

长白山高山冻原生态系统凋落物养分归还功能

魏 晶, 吴 钢*, 邓红兵

(中国科学院生态环境研究中心, 北京 100085)

摘要:研究了长白山高山冻原生态系统中凋落物量及其养分空间分布特征,并对凋落物在养分生物循环中的功能进行了讨论。结果表明:长白山高山冻原植被凋落物量为 1.378~2.476 t/hm²,通过对不同海拔凋落物量的数量特征进行分析,海拔是影响长白山高山冻原植被凋落物量的主要因子。长白山高山冻原生态系统凋落物中 S、N 和 P 含量分别为 0.14%, 0.49% 和 0.21%;3 种营养元素在凋落物中积累量为 81.99 kg/hm²,其中 S、N 和 P 积累量分别是 15.04 kg/hm², 45.93 kg/hm² 和 21.02 kg/hm²。长白山高山冻原生态系统中 5 种植被型(FA, LA, TA, MA 和 SA)年归还量依次为 0.72, 1.35, 14.65, 10.88 和 11.91 kg/(hm²·a);平均归还率依次 0.33, 0.42, 0.39, 0.39 和 0.48。典型高山冻原植被型的归还量最大,而归还率却较低。长白山高山冻原生态系统内 S、N 和 P 的利用效率分别是 7.14、2.04 和 4.76。在整个长白山高山冻原生态系统中 S 和 P 的利用效率大于 N 的利用效率。

关键词:凋落物;养分生物循环;长白山;冻原植被

Researches on nutrient return of litterfall in the alpine tundra ecosystem of Changbai Mountains

WEI Jing, WU Gang*, DENG Hong-Bing (Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(10): 2211~2216.

Abstract: The litterfall quantity, nutrient spatial characteristics of litterfall and bio-cycling function of litterfall in the materials cycling chain were discussed by the harvesting and formulary methods. The results showed that the average litterfall amount was 1.378~2.476 t/hm² in the alpine tundra of Changbai Mountains. The altitude was the main impact factor on litterfall quantity in the alpine tundra of Changbai Mountains by analysis of quantity characteristics of litterfall at different altitudes. The S, N and P contents of litterfall were, respectively, 0.14%, 0.49% and 0.21% in the alpine tundra ecosystem of Changbai Mountains while the average nutrient accumulation of S, N, and P in the litterfall was 81.99 kg/hm², of which S, N and P accumulation in the litterfall was 15.04 kg/hm², 45.93 kg/hm² and 21.02 kg/hm², respectively. The nutrient amounts of annual return by litterfall at the FA, LA, TA, MA and SA were 0.72, 1.35, 14.65, 10.88 kg/(hm²·a) and 11.91 kg/(hm²·a), respectively, and corresponding returning ratios were 0.92, 0.75, 0.44, 0.42 and 0.43. The amount of litterfall returning in TA was the biggest and the return ratio of TA was much lower in the alpine tundra of Changbai Mountains. The use efficiencies of S, N and P were 7.14, 2.04 and 4.76 in the alpine tundra of Changbai Mountains, for which the use efficiencies of S and P were much higher than that of N. The study on distribution characteristics of litter and nutrient accumulation could provide the basal data for studying materials cycles and energy flow in the alpine tundra ecosystem of Changbai Mountains.

Key words: litterfall; nutrient bio-cycling; Changbai Mountains; alpine tundra ecosystem

文章编号:1000-0933(2004)010-2211-06 中图分类号:Q948.S718 文献标识码:A

基金项目:国家自然科学基金重点基金资助项目(40173033)

收稿日期:2004-04-02;修订日期:2004-07-10

通讯作者 Author for correspondence. E-mail:wug@mail.rcees.ac.cn

作者简介:魏晶(1973~),女,山西人,博士生,主要从事环境管理和恢复生态学研究。E-mail:weijingrcees@126.com

Foundation item: National Natural Science Foundation of China (No. 40173033)

Received date: 2004-04-02; Accepted date: 2004-07-10

Biography: Wei Jing, Ph.D. candidate, mainly engaged in environment management and restoring ecology. E-mail: weijingrcees@126.com

凋落物是生态系统的重要组成部分,凋落物量及养分动态是研究生态系统物质循环和能量流动的一个重要方面^[1,2]。凋落物通过影响植物的萌发、生长、物种的丰富度和地上生物量来影响植物群落的构建^[3]。凋落物不仅能够影响陆地植被群落的形成,而且还参与土壤形成,对涵养水源、保持水土、改良土壤结构和理化性质都有重要的作用。在陆地生态系统中,养分的归还包括植物组织和器官的凋落、降水淋溶以及草食动物取食后以粪便和残体形式归还的养分量^[4]。凋落物中养分含量与凋落物量的乘积,是营养元素通过凋落物归还土壤的库流量,也是土壤肥力的主要来源^[5]。在大多数自然生态系统中,凋落物是植物把从土壤中吸收的养分归还土壤的主要途径^[6]。随着全球气候变化日益受到人们重视,对凋落物在碳素和养分营养循环中的研究也越来越被人们所重视^[7]。本文以长白山高山冻原生态系統为研究对象,系统研究其凋落物量及养分的空间分布格局和凋落物在高山冻原系统养分生物循环中的作用。凋落物是长白山高山冻原土壤养分输入的主要途径,对凋落物量及养分分布的研究为进一步研究长白山高山冻原系统物质循环和能量流动提供基础数据,具有十分重要的意义。

1 研究方法与研究区概况

1.1 研究区概况

冻原是指分布在北极和高山地带的无林土地,其地下具有永冻层(Permafrost),植被情况变化多样,从裸地到由禾本科草类、苔草、杂草、矮灌木、藓类和地衣类组成的各种类型的植被。长白山高山冻原地貌主要有火山地貌、冰川地貌、冰缘地貌 3 种类型,分布着多处越年雪斑,年均太阳辐射量为 $506.6 \text{ J}/(\text{cm}^2 \cdot \text{a})$,年均日照总时数为 2295 h ,年均气温为 $-7.4 \text{ }^\circ\text{C}$,最冷月(1 月)平均气温 $-23.8 \text{ }^\circ\text{C}$,最热月(7 月)平均气温 $8.4 \text{ }^\circ\text{C}$,极端最高气温 $19.2 \text{ }^\circ\text{C}$,极端最低气温 $-44 \text{ }^\circ\text{C}$ (观察点 $42^\circ 01' \text{N}$, $128^\circ 05' \text{E}$,海拔 2623 m)。位于海拔 $1950 \sim 2691 \text{ m}$ 之间的冻原面积为 15860 hm^2 ,地理位置为 $41^\circ 53' \sim 42^\circ 04' \text{N}$, $127^\circ 57' \sim 128^\circ 11' \text{E}$ 。其中有植被覆盖的面积为 15195 hm^2 ,占该区高山冻原面积的 95.78% 。本研究主要集中在海拔 $1950 \sim 2650 \text{ m}$ 之间。

1.2 研究方法

1.2.1 野外工作 于 2003 年 8 月在长白山北坡高山冻原生态系統内分别在海拔 $1950, 2050, 2150, 2250, 2350, 2450, 2550$ 和 2650 m 处沿 S 形路线设置 6 个样方,收集凋落物,共设置样方 48 个,样方面积为 $0.2 \text{ m} \times 0.2 \text{ m}$ 。本研究采用收获法和经验公式法分别测定现存量和计算年凋落物量。

1.2.2 样品的处理与分析: 将凋落物样品一部分按照叶、果和杂物进行分类,另一部分按照植物种进行分类并分别称重,然后将凋落物放置于 $65 \text{ }^\circ\text{C}$ 烘箱内烘干后再称重,用研碎机磨成粉状,过筛贮存,用于化学成分测定。测定项目包括 C、N、S、P 四种元素。其中全碳用重铬酸钾-硫酸氧化法;全氮用凯氏定氮法;全磷用钼锑抗比色法;全硫用硝酸-高氯酸-氯化钡比浊法。

1.2.3 年凋落物量公式 根据文献^[8]所推算的冻原生态系統年凋落物量 L_F 与年均温度 T 之间的经验公式计算:

$$L_F(\text{t}/\text{hm}^2 \cdot \text{a}) = -1.42 \sqrt{27.73 - T} + 9.87 \quad (1)$$

1.2.4 养分生物循环量的计算 养分在植被中的存留量用年净生产量和植物养分含量来计算;养分的归还量用年凋落物量和凋落物中养分含量来计算;年吸收量用存留量和归还量之和表示。

2 结果与分析

2.1 凋落物量的空间分布规律

2.1.1 不同海拔凋落物量及组成 凋落物在植被-土壤生态系统的养分循环中起着极为重要的作用。凋落物是土壤补充有机质的主要来源,凋落物量取决于植物本身的生物学特性和外界环境的影响。凋落物现存量主要由年凋落物量及其分解速率控制,而分解速率受凋落物种类和当地的水热状况控制。

根据长白山高山冻原生态系統中不同海拔气象资料(表 1)和植被类型的分布状况,不同海拔凋落物数量计算和测试结果见表 2。由表 2 可知,长白山高山冻原生态系統不同海拔凋落物由落叶、枯茎和杂物组成,其中叶占凋落物量的 $52\% \sim 95\%$,所占比例居首位,其次是杂物,占 $4\% \sim 42\%$ 。从表 2 中可以看出,随海拔变化实测凋落物现存量变化以海拔 2450 m 为分界线,在海拔 2450 m 以下,由于植被层重叠密集,立地积温相对较高,湿度较大,土壤 pH 值较高,微生物能够正常发育和活动,因此形成了较多的粗死地被物(腐殖质),凋落物量随海拔升高变化不明显。而位于海拔 2450 m 以上的高山冻原,植被层覆盖度低,立地积温很低,常年大风,湿度也较小,能够进行正常发育和活动的微生物很少,尽管凋落物的分解速度非常缓慢,但是大风把占凋落物量绝大多数的落叶刮走,使得该区域的凋落物量随海拔升高而有明显减少。由于表 1 中气温随海拔升高而逐渐减低,所以根据不同海拔温度计算的年凋落物量和凋落物量都随海拔升高而逐渐减小。计算凋落物量与实测凋落物量的误差为 33.3% 。长白山高山冻原生态系統从植被每年归还到土壤中的物质量为 10028.7 t/a (实测值)或者为 15053.2 t/a (计算值)。

2.1.2 不同植被类型凋落物量分布特征 长白山高山冻原的 5 种植被类型的凋落物量分布见表 3。长白山高山冻原系统中植被年凋落物量为 $1.378 \sim 2.476 \text{ t}/\text{hm}^2$ 。5 种冻原植被类型的年凋落量大小依次为沼泽高山冻原植被 ($1.21 \text{ t}/\text{hm}^2$) > 典型高山冻原植被 (万方数据) > 草甸高山冻原植被 ($1.04 \text{ t}/\text{hm}^2$) > 石质高山冻原植被 ($0.70 \text{ t}/\text{hm}^2$) $\geq$ 石海高山冻原植被 ($0.68 \text{ t}/\text{hm}^2$)。长白山高山冻原植被年凋落量平均为 $0.99 \text{ t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$,与极地高山带的年凋落产量 $0.9 \text{ t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ 接近^[10],但是大

于北极冻原的年凋落物产量 0.625~0.75 t/(hm²·a)^[8]。由于沼泽和典型高山冻原生态系统中植物生长旺盛,植物密度和盖度都很大,所以凋落物量较大。

表 1 长白山北坡沿海拔变化的气候指标^[9]

Table 1 Climate index along altitude gradient in the northern slope of Changbai Mountain									
样点 Plot	海拔(m) Altitude	年均温(℃) Annual average temperature	年降水(mm) Annual average rainfall	6~9 月份降水 Rainfall(mm)	干燥指数 Dryness index	湿润指数 Wetness index	1 月均温(℃) Average temperature in Jan.	7 月均温(℃) Average temperature in Jul.	积雪日数(d) Snow day
1	1950	-3.31	1038.2	738.32	0.33	5.56	-21.09	12.94	212.25
2	2050	-3.82	1075.5	764.89	0.31	5.87	-21.4	12.39	219.04
3	2150	-4.33	1114.2	792.42	0.29	6.17	-21.71	11.83	225.82
4	2250	-4.84	1154.3	820.94	0.28	6.48	-22.03	11.27	232.61
5	2350	-5.36	1195.9	850.49	0.26	6.78	-22.34	10.71	239.4
6	2450	-5.87	1238.9	881.1	0.25	7.09	-22.65	10.16	246.19
7	2550	-6.38	1283.5	912.81	0.23	7.39	-22.97	9.6	252.98
8	2650	-6.89	1329.7	945.67	0.22	7.7	-23.28	9.04	259.76

表 2 不同海拔高度凋落物数量及其组成分布

Table 2 Constitute and quantity distribution of litterfall at different altitudes in Changbai Mountain						
海拔 Altitude (m)	年凋落物量 ^① Litterfall per year (t/(hm ² ·a))	叶 Leaves (t/hm ²)	茎 Stem (t/hm ²)	杂物 Sundries (t/hm ²)	实测凋落物现存量 Measuring standing crop of litterfall(t/hm ²)	计算凋落物现存量 ^② Calculation standing crop of litterfall(t/hm ²)
1950	1.234	1.84 (0.75)	0.27 (0.11)	0.34 (0.14)	2.43	3.70
2050	1.164	1.86 (0.80)	0.28 (0.12)	0.19 (0.08)	2.31	3.49
2150	1.094	1.85 (0.85)	0.20 (0.09)	0.13 (0.06)	2.18	3.28
2250	1.024	1.85 (0.91)	0.08 (0.04)	0.11 (0.05)	2.04	3.07
2350	0.954	2.08 (0.95)	0.02 (0.01)	0.09 (0.04)	2.20	2.86
2450	0.885	1.42 (0.67)	0.23 (0.11)	0.47 (0.22)	2.13	2.65
2550	0.817	0.92 (0.56)	0.15 (0.09)	0.57 (0.35)	1.64	2.45
2650	0.751	0.79 (0.52)	0.09 (0.06)	0.63 (0.42)	1.51	2.25
平均 Ave.	0.991	1.49(0.75)	0.16(0.08)	0.32(0.17)	1.98 (Ave.)	2.97
年归还量 Returns(t/a)	—	—	—	—	10028.7	15053.2

①年凋落物量根据公式(1)和表 1 计算而得;②计算现存量是没有考虑凋落物分解而根据长白山高山冻原年净生产量和 300a 冻原植被碳储量换算而来;括号中数字为组分凋落量占总凋落量的比重

表 3 不同植被类型凋落物量分布

Table 3 Quantitative characteristics of litterfall at different vegetation types						
植被类型* Vegetation type	面积 ^① Area(hm ²)	年凋落物量 ^② Litterfall Per year(t/(hm ² ·a))	凋落物现存量 ^③ Calculation standing crop of litterfall (t/hm ²)	年凋落物总量 ^④ Calculation total quantity of litterfall per year(t/a)	凋落物现存量 ^⑤ Measuring standing crop of litterfall(t/hm ²)	年凋落物总量 ^⑥ Measuring total quantity of litterfall per year(t/a)
FA	85	0.68	2.04		1.378	
LA	4160	0.70	2.10		1.415	
TA	10870	1.15	3.45		2.356	
MA	65	1.04	3.12		2.154	
SA	15	1.21	3.63		2.476	
Alpine tundra	15195	0.99	2.87	15053.2	1.976(Ave.)	10028.7

* FA 石海高山冻原植被 Felsenmeer alpine tundra vegetation; LA 石质高山冻原植被 Lithic alpine tundra vegetation; TA 典型高山冻原植被 Typical alpine tundra vegetation; MA 草甸高山冻原植被 Meadow alpine tundra vegetation; SA 沼泽高山冻原植被 Swamp alpine tundra vegetation;高山冻原 Alpine tundra;以下同 the same below

①不同高山冻原植被型面积引自文献^[11];②年凋落物量根据公式(1)计算而来;③和⑤由没有考虑凋落物分解而根据长白山高山冻原年净生产量和 300a 冻原植被碳储量换算而来;④和⑥是通过样方测定的凋落物现存量

2.2 凋落物养分特征

2.2.1 不同海拔凋落物中营养元素分布规律 凋落物中各种营养元素对土壤肥力具有重要作用。在植物的生长过程中,凋落

物所含的营养元素经分解释放后归还土壤,并在表层富集,供植物吸收利用。长白山高山冻原系统由于人为干扰少,所以凋落物中营养元素便成为长白山高山冻原植物生长的重要养分来源。总体来说,N、P 含量较高,S 含量较低(图 1)。但是随海拔的升高,各养分含量变化规律不尽相同:随海拔升高,S 含量逐渐下降,最小值位于海拔 2450 m 处;N 含量的波峰值位于海拔 2250 m 处和 2550 m 处;P 含量的波峰值位于海拔 2150 m 和 2650 m 处。凋落物养分含量差异是由于不同海拔优势种植物的生物学特性及其对营养元素的吸收强度不同和凋落前各营养元素转移率不同所引起。

长白山高山冻原系统中各海拔凋落物中营养元素的积累量见图 2。3 种营养元素积累量的平均值为 173.8 kg/hm²,其中 N、S 和 P 积累量分别为 100.54 kg/hm²,31.55 kg/hm² 和 41.71 kg/hm²。随海拔升高,N 积累量分布规律不同于 N 含量分布规律,是由于优势种植物在叶凋落前有较高的转移率。S 积累量基本呈下降趋势,与凋落物中 S 含量分布规律一致;P 积累量分布与凋落物中 P 含量分布规律基本一致。

2.2.2 不同植被类型凋落物中营养元素分布规律 长白山高山冻原系统中不同植被类型凋落物中营养元素含量见表 4。其中 S、N 和 P 分别为 0.14%,0.49%和 0.21%。经测定,凋落物中 3 种营养元素含量分布规律是:S 在沼泽高山冻原植被中最高,其次是典型高山冻原植被,这是因为在沼泽高山冻原植被的优势种植物宽叶仙女木(*Dryas octopetala* var. *asiatica*)、牛皮杜鹃(*Rhododendron chrysanthum*)凋落物中 S 含量较高;N 在海拔最高的石海高山冻原植被中最高,其次是典型高山冻原植被,是由于在海拔优势种植物如倒根蓼(*Polygonum ochotense*)凋落物中 N 含量很高;P 在石海和典型高山冻原植被中含量最高,主要是因为所采集到的典型高山冻原生态系统中的优势种如笃斯越桔(*Vaccinium jliginosum* var. *alpinum*)、毛毡杜鹃(*Rhododendron confertissimum*)、牛皮杜鹃、宽叶仙女木和黑穗苔草(*Carex atrata*)凋落物中的 P 含量都较高。所以长白山典型高山冻原生态系统中凋落物的养分含量非常丰富(在很少有人为干扰的生态系统中,凋落物是土壤养分的主要来源),因而长白山典型高山冻原植被生长旺盛,因此长白山典型高山冻原系统内凋落物量占整个长白山高山冻原系统内凋落物量 92.7%。

长白山高山冻原系统内 5 种植被类型凋落物中 3 种营养元素积累量为 81.99 kg/hm²,其中 S、N 和 P 积累量分别是 15.04,45.93 kg/hm² 和 21.02 kg/hm²。虽然凋落物量的分布规律为:SA (1.21 t/hm²)>TA (1.15 t/hm²)>MA (1.04 t/hm²)>LA (0.70 t/hm²)>FA (0.68 t/hm²),但养分累积的规律为:TA>SA>FA>MA>LA。说明 5 种植被类型中凋落物灰分含量、分解速率和在营养元素循环中的作用存在较大的差异(表 4)。

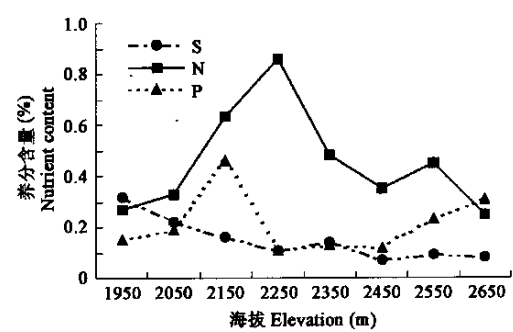


图 1 凋落物中养分含量随海拔的变化
Fig. 1 Nutrient content characteristics of litterfall at different altitudes

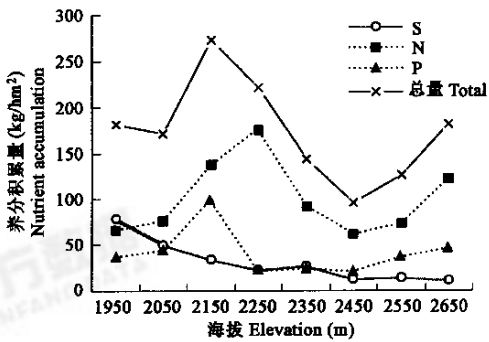


图 2 凋落物养分积累量随海拔的变化
Fig. 2 Nutrient accumulation characteristics of litterfall at different altitudes

表 4 不同植被类型凋落物中养分分布规律

Table 4 Nutrient distribution characteristics of litterfall at different vegetation types							
植被类型 Vegetation type	S		N		P		合计 Total (kg/hm ²)
	含量 Content (%)	积累量 Accumulation (kg/hm ²)	含量 Content (%)	积累量 Accumulation (kg/hm ²)	含量 Content (%)	积累量 Accumulation (kg/hm ²)	
FA	0.08	1.10	0.81	11.16	0.31	4.27	16.54
LA	0.07	0.99	0.35	4.95	0.12	1.71	7.65
TA	0.19	4.48	0.48	11.31	0.32	7.54	23.33
MA	0.14	3.02	0.48	10.34	0.13	2.80	16.16
SA	0.22	5.45	0.33	8.17	0.19	4.70	18.32
总计 Total Ave.)	0.14	15.04	0.49(Ave.)	45.93	0.21(Ave.)	21.02	81.99

2.3 凋落物在养分生物循环中的功能

2.3.1 凋落物养分生物循环的特征 生态系统内养分生物循环主要表现为植物根系从土壤中摄取营养元素并将其积累于体内,同时通过组织器官的脱落、雨水冲洗、根系分泌等作用归还于林地,再经过微生物分解释放到土壤中,是土壤肥力的重要来源。生态系统养分生物循环方程式为:吸收量=存留量+归还量。在长白山高山冻原系统中,年归还量主要指年凋落物中养分积累,年存留量是植被年净生产量中养分积累。长白山高山冻原系统不同植被型的年净生产量引用文献^[11]中的计算结果。

长白山高山冻原生态系统中 5 种植被类型营养元素生物循环特征各不相同(表 5)。FA,LA,TA,MA 和 SA 亚系统中 3 种营养元素的年吸收量依次为 2.24, 3.2, 37.44, 27.55 kg/(hm²·a)和 24.96 kg/(hm²·a)。典型高山冻原植被型最大,其次是草甸和沼泽高山冻原植被型,石质和石海高山冻原植被型最小。不同植被型各营养元素年吸收量有一定的差异,N 年吸收量分布规律为:TA>MA>SA>LA>FA;S 年吸收量分布规律为:TA>SA>MA>LA>FA;P 年吸收量分布规律为:TA>SA>MA>LA>FA,这说明在 FA 和 LA 系统中的植物是比较耐贫瘠的植物种。

FA,LA,TA,MA 和 SA 亚系统中 3 种营养元素年存留量依次为 1.52, 1.85, 22.79, 16.67 kg/(hm²·a)和 13.04 kg/(hm²·a²);年归还量依次为 0.72, 1.35, 14.65, 10.88 和 11.91 kg/(hm²·a);平均归还率依次 0.33, 0.42, 0.39, 0.39 和 0.48。5 种植被类型的归还量分布规律是:典型高山冻原植被型最大,石质高山冻原植被型最小。其中 N 年归还量分布规律为:TA>MA>SA>LA>FA;S 年归还量分布规律为:SA>TA>MA>LA>FA;P 年归还量分布规律为:TA>SA>MA>LA>FA。

2.3.2 凋落物养分利用效率 植物的养分利用效率是用于描述那些具有潜在限制作用的养分在凋落和再吸收两个途径之间的分配等多种生理学过程及其生长速率之间关系的一个术语^[12, 13]。用凋落物量除以凋落物中的养分量的比率可以用来表示养分的利用效率^[14],养分的利用效率可以用来评价植被的养分状况^[15],而利用效率高的可能是植物生长的限制因子^[16]。

长白山高山冻原生态系统中 5 种植被型养分利用效率的测定结果见表 6。表中数据显示,不同营养元素之间的利用效率差异很大,S、P 利用效率大于 N 利用效率,很可能该高山冻原系统的土壤 S、P 的含量低,导致植物吸收和存留在枝叶中的 S、P 很少,因而凋落物中 S、P 含量低,S、P 利用效率高,因此,S、P 可能是该生态系统植物生长的限制因子。有研究报导通过提高利用效率来生产更多生物量可能是植物适应贫瘠环境的一种重要竞争策略^[16]。

长白山高山冻原土壤养分状况是随海拔升高,土壤中全磷,全硫含量逐渐增加,而速效 S 和 P 则逐渐减小;土壤中全氮含量逐渐减少,而速效氮却逐渐增加。高海拔植被型凋落物中 S、P 利用效率很高,说明在火山喷发后土壤表层(0~20 cm)中可以被植物吸收利用的 S 和 P(速效 S 和 P)含量低。而在土壤表层中富含植物可利用 N。这与文献^[17]的研究结果基本一致。

3 结论

(1)长白山高山冻原植被年凋落物量分布以海拔 2450 m 为界,位于海拔 2450 m 以上植被型凋落物量迅速减少;长白山高山冻原植被凋落物量分布为 1.378~2.476 t/hm²。凋落物量是一个动态值,它受制于气候、地形、海拔、土壤、植被类型、生物区系等因素。在长白山高山冻原生态系统中海拔是影响凋落物量的主要因子之一。

(2)长白山高山冻原植被中 S、N 和 P 养分含量分别为 0.14%, 0.49%和 0.21%。长白山高山冻原生态系统内 5 种植

表 5 长白山高山冻原不同植被类型养分的生物循环特征
Table 5 Nutrient bio-cycling characteristics at different vegetation types in Changbai Mountains

组分名称 Title	植被类型 Vegetation type	N	S	P	合计
		(kg/(hm ² ·a))			Total
吸收量 Absorption mass	FA	1.58	0.37	0.29	2.24
	LA	2.05	0.43	0.73	3.2
	TA	24.86	6.22	6.36	37.44
	MA	19.72	3.48	4.35	27.55
	SA	13.85	5.15	5.96	24.96
归还量 Returned mass	FA	0.49	0.05	0.19	0.72
	LA	0.88	0.18	0.3	1.35
	TA	7.10	2.81	4.74	14.65
	MA	6.96	2.03	1.89	10.88
	SA	5.31	3.54	3.06	11.91
残留量 Deposited mass	FA	1.10	0.32	0.10	1.52
	LA	1.18	0.25	0.43	1.85
	TA	17.76	3.40	1.63	22.79
	MA	12.76	1.45	2.46	16.67
	SA	8.53	1.61	2.89	13.04
归还率 Return ratio	FA	0.31	0.13	0.65	0.33
	LA	0.43	0.41	0.41	0.42
	TA	0.29	0.45	0.74	0.39
	MA	0.35	0.58	0.43	0.39
	SA	0.38	0.68	0.51	0.48

表 6 凋落物营养元素利用效率
Table 2 Nutrient use efficiencies of litterfall at different vegetation types

植被类型 Vegetation type	S	N	P
FA	12.5	1.23	3.23
LA	14.3	2.86	8.33
TA	5.26	2.08	3.13
MA	7.14	2.08	7.69
SA	4.55	3.03	5.26
平均值 Ave.	7.14	2.04	4.76

被型(FA, LA, TA, MA 和 SA)凋落物中 3 种营养元素积累量为 81.99 kg/hm^2 , 其中 S、N 和 P 积累量分别是 15.04 , 45.93 kg/hm^2 和 21.02 kg/hm^2 。

(3)长白山高山冻原生态系统中 5 种植被型(FA, LA, TA, MA 和 SA)年归还量依次为 0.72 , 1.35 , 14.65 , $10.88 \text{ kg/(hm}^2 \cdot \text{a)}$ 和 $11.91 \text{ kg/(hm}^2 \cdot \text{a)}$;平均归还率依次为 0.33 , 0.42 , 0.39 , 0.39 和 0.48 。

(4)凋落物在生态系统养分生物循环中的功能主要是根据养分利用效率来判断,即吸收每单位养分所产生干物质的量^[18]。因为植物每年生产的干物质大部分转化为枯死物归还给土壤,所以 Vitousek^[19]建议利用凋落物的干物质质量除以其养分含量,即凋落物养分浓度的倒数作为养分利用效率的指标。这一指标的好处在于测定相对容易。研究结果表明:长白山高山冻原生态系统中 S、N 和 P 的利用效率分别是 7.14 、 2.04 和 4.76 。典型高山冻原植被型的归还量最大,而归还率却不高;S 和 P 的利用效率大于 N 的利用效率。而 Vitousek^[19]指出,通常在养分较少的土壤上生长的植物有较高的养分利用效率。长白山高山冻原植被是在最近一次火山喷发(1702 年)原生植被破坏后形成的植物群落。原生植被的破坏通常会带来生态系统养分的大量流失,所以这些植物群落生长的土壤较为贫瘠。这些植物群落有较高的养分利用效率是它们能够在贫瘠土壤上良好生长的一种适应。

References:

- [1] Maguire D A. Branch mortality and potential litter fall from Douglas-fir trees in stands of varying density. *Forest Ecology and Management*, 1994, **70**: 41~53.
- [2] Martin W. Microbial populations of leaf litter in relation to environmental conditions and decomposition. *Ecology*, 1963, **44**: 370~377
- [3] Xiong S, and Nilsson C. The effects of plant litter on vegetation: a meta-analysis. *Journal of Ecology*, 1999, **87**: 984~994.
- [4] John T G, Schlesinger W H. Biomass, production, and litterfall in the coastal sage scrub of Southern California. *American Journal of Botany*, 1981, **68**: 24~33.
- [5] Li F L, Huang Y H, Cai Z F, et al. Study on annual pool flux and use efficiency of vegetation litterfall nutrient in orchard. *Fujian Science & Technology of Tropical Crops*, 2003, **28**(1): 1~4.
- [6] Zhou Y, Gan X H, Li Y W. Study on litterfall in forest network of Taxodium ascendens in Pearl River Delta. *Journal of South China Agricultural University* (Natural Science Edition). 2003, **24**(2): 19~21.
- [7] Berg B, and Tamm C O. Decomposition and nutrient dynamics of litter in long-term optimum nutrient experiments. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 1991, **6**: 305~321.
- [8] Fang J Y, Wei M H. Carbon cycle in the arctic terrestrial ecosystems in relation to the global warming. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 1998, **18**(2): 113~121.
- [9] Hao Z Q, Guo S L, Cao T. The general situation of Changbai mountain and the study history of plant diversity. *Plant diversity and distribution patterns in Changbai mountain*. Liaoning: Liaoning Science & Technology Press, 2002. 4~9.
- [10] Liu Q. Ecological experimental study on the reciprocal decomposition of foliar litter in tropical and subtropical forests of southern China. Guangzhou: South China Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences. Ph. D Dissertation, 2003. 1~13.
- [11] Wu G, Zhao J Z, Shao G F, et al. Comparison study and carbon cycling of Alpine tundra ecosystem in Changbai Mountain. *China Science* (D), 2001, **31**(12): 1039~1045.
- [12] Kost J A, Boemer E T. Foliar nutrient dynamics and nutrient use efficiency in comus florida. *Oecologia*, 1985, **66**(4): 602~606.
- [13] Birk E A, Vitousek P M. Nitrogen availability and nitrogen use efficiency in coblolly pine stand. *Ecology*, 1985, **67**(1): 69~79.
- [14] Xue D, Xue L, Luo S. Study on litterfall quantity, nutrient returns and use efficiency of scenery forest in Japan. *Acta Phytocologica Sinica*, 2001, **22**(1): 23~26.
- [15] Bridgham S D, Pastor J, McLaugherty C A, et al. Nutrient-use efficiency; A litterfall index, a model, and a test along a nutrient-availability gradient in North carolina peatlands. *Am. Nut.*, 1995, **45**(1): 1~21.
- [16] Guo J X, Sun G, Jiang S C. Study on *Leymus chinensis* litter community in Songnen grassland in Northeast China. *Acta Phytocologica Sinica*, 2002, **24**(2): 473~476.
- [17] Qian H. Alpine tundra of Changbai Mountain Phytotaxonomy, Florology and Phytocology. Shenyang: Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences. Ph. D Dissertation, 1989. 54~56.
- [18] Guan D S. The nutrient use efficiency of grassland and shrub community in Hongkong. *Chinese Journal of Ecology*, 1995, **14**(2): 23~26.
- [19] Vitousek P M. Nutrient cycling and nutrient use efficiency. *American Naturalist*, 1982, **119**: 553~572.

参考文献:

- [5] 李发林, 黄炎和, 蔡志发, 等. 果园植被凋落物营养元素年库流量和利用效率的研究. *福建热作科技*, 2003, **28**(1): 1~4.
- [6] 周毅, 甘先华, 黎元伟. 池杉林网凋落物特征的研究. *华南农业大学学报(自然科学版)*, 2003, **24**(2): 19~21.
- [8] 方精云, 位梦华. 北极陆地生态系统的碳循环与全球温暖化. *环境科学学报*, 1998, **18**(2): 113~121.
- [9] 郝占庆, 郭水良, 曹同, 著. 长白山植物多样性及其格局. 辽宁: 辽宁科学技术出版社, 2002. 4~9.
- [10] 刘强. 热带亚热带森林凋落物交互分解的生态学实验研究. 广州: 中国科学院华南植物研究所博士论文, 2003. 1~13.
- [11] 吴钢, 赵景柱, 邵国凡, 等. 长白山高山冻原生态系统中碳循环及与北极对比研究. *中国科学(D 辑)*, 2001, **31**(12): 1039~1045.
- [14] 薛达, 薛立, 罗山. 日本中部风景林凋落物量、养分归还量和养分利用效率的研究. *华南农业大学学报*, 2001, **22**(1): 23~26.
- [16] 郭继勋, 孙刚, 姜世成. 松嫩平原羊草草原凋落物层群落学作用的研究. *植物生态学报*, 2002, **24**(2): 473~476.
- [17] 钱宏. 长白山高山冻原植物分类、植物区系、植物生态. 沈阳: 中国科学院沈阳应用生态研究所博士论文, 1989. 54~56.
- [18] 管东生. 香港草地、芒萁和灌木群落的养分利用效率. *生态学杂志*, 1995, **14**(2): 23~26.