

三倍体毛白杨速生林土壤养分因子及 pH 值动态变化

赵雪梅¹, 孙向阳^{1,*}, 王海燕¹, 田 贇¹, 康向阳²

(1. 北京林业大学水土保持学院, 北京 100083; 2. 北京林业大学生命科学与技术学院, 北京 100083)

摘要:通过连续 4a 测定 2 年生三倍体毛白杨 (B304) 及其对照二倍体 (1319) 林地内 0—20cm、20—40cm 和 40—60cm 土层中土壤理化指标 (包括 pH 值、有机质、全 N、碱解 N、全 P、有效 P、全 K 和速效 K 含量), 以明确三倍体毛白杨种植对土壤养分及其理化性质的影响。试验结果表明, (1) 在 4a 生长期林地土壤的 pH 值呈现碱性增强变化; B304 的平均 pH 值由 8.13 升至 8.43, 1319 由 8.12 升至 8.78, 虽然二者没有显著差异, 但三倍体对林地的 pH 值影响相对较小, 更利于土壤酸碱平衡及土壤缓冲力的稳定性; (2) 土壤中有机质及碱解 N 含量呈现先降低后升高的变化特点, 品种间差异不显著; (3) 在 2006 年, 毛白杨林地土壤中有效 P 和速效 K 含量显著下降, 降幅均为 0—20cm > 20—40cm > 40—60cm; (4) 年份、土层及年份和土层的交互作用对毛白杨土壤 pH 值及所测定的全部养分因子影响均达显著水平 ($P < 0.05$); 而品种、年份、土层三者的交互效应对土壤 pH 值、有机质、全 N、全 P 和速效 K 的含量影响也达到了显著性水平。体现了三倍体毛白杨速生林种植对当地不同土层理化性质和养分因子影响的时间效应, 生产中应采取积极措施改善或减缓土壤环境恶化, 促进林木更好生长。

关键词:毛白杨; 三倍体; pH 值; 土壤养分; 动态变化

Dynamics of soil nutritional factors and pH value of triploid *Populus tomentosa* plantation

ZHAO Xuemei¹, SUN Xiangyang^{1,*}, WANG Haiyan¹, TIAN Yun¹, KANG Xiangyang²

1 School of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

2 School of Biological Sciences and Biotechnology, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

Abstract: A split-plot field experiment with 2 years old triploid *Populus tomentosa* clone (B304) as experimental material and diploid clone (1319) as control was conducted in Wei County, Hebei Province. The dynamics of some soil physical-chemical properties in triploid *Populus tomentosa* plantations during the first four years of cultivation were examined. The results showed that: (1) Both clones' soil pH increased after planting and the pH value of triploid *Populus tomentosa* (the mean was 8.43 in 2008) was lower than the control one (the mean was 8.78 in 2008), which was more conducive to soil acid-base balance ability and buffer power. (2) Soil organic matter and available N content first decreased, but then increased in the three soil layers and no significant difference was found between the two clones. (3) After two years of planting, high demand on soil nutrients was found in triploid *Populus tomentosa*, especially on available P and readily available K whose content decreased significantly in the order of 0—20cm > 20—40cm > 40—60cm. (4) Significant differences caused by year, soil layer and their interaction effect were found for all nutrients' content and pH value and the same result was also observed for the interaction effect among year, layer and clone.

Key Words: *Populus tomentosa*; triploid; soil nutrient; pH value; dynamic change

三倍体毛白杨 (Triploid *Populus tomentosa*) 以其 1a 成树, 3a 成林, 5a 成材的社会效益、生态效益和经济效益改变了人们对林业生产周期长、见效慢的认识, 并被广泛应用于林木繁育、造林和工业制浆、造纸等, 为我

基金项目:国家“十一五”科技支撑资助项目 (2006BAD32B01); 国家林业局专项课题资助项目 (2002-66)

收稿日期:2009-04-11; **修订日期:**2009-07-09

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: sunxy@bjfu.edu.cn

国林纸产业化的更全面健康发展奠定了坚实的基础^[1-2]。目前对三倍体毛白杨的研究多集中在形态学^[3-4]、分子标记^[5-6]、林木遗传育种^[7-8]和木材相关特性^[9]等方面。近些年在有关三倍体毛白杨营养与施肥方面的研究中发现,施肥对三倍体毛白杨生长有显著性影响^[10]。但因施肥效应与土壤环境(尤其是相关理化性质及养分因子等)密切相关,所以在大力发展速生人工林的同时,掌握林地土壤环境的变化,研究其采伐年限内土壤养分的消长动态变化规律将有助于指导人工林生产管理。本课题组以北京林业大学培育的三倍体毛白杨 B304、B305、B331 和 B333 为研究对象,于 2005 至 2008 年连续 4a 对其人工林林木生长状况及叶片养分动态等方面进行了研究^[11-13]。在此基础上,本研究选用胸径及单株材积二项生长指标均最佳的三倍体毛白杨 B304 为研究对象,以二倍体毛白杨为常规对照,对比两者不同土层中 pH 值及养分消长情况,以期明确三倍体毛白杨速生林种植对当地土壤养分因子变化等的影响,从而对三倍体毛白杨人工林林地土壤的施肥管理提供科学依据,并进一步了解速生林栽培中对土壤养分恢复和林业生产健康发展的影响。

1 材料及方法

1.1 试验地概况

试验地位于河北省邢台市威县(113°52′—115°49′E,36°50′—37°N)。该地区地势平坦,气候为暖温带大陆性半干旱季风气候,年平均降水量 584 mm 左右,且大都集中在夏末秋初。年平均温度为摄氏 13℃,最冷月份(1 月份)平均气温 -2.3℃,极端最低气温 -19℃,最热月份(7 月份)平均气温 26.9℃,极端最高气温 42.5℃,无霜期 198 d,全年日照 2574.8 h。浅层地下水平均埋深 15.12 m,深层地下水平均埋深 52.81 m。试验地土壤为砂壤质潮土。于 2005 年 4 月在试验地采用 S 型布点,随机选取 6 个土壤样点分层采取土样(0—20cm、20—40cm 和 40—60cm),并且分别均匀混合各取样点 3 个层次土样,测得试验地土壤理化性质和养分状况(表 1)。

1.2 试验设计

试验地总面积 8190m²,于 2005 年 4 月采用裂区设计种植三倍体毛白杨无性系 B304、B305(2n = 3x = 57; 毛新杨 × 毛白杨(*P. tomentosa* × *P. bolleana*) × *P. tomentosa*)、B331、B333(2n = 3x = 57; 银腺杨 × 毛白杨(*Populus alba* × *P. glandulosa*) × *P. tomentosa*),以及常规对照二倍体毛白杨 1319(2n = 2x = 38; *P. tomentosa*)^[14],种植密度为 2m × 2m、2m × 3m、2m × 3.5m、2m × 4m、2m × 5m、3m × 3m、3m × 4m,每品种、每密度下林地面积约 240m²,树苗平均胸径为 2cm,平均树高为 3m,林下植被稀疏。本研究采取胸径和单株材积等指标最佳的三倍体毛白杨 B304 为对象,以二倍体毛白杨 1319 为常规对照,并选取 2m × 4m(推广种植密度^[12])下的林地,以密度因子为主处理、品种因子为副处理,试验重复 3 次,各试验小区面积约 80m²。

1.3 土壤样品采集和分析方法

土壤样品分别于 2005—2008 a 每年的 10 月下旬随机采集土壤样品,每次取样均在小区中选取 3 株标准木并在其东侧 40cm 处固定地点用土钻采取,并剥离土壤表层植物枯落物。每个样点分 3 个层次取样,取样深度分别为 0—20cm、20—40cm、40—60cm。将土壤样品置于室内风干,经磨细、过筛处理,进行相关理化性质的测定,即 pH 值(酸度计法)、有机质含量(重铬酸钾外加热法)、全氮含量(凯氏法)、碱解氮含量(扩散法)、全磷含量(HClO₄-H₂SO₄法)、速效磷含量(钼锑抗比色法)、全钾含量(火焰光度计法)、速效钾含量(火焰光度计法)^[15]。

1.3 数据分析

用 SAS8.01(SAS Institute Inc. Cary, NC, USA, 1999)统计分析软件分析处理间试验数据的显著性差异。

表 1 试验区土壤理化性质(河北威县)

Table 1 Soil physical and chemical properties of experimental site (Wei County of Hebei Province)

理化性质 Physical and chemical properties	测定值 Measured values
pH 值	8.26
有机质 Organic matter/(g/kg)	3.92
全氮 Total nitrogen/(g/kg)	0.16
碱解氮 Available nitrogen/(mg/kg)	35.85
全磷 Total phosphorus/(g/kg)	0.55
有效磷 Available phosphorus/(mg/kg)	10.02
全钾 Total potassium/(g/kg)	14.07
速效钾 Readily available potassium/(mg/kg)	56.74

处理间差异显著性采用 LSD 检验 (PROC T TEST; $P < 0.05$)。数据分析前, 先进行适当的数据转换, 以满足方差分析的实验假设 (即数据符合正态分布)。其中, 对 pH 值、有机质、碱解氮、有效磷、全钾和速效钾等试验数据进行自然对数转换。

2 结果与分析

2.1 土壤 pH 值动态变化

与 2005 年同土层相比, 3 个土层的 pH 值均呈现碱性增强的变化 (图 1—图 3), 除品种对 pH 值变化无显著影响外, 其余各因子及其交互作用对 pH 值变化均有显著影响 (表 2), 其中土层差异对 pH 值影响达到极显著水平 ($P < 0.01$)。具体体现在 2006 年 3 个土层 pH 值均显著增高, 尤其在 40—60cm 土层, 1319 土壤 pH 值高达 8.85, B304 为 8.55 (图 3)。

表 2 不同品种毛白杨连续 4 年生长长期土壤养分因子动态变化差异分析 (三因子方差分析, P)

Table 2 Three-way ANOVA on the dynamical changes of soil nutrients in different layers of 4-year-old *Populus tomentosa* plantations

变异来源 Source of variation	品种 Clone	年份 Year	土层 Layer	品种 × 年份 Clone × Year	品种 × 土层 Clone × Layer	年份 × 土层 Year × Layer	品种 × 年份 × 土层 Clone × Year × Layer
pH 值	0.36	<0.0001	0.0006	0.010	0.027	0.020	0.020
有机质 Organic matter	0.96	<0.0001	<0.0001	0.044	0.16	0.0005	0.0004
全氮 Total nitrogen	0.12	<0.0001	<0.0001	0.056	0.52	0.0001	0.0099
碱解氮 Available nitrogen	0.33	<0.0001	<0.0001	0.36	0.82	<0.0001	0.96
全磷 Total phosphorus	0.55	<0.0001	<0.0001	0.84	0.014	<0.0001	0.024
有效磷 Available phosphorus	0.29	<0.0001	<0.0001	0.55	0.20	<0.0001	<0.0001
全钾 Total potassium	0.44	<0.0001	<0.0001	0.36	0.38	<0.0001	0.32
速效钾 Readily available potassium	0.02	<0.0001	<0.0001	0.20	0.0076	<0.0001	0.018

品种为三倍体毛白杨 B304 和二倍体毛白杨 1319; 年份为 2005、2006、2007 和 2008; 土层为 0—20、20—40、40—60cm 土层

2.2 土壤有机质动态变化

各层有机质在 2005—2006 年均呈现下降变化, 尤其是 0—20cm 土壤有机质同比 2006 年下降了 5.17g/kg (B304) 和 3.74g/kg (1319), 但品种间无显著差异。在之后的 2a 生长期, 各土层有机质的含量均呈上升趋势, 而且在 2007 年 B304 的 3 个土层有机质含量均比 2006 年显著提高, 1319 的 0—20cm 和 20—40cm 土壤有机质在 2008 年才呈现显著性增加, 而 40—60cm 土层土壤有机质在 2007 年已显著增加。土壤有机质含量受年份和土层影响极显著 ($P < 0.001$, 表 2), 除品种与土层的交互效应不显著外, 其余各因子的交互作用均达显著性水平。

2.3 土壤 N 素动态变化

B304 与 1319 林地各土层中碱解 N 含量均呈现先下降后上升的变化 (图 1—图 3)。2008 年碱解 N 含量均显著增加, 但品种间无显著差异, 由上到下 3 个土层中其含量依次为 81.34、74.73、79.05mg/kg 和 78.14、63.11、53.14mg/kg, 这种变化特点和有机质规律一致。土壤全 N 含量的动态变化规律性不强, 体现了土壤氮素变化的复杂性, B304 与 1319 林地 0—20cm 和 20—40cm 土层土壤全 N 呈现下降趋势, 2008 年二者含量显著降低。但品种间的显著性差异仅体现在 0—20cm ($P = 0.0076$) 和 40—60cm ($P = 0.0297$) 土层, 其含量分别为 0.15、0.14 g/kg (B304) 和 0.05、0.08 g/kg (1319)。土壤全 N 和碱解 N 含量受年份、土层及二者的交互作用的影响显著, 尤其是全 N, 三因子的交互作用也达到极显著性水平 ($P = 0.0099$)。

2.4 土壤 P 素动态变化

本研究中土壤 P 含量受年份、土层、年份 × 土层交互效应和三因子交互效应影响显著, 而且品种 × 土层的交互效应对全 P 影响显著 ($P < 0.05$)。图 1—图 3 显示出, B304 与 1319 林地土壤有效 P 含量变化相似, 均呈现先上升后下降趋势, 其含量均在 2007 年显著下降, B304 由上到下 3 个土层降幅分别为 12.27、12.17、8.36 mg/kg, 1319 分别为 13.00、9.49 mg/kg 和 7.68 mg/kg, 但品种间无显著差异 ($P > 0.05$)。土壤全 P 的含量则

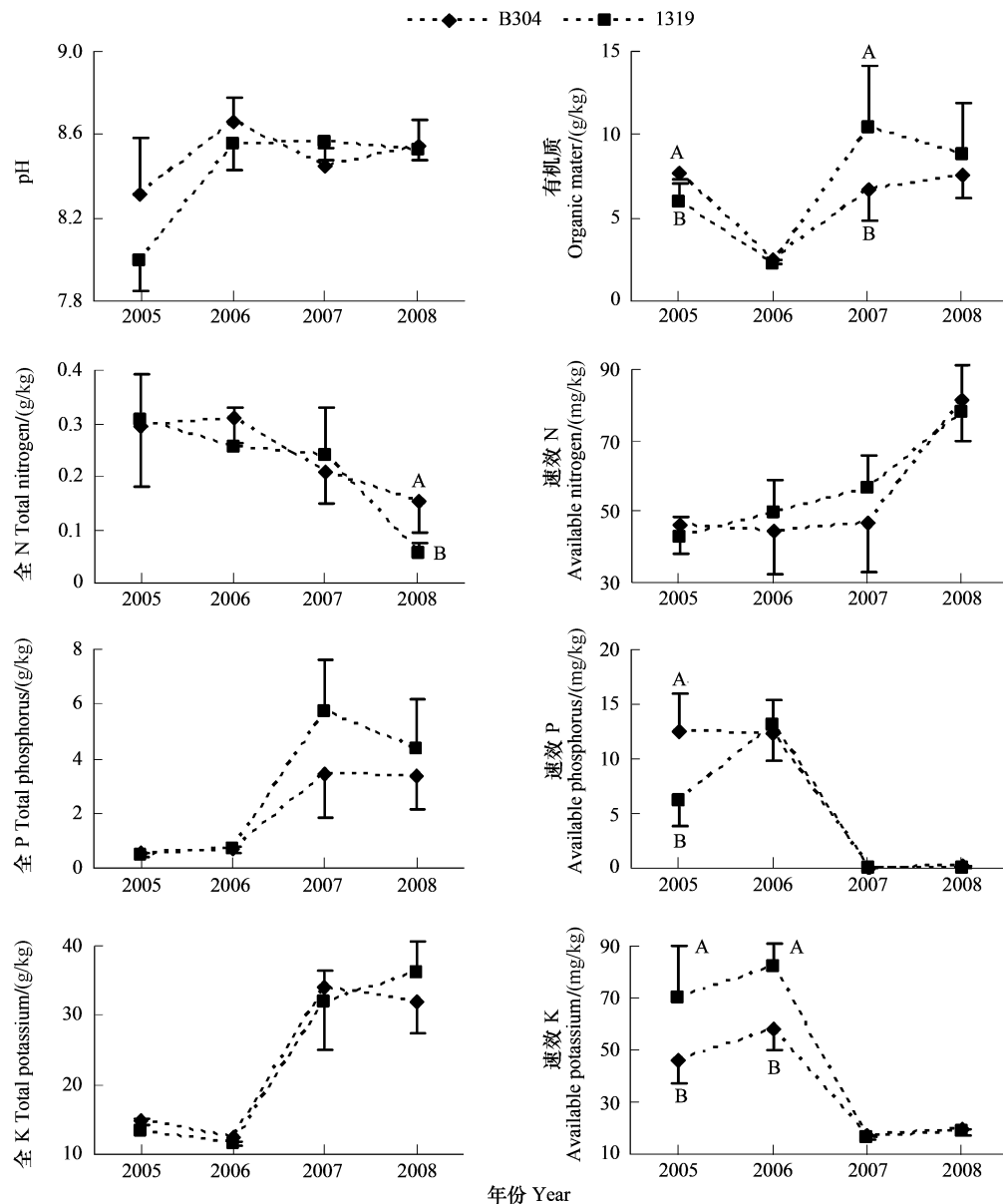


图1 不同品种毛白杨林地0—20cm 土层养分元素及 pH 值变化规律

Fig.1 Dynamic changes of soil nutrients and pH value in 0–20cm of the triploid and diploid *Populus tomentosa* plantations不同大写字母分别表示同一年份不同品种间差异显著;LSD 检验: $P < 0.05$

在 2005—2006 年有小幅的增加,但品种和年份对土壤全 P 无显著性影响($P > 0.05$)。2007 年 3 个土层的全 P 含量均比 2006 年的含量显著性增加 ($P < 0.001$),在 40—60cm 土层中,B304 增幅达 4.03 g/kg 显著高于 1319 增加的 2.95 g/kg。在随后的 1a 中,全 P 又呈现下降的变化,但与 2007 年无显著差异,而且品种间无显著差异。

2.5 土壤 K 素动态变化

土层、年份及二者的交互作用对土壤全 K 含量有显著影响,速效 K 含量却受所有因子及其交互作用的影响(表 2)。图 1—图 3 可知,土壤 K 素的年变化规律较强,品种间无显著差异。在 2007 年 3 个土层中的全 K 含量均比 2006 年有显著增加($P = 0.0088$),由上到下 3 个土层平均增幅依次为 21.48、12.91、13.06 g/kg (B304)和 20.43、14.05 g/kg 和 13.80 g/kg。在 2008 年,0—20cm 土层全 K 含量最高,分别为 32.0 g/kg (B304)和 36.0 g/kg (1319),但品种间差异不显著 ($P > 0.05$)。土壤速效 K 含量在树木生长期整体呈现

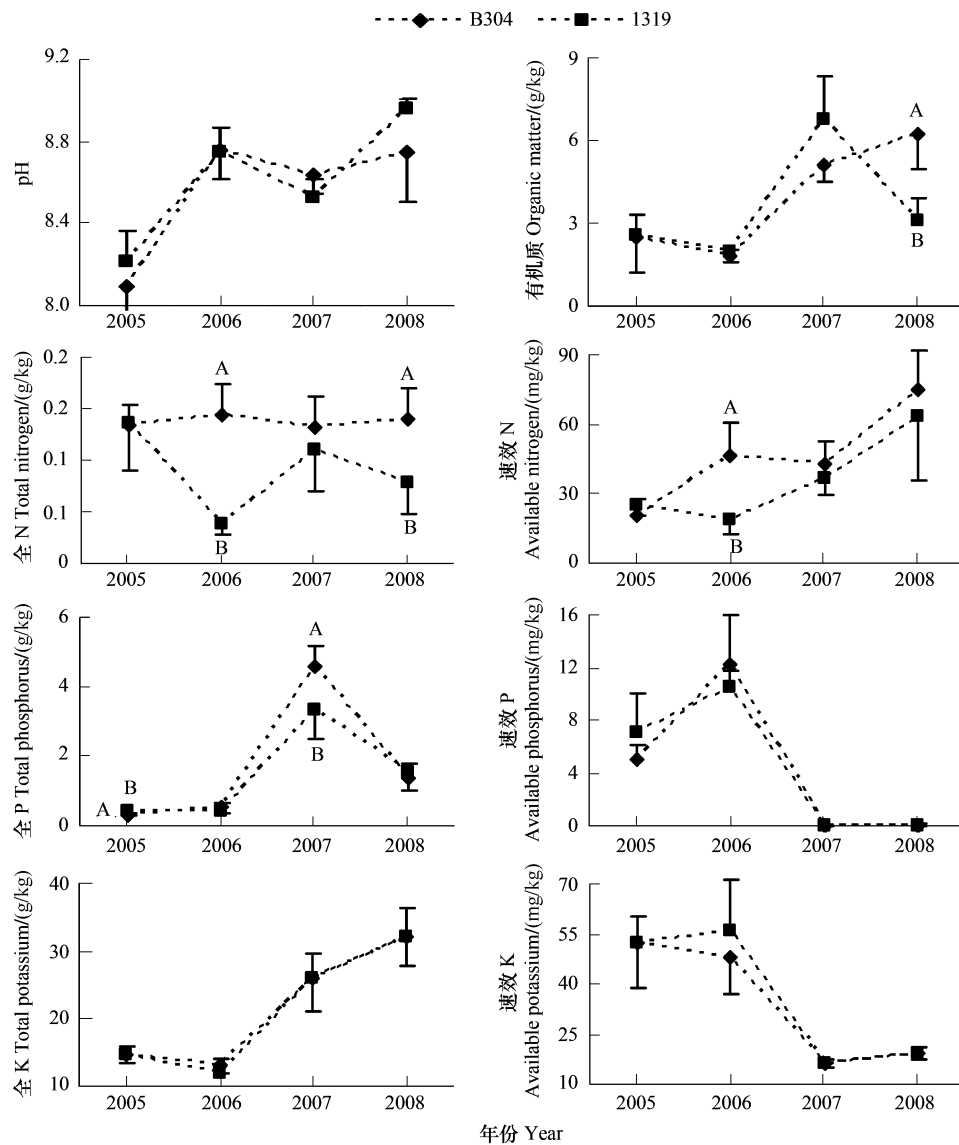


图2 不同品种毛白杨林地 20—40cm 土层养分元素及 pH 值变化规律

Fig. 2 Dynamic changes of soil nutrients and pH value in 20—40cm of the triploid and diploid *Populus tomentosa* plantations

不同大写字母分别表示同一年份不同品种间差异显著; LSD 检验: $P < 0.05$

下降趋势,在 2007 年 3 个土层速效 K 的降幅均达到了显著性水平,到 2008 年由上到下 3 个土层土壤速效 K 含量依次 19.37、19.08 mg/kg 和 17.13 mg/kg (B304) 和 18.55、19.17、18.63 mg/kg (1319)。只在 2007 年的 20—40cm 土层中, B304 土壤速效钾含量显著低于 1319 ($P = 0.0007$)。

3 讨论与结论

3.1 pH 值变化与土壤养分元素的有效性

土壤的酸碱性是土壤重要的化学性质,对土壤微生物的活性、矿物质和有机质分解有重要作用,从而影响土壤养分元素的释放、固定和迁移等,所以植物必要营养元素的有效性与土壤 pH 值是紧密相关的。三倍体毛白杨在 4a 的生长期,林地土壤 pH 值平均由 8.13 升至 8.43,二倍体林地土壤由 8.12 升至 8.78,分别属于微碱性土壤和碱性土壤^[16]。毛白杨林地土壤 pH 值的这种增强变化除了受土壤有机质的减少,降水、灌溉、耕作等条件的影响外^[17],还与植物根系对土壤中 N 元素的吸收有关。 NO_3^- -N 是植物速效养分和土壤溶液的主要成分^[18-19],植物对 NO_3^- -N 的吸收需要根系分泌 OH^- 来维持细胞膜外的电荷平衡,这样致使大量 OH^- 进

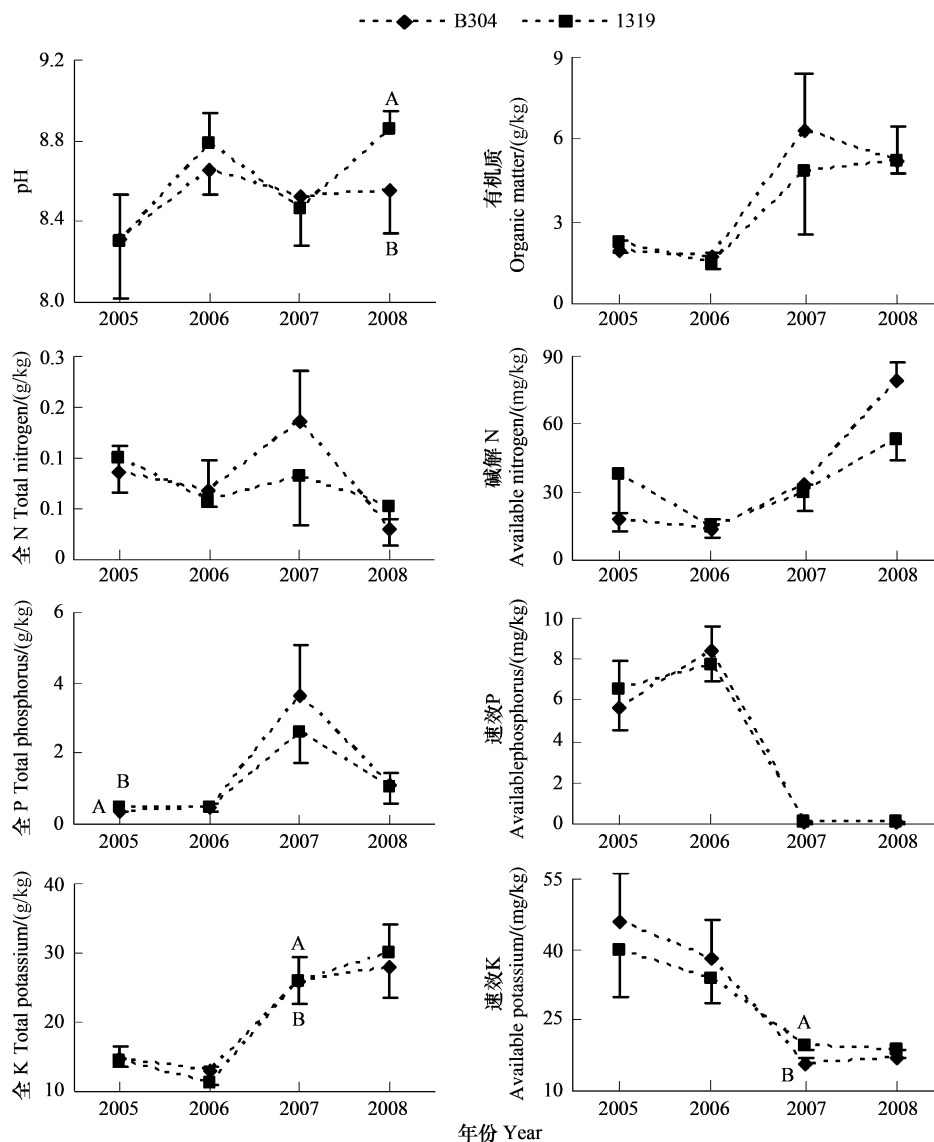


图3 不同品种毛白杨林地 40—60cm 土层养分元素及 pH 值变化规律

Fig.3 Dynamic changes of soil nutrients and pH value in 40—60cm of the triploid and diploid *Populus tomentosa* plantations

不同大写字母分别表示同一年份不同品种间差异显著;LSD 检验: $P < 0.05$

入土壤溶液,导致根系周围 pH 值上升,林地土壤呈现碱性增加的变化特点。尤其在 2006 年的 40—60cm 土层,2 个品种的毛白杨林地土壤 pH 值分别相比 2005 年同一土层土壤增加了 0.35 (B304) 和 0.78 (1319)。这也反映出在栽培的第 2 年,毛白杨对林地土壤 N 素吸收较大,而且根系分布逐渐加深。

一般来讲,植物在 $\text{pH} > 9.0$ 或 $\text{pH} < 3.5$ 的情况下都难以生长,当土壤 pH 值在 6—8 的范围时,土壤养分元素的有效性最高^[20],这主要是由于 pH 值的变化影响土壤中阳离子交换量的大小(CEC)。CEC 是土壤的一个重要化学性质,直接反映了土壤保肥性。当 pH 值升高可以使土壤可变负电荷增加,促进 CEC 的提高,而且在碱性土壤中,盐基饱和度(BS)高,土壤有效养分含量高,利于植物的生长。但是当土壤 $\text{pH} > 8.5$ 时,土壤中 Na^+ 增加, Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 被取代形成碳酸盐沉淀,降低了元素的有效性^[21]。而且卫金国的研究指出,当林地土壤 pH 值 > 9.0 时,地表会出现明显的积盐现象,这样的土壤上生长的树木多数组织细胞内的水分出现倒流于土壤溶液的现象^[22]。所以对比普通二倍体毛白杨,三倍体毛白杨在生长期对土壤酸碱平衡的负作用更小,更利于土壤缓冲力的稳定性。

3.2 土壤养分元素含量动态规律

土壤养分含量年均值的变化基本能反映林地土壤养分含量消长的总趋势。但土壤养分动态变化与树木生长、雨水淋溶、有机质的消长等有密切的关系。土壤中的有机质主要来自植被凋落物的分解,凋落物的可分解性与植物的质量、成熟时间和营养生长速率等有密切关系,同时土壤微生物是凋落物的主要分解者^[23-24],任何利于微生物新陈代谢的过程都将促进凋落物的分解。尽管毛白杨三倍体 B304 与二倍体 1319 对土壤有机质的消耗无显著差别,但 1a 后,二者的 0—20cm 土层的有机质含量均呈大幅下降。这种变化特点是因为表层土壤养分较为丰富,理化性质较好,是树木优先利用的生态位。而幼龄杨树根系分布较浅,对表层土中土壤养分吸收量较大^[25],并且土壤样品采集的时间为 10 月下旬,正是北方地区杨树叶片大部分凋落,树木逐步转入休眠阶段^[26],但由于环境温度低,土壤微生物代谢活动弱,叶片中的养分没有被及时分解归还,导致有机质含量下降。但在 2006 年之后,由于土壤微生物对树木枯落物的分解及积累,使林下表层土壤有机质含量逐渐增加,而且 B304 土壤有机质显著增加比 1319 早 1a,体现了三倍体毛白杨对环境 C 固定的能力要优于二倍体。

氮素是植物生长所必需的大量营养元素之一,其丰缺及供给状况直接影响着植物的生长水平。B304 与 1319 林地土壤中的碱解 N 含量变化无显著性差异,均呈现先下降后上升的变化与有机质变化规律一致。这体现了杨树对土壤中 N 素需求较大,在施肥试验中也发现了 N 肥对树木生长具有良好的促进效应^[27-28]。在 2008 年土壤上层及下层全 N 含量在 B304 与 1319 的林地中呈显著性差异,但二者林地土壤中全 N 含量变化规律性不强。这是由于土壤中氮绝大部分以有机态存在,必须通过土壤微生物的矿化作用才能转化形成被植物直接吸收、利用的铵态氮和硝态氮,而这个过程十分复杂,通常受气候条件(如温度和湿度)凋落物化学组成、土壤 pH 值和 C/N 比以及土壤动物等因子控制^[29-30]。

P 素的这种动态规律与土壤的酸碱度变化是紧密相关的。自 1850 年 Way 就发现了石灰性土壤对水溶性磷酸盐具有强烈的吸持作用^[31],更有研究表明石灰性土壤水溶态磷浓度介于磷酸八钙和羟基磷灰石之间,与磷酸八钙溶解度接近,溶解度较低^[32]。而树木在 4a 的生长过程中,土壤中有效 P 被大量吸收,同时随土壤碱性的增强,水溶性 P 又被逐渐吸附固定下来,所以土壤有效 P 含量降低,而全 P 含量增高。同时,植物根系分泌的和土壤中植物残体分解所产生的可溶性有机大分子和低分子量有机酸与磷的相互作用也影响土壤中 P 素的动态变化^[33-34],如在磷素亏缺的状态下,植物根系会主动分泌丁二酸、苹果酸、柠檬酸等有机酸^[35]。李成保^[36]的研究发现,胡敏酸、柠檬酸和苹果酸会增加土壤粘粒的表面负电荷,而电荷的增加会引起吸附磷酸根的释放,负电荷愈多,释放的磷酸根就愈多。因此土壤中固定态 P 释放增加,利于提高植物对土壤 P 的利用率,从而也使土壤全 P 在生长的第 4 年又呈现下降趋势。

钾是植物营养的三要素之一,土壤含钾矿物是土壤中的自然钾源,自然条件下,植物所需的钾主要来自含钾矿物的风化,土壤含钾量高则供钾能力大^[37]。研究表明在相同林地条件下,林地土壤碱性强(pH 值 ≥ 7.5),则阳离子交换量高,根系对 K 的吸附力强^[38],造成了土壤中速效 K 含量的降低。更有研究表明土壤中非交换性钾与云母类矿物含量有显著正相关,水云母是影响非交换性钾的主要粘土矿物^[39],而本研究中试验地土壤类型为潮土,其中粘土矿物中以水化云母为主(约占 90%)^[40],所以在试验地土壤中不能被植物利用的非交换性钾含量较高,当土壤 pH 值呈现碱性变化时,土壤溶液中 H^+ 减少,从土壤胶体上置换下来的交换性钾的量较少,同时虽然 pH 值增加使土壤中可交换的阳离子量增多(CEC),但由于是石灰性土壤,阳离子中 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 占优势,土壤胶体表面吸附的钾(非特殊性吸附钾)不能为钙、镁等水化半径大的离子所交换^[41],植物可利用的水溶性及交换性钾(速效钾)含量减少,而非交换性钾含量升高,即土壤中全钾呈现增加趋势。

通常树木生长旺盛期消耗的土壤养分较多,特别是速效性养分消耗较大,可能会引起土壤养分含量的下降。本实验发现,从种植的第 2 年开始,土壤中有效 P、速效 K 大幅降低,植物对其吸收量大,树木生长进入旺盛期。此时土壤中有效 P、速效 K 的含量是制约树木长势的关键因素,若及时在树木根系附近穴施或条施 P、

K 肥,对树木的生长有明显的促进作用。而吴勇刚^[42]在对巨桉林的土壤养分动态研究中也发现,N、P 的有效量是影响巨桉林生长的关键土壤养分因素,这些特点均体现了树木生长与土壤养分的相关性。

土壤条件对三倍体毛白杨的生长影响很大。在土壤肥力较高,通透性好,土壤中性或微碱性土壤条件下生长较好,而在粘性、碱高的土壤上生长较差^[43]。针对其生长过程中,林地土壤 pH 值呈现碱性变化的特点,在肥料的选择上宜选用生理酸性肥。

3.3 三倍体毛白杨人工林连栽对林地土壤健康质量的影响

广义的土壤健康质量指土壤作为活机体行使土壤生态系统各种功能的能力综合。即土壤的物理(结构)、化学和生物学特性的共同作用,使得土壤适合为植物生长提供良好介质、合理调节地与储藏水资源以及作业环境缓冲器功能的健康水平^[44]。人工林连栽时树木根系的生长、土壤微生物的活动都会对林地土壤的物理、化学属性产生影响。方奇^[45]和俞新妥^[46]的研究均发现杉木人工林连栽后,土壤 pH 值下降,土壤养分降低。本研究观察到三倍体毛白杨在 4a 的生长期,土壤 pH 值已有明显的碱性增强趋势,这种变化虽然使土壤中可交换阳离子量增加,利于植物对土壤养分元素的吸收,但因为 pH 值已经达到最适 pH 值的临界值,所以在生产中还应及时监测,适时管理。虽然连栽 4a 后有机质含量并无显著下降,但不应忽视的是,在三倍体毛白杨连栽中,3 个土层土壤中有效 P、速效 K 含量均明显下降,破坏了土壤养分元素的平衡,对林地土壤健康质量还是有负面影响的,而且对三倍体毛白杨在生长期对林地土壤颗粒的机械组成、孔隙度、土壤含水量等影响土壤健康的物理属性方面变化需做深入研究。

References:

- [1] Zhao Y G, Gao K S. Some problems on the development of the triploid *Populus tomentosa*. Chinese Flower Horticulture, 2002, 12:11.
- [2] Li J M. On triploid *Populus tomentosa* in relation to forest-paper integration. Shanxi Forest Science and Technology, 2006, (3):79-82.
- [3] Kang X Y, Zhu Z T, Zhang Z Y. Morphology and meiosis of Chinese white poplar. Journal of Beijing Forestry University, 1999,21(1):1-5.
- [4] Kang X Y, Mao J F. Gamete fertility and morphological variations in offsprings of triploidclones *Populus tomentosa*. Journal of Beijing Forestry University, 2001, 23 (4): 20-23.
- [5] Zhang D Q, Zhang Z Y, Song W, Yang K. Estimation of the genetic heterozygosity of *populus tomentosa* and its hybrid *P. tomentosa* *P. bolleana* using aflp technique. Scientia Silvae Sinicae, 2003, 39 (3): 48-52.
- [6] Hu X L, Zhou C J, Yue L S. Molecular identification of *Populus tomentosa* triploid clones by AFLP. Journal of Beijing Forestry University, 2006, 28 (2): 9-14.
- [7] Zhu Z T, Lin H B, Kang X Y. Studies on allotriploid breeding of *populus tomentosa* B301 clones. Scientia Silvae Sinicae, 1995, 31 (6): 499-505.
- [8] Kang X Y, Zhu Z T, Zhang Z Y. Breeding of triploids by the reciprocal crossing of *Populus alba* *P. glandulosa* and *P. tomentosa* *P. bolleana*. Journal of Beijing Forestry University, 2000, 22 (6): 8-11.
- [9] Xing X T, Zhang Z Y. The general entropy formulation and variance analysis of wood density for triploid clones of *Populus tomentosa*. Journal of Beijing Forestry University, 2000, 22 (6):16-20.
- [10] Liu Y, Chen Y, Zhang Z Y, Li X G. Effects of fertilizer treatments on seedling growth and cold resistance of triploid *Populus tomentosa*. Journal of Beijing Forestry University, 2000, 22 (1): 38-44.
- [11] Zhao X M, Wang H Y, Sun X Y. Effect of different clones and growth density of triploid *Populus tomentosa* on nutrient concentrations in leaf. Hebei Journal of Forestry and Orchard Research, 2007, 2 (22): 1-3.
- [12] Zhao X M, Wang H Y, Sun X Y, Kang X Y. Annual change of soil nutrients in triploid *Populus tomentosa* plantation and its correlation with tree growth. Forest Research, 2008, 21 (3): 419-423.
- [13] Zhao X M, Sun X Y, Wang H Y, Kang X Y. Annual change of soil nutrients in triploid *Populus tomentosa* plantations under different planting densities. Journal of Northeast Forestry University, 2009, 37 (1): 42-44.
- [14] Zhu Z T. *Populus tomentosa* Selection and Genetic Improvement. Beijing: Chinese Forestry Publishing House, 2006, 157-220.
- [15] Bao S D. Soil and Agricultural Chemistry Analysis. Beijing: Chinese Agricultural Publish House, 2005: 25-108, 257-270.
- [16] Xia D M. Soil Fertilizer Science. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University Press, 2007: 47-53.
- [17] Guo Y F, Cui K Z, Zhang L J, Wu Z R, Fen X L, Zheng B F, Dong G F. Study on the nutritional dynamic change in the soil layer of Junnan area.

- Tianjun Agricultural and Forestry Technology, 2004, (1): 1-33.
- [18] Fan X Y, Qi X B, Huang Z T, Li P, Qiao D M. The present status and prospects on soil nitrogen transport and transformation in China and Abroad. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2006, 22 (2): 254-258.
- [19] Duan Y H, Zhang Y L, Wang S W, Seng Q R. Enhancement effect by nitrate on rice plant during the whole growth period and its physiological mechanisms. Acta Pedologica Sinica, 2007, 27 (3): 1086-1092.
- [20] Huand C Y. Soil Science. Beijing: China Agriculture Press, 1999: 187-193.
- [21] Xia D M. Soil Fertilizer Science. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University Press 2007: 47-53.
- [22] Wei J Q, Wu Q, Ma L. High-yield cultural techniques of walnut in infertile mountains. Shanxi Forestry Science and Technology, 2000, (4): 26-30.
- [23] Kwabiah A B, Voroney R P, Palm C A. Inorganic fertilizer enrichment of soil: effect on decomposition of plant litter under subhumid tropical conditions. Biology and Fertility of Soils, 1999, 30: 224-231.
- [24] Wright J, Westoby M, Reich P B. Convergence towards higher leaf mass per area in dry and nutrient-poor habitats has different consequences for leaf life span. Journal of Ecology, 2002, 90 (3): 534-543.
- [25] Chen W D, Li X W, Peng P H, Li W P. Soil characteristic's effects on the root growth of young triploid *Populus tomentosa* stands. Sichuan Forestry Exploration and Design, 2005 (4): 7-9.
- [26] Yu G Y, Wu Y Y, Wang X. Transferring and cycling of heavy metals in and out of poplar tree before and after its leaf fallen. Chinese Journal of Applied Ecology, 1996, 7 (2): 201-206.
- [27] Heilman P E, Xie F G. Influence of nitrogen on growth and productivity of short-rotation *Populus trichocarpa* *Populus deltoids* hybrids. Canadian Journal of Forest Research, 1993, 23(9): 1863-1869.
- [28] Heilman P E, Xie F G. Effects of nitrogen fertilization on leaf area, light interception, and productivity of short-rotation *Populus trichocarpa* *Populus deltoids* hybrids. Canadian Journal of Forest Research, 1994, 24(1): 166-173.
- [29] Fang Y T, Mo J M, Per G, Zhou G Y, Li D J. Nitrogen transformations in forest soils and its responses to atmospheric nitrogen deposition: a review. Acta Ecologica Sinica, 2004, 24 (7): 1523-1531.
- [30] Magill A H and Aber J D. Long-term effects of experimental nitrogen additions on foliar litter decay and humus formation in forest ecosystems. Plant and Soil, 1998, 203: 301-311.
- [31] Zhang F S, Li X L. Calcareous Soil Biological Activated Channels: Research Developments in Soils and Plant Nutrition (I). Beijing: Beijing Agricultural University, 1992: 105-220.
- [32] Yin X X, Hua L, Zhang Z X, Hua L P, Gao J. Study on the effectiveness of phosphorus and mechanism of its circle in soil. Journal of Capital Normal University, 2005, 26(3): 95-101.
- [33] Bar-Yosef B. Root excretions and their environmental effects: Influence on availability of phosphorus//Waisel Y, Kaikafi U, Eshel A. eds. Plant Roots: The Hidden Half. New York: Marcel Dekker, 1990: 529-557.
- [34] Fox T R, Comerford N B. Low-molecular weight organic acion in selected forest soils of the southeastern USA. Soil Science, 1990, 54: 1139-1144.
- [35] Chen D, Ma J, Cao Y P, Zhang F S. Exudation of organic acids by the roots of different plant species under phosphorus deficiency. Journal of China Agricultural University, 1999, 4 (3): 58-62.
- [36] Li C B, Xu R H, Xiao S C. Effects of some organic acids on enhancement of phosphorus mobility in soils. Acta Pedologica Sinica, 2005, 42 (3): 508-512.
- [37] Xu X Y, Ma Y J, Zhang R P. Research progress on the relationship between soil potassium and exogenous potassium. Chinese Journal of Agricultural Science, 2003, 34 (5): 489-492.
- [38] Li X W, Zhang J, Chen W D, Fan B, Dong H X. Nutrient dynamics between roots and soil's in triploid *Populus tomentosa* and *Lolium multiflorum* lam plantation. Journal of Soil and Water Conservation, 2005, 19 (4): 6-10.
- [39] Liu Y H, Zhang J N, Cui D J, Sui F G, Zhang Y L. Effect of long-term fertilization on clay and mineral composition and main soil physical and chemical properties of noncalcareous fluvo-aquic soil. Acta Pedologica Sinica, 2006, 43 (4): 697-702.
- [40] Sun X Y. Soil Science. Beijing: China Forestry Press, 2005: 8-68; 344-356.
- [41] Li X K, Lu J W, Wu L S. Advance on mechanisms of soil potassium fixation and release. Hubei Agricultural Science, 2008, 47 (4): 473-477.
- [42] Wu Y G, Zhang J, He H Q. Research on the growth and soil nutrient of *Eucalyptus grandis* paper-pulp forest. Journal of Sichuan Forestry Science and Technology, 2004, 25 (2): 42-45.
- [43] Gong Q L, Cao B H, Wang Y G. Comparative study on the triploid *Populus tomentosa* growing status under different soil conditions. Shandong Forestry Science and Technology, 2004, (1): 1-2.

- [44] Zhou Q X. Health Soil Science: Soil Health Quality and Quality of Agricultural Products. Beijing: Science Press, 2005, 9-23.
- [45] Fang Q. Impact on the soil fertility and tress growth of Chinese fir in continuous planting condition. Scientia Silvae Sinicae, 1987, 23 (4): 389-397.
- [46] Yu X S, Zhang Q S. Studies on the enzyme activities and fertilizer of soils in Chinese-fir repeated plantation woodland. Journal of Fujian College of Forestry, 1989, 9 (3): 263-27.

参考文献:

- [1] 赵勇刚, 高克姝. 发展三倍体毛白杨应注意的问题. 中国花卉园艺, 2002, 12: 11.
- [2] 李军明. 论三倍体毛白杨与“林纸”产业. 陕西林业科技, 2006, (3): 79-82.
- [3] 康向阳, 朱之梯, 张志毅. 毛白杨异源三倍体形态和减数分裂观察. 北京林业大学学报, 1999, 21 (1): 1-5.
- [4] 康向阳, 毛建丰. 三倍体毛白杨配子育性及其子代形态变异研究. 北京林业大学学报, 2001, 23 (4): 20-23.
- [5] 张德强, 张志毅, 宋婉, 杨凯. 运用 AFLP 技术估计毛白杨及其杂种毛新杨的遗传杂合水平. 林业科学, 2003, 39 (3): 48-52.
- [6] 胡晓丽, 周春江, 岳良松. 三倍体毛白杨无性系的 AFLP 分子标记鉴定. 北京林业大学学报, 2006, 28 (2): 9-14.
- [7] 朱之梯, 林惠斌, 康向阳. 毛白杨异源三倍体 B301 等无性系选育的研究. 林业科学, 1999, 31 (6): 499-505.
- [8] 康向阳, 朱之梯, 张志毅. 银腺杨与毛新杨正反交三倍体选种. 北京林业大学学报, 2000, 22 (6): 8-11.
- [9] 邢新婷, 张志毅. 三倍体毛白杨无性系木材密度遗传变异研究. 北京林业大学学报, 2000, 22 (6): 16-20.
- [10] 刘勇, 陈燕, 张志毅, 李新国. 不同施肥处理对三倍体毛白杨苗木生长及抗寒性的影响. 北京林业大学学报, 2000, 22 (1): 38-44.
- [11] 赵雪梅, 王海燕, 孙向阳. 三倍体毛白杨品种和种植密度对其叶片营养元素含量的影响. 河北林果研究, 2007, 2 (22): 1-3.
- [12] 赵雪梅, 王海燕, 孙向阳, 康向阳. 三倍体毛白杨无性系人工林林地土壤养分消耗与林木生长研究. 林业科学研究, 2008, 21 (3): 419-423.
- [13] 赵雪梅, 孙向阳, 王海燕, 康向阳. 不同种植密度下三倍体毛白杨林地土壤的养分消耗. 东北林业大学学报, 2009, 37 (1): 42-44.
- [14] 朱之梯. 毛白杨遗传改良. 北京: 中国林业出版社, 2006: 157-220.
- [15] 鲍士旦. 土壤化学分析. 北京: 中国农业出版社, 2005: 25-180, 257-270.
- [16] 夏冬明. 土壤肥料学. 上海: 上海交通大学出版社, 2007: 47-53.
- [17] 郭有富, 崔魁柱, 张留江, 吴振荣, 冯学良, 郑宝福, 邓国凤. 津南区土壤耕层养分动态的研究. 天津农林科技, 2004, (1): 31-33.
- [18] 樊向阳, 齐学斌, 黄仲冬, 李平, 乔冬梅. 土壤氮素运移转化机理研究现状与展望. 土壤肥料学, 2006, 22 (2): 254-258.
- [19] 段英华, 张亚丽, 王松伟, 沈其荣. 不同氮效率水稻全生育期内对增硝营养的响应及其生理机制. 生态学报, 2007, 27 (3): 1086-1092.
- [20] 黄昌勇. 土壤学. 北京: 中国农业出版社, 1999: 187-193.
- [21] 夏冬明. 土壤学. 上海: 上海交通大学出版社, 2007: 47-53.
- [22] 卫金困, 吴强, 马丽. 林地土壤 pH 值、磷、钾、有机质和水含量具有可变和可控性. 山西林业科技, 2000, (4): 26-30.
- [25] 陈文德, 李贤伟, 彭培好, 李万平. 三倍体毛白杨幼林根系生长受土壤特性的影响. 四川林勘设计, 2005, (4): 7-9.
- [26] 余国营, 吴燕玉, 王新. 杨树落叶前后重金属元素内外迁移循环规律研究. 应用生态学报, 1996, 7 (2): 201-206.
- [29] 方运霆, 莫江明, Per Gundersen, 周国逸, 李德军. 森林土壤氮素转换及其对氮沉降的响应. 生态学报, 2004, 24 (7): 1523-1531.
- [31] 张福锁, 李晓林. 石灰性土壤的生物活化途径. 土壤与植物营养研究新动态(第一卷). 北京: 北京农业大学出版社, 1992: 105-220.
- [32] 尹逊霄, 华路, 张振贤, 滑丽萍, 高娟. 土壤中磷素的有效性及其特环转化机制研究. 首都师范大学学报(自然科学版), 2005, 26 (3): 95-101.
- [35] 陈凯, 马敬, 曹一平, 张福锁. 磷亏缺下不同植物根系有机酸的分泌. 中国农业大学学报, 1999, 4 (3): 58-62.
- [36] 李成保, 徐仁扣, 肖双成. 几种有机酸对土壤中磷活动性的增加效应. 土壤学报, 2005, 42 (3): 508-512.
- [37] 徐晓燕, 马毅杰, 张瑞平. 土壤中钾的转化及其与外源钾的相互关系的研究进展. 土壤通报, 2003, 34 (5): 489-492.
- [38] 李贤伟, 张健, 陈文德, 范冰, 董慧霞. 三倍体毛白杨 + 黑麦草复合模式根土养分动态研究. 水土保持学报, 2005, 19 (4): 6-10.
- [39] 刘永辉, 张静妮, 崔德杰, 隋方功, 张玉龙. 长期定位施肥对非石灰性潮土粘土矿物组成及主要理化性质的影响. 土壤学报, 2006, 43 (4): 697-702.
- [40] 孙向阳. 土壤学. 北京: 中国林业出版社, 2005: 8-68; 344-356.
- [41] 李小坤, 鲁剑巍, 吴礼树. 土壤钾素固定和释放机制研究进展. 湖北农业科学, 2008, 47 (4): 473-477.
- [42] 吴勇刚, 张健, 何惠琴. 巨桉纸浆原料林土壤养分与林木生长研究. 四川林业科技, 2004, 25 (2): 42-45.
- [43] 巩其亮, 曹帮华, 王玉刚. 三倍体毛白杨新无性系不同土壤条件下生长对比研究. 山东林业科技, 2004, (1): 1-2.
- [44] 周启星. 健康土壤学. 北京: 科学出版社, 2005: 9-23.
- [45] 方奇. 杉木连栽对土壤肥力及其林木生长的影响. 林业科学, 1987, 23 (4): 389-397.
- [46] 俞新妥, 张其水. 杉木连栽林地土壤生化特性及土壤肥力的研究. 福建林学院学报, 1989, 9 (3): 263-271.