



周祥斌, 周 玮, 邓丽婷, 等. 14 个香椿种源光合特性的比较研究[J]. 华南农业大学学报, 2016, 37(4): 51-56.

14 个香椿种源光合特性的比较研究

周祥斌^{1,2}, 周 玮², 邓丽婷², 陈晓阳²

(1 广东省连山林场, 广东 清远 513200; 2 华南农业大学 林学与风景园林学院/
广东省森林植物种质资源创新与利用重点实验室, 广东 广州 510642)

摘要:【目的】揭示我国特有的速生优质用材树种香椿 *Toona sinensis* 种源间光合特性的差异, 为优良种源的选择提供依据。【方法】对 11 省 14 县(市、区)的 1 年生香椿种源苗木 5 个瞬时光合生理指标进行 Li-6400 测定和分析。【结果】净光合速率(Pn)、气孔导度(Gs)、胞间 CO₂ 浓度(Ci)、蒸腾速率(Tr)、水分利用效率(WUE)5 个指标在种源间存在极显著差异。其中, Gs 变异系数最大, Ci 变异系数最小, 分别为 27.52%、4.24%。各指标的重复力以 Pn 最高, WUE 最低, 分别为 96.08%、78.52%。Pn 与 Gs、Tr、苗高呈极显著正相关($P < 0.01$), 与地径呈显著正相关($P < 0.05$); Gs 与 Ci、Tr、苗高呈极显著正相关($P < 0.01$), Ci 与 Tr 呈显著正相关($P < 0.05$), Tr 与苗高呈极显著正相关($P < 0.01$), 与地径呈显著正相关($P < 0.05$)。广西兴安、广西那坡、四川蓬安种源的 Pn 较大, 广西兴安、广东乐昌种源的 WUE 较大。【结论】对 5 个指标进行主成分分析, 得到 2 个主成分, 可以把 14 个香椿种源分为 3 类: 光合参数中蒸腾速率最小; 光合速率和水分利用效率都较高; 光合作用较强和水分利用效率较低。

关键词: 香椿; 光合特性; 种源; 苗木; 相关分析; 主成分分析

中图分类号: S718.46

文献标志码: A

文章编号: 1001-411X(2016)04-0051-06

Comparison of photosynthetic characteristics among 14 *Toona sinensis* provenances

ZHOU Xiangbin^{1,2}, ZHOU Wei², DENG Liting², CHEN Xiaoyang²

(1 Guangdong Lianshan Forestry Farm, Qingyuan 513200, China;

2 College of Forestry Science and Landscape Architecture, South China Agricultural University/ Guangdong Key Laboratory for Innovative Development and Germplasm Utilization of Forest Plant, Guangzhou 510642, China)

Abstract:【Objective】*Toona sinensis* is a China endemic timber species of high quality and fast growth. This study was aimed at investigating differences in photosynthetic characteristics among different *T. sinensis* provenances, and providing a theoretical basis for selection of superior provenances.【Method】Five photosynthetic indices of one-year-old seedlings of *T. sinensis* provenances collected from 14 counties in 11 provinces were measured with Li-6400 and analyzed.【Result】There were highly significant differences among different provenances in five photosynthetic indices including net photosynthetic rate (Pn), stomatal conductance (Gs), intercellular CO₂ concentration (Ci), transpiration rate (Tr) and water use efficiency (WUE). The variation coefficient of Gs was the highest (27.52%), and that of Ci was the lowest (4.24%). The repeatability of Pn was the highest (96.08%), and that of WUE was the lowest (78.52%). Pn was highly significantly positively correlated with Gs, Tr and seedling height ($P < 0.01$), and significantly positively correlated with ground diameter ($P < 0.05$). Gs was highly significantly positively correlated with Ci, Tr and seedling height ($P < 0.01$). Ci was significantly positively correlated with Tr ($P < 0.05$). Tr was highly significantly positively correlated with seedling height ($P <$

收稿日期: 2015-12-09 优先出版时间: 2016-06-01

优先出版网址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/44.1110.s.20160601.1353.016.html>

作者简介: 周祥斌(1989—), 男, 硕士, E-mail: zxiangbin@foxmail.com; 通信作者: 陈晓阳(1958—), 男, 教授, 博士, E-mail: xychen@scau.edu.cn.

基金项目: 广东省林业科技创新专项(2011KJCX002, 2012KJCX002, 2013KJCX002)

0.01) and significantly positively correlated with ground diameter ($P < 0.05$). Provenances collected from Xing'an and Napo of Guangxi Province, and Peng'an of Sichuan Province had relatively high Pn compared to those from other counties, and provenances from Xing'an of Guangxi Province and Lechang of Guangdong Province had relatively high WUE. 【Conclusion】Two principal components were obtained from five tested indices using the principal component analysis. Fourteen *T. sinensis* provenances can be divided into three groups including the group with the lowest Tr, the group with relatively high Pn and WUE, and the group with relatively strong photosynthesis and low WUE.

Key words: *Toona sinensis*; photosynthetic characteristic; provenance; seedling; correlation analysis; principal component analysis

香椿 *Toona sinensis* 又名红香椿、椿芽树、香椿头、椿甜树等,是我国特有的速生优质用材树种^[1],主要分布于我国大陆,在台湾地区也有分布^[2]。现有的报道多集中在食用、药用方面的研究^[3-4],也有不少栽培和木材材性与利用方面的研究^[5-10]。由于香椿分布广泛,对其进行种源研究是有必要的,但现有相关文献较少,而对于其种源光合特性的研究更少。张玉洁^[11]做了香椿幼树光合作用及其影响因子研究;杨玉珍等^[12]研究了干旱胁迫对6个不同种源香椿苗木光合特性的影响;郝明灼等^[13]做了不同种源香椿芽菜品质分析及光合特性比较;孟丽等^[14]研究了 Cd^{2+} 、 Hg^{2+} 污染对香椿叶绿素含量和光合特性的影响。为此,本研究在分布区均匀布点,采集 11

省 14 县(市、区)的香椿种子,对各种源 1 年生苗木 5 个瞬时光合生理指标进行测定和分析,旨在丰富香椿种源光合特性的研究,为优良香椿种源的筛选提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

从我国福建漳州、广东乐昌、广西那坡、广西南宁、广西兴安、贵州独山、湖北建始、湖南常德、湖南凤凰、陕西安康、云南建水、重庆彭水、四川蓬安、甘肃武都 11 个省(市、区)14 个县采集香椿种子,香椿种子的具体情况见表 1。于 2013 年 3 月 9 日在华南农业大学试验地播种,12 月 9 日定植于苗圃。

表 1 香椿种源采种点地理位置和气候因子状况

Tab. 1 Geographic locations and climatic information of the seed collection sites of different *Toona sinensis* provenances

编号	种源	经度(E)/(°)	纬度(N)/(°)	海拔/m	年均温/°C	年降水量/mm	无霜期/d	年均日照/h
zz	福建漳州	117.63	24.50	19	21.0	1 600	330	2 060
lcs	广东乐昌	113.33	25.12	98	19.6	1 522	300	1 500
np	广西那坡	105.82	23.38	794	18.0	1 422	332	1 754
nn	广西南宁	108.35	22.82	100	21.6	1 304	365	1 537
xa	广西兴安	110.67	25.60	226	17.8	1 842	293	1 281
ds	贵州独山	107.53	25.82	1 000	15.0	1 346	294	1 200
js	湖北建始	109.72	30.60	1 152	15.5	1 480	260	1 332
cd	湖南常德	111.68	29.02	234	9.2	1 899	272	1 510
fh	湖南凤凰	109.58	27.93	343	15.9	1 308	277	1 266
ak	陕西安康	109.02	32.68	370	16.0	1 050	253	1 610
ynjs	云南建水	102.82	23.63	1 323	18.7	800	307	2 302
ps	重庆彭水	108.15	29.28	422	17.5	1 104	312	1 035
pa	四川蓬安	106.41	31.03	346	17.6	1 032	291	1 271
wd	甘肃武都	104.92	33.40	1 002	14.5	500	240	1 911

1.2 光合指标测定

在 2014 年 7 月下旬,选择晴朗天气,于上午 09:00~12:00 用 Li-6400 便携式光合作用分析系统(美国 LI-COR)对 14 个 1 年生香椿种源苗测定叶片瞬时净光合速率(Pn)、气孔导度(Gs)、胞间 CO_2 浓度(Ci)、蒸腾速率(Tr)。供试各种源随机选取生长

中庸、无病虫害、生长势基本一致的香椿苗 3 株,每株选择中部发育正常的活体功能羽叶 1~2 片,选择靠顶部的 3 片小叶进行测定。苗木基本生长情况见表 2。测定过程中采用人工叶室,使用 Li-6400-2B 红蓝光源,光强设置为 $1 200 \mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$,温度 $35 \text{ }^\circ\text{C}$, CO_2 $400 \mu mol \cdot mol^{-1}$,测定每片小叶时读取 10

个数据,取平均值作为该叶片在该时间点的光合参数值,最后对平均值进行分析。

通过以下公式计算出苗木叶片瞬时水分利用效率(WUE):

$$WUE = Pn/Tr. \quad (1)$$

表2 香椿苗木生长情况¹⁾

Tab.2 Growth status of *Toona sinensis* seedlings

种源	地径/mm	苗高/cm	羽叶数/片
福建漳州(zz)	15.4 ± 0.7	78.6 ± 7.2	14.7 ± 1.5
广东乐昌(les)	13.8 ± 3.8	85.5 ± 18.1	18.7 ± 5.4
广西那坡(np)	15.7 ± 2.5	98.3 ± 11.7	18.0 ± 4.0
广西南宁(nn)	15.6 ± 3.4	76.5 ± 15.3	18.3 ± 5.0
广西兴安(xa)	18.3 ± 1.5	63.3 ± 2.0	14.7 ± 4.4
贵州独山(ds)	8.3 ± 1.4	54.3 ± 12.4	11.3 ± 1.9
湖北建始(js)	12.4 ± 3.9	56.8 ± 15.9	12.7 ± 3.5
湖南常德(cd)	14.4 ± 2.8	65.7 ± 5.7	23.7 ± 2.7
湖南凤凰(fh)	12.7 ± 2.5	63.7 ± 15.6	17.0 ± 3.8
陕西安康(ak)	4.6 ± 0.8	32.6 ± 2.5	7.0 ± 0.6
云南建水(ynjs)	9.5 ± 3.7	35.3 ± 16.3	11.0 ± 3.0
重庆彭水(ps)	14.9 ± 2.6	85.5 ± 18.5	23.3 ± 2.6
四川蓬安(pa)	20.6 ± 1.0	132.0 ± 21.2	26.7 ± 4.9
甘肃武都(wd)	6.0 ± 0.6	27.8 ± 5.7	6.0 ± 0.6

1)表中数据为平均值 ± 标准误。

1.3 数据统计分析

数据采用 Excel2007 整理, Spss19.0 进行方差分析、相关分析、主成分分析。方差分析采用固定模型。为了解各性状在种源间的差异和遗传稳定性,

通过下式计算变异系数(CV)和重复力(R):

$$CV = SD/MIN \times 100\%, \quad (2)$$

$$R = 1 - 1/F, \quad (3)$$

式中,SD 是性状标准差,MIN 是性状平均数,F 为方差分析中种源间与误差的方差比。

2 结果与分析

2.1 香椿种源瞬时光合生理指标变异统计

香椿种源的各个瞬时光合生理指标变异结果见表3,各个指标在种源间存在变异。5个指标的变异系数变动幅度为4.24%~27.52%。其中,Gs 变异系数最大,Gs 变异幅度为0.175~0.467 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,说明香椿光合生理指标在种源间的差异是明显的。而Ci的变异系数最小,为4.24%,变异幅度247.856~292.717 $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$,说明该性状在种源间的差异较小。

方差分析(表4)表明,香椿5个光合生理指标在种源间都存在极显著差异。F值大小顺序为Pn(25.497) > Gs(19.133) > Tr(13.380) > Ci(8.089) > WUE(4.656)。5个参数的重复力变动范围为78.52%~96.08%。其中,Pn重复力最高,为96.08%,其次是Gs、Tr,均高达90%以上,WUE重复力最低,但也达到78.52%。由此说明,光合参数主要由遗传因子控制,可作为香椿性状遗传多样性评价和地理变异研究的主要性状。

表3 香椿种源主要光合生理指标变异统计

Tab.3 Summary of variation in photosynthetic physiological indices of different *Toona sinensis* provenances

统计量	净光合速率 (Pn) / ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	气孔导度 (Gs) / ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	胞间 CO ₂ 浓度 (Ci) / ($\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$)	蒸腾速率 (Tr) / ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	水分利用效率 (WUE) / ($\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$)
最小值	9.006	0.175	247.856	3.551	2.445
最大值	19.513	0.467	292.717	7.266	3.416
平均值 ± 标准误	14.083 ± 0.738	0.283 ± 0.021	273.803 ± 3.105	5.205 ± 0.239	2.797 ± 0.065
变异系数/%	19.62	27.52	4.24	17.19	8.68

表4 不同种源香椿光合生理指标方差分析

Tab.4 Analysis of variance of photosynthetic physiological indices of different *Toona sinensis* provenances

指标	变异来源	平方和	<i>v</i>	均方	<i>F</i>	<i>P</i>	重复力/%
净光合速率(Pn)	种源间	2 679.283	13	206.099	25.497	<0.01	96.08
	误差	2 942.630	364	8.083			
气孔导度(Gs)	种源间	2.129	13	0.164	19.133	<0.01	94.77
	误差	3.116	364	0.009			
胞间 CO ₂ 浓度(Ci)	种源间	47 363.337	13	3 643.334	8.089	<0.01	87.64
	误差	163 947.951	364	450.406			
蒸腾速率(Tr)	种源间	280.901	13	21.608	13.380	<0.01	92.53
	误差	587.829	364	1.615			
水分利用效率(WUE)	种源间	20.705	13	1.593	4.656	<0.01	78.52
	误差	124.512	364	0.342			

2.2 香椿种源各光合生理、生长指标相关性分析

香椿种源光合生理、生长指标相关性分析结果(表5)表明:Pn与Gs、Tr和苗高呈极显著正相关,Pn与地径呈显著正相关;Gs与Ci、Tr和苗高呈极

显著正相关;Ci与Tr呈显著正相关;Tr与苗高呈极显著正相关,Tr与地径呈显著正相关;苗高与地径、羽叶数呈极显著正相关;地径与羽叶数呈极显著正相关。

表5 光合生理指标和生长指标的相关系数¹⁾

Tab.5 Correlation coefficient between photosynthetic physiological indices and growth indices

指标	Pn	Gs	Ci	Tr	WUE	苗高	地径
Gs	0.817**						
Ci	0.385	0.742**					
Tr	0.863**	0.960**	0.637*				
WUE	0.351	-0.133	-0.456	-0.138			
苗高	0.687**	0.665**	0.365	0.737**	0.018		
地径	0.591*	0.511	0.159	0.571*	0.176	0.909**	
羽叶数	0.451	0.380	0.089	0.468	0.080	0.908**	0.921**

1) *表示在0.05水平(双侧)上显著相关,**表示在0.01水平(双侧)上极显著相关。

2.3 不同种源香椿的叶片光合生理指标差异比较

由表6可以看出:广西兴安、广西那坡、四川蓬安香椿种源的Pn较大,分别达到了19.513、17.641、16.543 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,云南建水、湖南常德、甘肃武都种源的Pn较小,分别为9.006、10.415、11.837 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$;Gs最大的是广西那坡、广西兴安、四川蓬安种源,分别为0.467、0.372、0.356 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,最小的是云南建水、甘肃武都、湖南常德种源,分别为0.181、0.175、0.208 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$;

Ci值的差异相对较小,其中陕西安康、广西那坡种源的Ci最大,分别为292.717、291.837 $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$,甘肃武都种源的Ci最小,为247.856 $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$;Tr最大的是广西那坡、四川蓬安、广西兴安种源,分别为7.266、6.081、6.044 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,最小的是云南建水、甘肃武都种源,分别为3.551、4.128 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$;WUE最大的是广西兴安、广东乐昌种源,分别为3.416、3.038 $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$,最小的是广西那坡种源,为2.445 $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

表6 不同种源香椿的叶片光合生理指标差异比较¹⁾

Tab.6 Comparisons of photosynthetic physiological indices of different *Toona sinensis* provenances

种源	Pn/ ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	Gs/ ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	Ci/ ($\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$)	Tr/ ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	WUE/ ($\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$)
福建漳州(zz)	14.740 ± 3.349de	0.275 ± 0.101de	270.126 ± 15.280bc	5.188 ± 1.137cd	2.848 ± 0.245bc
广东乐昌(les)	15.316 ± 3.148cd	0.254 ± 0.057ef	269.707 ± 16.832bc	5.116 ± 0.762cd	3.038 ± 0.706b
广西那坡(np)	17.641 ± 1.526b	0.467 ± 0.058a	291.837 ± 12.034a	7.266 ± 0.577a	2.445 ± 0.304d
广西南宁(nn)	13.775 ± 1.242def	0.269 ± 0.040de	279.692 ± 11.541b	5.067 ± 0.641cd	2.752 ± 0.356bed
广西兴安(xa)	19.513 ± 1.048a	0.372 ± 0.080b	274.968 ± 13.108b	6.044 ± 1.397b	3.416 ± 0.875a
贵州独山(ds)	13.441 ± 2.276ef	0.252 ± 0.032ef	276.506 ± 11.277b	5.209 ± 0.480cd	2.577 ± 0.347cd
湖北建始(js)	14.994 ± 5.729cde	0.289 ± 0.139de	270.997 ± 33.137bc	5.133 ± 1.241cd	2.919 ± 0.895bc
湖南常德(cd)	10.415 ± 3.119hi	0.208 ± 0.124fg	258.507 ± 41.176cd	4.422 ± 2.283de	2.765 ± 0.986bed
湖南凤凰(fh)	13.632 ± 3.360def	0.300 ± 0.119de	279.795 ± 22.961b	5.533 ± 1.540bc	2.556 ± 0.561cd
陕西安康(ak)	12.275 ± 1.896fg	0.311 ± 0.108cd	292.717 ± 21.532a	5.039 ± 1.264cd	2.554 ± 0.549cd
云南建水(ynjs)	9.006 ± 3.317i	0.181 ± 0.124g	271.192 ± 25.146bc	3.551 ± 1.938f	2.788 ± 0.538bed
重庆彭水(ps)	14.032 ± 1.994de	0.253 ± 0.071ef	270.298 ± 16.924bc	5.099 ± 1.207cd	2.834 ± 0.424bc
四川蓬安(pa)	16.543 ± 2.825bc	0.356 ± 0.113bc	279.049 ± 13.145b	6.081 ± 1.270b	2.754 ± 0.233bed
甘肃武都(wd)	11.837 ± 1.221gh	0.175 ± 0.022g	247.856 ± 18.330d	4.128 ± 0.515ef	2.907 ± 0.461bc

1)表中数据为平均值±标准误,n=3;同列数据后,凡是具有一个相同小写字母者,表示差异不显著(P>0.05,Duncan's法)。

2.4 不同种源香椿的光合生理指标主成分分析

对14个香椿种源的光合生理指标进行主成分分析,对各种源数据采用无量纲方法中的均值化^[15],选择最大方差法得到旋转后的主成分特征向量与特

分析,对各种源数据采用无量纲方法中的均值化^[15],选择最大方差法得到旋转后的主成分特征向量与特

征根(表7)。由表7可知:主成分1(PRIN1)、主成分2(PRIN2)贡献率分别为63.397%、29.686%,二者累计贡献率为93.083%;Pn、Gs、Tr、Ci是PRIN1

的主要因子,都有很大的正载荷;Ci、Tr、Gs、WUE是PRIN2的主要因子,其中WUE、Pn为正载荷,其他3个参数为负载荷。

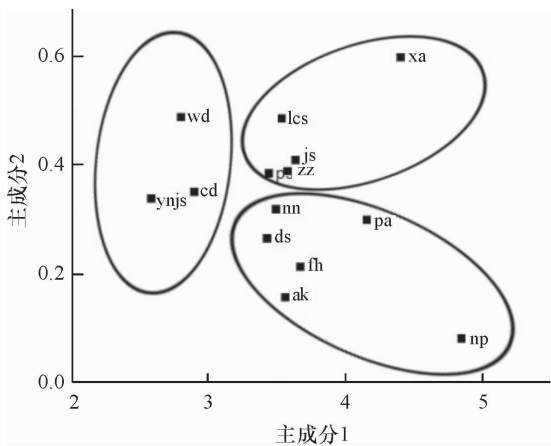
表7 香椿种源光合生理指标主成分分析的特征向量和特征根

Tab.7 Characteristic vectors and characteristic roots from the principle component analysis of the photosynthetic physiological indices of *Toona sinensis* provenances

主成分	特征根	特征向量					贡献率/%	累计贡献率/%
		Pn	Gs	Ci	Tr	WUE		
PRIN1	3.247	0.931	0.966	0.661	0.964	0.055	63.397	63.397
PRIN2	1.407	0.335	-0.194	-0.621	-0.142	0.964	29.686	93.083

对香椿各个种源的光合生理指标进行主成分转换,其结果见图1。可把14个种源分为3类:第1类为甘肃武都(wd)、湖南常德(cd)和云南建水(ynjs),它们的主要特点是主成分2较大,光合参数中Tr值最小;第2类为广东乐昌(lcs)、湖北建始(js)、福建漳州(zz)、重庆彭水(ps)和广西兴安(xa),它们的主要特点是主成分1、主成分2较相当,Pn、Tr、WUE值较大,即光合速率和水分利用效率都较高;第3类为剩余的6个种源,它们的主要特点是主成分2较小、主成分1较大,即光合较强,水分利用效率较低。

Ci的变异系数最小,为4.24%,变异幅度247.856~292.717 $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$,说明该性状在种源间的差异较小。相关性分析结果表明,Pn与Gs、Tr、苗高极显著正相关,Pn与地径显著正相关,Gs与Ci、Tr、苗高极显著正相关,Ci与Tr显著正相关,Tr与苗高极显著正相关,与地径显著正相关,苗高与地径、羽叶数极显著正相关,地径与羽叶数极显著正相关。相关性分析结果与杨玉珍等^[16]的研究结果相符,发现香椿的Pn值越大,其WUE越小,表现为光合越强的种源水分利用效率越低。总的趋势是偏南方的香椿种源Gs明显较偏北方的种源大,这可能与南方水资源更丰富有关。广西那坡香椿种源的Tr值明显大于其他4个种源,其次分别为重庆彭水、福建漳州、湖南凤凰、贵州独山。广西那坡、福建漳州种源的WUE值较低,贵州独山、湖南凤凰种源的WUE值较高,重庆彭水种源的WUE值居中,说明偏南方的香椿种源水分利用效率较低,偏北方的种源水分利用效率较高。这一结果与其他树种不完全相同,比如黄连木 *Pistacia chinensis*、猴樟 *Cinnamomum bodinieri*、钩栗 *Castanopsis tibetana* 等^[17-19]。



wd:甘肃武都种源;ynjs:云南建水种源;cd:湖南常德种源;xa:广西兴安种源;lcs:广东乐昌种源;js:湖北建始种源;ps:重庆彭水种源;zz:福建漳州种源;nn:广西南宁种源;ds:贵州独山种源;fh:湖南凤凰种源;ak:陕西安康种源;pa:四川蓬安种源;np:广西那坡种源。

图1 14个香椿种源的二维主坐标分析图

Fig.1 Two-dimensional principal coordinate analysis diagram of 14 *Toona sinensis* provenances

3 讨论与结论

香椿各个光合指标在种源间存在极显著差异,与杨玉珍等^[16]的研究相符。5个光合指标的变异系数变动幅度为4.42%~27.52%。其中,Gs变异系数最大,变异幅度0.175~0.467 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,说明香椿光合生理指标在种源间的差异是明显的。而

广西兴安、广西那坡、四川蓬安香椿种源的Pn值较大,分别达到了19.513、17.641、16.543 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,云南建水、湖南常德、甘肃武都种源的Pn较小,分别为9.006、10.415、11.837 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。WUE最大的是广西兴安、广东乐昌种源,为3.416、3.038 $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$,最小的是广西那坡种源,为2.445 $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。可把14个香椿种源分为3类:第1类为甘肃武都(wd)、湖南常德(cd)、云南建水(ynjs)种源,它们的主要特点是主成分2较大,光合参数中Tr值最小;第2类为广东乐昌(lcs)、湖北建始(js)、福建漳州(zz)、重庆彭水(ps)、广西兴安(xa)种源,它们的主要特点是主成分1、主成分2较相当,Pn、Tr、WUE较大,即光合速率和水分利用效率都较高;第3类为剩余的6个种源,它们的主要特点是主成分2较小、主成分1较大,即光合作

用较强,水分利用效率较低。这一分类与武冲等^[20]对麻楝 *Chukrasia tabularis* 种源的分类相似,在实际生产中选择种源应做到因地制宜,南方种植可不考虑水分利用效率,宜选择南方种源,北方种植则需综合指标更好的、适应性更全面的种源。

参考文献:

- [1] 孙鸿有,王鹏飞,方炳法,等. 香椿地理变异与种源选择[J]. 浙江林学院学报, 1992, 9(3): 4-12.
- [2] CHIA Y C, RAJBANSHI R, CALHOUN C, et al. Anti-neoplastic effects of gallic acid, a major component of *Toona sinensis* leaf extract, on oral squamous carcinoma cells [J]. *Molecules*, 2010, 15(11): 8377-8389.
- [3] ZHEN H, ZHANG Y, FANG Z, et al. *Toona sinensis* and *Moschus* decoction induced cell cycle arrest in human cervical carcinoma HeLa cells [J/OL]. *Evid Based Complement Alternat Med*, 2014, 2014: 1-8 [2015-12-09]. <http://dx.doi.org/10.1155/2014/121276>.
- [4] WANG C C, TSAI Y J, HSIEH Y C, et al. The aqueous extract from *Toona sinensis* leaves inhibits microglia-mediated neuroinflammation [J]. *Kaohsiung J Med Sci*, 2014, 30(2): 73-81.
- [5] 张友元,夏玉芳,许建初,等. 香椿木材解剖构造及其物理力学性质 [J]. 植物分类与资源学报, 2013, 35(5): 641-646.
- [6] 骆嘉言,林金国,李大岔,等. 香椿人工林和天然林木材材性的比较研究 [J]. 西北林学院学报, 2003, 18(2): 77-79.
- [7] 范振富,高瑞龙,王杰铃. 香椿人工林和天然林木材纤维形态和化学成分比较研究 [J]. 亚热带植物科学, 2003, 32(3): 35-37.
- [8] 范振富. 香椿速生丰产用材林栽培试验 [J]. 林业科技开发, 2004, 18(5): 61-63.
- [9] 陈美珍. 香椿山地丰产林栽培技术研究 [J]. 防护林科技, 2011, 103(4): 54-56.
- [10] 周小玲,袁穗波,李二平,等. 香椿丰产栽培技术研究 [J]. 中南林学院学报, 1997, 17(4): 64-69.
- [11] 张玉洁. 香椿幼树光合作用及其影响因子研究 [J]. 林业科学研究, 2002, 15(4): 432-436.
- [12] 杨玉珍,张云霞,彭方仁. 干旱胁迫对不同种源香椿苗木光合特性的影响 [J]. 北京林业大学学报, 2011, 33(1): 44-48.
- [13] 郝明灼,李群,彭方仁,等. 不同种源香椿芽菜品质分析及光合特性比较 [J]. 林业科技开发, 2012, 26(4): 48-52.
- [14] 孟丽,李德生,茹丽叶,等. Cd²⁺、Hg²⁺ 污染对香椿叶绿素含量和光合特性的影响 [J]. 水土保持学报, 2013, 27(5): 240-243.
- [15] 孟生旺. 用主成份分析法进行多指标综合评价应注意的问题 [J]. 统计研究, 1992, 48(4): 67-68.
- [16] 杨玉珍,贾遂民,彭方仁. 不同种源香椿苗木光合特性比较 [J]. 林业科技开发, 2008, 22(4): 62-64.
- [17] 董倩,唐秀光,王洁,等. 不同种源黄连木光合参数比较及聚类分析 [J]. 河北农业大学学报, 2012, 35(3): 58-62.
- [18] 王雯,韦小丽,张怡. 不同地理种源猴樟苗期的光合特性与蒸腾特性 [J]. 贵州农业科学, 2011, 39(6): 39-42.
- [19] 王佩兰,许德禄,张斌,等. 钩栗种源间幼苗生长状况和光合特性比较研究 [J]. 北方园艺, 2014, 38(5): 20-25.
- [20] 武冲,仲崇禄,张勇,等. 麻楝生长和光合作用参数种源变异分析 [J]. 热带作物学报, 2014, 35(3): 509-514.

【责任编辑 李晓卉】