

祁连山东段青海云杉林土壤有效氮研究

赵维俊^{1,2}, 刘贤德^{1,2}, 车宗玺^{1,2}, 敬文茂^{1,2}, 张学龙^{1,2}, 马钰^{1,2}

(1. 甘肃省森林生态与冻土水文水资源重点实验室, 甘肃 张掖 734000; 2. 甘肃省祁连山水源涵养林研究院, 甘肃 张掖 734000)

摘要: 通过野外取样和实验室分析, 对祁连山东段青海云杉林的土壤有效氮状况进行了研究。结果表明: (1) 青海云杉林 0—40 cm 土层土壤总有效氮(铵态氮+硝态氮)的变化范围为 17.26~20.76 mg/kg, 铵态氮是土壤有效氮的主要存在形态, 其含量占到总有效氮的 66.72% 以上; (2) 土壤铵态氮含量随土层深度的增加而较少, 硝态氮则无明显的变化规律, 而且土壤硝态氮较土壤铵态氮对土壤微环境敏感; (3) 土壤铵态氮与有机质相关关系显著($p < 0.05$), 土壤硝态氮与有机质无显著相关性。研究区铵态氮为土壤有效氮的主要赋存形式, 它在很大程度上取决于该区土壤 pH 中性值, 较低温度和较高的水分含量。

关键词: 祁连山; 青海云杉林; 有效氮; 铵态氮; 硝态氮

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2011)04-0099-04

中图分类号: S714.9

Soil Available Nitrogen of *Picea Crassifolia* Forest in Eastern Qilian Mountains

ZHAO Wei-jun^{1,2}, LIU Xian-de^{1,2}, CHE Zong-xi^{1,2}, JING Wen-mao^{1,2}, ZHANG Xue-long^{1,2}, MA Yu^{1,2}

(1. Key Laboratory of Forest Ecology and Frozen Soil Hydrology Water Resources of Gansu Province, Zhangye Gansu 734000, China; 2. Academy of Water Resources

Conservation Forests in Qilian Mountains of Gansu Province, Zhangye, Gansu 734000, China)

Abstract: Soil available nitrogen of *Picea crassifolia* forest in the eastern Qilian Mountains was studied through field sampling and laboratory analysis. The results showed that: (1) soil total available nitrogen ($\text{NH}_4^+ - \text{N}$ and $\text{NO}_3^- - \text{N}$) in 0—40 cm of *Picea crassifolia* forest was 17.26~20.76 mg/kg, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ was the major existing forms of soil available nitrogen with content exceeding 66.72%; (2) Soil $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ decreased with the increasing soil depth, and no significant change of $\text{NO}_3^- - \text{N}$ occurred, but $\text{NO}_3^- - \text{N}$ was more sensitive to soil microenvironment factor compared with $\text{NH}_4^+ - \text{N}$; (3) The correlation between soil $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ and organic matter was significant ($p < 0.05$), while the relation between soil $\text{NO}_3^- - \text{N}$ and organic matter was not significant. $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ as the main forms of soil available nitrogen largely depended on the soil neutral pH, low temperature and high moisture content in the research area.

Keywords: Qilian Mountains; *Picea crassifolia*; available nitrogen; $\text{NH}_4^+ - \text{N}$; $\text{NO}_3^- - \text{N}$

土壤中的氮被认为是最易耗竭和限制植物生长的营养元素之一^[1], 多年来, 受到土壤学、植物营养学和生态学研究领域的众多学者的关注^[1,2]。在森林生态系统中, 森林土壤的氮素总量占到森林生态系统氮储量的 90% 以上^[3], 然而森林土壤氮转化所提供的占土壤全氮 1%~5% 左右的有效氮才是植物吸收和造成环境污染的最主要的形式^[1,4]。在干旱、半干旱地区, 氮被认为仅次于水分影响森林生态系统生产力和稳定性的关键因子^[5], 甚至证实土壤中氮和水具有同等重要的作用^[6]。青海云杉是我国特有树种, 集中分布在甘、青两省交界的祁连山^[7], 面积为 169 564 hm^2 , 蓄积量 18 107 932 m^3 , 研究其土壤有效氮有助

于正确解释和调控祁连山青海云杉森林生态系统中氮循环和与其相关的一系列问题如森林土壤养分利用效率、森林生产力、环境污染等有着重要意义。目前关于青海云杉土壤氮素的研究鲜有报道, 因此, 研究祁连山青海云杉林土壤有效氮状况, 旨在为开展青海云杉林土壤氮素循环研究奠定基础, 为提高祁连山青海云杉林生态系统土壤肥力、生产力以及指导青海云杉生态系统可持续经营和管理提供理论参考。

1 研究区概况

研究区位于祁连山东段的甘肃省武威市天祝藏族自治县西北部, 介于 $102^\circ 01' - 102^\circ 51' \text{E}$, $37^\circ 16' -$

收稿日期: 2010-12-23

修回日期: 2011-01-19

资助项目: 林业公益性行业科研专项“西北高寒山地针叶林碳氮水耦合观测、模拟与应用技术”(201104009-08); 林业公益性行业科研专项(200904022-4)

作者简介: 赵维俊(1981—), 男(汉族), 甘肃省靖远县人, 硕士, 助理工程师, 主要从事森林生态研究。E-mail: zhaowei jun1019@126.com。

37°45'N 之间,属高寒半湿润气候。林区年平均气温 1.8 °C, 1 月份平均气温 -10.9 °C, 极端最高气温 28.5 °C, 极端最低气温 -27.8 °C, 平均温差 26.4 °C。年降水量约 400 mm, 雨量主要集中在 5—9 月, 占全年降水量的 76%, 年蒸发量 1 234.8 mm, 无霜期 110 d。青海云杉林主要分布在海拔 2 500~3 200 m 的阴坡、半阴坡, 林区土壤为山地灰褐土, 有轻微的水土流失, 林下苔藓、草本和灌丛植被分布较少, 草本层优势种主要有珠牙蓼 (*Polygonum viviparum*), 苔草 (*Carex tristachya*), 藓生马先蒿 (*Pedicularis muscicola*) 等。灌木层优势种主要有吉拉柳 (*Salix gilashaniea*), 金露梅 (*Potentilla fruticosa*), 高山绣线菊 (*Spiraea alpina*) 等。

2 研究方法

2.1 土样采集

于 2009 年 7 月 27 日至 2009 年 8 月 4 日选择典型青海云杉林典型样地 10 个, 在对样地林木调查后, 进行土壤取样, 在每个样地的外侧顺坡向选样点取土

壤剖面样品, 快速用土壤针式温度计测定土壤表层 0—10 cm, 中层 10—20 cm, 下层 20—40 cm 的土壤温度, 每个层次重复 2 次。然后取分层土样, 每个层次两个重复, 把环刀取的土样用自封袋密封, 用于土壤容重和含水量测定。

另外在土壤每个层次取混合土样, 挑拣出植物残体和大的石块, 按四分法取相当于 10 g 烘干土的新鲜土样 (过 2 mm 筛) 3 份带回实验室, 用于土壤化学性质分析 (表 1)。

2.2 土壤理化性质分析

土壤容重和质量含水量的测定采用环刀法^[8]。土壤有机质测定用重铬酸钾外加热法; pH 值采用电位法测定^[9]。土壤铵态氮和硝态氮采用 2 mol/L KCl 溶液浸提 (液 : 土 = 5 : 1), 振荡 30 min, 过滤后紫外分光光度法 (210 nm 比色) 测定浸提液中硝态氮含量, 靛酚蓝比色法测定浸提液中铵态氮含量^[10]。供试土壤基本性质测定结果见表 2。所有数据采用 Excel 和 SPSS 11.0 软件进行数据统计、分析和作图处理。

表 1 研究区样地基本情况

样地编号	取样地点	地理坐标			土壤类型	树高/m	胸径/cm
		经度(E)	纬度(N)	海拔/m			
Y ₁	护林阴山	102°33'38.9"	37°23'27.2"	2 694	森林灰褐土	18.42±0.73	22.35±0.74
Y ₂	庙儿沟水泉掌	102°35'46.9"	37°22'37.1"	2 832	森林灰褐土	14.71±0.60	18.19±0.91
Y ₃	庙儿沟水泉掌	102°36'11.1"	37°22'59.8"	2 731	森林灰褐土	15.28±0.32	19.42±0.62
Y ₄	草牙岭	102°32'24.9"	37°26'25.0"	2 761	森林灰褐土	17.09±0.45	20.09±0.75
Y ₅	大石头	102°30'41.4"	37°27'50.6"	3 016	森林灰褐土	6.32±0.65	11.12±0.81
Y ₆	庙儿沟苗圃	102°37'04.0"	37°22'33.9"	2 718	森林灰褐土	16.09±0.56	18.21±0.72
Y ₇	庙儿沟东岔	102°37'04.0"	37°22'33.9"	2 718	森林灰褐土	17.80±2.40	18.51±0.94
Y ₈	友爱十队	102°33'31.4"	37°24'46.3"	2 536	森林灰褐土	16.74±0.32	21.46±0.58
Y ₉	黄草岭神树沟顶	102°31'10.7"	37°29'47.6"	3 014	森林灰褐土	10.31±0.31	14.51±0.58
Y ₁₀	黄草岭大阴山峡	102°32'18.1"	37°29'39.4"	2 790	森林灰褐土	9.69±0.42	13.18±0.61

注: 树高、胸径值为平均值±标准误。下同。

表 2 供试土壤的基本性质

土壤层次/cm	容重/(g·cm ⁻³)	质量含水量/%	土壤有机质/%	pH 值
0—10	0.579±0.283	53.96±6.22	15.39±1.48	7.4±0.1
10—20	0.704±0.036	47.44±6.55	13.15±1.22	7.4±0.1
20—40	0.873±0.039	36.36±3.79	11.10±1.48	7.4±0.1

3 结果与分析

3.1 土壤有效氮及其组成特征

在森林生态系统中, 土壤有效氮主要以铵态氮和硝态氮形式存在, 铵态氮和硝态氮是土壤直接供给植物吸收的养分, 其含量显著影响着森林土壤生产力。祁连山东段青海云杉土壤分析结果显示 (表 3), 土壤

总有效氮的变化范围是 17.26~20.76 mg/kg, 其中铵态氮的变化范围为 10.45~14.62 mg/kg, 硝态氮的变化范围为 5.68~7.60 mg/kg, 铵态氮的含量占到总有效氮的 66.72% 以上, 表明土壤中铵态氮是土壤有效氮的主要存在形式, 这可能是青海云杉森林生态系统保持氮的一种机制, 这对保护青海云杉森林生态系统土壤肥力, 防止林地氮流失具有重要的意义。

表3 土壤层次有效氮情况

土层/cm	铵态氮/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	硝态氮/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	有效氮/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	铵态氮/ 硝态氮	铵态氮/ 有效氮(%)
0—10	14.63±2.13	6.13±1.86	20.76±2.82	7.38±2.72	73.62±7.23
10—20	11.52±0.77	5.68±1.59	17.26±1.92	5.06±2.01	71.65±5.58
20—40	10.45±0.81	7.60±2.32	18.05±2.51	5.12±1.80	66.72±7.44

3.2 土壤氮素在剖面中的变化

由图1可以看出,土壤铵态氮的含量高低顺序呈:上层>中层>下层,铵态氮的含量随着土层深度的增加而较少,这是因为土壤胶体带有负电荷从而对形成 NH_4^+ 形成正吸附,同时还有一部分被土壤微生物固持或被粘土矿物质所固定^[11]。土壤硝态氮的剖面变化可以看出,土壤铵态氮的含量呈:下层>上层>中层,硝态氮随土层深度的增加呈现出无规律的变化,原因是带负电荷土壤胶体对 NO_3^- 形成负吸附,有排斥作用,易遭淋失。对土壤硝态氮有关研究^[12]指出,土壤下渗水的氮素以硝态氮形式为主。

变异系数可反映有效氮空间分布的均匀程度^[13],而土壤理化性质是影响空间异质性的主要因素^[14]。土壤铵态氮的变异系数上层45.99%高于底层24.51%,而硝态氮的变异系数则相反,变异系数上层95.91%低于底层96.35%,研究区硝态氮虽含量小,但变异系数明显高于铵态氮的变异系数。铵态氮的变异系数的系数介于21.24%~45.99%,硝态氮的变异系数介于88.45%~96.35%,表明了供试土壤硝态氮较土壤铵态氮对土壤微环境敏感。

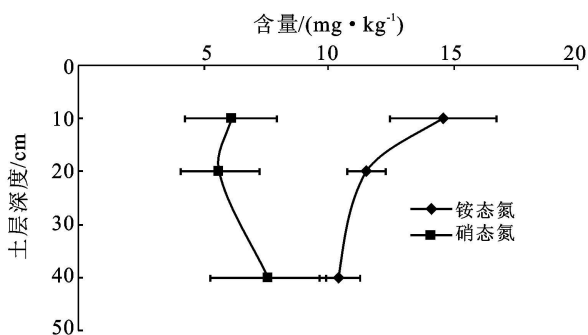


图1 研究区土壤剖面铵态氮、硝态氮含量变化

3.3 土壤氮素与环境因子的关系

3.3.1 土壤有机质与氮素的关系 森林土壤中各种养分往往来源于土壤中的有机质,土壤养分含量与土壤有机质有着密切的关系。研究区供试土壤有机质含量上层为15.39%±1.48%,中层为13.15%±1.22%,下层为11.1%±1.48%。土壤剖面有机质的变化随土层深度的增加而较少,说明研究区土壤因为植被覆盖较好,土壤表层有机质含量受到其他因素

的干扰较小。

供试土壤相关性统计分析显示,土壤有机质的含量与铵态氮的含量呈显著正相关($p < 0.05$),两者的Pearson相关系数为0.463,铵态氮的含量符合常规养分特征。总体上来看,土壤有机质含量与硝态氮的含量无显著的相关性。

3.3.2 土壤pH值与氮素的关系 pH值是影响土壤氮循环的重要因素,土壤氮矿化作用、硝化作用等均需要在适宜土壤酸碱环境中进行^[15-19]。研究区土壤剖面各土层pH值均为7.4±0.1,土壤呈中性。

同样,相关性统计分析表明,土壤pH值对土壤铵态氮和硝态氮含量直接影响不明显,上面分析该区铵态氮含量大于硝态氮含量,原因该区土壤pH值的中性环境使得土壤硝化细菌活性降低,土壤硝化作用能力减弱或者说土壤对硝化作用的抑制作用可能比硝化作用强,这与已有的研究结论相一致^[17]。另外,青海云杉根系在土壤中分布浅,为浅根系树种,理论上讲,供应铵态氮时,林木根系释放 H^+ 进入根际使根际pH值降低,供应硝态氮时,植物吸收的阴离子大于阳离子,植物释放 HCO_3^- 或者 OH^- 进入根际使根际pH值升高。因此,土壤中中性环境对铵态氮和硝态氮含量起到了一定的抑制作用。

3.3.3 土壤含水量与氮素的关系 湿度是影响土壤微生物种类、数量和活性的重要因子,土壤氮矿化随土壤水分含量的增加而增加,当土壤水分增加到一定程度,土壤氮矿化迅速下降^[18]。研究区供试土壤剖面土壤质量含水量上层为53.97%±6.63%,中层为47.44%±6.55%,下层为36.36%±3.79%,土壤含水量随土层深度的增加而减少,这可能与青海云杉林地土壤表层的有机质积累和青海云杉根系分布数量有关。

土壤含水量亦对土壤铵态氮和硝态氮含量的直接影响不明显。较高的水分含量,使土壤内部形成厌氧微区,土壤氮素矿化速度加快,但其环境不利于土壤硝化作用的进行^[18],土壤氮素矿化产物绝大多数以铵态氮的形式累积下来。这些表明,土壤水的可利用性是微生物过程和林木生长的主要限制因子。

3.3.4 土壤温度与氮素的关系 温度同样是影响土壤微生物种类、数量和活性的重要因子,对土壤氮矿化

产生较大影响,高温和干燥可能有利于氮矿化^[19]。该区土壤剖面温度上层为 $9.51\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 1.88\text{ }^{\circ}\text{C}$,中层为 $8.23\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 2.19\text{ }^{\circ}\text{C}$,下层为 $6.78\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 2.59\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。青海云杉林地郁闭度较大,平均达到 0.6 以上,林地地表在白天获得热量较少,同时,热量在向下传递的过程中,被占绝对优势苔藓活地被物和死地被物枝、叶、果等介质层层阻截,因而土壤温度随土层深度的增加不断减小。

由于研究区土壤温度同土壤湿度一样,土壤温度对土壤铵态氮和硝态氮含量直接影响不明显。氮矿化率对 $3\sim 9\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的温度敏感,但在 $9\sim 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 间随多个因子而增加^[20],可见研究区土壤温度较低,氮矿化数量和矿化速率减小,矿化量减小,同时硝化作用很弱,使得铵态氮能够在土壤中得到积累。

4 结论

(1) 青海云杉林地土壤总有效氮的变化范围为 $17.26\sim 20.76\text{ mg/kg}$,是土壤有效氮的主要存在形式,其含量占到总有效氮的 66.72% 以上。这与在大多数针叶林土壤中缺少硝化细菌,土壤中有有机氮矿化形成的铵态氮不能很快被转化为硝态氮,从而导致铵态氮在其土壤中积累结论相一致^[17],对青海云杉土壤肥力的保持具有重要意义。

(2) 从土壤剖面上看,土壤铵态氮随土层深度的增加而较少,土壤硝态氮则无明显的变化规律。变异系数分析比较,土壤硝态氮较铵态氮对土壤微环境敏感。

(3) 土壤氮素与环境因子的分析得出,土壤铵态氮与土壤有机质呈明显的正相关,人为的保护和管理青海云杉林生态系统,可以增加有机质的积累,从而显著提高土壤有效氮的含量。此外,研究区土壤铵态氮是有效氮的主要存在形式,归于土壤温湿度及 pH 值造就的土壤微环境。

(4) 土壤有效氮是森林生态系统氮素循环重要的组成部分,但其影响因素和作用机制非常复杂。本试验对研究区土壤有效氮的分析采样仅有一次,在时间尺度上缺乏足够的说服力,需要进一步的深入研究。

[参 考 文 献]

- [1] 陈伏生,曾德慧,何兴元. 森林土壤氮素的转化与循环 [J]. 生态学杂志, 2004, 23(5): 126-133.
- [2] 朱兆良. 土壤氮素的转化和移动的研究近况 [J]. 土壤学进展, 1979(2): 1-16.
- [3] Kaye J P, Binkley D, Rhoades C. Stable soil nitrogen accumulation and flexible organic matter stoichiometry during primary floodplain succession [J]. Biogeochemistry, 2003, 63: 1-22.
- [4] Binkley D, Hart S C. The components of nitrogen availability assessments in forest soils [J]. Adv. Soil., 1989, 10: 57-111.
- [5] Ettershank G J, Ettershank M B, Whitford W G. Effects of nitrogen fertilization on primary productivity in a Chihuahuan Desert ecosystem [J]. Journal of Arid Environments, 1978, 1: 135-139.
- [6] Schlesinger W H, Reynolds J F, Cunningham G L, et al. Biological feedbacks in global desertification [J]. Science, 1990, 247: 1043-1048.
- [7] 刘兴聪. 青海云杉 [M]. 甘肃: 兰州大学出版社, 1992.
- [8] 张万儒, 许本彤. 森林土壤分析方法 [M]. 北京: 中国标准出版社, 1999.
- [9] 中国土壤学会. 土壤农业化学分析方法 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1999.
- [10] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1999.
- [11] 黄昌勇. 土壤学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [12] 孙昭荣, 刘秀奇, 杨守春. 北京降雨和土壤下渗水中的氮素研究 [J]. 土壤肥料, 1993(2): 8-10.
- [13] 莫江明, 彭少麟, 方运霆, 等. 鼎湖山马尾松阔叶混交林土壤有效氮动态的初步研究 [J]. 生态学报, 2001, 21(3): 492-497.
- [14] Plymale A E, Boemer R J, Logan T J. Relative nitrogen mineralization and nitrification in soils of two contrasting hardwood forests: Effects of site microclimate and initial soils chemistry [J]. Forests Ecology Manage, 1987, 21(1): 21-36.
- [15] 向升华. 不同林分类型土壤有效氮研究 [D]. 福建福州: 福建师范大学, 2008.
- [16] Lavelle P, Spain A V. Soil Ecology [M]. Amsterdam: Kluwer Academic Publishers, 2002.
- [17] 胡璐, 李心清, 黄代宽, 等. 中国北方蒙古干旱半干旱区土壤铵态氮的分布及其环境控制因素 [J]. 地球化学, 2008, 73(6): 572-580.
- [18] Bernhard R F. Soil nitrogen mineralization under a Eucalyptus plantation and a natural Acacia forest in Senegal [J]. Forest Ecology and Management, 1988, 23: 233-244.
- [19] Wilson D J, Jefferies R L. Nitrogen mineralization, plant growth and goose herbivory in an arctic coastal ecosystem [J]. Journal of Ecology, 1996, 84(6): 841-851.
- [20] 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.