

黄土丘陵区人工林土壤可溶性氮组分季节变化

赵满兴, 白二磊, 刘慧, 曹阳阳, 王文强, 邢英英

(延安大学生命科学学院, 陕西 延安 716000)

摘要: 为探究黄土丘陵区退耕还林后土壤可溶性氮养分积累的季节动态变化特征, 以志丹县永宁镇沙棘和山杏林地为研究对象, 采集 0—10, 10—20, 20—30 cm 土壤样品, 分析土壤可溶性氮组分含量和比例的季节动态变化。结果表明: 退耕还林可显著增加土壤硝态氮、铵态氮和可溶性有机氮含量, 尤其是 0—10 cm 土层增加明显。0—10, 10—20, 20—30 cm 土层间差异显著, 沙棘林和山杏林间也达到显著差异水平。总体来看, 硝态氮含量随季节变化明显, 3 月最高, 3—6 月下降, 6—9 月上升, 9—11 月又下降, 11 月最低。各样地间 0—30 cm 土层铵态氮含量变化幅度较小。可溶性有机氮含量随季节变化明显, 6 月最高, 11 月最低, 3—6 月上升, 6—9 月下降, 9—11 月又上升。可溶性有机氮含量季节变化规律与硝态氮变化规律相反。沙棘林地土壤可溶性氮含量较杏树林地高, 且阳坡高于阴坡。0—30 cm 土层可溶性氮组分以可溶性有机氮为主, 占 73.3%~99.0%, 其次是硝态氮, 占 0.9%~24.3%; 铵态氮所占比例最少, 在 2% 以下。退耕还林措施可显著增加 0—10 cm 土层土壤可溶性氮含量, 不同林分土壤可溶性氮含量增加不同, 沙棘林地高于杏树林地。

关键词: 黄土丘陵区; 可溶性有机氮; 退耕还林; 季节动态

中图分类号: S158.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-2242(2019)02-0258-07

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcbx.2019.02.040

Seasonal Variation of Soil Soluble Nitrogen Fractions in Plantation in Loess Hilly Region

ZHAO Manxing, BAI Erlei, LIU Hui, CAO Yangyang, WANG Wenqiang, XING Yingying

(College of Life Sciences, Yan'an University, Yan'an, Shaanxi 716000)

Abstract: In order to investigate the seasonal dynamics of soil soluble nitrogen after returning farmland to forest in loess hilly region, the *Hippophae rhamnoides* forestland and *Armeniaca vulgaris* Lam. forestland in Yongning Town of Zhidan County were taken as the research object. Soil samples were collected in 0—10 cm, 10—20 cm and 20—30 cm soil layers, and seasonal dynamic variation of the density and proportion of soil soluble nitrogen component were analyzed. The results showed that the measures of returning farmland to forest significantly increased the density of soil nitrate nitrogen, ammonium nitrogen and soluble organic nitrogen, especially in the 0—10 cm soil layer. There were significant differences in the above indexes among different soil layers and between *H. rhamnoides* forestland and *A. vulgaris* Lam. forestland. On the whole, nitrate nitrogen density varied significantly with seasons, the value was the highest in March, declined from March to June, increased from June to September, declined from September to November, and was the lowest in November. The ammonium nitrogen content in 0—30 cm soil layer varied little. The soluble organic nitrogen content varied significantly with seasons, and the highest and lowest value was found in June and November, respectively, and the content increased from March to June, declined from June to September and risen from September to November. The seasonal variation of soluble organic nitrogen density was opposite to that of nitrate nitrogen. The content of soluble nitrogen in *H. rhamnoides* forestland was higher than that in *A. vulgaris* Lam. forestland. The soluble nitrogen content of sunny slope was higher than that of shady slope. In 0—30 cm soil layer, the soluble nitrogen was mainly soluble organic nitrogen, accounting for 73.3%~99.0%, followed by nitrate nitrogen accounted for 0.9%~24.3%, and the proportion of ammonium

nitrogen was the least, which was below 2%. The conversion of farmland to forest significantly increased the density of soluble nitrogen in 0—10 cm soil layer. The soluble nitrogen density increased differently in different forestlands, the value in *H. rhamnoides* forestland was higher than that in *A. vulgaris* Lam. forestland.

Keywords: loess hilly region; soluble organic nitrogen; returning farmland to forest; seasonal dynamics

自从 1999 年退耕还林政策实施以来,陕北黄土高原植被覆盖率得到明显提高,土壤微环境也得到改善,产生了巨大的生态、经济和社会效益^[1-2]。退耕还林措施使贫瘠的黄土区发生巨大的变化,显著提高土壤全氮含量和氮密度,土壤有机质含量、种类及质量也得到极大的改变与丰富,对该区域的土壤氮素循环影响深远^[3]。

氮素对植物生长不可或缺,土壤氮素可分为无机氮和有机氮,有机氮占土壤氮素的 95% 以上,可溶性有机氮(soluble organic nitrogen, SON)是可溶性总氮(total soluble nitrogen, TSN)的重要组分^[4-5]。SON 是土壤养分的有效成分之一,可以直接或间接转化为植物可吸收利用的养分。有研究^[6-7]表明,土壤质地不同,其 SON 含量差异显著,且不同土层间的 SON 含量也有差异。人工林地的 SON 含量是土壤中不容忽视的氮素组成部分^[8-9]。

陕北黄土高原地区经过几十年的植被恢复,至 2014 年底植被覆盖率达到 67.7%,土壤有机质含量明显提高,但与土壤有机质关系密切的土壤可溶性氮库的大小及其时空变化规律尚不清楚。沙棘(灌木)是陕北主要的退耕还林树种之一,有很强的固氮能力;杏树(乔木)也是陕北常见的果树,这 2 种类型的树种对土壤可溶性氮素及土壤其他理化性状的影响不同。黄土高原地区土壤垂直节理发育,有利于可溶性养分的流失,植被恢复可为土壤提供大量的有机质来源。有研究^[10]表明,退耕还林可增加土壤可溶性氮素,为研究陕北黄土高原地区植被覆盖下土壤可溶性氮素情况,本文以志丹县永宁镇的不同人工林地研究对象,研究不同林分可溶性氮素密度及其与土壤理化性状的关系,以期为深入研究该区域不同人工林可溶性氮素密度及其行为提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

延安市志丹县属半干旱气候区,年平均气温 7.8℃,年平均降水量 450~490 mm,年平均无霜期 140 d,平均海拔 1 300 m,土壤类型为黄绵土,土壤质地为沙壤土。自 1999 年西部大开发战略实施以来,该县通过人工造林和封山育林等方式加速恢复当地植

被,取得明显的效果。

1.2 土样采集与分析

供试土样分别于 2017 年 3,6,9,11 月采集于延安市志丹县永宁镇的人工造林区域,选择沙棘和山杏林地作为研究对象,并以常年种植玉米地为对照,样地基本情况见表 1。在每个人工林地划定 3 个 10 m×10 m 的样方,在样方内随机选取 5 个取样点,采用分层多点混合法取土样。在每个取样点分 0—10,10—20,20—30 cm 土层取样。采集的土样经自然风干,用 2 mm 直径的筛子过筛,拣去杂质,将来自同样方同一土层的土样混匀,用四分法取样,用于土壤理化性质指标的测定。

测定项目包括土壤可溶性总氮(TSN)、硝态氮、铵态氮和可溶性有机氮(SON),按照《土壤农化分析》^[11]测定。

表 1 供试样地基本概况

样地 代号	植被 类型	平均 林龄/a	胸径/ cm	平均 株高/m	坡面 类型	坡度/ (°)
1#	沙棘林	17	10.14	2.2	阳坡	20
2#	杏树林	17	9.87	5.5	阳坡	20
3#	沙棘林	17	9.30	2.1	阴坡	20
4#	杏树林	17	7.32	5.6	阴坡	20
5#	玉米地	30	—	2.0	阳坡	5

1.3 数据处理与统计分析

土壤可溶性氮组分密度指单位面积一定厚度的土层中可溶性氮组分的质量,可以指示土壤氮素的储量。不同土层土壤氮组分密度计算公式^[8]为:

$$S_i = C_i \times \rho_i \times D_i / 100 \tag{1}$$

式中: S_i 为第 i 层土壤可溶性氮组分密度(g/m²); C_i 为第 i 层土壤对应可溶性氮组分的氮含量(mg/kg); ρ_i 为第 i 层土壤对应的土壤容重(g/cm³); D_i 为第 i 层土壤对应的土层厚度(cm)。0—30 cm 土层可溶性氮组分密度为各层土壤氮组分密度之和。

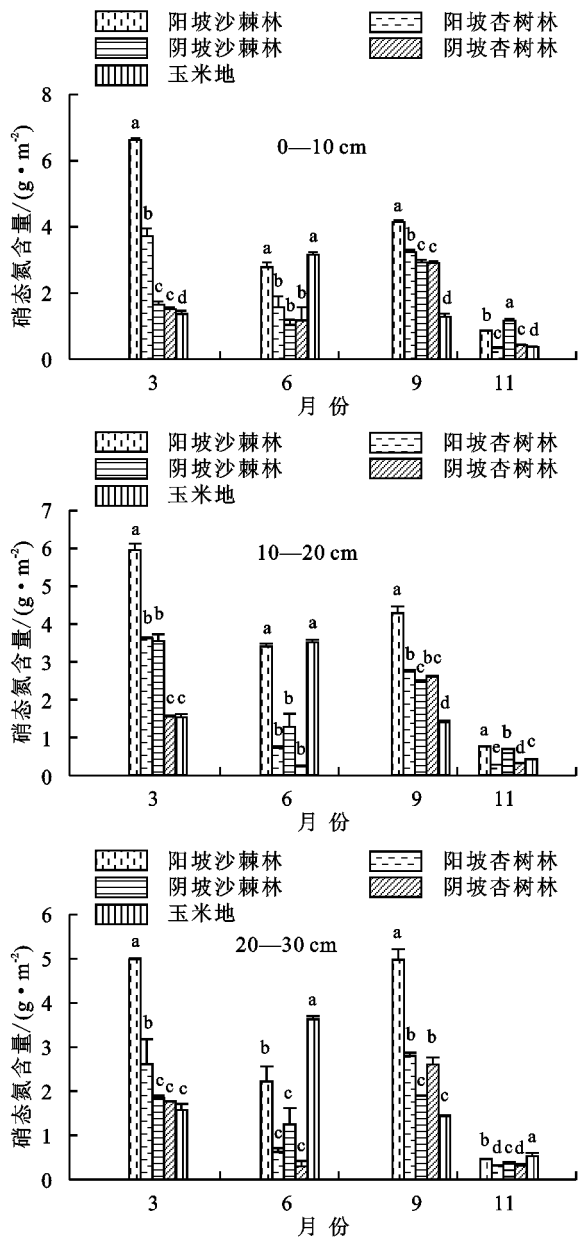
采用 SAS 8.0 软件进行数据统计分析。

2 结果与分析

2.1 土壤可溶性氮组分动态变化

2.1.1 土壤矿质氮 由图 1 可知,整个采样期间,0—30 cm 土层土壤矿质氮主要以硝态氮的形式存在,其中 0—10 cm 土层土壤硝态氮平均含量为 0.37~6.62

g/m^2 , 最小值出现在 11 月, 最大值出现在 3 月; 10—20 cm 土层, 土壤硝态氮含量最小值出现在 6 月, 为 $0.24 \text{ g}/\text{m}^2$, 而最大值出现在 3 月, 为 $5.96 \text{ g}/\text{m}^2$; 20—30 cm 土层, 土壤硝态氮含量与 0—10 cm 土层规律类似, 最小值出现在 11 月, 为 $0.31 \text{ g}/\text{m}^2$, 最大值出现在 3 月, 为 $4.99 \text{ g}/\text{m}^2$ 。相比而言, 0—30 cm 土层土壤铵态氮含量随时间变化幅度较小(图 2), 并且不同土层间土壤铵态氮含量变化不显著, 0—10 cm 土层土壤铵态氮含量变化幅度为 $0.05 \sim 1.03 \text{ g}/\text{m}^2$, 最小值出现在 6 月, 最大值出现在 3 月; 10—20 cm 土层土壤铵态氮含量最小值出现在 11 月, 为 $0.04 \text{ g}/\text{m}^2$, 最大值出现在 3 月, 为 $1.27 \text{ g}/\text{m}^2$; 20—30 cm 土层土壤铵态氮含量最小值出现在 6 月, 为 $0.06 \text{ g}/\text{m}^2$, 最大值出现在 3 月, 为 $0.97 \text{ g}/\text{m}^2$ 。



注: 图中不同字母表示各处理间差异显著 ($P < 0.05$)。下同。

图 1 不同土层土壤硝态氮含量动态变化

从图 1 和图 2 还可看出, 5 个样地不同月份之间土壤硝态氮含量为 $9\text{月} > 3\text{月} > 6\text{月} > 11\text{月}$, 土壤铵态氮含量为 $3\text{月} > 9\text{月} > 6\text{月} > 11\text{月}$, 且 3 个土层表现的规律一致。

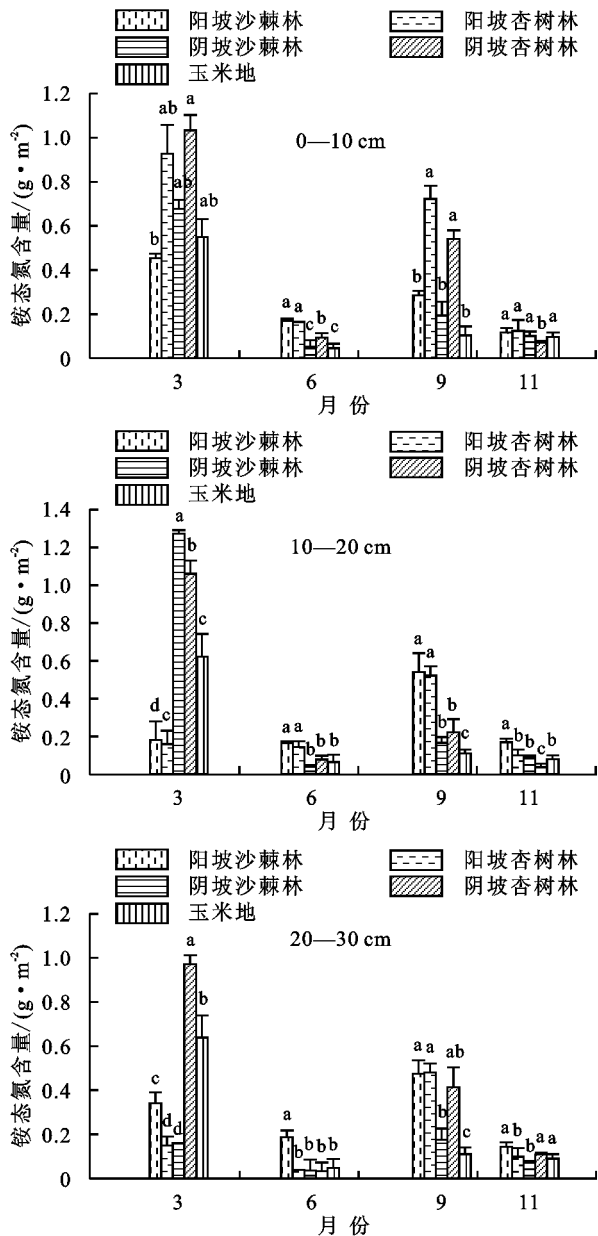


图 2 不同土层土壤铵态氮含量动态变化

各样地 0—10 cm 土层土壤硝态氮含量差异显著 ($P < 0.05$), 表现为阳坡沙棘林 $>$ 阳坡杏树林 $>$ 玉米地 $>$ 阴坡杏树林 $>$ 阴坡沙棘林, 分别为耕地的 2.33, 1.44, 0.93, 0.98 倍; 10—20 cm 土层土壤硝态氮含量以阴坡沙棘林地最大, 为耕地的 2.08 倍, 其次为阴坡沙棘林地和阳坡杏树林地, 分别为耕地的 1.16, 1.06 倍, 阴坡杏树林地土壤硝态氮含量小于耕地, 为耕地的 0.54 倍; 各样地 20—30 cm 土层土壤硝态氮含量表现为阳坡沙棘林 $>$ 玉米地 $>$ 阳坡杏树林 $>$ 阴坡沙棘林 $>$ 阴坡杏树林, 分别为耕地的 1.76, 0.88, 0.75, 0.70 倍。在整个采样期间, 各样地 0—30 cm 土层土

壤铵态氮含量变幅较小。

同一树种不同坡向土壤硝态氮含量表现为阳坡高于阴坡,土壤铵态氮含量随坡向的变化规律与硝态氮含量基本一致。

2.1.2 土壤可溶性有机氮 从图 3 可以看出,整个采样期间土壤可溶性有机氮含量变化显著($P<0.05$)。0—10 cm 土层土壤可溶性有机氮含量变化幅度为 1.69~62.81 g/m²,其中最小值出现在 9 月,最大值出现在 6 月;10—20,20—30 cm 土层,土壤可溶性有机氮最小值出现在 9 月,分别为 3.95,5.64 g/m²,最大值出现在 6 月,分别为 71.52,69.61 g/m²,3 个土层土壤可溶性有机氮最小值和最大值的规律一致。

从图 3 还可看出,5 个样地 0—10 cm 土层土壤可溶性有机氮含量为 6 月>9 月>3 月>11 月,10—20 cm 土层土壤可溶性有机氮含量为 6 月>3 月>11 月>9 月,20—30 cm 土层土壤可溶性有机氮含量为 6 月>11 月>3 月>9 月。土壤可溶性有机氮含量在 6 月最高,且 3 个土层规律一致。总体来看,全年 5 个样地土壤可溶性有机氮含量在各土层间的大小依次为 0—10 cm>10—20 cm>20—30 cm。

各样地 0—10 cm 土层土壤可溶性有机氮含量差异显著($P<0.05$),表现为阳坡沙棘林>玉米地>阴坡杏树林>阴坡沙棘林>阳坡杏树林,相比耕地,阳坡沙棘林、阳坡杏树林、阴坡沙棘林、阴坡杏树林分别为耕地的 1.05,0.70,0.90,0.94 倍;10—20 cm 土层土壤可溶性有机氮含量以玉米地密度最大,其次为阴坡沙棘林地、阳坡沙棘林、阳坡杏树林和阴坡杏树林,分别为耕地的 0.96,0.86,0.84,0.84 倍;各样地 20—30 cm 土层土壤可溶性有机氮含量大小依次为阴坡沙棘林>阴坡杏树林>阳坡杏树林>玉米地>阳坡沙棘林,分别为耕地的 1.60,1.24,1.22,0.34 倍。同一树种不同坡向土壤可溶性有机氮含量表现为阳坡高于阴坡。

2.2 土壤可溶性全氮动态变化

由图 4 可知,在整个采样期间,0—10 cm 土层土壤可溶性全氮含量季节变化显著,且各样地间差异显著($P<0.05$),整体变化幅度为 7.23~67.52 g/m²。土壤可溶性全氮含量最大值出现在 6 月,最小值出现在 11 月。10—20 cm 土层土壤可溶性全氮含量季节变化显著,且各样地间差异显著($P<0.05$),整体变化幅度为 6.01~72.85 g/m²。土壤可溶性全氮含量最大值出现在 6 月,最小值出现在 11 月;20—30 cm 土层土壤可溶性全氮含量季节变化显著,且各样地间差异显著($P<0.05$),整体变化幅度为 8.65~70.27 g/m²。土壤可溶性全氮含量最大值出现在 6 月,最小值出现在 3 月。

不同植被间比较,3,6 月各植被间土壤可溶性全氮含量差异较大,9,11 月各样地之间土壤可溶性全氮含量变化不大,3 月阳坡的沙棘林和杏树林土壤可溶性全氮含量均高于阴坡的土壤可溶性全氮含量,6 月则相反,阴坡的高于阳坡的。总体来看,整个采样期间沙棘林地土壤可溶性全氮含量高于杏树林地。

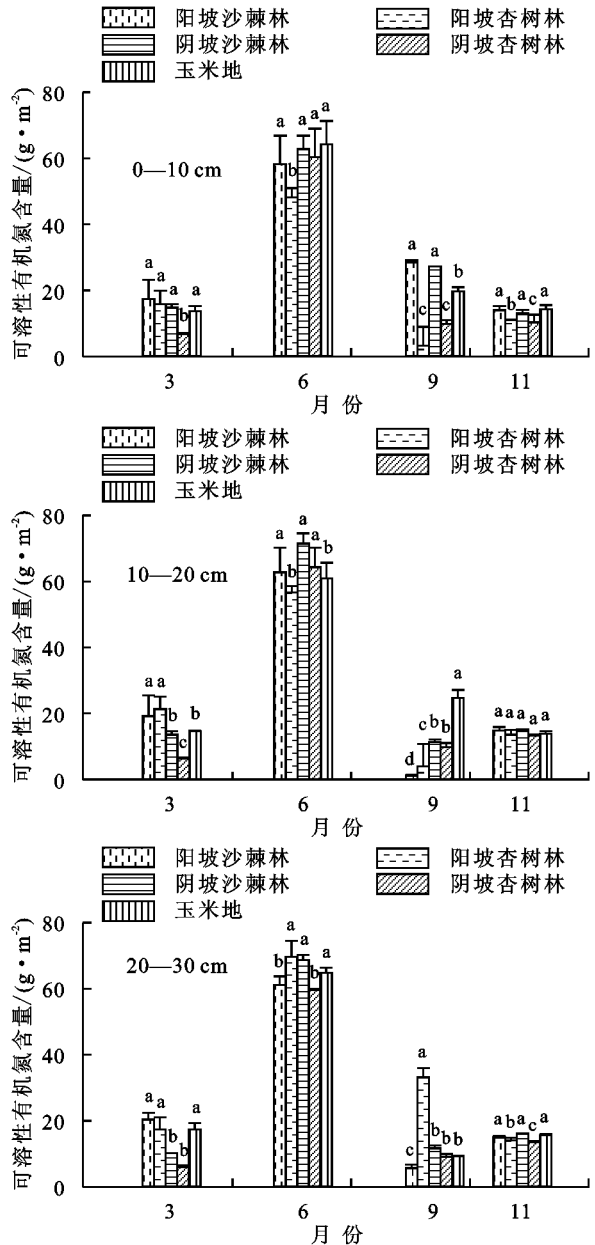


图 3 不同土层土壤可溶性有机氮含量动态变化

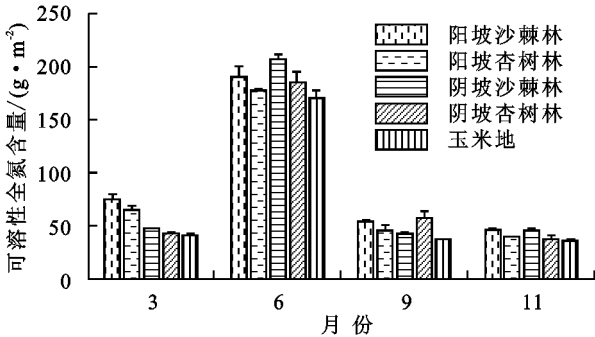


图 4 0—30 cm 土层土壤可溶性全氮含量动态变化

2.3 土壤可溶性氮组分

从表 2 可以看出,0—30 cm 土层土壤可溶性氮组分以可溶性有机氮为主,占土壤可溶性全氮组分的 73.3%~99.0%;其次是硝态氮,占土壤可溶性全氮组分的 0.9%~24.3%;铵态氮所占比例最少,在 2%

以下。整个采样期间,土壤可溶性有机氮含量从 3—6 月逐渐上升,6—9 月逐渐降低,9—11 月又略微上升;硝态氮所占比例的动态变化趋势与可溶性有机氮相反;而铵态氮同样以 3 月所占比例最高,但动态变化幅度较小。

表 2 土壤可溶性氮组分占土壤可溶性全氮比例 单位:%

人工林地	3 月			6 月			9 月			11 月		
	SON	硝态氮	铵态氮	SON	硝态氮	铵态氮	SON	硝态氮	铵态氮	SON	硝态氮	铵态氮
阳坡沙棘林	75.4	23.3	1.3	95.3	4.4	0.3	73.3	24.3	2.4	94.6	4.5	0.9
阳坡杏树林	83.0	15.2	1.9	98.2	1.6	0.2	77.0	19.2	3.8	96.9	2.3	0.8
阴坡沙棘林	80.9	14.7	4.4	98.2	1.7	0.1	80.2	18.5	1.2	94.6	4.8	0.6
阴坡杏树林	79.3	15.7	5.0	99.0	0.9	0.1	85.2	12.8	2.1	96.7	2.8	0.6
玉米地	87.9	8.6	3.5	94.8	5.1	0.1	92.4	7.1	0.6	96.5	2.9	0.6

3 讨论

不同土壤可溶性氮组分含量差异显著,其中阳坡沙棘林、阳坡杏树林、阴坡沙棘林和阴坡杏树林地 0—30 cm 土壤硝态氮含量分别为耕地的 2.39,1.33,1.39,1.07 倍,土壤铵态氮含量分别为耕地的 2.37,2.36,1.16,1.73 倍,土壤可溶性有机氮含量为耕地的 1.29,1.19,1.16,1.16 倍。这是因为:一方面由于退耕还林后,林地凋落物数量增加,凋落物分解后,增加了土壤可溶性氮的来源^[1,12];另一方面,沙棘属于固氮树种,增加土壤氮素优于杏树地和农地。由此可见,植被恢复可有效增加土壤有效氮含量^[13-14]。

本研究表明,土壤矿质氮以硝态氮为主,其最大值出现在 3 月,主要是由于此时间段内植物对土壤硝态氮的摄取量较少,增加了土壤硝态氮的积累^[15]。而植物的生长主要集中在夏秋季,这期间植物对矿质氮的吸收利用致使土壤中的硝态氮含量大大减少。有研究^[16-17]表明,非生长季土壤硝态氮和矿质氮最高值均出现在春季,生长季(6—8 月)则因为植物吸收而大量减少。造成土壤可溶性氮组分时空差异的原因,主要在于植被对土壤可溶性氮组分吸收存在季节性差异^[18]。

土壤可溶性有机氮是土壤活性氮库的主要成分,3—6 月温度逐渐升高,土壤微生物活动增强,促使土壤动植物残体分解,增加土壤氮的可溶性^[19]。本研究表明,6—9 月土壤可溶性有机氮呈现下降趋势,这与赵路红等^[18]的研究结果相反。具体原因有待进一步研究。土壤可溶性有机氮与硝态氮含量动态变化趋势相反,此消彼长,丰富了土壤活性氮库,是对外界环境变化的一

种响应^[20-21]。本研究也验证了土壤可溶性氮组分与森林生态系统活动之间存在负相关关系^[22-24]。

4 结论

整个采样期间,黄土丘陵区退耕地 0—30 cm 土壤硝态氮、土壤可溶性有机氮及土壤可溶性全氮含量相比耕地均显著提升,并存在显著的季节性动态变化,除土壤硝态氮外,各氮组分随土层深度变化不显著。其中土壤可溶性有机氮含量从 3—6 月表现出递增的趋势,土壤硝态氮含量则表现出先降低后略微升高的趋势,土壤可溶性有机氮含量季节变化规律与土壤硝态氮含量变化规律相反。土壤可溶性全氮动态变化与土壤可溶性有机氮一致,土壤铵态氮动态变化不显著。沙棘林地土壤可溶性氮含量较杏树林地高,且阳坡高于阴坡。0—30 cm 土壤可溶性氮组分以土壤可溶性有机氮为主,占土壤可溶性全氮组分的 73.3%~99.0%,平均为 89.0%,其次是土壤硝态氮,平均为 9.5%,土壤铵态氮所占比例最少,平均为 1.5%。

参考文献:

[1] 刘苑秋,王芳,柯国庆,等. 江西瑞昌石灰岩山区退耕还林对土壤有机碳的影响[J]. 应用生态学报,2011,22(4):885-890.

[2] Zhao F Z, Kang D, Han G H, et al. Soil stoichiometry and carbon storage in long-term afforestation soil affected by under story vegetation diversity[J]. Ecological Engineering,2015,74:415-422.

[3] 韩新辉,杨改河,佟小刚,等. 黄土丘陵区几种退耕还林地土壤固存碳氮效应[J]. 农业环境科学学报,2012,31(6):1172-1179.

- [4] 高英志,汪诗平,韩兴国,等.退化草地恢复过程中土壤氮素状况以及与植被地上绿色生物量形成关系的研究[J].植物生态学报,2004,28(3):285-293.
- [5] 章宪,范跃新,罗茜,等.凋落物和根系处理对杉木人工林土壤氮素的影响[J].亚热带资源与环境学报,2014,9(2):39-44.
- [6] 丁咸庆.亚热带典型森林土壤有机氮、可溶性和溶解性有机氮(SON/DON)特征研究[D].长沙:中南林业科技大学,2016.
- [7] 肖好燕,刘宝,余再鹏,等.亚热带典型林分对表层和深层土壤可溶性有机碳、氮的影响[J].应用生态学报,2016,27(4):1031-1038.
- [8] 赵路红,李昌珍,康迪,等.黄土丘陵区退耕地土壤可溶性氮组分季节变化与水热关系[J].生态学报,2018,38(2):689-697.
- [9] 张彪,高人,杨玉盛,等.万木林自然保护区不同林分土壤可溶性有机氮含量[J].应用生态学报,2010,21(7):1635-1640.
- [10] 杨绒.土壤中可溶性有机氮含量及影响因素研究[D].陕西 杨凌:西北农林科技大学,2006.
- [11] 鲍士旦.土壤农化分析[M].3版.北京:中国农业出版社,2000:14-38.
- [12] Loreau M, Naeem S, Inchausti P, et al. Biodiversity and ecosystem functioning: Current knowledge and future challenges[J]. Science, 2001, 294(5534):804-808.
- [13] 王春阳,周建斌,董燕婕,等.黄土区6种植物凋落物与不同形态氮素对土壤微生物量碳氮含量的影响[J].生态学报,2010,30(24):7092-7100.
- [14] Pajuste K, Frey J. Nitrogen mineralisation in podzol soils under boreal Scots pine and Norway spruce stands[J]. Plant and Soil, 2003, 257(1):237-247.
- [15] 陈哲,杨世琦,张晴雯,等.冻融对土壤氮素损失及有效性的影响[J].生态学报,2016,36(4):1083-1094.
- [16] Wei X R, Shao M A, Fu X L, et al. The effects of land use on soil N mineralization during the growing season on the northern Loess Plateau of China[J]. Geoderma, 2011, 160(3/4):590-598.
- [17] Uri V, Lohmus K, Kund M, et al. The effect of land use type on net nitrogen mineralization on abandoned agricultural land: Silver birch stand versus grassland[J]. Forest Ecology and Management, 2008, 255(1):226-233.
- [18] 赵路红,李昌珍,康迪,等.黄土丘陵区植被恢复对土壤可溶性氮组分的影响[J].生态学报,2017,37(10):3533-3542.
- [19] 马红亮,闫聪微,高人,等.林下调落物去除与施氮对针叶林和阔叶林土壤氮的影响[J].环境科学研究,2013,26(12):1316-1324.
- [20] 寇萌,焦菊英,尹秋龙,等.黄土丘陵沟壑区主要草种枯落物的持水能力与养分潜在归还能力[J].生态学报,2015,35(5):1337-1349.
- [21] McKinley D C, Rice C W, Blair J M. Conversion of grassland to coniferous woodland has limited effects on soil nitrogen cycle processes[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2008, 40(10):2627-2633.
- [22] Gelfand I, Yakir D. Influence of nitrite accumulation in association with seasonal patterns and mineralization of soil nitrogen in a semi-arid pine forest[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2008, 40(2):415-424.
- [23] 宋飘,张乃莉,马克平,等.全球气候变暖对凋落物分解的影响[J].生态学报,2014,34(6):1327-1339.
- [24] 王新源,赵学勇,李玉霖,等.环境因素对于旱半干旱区凋落物分解的影响研究进展[J].应用生态学报,2013,24(11):3300-3310.