

## 一年生金钗石斛叶绿素荧光特性研究

郑治洪<sup>1</sup>, 刘剑东<sup>2</sup>, 邹芳<sup>3</sup> (1. 贵州省农业科学院作物品种资源研究所, 贵州贵阳 550006; 2. 贵州省亚热带作物研究所, 贵州兴义 562400; 3. 贵州省农业科学院油菜研究所, 贵州贵阳 550008)

**摘要** 以金钗石斛为试验材料, 研究金钗石斛在不同季节的叶绿素荧光参数日变化和不同施肥措施条件下随着季节变化叶绿素荧光参数日均值变化。结果表明, 在春、夏、秋、冬四季金钗石斛叶绿素荧光参数  $F_0$  值呈先升高后下降的趋势,  $F_m$ 、 $F_v/F_m$ 、 $F_v/F_0$  值均呈现先下降后上升的趋势。在不同施肥措施中随着季节变化需肥情况相近, 在氮、磷肥适中高钾的情况下最大荧光值( $F_m$ )、PSII最大光能转化效率( $F_v/F_m$ )和 PSII最大光能转化潜力( $F_v/F_0$ )较高。

**关键词** 金钗石斛; 叶绿素; 荧光特性; 日变化; 荧光参数; 施肥措施

**中图分类号** S567.23<sup>+</sup>9 **文献标识码** A

**文章编号** 0517-6611(2022)06-0143-06

**doi**: 10.3969/j.issn.0517-6611.2022.06.034



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

### Study on Chlorophyll Fluorescence Characteristics of One-year-old *Dendrobium nobile*

ZHENG Zhi-hong<sup>1</sup>, LIU Jian-dong<sup>2</sup>, ZOU Fang<sup>3</sup> (1. Institute of Crop Germplasm Resources, Guizhou Academy of Agricultural Sciences, Guiyang, Guizhou 550006; 2. Guizhou Subtropical Crop Institute, Xingyi, Guizhou 562400; 3. Research Institute of Rapeseed, Guizhou Academy of Agricultural Sciences, Guiyang, Guizhou 550008)

**Abstract** With *Dendrobium nobile* as the experimental material, the diurnal changes of chlorophyll fluorescence parameters of *Dendrobium nobile* in different seasons and the daily mean values of chlorophyll fluorescence parameters under different fertilization measures with the seasonal changes were studied. The results showed that the chlorophyll fluorescence parameter  $F_0$  value of *Dendrobium nobile* in spring, summer, autumn and winter showed a trend of first increasing and then decreasing, and the values of  $F_m$ ,  $F_v/F_m$  and  $F_v/F_0$  all showed a trend of decreasing first and then increasing. In different fertilization measures, the fertilization situation is similar with the seasonal changes, the maximum fluorescence value ( $F_m$ ), PS II maximum light energy conversion efficiency ( $F_v/F_m$ ) and PS II maximum light energy conversion potential ( $F_v/F_0$ ) were higher under the conditions of moderate nitrogen and phosphate fertilizer and high potassium.

**Key words** *Dendrobium nobile*; Chlorophyll; Fluorescence characteristics; Diurnal variation; Fluorescence parameters; Fertilization measures

金钗石斛(*Dendrobium nobile* Lindl.)为兰科石斛属多年生植物金钗石斛的新鲜或干燥茎, 附生多年生草本植物, 因其形状与古代妇女头上佩戴的金钗饰品相似而得名, 是中国药典记载的主要石斛品种之一, 也是我国国家保护二类珍稀濒危植物<sup>[1]</sup>。金钗石斛有非常好的滋补功效, 且生存生长环境特殊, 因此被誉为“民间仙草、植物黄金”<sup>[2]</sup>。金钗石斛既有药用功效又有观赏价值, 是名贵兰花品种之一<sup>[3]</sup>。近年来, 由于人类的极大需求及采挖, 再加上金钗石斛的生长、生存、繁殖等对环境的严格要求, 导致野生金钗石斛资源匮乏。

植物光合作用是将太阳能转换为化学能的一个过程, 植物的生长发育离不开光合作用, 光合作用是生物界所有物质代谢和能量代谢的物质基础, 它包括一系列光物理、光化学和生物化学转变的复杂过程, 在光合作用的原初反应中将有一部分光能损耗是以较长的突光方式释放<sup>[4]</sup>。叶绿素荧光动力学技术被称为测定叶片光合功能快速、无破坏的探针。尤其是近年来随着叶绿素荧光理论和测定技术的不断发展, 推动了光合作用快速原初反应及其他有关光合机理的研究<sup>[5-9]</sup>。对荧光动力学的研究能够分析从原初反应到碳同化等一系列过程的变化<sup>[10]</sup>。当前, 研究中药材叶绿素荧光参数变化的相关文献较少, 对中药材内在光合作用的机理研究较浅, 发展较晚, 有待进一步深化研究。在叶绿素荧光参数领域研究深入且发展较早的多在经济作物上, 且都取得一定成果, 而中药草的研究取得突破性成就很少, 往往借鉴于其

他作物的研究基础上进行研究。对于金钗石斛的研究更是屈指可数, 笔者以赤水金钗石斛为试验材料, 根据不同季节和不同施肥措施测定金钗石斛叶绿素荧光的变化, 以期为金钗石斛的合理化种植提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

**1.1.1 供试材料。** 选用一年生的金钗石斛幼苗, 株型相近, 长势一致。盆栽试验所选用的基质为购买的腐熟有机质, 充分混匀后进行装盆, 试验用盆长 70 cm、宽 45 cm、高 17 cm, 基质厚 8 cm。

**1.1.2 主要肥料与试剂。** 尿素(含 N 46%), 贵州赤天化股份有限公司; 磷酸二氢钾(含  $P_2O_5$  52%, 含  $K_2O$  35%), 武汉南轻科技发展有限公司; 硫酸钾(含  $K_2O$  52%), 安徽省司尔特肥业股份有限公司。

**1.2 试验方法** 该试验采用完全随机设计, 叶绿素荧光参数使用美国生产的 LI-6400XT 便携式光合仪于 2016 年 3—12 月对一年生金钗石斛各处理进行荧光测定<sup>[11-18]</sup>。测定时选取生长健壮的植株叶片, 用 LI-6400XT 便携式光合仪叶夹夹住金钗石斛叶片中部, 将分析探头与叶夹相连。在 LI-6400XT 便携式光合仪饱和和脉冲光下, 从仪器上可以读出相关数据, 根据相关数据分析、整理出试验所需数据。在每次测定时需将金钗石斛叶片充分暗处理。

**1.3 试验设计** 该试验比较了不同季节(春季、夏季、秋季、冬季)金钗石斛荧光参数日变化, 采用盆栽试验的方式进行研究, 同时采用氮、磷、钾 3 因素 3 水平进行正交试验设计(表 1), 9 个处理, 每个处理重复 3 次。

**作者简介** 郑治洪(1973—), 男, 贵州德江人, 农艺师, 从事农作物品种资源研究。

**收稿日期** 2021-06-02

表 1 正交试验因素和水平

Table 1 Factors and levels of orthogonal test

水平 Level	因素 Factor		
	A(尿素 Urea) g/桶	B( $\text{NaH}_2\text{PO}_4$ ) g/桶	C( $\text{K}_2\text{SO}_4$ ) g/桶
1	0	0	0
2	15	6	23
3	30	12	46

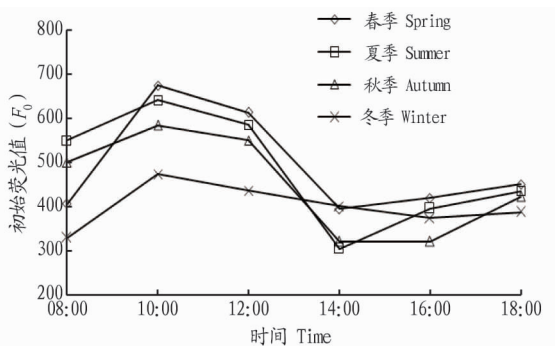
该试验在金钗石斛的预试验处理的基础上进行,利用单因素和正交试验对金钗石斛进行处理,测定金钗石斛的叶绿素荧光参数日动态变化和日均值,具体测定值有初始荧光值( $F_0$ )、最大荧光值( $F_m$ )、PSII最大光能转化效率( $F_v/F_m$ )、PSII最大光能转化潜力( $F_v/F_0$ )。

在金钗石斛的种植区内随机取样,每个季节测定一次叶绿素荧光参数的日动态变化。所有数据采用 Excel 和 DPS 进行统计和分析。

## 2 结果与分析

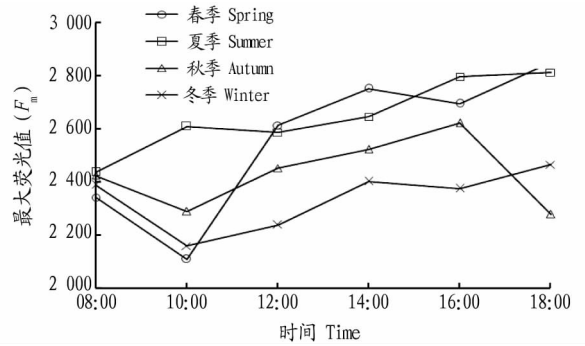
### 2.1 不同季节金钗石斛叶片荧光参数日变化

**2.1.1  $F_0$  的日变化。**Roháček 等<sup>[19]</sup>研究表明初始荧光( $F_0$ )是 PSII 反应中心全部开放即 QA 全部氧化时的荧光水平。从不同季节金钗石斛  $F_0$  日变化(图 1)可以看出,不同季节金钗石斛  $F_0$  日变化整体趋势均呈现出先升高后下降的趋势,4 个季节峰值均出现在 10:00 左右, $F_0$  的增加,说明金钗石斛中色素吸收的能量中转移至光化学部分减少,而大部分能量以热能和荧光的形式存在。10:00—16:00  $F_0$  降低,表明该时段色素吸收的能力转移至光化学反应阶段。随着时间的变化,在傍晚  $F_0$  出现回升现象,主要是由于这一时段光强减弱的缘故。

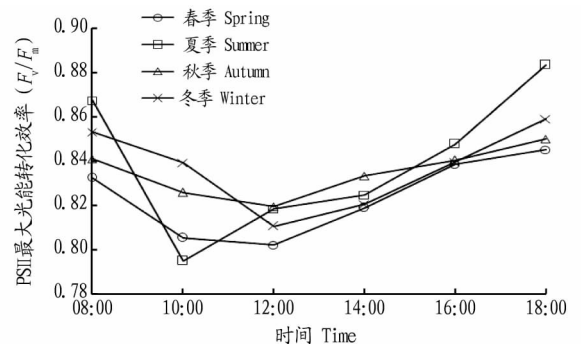
图 1 不同季节金钗石斛初始荧光值( $F_0$ )的日变化Fig.1 Diurnal changes of initial fluorescence value ( $F_0$ ) of *Dendrobium nobile* in different seasons

**2.1.2  $F_m$  的日变化。**从金钗石斛最大荧光值( $F_m$ )日变化(图 2)可以看出,金钗石斛  $F_m$  值整体趋势随时间变化呈现出先下降后上升的趋势,除春季外夏季、秋季、冬季在 08:00—12:00  $F_m$  值均先下降后上升。徐德聪等<sup>[20]</sup>研究表明  $F_m$  是 PSII 反应中心处于完全关闭时的荧光产量,可反映通过 PSII 的电子传递情况, $F_m$  的降低可以作为光抑制的一个特征。在金钗石斛  $F_m$  中春季和冬季出现最小值均在 10:00 左右,夏季出现最小值在 08:00,而秋季出现最小值是在

18:00 左右。

图 2 不同季节金钗石斛最大荧光值( $F_m$ )的日变化Fig.2 Diurnal changes of the maximum fluorescence value ( $F_m$ ) of *Dendrobium nobile* in different seasons

**2.1.3  $F_v/F_m$  的日变化。**Demmig 等<sup>[21]</sup>研究报道 PSII 最大光能转化效率( $F_v/F_m$ )的变化是研究的最为广泛的光抑制指标。它是与植物暗适应状态有关的一个重要参数,可用来检测光抑制,对许多植物而言,未受胁迫的条件下该值近似等于  $0.832 \pm 0.004$ ,受到胁迫后该值明显发生变化<sup>[21]</sup>。从不同季节金钗石斛  $F_v/F_m$  日变化(图 3)可以看出,一天中 4 个季节  $F_v/F_m$  变化趋势是先下降后上升,春季、秋季、冬季出现谷值在 12:00 前后,夏季出现谷值在 10:00 前后,整体大致呈现“V”字型曲线。金钗石斛在不同季节受到光抑制程度不同,夏季在 10:00 前后受到光抑制较其他季节严重,12:00 前后受到光抑制严重的是春季,受到光抑制的现象可能与气候和环境变化有关。

图 3 不同季节金钗石斛 PSII 最大光能转化效率( $F_v/F_m$ )的日变化Fig.3 Diurnal changes of the PSII maximum light energy conversion efficiency ( $F_v/F_m$ ) of *Dendrobium nobile* in different seasons

**2.1.4  $F_v/F_0$  的日变化。**随着季节的变化,PSII 最大光能转化潜力( $F_v/F_0$ )随之变化。从图 4 可以看出,春季、夏季、秋季在 08:00—12:00  $F_v/F_0$  值逐渐下降,而冬季先升高后下降,12:00—18:00  $F_v/F_0$  值四季均逐渐升高,主要受气候和光照的影响。通常来说, $F_v/F_0$  值是用来衡量植物叶片活性的潜在能力, $F_v/F_0$  越高说明叶片具有较高的活性潜在力。从图 4 可以看出,金钗石斛四季叶绿素荧光参数  $F_v/F_0$  日变化与  $F_v/F_m$  日变化趋势相似,均是先下降后上升的趋势,由此说明, $F_v/F_m$  与  $F_v/F_0$  日变化趋势具有一致性,均可以用来度

量金钗石斛光合能力的活性。

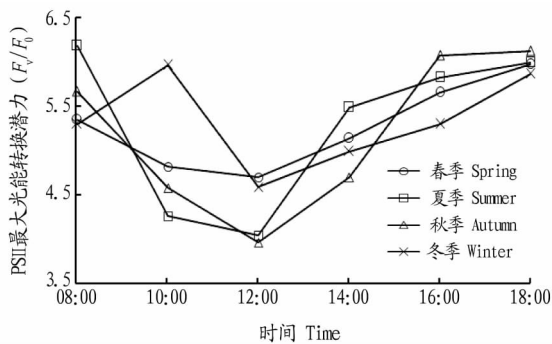


图4 不同季节金钗石斛 PSII最大光能转化潜力 ( $F_v/F_o$ ) 的日变化

Fig.4 Diurnal changes of the PSII maximum light energy conversion potential ( $F_v/F_o$ ) of *Dendrobium nobile* in different seasons

**2.1.5 荧光参数日均值的比较。**从不同季节金钗石斛荧光参数日均值比较结果(表3)可以看出,春季的  $F_o$  值较高,  $F_o$  最低的是冬季,  $F_o$  均值大小顺序为春季>夏季>秋季>冬季。  $F_m$  值最大的在夏季,最小的在冬季,大小顺序为夏季>春季>秋季>冬季。  $F_v$  值最大与最小分别在夏季和冬季,其大小顺序依次为夏季>春季>秋季>冬季。在不同季节金钗石斛荧光参数日均值  $F_o$ 、 $F_m$ 、 $F_v$  之间都存在一定的差异。

表3 不同季节金钗石斛  $F_o$ 、 $F_m$ 、 $F_v$  日均值的比较

Table 3 Comparison of daily average values of  $F_o$ 、 $F_m$  and  $F_v$  of *Dendrobium nobile* in different seasons

季节 Season	$F_o$	$F_m$	$F_v$
春季 Spring	495.77 aA	2 561.74 abAB	2 356.67 abA
夏季 Summer	487.98 aA	2 649.41 aA	2 403.46 aA
秋季 Autumn	452.64 abA	2 432.43 bcAB	2 193.96 abA
冬季 Winter	402.60 bA	2 338.88 cB	2 055.26 bA

注:同列不同小写字母表示差异显著( $P<0.05$ ),不同大写字母表示差异极显著( $P<0.01$ )

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant differences ( $P<0.05$ ), different uppercase letters indicate extremely significant differences ( $P<0.01$ )

从图5可以看出,金钗石斛在夏季  $F_v/F_m$  日均值较高,春季较低,秋季和冬季  $F_v/F_m$  无显著差异变化,夏季与春季相比差异显著( $P<0.05$ )。从图6可以看出,金钗石斛在冬季  $F_v/F_o$  日均值较高,秋季较低,春季和夏季  $F_v/F_o$  无显著性差异,冬季与秋季差异显著( $P<0.05$ )。

## 2.2 不同施肥对金钗石斛荧光参数日均值的影响

**2.2.1 春季不同施肥对金钗石斛荧光参数日均值的影响。**从春季不同施肥对金钗石斛荧光参数日均值统计结果及方差分析(表4)可以看出,不同施肥处理对  $F_o$ 、 $F_m$ 、 $F_v/F_m$ 、 $F_v/F_o$  影响效果,日均值最小的  $F_o$ 、 $F_m$ 、 $F_v/F_m$ 、 $F_v/F_o$  处理分别为处理⑦、处理⑤、处理⑦、处理⑧,日均值分别为 333.59、1 962.40、0.807 8、4.603;日均值最大的  $F_o$ 、 $F_m$ 、 $F_v/F_m$ 、 $F_v/F_o$  处理分别为处理⑤、处理⑦、处理⑨、处理③,日均值分别为 361.75、2 347.77、0.835 7、5.490。

方差分析结果表明(表4),处理⑤对  $F_o$  日均值的影响

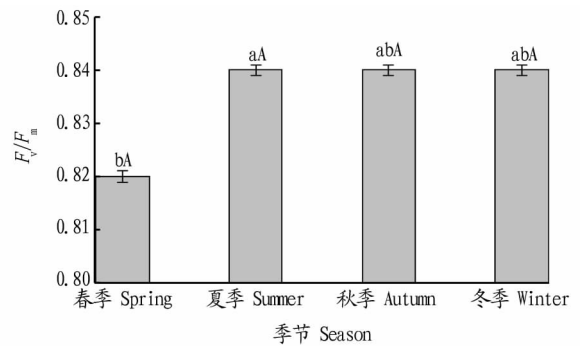


图5 不同季节金钗石斛  $F_v/F_m$  日均值比较

注:不同小写字母表示差异显著( $P<0.05$ ),不同大写字母表示差异极显著( $P<0.01$ )

Note: Different lowercase letters indicate significant differences ( $P<0.05$ ), different uppercase letters indicate extremely significant differences ( $P<0.01$ )

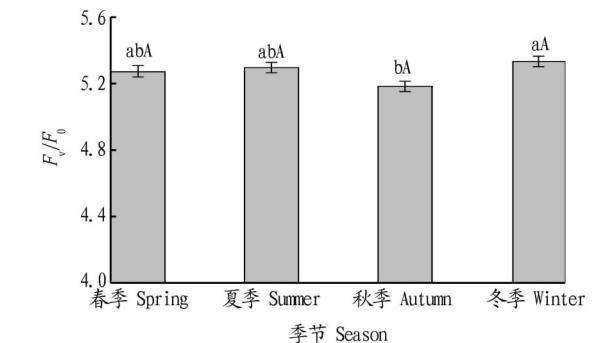


图6 不同季节金钗石斛  $F_v/F_o$  日均值比较

注:同列不同小写字母表示差异显著( $P<0.05$ ),不同大写字母表示差异极显著( $P<0.01$ )

Note: Different lowercase letters indicate significant differences ( $P<0.05$ ), different uppercase letters indicate extremely significant differences ( $P<0.01$ )

最大,处理⑤与处理⑥、处理⑦、处理⑨差异极显著( $P<0.01$ );在  $F_m$  指标中,处理⑦的影响最大,处理⑦与处理⑥差异显著( $P<0.05$ ),与处理⑤差异极显著( $P<0.01$ );在  $F_v/F_m$  指标中,处理⑨的影响最大,处理⑧和处理⑨与处理⑦均差异显著( $P<0.05$ );在  $F_v/F_o$  指标中,处理③的影响最大,处理③与处理②、处理⑧差异显著( $P<0.05$ )。

**2.2.2 夏季不同施肥对金钗石斛荧光参数日均值的影响。**从表5统计结果表明,夏季不同施肥对  $F_o$  日均值影响最大的为处理⑤,最小的为处理②,  $F_o$  日均值分别为 356.29、313.14。对  $F_m$  日均值影响最大的为处理①,最小的为处理⑨,其日均值分别为 2 109.53、2 030.54;对  $F_v/F_m$  日均值影响最大的为处理④,最小的为处理⑤;对  $F_v/F_o$  日均值影响最大的为处理①,影响最小的为处理⑤。

方差分析结果表明(表5),处理⑤对  $F_o$  日均值的影响最大,处理⑤与处理⑧差异不显著( $P>0.05$ ),与其他处理差

异均显著( $P<0.05$ );在 $F_m$ 指标中,处理①的影响最大,处理①与处理④、处理⑦差异不显著( $P>0.05$ ),与其他处理差异均显著( $P<0.05$ ),且与处理②、处理⑨差异极显著( $P<0.01$ );在 $F_v/F_m$ 指标中,处理④的影响最大,处理④与处理①、处理⑦差异不显著( $P>0.05$ ),与其他处理差异均显著( $P<0.05$ ),

且与处理②、处理⑤、处理⑧、处理⑨差异极显著( $P<0.01$ );在 $F_v/F_o$ 指标中,处理①的影响最大,处理①与处理②、处理⑦、处理⑧差异不显著( $P>0.05$ ),与其他处理差异均显著( $P<0.05$ ),且与处理③、处理④、处理⑤、处理⑥和处理⑨差异极显著( $P<0.01$ )。

表4 春季不同施肥处理下金钗石斛叶绿素荧光日均值结果统计及方差分析

Table 4 Results statistics and variance analysis of daily average values of chlorophyll fluorescence of *Dendrobium nobile* under different fertilization treatments in spring

处理 Treatment	A	B	C	$F_o$	$F_m$	$F_v/F_m$	$F_v/F_o$
①	1	1	1	345.68 bcAB	2 333.80 aA	0.829 5 abA	5.297 abA
②	1	2	2	353.31 abAB	2 148.90 abAB	0.823 5 abA	4.637 bcA
③	1	3	3	348.36 abcAB	2 151.30 abAB	0.829 1 abA	5.490 aA
④	2	1	2	344.53 bcAB	2 295.23 aA	0.821 7 abA	5.267 abcA
⑤	2	2	3	361.75 aA	1 962.40 bB	0.821 7 abA	5.100 abcA
⑥	2	3	1	335.31 cB	2 022.09 aAB	0.816 1 abA	4.857 abcA
⑦	3	1	3	333.59 cB	2 347.77 aA	0.807 8 bA	4.890 abcA
⑧	3	2	1	341.19 bcAB	2 265.11 aAB	0.835 6 aA	4.603 cA
⑨	3	3	2	337.18 cB	2 186.67 abAB	0.835 7 aA	5.013 abcA

注:同列不同小写字母表示差异显著( $P<0.05$ ),不同大写字母表示差异极显著( $P<0.01$ )

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant differences ( $P<0.05$ ), different uppercase letters indicate extremely significant differences ( $P<0.01$ )

表5 夏季不同施肥处理下金钗石斛叶绿素荧光日均值结果统计及方差分析

Table 5 Results statistics and variance analysis of daily average values of chlorophyll fluorescence of *Dendrobium nobile* under different fertilization treatments in summer

处理 Treatment	A	B	C	$F_o$	$F_m$	$F_v/F_m$	$F_v/F_o$
①	1	1	1	337.06 bBC	2 109.53 aA	0.844 3 abAB	5.477 aA
②	1	2	2	313.14 cD	2 034.08 bB	0.821 7 cBC	5.270 abcABCD
③	1	3	3	329.68 bCD	2 049.00 bAB	0.832 7 bcABC	5.133 bcdBCD
④	2	1	2	333.65 bC	2 071.80 abAB	0.855 4 aA	5.060 cdBCD
⑤	2	2	3	356.29 aA	2 040.22 bAB	0.813 6 cC	4.990 dD
⑥	2	3	1	331.80 bC	2 051.28 bAB	0.830 7 bcABC	5.107 bcdBCD
⑦	3	1	3	323.77 bcCD	2 069.69 abAB	0.834 7 abcABC	5.290 abABC
⑧	3	2	1	353.88 abA	2 046.89 bAB	0.819 9 cBC	5.353 aAB
⑨	3	3	2	334.89 bC	2 030.54 bB	0.820 7 cBC	5.023 dCD

注:同列不同小写字母表示差异显著( $P<0.05$ ),不同大写字母表示差异极显著( $P<0.01$ )

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant differences ( $P<0.05$ ), different uppercase letters indicate extremely significant differences ( $P<0.01$ )

2.2.3 秋季不同施肥对金钗石斛荧光参数日均值的影响。从秋季不同施肥对金钗石斛的荧光参数日均值统计结果(表6)可以看出,各值之间存在差异, $F_o$ 日均值最大为处理⑤,最小为处理⑦; $F_m$ 日均值最大为处理⑤,最小为处理②; $F_v/F_m$ 日均值最大为处理⑤,最小为处理⑨; $F_v/F_o$ 日均值最大为处理⑥,最小为处理④。各值之间大小的变化反映出不同施肥影响着植物内部反应的变化。

方差分析结果表明(表6),处理⑤对 $F_o$ 、 $F_m$ 、 $F_v/F_m$ 日均值影响最大,而影响 $F_v/F_o$ 日均值最大的为处理⑥。在 $F_o$ 指标中,处理⑤与处理①、处理②、处理④、处理⑧差异不显著( $P>0.05$ ),与其他处理差异均显著( $P<0.05$ ),且与处理③、处理⑦、处理⑨差异极显著( $P<0.01$ );在 $F_m$ 指标中,处理⑤与处理⑥差异不显著( $P>0.05$ ),与其他处理差异均显著( $P<0.05$ ),且与处理②、处理④、处理⑦、处理⑧、处理⑨差异极显著( $P<0.01$ );在 $F_v/F_m$ 指标中,处理⑤与处理⑥、处理⑧差

异不显著( $P>0.05$ ),与其他处理差异均显著( $P<0.05$ ),且与处理①、处理②、处理④、处理⑦、处理⑨差异极显著( $P<0.01$ );在 $F_v/F_o$ 指标中,处理⑥与处理③、处理⑤、处理⑨差异不显著( $P>0.05$ ),与其他处理差异均显著( $P<0.05$ ),且与处理②、处理④、处理⑧差异极显著( $P<0.01$ )。

2.2.4 冬季不同施肥对金钗石斛荧光参数日均值的影响。从冬季不同施肥处理对金钗石斛荧光参数日均值影响情况(表7)可以看出, $F_o$ 日均值最大为处理⑤, $F_m$ 日均值最大为处理⑤, $F_v/F_m$ 日均值最大为处理③, $F_v/F_o$ 日均值最大为处理⑤,相应值最小的处理分别为处理①、处理⑦、处理②和处理⑦。

方差分析结果表明(表7),处理⑤对 $F_o$ 、 $F_m$ 、 $F_v/F_o$ 日均值影响最大,而影响 $F_v/F_m$ 日均值最大的为处理③。在 $F_o$ 指标中,处理⑤与其他处理差异均极显著( $P<0.01$ ),处理②、处理④、处理⑦、处理⑧之间差异不显著( $P>0.05$ );在 $F_m$ 指

标中,处理⑤与处理⑨差异不显著( $P>0.05$ ),与其他处理差异均显著( $P<0.05$ );在  $F_v/F_m$  指标中,处理③与处理④、处理⑧、处理⑨差异不显著( $P>0.05$ ),与其他处理差异均显著( $P<0.05$ ),且与处理②、处理⑤、处理⑥差异极显著( $P<$

0.01);在  $F_v/F_o$  指标中,处理⑤与处理②、处理③、处理④差异不显著( $P>0.05$ ),与其他处理差异均显著( $P<0.05$ ),且与处理①、处理⑥、处理⑦、处理⑧差异极显著( $P<0.01$ )。

表 6 秋季不同施肥处理下金钗石斛叶绿素荧光日均值结果统计及方差分析

Table 6 Results statistics and variance analysis of daily average values of chlorophyll fluorescence of *Dendrobium nobile* under different fertilization treatments in autumn

处理 Treatment	A	B	C	$F_o$	$F_m$	$F_v/F_m$	$F_v/F_o$
①	1	1	1	238.71 abcAB	1 403.58 bcABC	0.823 2 bBC	4.807 cdAB
②	1	2	2	245.73 abA	1 252.07 dD	0.810 3 cdCD	4.603 cdB
③	1	3	3	224.36 cdeBC	1 409.42 bcABC	0.830 4 bAB	4.923 abcdAB
④	2	1	2	238.83 abcAB	1 310.10 cdCD	0.809 1 dCD	4.570 dB
⑤	2	2	3	249.69 aA	1 528.02 aA	0.843 0 aA	4.987 abcAB
⑥	2	3	1	231.57 bcdABC	1 484.04 abAB	0.833 9 abAB	5.330 aA
⑦	3	1	3	214.24 eC	1 307.62 cdCD	0.821 7 bcBCD	4.890 bcdAB
⑧	3	2	1	237.85 abcAB	1 376.93 cBCD	0.832 1 abAB	4.650 cdB
⑨	3	3	2	219.41 deBC	1 352.29 cdBCD	0.805 3 dD	5.297 abA

注:同列不同小写字母表示差异显著( $P<0.05$ ),不同大写字母表示差异极显著( $P<0.01$ )

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant differences ( $P<0.05$ ), different uppercase letters indicate extremely significant differences ( $P<0.01$ )

表 7 冬季不同施肥处理下金钗石斛叶绿素荧光日均值结果统计及方差分析

Table 7 Results statistics and variance analysis of daily average values of chlorophyll fluorescence of *Dendrobium nobile* under different fertilization treatments in winter

处理 Treatment	A	B	C	$F_o$	$F_m$	$F_v/F_m$	$F_v/F_o$
①	1	1	1	210.49 fE	1 359.28 efDE	0.843 5 bcdABC	5.313 dD
②	1	2	2	229.60 cdBCD	1 432.04 deCD	0.836 7 dC	5.577 abcABC
③	1	3	3	219.86 eDE	1 413.02 deCD	0.856 5 aA	5.690 aAB
④	2	1	2	232.63 bcBC	1 525.64 bcABC	0.847 6 abcABC	5.660 abABC
⑤	2	2	3	249.69 aA	1 615.89 aA	0.840 5 cdBC	5.730 aA
⑥	2	3	1	211.32 fE	1 393.97 deDE	0.839 2 cdBC	5.467 cdBCD
⑦	3	1	3	237.79 bB	1 285.84 fE	0.845 3 bcdABC	5.310 dD
⑧	3	2	1	230.82 bcdBC	1 463.97 cdBCD	0.851 5 abAB	5.430 cdCD
⑨	3	3	2	224.24 deCD	1 561.77 abAB	0.846 7 abcdABC	5.517 bcABCD

注:同列不同小写字母表示差异显著( $P<0.05$ ),不同大写字母表示差异极显著( $P<0.01$ )

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant differences ( $P<0.05$ ), different uppercase letters indicate extremely significant differences ( $P<0.01$ )

光合作用最基本的反应是在反应中心通过电荷分离而引起的原初能量转换,叶绿素直接参与该过程,并且可以通过叶绿素荧光来反映该过程的效率<sup>[22-23]</sup>。上述结果反映了在不同的季节和不同施肥的配比下, $F_o$ 、 $F_m$ 、 $F_v/F_m$ 、 $F_v/F_o$  值间都有不同的差异,同时各值的大小都反映了不同季节不同施肥配比的情况下光合作用的强弱和物质的转移情况。在同一施肥措施下不同季节对  $F_o$ 、 $F_m$ 、 $F_v/F_m$ 、 $F_v/F_o$  值影响程度有区别,同一季节不同施肥措施下  $F_o$ 、 $F_m$ 、 $F_v/F_m$ 、 $F_v/F_o$  值同样有很大的差异。所以,针对金钗石斛的生理状况和气候环境变化给予合适的施肥措施有助于金钗石斛的增产。

### 3 小结

该试验以赤水金钗石斛为试验材料,根据不同季节和不同施肥措施测定金钗石斛叶绿素荧光的变化,主要采用美国生产的 LI-6400XT 便携式光合仪测定  $F_o$ 、 $F_m$ 、 $F_v/F_m$ 、 $F_v/F_o$  值之间的变化情况。通过测定结果分析,得出以下结论:

(1)在不同的季节叶绿素荧光参数变化趋势相似。 $F_o$  整体趋势呈现先升高后下降的趋势, $F_m$ 、 $F_v/F_m$ 、 $F_v/F_o$  的变化趋势一致,均呈先下降后上升的趋势。春季和夏季是光合能力最强的季节, $F_v/F_m$  和  $F_v/F_o$  日变化较明显。由此可见,春季和夏季 PSII 反应中心光电子能量传递和转换过程效率较高,其次为秋季,最差为冬季,这与植株正常生理周期变化相适应。

(2)不同施肥措施对金钗石斛叶绿素荧光参数值均具有一定的影响,同时随着季节的变化需肥情况不同,影响金钗石斛叶绿素荧光参数日均值不仅与施肥情况有关,还与环境气候等条件有关。春季和夏季在适宜的氮、磷肥情况下,还需高钾来调控  $F_o$  值。 $F_m$  值的变化与叶绿素含量变化一致, $F_m$  值增加,说明此叶绿素含量增加,叶绿素荧光发射能力提高; $F_m$  值降低,表明随着叶绿素含量的进一步提高,光合作用强度增加,光化学量子产量增加。随生育期的推迟,光合

作用减弱,量子产量逐渐下降,荧光产量增加,当热耗散保护机制逐渐失去作用,叶绿素光合机构受损,导致  $F_m$  逐渐降低,  $F_m$  越高,表明叶绿素受损程度越低,光合特性越好<sup>[24]</sup>。在金钗石斛的整个生育期内要合理地使用氮、磷、钾肥,不仅能促进光合作用过程中以碳为主体的各种酶合成光,而且对以碳为主体的电子传递体等合成有促进作用,同时能有效地改善叶片的光合作用功能,达到提高光合同化速率。

## 参考文献

- [1] 明兴加,李博然,赵纪峰,等.金钗、金钗石斛的名实考证[J].中国中药杂志,2016,41(10):1956-1964.
- [2] 费雯,淳泽,何沁凝,等.金钗石斛总多酚提取工艺及体外抗氧化活性[J].应用与环境生物学报,2015,21(4):623-628.
- [3] 严文津.金钗石斛的种质保存、遗传多样性及叶绿体基因组研究[D].南京:南京师范大学,2015.
- [4] 李晓,冯伟,曾晓春.叶绿素荧光分析技术及应用进展[J].西北植物学报,2006,26(10):2186-2196.
- [5] BUTLER W L. Chlorophyll fluorescence: A probe for electron transfer and energy transfer [M]//TREBST A, AVRON M. Photosynthesis I. Berlin: Springer Verlag, 1997: 149-167.
- [6] BALL M C, BUTTLERWORTH J A, RODEN J S. Applications of chlorophyll fluorescence to forest ecology[J]. Aust J Plant Physiol, 1995, 22(2): 311-319.
- [7] BOLHÄR-NORDENKAMPF H R, ÖQUIST G. Chlorophyll fluorescence as a tool in photosynthesis research [M]//HALL D O, SCURLOCK J M O, BOLHÄR-NORDENKAMPF H R, et al. Photosynthesis and production in a changing environment: London: Chapman & Hall, 1993: 193-206.
- [8] DAU H. Molecular mechanisms and quantitative models of variable photosystem II fluorescence [J]. Photochem Photobiol, 1994, 60(1): 1-23.
- [9] SCHREIBER U, NEUBAUER C. O<sub>2</sub>-dependent electron flow, membrane energization and the mechanism of non-photochemical quenching of chlorophyll fluorescence [J]. Photosynth Res, 1990, 25(3): 279-293.
- [10] KRAUSE G H, WEIS E. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: The

- basics [J]. Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol, 1991, 42: 313-349.
- [11] 张晓敏,孙志蓉,陈龙,等.金钗石斛的化学成分和药理作用研究进展[J].中国现代应用药学,2014,31(7):895-899.
  - [12] 包英华,白音,陈璐霞.金钗石斛生物碱的组织化学定位研究[J].广西植物,2013,33(2):199-202,190.
  - [13] 汪代芳,俞桂新,赵宁毅,等.金钗石斛茎的化学成分研究[J].中草药,2012,43(8):1492-1495.
  - [14] 陈晓梅,肖盛元,郭顺星.铁皮石斛与金钗石斛化学成分的比较[J].中国医学科学院学报,2006,28(4):524-529.
  - [15] 郑晓珂,曹新伟,冯卫生,等.金钗石斛的研究进展[J].中国新药杂志,2005,14(7):826-829.
  - [16] 张永江,侯名语,李存东.叶绿素荧光分析技术及在作物胁迫生理研究中的应用[C]//中国作物学会.作物逆境生理研究进展——中国作物生理第十次学术研讨会文集.北京:科学出版社,2007:289-296.
  - [17] 韩忠明,王云贺,韩梅,等.药用植物防风(*Saposhnikovia divaricata*)不同时期光合作用特性比较[J].生态学报,2009,29(3):1382-1390.
  - [18] 肖智勇,郭圣茂,赵治国.三种菊科药用植物光合特性的初步研究[J].山东林业科技,2009,39(6):14-18.
  - [19] ROHÁČEK K, BARTÁK M. Technique of the modulated chlorophyll fluorescence: Basic concepts, useful parameters, and some applications [J]. Photosynthetic, 1999, 37(3): 339-363.
  - [20] 徐德聪,吕芳德,潘晓杰.叶绿素荧光分析技术在果树研究中的应用[J].经济林研究,2003,21(3):88-91.
  - [21] DEMMIG B, BJÖRKMANN O. Comparison of the effect of excessive light on chlorophyll fluorescence (77K) and photon yield of O<sub>2</sub> evolution in leaves of higher plants [J]. Planta, 1987, 171: 171-184.
  - [22] LICHTENTHALER H K. Applications of chlorophyll fluorescence: In photosynthesis research, stress physiology, hydrobiology and remote sensing [C]//Proceedings of the International Chlorophyll Fluorescence Symposium. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1988: 253-258.
  - [23] BARKER D H, ADAMS W W III, DEMMIG-ADAMS B, et al. Nocturnally retained zeaxanthin does not remain engaged in a state primed for energy dissipation during the summer in two *Yucca* species growing in the Mojave Desert [J]. Plant, cell and environment, 2002, 25: 95-103.
  - [24] 李晶,李双双,付驰,等.密度和施肥水平对小黑麦叶绿素荧光特性的影响[J].麦类作物学报,2011,31(1):143-148.

(上接第131页)

②干扰病毒外壳蛋白的聚合过程。减轻病毒对叶绿体的破坏,从而减轻病害发生程度。③与病毒粒体直接作用,破坏其结构。④病毒钝化剂起到类似核酸酶的作用,降解病毒核酸从而减轻病毒的侵染能力。所以植物病毒钝化是一个复杂的病理过程,对病毒侵入点的影响也可以说是钝化作用的影响<sup>[16]</sup>。因此,亚硝酸盐对植物病毒的钝化作用也许是多种因素综合作用的结果。

该试验以亚硝酸盐为研究对象,就其对植物病毒的体外钝化作用进行探讨。利用亚硝酸盐预先处理 PVY 和 TuMV 这 2 种病毒,然后接种到正常本氏烟植株。通过对亚硝酸盐处理组和正常毒源组比较试验,发现亚硝酸盐处理组的烟草植株不表现病状,甚至不含病毒。综上所述,该试验初步明确了亚硝酸盐处理对以上病毒具有一定的钝化作用,具体钝化作用机理有待进一步研究。

## 参考文献

- [1] 佚名.中国农业科学院烟草研究所烟草马铃薯 Y 病毒抗性基因挖掘方面取得新进展[J].蔬菜,2017(2):39.
- [2] 王振宇.马铃薯 Y 病毒弱毒突变体的筛选及其交叉保护作用[D].泰安:山东农业大学,2014.
- [3] MAKAROVA S, MAKHOTENKO A, SPECHENKOVA N, et al. Interactive responses of potato (*Solanum tuberosum* L.) plants to heat stress and infec-

tion with potato virus Y [J]. Frontiers in microbiology, 2018, 9: 1-14.

- [4] 蔡海林,何命军,谢鹏飞,等.烟草马铃薯 Y 病毒病的生物防治研究进展[J].湖南农业科学,2012(15):76-79.
- [5] 胡新喜,何长征,熊兴耀,等.马铃薯 Y 病毒研究进展[J].中国马铃薯,2009,23(5):293-300.
- [6] 宁金花,周伟,黄松青,等.烟草马铃薯 Y 病毒研究进展[J].安徽农业科学,2010,38(10):5143-5146.
- [7] 何孝兵,曾贤义,杨亚,等.烟草马铃薯 Y 病毒病系统控制技术[J].植物医生,2015,28(5):45-46.
- [8] 吕红豪,邢苗苗,杨丽梅,等.甘蓝抗芜菁花叶病毒育种研究进展[J].园艺学报,2019,46(9):1765-1778.
- [9] 赵建平,周钊美,陈集双,等.芜菁花叶病毒(TuMV)特性的研究进展[J].微生物学通报,2004,31(6):100-104.
- [10] 卢航,王文霞,尹恒,等.亮寡糖对烟草花叶病毒的体外钝化[C]//中国植物保护学会.植物保护科技创新与发展——中国植物保护学会2008年学术年会论文集.北京:中国农业科学技术出版社,2008.
- [11] 王迪轩.钝化病毒用菇类蛋白多糖[N/OL].农资导报,2019-01-04 [2021-02-17]. <http://www.nzdb.com.cn/zt/259517.jhtml>.
- [12] 张秀华,李国玄,梁锡娟,等.植物病毒弱毒系及其应用——1.烟花叶病毒番茄弱毒系的诱变和性质的研究[J].植物病理学报,1980,10(1):49-54.
- [13] 崔伯法,王洪祥,翁法令.交叉保护在植物病毒病害防治中作用的概述[J].中国生物防治,1998,14(2):75-77.
- [14] 袁远峰.亚硝酸盐不能撤开剂量谈毒性[J].江苏卫生保健,2015,17(9):37.
- [15] 李在国,黄润秋.植物病毒防治剂的作用机制[J].植物保护,1999,25(3):37-39.
- [16] 商文静.亮寡糖对烟草花叶病毒的诱导抗病作用和体外抑制作用[D].杨凌:西北农林科技大学,2006.