

## 杨-农复合系统土壤养分分布特征

王陆军<sup>1</sup>, 肖正东<sup>1</sup>, 曹效珍<sup>2</sup>, 刘西军<sup>3\*</sup>

(1. 安徽省林业科学研究院, 合肥 230031; 2. 砀山县林业局, 砀山 235300; 3. 安徽农业大学林学与园林学院, 合肥 230036)

**摘要:** 以2年生杨-农复合系统为研究对象, 通过对不同林分结构(密度、配置方式)杨-农复合系统及农田土壤养分的分布特征进行分析比较, 探讨林分结构对杨-农复合系统土壤养分的影响规律。结果表明: (1) 杨-农复合系统土壤含水率、pH值、有机质、全氮、全磷和全钾含量在0~20 cm和20~40 cm土层均存在明显的水平差异, 但距杨树树行不同距离点土壤养分的变化规律性不明显, 可能受杨树根系分布、土壤微生物、施肥以及耕作等的影响; 3种模式杨-农复合系统土壤含水率、pH值均高于对照, 全氮含量仅树干基部土壤低于对照, 而全磷、全钾含量与对照间差异不明显; (2) 4种类型土壤含水率、pH值、有机质、全氮、全磷和全钾含量在上下层间呈极显著差异( $P<0.01$ ), 存在明显的垂直分布规律, 且M<sub>1</sub>模式上层土壤含水率、pH值、有机质、全氮含量高, 全磷与全钾含量低, M<sub>2</sub>与M<sub>3</sub>模式多相反。

**关键词:** 土壤养分; 分布特征; 林分结构; 杨-农复合系统

中图分类号: S714.8

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X(2013)05-0716-05

### Distribution characteristics of soil nutrient in *poplar*-crops agroforestry system

WANG Lu-jun<sup>1</sup>, XIAO Zheng-dong<sup>1</sup>, CAO Xiao-zhen<sup>2</sup>, LIU Xi-jun<sup>3</sup>

(1. Anhui Academy of Forestry, Hefei 230031; 2. Dangshan Forestry Bureau, Dangshan 235300;

3. School of Forestry and Architectural Landscape, Anhui Agricultural University, Hefei 230036)

**Abstract:** The distribution characteristics of soil nutrients under different stand structures (in the 2-year-old *poplar*-crops agroforestry system) was studied. The results showed as follows. (1) The soil moisture content, pH value, organic matter, total nitrogen, total phosphorus, and potassium content at soil depths of 0-20 cm and 20-40 cm in *poplar*-crops agroforestry system had an obvious horizontal difference, but it was not obvious that the regularity of change of soil nutrients in different distances from poplar stem, which might be affected by the root distribution of poplar, soil microorganism, fertilization and soil tillage; In three *poplar*-crops agroforestry systems, soil moisture contents and pH values were higher than those of the control group; the total nitrogen content in the base of trunk was lower than that of the control group; total phosphorus and total potassium were not significantly different from those of the control group; (2) The difference of moisture content, pH, organic matter, total nitrogen, total phosphorus and total potassium content in four types of soil between the lower layer and the higher layer was highly significant ( $P<0.01$ ). There were obvious vertical distribution, and the soil moisture content, pH, organic matter, total nitrogen content in upper soil in M<sub>1</sub> mode was higher, while the total phosphorus and total potassium contents in upper soil in M<sub>1</sub> mode were lower, which were opposite in M<sub>2</sub> and M<sub>3</sub> modes.

**Key words:** soil nutrient; distribution characteristics; stand structure; *poplar*-crops agroforestry system

农林复合系统 (agroforestry systems) 是人工复合的农林业经营系统<sup>[1]</sup>, 多见于幼林期间作阳性农作物和郁闭后林下种植耐荫作物或药材模式。系统

中, 林木根系可大量吸收外围土壤中矿质营养和水分<sup>[2-4]</sup>, 提高系统养分利用效率<sup>[5]</sup>, 改善土壤肥力状况<sup>[6]</sup>, 凋落物与死亡根系可增加土壤有机质含

收稿日期: 2013-05-10

基金项目: “十二五”科技支撑课题 (2011BAD38B0205), 国家林业局“黄淮海平原农田防护林生态系统定位观测研究站”共同资助。

作者简介: 王陆军, 男, 助理研究员。E-mail: wanglujun1984@126.com

\* 通信作者: 刘西军, 男, 博士。E-mail: liuxj104@126.com

量<sup>[7-8]</sup>。然而,在农林复合系统中,林木与作物间存在土壤养分、水分等多方面的相互竞争<sup>[9-15]</sup>,表现在林木的栽培密度<sup>[12]</sup>、行间距离<sup>[16-20]</sup>均会影响林下土壤养分、水分含量与运移的空间改变,但不同的农林复合系统结构与模式间存在很大的差异。

杨(*Populus*)-农复合系统是我国主要的农林复合系统模式之一,杨-农复合系统中土壤特征的研究一直是热点问题,但多偏向于水分的研究,针对由农田经营模式转变为不同林分结构模式杨-农复合系统土壤养分的变化及分布特征研究将有助于进一步了解该复合系统的生态生产功能。本研究以沙化区幼龄杨-农复合系统为研究对象,通过比较不同结构(密度、株行距)杨-农复合系统与农田土壤养分的差异及分布(水平、垂直)特征,探讨和寻求适合本区域的杨-农复合经营种植模式,优化种植结构,实现农林复合可持续经营。

## 1 研究区概况

研究区域位于安徽省砀山县薛楼村,116°09'~116°38'E,34°16'~34°39'N。属典型的温带大陆性气候,四季分明,年均气温14℃,极端低温-19.9℃,极端高温41.6℃;年均降水量773 mm,多集中在7、8月份;年均蒸发量1 712 mm,年无霜期199 d,日照时数2 481 h,≥10℃年积温4 440℃,年均风速2.5 m·s<sup>-1</sup>。区域内以平原为主,地势平坦,间有高坡洼地、缓坡地。成土母质为近代黄河冲积物,土质变化较大,沙土和粘土相间,沉积层理明显,土壤为潮土,有石灰反应,硫酸钙含量6%~14%。植被属于典型的温带落叶阔叶林带,自然植被少,人工林较多,主要树种有杨树、旱柳(*Salix matsudana*)、榆树(*Ulmus pumila*)、臭椿(*Ailanthus altissima*)、苦楝(*Melia azedarach*)、苹果(*Malus domestica*)、砀山酥梨(*Pyrus*. spp)等。

实验林分为杨-麦-大豆农林复合系统,2010年春季造林,杨树品种为中林2025杨,株行距分别为2 m×6 m (M<sub>1</sub>)、3 m×8 m (M<sub>2</sub>)和4 m×6 m (M<sub>3</sub>)3种模式,以单独种植小麦地为对照(CK)。农林复合系统与农田每年以相同时间和次数施肥30 kg复合肥和15 kg过磷酸钙。造林苗木严格遵守国家《主要造林树种苗木质量分级》(GB6000-1999)和安徽省《苗木标准》(皖D/LY02-84)进行选择,杨树I级合格苗为苗高>4 m,地径>3.5 cm。2012年2月,对3种模式杨-麦农林复合系统进行了样地调查,杨树平均胸径为6.99~10.37 cm,平均树高为7.10~8.28 m。

## 2 研究方法

### 2.1 土样采集

土壤采样按距杨树树干基部不同距离(0 m、1 m、2 m、3 m和4 m(仅3 m×8 m密度下取距离4 m土样))和对照随机选择5个取样点,使用土壤钻按0~20 cm、20~40 cm层采样混合取混合样作为供试样品,14个处理,3次重复。样品采回后,去根茬、石块等杂物,将土样分为2部分:一部分取鲜土,测定土壤含水率,另一部分风干,磨碎,过2 mm筛,测定土壤pH值、有机质、全氮、全磷、全钾等指标。

### 2.2 指标测定与数据分析

土壤pH值采用酸度计测定;土壤全氮采用凯氏法;全磷采用NaOH碱熔—钼锑抗比色法;全K采用TAS-990原子吸收分光光度计法;有机质含量采用重铬酸钾、硫酸氧化-外加热法。

所有数据分析均采用EXCEL2003、SPSS18.0统计软件进行统计分析与处理,使用SigmaPlot9.0软件进行作图。

## 3 结果与分析

### 3.1 杨-农复合系统土壤养分水平分布

3种杨-农复合系统土壤养分的水平分布特征见表1和表2。由表1可以看出,在0~20 cm土层深度,土壤含水率为16.78%~28.64%,均高于对照,达到显著差异( $P<0.05$ )。同时,M<sub>1</sub>和M<sub>2</sub>模式中,随距离增加土壤含水率先升高后降低,M<sub>3</sub>模式则波浪式升高。土壤pH(8.17~8.63)均低于对照(8.72),多处均达到显著差异( $P<0.05$ ),且随距离增加pH降低,尤其是行中心点降低显著( $P<0.05$ )。土壤有机质含量在0.46%~6.20%间,变化幅度较大,与对照样地呈显著差异( $P<0.05$ ),但M<sub>1</sub>和M<sub>2</sub>模式水平变化剧烈,而M<sub>3</sub>模式土壤有机质含量较一致;土壤全氮含量在0.11%~0.27%,全钾含量2.32~6.34 g·kg<sup>-1</sup>,各点土壤全氮和全钾含量随距离增加多先增大后减小,且均与对照差异显著( $P<0.05$ );土壤全磷含量在0.40~0.51 g·kg<sup>-1</sup>,随距离增加M<sub>1</sub>模式先增后减,M<sub>2</sub>模式一直减小,M<sub>3</sub>模式一直增加。从同一距离点来看,3种模式间土壤含水率、全氮和全钾含量差异显著( $P<0.05$ );土壤pH表现出M<sub>1</sub>和M<sub>2</sub>间差异不显著( $P>0.05$ ),二者均与M<sub>3</sub>和对照差异显著( $P<0.05$ );土壤有机质与全磷含量多呈显著差异( $P<0.05$ )。

表 1 0~20 cm 土壤养分的水平分布  
Table 1 The horizontal distribution of soil nutrients at depths of 0-20 cm

项目 Item	模式 Mode	0 m	1 m	2 m	3 m	4 m	CK
含水率/% Soil moisture	M <sub>1</sub>	20.28±0.13 <sup>aA</sup>	22.21±0.20 <sup>bA</sup>	28.64±0.10 <sup>cA</sup>	16.78±0.06 <sup>dA</sup>		16.79±0.10 <sup>d</sup>
	M <sub>2</sub>	17.88±0.07 <sup>aCB</sup>	18.91±0.11 <sup>bB</sup>	17.90±0.05 <sup>aB</sup>	17.71±0.07 <sup>cB</sup>	17.25±0.06 <sup>dA</sup>	16.79±0.10 <sup>e</sup>
	M <sub>3</sub>	17.68±0.12 <sup>aC</sup>	18.48±0.15 <sup>bC</sup>	18.30±0.11 <sup>cC</sup>	18.32±0.06 <sup>bcC</sup>		16.79±0.10 <sup>d</sup>
pH	M <sub>1</sub>	8.63±0.05 <sup>aA</sup>	8.59±0.02 <sup>aA</sup>	8.68±0.04 <sup>bA</sup>	8.53±0.04 <sup>cA</sup>		8.72±0.03 <sup>b</sup>
	M <sub>2</sub>	8.63±0.03 <sup>aA</sup>	8.59±0.03 <sup>aA</sup>	8.50±0.02 <sup>bB</sup>	8.49±0.04 <sup>bA</sup>	8.34±0.01 <sup>cA</sup>	8.72±0.03 <sup>e</sup>
	M <sub>3</sub>	8.41±0.01 <sup>aB</sup>	8.48±0.01 <sup>bB</sup>	8.40±0.02 <sup>aC</sup>	8.17±0.01 <sup>cB</sup>		8.72±0.03 <sup>d</sup>
有机质/% OM	M <sub>1</sub>	2.59±0.02 <sup>aA</sup>	1.57±0.00 <sup>bA</sup>	1.07±0.00 <sup>cA</sup>	4.51±0.01 <sup>dA</sup>		2.09±0.01 <sup>e</sup>
	M <sub>2</sub>	0.46±0.00 <sup>aB</sup>	1.07±0.01 <sup>bB</sup>	6.20±0.20 <sup>cB</sup>	0.75±0.01 <sup>dB</sup>	1.50±0.01 <sup>eA</sup>	2.09±0.01 <sup>f</sup>
	M <sub>3</sub>	1.12±0.03 <sup>abC</sup>	1.06±0.58 <sup>bB</sup>	2.21±0.02 <sup>cC</sup>	1.38±0.01 <sup>aC</sup>		2.09±0.01 <sup>c</sup>
全氮/% TN	M <sub>1</sub>	0.11±0.00 <sup>aA</sup>	0.21±0.00 <sup>bA</sup>	0.20±0.00 <sup>cA</sup>	0.19±0.00 <sup>dA</sup>		0.17±0.00 <sup>e</sup>
	M <sub>2</sub>	0.23±0.00 <sup>aB</sup>	0.27±0.00 <sup>bB</sup>	0.22±0.00 <sup>cB</sup>	0.17±0.00 <sup>dB</sup>	0.19±0.00 <sup>eA</sup>	0.17±0.00 <sup>f</sup>
	M <sub>3</sub>	0.16±0.00 <sup>aC</sup>	0.20±0.00 <sup>bC</sup>	0.20±0.00 <sup>cC</sup>	0.21±0.00 <sup>dC</sup>		0.17±0.00 <sup>e</sup>
全磷/g·kg <sup>-1</sup> TP	M <sub>1</sub>	0.42±0.01 <sup>aA</sup>	0.48±0.00 <sup>bA</sup>	0.46±0.00 <sup>cA</sup>	0.45±0.00 <sup>cA</sup>		0.48±0.00 <sup>b</sup>
	M <sub>2</sub>	0.48±0.01 <sup>aB</sup>	0.48±0.00 <sup>aA</sup>	0.47±0.00 <sup>bA</sup>	0.42±0.00 <sup>cB</sup>	0.42±0.00 <sup>cA</sup>	0.48±0.00 <sup>a</sup>
	M <sub>3</sub>	0.40±0.00 <sup>aC</sup>	0.50±0.00 <sup>bB</sup>	0.51±0.01 <sup>cB</sup>	0.51±0.01 <sup>cC</sup>		0.48±0.00 <sup>d</sup>
全钾/g·kg <sup>-1</sup> TK	M <sub>1</sub>	4.24±0.00 <sup>aA</sup>	3.14±0.03 <sup>bA</sup>	2.42±0.01 <sup>cA</sup>	2.32±0.00 <sup>dA</sup>		4.54±0.03 <sup>e</sup>
	M <sub>2</sub>	5.03±0.01 <sup>aB</sup>	6.25±0.03 <sup>bB</sup>	3.11±0.01 <sup>cB</sup>	2.60±0.02 <sup>dB</sup>	3.37±0.00 <sup>eA</sup>	4.54±0.03 <sup>f</sup>
	M <sub>3</sub>	2.60±0.01 <sup>aC</sup>	5.95±0.00 <sup>bC</sup>	6.34±0.01 <sup>cC</sup>	4.65±0.17 <sup>dC</sup>		4.54±0.03 <sup>e</sup>

注：同行小写字母为为 0.05 水平上的显著性差异；同列大写字母为 0.01 水平上的显著性差异。下同。

Note: The small letter in a line refers to significant difference at the 0.05 level; the capital letter in a column refers to significant difference at the 0.01 level. The same below.

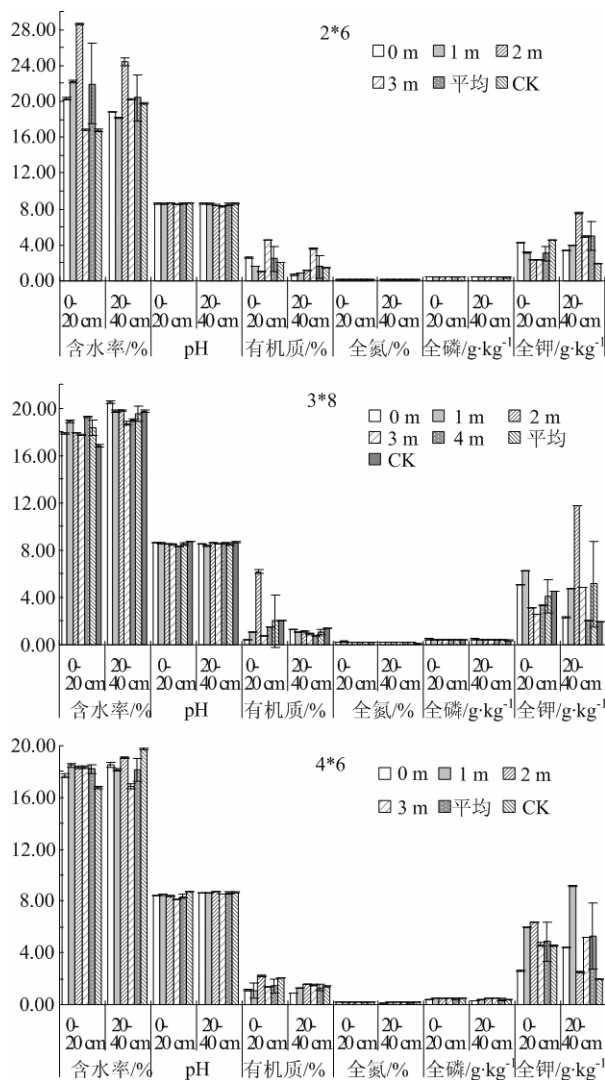
表 2 20~40 cm 土壤养分的水平分布  
Table 2 The horizontal distribution of soil nutrients at depths of 20-40 cm

项目 Item	模式 Mode	0 m	1 m	2 m	3 m	4 m	CK
含水率/% Soil moisture	M <sub>1</sub>	18.83±0.05 <sup>aA</sup>	18.17±0.12 <sup>bA</sup>	24.39±0.42 <sup>cA</sup>	20.21±0.06 <sup>dA</sup>		19.75±0.09 <sup>e</sup>
	M <sub>2</sub>	20.48±0.12 <sup>aB</sup>	19.78±0.11 <sup>bB</sup>	19.79±0.10 <sup>bB</sup>	18.70±0.19 <sup>cB</sup>	18.96±0.13 <sup>cA</sup>	19.75±0.09 <sup>b</sup>
	M <sub>3</sub>	18.50±0.19 <sup>aC</sup>	18.15±0.07 <sup>bA</sup>	19.08±0.08 <sup>cC</sup>	16.83±0.18 <sup>dC</sup>		19.75±0.09 <sup>e</sup>
pH	M <sub>1</sub>	8.65±0.05 <sup>aA</sup>	8.59±0.07 <sup>bA</sup>	8.43±0.05 <sup>cA</sup>	8.30±0.03 <sup>dA</sup>		8.64±0.04 <sup>a</sup>
	M <sub>2</sub>	8.50±0.02 <sup>aB</sup>	8.36±0.01 <sup>bB</sup>	8.65±0.01 <sup>cB</sup>	8.54±0.01 <sup>dB</sup>	8.60±0.03 <sup>dA</sup>	8.64±0.04 <sup>c</sup>
	M <sub>3</sub>	8.60±0.02 <sup>aC</sup>	8.61±0.01 <sup>aAC</sup>	8.76±0.02 <sup>bC</sup>	8.54±0.01 <sup>cB</sup>		8.64±0.04 <sup>a</sup>
有机质/% OM	M <sub>1</sub>	0.67±0.03 <sup>aA</sup>	0.87±0.00 <sup>bA</sup>	1.22±0.01 <sup>cA</sup>	3.60±0.02 <sup>dA</sup>		1.42±0.01 <sup>e</sup>
	M <sub>2</sub>	1.29±0.01 <sup>aB</sup>	1.11±0.01 <sup>bB</sup>	1.15±0.05 <sup>cB</sup>	0.93±0.01 <sup>dB</sup>	0.77±0.03 <sup>eA</sup>	1.42±0.01 <sup>f</sup>
	M <sub>3</sub>	0.92±0.01 <sup>aC</sup>	1.25±0.03 <sup>bC</sup>	1.55±0.01 <sup>cC</sup>	1.52±0.01 <sup>cC</sup>		1.42±0.01 <sup>d</sup>
全氮/% TN	M <sub>1</sub>	0.19±0.00 <sup>aA</sup>	0.19±0.00 <sup>bA</sup>	0.20±0.00 <sup>cA</sup>	0.19±0.00 <sup>dA</sup>		0.16±0.00 <sup>e</sup>
	M <sub>2</sub>	0.23±0.00 <sup>aB</sup>	0.17±0.00 <sup>bB</sup>	0.18±0.00 <sup>cB</sup>	0.18±0.00 <sup>dB</sup>	0.18±0.00 <sup>dA</sup>	0.16±0.00 <sup>e</sup>
	M <sub>3</sub>	0.14±0.00 <sup>aC</sup>	0.15±0.00 <sup>bC</sup>	0.19±0.00 <sup>cC</sup>	0.18±0.00 <sup>dB</sup>		0.16±0.00 <sup>e</sup>
全磷/g·kg <sup>-1</sup> TP	M <sub>1</sub>	0.45±0.01 <sup>aA</sup>	0.51±0.01 <sup>bA</sup>	0.45±0.00 <sup>aA</sup>	0.46±0.00 <sup>aAB</sup>		0.37±0.01 <sup>c</sup>
	M <sub>2</sub>	0.46±0.05 <sup>aA</sup>	0.39±0.01 <sup>bB</sup>	0.45±0.00 <sup>aA</sup>	0.44±0.01 <sup>aA</sup>	0.47±0.00 <sup>aA</sup>	0.37±0.01 <sup>b</sup>
	M <sub>3</sub>	0.27±0.00 <sup>aB</sup>	0.39±0.01 <sup>bB</sup>	0.45±0.00 <sup>cA</sup>	0.48±0.00 <sup>cB</sup>		0.37±0.01 <sup>b</sup>
全钾/g·kg <sup>-1</sup> TK	M <sub>1</sub>	3.43±0.01 <sup>aA</sup>	3.98±0.02 <sup>bA</sup>	7.55±0.02 <sup>cA</sup>	4.93±0.06 <sup>dA</sup>		1.95±0.01 <sup>e</sup>
	M <sub>2</sub>	2.31±0.02 <sup>aB</sup>	4.76±0.01 <sup>bB</sup>	11.73±0.02 <sup>cB</sup>	4.83±0.03 <sup>dB</sup>	2.05±0.01 <sup>eA</sup>	1.95±0.01 <sup>f</sup>
	M <sub>3</sub>	4.41±0.00 <sup>aC</sup>	9.20±0.04 <sup>bC</sup>	2.51±0.06 <sup>cC</sup>	5.20±0.03 <sup>dC</sup>		1.95±0.01 <sup>e</sup>

在 20~40 cm 土层深度 (表 2), 3 种模式土壤含水率为 16.83%~24.39%, 对照样地为 19.75%,

距杨树不同距离各点土壤含水率多与对照差异显著 ( $P<0.05$ ); 土壤 pH 值多低于对照样地, 部分距离点

与对照达到了显著差异( $P<0.05$ ); 土壤有机质含量为 0.67%~3.60%,  $M_1$  和  $M_3$  模式随距离增加而增加,  $M_2$  模式随距离增加而减小, 与对照样地差异显著( $P<0.05$ ); 土壤全氮含量为 0.14%~0.23%, 全钾含量 2.31~11.73  $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 各点土壤全氮和全钾含量多随距离增加先增大后减小, 且均与对照差异显著( $P<0.05$ ); 土壤全磷含量为 0.27~0.51  $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 随距离增加  $M_1$  先增后减,  $M_2$  波浪变化,  $M_3$  持续增加。在相同距离点, 4 种类型间的土壤含水率、pH 值、有机质、全氮和全钾存在显著差异( $P<0.05$ ), 且  $M_3$  模式土壤含水率、pH 值降低显著( $P<0.05$ ); 全磷含量仅部分达显著差异( $P<0.05$ )。



小写字母与大写字母分别为 0.05 及 0.01 水平上的显著性差异

The capital letter and the small letter refer to significant difference at the 0.05 and 0.01 levels, respectively

图 1 土壤养分垂直分布

Figure 1 Vertical distribution of soil nutrients

### 3.3 杨-农复合系统土壤养分垂直分布

杨-农复合系统土壤养分的垂直分布见图 1。由图 1 可知,  $M_1$  模式中, 0~20 cm (上层) 与 20~40 cm (下层) 土壤含水率达到极显著差异( $P<0.01$ ), 且上层土壤含水率在 0 m、1 m、2 m 及各点平均值处均高于下层, 而在 3 m 及对对照样地则上层低于下层; 上层土壤 pH 值高于下层, 且在 2 m、3 m、平均值及对对照样地达到极显著差异( $P<0.01$ ); 除 2 m 处外, 上层土壤有机质高于下层, 达到极显著差异( $P<0.01$ ); 上下层土壤全氮含量除 2 m 和均值外, 其他各点土壤上下层全氮含量均达到显著( $P<0.05$ )或极显著差异( $P<0.01$ ); 与对照样地相反, 土壤全磷含量上层低于下层, 上下层在 0 m、1 m 和对照样地差异极显著( $P<0.01$ ); 土壤全钾含量除 0 m 和对照样地外, 其他各点均是上层极显著差异( $P<0.01$ )低于下层。 $M_2$  模式土壤含水率上层低于下层, 各点上下层间差异极显著 ( $P<0.01$ ); 土壤 pH 在 0 m、1 m 和对照上层高于下层, 而在 2 m、3 m、4 m 和均值则是上层低于下层, 除 3 m 和均值外, 其余各点上下层间差异极显著( $P<0.01$ ); 土壤有机质在 0 m、1 m、3 m 上层低于下层, 除 1 m 和 3 m 点外, 其他各点上层极显著高于( $P<0.01$ )下层; 土壤全氮含量上层极显著高于( $P<0.01$ )下层; 土壤全磷含量除 3 m 和 4 m 外, 其余各点上层均高于下层, 且在 1 m、3 m、4 m 和对照样地上下层差异极显著( $P<0.01$ ); 上层土壤全钾含量 2 m、3 m 和均值低于下层土壤, 其他各点均是上层高于下层, 且除均值外, 均存在极显著差异( $P<0.01$ )。 $M_3$  模式中, 土壤含水率均值上下层差异不显著( $P>0.05$ ), 但各点及对照上下层间呈极显著差异( $P<0.01$ ); 上层 pH 值低于下层, 对照样地上层高于下层, 均达到极显著差异( $P<0.01$ ); 有机质含量除 1 m 和 3 m 外, 上层高于下层, 3 m 和均值的上下层土壤有机质差异不显著( $P>0.05$ ), 其他点土壤有机质差异极显著( $P<0.01$ ); 上层土壤全氮、全磷含量极显著( $P<0.01$ )高于下层; 土壤全钾含量仅 2 m 处和对照样地上层高于下层, 除均值外, 上下层土壤全钾含量均呈极显著差异( $P<0.01$ )。

### 4 小结与讨论

本研究表明, 杨-农复合系统 0~20 cm 和 20~40 cm 土层土壤含水率、pH 值、有机质、全氮、全磷和全钾含量均存在明显的水平差异, 受杨树根系、土壤微生物、施肥以及耕作等影响, 远离杨树树干基部的不同位置土壤养分虽有降低趋势, 但规律性不明显。同时, 3 种模式杨农复合系统土壤含水率、

pH 值均高于对照,树干行间的土壤全氮含量低于对照,而全磷、全钾含量与对照间差异不明显。

4 种类型土壤含水率、pH 值、有机质、全氮、全磷和全钾含量在上下层间呈极显著差异 ( $P < 0.01$ ), 存在明显的垂直分布规律, 但  $M_1$  模式上层土壤含水率、pH 值、有机质、全氮含量高, 全磷与全钾含量低,  $M_2$  与  $M_3$  模式多相反。

农林复合系统虽然会引起光能、水分和养分的竞争而改变分布<sup>[5]</sup>, 但林木的根系和枝叶凋落物可为土壤提供大量的有机质<sup>[3]</sup>。木本植物的深根既可以吸收未被浅根农作物吸收而从表土层淋溶下来的养分, 且养分通过木本植物的凋落物和根周转被农作物重复利用, 提高了系统养分利用效率<sup>[9]</sup>, 又可以吸收深层土壤或地下水中的养分<sup>[6]</sup>。本研究中, 栽植中林 2025 杨树 2 年后, 土壤全氮、有机质、全磷等养分有所提高, 且以小密度宽行距 (3 m × 8 m) 林分土壤全氮含量增加显著 ( $P < 0.05$ ); 密度大的杨-农复合系统土壤有机质含量高, 中等株行距 (4 m × 6 m 模式) 的林地全磷含量高; 全钾含量随密度加大降低明显, 与前人研究结果一致。

农林复合系统土壤养分分布状况与距林带距离有关<sup>[18]</sup>, 距离越近, 土壤全磷含量越低, 土壤有机质含量则越高<sup>[19]</sup>。本研究与其结果类似, 也可得出, 在对杨树表层施肥时, 可将距树干基部距离分为几段来研究施肥情况。如可区分距离树干基部不同距离土壤养分等的空间分布进行研究, 确定合理的施肥量和合适的肥料, 更有利于杨树的速生丰产。

农林复合系统中, 农作物也可提高土壤中全氮、全磷、全钾和有机质含量<sup>[21-22]</sup>, 但受间作年限的限制, 本研究间作时间仅 2 年, 效果变异较大。

## 参考文献:

- [1] 孟平, 张劲松, 樊巍, 等. 农林复合生态系统研究[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 3-8.
- [2] Allen S C, Jose S, Nair P K R, et al. Safety-net role of tree roots: evidence from a pecan (*Carya illinoensis* K. Koch) -cotton(*Gossypium hirsutum* L.) alley cropping system in the southern United States[J]. For Ecol Manage, 2004, 192: 395-407.
- [3] Makumba W, Janssen B, Oenema O, et al. The long-term effects of a gliricidia-maize intercropping system in Southern Malawi, on gliricidia and maize yields, and soil properties[J]. Agriculture Ecosystems and Environment, 2006, 116: 85-92.
- [4] Young A. Agroforestry for Soil Management[M]. Wallingford (UK): CAB International, 1997.
- [5] Rowe E C, Hairiah K, Giller K E, et al. Testing the safety-net role of hedgerow tree roots by <sup>15</sup>N placement at different soil depths[J]. Agroforestry Systems, 1999, 43: 81-93.
- [6] Dwivedi A P. Agroforestry principles and practices [M]. New Delhi: Oxford and IBH publishing Co. Pvt. Ltd, 1992.
- [7] Singh B, Sharma K N. Tree growth and nutrient status of soil in a poplar (*Populus deltoides* Bartr.) -based agroforestry system in Punjab, India[J]. Agroforestry System, 2007, 70: 125-134.
- [8] Hartemink A E, Buresh R J, Jama B, et al. Soil nitrate and water dynamics in sesbania fallows, weed fallows and maize[J]. Soil Science Society of America Journal, 1996, 60: 568-574.
- [9] 赵兴征, 卢剑波. 农林系统研究进展[J]. 生态学杂志, 2004, 23(2): 127-132.
- [10] 何春霞, 孟平, 张劲松, 等. 基于稳定碳同位素技术的华北低丘山区核桃-小麦复合系统间水分利用研究[J]. 生态学报, 2012, 32(7): 2047-2055.
- [11] 何春霞, 孟平, 张劲松, 等. 基于稳定碳同位素技术的华北石质山区 2 种果农复合模式水分利用研究[J]. 林业科学, 2012, 48(5): 1-7.
- [12] 孙守家, 孟平, 张劲松, 等. 华北石质山区核桃-绿豆复合系统氮同位素变化及其水分利用[J]. 生态学报, 2010, 30(14): 3717-3726.
- [13] 吴殿鸣, 薛建辉, 罗英, 等. 杨麦间作系统硝态氮淋失的原位研究[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2012, 36(2): 109-114.
- [14] 刘晓凯, 薛建辉, 吴永波. 模拟暴雨条件下杨麦复合系统氮、磷随地表径流流失特征分析[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2012, 36(2): 117-120.
- [15] 陆森, 张劲松, 孟平, 等. 石榴-小麦间作系统的地面热通量[J]. 林业科学, 2012, 48(8): 6-10.
- [16] 王意银. 不同杨树-农作物复合经营模式下凋落物分解的研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2012.
- [17] Makumba W, Janssen B, Oenema O, et al. The long-term effects of a gliricidia-maize inter-cropping system in Southern Malawi, on gliricidia and maize yields, and soil properties[J]. Agriculture Ecosystems and Environment, 2006, 116: 85-92.
- [18] Zhou W J, Wang K R, Zhang Y Z, et al. Phosphorus transfer and distribution in a soybean-citrus inter-cropping system[J]. Pedosphere, 2006, 16(4): 435-443.
- [19] 贺明荣, 冷寿慈. 桃粮间作对土壤养分状况及土壤生物活性的影响[J]. 土壤通报, 1994, 25(4): 188-189.
- [20] 刘荣, 朱清科. 黄土残塬沟壑区混农林系统土壤养分研究初报[J]. 西北林学院学报, 1993, 8(2): 46-51.
- [21] 闫德仁, 冯立岭, 吴艳辉, 等. 农林复合经营土壤养分变异的研究[J]. 内蒙古林业科技, 2000(3): 15-18.
- [22] 夏青, 何丙辉, 谢洲, 等. 紫色土农林复合经营土壤理化性状研究[J]. 水土保持学报, 2006, 20(2): 86-89.