青海湖内陆高寒湿地物种多样性和地上生物量的关系

武彦朋, 陈克龙[1], 张 斐[1], 晁增国[2], 王永生[1], 陈 亮[1], 杨 龙[1]
(1. 青海师范大学 生命与地理科学学院, 青海 西宁 810008; 2. 中国科学院 西北高原生物研究所, 青海 西宁 810008)

摘 要: 在对青海湖高寒湿地进行群落调查的基础上,研究了在群落梯度上高寒湿地的生物多样性与生产力的关系,并探讨了在同一区域内环境的整体性对高寒湿地的生物多样性与生产力关系的影响。运用 SPSS 软件进行曲线拟合,研究了青海湖内陆高寒湿地物种多样性和地上生物量的关系。研究结果表明,(1) 无论是在群落尺度上还是在区域尺度上物种多样性指数与地上生物量呈显著的负相关。(2) 在研究区内区域因素对物种多样性和生产力的影响较弱,但如果保持区域环境的整体性则可以有效地提高物种多样性和生产力的相关程度。

关键词: 物种丰富度; 香农威尔指数; 地上生物量; 物种多样性与生产力关系
文献标识码: A **文章编号**: 1000-288X(2011)01-0076-05 **中图分类号**: X37

Relationship Between Species Diversity and Above-Ground Biomass of Inland Alpine Wetlands of Qinghai Lake

WU Yan-peng[1], CHENG Ke-long[1], ZHANG Fei[1], CHAO Zeng-guo[2],
WANG Yong-sheng[1], CHEN Liang[1], YANG Long[1]
(1. *Biology & Geography Institute of Qinghai Normal University, Xining, Qinghai* 810008, *China*;
2. *Northwest Institute of Plateau Biology, Chinese Academy of Sciences, Xining, Qinghai* 810008, *China*)

Abstract: The relationship between biological diversity and productivity of alpine in regard to community structure wetland was investigated on the inland alpine wetlands of Qinghai Lake based on community survey. The influence of environmental integrity on the relationship was addressed in the area. Species diversity was regressed biomass using the SPSS fit curve function. The results show that (1) species diversity and biomass have a significantly negative correlation at both community and regional scales, and (2) regional factors had little effect on the species diversity and productivity in the study area, while maintaining the integrity of the regional environment could improve effectively the relevance between species diversity and productivity.

Keywords: **species richness; Shannon — Wiener index; above-ground biomass; relation between species diversity and productivity**

生物多样性与生态系统功能的一般模式和机制是生态学研究的基本问题[1]。植物群落结构与功能之间的关系是生物多样性研究的热点之一[1]。植物群落的生产力,是群落功能的主要表现形式,研究生产力与生物多样性的关系对衡量生态系统功能具有重要意义[2]。

生物多样性与生产力的关系表现出多种形式,Waide 等(1999)通过统计约 200 项[3]研究表明,物种丰富度与生产力的关系中,30%呈单峰关系,26%呈正线性关系,12%呈负线性关系,32%关系不明显。中国草原主要分布在 3 个区域:内蒙古高原的温带草原,新疆山区的山地草原和青藏高原上的高寒草原[3]。内蒙古草原主要是由于干旱造成的,新疆山区草地可以被看作是干旱和高海拔之间的一个过渡草原,而青藏高原高寒草地发生在高海拔地区,那里制约树木生长的非生物限制因素中低温的作用高于干旱,不同区域的不同环境限制因子和区域的物种组合的差异可能导致物种丰富度与生产力关系的不同[4]。在对内蒙古温带草原的最新研究中发现物种多样性与生产力呈正相关[5]。但在高寒植物群落中研究很

收稿日期:2010-06-04 **修回日期**:2010-07-28
资助项目:科技部国家科技支撑计划"生物多样性对气候变化的响应研究"(2007BAC03A08-5); 国家社会科学基金项目"青海湖流域生态服务功能与生态补偿标准的定量研究"(08XJY012); 国家自然基金项目"青海湖北部湿地生态系统健康评价与生态基准重建"(40761010)
作者简介:武彦朋(1983—),男(汉族),内蒙古通辽市人,硕士研究生,研究方向为生物地理。E-mail:wu_yanpeng@163.com。
通信作者:陈克龙(1965—),男(汉族),安徽省巢湖市人,副教授,主要从事生物地理与可持续发展方面研究。E-mail:ckl7813@163.com。

少[6],且没有研究结果指出物种多样性与其生产力具有正相关关系。

本文通过对青海湖高寒湿地进行群落调查来研究在群落梯度下青海湖高寒湿地物种多样性和生产力的关系,并探讨在小的空间尺度上环境的整体性对物种多样性和生产力及其关系的影响。

1　研究区概况和研究方法

1.1　研究区概况

研究区位于青海湖南岸的黑马河湿地(99°47′E,36°44′N)和青海湖北岸的泉湾湿地(99°37′E,36°56′N)。平均海拔约为 3 197 m,年平均气温-4.6～1 ℃,无霜期 117～118 d,年日照时数 2 800～3 330 h,年蒸发量 800～2 000 mm,年降水量 291～575 mm。湿地土壤为水成性隐域性土壤,以沼泽土和草甸土为主。有鸟类动物 164 种,兽类 36 种,两栖类 2 种,鱼类 6 种,爬行类 3 种。种子植物 775 种 264 属64 科[7]。

1.2　野外调查

野外调查完成于 2009 年 8—9 月间,正是高寒湿地地上生物量达到峰值的时期。研究区内的高寒湿地主要有 3 个群落类型,这 3 个群落占所调查样方数的 93%,分别为:华扁穗(*Cyperaceae*)群落(Comm. C),华扁穗(*Cyperaceae*)+高山嵩草(*Kobresia pygmaea*)群落(Comm. CK),华扁穗(*Cyperaceae*)+鹅绒委陵菜(*Potentilla ansrina*)群落(Comm. CP)。群落调查采取样方法,样方的布设遵循均匀取样的原则,基本覆盖了高寒湿地出现的所有区域。取样方法为垂直湖岸设置 3 条样带作为重复,每条样带间隔为 200 m,每条样带相邻样方之间的海拔高差一般为 0～2 m。而水平距离一般为 100 m。采取 1 m×1 m 的样方调查群落物种种类组成、高度、盖度、株(丛)数等特征。通过手持 GPS、罗盘和地形图相互校正,测量样方的海拔及位置。样方地上生物量调查,对每个样地按 0.5 m×0.5 m 大小齐地面剪取,对优势种进行分种取样,对非优势种进行混合取样,之后在烘箱内 80 ℃烘干至恒重后称重。

1.3　数据分析

计算所有样方的物种丰富度和香农威尔指数,物种丰富度是指每个样方中出现的物种数,而 Shannon 指数则根据物种的株(丛)数计算得出。对于高寒湿地来说,生长季的地上生物量一般可用来代表该年的群落生产力,由于群落生产力数值较大,所以为了方便计算我们将群落的生产力缩小为原来的 1/4。分析生物多样性与生物量之间的关系时,运用 SPSS 软件中的"Curve Estimation"选项进行曲线拟合,如果多个函数都能很好地拟合生物多样性和生物量之间的关系,将选择其中较为简单的和解释程度高的曲线作为最终结果。上述分析将针对不同的群落类型、区域类型和所有样方分别进行。

2　野外调查结果

2.1　青海湖高寒湿地概况

本研究共调查样方 35 个,其中包括地上生物量和地下生物量调查 34 个,以及一个无效样方。调查到草本植物 24 种,3 个群落类型(见表 1)。

表 1　各群落类型的主要环境特征与物种组成特征

群落类型	调查样方数	主要的群落特征	其它的主要群落物种
华扁穗群落	14	据湖岸 1 000 m 以内,群落盖度最大,地上和地下生物量均最大,物种多样性指数最小	嵩草,苔草,水毛茛,杉叶藻
华扁穗+高山嵩草群落	12	距湖岸 1 000～1 500 m,群落盖度降低,生物量降低。物种多样性指数增加	嵩草,苔草,早熟禾,狗尾草,天山报春,梅花草
华扁穗+鹅绒委陵菜群落	6	距湖岸 1 500 m 以外,处于草甸与草地的过渡地带植被类型,以草地类型为主要特征,群落盖度降低,生物量最低,物种多样性指数最大	嵩草,苔草,早熟禾,恰草,龙胆,火绒草,海乳草

总体看来,青海湖高寒湿地明显表现出单优种或双优种群落的特征,群落类型与距离水源的远近具有明显的相关性,距湖岸最近的为华扁穗群落,群落的物种数较少,而离湖岸最远的华扁穗+鹅绒委陵菜群落的物种数则最多。这里的优势度以物种的相对盖度和地上生物量的比例来指示,华扁穗群落中,华扁穗的相对盖度和地上生物量的比例平均都占了 60%以上。华扁穗+高山嵩草群落中,华扁穗和高山嵩草的优势度相当,两者之和占据了群落的相对盖度和地上生物量的 70%以上。华扁穗+鹅绒委陵菜群落中,鹅绒委陵菜略占优势,两者之和占据了群落的相对盖度和地上生物量的 50%以上。随着远离湖岸物

种的多样性指数逐渐增加而生产力却逐渐降低，植被类型也由草甸向草地过渡，群落类型由喜湿的华扁穗群落向华扁穗＋鹅绒委陵菜群落过渡。这些都明显地反映出了青海湖内陆高寒湿地在环境梯度下群落的演替变化。表2是通过统计所有样方的各项参数，可反映青海湖高寒湿地的总体特征。

表2 所有样方的生境因子和群落特征概况

生境与群落因子	简称	最小值	最大值	平均值
海拔/m	Alt	3 196	3 206	3 200
样方盖度/%	Cov	40.00	110.00	80.00
物种丰富度指数	SR	0.23	0.72	0.49
香农威尔指数	SW	0.16	1.16	0.71
地上生物量/(g·m^{-2})	ANNP	90.96	549.60	327.28
地下生物量/(g·m^{-2})	Und	107.60	3 190.60	1 154.80
总生物量/(g·m^{-2})	Tot	234.56	3 599.68	1 488.88

表2的统计结果表明，所调查的群落的海拔梯度变化不大，最大高差只有10 m，这主要是由于样地为湖滨湿地，而取样又是以湖岸为基准带向外扩展所造成的。随着取样点远离湖岸样方的盖度逐渐降低，而物种的多样性指数却逐渐增大，Shannon—Weiner指数的变化幅度(0.17～1.16)明显大于物种丰富度指数(0.23～0.72)。地上生物量与地下生物量的变化趋势基本相同，变化幅度地下生物量(107.60～3 190.60)高于地上生物量(90.96～549.60)。

2.2 物种多样性与生物量的关系

在研究生物多样性与地上生物量之间的关系过程中，运用SPSS软件中的“Curve Estimation”选项进行曲线拟合，选取多个函数进行拟合。如果多个函数都能很好地拟合生物多样性和生物量之间的关系，将选择其中较为简单的和拟合优度最高的曲线作为最终结果。图1,2是对不同群落类型和所有样方进行的曲线拟合，拟合优度值$0<R^2<1$，且R^2越大，样本回归方程与实际数据拟合得越好。

2.3 物种多样性和生产力

青海湖湿地物种多样性和生产力的变化幅度较大，丰富度指数平均为0.49，变化于0.23～0.72之间，香农威尔指数平均为0.71，变化于0.16～1.16之间。生产力平均为327.28(g/m^2)，变化于90.96～549.60 g/m^{2}之间。在区域尺度上，黑马河湿地的物种多样性指数和生产力在均值上都高于泉湾湿地，但在变化幅度上泉湾湿地明显高于黑马河湿地(见表3)。在群落梯度下，华扁穗＋鹅绒委陵菜群落的物种多样性指数最高(丰富度指数为0.59，香农威尔指数为0.99)，但生产力却最低，为233.42 g/m^2。无论是在区域尺度还是在群落梯度上物种的多样性指数和生产力的变幅均达2倍以上，最高达8倍多。

表3 不同梯度下SR,SW和ANNP的对比分析

采样区域	丰富度指数	香农威尔指数	地上生物量/(g·m^{-2})
所有样方	0.49(0.23～0.72)	0.71(0.16～1.16)	327.28(90.96～549.60)
黑马河湿地	0.51(0.34～0.67)	0.73(0.45～1.10)	338.68(156.00～530.00)
泉湾湿地	0.40(0.23～0.74)	0.61(0.16～1.16)	276.72(127.20～567.20)
群落类型	—	—	—
华扁穗群落	0.49(0.23～0.72)	0.76(0.16～1.10)	345.96(128.20～530.00)
华扁穗＋高山嵩草群落	0.47(0.25～0.63)	0.55(0.30～0.89)	323.16(168.40～456.80)
华扁穗＋鹅绒委陵菜群落	0.59(0.48～0.74)	0.99(0.64～1.16)	223.52(135.60～319.60)

注：表中括号外数据为均值，括号内数据为其变化范围。

2.4 群落梯度下的物种多样性和生产力关系

在群落梯度下，青海湖高寒湿地的物种多样性和地上生物量主要呈负相关。在华扁穗群落和华扁穗＋高山嵩草群落中，无论是丰富度指数还是香农威尔指数都与生产力呈负相关(见图1)，且在华扁穗群落和华扁穗＋高山嵩草群落中丰富度指数〔(Comm. C($R^2=0.78$，$p<0.01$)，Comm. CK($R^2=0.51$，$p<0.01$)〕的拟合程度明显高于香农威尔指数〔(Comm. C($R^2=0.36$，$p<0.05$)，Comm. CK($R^2=0.48$，$p<0.05$)〕的拟合程度。但在华扁穗＋鹅绒委陵菜群落中则表现为不具有明显的相关性，这可能是由于样方调查的数量较少所造成的。

2.5 环境的整体性对物种多样性和生产力关系的影响

本文的研究区域为青海湖内陆高寒湿地，但在样带的选择上主要为青海湖南岸的黑马河湿地样带和青海湖北岸的泉湾湿度样带，2个样带虽然在大的空间尺度上具有一致性，但在小的空间尺度上还具有一定的异质性特征，所以本研究主要是针对其异质性特

征来研究环境的整体性对物种多样性和生产力关系的影响。

研究结果表明,在环境梯度下物种多样性指数与生产力呈负相关,无论是香农威尔指数还是丰富度指数与生产力都具有显著的负相关,且无论是在单一样带还是在全部样方中丰富度的拟合程度都高于香农威尔指数的拟合程度(见图 2)。总体上,在保持环境整体性的基础上可以提高多样性指数和生产力的拟合程度,在丰富度指数和生产力的拟合程度中黑马河湿地($R^2=0.80$,$p<0.01$)和泉湾湿地($R^2=0.82$,$p<0.01$)均大于所有样方($R^2=0.70$,$p<0.01$)的拟合程度。在香农威尔指数和生产力的拟合程度中黑马河湿地($R^2=0.19$,$p<0.05$)小于全部样方($R^2=0.47$,$p<0.01$),但泉湾湿地($R^2=0.82$,$p<0.01$)是却高于所有样方。所以保持环境的整体性可以提高物种多样性指数与生产力的拟合程度。

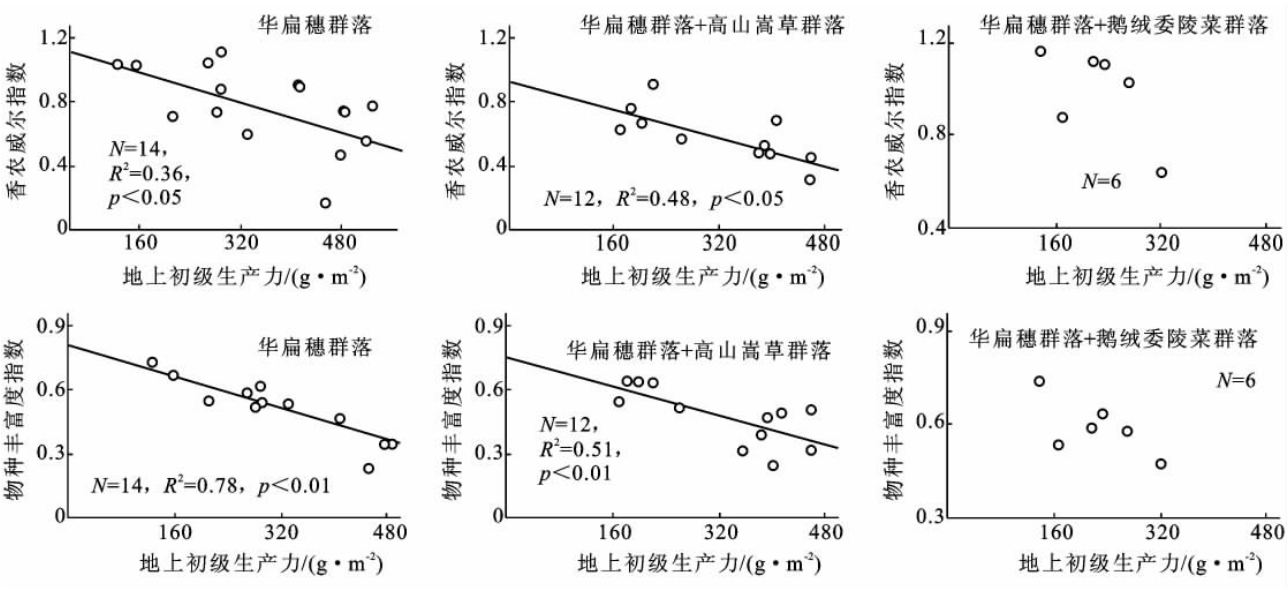


图 1　群落梯度下物种多样性与生产力的关系

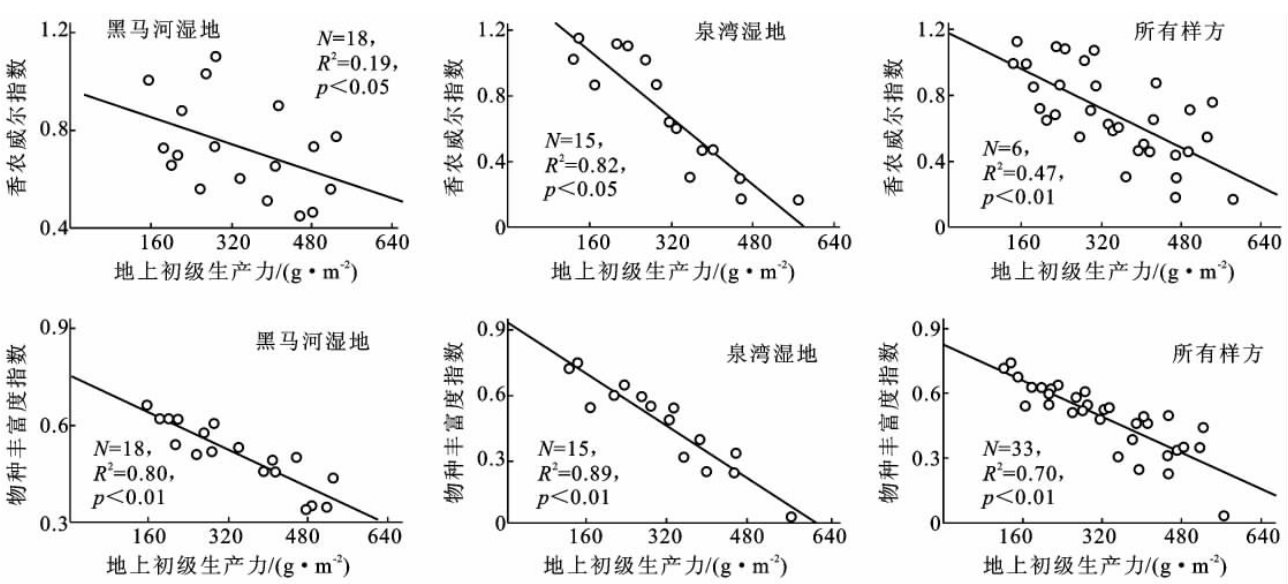


图 2　区域尺度下物种多样性与生产力的关系(N 为样方数)

3　讨 论

3.1　环境因素下解释物种多样性与生产力的负相关关系

在研究物种多样性和生产力之间的关系方面已有大量的关于植物群落和地理范围的研究,但没有一个广泛适用的曲线关系,也没有一个统一的影响这种关系的主导因素[7]。在研究草原的 SR—ANNP 的关系时,必须考虑特定区域的不同成因和区域特征[8-11]。对内蒙古温带草原的最新研究中发现 SR—ANPP呈正相关[8]。但在高寒植物群落中研究很

少[11]，且没有研究结果表明SR—ANPP具有正相关[12]。Loreau(2000)指出，当环境因素同生物多样性和生产力的关系都为正相关时，SR—ANNP的关系为正相关关系。然而，当同一环境因素(如土壤肥力)对生物多样性和生产力的影响相反时，可能会导致SR—ANNP的关系为负相关或峰形相关[7]。Wenhong Ma等(2010)在对中国温带和高寒草原进行的研究中发现在群落SR和ANNP的变化中气候因素起了很大的作用，两个主要的影响变量为生长季降水和生长季的温度，且生长季的降水影响较强，生长季的温度影响较弱。青海湖内陆高寒湿地的群落环境主要受水分胁迫，水分制约了湿地物种的种数，从而降低了物种的多样性。然而，在草原生物群落中更高的生产力一般与高的水量供应相关。也就是说在青海湖内陆高寒湿地水分因子与物种多样性呈负相关，与生产力呈正相关。因此造成了青海湖内陆高寒湿地物种多样性与生产力的负相关，这也再一次验证了Schmid(2002)和Kahmen(2005)的观点。

3.2 区域尺度下物种多样性和生产力的关系

物种多样性和生产力关系的曲线类型可能与空间尺度的选择有联系。正相关关系往往发生在大的区域尺度或全球规模上，而单峰的关系，只是很少发生在小的空间范围内。目前的研究表明，区域间的区域因素差异对物种多样性和生产力的关系影响显著，而在同一区域内区域因素对物种多样性和生产力的关系没有明显影响[4]。本文通过对青海湖内陆高寒湿地的研究再一次证明了Wenhong Ma等(2010)的观点即：在同一区域内区域因素对物种多样性和生产力的关系没有明显的影响。在对青海湖内陆高寒湿地物种多种多样性和生产力的拟合中发现在青海湖内陆高寒湿地物种多样性与生产力呈负相关。分别对青海湖内陆高寒湿地的两个样带分别进行拟合分析，发现无论是在黑马河湿地还是在泉湾湿地物种多样性与生产力都呈负相关(见图2)。同时本研究也发现在区域内如果保持区域环境的整体性可以有效地提高物种多样性和生产力的拟合程度。

4 结论

我们的研究表明，在青海湖内陆高寒湿地物种多样性和生产力呈负相关，这种负相关主要是由研究区群落遭受水分胁迫所决定，在研究区内区域因素对物种多样性和生产力的影响较弱，但如果保持区域环境的整体性则可以有效地提高物种多样性和生产力的相关程度。

[参 考 文 献]

[1] 王长庭，龙瑞军，丁路明. 高寒草甸不同草地群落物种多样性与生产力关系研究[J]. 生态学杂志，2005，24(5)：483-487.

[2] 王长庭，曹广民，王启兰，等. 青藏高原高寒草甸植物群落物种组成和生物量沿环境梯度的变化[J]. 中国科学C辑：生命科学，2007，37(5)：585-592.

[3] Wu Z Y. Vegetation of China[M]. Beijing: Science Press, 1980.

[4] Ma W H, He J S, Yang Y H, et al. Environmental factors covary with plant diversity-productivity relationships among Chinese grassland sites[J]. Global Ecology and Biogeography, 2010, 19: 233-243.

[5] Bai Y F, Wu J G, Pan Q M, et al. Positive linear relationship between productivity and diversity: evidence from the Eurasian steppe[J]. Journal of Applied Ecology, 2007, 44: 1023-1034.

[6] Callaway R M, Brooker R W, Choler P, et al. Positive interactions among alpine plants increase with stress[J]. Nature, 2002, 417: 844-848.

[7] Gillman L N, Wright S D. The influence of productivity on the species richness of plants: a critical assessment [J]. Ecology, 2006, 87: 1234-1243.

[8] Bai Y F, Wu J G, Pan Q M, et al. Positive linear relationship between productivity and diversity: evidence from the Eurasian steppe[J]. Journal of Applied Ecology, 2007, 44: 1023-1034.

[9] Schulze E D, Mooney H A. Biodiversity and Ecosystem function[J]. Berlin: Springer-Verlag, 1993.

[10] Loreau M. Biodiversity and ecosystem functioning: Recent theoretical advances[J]. Oikos, 2000, 91: 3-17.

[11] Yang Y H, Rao S, Hu H F, et al. Plant species richness of alpinegrasslands in relation to environmental factors and biomass on the Tibetan Plateau[J]. Biodiv. Sci., 2004, 12(1): 200-205.

[12] 张凤臣. 青海湿地保护现状与保护对策[J]. 黑龙江生态工程职业学院学报，2007，20(1)：483-487.