

不同砧木对‘绿岭’核桃叶片光合和叶绿素荧光特性的影响

李惠¹,梁曼曼¹,赵丹¹,李保国^{1,2},李寒¹,齐国辉^{1,2*}

(1.河北农业大学 林学院,河北 保定 071000;2. 河北省核桃工程技术研究中心,河北 临城 054300)

摘要:为了解不同砧木对‘绿岭’核桃光合及叶绿素荧光特性的影响,以中宁强、中宁异、北加州黑核桃和核桃作砧木嫁接‘绿岭’核桃的2年生幼树为试验材料,研究了‘绿岭’核桃叶片光合特性及叶绿素荧光特性。结果表明,4种砧木‘绿岭’核桃的净光合速率日变化均呈双峰曲线,其最大净光合速率依次为核桃($17.92 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)>中宁强($14.17 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)>北加州黑核桃($13.02 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)>中宁异($12.34 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$);蒸腾速率和气孔导度日变化均呈现单峰曲线;最大蒸腾速率依次为中宁异($5.36 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)>核桃($5.11 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)>北加州黑核桃($4.90 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)>中宁强($3.41 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$);气孔导度最大值依次为中宁强($0.22 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)>中宁异($0.21 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)>北加州黑核桃($0.19 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)>核桃($0.17 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$);胞间CO₂浓度日变化规律较为一致,均呈倒抛物线型;水分利用效率日均值依次为核桃(5.19)>中宁强(4.97)>北加州黑核桃(3.63)>中宁异(3.49)。4种砧木‘绿岭’核桃的Fv/Fm和ΦPSⅡ日变化曲线均呈倒抛物线型;中宁强、中宁异、北加州黑核桃砧木‘绿岭’核桃的Fm和ETR都呈不规则的双谷型,而核桃砧木‘绿岭’核桃呈单谷型。4种砧木‘绿岭’核桃的P_n与T_r、G_s均呈正相关,P_n与C_i、ΦPSⅡ、ETR均呈负相关,相关性因砧木品种不同而达到显著或不显著水平。通过主成分分析对4种砧木‘绿岭’核桃光合及叶绿素荧光特性进行综合评价,其综合评价值分别为0.66、-1.59、-1.83和2.75,表明在光合和叶绿素荧光特性方面,核桃作为‘绿岭’核桃的砧木优于其他3个品种,是适合‘绿岭’核桃的优良砧木。

关键词:砧木;叶绿素;光合;叶绿素荧光;评价

中图分类号:S718.43 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2017)02-0090-07

Effects of Different Rootstocks on Photosynthesis and Chlorophyll Fluorescence Characteristics in ‘Lyuling’ Walnut

LI Hui¹, LIANG Man-man¹, ZHAO Dan¹, LI Bao-guo^{1,2}, LI Han¹, QI Guo-hui^{1,2*}

(1. College of Forestry, Agricultural University of Hebei, Baoding, Hebei 071000, China;

2. Research Center for Walnut Engineering and Technology of Hebei, Lincheng, Hebei 054300, China)

Abstract: To determine the effects of different rootstocks on the photosynthesis and chlorophyll fluorescence characteristics in walnut, 2-year-old seedlings of the walnut cultivar ‘Lyuling’ were grafted onto the cultivars of “Zhongningqiang”, “Zhongningyi”, *Juglans hindsii* and *J. regia* rootstocks. The diurnal variation of net photosynthetic rate (P_n) of ‘Lyuling’ walnut grafted onto the 4 kinds of rootstocks all showed a double peak curve, the maximum net photosynthetic rates were *J. regia* ($17.92 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) > Zhongningqiang ($14.17 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) > *J. hindsii* ($13.02 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) > Zhongningyi ($12.34 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$). The diurnal variations of T_r and G_s of ‘Lyuling’ all showed a single peak curve, and the

收稿日期:2016-09-05 修回日期:2016-10-31

基金项目:国家“十二五”科技支撑计划项目(2013BAD14B01);河北省科技支撑计划项目(16236810D)。

作者简介:李惠,女,在读硕士,研究方向:经济林栽培生理。E-mail:1163568634@qq.com

*通信作者:齐国辉,女,教授,博士生导师,研究方向:经济林栽培生理、山区开发技术及经济林栽培学。E-mail:bdqgh@sina.com

maximum transpiration rates were Zhongningyi ($5.36 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) $> J. regia$ ($5.11 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) $> J. hindsii$ ($4.90 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) $>$ Zhongningqiang ($3.41 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$), the maximum values of stomatal conductance were Zhongningqiang ($0.22 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) $>$ Zhongningyi ($0.21 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) $> J. hindsii$ ($0.19 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) $> J. regia$ ($0.17 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$). The diurnal variation curves of C_i were similar to converse parabola types. The daily mean values of WUE were $J. regia$ (5.19) $>$ Zhongningqiang (4.97) $> J. hindsii$ (3.63) $>$ Zhongningyi (3.49). The diurnal variation curves of F_v/F_m and PS II of ‘Lyuling’ were converse parabolic types. The diurnal variation curves of F_m and ETR of ‘Lyuling’ walnut grafted onto Zhongningqiang, Zhongningyi and $J. hindsii$ R were irregular double trough types, while that of grafted onto $J. regia$ rootstock was single trough type. There had positive correlations among P_n and T_r , G_s , P_n , while there had negative correlation among P_n and C_i , φ_{PSII} , ETR, and the difference levels of correlations were significant or not significant due to the different rootstock varieties. Comprehensive evaluation of photosynthetic and chlorophyll fluorescence characteristics of ‘Lyuling’ walnut grafted onto 4 kinds of rootstocks was conducted by principal component analysis, and the comprehensive evaluation values were 0.66, -1.59, -1.83, and 2.75, respectively. The results showed that the walnut ($J. regia$) rootstock was the superior one that suited to the ‘Lyuling’ walnut at the aspects of photosynthesis and chlorophyll fluorescence characteristics.

Key words: walnut; rootstock; photosynthesis; chlorophyll fluorescence; evaluation

核桃是重要的木本粮油树种,用途广泛,适应性强,已经成为我国退耕还林最成功的生态经济兼用树种。随着核桃产业的快速发展,对优良品种的优质嫁接苗木的需求量不断扩大。核桃砧木对其嫁接品种的适应性、抗逆性、果实品质等都有重要影响,但目前我国核桃砧木种类单一,北方地区普遍采用核桃做砧木,南方地区主要应用铁核桃做砧木^[1]。而美国等国家都非常重视核桃砧木的研究及应用,美国应用面积最大的核桃砧木是奇异核桃(Paradox),核桃园貌非常整齐;同时也不断注重新的砧木品种的培育,加利福尼亚大学戴维斯分校培育的核桃砧木新品种“VX211”已经获得美国专利商标局的专利授权^[2]。与美国等发达国家相比,我国对核桃砧木的开发、研究工作进展非常缓慢。目前,虽然中国林业科学研究院已经选育出中宁强、中宁奇等生长势强,综合抗性都很强的核桃砧木^[3],但与其他果树(葡萄、柑橘、苹果)砧木相比,核桃砧木的培育、评价及应用研究还有待加强^[4]。‘绿岭’核桃具有“个大、皮薄、好吃、好看”的优点^[5],但生长中广泛使用的‘绿岭’核桃苗木均以核桃为砧木。为筛选出适合‘绿岭’核桃的优良砧木,提高‘绿岭’核桃的适应性,于2015年研究了以中宁强、中宁异、北加州黑核桃和核桃为砧木嫁接的‘绿岭’幼树叶片光合特性及叶绿素荧光特性。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地为河北绿岭果业有限公司。该地位于太

行山南段东麓丘陵区的河北省临城县北6 km处,114.4°E,37.3°N,海拔90~135 m,年均降水量521 mm,年均气温13°C,极端最高气温41.8°C,最低气温-23.1°C,无霜期202 d,年均日照时间2 653 h,土壤为褐土。

1.2 试验材料

试验材料为嫁接在中宁强、中宁异、北加州黑核桃和核桃4种不同砧木上的1年生‘绿岭’核桃幼树,株行距为3 m×5 m。中宁强、中宁异、北加州黑核桃为引自中国林业科学研究院洛宁繁殖基地的扦插苗(无性苗),核桃为1年生实生苗(有性苗),于2014年4月栽植,7月方块形芽接法嫁接‘绿岭’核桃。每小区10棵,重复3次,随机排列。2015年春季定干70 cm。各处理幼树长势一致。

1.3 试验方法

光合作用日变化测定:于2015年8月20日、9月21日、10月23日(晴朗无风天气),采用Lci便携式光合仪从当日6:00—18:00对各处理幼树的光合速率(P_n)、蒸腾速率(T_r)、胞间CO₂浓度(C_i)和气孔导度(G_s)等光合参数进行测定。每株试验树选取树冠外围的向阳成熟叶4片,每2 h测定1次,每个处理3次重复。

叶绿素荧光参数的测定:采用英国Hansatech公司生产的FMS-2脉冲调制式荧光测定系统进行测定,测定时刻点及方法与光合日变化的测定相同,测定的参数包括初始荧光(F_0)、最大荧光(F_m)、PS II最大光化学效率(F_v/F_m)和PS II电子传递量子产量(φ_{PSII})。测定时先启用 φ_{PSII} 程序在自然光

下测定 ϕ_{PSII} , 然后用叶夹进行暗适应处理 20 min 后, 再启用 Fv/Fm 程序测定其他参数。

1.4 数据处理

同一时刻的光合、叶绿素荧光数据为 3 个测定目的平均值。采用 Duncan 新复极差法、相关分析方法和主成分分析方法进行数据处理。

2 结果与分析

2.1 不同砧木对‘绿岭’核桃光合日变化的影响

2.1.1 不同砧木对‘绿岭’核桃净光合速率(P_n)日变化的影响 由图 1A 可知, 4 种砧木‘绿岭’核桃的 P_n 日变化曲线均为双峰曲线, 最高峰均出现在 10:00, 次高峰出现在 14:00, 12:00 时出现低谷, 有明显的“午休”现象。4 种砧木‘绿岭’核桃的最大净光合速率依次为核桃(17.92 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)>中宁强(14.17 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)>北加州黑核桃(13.02 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)>中宁异(12.34 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)。由表 1 可知, 核桃砧木‘绿岭’核桃的 P_n 极显著大于中宁异和北加州黑核桃砧木, 与中宁强无显著差异; 而中宁强砧木‘绿岭’核桃的 P_n 与中宁异和北加州黑核桃之间无显著差异。

2.1.2 不同砧木对‘绿岭’核桃蒸腾速率(T_r)和气孔导度(G_s)日变化的影响 由图 1B 可知, 4 种砧木‘绿岭’核桃的 T_r 日变化均呈单峰曲线, 峰值均出现在 12:00, 4 种砧木‘绿岭’核桃的最大 T_r 依次为中宁异(5.36 $\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)>核桃(5.11 $\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)>北加州黑核桃(4.90 $\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)>中宁强(3.41 $\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)。由表 1 可知, 中宁异、北加州黑核桃、核桃砧木‘绿岭’核桃之间的 T_r 无显著差异, 中宁异和北加州黑核桃砧木显著大于中宁强, 而核桃与中宁强砧木之间无显著差异。

由图 1C 可知, 4 种砧木‘绿岭’核桃的 G_s 日变化均呈现单峰曲线, G_s 峰值均出现在 10:00, G_s 最大值从大到小依次排序为中宁强(0.22 $\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)>核桃(0.21 $\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)>北加州黑核桃(0.19 $\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)>中宁异(0.17 $\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)。由表 1 可知, 中宁强、核桃、北加州黑核桃砧木‘绿岭’核桃的 G_s 显著大于中宁异砧木, 而三者间无显著差异。

2.1.3 不同砧木对‘绿岭’核桃胞间 CO_2 浓度(C_i)和水分利用效率(WUE)日变化的影响 由图 1D 可知, 4 种砧木‘绿岭’核桃 C_i 日变化规律较为一致, 呈倒抛物线型, 6:00 最大, 之后逐渐下降, 波动维持在一个相对较小的值, 在 16:00 后有所上升。由表 1 可知, 4 种砧木‘绿岭’核桃的 C_i 日均值均无显著差异。

由图 1E 可知, 中宁强、中宁异、核桃砧木‘绿岭’核桃的 WUE 日变化规律基本一致, 从 6:00 开始均呈现逐渐上升的趋势, 到 8:00 出现峰值之后逐渐下降, 14:00—18:00 后逐步升高, 但中宁异在 16:00—18:00 有小幅的下降。北加州黑核桃核桃则呈

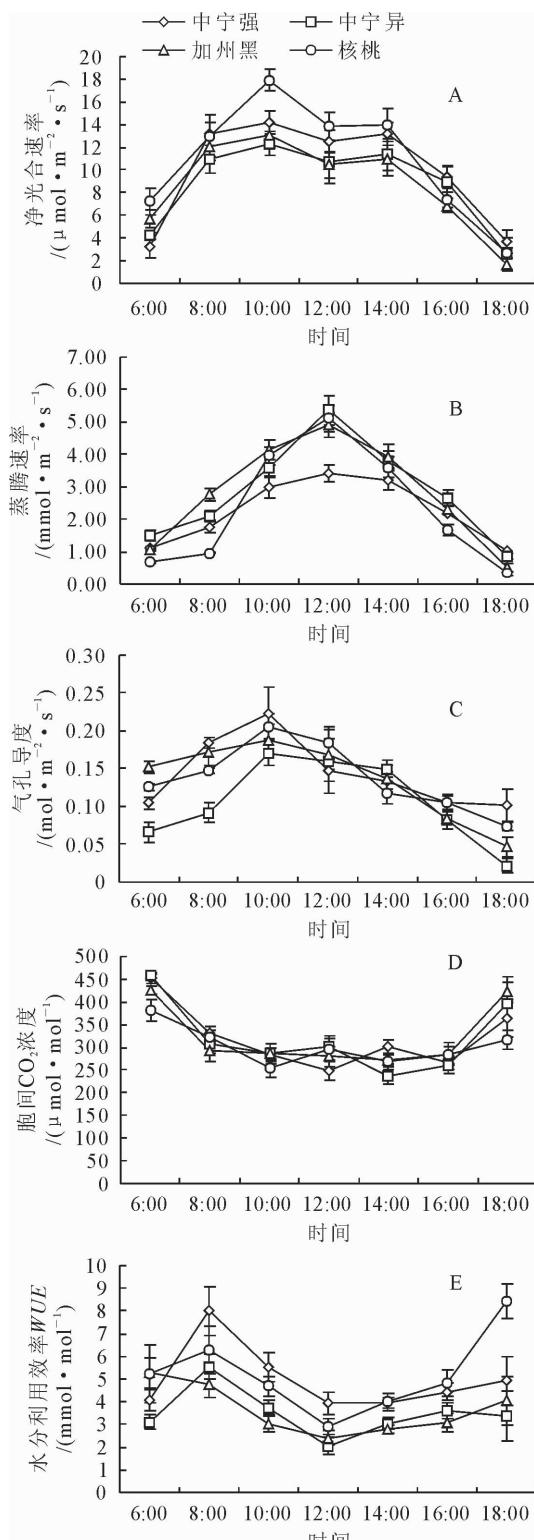


图 1 不同砧木‘绿岭’核桃叶片的 P_n (A)、 T_r (B)、 G_s (C)、 C_i (D)、WUE(E) 日变化

Fig. 1 Diurnal variations of P_n (A), T_r (B), G_s (C), C_i (D), WUE(E) of ‘Yululing’ walnut grafted onto different rootstocks

倒抛物线型,先下降后上升,在12:00达到最小值。由表1可知,中宁强砧木‘绿岭’核桃的WUE显著高于中宁异和北加州黑核桃,中宁强与核桃、中宁异与北加州黑核桃和核桃砧木之间‘绿岭’核桃的WUE均无显著差异。由表1可知,4种砧木的WUE日均值依次为核桃(5.19)>中宁强(4.97)>

表1 不同砧木‘绿岭’核桃光合参数日平均值

Table 1 Mean values of diurnal photosynthetic parameters of ‘Luyulin’ walnut grafted onto different rootstocks

| 品种 | 净光合速率(P_n) /(\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}) | 蒸腾速率(T_r) /(mmol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}) | 气孔导度(G_s) /(mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}) | 胞间CO ₂ 浓度(C_i) /(\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}) | 水分利用效率 |
|--------|--|--|---|---|--------------|
| 中宁强 | 9.91±4.65abAB | 2.23±0.99b | 0.14±0.04a | 320.58±69.75 | 4.97±1.46aAB |
| 中宁异 | 8.68±3.79bB | 2.83±1.54a | 0.11±0.05b | 321.39±78.53 | 3.49±1.06bB |
| 北加州黑核桃 | 8.73±4.08bB | 2.80±1.63a | 0.14±0.05a | 323.32±69.00 | 3.63±1.08bB |
| 核桃 | 10.86±5.26aA | 2.33±1.88ab | 0.14±0.06a | 303.59±41.72 | 5.19±1.77aA |

注:同一行不同大写字母表示1%显著水平,小写字母表示5%显著水平,下同。

2.2 不同砧木对‘绿岭’核桃叶片叶绿素荧光参数日变化的影响

2.2.1 不同砧木对‘绿岭’核桃初始荧光(F_0)日变化的影响 由图2A可知,中宁强、中宁异、北加州黑核桃3种砧木‘绿岭’核桃的 F_0 日变化趋势相对一致,最大值均出现在14:00,分别为104.50、113.88、114.75。核桃砧木‘绿岭’核桃的 F_0 日变化趋势略有不同,最大值出现在16:00,为92.67,晚于其他3种砧木。由表2可知,4种砧木‘绿岭’核桃的 F_0 日均值之间无显著差异。

2.2.2 不同砧木对‘绿岭’核桃最大荧光(F_m)日变化的影响 由图2B可知,中宁强、中宁异、北加州黑核桃3种砧木‘绿岭’核桃的 F_m 日变化规律较为一致,呈不规则的双谷型,最大值均出现在6:00,之后出现2个低谷,且在第1个低谷出现最小值,分别为442.11、420.22、473.22;但这3种砧木‘绿岭’核桃 F_m 下降到最小值的时间不同,中宁异和北加州黑核桃砧木‘绿岭’核桃的 F_m 最小值出现在12:00,中宁强砧木‘绿岭’核桃的 F_m 最小值出现在16:00。核桃砧木‘绿岭’核桃的 F_m 日变化趋势呈单谷型,最大值出现在8:00,最小值出现在12:00,为471.89。由表2可知,中宁强和核桃砧木极显著大于北加州黑核桃,显著大于中宁异,中宁强和核桃间无显著差异,中宁异和北加州黑核桃之间无显著差异。

2.2.3 不同砧木对‘绿岭’核桃最大光化学量子产量(F_v/F_m)日变化的影响 由图2C可知,4种砧木‘绿岭’核桃的 F_v/F_m 日变化规律基本一致,均随光强和温度的变化呈现出先升高后降低再升高的趋势,最高值均出现在早晨6:00。4种砧木‘绿岭’核桃的 F_v/F_m 到达波谷的时间、到达波谷的降幅以及恢复的快慢都不尽相同。中宁强、北加州黑核桃、

北加州黑核桃(3.63)>中宁异(3.49),从日均值来看,核桃砧木“绿岭”核桃的WUE极显著大于北加州黑核桃和中宁异,中宁强砧木“绿岭”核桃的WUE显著大于北加州黑核桃和中宁异,而核桃与中宁强之间无显著差异。

核桃在12:00出现最小值,分别为0.80、0.79、0.79;中宁异在14:00出现最小值,为0.80。由表2可知,中宁强、中宁异、核桃砧木‘绿岭’核桃的 F_v/F_m 显著大于北加州黑核桃砧木,而三者之间均无显著差异。4种砧木‘绿岭’核桃的 F_v/F_m 在下午均随光强的减弱逐渐回升到接近早晨的水平,可见,其PSⅡ功能的下调可能是避免中午过大光强伤害的一种适应方式。

2.2.4 不同砧木对‘绿岭’核桃PSⅡ电子传递量子产量(Φ_{PSII})日变化的影响 由图2E可知,4种砧木‘绿岭’核桃的 Φ_{PSII} 日变化曲线均呈倒抛物线型,与 F_v/F_m 日变化相比, Φ_{PSII} 的变化幅度更大,这说明 Φ_{PSII} 对外界光强和气温条件的敏感度比 F_v/F_m 强。中宁强、中宁异、北加州黑核桃砧木‘绿岭’核桃的 Φ_{PSII} 最小值出现在8:00,分别为0.41、0.41、0.40;核桃砧木的最小值出现在12:00,为0.35,之后快速回升。由表2可知,4种砧木‘绿岭’核桃的 Φ_{PSII} 均无显著差异。

2.2.5 不同砧木对‘绿岭’核桃电子传递速率ETR的日变化的影响 由图2D可知,中宁异、北加州黑核桃、核桃3种砧木‘绿岭’核桃的ETR日变化趋势呈不规则的双谷型,呈降—升—降—升的趋势,最小值均出现在8:00,分别为1.35、1.41、1.56;中宁强砧木‘绿岭’核桃的ETR日变化趋势呈单谷型,其最小值也出现在8:00,为1.19,之后呈逐渐上升的趋势。由表2可知,中宁强、中宁异、北加州黑核桃和核桃砧木之间均无显著差异。

2.3 不同砧木‘绿岭’核桃的 P_n 与其他光合及叶绿素荧光参数的相关性分析

由表3可知, P_n 与各个参数之间均存在不同程度的相关性。4种砧木‘绿岭’核桃的 T_r 与 P_n 均呈显著正相关; G_s 与 P_n 均呈正相关,其中核桃砧木

‘绿岭’核桃的 G_s 与 P_n 呈极显著正相关 ($r = 0.938^{**}$), 中宁强和北加州黑砧木‘绿岭’核桃的 G_s 与 P_n 呈显著正相关 ($r = 0.779^*$, $r = 0.862^*$), 中宁异砧木‘绿岭’核桃的 G_s 与 P_n 的相

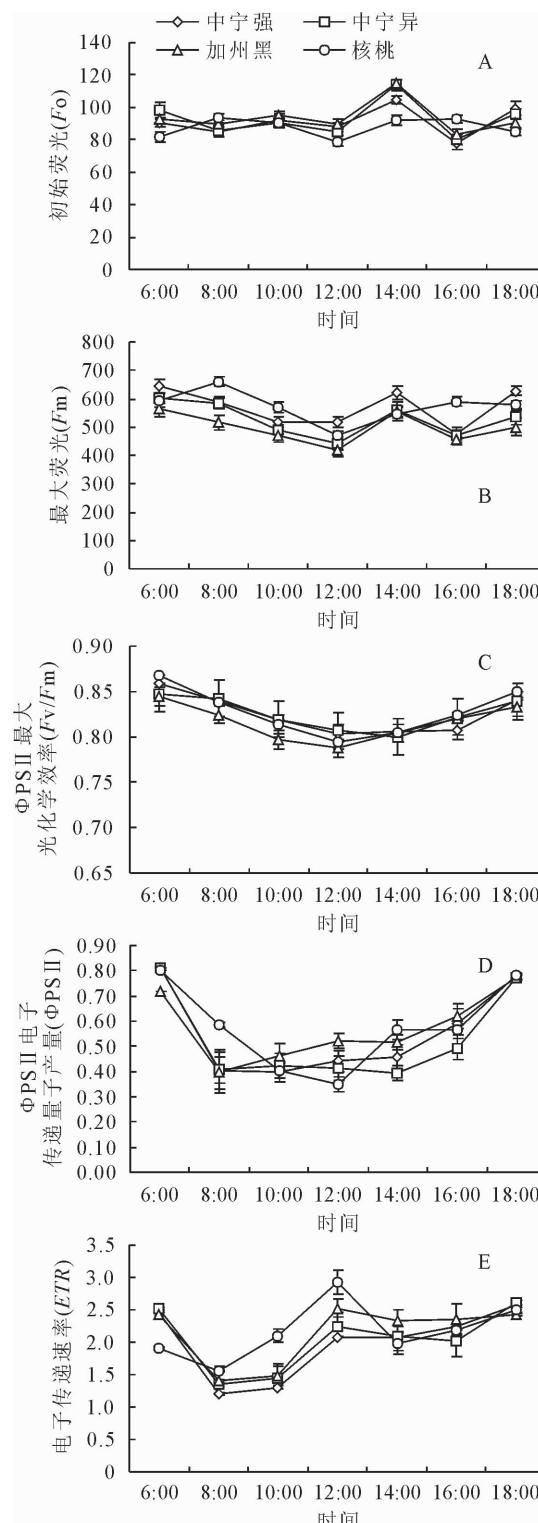


图 2 不同砧木‘绿岭’核桃叶绿素 F_o (A)、 F_m (B)、 F_v/F_m (C)、 Φ_{PSII} (D)、 ETR (E)日变化

Fig. 2 Diurnal variations of F_o (A)、 F_m (B)、

F_v/F_m (C)、 Φ_{PSII} (D)、 ETR (E) of

‘Lyulin’ walnut grafted onto different rootstocks

关性不显著; C_i 与 P_n 均呈负相关, 其中前 3 种砧木‘绿岭’核桃的 C_i 与 P_n 呈显著负相关 ($r = -0.764^*$, $r = -0.845^*$, $r = -0.820^*$), 核桃砧木‘绿岭’核桃的 C_i 与 P_n 相关性不显著。4 种砧木‘绿岭’核桃的 Φ_{PSII} 与 P_n 均呈负相关, 其中中宁强、中宁异、北加州黑核桃 3 种砧木‘绿岭’核桃的 Φ_{PSII} 与 P_n 均呈极显著负相关 ($r = -0.995^{**}$, $r = -0.968^{**}$, $r = -0.962^{**}$), 核桃砧木‘绿岭’核桃的 Φ_{PSII} 与 P_n 均呈显著负相关 ($r = -0.815^*$); ETR 与 P_n 均呈负相关, 其中中宁强、中宁异砧木‘绿岭’核桃的 ETR 与 P_n 的显著负相关 ($r = -0.795^*$, $r = -0.793^*$), 其他 2 种砧木‘绿岭’核桃的 ETR 与 P_n 相关性不显著。

2.4 不同砧木‘绿岭’核桃光合及叶绿素荧光特性评价

2.4.1 光合及叶绿素荧光因子的主成分选取 以 P_n 、 T_r 、 G_s 、 C_i 、 WUE 、 F_o 、 F_m 、 F_v/F_m 、 Φ_{PSII} 、 ETR 等 10 个指标进行主成分分析, 结果见表 4、表 5。共选出 2 个特征值 >1 的主成分因子, 第 1 主成分因子的方差贡献率为 72.38%, P_n 、 T_r 、 G_s 、 C_i 、 WUE 、 F_o 、 F_m 、 ETR 在该主成分载荷较高; 第 2 主成分因子的方差贡献率为 18.99%, 包含了 F_v/F_m 、 Φ_{PSII} 的信息。2 个主成分的累积贡献率为 91.37%, 可以全面反应不同砧木‘绿岭’核桃的光合荧光特性。

2.4.2 函数的建立和分析 将各主成分因子载荷转换成规格化的特征向量, 得出 2 个反应光合荧光特征的主成分表达式:

$$Y_1 = 0.368X_1 - 0.322X_2 - 0.302X_3 - 0.324X_4 + 0.350X_5 + 0.366X_6 + 0.349X_7 + 0.249X_8 + 0.185X_9 - 0.302X_{10} \quad (1)$$

$$Y_2 = 0.105X_1 + 0.022X_2 - 0.265X_3 - 0.189X_4 + 0.071X_5 + 0.056X_6 - 0.209X_7 - 0.531X_8 + 0.611X_9 + 0.418X_{10} \quad (2)$$

式中, X_1 、 X_2 、 X_3 、 X_4 、 X_5 、 X_6 、 X_7 、 X_8 、 X_9 、 X_{10} 分别代表 P_n 、 T_r 、 G_s 、 C_i 、 WUE 、 F_o 、 F_m 、 F_v/F_m 、 Φ_{PSII} 、 ETR 。

对于综合因子 Y_1 , 其 X_1 、 X_2 、 X_3 、 X_4 、 X_5 、 X_6 、 X_7 、 X_{10} 的系数较大, 所以, Y_1 是 P_n 、 T_r 、 G_s 、 C_i 、 WUE 、 F_o 、 F_m 、 ETR 这 8 个指标的综合反应, 因为已有 72.38% 的把握用 Y_1 来综合评价各砧木‘绿岭’核桃的光合荧光特征, 所以这 8 个指标是反映各砧木‘绿岭’核桃的光合荧光特征的主要指标。对于综合因子 Y_2 , 其 X_8 、 X_9 的系数较大, 即综合因子 Y_2 主要由 F_v/F_m 、 Φ_{PSII} 来确定, 综合反映了各砧木‘绿岭’核桃的 F_v/F_m 、 Φ_{PSII} 的情况, 说明这 2 个指标对光合荧光特性也有重要影响。

2.4.3 光合及叶绿素荧光特性评价 将4种砧木‘绿岭’核桃各指标的标准化值代入表达式,以各主成分的方差贡献率为权数,对2个主成分加权求和,

得到各品种‘绿岭’核桃的综合评价值(表6)。不同砧木‘绿岭’核桃光合荧光水平综合排名依次为核桃>中宁强>中宁异>北加州黑核桃。

表2 不同砧木‘绿岭’核桃叶绿素荧光参数日平均值

Table 2 Mean values of diurnal chlorophyll fluorescence parameters of ‘Lyuling’ walnut grafted onto different rootstocks

| 品种 | 初始荧光 F_o | 最大荧光 F_m | 最大光化学量子产量 F_v/F_m | PSⅡ电子传递量子产量 $\Phi_{PS\text{II}}$ | 电子传递速率 ETR |
|--------|---------------|----------------|------------------------|-------------------------------------|---------------|
| 中宁强 | 91.01±8.91 | 570.01±66.1aA | 0.83±0.01a | 0.56±0.17 | 1.98±0.54 |
| 中宁异 | 92.79±11.15 | 526.91±60.6bAB | 0.83±0.02a | 0.53±0.18 | 2.04±0.49 |
| 北加州黑核桃 | 93.85±9.91 | 497.32±52.43bB | 0.81±0.02b | 0.57±0.14 | 2.14±0.48 |
| 核桃 | 87.7±6.04 | 572.79±56.74aA | 0.83±0.01a | 0.58±0.17 | 2.17±0.44 |

表3 P_n 与其他光合及叶绿素荧光参数的相关系数Table 3 The correlation coefficients of P_n and other photosynthetic and chlorophyll fluorescence parameters

| 因子 | 品种 | | | |
|----------------------|----------|----------|----------|---------|
| | 中宁强 | 中宁异 | 北加州黑核桃 | 核桃 |
| T_r | 0.832* | 0.762* | 0.856* | 0.772* |
| G_s | 0.779* | 0.744 | 0.862* | 0.938** |
| C_i | -0.764* | -0.845* | -0.820* | -0.573 |
| WUE | 0.316 | 0.161 | -0.365 | -0.669 |
| F_o | -0.085 | -0.115 | 0.320 | 0.244 |
| F_m | -0.495 | -0.364 | -0.163 | -0.218 |
| F_v/F_m | -0.523 | -0.267 | -0.524 | -0.447 |
| $\Phi_{PS\text{II}}$ | -0.995** | -0.968** | -0.962** | -0.815* |
| ETR | -0.795* | -0.793* | -0.639 | -0.134 |

注: * 表示相关性达到0.05水平, ** 表示相关性达到0.01水平。

表4 各主成分因子的特征值、方差贡献率

Table 4 Eigenvalues and proportions of the components

| 主成分因子 | 特征值 | 方差贡献率/% | 累计贡献率/% |
|-------|-------|---------|---------|
| 1 | 7.238 | 72.384 | 72.384 |
| 2 | 1.899 | 18.990 | 91.374 |

表5 主成分因子载荷矩阵

Table 5 Component matrixes

| 因子 | Y_1 | Y_2 |
|----------------------|--------|--------|
| P_n | 0.989 | 0.145 |
| T_r | -0.866 | 0.030 |
| G_s | -0.812 | -0.365 |
| C_i | -0.871 | -0.261 |
| WUE | 0.943 | 0.098 |
| F_o | 0.984 | 0.078 |
| F_m | 0.938 | -0.288 |
| F_v/F_m | 0.670 | -0.732 |
| $\Phi_{PS\text{II}}$ | 0.498 | 0.842 |
| ETR | -0.811 | 0.577 |

3 结论与讨论

果树砧木对接穗品种光合能力有较强的影响^[6]。张建光^[7]研究发现苹果品种乔纳金以嫁接在M26上的光合效率较高,而嫁接在Bud9砧木上的

表6 各处理的主成分因子得分及光合荧光综合得分

Table 6 Principal component factor scores and photosynthesis and chlorophyll fluorescence comprehensive scores

| 品种 | 主成分因子得分 | | 综合得分 | 综合排名 |
|--------|---------|-------|-------|------|
| | Y_1 | Y_2 | | |
| 中宁强 | 1.04 | -0.77 | 0.66 | 2 |
| 中宁异 | -1.61 | -1.50 | -1.59 | 3 |
| 北加州黑核桃 | -2.70 | 1.51 | -1.83 | 4 |
| 核桃 | 3.28 | 0.75 | 2.75 | 1 |

较低,表现出不同砧木种类对接穗光合作用有明显影响。刘凤芹^[8]研究发现不同砧穗组合间南果梨叶片的气孔导度、胞间CO₂浓度都达到显著差异。赵红军^[9]等研究发现,用黑核桃做砧木嫁接‘香玲’核桃后其叶片最大光合速率显著高于本砧。本试验中,4种砧木对‘绿岭’核桃的光合特性具有显著的影响,不同砧木‘绿岭’核桃叶片的净光合速率、水分利用率的日均值有极显著差异,从大到小依次排序均为核桃>中宁强>北加州黑核桃>中宁异,气孔导度的日均值前三者没有显著差异,均显著大于中宁异,胞间CO₂浓度无显著差异。一般说来,接穗能够主导嫁接植株的光合特性,但在有些情况下,砧木也能在一定程度上施加影响。本试验中可能是由于砧木对接穗的影响造成了接穗叶片上的差异,进而影响叶片的光合作用,这与孟炳南^[10]的研究结果相似。

不同核桃砧木对接穗品种的叶绿素荧光参数也有一定影响,前人对此研究较少。 F_m 反映的是通过PSⅡ的电子传递情况。 F_m 的数值越大,表明其本该去向光化学反应的能量越多,即其吸收光能的潜力越大。本试验中,不同砧木对‘绿岭’核桃的 F_m 有显著影响,与核桃、中宁强砧木相比,中宁异、北加州黑核桃砧木均降低了‘绿岭’核桃叶片的 F_m 值,其叶片吸收光能的潜力低于核桃、中宁强砧木,其日均值从大到小依次排序均为核桃>中宁强>中宁异>北加州黑核桃。 F_v/F_m 表示光系统PSⅡ光化学效率的大小,同一物种在正常的生长条件下具有一

定的稳定性^[11]。本试验中核桃、中宁强、中宁异的 F_v/F_m 日均值均为 0.83, 显著高于北加州黑核桃, 表明与北加州黑核桃砧木相比, 这 3 种砧木能显著提高绿岭核桃的 PSII 原初光能转化效率, 而 4 种砧木对‘绿岭’核桃叶片的 F_v 、 Φ_{PSII} 、 ETR 无显著影响。

叶绿素荧光特性与光合作用密切相关, 与植物叶片的气体交换指标相比, 叶绿素荧光参数更能反映植物对光能的吸收、传递和转换等的‘内在性’特点^[12]。本试验中, 4 种砧木‘绿岭’核桃的 F_m 和 P_n 由大到小均是核桃>中宁强>北加州黑核桃>中宁异, 这可能是由于植物吸收光能的潜力与实际的净光合速率间有一定的相关性, 但从相关分析看二者之间相关性并不显著。 F_v/F_m 作为光抑制的指标, 具有快速、灵敏等特性^[13-15]。4 种砧木‘绿岭’核桃随着光照强度的增加, F_v/F_m 明显降低, 数值在 0.8 以下, 说明光抑制的存在。 F_v/F_m 的日变化与净光合速率的日变化趋势大体相反, 二者呈负相关, 这与辛洪河^[16]的研究结果一致。4 个砧木‘绿岭’核桃的 Φ_{PSII} 与 P_n 均呈极显著负相关, 这与李志军^[17]的研究结果相似, 但与韩瑞宏^[18]等的研究结果不一致。因此, 对于净光合速率与光系统 II 活性的内在关系及其作用机理还有待进一步研究。

通过主成分分析的方法, 综合评价了 4 种砧木‘绿岭’核桃叶片的光合荧光特性, 其综合评价值核桃最高, 中宁强次之, 中宁异再次, 北加州黑核桃最次。可见, 从光合及叶绿素荧光特性方面来看, 核桃作为‘绿岭’核桃的砧木优于其他 3 个品种, 是适合‘绿岭’核桃的优良砧木, 但仍需进一步考察其生长量、结果情况、抗性等因子, 以选择出具有生产应用价值的适合‘绿岭’核桃的优良砧木。

参考文献:

- [1] 郁荣庭, 张毅萍. 中国果树志·核桃卷 [M]. 北京: 中国林业出版社, 1995.
- [2] MCGRANAHAN, CHARLES L, WESLEY H, et al. United States Plant Patent ;US PP21. 179 P3[P]. 2010-03-08.
- [3] 介绍两个核桃砧木品种 [J]. 乡村科技, 2013(5): 8.
- [4] 苏彦萍, 任俊杰, 齐国辉, 等. 核桃砧木评价与应用研究进展 [J]. 河北林果研究, 2014, 29(2): 154-159.
- [5] 李保国, 郭素萍, 齐国辉, 等. 薄皮核桃新品种‘绿岭’ [J]. 园艺学报, 2007, 34(1): 261.
- [6] 赵登超, 侯立群, 韩传明, 等. 我国核桃光合作用研究进展 [J]. 山东林业科技, 2011(4): 107-110.
- [7] 张建光, 刘玉芳, 施瑞德, 等. 不同砧木上苹果品种光合特性比较研究 [J]. 河北农业大学学报, 2004, 27(5): 31-33.
ZHANG J G, LIU Y F, SHI R D, et al. Comparative study on photosynthetic performance of several apple cultivars on different rootstocks [J]. Journal of Agricultural University of Hebei,
- [8] 2004, 27(5): 31-33. (in Chinese)
- [9] 刘凤芹, 王春枝, 刘凤杰, 等. 不同砧穗组合对南果梨光合特性的影响 [J]. 安徽农业科学, 2010, 38(31): 17373-17374.
- [10] 赵红军, 魏海蓉, 姜涛, 等. 黑核桃砧和本砧香铃核桃的光合特性初探 [J]. 山东农业科学, 2007(3): 53-55.
- [11] 孟炳南, 张俊佩, 裴东, 等. 不同砧木对核桃光合特性的影响 [J]. 经济林研究, 2013, 31(2): 32-36.
- [12] 张培, 郭俊杰, 茆红辉, 等. 西南桦 24 个无性系的幼苗叶绿素荧光特性 [J]. 西北林学院学报, 2016, 31(2): 126-129.
ZHANG P, GUO J J, CHEN H H, et al. Chlorophyll fluorescent characteristics of twenty-four betula alnoides clones [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2016, 31(2): 126-129. (in Chinese)
- [13] 白杰, 潘存德, 胡安鸿, 等. 新疆 6 个核桃品种叶绿素荧光特征比较 [J]. 西北林学院学报, 2010, 25(6): 13-18.
BAI J, PAN C D, HU A H, et al. Comparison on chlorophyll fluorescence characters of six walnut varieties in Xinjiang [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2010, 25(6): 13-18. (in Chinese)
- [14] 徐德聪, 吕芳德, 刘小阳, 等. 不同品种美国山核桃叶绿素荧光参数日变化的研究 [J]. 激光生物学报, 2007, 16(3): 259-265.
XU D C, LV F D, LIU X Y. Studies on the diurnal variation of chlorophyll fluorescence parameters of different pecan varieties [J]. Acta Laser Biology Sinica, 2007, 16(3): 259-265. (in Chinese)
- [15] 徐崇志, 全绍文, 朱玲, 等. 不同核桃品种叶绿素荧光动力学参数比较研究 [J]. 中国农学通报, 2015, 31(7): 6-12.
XU C Z, QUAN S W, ZHU L S. Studies on the diurnal variation of chlorophyll fluorescence parameters in different walnut cultivars [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2015, 31(7): 6-12. (in Chinese)
- [16] 李美美, 赵建建, 张玲. 重回缩与拉枝对成龄‘绿岭’核桃净光合速率和叶绿素荧光参数的影响 [J]. 西北林学院学报, 2014, 30(5): 42-46.
- [17] LI M M, ZHAO J J, ZHANG L. Effects of heavy cutting-back and bending branch on net photosynthetic rate and chlorophyll fluorescence parameters of adult walnut cultivar ‘lvling’ [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2014, 30(5): 42-46. (in Chinese)
- [18] 辛洪河, 杨俊明, 曹书敏, 等. 早实核桃田间光合荧光特性的研究 [J]. 经济林研究, 2011, 29(2): 72-77.
- [19] 李志军, 罗青红, 伍维模, 等. 干旱胁迫对胡杨和灰叶胡杨光合作用及叶绿素荧光特性的影响 [J]. 干旱区研究, 2009, 26(1): 45-52.
LI Z J, LUO Q H, WU W M, et al. Comparative study of photosynthetic and chlorophyll fluorescence characteristics of *Populus euphratica* and *Populus pruinosa* [J]. Arid Zone Research, 2009, 26(1): 45-52. (in Chinese)
- [20] 韩瑞宏, 卢欣石, 高桂娟, 等. 紫花苜蓿对干旱胁迫的光合生理响应 [J]. 生态学报, 2007, 27(12): 5229-5237.
HAN R H, LU X S, GAO G J, et al. Photosynthetic physiological response of a lfa lfa (*Medicago sativa*) to drought stress [J]. Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(12): 5229-5237. (in Chinese)