羊草草地植被-土壤系统氮循环研究

李玉中 王庆锁 钟秀丽 任 娜

(中国农业科学院农业气象研究所 北京 100081)

摘 要 研究表明, 0~30 cm 土层 7 月氮(N)总储量为 $479.2 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$, 其中主要为有机 N, 占总 N 量的 98.5%, 土壤中的无机 N 年度变化很大, 在 $2.55 \sim 11.3 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 之间, 7 月无机 N 储量为 $7.3 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$, 与其它类型草地不同, 该类型草地土壤铵态 N 与硝态 N 含量有些季节相差不大, 有些季节硝态 N 的含量超过铵态 N 的含量, 铵态 N 的峰值出现的时间早于硝态 N。植物根系吸收利用的无机 N 约为 $3.48 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 植物根系向地上每年输送的 N 量为 $2.97 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 地上活体向地下转移的 N 量为 $1.54 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 植物地上部分每年转为立枯凋落物的 N 量为 $1.43 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 由立枯凋落物转为土壤有机 N 的量大于 $1.08 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 植物根系每年转为土壤有机 N 的量为 $1.51 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。

关键词 N 内部循环 分室模型 草地 羊草草地

N INTERNAL CYCLING IN *LEYMUS CHINENSIS* GRASSLAND VEGETATION-SOIL SYSTEM

LI Yu-Zhong WANG Qing-Suo ZHONG Xiu-Li and REN Na

(Agrometeorology Institute, the Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract Objectives of the research were to determine the extent of internal cycling of Nitrogen(N) in *Leymus chinensis* grasslands using the compartment model method. The internal ecosystem was divided into five compartments: (i) Above-ground N, (ii) Standing dead and litter N, (iii) Living root N, (iv) Soil organic N, and (v) Soil mineral N.

Above-ground biomass was harvested from five $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ quadrats in each plot while the underground biomass was collected from $25 \text{ cm} \times 25 \text{ cm}$ sections at 30 cm soil depth. The soil samples were washed, and dead roots were separated from living roots. Soil N for total N and mineral N test was sampled at two depths (0-15 cm and 15-30 cm). The above samples were collected at 4 weeks intervals between mid-April to mid-September with five replications. Standing dead and litter were collected from five $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ quadrats in mid-October, 1994, each 100 g of the samples was put into one nylon net bags, total 30 bags of the samples were randomly scattered on grassland soil surface, and 5 samples were collected every month from mid-April to mid-Sep, in 1995. The remaining samples were weighed and N content was tested for each sample.

The total N of plant and soil was measured using Kjeldahl digestion method. The amounts of NH_4^+ -N and NO_3^- -N measured by distillation method. The result indicated that the soil-plant system contained $479.2 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ of N, nearly all in the organic form. The plant available N, about 1.5% of total N in the forms of NH_4^+ and NO_3^- , the seasonal changes of the two forms were great, the storage of soil mineral compartment was between $2.55\text{-}11.3 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$, and the content of NO_3^- -N was even higher than NH_4^+ -N, which is different from the other type grasslands, where the peak of NH_4^+ -N contents appeared earlier than that of NO_3^- -N contents. Plant root uptook N $3.48 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, the above-ground took up N $2.97 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, the N re-translocation was about $1.54 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ from above-ground to root. The N of above-ground biomass that turned to litter N is $1.43 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$. Approximately $1.08 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ N in litter changed to soil organic N, and $1.51 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ of N from the root changed into soil organic N.

Comparison between Canadian mixed prairie and Northeast China *L. chinensis* grasslands indicates that the utilization efficiency of soil N for grasses is lower in *L. chinensis* grasslands than that in Canadian mixed prairie.

Key words N, Internal cycling, Compartment model, *Leymus chinensis* grasslands

氮(N)是植物生长发育最重要的元素之一,土壤中N主要以有机N和无机N两种形态存在,无机N主要以 NH_4^+ 和 NO_3^- -N存在,可为植物直接利用。草地无机N的含量通常维持在很低的水平,因而N素的供应强烈地影响着草地生态系统的生产力及草地利用率。

草地生态系统由生物与非生物成分构成,在草地氮循环领域国外有很多研究报道(Bochari & Singh, 1975; Hayes, 1985; Henzell & Ross, 1973; Risser & Parton, 1982; Woodmansee *et al.*, 1978),一些研究还采用了 ^{15}N 研究了草地N运移(Clark, 1977; Redmann *et al.*, 1992)。在生态系统物质循环研究中常常采用分室模型的方法,如Reuss和Innis(1977)利用分室模型的方法在科罗拉多模拟研究了草地N素流动状况。Wallace等(1978)和用分室模型研究了Mohave荒漠N循环状况。Li和Redmann(1992)结合分室模型研究了加拿大杂类草禾草草原N的内部循环。在我国的典型草原上,张小川等(1990)研究了内蒙古锡林河流域羊草(*Leymus chinensis*)草原和大针茅(*Stipa grandis*)草原土壤、植被组分中N、P、K、Ca和Mg的循环,在该研究中,作者将土壤-植被系统划分为6个分室,即土壤、地上植物活体、立枯、凋落物、活根和死根等分室,研究以上几种养分在不同分室的循环情况,在高寒草甸上,张金霞等(1999)设立7个分室,分别为土壤、大气、地上活体、立枯、活根、死根、凋落物、家畜,研究了高寒草甸生态系统N在各分室的储量以及在不同分室间循环情况。本研究认为,死根可作为土壤有机N室的一部分,由于植物利用的是无机N,所以本研究将土壤N室分为有机N室和无机N室,地上分为牧草活体N室和立枯凋落物N室(包括立枯体和凋落物),植物地下只分为1个活根N室。东北羊草草地土壤-植被组分共设立以下几个分室:1)土壤有机N室;2)土壤无机N室;3)活根N室;4)牧草活体N室;5)立枯凋落物N室。首先研究了N在各分室内的贮量动态及分室间流动状况,在此基础上构建N在土壤-植被亚系统的内部循环模型。

1 研究地点与方法

1.1 地点

本研究在吉林省长岭腰井子羊草草地自然保护区内进行,地理位置为东经 $123^\circ44' \sim 123^\circ47'$,北纬 $44^\circ40' \sim 44^\circ44'$ 。海拔140~160 m,地形相对高差5~20 m。

研究地区位于温带半湿润季风气候区,其气候特点具有典型的大陆性气候,温差较大,春季干燥多风,夏季温热多雨,秋季温和凉爽,冬季寒冷少雪。根据长岭县气象站($123^\circ58' \text{ E}$, $44^\circ15' \text{ N}$)近30年的气象资料统计,该地区年平均降水量为470.6 mm,主要集中在夏季6~8月,降水量约占全年的70%,是草地N湿沉降发生的主要季节,也是草地N在各分室变化最大的季节;年蒸发量1600.2 mm,年平均气温 4.9°C ,无霜期136~163 d。

所研究的样地为羊草单优势种群落,伴生种有十几种,单优势种羊草总盖度达80%左右,羊草地上生物量占群落总生物量的90%以上(李建东, 1979)。

1.2 研究方法

土壤 NH_4^+ -N、 NO_3^- -N测定采用凯氏定氮法。立枯凋落物、地上生物量测定方法采用样方法,面积 $1\text{ m} \times 1\text{ m}$,5个重复。立枯凋落物的分解研究采用方法:在网眼为1 mm的尼龙袋内放入收集的立枯凋落物100 g,随机放在羊草(*Leymus chinensis*)草地内,并设立标记,以后每个月取3个,测定立枯凋落物剩余量及内部氮含量。

植物地下生物量测定采用土壤剖面挖掘法测定,取样面积 $25\text{ cm} \times 25\text{ cm}$,深度30 cm。土样放在大盆内,盆内注满水,待土壤充分溶解后搅拌土壤,根系逐渐浮在水面,用分样筛捞出,将收集的根系用水继续冲洗,并分出活根与死根。取样时活根与死根有时是比较难区分的,本研究中在洗根时,尽量将根上的土冲刷掉,没有冲刷掉与地下根茎基本连在一起的根视为活根,冲刷掉发白的根也挑出作为活根。

植物及其立枯凋落物全N的测定方法同土壤全N的测定。

参照Li & Redmann(1992)的研究,用下面的公式计算植物各分室N含量:

$$N_n = C_n B_n \tag{1}$$

N_n = 第 n 个分室总N量, C_n = 第 n 个分室N的浓度, B_n = 第 n 个分室的生物量,各分室N贮量根据一年中各自的最高值和最低值确定其变动范围。

N在各分室间的流量由以下公式计算:

$$F_a = C_a B_a \tag{2}$$

F_a 代表植物地上一年的吸收的总N量, C_a 为地上生物量最高时的N浓度, B_a 为地上最高生物量。

$$F_{da} = C_d B_a \tag{3}$$

F_{da} 代表地上部枯死后所吸收的总 N 量； C_d 为地上枯死植物的 N 浓度； B_a 为地上最高生物量。因为植物在枯死过程中有凋落物的产生等生物量的损失，所以此处用最高生物量来代替枯死植物量。 N 由地上向地下的再转移由下面的公式计算：

$$F_{rt} = F_a - F_{da} \tag{4}$$

N 由地上向地下再转移的系数(Coefficient of N retranslocation)由下式计算：

$$CNR\% = (F_{rt}/F_a) \times 100 \tag{5}$$

而经由植物根系吸收 N 的总量由下式计算：

$$F_r = F_a - F_{rt} + \Delta N_u \tag{6}$$

F_a 同式(2)； F_{rt} 同式(4)； ΔN_u 地下生物量在一个生长季内 N 净增量。

N 由立枯凋落物向土壤有机 N 和无机 N 转移 N 量计算用下式完成：

$$F_s = F_l - F_y \tag{7}$$

F_s 代表 N 由立枯凋落物向土壤有机 N 和无机 N 转移量； F_l 由两部分组成，即 F_{da} 和 F_p ， F_{da} 同式(3)； F_p 代表以前立枯凋落物未分解部分的 N 总量； F_y 为一年后立枯体凋落物 N 总量，这里需要指出的是这项工作是在 8 月完成的，此处的 F_y 是 F_l 经一年的凋落与分解 N 的残留量，这是通过测定次年 8 月样方内立枯凋落物量和其 N 浓度完成的。

N 由植物根系向土壤有机 N 和无机 N 转移量的计算用下式完成：

$$F_T = T \cdot B_{max} \cdot C_{max} \tag{8}$$

F_T 为 N 由植物根系向土壤有机 N 和无机 N 转移量； T 为根系的周转值，本文根据 Dahlman 和 Kucera(1965) 的公式计算， $T = P_{rn}/B_{max}$ ， P_{rn} ：根年际产量，即根年际最高生物量与最低生物量之差， B_{max} 为根系最高生物量； C_{max} 为根系最高生物量时的 N 浓度。

2 讨论与结果

2.1 N 在各分室的季节动态

2.1.1 N 在土壤分室的季节动态

土壤中的 NH_4^+ - N 和 NO_3^- - N 季节变化差异很大，它们也是土壤肥力和供 N 能力的一个重要指标。它们的季节变化如图 1、2 所示，所研究的羊草草地， NH_4^+ - N 和 NO_3^- - N 的含量在不同季节差异有所不同， NO_3^- - N 在 5、8、9 月还高于 NH_4^+ - N 的含量，说明这两种形态的 N 在此类型草地中作用均很大。

NO_3^- - N 一般很容易渗漏损失，从 NO_3^- - N 含量较高这个角度来看，东北羊草草地与其它类型草地存在着显著的不同，其它类型草地土壤中 NO_3^- - N 含量普遍低(Li & Redmann, 1992; Robinson, 1963)。 NO_3^- - N 含量低一方面与土壤渗透性有关，另一方面与土壤的 pH 值低相关，因为酸性土壤不利于硝化细菌的活动(Robinson, 1963)。 硝化细菌活动适宜在 pH 值为 8 左右，所研究的草地 pH 值为 8.6，有利于硝化细菌的活动。羊草草地 NH_4^+ - N 另一个特点是返青前含量较高，随着牧草生长有所降低，到 6、7 月由于降水增多以及温度和土壤温度的升高， NH_4^+ - N 的含量又开始提高，这一方面说明降水有一定量的 NH_4^+ - N 输入，另一方面从后面的矿化速率的研究结果也说明 6、7 月土壤中有有机 N 易矿化的成分含量较高，随着 N 矿化最适宜条件的到来， N 矿化速率加快， NH_4^+ - N 量增加，进入 8、9 月份，由于易矿化成分减少而使矿化速率降低，同时硝化速率的增加和生物的吸收，使 NH_4^+ - N 含量降低，土壤中的 NO_3^- - N 前期变化不大，进入 8 月大幅度增加，说明此时以 NH_4^+ - N 为基质的硝化作用强度增加，进入 9 月开始下降，尤以 0~15 cm 土壤层表现最为明显，因为这一土层正是植物根系大量分布的一层，约占地下生物量的 80%~90%，植物根系对 NO_3^- - N 的大量吸收，加之硝化基质 NH_4^+ - N 的减少(图 1)，这一层次 NO_3^- - N 下降非常明显(图 2)，而 16~30 cm 土层，由于根系分布很少，土壤渗透性差，因而 NO_3^- - N 下降幅度不是很大。0~15 cm NH_4^+ - N 和 NO_3^- - N 的含量总的来看要高于 16~30 cm 的含量。

2.1.2 植物根系生物量及其 N 浓度的季节动态

N 在植物根系内的浓度和地下生物量的动态如图 3、4 所示。根系生物量总的趋势是随牧草的生长不断地增加，最高值为 $701.0\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ ，其 N 浓度基本维持在 1% 左右。根系总 N 量可由根系生物量与根

图 1 不同层次土壤 NH_4^+ - N 含量的季节动态
Fig.1 Soil NH_4^+ - N concent seasonal dynamics in different layers

图 2 不同层次土壤 NO₃⁻-N 含量的季节动态

Fig.2 Soil NO₃⁻-N concent seasonal dynamics in different layers

图 3 地下生物量 N 含量的季节动态

Fig.3 N concent seasonal dynamics of under-ground biomass

图 4 地下生物量的季节动态

Fig.4 Seasonal dynamics of under-ground biomass

中 N 浓度的乘积获得 ,不难看出 ,它也在不断地增加 ,这主要是由于根系从土壤中对 N 的吸收合成与利用的结果 ;由公式(1)可算出 N 在根系的贮量变化为 5.01~7.06 g·m⁻²之间 ,到了秋季 N 开始由地上向地下转移。

2.1.3 植物地上生物量、立枯凋落物及其 N 浓度的季节动态

如图 5 所示 ,东北羊草草地雨热同期 ,6~8 月为降水集中分布的季节 ,植物地上生物量这几个月增长速率很快 ,生物峰值出现在 8 月 ,值为 275.2 g·m⁻² ,由公式(1)可计算出 N 在地上植物活体变化范围为 0~2.97 g·m⁻² ,8 月以后 ,由于水热条件降低 ,

土壤微生物活动减弱 ,在与本文相关的研究中发现 ,8 月以后 N 矿化与硝化强度降低 ,植物地上部分的 N 和其它物质由植物地上向地下转移 ,加之部分凋落物的产生使地上生物量到 9 月下降。地上生物量 N 浓度的变化见图 6 ,N 浓度随着生长季节的推进逐渐下降。立枯凋落物的季节变化如图 7 所示。植物地上立枯凋落物在没有火烧发生的前提下 ,其积累量逐年增加 ,所研究样地前一年起火 ,本研究中的 10 月立枯凋落物的量和浓度均为上一年 10 月的值。此时立枯凋落物的 N 浓度也比较低 ,为 0.52% ,立枯凋落物的量为 210.0 g·m⁻² ,N 的贮量为 1.09 g·m⁻² ,经过 10 个月的分解这些立枯凋落物的剩余量为 70 g·m⁻²。

图 5 地上生物量的季节动态

Fig.5 Seasonal dynamics of above-ground biomass

图 6 地上生物量 N 含量的季节动态

Fig.6 N concent seasonal dynamics of above-ground biomass (%)

图 7 立枯凋落物生物量的季节动态

Fig.7 Seasonal dynamics of litter biomass

2.2 N 在植被-土壤亚系统内的循环

2.2.1 N 在植被-土壤亚系统各分室的分配

用各分室 N 的浓度和生物量及土壤重量 ,可以得出 N 在各分室中的分配 ,为了便于计算各分室 N 所占比例 ,我们将 7 月各分室中的分配及比例列于表 1。

表 1 N 在羊草草地各分室内贮量和分配 (0~30 cm)

Table 1 Nitrogen storage and distribution of different compartments in *Leymus chinensis* grassland (0-30 cm)

分室 Compartments	N 量 (g·m ⁻²) * 所占比例 (%) N Storage Proportion
总 N 量 Total N	479.2 (5.1) 100
有机 N Organic N	471.9 (6.7) 98.5
无机 N Mineral N	7.3 (1.5) 1.5
土壤有机 N Soil organic N	463.5 (4.8) 96.7
植物总 N Plant Total N	8.4 (1.3) 1.8
地上总 N Aboveground N	2.7 (0.3) 0.6
活植物体 N Living organic N	2.2 (0.2) 0.5
立枯凋落物 N Litter N	0.5 (0.1) 0.1
地下总 N (根) Root N	5.7 (1.6) 1.2

数值以平均数 (标准误差) 表示 Mean (SE)

从表 1 可以看出 98% 以上的 N 以有机形式存在 ,土壤中的有机 N 占总 N 量的 96.7%。而植物可利用的 N 仅占全 N 的 1.51% ,这一方面说明羊草草地生态系统 N 的保存是非常有效的 ,N 以有机形态存在保证了它不容易流失到该系统以外 ,而可利用 N (无机 N) 比例低 ,说明 N 的供应是有限的 ,只有通过施 N 和提高有机 N 的矿化与硝化速率才能保证无机 N 的供应 ,进而提高草地的生产力。N 矿化和硝化研究结果也表明在植物对 N 吸收最旺盛的 7、8 月 ,矿化和硝化速率也最快 ,这也是植物对 N 供应的一种适应机制 ;施肥的实验也证明 ,施 N 可显著地提高羊草草地第一性生产力 (李建东等 ,1979)。

2.2.2 N 在各分室的运输和 N 内部循环模型的构建

N 在各分室的贮量。利用表 1 中 7 月的数据初步构建出 N 在各分室的贮量 ,实际上 ,N 在不同季节和不同年份 ,各分室的贮量变化很大 ,N 内部循环见图 8。图中方框内的数字为各分室内年 N 储量 (g·m⁻²) ,箭头上的数字为各分室间 N 流量 (g·m⁻²·a⁻¹) ;虚箭头表示未能测定 N 流量。

N 在各分室的运移。随着秋季的到来 ,植物地上部分渐渐枯黄 ,含 N 量逐渐下降 ,其下降原因主要是植物将 N 从地上运输至根系储存所致。由于所研究的样地设在保护区内 ,没有大型动物对牧草的采食 ,同时在所研究的年份里未见有蝗虫等昆虫的采食 ,因而用最高时期的生物量和植物地上的全

图 8 羊草草地 N 内部循环模型
Fig.8 Nitrogen internal cycling model of *Leymus chinensis* grassland

N 浓度可得植物地上部分吸收的总 N 量为 2.97g·m⁻²·a⁻¹ (公式 (2)) ,由植物地上活体向枯死植物体转移的 N 量为 1.43 g·m⁻² (公式 (3)) ,由衰老的地上活体向地下的运输量为 1.54 g·m⁻²·a⁻¹ (公式 (4))。N 向地下转移是一个复杂的生物学过程 ,本研究是根据差额计算出的 ,与实际从值或多或少有些差异 ,但基本上能够反映 N 向地下转移的情况。由公式 (5) 计算 N 从地上向地下再转移系数 CNR% 为 52%。Li 和 Redman (1992) 在北美杂类草禾草原研究的结果表明 ,N 在冰草 (*Agropyron dasystachyum*) 体内再运输系数为 46% ~ 69% ,Adams (1982) 和 Hayes (1985) 对高草原的研究发现 N 在须芒草 (*Andropogon gerardii*) 体内的再运输率分别为 43% 和 58%。这些结果均表明 ,在可利用 N 缺乏的草地生态系统中 ,N 再转移是牧草充分利用和保存 N 的一种重要方式。所研究样地前一年起火 ,因而立枯凋落物实际上是一年形成的 ,由公式 (7) 可计算出其向土壤有机 N 转移量为 1.08 g·m⁻² ,因为随着凋落物积累年限的增长 ,凋落物向土壤有机 N 和无机 N 转移的量也会增加 ,所以 ,在循环模型里 ,我们以 ≥1.08 g·m⁻² 表示。通过植物根系吸收的总 N 量由公式 (6) 计算结果为 3.48 g·m⁻²·a⁻¹。由公式 (8) ,N 由根系向土壤有机 N 的年转化量为 1.51 g·m⁻²。

采用管型取样法 ,研究了土壤有机 N 向土壤无机 N 的年际转化量 ,即净矿化量 ,结果表明 0 ~ 10 cm 土壤 N 的净矿化量为 31.1 kgN·hm⁻²·a⁻¹。鉴于本研究土层深度为 30 cm ,所以文中用虚线表示。

2.2.3 东北羊草草地与北美杂类草禾草草原比较

根据 Li 和 Redmann(1992)在北美杂类草禾草草原上的研究表明,土壤分室有机 N 贮量为 $363.8 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$,东北羊草草地土壤分室有机 N 贮量为 $471.9 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$,高于北美杂类草草原;无机 N 含量北美杂类草草原为 $5.2 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$,主要为 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$, $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量很低,仅为 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的 $1/10 \sim 1/5$,同一月的东北羊草土壤无机氮贮量为 $7.3 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$,高于北美的杂类草草原,同时在 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量方面也有很大差异,东北羊草草地在有些季节 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量还比 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 高。这从另一个方面说明东北羊草草地渗透性差,雨后应该严禁放牧,否则会造成严重的退化。在植物总 N 量方面,北美杂类草草原比东北羊草草地高 $3.7 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$,在 N 的吸收利用方面,北美杂类草草原吸收与利用的 N 量为 $7.5 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$,高于东北羊草草地。通过比较说明,尽管东北羊草草地保护区内的土壤有机氮含量比北美的杂类草草原高,但植物吸收与利用的效率没有北美的杂类草草原高,这与所生长的植物种类、土壤、气候、管理等因素密切相关。

3 小 结

在所研究的羊草草地上,土壤无机 N 库中的 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 和 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 均有一定的含量,在 5、8、9 月还高于 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的含量,说明这两种形态的 N 在此类型草地中作用均很大,这与其它草地不同,该羊草草地渗透性差, pH 值较高,既有利于硝化作用的进行,又防止 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 的渗漏损失, $0 \sim 30 \text{ cm}$ 土层无机 N 的贮量为 $2.55 \sim 11.3 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 。

该羊草草地 N 主要以有机 N 形式存在, $0 \sim 30 \text{ cm}$ 土壤有机 N 的贮量为 $463.5 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$,无机 N 仅占 $0.5\% \sim 2.4\%$ 之间。这保证了 N 的损失维持在较低的水平不易损失掉。但同时也限制了草地第一性生产力。

植物地上部分在生长过程中, N 浓度逐渐降低,但总 N 量在 8 月以前一直在增加, 8 月中旬地上生物量及其总 N 含量达到最高,分别为 $275 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 和 $2.97 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 。9 月由于植物逐渐衰老,植物地上 N 向地下转移,植物地上总 N 量和 N 浓度均下降,这有利于下一年返青植物再生长。地上剩余部分成为立枯凋落物的一部分,氮储量为 $1.43 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 。

植物立枯凋落物在 6~9 月间分解最快,这与该

时期降水、土壤湿度、温度是密切相关的。立枯凋落物向土壤有机 N 年际转化量大于 $1.08 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 。

植物地上部分吸收总 N 量每年约为 $2.97 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$,其中 52% 左右要再转移回地下,这是可利用 N 相对缺乏植物保存 N 的一种有效途径。

植物根系年吸收总 N 量为 $3.48 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$,由植物根系向土壤有机 N 年际转化量为 $1.51 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 。

参 考 文 献

- Adams, D. E. 1982. Nutrient and biomass allocation strategies for five grass species in Oklahoma tallgrass prairie. Ph. D. dissertation of University of Oklahoma.
- Bochari, U. G. & J. S. Singh. 1975. Standing state and cycling of nitrogen in soil-vegetation components of prairie ecosystems. *Annals of Botany*, **39**: 273 ~ 285.
- Clark, F. E. 1977. Internal cycling of ^{15}N in short prairie. *Ecology*, **58**: 1322 ~ 1333.
- Dahlman, R. C. & C. L. Kucera. 1965. Root productivity and turnover in native prairie. *Ecology*, **46**: 84 ~ 89.
- Hayes, D. C. 1985. Seasonal nitrogen translocation in big bluestem during drought conditions. *Journal of Range Management*, **38**: 406 ~ 410.
- Henzell, E. F. & P. J. Ross. 1973. The nitrogen cycles of pasture ecosystems. In: Butler, G. W. & R. W. Bailey eds. *Chemistry and biochemistry of herbage*. New York: Academic Press. 227 ~ 246.
- Li, J. D. (李建东) & J. X. Liu (刘建新). 1979. The grassland types and their ecological distribution patterns near Zhongmachang in Jilin province. *Jilin Agricultural Sciences (吉林农业科学)*, **3**: 79 ~ 80. (in Chinese)
- Li, Y. S. & R. E. Redmann. 1992. Nitrogen budget of *Agropyron dasystachyum* in Canadian mixed prairie. *The American Midland Naturalist*, **128**: 61 ~ 71.
- Redmann, R. E., Y. S. Li & C. Van Kessel. 1992. Nitrogen budget and ^{15}N translocation in a perennial wheatgrass. *Functional Ecology*, **6**: 221 ~ 225.
- Reuss, J. O. & G. S. Inniss. 1977. A grassland nitrogen flow simulation model. *Ecology*, **58**: 379 ~ 388.
- Risser, P. G. & W. J. Parton. 1982. Ecosystem analysis of the tallgrass prairie: nitrogen cycle. *Ecology*, **63**: 1342 ~ 1351.
- Robinson, J. B. 1963. Nitrification in a New Zealand grassland soil. *Plant and Soil*, **19**: 173 ~ 183.
- Wallace, A., E. M. Romney, G. E. Kleinkopf & S. M. Soufi. 1978. Uptake of mineral forms of nitrogen by desert plants. In: West, N. E. & J. J. Skujins eds. *Nitrogen in desert ecosystems*. Hutchinson & Ross: Dowden. 130 ~ 151.
- Woodmansee, R. G., J. L. Dodd, R. A. Bowman, F. E. Clark & C. E. Dickinson. 1978. Nitrogen budget of shortgrass prairie ecosystem. *Oecologia*, **34**: 363 ~ 376.
- Zhang, J. X. (张金霞) & G. M. Cao (曹广民). 1999. The nitrogen cycle in an alpine meadow ecosystem. *Acta Ecologica Sinica (生态学报)*, **19**: 509 ~ 513. (in Chinese with English abstract)
- Zhang, X. C. (张小川), W. Q. Cai (蔡蔚祺), Q. Xu (徐祺) & Y. Xiong (熊毅). 1990. Cycling of nitrogen, phosphorus, potassium, calcium and magnesium in grassland soil-vegetation systems. *Acta Pedologica Sinica (土壤学报)*, **26**: 140 ~ 150. (in Chinese with English abstract)