

银杏苗期生理生化指标的变异和选择研究

莫昭展¹, 曹福亮², 梁海清¹, 符韵林³

(1. 玉林师范学院, 广西 玉林 537000; 2. 南京林业大学 森林资源与环境学院, 南京 210037; 3. 广西大学 林学院, 南宁 530004)

摘要: 对银杏家系间的苗期生理生化和生长指标进行测定, 并对生理生化指标与生长指标的相关关系进行研究。结果初步表明家系间生理生化指标、生长指标差异显著; 叶片硝酸还原酶(NR)活性和单株生物量、苗高达到了极显著正相关水平; 多酚氧化酶活性与单株生物量、苗高的相关系数达到极显著负相关水平。可以初步确定硝酸还原酶、多酚氧化酶为银杏苗木早期选择指标。

关键词: 银杏; 生理生化指标; 变异; 早期选择

中图分类号: Q945 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2009)03-0377-05

Variation of seedling physiological biochemical indexes and early selection of *Ginkgo biloba*

MO Zhao-Zhan¹, CAO Fu-Liang², LIANG Hai-Qing¹, FU Yun-Lin³

(1. Yulin Normal College, Yulin 537000, China; 2. College of Forest Resources and Environment, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China; 3. College of Forestry, Guangxi University, Nanning 530004, China)

Abstract: In this paper, physiological biochemical indexes and growth characters of different *Ginkgo biloba* family were studied. The main results were as follows: the differences in physiological biochemical indexes and growth indexes were all significant. The correlation analysis showed that correlation coefficient between NR activity and height, seedling biomass both reached positive significant level, correlation coefficient between PPO activity and height, seedling biomass both reached negative significant level. So they could be selected as early selecting indexes.

Key words: *Ginkgo biloba*; physiological biochemical indexes; variation; early selection

银杏因其木材结构匀称、纹理致密、耐腐抗蚀、容易加工、胶着力大、握钉力强, 自古以来就是工艺雕刻、精美家俱等多种用途的上等木材, 素有“银香木”的美誉。目前银杏在我国大面积发展的只是果用林和叶用林, 很少作为人工用材林进行定向培育。费本华(2001)对我国银杏生长情况的调查结果表明, 银杏在适宜的林地栽种生长比较迅速, 经济效益良好, 如山东低山丘陵 34 年生银杏胸径达 22.0 cm, 树高 19.8 m; 浙江一般立地条件 48 年生银杏胸径 37.3 cm, 树高 19.8 m。因此选育生长迅速的银杏品系对于发展银杏人工用材林具有重要的意义。

目前对银杏的选择研究主要集中在果用和叶用两方面, 对家系的研究主要集中半同胞家系上叶片的性状变异, 种苗性状变异及苗期选择, 化学成分的变异(赵玉涛等, 2001; 邓燕等, 2002; 薛萍等, 2000), 对控制授粉的银杏家系的苗期变异和早期选择极少报道(莫昭展等, 2007)。

本文对控制授粉的银杏不同家系的生长及生理生化性状变异进行早期研究, 关系到银杏的苗期早期鉴定、选择等一系列问题, 对提高育种预见性、减少育种工作的盲目性, 加速银杏的改良进程, 推动银杏用材林的发展具有重要意义。

收稿日期: 2008-03-17 修回日期: 2008-12-29

基金项目: 江苏省科技攻关项目(BG200413)[Supported by key Science and Technology Projects of Jiangsu Province(BG200413)]

作者简介: 莫昭展(1974-), 男, 广西玉林人, 博士, 副教授, 从事植物种质资源利用的教学与研究工作, (E-mail)mzz19741028@163.com。

1 材料与方 法

1.1 实验材料

控制授粉试验设在江苏省邳州市银杏种用园试验基地进行。选择 4 个品种作为母本(马铃 2, 马铃 3, 大龙眼, 梅核, 编号分别为 1、2、3、4), 每一母本选取 5 株长势良好、生长情况相近, 结实率高的单株作为授粉母树; 选择江苏省姜堰、如皋、南通的 5 株生长健康、无病虫害, 树高、胸径、干形、冠形表现优异的优良银杏雄株作为父本进行花粉采集, 编号为 1、2、3、4、5。人工授粉采用单交方式进行, 获得 20 个全同胞家系, 另外每个母本采摘自由授粉的种子作为对照(CK)。采摘的种子当年沙藏, 次年春催芽, 于 2004 年在江苏省江都市横沟科技园区完全随机区组育苗, 3 次重复。

于 2005 年 5 月初、7 月初、9 月初, 24 个家系在每个重复中随机选择 10 株苗木进行混合采样(即每个家系采集 3 个重复), 采样时选择健康无病害的叶片用于可溶性糖含量、可溶性蛋白质含量、超氧化物歧化酶活性、过氧化物酶活性的测定; 每重复挖取 3 株长势中等的幼苗用于硝酸还原酶活性、多酚氧化酶活性的测定。叶片用保鲜筒装好, 幼苗用水培的方式迅速带回实验室进行分析。

1.2 实验方法

1.2.1 生理生化指标的测定 可溶性糖含量的测定采用蒽酮比色法进行测定, 可溶性蛋白质采用考马斯亮蓝 G-250 法进行测定, 硝酸还原酶(NR)活性测定采用活体法测定(上海生理学会, 1985), 超氧化物歧化酶(SOD)活性测定采用汪安琳等(1995)的方法进行测定, 过氧化物酶(POD)活性测定参照李美茹等(1996)的方法进行测定, 多酚氧化酶活性测定参照姚延涛等(1998)的方法。

1.2.2 生长指标的测定 2005 年 10 月中旬银杏苗已停止生长, 每个家系每重复随机选择 30 株, 用钢卷尺和游标卡尺测量苗高和地径, 取平均值。每个家系每个重复根据苗高和地径选取 5 株标准株对单株生物量进行测量分析, 取平均值。将整株银杏苗放入 80 °C 烘箱中烘干至恒重, 称量得单株生物量; 单株生物量 = 茎部生物量 + 根部生物量 + 叶生物量。

1.2.3 统计分析 采用 Excel2002、SAS V8.01 软件对主要指标进行统计分析

2 结果分析

2.1 叶片生理生化指标的变异

叶片生理生化指标的测定数值见表 1。方差分析表明, 家系间的 NR 活性在 5 月($F=7.22, Pr<0.0001$)、7 月($F=8.74, Pr<0.0001$)、9 月($F=2.94, Pr=0.0008$)都达到极显著差异水平。NR 活性随季节变化而变化, 7 月份 NR 活性最高, 平均值达到 $42.31 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$, 5 月份次之, 平均值 $29.93 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$, 9 月份最低, 平均值 $24.91 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 。家系间 NR 活性三次测量(5 月、7 月、9 月)的平均值同样达到了极显著差异水平($F=44.97, Pr<0.0001$)。

家系间的 POD 活性在 5 月($F=53.68, Pr<0.0001$)、7 月($F=22.59, Pr<0.0001$)、9 月($F=86.65, Pr<0.0001$)都达到了极显著差异水平。POD 活性随季节变化而变化, 其中 5 月份最低, 平均值是 $0.350 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$, 7 月份次之, 平均值 $0.526 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$, 9 月份最高, 平均值 $0.789 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ 。各家系间 POD 活性三次测量的平均值同样达到了极显著差异水平($F=66.39, Pr<0.0001$)。

家系间的 SOD 的活性在 5 月($F=13.68, Pr<0.0001$)、7 月($F=15.59, Pr<0.0001$)、9 月($F=18.65, Pr<0.0001$)都达到了极显著差异水平。SOD 的活性随季节变化而变化, 5 月份最低, 平均值 $23.338 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$, 7 月份次之, 平均值是 $30.694 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$, 9 月份最高, 平均值 $36.245 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 。家系间三次测量的 SOD 活性的平均含量有极显著差异($F=21.16, Pr<0.0001$)。

家系间的 PPO 活性在 5 月($F=54.16, Pr<0.0001$)、7 月($F=42.10, Pr<0.0001$)、9 月($F=20.67, Pr=0.0008$)都达到了极显著差异水平。PPO 活性随季节变化而变化, 9 月份最高, 平均值达到 $77.450 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$, 5 月份次之, 平均值达 $54.493 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$, 7 月份最低, 平均值 $31.160 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 。家系间三次测量的 PPO 活性的平均值同样达到了极显著差异水平($F=34.06, Pr<0.0001$)。

家系间叶片的可溶性蛋白含量在 5 月($F=3.06, Pr=0.0005$)、7 月($F=5.18, Pr<0.0001$)、9 月($F=6.31, Pr<0.0001$)都达到了极显著差异水平。可溶性蛋白含量随季节变化而变化, 其中 9 月

表 1 家系间叶片生理生化指标的变异
Table 1 Variation of physiological and biochemical indices of leaves between families(mean±SD)

| 家系 Families | NR($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$) | | | POD($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$) | | | SOD($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$) | | |
|----------------|---|------------|--------------|---|------------|------------|--|------------|------------|
| | 5月 | 7月 | 9月 | 5月 | 7月 | 9月 | 5月 | 7月 | 9月 |
| 1_1 | 43.83±2.75 | 53.47±2.55 | 21.01±0.90 | 0.46±0.02 | 0.74±0.10 | 0.95±0.06 | 20.22±0.96 | 23.22±1.28 | 26.0±1.60 |
| 1_2 | 26.17±2.36 | 40.0±4.20 | 23.81±2.81 | 0.50±0.03 | 0.76±0.18 | 0.85±0.04 | 11.11±2.39 | 17.67±3.19 | 24.0±3.99 |
| 1_3 | 32.50±1.32 | 32.87±2.60 | 29.43±0.95 | 0.48±0.06 | 0.73±0.09 | 1.05±0.07 | 16.67±2.55 | 23.22±3.39 | 24.0±4.24 |
| 1_4 | 25.83±1.31 | 22.20±2.61 | 21.23±0.41 | 0.46±0.03 | 0.80±0.14 | 1.06±0.08 | 22.22±3.01 | 28.78±4.01 | 40.67±5.01 |
| 1_5 | 24.60±1.22 | 25.68±0.87 | 15.09±0.60 | 0.63±0.04 | 0.95±0.05 | 1.23±0.03 | 16.67±3.12 | 26.0±4.16 | 37.89±5.20 |
| 1_ck | 24.28±1.23 | 24.37±3.05 | 23.75±2.15 | 0.53±0.01 | 0.79±0.02 | 1.25±0.08 | 27.78±3.47 | 37.11±4.63 | 37.89±5.78 |
| 2_1 | 31.33±7.52 | 51.36±3.92 | 27.34±0.35 | 0.26±0.03 | 0.39±0.05 | 0.56±0.02 | 8.334±2.55 | 12.11±3.39 | 15.67±4.24 |
| 2_2 | 28.33±2.84 | 52.66±3.48 | 25.72±1.89 | 0.29±0.04 | 0.43±0.06 | 0.62±0.01 | 20.22±3.85 | 23.22±5.13 | 34.33±6.42 |
| 2_3 | 43.67±6.60 | 53.90±1.93 | 16.32±0.93 | 0.25±0.01 | 0.37±0.02 | 0.78±0.02 | 33.33±4.41 | 37.11±5.88 | 46.22±7.35 |
| 2_4 | 26.17±2.36 | 56.15±6.09 | 21.67±1.78 | 0.26±0.02 | 0.34±0.07 | 0.84±0.04 | 40.89±4.41 | 49.0±5.88 | 51.78±7.35 |
| 2_5 | 22.17±2.08 | 27.42±2.61 | 23.83±0.66 | 0.25±0.02 | 0.38±0.03 | 0.65±0.06 | 25.0±3.33 | 31.56±4.44 | 35.11±5.56 |
| 2_ck | 24.83±0.29 | 33.51±2.61 | 15.37±1.32 | 0.25±0.02 | 0.38±0.03 | 0.56±0.02 | 27.78±4.19 | 37.11±5.59 | 40.67±6.99 |
| 3_1 | 23.67±5.39 | 77.47±3.05 | 19.84±0.94 | 0.54±0.05 | 0.81±0.07 | 1.02±0.04 | 33.33±2.85 | 45.44±3.80 | 51.78±4.75 |
| 3_2 | 27.17±4.93 | 66.59±4.35 | 24.05±3.25 | 0.51±0.04 | 0.79±0.20 | 1.16±0.05 | 30.56±3.90 | 39.89±5.20 | 51.78±6.50 |
| 3_3 | 31.96±2.31 | 79.65±3.48 | 19.67±0.91 | 0.49±0.05 | 0.73±0.07 | 0.94±0.07 | 8.33±3.08 | 22.22±4.10 | 27.78±5.13 |
| 3_4 | 33.29±1.59 | 33.92±1.87 | 29.20±1.15 | 0.17±0.02 | 0.25±0.03 | 0.49±0.02 | 19.44±2.55 | 24.0±3.39 | 28.78±4.24 |
| 3_5 | 31.29±1.50 | 36.12±2.61 | 25.01±0.56 | 0.20±0.02 | 0.25±0.11 | 0.58±0.04 | 16.67±3.33 | 23.22±4.44 | 26.78±5.56 |
| 3_ck | 16.83±2.25 | 34.82±1.31 | 21.38±1.67 | 0.38±0.03 | 0.57±0.04 | 0.60±0.03 | 16.67±3.85 | 19.67±5.13 | 24.78±6.42 |
| 4_1 | 36.17±4.80 | 49.62±0.44 | 28.98±3.32 | 0.14±0.02 | 0.16±0.03 | 0.38±0.01 | 13.89±3.19 | 23.22±3.2 | 26.78±6.99 |
| 4_2 | 32.50±2.60 | 42.65±2.18 | 17.89±1.17 | 0.2±0.08 | 0.3±0.05 | 0.59±0.03 | 25.0±3.47 | 28.78±4.63 | 35.11±5.78 |
| 4_3 | 34.00±2.46 | 39.99±5.73 | 27.88±2.84 | 0.45±0.02 | 0.68±0.03 | 0.75±0.03 | 41.67±3.48 | 51.0±4.63 | 51.78±5.78 |
| 4_4 | 32.67±2.93 | 45.26±3.05 | 27.20±0.90 | 0.18±0.05 | 0.28±0.07 | 0.68±0.05 | 25.0±3.14 | 37.11±4.18 | 46.23±5.23 |
| 4_5 | 29.17±4.54 | 53.97±3.05 | 27.36±1.17 | 0.26±0.02 | 0.39±0.03 | 0.76±0.03 | 22.22±2.98 | 34.33±3.98 | 40.67±4.97 |
| 4_ck | 26.17±1.30 | 32.50±3.05 | 23.85±0.72 | 0.24±0.00 | 0.36±0.01 | 0.60±0.04 | 37.11±2.55 | 41.67±3.39 | 43.44±4.24 |
| | PPO($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$) | | | 可溶性蛋白含量($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$) Soluble protein content | | | 可溶性糖含量($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$) Soluble sugar content | | |
| | 5月 | 7月 | 9月 | 5月 | 7月 | 9月 | 5月 | 7月 | 9月 |
| 1_1 | 48.33±3.51 | 35.25±4.18 | 76.13±5.53 | 14.38±1.62 | 10.19±0.68 | 15.93±1.86 | 6.58±1.91 | 11.25±1.01 | 17.63±1.34 |
| 1_2 | 36.0±4.58 | 27.0±3.44 | 56.7±7.22 | 11.47±1.34 | 10.89±0.45 | 15.47±1.42 | 3.41±0.90 | 4.87±0.28 | 7.09±0.69 |
| 1_3 | 41.67±3.21 | 30.75±3.27 | 64.46±4.73 | 14.81±3.21 | 10.27±1.84 | 17.92±0.43 | 5.57±0.72 | 7.95±0.78 | 10.63±1.02 |
| 1_4 | 65.0±3.61 | 48.75±2.70 | 89.83±6.65 | 13.20±1.82 | 11.44±0.84 | 17.33±2.67 | 5.27±0.50 | 7.53±0.73 | 9.48±0.50 |
| 1_5 | 61.0±7.55 | 45.75±5.66 | 85.40±10.57 | 13.74±2.72 | 11.91±1.62 | 13.48±2.26 | 7.54±2.43 | 13.84±0.77 | 19.07±1.09 |
| 1_ck | 63.0±5.50 | 31.50±2.75 | 88.20±7.70 | 11.04±2.27 | 9.57±1.23 | 14.92±1.31 | 6.38±1.75 | 9.50±0.75 | 14.42±1.20 |
| 2_1 | 88.67±8.14 | 44.33±4.07 | 107.45±10.92 | 13.53±1.26 | 12.95±2.31 | 14.17±3.10 | 5.70±0.59 | 8.14±0.56 | 10.87±0.91 |
| 2_2 | 37.33±8.96 | 16.88±4.14 | 65.33±5.69 | 14.23±3.58 | 14.29±1.75 | 16.49±1.82 | 4.98±0.65 | 7.11±0.62 | 9.59±0.70 |
| 2_3 | 64.67±3.06 | 32.33±1.53 | 90.53±4.28 | 16.01±3.75 | 13.93±1.81 | 18.69±2.86 | 6.73±0.53 | 9.61±0.51 | 15.41±0.82 |
| 2_4 | 76.0±4.00 | 37.0±3.61 | 93.1±4.90 | 17.07±2.36 | 14.80±1.31 | 18.23±1.14 | 7.31±0.31 | 10.44±0.30 | 16.34±0.90 |
| 2_5 | 53.33±3.06 | 26.67±1.53 | 88.67±8.81 | 12.51±2.41 | 10.85±1.35 | 18.25±0.05 | 6.09±0.51 | 8.70±0.48 | 13.18±1.18 |
| 2_ck | 64.67±1.53 | 33.33±1.04 | 89.37±4.10 | 13.46±2.54 | 11.67±1.47 | 16.18±0.25 | 5.83±0.70 | 8.33±0.67 | 11.54±0.84 |
| 3_1 | 26.67±5.77 | 13.63±3.18 | 44.92±8.98 | 17.00±1.50 | 16.31±1.35 | 20.94±1.95 | 5.69±0.54 | 8.12±0.52 | 10.70±0.93 |
| 3_2 | 23.67±4.51 | 11.83±2.25 | 41.42±7.89 | 11.45±2.49 | 9.92±1.43 | 19.45±1.85 | 7.76±1.78 | 13.43±0.86 | 19.60±0.72 |
| 3_3 | 25.17±5.01 | 14.10±2.26 | 44.04±8.76 | 14.82±2.81 | 12.85±1.70 | 16.00±2.00 | 3.80±0.77 | 5.43±0.22 | 8.11±0.84 |
| 3_4 | 80.0±1.80 | 46.58±2.91 | 98.0±2.21 | 16.31±2.67 | 14.13±1.59 | 21.50±2.60 | 5.31±0.56 | 7.59±0.53 | 9.72±0.54 |
| 3_5 | 41.33±0.76 | 23.75±1.79 | 61.54±6.05 | 17.15±2.25 | 14.48±2.10 | 20.73±2.15 | 4.65±0.41 | 6.64±0.39 | 8.52±1.04 |
| 3_ck | 52.17±1.61 | 30.3±2.26 | 82.16±2.53 | 18.22±2.34 | 14.97±2.61 | 20.58±3.38 | 5.77±0.52 | 8.25±0.49 | 11.26±1.10 |
| 4_1 | 55.83±2.57 | 33.5±1.54 | 87.94±4.04 | 15.99±2.90 | 13.86±1.78 | 22.75±3.05 | 5.86±0.53 | 8.37±0.50 | 12.34±1.11 |
| 4_2 | 57.17±4.86 | 34.3±2.91 | 90.04±7.65 | 18.07±3.18 | 15.44±2.37 | 23.95±2.05 | 6.02±0.65 | 8.60±0.62 | 12.16±1.30 |
| 4_3 | 88.33±1.53 | 52.0±2.50 | 108.21±1.87 | 20.57±3.11 | 13.22±2.05 | 25.40±0.40 | 4.75±0.54 | 6.79±0.51 | 9.83±1.00 |
| 4_4 | 54.0±2.29 | 31.4±3.06 | 80.79±2.85 | 19.05±2.75 | 17.54±3.41 | 25.74±3.75 | 6.60±2.31 | 11.46±0.66 | 20.47±2.66 |
| 4_5 | 47.0±2.18 | 27.2±2.72 | 72.86±4.91 | 20.95±0.85 | 17.78±1.95 | 23.99±4.81 | 6.66±0.58 | 9.51±0.55 | 14.92±1.31 |
| 4_ck | 32.83±2.36 | 19.7±1.42 | 51.71±3.72 | 14.91±1.19 | 12.92±0.30 | 22.42±1.62 | 5.46±0.63 | 7.80±0.60 | 10.12±0.74 |

表2 家系间植株生长指标的变异

Table 2 Variation of growth indices of plants between families (mean±SD)

| 家系 Families | 树高 (cm) Height | 地径 (mm) Diameter | 单株生物量 (g) Seedling biomass | 家系 Families | 树高 (cm) Height | 地径 (mm) Diameter | 单株生物量 (g) Seedling biomass |
|----------------|-------------------|---------------------|-------------------------------|----------------|-------------------|---------------------|-------------------------------|
| 1_1 | 40.18±2.09 | 14.12±0.92 | 16.26±0.86 | 3_1 | 42.72±2.50 | 15.40±0.51 | 18.18±0.74 |
| 1_2 | 34.48±1.26 | 15.68±0.30 | 15.99±0.34 | 3_2 | 41.10±2.05 | 14.80±0.54 | 16.02±0.66 |
| 1_3 | 37.45±1.26 | 15.41±0.63 | 15.90±0.57 | 3_3 | 44.47±0.87 | 16.81±0.24 | 20.73±0.17 |
| 1_4 | 29.62±0.86 | 14.66±0.62 | 12.0±0.08 | 3_4 | 32.96±1.02 | 14.90±0.54 | 14.31±0.05 |
| 1_5 | 27.01±0.95 | 14.39±0.32 | 12.60±0.20 | 3_5 | 31.45±1.34 | 13.91±0.30 | 12.54±0.17 |
| 1_ck | 28.26±1.59 | 15.84±0.27 | 11.64±0.38 | 3_ck | 28.51±1.38 | 14.49±0.29 | 13.14±0.30 |
| 2_1 | 36.18±1.59 | 14.41±0.42 | 12.72±0.62 | 4_1 | 36.38±1.76 | 16.55±0.46 | 17.64±0.26 |
| 2_2 | 29.70±0.68 | 14.09±0.52 | 12.54±0.32 | 4_2 | 40.95±2.00 | 15.15±0.39 | 16.44±0.69 |
| 2_3 | 35.52±2.00 | 15.70±0.52 | 16.05±0.33 | 4_3 | 35.74±2.45 | 15.93±0.28 | 16.17±0.71 |
| 2_4 | 31.68±0.65 | 14.04±0.27 | 10.98±0.16 | 4_4 | 38.7±1.60 | 15.61±0.26 | 16.35±0.39 |
| 2_5 | 27.14±1.38 | 13.52±0.32 | 11.22±0.45 | 4_5 | 29.78±0.64 | 12.48±0.16 | 11.52±0.09 |
| 2_ck | 30.42±1.25 | 15.89±0.31 | 14.40±0.13 | 4_ck | 34.68±1.59 | 14.30±0.53 | 11.16±0.43 |

份最高,平均值达到 $19.187 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,5月份次之,平均值是 $13.174 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,7月份最低,平均值是 $9.187 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 。家系间三次测量的可溶性蛋白含量的平均值同样达到了极显著差异水平 ($F=4.89, Pr<0.0001$)。

叶片可溶性糖含量在各月份有所不同。9月份最高,平均值达到 $12.62 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,7月份次之,平均值 $8.72 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,5月份最低,平均值 $5.82 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 。家系间的可溶性糖含量在5月 ($F=4.53, Pr<0.0001$)、7月 ($F=3.41, Pr<0.0001$)、9月 ($F=$

$35.74, Pr<0.0001$)都达到了极显著差异水平。家系间三次测量的可溶性糖含量的平均值同样达到了极显著差异水平 ($F=128.16, Pr<0.0001$)。

2.2 植株生长指标的变异

各家系生长指标的测定值见表2。方差分析表明家系间的苗高差异极显著 ($F=5.95, Pr<0.0001$),24个家系的苗高平均值是 38.38 cm ,家系间的变异系数是 17.16% 。家系间的地径差异极显著 ($F=4.18, Pr<0.0001$),24个家系的地径平均值是 14.92 mm ,家系间的变异系数是 8.17% 。家

表3 生长性状和生理指标的相关系数

Table 3 The correlation coefficients of growth characteristics and physiology indices

| | 苗高 Height | 地径 Diameter | 硝酸还 原酶 NR | 过氧化 物酶 POD | 超氧化物 歧化酶 SOD | 多酚氧 化酶 PPO | 可溶性蛋白 Soluble protein | 可溶性糖 Soluble sugar |
|------------------------|--------------|----------------|-----------------|------------------|--------------------|------------------|-----------------------------|--------------------------|
| 单株生物量 Seedling biomass | 0.8343 ** | 0.7322 ** | 0.6308 ** | 0.1375 | -0.1006 | -0.4050 * | 0.1250 | -0.1362 |
| 苗高 Height | | 0.4758 ** | 0.7609 ** | 0.0878 | 0.0363 | -0.5313 ** | 0.1794 | -0.0253 |
| 地径 Diameter | | | 0.1915 | 0.1302 | -0.0045 | -0.0858 | -0.1086 | -0.2411 |
| 硝酸还原酶 NR | | | | -0.0960 | 0.0282 | -0.4584 * | 0.2786 | 0.0293 |
| 过氧化物酶 POD | | | | | 0.1066 | -0.1531 | -0.5174 ** | 0.1979 |
| 超氧化物歧化酶 SOD | | | | | | 0.0369 | 0.3287 | 0.3591 |
| 多酚氧化酶 PPO | | | | | | | 0.0563 | 0.0242 |
| 可溶性蛋白 Soluble protein | | | | | | | | 0.0080 |

*, ** 表示相关系数达到显著或极显著差异水平

*, ** meant correlation coefficients reached significant or very significant level, respectively.

系间的单株生物量差异极显著 ($F=11.63, Pr<0.0001$),24个家系的单株生物量平均值是 14.44 g ,家系间的变异系数是 19.45% (表2)。

2.3 生长性状与生理指标的相关关系

由于银杏家系间的一年生苗木的生长性状单株生物量(包括根、茎、叶)、苗高、地径,各种酶及内含物均达到显著水平,因此根据它们之间的相关关系

能初步确定早期选择指标。

由表3可以看出,叶片硝酸还原酶(NR)和单株生物量、苗高的相关系数分别为 $0.6308, 0.7609$,都达到了极显著正相关水平。多酚氧化酶与单株生物量、苗高的相关系数分别为 $-0.4050, -0.5313$,分别达到显著或极显著负相关水平;其余生理生化指标都未达到显著相关水平。可以初步确定硝酸还原

酶、多酚氧化酶为银杏苗木早期选择指标。

各种酶及内含物之间的相关系数最大的是过氧化物酶与可溶性蛋白的相关系数,为-0.5174,达到了极显著差异水平;其次为硝酸还原酶与多酚氧化酶的相关系数,是-0.4584,达到了显著水平。

3 讨论

一般植物的生活周期都很长,所处的环境条件复杂,怎样缩短选育周期,是育种工作者一直在探索的问题。目前为了尽快的缩短育种周期并为生产及时地提供优良繁殖材料,经常采用的方法就是早期测定。尽管植物的生长受遗传和环境的双重影响,但植物的生理活动是建立在各种能量代谢的基础上的,因此植物体的代谢水平及其代谢产物是反映植物生长发育的良好指标。

周国璋等(1993)研究了杉木 NR 的活性,认为 NR 活力是决定杉木速生性的重要因素之一,其与杉木幼林生长密切相关,可用 NR 活力作为杉木生长早期预测的指标。张檀等(1994)对 39 个杜仲优树无性系叶片的 NR 活性进行了测定,结果表明杜仲优树无性系树高、胸径、地径生长量与 NR 活性呈极显著的相关关系。

本研究中银杏家系间的 NR 活性差异达到了极显著差异水平。NR 活性是 9 月 < 5 月 < 7 月,这与银杏苗的高生长规律基本上是一致的,银杏苗木的高生长期较短,通常是 4 月上中旬开始,6 月中下旬结束,仅持续 40~90 d,春季高生长开始后,经过很短的初期生长,即进入速生期,速生期持续时间很短,速生期过后高生长就基本停止。从相关分析结果看,银杏叶片 NR 活性与苗木的单株生物量、苗高的相关系数达到了极显著差异水平,因此叶片的 NR 活性可作为衡量银杏生长状况的一个指标。所以开展 NR 研究,选择银杏优良种源和品系,是促进银杏速生丰产的一个值得重视的途径。

PPO 是含铜的酶,它在正常呼吸中并不很重要,它可能与植物的抗寒性有关,同时与木质素及一些与酚类有关的物质合成有关。闫海冰等(2003)在对华北地区主要经济树种仁用杏各器官在不同生育期间四种不同处理下的 PPO 活性进行测定,结果表明 PPO 活性与仁用杏树体的抗寒性、地上部分的生长发育有关。PPO 活性与生长的关系还不很肯定,Gonzalez 等(1991)证实 PPO 活性与欧洲榛子生长

呈负相关。

本研究中银杏家系间的 PPO 活性差异达到了极显著差异水平,PPO 活性大小变化规律是 7 月 < 5 月 < 9 月,与程水源(2000)的研究结论是一致的。从相关分析结果来看,银杏叶片的 PPO 活性与银杏苗木的单株生物量、苗高的相关系数都达到了显著水平,因此 PPO 适合作为银杏苗木的早期选择指标。

作者另文发表的研究结果表明控制授粉的银杏家系间的总黄酮含量、总内酯含量、单株叶生物量、单株有效经济产量均有极显著差异(莫昭展等,2007),本文的研究结果也表明,选择优良雄株与母株进行控制授粉获得的在家系在生理生化性状和生长指标上都有显著差异,进一步说明控制授粉可以获得变异较大的育种群体,结合早期选择有利于获得更多生长量大的优良银杏品系。

参考文献:

- 上海生理学会. 1985. 植物生理学实验手册[M]. 上海:上海科学技术出版社,30-40
- 程水源. 2000. 影响银杏叶黄酮形成的主要因子与调控技术的研究[D]. 山东农业大学,45
- Deng Y(邓燕),Sun MG(孙明高),Zhao YT(赵玉涛). 2002. Variation of seed and seedling traits and seedling selection of *Ginkgo biloba* half-siberian families(银杏半同胞家系种苗性状变异及苗期选择)[J]. *Hebei J Fore Orchard Res*(河北果树研究),17(4):293-297
- Fei BH(费本华). 2001. *Ginkgo* timber forest development will have a broad prospect(发展银杏用材林前景广阔)[J]. *Fore China*(中国林业),(2):42
- Gonzalez A,Ricardo STS,Roberto R. 1991. Ethylene in relation to protein,poroxidase and polyphenol oxidase activities during rooting in hazelnut cotyledons[J] *Physiol Plant*,83(4):611-620
- Li MR(李美茹),Liu HX(刘鸿先),Wang YR(王以柔),et al. 1996. Effect of calcium on the cold-resistance of rice seedlings (钙对水稻幼苗抗冷性的影响)[J]. *Acta Phytophysiol Sin*(植物生理学报),22(4):379-384
- Mo ZZ(莫昭展),Cao FL(曹福亮),Fu YL(符韵林). 2007. Research on medicine quality indexes of *Ginkgo biloba* crossing breeding(银杏杂交子代药用质量指标的变异研究)[J]. *J Anhui Agric Sci*(安徽农业科学),35(25):7 878-7 880
- Wang AL(汪安琳),Gao Q(高强),Chen YJ(陈裕菊). 1995. The physiological effects of brassinolide(BR)in *Pinus elliottii* engelm seedlings(油菜素内脂对湿地松苗的生理作用)[J]. *J Nanjing Fore Univ*(南京林业大学学报),19(4):1-6
- Xue P(薛萍),Li BH(李柏海),Xiao XH(肖新华),et al. 2000. Genetic variation of the chemical constituents in *Ginkgo* leaves (银杏叶中化学成分地理种源的变异)[J]. 18(3):31-33
- Yan HB(闫海冰),Yang XQ(杨秀清),Yao YT(姚延楠). 2003. (下转第 389 页 Continue on page 389)

为研究它们之间的系统进化关系,阐明基因序列、结构以及位置特异性和活性之间的关系提供了可能。在过去的几十年中,有关 LOX 途径的生化研究也取得了很大进展(Grechkin,1998)。13-LOX 途径的次生代谢产物通过信号分子作用或直接起化学防御的作用,如在受伤反应中茉莉酮酸酯和 OPDA 作为信号分子起作用(Creelman & Mullet,1997);有的产物对次生代谢起调节作用(李靖等,2004),此途径的研究报道也很多,尤其是 JA 途径,已经研究的比较清楚。而有关 9-LOX 途径的研究报道较少。

本文首次建立了乳突果苗的培养体系,并用仿真菌环境(几丁质)对乳突果组培苗进行刺激诱导,并作初步的酶活鉴定,检测到了反应产物—9,10,11-三羟基-12-十八碳烯酸的存在,根据结构可知它为 9-LOX 作用于亚油酸的产物。可见在乳突果组培苗中,几丁质诱导的十八碳酸代谢途径可能沿着 9-LOX 方向进行。本实验结果为探索“诱导—9-LOX 途径—化学防御”之间的关系及脂氧合酶基因的分离奠定基础。至于该酶作用的产物是如何作进一步转化,以及该途径的产物是如何起到化学防御作用的,还需要进一步的实验来证明。

参考文献:

赵沛基,甘烦远,沈月毛. 2003. 乳突果组织培养及愈伤组织中的多羟基脂肪酸[C]//中国植物学会. 中国植物学会七十年年年会论文摘要汇编. 北京:高等教育出版社,441—442
 Brash AR. 1999. Lipoxygenases: occurrence, functions, catalysis, and acquisition of substrate[J]. *J Biol Chem*, **274**:23 679—23 682
 Creelman RA, Mullet JE. 1997. Biosynthesis and action of jasmonates in plants[J]. *Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol*,

48:355—381
 Göbel C, Feussner I, Hamberg M. 2002. Oxylipin profiling in pathogen-infected potato leaves[J]. *Biochimica Biophysica Acta*, **1 584**:55—64
 Grechkin A. 1998. Recent developments in biochemistry of the plant lipoxygenase pathway[J]. *Prog Lipid Res*, **37**(5):317—352
 Huang JC(黄建昌), Xiao Y(肖艳), Zhou HG(周厚高). 2005. Impact of simulated acid rain on peroxidation of membranes lipids in leaves of papaya seedlings (模拟酸雨对番木瓜不同成熟度叶片膜脂过氧化作用的影响)[J]. *Guihaia*(广西植物), **25**(6):562—565
 Huang T(黄涛), Dong GF(董高峰), Zhang LY(张兰英), et al. 2003. Factors affecting *in vitro* shoot regeneration from leaf explants of *Citrus grandis* cv. Shatian-Yu(影响沙田柚叶片离体培养的因素研究)[J]. *Guihaia*(广西植物), **23**(6):561—564
 Kolomets MV, Chen H, Gladon RJ, et al. 2000. A leaf lipoxygenase of potato induced specifically by pathogen infection[J]. *Plant Physiol*, **124**:1 121—1 130
 Lee A, Cho K, Jang S, et al. 2004. Inverse correlation between jasmonic acid and salicylic acid during early wound response in rice [J]. *Biochem Biophys Res Commun*, **318**(3):734—738
 Li J(李靖), Zhao PJ(赵沛基), Lu CH(鲁春华), et al. 2004. Studies on lipoxygenase and polyhydroxy fatty acid in SA-elicited *Maytenus hookeri* suspension cells(水杨酸诱导美登木悬浮细胞产生脂氧合酶及多羟基脂肪酸的研究)[J]. *Acta Bot Yunnan*(云南植物研究), **26**(5):543—548
 Santino A, Iannacone R, Hughes R, et al. 2005. Cloning and characterisation of an almond 9-lipoxygenase expressed early during seed development[J]. *Plant Sci*, **168**(3):699—706
 Sharma R, Krishna H, Patel V, et al. 2006. Fruit calcium content and lipoxygenase activity in relation to albinism disorder in strawberry[J]. *Sci Hort*, **107**:150—154
 Terp N, Göbel C, Brandt A, et al. 2006. Lipoxygenases during *Brassica napus* seed germination[J]. *Phytochemistry*, **67**(18): 2 030—2 040

(上接第 381 页 Continue from page 381)

Studies on the yearly changing tendency of the activity of PPO in Kernel-apricot(仁用杏树多酚氧化酶活性年变化规律的研究) [J]. *Shanxi Fore Sci Tech* (山西林业科技), (4):5—9
 Yao YT(姚延涛), Zhang SG(张淑改), Xu MH(许茂红). 1998. The cycles of nutrient elements of copper and molybdenum and polyhenolxidases, activities of *Larix principis-rupprechtii* (华北落叶松铜、铝含量及多酚氧化酶活性研究)[J]. *Fore Res* (林业科学研究), **11**(1):94—98
 Zhang T(张檀), Zhang KJ(张康健), Ma HL(马惠玲), et al. 1994. Correlation between activity of nitrate reductase in eucornia leaves and growth increment of plus trees(杜仲优树硝酸还原酶活力与生长量关系的研究)[J]. *J Northwest Fore Univ*

(西北林学院学报), **9**(4):17—21
 Zhao YT(赵玉涛), Sun MG(孙明高), Li SR(李守勇), et al. 2001. Study on variation of seeding leaf traits of *Ginkgo biloba* half-siberian families(银杏非同胞家系苗期叶片性状变异的研究)[J]. *J Shandong Agric Univ(Nat Sci)* (山东农业大学学报·自然科学版), **32**(2):117—123
 Zhou GZ(周国璋), Su MY(苏梦云). 1993. Study on the relationship between nitrate reductase activity, nitrogen storage contents and the growth of Chinese Fir(杉木硝酸还原酶活力、氮素贮藏与其生长的关系)[J]. *Fore Res* (林业科学研究), **6**(2):141—147