

高寒藏嵩草(*Kobresia tibetica*)草甸植物对土壤氮素利用的多元化特征

王文颖^{1,3}, 周华坤², 杨莉², 李锦萍¹, 汪新川⁴

(1. 青海师范大学 生命与地理科学学院, 中国 西宁 810008; 2. 中国科学院 西北高原生物研究所, 中国 西宁 810008; 3. 墨尔本大学 土地与环境学院, 澳大利亚 墨尔本 3050; 4. 青海省牧草良种繁殖场, 中国 青海 同德 813201)

摘要: 论文以藏嵩草草甸为研究对象, 利用¹⁵N 同位素标记技术, 野外原位定量研究高寒藏嵩草草甸7个主要植物种对土壤有机氮(甘氨酸)和无机氮(铵态氮、硝态氮)的吸收, 以证明不同植物对土壤氮素吸收的生态位分化特征。结果表明: ① 高寒藏嵩草草甸7种植物 $\delta^{15}\text{N}$ 天然丰度值为0.840‰~5.015‰, 变异范围为4.175‰, 地上组织氮浓度为14.38~23.31 g·kg⁻¹; ② 从7种植物吸收土壤甘氨酸、铵态氮和硝态氮的比例看, 草地早熟禾偏好吸收土壤有机态氮, 其体内氮的36%来源于土壤甘氨酸。冷地早熟禾和雅毛茛吸收土壤无机氮的能力最强, 其体内氮的41%~43%来源于铵态氮。塔草偏好吸收土壤硝态氮, 其体内氮的35%来自于硝态氮。③ 优势植物藏嵩草、华扁穗草和黑褐苔草对¹⁵N-Gly、¹⁵N-NO₃和¹⁵N-NH₄⁺的吸收均较低, 仅为0.085~0.475 μmol ¹⁵N·g⁻¹ DW, 表明这3种莎草科植物不能有效吸收土壤中的甘氨酸和无机氮源。④ 高寒沼泽湿地生态系统中, 不同植物种对土壤氮素的吸收存在差异和多元化的特点, 其中莎草科植物对土壤氮的利用较低, 而早熟禾、塔草禾本科牧草及双子叶植物雅毛茛以土壤无机氮和可溶性有机氮作为氮源。

关键词: 藏嵩草草甸生态系统; 土壤氮素; ¹⁵N示踪技术

中图分类号: Q948 文献标志码: A 文章编号: 1000-3037(2014)02-0249-07

DOI: 10.11849/zrzyxb.2014.02.006

湿地作为一种特殊的生态系统, 是由水陆相互作用而形成的自然综合体。青藏高原是我国重要的湿地分布区之一, 湿地面积为13.3×10⁴ km², 且多为高寒沼泽、高寒沼泽化草甸和高寒湖泊, 具有生态蓄水、水源补给、气候调节等重要的生态功能, 对维持自然界生态平衡过程起着十分重要的作用, 在全球生物地球化学循环中的作用越来越受到人们的关注^[1-2]。

自从李比希(Liebig)1840年创立矿质营养学说以来, 人们一直认为植物只能吸收无机态氮而不能吸收有机态氮, 土壤中的有机态氮必须经土壤微生物矿化为无机态氮后植物才能吸收。因此对土壤氮矿化和植物对无机态氮的吸收等方面作了大量研究工作。然而, 人们通过多年的研究, 观察到在高寒草地、苔原及北方森林生态系统, 植物每年摄

收稿日期: 2012-10-17; 修订日期: 2013-03-20。

基金项目: 国家自然科学基金项目(31260127, 31172247); 国家重点基础研究发展计划课题(2009CB421102); 青海省科技厅国际合作项目(2010-H-809); 教育部春晖计划(Z2009-1-81010); 教育部科学技术重点项目(209133)。

第一作者简介: 王文颖(1973-), 女, 青海湟源人, 教授, 博士, 主要从事草地生态学研究。E-mail: wang-wy0106@aliyun.com

取的氮量远高于土壤氮净矿化量^[3-6]。表明在这些地区除土壤无机氮外还有其他氮源在植物的氮素营养中占有重要地位。

土壤氮素的矿化和固定、植物对氮素的吸收及内部循环是草地生态系统中氮素循环的主要途径。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,但由于气温太低,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)土壤氮素矿化量占土壤库全氮的1.59%(包括近期可矿化氮)^[7]。土壤中的含氮有机物主要为蛋白质、多肽、核酸、肽聚糖、几丁质和水溶性的氨基酸、氨基糖和尿素等。这些物质大多属于不溶性有机氮,不溶性有机氮和土壤溶液中分子量大的可溶性有机氮(dissolved organic nitrogen, DON)均不能被植物直接吸收利用,植物根系仅能利用分子量较小的可溶性有机氮如尿素、氨基酸、多胺等,氨基酸是该组分的主要组成成分^[8]。高山草甸土土壤孔隙水中氨基酸浓度为13~158 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$,甘氨酸(中性)为主要成分,亚高山沼泽地土壤孔隙水中氨基酸浓度为15~20 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$,天冬氨酸为主要成分,这些土壤中的高浓度氨基酸主要来自土壤蛋白酶对土壤蛋白质的水解作用^[9]。

稳定同位素技术因具有示踪、整合和指示等多项功能,以稳定同位素作为示踪剂研究生态系统中生物要素的循环及其与环境的关系,已成为了解生态系统功能动态变化的重要研究手段之一^[10-14]。本论文以高寒藏嵩草草甸为研究对象,利用¹⁵N同位素标记技术,原位定量研究高寒藏嵩草草甸中主要牧草在氮素资源吸收过程中产生的生态位分化特征,加深对高寒草甸生态系统氮循环的理解,为高寒草甸生态系统可持续发展提供科学依据。

1 研究地区自然地理概况

本实验设置于中国科学院高寒草甸生态系统开放实验站乱海子,北纬37°29'~37°45',东经101°12'~101°23'之间,平均海拔为3 200 m,年平均气温为-1.7 °C,最高气温为23.7 °C,最低气温为-37.1 °C;年降水量为426~860 mm,其中80%的降水集中在植物生长季^[15]。

藏嵩草草甸以多年生莎草科植物为优势种,群落外貌整齐、均匀,植被总盖度为90%,植物群落高度为10~25 cm。建群种为藏嵩草(*Kobresia tibetica*),次优势种和伴生种有华扁穗草(*Blysmus sinocompressus*)、黑褐苔草(*Carex atrofusca*)、早熟禾(*Poa* spp.)、落草(*Koeleria cristata*)等,土壤类型为有机寒冻潜育土。藏嵩草草甸土壤中总氮浓度为14.45 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,铵态氮浓度为31~39 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,硝态氮浓度为69~114 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,土壤无机氮占总氮的0.7%~1.1%。

2 材料和方法

2.1 样地设置

在藏嵩草草甸植被生长均匀地段设置了6个96 cm×96 cm ¹⁵N处理小区,包括3种¹⁵N标记的化合物,每种化合物2次重复。¹⁵N标记化合物分别为¹⁵NH₄Cl、K¹⁵NO₃、¹⁵N标记的甘氨酸(Glycine)。6个小区间距至少2 m,每个小区分别注射¹⁵N标记的¹⁵NH₄Cl、K¹⁵NO₃或甘氨酸(¹⁵N浓度均为11 mmol·L⁻¹,98%丰度),注射点用6 cm×6 cm的网格

固定, 每个小区共计 289 个注射点, 每个网格交叉点用直径约 2 mm 的铁丝插入土壤 5 cm 深度处, 然后用注射器注射 2 mL 标记溶液。这样每个小区折合输入氮素 $103.455 \text{ mg } ^{15}\text{N} \cdot \text{m}^{-2}$ 。

2.2 取样及分析

^{15}N 注射 48 h 后, 每个注射小区中四周留出各 3 cm 的缓冲地带, 从小区中心 $90 \text{ cm} \times 90 \text{ cm}$ 的区域取藏嵩草、华扁穗草、黑褐苔草、冷地早熟禾(*Poa crymophila*)、草地早熟禾(*Poa pretensis*)、落草、雅毛茛 (*Ranunculus pulchellus*) 的地上部分茎叶, 一个小区内同种植物样合并成 1 个植物样品, 这样每个处理、每种植物包括 2 个重复样品。

另外, 在注射前一天随机在各小区取 7 种植物的地上部分茎叶 15~20 株作为对照植株, 每种 2 个重复样品, 分析背景氮含量和天然 $\delta^{15}\text{N}$ 丰度。以上所有植物样品 80°C 烘干, 研磨, 用元素分析仪(Flash EA 1112HT)-同位素质谱仪(Finnigan MAT Delta V advantage)分析对照和标记植物地上组织原子 R 值(样品中 ^{15}N 与 ^{14}N 同位素比率)和氮含量($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$) (中国林业科学研究院林业研究所稳定同位素比率质谱实验室完成)。

2.3 计算与统计分析

利用稳定氮同位素示踪法测定植物种对不同氮化合物的吸收值。

$$^{15}\text{N} \text{ 吸收值} = [T(A_s - A_b)] / A_f \quad (1)$$

其中: T 为样品氮浓度($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$), A_s 为标记样品 ^{15}N 原子百分超, A_b 为背景(未标记样品) ^{15}N 原子百分超, A_f 为示踪剂原子百分超。

用一元方差分析(one-way ANOVA, LSD)和 t 检验比较不同处理间各参数差异显著性; 统计分析均在 Excel 2003 和 SPSS 13.0 统计软件上完成。

3 结果与分析

3.1 高寒藏嵩草草甸主要植物地上组织氮浓度及 $\delta^{15}\text{N}$ 自然丰度值

植物生长旺盛期(7月中旬)7种植物地上部分氮浓度和 $\delta^{15}\text{N}$ 自然丰度值见表1。结果表明: 藏嵩草草甸7种植物地上部分氮浓度相差 $8.93 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。莎草科植物地上组织氮浓度相对较高, 如藏嵩草、华扁穗草和黑褐苔草氮浓度分别为 23.31 、 20.82 、 $19.27 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 而禾本科植物地上组织氮浓度相对较低, 冷地早熟禾、草地早熟禾和落草地上组织氮浓度分别为 15.64 、 14.85 、 $14.38 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 雅毛茛地上组织氮浓度为 $17.46 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

藏嵩草草甸主要植物茎叶 $\delta^{15}\text{N}$ 值的范围在 $0.840\text{‰} \sim 5.015\text{‰}$, 变异范围在 4.175‰ (表1)。从不同功能群看: 莎草科植物 $\delta^{15}\text{N}$ 值平均为 1.722‰ , 禾本科植物 $\delta^{15}\text{N}$ 值平均为 3.167‰ , 双子叶植物 $\delta^{15}\text{N}$ 值为 1.983‰ 。从物种水平看: 藏嵩草 $\delta^{15}\text{N}$ 值最低, 冷地早熟禾 $\delta^{15}\text{N}$ 值最高, 其他植物居中。因此高寒藏

表1 藏嵩草草甸主要植物地上组织氮浓度与 $\delta^{15}\text{N}$ 自然丰度值
Table 1 The aboveground tissue nitrogen concentration and $\delta^{15}\text{N}$ value of dominant species on alpine *Kobresia tibetica* meadow

植物种	地上组织氮浓度/ $(\text{g} \cdot \text{kg}^{-1})$	$\delta^{15}\text{N}$ 自然丰度值/ ‰
藏嵩草	23.31 ± 0.49^a	0.840 ± 0.141^c
华扁穗草	20.82 ± 0.55^a	2.019 ± 0.329^b
黑褐苔草	19.27 ± 0.83^a	2.308 ± 0.101^b
冷地早熟禾	15.64 ± 0.91^a	5.015 ± 0.270^a
草地早熟禾	14.85 ± 1.03^a	2.308 ± 0.396^b
落草	14.38 ± 0.37^a	2.179 ± 0.078^b
雅毛茛	17.46 ± 1.42^a	1.983 ± 0.285^b

注: 相同字母表示数据在 $P=0.05$ 水平下差异不显著。

嵩草草甸主要植物茎叶 $\delta^{15}\text{N}$ 值以0~5‰为特征值。而热带雨林生态系统植物叶片的 $\delta^{15}\text{N}$ 值以正值为特征,达到10‰~15‰,氮为土壤限制因子的生态系统中植物 $\delta^{15}\text{N}$ 值以负值为特征。豆科固氮植物 $\delta^{15}\text{N}$ 值趋近于0,这是由于豆科植物通过根瘤菌可以直接固定大气中的 N_2 ,而氮气的 $\delta^{15}\text{N}$ 值为0,且生物固氮过程中同位素分馏效应很小而导致的^[16]。

3.2 藏嵩草草甸植物吸收不同形态氮化合物的能力

藏嵩草草甸7种植物对 ^{15}N 标记的甘氨酸、硝酸钾和氯化铵的吸收结果见表2。从氮的吸收总量看:冷地早熟禾总 ^{15}N 吸收量达到 $7.8915\ \mu\text{mol}\ ^{15}\text{N}\cdot\text{g}^{-1}\ \text{DW}$;其次为雅毛茛,总 ^{15}N 吸收量为 $5.5907\ \mu\text{mol}\ ^{15}\text{N}\cdot\text{g}^{-1}\ \text{DW}$;草地早熟禾和落草中总的 ^{15}N 吸收量分别为 3.2740 和 $2.7235\ \mu\text{mol}\ ^{15}\text{N}\cdot\text{g}^{-1}\ \text{DW}$;而莎草科的黑褐苔草、藏嵩草和华扁穗草对 ^{15}N 的吸收总量是最低的,分别仅为 1.0240 、 0.6170 和 $0.3370\ \mu\text{mol}\ ^{15}\text{N}\cdot\text{g}^{-1}\ \text{DW}$ 。

从氮化合物形态看:对甘氨酸的吸收值最高的是冷地早熟禾和雅毛茛,其吸收值达到 $1.9230\sim 2.0060\ \mu\text{mol}\ ^{15}\text{N}\cdot\text{g}^{-1}\ \text{DW}$;草地早熟禾和落草对甘氨酸的吸收值为 $0.8745\sim 1.2010\ \mu\text{mol}\ ^{15}\text{N}\cdot\text{g}^{-1}\ \text{DW}$;藏嵩草、华扁穗草和黑褐苔草对甘氨酸的吸收值为 $0.1150\sim 0.4750\ \mu\text{mol}\ ^{15}\text{N}\cdot\text{g}^{-1}\ \text{DW}$ 。对于硝态氮吸收值最高的是冷地早熟禾($2.6230\ \mu\text{mol}\ ^{15}\text{N}\cdot\text{g}^{-1}\ \text{DW}$),雅毛茛、草地早熟禾和落草次之,吸收值在 $0.9640\sim 1.2512\ \mu\text{mol}\ ^{15}\text{N}\cdot\text{g}^{-1}\ \text{DW}$ 之间;藏嵩草、华扁穗草和黑褐苔草对硝态氮的吸收值最低,为 $0.1340\sim 0.2365\ \mu\text{mol}\ ^{15}\text{N}\cdot\text{g}^{-1}\ \text{DW}$ 。植物对铵态氮吸收值:冷地早熟禾($3.2625\ \mu\text{mol}\ ^{15}\text{N}\cdot\text{g}^{-1}\ \text{DW}$)>雅毛茛($2.4165\ \mu\text{mol}\ ^{15}\text{N}\cdot\text{g}^{-1}\ \text{DW}$)>草地早熟禾和落草($0.8885\sim 1.0625\ \mu\text{mol}\ ^{15}\text{N}\cdot\text{g}^{-1}\ \text{DW}$)>三种莎草($0.0850\sim 0.3170\ \mu\text{mol}\ ^{15}\text{N}\cdot\text{g}^{-1}\ \text{DW}$)。

从不同植物种对氮的吸收可以看出:冷地早熟禾对 $^{15}\text{N}\text{-NH}_4^+$ 的吸收值最高,对 $^{15}\text{N}\text{-NO}_3^-$ 的吸收值次之,对 $^{15}\text{N}\text{-Gly}$ 的吸收值最低,三者差异显著($P<0.05$)。双子叶植物雅毛茛对 $^{15}\text{N}\text{-NH}_4^+$ 的吸收值显著高于对 $^{15}\text{N}\text{-Gly}$ 和 $^{15}\text{N}\text{-NO}_3^-$ 的吸收值,后两者差异不显著。落草和草地早熟禾对三种不同氮化合物吸收值差异不显著。藏嵩草、华扁穗草和黑褐苔草对 $^{15}\text{N}\text{-Gly}$ 、 $^{15}\text{N}\text{-NO}_3^-$ 和 $^{15}\text{N}\text{-NH}_4^+$ 三种氮形态的吸收值均很低,且对不同形态氮素的吸收差异不显著。

表2 藏嵩草草甸不同植物对不同形态氮标记化合物的平均吸收值(标准误)

Table 2 The mean uptake value of different plant species to labeled nitrogen compounds in *Kobresia tibetica* alpine meadow (SD)

	甘氨酸/ $(\mu\text{mol}\ ^{15}\text{N}\cdot\text{g}^{-1}\ \text{DW})$	硝酸钾/ $(\mu\text{mol}\ ^{15}\text{N}\cdot\text{g}^{-1}\ \text{DW})$	氯化铵/ $(\mu\text{mol}\ ^{15}\text{N}\cdot\text{g}^{-1}\ \text{DW})$
冷地早熟禾	$2.0060\pm 0.0000^{\text{a}}$	$2.6230\pm 0.1490^{\text{a}}$	$3.2625\pm 0.4545^{\text{a}}$
雅毛茛	$1.9230\pm 0.0000^{\text{a}}$	$1.2512\pm 0.0281^{\text{b}}$	$2.4165\pm 0.0785^{\text{b}}$
草地早熟禾	$1.2010\pm 0.1280^{\text{b}}$	$1.0105\pm 0.2205^{\text{b}}$	$1.0625\pm 0.4685^{\text{c}}$
落草	$0.8745\pm 0.0405^{\text{bc}}$	$0.9640\pm 0.0030^{\text{b}}$	$0.8850\pm 0.0000^{\text{c}}$
藏嵩草	$0.1150\pm 0.0200^{\text{d}}$	$0.1850\pm 0.0290^{\text{c}}$	$0.3170\pm 0.0930^{\text{d}}$
华扁穗草	$0.1180\pm 0.0180^{\text{d}}$	$0.1340\pm 0.0330^{\text{c}}$	$0.0850\pm 0.0020^{\text{d}}$
黑褐苔草	$0.4750\pm 0.0400^{\text{cd}}$	$0.2365\pm 0.0115^{\text{c}}$	$0.3125\pm 0.0885^{\text{d}}$

注:同一列数据中相同字母表示在 $P=0.05$ 水平下差异不显著;同一行数据中相同字母表示在 $P=0.05$ 水平下差异不显著。

总之,藏嵩草草甸中莎草科植物藏嵩草、华扁穗草和黑褐苔草对施加的三类 ^{15}N 化合物吸收值均较低,表明三种莎草科植物对土壤氮的依赖性较低,适宜于低氮环境。冷地

早熟禾、雅毛茛、草地早熟禾和溲草不仅可以利用土壤无机氮, 还可以有效利用土壤有机氮, 且冷地早熟禾和雅毛茛对铵态氮有明显的吸收偏好。这些结果证实生长在同一群落中的不同植物种对氮素的吸收能力存在差异和多元化的特点, 且部分植物种可以有效吸收土壤可溶性有机态氮源。

4 讨论

Chapin 等的研究第一次证明非菌根维管植物嗜好吸收和利用有机氮^[17]。随着研究手段的改进和研究内容的不断深入, 越来越多的研究证据表明: 植物根系不仅可以吸收土壤铵态氮、硝态氮等无机态氮, 还可以有效吸收利用土壤中分子量较小的可溶性有机氮如尿素、氨基酸、多胺等, 其中氨基酸是土壤可溶性有机氮的主要组成成分, 有机氮在植物所吸收的总氮中占有相当的比例^[18-19]。植物吸收的有机氮占该植物吸收总氮量的 10% ~ 100%, 这主要源于不同的植物和群落^[17,20-22]。Chapin 等根据吸收动力学参数和土壤氨基酸浓度估计, 氨基酸对极地苔原莎草科植物白毛羊胡子草(*Eriophorum vaginatum*) 氮营养的贡献率大于 60%^[17]。Raab 等从 5 个生态系统中收集不带菌根的 13 种莎草, 其中 3 种为高山莎草, 4 种为亚高山莎草, 2 种为矮草草原莎草, 1 种为温带沼泽莎草, 3 种为干燥热带森林莎草, 进行有机氮(甘氨酸)和无机氮(NO_3^- 、 NH_4^+)的吸收研究, 发现除一种干燥热带森林莎草不能吸收甘氨酸外, 其余的均能吸收甘氨酸, 而且发现有一种高山莎草不能吸收 NH_4^+ , 对 NO_3^- 虽能吸收, 但吸收速率低于氨基酸; 与温带、热带莎草相反, 高山、亚高山莎草吸收甘氨酸的速率比吸收 NH_4^+ 及 NO_3^- 的大^[9]。Lipson 等根据土壤氨基酸通量和植物-微生物竞争模型估计, 氨基酸对高山莎草科植物二蕊嵩草(*Kobresia myosuroides*) 氮营养的贡献率不低于 50%^[21]。Wang 等的研究表明高寒矮嵩草甸莎草科植物矮嵩草可以有效吸收土壤甘氨酸, 吸收的土壤氮中 37% 来自于土壤有机氮源^[15]。从本研究中可以看出, 藏嵩草草甸中藏嵩草、华扁穗草和黑褐苔草不能有效吸收利用土壤甘氨酸, 但雅毛茛、草地早熟禾、冷地早熟禾和溲草可以利用土壤中的有机氮源, 甘氨酸占吸收总氮比例的 25% ~ 36% (图 1)。因此, 在高寒沼泽湿地生态系统中, 生长在同一群落中的不同植物种对氮素的吸收能力存在差异和多元化的特点, 且部分植物种可以有效吸收土壤可溶性有机态氮源。这样群落中共同生活的物种占据分化的生态位, 不仅减小了种间竞争, 同时提高了系统对土壤有限资源如氮和磷利用的效率。借此可以进一步解释在速效氮为限制因子的高寒生境中植物是如何高效利用限制性氮资源的。

由于人类活动引起的全球大气温室气体增加, 将导致全球平均气温在未来 50 ~ 100 a 内升高 1.5 ~ 4.5 °C。由于生态系统许多生物学和化学过程随气候条件变化而变化, 因此, 全球气候变暖无疑将会改变这些生态系统的

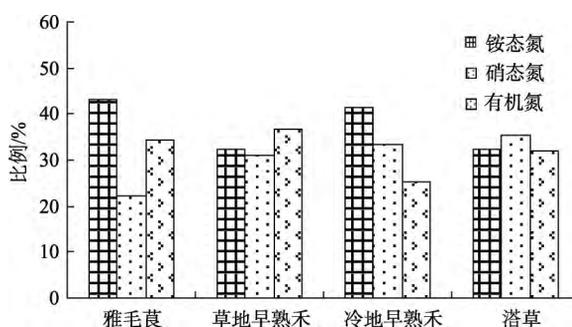


图 1 高寒藏嵩草草甸植物吸收土壤硝态氮、铵态氮和有机氮的比例

Fig. 1 The absorption percentage of nitrate nitrogen, ammonium nitrogen, and organic nitrogen by plants in *Kobresia tibetica* alpine meadow

功能过程。土壤养分有效性,特别是氮素的有效性,常常限制着陆地生态系统植物群落生产力,改变植物群落的组成。而且已有众多研究结果证明土壤氮素间的形态转化对温度变化十分敏感^[23-24]。温度升高导致土壤中无机态氮数量增加,将有利于对无机氮需求量高的植物生长。可以预测,在未来气候变暖变干情况下,可能有利于冷地早熟禾、雅毛茛和溶草的生长繁殖,藏嵩草沼泽化草甸向禾草群落演替。

参考文献:

- [1] 白军红, 欧阳华, 徐惠风, 等. 青藏高原湿地研究进展[J]. 地理科学进展, 2004, 23(4): 1-9.
- [2] 周念清, 王燕, 钱家忠, 等. 湿地氮循环及其对环境变化影响研究进展[J]. 同济大学学报: 自然科学版, 2010, 38(6): 865-869.
- [3] Nadelhoffer K J, Giblin A E, Shaver G R, *et al.* Effects of temperature and substrate quality on element mineralization in six arctic soils [J]. *Ecology*, 1991, 72(1): 242-253.
- [4] Fisk M C, Schmidt S K. Nitrogen mineralization and microbial biomass nitrogen dynamics in three alpine tundra communities [J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1995, 59: 1036-1043.
- [5] Kaye J P, Hart S C. Competition for nitrogen between plants and soil microorganisms [J]. *Trends Ecology and Evolution*, 1997, 12: 139-143.
- [6] 曹广民, 吴琴, 李东, 等. 土壤-牧草氮素供需状况变化对高寒草甸植被演替与草地退化的影响[J]. 生态学杂志, 2004, 23(6): 25-28.
- [7] 张金霞, 曹广民. 高寒草甸生态系统氮素循环[J]. 生态学报, 1999, 19(4): 509-512.
- [8] Jones D L, Healey J R, Willett V B, *et al.* Dissolved organic nitrogen up take by plants—An important N uptake pathway[J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2005, 37: 413-423.
- [9] Raab T K, Lipson D A, Monson R K. Soil amino acid utilization among species of the cyperaceae: Plant and soil processes [J]. *Ecology*, 1999, 80: 2408-2419.
- [10] Rundel P W, Ehleringer J R, Nagy K A. *Stable Isotopes in Ecological Research* [M]. Ecological Studies 68. New York: Springer-Verlag, 1989.
- [11] Dawson T E, Mambelli S, Plamboeck A H, *et al.* Stable isotope in plant ecology [J]. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 2002, 33: 507-559.
- [12] Maguas C, Griffiths H. Applications of stable isotopes in plant ecology [J]. *Progress in Botany*, 2003, 64: 472-505.
- [13] Fry B. *Stable Isotope Ecology* [M]. New York: Springer, 2007.
- [14] 林光辉. 稳定同位素生态学: 先进技术推动的生态学新分支[J]. 植物生态学报, 2010, 34(2): 119-122.
- [15] Wang W Y, Ma Y G, Xu J, *et al.* The diversity of uptake of plant species to soil nitrogen nutrient on *Kobresia humilis* alpine meadow [J]. *Science in China Series D Earth Sciences*, 2012, 55(10): 1688-1695.
- [16] Makarov M I. The nitrogen isotopic composition in soils and plants: Its use in environmental studies (a review) [J]. *Eurasian Soil Science*, 2009, 42(12): 1335-1347.
- [17] Chapin F S III, Moilanen L, Kielland K. Preferential usage of organic nitrogen for growth by a non-mycorrhizal sedge [J]. *Nature*, 1993, 361: 150-152.
- [18] Lipson D A, Nasholm T. The unexpected versatility of plants: Organic nitrogen use and availability in terrestrial ecosystems [J]. *Oecologia*, 2001, 128: 305-316.
- [19] Nasholm T, Kielland K, Ganeteg U. Uptake of organic nitrogen by plants [J]. *New Phytologist*, 2009, 182: 31-48.
- [20] Kielland K. Amino acid absorption by arctic plants: Implications for plant nutrient and nitrogen cycling [J]. *Ecology*, 1994, 75: 2373-2383.
- [21] Lipson D A, Raab T K, Schmidt S K. An empirical model of amino acid transformations in an alpine soil [J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2001, 33: 189-198.
- [22] 徐兴良, 白洁冰, 欧阳华. 植物吸收土壤有机氮的研究进展[J]. 自然资源学报, 2011, 26(4): 715-724.
- [23] 王其兵, 李凌浩, 白永飞, 等. 气候变化对草甸草原土壤氮素矿化作用影响的实验研究[J]. 植物生态学报, 2000, 24(6): 687-692.

- [24] Hart S C, Perry D A. Transferring soils from high to low elevation forests increase nitrogen cycling rates: Climate change implication [J]. *Global Change Biology*, 1999, 5:23-32.

The Uptake Strategy of Soil Nitrogen Nutrients by Different Plant Species in Alpine *Kobresia tibetica* Meadow on the Qinghai-Tibet Plateau

WANG Wen-ying^{1,3}, ZHOU Hua-kun², YANG Li², LI Jin-ping¹, WANG Xin-chuan⁴

(1. School of Life and Geography Sciences, Qinghai Normal University, Xining 810008, China; 2. Northwest Institute of Plateau Biology, CAS, Xining 810008, China; 3. Land and Environment School, The University of Melbourne, Melbourne 3050, Australia; 4. Qinghai Forage and Seed Breeding Factory, Tongde 813201, China)

Abstract: Using ¹⁵N tracer technique, we quantify the uptake of soil organic N (glycine) and inorganic N (ammonium N, nitrate N) by different plant species in the *Kobresia tibetica* alpine meadow *in situ*. and examine the extent of niche separation in N source uptake by different plant species in alpine communities. Six treatment sampling plots were randomly set in alpine. We had three types of ¹⁵N labeled chemicals including ¹⁵NH₄Cl, K¹⁵NO₃ and ¹⁵N labeled glycine (abundance of 98%). The ¹⁵N concentration of all the chemicals was the same at 11 mmol · L⁻¹. The six sampling plots all contained two reduplications and each replication was set as 96 cm × 96 cm and at 2 m intervals. The results show: 1) δ¹⁵N natural abundance values of seven plant species lie between 0.840‰ and 5.015‰, and the scope is 4.175‰. The N concentrations of seven plant species lie between 14.38 – 23.31 g · kg⁻¹. 2) As far as the plant uptake of organic N (glycine) is concerned, *Poa pretensi* can effectively uptake organic nitrogen, and about 36% of the nitrogen of these species comes from soil organic nitrogen sources. *Poa crymophila* and *Ranunculus pulchellus* can effectively uptake ammonium, and 41%–43% of its nitrogen comes from soil ammonium. *Koeleria cristata* can effectively absorb nitrate in comparison to other plant species in the meadow, and about 35% of the nitrogen in this plant comes from soil nitrate. 3) The dominant sedge plant species *Kobresia tibetica*, *Blysmus sinocompressus* and *Carex atrofusca* uptake low amounts of ¹⁵N labeled ammonium, nitrate and glycine in soil. The uptake scope is just at 0.085–0.4750 μmol ¹⁵N · g⁻¹ DW. This suggested that the sedges cannot use effectively soil organic nitrogen sources at experimental period. 4) These data show the plant species have diverse ways to uptake soil nitrogen in alpine swamp meadows. Two grasses such *Poa* spp. and dicotyledons such as *Ranunculus pulchellus* may effectively utilize soil N sources including dissolved organic nitrogen such as amino acids.

Key words: *Kobresia tibetica* meadow ecosystem; soil nitrogen; ¹⁵N tracer technique