

内蒙古草原 67 种植物碳含量分析及与热值的关系研究

龙世友¹, 鲍雅静^{1*}, 李政海¹, 高伟^{1,2}, 洪光宇^{1,3}, 黄硕^{1,3}, 邹德喜¹

(1. 大连民族学院环境与资源学院, 辽宁 大连 116600; 2. 内蒙古自治区乌海市规划局规划设计院, 内蒙古 乌海 016000; 3. 内蒙古大学生命科学学院, 内蒙古 呼和浩特 010021)

摘要:采用野外取样与室内分析相结合的方法,对内蒙古锡林郭勒 3 种草原类型中 67 种植物的碳含量,以及碳含量和热值的相关关系进行了研究。结果表明,67 种植物的碳含量呈正态分布。基于生活型分类群的碳含量(%)平均值从小到大依次为:一二年生植物(49.39±2.88) < 多年生杂草(52.31±1.65) < 半灌木(52.84±1.90) < 多年生禾草(53.54±0.88),一二年生植物碳含量显著低于其他类群($P < 0.05$),其他 3 个类群之间没有显著性差异($P > 0.05$)。基于水分生态类型的碳含量(%)平均值从小到大依次为:旱中生植物(50.01±4.36) < 中生植物(51.80±1.92) < 湿中生植物(51.96±0.78) < 旱生植物(52.34±1.90) < 中旱生植物(52.54±1.53),不同水分生态功能群之间的碳含量无显著性差异($P > 0.05$)。在基于科的分类群的碳含量中,不同科的植物之间差异显著($P < 0.05$),其中:藜科植物的碳含量最低,仅为(48.43±2.65)%。碳含量与热值呈现显著的正相关关系($r = 0.52, P < 0.01$)。

关键词:草原植物;碳含量;热值;相关分析

中图分类号:S812 **文献标识码:**A **文章编号:**1004-5759(2013)01-0112-08

草地生态系统是地球上分布面积较广的生态系统类型之一,占陆地生态系统总面积的 16.4%,广大的分布面积使得草地在全球碳汇平衡中扮演着十分重要的角色^[1]。掌握草地生态系统碳循环规律对陆地生态系统乃至全球碳循环的研究都具有重要的意义。

植物碳含量是植物碳贮量的一种度量,反映绿色植物在光合作用中固定贮存碳元素的能力,任何一类有机质均由碳元素构成骨架,碳元素含量是反映物质组分的一个综合指标^[2,3]。目前,学术界对植被碳含量的研究主要集中在与全球变化密切相关的碳储量以及陆地生态系统碳循环方面^[4],以及森林生态系统碳贮量的研究,如范月君等^[5]研究了气候变暖对草地生态系统碳循环的影响,任继周等^[6]采用综合顺序分类法(CSCS)分析了 1950—2000 年和 2001—2050 年期间的草原类型演替及碳汇动态。国外大多研究热带雨林及暖温带森林植物,国内大多数研究集中在亚热带及暖温带森林植物^[7],但是此类研究大多与土壤有机碳含量有关,较少涉及植物地上部分的碳含量。由于全球草地生态系统中约 80% 的生物量碳储存在地下^[8],因此对草地生态系统地上植被碳含量的研究相对较少^[4],迄今只有少数研究如王俊明和张兴昌^[9]研究了退耕草地演替过程中的碳储量变化,发现地上部分生物碳储量呈阶梯式上升趋势,而对基于不同分类群的碳含量研究尚未见报道。

热值是指单位重量干物质在完全燃烧后所释放出来的热量值,是植物能量代谢水平的一种度量,反映绿色植物在光合作用中转化日光能的能力,是植物综合生长状态的一种体现^[10,11]。植物碳含量和热值的相关性研究,国内学者主要对乔木做了相应研究,如江丽媛等^[12]在研究 6 个树龄栓皮栎(*Quercus variabilis*)时发现,整体上植物热值与碳含量呈显著正相关关系;郑朝晖等^[13]在研究俄罗斯杨(*Populus russkii*)时也得出类似的结论。研究认为,有机物由碳元素构成骨架,碳元素含量决定有机物含量,因此由有机物构成的植物体中碳含量与热值必

收稿日期:2012-06-27;改回日期:2012-10-24

基金项目:国家自然科学基金(30771528, 30970494),国家环保公益性行业科研专项(201109025-03B),中央高校基本科研业务费专项资金(DC110105, DC120101142),辽宁省教育厅科研项目(L2012474),大连民族学院大学生创新创业训练计划(X2012014)和太阳鸟科研项目资助。

作者简介:龙世友(1990-),男,侗族,湖南怀化人,在读本科。E-mail:lsy_2004@yahoo.cn

* 通讯作者。E-mail:byj@dlnu.edu.cn

然存在相关关系^[2,14]。然而,目前学术界尚缺少对草地生态系统碳含量和热值相关关系的研究。

因此,本实验选择内蒙古锡林郭勒草原不同气候区(草甸草原、典型草原、荒漠草原)3种草原类型,分析内蒙古草原中 67 种植物碳含量的特征,以及碳含量与热值的相关关系,旨在为科学利用、开发和保护内蒙古草原资源,了解草原生态系统贮碳量,提高草原生态系统物质循环和能量转化效率,科学估算草原植物碳贮量提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究样地概况

本实验选取内蒙古锡林郭勒盟境内不同气候区 3 种草原类型作为研究样地^[4]。研究样地的选取是根据干燥度的不同而确定的^[15]。草甸草原处于草原向森林的过渡地段,是草原群落中较湿润的类型;典型草原具有典型的半干旱气候特征,是最基本的一个草原类型;荒漠草原是草原植被中最早生的类型。

草甸草原实验区位于内蒙古锡林郭勒盟西乌珠穆沁旗浩勒图高勒镇。气候属于中温带半干旱大陆性气候,年平均降水量 350 mm 左右,多集中在 7、8 两个月份。试验地内主要以多年生草本为主,有极少量的灌木、小半灌木及一、二年生的草本植物。实验区草地类型为低山丘陵羊草草甸草原,中早生的羊草为建群种,其他主要次优势植物种有黄囊苔草(*Carex korshinskyi*)、麻花头(*Serratula centauroides*)、贝加尔针茅(*Stipa baicalensis*)、羽茅(*Achnatherum sibiricum*)、线叶菊(*Filifolium sibiricum*)等。实验区内土壤类型为暗栗钙土。

典型草原实验区位于锡林河流域中游地区白音锡勒牧场的羊草典型草原区。气候属于温带半干旱草原气候,年平均降水量 346.1 mm,年蒸发量为 1 600~1 800 mm。试验区主要以多年生草本为主,建群种为羊草(*Leymus chinensis*)和大针茅(*Stipa grandis*),其他主要次优势植物种主要有羽茅和黄囊苔草等。实验区内土壤类型为暗栗钙土。

荒漠草原实验区位于内蒙古锡林郭勒盟苏尼特右旗赛罕塔拉镇。苏尼特右旗年平均降水量为 177.2 mm,蒸发量 2 500 mm。降水量分布不均,自南向北、由东向西递减,多数年份受到不同程度的干旱威胁。实验区植被在植物区系组成中以亚洲中部荒漠草原植物种占主导地位。试验区内以短花针茅(*Stipa breviflora*)为建群种,主要伴生种有冷蒿(*Artemisia frigida*)、无芒隐子草(*Cleistogenes songorica*)、草麻黄(*Ephedra sinica*)等,偶见狭叶锦鸡儿(*Caragana stenophylla*)。实验区内土壤类型为淡栗钙土。

1.2 取样与研究方法

1.2.1 植物碳含量数据测定 在草甸草原、典型草原、荒漠草原实验区内分别选取围封保护的样地及围栏外放牧退化样地各一块,样品采集于 2008 年 7—8 月群落地上生物量高峰期进行。在 3 类草原围栏内外样地随机选取 10 个 0.5 m×0.5 m 观测样方,分种记录植株平均高度、株丛数,并齐地面分种剪下地上部分后在 65℃ 烘箱中烘干至恒重,称量其干重,称重后的样品同一样地的每 3~4 个样方合并在一起,粉碎后分种保留,即共 6 个样地,每个样地 3 个重复,共获得 67 种草原植物的 233 个样品(表 1)。

有机碳含量使用德国 Elementar 公司生产 Liqui TOC 总有机碳测定仪进行测定。把过 100 目(0.149 mm)分样筛的样品混合均匀,用精度为 0.000 1 g 的电子天平称取植物样品 10 mg,放入测样用的小石英杯中,并加入 0.8% 的盐酸 0.5 mL 反应 0.5 h 以除去无机碳,然后放入烘箱内将盐酸溶液烘干,取出烘干的盛有样品的小石英杯,按照 Liqui TOC 分析仪的操作流程放入反应器内进行测定^[4]。

1.2.2 植物热值数据来源 本项研究主要进行了碳含量的测定和分析,植物热值数据则来源于课题组在前期研究中关于该区域的草原植物热值研究结果^[16-18],在前期研究中课题组对内蒙古境内不同气候区的 3 种草原类型(和本研究属同一区域)的热值进行了分析^[16],并针对内蒙古锡林河流域草原植物种群和功能群热值^[17,18]进行了研究,本研究的 67 种植物热值数据主要来源于参考文献[16]中的表 2,有少数几个植物在文献[16]中没有相关热值数据,其热值数据来源于参考文献[17]的表 2。

1.3 数据分析

用 Microsoft Excel 2003 对数据进行初步整理、作图,用 SPSS 19 作统计分析并作图。

2 结果与分析

2.1 碳含量分析

2.1.1 碳含量频数分析 从内蒙古草原不同样地采集而来的 67 种草原植物,分属于 23 个科,其主要物种和分类群的碳含量见表 1。经过频数分析可以得出,所有物种的碳含量平均值是 $(52.17 \pm 2.01)\%$ 。其中,一年生杂草猪毛菜的碳含量为 $(43.79 \pm 1.37)\%$,是调查的所有物种中最小的;接着,从星毛委陵菜的碳含量 46.92%到草芸香的碳含量为 $(52.33 \pm 0.44)\%$,再到多年生杂草展枝唐松草的碳含量 $(57.12 \pm 4.58)\%$,为最大值,呈现正态分布(图 1)。

表 1 内蒙古草原主要物种的碳含量及其功能群划分

Table 1 The carbon content of main species and classification of functional group

科 Family	植物名 Species name	生活型 Taxon of life form	水分生活类型 Ecological type of water	碳含量 Carbon content (%)	取样数 Sample number
百合科 Liliaceae	蒙古葱 <i>Allium mongolicum</i>	PF	X	49.56 ± 0.28	2
	山葱 <i>Allium senescens</i>	PF	MX	50.60 ± 0.89	3
	细叶葱 <i>Allium tenuissimum</i>	PF	X	51.10 ± 0.57	6
	双齿葱 <i>Allium bidentatum</i>	PF	X	51.46 ± 0.98	3
	野韭 <i>Allium ramosum</i>	PF	MX	51.47 ± 2.55	5
	天门冬 <i>Asparagus dauricus</i>	A	X	52.53 ± 2.24	2
	知母 <i>Anemarrhena asphodeloides</i>	PF	MX	52.65 ± 0.94	4
	矮葱 <i>Allium anisopodium</i>	PF	M	52.89	1
	黄花菜 <i>Hemerocallis citrina</i>	PF	M	53.34	1
川续断科 Dipsacaceae	华北蓝盆花 <i>Scabiosa tschiliensis</i>	PF	MX	51.87	1
唇形科 Labiatae	裂叶荆芥 <i>Schizonepeta tenuifolia</i>	A	MX	51.32 ± 1.58	2
	并头黄芩 <i>Scutellaria scordifolia</i>	PF	MX	53.56 ± 0.69	2
	百里香 <i>Thymus mongolicus</i>	SS	X	54.33	1
大戟科 Euphorbiaceae	乳浆大戟 <i>Euphorbia chanaejasme</i>	PF	MX	54.46	1
豆科 Leguminosae	草木樨状黄芪 <i>Astragalus melilotoides</i>	PF	MX	52.91	1
	扁蓿豆 <i>Pocokia ruthenica</i>	PF	MX	53.32 ± 0.07	2
	乳白华黄芪 <i>Astragalum galactites</i>	PF	X	53.41 ± 1.88	2
	狭叶锦鸡 <i>Caragana stenophylla</i>	SS	X	54.10 ± 0.88	2
禾本科 Gramineae	狗尾草 <i>Setaria viridis</i>	A	M	51.34	1
	草地早熟禾 <i>Poa pratensis</i>	PF	WM	51.41 ± 1.76	4
	羊茅 <i>Festuca ovina</i>	PG	XM	51.94	1
	洽草 <i>Koeleria cristata</i>	PG	X	52.69 ± 0.78	6
	贝加尔针茅 <i>Stipa baicalensis</i>	PF	MX	52.95 ± 0.94	4
	羊草 <i>Leymus chinensis</i>	PG	X	53.88 ± 1.86	18
	羽茅 <i>Achnatherum sibiricum</i>	PG	MX	53.93 ± 1.01	10
	大针茅 <i>Stipa grandis</i>	PG	X	54.03 ± 0.70	15
	冰草 <i>Agropyron michnoi</i>	PG	X	54.03 ± 2.91	13
	短花针茅 <i>Stipa breviflora</i>	PG	M	54.30 ± 0.71	6
景天科 Crassulaceae	瓦松 <i>Orostachys cartilaginea</i>	A	X	48.62	1
桔梗科 Campanulaceae	长柱沙参 <i>Adenophora stenanthina</i>	PF	MX	51.47	1
	皱叶沙参 <i>Adenophora stenanthina</i>	PF	M	53.40	1

续表 1 Continued

科 Family	植物名 Species name	生活型 Taxon of life form	水分生活类型 Ecological type of water	碳含量 Carbon content (%)	取样数 Sample number
菊科 Compositae	阿尔泰狗娃花 <i>Heteropappus altaicus</i>	PF	MX	52.83±1.09	4
	火绒草 <i>Leontopodium leontopodioides</i>	PF	X	51.24±1.68	4
	麻花头 <i>Serratula centauroides</i>	PF	MX	51.78±2.11	7
	线叶菊 <i>Filifolium sibiricum</i>	PF	MX	52.23±0.08	3
	冷蒿 <i>Artemisia frigida</i>	SS	X	52.73±2.23	4
	变蒿 <i>Artemisia commutata</i>	PF	X	53.87	1
藜科 Chenopodiaceae	猪毛菜 <i>Salsola collina</i>	A	XM	43.79±1.37	8
	灰绿藜 <i>Chenopodium glaucum</i>	A	M	48.89±1.22	8
	刺穗藜 <i>Chenopodium aristatum</i>	A	M	49.24±1.36	4
	蒲公英 <i>Taraxacum mongolicum</i>	PF	M	50.02	1
	木地肤 <i>Kochia prostrata</i>	SS	X	50.19	1
蓼科 Polygonaceae	叉分蓼 <i>Polygonum divaricatum</i>	PF	XM	50.49	1
毛茛科 Ranunculaceae	白头翁 <i>Pulsatilla chinensis</i>	PF	M	51.22±0.08	2
	瓣蕊唐松草 <i>Thalictrum petaloideum</i>	PF	XM	53.81±1.04	4
	展枝唐松草 <i>Thalictrum squarrosom</i>	PF	MX	57.12±4.57	2
茜草科 Rubiaceae	蓬子菜 <i>Galium verum</i>	PF	M	54.10±2.89	2
蔷薇科 Rosaceae	星毛委陵菜 <i>Potentilla acaulis</i>	PF	X	46.92	1
	菊叶委陵菜 <i>Potentilla tanacetifolia</i>	PF	MX	50.53±1.73	2
	地榆 <i>Sanguisorba officinalis</i>	PF	M	51.04±1.83	2
	轮叶委陵菜 <i>Potentilla verticillaris</i>	PF	X	51.10±0.21	2
	大萼委陵菜 <i>Potentilla conferta</i>	PF	X	52.78	1
	二裂委陵菜 <i>Potentilla bifurca</i>	PF	X	53.50±2.50	2
瑞香科 Thymelaeaceae	狼毒 <i>Stellera chamaejasme</i>	PF	MX	53.54±1.45	3
伞形科 Umbelliferae	柴胡 <i>Bupleurum chinense</i>	PF	X	53.55±4.77	3
	防风 <i>Saposhnikovia divaricata</i>	PF	X	53.79±2.03	3
莎草科 Cyperaceae	苔草 <i>Carex dispalata</i>	PF	WM	52.51±0.75	15
	黄囊苔草 <i>Carex korshinskyi</i>	PF	MX	51.64	1
	日阴菅 <i>Canex pediformis</i>	PF	MX	52.47±0.42	2
石竹科 Caryophyllaceae	麦瓶草 <i>Silene jennisensis</i>	PF	X	52.07±1.00	2
	石竹 <i>Dianthus chinensis</i>	PF	MX	53.05	1
玄参科 Scrophulariaceae	芯芭 <i>Cymbaria dahurica</i>	PF	X	52.97±0.18	2
旋花科 Convolvulaceae	阿氏旋花 <i>Convolvulus ammannii</i>	PF	X	51.48±1.68	2
鸢尾科 Iridaceae	射干鸢尾 <i>Iris dichotoma</i>	PF	MX	50.15±0.05	2
	细叶鸢尾 <i>Iris tenuifolia</i>	PF	X	51.69±0.15	2
远志科 Polygalaceae	远志 <i>Polygala tenuifolia</i>	PF	X	55.69	1
芸香科 Rutaceae	草芸香 <i>Haplophyllum dauricum</i>	PF	X	52.33±0.44	3

X: 旱生植物 Xerophytes; MX: 中旱生植物 Meso-xerophytes; XM: 旱中生植物 Xero-mesophytes; M: 中生植物 Mesophytes; WM: 湿中生植物 Wet-mesophytes; A: 一二年生植物 Annuals and biennials; SS: 半灌木 Sub-shrubs; PF: 多年生杂草 Perennial forbs; PG: 多年生禾草 Perennial grasses. 下同 The same below.

2.1.2 不同生活型功能群之间的碳含量分析 67 个物种基于生活型可以分成 4 个功能群: 半灌木、多年生杂草、多年生禾草和一二年生植物(图 2)。其中, 多年生杂草的种数最多(49 种), 小灌木仅 4 种, 一二年生植物和多

年生禾草都是 7 种。基于生活型的分类群碳含量(%)平均值的顺序为:一二年生植物(49.39 ± 2.88) < 多年生杂草(52.31 ± 1.65) < 半灌木(52.84 ± 1.90) < 多年生禾草(53.54 ± 0.88)。结果表明,不同功能群之间碳含量具有差异,多年生禾草的平均值显著高于一二年生杂草,半灌木和多年生杂草居中。一二年生植物碳含量和其他 3 类(多年生杂草、多年生禾草和半灌木)存在显著差异($P < 0.05$),其他三者之间无显著差异($P > 0.05$)。

2.1.3 水分生态型功能群之间的碳含量分析 水分通常被认为是内蒙古锡林郭勒草原植物生长的关键限制因子,基于植物的水分生态类型,将 67 个物种分成 5 个功能群:旱生植物、中旱生植物、早中生植物、中生植物和湿中生植物^[19,20]。旱生植物(28 种)和中旱生植物(22 种)种类较多,湿中生植物种类较少,仅有 2 种。基于水分生态类型的碳含量(%)平均值的顺序为:早中生植物(50.01 ± 4.36) < 中生植物(51.80 ± 1.92) < 湿中生植物(51.96 ± 0.78) < 旱生植物(52.34 ± 1.90) < 中旱生植物(52.54 ± 1.53)。研究结果表明,不同水分生态功能群之间的碳含量无显著性差异($P > 0.05$);早中生植物功能群的平均碳含量略低于其他组,其他功能群的碳含量基本一致(图 3)。

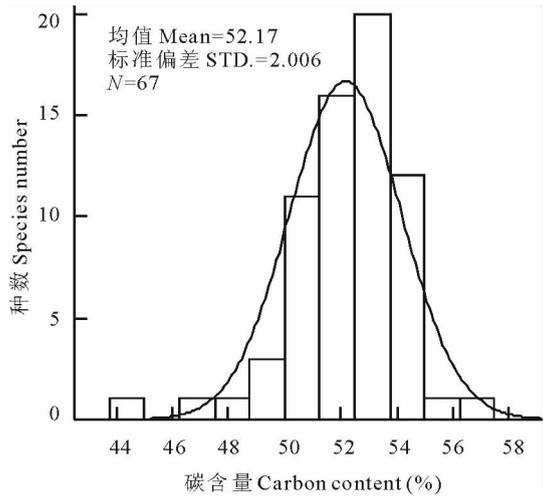


图 1 锡林郭勒草原植物种群碳含量分布频率图
Fig. 1 The frequency distribution histogram of the carbon content of plant species in Xilin Gol Grassland

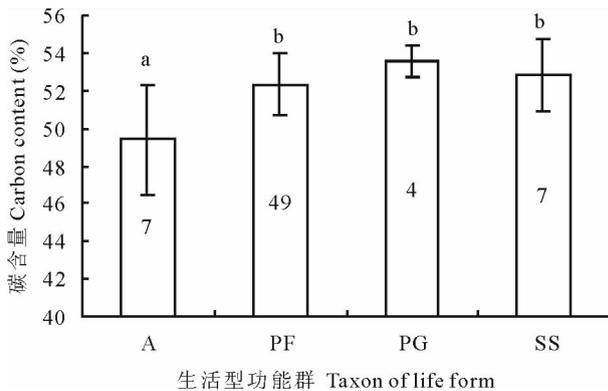


图 2 基于生活型功能群的碳含量分析
Fig. 2 Analysis of the average carbon content based on taxon of life form

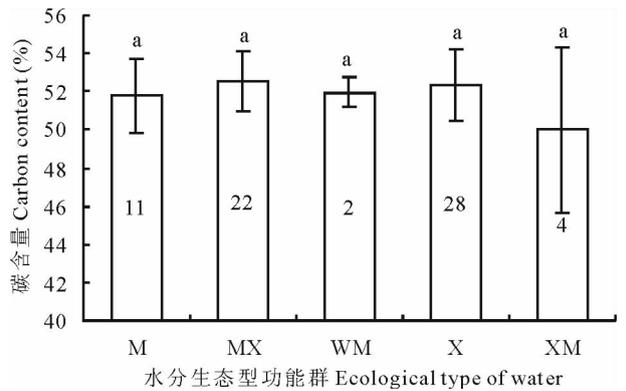


图 3 基于水分生态型功能群的碳含量分析
Fig. 3 Analysis of the average carbon content based on the ecological type of water

不同小写字母表示均值之间差异显著($P < 0.05$);条形内的数字代表包含的物种数,下同。Different small letters indicate significant difference at the 0.05 level; The number in the bar represents the number of species, the same below.

2.1.4 主要科之间的碳含量分析 采集到的 67 个物种的碳含量分属于 23 科,其中禾本科植物种数最多(10 种),百合科其次(9 种),川续断科和大戟科等 10 个科只有 1 种。所有种碳含量的平均值为(52.17 ± 2.01)%。选取植物种数大于等于 4 种的 6 个科进行比较(图 4),其碳含量(%)的平均值大小顺序为:藜科(48.43 ± 2.65) < 蔷薇科(50.98 ± 2.29) < 百合科(51.73 ± 1.22) < 菊科(52.45 ± 0.92) < 禾本科(53.05 ± 1.15) < 豆科(53.44 ± 0.49)。豆科和禾本科具有较高的碳含量;藜科的碳含量最低,明显低于其他科,并和其他科之间差异显著($P < 0.05$)。蔷薇科、百合科和菊科之间没有显著性差异($P > 0.05$),百合科、菊科、禾本科和豆科之间也没有显著性差异($P > 0.05$)。

2.2 热值与碳含量的相关分析

内蒙古 3 种草原类型 67 种植物热值与碳含量的相关性分析结果显示,热值和碳含量均值分别为 (17.09 ± 1.29) kJ/g 和 $(52.17 \pm 2.01)\%$ 。热值与碳含量的 Pearson 相关系数是 $r=0.520$,显著性(双侧) $P<0.01$,表明植物热值与碳含量在 0.01 水平上呈显著正相关关系。

3 讨论

绿色植物通过光合作用将大气中的 CO_2 转变为植物本身的有机碳,是草地生态系统碳的主要来源^[21,22]。研究表明,中国草地生态系统碳储量为 44.09 Pg,约占世界草地生态系统碳储量的 8% 左右^[23],约占我国陆地生态系统的 16.7%^[24]。学术界对于植被碳含量的研究,主要集中在森林生态系统中^[4,7],对草地生态系统植被碳含量的研究相对较少。

一方面由于草地生态系统的碳储量不如森林大,同时地上部分由于放牧、农垦等人为活动造成了影响,另一方面全球草地生态系统中约 80% 的生物量碳储存在地下^[8],导致研究土壤碳含量多于研究地上植被碳含量,如丁越岩等^[25]通过对比分析毛乌素沙地 9 种主要植被类型样地中的土壤有机碳含量和密度及其在土壤剖面上的分布差异,研究了不同植被类型对毛乌素沙地土壤有机碳的影响。但是植物作为全球碳循环的轴心,植被碳库也影响着土壤碳库^[26]。在高伟^[4]前期的研究中发现,3 类草原(和本研究属同一草原)中碳元素在植物体内含量相对稳定,不易随利用状况、生态梯度的改变而变化。他认为,碳元素作为植物体内含量最多的元素,其主要作用作为构建支撑植物体的骨架,它的来源主要是绿色植物通过光合作用将大气中的 CO_2 转变为植物体有机碳,从而植物体内的碳含量相对稳定。

在前期研究中,鲍雅静和李政海^[17,18]对草原植物热值进行了系统的研究。结果表明,研究区出现的 60 个植物种平均热值为 (17.29 ± 0.91) kJ/g;生活型功能群中,灌木的热值最高,多年生禾草显著高于一二年生植物 ($P<0.05$),半灌木和多年生杂草介于二者之间;水分生态类型功能群之间在热值上没有明显差异;不同科之间热值有显著差异,禾本科、豆科、菊科植物热值较高,藜科植物平均热值最低。其结果与碳含量的分析结果基本上趋于一致,因此,在此基础上本研究进一步探讨了碳含量和热值之间的相关关系。结果表明,碳含量与热值之间存在显著的正相关关系 ($P<0.01$)。

研究表明,任何一类有机质都是由碳素构成骨架^[2,14],官丽莉等^[14]研究发现,在一般植物中,碳素和氧素占干重的很大部分,所以碳素含量越高,热值可能越高。而鲍雅静等^[2]研究认为,碳含量的高低决定了植物物质中有机物的总含量,即碳含量越高,植物物质中有机物的含量越高,这又往往决定了植物具有较高的热值。江丽媛等^[12]研究显示,可以根据碳含量高低来估计热值高低,从而为生物质能源的利用提供一定的理论依据。笔者认为,碳作为能源物质,植物的碳含量在一定程度上也就代表了植物能量的多少。植物碳含量与热值具有相关性,主要是植物燃烧时,碳放出热量,因而热量的多少与碳含量有一定相关关系。

本研究的结果表明,热值与碳含量存在着正相关。它表明,植物的碳含量越高,热值也相应地较高;或是碳含量可以反映热值的高低,可以作为研究碳含量与热值时初步衡量方法或原则,为下一步草原生态系统碳密度的估测奠定基础,为草原植物资源的选择、开发和利用,提高草原生态系统物质循环和能量转化效率,探索新的草原生态系统碳密度估测方法,科学估测草原生态系统的贮碳量提供理论依据。

参考文献:

- [1] Scurlock J M O, Hall D O. The global carbon sink: a grassland perspective[J]. *Global Change Biology*, 1998, 4: 229-231.

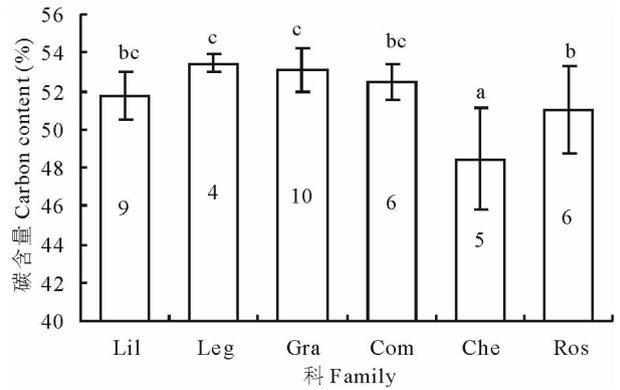


图 4 基于科(种类 ≥ 4)的分类群碳含量分析

Fig. 4 Analysis of the average carbon content based on the classification of the family (Species ≥ 4)

Lil: 百合科 Liliaceae; Leg: 豆科 Leguminosae; Gra: 禾本科 Gramineae; Com: 菊科 Compositae; Che: 藜科 Chenopodiaceae; Ros: 蔷薇科 Rosaceae.

- [2] 鲍雅静, 李政海, 韩兴国, 等. 植物热值及其生物生态学属性[J]. 生态学杂志, 2006, 25(9): 1095-1103.
- [3] 郑帷婕, 包维楷, 辜彬, 等. 陆生高等植物碳含量及其特点[J]. 生态学杂志, 2007, 26(3): 307-313.
- [4] 高伟. 退化草地生态系统碳-氮变化规律及氮添加的生态效应研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古大学, 2010: 5-26.
- [5] 范月君, 侯向阳, 石红霄, 等. 气候变暖对草地生态系统碳循环的影响[J]. 草业学报, 2012, 21(3): 294-302.
- [6] 任继周, 梁天刚, 林慧龙, 等. 草地对全球气候变化的响应及其碳汇潜势研究[J]. 草业学报, 2011, 20(2): 1-22.
- [7] 王立海, 孙墨珑. 小兴安岭主要树种热值与碳含量[J]. 生态学报, 2009, 29(2): 953-959.
- [8] Mokany K, Raison R J, Prokushkin A S. Critical analysis of root: shoot ratios in terrestrial biomes[J]. *Global Change Biology*, 2005, 11: 1-13.
- [9] 王俊明, 张兴昌. 退耕草地演替过程中的碳储量变化[J]. 草业学报, 2009, 18(1): 1-8.
- [10] 祖元刚. 能量生态系统引论[M]. 长春: 吉林科学技术出版社, 1990.
- [11] 任海, 彭少麟, 刘鸿先, 等. 鼎湖山植物群落及其主要植物的热值研究[J]. 植物生态学报, 1999, 23(2): 148-154.
- [12] 江丽媛, 彭祚登, 何宝华, 等. 6个树龄栓皮栎热值与碳含量的分析[J]. 黑龙江农业科学, 2010, (11): 85-89.
- [13] 郑朝晖, 马春霞, 马江林, 等. 俄罗斯杨热值与含碳率特征分析[J]. 河南农业科学, 2011, 40(6): 128-131.
- [14] 官丽莉, 周小勇, 罗艳. 我国植物热值研究综述[J]. 生态学杂志, 2005, 24(4): 452-457.
- [15] 王海梅. 锡林郭勒地区气候变化规律与植被覆盖变化驱动机制研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2009: 71-81.
- [16] 杨晓慧. 草原生态系统植物能量功能群及其在退化演替过程中的功能动态[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2007: 7-18.
- [17] 鲍雅静, 李政海. 内蒙古锡林河流域草原植物种群和功能群热值研究[J]. 大连民族学院学报: 自然科学版, 2008, 10(3): 197-202.
- [18] 鲍雅静, 李政海. 基于能量属性的植物功能群划分方法探索——以内蒙古锡林河流域草原植物群落为例[J]. 生态学报, 2008, 28(9): 4540-4545.
- [19] 内蒙古植物志编辑委员会. 内蒙古植物志(第2版)[M]. 呼和浩特: 内蒙古人民出版社, 1992: 12.
- [20] Chen X, Li B L. Spatial variability of functional plant types of trees in NE China[J]. *Applied Ecology and Environment Research*, 2005, 3(2): 39-49.
- [21] 方精云, 朴世龙, 赵淑清. CO₂ 汇与北半球中高纬度陆地生态系统的碳汇[J]. 植物生态学报, 2001, 25: 594-602.
- [22] 李凌浩, 陈佐忠. 草地生态系统碳循环及其对全球变化的响应: I. 碳循环的分室模型、碳输入与贮存[J]. 植物学通报, 1998, 15(2): 14-22.
- [23] Ni J. Carbon storage in terrestrial ecosystem of China: estimates at different spatial resolutions and their responses to climate change[J]. *Climatic Change*, 2001, 49: 339-358.
- [24] 方精云, 刘国华, 徐嵩龄. 中国陆地生态系统的碳库[A]. 见: 王庚辰, 温玉璞. 温室气体浓度和排放监测及相关过程[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1996: 109-128.
- [25] 丁越岩, 杨劼, 宋炳煜, 等. 不同植被类型对毛乌素沙地土壤有机碳的影响[J]. 草业学报, 2012, 21(2): 18-25.
- [26] Berrien Moore III, Braswell B H. An understanding of carbon cycle: Planetary metabolism[J]. *AMBIO*, 1994, 23(2): 4-12.

The carbon contents and the relationship with the calorific values of

67 plant species in Inner Mongolia grasslands

LONG Shi-you¹, BAO Ya-jing¹, LI Zheng-hai¹, GAO Wei^{1,2}, HONG Guang-yu^{1,3},
HUANG Shuo^{1,3}, ZOU De-xi¹

(1. College of Environmental & Resource Sciences, Dalian Nationalities University, Dalian 116600, China; 2. Institute of Planning and Design of Planning Bureau, the Inner Mongolia Autonomous Region, Wuhai 016000, China; 3. College of Life Science, Inner Mongolia University, Huhhot 010021, China)

Abstract: The carbon content is a metric of plant carbon storage, which reflects the ability to fix and store carbon element in photosynthesis of the green plants, is also one of important indexes to estimate carbon storage of ecosystem. The carbon contents, and their relationships with the calorific values of 67 plant species in three types from different climate zones of Xilin Gol Grassland (meadow steppe, typical steppe, desert steppe), Inner Mongolia were studied with the method of the field sampling and experimental determination, and the carbon content variation of different plant functional groups based on several classification method were studied at the same time. The aim is to provide theoretical basis for estimating scientifically carbon storage of grassland ecosystems. The results showed that the carbon content in the 67 species of plants were in normal distribution, the average value was $(52.17 \pm 2.01)\%$, of all the species, the *Salsola collina*, a kind of annual forb, had the lowest value $(43.79 \pm 1.37)\%$, and *Thalictrum squarrosom*, a kind of perennial forb, had the highest value $(57.12 \pm 4.58)\%$. Among the groups classified by life forms, the order of average carbon content ($\%$), from low to high, was: annuals and biennial plants $(49.39 \pm 2.88) <$ perennial fobs $(52.31 \pm 1.65) <$ sub-shrub (52.84 ± 1.90) and perennial grasses (53.54 ± 0.88) . The carbon content of annuals and biennial plants were significantly lower than those of other groups ($P < 0.05$), and there were no significant differences among the other three groups ($P > 0.05$). The carbon contents ($\%$) of the different plant groups based on water ecological types, followed the order: xero-mesophyte $(50.01 \pm 4.36) <$ mesophytes $(51.80 \pm 1.92) <$ wet-mesophytes $(51.96 \pm 0.78) <$ xerophytes $(52.34 \pm 1.90) <$ meso-xerophytes (52.54 ± 1.53) . No statistically significant differences were found among these groups ($P > 0.05$). Different families showed apparent difference in average carbon content ($P < 0.05$), the lowest value was found in Chenopodiaceae, only $(48.43 \pm 2.65)\%$. And there was a positive correlation between the carbon contents of 67 species and their calorific values ($r = 0.52$, $P < 0.01$).

Key words: grassland plant; carbon content; calorific value; correlation analysis