

浙江天童生态公益林养分循环生态服务价值评估

阎恩荣¹, 王良衍², 杨文忠³, 周 武¹

(1. 华东师范大学 环境科学系, 上海 200062; 2. 浙江天童国家森林公园, 浙江 宁波 315114;
3. 浙江省宁波市林业局, 浙江 宁波 315000)

摘要: 为完善生态服务价值定量评价方法, 并推动绿色国民生产总值(GDP)纳入国民经济核算体系, 分析了浙江天童生态公益林氮磷养分的储存和流通特征, 并对其生态服务价值进行了计算。结果表明: 区域尺度上, 分布面积是主要决定因素, 木荷 *Schima superba* 林和木荷-米槠 *Castanopsis carlesii* 林总价值最高(分别为 673.46 和 576.05 万元·a⁻¹), 栲树 *Castanopsis fargesii* 林、木荷-石栎 *Lithocarpus glaber* 群落和毛竹 *Phyllostachys pubescens* 林介于中等(分别为219.52, 140.65 和111.84 万元·a⁻¹), 马尾松 *Pinus massoniana* 林、马尾松-木荷林和杉木 *Cunninghamia lanceolata* 林最低(分别为 30.16 和 44.30 万元·a⁻¹)。单位面积内, 林木生产力和群落结构完整性是决定养分循环服务价值的影响因子, 竹林最高 (13.01 万元·a⁻¹), 栲树林次之(7.62 万元·a⁻¹), 其他类型较低。表 3 参 14

关键词: 森林生态学; 养分循环; 生态服务; 价值评估; 生态公益林

中图分类号: S718.55 文献标志码: A 文章编号: 1000-5692(2010)04-0585-06

Ecological benefit from nutrient cycling in the Tiantong regional forests of Zhejiang Province

YAN En-rong¹, WANG Liang-yan², YANG Wen-zhong³, ZHOU Wu¹

(1. Department of Environmental Sciences, East China Normal University, Shanghai 200062, China; 2. Tiantong National Forest Park, Ningbo 315114, Zhejiang, China; 3. Forest Enterprise of Ningbo City, Ningbo 315000, Zhejiang, China)

Abstract: To assess the ecological benefits as well as to help include green GDP (annual gross domestic product) into the national economic system, nitrogen (N) and phosphorus (P) storage along with their associated ecological benefits from different forests in the Tiantong Region of Zhejiang Province were studied. Results at the regional scale showed that size of forest occupying area was the major factor influencing total ecological benefit. The value was highest in *Schima superba* dominated forests ($6.734\ 6 \times 10^6$ Yuan·a⁻¹) and mixed forests of *S. superba* and *Castanopsis carlesii* ($5.760\ 5 \times 10^6$ Yuan·a⁻¹); intermediate in *Castanopsis fargesii* dominated forests ($2.195\ 2 \times 10^6$ Yuan·a⁻¹), *S. superba* and *Lithocarpus glaber* mixed forests ($1.406\ 5 \times 10^6$ Yuan·a⁻¹), and bamboo forests ($1.118\ 4 \times 10^6$ Yuan·a⁻¹); and lowest in *Pinus massoniana* dominated forests ($3.016\ 0 \times 10^5$ Yuan·a⁻¹), *P. massoniana* and *S. superba* mixed forests ($3.163\ 0 \times 10^5$ Yuan·a⁻¹), and *Cunninghamia lanceolata* forests ($4.430\ 0 \times 10^5$ Yuan·a⁻¹). In per unit area, forest production and structure were main factors for ecological benefit from nutrient cycling, and the ecological benefit was highest in bamboo plantations ($1.301\ 0 \times 10^5$ Yuan·a⁻¹) followed by *C. fargesii* dominated forests ($7.620\ 0 \times 10^4$ Yuan·a⁻¹). [Ch, 3 tab. 14 ref.]

Key words: forest ecology; nutrient cycling; ecological service; value assessment; ecological public welfare forest

收稿日期: 2009-06-19; 修回日期: 2009-10-27

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30770365); 浙江省宁波市鄞州区科技项目(2008C06)

作者简介: 阎恩荣, 副教授, 从事代谢生态学、植物与土壤营养生态学等研究。E-mail: eryan@des.ecnu.edu.cn

生态系统服务功能是指生态系统与生态过程所形成及所维持的人类赖以生存的自然环境条件与效用^[1-3]。维持森林生态系统服务功能对保障陆地生物资源永续利用与生态环境健康具有决定性作用^[2,4]。客观评价森林生态系统服务功能,科学评估其价值,对于促进生态补偿机制建设,尽快将自然资源和环境因素纳入国民经济核算体系,最终实现绿色国内生产总值提供科学基础。中国森林生态系统服务功能的研究和评价起步较晚^[5],基础研究远不能满足科学评价生态服务功能的需求,绝大多数研究直接借鉴国外的标准,未能充分考虑我国森林类型的独特性,各评价参数的确定未能建立在对特定森林生态系统服务功能的发生机制、作用过程以及调控机制充分了解的基础上。在实际应用时,基础数据的严重缺乏使得中国森林生态服务功能评估结果的准确性与科学性难以令人信服,从而不能有效地将森林的生态效益尽快纳入国民经济国内生产总值核算中,导致生态效益补偿机制发展受阻。因此,系统研究中国森林生态服务功能维持与调控的科学基础,对于推动中国森林生态系统服务功能的价值评估具有深远的科学意义。森林生态系统的服务功能主要包括:涵养水源、调节气候、净化环境、区域碳汇和推动养分循环,以及生物多样性维持等诸多方面^[2-6]。笔者以浙江天童国家森林公园内分布的不同类型生态公益林为对象,在研究养分循环各环节养分储量的基础上,对其生态服务价值进行评估,旨在分析森林生态系统生态服务功能的发生机制,建立特定生态服务价值的定量评价方法。

1 研究方法

1.1 研究地概况和样地描述

研究地位于浙江宁波天童国家森林公园,区域概况已多有文献报道^[7]。笔者选择公园内分布的天然次生和人工生态公益林,其中有4种次生植被类型(6种林型),包括:常绿阔叶林的栲树 *Castanopsis fargesii* 林、木荷 *Schima superba* 林与木荷-米槠 *Castanopsis carlesii* 林,以及以木荷和石栎 *Lithocarpus glaber* 等为主的灌丛,针阔混交林的马尾松 *Pinus massoniana*-木荷林,针叶林的马尾松林;人工植被有杉木 *Cunninghamia lanceolata* 林和毛竹 *Phyllostachys pubescens* 林。群落学特征见表1。

表1 浙江天童生态公益林的类型及群落学特征

Table 1 Types and community characteristics of no-commercial forests in the Tiantong Region, Zhejiang Province

植被类型	群落类型	海拔/m	分布面积/hm ²	冠层高度/m	乔木层优势种	年龄/a	经营方式
天然次生林	栲树群落	200	28.8	24	栲树	150	受保护,无人干扰
	木荷群落	163	120.1	18	木荷,石栎	50	有皆伐史,废弃后自然更新,有择伐
	木荷-米槠群落	160	118.5	10	木荷,米槠	28	有皆伐史,废弃后自然更新,萌生
	木荷-石栎灌丛	157	23.1	7	木荷,石栎,苦槠	18	薪炭林,废弃后自然更新,萌生
	马尾松-木荷群落	120	5.9	19	马尾松,木荷	45	有皆伐史,废弃后自然更新,有择伐
	马尾松群落	125	5.9	17	马尾松	40	有皆伐史,废弃后自然更新,有择伐
人工林	杉木群落	135	8.7	14	杉木(单优)	27	人工抚育,择伐,削草
	毛竹群落	123	8.6	13	毛竹(单优)	15	人工抚育,施肥,采竹笋

1.2 实验设计和样品测定

在以上群落中,各设置3个重复样地(样地面积为20 m × 20 m),分别测定了氮磷养分循环的主要特征,包括:冠层氮磷质量分数、凋落物养分归还量、地表凋落物层养分储量、土壤养分储量和土壤有机养分矿化量。

冠层氮磷质量分数反映了植被吸收固定养分的能力。于生长旺季(7月中旬)采集各样地优势种冠层叶片,带回实验室立即进行杀青处理后,放入70℃烘箱中烘干至恒量,放入自封袋中保存,待测定氮、磷质量分数。

凋落物养分归还量反映了植被返还土壤养分的能力,是森林的一种自肥方式。通过1 a内逐月测

定凋落物量和养分，可以反映 1 a 内植被归还土壤养分的能力。用由铁丝和尼龙纱网组成的收集框获得凋落物。收集框近似圆形，上口面积约 0.5 m²，网眼为 0.2 mm，设置时保持纱网底部距地面 10 cm 以上。自设置之日起，每月月底收集框中凋落物，带回实验室烘干至恒量，分析氮、磷质量分数。

地表凋落物层养分储量既反映了地表凋落物层的长期养分积累和供给能力，可通过一年四季分别测定凋落物层生物量和养分质量分数获得。凋落物层收集采用厚 0.5 mm，宽 10.0 cm 的薄铁皮长条弯制成面积为 20 cm × 20 cm 的四方形采样框。在每个样点收集凋落物时，先将采样框固定在地面，并利用切割刀等工具将延伸在框外的凋落物彻底割裂并清除，确保采集框一定体积内凋落物的数量。采集完毕后装入信封袋，带回烘干至恒量，折算成生物量。

土壤养分储量是森林养分的主要储藏库。在植物生长旺季时，在各样地内采用对角线法选定采样点，除去表层凋落物，然后将内径 7.5 cm，长 20.0 cm 的聚氯乙烯(PVC)管砸入土壤，获取 0 ~ 20 cm 处土壤，装入自封袋，在实验室风干后测定氮、磷质量分数。同时使用环刀法测定土壤容重。

土壤有机氮矿化量通过 1 a 内每季度的野外 PVC 管顶盖埋管培育法获得^[8]。即在各样地中按照对角线法选取 5 个采样点，每点设置一个 1 个 PVC 管(内径 7.5 cm，长 20.0 cm)。在每点先用 PVC 管取 0 ~ 20.0 cm 层土壤，用作初始氨氮和硝氮质量分数的测定，再取出 1 个土样，尽可能不破坏其原有结构，用塑料薄膜包住上口，用橡皮筋扎住，下口用棉线纱布包好，同样用橡皮筋扎住，再插入原孔，培养一段时间后取出土样。在每个培育周期，重复上述工作，共 5 个周期。在实验室内，采用氯化钾浸提土壤氨氮和硝氮^[9]，使用 Skalar 流动注射分析仪进行测定。

将以上各样品研磨、过筛，氮、磷测定先采用标准凯氏法消解^[10]，即：称取 0.2 g(精确到 0.000 1 g)待分析样品放入消解管中，加入 5 mL 浓硫酸和硫酸钠-硫酸铜(10 : 1)混合物，摇匀并在 375 °C 下消解 3 h，冷却后转入容量瓶中定容，然后采用 Skalar 流动注射分析仪进行氮、磷分析。

1.3 养分循环生态服务价值评估

1.3.1 养分积累价值 指森林植物将氮磷营养物质储存在体内各器官的功能，采用林木营养年积累价值来表示，即：林木叶片的氮磷营养折合成尿素和磷酸二铵，可得到林木营养年积累价值。采用以下公式计算： $U_{\text{积累}} = AB(N_{\text{叶}} C_1/R_1 + P_{\text{叶}} C_2/R_2)$ 。其中： $U_{\text{积累}}$ 为林木营养年积累价值(元·a⁻¹)； A 为林分面积(hm²)； B 为林分净生产力(t·hm⁻²·a⁻¹)； $N_{\text{叶}}$ 为林木叶片氮质量分数(g·kg⁻¹)， $P_{\text{叶}}$ 为叶片磷质量分数(g·kg⁻¹)； C_1 为尿素平均价格(元·t⁻¹)， R_1 为尿素含氮质量分数(g·kg⁻¹)； C_2 为磷酸二铵平均价格(元·t⁻¹)， R_2 为磷酸二铵含磷质量分数(g·kg⁻¹)。尿素和磷酸二铵价格采用农业部“中国农业信息网”(http://www.agri.gov.cn)2008 年夏季的平均价格。尿素平均价格 2 390.00 元·t⁻¹，磷酸二铵价格为 4 411.00 元·t⁻¹。

1.3.2 凋落物施肥价值 指以凋落物和地面枯落物中氮磷质量分数为依据，估算森林改良土壤的效益。采用以下公式计算： $U_{\text{施肥}} = A(N_{\text{凋}} C_1/R_1 + P_{\text{凋}} C_2/R_2) + AE(N_{\text{枯}} C_1/R_1 + P_{\text{枯}} C_2/R_2)$ 。其中： $U_{\text{施肥}}$ 为凋落物和细根的施肥价值(元·a⁻¹)； $N_{\text{凋}}$ 为年氮归还量(t·a⁻¹)， $P_{\text{凋}}$ 为年磷归还量(t·a⁻¹)； E 为凋落物层生物量(t·hm⁻²)， $N_{\text{枯}}$ 为凋落物层氮质量分数(g·kg⁻¹)， $P_{\text{枯}}$ 为凋落物层磷质量分数(g·kg⁻¹)。

1.3.3 土壤肥力保持价值 指土壤中氮磷的储藏和养分库效益。采用以下公式计算： $U_{\text{肥力}} = AGH(N_{\pm} C_1/R_1 + P_{\pm} C_2/R_2)$ 。其中： $U_{\text{肥力}}$ 为土壤肥力价值(元·a⁻¹)； G 为土壤容重， H 为 1 hm² 面积 20 cm 土壤的体积，这里是常数，即：0.2 m × 10 000 m² = 2 000 m³； N_{\pm} 为土壤氮质量分数(g·kg⁻¹)， P_{\pm} 为土壤磷质量分数(g·kg⁻¹)。

1.3.4 土壤有机氮周转价值 指土壤有机氮转化为可供植物直接吸收的无机氮能力的价值，利用氮素的矿化率获得，采用以下公式计算： $U_{\text{矿}} = AN_{\text{矿}} C_1/(1 000 \times R_1)$ 。其中： $U_{\text{矿}}$ 为土壤氮素矿化周转价值(元·a⁻¹)； $N_{\text{矿}}$ 为土壤氮素矿化量(g·kg⁻¹)。

2 研究结果

2.1 养分循环主要环节的养分储量

在天童地区，不同类型生态公益林养分循环各主要环节的营养物质存量变化较大(表 2)。总体来

看,毛竹林的年生产力($41.25 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)显著高于其他森林类型($P < 0.05$),且人工林年生产力普遍高于次生林。在次生林中,木荷-石栎灌丛和马尾松林的年生产力($3.45 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)较高,木荷林和马尾松-木荷林介于中等,栲树林最低。

8种生态公益林叶片氮质量分数变化幅度为 $0.81\% \sim 1.76\%$,毛竹林最高,以针叶树为主的杉木林和马尾松林等最低,常绿阔叶林介于中等;叶片磷质量分数也是毛竹林显著高于其他类型($P < 0.05$,表2)。凋落物归还量从高到低依次为:栲树林、木荷林、木荷-米槠林、马尾松-木荷林、马尾松林、木荷-石栎灌丛、杉木林和毛竹林。凋落物氮归还量以栲树林、木荷林和木荷-米槠林最高,马尾松-木荷林和竹林处于中等,马尾松林、灌丛和杉木林最低;磷归还量也以栲树林和木荷林最高,马尾松-木荷林处于中等,其他类型最低(表2)。地表凋落物生物量最高的是木荷-石栎灌丛,最低的是毛竹林;氮质量分数以马尾松林最高,杉木林最低,磷质量分数最高的是毛竹林,最低的是马尾松林。

常绿阔叶林土壤氮磷质量分数均显著高于其他类型,尤其是氮的质量分数,土壤有机氮矿化速率最高的是栲树林、木荷-米槠林和木荷-石栎灌丛,最低的是杉木林,其余群落处于中等(表2)。

表2 浙江天童生态公益林养分循环不同环节的养分储量

Table 2 Nutrition stocks among different parts of ecosystem in the no-commercial forests of Tiantong Region, Zhejiang Province

群落类型	生产力/ ($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)	叶片		凋落物归还量			枯落物层			土壤		
		氮 O/($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	磷/($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	凋落量/($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)	氮/($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)	磷/($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)	生物量/($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)	氮/($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	磷/($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	总氮/($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	总磷/($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	氮矿化/($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)
栲树群落	0.90 a	13.7 a	0.7 a	13.03 a	84.49 a	7.77 a	1.32 ace	16.9 a	0.6 ac	51.9 a	4.8 a	217.70 a
木荷群落	1.67 a	10.1 ab	0.6 a	11.7 b	87.7 b	6.71 b	1.56 abe	15.1 baf	0.5 abc	26.1 b	3.9 b	158.28 b
木荷-米槠群落	2.32 a	9.0 b	0.6 a	8.55 c	77.39 b	4.05 ce	1.03 cd	6.9 cdf	0.4 cd	19.5 c	3.9 b	195.49 ab
马尾松-木荷群落	1.85 a	11.3 ab	0.8 a	8.39 c	58.31 cf	5.50 bc	1.28 ace	17.3 ad	0.7 a	18.9 c	3.9 b	152.15 b
马尾松群落	2.27 a	9.7 ab	0.7 a	7.43 d	45.92 cd	4.31 ed	1.69 ef	19.0 a	0.3 bd	21.2 c	3.8 b	154.10 b
木荷-石栎群落	3.45 a	9.8 ab	0.5 a	6.38 e	34.33 e	3.28 fd	2.07 f	10.1 efg	0.6 ac	25.8 b	2.5 c	205.70 ab
杉木群落	2.01 a	8.1 b	0.8 a	5.79 f	43.59 cd	2.95 d	1.19 ac	6.7 bg	0.5 aed	18.3 c	2.6 c	94.20 c
毛竹群落	41.25 b	17.6 c	2.1 b	5.28 g	57.12 f	3.88 ce	0.76 d	14.5 af	1.0 e	11.2 d	0.3 d	176.40 ab

说明:同一列中不同字母表示数据之间具有显著差异($P < 0.05$)。

2.2 养分循环生态服务价值

就不同林型的区域总养分积累价值来看,最高为木荷-米槠林和木荷林(表3),较低的是马尾松林、马尾松-木荷林和杉木林,但是在单位面积上,毛竹林的年养分积累价值最高。木荷林和木荷-米槠林的凋落物施肥价值也最高。从单位面积看,凋落物施肥价值最高的有:栲树林、木荷林和木荷-米槠林,中等的有:马尾松-木荷林、马尾松林和毛竹林,最低的是杉木林和灌丛。同样,区域尺度上木荷林与木荷-米槠林的土壤肥力保持价值也是最高,而单位面积土壤肥力保持价值最好的为栲树林,其次为木荷林与木荷-石栎灌丛。区域水平上有机氮周转价值最大的仍然为木荷林与木荷-米槠林,单位面积有机氮周转价值最高的是栲树林、木荷-米槠林和木荷-石栎灌丛,最低的为毛竹林和杉木林。从养分循环生态服务总价值来看,区域水平上无疑是木荷林和木荷-米槠林最高,单位面积水平上毛竹林最高。

3 结论与讨论

3.1 不同生态公益林的氮磷循环特征

一方面,土壤氮磷决定植物群落的营养分配格局^[11-12],另一方面,凋落物的化学组成、分解速率对土壤氮磷具有重要影响^[13]。虽然土壤养分库可反映土壤的资源水平,但对植被生产力起关键作用的则是可利用性养分,即:净氮矿化潜力^[14]。在人工林(马尾松林、杉木林和毛竹林),林下枯枝落叶层

表 3 浙江天童生态公益林养分循环生态服务价值

Table 3 Ecological service values in relation to nutrient cycling in the no-commercial forests of Tiantong Region, Zhejiang Province

群落类型	养分积累价值/ (万元·a ⁻¹)	凋落物施肥价值/ (万元·a ⁻¹)	土壤肥力保持价值/ 万元	土壤有机氮周转价/ 值(万元·a ⁻¹)	总计/ (万元·a ⁻¹)
栲树群落	20.19 (0.70)	1.51 (0.05)	194.56 (6.76)	3.26 (0.11)	219.52(7.62)
木荷群落	116.82 (0.97)	6.40 (0.05)	540.36 (4.50)	9.88 (0.08)	673.46(5.61)
木荷-米槠群落	144.41 (1.22)	5.28 (0.05)	414.33 (3.50)	12.03 (0.10)	576.05(4.86)
马尾松-木荷群落	7.28 (1.23)	0.22 (0.04)	22.19 (3.74)	0.47 (0.08)	30.16(5.09)
马尾松群落	7.69 (1.30)	0.18 (0.03)	23.30 (3.93)	0.48 (0.08)	31.63(5.33)
木荷-石栎群落	44.34 (1.92)	0.51 (0.02)	93.33 (4.05)	2.47 (0.11)	140.65(6.10)
杉木群落	9.15 (1.05)	0.07 (0.01)	34.59 (3.96)	0.50 (0.06)	44.30(5.07)
毛竹群落	83.75 (9.74)	0.22 (0.03)	27.45 (3.19)	0.42 (0.05)	111.84(13.01)

说明：括号外数据为天童区域总价值，括号内为每公顷每年价值。

累积，经久不烂，而林下土壤养分却非常贫瘠，原因在于凋落物的碳/氮(C/N)和碳/磷(C/P)太高，不适于微生物分解，显著降低了土壤氮磷养分库，以及有机氮矿化速率。可见，砍伐阔叶林并种植针叶林等人工林后，会降低林冠与土壤间的氮磷元素循环通量，也降低了土壤氮磷储量。另外，次生常绿阔叶林(木荷林、木荷-米槠林和木荷-石栎灌丛)在人工干扰后，土壤氮磷储量和氮素矿化速率也发生了显著下降。总体而言，在不同生态公益林中，常绿阔叶林顶极群落栲树林的氮磷养分循环功能比较完善，单位面积土壤氮磷养分库储量最大，土壤氮素的矿化速率最高，植物群落返还土壤的凋落物量和氮磷归还量最大，地表凋落物的氮磷储量也最高。

凋落物层的养分输入与输出决定着森林生态系统的养分库是否增加、减少或处于平衡状态。与栲树林相比，其余生态公益林随着植物种类组成的改变，植被返还土壤的养分数量和质量降低了，尤以人工林和次生灌丛为最。在人工林和次生植被中，人类干扰的方式、程度和持续时间对凋落物的数量和质量具有重要影响。例如：毛竹林虽然凋落量较低，但由于施肥作用，凋落物的养分归还量反而大大高于杉木林、马尾松林和灌丛。另外，收获凋落物、采果、采竹笋等人工管理措施对毛竹林土壤养分库和氮素矿化速率产生了较大影响。相反，在干扰较小的栲树林和木荷林内，其林下凋落物逐渐在林地中积累，从而改善了林地生态条件，凋落物分解释放的养分量增加，有利于提高土壤肥力。

3.2 养分循环生态服务价值的影响因素

由于不同生态公益林物种组成、群落结构和生境要素等差异，氮磷养分在生态系统各组分的储量，以及在不同组分间的流动通量必然变化，并进而导致生态服务功能发挥价值的不同，因此，氮磷循环各环节的养分积累特征对于调解养分循环服务功能具有决定性作用。从本研究来看，毛竹林养分积累价值显著高于其他公益林类型，造成这一现象的原因主要与毛竹生长快速的特性有关(年生产力达 41.25 t·hm⁻²)，在高速生长过程中积累了丰富的养分。可见，生态公益林的植物组成特性，即：速生与否对养分积累价值具有决定性作用。另外，造成这一现象的原因也与该类公益林长期施肥有关，施肥既能促进植物吸收更多养分，也可显著提高植物生长速率，从而导致养分积累价值的升高。

区域尺度上各类公益林的养分循环价值既与各林分的养分循环特征有关，更与该类公益林的分布面积有关。在天童地区，木荷林与木荷-米槠林是分布面积最大的公益林类型，因此，除养分积累价值低于竹林外，其余各养分循环价值均高于栲树林和其他次生林，以及人工林。而由于松材线虫病的影响，马尾松林和马尾松-木荷林的分布面积很少，因此，区域水平上总养分循环服务价值也较小。杉木林也是分布面积较小的公益林，其区域总养分循环价值也较小。

单位面积的数量特征更能反映不同公益林所蕴藏的潜在生态服务价值。在本研究中，除毛竹林外，养分积累价值较高的是那些生长迅速的次生植被，比如木荷-石栎灌丛。凋落物施肥价值较高的是群落结构比较复杂的植被，如栲树林、木荷林和木荷-米槠林。土壤肥力保持价值最高的是群落发

育比较成熟的栲树林。土壤有机氮周转价值最高的是发育完善的植被,如栲树林,以及以常绿阔叶植物为主且处于生长旺盛期的植被,如木荷-石栎灌丛和木荷-米槠萌生林。综合来看,养分循环总价值最高的为发育成熟的栲树林。由此可见,排除人工施肥干扰后,发育成熟的常绿阔叶林栲树群落在单位面积内能够发挥最大的养分循环生态服务功能。

3.3 不足与展望

笔者仅选择了养分循环功能的几个关键环节,评估其潜在的生态服务价值,旨在抛砖引玉,为客观评价森林生态系统服务功能提供参考。由于养分循环的复杂性,以及研究中面临的困难,循环中其他环节仍未包括在评估中,比如养分重吸收特征。另外,氮磷存在形式多样,且在生物有机体中以有机态为主,但在计算生态服务价值时,均以无机氮磷的标准衡量,一定程度上高估了其价值。在未来的研究中,需要精确度量氮磷不同形态的数量,并探索其转化为无机态的潜力,才可较准确地度量其真实价值。可见,在同一地区,由于不同生态公益林的养分循环各环节的储存量变化较大,导致生态服务功能发挥价值不同。因此,在进行森林生态服务价值评估时,应充分重视不同林型的独特性。

参考文献:

- [1] DAILY G C. *Natural's Services: Social Dependence on Natural Ecosystems* [M]. Washington D C: Island Press, 1997: 227 - 232.
- [2] 欧阳志云, 王效科, 苗鸿. 中国陆地生态系统服务功能及其生态经济价值的初步研究[J]. 生态学报, 1999, **19** (5): 607 - 613.
OUYANG Zhiyun, WANG Xiaoke, MIAO Hong. A primary study on Chinese terrestrial ecosystem services and their ecological-economic values [J]. *Acta Ecol Sin*, 1999, **19** (5): 607 - 613.
- [3] 靳芳, 鲁绍伟, 余新晓, 等. 中国森林生态系统服务功能及其价值评价[J]. 应用生态学报, 2005, **16** (8): 1531 - 1536.
JIN Fang, LU Shaowei, YU Xinxiao, *et al.* Forest ecosystem service and its evaluation in China [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2005, **16** (8): 1531 - 1536.
- [4] 余新晓, 鲁绍伟, 靳芳, 等. 中国森林生态系统服务功能价值评估[J]. 生态学报, 2005, **25** (8): 2097 - 2102.
YU Xinxiao, LU Shaowei, JIN Fang, *et al.* The assessment of the forest ecosystem services evaluation in China [J]. *Acta Ecol Sin*, 2005, **25** (8): 2097 - 2102.
- [5] 李少宁, 王兵, 赵广东, 等. 森林生态系统服务功能研究进展[J]. 世界林业研究, 2004, **17** (4): 14 - 18.
LI Shaoning, WANG Bing, ZHAO Guangdong, *et al.* Advance in researches on forest ecosystem services [J]. *World For Res*, 2004, **17** (4): 14 - 18.
- [6] ZHANG Jun, GE Ying, CHANG Jie, *et al.* Carbon storage by ecological service forests in Zhejiang Province, subtropical China [J]. *For Ecol Manage*, 2007, **245**: 64 - 75.
- [7] 宋永昌, 王祥荣. 浙江天童国家森林公园的植被和区系[M]. 上海: 上海科学技术文献出版社, 1995.
- [8] ROBERTSON G P, COLEMAN D C, BLEDSOE C S, *et al.* *Standard Soil Methods for Long-Term Ecological Research* [M]. New York: Oxford University Press, 1999.
- [9] YAN Enrong, WANG Xihua, HUANG Jianjun, *et al.* Decline of soil nitrogen mineralization and nitrification during forest conversion of evergreen broad-leaved forest to plantations in the subtropical area of Eastern China [J]. *Biogeochemistry*, 2008, **89**: 239 - 251.
- [10] AMIN M, FLOWERS T H. Evaluation of Kjeldahl digestion method [J]. *J Res*, 2004, **15**: 159 - 177.
- [11] AERTS R, CHAPIN F S III. The mineral nutrition of wild plants revisited: a re-evaluation of processes and patterns [J]. *Adv Ecol Res*, 2000, **30**: 1 - 67.
- [12] VITOUSEK P M. Nutrient cycling and nutrient use efficiency [J]. *Am Nat*, 1982, **119**: 552 - 572.
- [13] 阎恩荣, 王希华, 周武. 天童常绿阔叶林不同退化群落的凋落物特征及与土壤养分动态的关系[J]. 植物生态学报, 2008, **32** (1): 1 - 12.
YAN Enrong, WANG Xihua, ZHOU Wu. Characteristics of litterfall in relation to soil nutrients in mature and degraded evergreen broad-leaved forests of Tiantong, Eastern China [J]. *J Plant Ecol*, **32** (1): 1 - 12.
- [14] YAN Enrong, WANG Xihua, GUO Ming, *et al.* Temporal patterns of net soil N mineralization and nitrification through secondary succession in the subtropical forest of eastern China [J]. *Plant & Soil*, 2009, **320**: 181 - 194.