

doi: 10.3788/gzxb20124101.0094

# 桂花幼苗基础生长环境与其叶片 超弱发光特性关系研究

于勇<sup>1</sup>, 詹耀<sup>1</sup>, 林怡<sup>1</sup>, 毛明<sup>1</sup>, 王爱华<sup>2</sup>

(1 浙江大学 生物系统工程与食品科学学院, 杭州 310058)

(2 杭州蓝天园林建设集团有限公司, 杭州 310020)

**摘 要:**以桂花幼苗为试验样品,采用二次正交旋转组合实验优化设计方案,研究了光照、温度、湿度和水分 4 个基础环境因素对桂花幼苗叶片超弱发光值的影响,建立了 4 因素对超弱发光值的综合影响模型.分析发现:不同因素及其交互作用对超弱发光值影响的显著性也不同;其中 4 个因素的一次项和光照、湿度、水分因素的二次项,以及光照和水分、温度和湿度的交互项,对超弱发光值的影响极显著( $p \leq 0.01$ );当光照采用 10 根灯管(即照度值均值为 4 229 Lx)且温度、湿度和水分分别控制在 35 °C、85%和 90 mL/d 时桂花幼苗的超弱发光值最大.在此基础上进一步分析并获得了超弱发光值存在影响作用的各单因素及交互作用的影响规律.

**关键词:**桂花幼苗;生长环境;超弱发光

中图分类号:S31

文献标识码:A

文章编号:1004-4213(2012)01-0094-8

## 0 引言

超微弱发光是一种低水平的生物发光,它是前苏联科学家 G. Gurwitsch 在 1923 年进行著名的“洋葱试验”中首次发现的.然而,由于仪器条件的限制,直到 1954 年意大利人 Colli 等利用装有光电倍增管的仪器才首次科学地证明了超弱发光现象.此后的 50 多年里,各国研究人员对于超弱发光的机理及应用开展了大量研究工作.至今,虽然其发光机理尚未揭示清楚,但研究已证明,超弱发光反映了生物体细胞内和细胞间的新陈代谢、功能调解和信息交换,是生物体生长代谢的动态指标<sup>[1-2]</sup>.在所获得的成果中,植物的超微弱发光值与其生活力有密切正相关关系的发现是最基础研究成果之一,也是超弱发光检测技术用于现代农事管理的最重要应用基础之一<sup>[3]</sup>.

研究表明,经过电磁辐射处理的大豆的生活力比未处理的种子大大增强,而同时其超微弱发光值也显著增加;而当采用代谢抑制剂处理绿豆种子后,种子活性大大降低,其超微弱发光值也同时降低<sup>[4]</sup>.在对稻谷、花生叶片、菠菜等的研究中,研究人员也得到了类似的研究结果<sup>[5]</sup>.

在此基础上,研究人员进行了大量的以植物生活力保障或检测为目标的植物超弱发光影响因素及

其规律的研究.进而发现一些物理因素(如氧、温度、辐照等)<sup>[6-9]</sup>、化学因素(氧化剂、代谢抑制剂等)<sup>[10]</sup>以及激素和环境胁迫等在影响植物生活力的同时还影响植物的超微弱发光<sup>[11-13]</sup>.得益于电子和信息技术的发展,这些因素所致的植物超微弱发光的变化往往比其生活力特征的变化更早被识别.这有力地支持了超弱发光技术在植物工厂化育苗、智能化栽培与培育等领域的应用.

然而,目前针对影响植物超弱发光因素的研究还不够全面,尤其是多个生长环境因素影响下的植物超弱发光特性综合研究还罕有报道,而因素间对植物超弱发光特性的影响的交互特性更未明晰,这在很大程度上制约了超弱发光检测技术在上述领域应用的进展.

本文以桂花幼苗为研究对象,采用二次正交旋转组合实验优化设计方案,以获得桂花幼苗在多个生长环境因素变化情况下的超弱发光特性,并探索各因素及其交互作用与桂花幼苗超弱发光特性的关系,为推进超弱发光检测技术在植物现代化农事管理方面的应用做相关的技术准备.

## 1 材料与方法

### 1.1 材料及处理

桂花(金桂)幼苗样品 45 株,盆栽,由杭州蓝天

基金项目:教育部博士点基金(No. J20091612)和浙江省教育厅项目(No. N20090180)资助

第一作者:于勇(1978—),男,副教授,博士,主要研究方向为农产品加工及检测. Email:yyuzju@zju.edu.cn

收稿日期:2011-09-28;修回日期:2011-11-01

园林建设集团有限公司下属中泰苗木基地提供. 桂花幼苗在同一温室及相同环境、养分条件下以盆栽方式种植 30 d, 枝叶茂密程度类似. 桂花幼苗采集后放入人工气候箱 (Artificial Climate Box, RXZ), 并根据原温室环境在温度 30 ℃、湿度 90% 及自然光的条件下保存待用. 预试验证明, 15 株桂花幼苗的培养并均匀选取叶片 (手工摘取) 足以满足本试验要求, 45 株桂花幼苗以 15 株为 1 组, 设 3 个重复.

## 1.2 环境控制因素范围

本试验所研究的桂花幼苗基本生长环境因素包括光照、温度、湿度、水分 4 因素. 其中光照、温度、湿度由所采用的 RXZ 控制, 水分采用有刻度的注射器人工控制. 各因素的研究范围设置如下:

**光照:** 根据温室平均照度范围及人工气候箱所能提供的照度范围进行设置. 人工气候箱采用 40 W 日光灯管 (0~10 根) 进行光照, 不同的光照采用日光灯管打开的数量进行控制, 选取的光照值范围为 2~10 根灯管的照度值 (单根 40 W 日光灯管的照度值为  $422.9 \pm 10.1$  Lx, 采用 TES-1339 专业级照度计测得).

**温度:** 根据桂花幼苗生长所需的最适温度范围 (15 ℃~28 ℃) 进行设置, 并进行适当放大, 以获得较大范围的温度因素与桂花幼苗叶片超弱发光值的关系. 本试验选取的温度范围为 15 ℃~35 ℃, 由人工气候箱进行自动控制, 控制精度为  $\pm 0.5$  ℃.

**湿度:** 采用空气相对湿度指标, 根据桂花幼苗生长所需的最适空气相对湿度范围 (75%~85%) 进行设置, 并进行适当放大, 以获得较大范围的湿度因素与桂花幼苗叶片超弱发光值的关系. 选取的空气相对湿度范围为 65%~85%, 由人工气候箱进行自动

控制, 控制精度为  $\pm 1\%$ .

**水分:** 根据预试验获得选取的水分范围为 10~90 mL/d, 日施水量低于 10 mL 桂花幼苗时样品会在 24 h 内明显发蔫, 而日施水量大于 90 mL 桂花幼苗时样品所施水分将流出. 水分为人工采用有刻度的注射器在每天同一时间进行浇灌的方法控制.

## 1.3 超弱发光值测定

经过预试验获得超弱发光测量仪的最优检测条件: 检测前先进行 3 d 的培养, 取 2 g 桂花幼苗 (叶片), 在 35 ℃ 的检测条件下检测, 得到的超弱发光值变化最显著.

桂花幼苗叶片超弱发光值采用中国科学院生物物理研究所研制的 BPCL-2 型超微弱发光测量仪测定. 预实验发现, 进行超弱发光检测时, 在检测初始阶段, 由于存在受到外界光线照射后的延迟发光现象, 桂花幼苗叶片单位时间的发光量迅速下降并有明显波动; 而 3~5 min 后, 延迟发光逐渐消失, 单位时间的发光值也趋于平稳. 因此, 每次试验中, 桂花幼苗检测时间设定为 10 min, 去本底 (无样品状态下, 空检测杯的发光值) 之后取后 5 min 的稳定数据, 并计算单位时间的发光值.

## 1.4 试验设计及数据分析

试验采用二次正交旋转组合试验设计, 综合分析光照 (编码值  $x_1$ , 实际值  $X_1$ )、温度 (编码值  $x_2$ , 实际值  $X_2$ )、湿度 (编码值  $x_3$ , 实际值  $X_3$ )、水分 (编码值  $x_4$ , 实际值  $X_4$ ) 这 4 个试验因素及其交互作用对桂花幼苗叶片超弱发光值 (Y) 指标的影响. 基于二次正交旋转组合试验设计方法的各样品及其控制因素的编码值和实际值见表 1, 试验在零水平处重复 12 次, 总试验次数为 36 次.

表 1 二次正交旋转组合试验设计各样品超弱发光值及其控制因素的编码值和实际值  
Table 1 Quadratic rotation-orthogonal composite experimental design in coded and actual level of variables and the ultraweak luminous value of each sample

Exp. No.	Illumination/ stick		Temperature/ (°C)		Relative humidity/(%)		Moisture/ (mL · d <sup>-1</sup> )		Luminescence/ (Photon · s <sup>-1</sup> )
	$x_1$	$X_1$	$x_2$	$X_2$	$x_3$	$X_3$	$x_4$	$X_4$	
1	1	8	1	30	1	80	1	70	20.03
2	1	8	1	30	1	80	-1	30	6.61
3	1	8	1	30	-1	70	1	70	18.73
4	1	8	1	30	-1	70	-1	30	5.06
5	1	8	-1	20	1	80	1	70	17.19
6	1	8	-1	20	1	80	-1	30	5.61
7	1	8	-1	20	-1	70	1	70	4.68
8	1	8	-1	20	-1	70	-1	30	1.73
9	-1	4	1	30	1	80	1	70	12.04

(续表)

10	-1	4	1	30	1	80	-1	30	5.22
11	-1	4	1	30	-1	70	1	70	9.68
12	-1	4	1	30	-1	70	-1	30	4.71
13	-1	4	-1	20	1	80	1	70	10.43
14	-1	4	-1	20	1	80	-1	30	4.24
15	-1	4	-1	20	-1	70	1	70	4.23
16	-1	4	-1	20	-1	70	-1	30	2.82
17	-2	2	0	25	0	75	0	50	6.39
18	2	10	0	25	0	75	0	50	10.51
19	0	6	-2	15	0	75	0	50	5.25
20	0	6	2	35	0	75	0	50	9.23
21	0	6	0	25	-2	65	0	50	6.15
22	0	6	0	25	2	85	0	50	9.97
23	0	6	0	25	0	75	-2	10	5.87
24	0	6	0	25	0	75	2	90	14.01
25 <sup>a</sup>	0	6	0	25	0	75	0	50	4.78

注:第 25 号为试验中心点,根据二次正交旋转组合试验设计方法要求,设 12 个重复样品,光照的单位用根表示,即 40 W 日光灯管一支,照度值为  $422.9 \pm 10.1 \text{Lx}$ . 各样品的超弱发光值为所取 5 min 超弱发光数据的平均值,第 25 个样品的超弱发光值为 12 个重复样品的超弱发光值的均值,12 个重复样品的超弱发光值分别为:4.78、4.46、4.11、4.73、4.35、3.74、4.06、4.28、3.91、4.54、4.54 和 4.41.

试验结果采用数据处理系统(Data Processing System, DPS)进行分析,建立各环境因素与桂花幼苗超弱发光值的关系模型,获得使桂花幼苗超弱发光值最大的各最优环境因素值,并对有影响的因素及有影响的交互作用对桂花幼苗超弱发光值的影响规律进行进一步分析.

## 2 结果与分析

### 2.1 回归分析及最优参量分析

采用 DPS 数据处理系统分析获得含有一次项、二次项和交互项的多项式回归方程,对各项进行方差分析,结果见表 2.

表 2 表明,4 个环境因素的一次项(线性影响)对桂花幼苗叶片超弱发光值的影响均为极显著( $p \leq 0.01$ ),由  $p$  值可知各因素的线性影响程度顺序为:水分 > 湿度 > 温度 > 光照. 4 个因素的二次项(非线性影响)对桂花幼苗叶片超弱发光值的影响程度不同,其中,温度因素影响显著( $p \leq 0.05$ ),而光照、湿度、水分因素影响极显著( $p \leq 0.01$ ),由  $p$  值可知各因素的非线性影响程度顺序为:水分 > 湿度 > 光照 > 温度. 由此可知,光照、温度、湿度和水分 4 因素都是桂花幼苗叶片生长发育的重要影响因素,在进行桂花幼苗的现代化农事管理过程中,都应予以重点调控.

另外,4 个环境因素两两之间交互作用对桂花幼苗叶片超弱发光值的影响也不同. 其中光照和水分的交互项,以及温度和湿度的交互项对超弱发光

值的影响极显著( $p \leq 0.01$ ),温度与水分的交互项,以及湿度与水分的交互项对超弱发光值的影响显著( $p \leq 0.05$ ),光照和温度的交互项对超弱发光值有影响( $p \leq 0.1$ ),而光照和湿度的交互项对超弱发光值的影响均不显著( $p > 0.10$ ). 不难发现,水分是桂花幼苗生长发育过程中极其重要的影响因素,它的

表 2 各因素取编码值时的多项式方程及方差分析结果

Table 2 Model and condensed ANOVA (analysis of variance) table in coded level of variables

Source of variations	Coefficient of polynomial	F-value
Constant	4.325 8	—
$x_1$	1.437 9	21.027 81***
$x_2$	1.629 6	27.007 21***
$x_3$	1.557 1	24.657 57***
$x_4$	3.220 4	105.475 28***
$x_1^2$	1.012 8	13.909 88***
$x_2^2$	0.710 3	6.841 70**
$x_3^2$	0.915 3	11.360 67***
$x_4^2$	1.385 3	26.023 21***
$x_1 x_2$	0.705 6	3.375 85*
$x_1 x_3$	0.546 9	2.027 74 <sup>NS</sup>
$x_1 x_4$	1.389 4	13.088 03***
$x_2 x_3$	-1.143 1	8.859 78***
$x_2 x_4$	1.046 9	7.430 62**
$x_3 x_4$	0.938 1	5.967 01**
$r$	0.976	—

注:变量: $x_1$ -光照, $x_2$ -温度, $x_3$ -湿度, $x_4$ -水分;NS:影响不显著, $p > 0.10$ ,\*:有影响, $p \leq 0.10$ ;\*\*影响显著, $p \leq 0.05$ ;\*\*\*影响极显著, $p \leq 0.01$ ;(下表同).

重要性不仅体现在它作为单因素的影响,还体现在它与其他三个因素之间都存在较强的交互作用.而光照除了与水分存在较强的交互作用外,与温度和湿度均没有较强的交互作用,因此,在进行桂花幼苗的现代化农事管理过程中,应该尤其重视水分因素的调控,并与水分因素相结合进行光照因素的调控.此外,温度和湿度较强的交互作用在植物生长发育过程中是普遍存在的<sup>[3-4]</sup>,在进行桂花幼苗的现代化农事管理过程中,应结合调控.

表 2 还表明,所获得的 4 个试验因素对响应函数回归方程的相关系数较高( $r=0.933$ ),可以用于试验范围内对桂花幼苗超弱发光值的预测.

为了确定桂花幼苗对光照、温度、湿度、水分等 4 个环境因素的较优需求值,并基于植物的超微弱发光值与其生活力的密切的正相关关系<sup>[3]</sup>,本研究对桂花幼苗的超弱发光值进行优化计算.目标函数取表 2 所示的回归方程,约束条件为表 1 中编码值的取值范围,优化结果如表 3.由表 3 可知,在试验范围内,当光照采用 10 根灯管(即照度值均值为 4 229 Lx)且温度、湿度和水分分别控制在 35 °C、65%和 90 mL/d 时,桂花幼苗的超弱发光值最大(48.11 光子/s).通过验证实验表明,桂花幼苗在这一最优环境条件下的超弱发光值为 45.76 光子/s,略低于预测值,但高于其他实验条件下的超弱发光值.由于植物的超微弱发光值与其生活力密切的正相关关系,在该环境条件下,桂花幼苗的生活力最高,较其他环境条件更适合桂花幼苗的生长.

表 3 优化分析结果

Table 3 Result of optimization analysis

Parameters	Ultra-weak luminescence/ (photon · s <sup>-1</sup> )
Optimum conditions in coded level	$x_1$ 2
	$x_2$ 2
	$x_3$ 2
	$x_4$ 2
Optimum conditions in actual level	$X_1$ 10
	$X_2$ 35
	$X_3$ 85
	$X_4$ 90
Optimum value	48.11

2.2 单因素及其交互作用对超弱发光值的影响规律分析

为便于进一步分析对超弱发光值存在影响作用的各单因素及交互作用的影响规律,对表 2 所示回归模型进行修正.首先将表 2 所示回归模型中的不显著项剔除,获得剔除不显著项后的环境因素(编码值)与桂花幼苗超弱发光值的关系模型如式(1)

$$Y = 4.3258 + 1.4379x_1 + 1.6296x_2 + 1.5571x_3 + 3.2204x_4 + 1.0128x_1^2 + 0.7103x_2^2 + 0.9153x_3^2 + 1.3853x_4^2 + 0.7056x_1x_2 + 1.3894x_1x_4 - 1.1431x_2x_3 + 1.0469x_2x_4 + 0.9381x_3x_4 \quad (1)$$

其相关系数进一步提高( $r=0.983$ ).进而,将各因素的编码值转换为实际值,得到环境因素(实际值)与桂花幼苗超弱发光值的关系模型如式(2)

$$Y = 185.467 - 5.8202X_1 + 1.3878X_2 - 4.5063X_3 - 1.359X_4 + 0.2532X_1^2 + 0.0284X_2^2 + 0.0366X_3^2 + 0.0035X_4^2 + 0.0706X_1X_2 + 0.0347X_1X_4 - 0.0457X_2X_3 + 0.0105X_2X_4 + 0.0094X_3X_4 \quad (2)$$

2.2.1 单因素对桂花幼苗超弱发光值的影响

4 因素对桂花幼苗叶片超弱发光值都有显著影响作用,对这 4 个因素进行单因素影响分析,以公式(2)为基础模型,令其他因素取 0 水平值(见表 3),得到各单因素对桂花幼苗超弱发光值的影响模型,如式(3)~(6),其影响曲线如图 1、图 2.

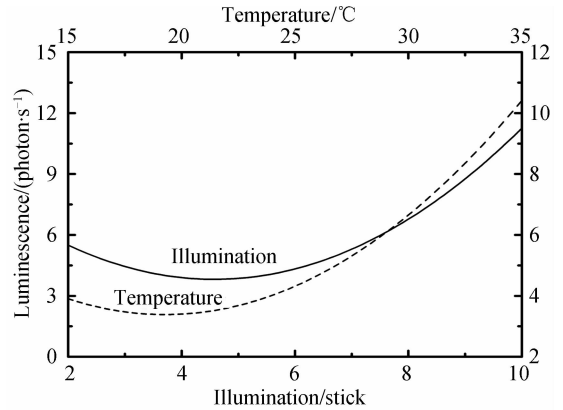


图 1 光照和温度对桂花幼苗超弱发光值的影响  
Fig. 1 Effect of illumination and temperature on the bio-illumination of osmanthus tree seedlings sample

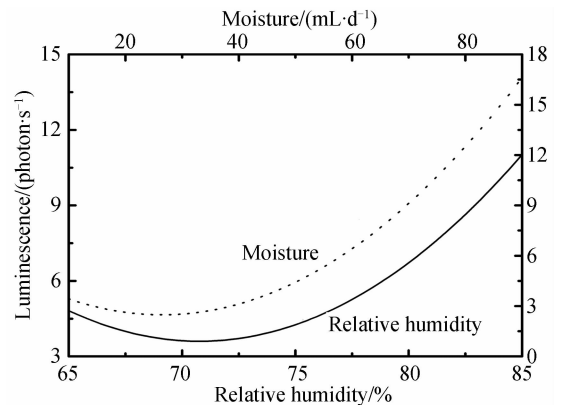


图 2 相对湿度和水分对桂花幼苗超弱发光值的影响  
Fig. 2 Effect of relative humidity and moisture on the bio-illumination of osmanthus tree seedlings sample

$$Y = 9.1273 - 2.3195X_1 + 0.2532X_1^2 \quad (3)$$

$$Y = 13.9353 - 1.0947X_2 + 0.0284X_2^2 \quad (4)$$

$$Y = 186.912 - 5.1804X_3 + 0.0366X_3^2 \quad (5)$$

$$Y=4.9329-0.1853X_4+0.0035X_4^2 \quad (6)$$

从图1、图2中不难发现,在实验范围内,当其他环境因素取0水平值时,桂花幼苗的超弱发光值随着4个因素值的增加均表现出先减小后增大的趋势,而各因素下,桂花幼苗的超弱发光值的最大值均为各因素取最大值的时候,由于植物的超微弱发光值与其生活力密切的正相关关系,此时桂花幼苗的生活力也最强,这与表3所示的优化结果相同。

桂花幼苗的超弱发光值(生活力)随光照的增加而增大,这是因为光是光合作用的能量来源,是叶绿体发育和叶绿素合成的必要条件,光还能调节光合碳循环某些酶的活性。另外光照是影响蒸腾作用的最主要外界条件。光照促进气孔开房,减小气孔阻力。另外光照通过提高气温和叶温,增加叶内外的蒸汽压梯度,加快蒸腾速率。然而,对桂花而言,强日照和荫蔽对其生长不利,一般要求每天6~8h光照。本实验结果表明,增大光照强度,可以增大桂花幼苗生长活力,反应到超弱发光值上即光照增大,发光值增大。这是因为,本实验的光照强度范围在桂花幼苗生长发育所需的光照范围之内。

桂花幼苗的超弱发光值(生活力)随温度、湿度和水分的增加而增大,这是与桂花的生长习性密切相关的。桂花适应于亚热带气候广大地区。性喜温暖,湿润。最适生长气温是(15~28)℃。湿度对桂花生长发育极为重要,要求年平均湿度75%~85%,年降水量1000mm左右,特别是幼龄期和成年树开花时需要水分较多,若遇到干旱会影响开花。本实验的结果证实了桂花的这些生长习性。

### 2.2.2 四种因素间交互作用对桂花幼苗超弱发光值的影响

对光照和温度、光照和水分、温度和水分、湿度和水分、温度和湿度这5组交互作用对桂花幼苗叶片超弱发光值的影响进行了分析,以式(2)为基础模型,令其他因素取0水平值,得到5组交互作用对桂花幼苗超弱发光值的影响模型,如式(7)~(11),其影响曲线如图3。

$$Y=29.3208-4.0835X_1-1.518X_2+0.2532X_1^2+0.0284X_2^2+0.0706X_1X_2 \quad (7)$$

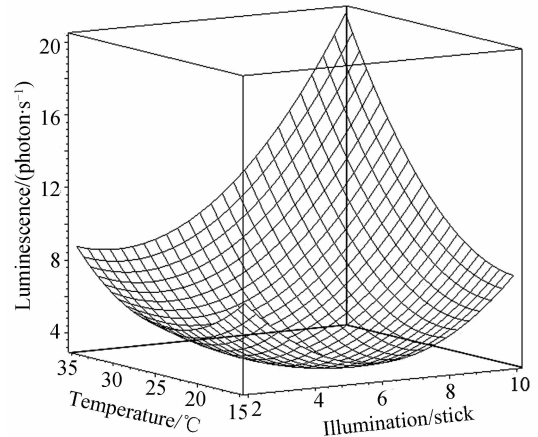
$$Y=20.1549-4.0562X_1-0.3937X_4+0.2532X_1^2+0.0035X_4^2+0.0347X_1X_4 \quad (8)$$

$$Y=110.789+2.3346X_2-4.0373X_3+0.0284X_2^2+0.0366X_3^2-0.0457X_2X_3 \quad (9)$$

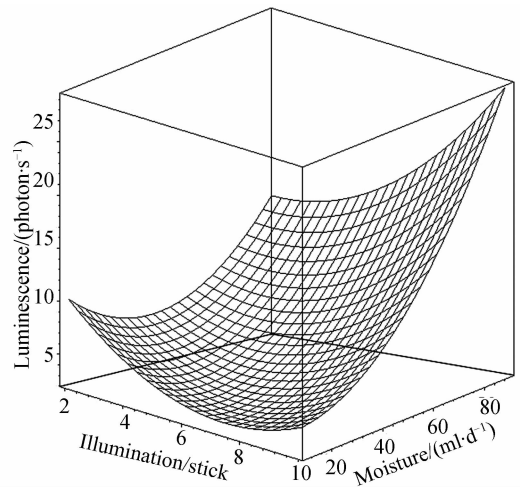
$$Y=27.6287-1.6181X_2-0.447X_4+0.0284X_2^2+0.0035X_4^2+0.0105X_2X_4 \quad (10)$$

$$Y=222.689-5.6494X_3-0.8889X_4+0.0366X_3^2+0.0035X_4^2+0.0094X_3X_4 \quad (11)$$

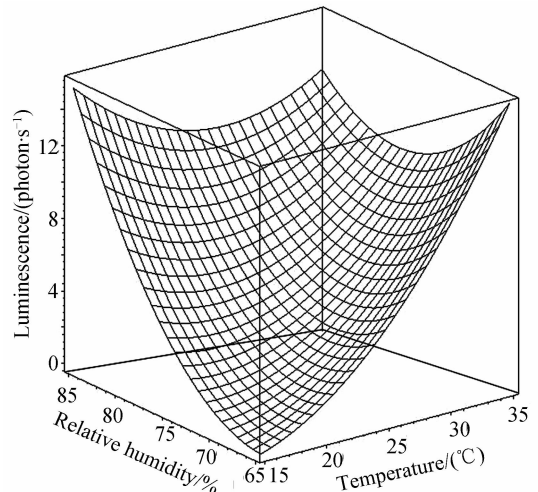
由图3(a)可见,随着环境湿度的增高,桂花幼苗的超弱发光值随光照的变化趋势不变,并保持随光照强度增加而先减小后增加的趋势,但是,当环境湿度较高时,桂花幼苗的超弱发光值随光照强度的增加而增加的幅度明显提高。同样,随着光照强度的增加,桂花幼苗的超弱发光值随湿度的增加而先减小后增加,然而,当光照强度较高时,桂花幼苗的超弱发光值随湿度的增加而增加的幅度明显提高。这充分体现了湿度和光照之间交互作用的影响。



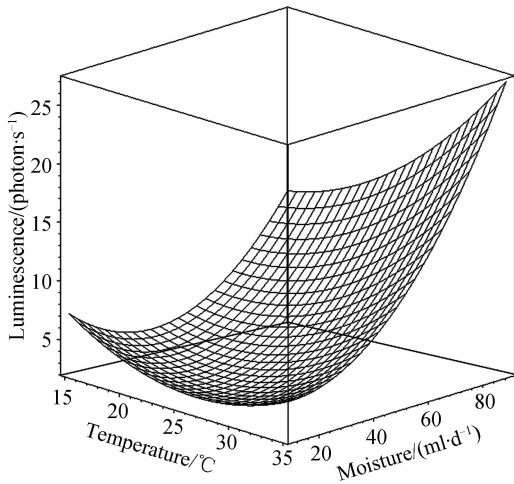
(a) Temperature and illumination



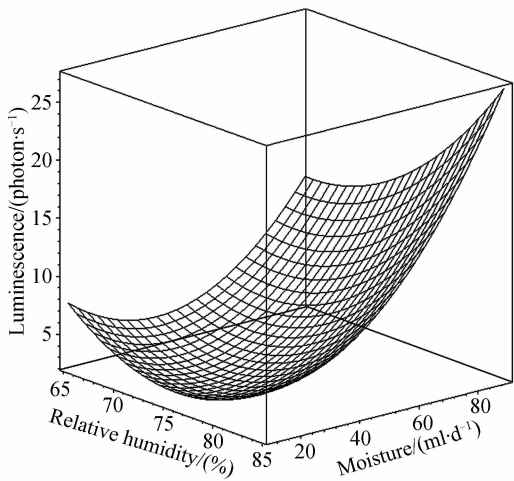
(b) Illumination and moisture



(c) Temperature and moisture



(d) Relative humidity and moisture



(e) Relative humidity and temperature

图3 不同因素对桂花幼苗超弱发光值的影响  
Fig.3 Effects of different factors on the bio-illumination of osmanthus tree seedings sample

与图3(a)类似,光照和水分、温度与水分、湿度与水分之间的交互作用也有类似的表现.可见,光照、温度、湿度、水分在较高水平下,桂花幼苗的超弱发光值随之有显著相关性的因素的变化幅度增大,可达到的最大发光值更高,桂花幼苗的生长活性也更高.

与其他的交互作用的影响规律不同,温度和湿度的交互作用对桂花幼苗超弱发光值的影响很独特.随着湿度的增加,桂花幼苗超弱发光值随着温度增高的变化趋势从几乎线性增加到先减小后增加,且当湿度较低时,最大发光值出现在最高温度;而当湿度较高时,最大发光值出现这最低温度,但此时,在整个温度范围内的最小发光值远大于低湿度下的最小发光值.同样,随着温度的增加,桂花幼苗超弱发光值随着湿度的增加的变化趋势从几乎线性增加到先减小后增加.且当温度较低时,最大发光值出现这最高湿度;而当温度较高时,最大发光值出现这最低温度,同样在此时,在整个湿度范围内的最小发光值也远大于低湿度下的最小发光值.

由此可知,在进行桂花幼苗的现代化农事管理过程中应注意,当温度较高时,湿度对桂花幼苗的生长活性的影响降低,同样,当湿度较高时,温度对桂花幼苗的生长活性的影响也降低.因此,温度和湿度两个因素的调控可以采用单一调控的方法,以实现节能.

### 3 讨论

从图1~图3中不难发现,无论在单因素响应曲线上还是在双因素响应图中,光照、温度、湿度、水分四因素的变化所导致的桂花幼苗超弱发光值的变化过程中均存在一个最低值,当4因素的水平高于或低于这个最低超弱发光值所对应的水平时,桂花幼苗的超弱发光值均会升高.这不能解释为当四因素的水平高于或低于某个临界水平时都可以促进桂花幼苗的生长.

对于这一点,刘承宜等人<sup>[14-16]</sup>的状态相干理论及其在穴位的物理刺激方面的应用,可用于解释这一现象产生的原因.基于刘承宜等人的研究,生物普遍存在穴位等生物系统,而生物的超弱发光也受穴位等生物系统的状态的影响.通常,桂花幼苗等生物体正常细胞大多处于亚变化状态,而生物体的亚变化状态具有储存光子的能力,正常时低、异常时高.当桂花幼苗等生物体的超弱发光值最低时,对应于桂花幼苗的功能内稳态.通俗地说,此时是桂花幼苗最稳定的生长状态.

当各环境因素的水平高于或低于这个最稳定状态所对应的水平时,桂花幼苗的最稳定的生长状态即被破坏,进而表现出超弱发光值升高的病理现象.通俗地讲,例如人体的细胞发育,过大或过小区别于最稳定生长状态,都是病态的表现.然而这一病理现象对于某些生物而言,尤其是对于偏重人们感官需求的动植物产品的而言不一定是不良的.例如,当环境因素的水平高于最稳定状态所对应的水平时,桂花幼苗很可能将表现出比最稳定的生长状态更高的植株生长高度、更大的叶面积、更多的花苞出现等.然而,严格意义上讲,这也是一种病理反应现象,类似于环境因素的水平低于最稳定状态所对应的水平时,桂花幼苗的生长停滞、枯萎死亡等,这是生物系统对环境异于最稳定生长状态所需环境时的生理抗性表现.

对于现代化农事管理而言,正是要利用这种生物抗性获得符合市场感官需求的动植物产品,然而所获得的产品的综合品质很可能低于生物在最稳定的生长状态下所获得的产品,例如土鸡蛋与养殖鸡蛋的区别.因此,现代化农事管理应该充分吸收状态相干理论及其应用成果,不应单纯以获得符合市场

感官需求的动植物产品为目的,尤其是感官需求不是唯一需求的动物性产品,应对改变生物最稳定生长状态的结果有充分的认识。

## 4 结论

光照、温度、湿度和水分这4个环境因素,无论其单个因素还是因素之间的交互作用,对桂花幼苗叶片的超弱发光特性均存在不同程度的影响,这一影响,是由于桂花幼苗的穴位等生物系统的状态因环境因素水平的变化而变化所导致的。其中,就单因素影响而言,4个因素对桂花幼苗叶片的超弱发光特性影响均显著,且水分和湿度的影响大于光照和温度的影响。而各因素之间的交互作用中,除了光照和湿度的交互作用以外,其他交互作用对桂花幼苗叶片的超弱发光特性也存在不同程度的影响。其中,光照和水分、温度和湿度的交互作用对超弱发光特性影响最大。且温度和湿度的交互作用效果不同于其他交互作用,在进行桂花幼苗的现代化农事管理过程中,可以利用这一点。此外,本研究所建立的数学模型可有效反映各环境因素对桂花幼苗超弱发光特性的影响。

### 参考文献

- [1] RAMAMOORTHY V, VISWANATHAN R, RAGUCHANDER T, *et al.* Induction of systemic resistance by plant growth promoting rhizobacteria in crop plants against pests and diseases[J]. *Crop Protection*, 2001, **20**:1-11.
- [2] ZHANG Xin-hua, YANG Hong-qiang. Ultraweak bioluminescence in plant [J]. *Journal of Shandong Agricultural University*, 2003, **34**(4):605-608.  
张新华, 杨洪强. 植物的超微弱发光[J]. *山东农业大学学报(自然科学版)*, 2003, **34**(4):605-608.
- [3] LIE Guang-hua, ZHAO Peng-fei, ZHANG Xin-ming, *et al.* Laser microbeam technique, biological ultraweak photon emission and biological vitomystery[J]. *Journal of Qinghai Mormal University (Natural Science Edition)*, 2003(1):78-81.  
列光华, 赵鹏飞, 张信明, 等. 激光微束技术、生物超微弱发光与生物生命奥秘[J]. *青海师范大学学报(自然科学版)*, 2003(1):78-81.
- [4] ZHANG Zhong-lun. Ultra-weak chemiluminescence analytical technology principle and application [J]. *Progress in Biochemistry and Biophysics*, 2000, **27**(1):102-104.  
张仲伦. 微弱发光分析技术应用实例(四) [J]. *生物化学与生物物理进展*, 2000, **27**(1):102-104.
- [5] ZHANG Ju-ping, ZHANG Xing-zhi, GONG Zhen-hui. Application of ultraweak bioluminescence in vegetable research [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2006, **22**(1):220-222.  
张菊平, 张兴志, 巩振辉. 超微弱发光在蔬菜研究中的应用[J]. *中国农学通报*, 2006, **22**(1):220-222.
- [6] CHENG Hai-peng, WANG Jun-hui, CHI Hao-chao, *et al.* Study on ultraweak luminescence of pisum sativum seeds at the stage of germination [J]. *Journal of Zhejiang University (Science Editton)*, 2001, **28**(6):682-685.  
程海鹏, 王君晖, 池浩超, 等. 豌豆种子萌发过程中超微弱发光的研究[J]. *浙江大学学报(理学版)*, 2001, **28**(6):682-685.
- [7] TAN Shi-ci, XING Da, TANG Yong-hong, *et al.* Spectral studies of ultra-weak biophoton emission from Plant's leabes [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2000, **29**(11):961-965.  
谭石慈, 邢达, 唐永红, 等. 植物叶片超微弱发光光谱研究[J]. *光子学报*, 2000, **29**(11):961-965.
- [8] LIN Gui-yu, HUANG Zai-fan, ZHANG Cui-hua, *et al.* Changes in ultraweak luminescence intensity, respiration rate and physiological metabolism of chrysanthemum during floral differentiation[J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2008, **35**(12):1819-1824.  
林桂玉, 黄在范, 张翠华, 等. 菊花花芽分化期超弱发光及生理代谢的变化[J]. *园艺学报*, 2008, **35**(12):1819-1824.
- [9] GUO Ying, YANG Hong-qiang. Effects of high temperature on bioluminescence and energy metabolism of malus hupehensis (Pamp) rehd. var. pingyeensis jiang [J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2008, **35**(1):99-102.  
国颖, 杨洪强. 高温对平邑茶多酚幼苗生物发光与能量代谢的影响[J]. *园艺学报*, 2008, **35**(1):99-102.
- [10] CHEN W L, XING D, WANG J, *et al.* Rapid determination of rice seed vigour by spontaneous chemiluminescence and singlet oxygen generation during early imbibition [J]. *Luminescence*, 2003, **18**(1):19-24.
- [11] STRAND J F. Some agrometeorological aspects of pest and disease management for the 21st century [J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2000, **103**(1):73-82.
- [12] YAZGAN M S, TANIK A A. New approach for calculating the relative risk level of pesticides [J]. *Environment International*, 2005, **31**(5):687-692.
- [13] LI Zuo-hua, LI Ping-ping. The study of a system for the diagnosis and prevention of pests, diseases and nutritional deficiency of greenhouse tomato [J]. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 2003(2):187-191.  
李佐华, 李萍萍. 温室番茄病虫害、缺素诊断与防治系统的研究[J]. *农机化研究*, 2003(2):187-191.
- [14] LIU C Y, LIU R, Zhu L, *et al.* Homeostatic photobiomodulation [J]. *Front Optoelectron China*, 2009, **2**(1):1-8.
- [15] 顾樵. 生物光子学[M]. 北京: 科学出版社, 2007:169-193.
- [16] LIU C Y, LIU S H, HU X L. Time theory on meridian: I. Acupoint research [J]. *Journal of South China University (Natural Science)*, 1998(1):40-45.  
刘承宜, 刘颂豪, 胡翔龙. 经络现象的时间理论之一: 穴位研究[J]. *华南师范大学学报(自然科学版)*, 1998(1):40-45.

## Relationship between Growth Environment and Ultraweak Luminescence of Osmanthus Tree Seedings

YU Yong<sup>1</sup>, ZHAN Yao<sup>1</sup>, LIN Yi<sup>1</sup>, MAO Ming<sup>1</sup>, WANG Ai-hua<sup>2</sup>

(1 College of Biosystems Engineering and Food Science, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China)

(2 Hangzhou New Blue-Sky Landscape Group, Hangzhou 310020, China)

**Abstract:** To obtain the ultraweak luminescence properties of plant affected by multilateral growth, environment factors of osmanthus tree seedings were used as the research material. Quadratic rotation-orthogonal composite experimental design was used to study the effects of illumination, temperature, relative humidity, and moisture on the ultra-weak luminescence of leaves of osmanthus tree seedings. The model of four environmental factors to ultra-weak luminescence of osmanthus tree seedings leaves was established. The ANOVA (analysis of variance) analysis showed that the significant value of influence of different factors and their interaction on ultra-weak luminescence are different. The linear effects of four variables, the quadratic effects of illumination, relative humidity and moisture, and the interaction effects of illumination & moisture and temperature & relative humidity are all significant, with  $p$ -value  $\leq 0.01$ . And when light by 10 stick of lamp tube (intensity of illumination value 4 229 Lx) and mean temperature, humidity and water respectively controlling in 35 °C 90 mL/d, 85%, the value of ultraweak luminescence was maximum. Based on that, the influence rule of each influential environmental factors and their interactions on the ultra-weak luminescence was also included.

**Key words:** Osmanthus tree seedings; Growth environment; Ultraweak luminescence