

高寒草甸生态系统中矮嵩草 草甸的氮、磷、钾动态*

张金霞 曹广民 赵静玫 王在模

(中国科学院西北高原生物研究所)

摘 要

本文研究了高寒草甸生态系统中矮嵩草草甸植物库各分室的 N、P、K 元素浓度及贮量的季节动态。植物地上部分 N、P、K 的浓度及植物对其吸收速率,均在植物生长初期较高,随植物生长季节的延长而降低。植物每年对 N、P、K 的最大摄取量均出现在 8 月份。分别为 N 4.008 ± 0.822 克/米², P 0.292 ± 0.060 克/米², K 3.403 ± 0.699 克/米²。植物库营养元素主要贮存于根部。活根年吸收量为 N 11.39 克/米², P 0.852 克/米², K 5.68 克/米²。根系摄取 N 量为地上部分的 2.84 倍, P 2.92 倍, K 1.70 倍。凋落物归还量仅占总归还量的 N 3.04%, P 3.70%, K 3.39%; 总归还量占总摄取量的 N 34.18%, P 35.40%, K 35.00%。

关键词: 分室; 元素贮量; 摄取量; 归还量

矮嵩草草甸是青藏高原分布最广的植被类型之一。矮嵩草草甸的生物量(杨福国等, 1988), 地下生物量及再生草生长规律(王启基等, 1988), 矮嵩草草甸植物生物学产量形成的生理基础(张树源等, 1988)等都有较详细的论述。但至今对矮嵩草草甸营养元素尤其是限制草场生产力的 N 素动态却未见详细报道。为研究生态系统的物质循环, 作者对矮嵩草草甸的 N、P、K 动态进行了较深入的工作。其目的为促进退化草场的恢复, 提高草场生产力提供科学依据。

材料和方法

1. 采集植物样品

在海北高寒草甸生态系统定位站地区的植物生长季节(5—10月)采集矮嵩草草甸主

* 中国科学院海北高寒草甸生态系统开放实验站基金资助项目。

要建群种和优势种 21 种植物。(1) 矮嵩草 (*Kobresia humilis*)、(2) 藨草 (*Scirpus distigmaticus*)、(3) 羊茅 (*Festuca ovina*)、(4) 早熟禾 (*Poa* sp.)、(5) 垂穗披碱草 (*Elymus nutans*)、(6) 麻花艹 (*Gentiana straminea*)、(7) 美丽风毛菊 (*Saussurea superba*)、(8) 雪白委陵菜 (*Potentilla nivea*)、(9) 矮火绒草 (*Leontopodium nanum*)、(10) 雅毛茛 (*Ranunculus pulchellus*)、(11) 高山唐松草 (*Thalictrum alpinum*)、(12) 兰石草 (*Lancea tibetica*)、(13) 苔草 (*Carex* sp.)、(14) 小嵩草 (*Kobresia pygmaea*)、(15) 甘肃棘豆 (*Oxytropis kansuensis*)、(16) 线叶尤胆 (*Gentiana farreri*)、(17) 蒲公英 (*Taraxacum mongolicum*)、(18) 二裂委陵菜 (*Potentilla bifurca*)、(19) 甘肃马先蒿 (*Pedicularis kansuensis*)、(20) 高原鸢尾 (*Iris potaninii*)、(21) 鹅绒委陵菜 (*Potentilla anserina*)。这 21 种植物占植物地上总生物量的 83.79% (史顺海等, 1988), 主要采集植物地上 (贴地面) 全株植物样品。

2. 样品制备和测定

样品置于 65℃ 烘箱烘干后粉碎, 过筛 (1 毫米) 备用。由于 5 月份植物刚刚萌发, 分取各种植物样品非常困难, 因此只能取其混合植物样品。同时分别采集立枯和枯枝落叶样品。各种植物按月进行全 N、P、K 的分析。全 N、采用高氯酸—硫酸硝化, 用 (BÜCHI 321) 蒸馏仪蒸馏测定, 全 P 用钼锑抗比色法, 全 K 用 Sp 900 火焰光度计测定。

结果和讨论

1. 植物地上部分的 N、P、K 动态

21 种植物在生长季节时的全 N 浓度范围为 35.23—4.07 克/公斤, P 和 K 的浓度范围分别是 3.88—0.009 克/公斤、36.59—2.60 克/公斤。5 月份混合样品中 N 的含量为 23.79 克/公斤。6 月份以甘肃棘豆, 垂穗披碱草的 N 浓度最高, 分别为 35.23 克/公斤, 28.80 克/公斤。P 含量最高的为甘肃马先蒿 3.88 克/公斤。K 浓度最高的为美丽风毛菊 36.59 克/公斤。所有植物几乎都是在生长初期的 N、P、K 浓度最高, 并随植物生长季节的增长, 其生物量的增加而被稀释 (Woodmansee, 1980) 直到生长季节结束。枯黄期植物的 N、P、K 浓度最低, 此时植物开始进入休眠期, 部分地上营养物质已转移到地下贮存, 以备供给植物冬眠期的消耗及来年植物萌发时的养分。并且参加植物营养内部循环。

植物地上部分生物量的季节动态主要受植物群落的发育节律和环境条件所控制, 当然也受营养元素浓度的制约。高寒草甸由于严酷的气候条件, 植物生育期短, 仅 150 天左右。5 月份植物刚开始萌发, 气温较低, 生长缓慢。6、7 月份气温逐渐升高, 降雨量增多, 此时植物进入生长旺盛期。光合作用增强, 生长速度加快, 物质积累量迅速增加。8、9 月份达到峰值生物量。矮嵩草草甸植物地上部分生物量的增长速率及其对元素的吸收速率见图 2, 植物的增长速率 6、7、8 三个月增长速率较高, 7 月份增长最快, 9 月份增长速率锐减, 10 月份达负增长。对元素的吸收速率 P 5 月份最高, N、K 以 6 月吸收速率最高, 7、8 月份逐渐减少, 9、10 月份 N、P、K 吸收速率均达负值。说明植物的生育期结束逐渐衰老和降解过程。植物不再从土壤中吸收营养元素, 而且元素向地下转移。N、

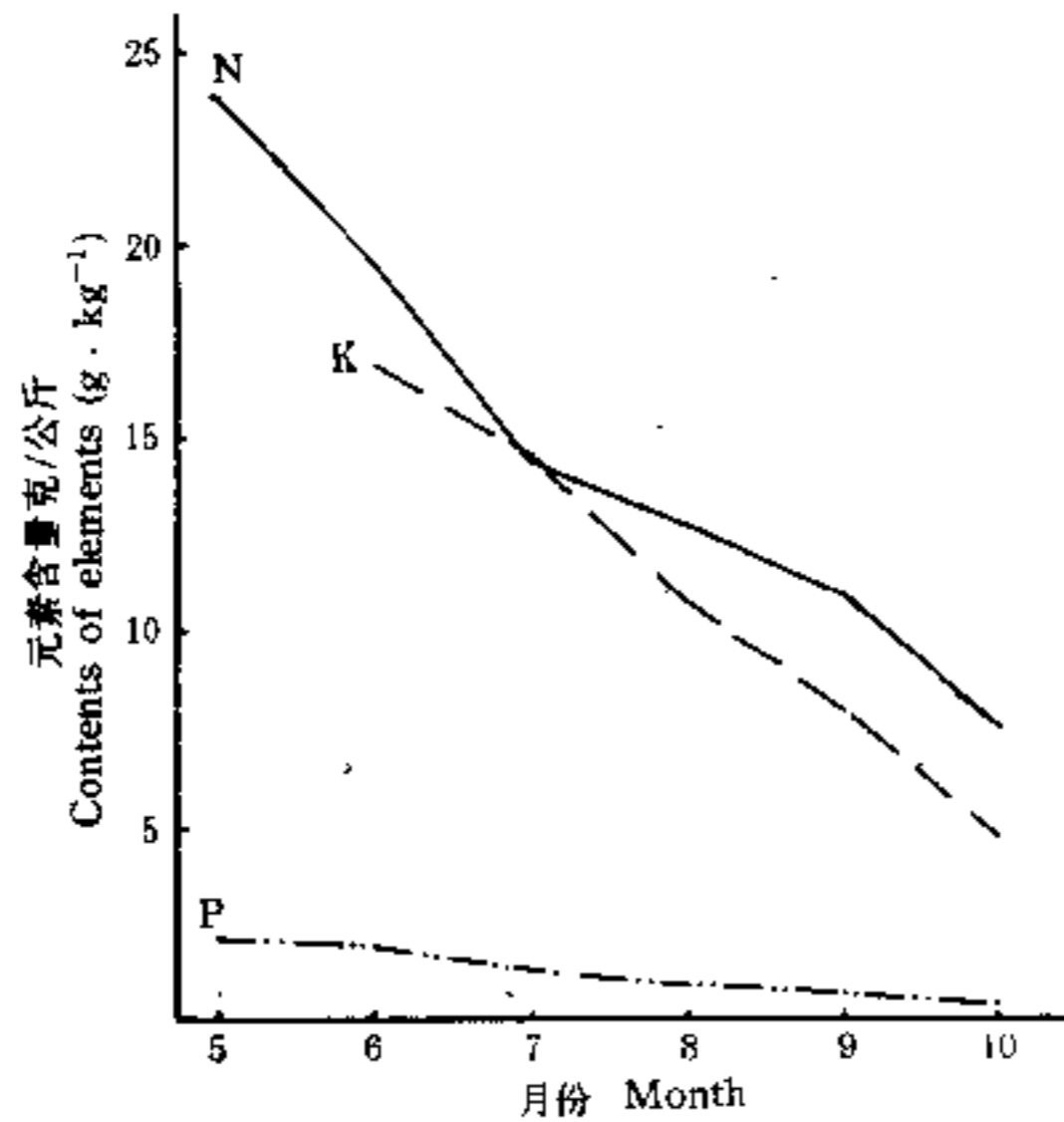


图1 矮嵩草草甸植物地上部分 N、P、K 含量的季节变化
 Fig. 1 Seasonal dynamics of N, P, K contents of plant above-ground parts in *Kobresia humilis* meadow

K 元素还有淋失作用。N 素还有分解及挥发损失。

表1 矮嵩草草甸植物地上部分元素含量的季节动态(克/米²)
 Table 1 Seasonal dynamics of elements content of above-ground in *Kobresia humilis* meadow plant(g/m²)

项目 Item	5月 May	6月 June	7月 July	8月 Aug.	9月 Sept.	10月 Oct.
N	0.886	2.104	3.102	3.880	3.546	1.389
P	0.082	0.149	0.196	0.222	0.183	0.068
K	—	1.882	3.128	3.294	2.593	0.873

矮嵩草草甸各种植物的密度差异较大，其生物量也有明显差异。建群种矮嵩草占据主要空间，它的生物量占群落总生物量的百分比最高为 16.69%，其次羊茅为 10.43%，苔草最低为 0.15% (王启基, 1988; 史顺海, 1988)。21 种植物中 N 贮量最高的为矮嵩草，其次为羊茅。6 月份矮嵩草 N 贮量占整个群落的 21.14%，按生物量最高的 9 月份计算，矮嵩草的 N 贮量占整个群落的 11.62%。可见矮嵩草对草场初级生产所起的举足轻重作用。同样 K 含量也是矮嵩草最高，羊茅次之。磷则不同，贮量最高的是二裂委陵菜。矮嵩草草甸植物地上部分 N、P、K 贮量的季节变化见表 1。返青期植物刚萌发，生长出的幼芽嫩茎还很小，对元素的摄取量也较小，随植物生物量的增加，元素的贮量也

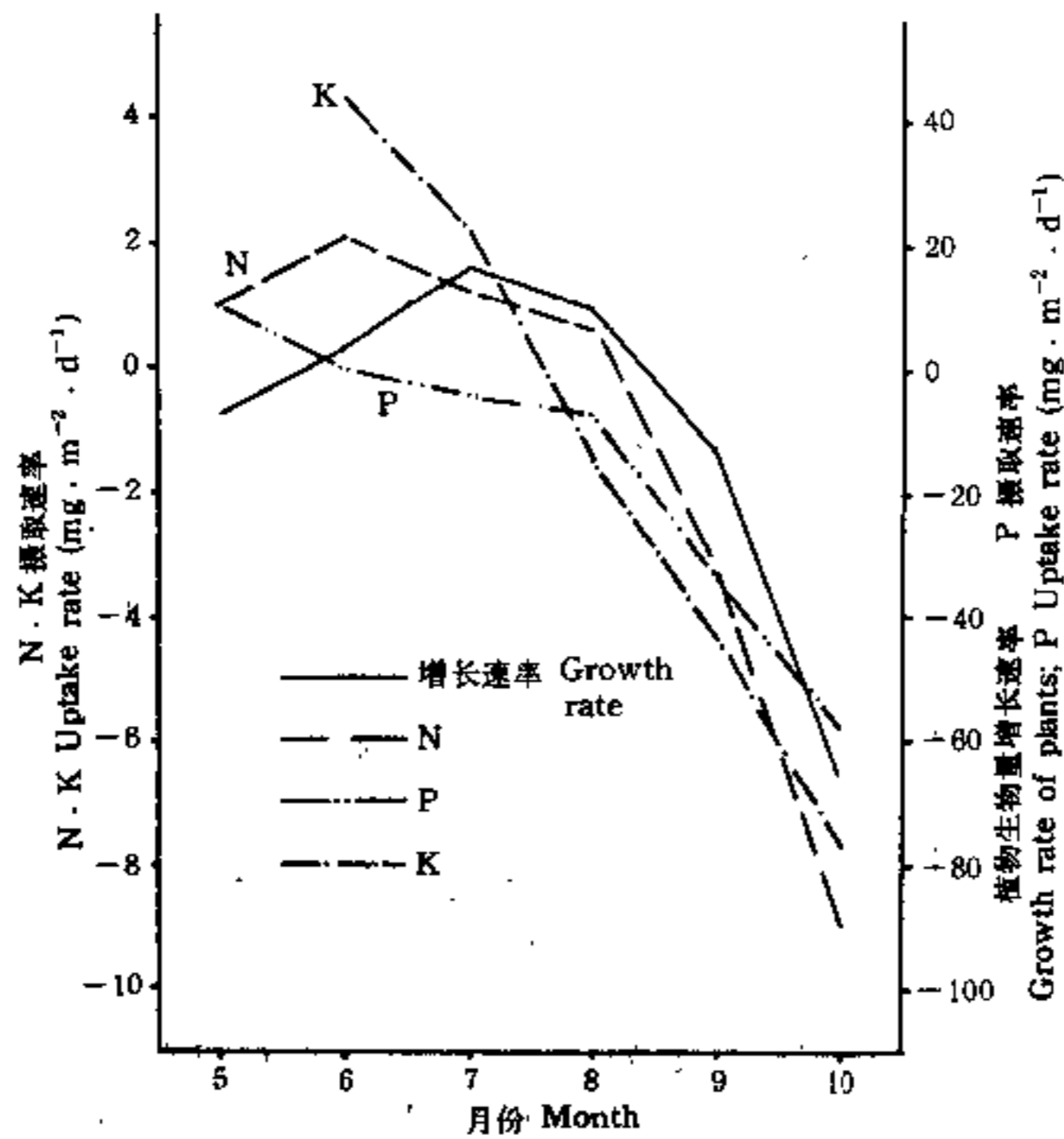


图2 矮嵩草草甸植物地上生物量的增长速率和对N、P、K的吸收速率

Fig. 2 Increase rates and N, P, K uptake rates of above-ground parts in *Kobresia humilis* meadow plant

逐渐增高，8月中旬至9月中旬植物生物量达高峰期，其N、P、K元素的贮量正是8月份达最高值。

表2 矮嵩草草甸禾草、莎草、杂类草的元素年摄取量(克/米²)

Table 2 Elements uptakes of grasses, sedges and forbs in *Kobresia humilis* meadow (g/m²)

牧草类型 Grasses types	生物量 Biomass	N	P	K
禾草 Grasses	78.51	0.752	0.047	0.404
莎草 Sedges	72.33	0.670	0.018	0.368
杂类草 Forbs	162.77	1.843	0.118	1.751

矮嵩草草甸以禾草、莎草、杂类草计算出地上部分元素含量的变化，结果列于表2。N、P、K的累积量为杂类草>禾草>莎草。杂类草的N、P、K累积量分别占整个群落的47.58%，45.04%，57.11%。由于过度放牧，草场退化，使牲畜不喜食或不食的杂类草生物量增高，同时杂类草对元素的摄取量所占比重较大，造成营养浪费。封育后可使草场中的三类草比例发生明显变化(周兴民，1986)，牲畜可利用牧草相应增加，牧草营

养结构有所改善, 促进退化草场的恢复。

2. 植物地上部分元素的年间动态

表3列出1980至1985年植物地上部分N、P、K元素的年最大摄取量。由于各年间水热条件的变化, 生物量差异较大, 其峰值出现的时间一般在8月15日至9月15日。植物对元素的最大摄取量均出现在8月份。1980至1985年植物生物量的均值为 328.6 ± 73.10 克/米², N元素年平均摄取量为 4.008 ± 0.822 克/米²·年。P为 0.292 ± 0.060 克/米²·年。K为 3.403 ± 0.699 克/米²·年。和内蒙古锡林河流域的两种草原比较, 矮嵩草草甸植物的N含量稍高, P、K则稍低于内蒙古羊草草原。与大针茅草原相比N、P、K的摄取量较高(张小川等, 1990)。

表3 1980-1985年矮嵩草草甸植物地上部分元素年最大摄取量(克/米²)

Table 3 Maximum uptake of above-ground elements in *Kobresia humilis* meadow plant during 1980-1985(g/m²)

元素 Elements	1980	1981	1982	1983	1984	1985	平均值 Average $\bar{X} \pm SD$
N	3.774	3.568	3.019	4.893	5.129	3.666	4.008 ± 0.822
P	0.274	0.259	0.220	0.356	0.373	0.267	0.292 ± 0.060
K	3.204	3.029	2.563	4.154	4.355	3.113	3.403 ± 0.699

3. 立枯及枯枝落叶的元素动态

海北站地区由于10月下旬气温急骤下降, 各种枝物已停止生长, 而且衰老死亡, 此时植物的蛋白质和核酸含量下降, 光合作用, 呼吸作用均有明显减弱。开始衰老的植物物质中含氮量要比活组织中氮的含量低(Reuss, 1977), 植物在衰老前的物质已经向地下转移, 枝草的化学成分及营养价值均有明显降低。此时立枯量 185.7 克/米²。向地下转移量为 142.9 克/米², 43.49% 转移到地下。Clark(1980)认为 $33-50\%$ 转移到地下参加下一年的循环。立枯中N、P、K的量为 1.39 克/米²、 0.068 克/米²、 0.873 克/米²。N、P、K向地下转移量为 1.07 克/米²、 0.049 克/米²、 0.67 克/米², 分别占地上最大摄取量的 26.70% 、 16.78% 、 19.74% 。

凋落物的积累与分解影响营养物质向土壤的归还动态。凋落物中的N、P、K浓度呈波动性的季节变化。其元素的季节动态为返青期最高, 7月份最低, N含量仅 0.04 克/米², P为 0.0007 克/米², 8月份K最低为 0.012 克/米²。凋落物中3元素的年归还量N为 0.16 克/米², P为 0.015 克/米², K为 0.108 克/米²。分别占地上最大摄取量的 3.99% 、 5.14% 、 $K3.17\%$ 。

4. 地下根系N、P、K的动态

9月份植物地下根系生物量最高, 7月份最低(王启基, 1988), 此时正是植物生长

旺季, 植物地上部分迅速生长, 需要从根部吸收大量营养物质, 活根大量死亡, 活根减少量的 60% 转移到地上 (Berg, 1975)。死亡根系迅速被微生物分解, 死根生物量逐渐减少, 至枯黄期最低。9 月下旬, 地上植物生育期结束, 不再从地下吸收营养物质, 部分营养物质已转移到地下贮存于根部, 此时活根生物量达最高值。经过漫长冬季呼吸消耗, 有些活根逐渐变成死根。到第二年返青期, 植物开始萌动, 返青后期地上部分增长速度加快, 大部分营养物质输送到地上。6 月份, 死根量达全年最大值。根系生物量主要分布在 0—10 厘米的土壤表层, 占总根生物量的 84.35%, 10—50 厘米占 15.65% (王启基, 1988)。根系中 N、P、K 贮量的季节变化和根系生物量的变化一致 (表 4)。0—10 厘米根系中, 活根 N 摄取量占 0—50 厘米活根 N 摄取量的 91.11%, P 占 89.96%, K 占 85.64%。死根 0—10 厘米中的 N 归还量占 0—50 厘米死根 N 归还量的 87.34%, P 占 84.27%, K 79.61%。

表 4 矮嵩草草甸土壤不同深度根系 N、P、K 贮量的季节变化 (克/米²)

Table 4 Seasonal dynamics of N, P, K storage roots in different soil depth in *Kobresia humilis* meadow (g/m²)

土壤深度 (厘米) Soil depth (cm)	元 素 Elements	6 月 June		7 月 July		8 月 Aug.		9 月 Sept.	
		活根 Live root	死根 Dead root	活根 Live root	死根 Dead root	活根 Live root	死根 Dead root	活根 Live root	死根 Dead root
		0—10	N	13.63	4.50	7.25	2.99	17.22	4.12
	P	0.260	0.083	0.188	0.057	0.305	0.088	0.355	0.036
	K	5.79	2.07	4.93	1.19	8.05	2.48	6.08	0.75
10—20	N	0.63	0.13	0.51	0.17	0.69	0.17	0.99	0.31
	P	0.016	0.003	0.012	0.001	0.013	0.003	0.020	0.007
	K	0.55	0.13	0.46	0.15	0.52	0.12	0.66	0.22
20—30	N	0.26	0.11	0.19	0.09	0.26	0.11	0.59	0.31
	P	0.0080	0.0020	0.0050	0.0004	0.0049	0.0020	0.0062	0.0070
	K	0.21	0.08	0.19	0.07	0.21	0.07	0.50	0.23
30—50	N	0.30	0.13	0.21	0.07	0.23	0.07	0.37	0.10
	P	0.0086	0.0028	0.0055	0.0003	0.0044	0.0013	0.0039	0.0023
	K	0.24	0.10	0.21	0.06	0.19	0.05	0.31	0.08

根系净生产量, 根据 Wielgolaski (1975) 计算出各月的死、活根净增量。按李家藻 (1984) 的各月死根分解速率校正, 乘以当月死, 活根浓度, 求出活根的年摄取量 N 11.39 克/米²、P 0.852 克/米²、K 5.684 克/米²。死根归还量为 N 5.103 克/米²、P 0.390 克/米²、K 3.072 克/米²。

植物亚系统中, 营养元素主要贮存于土壤表层 0—10 厘米根部, 根部营养物质不但

供植物地上部分生长，而且参加植物体内营养元素循环，维持生态系统的稳定性起主导作用。

高寒草甸生态系统矮嵩草草甸植物库各分室营养元素的贮量见表5。地上摄取量占总摄取量的N 26.03%、P 25.52%、K 37.44%；地下活根摄取量占总摄取量的N 73.97%、P 74.48%、K 62.56%；凋落物占地上摄取量的N 3.99%、P 5.14%、K 3.17%；死根占总归还量的N 96.96%、P 96.30%、K 96.60%。归还量占总摄取量的N 34.18%、P 35.40%、K 35.00%，通过研究对植物各分室的贮量和分配及在生态系统中的功能和作用有了进一步了解，为高寒草甸生态系统物质循环提供基础性资料。

表5 矮嵩草草甸植物各分室N、P、K的年贮量(克/米²)

Table 5 Elements storage of each compartments
in *Kobresia humilis* meadow plant(g/m²)

分室 Compartments	N	P	K
植物地上部分 Plant above-ground parts	4.008	0.292	3.403
立 枯 Standing dead	1.389	0.068	0.873
枯枝落叶 Litter	0.160	0.015	0.108
活 根 Live roots	11.39	0.852	5.684
死 根 Dead roots	5.103	0.390	3.072

参 考 文 献

- 王启基、杨福国、史顺海, 1988, 高寒矮嵩草草甸再生草生长规律的初步研究。高寒草甸生态系统国际学术讨论会论文集, 83—93, 科学出版社。
- 史顺海、杨福国、陆国泉, 1988, 矮嵩草草甸主要植物种群物候观测和生物量测定, 高寒草甸生态系统国际学术讨论会论文集, 49—60, 科学出版社。
- 杨福国、王启基、史顺海, 1988, 矮嵩草草甸生物量季节动态与年间动态, 高寒草甸生态系统国际学术讨论会论文集, 61—71, 科学出版社。
- 李家藻、朱桂茹、杨 涛、唐诗声, 1984, 高寒草甸植物的纤维素, 根和枯枝落叶分解作用的研究, 高原生物学集刊 2, 107—114。
- 张树源、白雪芳、马章英, 1988, 矮嵩草草甸植物生物学产量形成的生理基础, 高寒草甸生态系统国际学术讨论会论文集, 103—108, 科学出版社。
- 张小川、蔡蔚祺、徐 琪、熊 毅, 1990, 草原生态系统土壤—植被组分中氮、磷、钾、钙和镁的循环, 土壤学报 27 (2) 140—150。
- 周兴民、张松林, 1986, 矮嵩草草甸在封育条件下群落结构和生物量变化的初步观察, 高原生物学期刊 5, 1—6。
- Berg, A., Kjølvik, S., Wielgolaski, F. E., 1975, Distribution of ¹⁴C photosynthates in Norwegian alpine plants. In: Wielgolaski, F. E. (Ed.), *Fennoscandian tundra ecosystems. Part 1: Plants and microorganisms*. 208—215, Berlin-Heidelberg, New York.
- Clark F. E., Cole C. V., Bowman, 1980, Nutrient cycling in IBP 19 Grasslands, Systems analysis and man, Cambridge Univ. Press. 650—712.
- Reuss J. O., Innis, G. S., 1977, A grassland nitrogen flow simulation model. *Ecology*. 58 (2): 379—388.
- Wielgolaski F. E., 1975, Primary productivity of alpine meadow communities. In: Wielgolaski, F. E. (Ed): *Fennoscandian tundra ecosystem. Part 1: Plants and Microorganisms*. 121—128. Berlin Heidelberg, New York.
- Woodmansee R. G., Duncan, D. A., 1980, Nitrogen and phosphorus dynamics and budgets in annual grasslands, *Ecology* 61 (4): 893—904.

THE N, P, K DYNAMICS OF *KOBRESIA HUMILIS* MEADOW IN ALPINE MEADOW ECOSYSTEM

Zhang Jinxia Cao Guangmin Zhao Jinmei Wang Zaimo

(Northwest Plateau Institute of Biology,
The Chinese Academy of Sciences)

Abstract

The paper focused study on the seasonal dynamics of N, P, K concentration and storage of *Kobresia humilis* meadow in alpine meadow ecosystem. The result obtained showed that the uptaking rate were higher in early growing season, and decreased gradually with the growing season extended.

The uptaked maximum of N, P, K appeared in August, it were $4.008 \pm 0.822 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{yr}^{-1}$, $0.292 \pm 0.060 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{yr}^{-1}$, $3.403 \pm 0.699 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{yr}^{-1}$, respectively, and nutrient elements in plants mainly distributed in their roots. The annual uptaked amount of N, P, K in living roots were $11.39 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{yr}^{-1}$, $0.852 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{yr}^{-1}$ and $5.684 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{yr}^{-1}$. The uptaked amount by roots of N, P, K were 2.84 times 2.92 times and 1.70 times of the aboveground. But the return amount of litter were just N 3.04%, P 3.70% and K 3.39% of the total return amount.

The total return amount of N, P, K occupied 34.18%, 35.40% and 26.17% of the total uptaked amount.

Key words: Compartment; Element storage; Uptaking amount; Return amount