

陈 军, 蔡金峰. 高光合速率与高叶绿素含量薄壳山核桃种质筛选[J]. 江苏农业科学, 2021, 49(19): 164–167.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2021.19.029

高光合速率与高叶绿素含量薄壳山核桃种质筛选

陈 军^{1,2}, 蔡金峰¹

(1. 南京林业大学, 江苏南京 210037; 2. 江苏壳壳碧根果业发展有限公司, 江苏宿迁 223800)

摘要:以 25 个薄壳山核桃品种或优良无性系为研究对象, 测定了 5 月中旬、7 月中旬、9 月中旬叶片的叶绿素含量、光响应曲线, 结果表明, 薄壳山核桃叶片的叶绿素含量、最大净光合速率(P_{\max}) 在 25 个种质材料间和 3 个时期间均存在显著性差异, 且存在一定的变异性, 叶绿素含量高于均值的种质有 18 个, 单叶 P_{\max} 高于均值的种质有 12 个; 叶绿素含量与 P_{\max} 呈极显著正相关($r=0.83^{**}$)。聚类分析将 25 份材料聚为 3 大类, 筛选出 A1、A2、A3 属于高光合性能种质, 表现为生育前期和中期的最大净光合速率、叶绿素含量较高, 生育后期下降缓慢, 可以作为高光效育种种质。

关键词:薄壳山核桃; 光合速率; 叶绿素含量; 种质资源

中图分类号: S664.102 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2021)19-0164-04

据不完全统计, 截至目前, 国内江苏、安徽、浙江、云南等地相继从美国引进近百个薄壳山核桃 [*Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch] 品种, 引进品种的生长、生产、抗逆性能及适生区存在较大差异, 所以需要引进品种进行生长的适应性测定与评价, 方可推广应用。研究、比较植物不同种质的光合能力差异, 筛选出高光效种质, 为高产育种和栽培提供技术指导, 对引种及提高种质抗胁迫栽培也具有重要意义。徐德聪等基于光合和叶绿素荧光数据研究比较了湖南地区不同品种薄壳山核桃, 选育出“金华 1 号”和“M9-8”2 个优良品种^[1-2]; 汤文华等的研究表明 6 个薄壳山核桃品种的光合性能存在一定差异, “Western”的光合性能最优, 表现为光合效率高、光适应范围广, 推广应用潜力较大^[3]; 李建等的研究表明, 6 个供试薄壳山核桃品种在自然条件下的光合生理特性存在差异, 其中“ML7”的光能利用效率最高, 各荧光参数较高, 光合性能最好^[4]; 凌骅等通过叶片的叶绿素荧光和光合生理参数比较研究了 5 个薄壳山核桃品种间的差异^[5]。前人的研究缺少对大量种质进行光合特性的差异性研究和评价, 所以急需对更大范围的薄壳山核桃种质的光合特性进行比较研究来满足国内日益增长的种植需求。本研究分别测定了 25 个薄

壳山核桃种质材料在 5 月中旬、7 月中旬、9 月中旬的叶绿素含量、光响应曲线, 研究叶绿素含量和最大净光合速率在种质间的差异性及指标间的相关性, 基于聚类分析最终筛选出高光合效率和高叶绿素含量的材料, 为高光效育种打下基础。

1 材料与方法

1.1 材料

供试的 25 个薄壳山核桃品种或优良无性系如表 1 所示, 均是从全国不同种质资源库中获取的经专家鉴定的种条, 于 2018 年 3 月嫁接在南京林业大学白马基地, 进行正常的水肥管理。

1.2 叶绿素含量测定

采用乙醇浸提法测定。2020 年 5 月中旬、7 月中旬、9 月中旬选取每个薄壳山核桃种质长势一致嫁接苗的中上部功能叶, 洗净擦干, 去中脉后剪碎混匀, 取 0.1 g, 加入 15 mL 无水乙醇浸提 24 h, 然后在 645、663 nm 下测定吸光度, 得到 $D_{645\text{ nm}}$ 和 $D_{663\text{ nm}}$, 总叶绿素含量计算公式为: 总叶绿素含量 = $(20.21 \times D_{645\text{ nm}} + 8.02 \times D_{663\text{ nm}}) V/m$ 。其中, V 为提取液体积, 为 15 mL; m 为材料鲜质量, 为 0.1 g。

1.3 最大净光合速率(P_{\max})

分别于 5 月中旬、7 月中旬、9 月中旬 09:30—11:30, 采用 CIRAS-3 便携式光合荧光测定系统的 LED 红蓝光源叶室进行测定, 设置光照度梯度: 2 000、1 600、1 200、1 000、800、600、400、300、200、150、100、50、25、0 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, 温度为自然环境温度, 空气流量设为 500 $\mu\text{mol}/\text{s}$, CO_2 浓度设为

收稿日期: 2021-01-29

基金项目: 江苏省林业科技创新与推广项目(编号: LYKJ[2018]05-2)。

作者简介: 陈 军(1982—), 男, 江苏泰州人, 博士研究生, 主要从事薄壳山核桃等经济林培育研究。E-mail: 763502609@qq.com。

400 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。每个薄壳山核桃种质挑选长势一致的苗木完全展开叶,重复 3 次。仪器自动记录每个光照度的净光合速率(P_n),并依据叶子飘机理模型进行拟合,得出相应的 $P_{n\text{max}}$ 。

1.4 统计分析

利用 Excel 2010 和 DPS 7.04 软件对田间测试数据进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同生育期 25 个材料的叶绿素含量差异分析

如表 1 所示,25 个材料在 5 月、7 月和 9 月的叶绿素含量总体呈“升高—降低”的变化趋势。25 个材料叶绿素含量均值在 3 个月间存在显著性差异

($P<0.05$),其中 7 月的叶绿素含量均值显著高于 5 月的和 9 月的($P<0.05$),5 月的叶绿素含量又显著高于 9 月的($P<0.05$)。3 个月的叶绿素含量均值在 25 个材料之间也存在明显不同,且变异系数在 6.88%~9.37%,其中 5 月的叶绿素含量最高的种质 A1 比最低种质 A25 高出 41.75%,7 月的叶绿素含量最高的种质 A2 比最低种质 A24 高出 35.66%,9 月的叶绿素含量最高的种质 A1 比最低种质 A24 高出 44.92%,表现出一定的变异性。3 个月的 25 个材料叶绿素含量均值为 3.233 mg/g,其中高于均值的材料有 18 个,其含量由高到低编号分别为 A1、A2、A4、A3、A10、A6、A7、A5、A9、A8、A11、A12、A16、A14、A13、A15、A17、A18。

表 1 不同生育期 25 个材料的叶绿素含量差异比较

资源名称	编号	叶绿素含量(mg/g)			
		5 月	7 月	9 月	均值
威斯顿(Western)	A1	3.550	3.578	3.425	3.518aA
艾略特(Elliott)	A2	3.460	3.623	3.419	3.501aAB
Forket	A3	3.407	3.538	3.408	3.451abcABC
马罕(Mahan)	A4	3.550	3.456	3.397	3.468abABC
凯普费尔(Cape Fear)	A5	3.324	3.397	3.313	3.345cdBCD
Apache	A6	3.389	3.376	3.300	3.355bedBCD
穆尔(Moore)	A7	3.373	3.384	3.295	3.351cdBCD
波尼(Pawnee)	A8	3.359	3.373	3.298	3.343cdBCD
Sioux	A9	3.359	3.384	3.290	3.344cdBCD
满意(Disirable)	A10	3.390	3.395	3.300	3.362bcdBCD
西雪莱(Western Schley)	A11	3.373	3.367	3.269	3.336cdCD
堪萨(Kanza)	A12	3.348	3.365	3.269	3.327deCD
Summer	A13	3.291	3.296	3.266	3.284deDE
钟山 25 号	A14	3.330	3.365	3.253	3.316deCD
金华	A15	3.256	3.326	3.266	3.283deDE
绍兴	A16	3.330	3.310	3.310	3.317deCD
贝克	A17	3.250	3.280	3.248	3.259deDEF
卡多(Caddo)	A18	3.242	3.272	3.225	3.246defDEF
绿宙 1 号	A19	3.240	3.177	2.997	3.138fgEF
肖肖尼	A20	3.220	3.261	3.142	3.208efgDEF
黄山 1 号	A21	3.040	3.193	3.114	3.116gF
莫汉克	A22	3.193	3.258	2.880	3.110gF
茅山 1 号	A23	2.789	2.959	2.554	2.767hG
斯图尔特(Stuart)	A24	2.573	2.671	2.363	2.536iH
Excell	A25	2.504	2.692	2.429	2.542iH
均值		3.246bA	3.292aA	3.161cB	
最大值		3.550	3.623	3.425	
最小值		2.504	2.671	2.363	
变异系数		8.07%	6.88%	9.37%	

注:数字后的不同小、大写字母分别表示差异达显著($P<0.05$)、极显著水平($P<0.01$)。表 2 同。

2.2 不同生育期 25 个材料的最大净光合速率($P_{n\text{max}}$)差异分析

由表 2 可知,25 个材料在 5 月、7 月和 9 月的

$P_{n\text{max}}$ 总体呈“升高—降低”的变化趋势。25 个材料 $P_{n\text{max}}$ 均值在 3 个月间存在极显著差异($P<0.01$),其中 7 月的 $P_{n\text{max}}$ 均值极显著高于 5 月的和 9 月的

($P<0.01$),5 月的 P_{nmax} 又极显著高于 9 月的($P<0.01$)。3 个月的 P_{nmax} 均值在 25 个材料间也存在明显不同,且变异系数在 8.74%~10.26%,其中 5 月的 P_{nmax} 最高的种质 A2 比最低种质 A24 高出 49.08%,7 月的 P_{nmax} 最高的种质 A1 比最低种质 A23

高出 39.82%,9 月的 P_{nmax} 最高的种质 A2 比最低种质 A24 高出 40.76%,表现出一定的变异性。3 个月的 25 个材料 P_{nmax} 均值为 10.522 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$,其中高于均值的材料有 11 个,其 P_{nmax} 由高到低编号分别为 A2、A1、A3、A5、A4、A6、A7、A8、A9、A10、A11。

表 2 不同生育期 25 个材料的最大净光合速率差异比较

资源名称	编号	最大净光合速率[$\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$]			
		5 月	7 月	9 月	均值
威斯顿(Western)	A1	12.415	15.882	8.615	12.304abAB
艾略特(Eliott)	A2	13.463	15.596	8.716	12.592aA
Forket	A3	11.890	15.466	8.346	11.901abcABC
马罕(Mahan)	A4	11.509	14.920	7.942	11.457bcdABCD
凯普费尔(Cape Fear)	A5	11.223	15.076	8.178	11.492bcdABCD
Apache	A6	11.033	14.504	8.245	11.261cdeABCDE
穆尔(Moore)	A7	10.913	14.270	7.942	11.042cdefBCDEF
波尼(Pawnee)	A8	10.937	13.958	8.110	11.002cdefBCDEF
Sioux	A9	11.009	14.322	7.605	10.979cdefBCDEF
满意(Disirable)	A10	11.080	14.868	6.798	10.915cdefgCDEF
西雪莱(Western Schley)	A11	10.747	13.906	8.009	10.887cdefgCDEF
堪萨(Kanza)	A12	10.723	13.048	7.538	10.436defghDEFG
Summer	A13	10.508	12.607	7.875	10.330efghDEFGH
钟山 25 号	A14	10.532	12.867	7.269	10.223efghDEFGH
金华	A15	10.604	12.633	7.505	10.247efghDEFGH
绍兴	A17	10.461	12.919	7.067	10.149fghDEFGH
贝克	A16	10.628	12.425	7.639	10.231efghDEFGH
卡多(Caddo)	A18	10.437	12.399	6.798	9.878ghiEFGH
绿亩 1 号	A19	9.794	11.905	7.639	9.779hiFGH
肖肖尼	A20	10.437	11.957	6.630	9.675hiFGH
黄山 1 号	A21	9.794	11.827	7.370	9.664hiFGH
莫汉克	A22	9.960	11.931	6.932	9.608hiFGH
茅山 1 号	A23	9.293	11.359	6.596	9.083iGH
斯图尔特(Stuart)	A24	9.031	11.671	6.192	8.965iH
Excell	A25	9.102	11.385	6.360	8.949iH
均值		10.701bB	13.348aA	7.517cC	
最大值		13.463	15.882	8.716	
最小值		9.031	11.359	6.192	
变异系数		8.74%	10.26%	9.01%	

2.3 相关性分析

由表 3 可知,同一生育期(5 月、7 月、9 月)叶绿素含量与最大净光合速率(P_{nmax})均呈极显著正相关($P<0.01$)。不同时期相关性有所不同,5 月的相关系数与 7 月的基本相等,均高于 9 月的,结合表 1 和表 2,进入 9 月份叶绿素含量和 P_{nmax} 均有不同程度的降低,但两者的降低程度不完全同步,造成两者的相关性降低。

2.4 聚类分析

基于叶绿素含量和 P_{nmax} 对 25 个材料进行聚类分析,可以聚为 3 大类(图 1):第 1 大类包含 A1、

表 3 同一生育期叶绿素含量与最大净光合速率相关性分析

叶绿素含量	与最大净光合速率相关系数			
	5 月	7 月	9 月	3 个月均值
5 月	0.80**			
7 月		0.79**		
9 月			0.75**	
3 个月均值				0.83**

注:* 表示叶绿素含量与最大净光合速率相关性达显著水平($P<0.05$),** 表示相关性达极显著水平($P<0.01$)。

A2、A3 这 3 个材料,表现为叶绿素含量高、 P_{nmax} 高。第 2 大类又分 2 个亚类,其中第 1 亚类(2-1)包含

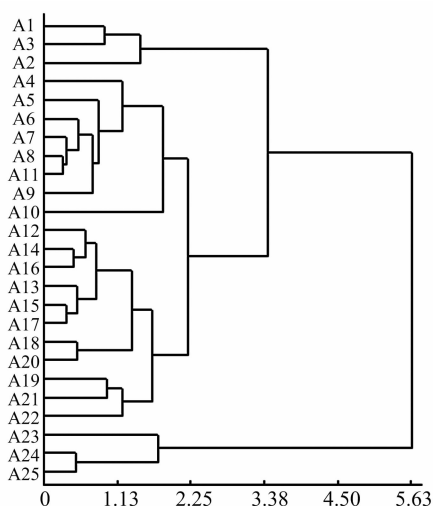


图 1 基于叶绿素含量和最大净光合速率的 25 个材料的聚类分析

表 4 各类群的叶绿素含量和最大净光合速率均值

类群	材料编号	叶绿素含量 (mg/g)			P_{nmax} [$\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]		
		5 月	7 月	9 月	5 月	7 月	9 月
1	A1、A2、A3	3.472	3.580	3.417	12.589	15.648	8.559
2-1	A4、A5、A6、A7、A8、A9、A10、A11	3.390	3.391	3.308	11.056	14.478	7.854
2-2	A12、A14、A16、A13、A15、A17、A18、A20、A19、A21、A22	3.249	3.282	3.179	10.352	12.410	7.297
3	A23、A24、A25	2.622	2.774	2.449	9.142	11.472	6.383

结论,即相同生育期内不同薄壳山核桃种质的叶绿素含量和最大净光合速率均存在较大差异,且 2 个指标存在显著的正相关性。其原因在于薄壳山核桃叶片的叶绿素含量高低会直接影响到其光合作用中光的吸收、传递与利用,最终影响到整株光合速率^[7]。

通过对木本植物光合作用的研究,可为选育和鉴定优良品种、丰产优质栽培提供理论依据^[8]。在比较了解材料间的光合能力差异的基础上,采用聚类将 25 个材料分成 3 大类:第 1 大类包含 A1、A2、A3 这 3 个材料,表现为最大净光合速率、叶绿素含量在 5 月、7 月和 9 月均较高,可作为高光效育种的亲本材料,为高光效育种提供种质资源;而第 3 大类包含 A23、A24、A25 这 3 个材料,表现为叶绿素含量、 P_{nmax} 均低,可以作为低光效的亲本构建遗传群体,研究定位叶绿素合成、光合生理的数量性状位点。 P_{nmax} 反映了植物利用光能的最大潜力, P_{nmax} 较高的植物可以较多地利用叶片吸收的光能,减少强光或饱和光对光合机构的光破坏^[9]。第 1 大类中 A1、A2、A3 具有较高的 P_{nmax} ,说明这 3 个材料具有较高的光能利用能力,能较好地适应中午和夏季的强光环境,减少高光环境对光合机构的光破坏,这

A4、A5、A6、A7、A8、A9、A10、A11 这 8 个材料, P_{nmax} 和叶绿素含量仅次于第 1 大类;第 2 亚类(2-2)包含 A12、A14、A16、A13、A15、A17、A18、A20、A19、A21、A22 这 11 个材料, P_{nmax} 和叶绿素含量仅高于第 3 大类。第 3 大类包含 A23、A24、A25 这 3 个材料,表现为叶绿素含量、 P_{nmax} 均低。

3 结论与讨论

基因型是造成不同种质间生理生态学特性差异的重要因素,不同种质间的植物光合能力存在明显差异。叶绿素含量的高低直接影响叶片光合作用的强弱^[10]。魏书奎等的研究表明,同一时期、同一种核桃的叶绿素含量高低与光合性能的强弱相匹配,二者呈正相关关系^[6]。本研究也得到了是一致的

在一年中的速生期是难能可贵的。

参考文献:

- [1] 徐德聪,吕芳德,刘小阳,等. 不同光环境和发育阶段美国山核桃叶的荧光性状研究[J]. 激光生物学报,2009,18(3):285-294.
- [2] 徐德聪,吕芳德,栗彬,等. 不同品种美国山核桃叶绿素荧光特性的比较[J]. 果树学报,2008,25(5):671-676.
- [3] 汤文华,窦全琴,潘平平,等. 不同薄壳山核桃品种光合特性研究[J]. 南京林业大学学报(自然科学版),2020,44(3):81-88.
- [4] 李健,凌骅,杨先裕,等. 美国引进的 6 个薄壳山核桃品种光合生理特性比较[J]. 安徽农业大学学报,2018,45(2):258-262.
- [5] 凌骅,黄坚钦,温国胜,等. 5 种美国山核桃苗叶片光合生理特性比较[J]. 林业科学,2014,50(8):174-178.
- [6] 魏书奎,于继洲,宣有林,李登科. 核桃叶片的叶绿素含量与光合速率关系的研究[J]. 北京农业科学,1994,12(5):31-33.
- [7] 王强,张其德,卢从明,等. 超高产杂交稻不同生育期的光合色素含量、净光合速率和水分利用效率[J]. 植物生态学报,2002,26(6):647-651.
- [8] 许大全. 光合作用效率[M]. 上海:上海科学技术出版社,2002:163-170.
- [9] 王博轶,冯玉龙. 生长环境光强对 2 种热带雨林树种幼苗光合作用的影响[J]. 生态学报,2005,25(1):23-30.
- [10] 苗梦珂,王宝山,李长春,等. 基于连续小波变换的冬小麦叶片最大净光合速率遥感估算[J]. 江苏农业学报,2020,36(3):544-552.