

三倍体毛白杨叶片营养年变化规律初探

曲天竹¹, 孙向阳¹, 张颖¹, 康向阳²

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

摘要: 研究了三倍体毛白杨 *Populus tomentosa* 11 个无性系(无性系号分别为 S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7, S8, S9, S11, S12) 叶片中营养元素氮、磷、钾、钙和镁年变化规律, 并以二倍体毛白杨(无性系号为 S10) 为对照。研究结果表明:

同一营养元素在三倍体毛白杨叶片中表现出大体相似的季节性动态变化趋势, 其中氮、磷、钾在整个生长期呈现出明显下降的年变化趋势, 而不同无性系叶片中钙的年变化趋势为逐渐上升, 镁为先上升后下降; 毛白杨不同无性系叶片中仅磷全年差异达到了显著水平($P < 0.01$, $n = 36$), 12 个无性系中 S5 磷质量分数最高, 全年平均为 $1.85 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$;

在整个生长季节中, 与对照二倍体毛白杨 S10 比较, 三倍体毛白杨无性系 S5, S6, S3, S12, S7, S1, S4 叶片磷质量分数均有所提高; 毛白杨不同无性系在生长季节内, 叶片中积累大量元素的规律相似, 平均质量分数由大到小的顺序均为氮 > 钾 > 钙 > 镁 > 磷, 分别为 24.31, 17.23, 4.36, 1.94, $1.56 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。图 5 表 2 参 8

关键词: 植物学; 三倍体毛白杨; 无性系; 叶片营养; 年变化

中图分类号: S725.5 文献标志码: A 文章编号: 1000-5692(2008)04-0538-05

Annual changes of N, P, K, Ca, and Mg leaf nutrients in triploid *Populus tomentosa*

QU Tian-zhu¹, SUN Xiang-yang¹, ZHANG Ying¹, KANG Xiang-yang²

(1. College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 2. College of Biological Sciences and Biotechnology, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: *Populus tomentosa* is the main tree species for afforestation in north China. To maintain its productivity, annual changes in leaf nutrient concentrations of N, P, K, Ca, and Mg with 11 clones of triploid *P. tomentosa* (S1 through S9, S11, and S12) were studied with diploid *P. tomentosa* (S10) as a control. The one-year-old seedlings were afforested in 2005, in Pinggu of Beijing, and leaves were gathered respectively in April, July and October of 2006 by representative sampling method with three replications, for determining N, P, K, Ca, and Mg concentrations in leaves. Results showed that (1) for a given nutrient, triploid *P. tomentosa* leaves had similar seasonal variations, N, P, and K, levels declined during the whole growth period; Ca gradually increased, while Mg increased and then decreased. Also, (2) greater P concentrations in leaves of different clones were highly significant ($P < 0.01$, $n = 36$) with the greatest being $1.85 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ in S5. Additionally, (3) compared to diploid *P. tomentosa*, throughout the growing season, P concentrations in leaves of triploid *P. tomentosa* increased for clones S1, S3 through S7, and S12. Finally, (4) during the growing season, for the different clones of *P. tomentosa*, concentrations of these macro elements were similar with the order and average content (in $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$) of the five nutrients as: N (24.31) > K (17.23) > Ca (4.36) > Mg (1.94) > P (1.56). [Ch, 5 fig. 2 tab. 8 ref.]

Key words: botany; triploid *Populus tomentosa*; clone; leaf nutrient; annual change

收稿日期: 2007-06-15; 修回日期: 2008-03-03

基金项目: 国家林业局资助项目(2000-66)

作者简介: 曲天竹, 硕士, 从事土壤生态等研究。E-mail: tianzhu_qu1105@163.com. 通信作者: 孙向阳, 教授, 博士生导师, 从事土壤生态等研究。E-mail: sunxy@bjfu.edu.cn

毛白杨 *Populus tomentosa* 是我国华北地区平原绿化、绿色通道和用材林基地建设的主要树种, 如何培育优质壮苗对造林成败具有重要影响^[1]。三倍体毛白杨具有生长迅速, 抗逆性强, 材质优良等特性^[2], 在北方广为种植, 是当前最有开发价值的十大杨树新品种之一, 是黄河流域防护林建设, 平原绿化, 城市美化和纸浆材工业用材林基地建设的首选树种。叶片分析是当前较成熟的简单易行的树木营养诊断方法^[3-6], 也是林木营养诊断研究最有前途的手段^[7]。叶片营养元素变化规律不仅能反映林分营养状况, 更为人工林营养管理提供重要依据。因此, 作者初步研究了三倍体毛白杨叶片营养元素的年变化规律, 以期揭示三倍体毛白杨人工林养分循环及养分积累的动态规律, 为维护三倍体毛白杨人工林的长期立地生产力提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验设计

试验地设在北京平谷地区, 位于北京市东北部, 是典型的暖温带半湿润大陆性季风区, 四季分明。主要气候特点是春季干旱多风, 夏季高温多雨, 秋季凉爽湿润, 冬季寒冷干燥。年平均最高气温为 17.3℃, 年均降水量为 644 mm, 年平均日照 2 706 h, 年平均无霜期 191 d。试验地土壤属中壤土, pH 8.42, 有机质为 11.91 g·kg⁻¹, 全氮 0.82 g·kg⁻¹, 速效磷 13.68 mg·kg⁻¹, 速效钾 50.50 mg·kg⁻¹, 交换性钙 6.72 g·kg⁻¹, 交换性镁 2.18 g·kg⁻¹。

试验材料共计 12 个无性系 (S1 ~ S12)。其中, S10 是二倍体毛白杨的无性系, 设为对照, 其余为三倍体毛白杨的无性系。无性系 S1, S2, S3, S4, S7, S8, S9 和 S12 亲本为毛新杨 *P. tomentosa* × *P. bdlleana* 与毛白杨 *P. tomentosa*, 无性系间基因型不同; 无性系 S5, S6 和 S11 亲本为银腺杨 *P. alba* × *P. glandulosa* 与毛白杨, 无性系间基因型不同)。采用随机区组设计, 重复 3 次, 共 36 个小区, 株行距为 4 m × 3 m, 小区面积为 144 m², 总占地面积 6 667 m²。2005 年春营造, 造林时用 1 年生苗, 树苗的平均胸径为 2.17 cm, 平均树高为 3.26 m。目前试验林保存完好。

1.2 样品的采集和处理

2006 年 4 月、7 月、10 月 (落叶前) 分别对毛白杨不同无性系 3 株平均木的叶片采用典型取样法采集, 采叶部位为树冠上部 1/3 处向阳叶片, 每株采叶 20 片。样品带回实验室后立即用蒸馏水清洗, 在 105℃ 下杀青 30 min, 然后在进行烘干 (75℃ 烘 24 h) 处理。将称量后的样品进行磨细, 并分别过 1 mm 和 0.25 mm 筛。

1.3 营养元素的测定

先将样品进行浓硫酸-过氧化氢消煮法消解, 用凯氏定氮蒸馏法测定氮, 钼锑抗法测定磷, 火焰光度计法测定钾, 原子吸收分光光度计法测定钙和镁^[8]。

1.4 数据处理和分析

采用 Microsoft Office Excel 2003 和 SPSS 10.0 进行数据处理和分析。

2 结果与讨论

2.1 氮元素质量分数年变化

叶片氮质量分数总体处于逐渐下降趋势 (图 1)。在生长季节初期, 对叶片氮质量分数最高 (4 月), 其中无性系 S11 叶片氮质量分数最高, 为 32.75 g·kg⁻¹, 无性系 S9 最低, 为 23.39 g·kg⁻¹。随着毛白杨的生长, 叶面积增大, 叶龄增加, 叶片内氮质量分数迅速下降 (7 月), 此时 S11 无性系叶片氮质量分数仍为最高, 为 29.18 g·kg⁻¹, 无性系 S9 最低, 为 21.1 g·kg⁻¹。7 - 10 月叶片内氮质量分数依旧在下降, 在落叶前 (10 月) 达到最低值, 无性系 S11 氮质量分数仍最高, 为 26.62 g·kg⁻¹, 无性系 S9 仍最低, 为 16.71 g·kg⁻¹。无性系叶片氮质量分数年下降幅度次序 (表 1) 为: S4 > S5 > S10 > S9 > S2 > S1 > S7 > S8 > S12 > S11 > S3 > S6。

2.2 磷元素质量分数年变化

叶片磷质量分数变化趋势与氮相似 (图 2), 4 月幼叶磷较多, 其中无性系 S5 叶片质量分数最高, 为 2.03 g·kg⁻¹, 无性系 S2 最低, 为 1.44 g·kg⁻¹。随着叶龄的增加, 叶片磷质量分数呈下降趋势, 到 7

月份, 无性系 S5 叶片磷质量分数仍为最高, 为 $1.88 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 无性系 S2 最低, 为 $1.20 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。7 - 10 月这个阶段, 磷质量分数仍在持续下降, 直到落叶前(10月), 无性系 S5 叶片磷质量分数仍为最高, 为 $1.65 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 无性系 S9 最低, 为 $1.03 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。磷的年变化总趋势是逐渐下降, 不同无性系叶片磷质量分数年下降幅度次序(表 1)为: $S10 > S9 > S4 > S11 > S8 > S7 > S2 > S6 > S12 > S1 > S5 > S3$ 。二倍体 S10 叶片磷质量分数年下降幅度为最大, 说明 S10 无性系叶片磷质量分数不稳定, 随季节变化幅度很大。

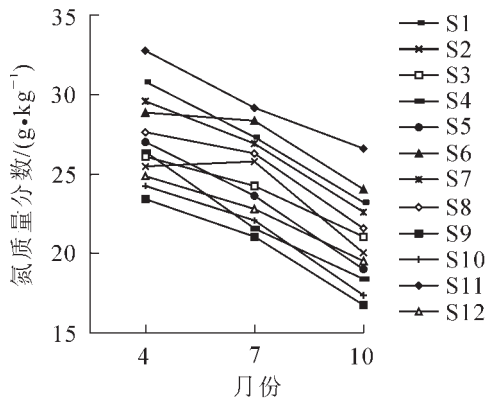


图 1 不同毛白杨无性系叶片氮质量分数年变化
Figure 1 Annual changes of N contents in leaves of different populus clones

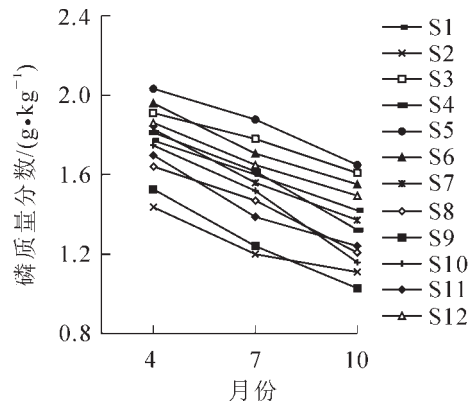


图 2 不同毛白杨无性系叶片磷质量分数年变化
Figure 2 Annual changes of P contents in leaves of different populus clones

2.3 钾元素质量分数年变化

叶片中钾质量分数变化趋势是前期高, 后期低(图 3)。4 月份幼叶中钾质量分数最高, 其中 S4 无性系叶片钾质量分数最高, 为 $21.61 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 无性系 S3 最低, 为 $16.57 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。4 - 7 月, 钾质量分数缓慢下降, 变化幅度不大。到 7 月, 无性系 S4 叶片钾质量分数仍为最高, 为 $21.01 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 无性系 S3 最低, 为 $14.95 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。7 月之后, 钾质量分数明显下降, 至落叶前下降到最低, 此时无性系 S4 叶片钾质量分数仍为最高, 为 $17.32 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 无性系 S5 最低, 为 $11.51 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。叶片钾的年变化总趋势为逐渐下降, 无性系叶片钾质量分数年下降幅度次序为 $S10 > S5 > S12 > S2 > S11 > S8 > S6 > S3 > S7 > S9 > S4 > S1$ (表 1)。二倍体 S10 无性系叶片钾质量分数年下降幅度为最大, 说明 S10 无性系叶片钾不稳定, 随季节变化幅度很大。

2.4 钙元素质量分数年变化

结果表明, 整个生长期叶片钙质量分数呈明显的上升趋势(图 4)。幼叶钙质量分数明显低于老叶片, 第 1 次取样时(4月), 叶片中钙质量分数最低, 此时无性系 S3 叶片中钙质量分数最高, 为 $4.57 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 无性系 S7 最低, 为 $3.16 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。4 - 7 月, 叶片中钙质量分数急剧增加, 7 月份时, 无性系 S3 叶片钙质量分数仍为最高, 为 $5.09 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 无性系 S8 最低, 为 $3.59 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。7 月份之后, 钙质量分数仍继续增加, 落叶前夕(10月份)钙质量分数达到最高, 此时无性系 S12 钙质量分数最高, 为 $5.43 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 无性系 S8 仍最低, 为 $4.21 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。不同无性系叶片中钙质量分数年下降幅度次序为 $S9 > S7 > S2 > S6 > S4 > S8 > S10 > S11 > S5 > S12 > S3 > S1$ (表 1)。

2.5 镁元素质量分数年变化

随叶片的生长, 叶片内镁质量分数呈先上升后下降式变化(图 5)。4 月取样时, 无性系 S6 叶片镁质量分数最高, 为 $2.33 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 无性系 S11 最低, 为 $0.91 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。随着叶龄增长, 三倍体毛白杨叶片镁质量分数明显增长, 7 月时, 无性系 S6 叶片镁质量分数仍为最高, 为 $3.13 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 无性系 S2 最低, 为 $1.84 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。7 月后, 叶片镁质量分数迅速降低, 在 10 月份时, 无性系 S8 叶片镁质量分数最高, 为 $2.30 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 无性系 S2 最低, 为 $1.21 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。不同无性系叶片中镁质量分数年上升幅度次序为 $S11 > S4 > S9 > S7 > S6 > S8 > S2 > S12 > S1 > S6 > S3 > S10$ (表 1)。二倍体无性系 S10 叶片镁质量分数年上升幅度为最小, 说明 S10 叶片中镁的变化很不稳定, 并且积累镁的能力也很弱。

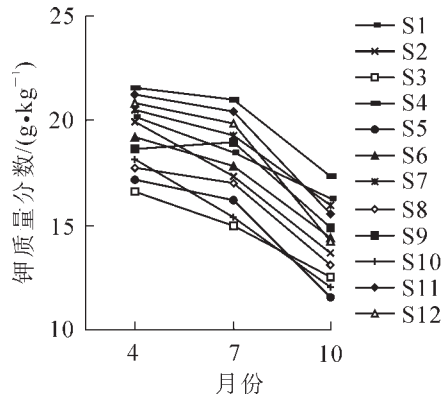


图 3 不同无性系叶片钾质量分数年变化

Figure 3 Annual changes of K contents in leaves of different populus clones

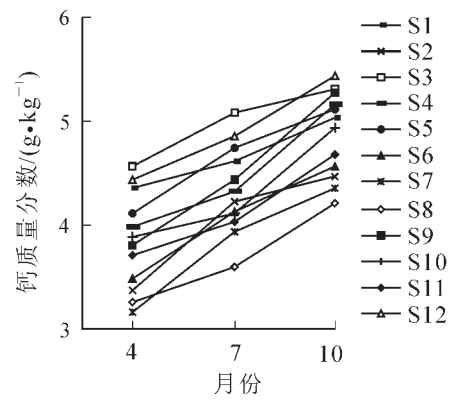


图 4 不同无性系叶片钙质量分数年变化

Figure 4 Annual changes of Ca contents in leaves of different populus clones

不同无性系毛白杨在生长季节内，叶片中积累的大量元素平均质量吨数由大到小的顺序均为氮、钾、钙、镁、磷，分别为 24.31, 17.23, 4.36, 1.94, 1.56 $g \cdot kg^{-1}$ 。方差分析表明(表 2)，不同无性系毛白杨叶片中磷元素全年质量分数差异达到了显著水平，而氮、钾、钙和镁元素全年质量分数差异均未达到显著水平。

3 结论

同一营养元素在三倍体毛白杨 11 个无性系以及二倍体毛白杨无性系 S10 叶片中表现出大体相似的季节性动态变化趋势，从 5 种营养元素年周期变化动态

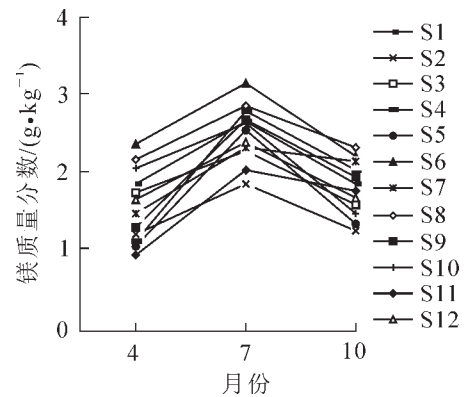


图 5 不同无性系叶片中镁质量分数年变化

Figure 5 Annual changes of Mg contents in leaves of different populus clones

表 1 毛白杨不同无性系营养元素年变化幅度

Table 1 Annual variation scope of leaf nutrients in different populus clones

| 无性系编号 | 营养元素年变幅/% | | | | |
|-------|-----------|---------|---------|-------|---------|
| | 氮 | 磷 | 钾 | 钙 | 镁 |
| S1 | - 24.55 | - 19.77 | - 19.06 | 15.66 | 0.42 |
| S2 | - 25.53 | - 22.92 | - 31.39 | 32.42 | 3.39 |
| S3 | - 18.65 | - 15.71 | - 24.38 | 16.41 | - 8.33 |
| S4 | - 30.04 | - 27.07 | - 19.85 | 29.28 | 87.77 |
| S5 | - 29.87 | - 18.72 | - 33.01 | 23.84 | 30.28 |
| S6 | - 16.71 | - 20.92 | - 24.83 | 30.95 | - 6.11 |
| S7 | - 23.72 | - 25.14 | - 22.43 | 37.57 | 47.24 |
| S8 | - 22.32 | - 26.22 | - 26.21 | 29.15 | 6.91 |
| S9 | - 28.56 | - 32.68 | - 20.09 | 38.75 | 49.64 |
| S10 | - 28.78 | - 33.71 | - 33.63 | 27.05 | - 28.21 |
| S11 | - 18.72 | - 27.06 | - 26.79 | 26.09 | 90.28 |
| S12 | - 21.64 | - 19.89 | - 31.77 | 22.49 | 2.07 |

说明：营养元素年变化幅度计算公式：年变化幅度 = [(年末质量分数 - 年初质量分数)/年初质量分数] × 100%。正数代表上升幅度，负数代表下降幅度。

表2 毛白杨不同无性系叶片营养元素全年含量方差分析

Table 2 Variation analysis of leaf nutrients in different populus clones

| 营养元素 | 极差/(g·kg ⁻¹) | 均值/(g·kg ⁻¹) | 变异系数/% | F | F _{0.05} | 检验结果 |
|------|--------------------------|--------------------------|--------|------|-------------------|-------|
| 氮 | 16.04 | 24.31 | 8.23 | 1.95 | | 差异不显著 |
| 磷 | 1.01 | 1.56 | 4.48 | 2.27 | | 差异显著 |
| 钾 | 10.11 | 17.23 | 32.15 | 1.23 | 2.21 | 差异不显著 |
| 钙 | 2.27 | 4.36 | 10.81 | 1.81 | | 差异不显著 |
| 镁 | 2.22 | 1.94 | 45.16 | 1.03 | | 差异不显著 |

来看, 氮、磷和钾元素质量分数在整个生长期呈现出明显下降的年变化趋势, 其中, S4 无性系叶片氮质量分数年下降幅度最大, S6 最小; S10 无性系叶片磷和钾质量分数年下降幅度均为最大, 说明 S10 无性系叶片磷和钾质量分数不稳定, 随季节变化幅度很大, 而叶片中磷和钾质量分数年下降幅度最低者分别为 S3 和 S1; 不同无性系叶片中钙元素的年变化趋势为逐渐上升, 其中, 无性系 S9 叶片钙年上升幅度最大, S6 最小; 不同无性系叶片镁元素的年变化趋势为先上升后下降, 其中, 无性系 S11 叶片镁年上升幅度最大, 最小为 S10。实验结果说明毛白杨叶片中各营养元素的年周期变化具有一定的规律性。

不同无性系毛白杨叶片中磷元素全年质量分数差异达到了显著水平, 而氮、钾、钙和镁元素全年质量分数间差异均未达到显著水平。在整个生长季节中, 与对照二倍体毛白杨 S10 比较, 三倍体毛白杨无性系 S5, S6, S3, S12, S7, S1, S4 叶片磷元素均有所提高, 说明大部分三倍体毛白杨无性系与二倍体相比, 对磷需求更多。

不同无性系毛白杨在生长季节内, 叶片中积累大量元素的规律相似, 平均质量分数由大到小的顺序均为氮、钾、钙、镁和磷, 平均质量分数分别为 24.31, 17.23, 4.36, 1.94 和 1.56 g·kg⁻¹。

随着叶片发育成熟, 钙基本呈上升趋势, 这是因为钙属于不易移动的元素, 随着叶片的成熟必然积累越来越多的钙, 在整个生长期呈现不断吸收和积累趋势, 与前人研究结果一致; 镁是容易移动的元素, 同时镁是组成叶绿素必不可少的元素之一, 叶片镁的变化动态必然与叶片功能的强弱密切相关^[7], 故年变化呈现先上升后下降的趋势; 常量元素氮、磷和钾的质量分数在生长初期均为最高, 随着杨树的生长, 叶面积的增大, 明显下降, 这说明叶片在生长的过程中消耗大量的氮、磷、钾, 因而在毛白杨的生长中期尤其后期追肥及其必要, 追肥应以氮、磷、钾肥为主, 但施肥的种类、肥料配比、施肥量等还有待于进一步的研究。

参考文献:

- [1] 欧阳永俊, 刘军华, 肖水清. 三倍体毛白杨引种试验初报[J]. 江西林业科技, 2004(1): 10 - 13.
- [2] 刘毅, 张兴芬, 王敏, 等. 引种三倍体毛白杨的生长特性分析[J]. 辽宁林业科技, 2005(4): 22 - 23.
- [3] 林敏娟, 徐继忠, 陈海江, 等. 黄金梨叶片、果实中矿质元素含量的周年变化动态[J]. 河北农业大学学报, 2005, 28(6): 23 - 27.
- [4] 李海玲, 王麒, 方升佐. 2个杨树无性系中大量元素含量的年变化[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2006, 30(1): 49 - 52.
- [5] 刘克林, 孙向阳, 赵铁蕊, 等. 三倍体毛白杨不同无性系叶片营养元素质量分数差异[J]. 浙江林学院学报, 2007, 24(3): 297 - 301.
- [6] 黄宝强, 王麒. 杨树人工林叶营养元素季节性变化的研究[J]. 福建林业科技, 2005(1): 20 - 25
- [7] 李酉开. 土壤农业化学常规分析方法[M]. 北京: 科学出版社, 1983.
- [8] STONE E L. Regional Objectives in Forest Fertilization: Current and Potential[R]. Urbana-Champaign: USDA Forest Serv Gen Tech Rep, 1973: 10 - 18.