

黄土高原子午岭大披针苔草能量与养分特征*

陈美玲^{1,2} 上官周平^{1,2,*}

(¹ 西北农林科技大学黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西杨凌 712100; ² 中国科学院水土保持研究所, 陕西杨凌 712100)

摘要 对黄土高原子午岭林区不同植被群落的优势伴生种——大披针苔草的能量和养分特征进行了研究。结果表明, 随着演替的进展, 处于不同演替阶段群落的大披针苔草地上部分和地下部分去灰分热值呈下降趋势。狼牙刺群落的大披针苔草地上部分去灰分热值最高, 沙棘群落的最低; 狼牙刺群落的大披针苔草地下部分去灰分热值最高, 辽东栎群落的最低。不同群落大披针苔草地上部分热值均明显高于地下部分, 且不同群落大披针苔草地下部分干质量热值和去灰分热值均呈极显著差异。处于演替早期的各群落(狼牙刺、沙棘、山杨和白桦群落)内的大披针苔草热值差异较大, 而演替后期的油松和辽东栎群落的大披针苔草热值差异较小。大披针苔草地下部分干质量热值与 C/N 呈显著正相关关系。

关键词 大披针苔草 热值 灰分含量 C/N 黄土高原

文章编号 1001-9332(2008)01-0050-07 中图分类号 S718.5 文献标识码 A

Energy and nutrient characteristics of *Carex lanceolata* in Ziwuling of Loess Plateau. CHEN Mei-ling^{1,2}, SHANGGUAN Zhou-ping^{1,2} (¹ State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming in the Loess Plateau, Northwest A & F University, Yangling 712100, Shaanxi, China; ² Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences, Yangling 712100, Shaanxi, China). -Chin. J. Appl. Ecol. 2008, 19(1): 50-56.

Abstract: The study on the energy and nutrient characteristics of *Carex lanceolata*, a dominant companion species in different plant communities in Ziwuling forest area of Loess Plateau showed that the ash free caloric values of the aboveground and underground parts of the species tended to decline in the communities experienced different successional stages. The aboveground part of *C. lanceolata* had the highest ash free caloric value in *Sophora viciifolia* community and the lowest in *Hippophae rhamnoides* community. The underground part of *C. lanceolata* had the highest ash free caloric value in *S. viciifolia* community and the lowest in *Quercus liaotungensis* community. The aboveground part of *C. lanceolata* had a remarkably higher caloric value than its underground part, and the underground part appeared to extremely significantly differ in gross and ash-free caloric values among different communities. The caloric value of *C. lanceolata* varied greatly in the communities going through their early successional stages (*S. viciifolia*, *H. rhamnoides*, *Populus davidiana* and *Betula platyphylla* communities), and less greatly in the communities experiencing their later successional stages (*Pinus tabulaeformis* and *Q. liaotungensis* communities). There was a significant positive correlation between the gross caloric value and the C/N ratio in the underground part of *C. lanceolata*.

Key words: *Carex lanceolata*; caloric value; ash content; C/N ratio; Loess Plateau.

植被演替规律及其定向调控是植物生态学研究的重要内容, 它为生态脆弱区植被的恢复和重建提供了理论依据。目前关于植被演替的研究多是从种

群、群落以及土壤理化性质角度进行的^[1-3], 对凋落物以及土壤微生物、动物与演替关系的研究也日益受到重视^[4-6], 而关于群落伴生种草本与群落演替关系的研究还很少。在森林植被演替过程中, 多年生草本具有特殊的地位, 在群落 C/N 循环、改善土壤肥力、减少林地水土流失、促进树木凋落物的分解和维护林地地力等方面具有不可忽视的作用^[7-9]。近

* 中国科学院西部行动计划项目(KZCX2-XB2-05)和中国科学院西部之光人才培养计划联合学者资助项目(2005LH01)。

* * 通讯作者。E-mail: shangguan@ms.iswc.ac.cn

2007-01-11 收稿, 2007-10-25 接受。

年来关于植物热值的研究主要集中在大范围的地带性植被^[10-13],有关热值与演替的关系以及不同区域同种植物的比较研究还较少^[11,14-15],而林下草本植物的能量与演替关系则一直被忽视.在森林植被群落中,充足的光能资源有利于植物通过光合作用积累含能量较高的物质,表现为热值较高.随着群落的演替进展,其冠层加厚,到达下层的太阳辐射逐渐减少,给林内小气候及土壤理化性质带来影响^[16],并影响林下草本的生长和发育,因而处于不同演替阶段群落的同种物种会体现不同的能量特征.研究处于不同演替阶段群落林下草本植物的热值和养分含量,对丰富和发展群落演替理论有着特殊的生态学意义.

子午岭林区是黄土高原主要的天然次生林区,分布着处在不同演替阶段的各种植被群落类型^[17-19].大披针苔草(*Carex lanceolata*)是黄土高原森林区、森林草原区和草原区广泛分布的群落优势伴生种,也是子午岭北部林区分布最为广泛的伴生草本,为林下草本层的优势种^[18,20].尽管有关子午岭林区植被的研究已广泛开展^[17,21-23],但关于其植物能量生态学的研究尚鲜有报道.本文对子午岭处于不同演替阶段各植被群落的大披针苔草的热值和养分特征进行研究,旨在明确子午岭林区不同演替群落林下植被的能量差异,为子午岭森林植被群落的合理管理、黄土高原地区人工植被自然化抚育与营造提供理论依据.

1 研究地区与研究方法

1.1 自然概况

研究区位于甘肃省合水县连家砭林场(35°03'—36°37'N,108°10'—109°08'E).该区属典型的黄土丘陵沟壑地形,黄土厚度50~100 m,海拔约1300 m,年均气温7.4℃,年均降水量587.6 mm,≥10℃积温2671.0℃,干燥度0.97.阴阳坡水热条件变化较大,但无气候的垂直带状变化^[18].

本文选取了7个代表性群落:狼牙刺(*Sophora viciifolia*)群落、沙棘(*Hippophae rhamnoides*)群落、山杨(*Populus davidiana*)群落、白桦(*Betula platyphylla*)群落、油松(*Pinus tabulaeformis*)群落、柴松(*Pinus tabulaeformis f. shekannensis*)群落和辽东栎(*Quercus liaotungensis*)群落,通过时空互代的方法将其看作同一群落的7个不同演替阶段^[18],其中狼牙刺群落和沙棘群落为演替的灌木期,山杨群落和白桦群落为早期森林群落,油松群落和辽东栎群落为演替后

期的亚顶级和顶级群落,柴松群落所处的演替阶段尚未确定.黄蔷薇(*Rosa hugonis*)、中华绣线菊(*Spiraea chinensis*)、蒙古荚蒾(*Viburnum mongolicum*)、茶条槭(*Acer ginnala*)、忍冬(*Lonicera japonica*)、杜梨(*Pyrus betulifolia*)、悬钩子(*Rubus corchorifolius*)等为广泛分布的灌木和小乔木型伴生种.主要草本包括大披针苔草、达乌里胡枝子(*Lespedeza davurica*)、白头翁(*Radix pulsatillae chinensis*)、野豌豆(*Vicia sepium*)、蒿属(*Artemisia*)、甘草(*Radix glycyrrhizae*)和萎陵菜(*Potentilla chinensis*)等.

1.2 研究方法

1.2.1 样品采集 2005年7月中旬,在各群落内设立两个10 m×10 m标准样地,每样地设6个1 m×1 m样点.样地基本特征见表1.在各样点内选择下层长势良好的大披针苔草,分地上部分和地下部分整簇采集,拣出枯叶等杂物后混匀,装入自封袋,并迅速带回实验室.样品于105℃下杀青10 min,70℃下烘干至恒量.取一部分样品测定植物组织含水量,将另一部分样品磨细后分别过0.154 mm筛(测定养分含量)、0.25 mm筛(测定热值)和0.5 mm筛(测定灰分含量).

1.2.2 测定方法 有机碳含量的测定采用外加热、重铬酸钾容量法.全氮含量采用开氏定氮法测定.植物热值的测定采用热量计法(XRY-1A型数显氧弹式热量计,上海).灰分含量的测定采用干灰化法^[24],去灰分热值=干质量热值/(1-灰分含量).

1.2.3 数据分析 用SAS 8.0统计分析软件对数据进行统计分析.进行相关分析与one-way ANOVA方

表1 试验样地基本概况

Tab.1 Basic status of sampling sites

群落 Community	坡度 Slope (°)	坡向 Orientation	坡位 Location	海拔 Altitude (m)	郁闭度 Coverage (%)
LYC	35°	半阳坡 Half-open	中坡 Mid-grade	1346	-
SJ	<5°	半阳坡 Half-open	峁顶 Peak	1343	-
SY	18°	阴坡 Shade	上坡 Upgrade	1445	79.1
BH	12°	阴坡 Shade	中上坡 Mid-upgrade	1426	76.4
YS	15°	阴坡 Shade	上坡 Upgrade	1330	84.1
CS	12°	阴坡 Shade	中坡 Mid-grade	1409	82.0
LDL	25°	阴坡 Shade	上坡 Upgrade	1427	76.2

LYC:狼牙刺群落 *S. viciifolia* community; SJ:沙棘群落 *H. rhamnoides* community; SY:山杨群落 *P. davidiana* community; BH:白桦群落 *B. platyphylla* community; YS:油松群落 *P. tabulaeformis* community; CS:柴松群落 *P. tabulaeformis f. shekannensis* community; LDL:辽东栎群落 *Q. liaotungensis* community. 下同 The same below.

差分析之前,采用 RANK 过程对实验数据进行正态分布检验,并用 LSD 法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 不同群落大披针苔草的含水量

从图 1 可以看出,植被演替后期群落大披针苔草地上部分和地下部分含水量均高于早期群落。其中油松群落的大披针苔草地上部分含水量最高(60.07%),山杨群落最低(49.82%);柴松群落地下部分含水量最高(42.90%),白桦群落最低(36.45%)。不同群落大披针苔草地上部分含水量均高于地下部分,且差异达极显著水平。

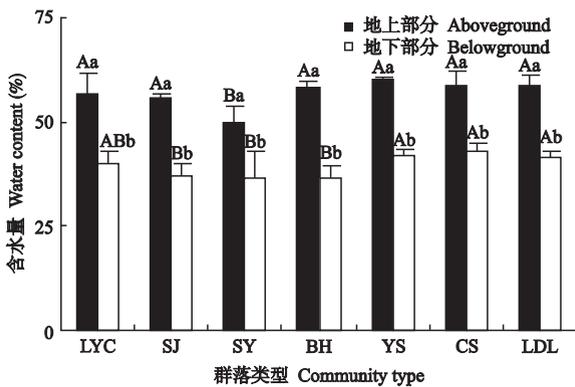


图 1 不同演替群落大披针苔草地上部分和地下部分含水量

Fig. 1 Water content of above- and below-ground parts of *C. lanceolata* in different communities.

LYC: 狼牙刺群落 *S. vicifolia* community; SJ: 沙棘群落 *H. rhamnoides* community; SY: 山杨群落 *P. davidiana* community; BH: 白桦群落 *B. platyphylla* community; YS: 油松群落 *P. tabulaeformis* community; CS: 柴松群落 *P. tabulaeformis f. shekannensis* community; LDL: 辽东栎群落 *Q. liaotungensis* community. 不同大写字母表示不同群落间差异极显著 ($P < 0.01$) Different capital letters meant significant difference among different communities at 0.01 level; 不同小写字母表示相同群落不同部分间差异极显著 ($P < 0.01$) Different small letters meant significant difference between aboveground and belowground part of the same community at 0.01 level. 下同 The same below.

2.2 不同群落大披针苔草的 C、N 含量及 C/N

从图 2 可以看出,不同群落大披针苔草地上部分有机碳含量以辽东栎群落($590.08 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$)最高,柴松群落($377.80 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$)最低,地下部分有机碳含量随着演替进程波动明显,以沙棘群落($583.20 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$)最高,柴松群落($376.58 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$)最低。不同群落大披针苔草地上部分有机碳的平均含量($464.28 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$)小于地下部分($474.97 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$),但差异不显著 ($P > 0.05$)。

不同群落大披针苔草地上部分全氮含量以油松群落($14.73 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$)最高,狼牙刺群落($9.47 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$)最低,从高到低依次为:油松群落 > 柴松群落 >

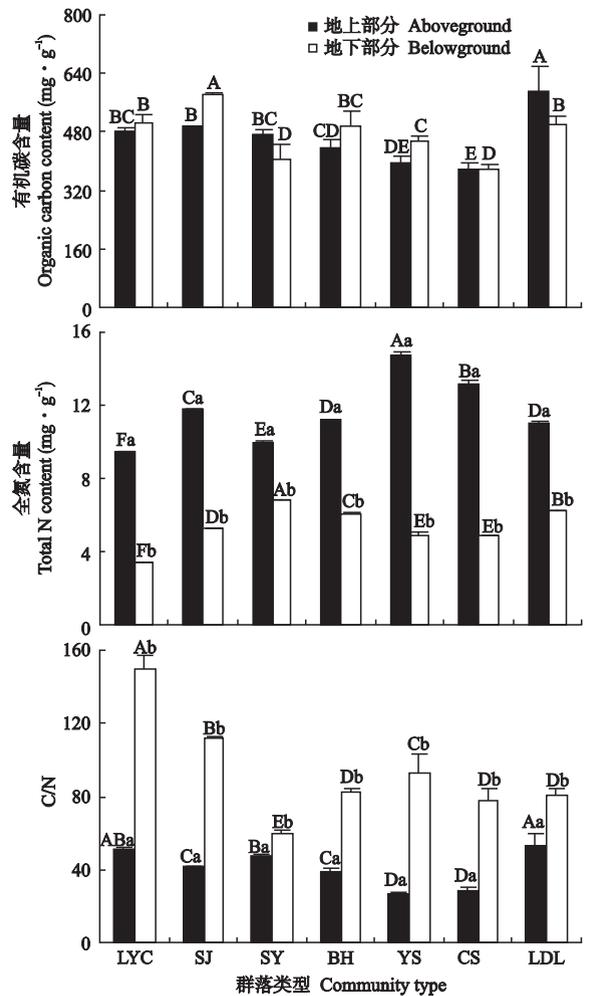


图 2 不同群落大披针苔草有机碳含量、全氮含量和 C/N
Fig. 2 Organic carbon, total nitrogen and C/N of *C. lanceolata* in different communities.

沙棘群落 > 白桦群落 > 辽东栎群落 > 山杨群落 > 狼牙刺群落,地下部分全氮含量以山杨群落($6.79 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$)最高,狼牙刺群落($3.38 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$)最低。地上部分与地下部分全氮含量差异达极显著水平 ($P < 0.01$)。C、N 均为生物圈最重要的基本元素,密切参与植物的生命过程,两者不仅各自影响相关的生物活动,彼此之间也密切相关^[25]。植被演替早期的 C/N 普遍高于演替后期,不同群落大披针苔草地上部分 C/N 以狼牙刺群落(53.4)最大,油松群落(28.7)最小,地下部分 C/N 以狼牙刺群落(149.5)最高,山杨群落(59.7)最低。地上部分和地下部分的 C/N 差异极显著 ($P < 0.01$)。

2.3 不同群落大披针苔草的热值与灰分

从图 3 可以看出,不同演替阶段群落内的大披针苔草地上部分干质量热值以白桦群落($19.65 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$)最高,辽东栎群落($17.86 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$)最低,从高到低依次为:白桦群落 > 狼牙刺群落 > 山杨群落

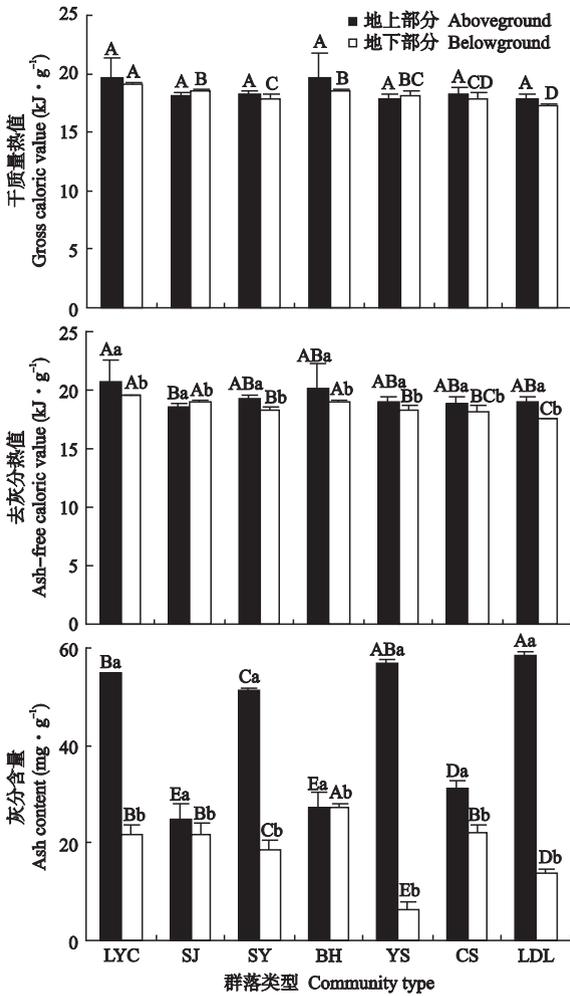


图3 不同演替群落大披针苔草地上部分和地下部分干质量热值、去灰分热值和灰分含量

Fig. 3 GCV, AFCV and ash content of *C. lanceolata* in different communities.

不同大写字母表示不同群落间差异极显著 ($P < 0.01$) Different capital letters meant significant difference among different communities at 0.01 level; 不同小写字母表示相同群落不同部分间差异显著 ($P < 0.05$) Different small letters meant significant difference between aboveground and belowground part of the same community at 0.05 level. 下同 The same below.

> 柴松群落 > 沙棘群落 > 油松群落 > 辽东栎群落, 总体波动明显。地下部分干质量热值以狼牙刺群落 ($19.14 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$) 最高, 辽东栎群落 ($17.31 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$) 最低, 从高到低依次为 狼牙刺群落 > 沙棘群落 > 白桦群落 > 油松群落 > 山杨群落 > 柴松群落 > 辽东栎群落, 随着演替的进展, 大披针苔草地下部分的干质量热值呈递减趋势。

不同植物种类或不同生境下同种植物的热值比较应采用去灰分热值, 以消除灰分含量不同造成的影响^[10, 26]。不同群落大披针苔草地上部分和地下部分去灰分热值的变幅比干质量热值小, 去灰分热值

与干质量热值的高低顺序不太相同, 这可能与灰分的影响有关。不同群落大披针苔草地上部分去灰分热值以狼牙刺群落 ($20.78 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$) 最高, 沙棘群落 ($18.55 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$) 最低, 从高到低依次为: 狼牙刺群落 > 白桦群落 > 山杨群落 > 辽东栎群落 > 油松群落 > 柴松群落 > 沙棘群落。演替早期的狼牙刺群落、沙棘群落、山杨群落和白桦群落大披针苔草地上部分去灰分热值平均为 $19.70 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$, 大于油松和辽东栎群落的平均值 $18.96 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$, 柴松群落与后期的油松和辽东栎群落较接近。大披针苔草地下部分去灰分热值以狼牙刺群落 ($19.56 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$) 最高, 辽东栎群落 ($17.55 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$) 最低, 早期群落大于后期群落, 从高到低依次为: 狼牙刺群落 > 白桦群落 > 沙棘群落 > 山杨群落 > 油松群落 > 柴松群落 > 辽东栎群落。不同演替群落大披针苔草地上部分和地下部分去灰分热值差异显著 ($P < 0.05$)。

不同群落不同组分间灰分含量的差异悬殊。不同群落大披针苔草地上部分灰分含量以辽东栎群落 ($58.48 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$) 最高, 沙棘群落 ($24.79 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$) 最低, 差异极显著 ($P < 0.01$)。地下部分灰分含量则以白桦群落 ($27.14 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$) 最高, 油松群落 ($6.49 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$) 最低, 差异达极显著水平 ($P < 0.01$)。地上部分的灰分含量显著高于地下部分 ($P < 0.05$)。不论是地上部分还是地下部分, 狼牙刺群落内的大披针苔草都有较高的干质量热值和去灰分热值, 除了地上部分干质量热值稍低于白桦群落外, 其余均高于其他群落 (图3)。野外调查发现, 处于过渡阶段的白桦群落倒木较多, 具有明显的退化现象, 林窗较多, 郁闭度较小 (76.4%), 生长在其下的大披针苔草可能因此而获得了较多光照, 使得叶片具有较高的干质量热值。狼牙刺群落处于演替早期的草本、灌木阶段, 尚未达到郁闭, 群落内光照充足, 大披针苔草生长良好, 热值较高, 随着演替的进展, 群落优势种在竞争中的优势逐渐提高, 群落郁闭度逐渐增大, 林下草本获得的光能逐渐减少, 储备的含能物质也随之减少, 因而热值也逐渐降低。

2.4 大披针苔草热值与养分的相关关系

从表2可以看出, 大披针苔草地上部分和地下部分的去灰分热值均与其干质量热值呈极显著正相关 ($P < 0.01$)。地下部分干质量热值与 C/N 呈显著正相关 ($P < 0.05$)。地下部分去灰分热值与 C/N 呈正相关。大披针苔草去灰分热值与 C、N、灰分等因子有轻微的相关性, 但均未达到显著相关水平。

表2 大披针苔草热值与 C、N、C/N、含水量和灰分的相关关系

Tab. 2 Correlations of caloric value and C, N, C/N, water content and ash content of *C. lanceolata* in different communities

项目 Item	干质量热值 GCV	去灰分热值 AFCV	灰分含量 Ash content	含水量 Water content	有机碳 Organic C	全氮 Total N	C/N	
地上部分 Aboveground	干质量热值 GCV	1						
	去灰分热值 AFCV	0.931 **	1					
	灰分含量 Ash content	-0.207	0.164	1				
	含水量 Water content	-0.034	-0.054	-0.045	1			
	有机碳 Organic C	-0.054	0.093	0.393	-0.198	1		
	全氮 Total N	-0.543	-0.593	-0.111	0.630	-0.623	1	
	碳氮比 C/N	0.239	0.371	0.339	-0.461	0.910 **	-0.886 **	1
地下部分 Belowground	干质量热值 GCV	1						
	去灰分热值 AFCV	0.988 **	1					
	灰分含量 Ash content	0.426	0.552	1				
	含水量 Water content	-0.390	-0.472	-0.503	1			
	有机碳 Organic C	0.633	0.627	0.134	-0.167	1		
	全氮 Total N	-0.646	-0.570	-0.023	-0.435	-0.468	1	
	碳氮比 C/N	0.790 *	0.742	0.120	0.088	0.816 *	-0.866 *	1

* $P < 0.05$; ** $P < 0.01$.

3 讨论

随着群落演替的进展,子午岭林区大披针苔草的热值出现了变化,这是其对在空间上处于不同演替阶段的植物群落所形成小气候的一个适应。黄土高原子午岭不同植被群落大披针苔草地上部分的干质量热值和去灰分热值的变化范围分别为 $17.86 \sim 19.65 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$ 和 $18.55 \sim 20.78 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$;其地下部分干质量热值和去灰分热值的变化范围为 $17.31 \sim 19.14 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$ 和 $17.55 \sim 19.56 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$ 。虽然大披针苔草处于不同的演替群落中,但反映其生态生物学特性的热值并没有太大变化,表明同种植物对光能的捕获特性在不同环境并没有发生显著性变化。大披针苔草地上部分和地下部分干质量热值在不同群落内波动明显,去灰分热值随着演替的进展而降低。地上部分干质量热值和去灰分热值平均为 18.52 和 $19.36 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$,地下部分则分别为 18.19 和 $18.53 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$,表明地上部分热值大于地下部分。何宗明等^[27]在研究33年生福建柏人工林群落能量时发现,福建柏和杉木两个群落草本层各组分的干质量热值和去灰分热值均为草本根大于草本叶和茎,但大多数关于草本热值的研究结果都是地上部分大于地下部分^[13-15],可能是由于人工林和天然次生林的结构不同,林下草本的适应机制也随之发生变化。地上部分的冠层是光合作用的主要器官,是植株有机物质的重要来源,因而具有较高的热值储备,同时,大披针苔草属多年生根茎类草本,根茎是萌生新的地上和地下分支、储藏和转运光合产物的

器官^[13],对大披针苔草在生长季节迅速生长及扩大面积具有非常重要的作用,因此含能物质的储备较高,热值也相应较高。

不同演替群落大披针苔草地上部分和地下部分的灰分含量差异达极显著水平。不同群落大披针苔草热值与灰分含量间无显著相关性,其原因可能是灰分含量并不能精确地代表矿质元素含量,因此也不能准确反映植物组织热值的变化。林益明等^[28]在研究7种红树植物时发现,5种红树干质量热值与灰分含量相关性不显著;在研究福建省牛姆林自然保护区植物繁殖体的热值时也发现,18种植物繁殖体干物质热值与灰分含量无明显的线性相关关系^[29]。本研究结果表明,大披针苔草地下部分去灰分热值从早期群落到后期群落有逐渐减小的趋势。目前,关于草本植物热值的研究集中在对羊草(*Leymus chinensis*)草甸草原的研究^[12-13,30],对林下草本植物热值的研究很少,因此对于林下草本植物热值变化规律及其影响因素还有待进一步探讨。

黄土高原子午岭林区处于不同演替阶段群落内的大披针苔草地上部分和地下部分干质量热值和去灰分热值均表现为:灌木时期 > 早期森林群落 > 后期群落。演替的灌木时期和早期森林各群落内大披针苔草地上、地下部分热值差异较大,后期群落差异较小,表明随着演替的进展,生境趋同性增加,大披针苔草热值有逐渐接近的趋势。这与任海等^[14]研究鼎湖山亚热带主要植物群落优势植物热值时得出的结论基本一致,说明随着演替的进展,优势种和伴生种的热值变化有一致性。从大披针苔草地上、地下

部分热值、灰分含量、水分含量、有机碳、全氮含量、C/N 的结果来看,柴松群落无论地上部分还是地下部分都与演替后期的油松群落和辽东栎群落处于同一水平,同时通过对柴松群落大披针苔草地上部分和地下部分去灰分热值与其他群落的比较,发现其与油松群落最为接近,因此,可推断柴松群落处于演替的后期,与油松群落处于相同的演替阶段,是演替的亚顶极阶段。但柴松群落在群落演替中的具体地位还有待进一步的研究确定。

致谢 感谢陕西师范大学周正朝副教授、中国科学院水土保持研究所郑淑霞博士在论文撰写过程中给予的悉心帮助!

参考文献

- [1] Mooney HA, Godron M. Disturbance and Ecosystems. Berlin : Springer-Verlag , 1983
- [2] Pickett STA, White PS. The Ecology of Natural Disturbance and Patch Dynamics. London : Academic Press , 1985
- [3] Huston MA. Biological Diversity : The Coexistence of Species on Changing Landscapes. Cambridge : Cambridge University Press , 1994
- [4] Read L, Lawrence D. Litter nutrient dynamics during succession in dry tropical forests of the Yucatan : Regional and seasonal effects. *Ecosystems* , 2003 , **6** : 747-761
- [5] Osono T, Takeda H. Decomposition of organic chemical components in relation to nitrogen dynamics in leaf litter of 14 tree species in a cool temperate forest. *Ecological Research* , 2005 , **20** : 41-49
- [6] Fujiyoshi M, Kagawa A, Nakatsubo T, et al. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi and soil developmental stages on herbaceous plants growing in the early stage of primary succession on Mount Fuji, Japan. *Ecological Research* , 2006 , **21** : 278-284
- [7] Hobbie SE. Temperature and plant species control over litter decomposition in Alaskan tundra. *Ecological Monographs* , 1996 , **66** : 503-522
- [8] Mo JM, Brown S, Lenart M, et al. Nutrient dynamics of a human impacted pine forest in a MAB Reserve of subtropical China. *Biotropica* , 1995 , **27**(3) : 290-304
- [9] He Y-L (何芝玲), Fu W-Y (傅慰毅). Review of studies on understory of plantations. *Forest Research* (林业科学研究), 2002 , **15**(6) : 727-733 (in Chinese)
- [10] Golley FB. Energy values of ecological materials. *Ecology* , 1961 , **42** : 581-584
- [11] Ren H (任海), Peng S-L (彭少麟). The characteristics of ecological energetic of the forest ecosystem in the successional process in Dinghushan, Guangdong, China. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 1999 , **19**(6) : 817-822 (in Chinese)
- [12] Qu G-H (曲国辉), Wen M-Z (温明章), Guo J-X (郭继勋). Energy accumulation and allocation of main plant populations in *Aneurolepidium chinense* grassland in Songnen Plain. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2003 , **14**(5) : 685-689 (in Chinese)
- [13] Bao Y-J (鲍雅静), Li Z-H (李政海). Dynamics of caloric values of major plant species in *Leymus chinensis* steppe of Inner Mongolia. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2003 , **23**(3) : 606-613 (in Chinese)
- [14] Ren H (任海), Peng S-L (彭少麟), Liu H-X (刘鸿先), et al. The caloric value of main plant species at Dinghushan, Guangdong, China. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), 1999 , **23**(2) : 148-154 (in Chinese)
- [15] Xu Y-R (徐永荣), Zhang W-J (张万均), Feng Z-W (冯宗炜), et al. Caloric values, elemental contents and correlations between them of some plants on sea-beach salinity soil in Tianjin, China. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2003 , **23**(3) : 450-455 (in Chinese)
- [16] Zhang Q-F (张庆费), You W-H (由文辉), Song Y-C (宋永昌). Effects of plant community succession on soil chemical properties in Tiantong, Zhejiang Province. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 1999 , **10**(1) : 19-22 (in Chinese)
- [17] Chen C-D (陈昌笃). The vegetation and its roles in soil and water conservation in the secondary forest area in the boundary of Shaanxi and Gansu Provinces. *Acta Phytocologica et Geobotanica Sinica* (植物生态学与地植物学资料丛刊), 1958(2) : 152-223 (in Chinese)
- [18] Zou H-Y (邹厚远), Liu G-B (刘国彬), Wang H-S (王晗生). The vegetation development in North Ziwluling forest region in last fifty years. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica* (西北植物学报), 2002 , **22**(1) : 1-8 (in Chinese)
- [19] Fan W-Y (范玮熠), Wang X-A (王孝安), Guo H (郭华). Analysis of plant community successional series in the Ziwluling area on the Loess Plateau. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2006 , **26**(3) : 706-714 (in Chinese)
- [20] Li Y-Y (李裕元), Shao M-A (邵明安). The change of plant diversity during natural recovery process of vegetation in Ziwluling area. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2004 , **24**(2) : 252-261 (in Chinese)
- [21] Zhang X-B (张希彪), Shangguan Z-P (上官周平). Nutrient distributions and bio-cycle patterns in both natural and artificial *Pinus tabulaeformis* forests in Hilly Loess Regions. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2006 , **26**(2) : 373-382 (in Chinese)
- [22] Zhou Z-C (周正朝), Shangguan Z-P (上官周平). Dynamic changes of soil ecological factors in Ziwluling secondary forest area under human disturbance. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2005 , **16**(9) : 1586-1590 (in Chinese)
- [23] Qin J (秦娟), Shangguan Z-P (上官周平). Physiological-ecological effects of *Populus davidiana* - *Quercus liaotungensis* mixed forest in Ziwluling forest area. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报),

- 2006, **17**(6):972-976 (in Chinese)
- [24] Paine RT. The measurement and application of the calorie to ecological problems. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1971, **2**:145-164
- [25] Larcher W. Trans. Li B(李博). *Physiological Plant Ecology*. Beijing: Science Press, 1980 (in Chinese)
- [26] Reiners WA. Comparison of oxygen bomb combustion with standard ignition techniques for determining total ash. *Ecology*, 1972, **53**:132-136
- [27] He Z-M(何宗明), Chen G-S(陈光水), Wang Q-Z(王巧珍), et al. Energy of a 33-year-old *Fokienia hodginsii* plantation community. *Chinese Journal of Applied & Environmental Biology* (应用与环境生物学报), 2003, **9**(6):569-573 (in Chinese)
- [28] Lin Y-M(林益明), Ke L-N(柯莉娜), Wang Z-C(王湛昌), et al. Seasonal changes in the caloric values of the leaves of seven mangrove species at Futian, Shenzhen. *Acta Oceanologica Sinica* (海洋学报), 2002, **24**(3):112-118 (in Chinese)
- [29] Lin Y-M(林益明), Guo Q-R(郭启荣), Li Z-B(黎中宝), et al. Caloric values of plant propagates at Ni-mulin Nature Reserve Zone of Fujian Province. *Chinese Journal of Eco-agriculture* (中国生态农业学报), 2003, **11**(1):117-119 (in Chinese)
- [30] Guo J-X(郭继勋), Wang R-D(王若丹). Study on calorific value and energy dynamics of *Puccinellia tenuiflora* in Songnen grassland. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2001, **21**(6):896-899 (in Chinese)

作者简介 陈美玲,女,1982年生,硕士研究生.主要从事植物生理生态研究. E-mail:meiling413@sohu.com

责任编辑 杨弘

欢迎订阅 2008 年《生态学杂志》

《生态学杂志》(1982年创刊)是由中国生态学学会主办、中国科学院沈阳应用生态研究所承办、科学出版社出版的学术期刊,是全国中文核心期刊,2002年入选中国期刊方阵.读者对象为从事生态学、生物学、地理学、农林牧渔、海洋、气象、环保、经济、卫生和城建部门的科研、教学、科技工作者、有关决策部门的科技管理人员和大专院校师生.

本刊主要刊登具有创新性的生态学研究论文以及有关专题的综述和评论,研究方法和新技术的应用,学术讨论与争鸣,国外生态学研究(包括译文,但必须取得原著作权人的授权);国内外学术消息和动态;生态学新书刊介绍等.

《生态学杂志》为A4开本,月刊,144页,每册定价50元,全年600元.国内外公开发行.国内邮发代号8-161,全国各地邮局均可订阅.如未能在当地邮局订到,可与编辑部直接联系订阅.

地址:沈阳市文化路72号中国科学院沈阳应用生态研究所转《生态学杂志》编辑部

邮编:110016

电话:024-83970394

传真:024-83970394

E-mail:cje@iae.ac.cn

网址: <http://www.cje.net.cn>