

# 黑果枸杞叶绿素荧光参数日变化研究

乔梅梅<sup>1</sup>, 刘翔<sup>1</sup>, 罗龙<sup>2</sup>, 吕国华<sup>1</sup>

(1. 石河子大学农学院, 新疆 石河子 832000; 2. 北屯市德丰生态林业发展有限公司, 新疆 北屯 836000)

**摘要:**以黑果枸杞为试材,利用叶绿素调制成像系统研究了野生与人工驯化种植以及设施垄栽、平畦和沟栽种植等不同种植处理与不同环境条件对黑果枸杞叶绿素荧光参数的影响。结果表明:各种种植处理下黑果枸杞的最大荧光( $F_m$ )、可变荧光( $F_v$ )、最大光化学效率( $F_v/F_m$ )、潜在光化学活性( $F_v/F_o$ )、实际光化学效率( $Y_{II}$ )和电子传递速率(ETR)日变化均呈近‘V’型;露地种植和设施垄栽种植  $F_v/F_m$  和  $Y_{II}$  显著高于设施沟栽和平畦种植,但在非调节性能量耗散( $Y_{(NO)}$ )上显著低于沟栽和平畦种植;黑果枸杞  $F_v/F_m$ 、 $Y_{II}$ 、ETR 和光化学猝灭系数( $qP$ )互为极显著正相关,但与调节性能量耗散( $Y_{(NPQ)}$ )和  $Y_{(NO)}$  极显著负相关;黑果枸杞叶绿素荧光参数与温度和光量子环境因子相关性较低,建议选择垄栽种植。

**关键词:**野生;人工驯化;黑果枸杞;叶绿素荧光参数;日变化均值;相关性

**中图分类号:**S 567.1<sup>+</sup>9 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2017)12-0167-07

黑果枸杞(*Lycium ruthenicum* Murr.)属茄科(Solanaceae)枸杞属(*Lycium* L.)多年生灌木<sup>[1]</sup>。具有药食同源型滋补功能,能滋补肝肾,益精明目,还可降低胆固醇,兴奋大脑神经,增强免疫功能,防治癌症,有抗衰老和美容的作用。经科学测定,与红果枸杞相比,黑果枸杞所含维生素和脂肪含量以及黑果枸杞中的铁、钙、镁、锌、铜的含量都较多,同时钾、锰的含量远低于其平均值。除此之外,黑果枸杞还是优质的天然补钴剂和天然补镍剂<sup>[2-3]</sup>。

目前,对黑果枸杞的研究主要集中在果实多糖和花青素含量测定<sup>[4-8]</sup>、盐胁迫对种子萌发的影响及种子萌发的耐盐性<sup>[9-11]</sup>、育苗技术<sup>[12-14]</sup>等方面。而对于黑果枸杞荧光特性研究以及黑果枸杞露地与设施高效种植技术尚鲜见报道。该研究利用叶绿素荧光技术对野生及人工驯化黑果枸杞荧光日变化进行分

析,探究黑果枸杞叶片荧光参数的日变化规律及其与光照强度、温度等影响因子间的关系,为黑果枸杞高效种植提供参考依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试验于2016年8月在北屯市西区生态园选取露地野生种植和露地人工驯化种植(2015年5月定植)及在186团设施农业基地选取设施种植(2016年4月定植)的黑果枸杞一年生枝上的完全展开功能叶作为供试材料。

### 1.2 试验方法

试验设置5个种植处理。露地野生种植(Wild planting in outdoor)、露地人工驯化种植(Domestication planting in outdoor)、设施垄栽种植(Ridge planting in greenhouse)、设施平畦种植(Flat beds in greenhouse)和设施沟栽种植(Furrow planting in greenhouse),以缩写Ow、Od、Grp、Gfb和Gfp表示。野生种植为自然生长,其它种植处理均采用1.2 m行距,0.5 m株距,一穴一株进行种植,生长条件模拟野生生长条件。

### 1.3 项目测定

采用调制叶绿素荧光成像系统 Imaging-Pam mini(Walz,德国)测定叶绿素荧光参数。每个种植处

**第一作者简介:**乔梅梅(1989-),女,硕士研究生,研究方向为设施工程与技术。E-mail:136390820@qq.com.

**责任作者:**吕国华(1963-),男,本科,教授,研究方向为设施园艺与生物种苗。E-mail:shzu\_lgh@sina.com.

**基金项目:**新疆生产建设兵团社会发展科技攻关与成果转化计划资助项目(2015AD017);新疆生产建设兵团师域发展创新支持计划资助项目(2015AF024)。

**收稿日期:**2016-12-05

选取长势一致的植株 3 株,选取离地面 60 cm 处的 3 片完全展开的功能叶,每个叶片选取 3 个感兴趣区域 AOI(area of interest),于晴天 09:00—19:00 无风环境条件下测定叶绿素荧光参数的日变化,每隔 2 h 测定 1 次。利用 CIRAS-3 型光合测定系统(PP-System,美国)测定环境因素数据。测定前,将叶片在黑暗条件下处理约 20 min,测定固定荧光( $F_o$ )、最大荧光( $F_m$ )和最大光化学效率( $F_v/F_m$ ),随后打开光化光诱导荧光动力学曲线测定程序,获取相关参数光下最小荧光( $F_o'$ )、最大荧光( $F_m'$ )、实际光化学效率( $Y_{II}$ )、调节性能量耗散( $Y_{NPQ}$ )、非调节性能量耗散( $Y_{NO}$ )、光化学猝灭系数( $qP$ )、非光化学猝灭系数( $NPQ$ )和 PSII 非循环光合电子传递速率(ETR)。PSII 潜在光化学活性( $F_v/F_o$ )由  $(F_m - F_o)/F_o$  得出。

表 1

环境因子日变化

Table 1

Diurnal change in climatic factors

| 时刻<br>Time            | 室外 Outside   |             | 室内 Inside  |             |
|-----------------------|--|-------------|--|-------------|
|                       | 光量子通量密度 PArE<br>/( $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) | 温度 T<br>/°C | 光量子通量密度 PArE<br>/( $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) | 温度 T<br>/°C |
| 09:00                 | 1 085±29   | 27.35±0.58  | 127±13   | 20.80±0.26  |
| 11:00                 | 1 330±84   | 31.98±0.47  | 740±27   | 33.33±0.17  |
| 13:00                 | 1 633±57   | 36.43±0.24  | 1 056±75   | 40.48±0.05  |
| 15:00                 | 1 613±43   | 34.20±0.50  | 1 189±32   | 44.03±0.24  |
| 17:00                 | 1 362±26   | 35.97±0.40  | 920±85   | 40.87±0.51  |
| 19:00                 | 1 097±14   | 33.20±0.29  | 365±82   | 38.06±0.05  |
| 日均值 Daily mean values | 1 369±41   | 33.53±0.50  | 748±67   | 36.34±1.30  |

## 2.2 黑果枸杞各叶绿素参数日变化

### 2.2.1 固定荧光( $F_o$ )、最大荧光( $F_m$ )和可变荧光( $F_v$ )日变化

$F_o$  反映了植物体色素含量的多少。由图 1-A 可知,除设施沟栽种植外,其它 4 种处理下,随着时间的推移,野生种植、设施沟栽种植  $F_o$  表现出相同的变化趋势。野生种植在 13:00 降到谷值,而设施沟栽种植则在 15:00 降到谷值;人工驯化种植、设施平畦种植和垄栽种植则呈先上升后下降的趋势,人工驯化种植在 15:00 达峰值,设施平畦种植和垄栽种植则在 13:00 达峰值,各种植处理出现峰值或谷值时间不同,与光照强度和温度有密切关系。 $F_m$  可反映 PSII 的电子传递情况。由图 1-B 可以看出,09:00 黑果枸杞 PSII 反应中心未受损伤的情况下,各种植处理下  $F_m$  均为午间低于早晨和傍晚,室外种植  $F_m$  在 13:00 降到谷值,而室内种植在 15:00 降到谷值,并且在 17:00 仍较低。由此可推断,高温胁迫和光胁迫均影响黑果枸杞 PSII 的电子传递,造成 PSII 电子传递减弱,降低黑果枸杞光能转化

## 1.4 数据分析

采用 Excel 和 SPSS 19.0 软件处理数据并进行差异显著性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 环境因子日变化

表 1 表明,8 月光量子通量密度与温度随时间的推移均表现为先升后降的趋势,只有室外温度在 15:00 稍有降低,而设施内温度在此刻达到最大值,为 44.03 °C,温度变化日均值分别为 33.53、36.34 °C。总体来说,室内温度高于室外温度,但光量子通量密度小于室外。光量子通量密度最大值分别为 1 633、1 189  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,日均值分别为 1 369、748  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。由于此环境条件各项值均高,适合黑果枸杞光合生理测定和比较。

效率。 $F_v$  反映了质体醌(QA)的还原情况。由图 1-C 可知,各种植处理均表现与  $F_m$  相同的变化趋势。野生种植与人工驯化种植在 13:00 降到谷值,而设施垄栽种植和高州沟栽种植推迟到 15:00,设施平畦种植则在 17:00 降到谷值,这一现象说明高温仍可造成光抑制,随着光照强度增大和温度升高,QA 由还原态到氧化态数量减少,PSII 反应中心处于“关闭”状态,电子传递活性减弱。

### 2.2.2 PSII 最大光化学效率( $F_v/F_m$ )与潜在光化学活性( $F_v/F_o$ )日变化

$F_v/F_m$  反映了 PSII 反应中心的原初光能转换效率,代表光合机构把吸收的光能用于化学反应的最大效率, $F_v/F_m$  变化常被用来作为研究光抑制的指标。由图 2-A 可知,各种植处理在 09:00  $F_v/F_m$  均较高,后都随着光照强度和温度的增加, $F_v/F_m$  略有升高后急剧下降,且降幅的大小与温度的高低和光照的强弱呈相同变化规律,即“温度越高,光强越高,降幅越大”,日变化曲线呈“V”型,以设施平畦种植和沟栽种植下降最为明显。野生种

植和人工驯化种植分别在 15:00 和 13:00 降到谷值,降幅分别为 10.0% 和 24.4%;设施垄栽种植、沟栽种植和平畦种植分别在 15:00 和 17:00 降到谷值,降幅分别为 16.5%、57.6% 和 75.1%,降到谷值后,各种种植处理  $F_v/F_m$  逐渐恢复,19:00 各种种植处理分别恢复到 09:00 的 92.2%、66.5%、85.7%、97.4% 和 99.9%,其中沟栽种植恢复最慢。由图 2-B 可知, $F_v/F_o$  变化规律与  $F_v/F_m$  大致相同。即呈先下降后

上升的趋势,其中野生种植和设施垄栽种植表现更为相近,在 15:00 降到谷值,人工驯化种植在 13:00 降到谷值,而设施沟栽种植和平畦种植  $F_v/F_o$  急剧下降,分别在 15:00 和 17:00 降到谷值,所有种植处理均在 19:00 恢复近初始值,但设施沟栽种植恢复最慢,仅恢复到初始值的 39.3%。 $F_v/F_o$  的下降,表明高温和高光胁迫均会造成 PSII 反应中心活性下降。

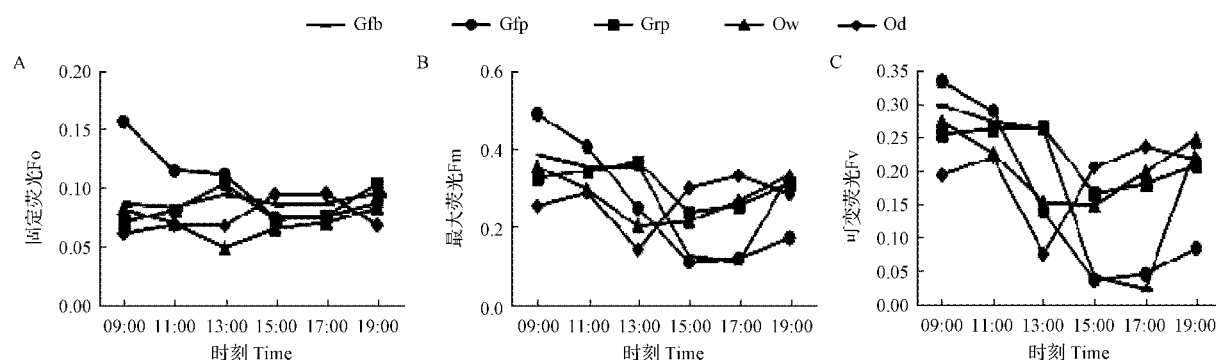


图 1 黑果枸杞固定荧光( $F_o$ )、最大荧光( $F_m$ )和可变荧光( $F_v$ )日变化

Fig. 1 Diurnal changes in initial fluorescence ( $F_o$ ), maximal fluorescence ( $F_m$ ) and variable fluorescence ( $F_v$ ) in *Lycium ruthenicum*

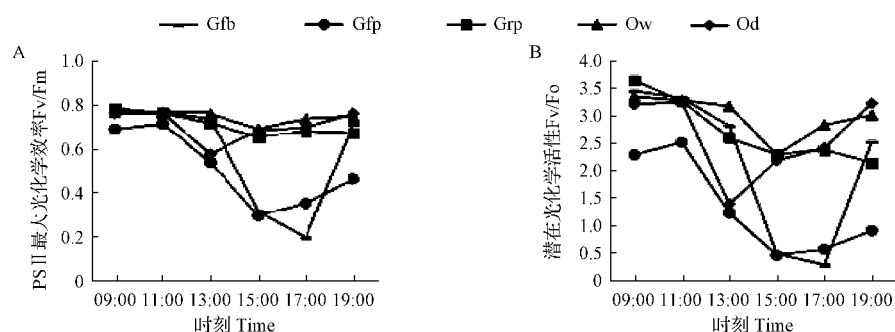


图 2 黑果枸杞 PSII 最大光化学效率( $F_v/F_m$ )与潜在光化学活性( $F_v/F_o$ )日变化

Fig. 2 Diurnal changes of the maximal PSII photochemical efficiency ( $F_v/F_m$ ) and the potential PSII photochemical activity ( $F_v/F_o$ ) in *Lycium ruthenicum*

2.2.3 调节性能量耗散量子产量  $Y_{(NPQ)}$  与非调节性能量耗散量子产量  $Y_{(NO)}$  日变化  $Y_{(NPQ)}$  是光保护的重要指标。由图 3-A 可以看出,除设施沟栽种植以外,其它种植处理在 13:00—17:00  $Y_{(NPQ)}$  均高于 09:00,表明黑果枸杞在应对中午高温和高光时,通过将过剩光能耗散为热的调节方式来保护自身光合机构免受损伤的能力较强,且温度越高  $Y_{(NPQ)}$  越大。 $Y_{(NO)}$  是光损伤的重要指标。其值较高,则表明植物不能将

植物吸收的光能完全消耗掉。由图 3-B 可知,野生种植与人工驯化种植在 13:00 达最大值,分别为 0.242 8 和 0.318 6;而设施垄栽种植和沟栽种植在 15:00 达峰值,分别为 0.370 4 和 0.637 0,设施平畦种植在 17:00 达峰值为 0.612 8。设施内种植由于 13:00—17:00 室内温度较高,高温使黑果枸杞不能将吸收的光能完全消耗掉,过剩的光能使光合系统造成损伤;室外种植则不存在这种情况。

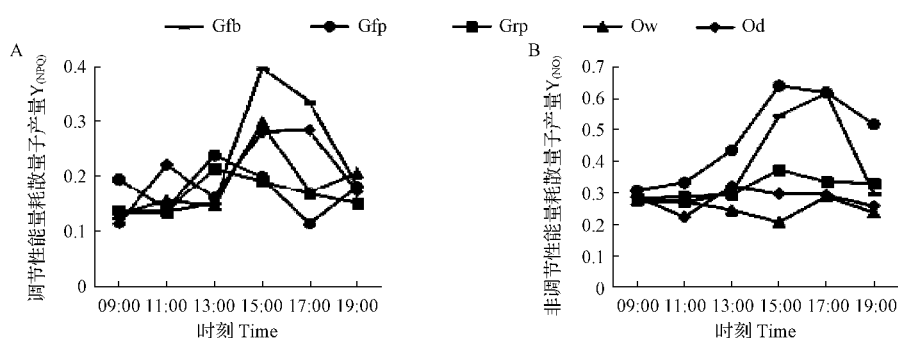


图3 调节性能量耗散量子产量  $Y_{(NPQ)}$  与非调节性能量耗散量子产量  $Y_{(NO)}$  日变化

Fig. 3 Diurnal changes of quantum yield of conditioning energy dissipation ( $Y_{(NPQ)}$ ) and quantum yield of non-conditioning energy dissipation ( $Y_{(NO)}$ )

2.2.4 光化学猝灭系数(qP)和非光化学猝灭系数(NPQ)日变化 由图4-A可知,09:00各种处理qP差异不显著且qP较高,说明在09:00黑果枸杞具有较强的电子传递能力和光合氧化能力,有利于光合作用的进行。随着时间的推移,露地种植表现出相同的变化,即先上升后下降,野生种植qP在15:00达到峰值,露地人工驯化种植在13:00达峰值;而设

施内种植在13:00—17:00急剧下降而后上升,最后恢复至近初始值。由此可推断,高温迫使qP降低,野生种植较人工驯化种植有较高耐受性,对高温适应能力更强。NPQ反映了PSII天线色素吸收的光能不能用于光合电子传递,而是以热的形式耗散掉的光能部分。由图4-B可知,野生种植下的黑果枸杞在最高温时NPQ最大,其它4个处理则相差不大。

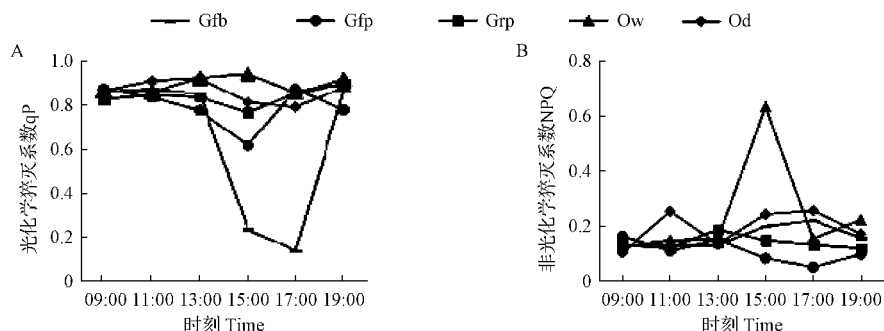


图4 光化学猝灭系数(qP)和非光化学猝灭系数(NPQ)日变化

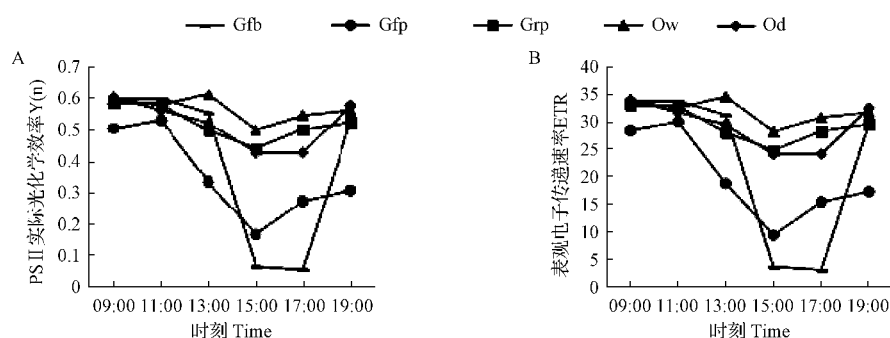
Fig. 4 Diurnal changes of photo-chemical quenching coefficient (qP) and non-photochemical quenching coefficient (NPQ)

2.2.5 PSII实际光化学效率( $Y_{II}$ )和非循环光合电子传递速率(ETR)日变化  $Y_{II}$ 表示在PSII反应中心有部分关闭情况下的实际原初光能捕获效率,反映植物叶片在光下用于电子传递的能量占吸收光能的比例,PSII反应中心的开放程度越大,说明电子传递活性与传递速率越大。ETR是光合机构吸收光能发生电荷分离产生电子并沿电子传递链向下传递的速率,反映实际光强条件下的表观电子传递效率。由图5可知, $Y_{II}$ 和ETR各种处理日变化极相似,野生种植表现出先上升后急剧下降最后恢复至初始值的近“M”型变化趋势,在13:00出现峰值,而其它种植处理则表现出先降低后升高的“V”型变化。

## 2.3 叶绿素荧光参数日变化均值

由表2可知,野生种植、人工驯化种植和设施垄栽种植  $F_v/F_m$ 、 $Y_{II}$  和 ETR 差异不显著,但显著高于设施平畦种植和设施沟栽种植;野生种植与设施垄栽种植  $F_v/F_o$  无显著差异,但与人工驯化种植、设施平畦种植和设施沟栽种植存在显著差异,设施垄栽种植  $F_v/F_o$  与设施平畦种植和设施沟栽种植存在显著差异。

由表3可知,设施沟栽种植  $Y_{(NPQ)}$  和 NPQ 日变化均值较其它种植处理低,但  $Y_{(NO)}$  较大,与其它种植处理存在显著性差异,说明设施沟栽种植较其它种植处理耗散过剩光能的能力较弱,光合机构易受



注:A. PSII实际光化学效率( $Y_{II}$ );B. 表观电子传递速率。

Note: A.  $Y_{II}$ ; B. ETR.

图5 PSII实际光化学效率( $Y_{II}$ )和表观电子传递速率(ETR)日变化

Fig. 5 Diurnal changes of actual photochemical efficiency of PSII( $Y_{II}$ ) and apparent electron transport rate (ETR)

表2 光化学效率日变化均值

Table 2 Mean values of daily change of photo-chemical efficiency

| 处理<br>Treatment | 最大光化学效率<br>Fv/Fm | 潜在光化学活性<br>Fv/Fo  | 实际光化学效率<br>$Y_{II}$ | 表观电子传递速率<br>ETR   |
|-----------------|------------------|-------------------|---------------------|-------------------|
| Ow              | $0.75 \pm 0.00a$ | $3.03 \pm 0.07a$  | $0.57 \pm 0.01a$    | $31.88 \pm 0.31a$ |
| Od              | $0.70 \pm 0.01a$ | $2.53 \pm 0.12bc$ | $0.51 \pm 0.01a$    | $28.86 \pm 0.64a$ |
| Grp             | $0.72 \pm 0.01a$ | $2.76 \pm 0.12ab$ | $0.52 \pm 0.01a$    | $29.34 \pm 0.78a$ |
| Gfb             | $0.59 \pm 0.03b$ | $2.17 \pm 0.18c$  | $0.41 \pm 0.03b$    | $22.94 \pm 1.88b$ |
| Gfp             | $0.50 \pm 0.02c$ | $1.27 \pm 0.13d$  | $0.34 \pm 0.052c$   | $19.15 \pm 1.25c$ |

注:数据表示平均值±标准误差,小写字母表示同一指标组间差异显著( $P < 0.05$ ),下同。

Note: The data represent mean±standard error. The lowercase letters indicate significant differences between groups of same index ( $P < 0.05$ ), the same below.

表3 能量耗散和猝灭系数日变化均值

Table 3 Mean values of daily change of quantum yield of energy dissipation and quenching coefficient

| 处理<br>Treatment | 调节性能量耗散量子产量<br>$Y_{NPQ}$ | 非调节性能量耗散量子产量<br>$Y_{NO}$ | 非光化学猝灭系数<br>NPQ   | 光化学猝灭系数<br>qP    |
|-----------------|--------------------------|--------------------------|-------------------|------------------|
| Ow              | $0.18 \pm 0.01ab$        | $0.25 \pm 0.01d$         | $0.23 \pm 0.03a$  | $0.89 \pm 0.01a$ |
| Od              | $0.21 \pm 0.01a$         | $0.28 \pm 0.01cd$        | $0.19 \pm 0.01ab$ | $0.86 \pm 0.01a$ |
| Grp             | $0.17 \pm 0.01ab$        | $0.31 \pm 0.01c$         | $0.14 \pm 0.01cd$ | $0.83 \pm 0.01b$ |
| Gfb             | $0.22 \pm 0.02a$         | $0.37 \pm 0.02b$         | $0.16 \pm 0.01bc$ | $0.65 \pm 0.05c$ |
| Gfp             | $0.18 \pm 0.01b$         | $0.48 \pm 0.02a$         | $0.10 \pm 0.01d$  | $0.77 \pm 0.03b$ |

损伤。而野生种植下的黑果枸杞 NPQ 和 qP 最高,  $Y_{NO}$  最低,说明野生种植条件下的黑果枸杞在耗散过剩光能,保护自身免受伤害的能力最强。

## 2.4 叶绿素荧光参数与环境因子的相关性分析

2.4.1 叶绿素荧光参数日均值相关性分析 对黑果枸杞各叶绿素荧光参数进行相关性分析(表4)可知, Fo 与 Fm 极显著正相关,与  $Y_{NPQ}$  显著正相关, Fm、Fv/Fo、Fv/Fm、 $Y_{II}$ 、ETR 和 qP 等 6 个荧光参数之间互为极显著正相关; $Y_{NPQ}$  和  $Y_{NO}$  与 Fm、Fv/Fo、Fv/Fm、 $Y_{II}$ 、ETR 和 qP 极显著负相关;NPQ 和  $Y_{NPQ}$  极显著正相关,与  $Y_{NO}$  极显著负相关。

### 2.4.2 黑果枸杞叶绿素荧光参数与温度和光照强

度间相关性分析 由表5相关性分析可知,温度与 Fo、Fm、 $Y_{NPQ}$ 、NPQ 和 qP 等叶绿素荧光参数均正相关不显著,与 Fv/Fm、 $Y_{II}$  和 ETR 负相关不显著;光通量密度与 Fv/Fm 和  $Y_{NO}$  负相关不显著,与其它荧光参数正相关均不显著。总体来说,黑果枸杞叶绿素荧光参数与温度和光通量密度的相关程度较低,均无显著性相关。

## 3 讨论与结论

该研究发现,中午露地人工驯化种植和设施平畦种植 Fo 均表现为先上升后下降的变化,与以往研究<sup>[15-18]</sup>结果一致。可能是高温引起 PSII 反应中心可逆失活和捕光色素蛋白复合物的降解造成的,类囊

表 4

荧光参数日均值相关性分析

Table 4

Correlation analysis of daily average fluorescence parameters

| 参数<br>Parameter    | 固定荧光<br>Fo | 最大荧光<br>Fm | 潜在光化学<br>活性 Fv/Fo | 最大光化学<br>效率 Fv/Fm | 实际光化学<br>效率 Y <sub>II</sub> | 表观电子传递<br>速率 ETR | 调节性能量耗散<br>Y <sub>(NPQ)</sub> | 非调节性能量<br>耗散 Y <sub>(NO)</sub> | 非光化学猝灭<br>系数 NPQ |
|--------------------|------------|------------|-------------------|-------------------|-----------------------------|------------------|-------------------------------|--------------------------------|------------------|
| Fm                 | 0.629**    | 1.000      |                   |                   |                             |                  |                               |                                |                  |
| Fv/Fo              | -0.137*    | 0.662**    | 1.000             |                   |                             |                  |                               |                                |                  |
| Fv/Fm              | -0.046     | 0.701**    | 0.942**           | 1.000             |                             |                  |                               |                                |                  |
| Y <sub>II</sub>    | -0.116     | 0.619**    | 0.906**           | 0.955**           | 1.000                       |                  |                               |                                |                  |
| ETR                | -0.115     | 0.620**    | 0.906**           | 0.955**           | 1.000**                     | 1.000            |                               |                                |                  |
| Y <sub>(NPQ)</sub> | 0.132*     | -0.213**   | -0.406**          | -0.400**          | -0.551**                    | -0.551**         | 1.000                         |                                |                  |
| Y <sub>(NO)</sub>  | 0.054      | -0.605**   | -0.825**          | -0.887**          | -0.845**                    | -0.845**         | 0.019                         | 1.000                          |                  |
| NPQ                | -0.019     | 0.019      | 0.033             | 0.071             | -0.014                      | -0.014           | 0.672**                       | -0.414**                       | 1.000            |
| qP                 | -0.069     | 0.429**    | 0.587**           | 0.741**           | 0.818**                     | 0.818**          | -0.566**                      | -0.616**                       | -0.008           |

注: \* 和 \*\* 表示在 0.05 和 0.01 水平上差异显著。

Note: \* and \*\* indicate significant differences at the 0.05 and 0.01 levels.

表 5

叶绿素荧光参数与温度和光通量密度的相关性分析

Table 5

Correlation analysis of fluorescence parameters and temperature and luminous flux density

| 参数<br>Parameter        | 固定荧光<br>Fo | 最大荧光<br>Fm | 最大光化学<br>效率 Fv/Fm | 实际光化学<br>效率 Y <sub>II</sub> | 表观电子传递<br>速率 ETR | 调节性能量<br>耗散 Y <sub>(NPQ)</sub> | 非调节性能量<br>耗散 Y <sub>(NO)</sub> | 非光化学猝灭<br>系数 NPQ | 光化学猝灭<br>系数 qP |
|------------------------|------------|------------|-------------------|-----------------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------|----------------|
| 温度<br>Temperature      | 0.184      | 0.199      | -0.056            | -0.096                      | -0.094           | 0.167                          | -0.025                         | 0.145            | 0.023          |
| 光通量密度<br>Luminous flux | 0.084      | 0.033      | -0.201            | 0.046                       | 0.067            | 0.059                          | -0.113                         | 0.094            | 0.452          |

体膜结构的改变。而野生种植、设施垄栽种植和设施沟栽种植 Fo 呈“V”型变化,即先下降后上升。可能是在强光和高温胁迫下,黑果枸杞叶片叶黄素循环的非辐射能量耗散增强,遇到强光时黑果枸杞会启动消耗过剩光能保护机制来保护光合机构免遭强光的破坏。说明黑果枸杞在强光和高温时既可通过增加 PSII 系统的热耗散,又可以通过降低 PSII 可逆失活来减轻对自身的伤害。Fv/Fm 和 Fv/Fo 均随着时间推移先下降后上升,在砂仁<sup>[19]</sup>、桃树<sup>[20]</sup>、核桃<sup>[21-22]</sup>等研究均得到了“V”型叶绿素荧光参数日变化,是由于在光强较弱的早晨和傍晚叶片吸收的光能可最大限度地用于光化学反应,但随着光强的增加叶片把光能较多地分配热耗散中。Fv/Fm 下降表明植物在中午强光高温下发生了光抑制,光合活性受到了暂时抑制,但光合器官没有受到损伤,随着光照强度和温度的下降,光合器官功能得到恢复。该试验中增加了设施种植,在 17:00 光照强度下降,温度仍较高,黑果枸杞 PSII 反应中心活性与原初光能转化效率仍较低,PSII 潜在活性仍受到抑制,PSII 电子传递能力仍持续减弱,表明高温也可单独对黑果枸杞造成热胁迫,与以往研究<sup>[23-25]</sup>结果相同。黑果枸杞 Fv/Fm 在中午高温强光作用下下降,后随温度和光照强度下降而回升的现象,是黑果枸杞避免中午高温高光伤害的一种保护自身方式。Fm、Y<sub>II</sub> 和 ETR 也可反映光抑制程度的指标,

Fm、Y<sub>II</sub> 和 ETR 在 13:00—15:00 急剧下降并达最小值,表明在强光高温下实际光化学效率和电子传递速率极低,用于光化学的光能极少。再者,Y<sub>(NPQ)</sub> 和 NPQ 都是光保护的重要指标,15:00 Y<sub>(NPQ)</sub> 和 NPQ 达最高,黑果枸杞以热的形式耗散过多的光能,表明黑果枸杞叶片具有极强的光保护机制。该试验中每种种植处理对强光高温的响应表现存在差异,野生种植、露地人工驯化种植和设施垄栽种植间差异不显著,但其与设施沟栽种植和平畦种植在多数叶绿素荧光参数上存在显著差异,表明设施沟栽种植和平畦种植在高温高光下受到的热胁迫和光抑制较其它组更甚,叶片受损伤更严重。叶绿素荧光参数与温度和光照强度相关性较弱,与邓培雁等<sup>[26]</sup>研究的宝山莖菜和紫花地丁叶绿素荧光参数与温度和光合有效辐射的相关性结果一致。

通过比较研究,野生种植各荧光参数变化较低稳定性好,与人工驯化种植相比对高温有较强的耐受性;设施垄栽种植各项荧光参数更接近室外种植,变化幅度较设施平畦种植和沟栽种植更平稳,因此黑果枸杞种植建议选择垄栽。

#### 参考文献

- [1] 中国植物志编辑委员会. 中国植物志(第 67 卷第一册)[M]. 北京:中国科学出版社,1999.
- [2] 陈海魁,蒲凌奎,曹君迈,等. 黑果枸杞的研究现状及其开发利用[J]. 黑龙江农业科学,2008(5):155-157.
- [3] 甘青梅,骆桂法,李曾衍,等. 藏药黑果枸杞开发利用的研究

- [3] 青海科技,1997,4(1):17-19.
- [4] 汪建红,陈晓琴,张蔚仪.水浸提黑果枸杞果实多糖的前处理研究[J].新疆师范大学学报(自然科学版),2008,27(3):73.
- [5] 任小娜,陈志梅,曾俊,等.黑果枸杞中原花青素提取条件的优化与含量测定[J].食品与发酵工业,2015,41(1):147-150.
- [6] 陈晨,文怀秀,赵晓辉,等.黑果枸杞色素中原花青素含量测定[J].光谱实验室,2011,28(4):1767-1768.
- [7] 张玲艳,王宏权.黑枸杞花青素的提取及其抗氧化活性研究[J].食品工业,2014,35(12):88-90.
- [8] 闫亚美,戴国礼,冉林武,等.不同产地野生黑果枸杞资源果实多酚组成分析[J].中国农业科学,2014,47(22):4540-4550.
- [9] 王恩军,李善家,韩多红,等.中性盐和碱性盐胁迫对黑果枸杞种子萌发及幼苗生长的影响[J].干旱地区农业研究,2014,32(6):64-69.
- [10] 米永伟,陈垣,郭凤霞,等.盐胁迫下黑果枸杞幼苗对外源甜菜碱的生理响应[J].草业科学,2012,29(9):1417-1421.
- [11] 韩多红,李善家,王恩军,等.外源钙对盐胁迫下黑果枸杞种子萌发和幼苗生理特性的影响[J].中国中药杂志,2014,39(1):34-38.
- [12] 刘克彪,李爱德,李发明,等.4种生长调节剂对黑果枸杞嫩枝扦插成苗的影响[J].经济林研究,2014,32(3):100-103.
- [13] 姬孝忠.黑果枸杞育苗繁殖技术[J].中国野生植物资源,2015,34(2):75-77.
- [14] 王建民,刘志虎,冯建森,等.黑果枸杞保护地育苗技术[J].甘肃农业科技,2015(8):90-91.
- [15] 冯涛,刘纪凤.叶绿素荧光分析在研究植物热胁迫中的应用[J].现代农业科技,2009(13):360-368.
- [16] 魏亦农,孔广超,曹连莆.新小黑麦1号光合速率及叶绿素荧光特性的研究[J].麦类作物学报,2002,22(4):91-93.
- [17] DEMMING B, WIINTER K, KRUGER A. Photoinhibition and zeaxanthin formation in intact leaves a possible role of the xanthophyll cycle in the dissipation of excess light energy[J]. Plant Physiology,1987,84(2):218-224.
- [18] KRAUSE G N, WEIS E. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: The basics[J]. Annual Review of Plant Physiology,2003,42(42):313-349.
- [19] 冯志立,冯玉龙,曹坤芳,等.光强对砂仁叶片光合作用光抑制及热耗散的影响[J].植物生态学报,2002,26(1):77-82.
- [20] 贾浩,郝建博,曹洪波,等.遮荫对‘保佳红’桃树叶片快速叶绿素荧光诱导动力学曲线的影响[J].西北植物学报,2015,35(9):1861-1867.
- [21] 许崇志,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.
- [22] 全绍文,曹福军,牛建新,等.新疆早实核桃和晚实核桃叶绿素荧光特征差异比较[J].果树学报,2016,33(7):832-840.
- [23] 王海珍,韩路,徐雅丽,等.胡杨异性叶叶绿素荧光特性对高温的响应[J].生态学报,2011,31(9):2444-2453.
- [24] 高丽红,尚庆茂,马海艳,等.两种不同耐热性菜豆品种在高温胁迫下叶绿素a荧光参数的差异[J].中国农学通报,2004,20(1):173-175.
- [25] 李晓峰,侯瑞贤,朱玉英,等.高温胁迫对大白菜叶绿素荧光特性的影响[J].农业工程学报,2005,6(25):49-54.
- [26] 邓培雁,刘威,秋元凯,等.宝山莖菜和紫花地丁叶绿素荧光参数日变化[J].华南师范大学学报,2009(2):96-99.

## Diurnal Changes in the Chlorophyll Fluorescence of *Lycium ruthenicum*

QIAO Meimei<sup>1</sup>, LIU Xiang<sup>1</sup>, LUO Long<sup>2</sup>, LYU Guohua<sup>1</sup>

(1. College of Agronomy, Shihezi University, Shihezi, Xinjiang 832000; 2. Beitun City Wheelock Ecological Forestry Development Co. Ltd., Beitun, Xinjiang 836000)

**Abstract:** Taking *Lycium ruthenicum* as test material, the objective of this experiment was to compare the chlorophyll fluorescence parameters of wild and cultivated *Lycium ruthenicum*. Chlorophyll fluorescence was measured under different management conditions using a Mini-Imaging-PAM chlorophyll fluorometer. The results showed that maximal fluorescence ( $F_m$ ), variable fluorescence ( $F_v$ ), maximal PSII photochemical efficiency ( $F_v/F_m$ ), potential PSII photochemical activity ( $F_v/F_o$ ), actual PSII photochemical efficiency ( $Y_{(II)}$ ), and apparent electron transport rate (ETR) declined to a minimum each day and then increased, regardless of management practice. The means of  $F_v/F_m$  and  $Y_{(II)}$  were significantly greater in the field treatment and the ridge planting treatment than in the flat bed treatment and the furrow planting treatment. The field treatment and the ridge planting treatment also had the lowest quantum yield of non-regulated non-photochemical energy loss ( $Y_{(NO)}$ ) among the management treatments. The  $F_v/F_m$  ratio,  $Y_{(II)}$ , and ETR were positively correlated with the photochemical quenching coefficient ( $q_P$ ), but significantly negatively correlated with the quantum yield of regulated non-photochemical energy loss ( $Y_{(NPQ)}$ ) and  $Y_{(NO)}$ . Furthermore, the correlations between the chlorophyll fluorescence parameters and management practices were insignificant. In conclusion, farmers are advised to use ridge planting for cultivation of *L. ruthenicum*.

**Keywords:** wild; artificial domestication; *Lycium ruthenicum*; chlorophyll fluorescence parameters; mean values of daily change; correlation