

文章编号:1001-7380(2016)01-0010-05

# 杨农复合经营系统不同土壤层养分分布研究

江 浩,何冬梅,季永华,王 磊\*,王 火,张亚楠

(江苏省林业科学研究院,江苏 南京 211153)

**摘要:**以杨树纯林和杨农复合林2种生态系统为研究对象,通过对土壤有机碳、氮、磷、钾等营养元素含量的测定,初步探讨土壤养分的分布特征。结果表明,杨树纯林和杨农复合生态系统中有机碳、全氮和有效磷含量随着土壤深度增加均呈现递减的趋势;有效钾含量在杨树纯林中随土壤深度的增加而降低,在杨农复合系统中表现出先增大后减小的倒“U”型变化趋势。土壤有机碳、氮、有效磷、有效钾含量范围分别为 $(6.34 \pm 0.22) \sim (16.88 \pm 1.07)$  g/kg,  $(0.57 \pm 0.09) \sim (1.35 \pm 0.17)$  g/kg,  $(4.76 \pm 0.44) \sim (13.88 \pm 1.01)$  mg/kg 和  $(52.8 \pm 3.99) \sim (176.1 \pm 8.45)$  mg/kg。由于间作植物的影响,N,P,K和有机碳的含量在杨树纯林和杨农复合生态系统土壤层中表现出了一定的差异。杨农复合生态系统会在一定程度上改良土壤,增加土壤有机碳和养分元素的含量。

**关键词:**杨树;复合生态系统;土壤;有机碳;养分

**中图分类号:**S792.11;S152.4<sup>+</sup>5 **文献标志码:**A **doi:**10.3969/j.issn.1001-7380.2016.01.003

## Depth distribution difference of soil nutrient elements between poplar forest and poplar-crop intercropping pattern

JIANG Hao, HE Dong-mei, JI Yong-hua, WANG Lei\*, WANG Huo, ZHANG Ya-nan

(Jiangsu Academy of Forestry, Nanjing 211153, China)

**Abstract:** The organic carbon and nutrient elements (N, P, K) of different soil depth in poplar and poplar-crop intercropping patterns were studied in the north of Jiangsu Province. The results showed that the contents of soil organic carbon, total nitrogen, available phosphorus were decreased with the depth of soil. The variation trend of available potassium featured with inverted U-shape. The variation range of soil organic carbon, total nitrogen, available phosphorus and available potassium were from  $(6.34 \pm 0.22) \sim (16.88 \pm 1.07)$  g/kg,  $(0.57 \pm 0.09) \sim (1.35 \pm 0.17)$  g/kg,  $(4.76 \pm 0.44) \sim (13.88 \pm 1.01)$  mg/kg and  $(52.8 \pm 3.99) \sim (176.1 \pm 8.45)$  mg/kg, respectively. There were differences between the poplar and poplar-crop intercropping patterns in soil organic carbon and nutrient elements under the effects of crops, suggesting the poplar-crop agroforestry ecosystem may improve soil organic carbon and nutrient elements.

**Key words:** Poplar; Agroforestry ecosystem; Soil; Organic carbon; Nutrient element

林农复合经营生态系统是通过空间布局或时间安排,将木本多年生植物精心用于农作物和(或)家畜所用的土地类型经营单元内,使其形成各组分在生态上和经济上具有相互作用的土地利用系统和技术系统的集合<sup>[1]</sup>。林农复合经营可以在一

定程度上提高土地生产力,持续长久地发展,在我国得到了长久的推广和应用,产生了多样的种类,并获得了丰富的生产管理经验的<sup>[2]</sup>。作为一个复杂的人工生态系统,林农复合系统各组分的构成、空间结构的优化和功能的实现,取决于系统整体全局

收稿日期:2016-01-20;修回日期:2016-01-27

**基金项目:**江苏省林业三新工程项目“江苏杨树农田林网更新改造技术集成与示范推广”(LYSX[2015]04);江苏省属公益类科研院所能力提升项目“江苏杨树农田林网更新改造及效益监测评价技术”(BM2015021);江苏省林业科学研究院青年基金项目“杨树纯林及杨农复合生态系统碳汇功能研究”(JAF-2012-03)

**作者简介:**江 浩(1983-),男,江苏扬州人,助理研究员,博士,从事森林生态系统研究。

\* **通信作者:**王 磊(1980-),男,江苏宜兴人,副研究员,博士,从事生态系统研究。E-mail:wl.stone@163.com。

的物质循环和能量交流<sup>[3-4]</sup>。在实际经营过程中,系统内部各组分之间相互的影响和转化直接影响着整个生态系统的各种生态、经济和景观效益<sup>[5-6]</sup>。在此基础上,通过交错的时空布局,合理利用系统内的光照、水分、土地、作物等组成因子,才能实现林农复合系统综合效益的最大化<sup>[7]</sup>。

杨树(*Populus* sp)具有耐寒、耐水、成活率高、速生、用途广泛等一系列优点,生长迅速,适应性强,分布广泛,经济价值显著,在农田林网、林农间作等复合系统中起着重要的作用。杨农复合经营是我国主要的林农间作模式之一,在江苏省徐淮平原区得到了广泛推广。有研究指出,杨农复合经营可以有效提高林地利用率,改良林下土壤的理化性质,增强林下土壤活性,增加整个生态系统的抗逆性。

土壤有机碳及氮、磷、钾等营养元素含量是反映土壤养分特征的重要指标。近年来,林农生态系统中的土壤及内部特征,是人们研究关注的热点<sup>[8-12]</sup>。杨农复合生态系统作为江淮平原一种重要的土地利用类型,探明其土壤养分特征对于进一步研究复合系统的生态功能,具有重要的理论及现实意义。本研究选择江苏北部已有大面积栽植的杨树纯林和典型杨农复合林为研究对象,通过对比土壤有机碳、N、P、K 等元素分布特征,探讨复合经营对土壤养分特征的影响,并为农田林网建设提供基础研究数据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究地概况

本研究区域位于江苏省盐城市境内的大丰林场内。大丰林场地处江苏省大丰市东南部,建于 1959 年,有林地近 0.25 万  $\text{hm}^2$ ,属于亚热带与暖温带的过渡地带,季风显著,雨热同期,常年平均气温  $14.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,无霜期 299 d,全年降水量 751.0 mm,日照 2 325.4 h。土壤为脱盐草甸土,土壤质地为沙质土壤,土壤 pH 偏碱性。

本项目选择立地条件和林分密度基本一致的 5 年生杨树纯林和杨农复合林(套种棉花)为研究对象,样地坐标为  $\text{N}32^{\circ}59'52''$ ,  $\text{E}120^{\circ}48'29''$ 。每种林型选择 3 个重复样地,每个样地大小为  $25\text{ m}\times 25\text{ m}$ 。试验材料均为 35 杨(*Populus deltoides* CL‘35/66’),株行距  $7\text{ m}\times 5\text{ m}$ 。

### 1.2 测定内容及方法

采用常规土钻法取样测算,于 2013 年 9 月进行,每个样地内随机选取 3 个点取样,分别为 0~10, 10~25, 25~50, 50~100 cm 分层取样,带回实验室按照国家标准 GB7830-87 进行风干、研磨、过筛和混合分样,进行养分含量分析;测定有机碳、全 N、有效 P 和有效 K 含量。有机碳采用重铬酸钾氧化法, N 用凯氏定 N 法, P 用钼锑抗比色法, K 用火焰光度计法。采用 SPSS13.0 统计分析软件对测定数据进行方差分析及回归分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤有机碳含量

土壤表层的枯枝落叶和动植物残体等,在化学淋溶和微生物分解转化的长期作用下,形成了土壤中的有机碳。杨树纯林和杨农复合生态系统整个土壤层有机碳含量均表现出表层土较高,且随土壤深度的增加而降低的趋势(见表 1)。杨树纯林土壤有机碳含量由表层 0~10 cm 的  $(9.86\pm 0.17)\text{ g/kg}$  降至 50~100 cm 层的  $(6.34\pm 0.22)\text{ g/kg}$ ;杨农复合林的土壤有机碳含量则由 0~10 cm 层的  $16.88\pm 1.07\text{ g/kg}$  降至 50~100 cm 层的  $(6.51\pm 0.22)\text{ g/kg}$ 。2 种模式同一层次间有机碳含量差异随层次变化而变化(见表 1)。在表层(0~10 cm)及中层(10~25 cm 和 20~50 cm)的土壤层,杨树纯林土壤有机碳含量显著低于杨农复合林( $P<0.05$ );而在土壤下层(50~100 cm),杨树纯林和杨农复合林土壤有机碳含量并未出现明显差异( $P>0.05$ )。

表 1 不同模式不同土壤层有机碳含量

土壤深度/cm	杨树纯林	杨农复合林
	有机碳含量/(g/kg)	有机碳含量/(g/kg)
0~10	$9.86\pm 0.17\text{ a}$	$16.88\pm 1.07\text{ b}$
10~25	$8.29\pm 0.60\text{ a}$	$13.79\pm 1.50\text{ b}$
25~50	$7.12\pm 0.75\text{ a}$	$8.32\pm 0.87\text{ b}$
50~100	$6.34\pm 0.22\text{ a}$	$6.51\pm 0.22\text{ a}$

不同字母表示同一土壤层间在 0.05 水平下差异显著。

### 2.2 土壤全 N 含量

N 元素是林农复合生态系统中重要的营养元素之一。在林农复合生态系统中,土壤 N 含量主要受人为活动的影响。N 元素在林农复合生态系统中的流动过程影响着土壤中的氮循环。土壤氮素循环途径中的挥发(氨)、淋溶迁移(硝态氮)和 N 元素的反硝化等过程影响着植株的生长,改变着生态环境。

表 2 不同模式不同土壤层 N 含量

土壤深度/cm	杨树纯林	杨农复合林
	N 元素含量/(g/kg)	N 元素含量/(g/kg)
0~10	0.83±0.05 a	1.35±0.17 b
10~25	0.71±0.05 a	0.85±0.15 b
25~50	0.64±0.03 a	0.72±0.10 b
50~100	0.57±0.09 a	0.65±0.09 a

不同字母表示同一土壤层间在 0.05 水平下差异显著。

杨树纯林和杨农复合林土壤全 N 含量的垂直分布规律趋于一致,均表现出自上而下随深度的增加而降低的趋势(见表 2)。杨树纯林 N 含量由表层 0~10 cm 的(0.83±0.05) g/kg 降至 50~100 cm 层的(0.57±0.09) g/kg;在杨农复合经营生态系统中则由 0~10 cm 的(1.35±0.17) g/kg 降至 50~100 cm 层的(0.65±0.09) g/kg。由于间作植物的影响,N 含量在杨树纯林和杨农复合生态系统土壤层中表现出了一定的差异。与有机碳含量类似,在 0~10,10~25,25~50 cm 的土壤表层,杨树纯林的 N 含量显著低于杨农复合经营生态系统( $P<0.05$ );在 50~100 cm 土壤层,N 含量在杨树纯林和杨农复合生态系统差异不显著( $P>0.05$ )。

2.3 土壤有效 P 含量

P 是植物必需的大量营养元素,在大多数土壤中,P 以无机盐的形式存在,有机形态的 P 含量相对较低。土壤有效 P,是指土壤中可被植物吸收的 P 组分。测定土壤有效 P 含量,能够了解土壤的供 P 状况。在杨树纯林生态系统中,土壤有效 P 含量范围为(4.89±0.34)~(12.95±0.61) mg/kg;在杨农复合经营生态系统中,土壤有效 P 含量范围为(4.76±0.44)~(13.88±1.01) mg/kg(见表 3)。在 2 个生态系统中,土壤有效 P 含量均表现出随土壤深度的增加而降低的趋势,但仅在土壤中上层(10~25 cm),杨农复合生态系统的土壤有效 P 含量显著高于杨树纯林( $P<0.05$ ),在土壤表层(0~10 cm)、土壤中下层(25~50 cm)和下层(50~100 cm)处,土壤有效 P 含量在杨树纯林和杨农复合生态系统中差异不显著( $P>0.05$ )。

表 3 不同模式不同土壤层有效 P 含量

土壤深度/cm	杨树纯林	杨农复合林
	有效 P 含量/(mg/kg)	有效 P 含量/(mg/kg)
0~10	12.95±0.61 a	13.88±1.01 a
10~25	6.91±0.55 a	8.14±0.92 b
25~50	6.55±0.52 a	6.52±0.59 a
50~100	4.89±0.34 a	4.76±0.44 a

不同字母表示同一土壤层间在 0.05 水平下差异显著。

2.4 土壤有效 K 含量

大多数的土壤中钾元素含量很低,而且其中约 90%的钾是以矿物质的形式存在,极难被植物吸收。钾是植物必需的营养元素,它是植物体内多种酶的催化剂,对植物呼吸作用和光合作用的进程起着重要的作用。同时,钾元素还有利于提高植物抗逆性,例如对于旱、寒冷等不良环境的抵抗能力。土壤有效 K 主要来源于含钾的原生矿物和黏土矿物,在土壤耕作、灌溉等因素的影响下很易于流失。在杨树纯林和杨农复合生态系统中,土壤有效 K 的含量表现出了不一样的变化规律(见表 4)。在杨树纯林生态系统中为自下而上呈递减趋势,由表层 0~10 cm 的(98.2±8.71) mg/kg 降至 50~100 cm 层的(52.8±3.99) mg/kg;在杨农复合生态系统中呈现先增后减倒“U”型变化趋势,在 0~10,10~25,25~50 和 50~100 cm 不同土壤层,有效 K 含量分别为(125.6±9.48),(148.7±9.83),(176.1±8.45)和(89.9±10.5) mg/kg。杨农复合经营生态系统的土壤有效钾含量,在 4 个土壤层均显著高于杨树纯林系统( $P<0.05$ )。

表 4 不同模式不同土壤层有效 K 含量

土壤深度/cm	杨树纯林	杨农复合林
	有效 K 含量/(mg/kg)	有效 K 含量/(mg/kg)
0~10	98.2±8.71 a	125.6±9.48 b
10~25	84.7±7.64 a	148.7±9.83 b
25~50	69.5±5.32 a	176.1±8.45 b
50~100	52.8±3.99 a	89.9±10.5 b

不同字母表示同一土壤层间在 0.05 水平下差异显著。

3 讨论与结论

当前杨农复合生态系统的大量研究集中在林农复合经营如何挖掘生产潜力、提高资源利用效率、合理配置时空要素、稳定可持续发展及增加经济效益等多个方面,在此基础上深入探讨杨农复合经营的结构设计及其设计原理<sup>[4,13-15]</sup>。本研究比较并探讨了杨农复合生态系统和杨树纯林生态系统间土壤有机碳和 N,P,K 等元素含量的垂直分布特征。研究结果表明,杨树纯林和杨农复合生态系统中有机碳、全 N 和有效 P 含量均自上而下呈现递减的趋势;有效 K 含量在杨树纯林中随土壤深度的增加而降低,在杨农复合系统中表现出先增大后减小的倒“U”型变化趋势。由于间作植物的影响,N,P,K 和有机碳的含量在杨树纯林和杨农复合生态系统土壤层中表现出了一定的差异。杨树纯林的 N 和有机碳含量在 0~10,10~25,25~50 cm 土层均显著



低于杨农复合系统( $P<0.05$ ),有效P含量仅在10~25 cm层均显著低于杨农复合系统( $P<0.05$ ),有效K含量在0~100 cm均显著低于杨农复合经营生态系统( $P<0.05$ )。

植物通过根系从土壤中吸收矿物质和养分,合成有机物后在体内累积。一部分以凋落物和残留物等形式归还于外界,在土壤动植物和微生物的共同作用下,分解释放,甚至被植物再吸收利用,构成了生态系统的养分物质循环过程<sup>[16]</sup>。养分循环维持着群落有机物质的生产,在一定程度上影响着群落的稳定性、持续性以及生产力的高低。养分在土壤中的转化是十分复杂的,受到各种物理的、化学的以及生物学因素的控制<sup>[17]</sup>。本研究中,土壤养分元素含量表现出表层较高,随土壤深度的增加而降低的趋势,与他人研究成果较为一致。在杨树纯林和杨农复合生态系统中,土层越深,有机碳含量越少,上下层之间有机碳含量的差值越来越小,其原因是地表凋落物层在土壤动物、微生物及根系分泌物的作用下,分解变化。该过程改良了表层土壤,同时随着淋溶、生物活动等作用,分解物向下扩散。土层越深,距离地表层越远,随淋溶、微生物活动等因素而被改良的程度就大大降低<sup>[18]</sup>。土壤有机碳是土壤肥力高低的主要指标之一,是土壤的重要成分,也是矿质营养,特别是N、有效P、有效K等元素的重要来源<sup>[19]</sup>。土壤中的N、P、K等元素含量主要由有机碳的积累和分解作用的相对强度决定,表现出同有机碳一样的变化趋势。

与纯林或者农田相比,林农复合系统内部有着光照、水分和养分的竞争,对系统生产力产生了一定程度的负面影响<sup>[20]</sup>。相对的,林农复合经营对整个生态系统有着大量的帮助。林农复合种植有助于改善土壤的理化性质,林木和农作物的根系、凋落物和残留物等会提供一定的有机碳和养分元素给土壤,从而提高土壤肥力和养分含量(见表1-4)<sup>[18]</sup>。土壤中的养分还会通过根系周转而被农作物再次利用,提高了养分利用效率。同时,未被浅根植物吸收而从表层淋溶下来的养分会被杨树的地下根系所截留,土壤地下漏失的进程在一定程度上得以减缓。杨树的地下根系还会加强吸收深层土壤或地下水中的养分,增加了有效利用范围。有研究指出,农田中的林木可以改善土壤的通透性、保水量、颗粒稳定性及温湿度,并对农田林区小范围的水分循环产生有利的影响<sup>[21]</sup>。农林复

合改造的研究表明,农田中种植林木可以对土壤中的pH值和有机碳含量产生良好的影响,将地下15 cm土层的pH从弱酸性改良至6.8,有机碳含量增加了3倍多<sup>[22]</sup>。相关研究显示,土壤有机碳的综合腐解过程主要是由土壤微生物主导完成的<sup>[23]</sup>。首先,一部分土壤微生物侵袭有机物质,开始分解,产生 $\text{NH}_3$ 、 $\text{H}_2\text{S}$ 、 $\text{CO}_2$ ,有机酸和其他不能完全氧化分解的物质;之后,土壤中不同的微生物作用于有机中间物,进一步分化产生新的物质,其中碳会进一步以 $\text{CO}_2$ 的方式发散;最后,逐步分解残存的植物木质素。林农复合系统由于农作物的作用,使得更多种类和数量的微生物参加到土壤有机物的分解过程中<sup>[24]</sup>,从而使得林农间作土壤有机碳的含量、养分元素的含量在一定程度上大于纯林。除此之外,杨农复合生态系统对土壤中脲酶和土壤碱性磷酸酶的活性有一定的促进<sup>[25]</sup>,会增加土壤中有效N和有效P的含量(见表2,3),诱导作用土壤中不同形态无机磷之间的相互转化,促进土壤中难溶态养分的分解吸收。杨农复合生态系统中土壤有效K的分布与其他元素不同,表现出一定的波动性,除受到全量养分影响外,很大程度上还受植被类型土壤微生物以及与N、P耦合的影响<sup>[26-27]</sup>。中上层土壤中有效P的相对增加,会在一定程度上影响有效K的物化循环,从而产生富集波动。

总的说来,杨农复合生态系统会在一定程度上改良土壤,增加土壤有机碳和养分元素的含量。本研究对时间尺度上的变化、不同间作农作物的影响以及养分元素之间的相关性探讨还有所欠缺。因此,针对不同间作模式下,杨农复合生态系统土壤的长期动态变化及相互作用特征,是进一步分析的重要方向。

#### 参考文献:

- [1] 李文华,赖世登.中国农林复合经营[M].北京:科学出版社,1994.
- [2] 娄安如.农林复合生态系统简介[J].生物学通报,1995,30(5):9-10.
- [3] 许 翠,隋 鹏,谢光辉,等.杨农复合种植模式土壤水分效应及生产力分析[J].中国农业科学,2006,39(4):758-763.
- [4] 方升佐,徐锡增,余 相,等.杨—小麦复合经营模式的立地生产力及经济效益评价[J].林业科学,2004,40(3):88-95.
- [5] 程 鹏,曹福亮,汪贵斌.农林复合经营的研究进展[J].南京林业大学学报(自然科学版),2010,34(3):151-156.
- [6] 徐红梅,孙拥康,汤景明,等.汉江平原典型杨—农复合经营模式及效益分析[J].湖北林业科技,2014,43(5):1-4.

- [7] 任毅华,侯 磊.渭北农林复合系统土壤水分垂直分布特征[J].北京农业,2015(9):237-238.
- [8] 肖 娜,胡少伟.农林复合经营对土壤质量的影响[J].中国农业信息,2014(18):21-26.
- [9] SINGH Y P, SINGH G, SHARMA D K. Bioamelioration of alkali soils through agroforestry systems in central Indo-Gangetic plains of India[J]. Journal of Forestry Research, 2014, 25(4): 887-896.
- [10] ODHIAMBO H O, ONG C K, DEANS J D, et al. Roots, soil water and crop yield: tree crop interactions in a semi-arid agroforestry system in Kenya[J]. Plant and Soil, 2001(235): 221-233.
- [11] KAUR B, GUPTA S R, SINGH G. Soil carbon, microbial activity and nitrogen availability in agroforestry system on moderately alkaline soils in northern India[J]. Applied Soil Ecology, 2000, 15(3): 283-294.
- [12] SHARROW S H, ISMAIL S. Carbon and nitrogen storage in agroforests, tree plantations, and pastures in Western Oregon, USA[J]. Agroforestry Systems, 2004, 60(2): 123-130.
- [13] FANG S, XU X, YU X et al. Poplar in wetland agroforestry: A case study of ecological benefit, site productivity, and economics[J]. Wetland Ecology and Management, 2005, 13(1): 93-104.
- [14] 富丰珍,徐陈扬,李广德.我国杨树林农复合经营现状及存在的问题[J].西北林学院学报,2010,25(2):221-224.
- [15] 陈卫平,朱清科,薛智德,等.农林复合系统规划设计的研究进展[J].西北林学院学报,2008,23(4):127-131.
- [16] 李海玲,王万江,方升佐.不同杨农复合经营模式对土壤活性炭组分及其分布特征的影响[J].金陵科技学院学报,2013,22(2):79-84.
- [17] 刘学玉,吕豪豪,石 岩,等.生物质炭对土壤养分淋溶的影响及潜在机理研究进展[J].应用生态学报,2015,26(1):304-310.
- [18] 李海玲,陈乐蓓,方升佐.不同杨农复合经营模式土壤有机碳和全氮含量垂直分布及储量研究[J].南京林业大学学报(自然科学版),2010,34(2):125-129.
- [19] 范士超,张海林,黄光辉,等.不同间伐模式下杨农复合系统土壤养分垂直分布特征[J].华北农学报,2010,25(增刊):236-241.
- [20] 刘 洋,胡开波,刘 凯,等.农林复合系统结构设计探讨[J].林业经济,2010(10):79-84.
- [21] NAIR P K R. Tree integration on farmlands for sustained productivity of small holdings[J]. Environmentally Sound Agriculture, 1983:335-350.
- [22] 平晓燕,王铁梅,卢欣石.农林复合系统固碳潜力研究进展[J].植物生态学报,2013,37(1):80-92.
- [23] 蒋 婧,宋明华.植物与土壤微生物在调控生态系统养分循环中的作用[J].植物生态学报,2010,34(8):979-988.
- [24] LIVESLEY S J, GREGORY P J, BURESH R J. Competition in tree row agroforestry systems: Distribution, dynamics and uptake of soil inorganic N[J]. Plant and soil, 2002, 247: 177-187.
- [25] 魏 勇,张焕朝,张金龙.杨树根际土壤磷的分布特征及有效性[J].南京林业大学学报(自然科学版),2003,27(8):20-24.
- [26] 曹小玉,李际平,闫文德.不同龄组杉木林土壤有机碳与氮磷钾分布特征及耦合关系[J].土壤通报,2014(5):1137-1143.
- [27] 渠开跃,代力民,冯慧敏,等.辽东山区不同林型土壤有机质和NPK分布特征[J].土壤通报,2009(3):558-562.

(上接第4页)

通过《森林生态服务评估功能规范》较客观地计算,连云港杨树纯林森林生态服务功能价值达到136.41亿元/a。需要说明的是本研究仅仅计算的是杨树林产生的生态价值中的一部分,部分生态价值由于目前技术手段等方面问题难以衡量,且已有的计算由于受数据资料的详实程度等因素制约,还有待进一步深入完善。杨树作为本地区的人工建群树种,发展以来,取得了巨大的经济效益和社会效益,其生态效益也是举足轻重的。在今后的林业生产中,应客观看待杨树的作用,可栽植不易造成污染的杨树雄株,营造复合高效混交林,更好地满足地区林业生态建设的需要。

#### 参考文献:

- [1] 张金池.水土保持及防护林学[M].北京:中国林业出版社,1996:65-76,175-198.
- [2] 国家林业局.森林生态系统服务功能评估规范[S]//中华人民共和国

林业行业标准 LY/T1721-2008.

- [3] 吴玉环,高 谦,程国栋.生物土壤结皮的生态功能[J].生态杂志,2002,21(4):41-45.
- [4] 余新晓,秦永胜,陈丽华,等.北京山地森林生态系统服务功能及其价值初步研究[J].生态学报,2002,22(5):783-786.
- [5] 冯玉青,陈月琴,陶隽超.苏州森林生态服务功能价值评估[J].华东森林经理,2009,23(1):37-43.
- [6] 许纪泉,钟全林.武夷山自然保护区森林生态系统服务功能价值评估[J].林业资源管理,2007,6(3):2649-2655.
- [7] 魏 媛,张金池,喻理飞.退化喀斯特植被恢复过程中土壤微生物生物量碳的变化[J].南京林业大学学报(自然科学版),2008,32(5):71-75.
- [8] 高 琼,李月辉,肖笃宁,等.沈阳市域森林生态系统服务功能价值评估[J].东北林业大学学报,2008,36(2):69-72.
- [9] 李菲菲,饶良懿,鲁绍伟,等.华北平原杨树人工林蒸散发估算研究[J].灌溉排水学报,2013,32(1):135-138.
- [10] 蒋文伟.不同类型森林绿地空气负离子生态效应[J].中国城市林业,2008,6(4):49-57.
- [11] 《中国生物多样性价值核算研究》编写组.中国生物多样性国情研究报告[M].北京:中国环境科学出版社,1998.