

# 荒漠草原人工柠条林重建的土壤养分效应

宋乃平<sup>1,2</sup>, 杨新国<sup>1,2</sup>, 何秀珍<sup>1,2</sup>, 何彤慧<sup>1,2</sup>, 李勇<sup>1,2</sup>, 刘孝勇<sup>1,2</sup>

(1. 西北土地退化与生态恢复国家重点实验室培育基地, 宁夏 银川 750021;

2. 西北退化生态系统恢复与重建教育部重点实验室(宁夏大学), 宁夏 银川 750021)

**摘要:** 采用时空互代方法, 构建了由天然草地和 7, 12, 27 a 柠条林组成的序列, 对其下土壤有机质、全氮、碱解氮、有效磷进行了研究。结果表明: (1) 0—200 cm 土壤剖面上的有机质含量由草地、幼龄林、中龄林、老龄林依次增加, 有机质含量增加的显著程度随着林龄的增加在更深土层上体现。(2) 全氮含量由草地到幼龄林阶段显著增加, 由幼龄林到中龄林再到老龄林依次减少。幼龄林、中龄林、老龄林之间全氮含量减少的最大幅度随林龄增加向土壤深层移动。碱解氮与全氮具有一致的规律。(3) 整个土壤剖面上有效磷含量依次为: 老龄林 < 幼龄林 < 中龄林 < 草地。(4) 3 个不同林龄的柠条林的有机质、全氮、有效磷在柠条行内和行间的空间差异均不显著。柠条行内与行间的有机质和全氮相关程度很高, 有效磷相关性不显著。

**关键词:** 人工柠条林; 土壤养分效应; 荒漠草原

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2012)04-0021-06

中图分类号: S157.5

## Soil Nutrient Effect of Desert Steppe Reconstructed by Artificial *Caragana Microphylla* Stand

SONG Nai-ping, YANG Xin-guo, HE Xiu-zhen, HE Tong-hui, LI Yong, LIU Xiao-yong

(1. Cultivation Base for State Key Lab. of Restoration and Reconstruction of Degraded Ecosystem in Northwestern China, Yinchuan, Ningxia 750021, China; 2. Key Lab. for Restoration and Reconstruction of Degraded Ecosystem in Northwestern China of Ministry of Education, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021, China)

**Abstract:** Using spatiotemporal substitution method, we constructed a sequence which was formed by natural grassland and *Caragana microphylla* stands of 7(young), 12(intermediately aged) and 27(old) years old. In addition, we measured and analyzed the variations of the soil nutrients including organic matter, total nitrogen, alkali-hydro nitrogen, and available phosphorus. The results show that: (1) The soil organic matter contents within 0—200 cm displayed an ascending order of the cover as meadows < young stand < intermediately aged stand < old stand; the increasing trend of organic matter was more significant in the deeper layers. (2) The grassland soil had lower total nitrogen contents than the soil of young *Caragana microphylla* stand. The total nitrogen contents in the soils decreased with the increase of the forests age, as the biggest difference was found between the young and intermediately aged stands. Alkali-hydro nitrogen showed the exactly same trend as total nitrogen. (3) The available phosphorus content in the whole soil profile is: aged forests < young forests < middle-aged forests < meadows. (4) The spatial variability of all the variables in the three differently aged *Caragana microphylla* forests was not significant in the rows and between the rows. The degree of correlation was found high between organic matter and total nitrogen, and low between alkali-hydro nitrogen and available phosphorus.

**Keywords:** artificial *Caragana microphylla* stand; soil nutrient effect; desert steppe

柠条(*Caragana microphylla*)因其蒸腾速率低、生态重建,特别是退耕还林和退牧还草中应用广泛<sup>[1-2]</sup>。据估计,内蒙古、陕西、山西、甘肃、新疆、宁夏抗逆性强等特点,已经被广泛用于干旱半干旱地区的

收稿日期:2011-10-14

修回日期:2011-11-01

资助项目:国家重点基础研究(973)研究发展计划前期专项“北方农牧交错典型脆弱区生态环境变化过程及驱动力研究”(2009CB426304); 国家自然科学基金项目(30960075)

作者简介:宋乃平(1963—),男(汉族),陕西省扶风县人,博士,教授,研究方向为土地利用与生态过程。E-mail:songnp@163.com。

等省区柠条林面积至少在  $1.33 \times 10^6 \text{ hm}^2$  以上。地处荒漠草原与干草原带的宁夏回族自治区盐池县 2010 年柠条林面积达到  $1.50 \times 10^5 \text{ hm}^2$ , 占该县林木面积的 60%。随着景观结构的显著变化, 多年生人工林草地土壤旱化和地力衰退已成为林草植被建设的重大科学问题之一<sup>[3]</sup>。对于柠条林的土壤养分效应, 已经开展了大量研究。牛西午等<sup>[4]</sup>研究发现, 随着柠条生长年限的增长, 土壤速效性养分和微量元素含量呈下降趋势。刘增文<sup>[5]</sup>等研究得到全氮、全磷、全钾和有机质随年限增加没有显著差异的结论。王生芳等<sup>[6]</sup>研究发现, 4 龄以下的柠条属消耗土壤养分阶段, 5 龄以上的柠条土壤全磷、全氮和有机质大幅度提高。目前的大多数研究是在黄土区开展的, 缺乏对于荒漠草原区的研究。脆弱生态系统中, 土壤养分与植被之间存在着密切的相互联系。本研究针对该区土壤有机质和氮、磷元素含量低的状况, 开展人工柠条林重建荒漠草原的土壤养分效应研究, 为柠条林营造和抚育管理提供科学依据。

## 1 研究区概况和研究方法

### 1.1 研究区概况

研究区位于盐池县城东北约 3 km 的皖记沟村, 地貌为鄂尔多斯缓坡起伏高原。气候特点为干旱少雨, 蒸发量大, 冬春两季风大沙多。1954—2010 年年

平均气温为  $8.46 \text{ }^\circ\text{C}$ , 年降水量为 276.3 mm, 年日照时数为 2 862.6 h。地表植被属荒漠草原, 沙生特征明显。土壤以有机质含量低、易沙化的淡灰钙土和风沙土为主。地表水与地下水资源匮乏。20 世纪 60 年代以来, 由于人类活动加剧, 土地沙化面积仍不断扩大。1970 年代开始栽植柠条治理沙漠化, 具有多个年代的柠条林。

### 1.2 研究方法

选择栽植 7 a(2003 年种植), 12 a(1998 年种植), 27 a(1983 年种植) 柠条林分别代表幼龄林、中龄林和老龄林, 选取临近天然草地为对照, 构建一个时空互代研究样本序列。对柠条的密度(单位面积的株丛数、柠条的高度、冠幅、地茎、每丛株数)和当年枝叶等进行观测。在柠条丛的冠幅边缘和柠条行中间, 用土钻按每 20 cm 取 0—200 cm 土层的土样, 用于土壤养分分析。每个年龄的柠条林尽可能选择密度接近、柠条株丛大小相近的地点, 做 3 个重复(表 1)。观测于柠条生长末期的 2010 年 10 月 7—9 日进行。

土壤有机质采用重铬酸钾容量法—外加热法, 全氮采用半微量开氏法, 碱解氮采用 NaOH— $\text{H}_3\text{BO}_3$  法, 速效磷采用 0.5 mol/L 碳酸氢钠浸提—钼锑抗比色法分析。试验数据采用 Excel 作图和 SPSS 软件中的单因素方差分析方法(one-way ANOVA)进行统计分析。

表 1 研究区柠条林样地特征

柠条林类型	柠条密度/ (丛· $\text{hm}^{-2}$ )	植丛大小(冠幅 ×高度/cm)	行距/m	地径/ mm	分枝数	行内取样点距灌 丛中心距离/cm	行间取样点距灌 丛中心距离/cm
幼龄林 (7 a)	2 655, 2 520, 3 015	116×108×73 152×136×116 114×92×73	6	6~15 4~20 5~10	16, 14, 17	70, 75, 55	300, 300, 300
中龄林 (12 a)	975, 960, 915	150×150×130 183×170×127 126×125×133	10	5~20 10~20 6~10	15, 22, 46	70, 80, 60	500, 500, 500
老龄林 (27 a)	1 020, 990, 990	210×220×140 160×151×90 216×206×106	4.5	10~30 6~14 15~25	32, 39, 49	110, 80, 110	225, 225, 225

## 2 结果与分析

### 2.1 不同林龄的柠条林土壤养分特征

2.1.1 不同林龄的柠条林土壤有机质含量变化 表 2 为各林龄组中各土层的土壤有机质含量的测定结果。从表 2 可以看出, 整个土壤剖面有机质含量由草地、幼龄林、中龄林、老龄林依次增加, 尤其是 60 cm 以下土层的有机质含量呈现出明显的规律性。表层有机质受枯枝落叶和草本植物的补充, 含量较高。表

层和次表层有机质含量已经超过了本地荒漠草原的平均值<sup>[7]</sup>。0—100 cm 土层的有机质含量差异大, 100 cm 以下有机质含量比较稳定。柠条的轴根型根系穿透力很强, 明显增加了土壤深层有机质。随着林龄的增加, 各林间在更深土壤层次上体现有机质的差别。幼龄林与草地之间的有机质含量差别主要体现在 0—60 cm 土层, 中龄林与幼龄林之间的差别主要体现在 120—200 cm 土层, 老龄林与中龄林之间的差别主要体现在 60—120 cm 土层。

表 2 研究区各林龄组之间有机质含量差异分析

g/kg

土层深度/cm	老龄林	中龄林	幼龄林	草地
0—20	4.99±1.60 <sup>ac</sup>	4.26±1.41 <sup>b</sup>	6.41±1.85 <sup>ab</sup>	4.16±1.91 <sup>c</sup>
20—40	5.20±1.32 <sup>a</sup>	4.97±2.86 <sup>ac</sup>	3.28±1.07 <sup>bc</sup>	2.58±0.89 <sup>b</sup>
40—60	3.90±0.51 <sup>a</sup>	3.55±0.90 <sup>ab</sup>	3.95±2.36 <sup>a</sup>	1.76±0.51 <sup>b</sup>
60—80	4.43±1.12 <sup>a</sup>	3.07±1.32 <sup>ab</sup>	2.60±1.35 <sup>b</sup>	2.15±1.40 <sup>ab</sup>
80—100	3.71±0.50 <sup>a</sup>	2.95±1.14 <sup>b</sup>	2.26±0.76 <sup>b</sup>	1.73±0.96 <sup>b</sup>
100—120	3.23±0.45 <sup>a</sup>	2.54±0.92 <sup>a</sup>	2.31±0.99 <sup>a</sup>	2.15±1.11 <sup>a</sup>
120—140	2.96±0.59 <sup>a</sup>	2.53±0.82 <sup>ab</sup>	1.64±0.63 <sup>b</sup>	2.16±1.33 <sup>ab</sup>
140—160	2.70±0.38 <sup>a</sup>	2.64±0.99 <sup>a</sup>	1.69±0.66 <sup>b</sup>	1.66±0.42 <sup>b</sup>
160—180	2.42±0.53 <sup>a</sup>	2.61±1.11 <sup>a</sup>	1.78±0.41 <sup>b</sup>	1.26±0.17 <sup>b</sup>
180—200	4.99±1.60 <sup>ac</sup>	4.26±1.41 <sup>b</sup>	6.41±1.85 <sup>ab</sup>	4.16±1.91 <sup>c</sup>

注:同行不同小写字母表示林龄间差异显著( $p < 0.05$ )。下同。

2.1.2 不同林龄的柠条林土壤全氮含量变化 从整个土壤剖面来看,全氮含量由草地到幼龄林阶段显著增加,由幼龄林到中龄林阶段减少,由中龄林到老龄林阶段显著减少。这种规律在 80 cm 以下的土层中表现最为明显。全氮向土壤浅层的集中程度由老龄林、中龄林、幼龄林到草地依次下降。在剖面分布上,全氮含量都由表层向深层递减,草地显著减少的位置

在 0—40 cm 土层,幼龄林显著减少的位置在 40—100 cm 土层,中龄林显著减少的位置在 60—140 cm 土层,老龄林显著减少的位置在 60—160 cm 土层,显著减少的土层深度和范围加大(表 3)。这种全氮减少的趋势与植物根系伸展有一定的关系,由此推测全氮减少的趋势是由植物消耗主导的。由草地、幼龄林、中龄林到老龄林全氮含量由表层到深层的减少幅度加大。

表 3 研究区各林龄组之间土壤全氮含量差异分析

g/kg

土层深度/cm	老龄林	中龄林	幼龄林	草地
0—20	0.29±0.08 <sup>a</sup>	0.37±0.09 <sup>b</sup>	0.46±0.11 <sup>b</sup>	0.26±0.07 <sup>a</sup>
20—40	0.26±0.11 <sup>ab</sup>	0.33±0.10 <sup>b</sup>	0.36±0.07 <sup>ab</sup>	0.24±0.06 <sup>a</sup>
40—60	0.20±0.05 <sup>ac</sup>	0.27±0.06 <sup>a</sup>	0.36±0.08 <sup>b</sup>	0.18±0.05 <sup>c</sup>
60—80	0.24±0.11 <sup>ab</sup>	0.23±0.06 <sup>ab</sup>	0.32±0.15 <sup>a</sup>	0.18±0.04 <sup>b</sup>
80—100	0.16±0.07 <sup>a</sup>	0.21±0.07 <sup>ab</sup>	0.26±0.06 <sup>b</sup>	0.16±0.08 <sup>b</sup>
100—120	0.11±0.04 <sup>a</sup>	0.19±0.06 <sup>b</sup>	0.24±0.03 <sup>b</sup>	0.19±0.09 <sup>b</sup>
120—140	0.08±0.04 <sup>a</sup>	0.17±0.05 <sup>b</sup>	0.26±0.06 <sup>b</sup>	0.17±0.09 <sup>b</sup>
140—160	0.05±0.02 <sup>a</sup>	0.20±0.10 <sup>b</sup>	0.25±0.06 <sup>b</sup>	0.15±0.06 <sup>a</sup>
160—180	0.05±0.04 <sup>a</sup>	0.19±0.02 <sup>b</sup>	0.23±0.05 <sup>b</sup>	0.13±0.05 <sup>c</sup>
180—200	0.04±0.01 <sup>a</sup>	0.23±0.14 <sup>bc</sup>	0.26±0.10 <sup>b</sup>	0.14±0.06 <sup>c</sup>

2.1.3 不同林龄的柠条林土壤碱解氮含量变化 碱解氮在土壤剖面上整体水平表现为:幼龄林>老龄林>中龄林>草地。0—80 cm 土层碱解氮含量由大到小的顺序为:幼龄林>中龄林>老龄林>草地,80—200 cm 土层碱解氮含量的顺序为:幼龄林>老龄林>草地>中龄林。碱解氮在剖面 0—80 cm 土层范围内均随深度增加呈下降趋势,在 80—200 cm 基本不随土层深度的变化而变化。

整体来说,4 类地的碱解氮在整个剖面上差异不显著。0—100 cm 土层内碱解氮含量略有差异,在 100—200 cm 土层内幼龄林、中龄林、老龄林之间的碱解氮含量差异不明显(表 4)。综上所述,柠条林能够促进土壤碱解氮的形成,但随林龄增加对碱解氮的

消耗而使土壤碱解氮减少。与全氮的情况大体相同。

2.1.4 不同林龄的柠条林土壤有效磷含量变化 各林龄组土壤有效磷的含量情况比较复杂,主要在 140—180 cm 土层的土壤有效磷含量表现出的规律性不强。总体来说,整个土壤剖面上有效磷含量表现为:中龄林<老龄林<幼龄林<草地。在 20—100 cm 土层范围内 3 个不同林龄柠条林的有效磷含量没有显著差异,与草地之间的差异显著。在 100—200 cm 土层幼龄林的有效磷含量与中龄林之间没有显著差异,与草地略有差异,与老龄林存在显著差异(表 5)。说明各林龄段的柠条林对土壤本底磷素的消耗较多,到老龄林阶段对深层土壤中的磷消耗更为显著。原始土壤中磷的含量较高,随着柠条林的生活年

限增加,土壤中的有效磷向植物的转化增多,土壤内部相应减少。

除了各个林龄组土壤表层的有效磷含量较高之

外,草地、幼龄林、中龄林下层土壤的有效磷含量都较高。有效磷含量的变异系数也比较大,尤其是草地和

幼龄林、中龄林的下层土壤。

表 4 研究区各林龄组之间土壤碱解氮含量差异分析

mg/kg

土层深度/cm	老龄林	中龄林	幼龄林	草地
0—20	14.35±7.26 <sup>ab</sup>	15.40±5.35 <sup>a</sup>	19.60±4.75 <sup>a</sup>	9.45±4.05 <sup>b</sup>
20—40	11.78±5.68 <sup>a</sup>	13.42±4.73 <sup>a</sup>	11.90±2.80 <sup>a</sup>	9.22±4.28 <sup>a</sup>
40—60	9.10±3.93 <sup>a</sup>	9.68±7.24 <sup>ac</sup>	11.67±5.14 <sup>bc</sup>	6.18±2.05 <sup>a</sup>
60—80	8.05±4.12 <sup>a</sup>	6.88±2.10 <sup>a</sup>	9.68±5.29 <sup>a</sup>	7.23±3.12 <sup>a</sup>
80—100	10.38±7.29 <sup>a</sup>	4.67±1.45 <sup>b</sup>	7.70±2.97 <sup>ab</sup>	6.77±3.50 <sup>ab</sup>
100—120	10.50±12.81 <sup>a</sup>	4.67±3.18 <sup>a</sup>	7.12±2.54 <sup>a</sup>	6.77±3.56 <sup>a</sup>
120—140	5.48±3.44 <sup>a</sup>	3.97±2.57 <sup>a</sup>	7.82±2.23 <sup>a</sup>	6.42±3.92 <sup>a</sup>
140—160	4.90±3.51 <sup>a</sup>	3.38±0.93 <sup>a</sup>	8.68±6.49 <sup>ab</sup>	6.87±3.54 <sup>b</sup>
160—180	3.27±1.96 <sup>a</sup>	3.50±0.88 <sup>ab</sup>	5.95±3.04 <sup>ab</sup>	6.07±2.82 <sup>b</sup>
180—200	4.43±4.12 <sup>a</sup>	4.32±2.52 <sup>a</sup>	8.75±4.58 <sup>a</sup>	4.67±2.79 <sup>a</sup>

表 5 各林龄组之间土壤有效磷含量的差别

mg/kg

土层深度/cm	老龄林	中龄林	幼龄林	草地
0—20	1.30±0.24 <sup>a</sup>	1.63±0.47 <sup>a</sup>	2.10±0.22 <sup>b</sup>	2.13±0.50 <sup>b</sup>
20—40	0.95±0.64 <sup>a</sup>	0.67±0.21 <sup>a</sup>	0.85±0.29 <sup>a</sup>	1.32±0.68 <sup>b</sup>
40—60	0.37±0.20 <sup>a</sup>	0.60±0.13 <sup>a</sup>	0.70±0.35 <sup>a</sup>	1.30±0.68 <sup>b</sup>
60—80	0.43±0.26 <sup>a</sup>	0.49±0.18 <sup>a</sup>	0.50±0.21 <sup>a</sup>	1.12±1.00 <sup>b</sup>
80—100	0.33±0.16 <sup>a</sup>	0.63±0.23 <sup>a</sup>	0.68±0.20 <sup>ab</sup>	0.95±0.99 <sup>b</sup>
100—120	0.23±0.08 <sup>a</sup>	0.71±0.24 <sup>b</sup>	0.67±0.21 <sup>ab</sup>	0.90±0.71 <sup>c</sup>
120—140	0.50±0.27 <sup>a</sup>	0.80±0.18 <sup>ab</sup>	0.75±0.36 <sup>ab</sup>	0.92±0.59 <sup>b</sup>
140—160	0.30±0.17 <sup>a</sup>	1.20±0.66 <sup>b</sup>	1.47±1.27 <sup>b</sup>	0.63±0.43 <sup>ab</sup>
160—180	0.23±0.08 <sup>a</sup>	1.48±0.56 <sup>b</sup>	1.03±0.82 <sup>b</sup>	0.82±0.68 <sup>ab</sup>
180—200	0.23±0.08 <sup>a</sup>	2.98±1.04 <sup>bc</sup>	1.52±1.60 <sup>a</sup>	1.90±1.16 <sup>c</sup>

## 2.2 柠条林行间和行内养分含量的差异分析

2.2.1 柠条林行间和行内有机质空间分布 柠条老龄林、中龄林、幼龄林的行内与行间各 3 个剖面(重复)的有机质含量空间差异的分析结果详见表 6。柠条行内各土层与行间各土层有机质含量在  $\alpha=0.001$  的置信水平上显著相关(自由度  $f=30$  时,相关系数

的临界值  $r_{\alpha}=0.5974$ )。

各林龄柠条林行内的有机质含量平均值略高于行间,但方差分析结果表明,它们之间没有显著差异( $p>0.05$ )。

从总体上说,随着林龄增加,柠条林对增加土壤有机质含量的作用明显,但在林内空间差异不大。

表 6 柠条林行间和行内有机质空间差异

项目	水分类型	均值	样本数	标准差	相关系数	$p$ 值(Sig.)
老龄林(27 a)	柠条行内	3.632 7	30	1.280 1	0.735	0.861
	柠条行间	3.602 0	30	1.324 6		
中龄林(12 a)	柠条行内	3.323 0	30	1.654 2	0.705	0.060
	柠条行间	3.015 3	30	1.590 3		
幼龄林(7 a)	柠条行内	2.844 0	30	2.180 6	0.781	0.336
	柠条行间	2.600 0	30	1.600 6		

2.2.2 柠条林行间和行内全氮空间分布 表 7 为对柠条老龄林、中龄林、幼龄林的行内与行间各 3 个剖面(重复)的全氮空间差异的分析结果。柠条行内土

壤剖面各层与行间各层全氮含量在  $\alpha=0.001$  的置信水平上显著相关( $f=30, r_{\alpha}=0.5974$ )。老龄林和幼龄林行内的全氮含量平均值略低于行间,中龄林则相

反,但方差分析结果表明,它们之间全氮含量均不存在显著差异( $p < 0.05$ )。

对 2003 年柠条林在分土层检验情况下,160—200 cm 深度( $p = 0.03$ )土壤全氮行内与行间开始出

现显著差异。说明幼龄林由于土层深处的根系固氮作用差异而形成全氮积累的空间差异。从总体上说,随着林龄增加,柠条林土壤全氮含量减少,但在林内空间差异不大。

表 7 柠条林行间和行内土壤全氮空间差异

项目	水分类型	均值	样本数	标准差	相关系数	$p$ 值(Sig.)
老龄林(27 a)	柠条行内	0.142 7	30	0.111 1	0.868	0.426
	柠条行间	0.151 0	30	0.109 0		
中龄林(12 a)	柠条行内	0.276 0	30	0.203 0	0.600	0.216
	柠条行间	0.227 7	30	0.105 5		
幼龄林(7 a)	柠条行内	0.290 3	30	0.098 5	0.685	0.261
	柠条行间	0.308 0	30	0.112 1		

2.2.3 柠条林行间和行内有效磷空间分布 表 8 为对柠条老龄林、中龄林、幼龄林的行内与行间各 3 个剖面(重复)的有效磷空间差异的分析结果。老龄林柠条行内土壤剖面各层与行间各层全氮含量在  $\alpha = 0.001$  的置信水平上显著相关( $f = 30, r_a = 0.597 4$ ),幼龄林在  $\alpha = 0.01$  的置信水平上显著相关( $f = 30, r_a$

$= 0.486 9$ ),中龄林行内与行间有效磷含量不相关(可能是行距大所致)。中龄林和幼龄林行内的有效磷含量平均值略低于行间,老龄林则相反,但方差分析结果表明,它们之间有效磷含量都没有显著差异( $p < 0.05$ )。从总体上说,随着林龄增加,柠条林土壤有效磷含量减少,但在林内空间差异不大。

表 8 柠条林行间和行内土壤有效磷空间差异

项目	水分类型	均值	样本数	标准差	相关系数	$p$ 值(Sig.)
老龄林(27 a)	柠条行内	0.523 3	30	0.430 5	0.740	0.221
	柠条行间	0.453 3	30	0.418 3		
中龄林(12 a)	柠条行内	0.990 0	30	0.742 9	0.040	0.260
	柠条行间	1.130 0	30	1.035 0		
幼龄林(7 a)	柠条行内	0.976 7	30	0.778 0	0.518	0.513
	柠条行间	1.076 7	30	0.893 5		

### 3 结果讨论

随着柠条林的不断生长,土壤有机质含量不断增加;全氮和碱解氮含量在幼龄林阶段增加,在中龄林和老龄林阶段不断下降;有效磷含量持续下降(图 1)。有机质增加和有效磷含量减少的趋势与其他研究的结论较为一致<sup>[4,8-11]</sup>。全氮和碱解氮含量的变化趋势与其他研究成果不同<sup>[12]</sup>甚至相反<sup>[6]</sup>。本研究多种养分的综合变化趋势与一些研究得出的有机质与氮、磷、钾元素含量呈显著正相关关系也有不同<sup>[8-9]</sup>。

由于柠条根系的作用以及枯枝落叶的分解和矿化,土壤有机质含量提高<sup>[4]</sup>。柠条林地的氮素含量取决于根系消耗与有机质分解和根瘤固氮作用的平衡。柠条生长对氮素的需要量最大,对林地氮素的吸收系数(即利用率)最高,而通过生物循环对氮素归还率最低(即循环速度最慢)<sup>[13]</sup>。荒漠草原地区本底氮素含量严重缺乏,土壤 pH 值普遍在 8.5~8.7 之间<sup>[7]</sup>,对

于土壤有机质的分解和转化不利,可能导致供氮不敷耗氮。

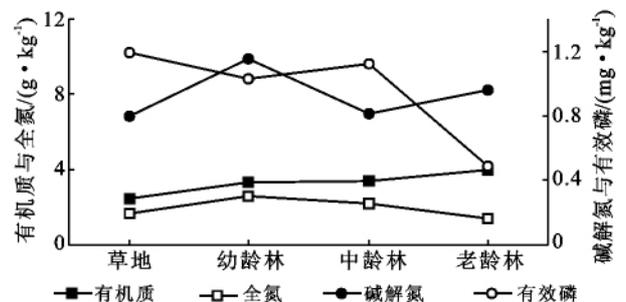


图 1 柠条林与对照(草地)的养分变化趋势

随着林龄的增加,不仅是微量元素的减少,氮、磷等常量元素含量也在减少,这是荒漠草原不同于黄土高原的一个重要特征。牛西午等<sup>[4]</sup>研究认为,对柠条林进行平茬或间伐,降低郁闭度,提高土壤的生物活性,加速土壤养分矿化速率,可在一定程度内满足柠

条林对土壤养分的需求。间伐更符合荒漠草原的实际,因为平茬会带走大量养分。

Schlesinger 与 Reynolds<sup>[14]</sup>对美国新墨西哥州的灌丛群落研究表明,土壤 N、P 和有机碳等在“肥岛”内的含量显著高于灌丛间的相同土层,其中 0—30 cm 土层有机碳含量是灌丛间相同土层的 6 倍,离灌木中心距离越远,土壤中有效氮的含量越低。张强等人<sup>[10]</sup>的研究表明黄土高原柠条林有明显的“肥岛效应”。赵哈林等人<sup>[15-16]</sup>在科尔沁沙地也发现灌丛下土壤和根际土壤的养分存在“肥岛效应”,小叶锦鸡儿的“肥岛效应”比盐蒿、黄柳等灌丛更加明显。本研究通过柠条行内和行间养分比较得出的“肥岛效应”不显著。这一方面是由于柠条在中龄林和老龄林阶段对荒漠草原区土壤养分消耗较大造成的;另一方面,据张莉等人<sup>[17]</sup>的研究,柠条根系在距树基 0—60 cm 范围内分布了总根量的 78.58%,距树基越远,根量所占比例就越小。史建伟等<sup>[18]</sup>在山西省黄土高原对 30 a 生柠条细根的测量结果显示,距茎秆水平距离 100 cm 处的根长密度是 50 cm 处(细根根长密度最大处)的 71.86%。对照表 1,采样点位距柠条主根较远缩小了柠条行内与行间的养分差异。但这主要体现在有机质以及柠条幼龄林阶段。由此得出,柠条养分在生长时间与栽植空间上相互作用,相互统一,形成了现有的养分格局。

## 4 结论

(1) 0—200 cm 土壤剖面上的有机质含量由草地、幼龄林、中龄林、老龄林依次增加,有机质增加的显著程度随着林龄的增加在更深土层上体现。说明随着柠条林龄增加对有机质的积累增加,在更深的土层中体现。

(2) 全氮含量由草地到幼龄林阶段显著增加,由幼龄林到中龄林再到老龄林依次减少。幼龄林、中龄林、老龄林之间全氮含量减少的最大幅度随林龄增加向土壤深层移动。说明柠条生长初期阶段全氮积累明显,而随着柠条林龄的进一步增加,氮的消耗大于积累,土壤全氮含量减少。碱解氮与全氮具有一致的规律。

(3) 整个土壤剖面上有效磷含量顺序为:老龄林 < 幼龄林 < 中龄林 < 草地。说明柠条林生长过程中一直在消耗土壤本底磷素而没有积累,到老龄林阶段对深层土壤中的磷消耗更为显著。

(4) 3 个不同林龄的柠条林的有机质、全氮、有效磷在柠条行内和行间的空间差异均不显著。柠条行内与行间的有机质和全氮相关程度很高,有效磷相关

性不显著。说明柠条林在行距不超过 10 m 时,能够同时增加或减少有机质、全氮、有效磷的含量。

## [参 考 文 献]

- [1] 李小芳,李军,王学春,等. 半干旱黄土丘陵区柠条林水分生产力和土壤干燥化效应模拟研究[J]. 干旱地区农业研究,2007,25(3):113-119.
- [2] 王孟本,李洪建,柴宝峰. 柠条的水分生理生态学特性[J]. 植物生态学报,1996,20(6):494-501.
- [3] 郭忠升,邵明安. 半干旱区人工林草地土壤旱化与土壤水分植被承载力[J]. 生态学报,23(8):1640-1647.
- [4] 牛西午,张强,杨治平,等. 柠条人工林对晋西北土壤理化性质变化的影响研究[J]. 西北植物学报,2003,23(4):628-632.
- [5] 刘增文,李素雅. 黄土丘陵区柠条林地养分状况及其循环规律[J]. 生态学杂志,1997,16(6):27-29.
- [6] 王生芳,何世玉. 柠条人工林地土壤肥力的评价[J]. 试验研究,1998(3):29-31.
- [7] 胡双熙,申元村,刘卓澄. 黑垆土和灰钙土的发生特征与林业的关系:以盐池县为例[C]//王一谋. 再生资源遥感应用研究文集. 北京:科学出版社,1991:130-138.
- [8] 张振国,黄建成,焦菊英,等. 黄土丘陵沟壑区退耕地人工柠条林土壤养分特征及其空间变异[J]. 水土保持通报,2007,27(5):114-120.
- [9] 安韶山,黄懿梅. 黄土丘陵区柠条林改良土壤作用的研究[J]. 林业科学,2006,42(1):70-73.
- [10] 张强,程滨,杨治平,等. 芦芽山鬼箭锦鸡儿灌丛营养特征及土壤养分分布规律[J]. 应用生态学报,2006,17(12):2287-2291.
- [11] 苏永中,赵哈林,张铜会,等. 科尔沁沙地不同年代小叶锦鸡儿人工林植物群落特征及其土壤特征[J]. 植物生态学报,2004,28(1):93-100.
- [12] 陈芸芸. 人工柠条灌丛下草地土壤养分动态特征的研究[J]. 漳州师范学院学报:自然科学版,2006(3):83-88.
- [13] 刘增文,李雅素. 黄土丘陵区柠条林地养分状况及其循环规律[J]. 生态学杂志,1997,16(6):27-29.
- [14] William H S, James F, Reynolds G L, et al. Biological feedbacks in global desertification[J]. Science, 1990, 247(4946):1043-1048.
- [15] 赵哈林,赵学勇,张铜会,等. 沙漠化的生物过程及退化植被的恢复机理[M]. 北京:科学出版社,2007:238-244.
- [16] 曹成有,蒋德明,阿拉木萨,等. 小叶锦鸡儿人工固沙区植被恢复生态过程的研究[J]. 应用生态学报,2000,11(3):349-354.
- [17] 张莉,吴斌,丁国栋,等. 毛乌素沙地沙柳与柠条根系分布特征对比[J]. 干旱区资源与环境,2010,24(3):158-161.
- [18] 史建伟,王孟本,陈建文,等. 柠条细根的空间分布特征及其季节动态[J]. 生态学报,2011,31(3):726-733.