

水分与光照互作对铁皮石斛生长、光合特性及可溶性糖含量的影响

孔德栋¹ 钟远香² 沈宏亮³

1. 浙江大学农业试验站, 杭州 310058; 2. 浙江大学农业与生物技术学院, 杭州 310058;

3. 浙江大学环境与资源学院, 杭州 310058

摘要 以1年生铁皮石斛为试材,研究了水分与光照互作对铁皮石斛生长、光合特性及可溶性糖含量的影响。结果表明:不同基质含水量和光照强度处理显著影响铁皮石斛植株的生长特性;基质含水量对叶绿素a、叶绿素b、总叶绿素以及类胡萝卜素含量影响显著,对叶绿素a/b影响不显著;光照强度对所有光合色素指标均影响显著;基质含水量、光照强度及其交互作用对净光合速率(Pn)、气孔导度(Gs)、蒸腾速率(Tr)、胞间CO₂浓度(Ci)的影响均达显著水平,光照强度过高和过低均显著降低叶片的Pn、Gs、Tr;基质含水量、光照强度及其交互作用对铁皮石斛可溶性糖含量影响显著,同一光照强度下,可溶性糖含量随基质含水量降低而显著升高,而在基质含水量相同时,可溶性糖含量随光照强度的增强而显著升高。在各处理中,以240 μmol/(m²·s)光照和70%基质含水量(W₂L₂)处理适宜于植株生长,以360 μmol/(m²·s)光照和40%基质含水量(W₃L₁)处理可溶性糖含量达到最高。

关键词 铁皮石斛; 基质含水量; 光照强度; 光合特性; 可溶性糖

中图分类号 S 567.23⁺9 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2015)05-0019-06

铁皮石斛(*Dendrobium officinale* Kimura et Migo)是兰科(Orchidaceae)石斛属(*Dendrobium*)植物^[1],为我国传统名贵中药材,因其所含的多糖具有增强免疫力、降低血糖、抗肿瘤等神奇作用^[2-3]而被誉为“中华九大仙草”之首,因此,铁皮石斛常作为鲜食、保健品或中药配伍而倍受青睐^[4],导致原料需求不断攀升。近几十年来,由于资源被破坏性地过度采挖,导致野生铁皮石斛濒临灭绝,被列入国家重点保护的药用植物名录^[5]。近年来,众多学者对铁皮石斛的植物学特性、育种、组培和栽培技术进行了广泛的研究并取得了较大进展^[6-8],铁皮石斛产业也得到了快速发展,成为我国产销量最大、发展最快的中药材之一。截至2013年底,仅浙江省种植面积就达1 200 hm²,产值超30亿元^[9]。然而,铁皮石斛种植业普遍存在粗放灌溉和简单遮荫的问题,导致植株生长发育不良及病害频发,从而影响产量和品质,严重制约了产业的持续健康发展。因此,在铁皮石斛设施栽培中,如何综合控制好水分和光照是实现其高效优质生长的关键。

近年来,众多学者开展了铁皮石斛对环境因子响应的研究,如张宇斌等^[10]研究了湿度对铁皮石斛幼苗生长和光合作用的影响;艾娟等^[11]研究了温度对铁皮石斛生长及生理的影响;龚庆芳等^[12]研究了遮阴对铁皮石斛生理及多糖含量的影响。然而,这些研究大多偏向于铁皮石斛对单一环境因子的响应,而较少有关于双因子互作的研究,所以有必要深入研究水分与光照互作对铁皮石斛生长和品质的影响。为此,本试验以铁皮石斛‘牧歌1号’品系为试材,探讨基质含水量和光照强度及其交互作用对铁皮石斛植株生长、光合特性及可溶性糖含量的影响,旨在为其栽培过程中合理控制水分和光照提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试验设计

试验于2014年8—11月在浙江大学农业试验站进行。供试铁皮石斛材料为鲜食型‘牧歌1号’品系,由德清牧歌生态农业有限公司提供。选择生长

收稿日期: 2015-05-07

基金项目: 国家“863”计划前沿技术研究类项目(2013AA103007); 浙江省教育厅科研项目(N20140285)

孔德栋, 实验师. 研究方向: 铁皮石斛育种及设施园艺研究. E-mail: ntzx@zju.edu.cn

一致的1年生植株于2014年6月28日种植于上口直径16 cm、下口直径12 cm、高12 cm的塑料盆中,每盆种5株,采用泥炭复合基质($V_{\text{泥炭}} : V_{\text{珍珠岩}} : V_{\text{蛭石}} = 3 : 1 : 1$)培养,基质最大持水量为116.6%,参照土壤饱和含水量的测定方法^[13]进行测定。

将不同基质含水量和光照强度处理进行组合,共9个处理组合(表1)。基质含水量设3个水平:基质最大持水量的100%(W_1 ,灌水量上限,下同)、70%(W_2)和40%(W_3);光照强度设3个水平:360 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ (L_1)、240 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ (L_2)和120 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ (L_3);光照时间12 h/d。

试验同时在9台型号一致的植物生长箱(型号:AGC-M102Z-1)中进行,选取其中3台分别设定 L_1 、 L_2 、 L_3 3个光照强度,每个光照水平下进行 W_1 、 W_2 、 W_3 处理,每个处理5盆,每个生长箱放置15盆,每个处理重复3次;135盆苗在缓苗1个月待根系稳定后,于8月1日移入植物生长箱进行试验。处理时间为90 d,每隔1 d用Tensio100便携式田间张力计(德国产)控制基质含水量^[14]。每个植物生长箱设定白天温度为 $(25 \pm 2)^\circ\text{C}$,夜间温度为 $(15 \pm 2)^\circ\text{C}$,空气相对湿度为60%~70%;采用花多多1号肥($\text{N} : \text{P}_2\text{O}_5 : \text{K}_2\text{O} = 20 : 20 : 20$,购于上海大汉园景科技有限公司)2 000倍液叶面喷施,每10 d施肥1次。

1.2 测定指标和方法

1)生长指标测定。处理90 d后,测定株高、茎粗,称取全株鲜质量,于 85°C 下烘干至恒质量后称取干质量。每处理选取2盆,每盆测定3株,测定重复3次,结果取平均值。

2)光合色素测定。处理90 d后,采取新鲜的铁皮石斛中部功能叶,精确称取0.30 g,加入80%丙酮和无水乙醇(体积比为1:1)提取液10 mL, 30°C 黑暗浸提光合色素,直到叶片全部变白。分别在波长440、645、663 nm处测定吸光度值^[12]。光合色素根据朗伯-比尔定律计算:

叶绿素 a 含量 = $(12.7A_{663} - 2.69A_{645}) \times V / (1000 \times W)$; 叶绿素 b 含量 = $(22.9A_{645} - 4.68A_{663}) \times V / (1000 \times W)$; 类胡萝卜素 = $4.7A_{440} - 0.27(\text{叶绿素 a 含量} + \text{叶绿素 b 含量})$ 。每个处理选取2盆,每盆测定3株,测定重复3次,结果取平均值。

3)光合作用参数测定。处理90 d后,于2014年11月6日(晴天)上午09:00开始测定,选择形状相似、第3叶位功能叶测定净光合速率(net photo-

synthesis rate, Pn)、气孔导度(stomatic conductance, Gs)、蒸腾速率(transpiration rate, Tr)和胞间 CO_2 浓度(intercellular CO_2 concentration, Ci)。仪器为Li-6400(美国产)便携式光合作用测定仪,量子通量密度(PFD)设定为1 000 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,温度 $(25 \pm 1)^\circ\text{C}$, CO_2 浓度 $(390 \pm 10) \mu\text{L}/\text{L}$ ^[15]。每处理选取1盆,每盆测定3株,测定重复3次,结果取平均值。因铁皮石斛叶片未能充满叶室,测定的光合数据需要根据实际叶面积换算。

4)可溶性糖含量测定。利用测完生长指标的铁皮石斛干品,去除根叶后磨粉并过三号筛,测定可溶性糖含量,3次重复,测定方法参照2010版药典^[16]。

1.3 统计分析

试验采用随机区组设计,数据处理采用Excel 2007,统计分析采用SPSS17.0统计软件进行双因素 F 检验,多重比较采用邓肯氏新复极差法检验($P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 基质含水量和光照强度组合对铁皮石斛生长特性的影响

分析表明,基质含水量和光照强度及其交互作用对铁皮石斛的株高、茎粗、鲜质量、干质量、干鲜比影响均达显著水平($P < 0.05$)(表1)。在 L_1 光照下,植株株高随着基质含水量的降低而显著降低。 W_1L_2 和 W_2L_2 之间株高无显著差异,均显著高于其他处理。 W_3L_1 的株高显著低于其他处理,表明高光照强度和低基质水分含量的环境条件抑制了植株生长。在 W_1 处理下,茎粗、鲜质量、干质量均随着光照强度的提高而显著增加,表明基质水分充足的情况下,适当提高光照强度能增加鲜质量和干质量。在 L_1 光照下, W_1 和 W_2 处理的植株茎粗与 L_2 光照下 W_2 和 W_3 处理的植株茎粗无显著差异,但显著高于其他处理。在 L_1 光照下, W_1 和 W_2 处理的植株鲜质量与 L_2 光照下 W_2 处理的植株鲜质量无显著差异,但显著高于其他处理。 W_1L_3 的茎粗、鲜质量和干质量显著低于其他处理,表明光照强度弱和基质水分含量高的环境条件会抑制铁皮石斛植株的生长。 W_2L_2 的干质量和干鲜比均显著高于其他处理。从植株生长状况看,以70%基质含水量、240 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 光照强度(W_2L_2)下植株生长状况最好。

表 1 基质含水量和光照强度处理组合对铁皮石斛生长特性的影响¹⁾

Table 1 Effects of substrate moisture and light intensity treatments on growth characteristics of *D. officinale*

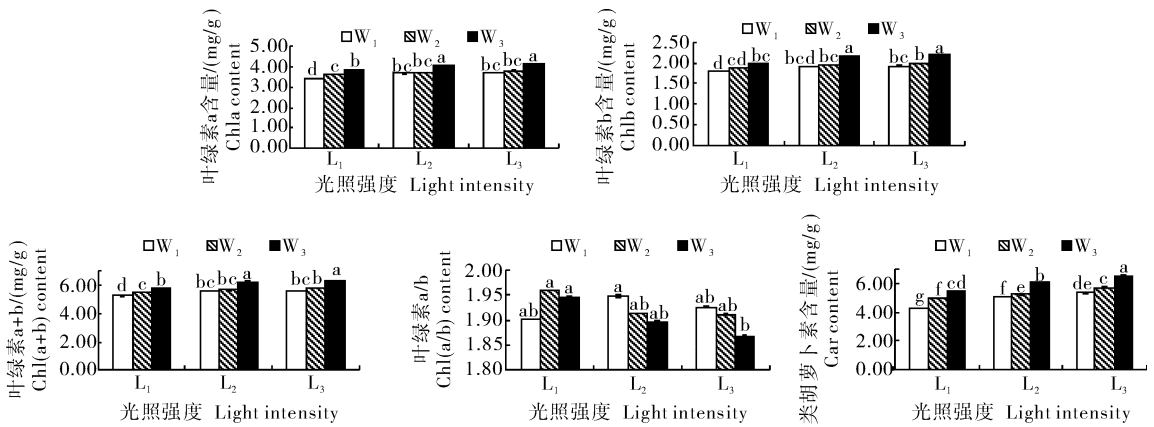
处理 Treatments	株高/cm Plant height	茎粗/mm Stem diameter	鲜质量/g Fresh weight	干质量/g Dry weight	干鲜比/% Dry-fresh ratio
W ₁ L ₁	23.62 b	8.11 a	16.10 a	2.91 c	18.12 de
W ₂ L ₁	21.41 c	8.20 a	16.25 a	3.43 b	20.99 b
W ₃ L ₁	16.03 f	7.55 b	14.70 b	2.31 e	15.71 de
W ₁ L ₂	26.54 a	7.51 b	14.48 b	2.58 d	17.77 e
W ₂ L ₂	26.04 a	8.11 a	16.68 a	3.79 a	22.35 a
W ₃ L ₂	20.61 cd	7.87 a	14.71 b	2.86 c	19.25 c
W ₁ L ₃	21.59 c	5.77 e	10.37 d	1.93 f	18.95 cd
W ₂ L ₃	19.86 c	6.98 c	12.24 c	2.34 e	19.32 c
W ₃ L ₃	19.26 cd	7.30 bc	12.46 c	2.41 e	19.10 c

1) 邓肯氏新复极差检验,表中同列不同小写字母表示处理之间差异显著($P < 0.05$)。Duncan's multiple range test. Different small letters in the same column indicate significant difference at 5% level.

2.2 基质含水量和光照强度处理组合对铁皮石斛光合能力的影响

分析表明,基质含水量对叶绿素 a、叶绿素 b、总叶绿素以及类胡萝卜素含量影响显著($P < 0.05$),对叶绿素 a/b 影响不显著;光照强度对所有光合色素指标均影响显著。由图 1 可见,在试验所设的 3 个光照水平下,W₃ 处理的叶绿素 a、总叶绿素以及类胡萝卜素含量均显著高于 W₂ 和 W₁ 处理;在 3 种基质含水量水平下,光照强度的增加使类胡萝卜素的含量显著降低;在 40% 基质水分含量(W₃)下,L₂ 和 L₃ 处理的叶绿素 a、叶绿素 b 和总叶绿素含量均显著高于其他处理,L₁ 处理的叶绿素 a/b 显著高于 L₃ 处理;W₁L₁ 处理的叶绿素 a、总叶绿素和类胡萝卜素含量均显著低于其他处理;W₃L₃ 处理的类胡萝卜素含量显著高于其他处理。

基质含水量、光照强度及其交互作用对净光合速率(Pn)、气孔导度(Gs)、蒸腾速率(Tr)和胞间CO₂浓度(Ci)的影响均达到显著水平($P < 0.05$)。由图 2 可知,植株叶片的 Pn、Gs 和 Tr 的变化规律相似。在高光强 L₁ 下叶片的 Pn、Gs 和 Tr 均随基质含水量的降低而显著降低。在试验的 3 个基质含水量水平下,L₂ 处理的叶片 Pn、Gs 和 Tr 均显著高于 L₁ 和 L₃ 处理,以 W₂L₂ 达到最大值。当基质含水量处于同一水平时,L₃ 处理的叶片 Pn、Gs 和 Tr 最小,显著低于其他光照处理,以 W₁L₃ 达到最小值。在同一基质含水量水平下,L₃ 处理的 Ci 显著高于 L₂ 和 L₁,以 W₁L₃ 达到最高值。在高光强 L₁ 下叶片的 Ci 随着基质含水量的降低而显著降低,W₃L₁ 处理达到最低值为 198.0 μmol/mol。在不同处理组合中,叶片 Pn、Gs 和 Tr 均以 W₂L₂ 为最高,



不同小写字母表示在 $P < 0.05$ 水平差异有统计学意义,下同。Different small letters indicate significant difference at 5% level, the same as follows.

图 1 基质含水量和光照强度处理组合对铁皮石斛叶片光合色素含量的影响
Fig.1 Effects of substrate moisture and light intensity treatments on photosynthetic pigment contents of *D. officinale* leaves

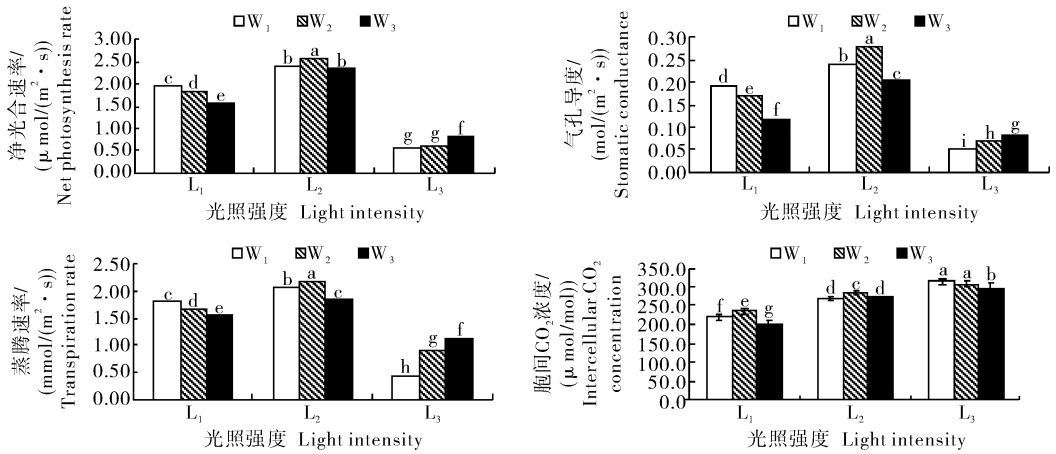


图 2 基质含水量和光照强度处理组合对铁皮石斛光合特性的影响

Fig.2 Effects of substrate moisture and light intensity treatments on photosynthetic characteristics of *D. officinale*

W_1L_3 为最低, C_i 以低光照时最高, 说明 70% 基质含水量和 $240 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 光照 (W_2L_2) 的处理组合使铁皮石斛的光合作用达到最佳状态。

2.3 基质含水量和光照强度处理组合对铁皮石斛可溶性糖含量的影响

基质含水量和光照强度对铁皮石斛可溶性糖含量影响显著, 而且二者之间存在显著的交互作用 ($P < 0.05$)。图 3 表明, 在试验所设的各光照强度水平下, 可溶性糖含量随基质含水量降低而显著升高; 在试验所设的各基质含水量水平下, 可溶性糖含量随光照强度的升高而显著升高。基质含水量和光照强度存在显著的交互作用, 以 40% 基质含水量和 $360 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 光照强度 (W_3L_1) 处理下可溶性糖含量最高达 32.4%。

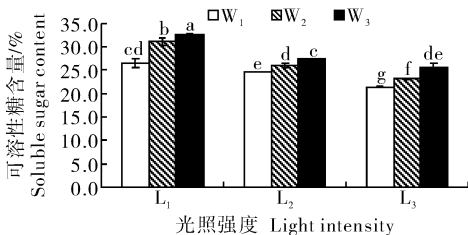


图 3 基质含水量和光照强度处理组合对铁皮石斛可溶性糖含量的影响

Fig.3 Effects of substrate moisture and light intensity treatments on soluble sugar content of *D. officinale*

3 讨论

试验结果表明, 在所设的 3 个光照强度下, 水分

亏缺 (W_3) 降低了铁皮石斛植株的生长速率, 抑制了株高和干物质积累; 水分过多 (W_1) 使铁皮石斛植株表现出徒长现象, 而与强光照互作 (W_1L_1) 时徒长现象有所缓解。由此可知, 植株所需的适宜基质含水量与光照强度存在一定的协调关系, 在铁皮石斛实际生产操作中应根据光照强度大小来控制水分, 光照强度较高时, 将基质含水量调节在 70% 左右, 而在弱光环境下, 则需适当调低基质含水量, 保障铁皮石斛正常生长。

叶绿素是植物光合过程中吸收光能的色素, 其含量的大小直接影响光合作用的光能利用。类胡萝卜素作为辅助色素, 可把吸收的光能转移给叶绿素用于光合作用, 而且还能帮助植物抵御光造成的损伤^[17]。试验结果表明, 在同一基质含水量水平下, 叶绿素 a、叶绿素 b 和总叶绿素含量均随着光照强度降低而递增, 这一点与在番茄^[18] 和不结球白菜^[19] 上的研究结果一致, 而类胡萝卜素含量显著增加, 叶绿素 a/b 无明显变化。由此说明, 铁皮石斛在弱光环境下, 其叶绿素含量和类胡萝卜素含量均会增加, 从而改变光合色素组成以增强补光能力。另外, 在同一光照强度水平下, W_3 处理的叶绿素 a、总叶绿素以及类胡萝卜素含量均显著高于 W_2 和 W_1 处理, 这有可能是因为水分亏缺时铁皮石斛叶片相对含水量下降导致的光合色素相对含量增加, 其原因还有待进一步的研究。

光合作用是植物的产量形成与品质优劣的决定因素, 光照和水分胁迫均会使光合作用受到限制。有研

究认为,铁皮石斛植株的光饱和点为 293~365 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,光补偿点为 32~65 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ^[20]。本试验中,240 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 光照(L₂)处理的铁皮石斛叶片净光合速率(Pn)、气孔导度(Gs)和蒸腾速率(Tr)均显著高于 360 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 光照(L₁)和 120 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 光照(L₃)处理的结果,说明高光强和低光强都会抑制光合作用,高光强会导致植株叶片气孔关闭并减少蒸腾作用,而弱光也会导致植株叶片气孔导度下降及蒸腾作用减弱^[21]。在强光 L₁ 处理下铁皮石斛叶片净光合速率、气孔导度、蒸腾速率以及胞间 CO₂ 浓度(Ci)均随着基质含水量的降低而显著降低,说明光照较强时基质含水量成为光合作用的主要限制因子,此时水分亏缺抑制了光合作用,植物通过关闭气孔以抵御干旱。弱光(L₃)处理在 3 个基质含水量水平下,铁皮石斛叶片的净光合速率、气孔导度及蒸腾速率均显著低于 L₁ 和 L₂ 处理,但胞间 CO₂ 浓度却显著高于其他 2 个光照处理,可以判断限制铁皮石斛光合作用的主要因素是非气孔因素,可能是由于弱光胁迫导致的叶片内部化学活性降低所引起的^[22]。

可溶性糖含量是铁皮石斛的功效成分,是最重要的品质指标。可溶性糖是植物体内重要的渗透调节物质之一,能够通过提高细胞内的溶质浓度来降低渗透势,对于调节植物细胞渗透、维持细胞膜完整性和提高抗逆性等方面具有重要的生理学意义^[23]。本试验中,在同一光照水平下,可溶性糖含量随着基质含水量的减少而显著增加,表明植株通过积累可溶性糖来提高细胞的渗透调节能力,这是植株的一种保护性反应;在同一基质含水量水平下,可溶性糖含量均随着光照强度的降低而显著减少,表明光照不足导致光合速率下降,光合产物降低,可溶性糖含量降低^[24]。

光照和水分是影响作物产量和品质的关键环境因子,前人研究大多局限于铁皮石斛对单一环境因子的响应,实际生产中也缺少水分和光照综合调控的理论依据。本研究表明,基质含水量控制在 70%、光照强度控制在 240 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 时水分和光照达到最佳互作效应,铁皮石斛的生长指标最优,其可溶性糖含量达到 26.1%,超过国家品质标准^[16];而在弱光条件下,基质含水量应控制在 40% 左右。

参 考 文 献

- [1] 吉古和.中国植物志(第 19 卷)[M].北京:科学出版社,1999:117.
- [2] LIU X F, ZHU J, GE S Y, et al. Orally administered *Dendrobium officinale* and its polysaccharides enhance immune functions in BALB/c mice [J]. *Natural Product Communications*, 2011, 6(6): 867-870.
- [3] 李娟, 李顺祥, 黄丹, 等. 铁皮石斛资源、化学成分及药理作用研究进展[J]. *科技导报*, 2011, 29(18): 74-79.
- [4] NG T B, LIU J, WONG J H, et al. Review of research on *Dendrobium*, a prized folk medicine [J]. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 2012, 93(5): 1795-1803.
- [5] 国家环境保护局, 中国科学院植物研究所. 中国珍稀濒危植物名录[M]. 北京: 科学出版社, 1987.
- [6] 刘莉, 张庭, 潘俊, 等. 铁皮石斛种质资源研究进展[J]. *山地农业生物学报*, 2014, 33(3): 83-87.
- [7] 张志勇, 齐泽民, 黄作喜. 铁皮石斛生物技术研究进展[J]. *核农学报*, 2014, 28(4): 605-610.
- [8] 孔德栋. 铁皮石斛穴盘育苗关键技术研究及推广应用[D]. 杭州: 浙江大学图书馆, 2010.
- [9] 何伯伟, 潘慧锋. 浙江铁皮石斛产业提升发展的实施措施与建议[J]. *浙江农业科学*, 2014(2): 152-155.
- [10] 张宇斌, 罗天霞, 张宇敏, 等. 湿度对铁皮石斛幼苗生长及光合作用的影响[J]. *贵州农业科学*, 2013, 41(9): 79-81.
- [11] 艾娟, 严宁, 胡虹, 等. 温度对铁皮石斛生长及生理特性的影响[J]. *云南植物研究*, 2010, 32(5): 420-426.
- [12] 龚庆芳, 赵健, 何金祥, 等. 遮荫对一年生铁皮石斛生长特性、光合特性及多糖含量的影响[J]. *北方园艺*, 2014(1): 148-150.
- [13] 中国科学院南京土壤研究所土壤物理研究室. 土壤物理性质测定法[M]. 北京: 科学出版社, 1978: 107-122.
- [14] 王克磊. 基质含水量和光照强度对番茄生长发育及生理特性的影响[D]. 南京: 南京农业大学图书馆, 2009.
- [15] 徐磊, 蒋芳玲, 吴震, 等. 基质含水量和光照度对不结球白菜生长及品质的影响[J]. *江苏农业学报*, 2009, 25(4): 865-870.
- [16] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典(一部)[S]. 北京: 中国医药科技出版社, 2010: 265.
- [17] LINCOLN T, EDUARDO Z. 植物生理学[M]. 4 版. 北京: 科学出版社, 2009: 102.
- [18] 王克磊, 蒋芳玲, 吴震, 等. 水分和光照互作对番茄生长发育和生理特性的影响[J]. *西北农业学报*, 2009, 18(4): 208-212.
- [19] 徐磊. 基质含水量和光照强度对不结球白菜生长发育及生理特性的影响[D]. 南京: 南京农业大学图书馆, 2009.
- [20] 高亭亭. 铁皮石斛光质效应和光合特性的研究[D]. 杭州: 浙江农林大学图书馆, 2012.
- [21] WANG K Q, YANG X H. The response of transpiration rate of *Malus pumila* cv. goldspur to illumination and soil moisture [J]. *Forest Studies in China*, 2001, 3(2): 18-25.
- [22] FRAQUHAR D G, SHARKEY T D. Stomatal conductance and photosynthesis [J]. *Plant Physiol*, 1982, 33: 317-345.

- [23] 战吉成,黄卫东,王利军.植物弱光逆境生理研究综述[J].植物学通报,2003,20(1):43-50.
- [24] CENT M P N.Carbohydrate level and growth of tomato plants [J].Plant Physiol,1986,81(4):1075-1079.

Effects of interaction between moisture and light on growth, photosynthetic characteristics and soluble sugar of *Dendrobium officinale*

KONG De-dong¹ ZHONG Yuan-xiang² SHEN Hong-liang³

1.Agricultural Experiment Station,Zhejiang University, Hangzhou 310058,China;

2.College of Agricultural & Biotechnology,Zhejiang University, Hangzhou 310058,China;

3.College of Environmental & Resource Sciences,Zhejiang University, Hangzhou 310058,China

Abstract The effects of interaction between substrate moisture and light intensity on the growth, photosynthetic characteristics and soluble sugar content of the annual *Dendrobium officinale* were studied. The results showed that different substrate moisture and light intensity significantly affected the growth characteristics of *Dendrobium officinale*. Different substrate moisture under the same light intensity had significant effect on the content of Chla, Chlb, Chl(a+b) and Car, but had no significant effect on the ratio of Chl(a/b). Different light intensity under the same substrate moisture had significant effect on the content of Chla, Chlb, Chl(a+b), Car and the ratio of Chl(a/b). Pn, Gs, Tr and Ci were remarkably influenced by different substrate moisture and light intensity. Pn, Gs, Tr decreased remarkably when the light intensity was too high or too low. The content of soluble sugar was remarkably influenced by different substrate moisture and light intensity, which increased remarkably as substrate moisture decreased under the same light intensity, or as light intensity increased under the same substrate moisture. Among all the treatments, *Dendrobium officinale* grew best under 240 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ light intensity and 70% water-holding capacity of substrate. Content of soluble sugar increased to the top under 360 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ light intensity and 40% water-holding capacity of substrate.

Key words *Dendrobium officinale*; substrate moisture; light intensity; photosynthetic characteristics; soluble sugar

(责任编辑:张志钰)