

卢鹤立,牛安逸,赵金彩,等. 基于土地利用变化的西双版纳地区生态系统服务价值评估[J]. 江苏农业科学,2014,42(5):278-281.

基于土地利用变化的西双版纳地区 生态系统服务价值评估

卢鹤立^{1,2}, 牛安逸², 赵金彩², 李晓婉², 刘晓静²

(1. 河南大学资源与环境研究所/中原经济区“三化”协调发展河南省协同创新中心, 河南开封 475004;

2. 河南大学环境与规划学院, 河南开封 475004)

摘要:根据土地利用变化数据和国际上通用的评价方法, 基于《森林生态系统服务功能评估规范》, 对该区域的生态系统服务价值进行科学评估, 结果显示: 1976—1988 年, 生态系统服务价值从 1 467.68 亿元下降为 1 360.25 亿元, 到 2003 年更降到 1 219.68 亿元的低值, 这表明近 30 年来西双版纳地区生态系统服务功能不断下降, 且下降速率有增大的趋势。导致该地区生态系统服务功能下降的主要原因是天然林和橡胶林面积的此消彼长, 由于橡胶林的单位生态系统服务价值仅为天然林和其他次生林的一半左右, 因此该地区橡胶林取代天然林的种植模式必将造成生态系统服务功能的退化。

关键词:西双版纳; 生态系统服务价值; 生态退化

中图分类号: S159.2; F301.2

文献标志码: A

文章编号: 1002-1302(2014)05-0278-03

生态系统服务价值是指人类直接或间接从生态系统得到的利益, 主要包括向经济社会系统输入有用物质和能量、接受和转化来自经济社会系统的废弃物, 以及直接向人类社会成员提供服务(如人们普遍享用洁净空气、水等舒适性资源)。西双版纳地区生态系统服务功能的退化成为严重问题, 但是一直以来缺乏量化研究。本研究根据土地利用变化数据和国际上通用的评价方法, 结合《森林生态系统服务功能评估规范》, 量化原始森林的减少和橡胶林的增加对西双版纳生态系统服务价值的影响, 从而对该区域的生态系统服务价值进行科学评估。

1 评价对象基本概况

西双版纳傣族自治州位于云南省南部, 地处 21°08′~22°36′N、99°56′~101°50′E。地形上处于横断山系南部, 属无量山脉和怒山山脉的余脉, 整个地势为周围高、中部低, 以山原为主, 其中又分布着许多宽谷盆地、低山和低丘, 地形地势错综复杂, 起伏较大。气候上该区属于北回归线以南的热带湿润地区, 属于太阳直射地区, 太阳辐射强, 气温高, 终年温暖, 热量丰富。虽然副热带高压和东北信风交替控制, 一年分旱季与雨季, 同时又因距离海洋较近, 受印度洋西南季风和太平洋东南季风的影响, 常年湿润多雨。正是由于西双版纳地区特殊的自然地理条件, 才使得西双版纳热带雨林成为我国唯一保存面积最大、地球上分布最北的热带雨林^[1]。

收稿日期: 2013-12-13

基金项目: 国家自然科学基金(编号: 41371525); 国家重点基础研究发展规划(编号: 2012CB955800、2012CB955804); 中国博士后科学基金(编号: 2012M521390、2013T60696); 教育部留学回国人员科研启动基金(编号: 教外司留[2013]693号); 河南省政府决策研究招标课题(编号: 2013B065, SBGJ090110, HD-ZHS-1203)。

作者简介: 卢鹤立(1971—), 男, 河南开封人, 博士, 副教授, 主要从事全球变化和碳核定研究。E-mail: hk_lhl@163.com。

西双版纳热带雨林的开发从建国初期就已经开始, 并且以国营为主, 给当地创造了大量的经济效益, 但是热带雨林的破坏也伴随着开发而产生。1967—2003 年间, 热带雨林的破坏主要是由社会经济因素所致。前期主要是森林的直接砍伐, 将热带雨林直接转化为农业用地, 可以称之为传统的热带雨林破坏, 与之对应的是轮歇地的增加, 主要是用于传统农业种植, 通过刀耕火种, 进行粮食作物的种植; 而后期则是经济发展为主, 表现为橡胶园种植面积的扩大, 并成为主导该区土地利用变化的重要因素^[2-3]。

根据中国科学院西双版纳热带植物园李红梅等对卫星遥感影像的解析, 得到了西双版纳 30 年来的土地覆被变化特征(表 1)^[4]。其中, 在 1976 年、1988 年、2003 年, 热带雨林面积分别为 21.8 万、16 万、7.2 万 hm^2 , 山地雨林在这 3 年的面积为 31.66 万、29.4 万、20.8 万 hm^2 , 亚热带雨林在这 3 年的面积为 74 万、69 万、64 万 hm^2 , 均呈下降趋势。而橡胶园在这 3 年的面积分别为 2.2 万、7.6 万、22 万 hm^2 , 迅速增加。

2 评价方法

根据现有的数据和国际上通用的评价方法, 结合 LY/T 1721—2008《森林生态系统服务功能评估规范》, 本研究在这里选取以下 4 个指标, 对不同阶段的天然林和橡胶林进行评估(表 2)。

2.1 涵养水源

涵养水源指的是植被对降水的截留、吸收、贮存, 起到调节水量、增加水资源的可利用率、净化水源的效果。评价涵养水源调节水量的方法是影子工程法, 分为调水价值和净水价值两方面, 公式如下:

$$U_{\text{调}} = 10A(P - E - C_{\text{库}}) \quad (1)$$

式中: $U_{\text{调}}$ 为森林调节水量价值(元/年); $C_{\text{库}}$ 为水库库容造价(元/ m^3); P 为降水量(mm/年, 取 1 557 mm/年); E 为林分蒸散量(mm/年, 其中热带雨林为 648.5 mm/年, 山地雨林和亚

表 1 1976—2010 年西双版纳土地覆被类型变化

地类	各土地覆被类型面积所占比例(%)			变化面积(hm ²)		变化率(%)	
	1976 年	1988 年	2003 年	1976—1988 年	1988—2003 年	1976—1988 年	1988—2003 年
热带雨林	10.9	8.0	3.6	-56 553	-83 201	-27.1	-54.6
山地雨林	15.8	14.7	10.4	-20 231	-83 577	-6.7	-29.7
亚热带雨林	37.4	34.5	32.0	-55 274	-46 759	-7.7	-7.1
橡胶园	1.1	3.8	11.3	50 790	143 060	231.7	197.2

表 2 生态系统服务价值评价体系

指标类型	指标
涵养水源	调节水量、净化水质
固碳释氧	固碳量、释氧量
保育土壤	固土量、保肥量
养分循环	林木营养积累

热带雨林为 960.1 mm/年,橡胶林为 625.7 mm/年);*A* 为林分面积(hm²)。

$$U_{净} = K_{水} \times 10 \times (P - E) \times A。$$
 (2)

式中:*U_净* 为森林年净化水质价值(元);*K_水* 为居民用水平均价格(元/t)。

2.2 固碳释氧

绿色植物是地球中碳的重要贮存库,绿色植物通过光合作用释放氧气,吸收二氧化碳,从而起到调节区域气候环境的作用,对整个地区的环境变化产生很大的影响。固碳释氧指标可以从固碳和释氧两方面评价:

$$U_{碳} = C_{碳} \times 0.444 5 \times B_{年}。$$
 (3)

式中:*U_碳* 为林分的年固碳价值(元);*B_年* 为计算区林分的年生产力(t/年);*C_碳* 为固碳价格(元/t);森林植被每积累 1 g 干物质可以固定 1.63 g CO₂、释放 1.19 g O₂,而 CO₂中 C 的比例占 27.27%,系数 0.444 5 则是 1.63 与 27.27% 的乘积^[5]。根据唐建维等相关研究可知,橡胶林年初级净生产力为 12.78 t/(hm²·年),其他土地类型均属于热带森林,年均生产力可统一的认为是 21.95 t/(hm²·年)^[6]。

$$U_{氧} = 1.19 \times C_{氧} \times B_{年}。$$
 (4)

式中:*U_氧* 为林分的年制氧价值(元);*B_年* 为计算区林分的年净生产力(t/年);*C_氧* 为氧气价格(元/t)。

2.3 保育土壤

保育土壤指的是绿色植被的根系及凋零物覆盖到土壤表层,形成枯枝落叶层,使土壤不易受到降水的淋滤,从而达到保持或增加土壤肥力的效果。主要分为固土和保肥两部分:

$$G_{固土} = A \times (X_2 - X_1)。$$
 (5)

式中:*G_{固土}* 表示林分年固土量(t/年);*X₁* 表示林地土壤侵蚀模数[t/(hm²·年)];*X₂* 表示无林地土壤侵蚀模数[t/(hm²·年)];*A* 表示林分面积(hm²)。森林生态系统固土作用可以依据蓄水成本,采用减少泥沙淤积的价值评估方法,即清除费用法进行计算,公式为:

$$U_{固土} = A \times C_{库} \times (X_2 - X_1) / \rho。$$
 (6)

式中:*U_{固土}* 表示林分年固土价值(元);*ρ* 表示泥沙平均容重(t/m³);*C_库* 表示水库工程费用(元/m³)。

$$U_{肥} = A \times (X_2 - X_1) \times (N \times C_1 / R_1 + P \times C_1 / R_2 + K \times C_2 / R_3)。$$
 (7)

式中:*U_肥* 为森林年保肥价值(元);*N*、*P*、*K* 分别为土壤中氮、磷、钾含量的平均值(%);*R₁* 为磷酸二铵中 *N* 的含量(%);*R₂* 为磷酸二铵中 *P* 的含量(%);*R₃* 为氯化钾中 *K* 的含量(%);*C₁*、*C₂* 分别为磷酸二铵、氯化钾的平均价格(元/t)。

2.4 养分循环

植被在生长过程中会不断从环境中汲取营养物质,这些营养物质在植物体内被固定,对生态系统的养分积累有着重要作用。本研究仅考虑含量相对较大的氮、磷、钾进行评估:

$$G_{氮} = B_{年} \times N_{营养}；$$
 (8)

$$G_{磷} = B_{年} \times G_{营养}；$$
 (9)

$$G_{钾} = B_{年} \times K_{营养}。$$
 (10)

式中:*G_氮*、*G_磷*、*G_钾* 分别表示林分中的固氮量、固磷量、固钾量(t/年);*N_{营养}*、*P_{营养}*、*K_{营养}* 分别表示林木中氮、磷、钾元素的含量(%);*B_年* 表示林分生产力(t/年),计算方法和前文一致。积累营养物质价值量可按照如下公式进行计算:

$$U_{营养} = B_{年} (N_{营养} \times C_1 / R_1 + P_{营养} \times C_1 / R_2 + K_{营养} \times C_2 / R_3)。$$
 (11)

式中:*U_{营养}* 表示林分年营养物质积累价值(元);*N_{营养}*、*P_{营养}*、*K_{营养}* 分别表示林木中氮、磷、钾 3 种元素的含量(%);*R₁*、*R₂* 分别表示磷酸二铵中氮的含量和磷酸二铵中磷的含量(%);*R₃* 表示氯化钾中钾的含量(%);*C₁*、*C₂* 分别表示磷酸二铵和氯化钾的价格(元/t)。根据伍卫等的研究可知,橡胶林木中氮含量为 1.04%,磷含量为 0.24%,钾含量为 0.80%;热带森林平均氮含量为 6.12%,磷为 0.95%,钾为 4.91%^[7]。

2.5 社会经济数据

根据公开发表的文献资料、云南省统计年鉴、统计局发布的社会公共数据,综合得到前面评价中需要用到的社会经济数据^[8](表 3)。

表 3 社会经济数据

名称	数据	名称	数据
水库建设单位库容投资	6.11 元/t	有机质价格	320 元/t
水的净化费用	2.09 元/t	固碳价格	1 200 元/t
磷酸二铵含氮量	14.00%	制造氧气价格	1 000 元/t
磷酸二铵含磷量	15.01%	二氧化硫治理费用	1.20 元/kg
氯化钾含钾量	50.00%	氟化物治理费	0.69 元/kg
磷酸二铵价格	2 400 元/t	氮氧化物治理费用	0.63 元/kg
氯化钾价格	2 200 元/t	降尘清理费用	0.15 元/kg

3 结果与分析

根据评价方法,计算得到涵养水源价值、固碳释氧价值、保育土壤价值、养分积累价值,分别见表 4、表 5、表 6、表 7。

根据以上各个分项的评估结果,可以得出西双版纳天然林和橡胶林 30 年来不同时期的生态系统服务价值总量,评价结果见表 8。

表 4 涵养水源价值

年份	价值(亿元/年)				总价值 (亿元/年)
	热带雨林	山地雨林	亚热带雨林	橡胶林	
1976 年	162.4	235.51	362.23	16.79	776.93
1988 年	119.18	219.01	337.77	58.03	733.99
2003 年	53.64	154.94	303.29	167.79	679.66

表 5 固碳释氧价值

年份	价值(亿元/年)				总价值 (亿元/年)
	热带雨林	山地雨林	亚热带雨林	橡胶林	
1976 年	82.58	119.8	279.8	4.83	487.01
1988 年	60.57	111.46	261.5	16.65	450.18
2003 年	27.24	78.85	242.62	48.38	397.09

表 6 保育土壤价值

年份	价值(亿元/年)				总价值 (亿元/年)
	热带雨林	山地雨林	亚热带雨林	橡胶林	
1976 年	18.21	42.02	119.8	0.01	180.04
1988 年	17.99	37.61	107.95	0.03	163.58
2003 年	14.52	30.36	87.12	0.11	132.11

表 7 养分积累价值

年份	价值(亿元/年)				总价值 (亿元/年)
	热带雨林	山地雨林	亚热带雨林	橡胶林	
1976 年	1.49	3.13	8.98	0.1	13.7
1988 年	1.33	2.8	8.03	0.34	12.5
2003 年	1.08	2.26	6.48	1	10.82

表 8 西双版纳天然林和橡胶林不同时期生态系统服务价值总量

年份	价值(亿元/年)				总价值 (亿元/年)
	涵养水源	固碳释氧	保育土壤	养分循环	
1976	776.93	487.01	180.04	13.70	1457.68
1988	733.99	450.18	163.58	12.50	1360.25
2003	679.66	397.09	132.11	10.82	1219.68

根据评价结果可以看出,1976—2003 年,无论是涵养水源、固碳释氧、保育土壤还是养分循环,均逐年下降。从下降幅度而言,保育土壤(下降 26%)>养分循环(下降 21%)>固碳释氧(下降 20%)>涵养水源(下降 12%)。同时,西双版纳的生态系统服务总价值在不断减少:1988 年比 1976 年减少了约 7.3%,2003 年比 1988 年减少了约 10.3%,下降速度和规模近年来呈加快的趋势。

结合西双版纳土地覆被类型变化(表 1)可以看出,30 年来本研究选取的 4 个地型要素在总面积上的变化很小,可以近似地看作是 120 万 hm²,但是生态系统服务价值各项指标及总量在不断减少。从表 1 可以看出,4 种土地类型中,热带雨林、山地雨林、亚热带雨林的面积均逐年减少,其中热带雨林的下降幅度最大(约 60%),山地雨林的下降幅度也有 30%之多,但橡胶林面积的扩大,在 30 年中扩大了 10 倍以上。由此可见,西双版纳生态系统服务价值的减少与天然林和橡胶林的此消彼长有着重要的联系。

4 结论与讨论

4.1 结论

天然林对于生态环境的影响非常大,热带雨林季雨是初级生产量最高的地区,在涵养水源、固碳释氧、保育土壤、维护

生物多样性、净化空气等方面都起着巨大的作用^[8-9]。当前西双版纳地区的天然林已经遭受到了严重的破坏,生态系统服务功能严重退化,这必然会产生一系列的连锁反应,对该区域的生态造成不良的反馈。保护现有的天然林是当地政府现阶段的一项重要工作。

橡胶林的生态系统服务价值仅有天然林及其他次生林的一半左右,砍伐热带天然林来种植橡胶林从区域生态系统服务价值总量上来看显然是不可取的,不利于自然资产增值,更不利于当地的可持续发展^[10]。

从单项生态系统服务价值来看,西双版纳橡胶林的直接经济产出为 19 732 元/(hm²·年),远大于原始森林[原始森林被保护之后的世纪经济产出只有旅游和非物质产出,单位面积价值约 600 元/(hm²·年)]橡胶林所具有的经济价值。根据《西双版纳州统计年鉴》可知,2006 年该地区 GDP 总价值约为 85.21 亿元,当年的橡胶林生态系统服务总价值为 53.68 亿,几乎占了 GDP 的 64%。橡胶林的直接经济产出远远大于天然林的经济产出,是天然林保护受到巨大经济压力的根源。

4.2 讨论

停止继续破坏原始森林,将未遭受破坏的雨林划为禁止开发区,在有原始森林的地区建立自然保护区,进行严格的保护。在已经破坏的 20 万 hm² 左右的原始森林地区继续种植橡胶,在次生林以及其他人工林地也可以穿插种植橡胶。

培育新型橡胶品种,提高单位产量,在有限的土地上尽可能高地增加橡胶产量,就要利用科学技术促使产业发展模式转型,即从以扩大种植面积提高产量转为依靠科学技术增加单位产量,从而提高产量。

农林结合的橡胶种植方式,既满足当地人们的经济利益和社会的工业需求,更重要的是能满足保护热带雨林的目的,将橡胶种植对热带雨林的负面效应降低到最小,实现橡胶园的生态环境的平衡^[11-13]。关于橡胶种植合理化生态化的研究较多,但是推广范围较窄,因而加大推广合理的橡胶种植方式具有更为重要的现实意义。

在橡胶园进行土壤人工培育,橡胶树的水土保持能力远远低于原始森林,因此需要有意识地对橡胶园进行水土保持。在橡胶林中穿插种植其他草类,形成多层次的生态系统,一方面可以固土锁水,一方面当草类凋落时可以变成有机绿肥,对土壤进行养分的补充,促使土壤的养分循环。

发展问题是当地环境保护的根本问题。当地落后的生产力水平、较低的人口素质和复杂的民俗传统,都对当地的环境保护造成影响^[14-16]。立法政策等强硬措施能够保证热带雨林的面积不再减少,但是却无法实现真正的保护。只有在当地发展的前提下^[17],积极引导合理开发利用,才是保护热带雨林与经济共同发展的根本途径。

参考文献:

[1]赵 济. 中国自然地理[M]. 北京:高等教育出版社,1995.
[2]郭端祥. 关于保护和开发利用西双版纳热带资源的几点看法[J]. 热带林业科技,1985(3):22-26,38.
[3]李文政. 西双版纳热带雨林现状及其恢复发展战略[J]. 热带地理,1992,12(4):365-369.

邓祥元, 成 婕, 周伟华, 等. UV-B 辐射对聚球藻 7942 生长及生理特性的影响[J]. 江苏农业科学, 2014, 42(5): 281-283.

UV-B 辐射对聚球藻 7942 生长及生理特性的影响

邓祥元^{1,2,3}, 成 婕¹, 周伟华², 黄雪敏¹

(1. 江苏科技大学生物与化学工程学院, 江苏镇江 212018; 2. 中国科学院海洋生物资源可持续利用重点实验室, 广东广州 510301;

3. 南京农业大学江苏省海洋生物学重点实验室, 江苏南京 210095)

摘要:为了研究紫外辐射对微藻生长及生理特性的影响,以聚球藻 7942 (*Synechococcus* sp. PCC 7942) 为材料,分析 UV-B 对其生长及生理特性的影响。结果表明:中高强度的 UV-B 辐射 ($>5.5 \mu\text{W}/\text{cm}^2$) 严重抑制聚球藻的生长;聚球藻中叶绿素 a 及可溶性蛋白质含量随 UV-B 辐射强度及时间的增加而降低;随着 UV-B 辐射强度及时间的增加,藻细胞中超氧化物歧化酶(SOD)活性先升高后降低,而丙二醛(MDA)含量逐渐增加。表明 UV-B 辐射可损伤藻细胞内的色素、蛋白质等大分子物质或抑制其合成,从而抑制聚球藻的生长。藻细胞中活性氧自由基(ROS)的平衡逐渐被打破,ROS 开始过量积累,使细胞遭受严重损伤。

关键词:UV-B 辐射;聚球藻;生长;生理特性

中图分类号:X172 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2014)05-0281-03

由臭氧层被严重破坏所导致的紫外辐射增强已成为全球性的三大环境问题之一^[1],其中 UV-B 辐射(280~315 nm)虽然仅占有到达地球表面电磁光谱的很小一部分,但由于它具有高能量,可显著影响生物的形态、光合作用、生物量和有机物含量等^[2-3]。藻类作为海洋和内陆水域中重要的初级生产者,在整个生态系统中有着举足轻重的地位,微藻具有生长迅速、繁殖能力强、适应性广、对环境变化敏感等特点,逐渐成为评价环境变化的生物模型^[4]。本试验以聚球藻 7942 (*Synechococcus* sp. PCC 7942) 为材料,研究 UV-B 辐射对其生长及生理生化特性的影响,探讨聚球藻对 UV-B 辐射可能的响应机制,为分析微藻对紫外辐射的生理生化响应机制提

供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

聚球藻 7942 (*Synechococcus* sp. PCC 7942)由中国水产科学研究院黄海水产研究所张晓雯教授馈赠。

在无菌条件下,将藻种转接到 BG-11 培养基^[5]中。培养条件为:温度 25℃,光照度 3 000 lx,光周期为 12 h-12 h(静置培养,每天定时人工摇动 3 次)。所用试剂均为上海国药集团化学试剂有限公司生产的分析纯试剂。

1.2 方法

1.2.1 藻种的活化、培养 用作生物测试的藻必须是处于对数生长期并且是同步化生长的细胞,因此在正式试验之前,首先要对藻类进行同步化培养^[6]。将聚球藻 7942 在无菌条件下转移至 BG-11 培养基中,于光照培养箱中驯化培养 7 d,至对数生长期,将对数生长期的藻种接种到培养皿中进行 UV-B 辐射处理,接种密度为 3×10^7 个/mL,体积为 500 mL。

1.2.2 UV-B 辐射处理 采用南京华强电子有限公司生产

收稿日期:2013-09-09

基金项目:国家自然科学基金(编号:31370500);中国科学院海洋生物资源可持续利用重点实验室开放课题(编号:LMB121003);江苏省博士后科研资助计划项目(编号:1201063C)

作者简介:邓祥元(1982—),男,博士,副教授,研究方向为藻类环境生物学。E-mail: dengxy2009@126.com。

通信作者:周伟华。E-mail: whzhou@scsio.ac.cn。

[4] 李红梅,马友鑫,郭宗峰,等. 基于 RS 和 GIS 的西双版纳土地覆被动态变化[J]. 山地学报,2007,25(3):280-289.

[5] 赵元藩,温庆忠,陶 晶,等. 西双版纳热带天然森林生态服务功能价值评估[J]. 林业调查规划,2010,35(1):1-6.

[6] 唐建维,张建候,宋启示,等. 西双版纳热带人工雨林生物量及净第一性生产力的研究[J]. 应用生态学报,2003,14(1):1-6.

[7] 伍 卫,罗华向,李 明,等. 东风农场橡胶树的营养状况与施肥[J]. 云南热作科技,2001,24(3):14-17.

[8] 夏体渊,吴家勇,段昌群,等. 西双版纳橡胶林生态经济价值初探[J]. 华东师范大学学报:自然科学版,2009(2):21-28.

[9] 丁圣彦. 生态学[M]. 北京:科学出版社,2004.

[10] 刘 隆. 西双版纳的毁林开荒是可以制止的——对西双版纳的再调查[J]. 经济理论与经济管理,1983,3(1):74-78.

[11] 戴 波. 经济发展与生态保护的思考——橡胶种植与热带雨林[J]. 生态经济,2008(8):92-95.

[12] 张墨谦,周可新,薛达元. 种植橡胶林对西双版纳热带雨林的影晌及影响的消除[J]. 生态经济:学术版,2007(2):377-378,439.

[13] 张一平,王 馨,王玉杰,等. 西双版纳地区热带季节雨林与橡胶林林冠水文效应比较研究[J]. 生态学报,2003,23(12):2653-2665.

[14] 周 宗,胡绍云. 橡胶产业对西双版纳生态环境影响初探[J]. 环境科学导刊,2008,27(3):73-75.

[15] 张友彬,施济普. 西双版纳砂仁种植模式探讨[J]. 热带农业科技,2005,28(3):14-17,23.

[16] 吴兆录,杨正彬. 西双版纳橡胶种植的正负影响和改进途径[J]. 曲靖师范学院学报,2001,20(6):64-69.

[17] 刘桂芳,田广增,卢鹤立,等. 黄河中下游丘陵-平原过渡区乡镇土地利用相对可持续性评价[J]. 河南大学学报:自然科学版,2012,42(2):159-166.