

内蒙古羊草草原群落主要植物的热值动态

鲍雅静^{1, 2}, 李政海²

(1. 中国科学院植物研究所, 北京 100093; 2. 内蒙古大学生态与环境科学系, 呼和浩特 010021)

摘要:对内蒙古羊草草原主要植物种群的干重热值动态研究表明, 热值随植物种类、植物部位、取样时植物所处物候期及气候条件的不同而变化, 羊草草原主要植物种群地上部分热值的变动范围在 15703~18141J/g 之间, 其中灌木小叶锦鸡儿(*Caragana microphylla*)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; 主要植物种群地下部分热值的分布范围为 15051~16410J/g。其中根茎型草地下部分热值较高。不同种类植物地下部分热值差异并不与地上部分一致。根茎型禾草地上、地下部分热值差异较小, 而须根型植物差异较大。不同种群的植物地上部分热值随植物物候期的不同而波动, 其变化规律是与植物种群本身的生物学特性相联系的。不同植物种群热值的年际波动规律有所不同, 羊草(*Leymus chinensis*)、大针茅(*Stipa grandis*)和治草(*Koeleria cristata*)的年际热值波动相关显著, 但与生长季降水量和生长季累积日照时数之间无明显相关性。在某种程度上, 植物热值的种内变化反映了植物生长状况的差异。

关键词:羊草(*Leymus chinensis*)草原; 植物热值; 动态

Dynamics of caloric values of major plant species in *Leymus chinensis* steppe of Inner Mongolia

BAO Ya-Jing^{1, 2}, LI Zheng-Hai² (1. Institute of Botany, Chinese Academy of Science, Beijing, 100093, China; 2. Department of Ecology and Environment Science, Inner Mongolia University, Huhhot, 010021, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(3): 606~613.

Abstract: *Leymus chinensis* steppe is a distinctive formation in the east of Eurasia steppe region, and has an extensive distribution in the steppe region of China. It is the important mowing and grazing rangeland in Inner Mongolia and has high utilizable value. This paper deals with the dynamics of caloric values of major plant species in the steppe. The sample site was located at *Leymus chinensis* steppe community in Xilin Gol league of Inner Mongolia (43°38'N, 116°43'E). The caloric value was measured by GR3500 type oxygen bomb calorimeter. The results showed: the caloric values varied with plant species, parts of plant, sampling seasons and climatic conditions. The caloric values of aboveground parts for major plant populations varied from 15703 to 18141 J/g. The shrub population (*Caragana microphylla*) had the highest value. The caloric values of most of grasses are higher than that of most of forbs. The caloric values of underground parts for major populations varied from 15051~16410J/g. Among them, the values of underground parts of rhizome grasses were relatively high. The difference of underground caloric values between species wasn't similar with that of aboveground. There was less difference between aboveground and underground part of rhizome grasses than that of grasses with fibrous roots. The caloric values of

基金项目:国家自然科学基金资助项目(30028002); 中国科学院知识创新工程重大资助项目(KSCX1-08); 国家重大基础研究资助项目(G2000018603)

收稿日期:2002-04-02; **修订日期:**2002-10-23

作者简介:鲍雅静(1970~), 女, 蒙古族, 内蒙古包头市人, 博士, 主要从事草地干扰生态与恢复生态方面的研究。Email: baoyajing@ns. ibcas. ac. cn

Foundation item: the National Natural Science Foundation of China(No. 30028002); the Major Research Project of the Chinese Academy of Sciences(KSCX1-08); the State Key Basic Research and Development Plan of China(G2000018603)

Received date: 2002-04-02 **Accepted date:** 2002-10-23

Biography: BAO Ya-Jing, Ph. D., Areas of research in clude disturbance ecology and restoration ecology of grassland.

aboveground parts of all species varied with phenological phase, and the change was related to biological characteristics of species. The annual fluctuation of the caloric values was different between species except that there was significant correlation between *Leymus chinensis*, *Stipa grandis* and *Koeleria cristata*. There were not significant correlations between caloric value and precipitation and sunshine hours in growing season. To some extent, the variation of caloric values within a species reflected on difference of the developmental status.

Key words: *Leymus chinensis* steppe; caloric values of plant; dynamics

文章编号:1000-0933(2003)03-0606-08 中图分类号:Q947.5 文献标识码:A

就草地生态系统而言,能量流动与物质循环是生态系统动态的核心,能量的传输与转化是生命存在的物质基础,也是生态系统存在和发展的驱动力,研究草地生态系统的目的,主要在于阐明能量流动和物质循环的规律。植物群落是草地生态系统的能量固定者,是能量流的基础。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,是能量的尺度。它反映了绿色植物在光合作用中转化日光能的能力,是衡量第一性生产力水平的重要指标。也是评价植物营养成分的标志之一。由于它与干物质产量结合是评估生态系统初级生产力的重要指标,因而也是生态系统能量研究必不可少的参数^[1~4]。目前对生态系统的能流分析已普遍要求实现从定性到定量的转化,准确研究物质的热值是实现这个转化的第一步,因此拓宽和深入热值的研究已十分迫切。

自 Long 于 20 世纪 30 年代首先较系统地开展了植物热值研究以来^[5],对生态系统中各种物质的热值及其变化机制的研究日趋广泛。国外研究主要是在 20 世纪 70 年代中期以前,而我国迟至 80 年代初才见端倪。

据 Whittaker 研究,陆生植物的平均热值为 $4.25 \times 4.18 \text{ kJ/g}$ ^[6]。而热值会因植物种类、植物部位、光强、日照时数、养分含量、季节和土壤类型而发生变化^[7]。据 Wielgolaski 对芬兰斯堪底纳维亚冻原植物能量含量的研究,灌木的热值一般高于草本植物^[8],Adamandiadou 等及杨福囤的研究也表明了同样的结果^[9,10]。就是同一种植物,由于物候期和植株部位不同,热值也会有所差异。Hardley 通过对美国华盛顿山高山植物能量变化的研究指出,毕氏苔草(*Calix bigelowii*)随着生长进程热值逐渐增加^[11]。苏智先等对慈竹克隆种群能量动态的研究表明种群单位重量能值随季节变化的规律十分明显^[12],有学者发现植物组织热值与其光合作用、呼吸作用等多种生理活动有关^[3,5,13]。也有研究表明,植物热值明显受气候因子和生境小气候的影响^[14~16]。另外,同一种植物随纬度和海拔高度的增加,热值也趋于增加^[7]。因此可以说热值受制于多种因素,具有变动性。

羊草草原是我国草原带分布面积很广的草原群系之一,并且是经济利用价值最高的草原类型。在内蒙古高原上有地带性群落的大面积分布,对于这些地区的牧业生产具有决定性的意义。

羊草草原植物热值的初步研究也有报道^[17~19],其中,祖元刚、郭继勋对东北羊草草原主要植物的热值进行的研究^[17,18]基本未涉及到热值的动态变化,王伟对内蒙古羊草草原的热值进行的研究^[19]仅涉及到几个主要植物种群地上部分热值的季节动态,因此,关于内蒙古羊草草原植物热值年动态及植物地下部分热值研究至今还未见报道。

1 研究区自然概况与研究方法

1.1 自然概况

本项研究地点位于内蒙古锡林郭勒盟白音锡勒牧场境内的草原生态系统定位站,地理位置为北纬 $43^{\circ}26' \sim 44^{\circ}08'$,东经 $116^{\circ}04' \sim 117^{\circ}05'$,海拔 1200m 左右,属温带草原区典型草原栗钙土亚区。本项研究工作主要是在定位站附近的羊草草原样地($N43^{\circ}38'$, $E116^{\circ}43'$)进行,该样地设在锡林河南岸二级玄武岩台地的平缓坡地上,于 1979 年围封禁牧,可看作是未受干扰的天然羊草草原群落。土壤为暗栗钙土,土层厚达 1m 以上,腐殖质层厚数据 30cm,钙积层不显著,有时在 50~60cm 以下,有轻微的假菌丝状碳酸钙的淀积物。该区气候属中温带半干旱草原气候,冬半年受蒙古高压控制,寒冷干燥,夏半年受海洋性季风的一定影响,

较为温和湿润。3~5 月份常有大风,月平均风速达 4.9m/s。年均温为 0.6℃,1 月份平均气温为-21.3℃,7 月份为 18.6℃。无霜期 91d。草原植物生长期约 150d。年降水约为 350 mm 左右,5~9 月份的降水量占年降水量的 86%。此时正值气温较高季节,形成温热湿润的条件,有利于植物生长。但是降水量的季节和年度变化非常大。少雨年份 283.2mm(1982 年),多雨年份 507mm(1998 年)。年蒸发量 1600~1800mm,相当于降水量的 4~5 倍。

1.2 植被特征

研究样地的植被为羊草+大针茅草原群落,是本地区典型草原的主要群落类型。羊草群落的植物种约 86 种,分属于 28 科,67 属,其中常见者约 45 种。广旱生根茎禾草羊草(*Leymus chinensis*)占显著优势,为群落的建群种,其次为大针茅(*Stipa grandis*)、西伯利亚羽茅(*Achnapherum sibiricum*)、洽草(*Koeleria cristata*)、冰草(*Agropyron michnoi*)等旱生密丛禾草。这些禾草构成群落的主体,其重量比率达 60%以上。此外群落中还含有多种轴根型和鳞茎型杂类草植物。约 75 种,占总种数的 87%,其中 80%以上是多年生草本,在生物量,特别是地下部生物量中占重要地位^[20]。

羊草群落草层生殖枝高度可达 50~60cm,叶层高度 30cm 左右,有明显的草层分化。草丛盖度一般为 30%~40%,多雨年份可达 60%~70%,地面有不连续的薄层凋落物覆盖,群落地上生物生产量多年平均为 246g/(m²·a)。

1.3 取样及测定方法

1.3.1 取样方法 在羊草草原样地内选取地形及植物群落组成一致的地段,于 1991~1997 年每年的生长季内分 5 次取样,取样时间根据羊草的物候期而定,分别为抽穗期(6 月 23 日),开花期(7 月 8 日),结实期(8 月 2 日),结实后期(8 月 16 日),营养末期(9 月 12 日)。分主要种群采集植物地上部分。

于 1999 年的 8 月 2 日及 2000 年的 7 月 28 日分两次在羊草草原样地的上述取样地点进行整株取样,分主要种群同步采集植物地上、地下部分。

1.3.2 室内分析 将上述所采集的植物样品用 80℃的烘箱烘干至恒重,粉碎处理用 GR3500 型氧弹式热量计进行能值测定。本文所分析测定的热值均为干重热值。

2 结果与分析

2.1 主要植物种群地上部分的热值

对于不受干扰的天然羊草草原群落,不同植物种群的单位重量含能值,即热值是不同的,以羊草样地为例,该样地自 1979 年以来,基本未受到放牧及刈割干扰。图 1 是根据该样地不同植物种群地上部分热值的多年平均值由高到低的排序,取样时间为 1991~2000 年的 7 月 28 日~8 月 2 日。由该图可以看出在天然羊草草原植物群落中热值最高的是小叶锦鸡儿(*Caragana microphylla*),其多年平均值为 18141.83J/g,作为灌木,其热值高于草本植物。这与许多文献中报道的灌木热值高于草本植物热值的结论是一致的^[10,11,19]。其次为早熟禾(*Poa attenuata*)和大针茅,接下来的是一年生植物黄蒿(*Artemisia scoparia*),之所以具有较高的热值是由于取样的 8 月初正是其结实期,大量的籽实由于含有较高的油性成分,而使其热值增高。羊草作为群落的建群种,其热值多年平均值达到 17670.72,优势种西伯利亚羽茅的热值 17508 J/g,也属于能值较高的植物,以上几种植物热值均大于 17500J/g,属于高能值植物。

其次为细叶鸢尾(*Iris tenuifolia*)、冰草、菊叶委陵菜(*Potentilla tanacetifolia*)、洽草、糙隐子草(*Cleistogenes squarrosa*)、变蒿(*Artemisia pubescens*)、黄囊苔草(*Carex korshinskyi*),这些植物的热值介于 17000~17500 J/g 之间,属于中热值植物,以禾草占绝大多数。

热值小于 17000 J/g 的有防风(*Saposhnikovia divaricata*)、扁蓿豆(*Melilotoides ruthenica*)、多叶棘豆(*Oxytropis myriophylla*)、冷蒿(*Artemisia frigida*)、葱属植物(*Allium*)、麻花头(*Serratula centauroides*)、细裂白头翁(*Pulsatilla tuuczianinovii*)、阿尔泰狗娃花(*Heteropappus altaicus*)、星毛委陵菜(*Potentilla acaulis*)和木地肤(*Kochia prostrata*),属于低热值植物,其中木地肤的热值最低,仅为 15703J/g,可以发现,这类植物以菊类草为主。

2.2 植物不同部位的热值分布

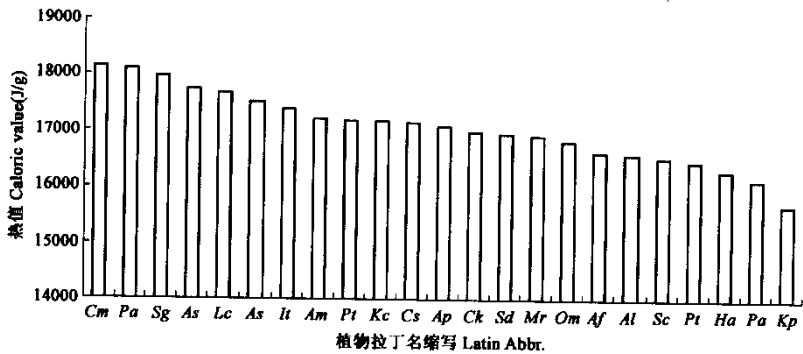


图 1 羊草草原群落主要植物种群的热值

Fig. 1 The caloric value of major plant population in *Leymus chinensis* steppe

Cm- *Caragana microphylla* 小叶锦鸡儿, Pa- *Poa attenuata* 渐狭早熟禾, Sg- *stipa grandis* 大针茅, As- *Artemisia scoparia* 黄蒿, Lc- *Leymus chinensis* 羊草, As- *Achnapherum sibiricum* 西伯利亚羽茅, It- *Iris tenuifolia* 细叶鸢尾, Am- *Agropyron michnoi* 米氏冰草, Pt- *Potentilla tanacetifolia* 菊叶委陵菜, Kc- *Koeloria cristata* 治草, Cs- *Cleistogenes squarrosa* 糙隐子草, Ap- *Artemisia pubescens* 变蒿, Ck- *Carex korshinskyi* 黄囊苔草, Sd- *Saposhnikovia divaricata* 防风, Mr- *Melilotoides ruthenica* 扁蓿豆, Om- *Oxytropis myriophylla* 多叶棘豆, Af- *Artemisia frigida* 冷蒿, Al- *Allium* 葱属植物, Sc- *Serratula centauroides* 麻花头, Pt- *Pulsatilla tuuczaniinovi* 细裂白头翁, Ha- *Heteropappus altaicus* 阿尔泰狗娃花, Pa- *Potentilla acaulis* 星毛委陵菜, Kp- *Kochia prostrata* 木地肤

对于同一株植物而言,部位不同热值也不相同。图 2 显示了草原植物生长旺盛期的 7、8 月份主要植物种群地上和地下部分的热值(所用数值为 1999 年 8 月 2 日及 2000 年 7 月 28 日在羊草样地内两次取样的平均值),显然所测的主要植物种群地上部分热值均高于地下根系,地上部分热值的变化范围为 16821~18483 J/g,地下部分热值的分布范围为 15051~16410 J/g。二者的差值在 2000 J/g 左右。植物器官的组成成分及其在光合生产中合成的基本含能物质均以脂肪、蛋白质和碳水化合物为主,这些有机物中脂肪、蛋白质含量与植物各部分干物质中的能量含量呈明显的正相关^[2,3],由于地上部分的主要组成器官—茎和叶,作为植物体的光合作用器官,特别是叶片,是植物体生理活动最活跃的器官之一,其本身含有较多高能化合物,如蛋白质、脂类等,另外,光合作用合成的高能有机物也首先储存在叶中,决定了其具有较高的能值。据 1999 年 8 月 2 日所测,建群种羊草叶的热值为 17386 J/g,茎的热值为 17119 J/g,叶的热值略高于茎的热值,其他文献的研究结果也显示了同样的规律。而根作为植物体的支持器官,生理活性相对较低,组成以纤维素为主,纤维素的热值相对蛋白质和脂类的热值要低,且由于根吸收较多的矿质元素,灰分含量较高,从而使其干重热值较低。

由图 2 也可以看出不同植物的根系热值差异并不与其地上部分同步,例如,大针茅和西伯利亚羽茅地上部分热值较高,而其根系热值却相对较低。对比不同植物的根系热值,也可以发现,根系热值较高的 3 种植物,羊草、米氏冰草、黄囊苔草均为根茎禾草,根茎作为植物萌生新的枝条、储藏和转运光合产物的器官,含有较多的高能物质,而大针茅、西伯利亚羽茅、治草等须根型禾草、鳞茎葱类及轴根型杂类草的根系热值相对较低。

2.3 羊草草原不同物候期的植物热值

如图 3 所示,群落中的几种高大禾草,羊草、大针茅、西伯利亚羽茅随物候期的不同热值变动范围不大。其中建群种羊草在 6 月下旬抽穗期热值含量相对较高,7 月上中旬开花期热值含量有所减少,8 月份结实期热值含量相对增加,9 月中旬果后营养期热值再次出现高峰。西伯利亚羽茅的变化趋势在前期与羊草基本相同,只是其热值的第二个高峰在 8 月中旬达到,至 9 月中旬生长季末热值已有所下降。大针茅在整个生长季热值始终较高,波动变化也较小(约 300 J/g),仅在 8 月初的结实期略高。

矮小丛生禾草冷蒿则是在 6 月下旬即达到热值高峰,其后至生长季结束一直呈下降趋势。

黄蒿是随其物候期不同热值变化最大的植物,作为夏雨型 1 年生和 2 年生植物的主要代表,其生长发

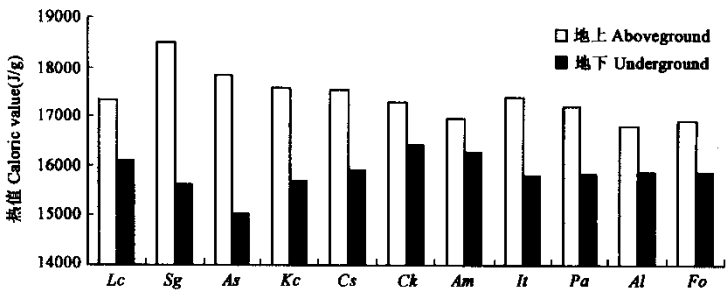


图 2 主要植物种群地上与地下部分热值比较

Fig. 2 The comprison of caloric value between aboveground and underground part of major plant species

拉丁文缩写同图 1 latin abbr. same as in Fig. 1

育状况受降雨量的影响最明显,其热值在生长季前期的变化规律与大多数杂类草相似,在生长季初期相对较低,随着结实期的到来,热值逐渐升高,至 8 月中旬达到高峰(18256 J/g),只是 9 月中旬生长季结束时,热值反而降到最低(17354 J/g),高低峰差值近 1000 J/g。另一种蒿属植物变蒿,其热值变化规律与黄蒿相近,但变动范围相对较小,热值高峰也略有提前,在 8 月初即达到最高值,其后逐渐下降。

其它杂类草植物热值随生长季的波动相对较大,表现了更典型的 V 型曲线,整体来说,其热值低于禾草和蒿属植物,且 6 月下旬其热值含量就已达到最高点(17500 J/g),之后迅速下降,至 7 月中上旬热值下降约 800 J/g,达到最低点,然后热值逐渐回升,8 月初达到 17152 J/g,之后增幅很小,一直保持到 9 月中旬生长季结束。

植物在不同物候期的热值变化是与植物种本身的生态生物学特性相联系的。物候期即指植物的生长发育节律。植物本身的能量固定、转移和分配规律随物候期的不同而发生变化,热值也就必然发生相应的波动。大多数植物在 6 月下旬,热值含量相对较高,这是由于植物体自 5 月初开始返青生长后,植物进入营养生长阶段,一方面地下营养器官储存的能量向上运输,另一方面,植物光合作用所固定的能量暂时储存在茎叶中,为进一步的生殖生长作准备。反映在热值含量上也相对较高。至 7 月中上旬,植物处于生长期最佳的水热条件下,大部分植物进入营养—生殖阶段,通过旺盛生长形成并发展植物体的各种构件,与其他时期相比,光合作用所固定的能量相对均匀地分配到快速扩展出来的构件上,从而使植物地上部分热值含量相对减少。到了 8 月份,大多数植物进入结实期,果实和种子所积累的高能物质使植物地上器官热值含量相对增加。9 月中旬进入生长季的后期,果实和种子已经成熟,植物整体的营养物质比较丰富,热值再次出现高峰。在研究的这几个植物种群中,羊草、西伯利亚羽茅、杂类草大体显示出了这种变化趋势,当然在本项研究中杂类草这一类群包含很多植物,这些植物的物候期是不尽相同的,而杂类草中有很多花期较早的种类,如细裂白头翁、红纹马先蒿、狗舌草、防风 and 麻花头等大多数杂类草开花结实较早,到 7 月中旬已过了生长盛期,有的甚至已经枯萎,使杂类草整体热值下降。当然,也有部分杂类草物候期较晚,如阿尔泰狗娃花,由于这类植物的开花结实,又使杂类草整体热值在 8 月份回升。所以杂类草的热值变化趋势是多种植物共同作用的结果。另外,在本项研究中蒿属植物的热值表现出明显的单峰曲线和较大的波动范围,则可能与大量含有高能物质的籽实的成熟散布有关。另外一种小禾草治草的热值高峰提前也是治草物候

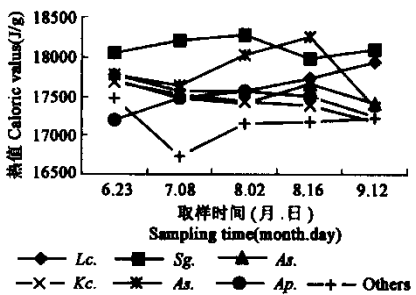


图 3 羊草草原主要植物种群热值的季节变化

Fig. 3 Seasonal change of caloric value of major plant species in *Leymus chinensis* steppe (拉丁文缩写同图 1, latin abbr. same as in Fig. 1)

期决定的, 洽草春季返青较早, 6月初已进入盛花期, 此后随着果实的散布热值也逐渐下降。

2.4 植物热值的年动态

图4所示为1991~1997年天然羊草草原群落热值的年际动态, 所用数值取自各年度生长季内不同物候期取样的平均值, 相关分析表明(见表1), 羊草、大针茅和洽草的年际热值波动相关显著, 但建群种羊草的波动范围很小, 亚建群种大针茅和伴生种洽草波动范围相对较大, 波动范围在1000~2000 J/g之间, 优势种羽茅和杂类草的年际波动与上述3个种相关不显著, 杂类草的年际波动也相对较小。

一些文献表明, 植物热值会因植物种类、光强、日照时数、养分含量、季节和土壤类型而发生变化^[1~4, 21]。本文的年度比较所用数值取自不同年份的相同时间和同一样地, 即取样时间和土壤类型一致, 土壤养分含量相对稳定。对于同一植物种类而言, 影响其热值变化的可能因素主要是气候因素和微环境的差异。将几种主要植物的热值与生长季降水(5~9月份降水)、生长季累积日照时数(5~9月份日照时数)等气候因素所做的相关分析表明(见表2), 主要植物种群的热值与生长季降水量和生长季日照时数之间无明显相关性。

表1 主要植物种群热值之间的相关分析
Table 1 Correlation analysis between the caloric values of major plant species

	羊草 <i>Lc.</i>	大针茅 <i>Sg.</i>	西伯利亚羽茅 <i>As.</i>	洽草 <i>Kc.</i>
大针茅 <i>Sg.</i>	0.895 *			
Sig.	0.016			
伯利亚羽茅 <i>As.</i>	0.153	0.406		
Sig.	0.773	0.424		
洽草 <i>Kc.</i>	0.89 *	0.891 *	0.176	
Sig.	0.018	0.017	0.739	
其它草 <i>Ot.</i>	0.317	0.279	0.686	0.36
Sig.	0.541	0.592	0.133	0.483

表2 主要植物种群热值与气候因子之间的相关分析
Table 2 Correlation analysis between the caloric values of major plant species and climatic factors

	羊草 <i>Lc.</i>	大针茅 <i>Sg.</i>	西伯利亚羽茅 <i>As.</i>	洽草 <i>Kc.</i>	其它草 <i>Ot.</i>
5~9月降水					
May~Sept. precipitation	0.307	0.327	0.078	0.301	0.022
Sig.	0.554	0.526	0.883	0.563	0.967
5~9月日照时数					
May~Sept. sunshine hours	0.077	-0.260	-0.736	0.049	0.024
Sig.	0.885	0.618	0.096	0.927	0.647

拉丁文缩写同图1, latin abbr. same as in Fig. 1
* Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).
N=6

拉丁文缩写同图1, latin abbr. same as in Fig. 1
* Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).
N=6

适宜的气候条件下, 群落中的大多数植物会表现出较好的生长状况, 特别是优势植物, 往往长势良好, 光合作用能力强, 且能完成生长周期, 抽穗结实的也相对较多, 而作为反映植物组织各种生命活动的变化和植物生长状况的指标之一, 植物热值也会随之发生变化。在本项研究中羊草、大针茅和洽草等几种优势禾草的热值在年度波动上呈显著相关, 也说明了这一点。但是对于该地区植物来说, 什么样的气候条件才是最适宜的气候条件呢? 通常人们认为对于光照充足的温带半干旱草原地带来说, 光照条件不是植物生长的限制因素, 植物的生长状况更多的受降水量的制约。但在本项研究中主要植物种群热值与生长季降水量和生长季日照时数均无显著相关, 这也可能是由于尽管植物热值在一定程度上可以反映植物的生长状况, 但由于植物群落构成及其内部调节机制的复杂性, 群落内的各种植物种群的生长状况并不是完全随气候条件的波动而变化的。关于这一点, 还有待于进一步进行研究。

3 讨论

尽管植物热值相对于植物的其它生物学特征来说, 是植物的一个相对稳定的性质, 但它仍会随着不同的植物种类, 不同的生境和气候条件, 不同的生长发育阶段及植物的不同部位, 表现出不同的变化规律。国内外许多学者针对热值的这种种内变化和种间变化规律, 进行了广泛研究。本文对内蒙古羊草草原几个主要植物种群(及类群)的热值动态的研究结果表明, 对于植物的地上部分来说, 半灌木植物热值高于草本植物, 禾草类植物高于杂类草; 对于同种植物来说, 往往是地上部分热值高于地下部分, 叶的热值高于茎的热值; 而对于地下部分来说, 则是根茎型草的热值相对较高; 不同种类植物地下部分热值差异并不与地上同步。根茎型禾草地上、地下部分热值差异较小, 而须根型植物差异较大。研究也表明不同种群的植物地上部

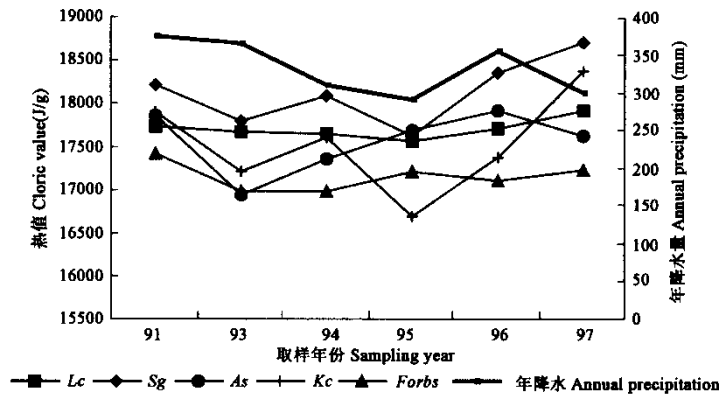


图 4 主要植物种群热值的年度变化

Fig. 4 Annal change of caloric value of major plant species (拉丁文缩写同图 1, latin abbr. same as in Fig. 1)
分热值随植物物候期的不同和年份的不同而波动。

这些差异和波动与植物体内含能物质的分配和储运规律有密切关系,而这些又进一步受到植物本身的遗传特性与植物的生长状况的制约。植物体内有机物的组成不同就会导致植物的热值不同,在植物的组成物质中, 萜(46.9 kJ/g)、脂类(38.9 kJ/g)、和油具有较高的热值,碳水化合物热值较低(15.7~17.6 kJ/g),木质素(26.4 kJ/g)和蛋白质(23 kJ/g)的热值也较高。当植物的化学组成随着样地条件、气候因素和物候期的不同而变化时,与这些因子密切相关的热值自然也会发生变化,也有研究显示植物的热值和粗蛋白含量之间具有显著的相关性,随着植物的生长发育,植物叶中的粗蛋白含量减少,粗纤维和碳水化合物的比例增加,因此在生长季早期,叶应该具有最高的热值,在本项研究中部分植物在生长季早期具有较高的热值,可能就是这个原因造成的,而另一些植物则是在它的花期和果期具有较高热值,显然这是由于此时茎秆和籽实中含有较多的高能物质,特别是脂类, Singe 和 Yadava 发现,多年生草本植物热值的峰值是与其花期和果期的时间是一致的^[24]。研究中不同物种的热值随着生长季发生不同的变化,这是因为尽管对于草原植物群落来说生长季是 5~9 月份,但不同的物种物候期并不是同步的,对于靠种子繁殖的 1 年生和 2 年生草本植物则更体现了这一变化趋势。

与木本植物相比,草本植物热值的季节变化幅度更大一些。例如,刘世荣对落叶松人工林生态系统中落叶松热值的季节动态表明^[22],叶片热值在 6 月份达到最大值,之后逐渐减小,到生长季末期降到最低值;枝条热值在生长季中期变化平缓,但在生长季末期出现略微增加的趋势。叶片和枝条热值的变化幅度一般小于 500J/g,而在本项研究中,大多数草本植物热值的季节波动都高于 500J/g,有些植物甚至大于 1000 J/g.造成这种差异的原因,主要是由植物的生活史对策不同造成的,与木本植物相比,草本植物个体较小,个体生长具有强烈的季节变化特点,随着生长季的起始和结束,光合产物在地上与地下的储运也迅速完成,在这一过程中,植物热值也会表现出相对明显的季节变化。

总之,草原植物的热值研究,不仅能为生态系统能流分析提供重要依据,而且对植物的生长发育,营养物质含量以及植物的适应能力和竞争能力等方面的研究都会带来一定的启示。这就需要在今后的工作中进行更细致和深入的研究。

References:

[1] Lin P, Lin G H. Study on the caloric value and ash content of some mangrove species in China, *Acta Phytoecologica et Geobotanica Sinica*, 1991, **15**(2): 114~120.
[2] Zu Y G. *Energy Ecology*. Changchun: Jilin Sciences and Technicality Press, 1990. 1~15.
[3] Bliss L C. Caloric value 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] Long F L. Application of calorimetric methods to ecological research. *Plant Physiology*, 1934, **9** (2): 323~327.
- [6] Whittaker R H. *The population structure of vegetation*. In: Gesellschafts Morphologie. W. Tunk, The Hague, 1970. 39~59.
- [7] 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.
- [8] Wielgolaski F E, Kjelson S. Energy content and use of solar radiation of Feunoseandian Tundra plants. In: Wielgolaski F. E. Ed. *Feunoseandian Tundra Ecosystem Part I: Plants and microorganisms*. Springer-Verlag, 201~207.
- [9] Adamandiadou S, Sifacsa L, Margaris N S. Caloric content of plants dominating phryganic (east Mediterranean) ecosystems in Greece. *Flora*, 1978, **167**: 574~584.
- [10] Yang F T, He H J. A preliminary study on caloric values of common plants in alpine meadow. *Acta Phytoecologica et Geobotanica Sinica*, 1983, **7**(4): 280~288.
- [11] Hadley E B, Bliss L C. Energy relationships of alpine plants on Mt. Washington, New Hampshire. *Ecol Monogr.*, 1964, **34** (4): 331~357.
- [12] Su Z X, Zhong Z C, Liao Y M, et al. Studies on the energy of *Neosinocalamus affinis* clonal population. *Acta Ecologica Sinica*, 1994, **14**(2): 142~147.
- [13] Gorham E, Sanger J. Caloric values of organic matter in woodland, swamp and lack soils. *Ecology*, 1969, **48** (3): 492~494.
- [14] Golley F B. Caloric value of wet tropical forest vegetation. *Ecology*, 1969, **50**: 517~519.
- [15] Hadley N F, Tinkle D W. Lizard reproductive effect; caloric estimates and comments on its evolution. *Ecology*, 1975, **56** (3): 427~434.
- [16] Lin P, Shao C, Zheng W J. Study on the caloric values of dominating plants in a subtropical rain forest in Hexi of Fujian. *Acta Phytoecologica Sinica*, 1996, **20**(4): 303~309.
- [17] Zu Y G, Zhu T C. The stability analysis and energy flow through *Leymus chinensis* population. *Acta Botanica Sinica*, 1987, **29**(1): 95~103.
- [18] Guo J X, Wang R D, Bao G Z. Caloric value of northeast *Aneurolepidium chinense* grassland species. *Acta Phytoecologica Sinica*, 2001, **25** (6): 746~750.
- [19] Wang W, Liu Z L. Study on the dynamics of aboveground caloric value of main plant population in *Leymus chinensis* community. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 1993, **7**(2): 61~75.
- [20] Jiang S. An introduction on the Inner Mongolia grassland ecosystem research station, Academia Sinica. *Research on Grassland Ecosystem*. 1985, **1**: 1~10.
- [21] Liu S R, Cai T J, Chai Y X, et al. Energy accumulation, distribution, fixation and transformation in man-made Larch forest communities. *Journal of Ecology*, 1990, **9**(6): 7~10.
- [22] Liu S R, Wang W Z, Wang M Q. The characteristics of energy in the formative process of net primary productivity of larch artificial forest ecosystem. *Acta Phytoecologica et Geobotanica Sinica*, 1992, **16**(3): 209~218.
- [23] Yang F T, Wang Q J, Shi S H. The allocation of the biomass and energy in *Kobresia humilis* meadow, Haibei district, Qinghai Province. *Acta Phytoecologica et Geobotanica Sinica*, 1987, **11**(2): 106~111.
- [24] Singh J S, Yadava P S. Caloric values of plant insects and insect species of tropical grassland. *Oikos*, 1973, **24**: 186~194.

参考文献:

- [1] 林鹏, 林光辉. 几种红树植物的热值和灰分含量研究. *植物生态学与地植物学学报*, 1991, **15**(2): 114~120.
- [2] 祖元刚. 能量生态学引论. 长春: 吉林科学技术出版社, 1990. 1~15.
- [7] 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.
- [10] 杨福园, 何海菊. 高寒草甸地区常见植物热值的初步研究. *植物生态学与地植物学丛刊*, 1983, **7**(4): 280~288.
- [12] 苏智先, 钟章成, 廖咏梅. 慈竹克隆种群能量动态研究. *生态学报*, 1994, **14**(2): 142~147.
- [16] 林鹏, 邵成, 郑文教. 福建和溪亚热带鱼林优势植物叶的热值研究. *植物生态学报*, 1996, **20**(4): 303~309.
- [17] 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.
- [18] 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.
- [19] 王炜, 刘钟铃. 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.
- [20] 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. 见: 中国科学院内蒙古草原生态系统定位站编. *草原生态系统研究*. 北京: 科学出版社, 1985. 1: 1~10.
- [21] 刘世荣, 蔡体久, 柴一新, 等. 落叶松人工林群落能量积累、分配、固定和转化的研究. *生态学报*, 1990, **9**(6): 7~10.
- [22] 刘世荣, 王文章, 王明后. 落叶松人工林生态系统净初级生产力形成过程中的能量特征. *植物生态学与地植物学学报*, 1992, **16**(3): 209~219.
- [23] 杨福园, 王启基, 史顺海. 青海海北地区矮蒿草甸生物量和能量的分配. *植物生态学与地植物学学报*, 1987, **11**(2): 106~111.