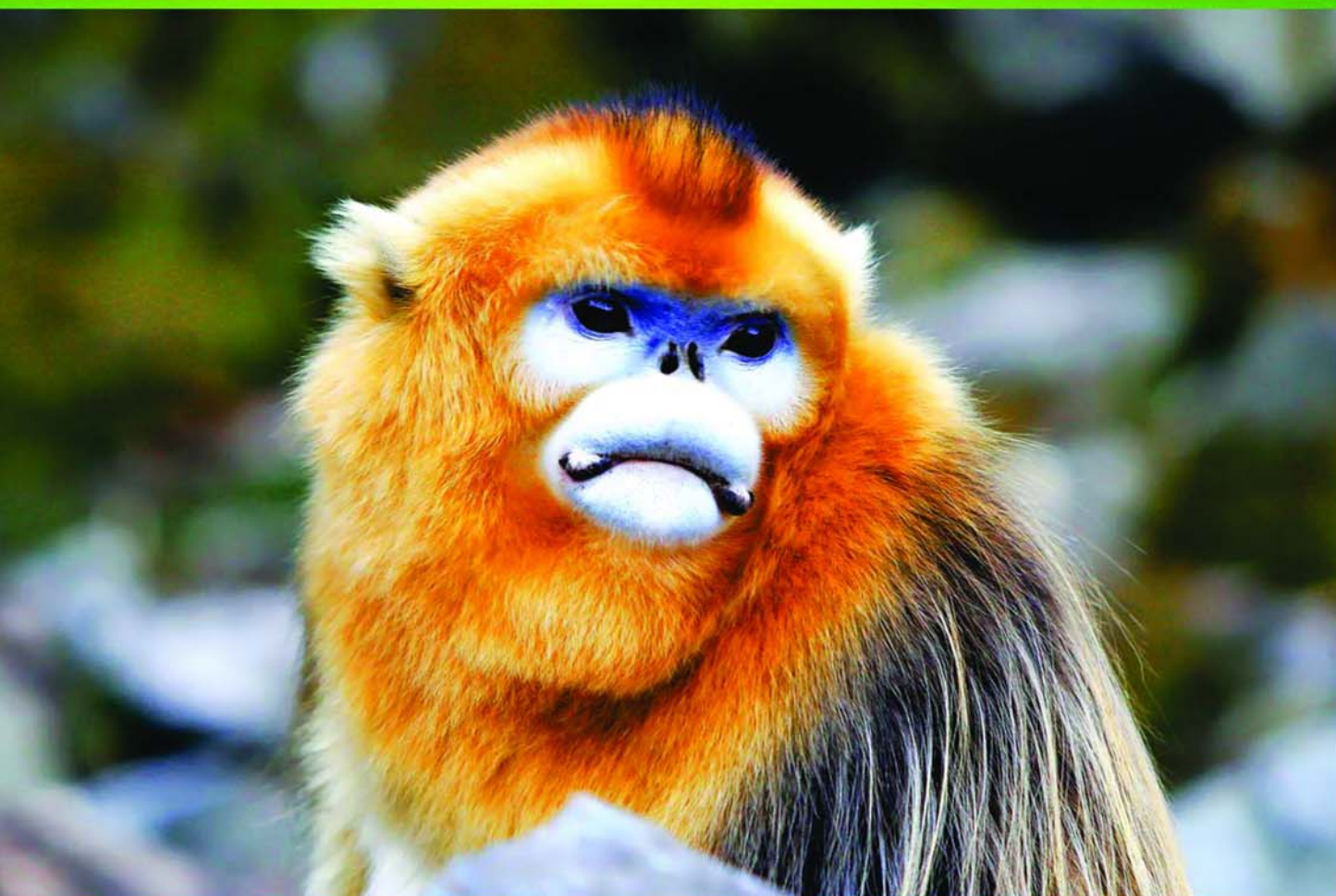


ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第32卷 第2期 Vol.32 No.2 **2012**

中国生态学学会
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 32 卷 第 2 期

2012 年 1 月 (半月刊)

目 次

北部湾秋季底层鱼类多样性和优势种数量的变动趋势	王雪辉,邱永松,杜飞雁,等 (333)
中国大陆鸟类和兽类物种多样性的空间变异	丁晶晶,刘定震,李春旺,等 (343)
粉蝶盘绒茧蜂中国和荷兰种群学习行为及 EAG 反应的比较	王国红,刘 勇,戈 峰,等 (351)
君主绢蝶的生物学及生境需求	方健惠,骆有庆,牛 犇,等 (361)
西南大西洋阿根廷滑柔鱼生物学年间比较	方 舟,陆化杰,陈新军,等 (371)
城市溪流中径流式低坝对底栖动物群落结构的影响	韩鸣花,海燕,周 斌,等 (380)
沉积再悬浮颗粒物对马氏珠母贝摄食生理影响的室内模拟	栗志民,申玉春,余南涛,等 (386)
太平洋中西部海域浮游植物营养盐的潜在限制	徐燕青,陈建芳,高生泉,等 (394)
几株赤潮甲藻的摄食能力	张清春,于仁成,宋静静,等 (402)
高摄食压力下球形棕囊藻凝聚体的形成	王小冬,王 艳 (414)
大型绿藻浒苔藻段及组织块的生长和发育特征	张必新,王建柱,王乙富,等 (421)
链状亚历山大藻生长衰亡相关基因的筛选	仲 洁,隋正红,王春燕,等 (431)
太湖春季水体固有光学特性及其对遥感反射率变化的影响	刘忠华,李云梅,吕 恒,等 (438)
程海富营养化机理的神经网络模拟及响应情景分析	邹 锐,董云仙,张祯祯,等 (448)
沙质海岸灌化黑松对蛀食胁迫的补偿性响应	周 振,李传荣,许景伟,等 (457)
泽陆蛙和饰纹蛙蝌蚪不同热驯化下选择体温和热耐受性	施林强,赵丽华,马小浩,等 (465)
麦蚜和寄生蜂对农业景观格局的响应及其关键景观因子分析	赵紫华,王 颖,贺达汉,等 (472)
镉胁迫对芥蓝根系质膜过氧化及 ATPase 活性的影响	郑爱珍 (483)
生姜水浸液对生姜幼苗根际土壤酶活性、微生物群落结构及土壤养分的影响	韩春梅,李春龙,叶少平,等 (489)
九州虫草菌丝体对 Mn 的耐性及富集	罗 毅,程显好,张聪聪,等 (499)
土霉素暴露对小麦根际抗生素抗性细菌及土壤酶活性的影响	张 昊,张利兰,王 佳,等 (508)
氮沉降对杉木人工林土壤有机碳矿化和土壤酶活性的影响	沈芳芳,袁颖红,樊后保,等 (517)
火炬树雌雄母株克隆生长差异及其光合荧光日变化	张明如,温国胜,张 瑾,等 (528)
湖南乌云界自然保护区典型生态系统的土壤持水性能	潘春翔,李裕元,彭 亿,等 (538)
祁连山东段高寒地区土地利用方式对土壤性状的影响	赵锦梅,张德罡,刘长仲,等 (548)
沙质草地生境中大型土壤动物对土地沙漠化的响应	刘任涛,赵哈林 (557)
腾格里沙漠东南缘可培养微生物群落数量与结构特征	张 威,章高森,刘光琇,等 (567)
塔克拉玛干沙漠南缘玉米对不同荒漠化环境的生理生态响应	李 磊,李向义,林丽莎,等 (578)
内蒙古锡林河流域羊草草原 15 种植物热值特征	高 凯,谢中兵,徐苏铁,等 (588)
不同密度条件下芨芨草空间格局对环境胁迫的响应	张明娟,刘茂松,徐 驰,等 (595)
环境因子对巴山冷杉-糙皮桦混交林物种分布及多样性的影响	任学敏,杨改河,王得祥,等 (605)
海藻酸铈配合物对毒死蜱胁迫下菠菜叶片抗坏血酸-谷胱甘肽循环的影响	栾 霞,陈振德,汪东风,等 (614)
城市化进程中城市热岛景观格局演变的时空特征——以厦门市为例	黄聚聪,赵小锋,唐立娜,等 (622)
基于遥感和 GIS 的川西绿被时空变化研究	杨存建,赵梓健,任小兰,等 (632)
亚热带城乡复合系统 BVOC 排放清单——以台州地区为例	常 杰,任 远,史 琰,等 (641)
研究简报	
不同水分条件下毛茛苔草枯落物分解及营养动态	侯翠翠,宋长春,李英臣,等 (650)
大山雀对巢箱颜色的识别和繁殖功效	张克勤,邓秋香,Justin Liu,等 (659)
期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 330 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 37 * 2012-01	



封面图说: 雄视——中国的金丝猴有川、黔、滇金丝猴三种,此外还有越南和缅甸金丝猴两种。金丝猴是典型的森林树栖动物,常年栖居于海拔 1500—3300m 的亚热带山地、亚高山针叶林、针阔叶混交林,常绿落叶阔叶混交林中,随着季节的变化,只在栖息的生境中作垂直移动。川金丝猴身上长着柔软金色长毛,十分漂亮。个体大,嘴角处有瘤状突起的是雄性金丝猴的特征。川金丝猴只分布在中国的四川、甘肃、陕西和湖北省。属国家一级重点保护、CITES 附录一物种。

彩图提供: 陈建伟教授 国家林业局 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201012021717

高凯, 谢中兵, 徐苏铁, 韩国栋. 内蒙古锡林河流域羊草草原 15 种植物热值特征. 生态学报, 2012, 32(2): 0588-0594.

Gao K, Xie Z B, Xu S T, Han G D. Characterization of caloric value in fifteen plant species in *Leymus chinensis* steppe in Xilin River Basin, Inner Mongolia. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(2): 0588-0594.

内蒙古锡林河流域羊草草原 15 种植物热值特征

高 凯^{1,2,3}, 谢中兵², 徐苏铁², 韩国栋^{1,*}

(1. 内蒙古农业大学生态环境学院, 呼和浩特 010018, 2. 中国科学院植物研究所, 北京 100093,

3. 内蒙古民族大学农学院, 通辽 028043)

摘要:通过对生物量约占羊草草原生物量 80% 的 15 种主要野生植物地上植株进行分种取样, 测定其热值(美国 PARR6300 型氧弹式热量计进行热值测定)、灰分(干灰化法测定)、矿质元素(iCAP6000 型电感耦合等离子体发射光谱仪测定)同时对各项指标的相关性进行分析来探讨内蒙古锡林河流域羊草草原主要植物作为生物燃料供给料的潜力及植物热值对灰分和矿质元素含量的响应情况。结果表明:15 种野生植物热值范围为 16.19 MJ/kg(木地肤)到 20.99 MJ/kg(小叶锦鸡儿), 15 种植物热值平均值为 18.76 MJ/kg, 该值高于全世界陆生植物平均热值。15 种植物热值高低顺序为:小叶锦鸡儿>早熟禾>大针茅>冰草>羽茅>羊草>中华隐子草>变蒿>芨芨草>菊叶萎陵菜>大籽蒿>冷蒿>狗尾草>银灰旋复花>木地肤。15 种野生植物灰分范围 20.25% (银灰旋复花)到 3.62% (芨芨草), 15 种植物灰分含量存在显著差异($P < 0.05$), 其高低顺序为银灰旋复花>木地肤>冷蒿>大籽蒿>菊叶萎陵菜>狗尾草>冰草>羊草>早熟禾>中华隐子草>变蒿>羽茅>小叶锦鸡儿>大针茅>芨芨草。Pearson's 相关分析表明热值与灰分之间存在极显著负相关关系($P < 0.01$), 热值和碳之间存在极显著正相关关系($P < 0.01$), 矿质元素与热值之间没有一致的相关关系。内蒙古羊草草原植物热值普遍高于能源植物柳枝稷的热值, 这也说明该地区植物具有作为能源植物的潜力。

关键词:热值; 灰分; 碳; 氮; 矿质元素; 温带草原

Characterization of caloric value in fifteen plant species in *Leymus chinensis* steppe in Xilin River Basin, Inner Mongolia

GAO Kai^{1,2,3}, XIE Zhongbing², XU Sutie², HAN Guodong^{1,*}

1 College of Ecology and Environmental Science, Inner Mongolia Agricultural University, Huhhot 010018, China

2 Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China

3 Inner Mongolia University for Nationalities, Tongliao 028043, China

Abstract: Grasslands have been recognized as important source of biomass for biofuel production recently. In this study, our objective was to assess the potential supply of biofuel production of main plants in *Leymus chinensis* steppe in Xilin River Basin, Inner Mongolia. And we also wanted to understand how will the caloric value respond to ash content and other mineral elements composition. We charaterizing their correlations. We determined the caloric value (Testing by the Parr6300 calorimeter produced by U. S), ash content (Testing by the quick determination method), concentrations of carbon (Testing by the $K_2Cr_2O_7-H_2SO_4$ oxidation method), nitrogen (Testing by the Kjeldahl procedure) and mineral nelements (Testing by Microwave Digestion-ICP) of fifteen native plant species. These tested species, which were selected in August 2009, are most commonly found in *Leymus chinensis* steppe and account for more than 80% of totoal community

基金项目:中国科学院院知识创新工程重要方向项目(KSCX2-YW-G-036); 内蒙古民族大学创新团队资助和科技部科技支撑项目(2008BAD95B03)

收稿日期:2010-12-02; 修订日期:2011-05-20

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: grasslandkeylab@gmail.com

biomass. The results showed that the variables determined varied among the fifteen species to different extent. The caloric value ranged from 16.19 MJ/kg in *Kochia prostrata* to 20.99 MJ/kg in *Caragana microphylla*, with a mean value of 18.76 MJ/kg which is greater than that of worldwide terrestrial plants. And the rank ordering of the fifteen species was *Caragana microphylla* Lam > *Poa annua* L. > *Stipa baicalensis* Roshev > *Agropyron cristatum* L. > *Achnatherum sibiricum* L. > *Aneurolepidium chinense* Kitag > *Cleistogenes squarrosa* Keng. > *Artemisia commutata* L. > *Achnatherum splendens* Nevski > *Potentilla tanacetifolia* Willd > *Artemisia sievrsiana* willd > *Artemisia frigida* Willd > *Setaria viridis* L. > *Convolvulus ammannii* L. > *Kochia prostrata* L. The ash, which ranged from 3.26% in *Achnatherum splendens* Nevski to 20.25% in *Convolvulus ammannii* L., indicated significantly difference at level 0.05 among the fifteen species. And the number of fifteen species was *Convolvulus ammannii* L. > *Kochia prostrata* L. > *Artemisia frigida* Willd > *Artemisia sievrsiana* willd > *Potentilla tanacetifolia* Willd > *Setaria viridis* L. > *Agropyron cristatum* L. > *Aneurolepidium chinense* Kitag > *Poa annua* L. > *Cleistogenes squarrosa* Keng > *Artemisia commutata* L. > *Achnatherum sibiricum* L. > *Caragana microphylla* Lam > *Stipa baicalensis* Roshev > *Achnatherum splendens* Nevski. Calorica value of leguminous plants (*Caragana microphylla* Lam) was higher than perennial gramineous plants (*Caragana microphylla* Lam, *Poa annua* L., *Stipa baicalensis* Roshev, *Agropyron cristatum* L, *Achnatherum sibiricum* L., *Cleistogenes squarrosa* Keng), and the caloric value of *Kochia prostrata* L. was the lowest. Pearson's correlation analyses revealed a negatively significant correlation between caloric value and ash content ($P < 0.01$), while a positively significant correlation btween caloric value and carbon concentration ($P < 0.01$). However, there were no consistent relationships found between caloric value and concentrations of mineral elements. The greater caloric value of the steppe grasses showed in this study, compared with that of switchgrass which is one of most promising biofuel crops, indicates provides an evedent that the grassland has a potential for bioenergy production, especially leguminous plants and perennial gramineous plants. Such as *Caragana microphylla* Lam, *Poa annua* L., *Stipa baicalensis* Roshev, *Agropyron cristatum* L, *Achnatherum sibiricum* L, *Cleistogenes squarrosa* Keng and so on.

Key Words: caloric value; ash; C; N; mineral element; temperate steppe

热值是指单位质量干物质完全燃烧所释放的热量,是评价绿色植物光合作用固定日光能的能力和评价植物营养价值高低的重要指标之一。同时热值与植物干物质结合是评价生态系统初级生产力的重要内容,因此在生态系统的研究过程中热值是必不可少的参数之一,同时也是生物质能源供给料潜力分析的重要参考指标^[1]。

关于热值的研究国外于 20 世纪 30 年代便有相关报道。其中 Long 首次对向日葵不同位置叶片的热值进行了测定,阐明了叶片着生位置对热值的影响^[2]。后来,热值的测定逐渐应用到了生物个体、种群和群落等不同组织水平的研究上^[3-6],反映在生态系统中不同物质的热值及其变化机制以及生态过程中能量模型的研究^[2],例如:湖泊生态系统能量流动、植物个体的能量变化以及森林草原生态系统能量流动循环^[7-11]。而国内关于热值的研究直到 20 世纪 70 年代末才有相关报道,如杨福囤等对草甸常见植物热值的报道^[12]。在此之后学者们分别对东北和内蒙古两地的羊草草原主要植物及群落的热值进行了大量研究,包括草原植物地上、地下热值特征及其动态变化^[1,13-17]。这些研究发现植物物种、组织器官、养分含量、物候期等植物内在因素与日照时数、土壤类型、光强等外在因素均是影响热值的重要因素^[18]。鲍雅静发现羊草草原中不同物种热值之间存在显著差异,其中小叶锦鸡儿(*Caragana microphylla*)的热值最高,多年生禾草类植物的热值多数较高,而大多数杂类草的热值相对较低,同时不同种群的植物地上部分热值随着物候期的变化而变化,其变化规律与植物群落自身的生物学特性有关^[1];郭继勋等对东北羊草热值研究发现不同植株器官热值的动态变化呈现出不同的变化规律,其中羊草完整植株热值的最大值出现在 7 月份,茎热值的最大值出现在 5 月初^[19];郭继勋等通过在科水平上热值的比较研究发现,菊科、豆科和禾本科植物全株平均热值无显著差异,但是豆科植物根热值要高于禾本科和菊科^[16]。

在生物质能源供给料选择过程中,灰分和矿质元素也是重要的考核指标。其中灰分含量对原材料产热量具有重要影响,已有研究表明灰分含量每升高 1%,其热值约降低 0.2 MJ/kg^[20]。由生物质原材料到生物燃料(生物乙醇或生物柴油)的转化过程中,需要经过一系列的热化学反应。在热化学转化过程中植物材料中所含的矿质元素,尤其是碱金属(钾、钠、铝等)在高温燃烧情况下,会产生大量的废渣以及大量的腐蚀性物质,导致生物能源物质转化率下降,其中的大量腐蚀性物质会对转化设备造成破坏,从而增加转化成本^[21-24]。因此在生物质能源供给料及其潜力的研究过程中,植物矿质元素含量的研究是必不可少的。

当前对羊草草原植物热值的研究,主要集中在影响植物热值的环境因素、植株部位、及动态变化等方面。而对植物热值、灰分和矿质元素及其相互关系等方面的研究却很少,尤其是关于植物热值与矿质元素之间的相关关系的研究更是少之甚少。基于此基础上,本文通过对内蒙古羊草草原优势植物热值、灰分、碳、氮及部分矿质元素含量的测定,研究植物种类、灰分、碳、氮和矿质元素对植物热值的影响及其相关性,这样既丰富了国内关于羊草草原优势植物热值与矿质元素之间相关性的研究内容,也为进一步从内蒙古羊草草原选择生物能源植物提供参考,同时也对植物热值及能量生态学的研究提供有益的补充。

1 研究区自然概况与研究方法

1.1 自然概况

研究地点位于内蒙古锡林郭勒盟白音锡勒牧场境内的中国科学院内蒙古草原生态系统定位站羊草样地(1979 年围封至今),地理位置为北纬 43° 26'—44° 08',东经 116° 04'—117° 05',海拔 1200 m 左右,属温带草原区典型草原栗钙土亚区。气候属中温带半干旱草原气候,冬季受蒙古高压控制,寒冷干燥,夏季受海洋性季风的影响,较为温和湿润。3—5 月份常有大风,月平均风速达 4.9 m/s。年均温为 0.6 °C,1 月和 7 月份平均气温分别为 -21.3 °C 和 18.6 °C,无霜期 91 d。草原植物生长期约 150 d。多年平均降水量约为 350 mm,其中 5—9 月份的降水量占年降水量的 86%。

以羊草为主要建群种的羊草-大针茅草原群落,是本地区典型草原的主要群落类型之一。羊草群落的植物种约 86 种(常见者约 45 种),分属于 28 科,67 属^[25]。其中广旱生根茎禾草羊草(*Aneurolepidium chinense* Kitag)外,大针茅(*Stipa baicalensis* Roshev)、羽茅(*Achnatherum sibiricum* L.)和冰草(*Agropyron cristatum* L.)等旱生密丛禾草构成群落的主体,占群落生物量的 60% 以上。

1.2 植物样品采集及测定方法

1.2.1 取样方法

在羊草样地内选取地形和植物群落组成一致的地段,于 2009 年 8 月分别选择多年生禾草(羊草(*Aneurolepidium chinense* Kitag),冰草(*Agropyron cristatum* L.),大针茅(*Stipa baicalensis* Roshev),羽茅(*Achnatherum sibiricum* L.),中华隐子草(*Cleistogenes squarrosa* Keng.),芨芨草(*Achnatherum splendens* Nevski),早熟禾(*Poa annua* L.)),灌木(小叶锦鸡儿(*Caragana microphylla* Lam)),半灌木(冷蒿(*Artemisia frigida* Willd),木地肤(*Kochia prostrata* L.)),杂类草(菊叶萎陵菜(*Potentilla tanacetifolia* Willd),大籽蒿(*Artemisia sieversiana* Willd),变蒿(*Artemisia commutata* L.),银灰旋复花(*Convolvulus ammannii* L)和狗尾草(*Setaria viridis* L))等 15 种常见植物,分物种齐地面剪取植物地上部分作为测试样品,每种植物 5 次重复,任何两次重复之间的距离不低于 30 m。

1.2.2 室内分析

将上述所采集的植物样品用 70 °C 的烘箱烘干至恒重、粉碎、混匀。用美国 PARR 公司生产的 PARR6300 型氧弹式热量计进行热值测定;灰分含量的测定用干灰化法,即将样品在马福炉 550 °C 下灰化 5 h 后测定其灰分含量;全碳用 $K_2Cr_2O_7$ - H_2SO_4 氧化法测定;全氮采用开氏定氮法进行测定^[26];矿质元素利用美国 Thermo 公司生产 iCAP6000 型号的电感耦合等离子体发射光谱仪测定。

1.3 数据处理

采用 SAS 8.0 软件对数据热值、灰分及矿质元素含量进行一般线性相关分析,同时对不同野生植物热值

及灰分含量进行单因素方差分析。

2 结果与分析

2.1 不同植物的热值

表 1 给出了所调查的 15 种羊草草原植物热值,这些草原植物的平均热值为 18.76 MJ/kg,以小叶锦鸡儿的热值最高(20.99 MJ/kg),早熟禾和大针茅次之,3 种植物的热值均高于 20.00 MJ/kg,而木地肤热值最低(16.19 MJ/kg)。15 种羊草草原植物热值高低顺序为:小叶锦鸡儿>早熟禾>大针茅>冰草>羽茅>羊草>中华隐子草>变蒿>芨芨草>菊叶萎陵菜>大籽蒿>冷蒿>狗尾草>银灰旋复花>木地肤。

通过单因素方差分析表明大针茅、冰草、羽茅、羊草和中华隐子草等多年生禾草的热值也显著高于其它各种植物($P < 0.05$),表明在内蒙古羊草草原中小叶锦鸡儿和多年生禾本科植物属于高能植物。木地肤和冷蒿,其热值则低于灌木(小叶锦鸡儿)和其它多年生草本植物(早熟禾、大针茅、冰草、羽茅、羊草、中华隐子草、芨芨草),各种杂类草热值(变蒿、菊叶萎陵菜、大籽蒿)也低于灌木(小叶锦鸡儿)和多年生禾本科植物(早熟禾、大针茅、冰草、羽茅、羊草、中华隐子草、芨芨草)(表 1)。

表 1 内蒙古羊草草原 15 种植物热值和灰分含量

Table 1 Caloric value and ash content of the 15 plant species in *Leymus chinensis* steppe in Inner Mongolia, China

植物 Vegetation	热值 Caloric value/(MJ/kg)	灰分含量 Ash content/%
小叶锦鸡儿 <i>Caragana microphylla</i> Lam	20.99 ± 0.83 A	5.37 ± 0.02 I
早熟禾 <i>Poa annua</i> L.	20.93 ± 0.02 A	5.04 ± 0.05 J
大针茅 <i>Stipa baicalensis</i> Roshev	20.08 ± 0.04 A	4.93 ± 0.16 K
冰草 <i>Agropyron cristatum</i> L.	19.50 ± 0.15 B	7.26 ± 0.51 F
羽茅 <i>Achnatherum sibiricum</i> L.	19.41 ± 0.04 C	6.21 ± 1.84 H
羊草 <i>Aneurolepidium chinense</i> Kitag	18.85 ± 0.11 C	6.73 ± 0.59 G
中华隐子草 <i>Cleistogenes squarrosa</i> Keng.	18.60 ± 0.70 D	6.62 ± 0.33 G
变蒿 <i>Artemisia commutata</i> L.	18.59 ± 0.04 D	6.43 ± 0.07 G
芨芨草 <i>Achnatherum splendens</i> Nevski	18.45 ± 0.12 D	3.62 ± 1.71 L
菊叶萎陵菜 <i>Potentilla tanacetifolia</i> Willd	18.29 ± 0.11 D	8.57 ± 0.12 E
大籽蒿 <i>Artemisia sieversiana</i> Willd	17.96 ± 0.31 E	10.18 ± 2.33 D
冷蒿 <i>Artemisia sieversiana</i> Willd	17.88 ± 0.14 E	13.60 ± 0.86 C
狗尾草 <i>Setaria viridis</i> L.	17.42 ± 1.49 F	7.97 ± 0.20 F
银灰旋复花 <i>Convolvulus ammannii</i> L.	16.38 ± 2.24 F	20.25 ± 1.57 A
木地肤 <i>Kochia prostrate</i> L.	16.19 ± 0.15 G	16.28 ± 1.20 B
平均值 Average	18.76 ± 0.43	

数值为平均值±标准差;不同字母表示在 $P < 0.05$ 水平上差异显著

2.2 灰分含量

羊草草原 15 种主要植物灰分含量特征见表 1。不同种植物之间灰分含量存在显著差异($P < 0.05$),其高低顺序为银灰旋复花>木地肤>冷蒿>大籽蒿>菊叶萎陵菜>狗尾草>冰草>羊草>早熟禾>中华隐子草>变蒿>羽茅>小叶锦鸡儿>大针茅>芨芨草。其中银灰旋复花灰分含量最高,多年生禾本科植物灰分含量显著低于其它各种植物($P < 0.05$)。

2.3 相关性分析

植物的热值与灰分、铝、钙、钾、镁之间表现出负相关关系(表 2),其中与灰分含量之间表现出极显著的负相关关系($P < 0.01$),与镁之间表现为显著负相关关系($P < 0.05$);热值与碳之间表现为显著的正相关关系($P < 0.05$),与硅之间也表现出较高的正相关关系(0.428),与氮、磷、钠、硫之间也表现为正相关但均不显著;灰分与碳、硅之间表现为负相关关系,其中与碳之间表现为显著负相关关系($P < 0.05$),灰分与氮及其它元素之间表现为正相关关系,尤其与金属元素(铝、钙、钾)之间表现为极显著正相关关系($P < 0.01$),与镁之间表现为显著正相关关系,与氮、钠、磷之间表现为正相关关系,但关系不显著;其他元素之间相关性分析可以看出,碳与钾、铝和钙、钠和磷之间表现出显著的正相关关系($P < 0.05$)。

表 2 羊草草原植物热值与灰分碳和化学元素含量之间相关关系分析

Table 2 Pearson's correlation coefficients among caloric value, ash content and concentrations of chemical elements in the plants of *Leymus chinensis* steppe

	热值 Caloric	灰分 Ash	碳 C	氮 N	铝 Al	钙 Ca	钾 K	镁 Mg	钠 Na	磷 P	硫 S	硅 Si
热值 Caloric	1											
灰分 Ash	0.287	1										
碳 C	-0.593 **	-0.488 *	1									
氮 N	0.542 *	0.370	-0.014	1								
铝 Al	-0.438	0.836 **	0.185	-0.399	1							
钙 Ca	-0.345	0.657 **	0.180	-0.400	0.457 *	1						
钾 K	-0.243	0.623 **	0.607 **	-0.098	0.316	0.304	1					
镁 Mg	-0.460 *	0.484 *	0.203	-0.626 **	0.343	0.455	0.344	1				
钠 Na	0.078	0.073	-0.146	0.185	-0.068	0.242	0.113	-0.149	1			
磷 P	0.352	0.012	0.272	0.260	-0.113	-0.047	0.280	-0.123	0.682 **	1		
硫 S	0.050	0.549 *	0.830 **	-0.228	0.317	0.203	0.629 **	0.265	0.014	0.437	1	
硅 Si	0.428	-0.195	0.277	0.344	-0.267	-0.443	0.130	-0.193	0.368	0.678 **	0.363	1

* 表示差异显著 ($P < 0.05$); ** 表示差异极显著 ($P < 0.01$)

3 讨论

绿色植物通过光合作用将日光能转化为化学能贮藏于植物体内,这种潜在的化学能以植物热值的高低来表示,因此利用能量的概念研究植物对自然资源的利用情况要比单一干物质测定更为准确^[27]。热值作为植物的重要属性之一,具有相对的稳定性。但是植物热值仍然随着不同的植物种类、不同的植物器官、不同的生境条件和气候条件、不同的植物物候变化和不同生存空间等外在因素表现出不同的变化规律,同时植物组成物质成分、灰分含量等内在因素对植物热值也具有一定的影响^[18]。不同生活型植物热值大小顺序通常为:乔木>灌木>多年生草本>1年生草本^[28-29],研究结果也支持这一规律;郭继勋等对东北羊草草甸的55种植物热值的研究过程中,发现羊草草甸中高热值植物约占20%,中热植物占58.18%,低热值植物占21.82%,55种植物全株平均热值为17.9495 MJ/kg,并且同属植物中的不同种植物间也存在差异,同时菊科、禾本科和豆科3大科植物全株平均热值无明显差异^[16];本研究对内蒙古羊草草原主要植物热值的分析表明:灌木小叶锦鸡儿的热值最高,禾草类植物的热值多数较高,而大多数杂类草的热值相对较低,和已有的调查数据相吻合^[1]。内蒙古羊草草原15种野生植物热值和灰分含量的差异性,表明植物种类是植物热值和灰分含量的重要影响因素之一。其中灌木小叶锦鸡儿(20.99 MJ/kg)的热值要高于半灌木(木地肤、冷蒿)和草本植物(羊草、针茅等),而在草本植物中早熟禾、羊草、针茅等多年生禾本科植物热值要高于其它杂类草(变蒿、大籽蒿等),其中半灌木(冷蒿和木地肤)热值要低于多年生禾本科植物。小叶锦鸡儿作为灌木在已有的报道和本研究中热值均高于羊草草原中的其他植物,其主要原因可能是小叶锦鸡儿木质化程度要高于其它植物,而木质化程度高促使植物体内具有较高的C含量。而C是植物体内参与燃烧的主要元素,从而提高了植物的热值。物种之间的热值存在差异,其主要原因为植物种类不同,从而决定了其本身生态学特性和遗传特性的不同,使其具有不同的生长发育节律和对环境的同化能力,从而反映到植物热值含量的差异。然而灰分含量的变化恰恰与热值变化表现出相反的趋势,之所以出现这种相反的变化趋势,从灰分的组成就不难找到原因,植物体内灰分主要是不能够参与燃烧的各种矿质元素(钙、镁等)组成^[30],这样植物体内灰分含量越高,表明植物体内不能参与燃烧的矿质元素越多,从而影响植物体燃烧所释放的热量,最终反映到植物热值的高低。当然并不是所有的研究都表明灰分与热值呈现出相反的变化趋势,其中有学者通过对不同生育期的水稻叶片热值和灰分含量的研究得出热值和灰分含量之间并无相关性的结论。其原因如下:首先因为除灰分外,热值还决定于其他物质组分;其次不同生育期叶片的矿质元素含量不同且矿质元素所处状态不同,使灰分含量并不能精确代表矿质元素含量,也就不能准确反映组织热值的变化;另外,灰分的生成有时也伴随着一定的能量放出^[31]。

热值除了作为植物重要属性,其还是选择和评价生物能源供给料质量的重要参考标准之一。本文所测定

内蒙古羊草草原优势植物中,小叶锦鸡儿、早熟禾、大针茅、冰草和羽茅其热值均高于 19.40 MJ/kg,这个热值接近于中国海南热带植物平均热值(19.4584 MJ/kg)^[28];而与当前常用的生物质能源供给原料热值相比(如:玉米秸秆(16.64 ± 0.38) MJ/kg,花生壳(18.62±0.21) MJ/kg,柳枝稷 18.69 MJ/kg,藜草 17.71 MJ/kg,王草 17.68 MJ/kg)^[32-33],小叶锦鸡儿和多年生禾本科植物均属于高能植物;与世界陆生植物平均热值 17.78 MJ/kg^[16]相比,所测定的内蒙古羊草草原 15 种野生植物平均热值为 18.76 MJ/kg,其中有 11 种植物热值高于这个平均水平,小叶锦鸡儿热值比平均水平高出 18%,多年生禾草热值比平均值高出 4%—17%。这些都充分的表明内蒙古羊草草原植物在一定意义上具有成为生物质能源的潜力,尤其是灌木和多年生禾本科植物。

碳、氮、灰分和矿质元素作为影响植物热值的内在因素^[18],研究主要集中在碳、氮和灰分这 3 个因素对热值的影响^[13,29]上,而关于矿质元素对灰分的影响研究的却相对较少,有学者对天津海滨盐渍土中几种植物的热值和部分矿质元素相关关系进行探讨,发现植物热值与 Na、Mg、Cl 含量呈极显著的负相关关系($P < 0.01$)、与 Ca 含量呈显著负相关关系($P < 0.05$)^[33]。而本文通过分析植物的热值和矿质元素相关性,也发现类似的结论,其金属元素(钙、钾、镁、铝)与热值之间表现为负相关关系,出现这种相关性的原因可能是由于金属元素无法参与燃烧释放热量,同时金属元素所占比例将直接影响植物含碳量,并且一部分金属元素还与碳形成化合物,使其无法参与燃烧,从而影响到参与燃烧过程的碳总量,进而影响热值;碳作为碳水化合物的主要组成成分和植物化学组成的框架物质,同时也是植物燃烧的主要参与者,其含量的多少将直接影响植物热值,通过相关性分析也可以看出植物含碳量与热值之间表现出极显著的正相关关系;氮作为蛋白质的主要过程元素,蛋白质又是主要有碳、氮、氢、氧四种元素构成,因此碳、氮之间存在一定的正相关关系,同时植物燃烧过程中蛋白质也参加燃烧,因此氮含量的多少也会间接的对植物热值产生影响,本试验的相关性分析也表明了植物氮的含量与植物热值之间表现出显著的正相关关系。在热值与氮之间的相关性研究中,有学者通过测定水稻叶片生育期的氮含量和热值,讨论二者之间的相关性,其结论为总体上二者之间并无相关关系,出现这种差异的主要原因可能是叶片氮素对热值的影响受到叶片所处生育期以及氮素在叶片组织中存在的状态和氮素含量的变化导致其他物质组成发生变化,从而导致叶片热值和叶片氮素含量之间不存在相关性,但是其在叶片碳素和热值之间相关性研究得出了叶片碳素和热值之间存在极显著正相关关系($P < 0.01$)^[31],该结论与本实验热值与碳素之间相关关系结论一致。

4 结论

内蒙古羊草草原 15 种野生植物热值范围为 16.19 MJ/kg(木地肤)到 20.99 MJ/kg(小叶锦鸡儿),15 种植物热值平均值为 18.76 MJ/kg;植物种类是植物热值和灰分含量的重要影响因素之一;热值与灰分之间存在极显著负相关关系($P < 0.01$),热值和碳之间存在极显著正相关关系($P < 0.01$),矿质元素与热值之间没有一致的相关关系。

References:

- [1] Bao Y J, Li Z H. Dynamics of caloric values of major plant species in *Leymus chinensis* steppe of Inner Mongolia. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23 (3): 606-613.
- [2] Long F L. Application of calorimetric methods to ecological research. *Plant Physiology*, 1934, 9(2): 323-337.
- [3] Bliss L C. Caloric and lipid content in alpine tundra plants. *Ecology*, 1962, 43(4): 753-757.
- [4] Golley F B. Energy values of ecological materials. *Ecology*, 1961, 42(3): 581-584.
- [5] James T D W, Smith D W. Seasonal changes in the caloric values of the leaves and twigs of *Papulus remuloides*. *Canadian Journal of Botany*, 1978, 56: 1804-1805.
- [6] Singh A K, Misra K N, Ambash R S. Energy dynamics in a savanna ecosystem in India. *Japanese Journal of Ecology*, 1980, 30(4): 295-305.
- [7] Lindeman R L. The trophic-dynamic aspect of ecology. *Ecology*, 1942, 23(4): 399-417.
- [8] Madgwick H A I. Caloric values of *Pinus virginiana* as affected by time of sampling, tree age and position in stand. *Ecology*, 1970, 51(6): 1094-1097.
- [9] Lemenih M, Bekele T. Effect of age on calorific value and some mechanical properties of three *Eucalyptus* species grown in Ethiopia. *Biomass and Bioenergy*, 2004, 27(3): 223-232.
- [10] Miller P M, Eddleman L E, Kramer S. Allocation patterns of carbon and minerals in juvenile and small-adult *Juniperus occidentalis*. *Forest Science*, 1990, 36(3): 734-747.

- [11] Williams K, Percival F, Merino J, Mooney H A. Estimation of tissue construction cost from heat of combustion and organic nitrogen content. *Plant, Cell and Environment*, 1987, 10(9): 725-734.
- [12] Yang F T, He H J. A preliminary study on caloric values of common plants in alpine meadow. *Acta Phytocologica Sinica*, 1983, 7(4): 280-288.
- [13] Guo S L, Huang H, Chao K. On caloric values and ash contents of ten weed species in Jinhua suburb and its adaptive significances. *Bulletin of Botanical Research*, 2005, 25(4): 460-464.
- [14] Jiu Q J, Wang B S, Wang Y J. Energy situation of *Sonneratia apetala* — *S. caseloris* forest in Futian of Shenzhen. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(2): 170-174.
- [15] Zu Y G, Zhu T C. The stability analysis and energy flow through *Leymus chinensis* population. *Acta Botanica Sinica*, 1987, 29(1): 95-103.
- [16] Guo J X, Wang R D, Bao G Z. Caloric value of northeast *Aneurolepidium chinense* grassland species. *Acta Phytocologica Sinica*, 2001, 25(6): 746-750.
- [17] Wang W, Liu Z L. Study on the calorific value dynamics of aboveground parts of *Aneurolepidium chinense* stipa grandis community and its sixteen populations. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 1993, (2): 60-76.
- [18] Ren H, Peng S L. The characteristics of ecological energetics of the forest ecosystem in the successional process in Dinghushan, Guangdong, China. *Acta Ecologica Sinica*, 1999, 19(6): 817-822.
- [19] Guo J X, Wang R D. Calorific value and energy character of dominant *Leymus chinensis* in Northeast grassland. *Acta Pratacultural Science*, 2000, 9(4): 28-32.
- [20] Cassida K A, Muir J P, Hussey M A, Read J C, Venuto B C, Ocumpaugh W R. Biofuel component concentrations and yields of switchgrass in South central U. S. environments. *Crop Science*, 2005, 45(2): 682-692.
- [21] Obernberger I, Biedermann F, Widmann W, Riedl R. Concentrations of inorganic elements in biomass fuels and recovery in the different ash fractions. *Biomass and Bioenergy*, 1997, 12(3): 211-224.
- [22] Stone K C, Hunt P G, Cantrell K B, Ro K S. The potential impacts of biomass feedstock production on water resource availability. *Bioresource Technology*, 2001, 101(6): 2014-2025.
- [23] Laser M, Larson E, Dale B, Wang M. Comparative analysis of efficiency, environmental impact, and process economics for mature biomass refining scenarios. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining-Biofr*, 2009, 3(2): 247-270.
- [24] Thompson D N, Shaw P G, Lacey J A. Post-harvest processing methods for reduction of silica and alkali metals in wheat straw. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 2003, 105(1/3): 205-218.
- [25] Jiang S. An introduction on the Inner Mongolia grassland ecosystem research station// Academia Sinica. *Research on Grassland Ecosystem*. Beijing: Science Press, 1985, 1: 1-10.
- [26] Bao S D. *Soil Analysis in Agricultural Chemistry*. Beijing: China Agriculture Press, 2000: 146-163.
- [27] Jordan C F. Productivity of a tropical forest and its relation to a world pattern of energy storage. *Journal of Ecology*, 1971, 59(1): 127-142.
- [28] Lin H, Cao M. Plant energy storage strategy and caloric value. *Ecological Modelling*, 2008, 217(1/2): 132-138.
- [29] Xu Y R, Zhang W J, Feng Z W, Zhang J L. Caloric values, elemental contents and correlations between them of some plants on sea-beach salinity soil in Tianjin, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(3): 450-455.
- [30] Zang H L. The principal component analysis of ash composition in plants. *Chinese Bulletin of Botany*, 1984, 2(4): 31-34.
- [31] Sun G F, Zheng Z M, Wang Z Q. Dynamics of calorific values of rice. *Chinese Journal of Ecology*, 1993, 12(1): 1-4.
- [32] Liao C P, Wu C Z, Yan Y J, Huang H T. Chemical elemental characteristics of biomass fuels in China. *Biomass Bioenergy*, 2004, 27(2): 119-130.
- [33] Li G Y, Li J L, Wang Y, Pan Y N, Dou G Y. Study on the selection and evaluation on fine energy plants. *Renewable Energy Resources*, 2007, 25(6): 84-89.

参考文献:

- [1] 鲍雅静, 李政海. 内蒙古羊草草原群落主要植物的热值动态. *生态学报*, 2003, 23(3): 606-613.
- [12] 杨福国, 何海菊. 高寒草甸地区常见植物热值的初步研究. *植物生态学报与地植物学丛刊*, 1983, 7(4): 280-288.
- [13] 郭水良, 黄华, 晁柯. 金华市郊 10 种杂草的热值和灰分含量及其适应意义. *植物研究*, 2005, 25(4): 460-464.
- [14] 咎启杰, 王伯荪, 王勇军. 深圳福田无瓣海桑——海桑林能量的研究. *应用生态学报*, 2003, 14(2): 170-174.
- [15] 祖元刚, 祝廷成. 羊草种群的能量流动及其稳定性分析. *植物学报*, 1987, 29(1): 95-103.
- [16] 郭继勋, 王若丹, 包国章. 东北羊草草原主要植物热值. *植物生态学报*, 2001, 25(6): 746-750.
- [17] 王炜, 刘钟龄. 羊草草原群落及其主要植物种群地上部分热值动态的研究. *干旱区资源与环境*, 1993, 7(2): 60-76.
- [18] 任海, 彭少麟. 鼎湖山森林生态系统演替过程中的能量生态特征. *生态学报*, 1999, 19(6): 817-822.
- [19] 郭继勋, 王若丹. 东北草原优势植物羊草热值和能量特征. *草业学报*, 2000, 9(4): 28-32.
- [25] 姜恕. 中国科学院内蒙古草原生态系统定位站的建立和研究工作概述//中国科学院内蒙古草原生态系统定位站. *草原生态系统研究*. 北京: 科学出版社, 1985, 1: 1-10.
- [26] 鲍士旦. *土壤农化分析*. 北京: 中国农业出版社, 2000: 146-163.
- [30] 孙国夫, 郑志明, 王兆骞. 水稻热值的动态变化研究. *生态学杂志*, 1993, 12(1): 1-4.
- [29] 徐永荣, 张万均, 冯宗炜. 天津滨海盐渍土上几种植物的热值和元素含量及其相关性. *生态学报*, 2003, 23(3): 450-455.
- [30] 藏惠林. 植物灰分组成的主组元分析. *植物学通报*, 1984, 2(4): 31-34.
- [33] 李高扬, 李建龙, 王艳, 潘永年, 窦观一. 优良能源植物筛选及评价指标探讨. *可再生能源*, 2007, 25(6): 84-89.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.32 ,No.2 January ,2012(Semimonthly)

CONTENTS

Dynamics of demersal fish species diversity and biomass of dominant species in autumn in the Beibu Gulf, northwestern South China Sea	WANG Xuehui, QIU Yongsong, DU Feiyan, et al (333)
Spatial variation in species richness of birds and mammals in mainland China	DING Jingjing, LIU Dingzhen, LI Chunwang, et al (343)
Comparative study on learning behavior and electroantennogram responses in two geographic races of <i>Cotesia glomerata</i>	WANG Guohong, LIU Yong, GE Feng, et al (351)
Biological characteristics and habitat requirements of <i>Parnassius imperator</i> (Lepidoptera: Parnassidae)	FANG Jianhui, LUO Youqing, NIU Ben, et al (361)
Annual variability in biological characteristics of <i>Illex argentinus</i> in the southwest Atlantic Ocean	FANG Zhou, LU Huajie, CHEN Xinjun, et al (371)
The impact of run-of stream dams on benthic macroinvertebrate assemblages in urban streams	HAN Minghua, YU Haiyan, ZHOU Bin, et al (380)
Effect of suspended sediment on the feeding physiology of <i>Pinctada martensii</i> in laboratory	LI Zhimin, SHEN Yuchun, YU Nantao, et al (386)
Potential nutrient limitation of phytoplankton growth in the Western and Central Pacific Ocean	XU Yanqing, CHEN Jianfang, GAO Shengquan, et al (394)
Ingestion of selected HAB-forming dinoflagellates	ZHANG Qingchun, YU Rencheng, SONG Jingjing, et al (402)
Formation of aggregation by <i>Phaeocystis globosa</i> (Prymnesiophyceae) in response to high grazing pressure	WANG Xiaodong, WANG Yan (414)
Growth and reproduction of the green macroalga <i>Ulva prolifera</i>	ZHANG Bixin, WANG Jianzhu, WANG Yifu, et al (421)
Screening of growth decline related genes from <i>Alexandrium catenella</i>	ZHONG Jie, SUI Zhenghong, WANG Chunyan, et al (431)
Analysis of inherent optical properties of Lake Taihu in spring and its influence on the change of remote sensing reflectance	LIU Zhonghua, LI Yunmei, LU Heng, et al (438)
Neural network modeling of the eutrophication mechanism in Lake Chenghai and corresponding scenario analysis	ZOU Rui, DONG Yunxian, ZHANG Zhenzhen, et al (448)
The compensatory growth of shrubby <i>Pinus thunbergii</i> response to the boring stress in sandy coast	ZHOU Zhen, LI Chuanrong, XU Jingwei, et al (457)
Selected body temperature and thermal tolerance of tadpoles of two frog species (<i>Fejervarya limnocharis</i> and <i>Microhyla ornata</i>) acclimated under different thermal conditions	SHI Linqiang, ZHAO Lihua, MA Xiaohao, et al (465)
Effects of landscape structure and key landscape factors on aphids-parasitoids-hyper parasitoids populations in wheat fields	ZHAO Zihua, WANG Ying, HE Dahan, et al (472)
Effects of cadmium on lipid peroxidation and ATPase activity of plasma membrane from Chinese kale (<i>Brassica alboglabra</i> Bailey) roots	ZHENG Aizhen (483)
Effects of ginger aqueous extract on soil enzyme activity, microbial community structure and soil nutrient content in the rhizosphere soil of ginger seedlings	HAN Chunmei, LI Chunlong, YE Shaoping, et al (489)
Manganese tolerance and accumulation in mycelia of <i>Cordyceps kyusyuensis</i>	LUO Yi, CHENG Xianhao, ZHANG Congcong, et al (499)
Influence of oxytetracycline exposure on antibiotic resistant bacteria and enzyme activities in wheat rhizosphere soil	ZHANG Hao, ZHANG Lilan, WANG Jia, et al (508)
Effects of elevated nitrogen deposition on soil organic carbon mineralization and soil enzyme activities in a Chinese fir plantation	SHEN Fangfang, YUAN Yinghong, FAN Houbao, et al (517)
Differences in clonal growth between female and male plants of <i>Rhus typhina</i> Linn. and their diurnal changes in photosynthesis and chlorophyll fluorescence	ZHANG Mingru, WEN Guosheng, ZHANG Jin, et al (528)
Soil water holding capacity under four typical ecosystems in Wuyunjie Nature Reserve of Hunan Province	PAN Chunxiang, LI Yuyuan, PENG Yi, et al (538)
The effect of different land use patterns on soil properties in alpine areas of eastern Qilian Mountains	ZHAO Jinmei, ZHANG Degang, LIU Changzhong, et al (548)
Responses of soil macro-fauna to land desertification in sandy grassland	LIU Rentao, ZHAO Halin (557)
Characteristics of cultivable microbial community number and structure at the southeast edge of Tengger Desert	ZHANG Wei, ZHANG Gaosen, LIU Guangxiu, et al (567)
Physiological and ecological responses of maize to different severities of desertification in the Southern Taramakan desert	LI Lei, LI Xiangyi, LIN Lisha, WANG Yingju, et al (578)
Characterization of caloric value in fifteen plant species in <i>Leymus chinensis</i> steppe in Xilin River Basin, Inner Mongolia	GAO Kai, XIE Zhongbing, XU Sutie, et al (588)
Spatial pattern responses of <i>Achnatherum splendens</i> to environmental stress in different density levels	ZHANG Mingjuan, LIU Maosong, XU Chi, et al (595)
Effects of environmental factors on species distribution and diversity in an <i>Abies fargesii</i> - <i>Betula utilis</i> mixed forest	REN Xuemin, YANG Gaihe, WANG Dexiang, et al (605)
Effects of alginate cerium complexes on ascorbate- glutathione cycle in spinach leaves under chlorpyrifos stress	LUAN Xia, CHEN Zhende, WANG Dongfeng, et al (614)
Analysis on spatiotemporal changes of urban thermal landscape pattern in the context of urbanisation: a case study of Xiamen City	HUANG Jucong, ZHAO Xiaofeng, TANG Lina, et al (622)
The analysis of the green vegetation cover change in western Sichuan based on GIS and Remote sensing	YANG Cunjian, ZHAO Zijian, REN Xiaolan, et al (632)
An inventory of BVOC emissions for a subtropical urban-rural complex: Greater Taizhou Area	CHANG Jie, REN Yuan, SHI Yan, et al (641)
Scientific Note	
Litter decomposition and nutrient dynamics of <i>Carex lasiocapa</i> under different water conditions	HOU Cuicui, SONG Changchun, LI Yingchen, et al (650)
Nest-box color preference and reproductive success of great tit	ZHANG Keqin, DENG Qiuxiang, Justin Liu, et al (659)

《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的自然科学高级学术期刊,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,280 页,国内定价 70 元/册,全年定价 1680 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 32 卷 第 2 期 (2012 年 1 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 32 No. 2 2012

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	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
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 70.00 元