

ISSN 1000-0933  
CN 11-2031/Q

# 生态学报

## Acta Ecologica Sinica



第33卷 第1期 Vol.33 No.1 **2013**

中国生态学会  
中国科学院生态环境研究中心  
科学出版社

主办  
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

# 生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 33 卷 第 1 期 2013 年 1 月 (半月刊)

## 目次

### 前沿理论与学科综述

- 生态整合与文明发展..... 王如松 ( 1 )
- 干旱半干旱区坡面覆被格局的水土流失效应研究进展 ..... 高光耀,傅伯杰,吕一河,等 ( 12 )
- 城市林木树冠覆盖研究进展 ..... 贾宝全,王 成,邱尔发,等 ( 23 )
- 环境质量评价中的生物指示与生物监测 ..... Bernd Markert,王美娥,Simone Wünschmann,等 ( 33 )
- 水溶性有机物电子转移能力及其生态效应 ..... 毕 冉,周顺桂,袁 田,等 ( 45 )

### 个体与基础生态

- 凋落物和增温联合作用对峨眉冷杉幼苗抗氧化特征的影响 ..... 杨 阳,杨 燕,王根绪,等 ( 53 )
- 不同浓度 5-氨基乙酰丙酸(ALA)浸种对 NaCl 胁迫下番茄种子发芽率及芽苗生长的影响 .....  
..... 赵艳艳,胡晓辉,邹志荣,等 ( 62 )
- 缺镁胁迫对纽荷尔脐橙叶绿素荧光特性的影响 ..... 凌丽俐,彭良志,王男麒,等 ( 71 )
- 松嫩草地 66 种草本植物叶片性状特征..... 宋彦涛,周道玮,王 平,等 ( 79 )
- 花蜜中酚类物质对群落中同花期植物传粉的影响..... 赵广印,李建军,高 洁 ( 89 )
- 桉树枝瘿姬小蜂连续世代种群生命表..... 朱方丽,邱宝利,任顺祥 ( 97 )

### 种群、群落和生态系统

- 蒙古栎地理分布的主导气候因子及其阈值 ..... 殷晓洁,周广胜,隋兴华,等 ( 103 )
- 河静黑叶猴果实性食物组成、选择及其对种子的扩散作用..... 阮海河,白 冰,李 宁,等 ( 110 )
- 2010 秋季东海今生颗石藻的空间分布 ..... 靳少非,孙 军,刘志亮 ( 120 )
- OPRK1 基因 SNP 与梅花鹿日间行为性状的相关性 ..... 吕慎金,杨 燕,魏万红 ( 132 )
- 鄱阳湖流域非繁殖期鸟类多样性 ..... 邵明勤,曾宾宾,徐贤柱,等 ( 140 )
- 人工巢箱条件下两种山雀鸟类的同域共存机制 ..... 李 乐,张 雷,殷江霞,等 ( 150 )
- 桉-栎不同混合比例凋落物分解过程中土壤动物群落动态 ..... 李艳红,杨万勤,罗承德,等 ( 159 )
- 三峡库区生态系统服务功能重要性评价 ..... 李月臣,刘春霞,闵 婕,等 ( 168 )

### 景观、区域和全球生态

- 黄土高原小流域不同地形下土壤有机碳分布特征 ..... 李林海,郜二虎,梦 梦,等 ( 179 )
- 海岸带地理特征对沉水植被丰度的影响..... 吴明丽,李叙勇,陈年来 ( 188 )
- 玛纳斯河流域扇缘带不同植被类型下土壤物理性质 ..... 曹国栋,陈接华,夏 军,等 ( 195 )

### 资源与产业生态

- 农田开垦对三江平原湿地土壤种子库影响及湿地恢复潜力 ..... 王国栋,Beth A Middleton,吕宪国,等 ( 205 )
- 漫溢干扰过程中微地形对幼苗定居的影响 ..... 安红燕,徐海量,叶 茂,等 ( 214 )
- 黑龙江流域夏玉米产量提升限制因素 ..... 徐丽娜,陶洪斌,黄收兵,等 ( 222 )
- 黑龙江省药用植物根际土壤真菌多样性 ..... 慕东艳,吕国忠,孙晓东,等 ( 229 )

桑沟湾养殖生态系统健康综合评价 ..... 傅明珠,蒲新明,王宗灵,等 (238)

城乡与社会生态

基于“OOAO 原则”的罗源湾生态质量状况综合评价 ..... 吴海燕,吴耀建,陈克亮,等 (249)

四十里湾营养状况与浮游植物生态特征 ..... 李 斌,白艳艳,邢红艳,等 (260)

生态足迹深度和广度:构建三维模型的新指标 ..... 方 恺 (267)

中国东西部中小城市景观格局及其驱动力 ..... 齐 杨,邬建国,李建龙,等 (275)

研究简报

南海陆坡沉积物细菌丰度预测 ..... 李 涛,王 鹏 (286)

浑善达克沙地榆树疏林幼苗更新空间格局 ..... 刘 振,董 智,李红丽,等 (294)

光 and 不同打破种子休眠方法对紫茎泽兰种子萌发及幼苗状态的影响 ..... 姜 勇,李艳红,王文杰,等 (302)

学术争鸣

关于植物群丛划分的探讨 ..... 邢韶华,于梦凡,杨立娟,等 (310)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q \* 1981 \* m \* 16 \* 316 \* zh \* P \* ¥90.00 \* 1510 \* 35 \* 2013-01



**封面图说:** 外来入侵物种紫茎泽兰——紫茎泽兰约于 20 世纪 40 年代由缅甸传入中国云南南部后迅速蔓延,现已在云南、贵州、四川、广西、重庆、湖北、西藏等省区广泛分布和危害,并仍以每年大约 30 km 的速度扩散。紫茎泽兰为多年生草本或亚灌木,号称“植物界杀手”。其对环境的适应性极强,疯长蔓延,能极大耗损土壤肥力。它的植株能释放多种化感物质,排挤其他植物生长而形成单优种群,它破坏生物多样性,威胁到农作物、畜牧草甚至林木,且花粉能引起人类过敏性疾病等,目前尚无有效治理对策。

彩图提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com



DOI: 10.5846/stxb201111041666

宋彦涛,周道玮,王平,李强. 松嫩草地 66 种草本植物叶片性状特征. 生态学报, 2013, 33(1): 0079-0088.

Song Y T, Zhou D W, Wang P, Li Q. Leaf traits of 66 herbaceous species in Songnen grassland in Northeast China. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(1): 0079-0088.

## 松嫩草地 66 种草本植物叶片性状特征

宋彦涛<sup>1,2</sup>, 周道玮<sup>1,\*</sup>, 王 平<sup>3</sup>, 李 强<sup>1</sup>

(1. 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 长春 130102; 2. 东北师范大学草地科学研究所, 长春 130024;

3. 东北师范大学城市与环境科学学院, 长春 130024)

**摘要:**植物叶片功能性状及其相互关系越来越受到关注。以松嫩草地 66 种草本植物为研究对象, 测量叶片干物质含量、比叶面积、叶片厚度、叶片氮含量、叶片磷含量、叶绿素含量和类胡萝卜素含量, 检验性状间的相互关系, 比较不同功能群(多年生根茎禾草, 多年生丛生禾草, 多年生杂类草, 1 年生或 2 年生草本)间性状的差异性。结果表明, 叶片厚度变异系数最大, 比叶面积、叶片氮含量、叶片磷含量、叶绿素含量和类胡萝卜素含量之间存在显著的正相关关系; 叶片干物质含量与叶片磷含量没有显著的相关关系, 与其它叶片性状呈显著的负相关关系; 叶片厚度只与叶片干物质含量和比叶面积呈显著的负相关关系, 与其它叶片性状不相关。叶片干物质含量、比叶面积、叶片厚度、叶片氮、磷含量在 4 个功能群间差异显著, 叶绿素含量和类胡萝卜素含量在各个功能群间差异不显著; 多年生根茎禾草和多年生丛生禾草叶片的 7 个性状差异不显著; 多年生根茎禾草和多年生丛生禾草的叶片干物质含量高于多年生杂类草和 1 年生或 2 年生草本, 其它性状小于这两个功能群。

**关键词:**比叶面积; 叶片干物质含量; 叶片氮含量; 光合作用; 松嫩草地

## Leaf traits of 66 herbaceous species in Songnen grassland in Northeast China

SONG Yantao<sup>1,2</sup>, ZHOU Daowei<sup>1,\*</sup>, WANG Ping<sup>3</sup>, LI Qiang<sup>1</sup>

1 Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130102, China

2 Institute of Grassland Sciences, Northeast Normal University, Changchun 130024, China

3 School of Urban and Environmental Sciences, Northeast Normal University, Changchun 130024, China

**Abstract:** Leaf traits such as specific leaf area (SLA) and leaf nitrogen concentration (LNC) play important roles in plant functioning and are affected strongly by ecosystem properties and local environmental conditions. Quantifying the relationships between leaf traits and traits differences among plant functional groups has received increasing attentions in plant functional ecology over the past two decades.

We measured in total 7 leaf traits: SLA, LNC, leaf dry matter content (LDMC), leaf thickness (LT), leaf phosphorus concentration (LPC), leaf chlorophyll (a+b) content (Chl) and leaf carotenoid content (Cd) among 66 herbaceous species. And we analyzed the correlation between leaf traits and the traits difference among perennial rhizome grass (PR), perennial bunchgrasses (PB), perennial forbs (PF) and annuals/biannuals (AB) in Songnen grassland, Northeast China.

The results showed that LT variation (59.1%) was the highest among the 7 leaf traits measured. Pearson correlation showed that SLA, LNC, LPC, Chl and Cd were positively correlated with each other significantly. There was no significant correlation between LDMC and LPC, however, LDMC was negatively correlated with all other leaf traits significantly. LT was only negatively correlated to LDMC and SLA significantly, but not with others. LDMC, SLA, LT, LNC, LPC were

**基金项目:**国家重点基础研究发展计划项目(2011CB403203); 中国科学院知识创新项目(KZCX2-EW-QN315)

**收稿日期:**2011-11-04; **修订日期:**2012-05-31

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhoudaowei@neigae.ac.cn

significantly different among the 4 plant functional groups analyzed by one-way ANOVA ( $P < 0.05$ ). There was no difference between Chl and Cd. PR and PB had no difference among the 7 leaf traits. The LDMC of PR and PB were significantly higher than PF and AB. SLA, LNC, LPC of PR and PB were lower than PF and AB.

**Key Words:** specific leaf area; leaf dry matter content; leaf nitrogen concentration; photosynthesis; Songnen grassland

植物性状反映植物对生长环境的响应和适应,并应用于全球变化、古植被恢复和古气候定量重建、环境监测与评价、生态保护和恢复等研究<sup>[1]</sup>。而绿色叶片是陆地生态系统功能的基础<sup>[2]</sup>,它们的形态和生理性状与陆地生态系统的结构和功能有着密切的联系<sup>[3]</sup>。不同叶片性状之间经常表现出相关关系,并且叶片性状之间的关系普遍存在于植物种群、群落和生物区系中,能够明显的反映出植物对气候和其它环境限制的趋同适应<sup>[4-5]</sup>。

松嫩草地位于东北腹地,四周环绕着大兴安岭、小兴安岭、长白山和松辽分水岭,是一个独立的自然区<sup>[6-7]</sup>。研究表明松嫩草地为土壤决定的植被类型<sup>[6]</sup>,有独特的群落构成和植物区系,土壤中盐离子含量普遍高,植物相应地表现出抗盐耐盐特征<sup>[6-7]</sup>,但松嫩草地草本植物叶片性状表现及其相关关系与其它草地的分异性和自身的趋同适应研究鲜有报道。本文以松嫩草地 66 种常见草本植物为研究对象,调查植物叶片的干物质含量(LDMC)、比叶面积(SLA)、叶片厚度(LT)、叶片氮含量(LNC)、叶片磷含量(LPC)、叶绿素含量(Chl)和类胡萝卜素含量(Cd)等 7 个叶片性状(表 1),揭示该区草本植物叶片性状特征,分析性状间的相互关系,比较不同功能群之间性状的差异性,以期为区域研究和草地合理利用提供科学依据。

表 1 植物性状缩写和单位

Table 1 Definitions of abbreviations, acronyms, and units of plant traits

缩写 Abbreviation	全称 Definition	单位 Units
LDMC	叶片干物质含量 Leaf dry matter content	mg/g
SLA	比叶面积 Specific leaf area	mm <sup>2</sup> /mg
LT	叶片厚 Leaf Thickness	mm
LNC	叶片氮含量 Leaf nitrogen concentration	mg/g
LPC	叶片磷含量 Leaf phosphorus concentration	mg/g
Chl	叶绿素含量 Leaf chlorophyll (a+b) content	mg/g
Cd	类胡萝卜素含量 Leaf carotenoid content	mg/g

## 1 研究区概况与研究方法

### 1.1 研究区自然概况

研究地点位于中国科学院长岭草地农牧生态研究站(44°33' N, 123°31' E, 海拔 145 m)。该区属于温带大陆性季风气候:春季干旱多风且降水稀少,地表蒸发剧烈;夏季降水集中,冬季降雪较少。年均温 4.9 °C, ≥10 °C 积温 2920 °C, 无霜期 140—160 d, 年日照时数 2800 h。年降水量 300—500 mm, 集中在 6—9 月, 这个时期降水量占总降水量的 70%。年蒸发量 1600.2 mm, 约是降水量的 3.5 倍。该地区地势平坦, 海拔 140—160 m, 以低地平原为主, 有带状固定沙丘分布。地带性土壤为黑钙土, pH 为 7.5—9。

### 1.2 实验方法

2008 年 8 月份, 在中国科学院长岭草地农牧生态研究站附近的草甸共采集 19 科 54 属 66 种草本植物。划分为 4 个植物功能群<sup>[8]</sup>: (1) 多年生根茎禾草 (PR;  $n=9$ ), (2) 多年生丛生禾草 (PB;  $n=5$ ), (3) 多年生杂类草 (PF;  $n=39$ ), (4) 1 年生或 2 年生草本 (AB;  $n=13$ )。

每种植物采集新长出完全展开的且没有被啃食的成熟叶片(除去叶柄)约 30 g 带回实验室 105 °C 恒温杀青 18 min, 75 °C 恒温烘干至恒重, 粉碎, 保存待测。按照相同标准每种植物采集 10 片叶片, 装入有少量去离子水的封口袋中, 放入装有冰的保温箱中带回实验室, 黑暗条件下保存于 4 °C 恒温冰箱中 24 h。取出后用滤

纸迅速擦干叶片表面水分,万分之一天平称量叶片的饱和鲜重;测量叶片厚度(LT);照相,用 SigmaScan Pro 4 求算每个叶片的叶面积;最后把叶片放入 75 °C 烘箱烘干 24 h 后称重。SLA=叶片面积/叶片干重,LDMC=叶片干重/叶片饱和水鲜重。

LNC 用凯式定氮法测定,LPC 用 NaOH 熔融-钼锑钨比色法测定<sup>[9]</sup>。叶绿素 a、b,Cd 用分光光度法测定,Chl=叶绿素 a+叶绿素 b<sup>[10]</sup>。

### 1.3 数据处理

叶片性状的相关性用 Pearson 相关分析(双尾检验)和多元回归分析,不同功能群间叶片性状的差异用单因素方差分析(方差不齐时进行数据转换)和 LSD 多重比较法检验均值间的差异,显著性水平  $\alpha=0.05$ ,所有统计使用 SPSS 软件(2004, ver. 13.0; SPSS Inc., USA)完成。

## 2 结果

### 2.1 叶片性状特征

66 种植物叶片性状值变异较大,最大值是最小值的 3.5 倍以上,变异系数超过 30%(表 2)。其中,叶片厚度的变异最大,最大值是最小值的 9.5 倍,变异系数接近 60%;其次是叶片磷含量(CV=36.5%)和叶片干物质含量(CV=35.4%);比叶面积、叶片氮含量、叶绿素含量和类胡萝卜素含量的变异系数在 31%—33.5% 之间。

表 2 松嫩草地 66 种草本植物叶片性状特征( $n=66$ )

Table 2 Leaf traits characteristic of 66 herbaceous plants in Songnen grassland

植物性状	均值±标准误 Mean±SE	最小值 Minimum	最大值 Maximum	变异系数 CV/%
LDMC	256.50±11.2	97.1	487.2	35.4
SLA	19.50±0.8	7.32	39.5	31.7
LT	0.36±0.03	0.13	1.21	59.1
LNC	22.70±0.9	12.0	42.7	32.0
LPC	1.80±0.0	0.7	4.4	36.5
Chl	3.50±0.1	1.2	6.9	33.4
Cd	0.90±0.0	0.4	1.7	33.1

### 2.2 叶片性状之间的相关关系

66 种植物的叶片干物质含量与叶片磷含量没有显著的相关性( $P=0.070$ ),与其它植物性状都呈现显著的负相关关系;比叶面积和叶片厚度呈现显著的负相关( $P=0.008$ ),与叶片氮含量、叶片磷含量、叶绿素和类胡萝卜素呈现显著的正相关;叶片厚度与叶片氮含量、叶片磷含量、叶绿素和类胡萝卜素不相关;叶片氮含量与叶片磷含量、叶绿素和类胡萝卜素呈现显著的正相关;叶片磷含量与叶绿素和类胡萝卜素呈现显著的正相关;叶绿素与类胡萝卜素呈现显著的正相关(表 3)。

表 3 叶片性状的相关性( $n=66$ )

Table 3 Correlation coefficient among leaf traits

	LDMC	SLA	LT	LNC	LPC	Chl
SLA	-0.276 *					
LT	-0.516 ***	-0.326 **				
LNC	-0.282 *	0.301 *	-0.035 <sup>NS</sup>			
LPC	-0.224 <sup>NS</sup>	0.498 ***	-0.060 <sup>NS</sup>	0.672 ***		
Chl	-0.315 **	0.400 ***	-0.146 <sup>NS</sup>	0.699 ***	0.512 ***	
Cd	-0.273 *	0.326 **	-0.037 <sup>NS</sup>	0.509 ***	0.392 ***	0.881 ***

Pearson 相关分析,双尾检验,显著性水平: \*  $P<0.05$ , \*\*  $P<0.01$ , \*\*\*  $P<0.001$ ,NS 不显著

多元回归显示(图1),叶片厚度与叶片干物质含量和比叶面积都有显著的负相关关系( $LT = -0.002LDMC - 0.017SLA + 1.092$ ),即对任意的叶片干物质含量,叶片厚度随比叶面积的增加而降低;对任意的比叶面积,叶片厚度随叶片干物质含量的增加而降低。叶绿素含量与叶片氮含量和比叶面积有显著的正相关关系( $Chl = 0.101LNC + 0.039SLA + 0.406$ ),即对任意的叶片氮含量,叶绿素随比叶面积的增加而增加;对任意的比叶面积,叶绿素随叶片氮含量的增加而增加。

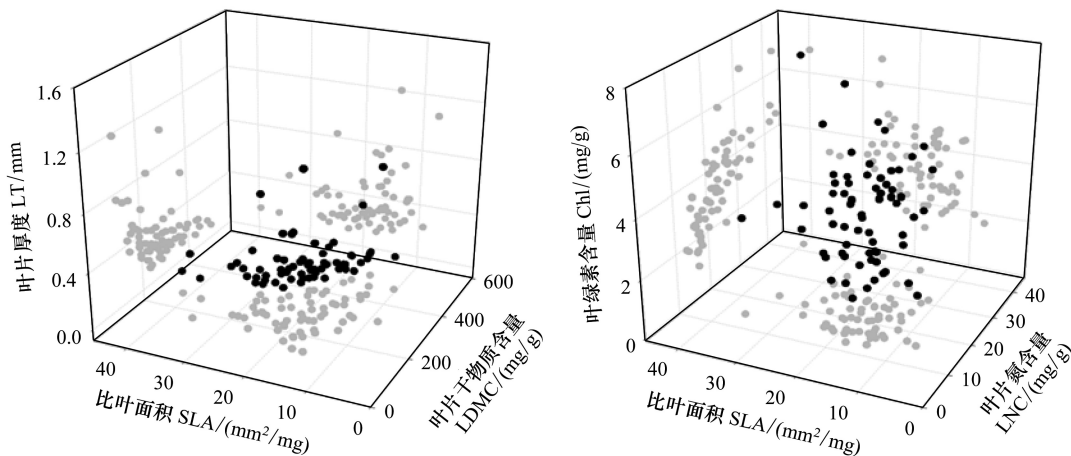


图1 叶片性状关系3维图

Fig. 1 Leaf trait relationships in three-dimensional space

叶片厚度与叶片干物质含量和比叶面积的关系 LDMC:  $P < 0.001$ , SLA:  $P < 0.001$ , 模型:  $F = 32.022$ ,  $r^2 = 0.504$ ,  $P < 0.001$ ,  $n = 66$ ; 叶绿素与叶片氮含量和比叶面积的关系 NC:  $P < 0.001$ , SLA:  $P = 0.025$ , 模型:  $F = 35.174$ ,  $r^2 = 0.528$ ,  $P < 0.001$ ,  $n = 66$ ; 底面和侧面灰色点是3维空间黑色点的投影

### 2.3 不同功能群植物叶片性状的差异

方差分析结果表明,叶绿素和类胡萝卜素在不同功能群间没有显著差异( $P > 0.05$ ),其它性状在不同功能群间差异显著。多年生根茎禾草和多年生丛生禾草的叶片干物质含量显著的高于多年生杂类草和1年生或2年生草本;1年生或2年生草本叶片的比叶面积显著的高于其它3个功能群;多年生杂类草的叶片厚度显著的高于多年生根茎禾草,多年生丛生禾草和1年生或2年生植的叶片厚度与其它两个功能群差异不显著;多年生杂类草和1年生或2年生草本叶片的氮含量显著的高于多年生根茎禾草,与多年生丛生禾草差异不显著;1年生或2年生草本叶片的磷含量显著高于其它3个功能群(图2)。

## 3 讨论

### 3.1 松嫩草地草本植物叶片性状特征

植物性状反映了植物对气候和土壤等环境因子适应的重要信息<sup>[1]</sup>,如叶片干物质含量和比叶面积与植物获取资源的能力密切相关<sup>[11-12]</sup>。松嫩草地植物与邻近的科尔沁沙地植物叶片性状相比,其比叶面积高于科尔沁沙地植物,而叶片干物质含量和叶片厚度低<sup>[13-15]</sup>。因为松嫩草地属于温带半湿润季风气候区,且雨热同季<sup>[7]</sup>,而科尔沁沙地属于温带半干旱气候类型(年均温  $6.5^{\circ}\text{C}$ ,年均降水量  $360\text{ mm}$ ,年蒸发量  $1935\text{ mm}$ )<sup>[15]</sup>,相对干旱贫瘠,可利用资源少。比叶面积高的植物适应资源丰富环境;相反,比叶面积低的植物适应了降水少、蒸发量大、土壤贫瘠的环境<sup>[15]</sup>。同样,松嫩草地植物叶片相对低的干物质含量和叶片厚度也是适应水热和土壤条件相对较好的结果。松嫩草地草本植物叶片厚度(变异系数  $59.1\%$ )比其它叶片性状变异大(表2),可能因为不同植物间叶片形态差异很大及同种内也存在个体变异,同时叶片厚度值相对较小,导致叶片厚度测量误差较大<sup>[12, 14]</sup>。

松嫩草地草本植物叶片氮磷含量分别为  $22.7\text{ mg/g}$  和  $1.8\text{ mg/g}$ (表2)。与其它地区相比,松嫩草地植物叶片的氮含量低于内蒙古草地、新疆草地和西藏草地,与科尔沁沙地植物叶片氮含量相当,高于全国陆生植

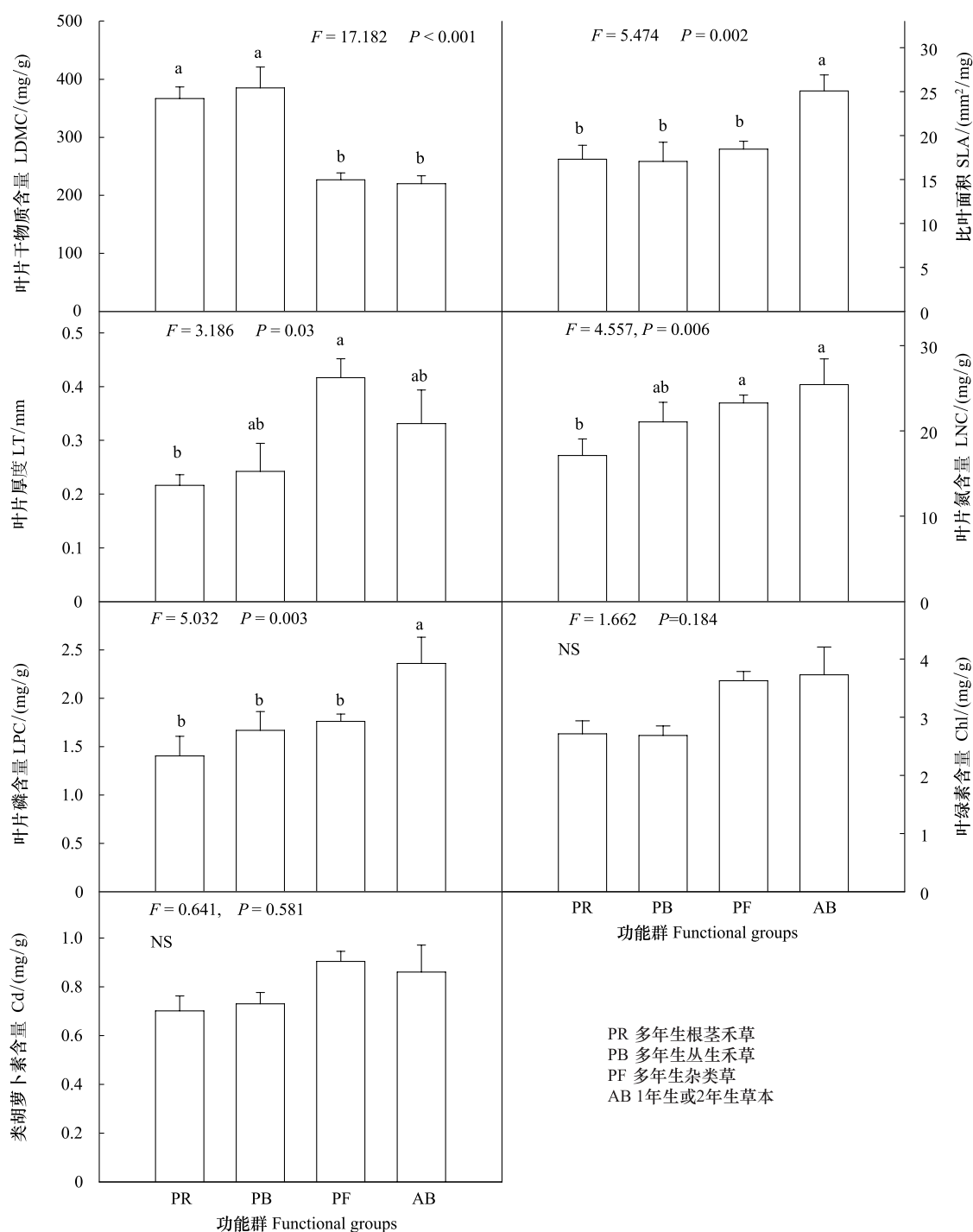


图2 不同植物功能群叶片性状比较

Fig. 2 Comparison of leaf traits among different plant functional groups

物;叶片磷含量低于科尔沁沙地,高于内蒙古草地、西藏草地和全国陆生植物,与新疆草地相当;氮磷比除了高于科尔沁沙地外,均低于其它地区和全国陆生植物<sup>[15-18]</sup>(表4)。与中国陆生植物和草原区植物叶片氮磷含量对比,松嫩草地植物叶片氮磷比低主要归因于低的叶片氮含量和高的叶片磷含量。氮和磷元素是植物生长发育最主要的限制因子,两者之间存在着重要的相互作用<sup>[4, 17-18]</sup>。植物氮磷含量取决于土壤养分供应和植物氮磷需求间的动态平衡,植物氮磷比可以判断植物生长受限状况<sup>[19-20]</sup>。欧洲40个地点施肥实验表明,氮磷比大于16表示植被生长受磷限制,氮磷比小于14表示受氮限制,氮磷比在14—16时,受氮磷的共同限制<sup>[20]</sup>,



Gusewell<sup>[21]</sup>通过对大量研究结果综述认为氮磷比 $>20$ 和 $<10$ 作为植被水平氮磷限制的评价标准。松嫩草地草本植物叶片氮磷比为13.0,对比中国其它草原区植物氮磷含量和氮磷比(表4),综合判断松嫩草地相对于中国其它草原区来说磷相对丰富,氮相对缺乏。

表4 松嫩草地草本植物叶片氮磷质量浓度和氮磷比与其它研究结果比较

Table 4 Comparisons between leaf N, P and N:P of Songnen grassland and other studies on mass basis

研究区域 Study area	LNC /(mg/g)	LPC /(mg/g)	N:P	参考文献 References
松嫩草地 Songnen grassland	24.2	2.0	13.0	本文
内蒙古草地 Inner mongolia grassland	26.8	1.8	16.4	
新疆草地 Xinjiang grassland	25.9	2.0	13.4	[16-17]
西藏草地 Tibet grassland	28.6	1.9	15.7	
科尔沁沙地 Horqin sand land	24.7	2.6	10.4	[15]
全国陆生植物 Chinese terrestrial plants	20.2	1.5	16.3	[18]

### 3.2 松嫩草地草本植物叶片性状之间的相关关系

量化植物功能性状之间的关系,特别是多个物种和不同生境的植物叶片性状的关系是植物功能生态学研究的重要内容之一<sup>[1, 22]</sup>。研究表明,叶片性状之间相互关联,如比叶面积、光合能力、暗呼吸速率、叶片氮磷含量等相互之间都有正相关关系<sup>[2, 23-25]</sup>。在松嫩草地,分析发现比叶面积、叶片干物质含量、叶片氮含量之间都有显著的相关关系(表3,图1)。叶片干物质含量反映的是叶片的组织密度,快生长植物的组织密度低,干物质含量低,比叶面积高<sup>[11]</sup>,与其它性状间通常是负相关关系。

叶片厚度与叶片干物质含量和比叶面积都有极显著的负相关关系(表3),Vile等<sup>[12]</sup>通过对11个地点1039对数据的验证指出用比叶面积和叶片干物质含量乘积的倒数( $(SLA \times LDMC)^{-1}$ )能够很好的估算叶片厚度。结果显示用叶片厚度做因变量,叶片干物质含量和比叶面积做自变量,建立多元线性回归方程,也能很好的预测叶片厚度(图1)。但是该方程在其它地区是否适用,需要相应的数据数据进一步验证。

叶绿素和类胡萝卜素是主要的光合色素,能够指示植物叶片的光合能力,类胡萝卜素还能使激发态的叶绿素失活,避免多余的吸收能量对叶绿素的伤害<sup>[26-27]</sup>。与其它研究结果一致,叶绿素与叶片的氮含量有显著的正相关关系<sup>[28]</sup>,且叶绿素和类胡萝卜素与除叶片厚度之外的其它叶片性状都有显著的相关关系。在叶片性状之间的相关系数中,叶绿素和类胡萝卜素的相关系数最大( $r=0.881$ ,表3),且叶绿素可以通过SPAD-502(日本,大阪)容易、快速的测量<sup>[29]</sup>,因而可以用叶绿素来替代类胡萝卜素。

### 3.3 松嫩草地草本植物功能群叶片性状的差异

植物功能群是对环境有类似响应和对生态系统功能有相似作用的不同物种组合<sup>[30]</sup>,不同功能群植物对环境的响应或生态系统功能存在差异<sup>[31]</sup>。在内蒙古典型草原区,根据植物的生活型,划分为多年生根茎禾草、多年生丛生禾草、多年生杂类草、灌木或半灌木和1年生或2年生植物5个功能群<sup>[8]</sup>。然而,松嫩草地的结果表明,多年生根茎禾草和多年生丛生禾草的7个叶片性状均差异不显著(图2)。调查的多年生根茎禾草多属C4植物,多年生丛生禾草多属C3植物。一般来说,在相对高温、干旱和高光条件下,C4植物比C3植物有高的羧化作用和资源利用率<sup>[3, 32]</sup>。然而,松嫩草地属于C3、C4植物分布的交错区,地处温带,仅在7—8月份能满足C4植物生理活动对强光和高温的需求,而且该区在7—8月份降雨最多<sup>[7]</sup>。在这样的条件下,C4植物的优势很难表现出来。这可能是C3、C4多年生禾草的叶片性状间也没有显著的差异的原因。由此,松嫩草地多年生禾草划分一个功能群可能更合理。

叶片干物质含量和比叶面积是植物功能生态学研究中最常用的性状,且叶片干物质含量和比叶面积的倒数呈正比关系<sup>[1, 22]</sup>。它们在植物叶片功能中发挥着重要作用,能反映植物对资源获取和利用情况<sup>[11]</sup>,研究指出叶片干物质含量高,比叶面积小的植物资源获取能力强,更能在逆境中占优势<sup>[33]</sup>。松嫩草地多年生禾草(多年生根茎禾草和多年生丛生禾草)植物叶片干物质含量高于多年生杂类草和1年生或2年生草本,比叶

面积低于多年生杂类草和 1 年生或 2 年生草本(图 2),表明多年生禾草比其它功能群植物更能适应该区环境。在一定程度上从植物叶片功能生态角度解释了松嫩草地多年生禾草占优势的原因。1 年生或 2 年生草本叶片寿命短、生长速率快、高生殖投入,所以该功能群叶片干物质含量低,比叶面积和叶片厚度大;1 年生或 2 年生草本需要更多的磷素用于高比例的繁殖分配,导致叶片氮磷含量比叶片寿命长、生长慢的功能群高<sup>[18, 21]</sup>。尤其是叶片磷含量,显著高于其它功能群(图 2)。

松嫩草地草本植物叶绿素和类胡萝卜素含量在各个功能群之间差异不显著(图 2)。Zheng 等<sup>[3]</sup>对黄土高原 7 个地点研究显示,该区乔木、灌木和草本 3 种生活型植物叶片的叶绿素含量有显著差异,而我们的研究区域内,温度、光照、降水等环境因子较为一致。草本植物不同功能群叶片叶绿素和类胡萝卜素对环境的响应相对不敏感,可能是不同植物功能群之间差异不显著的原因。需要进一步扩大研究区域和增加物种数量来比较不同功能群间的差异性。

**致谢:**感谢田昆同学在野外取样的帮助和不列颠哥伦比亚大学 Xinxin Xue 博士对英文摘要的修改。

#### References:

- [ 1 ] Meng T T, Ni J, Wang G H. Plant functional traits, environments and ecosystem functioning. *Journal of Plant Ecology*, 2007, 31(1): 150-165.
- [ 2 ] Wright I J, Reich P B, Westoby M, Ackerly D D, Baruch Z, Bongers F, Cavender-Bares J, Chapin T, Cornelissen J H C, Diemer M, Flexas J, Garnier E, Groom P K, Gulias J, Hikosaka K, Lamont B B, Lee T, Lee W, Lusk C, Midgley J J, Navas M L, Niinemets Ü, Oleksyn J, Osada N, Poorter H, Poot P, Prior L, Pyankov V I, Roumet C, Thomas S C, Tjoelker M G, Veneklaas E J, Villar R. The worldwide leaf economics spectrum. *Nature*, 2004, 428(6985): 821-827.
- [ 3 ] Zheng S X, Shangguan Z P. Spatial patterns of photosynthetic characteristics and leaf physical traits of plants in the Loess Plateau of China. *Plant Ecology*, 2007, 191(2): 279-293.
- [ 4 ] Reich P B, Oleksyn J. Global patterns of plant leaf N and P in relation to temperature and latitude. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2004, 101(30): 11001-11006.
- [ 5 ] Wright I J, Reich P B, Cornelissen J H C, Falster D S, Groom P K, Hikosaka K, Lee W, Lusk C H, Niinemets Ü, Oleksyn J, Osada N, Poorter H, Warton D I, Westoby M. Modulation of leaf economic traits and trait relationships by climate. *Global Ecology and Biogeography*, 2005, 14(5): 411-421.
- [ 6 ] Zhou D W, Zhang Z X, Jin Y H, Wang P, Wang X Z. Regionalization and distribution pattern of vegetation of Northeast China. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2010, 34(12): 1359-1368.
- [ 7 ] Zheng H Y, Li J D. *The Grassland Vegetation and Its Utilization and Conservation on the Songnen Plain*. Beijing: Science Press, 1993.
- [ 8 ] Bai Y F, Han X G, Wu J G, Chen Z Z, Li L H. Ecosystem stability and compensatory effects in the Inner Mongolia grassland. *Nature*, 2004, 431(7005): 181-184.
- [ 9 ] Bao S D. *Analysis of Soil Characteristics*. 3rd edn. Beijing: Chinese Agricultural Press, 2005.
- [ 10 ] Wang Y D, Liu N. *Experimental Guidance for Plant Biology*. Beijing: Higher Education Press, 2001.
- [ 11 ] Cornelissen J H C, Lavorel S, Garnier E, Díaz S, Buchmann N, Gurvich D E, Reich P B, ter Steege H, Morgan H D, van der Heijden M G A, Pausas J G, Poorter H. A handbook of protocols for standardised and easy measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of Botany*, 2003, 51(4): 335-380.
- [ 12 ] Vile D, Garnier É, Shipley B, Laurent G, Navas M L, Roumet C, Lavorel S, Díaz S, Hodgson J G, Lloret F, Midgley G F, Poorter H, Rutherford M C, Wilson P J, Wright I J. Specific leaf area and dry matter content estimate thickness in laminar leaves. *Annals of Botany*, 2005, 96(6): 1129-1136.
- [ 13 ] Li X L, Li X H, Jiang D M, Liu Z M, Wang H M, Ji L Z. Leaf morphological characters of 22 compositae herbaceous species in Horqin sandy land. *Chinese Journal of Ecology*, 2005, 24(12): 1397-1401.
- [ 14 ] Liu J H, Zeng D H, Lee D K. Leaf traits and their interrelationships of main plant species in southeast Horqin sandy land. *Chinese Journal of Ecology*, 2006, 25(8): 921-925.
- [ 15 ] Zhao H Y, Li Y L, Wang X Y, Mao W, Zhao X Y, Zhang T H. Variations in leaf traits of 52 plants in Horqin sand land. *Journal of Desert Research*, 2010, 30(6): 1292-1298.
- [ 16 ] He J S, Fang J Y, Wang Z H, Guo D L, Flynn D F B, Geng Z. Stoichiometry and large-scale patterns of leaf carbon and nitrogen in the grassland biomes of China. *Oecologia*, 2006, 149(1): 115-122.

- [17] He J S, Wang L, Flynn D F B, Wang X P, Ma W H, Fang J Y. Leaf nitrogen; phosphorus stoichiometry across Chinese grassland biomes. *Oecologia*, 2008, 155(2): 301-310.
- [18] Han W X, Fang J Y, Guo D L, Zhang Y. Leaf nitrogen and phosphorus stoichiometry across 753 terrestrial plant species in China. *New Phytologist*, 2005, 168(2): 377-385.
- [19] Zeng D H, Chen G S. Ecological stoichiometry: a science to explore the complexity of living systems. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2005, 29(6): 1007-1019.
- [20] Koerselman W, Meuleman A F M. The vegetation N:P ratio: a new tool to detect the nature of nutrient limitation. *Journal of Applied Ecology*, 1996, 33(6): 1441-1450.
- [21] Gusewell S. N:P ratios in terrestrial plants: variation and functional significance. *New Phytologist*, 2004, 164(2): 243-266.
- [22] Zhou D W. A phylogenetic approach to comparative functional plant ecology. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(10): 5644-5655.
- [23] Wright I J, Groom P K, Lamont B B, Poot P, Prior L D, Reich P B, Schulze E D, Veneklaas E J, Westoby M. Leaf trait relationships in Australian plant species. *Functional Plant Biology*, 2004, 31(5): 551-558.
- [24] Wright I J, Reich P B, Cornelissen J H C, Falster D S, Garnier E, Hikosaka K, Lamont B B, Lee W, Oleksyn J, Osada N, Poorter H, Villar R, Warton D I, Westoby M. Assessing the generality of global leaf trait relationships. *New Phytologist*, 2005, 166(2): 485-496.
- [25] Reich P B, Walters M B, Ellsworth D S. From tropics to tundra: global convergence in plant functioning. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 1997, 94(25): 13730-13734.
- [26] Lewandowska M, Jarvis P G. Changes in chlorophyll and carotenoid content, specific leaf area and dry weight fraction in Sitka spruce, in response to shading and season. *New Phytologist*, 1977, 79(2): 247-256.
- [27] Veres S, Tóth V R, Láposi R, Oláh V, Lakatos G, Mészáros I. Carotenoid composition and photochemical activity of four sandy grassland species. *Photosynthetica*, 2006, 44(2): 255-261.
- [28] Gáborčík N. Relationship between contents of chlorophyll (a+b) (SPAD values) and nitrogen of some temperate grasses. *Photosynthetica*, 2003, 41(2): 285-287.
- [29] Bakker M A, Carreño-Rocabado G, Poorter L. Leaf economics traits predict litter decomposition of tropical plants and differ among land use types. *Functional Ecology*, 2011, 25(3): 473-483.
- [30] Gitay H, Nobel I R. What are functional types and how should we seek them? // Smith T M, Shugart H H, Woodward F I, eds. *Plant Functional Types: Their Relevance to Ecosystem Properties and Global Change*. Cambridge: Cambridge University Press, 1997: 3-19.
- [31] Cabido M, Cabido M. Vive la différence: plant functional diversity matters to ecosystem processes. *Trends in Ecology and Evolution*, 2001, 16(11): 646-655.
- [32] Sage R F, Monson R K. The biogeography of C<sub>4</sub> photosynthesis: patterns and controlling factors // Sage R F, Monson R K, eds. *C<sub>4</sub> Plant Biology*. San Diego: Academic Press, 1999: 313-373.
- [33] Wilson P J, Thompson K, Hodgson J G. Specific leaf area and leaf dry matter content as alternative predictors of plant strategies. *New Phytologist*, 1999, 143(1): 155-162.

#### 参考文献:

- [1] 孟婷婷, 倪健, 王国宏. 植物功能性状与环境及生态系统功能. *植物生态学报*, 2007, 31(1): 150-165.
- [6] 周道玮, 张正祥, 靳英华, 王平, 王学志. 东北植被区划及其分布格局. *植物生态学报*, 2010, 34(12): 1359-1368.
- [7] 郑慧莹, 李建东. 松嫩平原的草地植被及其利用保护. 北京: 科学出版社, 1993.
- [9] 鲍士旦. 土壤农化分析 (第三版). 北京: 中国农业出版社, 2005.
- [10] 王英典, 刘宁. 植物生物学实验指导. 北京: 高等教育出版社, 2001.
- [13] 李晓兰, 李雪华, 蒋德明, 刘志民, 王红梅, 姬兰柱. 科尔沁沙地 22 种菊科草本植物叶片形态特征研究. *生态学杂志*, 2005, 24(12): 1397-1401.
- [14] 刘金环, 曾德慧, Lee D K. 科尔沁沙地东南部地区主要植物叶片性状及其相互关系. *生态学杂志*, 2006, 25(8): 921-925.
- [15] 赵红洋, 李玉霖, 王新源, 毛伟, 赵学勇, 张铜会. 科尔沁沙地 52 种植物叶片性状变异特征研究. *中国沙漠*, 2010, 30(6): 1292-1298.
- [19] 曾德慧, 陈广生. 生态化学计量学: 复杂生命系统奥秘的探索. *植物生态学报*, 2005, 29(6): 1007-1019.
- [22] 周道玮. 植物功能生态学研究进展. *生态学报*, 2009, 29(10): 5644-5655.

附表 1 松嫩草地 66 种草本植物叶片性状  
Appendix table 1 Leaf traits of 66 herbage plant species in Songnen grassland, China

	功能型 PFGs	LDMC /(mg/g)	SLA /(mm <sup>2</sup> /mg)	LT /mm	LNC /(mg/g)	LPC /(mg/g)	Chl /(mg/g)	Cd /(mg/g)
大油芒 <i>Spodiopogon sibiricus</i>	PR	352.7	20.7	0.16	14.5	1.6	3.6	1.0
拂子茅 <i>Calamagrostis epigeios</i>	PR	309.8	15.5	0.31	16.0	2.3	2.8	0.7
光稃香茅 <i>Hierochloa glabra</i>	PR	413.1	17.5	0.14	12.0	0.7	2.0	0.7
芦苇 <i>Phragmites australis</i>	PR	419.6	13.2	0.24	23.6	1.5	2.8	0.6
牛鞭草 <i>Hemathria sibirica</i>	PR	360.4	18.8	0.20	14.5	1.3	2.6	0.6
獐毛 <i>Aeluropus sinensis</i>	PR	471.6	14.6	0.18	14.8	0.7	2.7	0.8
羊草 <i>Leymus chinensis</i>	PR	372.2	13.3	0.24	16.4	1.1	2.1	0.6
野大麦 <i>Hordeum bervisubulatum</i>	PR	284.9	27.9	0.19	29.8	2.3	3.9	1.0
野古草 <i>Arundinella hirta</i>	PR	316.6	14.3	0.30	12.6	1.0	1.9	0.4
冰草 <i>Agropyron cristatum</i>	PB	380.6	12.5	0.27	22.0	1.7	2.6	0.7
糙隐子草 <i>Cleistogenes squarrosa</i>	PB	487.2	22.6	0.13	15.0	1.3	2.6	0.6
朝鲜碱茅 <i>Puccinellia chinampoensis</i>	PB	277.1	12.0	0.43	29.1	2.3	3.2	0.9
星星草 <i>P. tenuiflora</i>	PB	347.1	21.4	0.21	19.0	1.8	2.3	0.6
狼针草 <i>Stipa baicalensis</i>	PB	433.8	16.7	0.18	20.2	1.3	2.7	0.8
阿尔泰狗娃花 <i>Heteropappus altaicus</i>	PF	227.8	18.4	0.28	24.9	1.6	4.1	1.0
报茎白前 <i>Cynanchum amplexicaule</i>	PF	244.9	12.2	0.41	25.4	2.4	3.3	0.8
并头黄芩 <i>Scutellaria scordifolia</i>	PF	282.0	24.1	0.22	20.3	1.5	3.5	1.3
草地风毛菊 <i>Saussurea amara</i>	PF	131.5	33.9	0.46	21.7	2.0	3.2	0.6
麻花头 <i>Serratula centauroides</i>	PF	178.0	19.8	0.47	23.0	1.4	3.2	0.8
寸草 <i>Carex duriuscula</i>	PF	354.9	12.7	0.68	15.7	1.5	2.3	0.7
大花千里光 <i>Senecio megalanthus</i>	PF	156.8	20.2	0.51	26.4	1.8	4.7	1.1
蓟 <i>Cirsium japonicum</i>	PF	188.0	15.1	0.61	17.9	1.3	2.6	0.6
地榆 <i>Sanguisorba officinalis</i>	PF	242.0	19.1	0.29	15.8	1.2	2.9	0.5
鹅绒藤 <i>C. chinense</i>	PF	177.8	27.8	0.38	29.3	2.4	3.2	0.7
鹅绒委陵菜 <i>Potentilla anserina</i>	PF	305.2	23.5	0.20	26.0	3.5	4.0	1.0
二色补血草 <i>Limonium bicolor</i>	PF	168.1	16.8	0.49	25.2	2.1	4.2	1.0
甘草 <i>Glycyrrhiza uralensis</i>	PF	284.8	16.8	0.33	40.4	2.5	4.4	0.9
花苜蓿 <i>Medicago ruthenica</i>	PF	264.0	16.0	0.26	33.5	1.6	4.6	1.0
箭头唐松草 <i>Thalictrum simplex</i>	PF	312.0	16.1	0.44	21.0	1.5	4.1	1.0
苣荬菜 <i>Sonchus arvensis</i>	PF	153.0	15.8	0.54	24.8	2.0	4.7	1.2
马蔺 <i>Iris lactea</i> var. <i>chinensis</i>	PF	276.6	7.3	1.06	15.5	1.5	1.7	0.5
蔓委陵菜 <i>P. flagellaris</i>	PF	323.5	20.9	0.23	18.8	1.4	3.2	0.9
蒙古蒿 <i>Artemisia mongolica</i>	PF	341.6	14.9	0.22	16.8	1.5	1.8	0.5
蒙古韭 <i>Allium mongolicum</i>	PF	97.1	13.9	1.21	15.2	1.3	2.6	0.8
茜草 <i>Rubia cordifolia</i>	PF	201.9	20.2	0.35	25.7	1.5	4.4	1.1
全叶马兰 <i>Kalimeris integrifolia</i>	PF	268.7	18.3	0.29	24.6	2.2	2.0	0.4
地梢瓜 <i>C. thesioides</i>	PF	205.4	25.7	0.22	25.7	2.2	3.9	1.1
旋覆花 <i>Inula japonica</i>	PF	177.2	28.8	0.35	20.7	2.0	3.5	0.8
乳浆大戟 <i>Euphorbia esula</i>	PF	428.7	9.1	0.24	16.3	1.4	2.0	0.6
蕪草 <i>Scirpus triquet</i>	PF	247.5	16.0	0.34	21.3	1.8	4.3	1.0
斜茎黄耆 <i>Astragalus adsurgens</i>	PF	221.4	17.2	0.31	28.5	1.3	3.8	0.8
砂引草 <i>Messerschmidia sibirica</i>	PF	138.0	24.5	0.37	26.6	1.7	3.6	1.0
射干 <i>Belamcanda chinensis</i>	PF	142.6	17.0	0.73	16.0	1.2	2.3	0.7
水苏 <i>Stachys japonica</i>	PF	224.0	16.4	0.32	22.2	2.5	4.7	1.2
山黧豆 <i>Lathyrus quinquenervius</i>	PF	270.9	11.3	0.34	30.5	1.5	4.5	1.1



续表

	功能型 PFGs	LDMC /(mg/g)	SLA /(mm <sup>2</sup> /mg)	LT /mm	LNC /(mg/g)	LPC /(mg/g)	Chl /(mg/g)	Cd /(mg/g)
西伯利亚蓼 <i>Polygonum sibiricum</i>	PF	177.4	14.6	0.43	22.1	1.6	4.1	0.9
山苦菜 <i>Ixeris chinensis</i>	PF	181.9	20.1	0.27	19.7	1.4	4.0	1.0
细叶沙参 <i>Adenophora paniculata</i>	PF	207.1	11.8	0.43	19.0	1.5	4.5	1.2
野韭 <i>A. ramosum</i>	PF	99.2	15.7	0.78	26.9	2.0	3.5	1.0
野豌豆 <i>Vicia cracca</i>	PF	215.2	18.3	0.27	33.8	2.2	4.0	0.8
展枝唐松草 <i>T. squarrosus</i>	PF	343.9	18.9	0.30	19.5	1.4	3.1	0.9
藤长苗 <i>Calystegia pellita</i>	PF	205.8	23.9	0.29	27.9	1.8	4.9	1.2
紫花地丁 <i>Viola philippica</i>	PF	176.4	26.6	0.35	23.4	1.6	6.0	1.6
草木犀 <i>Melilotus suaveolens</i>	AB	210.9	24.6	0.21	42.7	2.4	4.6	0.6
大籽蒿 <i>A. sieversiana</i>	AB	226.6	27.0	0.41	33.0	3.9	3.6	1.0
地锦草 <i>Euphorbia humifusa</i>	AB	254.5	27.4	0.18	17.3	2.3	3.0	0.8
狗尾草 <i>Setaria viridis</i>	AB	259.4	21.5	0.21	22.4	1.6	3.6	1.0
虎尾草 <i>Chloris virgata</i>	AB	264.7	26.3	0.15	30.6	2.2	6.9	1.5
画眉草 <i>Eragrostis pilosa</i>	AB	222.9	39.5	0.16	41.7	4.4	6.8	1.5
碱地肤 <i>Kochia scoparia</i> var. <i>sieversiana</i>	AB	145.8	17.2	0.49	19.8	2.1	3.1	0.8
碱蓬 <i>Suaeda glauca</i>	AB	120.8	17.9	0.74	15.5	1.1	1.2	0.4
金色狗尾草 <i>S. glauca</i>	AB	215.0	35.9	0.15	13.8	2.0	3.3	0.9
稗 <i>Echinochloa crusgali</i>	AB	248.0	22.8	0.25	16.2	1.6	2.3	0.4
春蓼 <i>P. persicaria</i>	AB	296.0	19.4	0.24	21.9	2.7	3.4	0.5
香青兰 <i>Dracocephalum moldavica</i>	AB	181.9	21.4	0.29	15.2	1.2	1.7	0.4
益母草 <i>Leonurus artemisia</i>	AB	214.7	25.0	0.83	40.7	3.1	5.0	1.4

PR: 多年生根茎禾草, PB: 多年生丛生禾草, P: 多年生杂类草, AB: 1 年生或 2 年生草本

# ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.33, No.1 January, 2013 (Semimonthly)

## CONTENTS

### Frontiers and Comprehensive Review

- Integrating ecological civilization into social-economic development ..... WANG Rusong ( 1 )
- The effect of land cover pattern on hillslope soil and water loss in the arid and semi-arid region: a review .....  
..... GAO Guangyao, FU Bojie, LÜ Yihe, et al ( 12 )
- The status and trend on the urban tree canopy research ..... JIA Baoquan, WANG Cheng, QIU Erfa, et al ( 23 )
- Bioindicators and Biomonitoring in Environmental Quality Assessment .....  
..... Bernd Markert, WANG Mei'e, Simone Wünschmann, et al ( 33 )
- Electron transfer capacities of dissolved organic matter and its ecological effects ... BI Ran, ZHOU Shungui, YUAN Tian, et al ( 45 )

### Autecology & Fundamentals

- Antioxidative responses of *Abies fabri* seedlings to litter addition and temperature elevation .....  
..... YANG Yang, YANG Yan, WANG Genxu, et al ( 53 )
- Effects of seed soaking with different concentrations of 5-aminolevulinic acid on the germination of tomato (*Solanum lycopersicum*)  
seeds under NaCl stress ..... ZHAO Yanyan, HU Xiaohui, ZOU Zhirong, et al ( 62 )
- Influence of magnesium deficiency on chlorophyll fluorescence characteristic in leaves of Newhall navel orange .....  
..... LING Lili, PENG Liangzhi, WANG Nanqi, et al ( 71 )
- Leaf traits of 66 herbaceous species in Songnen grassland in Northeast China .....  
..... SONG Yantao, ZHOU Daowei, WANG Ping, et al ( 79 )
- Effects of nectar secondary compounds on pollination of co-flowering species in a natural community .....  
..... ZHAO Guangyin, LI Jianjun, GAO Jie ( 89 )
- The continuous life-table of *Leptocybe invasa* ..... ZHU Fangli, QIU Baoli, REN Shunxiang ( 97 )

### Population, Community and Ecosystem

- Dominant climatic factors of *Quercus mongolica* geographical distribution and their thresholds .....  
..... YIN Xiaojie, ZHOU Guangsheng, SUI Xinghua, et al ( 103 )
- Fruit diet, Selectivity and Seed dispersal of Hatinh langur (*Trachypithecus francoisi hatinhensis*) .....  
..... Nguyen Haiha, BAI Bing, LI Ning, et al ( 110 )
- The distribution of living coccolithophore in East China Sea in autumn, 2010 ..... JIN Shaofei, SUN Jun, LIU Zhiliang ( 120 )
- The association of OPRK1 gene SNP with sika deer (*Cervus nippon*) diurnal behavior traits .....  
..... LÜ Shenjin, YANG Yan, WEI Wanhong ( 132 )
- Preliminary study on bird composition and diversity in Poyang Lake watershed during non-breeding period .....  
..... SHAO Mingqin, ZENG Binbin, XU Xianzhu, et al ( 140 )
- Coexistence mechanism of two species passerines in man-made nest boxes ..... LI Le, ZHANG Lei, YIN Jiangxia, et al ( 150 )
- Dynamics on soil faunal community during the decomposition of mixed eucalypt and alder litters .....  
..... LI Yanhong, YANG Wanqin, LUO Chengde, et al ( 159 )
- RS/GIS-based integrated evaluation of the ecosystem services of the Three Gorges Reservoir area (Chongqing section) .....  
..... LI Yuechen, LIU Chunxia, MIN Jie, et al ( 168 )

### Landscape, Regional and Global Ecology

- The distribution of soil organic carbon as affected by landforms in a small watershed of gully region of the Loess Plateau .....  
..... LI Linhai, GAO Erhu, MENG Meng, et al ( 179 )
- Effects of coastal geographical characteristics on the abundance of submerged aquatic vegetation .....  
..... WU Mingli, LI Xuyong, CHEN Nianlai ( 188 )
- Analysis of soil physical properties under different vegetation types in the alluvial fan area of Manas River watershed .....  
..... CAO Guodong, CHEN Jiehua, XIA Jun, et al ( 195 )

### Resource and Industrial Ecology

- Effects of farming on wetland soil seed banks in the Sanjing Plain and wetland restoration potential .....  
..... WANG Guodong, Beth A Middleton, LÜ Xianguo, et al ( 205 )

Effects of the microhabitats on the seedling emergence during the flooding disturbance .....	
.....	AN Hongyan, XU Hailiang, YE Mao, et al (214)
Analysis on the limiting factors to further improve yield of summer maize in Heilonggang River Valley .....	
.....	XU Lina, TAO Hongbin, HUANG Shoubing, et al (222)
Fungal diversity in rhizosphere soil of medicinal plants in Heilongjiang Province .....	
.....	MU Dongyan, LÜ Guozhong, SUN Xiaodong, et al (229)
Integrated assessment of mariculture ecosystem health in Sanggou Bay .....	FU Mingzhu, PU Xinming, WANG Zongling, et al (238)
<b>Urban, Rural and Social Ecology</b>	
The integrative assessment on ecological quality status of Luoyuan Bay based on ‘OOAO principle’ .....	
.....	WU Haiyan, WU Yaojian, CHEN Keliang, et al (249)
Trophic state of seawater and ecological characteristics of phytoplankton in Sishili Bay .....	
.....	LI Bin, BAI Yanyan, XING Hongyan, et al (260)
Ecological footprint depth and size: new indicators for a 3D model .....	FANG Kai (267)
Landscape dynamics of medium- and small-sized cities in eastern and western China: a comparative study of pattern and driving forces .....	QI Yang, WU Jianguo, LI Jianlong, et al (275)
<b>Research Notes</b>	
Prediction of bacterial species richness in the South China Sea slope sediments .....	LI Tao, WANG Peng (286)
Spatial pattern of seedling regeneration of <i>Ulmus pumila</i> woodland in the Otindag Sandland .....	
.....	LIU Zhen, DONG Zhi, LI Hongli, et al (294)
Impacts on seed germination features of <i>Eupatorium adenophorum</i> from variable light stimulation and traditional dormancy-broken methods .....	JIANG Yong, LI Yanhong, WANG Wenjie, et al (302)
<b>Opinions</b>	
Discus for classification of plant association .....	XING Shaohua, YU Mengfan, YANG Lijuan, et al (310)

# 《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的生态学专业性高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 33 卷 第 1 期 (2013 年 1 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 1 (January, 2013)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933  
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元