

doi:10.16055/j.issn.1672-058X.2015.0010.001

# 高压脉冲电刺激下龙舌兰释放负离子的研究\*

张万超<sup>1</sup>, 舒志君, 郑金贵<sup>2</sup>, 吴仁焯<sup>2</sup>, 邓传远<sup>1\*\*</sup>

(1.福建农林大学 园林学院,福州 350002; 2.福建农林大学 农产品品质研究所,福州 350002)

**摘要:**通过对高压脉冲电刺激下龙舌兰(*Agave americana*)释放负离子的研究,探究光照和 CO<sub>2</sub> 对龙舌兰释放负离子的影响,以为植物源负离子发生器提供理论基础;在密闭玻璃室(2.5 m×2.0 m×3.0 m)内测定和比较了光照和黑暗环境中高压脉冲电刺激下龙舌兰产生的负离子浓度和环境 CO<sub>2</sub> 浓度以及不遮光玻璃室中光照强度;结果表明:龙舌兰在高压脉冲电刺激下光照条件下能产生较多负离子,且产生的负离子浓度日变化显著;龙舌兰在高压脉冲电刺激下负离子的产生与室内 CO<sub>2</sub> 浓度无显著的相关性,与不遮光玻璃室光照强度有显著的二项式相关性。

**关键词:**光照;高压脉冲电刺激;龙舌兰;负离子;CO<sub>2</sub> 浓度

**中图分类号:**S326      **文献标志码:**A      **文章编号:**1672-058X(2015)10-0001-05

空气负离子(Negative Air Ion,简称 NAI)在空气中主要以 O<sup>2-</sup>(H<sub>2</sub>O)<sub>n</sub>、(OH)<sup>-</sup>(H<sub>2</sub>O)<sub>n</sub> 或 CO<sub>4</sub><sup>-</sup>(H<sub>2</sub>O)<sub>n</sub> 等形式存在<sup>[1]</sup>,对人体有保健和辅助治疗作用,还具有降尘杀菌、清除有害气体的作用<sup>[2-4]</sup>,所以常常被誉为“空气维生素”。根据世界卫生组织的规定,清新空气的负离子浓度标准为不低于 1 000~1 500 ion/cm<sup>3</sup><sup>[5-9]</sup>,但是随着环境的污染,室内的负离子浓度往往不能满足人类健康的需要。据统计,人类生活的 80%~90%的时间是呆在室内的<sup>[10]</sup>,尤其是冬天,因此关于室内植物在高压脉冲电刺激下产生负离子的研究是必不可少的,以往关于植物释放负离子的研究主要集中在绿地或植物群落等空间空气负离子的变化规律<sup>[6-10]</sup>、影响因素<sup>[11,12]</sup>及生态效益评价<sup>[13-16]</sup>等方面,在高压脉冲电刺激下植物释放负离子的研究方面前人主要集中在高效释放负离子植物的筛选和高压脉冲频率、脉冲电压、脉冲宽度的选择,而关于光照对植物高压脉冲电场下释放负离子的影响研究较少。根据相关研究可知植物光合作用的光电效应是植物常态下释放负离子的重要途径之一,光照是植物光合作用光反应过程的重要条件之一,CO<sub>2</sub> 是植物暗反应的条件之一,而高压脉冲电刺激能加强植物光合作用的光反应阶段。研究选择广泛用作室内观赏植物的龙舌兰作为实验材料,通过测定高压脉冲电刺激下龙舌兰在光照和黑暗条件下的负离子浓度以及对应环境中的 CO<sub>2</sub> 浓度和光照强度,以期得出光照和 CO<sub>2</sub> 对植物高压脉冲电场下释放负离子的影响。

## 1 材料与方法

### 1.1 材 料

龙舌兰植物购于福建漳州花农苗圃,选自实验人员指导花农控制水肥及农药喷施培育的长势一致的植

收稿日期:2015-01-25;修回日期:2015-03-28.

\* 基金项目:国家科技支撑计划资助项目(2013BAD01B05);福建省自然科学基金资助项目(2012J05045).

作者简介:张万超(1989-),男,湖北荆州人,硕士研究生,从事园林植物应用研究.

\*\* 通讯作者:邓传远(1971-),男,福建永安人,副教授,博士,从事园林植物功能与应用研究.E-mail:417570601@qq.com.

物,以尽量消除同种株间的形态和生理差异。

### 1.2 试验时间、地点及环境条件

试验选择 2013 年 9 月底至 2013 年 10 月中下旬的晴朗、干爽、无风的天气在室内环境中进行。室内平均温度  $21\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,相对湿度  $75\pm 15\%$ ,植物负离子的测定统一在每天的 9:00 到 17:00 完成,半个月中每时间段的负离子、 $\text{CO}_2$  平均值和光照强度均值作为不同时间段植物负离子释放量、 $\text{CO}_2$  浓度和光照强度,且半个月每天进行相同的测试作为重复试验。

### 1.3 主要仪器与试验设计

试验选择 DLY-4G-232 型大气离子测量仪,其测量范围为  $1\sim 1.999\times 10^9\text{ ion/cm}^3$ ,通过数据线可连接计算机读取数据。高压脉冲刺激仪为本实验室与福建农林大学机电学院合作研发,高压脉冲刺激仪设置的参数为电压 8 kV,脉冲宽度 500 ms,脉冲频率 1.0 s。 $\text{CO}_2$  测定采用手持式二氧化碳侦测计,其测定范围为  $0\sim 5\ 000\text{ ppm}$ ,光照强度测定采用的是 TES-1332A,其测定范围为  $0\sim 200\ 000\text{ Lux}$ 。

为了排除外界环境对负离子和  $\text{CO}_2$  测定的影响(风及其引起湿度、温度的变化),试验中植物负离子释放浓度的测定是在由厚度 4 mm 的有机玻璃制成  $2.5\text{ m}\times 2.0\text{ m}\times 3.0\text{ m}$  规格、具较好保温、保湿性能,无可觉察的空气流动的玻璃室内进行的。被测植物、刺激仪、大气离子测量仪、 $\text{CO}_2$  测量仪和光照强度测定仪均置于密闭玻璃室内。对照组玻璃箱用不透光的塑料膜遮挡,实验组处于自然光照下,实验组和对照组玻璃箱均置于室内同一环境下测定。

选择仪器读数的时间均为 30 min,每 1 s 读取一个数据,均共读取 1 800 个数据,取其平均值分别作为每时间段龙舌兰高压脉冲电刺激下释放负离子浓度和  $\text{CO}_2$  浓度,光照强度以每个时间段数值的均值作为每个时间段的光强值,连续测量半个月。

### 1.4 统计分析

应用 SPSS 统计分析软件对负离子浓度等数据进行相关分析、线性回归等统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 龙舌兰 2 种光照处理下释放负离子和室内 $\text{CO}_2$ 浓度对比分析

试验测定的时间段中实验组龙舌兰释放负离子浓度均大于对照组(表 1),其中实验组释放负离子浓度较对照组提高百分比最大的是 14:00,较对照组提高了 242.06%,其次为 13:00,负离子释放量较对照组提高了 239.18%。在试验中,实验组与对照组测定的  $\text{CO}_2$  浓度差异也比较明显,总体上不遮光环境下  $\text{CO}_2$  浓度比遮光环境低,其中相对提高百分比最小的时间段为 14:00,相对提高百分比为  $-16.40\%$ ,其次为 12:00 的  $-16.11\%$ 。不遮光玻璃室内光照强度间差异较小(表 1)。

表 1 不同处理下室内空间  $\text{CO}_2$  浓度、负离子浓度和光照强度各时间段均值

时间段	NAI/(ion/cm <sup>3</sup> )		相对提高 百分比 /%	CO <sub>2</sub> /ppm		相对提高 百分比 /%	不遮光室内 光照强度 /Lux
	遮光 (对照组)	不遮光 (实验组)		遮光 (对照组)	不遮光 (实验组)		
9:00-10:00	939 543.53	2 575 794.35	174.15	210.2	186.1	-11.47	100.00
10:00-11:00	936 274.07	2 822 872.91	201.50	200.37	174.14	-13.09	172.94
11:00-12:00	910 854.74	2 951 093.41	223.99	190.92	164.18	-14.01	178.12

续表1

时间段	NAI/(ion/cm <sup>3</sup> )		相对提高 百分比 /%	CO <sub>2</sub> /ppm		相对提高 百分比 /%	不遮光室内 光照强度 /Lux
	遮光 (对照组)	不遮光 (实验组)		遮光 (对照组)	不遮光 (实验组)		
12:00-13:00	875 421.30	2 928 416.90	234.52	205.05	172.02	-16.11	170.60
13:00-14:00	927 972.62	3 147 507.74	239.18	204.34	173.01	-15.33	142.36
14:00-15:00	928 742.12	3 176 829.74	242.06	197.13	164.8	-16.40	133.16
15:00-16:00	940 586.44	3 059 523.08	225.28	221.1	186.51	-15.64	161.02
16:00-17:00	936 956.24	2 964 946.39	216.44	205.64	179.84	-12.55	107.94

注:相对提高百分比指实验组负离子浓度均值和 CO<sub>2</sub> 浓度均值相对于对照浓度均值提高的百分比。

### 2.2 龙舌兰释放负离子浓度、室内 CO<sub>2</sub> 浓度和光照强度日变化趋势

在试验中,无论是遮光环境还是不遮光环境下,龙舌兰释放负离子浓度和 CO<sub>2</sub> 日变化趋势都呈现近似的双峰曲线(图 1,图 2),且在不遮光玻璃室中光照强度也呈现双峰曲线但均值间变化不大(图 3)。其中遮光条件下的负离子浓度变化不明显,而不遮光条件下负离子浓度变化较大,在 11:00 时不遮光条件下负离子浓度达到第一个峰值 2 928 416.90 ion/cm<sup>3</sup>,在 14:00 时达到第二个峰值 3 176 829.74 ion/cm<sup>3</sup>,而一天中负离子浓度最低的时间段为 9:00,负离子浓度为 2 575 794.35 ion/cm<sup>3</sup>;随着玻璃室中龙舌兰光合作用的变化,CO<sub>2</sub> 浓度在不遮光和遮光条件下呈现近似平行的倒双峰变化,其中在 11:00 时遮光和不遮光条件下 CO<sub>2</sub> 浓度均达到第一个低峰值分别为 190.92 ppm 和 164.18 ppm,在 14:00 时达到第二个低峰值分别为 197.13 ppm 和 164.8 ppm。

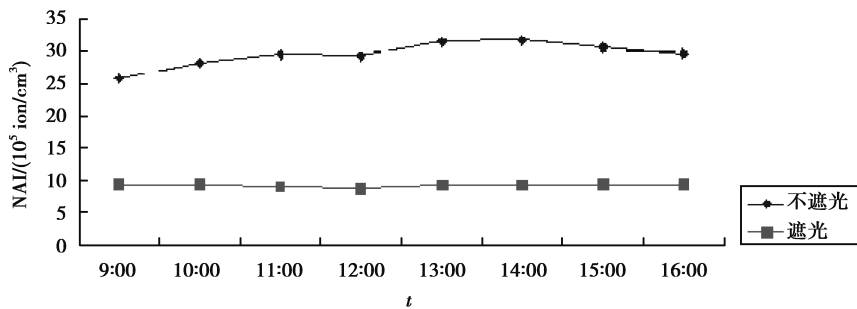


图 1 龙舌兰各时段释放负离子浓度趋势

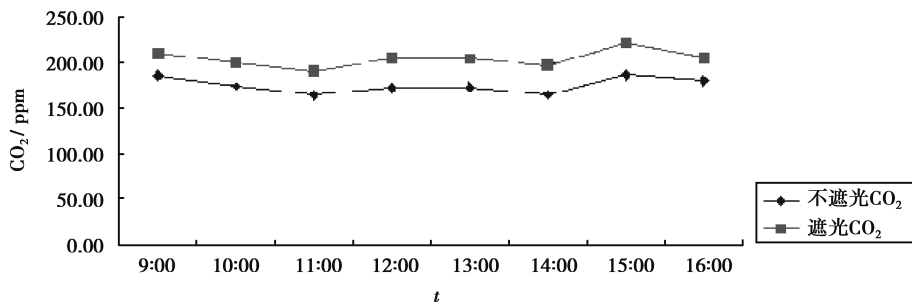


图 2 玻璃室各时间段 CO<sub>2</sub> 浓度变化趋势

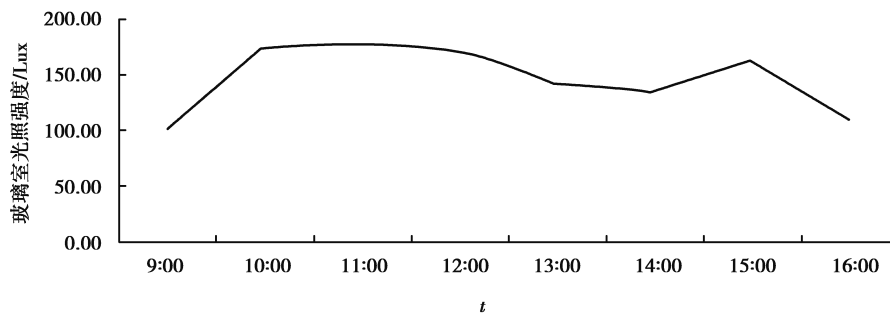


图 3 不遮光玻璃室各时间段光照强度变化趋势

### 2.3 龙舌兰不同处理下负离子浓度和室内 CO<sub>2</sub> 浓度的相关分析

通过对不同处理条件下负离子浓度均值与 CO<sub>2</sub> 浓度的均值进行相关分析(表 2),结果显示,遮光条件下负离子浓度均值与遮光条件下的 CO<sub>2</sub> 浓度均值为低度正相关,与不遮光条件下 CO<sub>2</sub> 浓度均值为低度正相关;不遮光条件下负离子浓度均值与遮光条件下 CO<sub>2</sub> 浓度均值为不相关,与不遮光条件下 CO<sub>2</sub> 浓度均值呈现低度负相关;遮光 CO<sub>2</sub> 浓度均值与不遮光 CO<sub>2</sub> 浓度均值呈现高度相关性。

表 2 不同处理条件下负离子和 CO<sub>2</sub> 浓度的均值的相关分析

	遮光负离子	不遮光负离子	遮光 CO <sub>2</sub>	不遮光 CO <sub>2</sub>
遮光负离子		-0.084	0.321	0.488
不遮光负离子			-0.124	-0.465
遮光 CO <sub>2</sub>				0.899
不遮光 CO <sub>2</sub>				

注:一般可按四级划分:0.8≤|r|<1 为高度相关;0.5≤|r|<0.8 为中度相关;0.3≤|r|<0.5 为低度相关;  
|r|<0.3 时说明变量之间的相关性程度极弱,可视为不相关

根据偏相关分析结果,通过 Excel 对遮光 CO<sub>2</sub> 浓度与不遮光 CO<sub>2</sub> 浓度进行线性回归分析,得到  $y = 0.9426x + 39.313$ ,  $R^2 = 0.8076$ ,  $R \approx 0.8987$ ,  $R$  值大于 0.666,表明遮光 CO<sub>2</sub> 浓度与不遮光 CO<sub>2</sub> 浓度之间有显著相关性;对遮光负离子浓度与遮光 CO<sub>2</sub> 浓度进行线性回归分析,得到  $y = 787.05x + 7.6 \times 10^5$ ,  $R^2 = 0.1029$ ,  $R \approx 0.3208$ ,  $R$  值小于 0.666,表明遮光负离子浓度与遮光 CO<sub>2</sub> 浓度没有显著相关性;对不遮光负离子浓度与不遮光 CO<sub>2</sub> 浓度进行线性回归分析,得到  $y = -10448x + 4.8 \times 10^6$ ,  $R^2 = 0.2163$ ,  $R \approx 0.4651$ ,  $R$  值小于 0.666,表明不遮光负离子浓度与不遮光 CO<sub>2</sub> 浓度没有显著相关性。

### 2.4 龙舌兰不遮光下负离子浓度和光照强度的相关分析

通过 excel 对龙舌兰不遮光负离子浓度和光照强度进行回归分析,结果表明:负离子浓度与光照强度满足:  $y = -272.88x^2 + 77834x - 2.4 \times 10^6$ ;  $R^2 = 0.7982$ ,  $R \approx 0.8934$ ,则龙舌兰不遮光负离子浓度与光照强度之间有二项式相关性。

## 3 讨论

(1) 试验中,实验组负离子浓度极显著大于遮光对照组负离子浓度;而且负离子的日变化较为明显,负离子浓度一般在光合作用较强时的 14:00 时达到最大值,后随着植物光合作用的降低而有所下降,统计分析结果说明:龙舌兰在自然光照下比黑暗无光条件下能释放更多的负离子,而且不同的时间段释放负离子量

不同。根据前人的研究可知,氧气分子相对于其他分子具有更强的亲电性,在光照下植物光合作用较强,产生氧气较多,能优先结合外界负电荷形成空气负离子<sup>[18,22]</sup>;植物光合作用的光电效应产生的氧气也可以和光反应过程中的电子结合形成负离子。因此,龙舌兰植物在密闭玻璃室内释放负离子受光照影响很大;试验中,不遮光玻璃室中光强度均值也近似呈双峰曲线变化与负离子浓度的变化相近,且两者间有显著的二项式相关性,进一步龙舌兰植物释放负离子受光照影响。实验组与对照组的 CO<sub>2</sub> 浓度差异较大,可能是在遮光条件下光照影响了龙舌兰的光反应阶段从而影响了光合作用暗反应阶段 CO<sub>2</sub> 吸收利用。

(2) 研究中对实验组与对照组负离子浓度和 CO<sub>2</sub> 浓度以及实验组光照强度进行相关分析,结果显示:不遮光实验组负离子浓度与 CO<sub>2</sub> 浓度以及遮光对照组的负离子浓度与 CO<sub>2</sub> 浓度均无显著的相关性,而实验组 CO<sub>2</sub> 浓度与对照组 CO<sub>2</sub> 浓度之间有显著相关性,实验组负离子浓度与光照强度之间有二项式相关性。根据光合作用的特点,可知 CO<sub>2</sub> 主要是在光合作用的暗反应阶段参与反应的,根据实验结果可知光合作用只是光反应阶段显著影响植物负离子的产生,而暗反应对植物负离子的产生无直接影响,这与前人的部分研究结果一致。实验组 CO<sub>2</sub> 浓度与对照组 CO<sub>2</sub> 浓度之间之所以显著相关性,可能是由于密闭玻璃室中空气本身就具有一定水平的 CO<sub>2</sub> 浓度。

#### 参考文献:

- [1] 秦俊,王丽勉,高凯,等.植物群落对空气负离子浓度影响的研究[J].华中农业大学学报,2008,27(2):303-308
- [2] KRUEGER A P, REED E J. Biological Impact of Small Air Ions[J]. Science, 1976, 193:1209-1213
- [3] KRUEGER A P. The Biological Effects of Air Ions[J]. International Journal of Biometeorology, 1985, 29 (3):205-206
- [4] NOYCE J O, HUGHES J F. Bactericidal Effects of Negative and Positive Ions Generated in Nitrogen On Starved Pseudomonas Veronii[J]. Journal of Electrostatics, 2003, 57(1):49-58
- [5] 马云慧.空气负离子应用研究新进展[J].宝鸡文理学院学报:自然科学版,2010,30(1):42-51,64
- [6] 吴志萍,王成.城市绿地与人体健康[J].世界森林研究,2007,20(2):32-37
- [7] 金宗哲.负离子与健康和环境[J].室内环境与健康,2006,15(3):85-87
- [8] 宗美娟,王仁卿,赵坤.大气环境中的负离子与人类健康[J].山东林业科技,2004,151(2):32-34
- [9] 林忠宁.空气负离子在卫生保健中的作用[J].生态科学,1999,18(2):87-90
- [10] 陈佳瀛,宋永昌,陶康华,等.上海城市绿地空气负离子研究[J].生态环境,2006,15(5):1024-1028
- [11] 张明如,俞益武,赵明水,等.天目山国家级自然保护区柳杉群落空气负离子浓度日变化特征[J].浙江农林大学学报,2009,26(5):701-707
- [12] 李年麒,苏印泉,张楠阳,等.黄土高原腹地千阳不同林分空气负离子分布规律研究[J].西北林学院学报,2010,25(5):24-28
- [13] 陶宝先,张金池.南京地区主要森林类型空气负离子变化特征[J].南京林业大学学报:自然科学版,2012,36(2):147-150
- [14] 王秀峰,康文杰.大学校园空气负离子的分布规律研究[J].陕西科技大学学报,2013,31(1):53-57
- [15] 朱春阳,纪鹏,李树华.城市带状绿地结构类型对空气质量的影响[J].南京林业大学学报:自然科学版,2013,37(1):18-24
- [16] 胡国长.不同林分类型空气离子的时空分布及其影响因素研究[D].南京:南京林业大学,2008
- [17] 唐吕君,赵明水,李静,等.天目山不同海拔柳杉群落特征与空气负离子效应分析[J].中南林业科技大学学报,2014,34(2):85-89
- [18] 潘剑彬,董丽.城市绿地空气负离子评价方法——以北京奥林匹克公园为例[J].生态学杂志,2011,29(9):1181-1186
- [19] 张乐勤,胡孔虎,曹先河,等.石台县景区空气负离子水平分析与评价[J].中南林业科技大学学报,2011,31(1):104-108
- [20] 胡喜生,柳冬香,洪伟,等.福州市不同类型绿地空气负离子效应评价[J].农学学报,2012,10(2):42-45
- [21] 王薇,余庄,冀凤全.基于空气负离子浓度的城市环境空气清洁度评价[J].生态环境学报,2013,22(2):298-303
- [22] 潘剑彬,董丽,廖圣晓,等.北京奥林匹克公园空气负离子浓度及其影响[J].北京林业大学学报,2011,33(2):59-64