

祁连山青海云杉林土壤氮的含量特征^①

张学龙, 赵维俊, 车宗玺

(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,研究了祁连山东、西段青海云杉林土壤全氮和有效氮(铵态氮和硝态氮)含量的特征。结果表明:①祁连山东、西段土壤全氮、铵态氮和硝态氮含量变化范围分别为 1.78~7.89 g/kg 和 1.50~4.39 g/kg, 6.33~24.96 mg/kg 和 0.37~23.60 mg/kg, 5.23~20.74 mg/kg 和 0.20~10.19 mg/kg, 各氮素形态含量均是祁连山东段大于祁连山西段;在祁连山青海云杉林中土壤铵态氮为土壤有效氮的主要存在形式,其所占比例在祁连山东、西段分别为 70.58%和 87.58%。②在祁连山东、西段 0~10、10~20、20~40 cm 土层中,土壤全氮和铵态氮含量均随土层深度的增加呈减小趋势;不同土层土壤全氮平均含量均是祁连山东段显著高于祁连山西段($P<0.05$);祁连山东、西段土壤铵态氮含量在 0~10 cm 和 10~20 cm 土层中差异均不显著($P>0.05$),仅在 20~40 cm 土层中差异显著($P<0.05$);硝态氮含量在祁连山东段随土层的加深并没有明显的变化规律,在西段随土层深度的增加呈减小趋势,东、西段土壤硝态氮含量在 0~10 cm 土层差异不显著($P>0.05$),在 10~20 cm 和 20~40 cm 差异显著($P<0.05$)。③祁连山东、西段土壤全氮、铵态氮和硝态氮含量在不同土层深度的变异系数均没有明显的变化规律,除土壤硝态氮在祁连山西段不同土层深度的变异为强变异性外,土壤全氮、铵态氮和硝态氮含量在祁连山东、西段不同土层深度的变异均为中等变异。④祁连山东、西段土壤全氮和铵态氮含量之间均呈显著相关性,但全氮和硝态氮含量及铵态氮和硝态氮含量之间均无显著相关性。

关键词:祁连山;青海云杉林;全氮;铵态氮;硝态氮

中图分类号:S714.2

祁连山位于青藏高原的东北边缘,介于柴达木盆地与河西走廊凹陷之间,长约 1 000 km,宽约 200~500 km,由祁连山褶皱带沿北西-南东方向延伸形成的平行山岭和谷底组成,整个山地属高山峡谷地貌,按地形可分为东、中、西段,民乐县扁都口以东属东段,扁都口至北大河谷之间为中段,北大河谷以西至当金山口为西段^[1]。受西风带天气系统、高原季风和东亚季风的影响,祁连山东、西段无论年降水还是不同雨量级的日数,祁连山东段多于西段,其次表现为东西相反的变化趋势^[2-3],这势必影响到分布在祁连山北麓的建群种和优势种青海云杉林生态系统土壤氮素生态过程。

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^[4],多年来,受到土壤学、植物营养学和生态学研究领域的众多专家和学者的关注^[4-5]。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^[6],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^[7],甚至证实土壤中氮和水具有同等重要的作用^[8],氮循环影响植物的生产力和根系生长,其效应主要受到水的调节作用。

祁连山是黄土、蒙古和青藏高原的过渡带,土壤呈现出较明显的垂直带谱,垂直带谱上分布在阴坡上的山地灰褐土是唯一生长森林的土壤,也是该林区最重要的土壤,成土母质以坡积母质和黄土母质为主,成土过程表现为较强的腐殖质积累过程、黏化过程和较强的碳酸盐淋溶淀积过程。目前关于水分效应制约下的祁连山生长青海云杉森林灰褐土土壤氮素含量特征研究较少。因此,本文对祁连山东、西段不同降雨条件下的青海云杉林土壤氮素含量特征进行研究,研究祁连山东、西段青海云杉林土壤氮素特征,包括土壤全氮和有效氮在不同土层深度的含量分布,土壤氮素在土壤剖面上的变异程度,土壤全氮与铵态氮、硝态氮的相关性和铵态氮与硝态氮的相关性及祁连

①基金项目:林业公益性行业科研专项(201204101-4)和国家自然科学基金重大研究计划项目(91025022)资助。

作者简介:张学龙(1963—),男,甘肃张掖人,高级工程师,主要从事森林生态研究。E-mail: zhangxuelong0707@163.com

山东、西段土壤氮素含量差异等内容,旨在为开展青海云杉林生态系统的生产力和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数据支持,也为祁连山青海云杉林森林和土壤对气候变化的响应机制的研究提供理论依据。

1 研究区概况

祁连山国家级自然保护区共有 22 个保护站(图 1),本研究只选择能代表祁连山东、西段青海云杉生长状况的典型分布区,祁连山东段研究区选在天祝藏族自治县西北部的哈溪保护站,祁连山西段研究区选在肃南裕固族自治县的祁丰保护站,各研究区概况见表 1。研究区位于祁连山东、西段的北麓,青海云杉林主要分布在海拔 2 700 ~ 3 000 m 的阴坡、半阴坡,林区土壤均为山地森林灰褐土,有轻微的水土流失,林下苔藓、草本和灌丛分布较少。

2 研究方法

2.1 土样采集

于 2009 年 7 月 27 日至 2009 年 8 月 4 日采用典型取样法,在研究区(北坡)海拔 2 700 ~ 3 000 m 青海云杉林内选择典型青海云杉群落随机布置临时样地各 10 个,参考 2 个保护站森林资源林班分布图,样地设置尽可能覆盖所调查区域的青海云杉,群落调查样地乔木样方大小为 20 m×20 m,部分样方大小为 25 m×25 m(祁连山西段,因林木密度较小,林木单株个体较少)。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采用“S”形路线选 3 个点挖取土壤剖面,沿土壤剖面从上至下划分 0~10、10~20、20~40 cm 土层,用体积 100 cm³ 环刀沿土壤剖面分层从下至上取样,每个层次 2 个重复,把取样用塑料自封袋带回,用于土壤含水量和土壤体积质量(容重)测定。另外在每个层次取混合新鲜土样,按四分法缩分后,带回实验室,挑拣出植物残体和大的石



图 1 祁连山自然保护区各保护站分布图
Fig. 1 Distribution of each conservation station in Qilian Mountains national nature reserve

表 1 研究区概况
Table 1 General situation of study region

研究区	地理位置	年降水量 (mm)	年蒸发量 (mm)	年均气温 (°C)	灌木优势种	草本优势种
祁连山东段	102°01′ ~ 102°51′ E, 37°16′ ~ 37°45′ N	400	1 234.8	1.8	吉拉柳(<i>Salix gilashaniea</i>)、 金露梅(<i>Potentilla fruticosa</i>)、 高山绣线菊(<i>Spiraea alpine</i>)等	珠牙蓼(<i>Polygonum viviparum</i> L.)、 苔草(<i>Carex tristachya</i>)、 鲜生马先蒿(<i>Pedicularis muscicola</i>)等
祁连山西段	97°15′ ~ 99°10′ E, 38°57′ ~ 39°43′ N	300	1 800.3	4.2	爬地柏 (<i>Sabina procumbents</i> (Endl.) <i>Iwata et Kusaka</i>)、 鲜黄小檗 (<i>Berberis diaphana</i> Maxin.)、 银露梅(<i>Potentilla glabra</i>)等	苔草(<i>Carex tristachya</i>)、 珠牙蓼(<i>Polygonum viviparum</i> L.)、 棘豆(<i>Oxytropis</i>)、 针茅(<i>Stipa capillata</i> Linn.)、 香青(<i>Anaphalis sinica</i> Hance)等

块,取一部分同层土样风干混匀并研磨过 2 mm 筛后置于 4℃ 恒温箱用于土壤铵态氮和硝态氮含量测定,再取一部分土样风干用于土壤有机质、土壤 pH 和土壤全氮等化学性质分析,供试土壤样地基本情况见表 2。

2.2 土壤理化性质分析

土壤体积质量和质量含水量的测定采用环刀法^[9]。土壤有机碳测定用重铬酸钾氧化法; pH 用电位法测定^[10]。土壤铵态氮用 2 mol/L 氯化钾浸提-蒸馏法测定; 土壤硝态氮用硫酸钙饱和溶液浸提-紫外分光光度计法测定^[11]。供试土壤基本性质测定结果见表 3。

2.3 统计分析

将试验数据按各指标分类整理,并计算结果,再用 Excel 2003 和 SPSS 17.0 进行数据统计、分析和作图。

3 结果分析与讨论

3.1 全氮与有效氮含量基本统计特征

在森林生态系统中,虽然植物可以从大气中直接吸收氮,但是土壤中贮存的氮是整个生态系统氮的主体,其主要来源于植物枯落物分解和土壤有机质分解^[12]。统计结果表明(表 4),祁连山东段土壤全氮含量变化范围 1.78 ~ 7.88 g/kg,均值 4.79 g/kg; 铵态氮含量变化范围 6.33 ~ 24.96 mg/kg,均值 12.18 mg/kg;

表 2 供试土壤临时样地基本情况
Table 2 General information of temporary plots of tested soils

研究区	样地 编号	地理坐标			取样地点	树高(m)	胸径(cm)
		东经(E)	北纬(N)	海拔(m)			
祁连山东段	Y ₁	102°33'38.9"	37°23'27.2"	2 694	护林阴山	18.42 ± 0.73	22.35 ± 0.74
	Y ₂	102°35'46.9"	37°22'37.1"	2 832	庙儿沟水泉掌	14.71 ± 0.60	18.19 ± 0.91
	Y ₃	102°36'11.1"	37°22'59.8"	2 731	庙儿沟水泉掌	15.28 ± 0.32	19.42 ± 0.62
	Y ₄	102°32'24.9"	37°26'25.0"	2 761	草牙岭	17.09 ± 0.45	20.09 ± 0.75
	Y ₅	102°30'41.4"	37°27'50.6"	3 016	大石头	6.32 ± 0.65	11.12 ± 0.81
	Y ₆	102°37'04.0"	37°22'33.9"	2 718	庙儿沟苗圃	16.09 ± 0.56	18.21 ± 0.72
	Y ₇	102°37'04.0"	37°22'33.9"	2 718	庙儿沟东岔	17.80 ± 2.40	18.51 ± 0.94
	Y ₈	102°33'31.4"	37°24'46.3"	2 536	友爱十队	16.74 ± 0.32	21.46 ± 0.58
	Y ₉	102°31'10.7"	37°29'47.6"	3 014	黄草岭神树沟顶	10.31 ± 0.31	14.51 ± 0.58
	Y ₁₀	102°32'18.1"	37°29'39.4"	2 790	黄草岭大阴山峡	9.69 ± 0.42	13.18 ± 0.61
祁连山西段	Y ₁	98°06'9.3"	39°33'9.6"	2 917	文殊大火烧	12.88 ± 0.67	5.59 ± 0.19
	Y ₂	98°05'38.9"	39°33'16.7"	2 915	文殊大火烧	10.37 ± 0.63	5.01 ± 0.19
	Y ₃	97°53'32.3"	39°36'37.2"	3 107	腰泉	17.02 ± 1.56	5.82 ± 0.23
	Y ₄	97°53'14.2"	39°36'38.8"	3 016	腰泉	11.16 ± 0.64	5.36 ± 0.21
	Y ₅	98°27'37.9"	39°24'11.3"	2 886	红山口青裸地大湾沟	17.52 ± 1.44	6.91 ± 0.49
	Y ₆	98°29'19.2"	39°23'36.7"	2 777	红山口青裸地大湾沟	9.79 ± 0.74	5.26 ± 0.27
	Y ₇	98°31'48.2"	39°23'3.2"	2 764	红山口	11.51 ± 0.69	5.59 ± 0.32
	Y ₈	98°31'17.1"	39°23'10.5"	2 792	红山口	8.97 ± 0.45	4.85 ± 0.20
	Y ₉	98°53'48.2"	39°15'53.4"	2 797	甘坝口柳沟	14.70 ± 1.09	8.58 ± 0.51
	Y ₁₀	98°53'42.1"	39°15'9.6"	2 809	甘坝口柳沟	13.44 ± 1.13	8.23 ± 0.57

表 3 供试土壤的基本性质
Table 3 Basic properties of tested soils

研究区	土层(cm)	体积质量(g/cm ³)	质量含水量(g/kg)	土壤有机碳(g/kg)	pH
祁连山东段	0 ~ 10	0.58 ± 0.08	539.62 ± 62.21	89.27 ± 8.60	7.4 ± 0.1
	10 ~ 20	0.70 ± 0.04	474.41 ± 65.57	76.31 ± 7.09	7.4 ± 0.1
	20 ~ 40	0.87 ± 0.04	363.61 ± 37.89	64.40 ± 8.60	7.4 ± 0.1
祁连山西段	0 ~ 10	0.64 ± 0.06	221.03 ± 24.29	49.73 ± 11.75	8.2 ± 0.1
	10 ~ 20	0.77 ± 0.04	176.10 ± 17.11	45.61 ± 13.46	8.2 ± 0.1
	20 ~ 40	0.82 ± 0.04	210.07 ± 25.85	43.44 ± 12.38	8.4 ± 0.1

表 4 土壤全氮与有效氮含量基本描述统计
Table 4 Basic descriptive statistics of contents of soil total nitrogen and available nitrogen

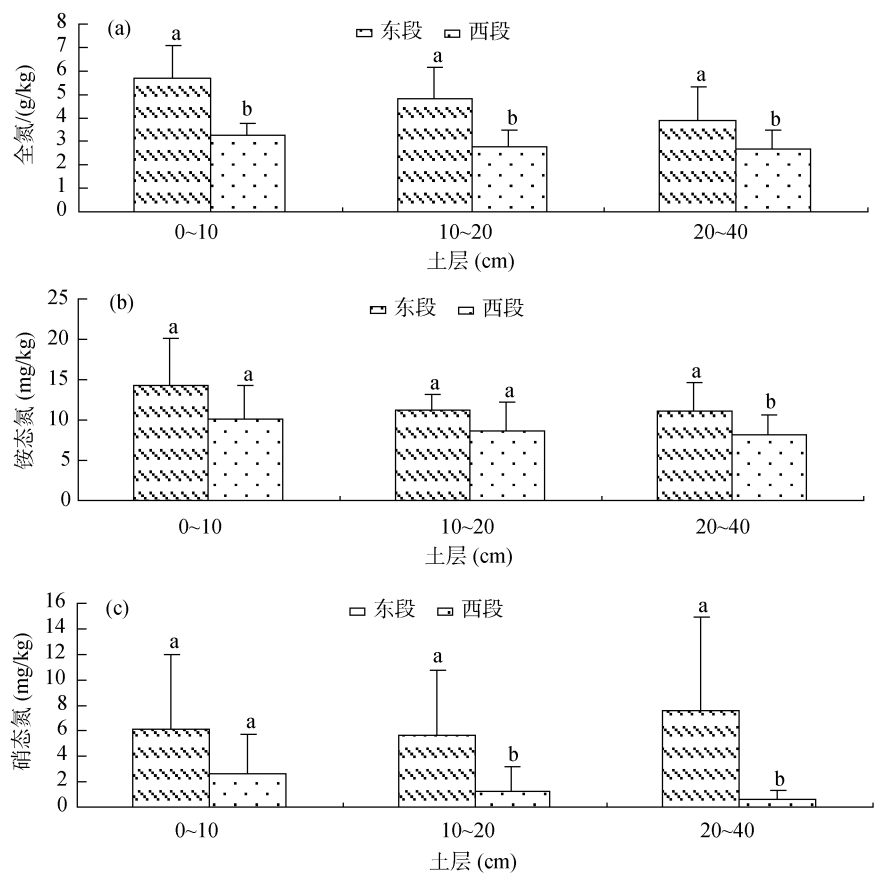
研究区	土壤氮素	最小值	最大值	均值	标准差	变异系数	偏度	峰度
祁连山东段	全氮(g/kg)	1.78	7.88	4.79	1.52	0.32	-0.19	-0.32
	铵态氮(mg/kg)	6.33	24.96	12.18	4.23	0.35	1.53	2.54
	硝态氮(mg/kg)	0.37	23.60	6.47	5.99	0.93	1.32	1.67
	有效氮(mg/kg)	6.70	32.05	18.65	7.21	0.39	0.30	-0.94
	铵态氮/有效氮(%)	55.51	95.87	70.58	20.11	0.28	-0.52	-0.41
祁连山西段	全氮(g/kg)	1.50	4.39	2.91	0.72	0.25	0.02	-0.23
	铵态氮(mg/kg)	5.23	20.74	9.00	3.47	0.39	1.71	3.84
	硝态氮(mg/kg)	0.20	10.19	1.52	2.29	1.51	2.67	7.38
	有效氮(mg/kg)	5.68	21.09	10.52	4.13	0.39	1.07	0.61
	铵态氮/有效氮(%)	67.55	98.30	87.58	13.59	0.16	1.94	-3.43

硝态氮含量变化范围 0.37 ~ 23.60 mg/kg, 均值 6.47 mg/kg 有效氮(铵态氮+硝态氮)变化范围 6.70 ~ 32.05 mg/kg, 均值 18.65 mg/kg。其中, 铵态氮占有效氮的比例为 55.51%~95.87%, 平均为 70.58%。同祁连山东段相比, 祁连山西段氮素含量较低, 其全氮含量的变化范围 1.50~4.39 g/kg, 均值 2.91 g/kg; 铵态氮和硝态氮的含量分别为 5.23 ~ 20.74 mg/kg 和 0.20 ~ 10.19 mg/kg, 均值分别为 9.00 mg/kg 和 1.52 mg/kg。有效氮(铵态氮+硝态氮)含量为 5.68 ~ 21.09 mg/kg, 均值 10.52 mg/kg, 铵态氮占有效氮的百分比为 67.55%~98.30%, 均值为 87.58%, 同祁连山东段一样, 铵态氮占绝对的优势, 但该比例高于祁连山东段, 主要原因是与青海云杉生物学特性有一定的关系, 已有研究表明, 营养需求低的针叶林通常偏好铵态氮^[13]。在本研究中, 青海云杉生长在高寒贫瘠的山区, 是祁连山北麓唯一的建群种和优势种, 对营养需求较低, 青海云杉可能通过某种行为机制来抑制土壤铵态氮转化为其他形式的氮, 这种抑制作用使得土壤铵态氮为土壤有效氮的主要存在形式。还有可能就是祁连山年均温度较低, 加上研究区域土壤酸碱度呈弱碱性(7.4 ~ 8.4), 矿化累积作用较强, 使得土壤有效氮水平偏高, 特别是土壤铵态氮含量。东、西段土壤氮素差异较大, 主要原因是东段青海云杉林平均郁闭度为 0.56, 生长较为茂盛, 枯枝落叶的大量归还而参与养分循环, 在加上东段降雨较多, 土壤较为湿润, 使得枯枝落叶较容易分解, 从而使得枯枝落叶当中的有机质转化速率加快而有利于加速积累。西段相对东段而言, 林木郁闭度较小, 平均为 0.45, 生物量归还较少, 土壤较为干燥, 使得针叶林枯落物分解较慢。氮素差异很大程度上由林地凋落物和枯落物生物量差异造成, 其生物量大小对增加土壤氮素的含量极为重要。另外, 分析数据表明祁连山东、西段土壤 C/N 数值大小分别为

15.69~16.56 和 15.21~16.15, 青海云杉林森林灰褐土土壤微生物在分解土壤有机质不受氮限制, 有利于青海云杉土壤养分的吸收。

3.2 全氮与有效氮含量差异

土壤全氮含量通常用于衡量土壤氮素的基础肥力, 而土壤有效氮含量与植物生长关系密切。由图 2a 可知, 祁连山东、西段青海云杉土壤全氮含量随着土层深度的增加具有减少的趋势, 并且在 3 个土层中, 祁连山东段土壤全氮平均含量均显著高于祁连山西段($P<0.05$)。祁连山东段和西段 0~10、10~20、20~40 cm 土层全氮平均含量分别为 5.69 g/kg 和 3.27 g/kg, 4.80 g/kg 和 2.75 g/kg, 3.89 g/kg 和 2.69 g/kg。东、西段土壤全氮含量差异显著, 这与祁连山东、西段青海云杉群落所处气候类型不同有关, 气候和植物生产力综合作用决定了其分布特点。土壤铵态氮在祁连山东、西段青海云杉林不同土层的变化趋势同全氮的变化趋势一致, 即随土层深度的增加其含量不断减小(图 2b)。祁连山东、西段土壤铵态氮在 0~10、10~20、20~40 cm 土层含量分别为 14.23 mg/kg 和 10.1 mg/kg, 11.18 mg/kg 和 8.7 mg/kg, 11.13 mg/kg 和 8.13 mg/kg; 东、西段土壤铵态氮含量在 0~10、10~20 cm 土层中差异均不显著, 在 20~40 cm 土层中差异显著($P<0.05$)。相比较土壤全氮和土壤铵态氮变化, 土壤硝态氮没有明显的变化特点, 原因可能与雨水的淋溶、铵态氮的供给及气态释放的影响因子不同有关。祁连山东、西段土壤硝态氮含量在 0~10 cm 土层差异不显著, 其硝态氮含量分别为 6.13 mg/kg 和 2.61 mg/kg, 在 10~20 cm 和 20~40 cm 土层硝态氮含量差异显著($P<0.05$), 这两个土层土壤硝态氮含量分别为 5.68 mg/kg 和 1.20 mg/kg, 7.60 mg/kg 和 0.65 mg/kg(图 2c), 且东、西段土壤硝态氮含量平均值差异也较大。另外祁连山东、西段土壤有效氮在不同土



(柱形图上方不同小写字母表示同一土层祁连山东、西段差异在 $P < 0.05$ 水平显著)

图 2 不同土层土壤全氮和有效氮含量差异

Fig. 2 Content differences of soil total nitrogen and available nitrogen at different depths

层的含量分别为 20.36 mg/kg 和 12.71 mg/kg, 16.86 mg/kg 和 9.90 mg/kg, 18.72 mg/kg 和 8.78 mg/kg。研究区土壤有效氮含量与我国温带森林和热带森林相比, 祁连山东段青海云杉林土壤有效氮(16.86 ~ 20.36 mg/kg)的变化范围同热带森林土壤有效氮(12.81 ~ 20.87 mg/kg)的变化范围较为相符, 而西段土壤有效氮(8.78 ~ 12.71 mg/kg)的变化范围同温带森林土壤有效氮(8.5 ~ 13.0 mg/kg)的变化范围较为一致^[14]。

3.3 全氮与有效氮在不同土层深度的变异

变异系数可反映土壤氮空间分布的均匀程度^[15], 而土壤理化性质是影响空间异质性的主要因素^[16]。在不同深度的土层中, 祁连山东段青海云杉林不同土层土壤全氮含量变异系数随土层加深有增大的趋势, 而祁连山西段随土层深度的增加全氮含量变异具有不规则性(表 5)。东、西段土壤全氮在不同土层变异系数介于 0.24 ~ 0.42 之间, 属于中等变异^[17]。

铵态氮含量变异在祁连山西段随土层深度的增加有减小的趋势, 其变异系数介于 0.30 ~ 0.41 之间, 属中等变异^[17]; 东段铵态氮变异系数介于 0.18 ~ 0.41

之间, 属中等变异(表 5)。硝态氮含量变异在祁连山东段和西段随土层深度的增加具有不规则性, 在祁连山西段随土层深度的增加其变异系数为先增大后减小, 变异系数介于 1.06 ~ 1.65 之间, 属强变异性。在东段则表现为其变异系数为先减小后增大, 其变异系数介于 0.89 ~ 0.96 之间, 不同土层硝态氮变异表现出中等变异性(表 5)。总之, 不同土层深度土壤全氮、铵态氮和祁连山东段的硝态氮均为中等变异, 祁连山西段硝态氮为强变异性; 不同土层深度土壤硝态氮的变异系数均大于铵态氮的变异系数。

表 5 不同深度土壤全氮和有效氮含量变异系数
Table 5 Variation coefficients of contents of soil total nitrogen and available nitrogen at different depths

研究区	土层(cm)	全氮	铵态氮	硝态氮
祁连山东段	0 ~ 10	0.24	0.41	0.96
	10 ~ 20	0.28	0.18	0.89
	20 ~ 40	0.36	0.31	0.96
祁连山西段	0 ~ 10	0.42	0.41	1.20
	10 ~ 20	0.27	0.40	1.65
	20 ~ 40	0.30	0.30	1.06

土壤氮素的变异是普遍存在的,而且原因较为复杂,受到诸如土壤成土母质、地形、人类活动干扰等因素的影响。青海云杉是分布在祁连山海拔 2 700 ~ 3 000 m 的地带性植被,自从成立自然保护区以来得到了较好的保护,与人类林业活动较少有很大的关系,在调查的过程中,也证实了这一点,人为干扰较少或不大。因此,针对目前青海云杉林土壤肥力、林地生产力的经营在于管护,减少对林地地被物的破坏。有效氮中,硝态氮的变异系数明显大于铵态氮的变异系数,说明研究区土壤硝态氮较铵态氮对土壤微环境敏感。

3.4 全氮与有效氮的相关关系

对祁连山东、西段青海云杉林土壤全氮和有效氮含量进行相关性分析,结果列入表 6。

表 6 土壤全氮与有效氮含量相关系数矩阵
Table 6 Correlation coefficient matrixes of soil total nitrogen and available nitrogen contents

研究区		全氮	铵态氮	硝态氮
祁连山东段	全氮	1.000	0.450*	-0.212
	铵态氮	0.450*	1.000	0.261
	硝态氮	-0.212	0.261	1.000
祁连山西段	全氮	1.000	0.480**	0.073
	铵态氮	0.480**	1.000	-0.015
	硝态氮	0.073	-0.015	1.000

注:表中 * 表示在 $P<0.05$ 水平(双侧)显著相关; ** 表示在 $P<0.01$ 水平(双侧)显著相关。

从表 6 可以看出,祁连山东、西段青海云杉林土壤全氮含量和铵态氮含量呈显著相关($P<0.05$),而且在祁连山西段全氮含量和铵态氮含量呈极显著相关($P<0.01$),这说明土壤全氮含量对土壤中铵态氮含量有着保持和供应的作用,而且受环境变化的扰动较小,而土壤全氮含量又取决于土壤有机质的积累和分解^[18]。在祁连山东段全氮与硝态氮呈负相关,在西段呈正相关,但相关性不显著。硝态氮含量与全氮含量的关系不显著,可能与土壤取样时间有很大的关系,本次土壤取样时间为夏季,夏季降水较多,土壤水分不断饱和,使得土壤硝态氮淋失比较严重;而祁连山东段硝态氮含量与土壤全氮含量呈负相关,而在祁连山西段二者之间呈正相关,原因可能是祁连山东、西段降雨量大小差别造成的,说明硝态氮含量变化受环境变化影响较大。硝态氮含量与铵态氮含量之间无明显的相关性,在祁连山东段二者之间呈不显著正相关,而在祁连山西段二者之间呈负相关,表明在本研究区森林土壤里,硝态氮受铵态氮的影响,但影

响不明显。需要指出的是,土壤有效氮含量存在很强的季节变化,简单的一次性测定只能代表该时期的状况,本研究仅关注同一群落类型不同空间位置的样地重复间土壤的氮的空间分布,要较全面地反映土壤氮的含量动态,取样必须涉及各个季节及各个年度。

4 结论

在祁连山青海云杉分布带中,祁连山东段青海云杉林土壤氮素含量(包括全氮含量、铵态氮和硝态氮含量)优于祁连山西段,铵态氮是青海云杉林土壤有效氮的主要赋存形式。在不同土层深度,祁连山东段和西段土壤全氮含量变化具有明显的变化规律,而且不同土层之间差异均呈显著。铵态氮和硝态氮含量虽在不同土层深度含量大小变化规律较为一致,但是不同土层之间的差异性变化没有规律性。同时,不同土层深度土壤全氮、铵态氮和祁连山东段的硝态氮含量变异均为中等变异,土壤硝态氮较铵态氮对土壤微环境敏感。祁连山东、西段青海云杉林土壤铵态氮含量与全氮含量呈显著关系性,而硝态氮含量与全氮及铵态氮含量的关系不明显。造成祁连山东、西段土壤氮素含量差异及变化规律不同,主要是由青海云杉生物学特性和生长环境条件的差异造成的。

参考文献:

- [1] 杨全生, 刘建泉, 汪有奎. 甘肃祁连山国家级自然保护区—综合科学考察报告[M]. 兰州: 甘肃科学技术出版社, 2008
- [2] 陈少勇, 董安祥, 韩通. 祁连山东、西部夏季降水量时空分布的差异及其成因研究[J]. 南京气象学院学报, 2007, 30(5): 715-719
- [3] 李岩瑛. 祁连山地区降水气候特征及其成因分析研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2008
- [4] 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
- [5] 朱兆良. 中国土壤氮素研究[J]. 土壤学报, 2008, 45(5): 778-783
- [6] Kaye JP, Binkley D, Rhoades C. Stable soil nitrogen accumulation and flexible organic matter stoichiometry during primary floodplain succession[J]. Biogeochemistry, 2003, 63: 1-22
- [7] Ettershank GJ, Ettershank MB, Whitford WG. Effects of nitrogen fertilization on primary productivity in a Chihuahuan Desert ecosystem[J]. Journal of Arid Environments, 1978, 1: 135-139
- [8] Schlesinger WH, Reynolds JF, Cunningham GL, Huenneke LF, Jarrell WM, Virginia RA, Whitford WG. Biological feedbacks in global desertification[J]. Science, 1990, 247: 1 043-1 048

- [9] 国家林业局. 森林生态系统长期定位观测方法——中华人民共和国林业行业标准(LY/T 1952-2011) [S]. 北京: 中国标准出版社, 2011
- [10] 中国土壤学会. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1999
- [11] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1999
- [12] 黄文娟, 刘菊秀, 唐旭利, 黄钰辉, 刘世忠, 褚国伟, 周国逸. 鼎湖山 5 种森林土壤的无机氮和有效磷含量[J]. 应用与环境生物学报, 2009, 15(4): 441-447
- [13] Gosz JR. Nitrogen cycling in coniferous ecosystems[J]. Ecol. Bull. (Stockholm), 1981, 33: 405-426
- [14] 李贵才, 韩兴国, 黄建辉, 王长耀. 哀牢山中山湿性常绿阔叶林不同干扰强度下土壤无机氮的变化[J]. 应用生态学报, 2003, 14(8): 1 251-1 256
- [15] 于婧文, 周怀平, 张建杰, 解文艳, 关春林. 褐土区乡镇级农田土壤养分时空变异研究[J]. 山西农业科学, 2010, 38(2): 34-39
- [16] Plymale AE, Boemer RJ, Logan TJ. 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
- [17] 张灿强, 张彪, 杨艳刚, 王斌. 太湖上游西苕溪近岸森林土壤氮磷养分变异特征[J]. 水土保持学报, 2011, 25(5): 53-58
- [18] 赵维俊, 刘贤德, 车宗玺, 敬文茂, 张学龙, 马钰. 祁连山东段青海云杉林土壤有效氮研究[J]. 水土保持通报, 2011, 31(4): 99-102

Characteristics of Nitrogen Contents of *Picea crassifolia* Forest in Qilian Mountains

ZHANG Xue-long, ZHAO Wei-jun, CHE Zong-xi

(Academy of Water Resources Conservation Forests in Qilian Mountains of Gansu Province, Zhangye, Gansu 734000, China)

Abstract: In the light of field sampling and laboratory analysis, soil total nitrogen and available nitrogen ($\text{NH}_4^+\text{-N}$ and $\text{NO}_3^-\text{-N}$) contents of *Picea crassifolia* forest in the eastern and western regions of the Qilian Mountains were discussed and compared. The results showed that: (1) Soil total nitrogen, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ and $\text{NO}_3^-\text{-N}$ variation range respectively were 1.78 – 7.89 g/kg and 1.50 – 4.39 g/kg, 6.33 – 24.96 mg/kg and 0.37 – 23.60 mg/kg, 5.23 – 20.74 mg/kg and 0.20 – 10.19 mg/kg in the eastern and western regions, the contents of each nitrogen forms in the eastern region were higher than in the western, soil $\text{NH}_4^+\text{-N}$ was major forms of soil available nitrogen of *Picea crassifolia* forest, the proportion respectively were 70.58% and 87.58% in the eastern and western regions, respectively; (2) At 0 – 10 cm, 10 – 20 cm and 20 – 40 cm soil layers of *Picea crassifolia* forest, soil total nitrogen and available nitrogen contents decreased with the increase of soil depth in both regions. In different soil layer, soil total nitrogen average content in the eastern region were significantly higher than that in the western region ($P < 0.05$), and soil $\text{NH}_4^+\text{-N}$ content at 0 – 10 cm and 10 – 20 cm soil layers were not significantly different ($P > 0.05$) but significantly differed at 20 – 40 cm ($P < 0.05$) in both regions. $\text{NO}_3^-\text{-N}$ content changed irregularly with soil depth in the eastern region but decreased gradually in the western region, $\text{NO}_3^-\text{-N}$ content at 0 – 10 cm showed no significant difference ($P > 0.05$) but significant difference at 0 – 10 cm and 10 – 20 cm ($P < 0.05$) in both regions. (3) The variation coefficients of soil total nitrogen, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ and $\text{NO}_3^-\text{-N}$ contents in different soil depths changed irregularly in both regions. Except the variation coefficients of soil $\text{NO}_3^-\text{-N}$ in different soil depths of the western region was strong variation, the variation coefficients of soil total nitrogen, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ and $\text{NO}_3^-\text{-N}$ were medium variations in both regions. (4) Soil total nitrogen was significantly correlated with $\text{NH}_4^+\text{-N}$ content, but no significant correlation between total nitrogen, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ and $\text{NO}_3^-\text{-N}$.

Key words: Qilian Mountains, *Picea crassifolia* forest, Available nitrogen, $\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{NO}_3^-\text{-N}$