*Dendragapus falcipennis*)在野外灭绝。涉及红色名录指数计算的鸟类种数为139,占中国鸟类总数(1330种)的10.45%。

3.3 爬行类

从1998~2004年,中国爬行类红色名录指数有所上升。主要因为金花蛇(*Chrysopelea ornata*)、粉链蛇(*Dinodon rosozonatum*)、横斑锦蛇(*Elaphe perlacea*)、白头蝰(*Azemiops feae*)由极危降为易危,眼镜王蛇(*Ophiophagus hannah*)由极危降为濒危。涉及红色名录指数计算的爬行类种数为68,占中国爬行类总数(407种)的16.71%。

3.4 兽类

从1998~2004年,中国兽类红色名录指数下降,生物多样性丧失速率加快。主要因为显孔攀鼠(*Vernaya fulva*)、柯氏鼠兔(*Ochotona koslowi*)、海南毛猬(*Hylomys hainanensis*)、小臭鼯(*Suncus etruscus*)、琉球狐蝠(*Pteropus dasymallus*)、金猫(*Catopuma temminckii*)、丛林猫(*Felis chaus*)、马来熊(*Helarctos malayanus*)、貂熊(*Gulo gulo*)、赤斑羚(*Naemorhedus baileyi*)等物种的进一步丧失。涉及红色名录指数计算的兽类种数为107,占中国兽类总数(580种)的18.45%。

3.5 鱼类

中国淡水鱼类红色名录指数下降,生物多样性丧失速率加快。涉及红色名录指数计算的鱼类种数为81,占中国淡水鱼类总数(913种)的8.87%。

3.6 脊椎动物

将两栖类、鸟类、爬行类、兽类和鱼类数据整合,计算出脊椎动物红色名录指数,见图2。

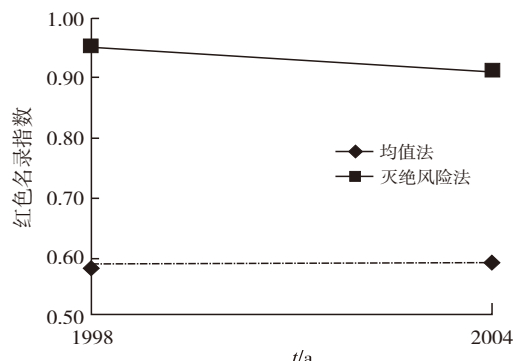


图2 1998~2004中国脊椎动物红色名录指数

由图2可知,以Equal-steps方法计算的RLI有所上升,脊椎动物整体多样性丧失速率下降。以Extinction risk方法计算的RLI有所下降,表明有部分高濒危等级的物种进一步丧失。

3.7 维管植物

两种方法计算的中国维管植物红色名录指数均下降,见图3,基于Equal-steps方法计算的中国维管植物红色名录指数比Extinction risk方法计算的指数下降速率更快。

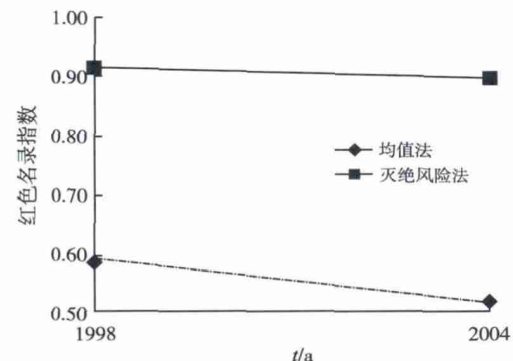


图3 1998~2004中国维管植物红色名录指数

4 讨论

4.1 中国生物多样性保护趋势

两栖类RLI指数上升,表明两栖类丧失速率下降。但是近几十年来,由于生境破坏、环境污染、全球变化等原因,全球两栖类种群数量不断下降^[17-19]。Butchart et al^[12]利用IUCN红色名录计算两栖类的红色名录指数也发现,从1998年至2004年全球两栖类RLI不断下降。两栖类种群下降的有关证据在不断增加^[20]。因此,中国两栖类RLI的上升可能由于涉及指数计算的物种较少。

基于均值法的鸟类 RLI 上升, 而基于灭绝风险法的 RLI 下降。表明大部分鸟类丧失速率下降, 而高度濒危的鸟类进一步恶化, 如白鹤、白背兀鹫、朱鹮和黑嘴端凤头燕鸥濒危等级的升高和镰翅鸡在野外灭绝。爬行类的 RLI 指数上升, 表明爬行类丧失速率下降。而基于灭绝风险法的 RLI 上升比基于均值法上升速率更快, 说明高濒危等级的爬行类形势有所好转。兽类红色名录指数下降, 丧失速率加快, 而基于灭绝风险法的 RLI 下降速率比基于均值法的 RLI 下降加快, 表明高濒危等级的兽类未受到有效保护, 进一步受胁。鱼类的 RLI 指数下降, 物种丧失速率加快。

均值法计算的脊椎动物 RLI 有所上升, 脊椎动物整体多样性丧失速率下降。以灭绝风险法计算的脊椎动物 RLI 有所下降, 表明有部分高濒危等级的物种进一步丧失。两种方法计算的维管植物红色名录指数均有所下降, 说明维管植物多样性丧失速率加快; 而基于均值法计算的 RLI 下降速率更快, 说明数量较多的物种丧失速率加快, 亟需加强保护。

4.2 中国红色名录指数计算过程中存在问题

4.2.1 两次评估物种组成变化大 1998年的红色名录与2004年的红色名录物种发生了较大的变化。特别是两栖类, 两次评估的物种差异较大, 表明从1998~2004年, 我国两栖类红色名录的物种组成发生了较大的变化。主要因为首次评估物种数量少, 见表5。

表5 两次红色名录物种数量比较

类别	红色名录物种数		计算 RLI 物种数	中国种数	RLI 物种数占中国种数%
	1998	2004			
两栖类	29	321	26	321	8.10
鸟类	183	1 330	183	1 330	13.76
爬行类	96	407	90	407	22.11
兽类	130	580	116	580	20.00
鱼类	92	191	86	913	9.42

4.2.2 首次评估不完整 1998年首次评估物种数目少, 导致两次共同评估的物种数少, 因此能进行红色名录指数计算的物种数量也较少。从表5可以看出, 两次共同评估的物种仅占该类群物种数的8.10%~22.11%。计算结果不能反映出各类型物种的整体情况, 不具有代表性。

4.2.3 数据不足 两次评估中, 对物种濒危等级的确定往往没有分布和种群数量的具体数据, 因此在判断现状是否发生变化时存在困难。等级的变化是否为现状的真实改变难以判断, 如雷山髭蟾 (*Vibrissaphora leishanensis* Liu and Hu), 见表6。

表6 雷山髭蟾评估情况

	1998 中国濒危动物红皮书	2004 中国物种红色名录
等级	濒危	易危
评估信息	我国特有种。仅见于贵州雷山。数量不详。分布区极狭窄, 数量不多, 蝌蚪期长, 易遭天敌, 成活率低, 加以当地群众大量捕捉成蟾食用, 数量急剧减少。	中国特有种, 贵州东南部。分布面积不足 20 km ² 。

4.3 在国家（地区）水平上应用红色名录指数

在国家（地区）水平上应用红色名录指数, 首先要在国家（地区）水平上应用红色名录等级标准。只有在相同标准下进行评估, 利用所得的等级变化计算得出的红色名录指数才能在不同地区和国家间进行比较。

由于国家（地区）濒危等级和全球濒危等级不同, 在国家（地区）水平上计算的红色名录指数只能在国家（地区）水平上应用和进行类似地区间的比较, 而不能反映该物种或类群在全球的变化情况。

4.4 RLI 计算过程中不同濒危等级的权重设置

两种权重设置的计算结果有很大不同, 特别是

对于鸟类。对于实现降低生物多样性丧失速率的目标,我们认为均值法权重设置反映整体水平上生物多样性的变化,更为合理。选用相同的权重设置,也便于在不同地区和国家之间进行比较。

两种权重设置所得的 RLI 具有不同的解释。对于均值法方法, RLI 为0时指所有物种都灭绝; RLI 为1时指所有物种都不受威胁,不需要保护。而对于灭绝风险法计算所得的 RLI 则不能适用这个解释。当使用灭绝风险法权重设置方法时,我们发现鸟类和鱼类的 RLI 值都接近1,可见图1。对于同一样指数,具有两种不同的解释,将不利于交流和比较。

5 结论

红色名录指数是判断生物多样性变化趋势的一项很好的指标。在数据充足的情况下,可以很好地反映生物多样性变化的趋势。我们计算中国脊椎动物红色名录指数只是一种尝试,将红色名录指数计算方法在国家(地区)上得以应用,从而在国家生物多样性保护中发挥作用。由于数据的不足,结果不能完整地反映出生物多样性的变化情况。我们尝试将红色名录指数在国家(地区)水平进行应用,所遇到的问题和取得的经验可为我国或者其它国家(地区)制定红色名录时提供参考。

参考文献

- [1] Jablonski D. Background and mass extinctions: the alteration of macroevolutionary regimes[J]. *Science*, 1986, 231(4734):129–133.
- [2] Sepkoski J J Jr. Alpha, beta, or gamma: where does all the diversity go[J]. *Paleobiology*, 1988, 14(3):221–234.
- [3] Reid W V, McNeely J A, Tunstall D B, et al. Biodiversity indicators for policy-makers[M]. Washington DC: World Resources Institute, 1993.
- [4] Bosch P, Söderbäck E. European environmental state indicators[R].

- Stockholm: European Environment Agency, Copenhagen and Swedish Environmental Protection Agency, 1997.
- [5] UNDP, UNEP, World Bank, WRI(World Resources Institute). People and ecosystems—the fraying web of life [M]. Washington DC: World Resources Institute, 2000.
- [6] 曾志新, 罗 军, 颜立红, 等. 生物多样性的评价指标和评价标准[J]. 湖南林业科技, 1999, 26(2):26–29.
- [7] 史作民, 程瑞梅, 陈 方, 等. 区域生态系统多样性评价方法[J]. 农村生态环境, 1996, 12(2):1–5.
- [8] 万本太, 徐海根, 丁 晖, 等. 生物多样性综合评价方法研究[J]. 生物多样性, 2007, 15(1):97–106.
- [9] 丁 晖, 秦卫华. 生物多样性评估指标及其案例研究[M]. 中国环境科学出版社, 2009.
- [10] Butchart S H M, Resit Akcakaya H R, Chanson J, et al. Improvements to the Red List Index[J]. *PLoS ONE*, 2007, 2(1):e140.
- [11] Butchart S H M, Stattersfield A J, Bennun L A, et al. Measuring global trends in the status of biodiversity: Red List Indices for birds[J]. *PLoS Biology*, 2004, 2(12):e383.
- [12] Butchart S H M, Stattersfield A J, Bennun L A, et al. Using Red List Indices to measure progress towards the 2010 target and beyond[J]. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B, Biological Sciences*, 2005, 360(1454):255–268.
- [13] Butchart S H M, Akcakaya H R, Kennedy E, et al. Biodiversity indicators based on trends in conservation status: strengths of the IUCN Red List Index [J]. *Conservation Biology*, 2006, 20(2): 579–581.
- [14] 汪 松. 中国濒危动物红皮书[M], 北京: 科学出版社, 1998.
- [15] 汪 松, 解 焱. 中国物种红色名录. 第一卷, 红色名录[M]. 北京: 高等教育出版社, 2004.
- [16] Walter K S and Gillett H J (eds). 1997 IUCN Red List of Threatened Plants[M]. UK: IUCN—the World Conservation Union, 1998.
- [17] Barinaga M. Where have all the frogs gone? [J]. *Science*, 1990, 247(4946):1033–1034.
- [18] Alford R A, Dixon P M, Pechman J H K. Global amphibian population declines[J]. *Nature*, 2001, 412(6846): 499–500.
- [19] Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and human well-being: wetlands and water synthesis [M]. Washington DC: World Resources Institute, 2005.
- [20] 于凤兰, 陆宇燕. 中国特有两栖类受胁现状分析[J]. 四川动物, 2006, 25(2): 323–325.