

沙棘人工林衰败对林地土壤氮矿化速率的影响

陈金泉, 赵 忠*, 李玉新

(西北农林科技大学 西部环境与生态教育部重点实验室, 陕西 杨陵 712100)

摘 要:通过测定和比较不同生长发育阶段(8、13、18 a)沙棘人工林土壤氮矿化速率,结合林分结构和天然更新能力,研究了沙棘林衰败对土壤氮矿化速率的影响,期望为该区沙棘人工林的健康评价和科学经营提供理论依据。结果显示,沙棘人工林健康状况随林龄的增长呈正态曲线变化;土壤氮矿化速率与土层深度呈负相关,与全氮含量和碱解氮含量呈极显著相关;不同发育阶段沙棘人工林土壤氮矿化速率与其健康状况相呼应,且都随林龄的增长呈正态曲线变化;不同林龄土壤氮矿化速率大小依次为:13 a>18 a>8 a。

关键词:沙棘人工林;土壤氮矿化速率;林分结构;天然更新

中图分类号:S714.5 文献标志码:A 文章编号:1001-7461(2011)02-0052-05

Effects of Degradation of *Hippophae rhamnoides* Plantation on Soil Nitrogen Mineralization Rate

CHEN Jin-quan, ZHAO Zhong*, LI Yu-xin

(Key Laboratory of Environment and Ecology in West China, Ministry of Education,
Northwestern A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract:By measuring and comparing soil N mineralization rates of the soils of *Hippophae rhamnoides* plantation with different growth stages (8 a, 13 a, 18 a), combining with the investigation of forest structure and natural regeneration capacity, effects of the degradation of *H. rhamnoides* plantation on soil nitrogen mineralization rate were studied to provide theoretical basis for the health evaluation and scientific management the plantations. The results showed that the health status of *H. rhamnoides* plantation was in a normal growth curve with the age. Soil nitrogen mineralization rate showed a negative correlation with the soil depth and a highly significant correlation with the soil total nitrogen, available nitrogen. The soil nitrogen mineralization rates of the plantations at different growth stages were related to their health status, and they both showed a normal curve with the age. The order of soil nitrogen mineralization rate of different growth stages was 13 a> 18 a> 8 a.

Key words: *Hippophae rhamnoides* plantation; soil nitrogen mineralization rate; stand structure; natural regeneration capacity

沙棘(*Hippophae rhamnoides*)为胡颓子科沙棘属的落叶灌木或小乔木,又名沙枣、酸柳果、酸柳、其察日嘎察(蒙名)、达普(藏名)、吉汉(维吾尔名)^[1]。沙棘属植物有7种11亚种,我国分布有7

收稿日期:2010-03-22 修回日期:2010-05-31

基金项目:国家“十一五”科技支撑计划项目(2006BAD03A1207)。

作者简介:陈金泉,男,硕士研究生,主要从事森林培育研究。E-mail:283001776@qq.com

* 通讯作者:赵 忠,男,教授,博士生导师,主要从事半干旱地区植被恢复与重建研究。E-mail: zhaozh@nswsuaf.edu.cn

种 7 亚种^[2],是沙棘属植物种质资源最丰富的国家,总面积居世界各国之首,占世界沙棘总面积的 95%,达 140 万 hm²^[3],其中天然林约占 70%,人工林约占 30%,山西、陕西、甘肃 3 省沙棘林面积约占全国 2/3^[4]。

沙棘具有很强的萌蘖更新能力,根系能与土壤中的固氮放线菌形成根瘤,具有固氮的功能,在改良林地土壤,防止水土流失等方面发挥着重要的作用,是黄土高原优良的造林树种。沙棘还是生产多种保健食品、抗衰老类和可供医治人体多种疾病的天然药用资源^[5]。

目前,虽有许多学者对沙棘进行了大量的研究,但主要集中在沙棘抗旱生理特性、林地土壤水分、根系分布、分蘖、固氮、种群生物量动态等方面^[6-10],对沙棘林衰败机理的研究很少,有关沙棘人工林衰败对沙棘林生态系统氮循环影响的研究至今未见报道。

土壤的氮矿化是指土壤有机质碎屑中的氮素,在土壤动物和微生物的作用下,由难以被植物吸收利用的有机态转化为可被植物直接吸收利用的无机态(铵态氮和硝态氮)的过程^[11-13]。氮矿化可视为森林生态系统氮循环的开始,其速率决定了土壤中用于植物生长的氮素的可利用性,对研究人工林氮循环和生产力有着重要意义。

本研究以陕西省永寿县马莲滩流域 8、13 a 和

18 a 沙棘人工林为研究对象,通过测定和比较不同生长发育阶段沙棘人工林土壤氮矿化速率,结合林分结构和天然更新能力的调查,研究了沙棘林衰败对土壤氮矿化速率的影响,期望为该区沙棘人工林的健康评价和科学经营提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究地概况

研究地点位于陕西省永寿县渡马乡马莲滩流域,地理位置在 108°08′~108°10′E、34°49′~34°47′N,海拔 1 116~1 276 m。该区属温带大陆性季风气候,年平均气温 10.8℃,年极端最高气温 38.9℃,极端最低气温-18℃,≥10℃积温 3 470.3℃;年均无霜期 210 d,最长 252 d,最短 155 d;年平均降雨量 6 01.6 mm,自然降水分布不均,冬春干旱,夏秋多雨。雨季多集中于 7、8、9 月,总降雨量为 306~347 mm,占全年雨量的 52.2%~52.6%;年平均自然植被蒸腾蒸发量 807.4 mm。

1.2 林分调查

2009 年 7 月,在研究地选取立地条件相同,分别处于幼林(8 a)、中龄林(13 a)和成熟林(18 a)生长发育阶段的沙棘人工林各 3 块。在每块林分中,分别设置面积为 20 m×20 m 的样地,对林分的郁闭度(覆盖度)、密度(包括活立木和枯立木)、天然更新情况、胸(地)径、树高和冠幅等进行调查(表 1)。

表 1 沙棘人工林样地概况

Table 1 Survey of sample plots of *H. rhamnoides* plantations at Yongshou County

| 样地 编号 | 林龄 /a | 郁闭(覆盖度) /% | 平均树高 /m | 平均直径 /cm | 平均冠幅/m | | 密度 /(株·hm ⁻²) | 枯立木数 /(株·hm ⁻²) | 更新幼苗数 /(株·hm ⁻²) | 枝下高 /m |
|----------|----------|---------------|------------|-------------|--------|-----|------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|-----------|
| | | | | | 东西 | 南北 | | | | |
| 1-1 | 8 | 85 | 2.5 | 4.1 | 1.6 | 1.5 | 6 400 | 350 | 1 700 | / |
| 1-2 | 8 | 90 | 3.0 | 3.7 | 1.8 | 1.7 | 6 150 | 125 | 1 600 | / |
| 1-3 | 8 | 90 | 1.9 | 4.1 | 1.2 | 1.2 | 6 400 | 450 | 1 400 | / |
| 2-1 | 13 | 75 | 3.4 | 5.4 | 2.6 | 2.6 | 4 875 | 1 400 | 950 | 0.8 |
| 2-2 | 13 | 80 | 2.8 | 5.0 | 2.1 | 2.3 | 4 800 | 1 175 | 750 | 0.7 |
| 2-3 | 13 | 75 | 3.4 | 5.1 | 2.3 | 2.4 | 4 750 | 1 300 | 800 | 0.8 |
| 3-1 | 18 | 80 | 5.0 | 9.3 | 2.1 | 2.1 | 3 600 | 2 200 | 200 | 3.7 |
| 3-2 | 18 | 90 | 5.5 | 9.6 | 3.0 | 3.0 | 3 425 | 2 575 | 250 | 3.6 |
| 3-3 | 18 | 90 | 4.7 | 11.8 | 2.6 | 3.2 | 4 100 | 1 975 | 275 | 3.7 |

注:样地编号中“-”前 1、2、3 分别代表 8 a、13 a、18 a,“-”后的 1、2、3 代表样地号。

1.3 土样采集及理化性质测定

在上述各样地内沿对角线选取 5 个点,分 0~10 cm、10~30 cm、30~50 cm 3 个不同土层,采用环刀法测定土壤容重,同时采集土样,风干后过 18

目筛备用。全氮含量采用凯氏法(瑞典产 1026 型定氮仪)测定,碱解氮含量采用碱解扩散法测定(表 2)。

表 2 不同林龄沙棘林土壤理化性质

Table 2 Physico-chemical characters of the soils of *H. rhamnoides* plantations

| 林龄 /a | 土层深度 /cm | 容重 /(g·cm ⁻³) | pH | 全氮 /% | 碱解氮 /(mg·kg ⁻¹) |
|----------|-------------|------------------------------|-----------|-------------|--------------------------------|
| 8 | 0~10 | 1.27±0.03 | 8.42±0.21 | 0.127±0.011 | 70.17±8.69 |
| | 10~30 | 1.35±0.06 | 8.67±0.12 | 0.062±0.004 | 24.25±2.11 |
| | 30~50 | 1.37±0.04 | 8.48±0.31 | 0.045±0.001 | 12.28±0.68 |
| 13 | 0~10 | 1.16±0.07 | 8.31±0.08 | 0.172±0.028 | 103.50±18.77 |
| | 10~30 | 1.31±0.03 | 8.57±0.12 | 0.100±0.016 | 49.56±10.19 |
| | 30~50 | 1.38±0.00 | 8.67±0.12 | 0.068±0.013 | 26.20±6.90 |
| 18 | 0~10 | 1.21±0.09 | 8.32±0.08 | 0.168±0.021 | 87.71±13.36 |
| | 10~30 | 1.32±0.05 | 8.66±0.24 | 0.073±0.006 | 27.19±5.48 |
| | 30~50 | 1.36±0.07 | 8.63±0.15 | 0.054±0.005 | 15.02±3.84 |

1.4 土壤氮矿化速率测定

采用离子交换膜埋植培养法测定。离子交换膜采用浙江千秋环保水处理有限公司生产的聚乙烯阴离子交换膜,干燥状态下厚度为 0.42 mm,交换容量(exchange capacity)为 1.8 mol·kg⁻¹。试验区主要为石灰性土壤,存在于石灰性土壤的矿质氮主要为硝态氮,所以试验选取阴离子交换膜进行氮矿化速率的测定。

1.4.1 离子交换膜预处理 将阴离子交换膜裁成 6 cm×4 cm 的长方形小片,放入 95%乙醇中浸泡 2~3 h,然后放入 0.5 mol·L⁻¹的 NaHCO₃溶液内浸泡 2 d,中途换 NaHCO₃溶液 3~5 次,使膜被 Na⁺及 HCO₃⁻饱和,饱和后放入蒸馏水中备用。

1.4.2 离子交换膜埋植培养 取 130 g 风干土放入 12 cm×9 cm×5 cm 塑料盒中,设置一定的含水量为 14.7%(当地土壤田间持水量的 70%),将处理好的离子交换膜夹在中间,压实使之与土壤充分接触,然后迅速用保鲜膜将盒子包裹,以防大量水分散失,在保鲜膜上均匀扎 10 个直径为 0.1 mm 的小孔以保证其通气,于室温下连续培养。分别于第 10 天、20 天、30 天取出离子交换膜,用去离子水洗净膜表面附着的土粒,放入 30 mL 0.5 mol·L⁻¹的 HCl 溶液震荡解吸 90 min。

1.4.3 解吸液测定及矿化速率单位 解吸液用 NY/T 1116-2006 紫外分光光度计法。将解吸液加蒸馏水稀释 30 倍,在 210 nm 波长下测定硝态氮浓度。紫外分光光度计为日本 Shimadzu 公司产 UV-1700 型。氮矿化速率单位采用培养一段时期内每平方厘米离子交换膜上每天所吸附的氮量来表示(μg·cm⁻²·d⁻¹)。

1.5 数据分析

试验数据处理用 Excel 2003 和 DPS 7.05 数据处理软件完成。

2 结果与分析

2.1 不同林龄沙棘人工林分结构和天然更新能力

林分结构是指树种和树木大小在一个林分或林区的分布状态^[14]。一个林地的林分结构可以用平均胸径、直径分布、林分密度、林分蓄积及其他数量信息等特征来描述^[15],林分结构的合理与否与其生产力、健康状况及养分循环等都紧密相关。表 1 综合显示了不同林龄沙棘人工林林分结构差异,随沙棘林龄的增长,沙棘密度及天然更新密度都逐渐下降,相反,其枯立木株数却逐渐增加,枝下高也随着平均树高和平均冠幅的增加而逐渐升高。表明随着林龄的增加,沙棘林分的结构变的不合理,健康状况变差。天然更新能力是林分健康状况的一个重要指标,随林龄的增长,沙棘林天然更新密度逐渐减少,18 a 沙棘林天然更新极少。综合不同林龄沙棘林分结构和天然更新能力可以判断,该区 18 a 沙棘林已进入衰败期,这与李甜江^[16]等人关于沙棘生长动态的研究结论基本一致。

2.2 培养时间与累积氮矿化量

图 1 可以看出,随离子交换膜埋植培养时间的增加,不同生长发育阶段的沙棘人工林不同深度土层所累积的氮矿化量也随之增加,其中培养 10 d 净矿化量最大,培养 20 d 和 30 d 的净矿化量较平稳,这是由于培养前的土壤中存在一部分矿质氮,而这部分矿质氮很容易被离子交换膜所吸附。图 1 还可以看出,土层越深氮累积矿化量越小,而且 10~30 cm 和 30~50 cm 土层培养 20 d 和 30 d 的净矿化量

很小,这是由于随土层深度的增加,土壤透气性逐渐降低,可供降解的有机质含量、微生物数量及其活性迅速下降的缘故。

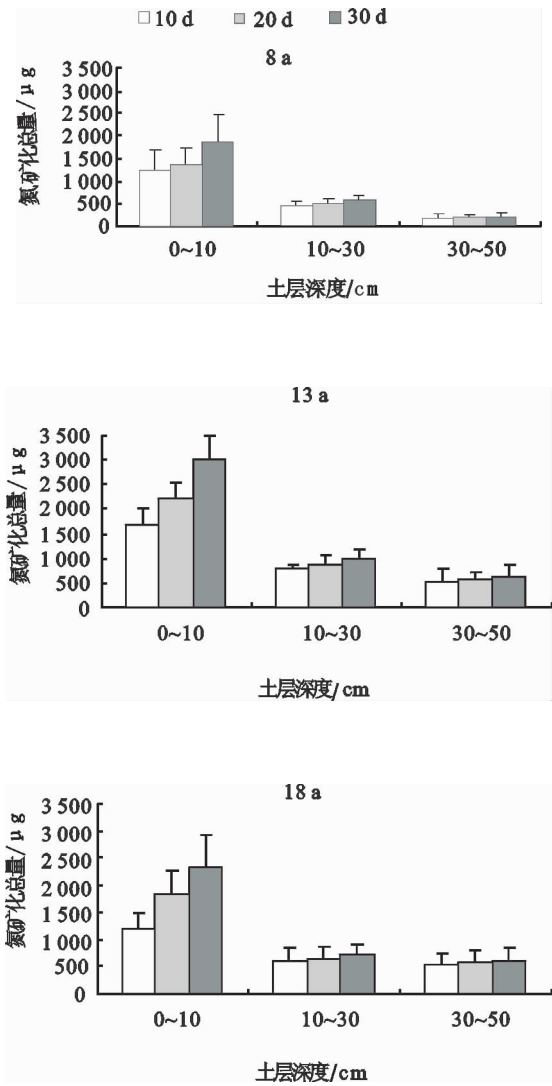


图 1 离子交换膜不同培养时间所提取氮的总量
Fig. 1 Amount of N extraction of different culture time by IEM

2.3 土壤氮矿化速率与其他供氮能力指标

表 3 不同林龄沙棘林分土壤氮矿化速率
Table 3 Soil nitrogen mineralization rate of *H. rhamnoides* plantations of different ages

| 林龄 /a | 土层深度 /cm | 氮矿化速率 /($\mu\text{g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$) | | |
|----------|-------------|--|-------------|-------------|
| | | 培养 10 d | 培养 20 d | 培养 30 d |
| 8 | 0 ~ 10 | 1.698±0.666 | 1.870±0.534 | 2.608±0.816 |
| | 10 ~ 30 | 0.632±0.146 | 0.686±0.143 | 0.801±0.132 |
| | 30 ~ 50 | 0.250±0.106 | 0.261±0.067 | 0.272±0.130 |
| 13 | 0 ~ 10 | 2.335±0.447 | 3.076±0.447 | 4.192±0.654 |
| | 10 ~ 30 | 1.084±0.117 | 1.175±0.306 | 1.375±0.287 |
| | 30 ~ 50 | 0.748±0.336 | 0.771±0.231 | 0.871±0.342 |
| 18 | 0 ~ 10 | 1.660±0.413 | 2.546±0.586 | 3.222±0.844 |
| | 10 ~ 30 | 0.836±0.354 | 0.895±0.309 | 1.010±0.252 |
| | 30 ~ 50 | 0.751±0.307 | 0.814±0.337 | 0.841±0.331 |

表 4 不同林龄沙棘林分土壤氮矿化速率
与其他供氮能力的相关性 (R^2)

Table 4 The correlation of nitrogen mineralization rate and other fertility indices

| 相关性 | 全氮含量 | 速效氮含量 |
|---------|----------|----------|
| 培养 10 d | 0.905 ** | 0.938 ** |
| 培养 20 d | 0.963 ** | 0.965 ** |
| 培养 30 d | 0.954 ** | 0.970 ** |

注: ** 表示在 $P<0.01$ 水平下极显著相关。

土壤中的可矿化氮来自于全氮,全氮含量反映了土壤中可矿化氮的库容;王艳杰等通过途径分析得出碱解氮对土壤氮矿化量的作用最大^[17],土壤中全氮和碱解氮含量是评价土壤供氮能力的常用指标^[18];所以将离子交换膜埋植法所测得的氮矿化速率与其进行相关性分析,结果发现采用离子交换膜埋植培养法所测定的矿化速率与土样全氮和速效氮含量相关性均达到极显著相关水平($P<0.01$),说明采用此方法测定土壤氮矿化速率比较可靠。

采用 LSD 法对不同培养时间所测得土壤氮矿化速率值进行方差分析,结果得出,3 个土层土样培养 10 d 所得值均未达到显著差异水平,培养 20 d 时,0~10 cm 深度土层 3 个林龄间差异显著($P<0.05$),培养 30 d 时,0~10 cm、10~30 cm 深度土层 3 个林龄间均达到显著差异水平($P<0.05$),30~50 cm 深度土层 13、18 a 与 8 a 达到了显著差异水平($P<0.05$),3 个培养时间所得氮矿化速率综合表现为 13 a>18 a>8 a,这也与林分结构健康状况调查结果相吻合,且都随林龄的增长呈正态曲线变化。

3 结论与讨论

沙棘是典型的克隆植物,具有极强的克隆繁殖能力,而且是喜光植物,最初几年萌孽能力很强,光照充足,林分密度急速增加,但由于这个阶段根系不发达,生产力低,土壤紧实,透气性差,整个林分养分水平和氮矿化速率较低;随沙棘个体的生长,发达的根系很好的改善了土壤环境,同时沙棘根瘤的固氮能力和高的林分生产力也极大地提高了土壤养分水平和氮矿化速率,但由于沙棘树高和冠幅的增加,使得整个林分郁闭度增大,林下光照减弱,植物多样性降低,天然更新受到抑制,加之个体间生长差异,生长缓慢和后来萌生的克隆株在树高上处于劣势,光照得不到满足,所以就慢慢地衰败,最终死亡,这种动态在林分进入成熟期以后愈演愈烈,林分抗病虫害能力降低,枝下高升高,生物多样性差,林分生产力有所减小,其土壤养分含量和氮矿化速率随之也降低,整个林分逐渐进入衰败期。

沙棘林分的健康程度直接地影响着整个林分的

生产力水平,进而影响土壤的氮素循环。采用离子交换膜培养法所得土壤氮矿化速率与林分的健康状况相呼应。研究结果综合显示,18 a 沙棘林已处于明显衰败期,对于衰退期沙棘林分应采取合理措施对其进行健康改造,根据沙棘树种是克隆植物的这一特点,唯一途径就是使其萌生出新的克隆植株,但由于老龄林郁闭度过大,根系萌生克隆株所需的温度及光照条件得不到满足,导致无法天然更新,即使能萌生出新植株,在林下还是无法长时间存活下去。所以对这一地区衰败的沙棘林需要采取透光伐或平茬等措施使衰败沙棘林萌生出新植株,以维持其生命力,这样才能使衰败的沙棘林继续发挥良好的生态效益和经济效益。

参考文献:

[1] 候冬岩, 回瑞华, 李铁纯. 沙棘的研究进展[J]. 鞍山师范学院学报, 2002, 4(1): 49-53.
HOU D Y, HUI R H, LI T C. Research progress of seabuckthorn[J]. Journal of Anshan Teachers College, 2002, 4(1): 49-53. (in Chinese)

[2] 杨志刚, 卢顺光, 赵梅霞. 沙棘属植物的生物化学和药理学研究综述[J]. 国际沙棘研究与开发, 2005, 3(4): 1-8
YANG Z G, LU S G, ZHAO M X. A summary of bio-chemistry and pharmacological research of *Hippophae*[J]. The Global Seabuckthorn Research and Development, 2005, 3(4): 1-8. (in Chinese)

[3] 齐虹凌, 于泽源, 李兴国. 沙棘研究概述[J]. 沙棘, 2005, 18(2): 37-41.
QI H L, YU Z Y, LI X G. A research summary of *Hippophae* [J]. Seabuckthorn, 2005, 18(2): 37-41. (in Chinese)

[4] 张华, 李利峰, 吴兴壮, 等. 沙棘综合利用研究概述及发展前景[J]. 辽宁农业科学, 2003(5): 17-21.
ZHANG H, LI L F, WU X Z, *et al.* A research summary and prospect of comprehensive utilization of *Hippophae*[J]. Liaoning Agricultural Science, 2003(5): 17-21. (in Chinese)

[5] 付媛, 李金梅, 张霞. 沙棘的化学成分及其保健功能研究进展[J]. 内蒙古石油化工, 2008(23): 13-14.
FU Y, LI J M, ZHANG X. Research progress of the chemical composition of sea buckthorn and its health care function[J]. Inner Mongolia Petrochemical Industry, 2008(23): 13-14. (in Chinese)

[6] 梁宗锁, 李敏, 王俊峰. 沙棘抗旱生理研究进展[J]. 沙棘, 1998, 11(3): 8-12.
LIANG Z S, LI M, WANG J F. Research progress of seabuckthorn drought-resistant physiology[J]. Seabuckthorn, 1998, 11(3): 8-12. (in Chinese)

[7] 李代琼. 黄土丘陵区沙棘林几个水分生理生态特征研究[J]. 林业科学研究, 2002, 15(1): 47-53.
LI D Q. Study on several hydrological and ecological characteristics of *hippophae rhamnoides* in the Loess Hilly Region[J]. Forest Research, 2002, 15(1): 47-53. (in Chinese)

[8] 林美珍, 张吉科, 张国伟. 论沙棘根系与功能Ⅲ—共生固氮机理、条件与初级氮代谢[J]. 沙棘, 2006, 19(3): 7-13.
LIN M Z, ZHANG J K, ZHANG G W, *et al.* On the roots and functions of Seabuckthorn Ⅲ — symbiotic nitrogen fixation mechanism, conditions and primary nitrogen metabolism[J]. Seabuckthorn Hippophae, 2006, 19(3): 7-13. (in Chinese)

[9] 李秀寨, 李根前, 韦宇, 等. 中国沙棘大面积死亡原因的探讨[J]. 沙棘, 2005, 18(1): 24-26.
LI X Z, LI G Q, WEI Y, *et al.* Causes of seabuckthorn death in large acreage in China[J]. Seabuckthorn Hippophae, 2005, 18(1): 24-26. (in Chinese)

[10] 张吉科, 林美珍. 沙棘药用研发的回顾与展望 [J]. 国际沙棘研究与开发, 2004, 2(2): 35-39.
ZHANG J K, LIN M Z. Review and the prospect of seabuckthorn medicinal utilization[J]. The Global Seabuckthorn Research and Development, 2004, 2(2): 35-39. (in Chinese)

[11] 李贵才, 韩兴国, 黄建辉, 等. 森林生态系统土壤氮矿化影响因素研究进展[J]. 生态学报, 2001, 21(7): 187-195.
LI G C, HAN X G, HUANG J H, *et al.* A review of affecting factors of soil nitrogen mineralization in forest ecosystems[J]. Acta Ecologica Sinica, 2001, 21(7): 187-195. (in Chinese)

[12] 张宝贵, 李贵桐, 申天寿. 威廉环毛蚯蚓对土壤微生物量及活性的影响[J]. 生态学报, 2000, 20(1): 168-172.
ZHANG B G, LI G T, SHEN T S. Influence of the earthworm *pheretima guillelmion* soil microbial biomass and activity [J]. Acta Ecologica Sinica, 2000, 20(1): 168-172. (in Chinese)

[13] 金雪霞, 范晓晖, 蔡贵信. 菜地土氮素的主要转化过程及其损失[J]. 土壤, 2005, 37(5): 492-499.
JIN X X, FAN X H, CAI G X. Nitrogen transformation and losses in soils grown with vegetables[J]. Soils, 2005, 37(5): 492-499. (in Chinese)

[14] HUSCH B, BEERS T W, KERSHAW J A. Forest Mensuration [M]. 4th ed New York: John Wiley and Sons, 2003, 8: 162-20.

[15] BRODBECK, F. Structure and processes in traditional forest gardens of central sulawesi[J]. Cuvillier Verlag Goettingen, 2004(3): 40-13.

[16] 李甜江, 李根前. 克隆植物中国沙棘人工林生长动态研究[J]. 西北林学院学报, 2007, 22(4): 30-34.
LI T J, LI G Q. Growth dynamics of plantation of clonal tree Species *Hippophae rhamnoides* L. subsp *sinensis*[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2007, 22(4): 30-34. (in Chinese)

[17] 王艳杰, 邹国元, 付桦, 等. 土壤氮素矿化研究进展[J]. 中国农学通报, 2005, 21(10): 203-208.
WANG Y J, ZOU G Y, FU H, *et al.* Development and advance of soil nitrogen mineralization[J]. Chinese Agriculture Science Bulletin, 2005, 21(10): 203-208. (in Chinese)

[18] 朱兆良, 文启孝. 中国土壤氮素[M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 1992: 37-39.
ZHU Z L, WEN Q X. Soil Nitrogen in China [M]. Nanjing: Phoenix Science Press, 1992: 37-39. (in Chinese)