

doi:10.11937/bfyy.20234174

杨先裕,潘永柱,范芳娟,吴连海,华金渭,蒋燕锋.不同品种薄壳山核桃苗光合荧光特性比较分析[J].北方园艺,2024(10):32-38.

不同品种薄壳山核桃苗光合荧光特性比较分析

杨先裕¹,潘永柱²,范芳娟³,吴连海¹,华金渭¹,蒋燕锋¹

(1.丽水市农林科学研究院,浙江 丽水 323000;2.丽水市林业技术推广总站,浙江 丽水 323000;

3.丽水职业技术学院,浙江 丽水 323000)

摘要:以浙西南地区7个薄壳山核桃品种‘Schley’‘Barton’‘Excell’‘Eliott’‘Disirable’‘Mohawk’‘Caddo’为试材,采用乙醇浸提-分光光度法、LI-6400XT OPEN6.2便携式光合测定系统、PAM-2100便携式调制叶绿素荧光仪,测定了不同品种薄壳山核桃苗生长指标、色素含量、光合生理和叶绿素荧光特性,以期为薄壳山核桃良种选育和应用推广提供参考依据。结果表明:7个薄壳山核桃品种间生长指标和叶片色素含量差异显著,其中‘Excell’‘Eliott’的苗高、地径、新梢长度均显著大于其他品种,‘Excell’的Chl a、Chl b、Chl和Car含量显著高于其他品种,‘Caddo’的各色素含量均最低。在光合生理和叶绿素荧光特性上,‘Excell’‘Eliott’的 A_{max} 和 Φ_{PSII} 显著高于其他品种。基于主成分分析法建立不同品种薄壳山核桃苗光合荧光特性综合评价模型,对这7个品种薄壳山核桃苗光合荧光特性进行综合评价,其综合评价得分为‘Excell’>‘Eliott’>‘Barton’>‘Disirable’>‘Caddo’>‘Schley’>‘Mohawk’,即‘Excell’的光合能力最强,生长适应性也相对更好。

关键词:薄壳山核桃;生长指标;色素含量;光合生理;叶绿素荧光

中图分类号:S 664.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2024)10-0032-07

薄壳山核桃(*Carya illinoensis* (Wangench.) K. Koch)属胡桃科(Julandaceae)山核桃属(*Carya*)植物,又名长山核桃、美国山核桃、碧根果^[1],原产于美国密西西比河流域和墨西哥北部^[2],是集果用、油用、材用、绿化和观赏于一体,具有多用途的珍贵经济树种。薄壳山核桃果实呈长卵形或椭圆形,果大壳薄、易取仁、可鲜食,果仁

营养丰富,含油率一般在70%以上,不饱和脂肪酸含量达97%,优于茶油(91%)、核桃油(89%)等^[3-6],是高档的营养保健品。作为世界著名干果,美国山核桃目前全球产量约40万t,其中美国约30万t,而我国年产量约为0.5万t,近年来每年从国外进口约4万t。我国亚热带地区水热资源丰富,是薄壳山核桃的适宜生长地区,19世纪末已经开始引种薄壳山核桃^[7],目前引种范围较广,北至北京,南到海南均有引种,以江苏、浙江、云南、安徽等地居多^[8]。

但是目前薄壳山核桃品种繁多且良莠不齐,往往存在栽培品种混杂、品种授粉特性不明、结果迟和产量低等问题,这些因素在一定程度上制约了薄壳山核桃产业的本土化发展^[9]。解决薄壳山核桃在我国发展慢、结实晚和产量低等问题,关键要从栽培和品种上着手。目前,薄壳山核桃研究

第一作者简介:杨先裕(1988-),男,硕士,助理研究员,现主要从事经济林培育与利用等研究工作。E-mail:hkxianyu6698@163.com.

责任作者:潘永柱(1970-),男,本科,高级工程师,现主要从事森林培育和林业技术推广等工作。E-mail:775998403@qq.com.

基金项目:丽水市高层次人才培养资助项目(2020RC04);浙江省林业发展资助项目([2019]B06)。

收稿日期:2023-12-08

主要集中在品种性状、开花结实生物学特性、良种选育、抗性表现等方面^[10-14],针对不同薄壳山核桃品种的生长适应能力、光合荧光特性等研究较少。该试验以浙西南地区 7 个薄壳山核桃品种‘Schley’‘Barton’‘Excell’‘Eliott’‘Disirable’‘Mohawk’和‘Caddo’为研究对象,测定薄壳山核桃苗生长指标、色素含量、光合生理和叶绿素荧光特性,通过主成分分析法,建立不同品种薄壳山核桃苗综合评价模型,比较不同品种薄壳山核桃在浙西南地区的适应性差异,以期为薄壳山核桃良种选育和科学种植提供参考依据。

1 材料与方 法

1.1 试验地概况

试验地位于浙江省丽水市莲都区薄壳山核桃苗圃试验基地,地处丽水市区盆地边缘,北纬 28°28′4″,东经 119°53′47″,海拔 60 m,属中亚热带季风气候类型,温暖湿润,雨量充沛,四季分明,具有明显的山地立体气候特征。年降水量 1 599 mm,年均温 17.9 °C,无霜期 255 d,年日照时数 1 783.2 h,≥10 °C 年积温 5 727 °C。

1.2 试验材料

供试材料为三年生薄壳山核桃嫁接苗(砧木 2 年,嫁接 1 年),种植时间、种植环境、管理措施等其他条件一致,共 7 个品种:‘Schley’‘Barton’‘Excell’‘Eliott’‘Disirable’‘Mohawk’‘Caddo’,每个品种随机选取 3 株健康无病虫害植株作为标准测试株。

1.3 项目测定

1.3.1 苗生长量的测定

用钢卷尺测量标准株的苗高、新梢长、叶片(取复叶中部叶片)长度和宽度,精确到 1 cm。用游标卡尺测量地径,精确到 1 mm。

1.3.2 叶绿素含量的测定

用乙醇浸提-分光光度法测定叶绿素含量^[15]用 721 分光光度计测定在 470、649、665 nm 波长下的吸光度值,采用 Arnon 法^[16]公式计算叶绿素 a 含量(Chl a)、叶绿素 b 含量(Chl b)、叶绿素总含量(Chl)和类胡萝卜素含量(Car)。

1.3.3 光合特性的测定

使用 LI-6400XT OPEN 6.2 便携式光合测

定系统及 6400-02B LED 红蓝光源测定薄壳山核桃叶片光合参数。取标准株树冠外围中部的当年生枝条中间叶片进行测定,重复 3 次。选择 1 500、1 200、1 000、800、600、400、200、150、100、50、20、0 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 共 12 个光照强度(PARi)梯度测定光响应曲线。当仪器显示各项指标的变异系数小于 1%,即状态稳定时记录净光合速率 $P_n(\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$ 、胞间 CO_2 浓度 $C_i(\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1})$ 、气孔导度 $G_s(\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$ 、蒸腾速率 $T_r(\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$ 、叶片温度 $T_f(^\circ\text{C})$ 。采用 Fischer and Turner 的方法计算水分利用效率 $WUE(WUE = P_n/T_r)$,利用 Photosyn Assistant 软件拟合得到最大净光合速率(A_{max})、表观量子效率(A_{QE})、光补偿点(L_{CP})、光饱和点(L_{SP})、暗呼吸速率(R_d)等光合参数。

1.3.4 叶绿素荧光特性的测定

使用 PAM-2100 便携式调制叶绿素荧光仪测定叶绿素荧光,取标准株树冠外围中部的当年生枝条中间叶片进行测定,重复 3 次。叶片经过 20 min 暗适应后测定暗适应下叶片初始荧光(F_o)和最大荧光(F_m),在光适应状态下测得实际荧光产量(F_o')和最大荧光产量(F_m'),根据所测定的参数计算 PS II 潜在活性 $F_v/F_o = (F_m - F_o)/F_o$,PS II 最大光化学量子产量 $F_v/F_m = (F_m - F_o)/F_m$,PS II 实际光化学量子产量 $\Phi_{PSII} = (F_m' - F_o)/F_m'$,光化学淬灭系数 $qP = (F_m' - F_o)/(F_m' - F_o')$ 和非光化学淬灭系数 $NPQ = (F_m - F_m')/F_m'$ 。

1.4 数据分析

数据通过 Excel 2019 软件进行整理及绘图,采用 SPSS Statistics 18.0 软件进行统计学分析处理。

2 结果与分析

2.1 不同品种薄壳山核桃苗生长及叶片色素含量

从表 1 可以看出,不同品种薄壳山核桃苗之间的生长存在差异,苗高为 0.76~1.12 m,最大为‘Excell’,最小为‘Schley’,且‘Excell’和‘Eliott’显著大于‘Schley’和‘Barton’,‘Disirable’‘Mohawk’和‘Caddo’与其他品种存在差异

表1 不同品种薄壳山核桃苗生长指标

Table 1 Growth indicators of *Carya illinoensis* between different varieties

品种 Variety	苗高 Seedling height/m	地径 Ground diameter/mm	新梢长 New branch growth/cm	叶长 Leaf length/cm	叶宽 Leaf width/cm
'Schley'	0.76±0.12b	1.68±0.28b	18.86±1.04bc	5.47±0.18a	0.92±0.14a
'Barton'	0.78±0.08b	1.23±0.09b	21.34±1.15b	6.87±1.13a	1.48±0.34a
'Excell'	1.12±0.10a	2.15±0.12a	26.18±0.65a	6.17±0.59a	1.33±0.30a
'Eliott'	1.08±0.06a	2.06±0.17a	26.87±0.99a	6.93±0.55a	1.23±0.03a
'Disirable'	0.89±0.03ab	1.69±0.41ab	19.29±0.55bc	5.37±0.56a	1.67±0.35a
'Mohawk'	0.84±0.12ab	1.51±0.09ab	17.27±0.42c	5.90±0.53a	1.26±0.15a
'Caddo'	0.93±0.03ab	1.67±0.14ab	21.27±1.63b	6.13±0.71a	1.28±0.22a

注:同列不同小写字母表示不同处理间差异显著($P<0.05$),下同。

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant difference at $P<0.05$ level. The same as below.

但不显著。地径为 1.23~2.15 mm,也是 'Excell' 和 'Eliott' 显著大于 'Schley' 和 'Barton'。新梢长 17.27~26.87 cm, 'Excell' 和 'Eliott' 显著大于其他品种,具体表现为 'Eliott' > 'Excell' > 'Barton' > 'Caddo' > 'Disirable' > 'Schley' > 'Mohawk'。叶长和叶宽分析结果显示有差异但不显著,其中叶长为 5.37~6.93 cm,叶宽为 0.92~1.67 cm。

由表 2 可知, 'Excell' 的 Chl a 最高,为 2.61 mg·g⁻¹,显著高于其他品种,比最低值 'Caddo' 高出 85.11%。'Excell' 的 Chl b 也是最高,为 0.81 mg·g⁻¹,显著高于其他品种,比最低值 'Caddo' 高出 68.75%, Chl 具体表现为 'Excell' > 'Eliott' > 'Barton' > 'Disirable' > 'Schley' > 'Mohawk' > 'Caddo'。'Excell' 的 Car 为 0.82 mg·g⁻¹,高于或显著高于其他品种。

表2 不同品种薄壳山核桃苗叶片色素含量

Table 2 Pigment content in leaves of *Carya illinoensis* between different varieties mg·g⁻¹

品种 Variety	Chl a	Chl b	Chl	Car
'Schley'	1.76±0.06e	0.51±0.01de	2.28±0.12c	0.60±0.03c
'Barton'	2.21±0.05c	0.72±0.01c	2.93±0.06b	0.76±0.02ab
'Excell'	2.61±0.04a	0.81±0.01a	3.41±0.05a	0.82±0.01a
'Eliott'	2.34±0.04b	0.73±0.01c	3.07±0.04ab	0.73±0.01b
'Disirable'	2.07±0.04d	0.77±0.01b	2.84±0.01b	0.78±0.01ab
'Mohawk'	1.58±0.02f	0.54±0.02d	2.12±0.07cd	0.62±0.02c
'Caddo'	1.41±0.02g	0.48±0.01e	1.89±0.21d	0.60±0.03c

2.2 不同品种薄壳山核桃苗叶片光合参数

从图 1 可以看出,随着光照强度(PARi)的增强,叶片净光合速率(Pn)急速上升。当 PARi 超过 800 μmol·m⁻²·s⁻¹后,7 个品系叶片 Pn 均

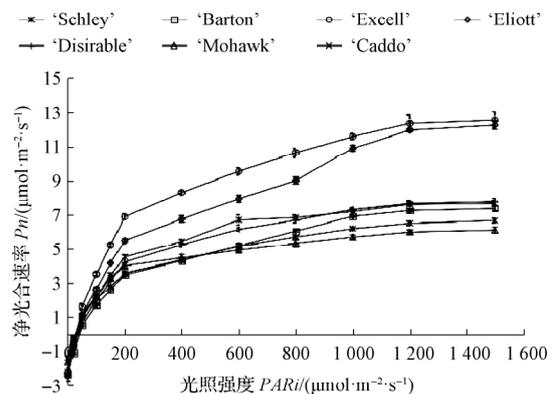


图1 不同品种薄壳山核桃苗叶片的 Pn-PARi 响应曲线

Fig. 1 The Pn-PARi curve of of *Carya illinoensis* between different varieties

呈现缓慢上升趋势并出现明显的光饱和现象,不同品种之间也存在显著差异。

利用 Photosyn Assistant 软件拟合得到的光合参数,由表 3 可知, 'Excell' 和 'Eliott' 的 A_{max} 最大,且二者显著高于其他品种,最大值 'Excell' 比最低值 'Mohawk' 高出 82.59%。'Mohawk' 的 L_{CP} 最低,显著低于其他品种,仅为最高值 'Barton' 的 50.79%。'Eliott' 的 L_{SP} 最高,显著高于其他品种,比最低值 'Mohawk' 高出 91.89%。7 个品系的 R_d 在 -1.43 ~ -2.56 μmol·m⁻²·s⁻¹,差异较为显著,其绝对值表现为 'Eliott' > 'Excell' > 'Barton' > 'Disirable' > 'Caddo' > 'Mohawk' > 'Schley'。

2.3 不同品种薄壳山核桃苗叶绿素荧光参数

通过测定不同品种薄壳山核桃苗叶绿素荧光参数并计算得到 PS II 潜在活性 F_v/F_o , PS II 最

表 3 不同品种薄壳山核桃苗光合参数

Table 3 The photosynthetic parameter in leaves of *Carya illinoensis* between different varieties

品种 Variety	$A_{max}/(\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$	$A_{QE}/(\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1})$	$L_{CP}/(\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$	$L_{SP}/(\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$	$R_d/(\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$
'Schley'	8.36±0.06c	0.057±0.003e	25.33±0.88de	869.33±10.97d	-1.43±0.02a
'Barton'	10.23±0.09b	0.067±0.003de	42.67±1.20a	1040.00±28.58c	-2.29±0.07b
'Excell'	15.21±0.40a	0.093±0.003ab	27.33±1.76de	1286.67±30.90b	-2.30±0.13b
'Eliott'	15.20±0.16a	0.073±0.003cd	37.33±2.19b	1435.33±24.63a	-2.56±0.22b
'Disirable'	10.72±0.13b	0.083±0.003bc	33.33±1.45bc	988.33±18.35c	-2.20±0.12b
'Mohawk'	8.33±0.10c	0.103±0.007a	21.67±1.20e	748.00±28.69e	-1.70±0.09a
'Caddo'	10.28±0.15b	0.093±0.003ab	30.33±1.76cd	910.33±8.11d	-2.19±0.14b

大光化学量子产量 F_v/F_m , PS II 实际光化学量子产量 Φ_{PSII} , 光化学淬灭系数 qP 和非光化学淬灭系数 NPQ (表 4)。 F_v/F_o 反映了植物的潜在光化学活性, 'Mohawk' 和 'Caddo' 显著高于 'Schley' 和 'Disirable', 'Barton' 'Excell' 'Eliott' 之间差异不显著。 F_v/F_m 反映了植物的潜在最大光合能力, 7 个品种的 F_v/F_m 值差异较小, 在 0.76 ~ 0.81, 最大的为 'Mohawk' 和

'Caddo', 均是 0.81, 最小的 'Disirable' 为 0.76。 Φ_{PSII} 反映了植物当前的实际光合效率, 7 个品种的 Φ_{PSII} 值差异显著, 'Excell' 和 'Eliott' 高于或显著高于其他品系, 最低的为 'Caddo'。 qP 反映了植物光合活性的高低, 7 个品种的 qP 值差异显著, 最大的 'Mohawk' 为 0.46, 最小的 'Excell' 为 0.30。 NPQ 反映了植物的光保护能力, 'Excell' 和 'Eliott' 的 NPQ 值显著高于其他品系。

表 4 不同品种薄壳山核桃苗叶片荧光参数

Table 4 The chlorophyll fluorescence parameters in leaves of *Carya illinoensis* between different varieties

品种 Variety	F_v/F_o	F_v/F_m	Φ_{PSII}	qP	NPQ
'Schley'	3.36±0.23b	0.77±0.01b	0.57±0.01cd	0.42±0.04ab	0.45±0.07b
'Barton'	3.94±0.13ab	0.80±0.01ab	0.54±0.01de	0.37±0.02bc	0.25±0.02c
'Excell'	3.91±0.15ab	0.80±0.01ab	0.65±0.01a	0.30±0.01d	0.67±0.06a
'Eliott'	3.70±0.12ab	0.79±0.01ab	0.65±0.01a	0.33±0.01cd	0.61±0.05a
'Disirable'	3.27±0.34b	0.76±0.02b	0.60±0.01bc	0.42±0.02ab	0.37±0.03bc
'Mohawk'	4.33±0.20a	0.81±0.01a	0.64±0.02ab	0.46±0.02a	0.26±0.04c
'Caddo'	4.21±0.21a	0.81±0.01a	0.53±0.02e	0.33±0.01cd	0.26±0.03c

2.4 不同品种薄壳山核桃苗各指标参数间的相关性分析

分析薄壳山核桃苗生长指标、叶片色素指标与其光合特征参数及荧光特征的相关性, 由表 5 可知, 光合生理指标中 A_{max} 和 L_{SP} 与苗高、新梢长、Chl a、Chl b、Chl、Car 呈极显著正相关, 其与地径呈显著正相关。 L_{CP} 与 Chl b、Chl、Car 呈显著性正相关。而 R_d 与新梢长、Chl b、Chl、Car 呈极显著负相关, 与苗高、Chl a 呈显著性负相关。叶绿素荧光参数指标 Φ_{PSII} 反映的是植物当前的实际光合效率, 与 Chl b、Car 呈显著性负相关, 与 Chl a、Chl 达到极显著水平。 qP 作为反映植物光合活性的高低的指标, 与地径、新梢长、Chl a、Chl 均呈极显著性正相关, 与 Chl b、Car 呈显著正相关。 NPQ 反映的是植物的光保护能力, 其

与新梢长呈极显著负相关, 与地径呈显著性负相关。

2.5 不同品种薄壳山核桃苗生长及光合能力综合评价

将各品种薄壳山核桃苗的生长及光合指标进行无量纲化处理, 并对其进行主成分分析, 由表 6 可知, 分析提取到 6 个主成分因子, 累计方差贡献率达 88.387%, 同时, 以其对应特征值占总特征值的比例计算权重。其中, 因子 1(F1) 的方差贡献率最大, 达 43.313%, 权重为 0.490。分析因子载荷矩阵, 由表 7 可知, F1 较大载荷值性状指标为 A_{max} 、 L_{SP} 、Chl a、Chl 等; 因子 2(F2) 较大载荷值性状指标为 A_{QE} 、 F_v/F_o 、 F_v/F_m 等; 因子 3(F3) 较大载荷值性状指标为地径、叶宽、 L_{CP} 、 NPQ 等; 而因子 4(F4) 较大载荷值性状指标为叶

表5 光合、荧光特征参数与生长指标和叶绿素含量的相关性分析

Table 5 Correlation analysis of photosynthetic and fluorescence characteristic parameters with growth and chlorophyll content

指标 Indicator	A_{max}	A_{QE}	LCP	LSP	R_d	F_v/F_o	F_v/F_m	Φ_{PSII}	qP	NPQ
苗高 Seedling height	0.679**	0.291	0.026	0.610**	-0.475*	0.080	0.135	-0.004	0.389	-0.337
地径 Ground diameter	0.545*	0.106	-0.107	0.467*	-0.345	-0.028	0.055	0.065	0.642**	-0.512*
叶长 Leaf length	0.289	-0.070	0.229	0.352	-0.234	-0.033	-0.013	-0.037	0.136	-0.344
叶宽 Leaf width	0.104	0.135	0.194	0.101	-0.245	-0.001	0.000	-0.019	-0.082	0.055
新梢长 New branch growth	0.893**	-0.029	0.289	0.888**	-0.567**	-0.084	-0.035	-0.112	0.698**	-0.814**
Chl a	0.781**	-0.219	0.427	0.805**	-0.538*	-0.246	-0.194	-0.572**	0.686**	-0.420
Chl b	0.710**	-0.063	0.482*	0.703**	-0.602**	-0.247	-0.216	-0.473*	0.494*	-0.304
Chl	0.775**	-0.185	0.447*	0.792**	-0.562**	-0.250	-0.202	-0.556**	0.650**	-0.399
Car	0.637**	-0.088	0.507*	0.613**	-0.605**	-0.199	-0.164	-0.508*	0.437*	-0.297

注: * 和 ** 分别表示在 5% 和 1% 水平差异显著。

Note: * and ** indicate significant difference at 5% and 1% levels.

长、 Lcp 等; 因子 5($F5$) 较大载荷值性状指标为叶宽、 F_v/F_m 等; 因子 6($F6$) 较大载荷值性状指标为叶长、 R_d 、 Φ_{PSII} 等。

基于 6 个主成分因子及其权重, 建立不同品种薄壳山核桃苗生长指标、色素含量、光合生理和叶绿素荧光参数综合评价模型, 计算 7 个品种综合评价得分: $F_{综} = 0.494 \times F1 + 0.171 \times F2 + 0.116 \times F3 + 0.091 \times F4 + 0.072 \times F5 + 0.06 \times F6$, 计算结果见表 8, 各品种薄壳山核桃幼苗综合

表6 主成分分析的特征值和方差贡献率

Table 6 The eigenvalues and variance contribution rate of principal component analysis

主成分 Factors	特征值 Eigenvalue	方差贡献率 Variance contribution rate/%	累计方差贡献率 Total contribution rate/%	因子权重 Factors weight
1	8.229	43.313	43.313	0.490
2	2.870	15.103	58.416	0.171
3	1.956	10.297	68.713	0.116
4	1.521	8.007	76.720	0.091
5	1.204	6.334	83.054	0.072
6	1.013	5.333	88.387	0.060

表7 主成分在不同性状上的因子载荷矩阵

Table 7 Factors loading matrix of principal components on different traits

指标 Indicator	主成分因子 Factors					
	F1	F2	F3	F4	F5	F6
苗高 Seedling height	0.575	0.447	-0.073	0.231	0.304	-0.148
地径 Ground diameter	0.502	0.381	-0.492	0.143	0.019	-0.188
叶长 Leaf length	0.323	0.095	0.135	-0.569	0.299	0.586
叶宽 Leaf width	0.201	0.018	0.534	-0.009	0.703	0.081
新梢长 New branch growth	0.837	0.255	-0.205	-0.269	-0.007	0.198
A_{max}	0.929	0.272	-0.133	-0.003	0.017	-0.010
A_{QE}	-0.113	0.683	0.092	0.386	0.317	0.000
LCP	0.476	-0.213	0.568	-0.476	-0.273	-0.298
LSP	0.932	0.117	-0.107	-0.146	-0.024	-0.005
R_d	-0.728	-0.266	-0.326	0.253	0.032	0.387
Chl a	0.921	-0.229	0.081	0.221	-0.114	0.096
Chl b	0.860	-0.238	0.276	0.262	0.045	-0.056
Chl	0.920	-0.234	0.129	0.234	-0.078	0.061
Car	0.818	-0.241	0.341	0.295	0.007	-0.080
F_v/F_o	-0.227	0.760	0.410	0.159	-0.337	0.182
F_v/F_m	-0.165	0.769	0.388	0.158	-0.360	0.191
Φ_{PSII}	-0.359	0.520	-0.105	-0.384	0.225	-0.469
NPQ	0.736	0.018	-0.546	0.098	-0.024	0.073
qP	-0.667	-0.343	0.229	0.351	0.190	-0.101

表8 不同品种薄壳山核桃苗生长及光合能力综合评价

Table 8 Comprehensive evaluation score of *Carya illinoensis* between different varieties

品种 Variety	F1	F2	F3	F4	F5	F6	综合排名 Comprehensive ranking
'Excell'	5.685	0.221	-0.106	0.175	-0.013	0.052	6.014
'Eliott'	4.833	0.240	-0.104	-0.140	-0.001	-0.037	4.791
'Barton'	0.853	-0.387	0.377	-0.086	-0.070	0.037	0.725
'Disirable'	0.500	-0.488	0.098	0.077	0.090	-0.073	0.203
'Caddo'	-3.126	0.618	-0.006	-0.133	0.003	-0.020	-2.664
'Schley'	-3.533	-0.567	-0.315	-0.010	-0.041	0.019	-4.446
'Mohawk'	-5.212	0.362	0.056	0.117	0.032	0.022	-4.623

得分为‘Excell’>‘Eliott’>‘Barton’>‘Disirable’>‘Caddo’>‘Schley’>‘Mohawk’,即‘Excell’的光合特性较强,生长适应性较好。

3 讨论与结论

光合作用是植物生长发育的基础^[17]。在漫长的生物进化中,不同种群植株在生长习性、形态结构、生理生化等方面形成了对不同环境的响应变化,以便能更好地适应生存^[18]。不同品种在形态学方面表现出不同的苗高、地径、新梢长、叶片结构特征等差异,如贾民隆等^[19]研究发现不同品系生物学性状、气孔特性和叶片解剖结构存在显著差异。不同品种在生理生化方面则表现为叶绿素含量、光合参数及叶绿素荧光参数等变化,乔一娜等^[20]研究了 10 种观赏竹的光合特性及叶绿素荧光特性,结果发现在相同生长环境下不同观赏竹的光合利用能力、光合效率及光适应能力不同,且有显著差异。该试验研究了浙西南地区 7 个薄壳山核桃品种的苗生长指标、色素含量、光合生理和叶绿素荧光特性等,发现不同品种之间生长指标和叶片色素含量差异显著,其中‘Excell’和‘Eliott’的苗高、地径、新梢长度均显著大于其他品种,‘Excell’的 Chl a、Chl b、Chl 和 Car 显著大于其他品种,‘Caddo’的色素含量最低。植物色素具有吸收和传递光能的作用,最主要的 Chl a 还具备转化光能的作用,是植物进行光合作用的重要媒介^[21],‘Excell’具有较高的色素含量说明其具备较强的光合能力。研究表明,光合参数是反映植物光合能力的主要指标,而叶绿素荧光参数是研究植物光合作用与环境关系的内在探针,他们的相互协同作用在植物光合能力研究上已经得到广泛的应用^[22-24]。 A_{max} 是植物最大净光合速率, Φ_{PSII} 反映了植物当前的实际光合效率,该研究中‘Excell’的 A_{max} 和 Φ_{PSII} 均显著高于其他品种,说明该品种在当前同等环境下具有更强的实际光合能力。

不同种植物光合特性的响应及适应能力与其自身的生理生态学特点密不可分^[25],其评价依赖于生理生化指标和光合生理指标的客观、综合反映,而主成分分析法是综合评价常用方法之一^[26]。如邵怡若等^[27]利用主成分分析法对各生

理生化指标和光合生理指标进行分析,得出 4 种幼苗的抗寒性顺序由高到低依次为葛藤>盐肤木>老鸭嘴>假连翘。该研究采用主成分分析法对不同品种薄壳山核桃苗生长指标、色素含量、光合生理和叶绿素荧光参数进行综合分析评价,分析提取到 6 个主成分因子,累计方差贡献率达 88.387%,同时,以其对应特征值的权重计算综合得分,从而更加客观真实地反映不同品种之间的差异。

综上所述,不同薄壳山核桃品种光合能力差异显著,综合各指标影响因素,建立不同品种薄壳山核桃苗生长指标、色素含量、光合生理和叶绿素荧光参数综合评价模型,计算出 7 个品种综合评价得分:‘Excell’>‘Eliott’>‘Barton’>‘Disirable’>‘Caddo’>‘Schley’>‘Mohawk’,即‘Excell’的光合能力最强,生长适应性也相对更好。

参考文献

- [1] 杨兵兵,姚小华,张成才,等.薄壳山核桃无性系种实性状综合评价[J].北京林业大学学报,2023,45(5):57-66.
- [2] 赵娟,朱凯凯,鲍佳书,等.薄壳山核桃种质资源的 SSR 标记分析及数字指纹构建[J].植物资源与环境学报,2023,32(2):10-17.
- [3] 张计育,王刚,王涛,等.薄壳山核桃果实性状和种仁脂肪酸含量多样性分析[J].植物资源与环境学报,2023,32(2):29-37.
- [4] 宋思琼,钟佳琦,覃虹,等.湖南地区 10 个品种薄壳山核桃的坚果品质评价[J].中国油脂,2023,48(9):113-119.
- [5] 刘威,刘旭,蔡卫佳,等.六个薄壳山核桃单株果实脂肪酸组成和营养成分比较分析[J].北方园艺,2022(23):46-53.
- [6] 赵喆,王菲,胡甜,等.5 个薄壳山核桃品种形态及营养成分的分析[J].经济林研究,2023,41(3):159-168.
- [7] 张日清,李江,吕芳德,等.我国引种美国山核桃历程及资源现状研究[J].经济林研究,2003,21(4):107-109.
- [8] 潘浪波,段伟,黄有军.基于 MaxEnt 模型预测薄壳山核桃在中国的种植区[J].浙江农林大学学报,2022,39(1):76-83.
- [9] 张计育,李永荣,翟敏,等.薄壳山核桃‘马罕’种植中的问题及其关键栽培技术[J].北方园艺,2021(7):173-174.
- [10] 莫正海,张计育,翟敏,等.薄壳山核桃在南京的开花物候期观察和比较[J].植物资源与环境学报,2013,22(1):57-62.
- [11] 张瑞,李永荣,彭方仁.薄壳山核桃品种“马罕”的栽培适应性及其评价[J].经济林研究,2013,31(2):176-180.
- [12] 陈鑫林,朱灿灿,张仕杰,等.黑斑病胁迫下不同抗性薄壳山核桃品种光合作用的研究[J].北方园艺,2023(7):34-40.
- [13] 左继林,贺义昌,黄建建,等.赣西引种不同品种薄壳山核桃花期特性观测与比较[J].北方园艺,2022(4):45-50.
- [14] 章建红,洪春桃,沈登锋,等.盐胁迫对薄壳山核桃幼苗抗氧化酶活性的影响[J].北方园艺,2022(18):23-28.
- [15] 王学奎.植物生理生化实验原理和技术[M].2 版.北京:高

等教育出版社,2006.

[16] 张晓艳,李连国,郭金丽,等. 欧李叶片光合色素提取方法的比较分析[J]. 北方园艺,2021(9):104-110.

[17] LI G, WAN S, ZHOU J, et al. Leaf chlorophyll fluorescence, hyperspectral reflectance, pigments content, malondialdehyde and proline accumulation responses of castor bean (*Ricinus communis* L.) seedlings to salt stress levels[J]. Industrial Crops and Products,2010,31(1):13-19.

[18] 朱昌春,管铭,李月灵. 不同品种牡丹光合生理特性及叶绿素荧光参数比较[J]. 江苏农业科学,2015,43(6):143-146,147.

[19] 贾民隆,宋卓琴,梁峥,等. 不同品系仙客来生物学性状与光合特性的关系[J]. 北方园艺,2023(12):66-73.

[20] 乔一娜,李云鸽,刘聘,等. 10种观赏竹的光合特性及叶绿素荧光特性研究[J]. 热带作物学报,2020,41(7):1373-1379.

[21] 叶景秀,柳海东,星晓蓉,等. 甘蓝型油菜叶绿素含量与产量关系研究及叶绿素主效 QTL 位点 *cqSPDA2* 连锁标记开发[J]. 中国油料作物学报,2022,44(6):1173-1181.

[22] 涂淑萍,黄航,杜曲,等. 不同品种茶树叶片光合特性与叶绿素荧光参数的比较[J]. 江西农业大学学报,2021,43(5):1098-1106.

[23] 王方琳,柴成武,赵鹏,等. 3种荒漠植物光合及叶绿素荧光对干旱胁迫的响应及抗旱性评价[J]. 西北植物学报,2021,41(10):1755-1765.

[24] 李桂祥,聂佩显,高晓兰,等. 桃树不同树形树体结构及叶片光合作用和叶绿素荧光参数比较[J]. 北方园艺,2023(14):30-35.

[25] 王博轶,马洪军,苏腾伟,等. 两种热带雨林树苗对环境光强变化的生理响应和适应机制[J]. 植物生理学报,2012,48(3):232-240.

[26] 王贝贝,何乾瑞,张佳伟,等. 弱光下不同大豆品种光合能力综合评价[J]. 大豆科学,2021,40(1):45-58.

[27] 邵怡若,许建新,薛立,等. 低温胁迫时间对4种幼苗生理生化及光合特性的影响[J]. 生态学报,2013,33(14):4237-4247.

Comparative Analysis of Photosynthetic Physiology and Chlorophyll Fluorescence Characteristics of Different Varieties of *Carya illinoensis*

YANG Xianyu¹, PAN Yongzhu², FAN Fangjuan³, WU Lianhai¹, HUA Jinwei¹, JIANG Yanfeng¹

(1. Lishui Institute of Agriculture and Forestry Sciences, Lishui, Zhejiang 323000; 2. Lishui Forestry Extension Station, Lishui, Zhejiang 323000; 3. Lishui Vocational & Technical College, Lishui, Zhejiang 323000)

Abstract: Seven thin shell walnut varieties ‘Schley’ ‘Barton’ ‘Excell’ ‘Eliott’ ‘Disiraable’ ‘Mohawk’ and ‘Caddo’ in the southwestern region of Zhejiang Province were used as test materials, with their growth indicators, pigment content, photosynthetic physiology, and chlorophyll fluorescence characteristics, through methods as ethanol extraction-spectrophotometric method, LI-6400XT OPEN 6.2 portable photosynthesis measurement system, PAM-2100 portable modulation chlorophyll fluorescence spectrometer and so on, in order to provide reference for the breeding and application promotion of thin shell walnut varieties. The results showed that there were significant differences in growth indicators and leaf pigment content among the seven thin shell walnut varieties, such as the seedling height, ground diameter, and new shoot length of ‘Excell’ and ‘Eliott’ were significantly higher than those of other varieties, the Chl a, Chl b, Chl, and Car contents of ‘Excell’ were significantly higher than those of other varieties, and each pigment contents of ‘Caddo’ were the lowest. The results of photosynthetic physiology and chlorophyll fluorescence parameters showed that the A_{max} and Φ_{PSII} of ‘Excell’ and ‘Eliott’ were significantly higher than other varieties. Founded on principal component analysis, a comprehensive evaluation model for photosynthetic fluorescence characteristics of different varieties of thin shell walnut seedlings was established and used to make a comprehensive evaluation of the seven thin shell walnut varieties and the score were ‘Excel’ > ‘Eliott’ > ‘Barton’ > ‘Disirable’ > ‘Caddo’ > ‘Schley’ > ‘Mohawk’, which showed that ‘Excel’ had better photosynthetic characteristics and better growth adaptability.

Keywords: *Carya illinoensis*; growth indicators; pigment content; photosynthetic physiological characteristics; chlorophyll fluorescence