

高寒草甸生态系统氮素循环

张金霞, 曹广民

(中国科学院海北高寒草甸生态系统定位站, 西宁 810001)

Q9 K8. 158

摘要:应用分室模型,研究了高寒草甸(矮高草甸)生态系统中氮素的分布与循环。结果表明:系统中,土壤库氮素总储量为 $10.63\text{t}/\text{hm}^2$,主要以有机态存在,土壤氮素全量养分丰富,而有效养分贫乏,仅能满足较低水平生产的供求关系;植物氮素主要储存于植物活根中,根系氮素储量为 $190.11 \pm 49.62\text{kg}/\text{hm}^2 \cdot \text{a}$,活根内氮素占 79.26% 。通过对该系统氮素收支平衡计算结果表明,氮素输出为 $159.35\text{kg}/\text{hm}^2 \cdot \text{a}$,大于系统的输入 $84.73\text{kg}/\text{hm}^2 \cdot \text{a}$,系统中氮素亏缺,成为限制草场生产力提高的限制因子。

关键词:高寒草甸;氮素的分布与循环;土壤库氮素

The nitrogen cycle in an alpine meadow ecosystem

ZHANG Jin-Xia, CAO Guang-Min (Haibei Research Station of Alpine Meadow Ecosystem, Academia Sinica, Xining, 810001, China)

Abstract: The N distribution and cycle in on Alpine Meadow Ecosystem by a compartment model was studied. The results showed that the N storage was $10.63\text{t}/\text{hm}^2$, mainly existing as org. -N in the soil pool. Although the total N was abundant, the available N was in deficiency. The N storage was $190.1 \pm 49.62\text{kg}/\text{hm}^2$ in the plant sub-system, and 79.26% of it stored in living roots. By estimating the N input and output amount in the Alpine Meadow Ecosystem, it appeared that the amount of N output ($159.35\text{kg}/\text{hm}^2 \cdot \text{a}$) was much more than input ($84.73\text{kg}/\text{hm}^2 \cdot \text{a}$). The lack of available N, limited the productivity of the grassland in the Alpine Meadow Ecosystem. The N amount existed in the living roots was 3.39 times of the plant above-ground and this could buffer the need of plants growth.

Key words: nitrogen; cycling; compartment; input; output; storage

文章编号: 1000-0933(1999)04-0509-05 中图分类号: Q148 文献标识码: A

物质循环是陆地生态系统的主要功能之一。高寒草甸由于严酷的自然环境,生态系统的结构和功能比较脆弱,草场退化,生产力处于较低水平。作者研究了氮素在大气-土壤-植被-食草动物之间迁移和相互作用,并以分室模型表达系统各分室组分间元素的分配、迁移的定量关系,为保护生物群落的稳定结构,防止自然生态系统的萎缩,合理进行生态管理,以达生态系统的最佳效益提供科学依据。

1 研究地区和方法

该项实验在中国科学院海北高寒草甸生态系统定位站地区进行研究,该地区的自然环境、土壤、植被类型及地理分布均有详细报道^[1~3]。本项工作在1990~1993年植物生长季(5~10月),采集矮高草甸主要建群种(21种植物)地上活体、地下根系(分取死、活根)、立枯及凋落物样品用半微量开氏法进行氮素含量的分析测定,其中5月份由于植物刚刚萌发,植物分种非常困难,取混合植物样品。植物各分室生物量参照杨福国、王启基的测定结果^[4~5]。同时,采集土壤样品,用常规法进行土壤有机质、pH、碳酸钙、代换量、全氮、水解氮、全磷、有效磷、全钾、有效钾等理化性质的测定。

陆地生态系统物质循环主要指营养元素在大气-土壤-植物-动物间的流通和迁移。本研究将高寒草甸

基金项目: 国家“八五”攀登计划和海北高寒草甸生态系统定位站基金资助项目

王在模、赵静枚同志参加了部分工作,特此致谢!

收稿日期: 1997-04-18; 修订日期: 1998-05-02

生态系统分为大气、土壤、植被、饲草动物4个分室,其中植被分室又分为地上与地下两部分,地上部分随生长季节的变化又分为植物活体、立枯及凋落物;地下部分分为活根与死根。

2 结果和讨论

2.1 高寒草甸土壤-植被系统中氮素的贮量及分配特征

土壤 草毡寒冻锥形土是高寒草甸的主要土壤类型之一,其植被主要为高草草甸,在定位站地区分布较广。由于气温低,死亡根系难以分解,使之有机残体明显积累,有机质含量在10%左右,并且随着剖面深度的加深而减小。土壤 pH 值多在6~8,C/N 在10~12之间,其理化性状见表1。

表1 草毡寒冻锥形土的理化性状

Table 1 Chemical properties of the Mat Cryic camisoles

深度 (cm) Depth	有机质 (%) O. M.	碳氮比 C/N	pH	磷酸钙 (%) CaCO ₃	代换量 (cmol/kg) CEC	全氮 (%) Total N	水解氮 (mg/kg) Hydroly- zable N	全磷 (%) Total P	有效磷 (mg/kg) Avail- able P	全钾 (%) Total K	有效钾 (mg/kg) Available K
0~10	12.07	10.2	7.30	0	29.88	0.419	103.5	0.090	7.30	2.14	315.0
10~20	8.64	10.6	7.70	0	31.02	0.392	106.8	0.088	3.60	2.08	187.3
20~50	3.09	10.0	8.30	4.29	16.44	0.173	79.0	0.080	0.20	2.18	97.0
50~70	1.29	11.4	8.50	4.75	14.94	0.063	32.9	0.093	7.50	2.14	70.5
70~110	3.54	11.3	8.40	6.41	25.32	0.181	58.7	0.069	1.60	—	116.1

土壤中氮素总储量为10.63t/hm²,其中以有机态氮为主,土壤有机态氮主要以酸解态氮为主(占土壤全氮的69.90%~82.10%),酸解氮主要是高分子有机化合物、蛋白质、多肽等物质,其中,氨基酸态氮占30.00%、氨态氮占19.00%,未知态氮占29.00%左右,有机态氮随土层加深而减少。土壤氮素的有效性取决于速效养分的多寡,虽然草毡寒冻锥形土氮素储量丰富,水解态氮含量也较高,但有效率低,速效氮(NH₄-N+NO₃-N)在草盛期呈倒马鞍型^[6],表现了土壤养分在该时期相对贫乏,限制了草场生产力的提高。

植被 植物氮素含量的季节变动很大,生长初期植物体内氮素浓度较高(2.379%),随植物生长季节的延长,生物量的增加而被稀释^[7],直到生长季结束,植物体内氮素浓度降到最低值(0.748%)。实际上植物在衰老前地上部分营养物质已开始向地下转移,并存储于根部,以供植物冬眠和翌年植物萌发时的养分需要。群落中不同植物种类氮素含量不同,21种植物氮素的浓度范围是1.484%±0.599%,以6月份甘肃棘豆(*Oxytropis kansuensis*)和垂穗皮碱草(*Elymus nutans*)的氮素浓度较高。植物库氮素主要储存于根部,根系主要集中于0~10cm 表层。植物地上部分氮素的浓度和储量见表2。

2.2 高寒草甸生态系统中大气-土壤-植被-动物间氮素循环

陆地生态系统中氮素循环一般包括氮素的输入、输出及植物体的内部循环。

氮素的输入 (1)随降水作用输入系统氮素7.2~10kg/hm²·a^[8],高于芬兰斯塔的纳苔原定位站的 Kevo,美国科罗拉多的 Pownee 站。(2)本区为多年生牧草,豆科植物很少,生物固氮量较低,一般认为草地生物固氮量为1~2kg/hm²·a;李家藻^[9]研究结果表明,海北高寒草甸土壤中没有发现好气性自生固氮菌,仅有嫌气性自生固氮菌,根据固氮作用强度计算0~30cm 土壤中固氮量5kg/hm²·a。

氮素的输出 氮素的输出有(1)氨挥发损失 氨在土壤中产生速率取决于微生物活性和有机氮被微生物分解的难易程度。高寒草甸氨化作用较强,硝化作用较弱。土壤中速效氮绝大部分以氨态氮形式存在,因而给氨挥发损失奠定了物质基础。氨挥发损失为11.9kg/hm²·a^[10],相当于地上部分摄取量的26.78%,比

表2 高寒草甸植物地上部分氮素浓度和储量的季节动态

Table 2 The seasonal dynamic of N concentration and storage of plant above-ground in *Kobresia humilis* meadow

项目 Items	月份 Month					
	5	6	7	8	9	10
浓度 ^①	2.379	1.952	1.438	1.272	1.094	0.748
储量 ^②	15.5	35.5	42.2	44.4	44.4	23.9

①Concentration(%); ②Storage(kg/hm²)

年降水补给量还要多。(2)氮素的反硝化损失 高寒草甸土壤中反硝化菌数量较高,0~10cm 土层氮反硝化菌的数量平均高达 3.61×10^{11} 个细胞/g 干土^[9]。用乙炔抑制 N_2O 还原酶活性,使反硝化终产物为 N_2O ,利用气相色谱进行分析测定,反硝化损失为 $35.64 \text{kgN}/\text{hm}^2 \cdot \text{a}$ (0~45cm)^[11],其中15~30cm 土层反硝化损失作用强度最大,呈季节性波动状态变化。(3)放牧转移 高寒草甸生态系统以提高生产力,给社会提供更多的畜产品,保持畜牧业的持续发展为最终目的。藏系绵羊在青海畜牧业生产中具有重要地位,占全部牲畜的70%以上,也是消费者亚系统的主要成员。本区为冬春放牧草场,以中等放牧强度 5.45 只羊/ hm^2 ,年平均放牧245d 计^[12],经过一个放牧季节,消耗牧草氮素 $17.71 \text{kg}/\text{hm}^2 \cdot \text{a}$,其中,以动物产品肉、皮、毛等形式携出生态系统而成为永久损失的氮量为 $4.83 \text{kg}/\text{hm}^2 \cdot \text{a}$,以动物粪便燃烧和粪尿的氮挥发作用释放到大气分室的氮量为 $6.68 \text{kg}/\text{hm}^2 \cdot \text{a}$,通过粪尿归还土壤 $6.20 \text{kg}/\text{hm}^2 \cdot \text{a}$ 。放牧作用转移氮素占植物地上部分最大摄取量的39.85%,而归还是地上摄取量的13.95%,归还量仅是放牧消耗氮素的35.01%。

氮素的内部循环 氮素的矿化和固定,吸收及植物体的内部循环是草地生态系统中氮素运动的主要途径。土壤有机氮的矿化依赖于水分、温度、微生物活性和有机氮的数量。高寒草甸有机氮贮量相当丰富,土壤水分也较高,年平均降水614mm,但由于气温太低,年平均气温仅 -1.7°C (本站气象资料)致使微生物活动微弱,有机氮矿化速率缓慢,植物生长季节(5~10月)野外实验表明矿化量占土壤库全氮的1.59%(包括近期可矿化氮),较羊草草原和大针茅草原矿化量小^[13]。

立枯和凋落物 9月底牧草枯黄后,地上活体成为立枯和凋落物,营养物质不再向地下转移,从地上活体流向立枯中的氮量为 $23.11 \text{kg}/\text{hm}^2 \cdot \text{a}$,转移到地下的氮量为 $21.33 \text{kg}/\text{hm}^2 \cdot \text{a}$,占地上摄取量的47.99%,参加下一年的循环,与Clark^[14]研究结果一致。立枯和凋落物在冬春季节被牲畜啃食,消耗的氮量为 $17.71 \text{kg}/\text{hm}^2 \cdot \text{a}$,存留于地上的立枯草甚少,一部分经风吹雨打,牲畜践踏变为凋落物,经土壤表层微生物分解归还于土壤中,其归还量为 $5.40 \text{kg}/\text{hm}^2 \cdot \text{a}$,残留于地表的凋落物中氮量仅 $0.04 \text{kg}/\text{hm}^2 \cdot \text{a}$ 。

植物根系 活根、死根的变化是动态的,活根氮贮量的季节变化与其生物量的变化一致。牧草返青期,土壤表层昼融夜冻,深层土壤冻结,土壤速效氮供给强度较小,不能满足生长需求,植物地上部分所需氮量主要依靠先年根系储蓄的氮素提供,根系氮素贮量逐渐减少,7月份活根氮量达到最低值。部分活根死亡变成死根,随后,由于气温增高,土壤微生物活性增强,速效氮供给能力增高,大部分植物也由营养生长转向生殖生长,地上部分也开始有部分光合产物输送到地下根系,植物根系贮氮量逐渐增加,9月份根系氮量达最高值见表3。

表3列出了矮蒿草甸植物地下根系氮素贮量的季节动态。活根氮素贮量占总贮量的79.26%,死根占20.74%。0~10cm,10~20cm,20~30cm 土层氮素贮量依次减小,分别占总贮量的92.59%、4.72%、3.69%。死根和凋落物的分解速率受温度、水分及微生物活动的影响,新近死亡的根系及凋落物分解速率较快,因其易分解的组分较多,而后逐渐变为难以分解的木质素、单宁、蜡质等分解速率较慢。据李家藻^[15]研究结果,根系的分解速率为 $0.00302 \text{g}/\text{g} \cdot \text{d}$,以张小川^[16]报道的方法计算,结果与年增量计算值较接近,其死根归还量 $59.93 \text{kg}/\text{hm}^2 \cdot \text{a}$ 。综上所述,氮素在各分室的流通与分配以方框图1表示。其中,各分室或组分中不带括号的数字为现存量,带括号者为年存留量,带★者为年残留量,分室连线上的数字为流通量。植物地上、地下及牲畜各分室氮的总归还量为 $71.53 \text{kg}/\text{hm}^2 \cdot \text{a}$,降水及固氮输入到土壤中的氮为 $13.20 \text{kg}/\text{hm}^2 \cdot \text{a}$,通过大气、土壤、牲畜分室输出的氮素为 $59.05 \text{kg}/\text{hm}^2 \cdot \text{a}$,而活根年摄取氮量为 $100.3 \text{kg}/\text{hm}^2$,高寒草甸生态系统输出量

表3 高寒草甸植物地下部分氮素贮量的季节动态(kg/hm^2)
Table 3 the seasonal dynamic of N storage of belowground in *Kobresia humilis* meadow plants

月份 Month	深度 Depth(cm)						储量合计 Total storage
	0~10		10~20		20~30		
	活根 Live root	死根 Dead root	活根 Live root	死根 Dead root	活根 Live root	死根 Dead root	
6	136.29	45.02	6.28	1.27	2.94	8.56	200.38
7	78.84	28.70	5.14	1.75	2.11	1.81	118.36
8	172.21	41.21	6.90	1.69	2.72	1.05	225.79
9	176.20	21.28	9.90	3.08	5.94	3.06	219.47
平均 Mean	140.89	34.05	7.06	1.95	3.43	3.62	191.00

159.35kg/hm²·a, 而输入系统中为84.73kg/hm²·a, 可见系统的输出大于输入。

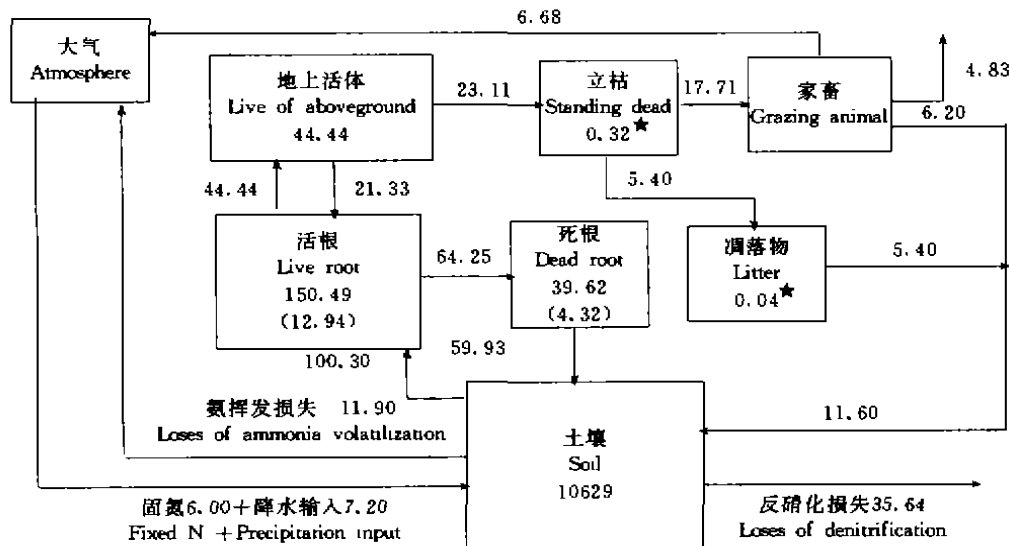


图1 高寒草甸生态系统的氮素循环(kg/hm²·a)

Fig. 1 The N cycles in alpine meadow ecosystem

氮素的内部循环表明,活根中储存的氮量是地上部分最大摄取量的3.39倍。当年植物吸收的氮是前一年储存于植物根部的,还是根部新吸收土壤中的有效养分不是很容易测定的。在短草草地以¹⁵N肥料实验证明,在植物生长季¹⁵N肥料很快被植物和微生物固定,第一年固定的氮可在下一年再矿化和再固定^[17]。他估计活根中贮存的氮素每年有19%被地上部分吸收。高寒草甸地上部分吸收氮素的一半多则可以从根部贮存的氮素得到补充。因此,根部储存的养分对植物生长起一定的缓冲作用,对生态系统的平衡有特殊的意义。

3 小结

通过对氮素在高寒草甸生态系统循环过程的研究,明确了氮素在各分室中的贮量及在各分室间的流通量。系统中氮素主要贮存在土壤库中,而植被系统中氮素主要贮存在活根中,这对于保持生态系统的相对稳定起了很重要的作用。

在土壤库中,通过氮素输入、输出计算,明显看出土壤氮素输出大于输入,这必将造成土壤肥力降低。该研究是以中度放牧强度计算的,在牧业生产上,放牧强度往往超过此强度,结果使流入家畜的氮量增加,归还量减少,加速了系统氮素的失调过程,进而引起草场生产力降低,甚至草场退化。因此,在牧业生产中,应严格控制放牧强度,禁止超载过牧,加强生态管理,使高寒草甸草场保持持续的生产力。

参考文献:

- [1] 杨福国. 高寒草甸生态系统定位站自然概况. 高寒草甸生态系统. 北京, 科学出版社, 1981. 1~8.
- [2] 乐炎州, 左克成, 张金霞, 等. 海北高寒草甸生态系统定位站的土壤类型及其基本特点. 高寒草甸生态系统. 兰州: 甘肃人民出版社, 1982. 1: 19~33.
- [3] 周兴民, 李健华. 海北高寒草甸生态系统定位站的主要植被类型及地理分布规律. 高寒草甸生态系统. 北京, 科学出版社, 1981. 9~18.
- [4] 杨福国, 王启基, 史顺海. 矮嵩草草甸生物量的季节动态与年间动态. 高寒草甸生态系统国际学讨论会论文集. 北京, 科学出版社, 1988. 61~72.
- [5] 王启基, 杨福国, 史顺海. 矮嵩草草甸地下生物量形成规律的初步研究. 高寒草甸生态系统国际学术讨论会论文

- 集.北京:科学出版社,1988.83~93.
- [6] 左克成,乐炎州.青海高山草甸土的形成及其肥力评价.土壤学报,1980,17(4):308~318.
- [7] Woodmansee R G and D A duncan. nitrogen and phosphorus dynamics and budgets in annual grassland. *Ecology*, 1980,61(4):893~904.
- [8] 左克成,张金霞,王在模,等.青海海北高寒草甸生态系统降水养分含量的初步研究.高原生物学集刊.北京:科学出版社,1986,5:35~43.
- [9] 李家藻,杨涛,朱桂茹,等.高寒草甸土壤氮素代谢微生物数量及活性的研究.原生物学集刊.北京:科学出版社,1984,3:193~207.
- [10] 王在模,乐炎州,陈伟民.高山草甸土氮挥发的研究.高寒草甸生态系统,1993,3:219~226.
- [11] 杜伊光,李家藻,师治贤等.高寒草甸生态系统土壤微生物反硝化作用引起氮素损失的研究.高寒草甸生态系统.北京:科学出版社,1995,4:189~195.
- [12] 王启基,皮南林,赵新全等.放牧藏系绵羊营养状况的初步研究.高原生物学集刊,北京:科学出版社,1988,8:77~87.
- [13] 张小川,蔡蔚祺,徐琪,等.草原生态系统土壤-植物组分中氮磷钾钙镁的循环.土壤学报,1990,27(2):140~150.
- [14] Clark F E, Cole C V and bowman. Nutrient cycling in IBP 19 grasslands, systems analysis and man. Cambridge Univ. Press, 1980. 650~712.
- [15] 李家藻,朱桂茹,杨涛,等.高寒草甸植物纤维素、根和枯枝落叶分解作用的研究.高原生物学集刊.北京:科学出版社,1984,2:107~114.
- [16] 张小川,蔡蔚祺,徐琪,等.关于草原生态系统中养分循环的计算.土壤,1989,21(3):158~159.
- [17] 陈佐忠,黄德华,张鸿芳.羊草草原和大针茅草原氮素储量及其分配.植物生态学与地植物丛刊,1983,7(2):143~151.
- [18] Clark F E. Internal cycling of 15 nitrogen in short grass prairie. *Ecology*, 1977,58:1322~1333.