

DOI: 10.3724/SP.J.1035.2010.00575

## 风力胁迫对具鞘微鞘藻结皮光合活性的影响

徐娟娟<sup>1</sup> 张德禄<sup>1,2</sup> 吴国樵<sup>1</sup> 王高鸿<sup>1</sup> 刘永定<sup>1</sup> 胡春香<sup>1</sup>

(1. 中国科学院水生生物研究所, 武汉 430072; 2. 武汉理工大学生物科学与技术系, 武汉 430070)

**摘要:** 抵抗风力胁迫是荒漠藻类适应干旱区环境的重要生物学机制, 也是藻结皮能够拓殖流沙的必要条件之一, 但有关藻类对风力胁迫的响应机理国内外尚无研究报道。以具鞘微鞘藻(*Microcoleus vaginatus* Gom.) 人工结皮为实验对象, 研究了不同强度风力吹蚀对结皮含水量、藻类活力、生物量、及其光合活性的影响。结果表明: 不论低于当地起沙风(3 m/s)还是高于起沙风(5 m/s 和 7 m/s)的风力吹蚀, 结皮中藻类生物量均明显下降, 而且结皮生物量的变化与风速大小和吹蚀时间呈线性关系( $y = 14.78 + 0.035a - 1.48b$ ,  $a$  风速,  $b$  时间,  $r^2 = 0.79$ )。进一步分析发现, 风力吹蚀后结皮中藻类活力并没有降低但主要光合色素和天线色素的含量普遍降低, 叶绿素荧光( $F_v / F_m$ )、表观电子传递速率( $ETR$ )和净光合速率( $P_n$ )明显下降, 并且风速越大, 降幅越大。这些结果说明风力胁迫对藻结皮生长和光合活性的影响主要是通过影响光合色素代谢合成和电子传递速率引起的, 对其生命力没有明显影响。

**关键词:** 风力胁迫; 具鞘微鞘藻; 光合色素; 细胞活力; 叶绿素荧光; 净光合速率

**中图分类号:** Q142 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3207(2010)03-0575-07

藻结皮(Algal crusts)是指以藻类生物量为主的生物结皮, 是生物结皮能够稳定存在的首要阶段, 它对干旱、半干旱地区土壤的稳定、增肥、改良、保湿及大气中二氧化碳和氧气浓度的调节都有重要的作用<sup>[1-3]</sup>。藻类是生物结皮形成时尤为关键的先锋生物, 了解它们适应极端环境的机理有着非常重要的科学意义和实用价值。

生长在荒漠环境的藻类, 往往必须承受如风力吹蚀、干旱胁迫、盐胁迫、紫外及可见光辐射等极端条件的影响<sup>[4-6]</sup>。而且它们适应这类环境的机理研究也一直受到科学家的重视。目前有人对它们适应干旱、紫外辐射等胁迫的生理生态和分子机制进行了一些研究<sup>[7,8]</sup>, 但对风力胁迫的适应性尚无报道。具鞘微鞘藻(*Microcoleus vaginatus*)是大多数藻结皮中的第一优势种, 也常常是藻类拓殖流沙形成藻结皮的建群种<sup>[9,10]</sup>, 具有很强的抗风蚀能力<sup>[11]</sup>, 在荒漠治理中有着不可替代的作用<sup>[12]</sup>。本文正是以

该藻培养成的生物结皮为实验对象, 从生物量和光合活性变化方面探讨其对风力吹蚀的响应机理的。

### 1 材料与方法

#### 1.1 材料

将来自库布齐沙漠东缘(30°31.84'N 114°20.625'E)天然结皮中的第一优势藻种-具鞘微鞘, 于 25℃和 40  $\mu\text{E}/\text{m}^2\cdot\text{s}$  条件下, 在 BG11 培养基连续培养到一定量后研磨, 并以约 1  $\mu\text{g}$  Chl $a/\text{cm}^2$  的生物量尽可能均匀地喷洒到灭过菌的采自当地的流沙(装于直径 15 cm 的培养皿中)表面, 然后每天浇水到沙土的饱和持水量(20%), 置 50  $\mu\text{E}/\text{m}^2\cdot\text{s}$  光照下培养。10d 后, 每天 9:00—12:00 时段将其置于室外, 如此锻炼 10d 后的结皮用于后面的实验分析。整个实验以无风吹蚀为对照组, 3、5 和 7 m/s 风力吹蚀为处理组。预实验发现在使用 7 m/s 风吹蚀藻结皮时, 结皮经过 10h 后才会出现破损现象, 因此各处理组取

收稿日期: 2008-04-03; 修订日期: 2009-08-24

基金项目: 国家自然科学基金项目(批准号:30770395; 30870470); 中国科学院知识创新领域前沿项目; 武汉市科技局与内蒙古发改委重大科技产业化专项(批准号:200720112031)资助

作者简介: 徐娟娟(1983—), 女, 汉族, 河南息县人; 在读硕士; 主要从事陆生藻的研究。E-mail: xujuanjuan2004@126.com

通讯作者: 胡春香, E-mail: cxhu@ihb.ac.cn

样时间均小于 10h。

## 1.2 风力胁迫模拟装置

以低噪声离心风机(DF 型, 250 W, 风量 505 m<sup>3</sup>/h, 上海科环机电有限公司)作风源, 扁平喇叭口状有机玻璃为出风口, 通过分流板将风力较均匀地分为三股, 并保持平行吹出。再通过接触式单相调压器(TDGC<sub>2</sub>-0.5 型, 天正集团有限公司)调控风速(图 1)。以 Az8901 风速仪(台湾衡欣科技股份有限公司)校准, 测试样品置于风速和风向相同处的有机玻璃板上(15 cm×50 cm)。

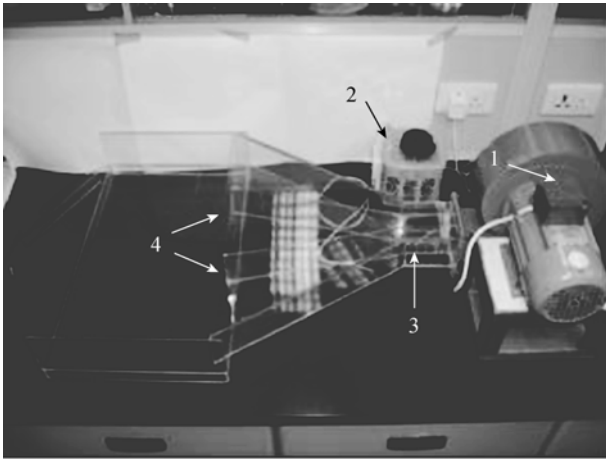


图 1 风力胁迫模拟装置

Fig. 1 The simulated equipment of wind stress

1. 风机 Fan; 2. 调压器 Booster; 3. 出风口 Exit for wind; 4. 分流板 Shunt panels

## 1.3 含水量的测定

取吹蚀 0、0.5、1、1.5、3、4、5、6、7h 后的结皮, 采用烘干法测定其含水量<sup>[13]</sup>。

## 1.4 生物量的测定

取吹蚀 0、1、3、5、7h 后的结皮, 使用分光光度计(Ultrospec 3000, Pharmacia Biotech, 英国), 参照文献[14]的方法, 以叶绿素 *a* 的方法测定其生物量。

## 1.5 藻类活力的观察和测定

取风力连续吹蚀 7h 的结皮, 立即以 0.01% 吖啶橙染色, 使用 Nikon ECLIPSE 600 荧光显微镜在激发波长 488 nm 下观察藻细胞活力状态, 并采用 TTC (氯化三苯基四氮唑)法量化测定活力的大小<sup>[15]</sup>。

## 1.6 光合色素的测定

取连续吹蚀 7h 后的结皮测定光合色素的变化, 其中叶绿素 *a* 和类胡萝卜素含量参照文献[14]的方法, 藻胆蛋白含量测定参见文献[16]的方法。

## 1.7 电子传递速率测定

参照文献[17]的方法, 取连续吹蚀 7h 后的结皮, 使用 Phyto-PAM (Walz, Germany)测定。

## 1.8 叶绿素荧光测定

参照文献[18]的方法, 取连续吹蚀 7h 后的结皮, 使用便携式植物效率分析仪(PEA, Hansatech, U.K.)测定。

## 1.9 净光合速率测定

参照文献[19]的方法, 取连续吹蚀 7h 后的结皮, 采用远红外气体分析仪(CGT0-7000, Shimadzu)在 20℃ 400 μE/m<sup>2</sup>·s 测定。

## 1.10 统计学分析

每个测定设 3 个重复, 采用 SPSS-13.0 软件进行统计学分析, 且以大于 95% 可信度水平上的最小差异为显著差异。

# 2 结 果

## 2.1 对含水量的影响

如图 2 所示, 在不同强度风力吹蚀下, 藻结皮含水量均呈下降趋势, 而且随着风力强度的增加, 下降速度明显加快。但在整个吹蚀过程中, 不论风速大小, 均在最初的 0.5h 内下降速度最快。如对照组和 3 m/s 组, 以 13.0% 速率下降, 另两个高速组约以 44% 的速率下降。0.5h 后, 对照组在 4h 前水分含量基本不变, 4h 后下降速率有所增加; 3 m/s 组则在 3h 前缓慢下降, 3h 后加速下降; 而 5 m/s 组在 4h 前都呈快速下降趋势, 5h 时后已经下降到实验条件下的最低点(0.0388±0.02)%; 7 m/s 组在 3h 内降至最低点(0.0547±0.04)%。

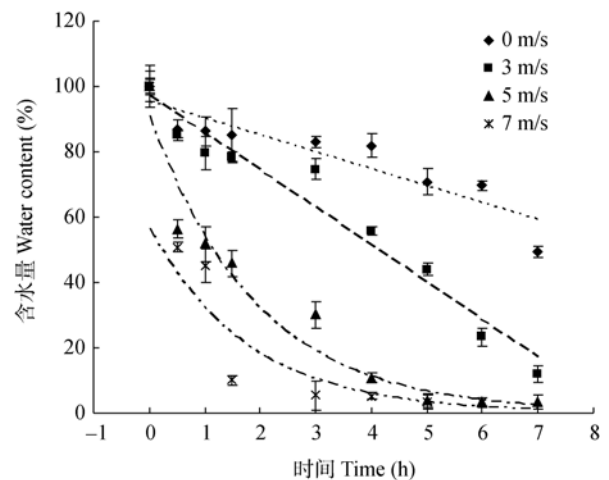


图 2 藻结皮含水量随时间变化的拟合曲线

Fig. 2 Mimic curves between water content and wind erosion time

图 2 同时表明了藻结皮含水量随时间变化的拟合曲线, 对照组和低、中、高风速组的拟合方程分别是  $y = -5.1965x + 95.364$  ( $R^2 = 0.8391$ ),  $y = -11.468x + 97.092$  ( $R^2 = 0.9551$ ),  $y = 91.247e^{-0.5247x}$  ( $R^2 = 0.9522$ ),  $y = 56.747e^{-0.5669x}$  ( $R^2 = 0.8523$ )。因此对照和各处理组 (3、5、7 m/s 风速) 的半干旱时间  $D_{1/2}$  分别是 523、246、69、13 min。

## 2.2 对生物量的影响

风力胁迫对结皮生物量的影响(图 3), 对照组在 7h 内无明显变化, 而处理组中 3 m/s 风力下在 5h 后快速下降; 5 m/s 组在 3h 时就已经快速下降, 7 m/s 组则在 1h 后就有较明显下降。3 m/s 组、5 m/s 组和 7 m/s 组的生物量随时间明显降低的方程分别依次为: 3 m/s:  $y = -0.7721x + 12.282$ ,  $R^2 = 0.9154$ ; 5 m/s:  $y = -0.8623x + 14.251$ ,  $R^2 = 0.9119$ ; 7 m/s:  $y = -0.8491x + 12.599$ ,  $R^2 = 0.8764$ 。

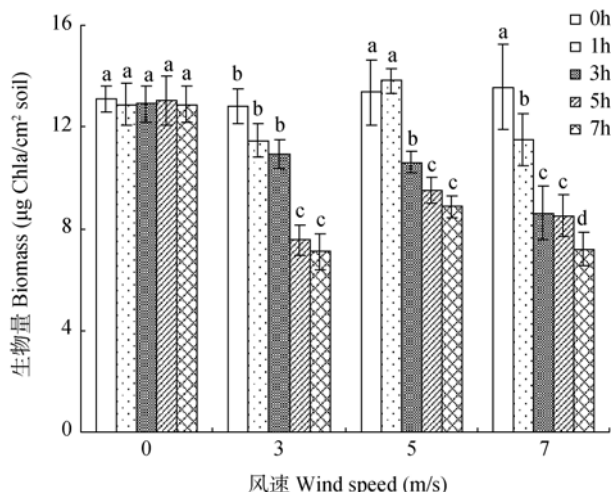


图 3 不同风速下结皮的生物量变化

Fig. 3 Change of algal biomass under the different wind force 根据 Duncan 多重检验, 不同小写字母表示处理组间存在显著差异,  $P < 0.05$  Values with the different superscript letters are significantly different at  $P < 0.05$  according to Duncan's multiple comparison test

而从影响强度来看, 吹蚀 3h 后, 3、5 和 7 m/s 组的生物量较初始值分别下降了 15.3%、18.0%、36.9%, 7h 后下降了 37.5%、38.3%、47.1%。很明显风力强度越大, 生物量下降幅度越大, 并且风力胁迫时间越长, 生物量下降幅度越大。三个处理组的胁迫时间 ( $F_4 = 21.955$ ,  $P < 0.05$ ) 和胁迫速度 ( $F_2 = 4.51$ ,  $P < 0.01$ ) 显著地影响生物量, 而且它们之间呈线性关系, 即  $y = 14.778 + 0.035a - 1.484b$  (其中  $r^2 = 0.786$ ,  $a$  为速度,  $b$  为时间)。

## 2.3 对细胞活力的影响

从图 4 看出, 没有经历风力胁迫的藻体在吖啶橙染色后偏绿色, 经不同风力吹蚀过的藻类多偏黄色, 但各处理组间没有明显差异。量化测定结果显示(图 5)处理组较对照组似乎有下降趋势, 但统计分析显示吹蚀组与对照之间及各处理组之间并未存在显著差异 ( $P > 0.05$ ), 因此, 藻细胞活力没有明显下降。

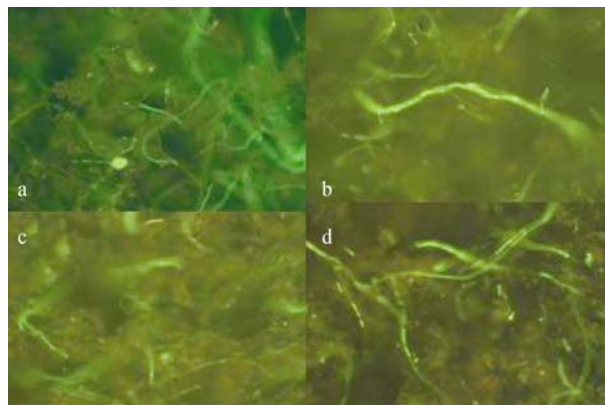


图 4 吹蚀 7h 后吖啶橙染色显示的细胞状态

Fig. 4 Cell activity dyed by acridine orange (AO) after 7h wind erosion

a 为对照; b 为 3 m/s 风速; c 为 5 m/s 风速; d 为 7 m/s 风速  
a. control; b, c, d. 3 m/s, 5 m/s and 7 m/s wind force respectively

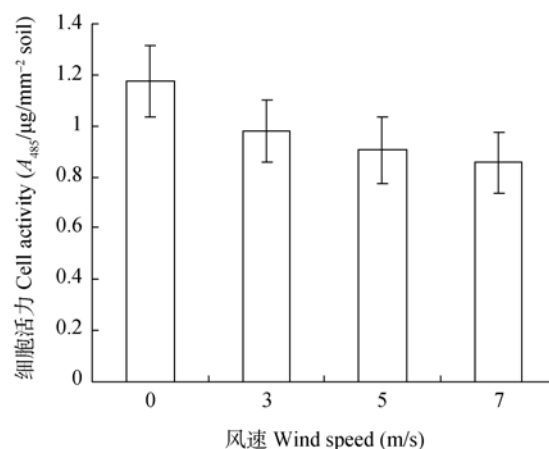


图 5 风胁迫对藻细胞活力的影响

Fig. 5 Effect of wind stress on cell activity

## 2.4 对光合色素的影响

从图 6 可以看出, 7h 的风力胁迫后光合色素含量全部呈下降趋势, 而且中心色素叶绿素  $a$  在 3 m/s 风速下下降得最快(下降了 29%), 天线色素较叶绿素  $a$  下降略缓些, 其中类胡萝卜素下降了 16%, 藻蓝素、藻红素和别藻蓝素分别下降了 11%、10%和 5%。而在 5 m/s 和 7 m/s 的风速下, 藻胆素类下降得更快(藻红素 55%和 61%, 藻蓝素下降了 59%和 69%,

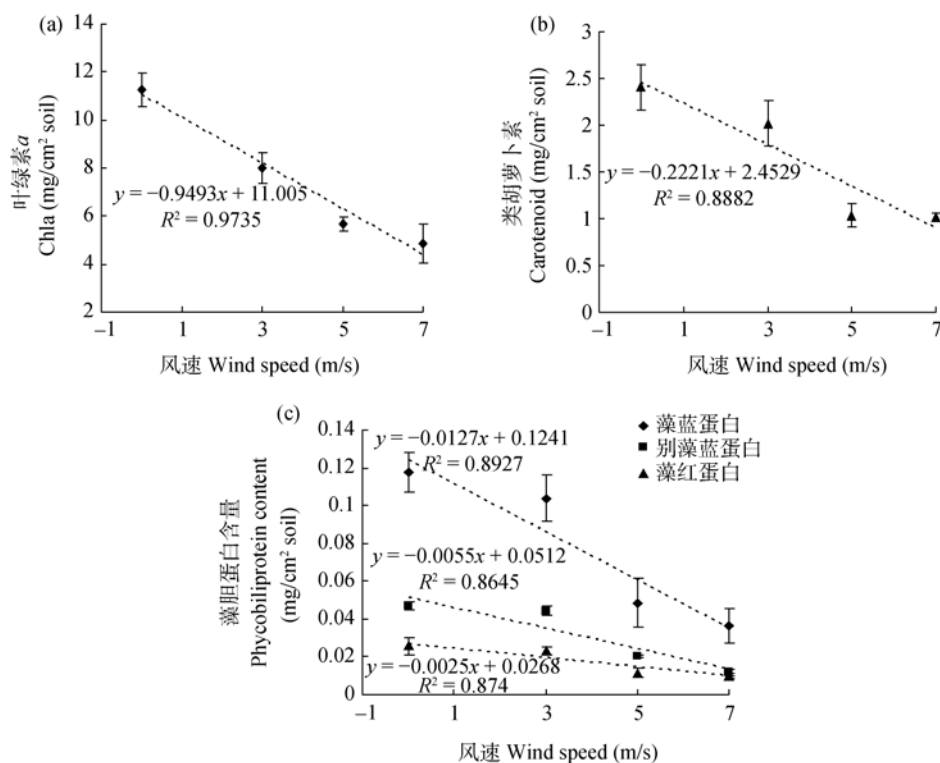


图6 风力胁迫对结皮光合色素含量的影响

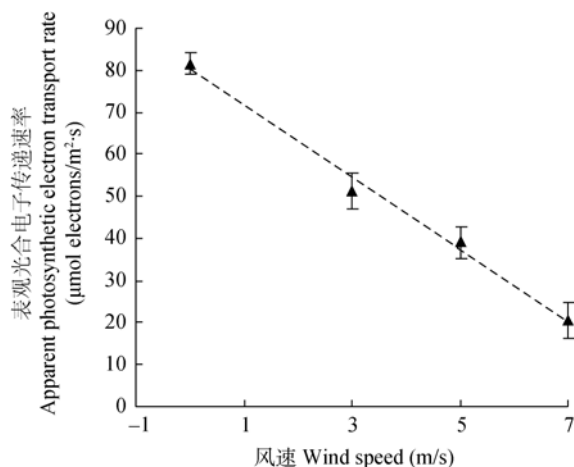
Fig. 6 Effect of wind erosion on photosynthetic pigment contents

(a)为叶绿素; (b)为类胡萝卜素; (c)为藻胆素 (a) Chlorophyll a; (b) Carotenoid; (c) Phycobilin

别藻蓝素 57%和 75%); 叶绿素 *a* 下降略慢(50%和 57%); 类胡萝卜素下降较快, 但 5 m/s 和 7 m/s 两风速间的影响没有明显差异(分别下降 57%和 58%)。

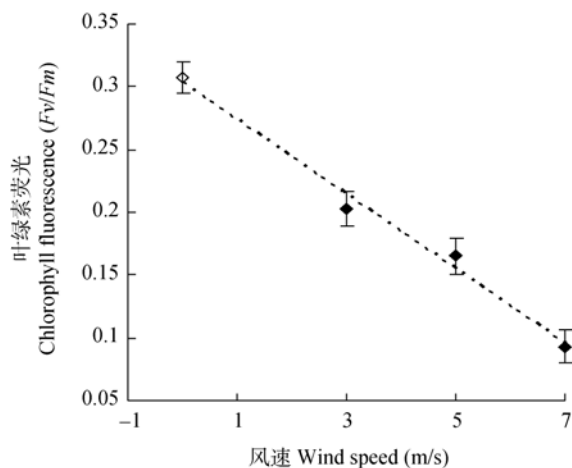
## 2.5 对电子传递速率的影响

风力胁迫使藻类表观光合电子传递速率(*ETR*)明显下降(图 7), 而且风力越大, 下降幅度越大, 它们之间存在良好的线性关系,  $y = -8.5617x + 80.181$  ( $R^2 = 0.9921$ )。

图7 风力胁迫对藻类表观光合电子传递速率的影响( $P < 0.05$ )Fig. 7 Effect of wind erosion on algal apparent photosynthetic electron transport rate ( $P < 0.05$ )

## 2.6 对叶绿素荧光的影响

如图 8 所示, 吹蚀 7h 后, 3、5、7 m/s 等各处理组叶绿素荧光(*Fv/Fm*)分别只有对照的 66%、54%、30%, 而且风力越强, 降幅越大, 它们之间呈明显的线性关系( $y = -0.0297x + 0.3034$ ,  $R^2 = 0.9896$ )。

图8 风力胁迫对结皮叶绿素荧光的影响( $P < 0.05$ )Fig. 8 Effect of wind erosion on chlorophyll fluorescence ( $P < 0.05$ )

## 2.7 对净光合速率的影响

如图 9 所示, 在风力胁迫 7h 后, 藻结皮净光合速率(*Pn*)显著降低(3、5、7 m/s 下分别下降了 25.4%、

51.0%、73.9%), 并且  $P_n$  与风速之间存在着线性关系,  $y = -1.0207x + 9.7955$ ,  $R^2 = 0.9944$ 。

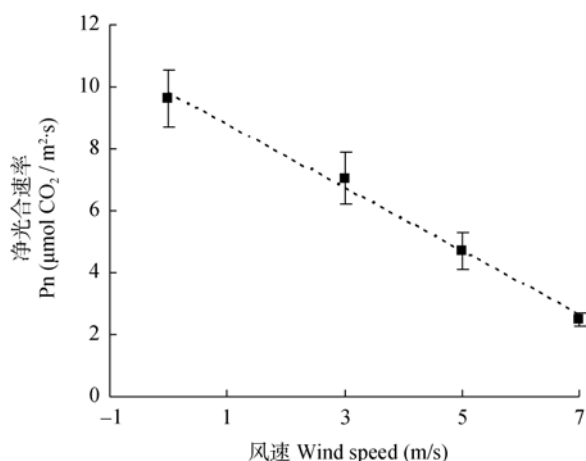


图9 风力胁迫对藻结皮净光合速率的影响( $P < 0.05$ )

Fig. 9 Effect of wind erosion on algal net photosynthetic rate ( $P < 0.05$ )

### 3 讨论

#### 3.1 风力胁迫对含水量的影响

藻结皮形成的关键藻种, 常年处于风沙胁迫状态, 就我们实验所用流沙的采集地-内蒙古库布齐沙漠东缘而言, 平均起沙风速为 4.5 m/s。因而, 本实验选择了低于起沙风速(3 m/s)和略高于起沙风速(5 m/s)及高于起沙风速(7 m/s)的三个风力强度(与蒲福风力等级相比, 它们分别相当于一、二级和三级风力)。但风力胁迫总是与水分胁迫相伴发生, 为了与水分胁迫相区分, 本实验对风力吹蚀后结皮中的水分含量进行了实时检测, 实验证明 5 m/s 和 7 m/s 风力吹蚀 7h 后结皮中水分含量基本保持不变, 因而, 与此同时发生的其他生理指标的变化则认为是风力胁迫所致。就藻类保水能力与风力的关系而言, 高坤山等<sup>[20]</sup>的研究发现在 20℃ 时, 2.0 m/s 和 3.4 m/s 风速下发菜的半干旱时间  $D_{1/2}$  分别是 60min 和 34min, 但本研究中发现 20℃ 时, 3、5 和 7 m/s 风速下具鞘微鞘藻结皮的半干旱时间分别为 246min、69min 和 13min。因此, 结皮对水分的保持作用是很明显的, 这有可能是藻类胞外聚合物对水的吸收和保持造成的, 但也有可能与沙土的遮盖有关<sup>[20,21]</sup>。

#### 3.2 风力胁迫与藻类响应的关系

关于风力胁迫植物生长的研究, 于云江等<sup>[22,23]</sup>在沙生高等植物如油蒿、柠条、沙冬青、红砂等中

有报道, 他们发现风沙的吹蚀速度和时间间隔是影响植物生长的两个关键因子。本研究进一步发现风力吹蚀不仅使藻结皮的生物量明显下降, 而且生物量与风力的胁迫时间和胁迫速度间存在线性关系, 这说明藻类对风力胁迫的响应较高等植被更加灵敏。但实验也证明藻类生物量的下降并非细胞死亡和活力下降。进一步的分析发现, 主要是藻类光合色素含量的明显下降, 尤其在低风速(3 m/s)下由于水分胁迫的相伴发生, 叶绿素  $a$  的下降速度更快; 在较高风速下(5 m/s 和 7 m/s)水分影响很小时, 风力确实改变了叶绿素  $a$ 、类胡萝卜素和藻胆素的代谢, 使它们的合成和降解速率发生了变化。但在这 3 类色素中, 它们的变化程度不同。首先, 不同风速使类胡萝卜素含量的下降程度基本相同, 这很可能是在水分低于 3.1% 的情况下类胡萝卜素的代谢几乎停止, 对更强风力胁迫变得迟钝的原因。第二, 不同风速使叶绿素  $a$  和藻胆素含量在 7 m/s 风速下的降低程度较 5 m/s 更大; 而且叶绿素  $a$  的下降速度较类胡萝卜素和藻胆素缓慢。这意味着类胡萝卜素和藻胆素的代谢对高强度风力的响应较叶绿素  $a$  敏感, 藻胆素较类胡萝卜素敏感。而在藻红素、藻蓝素和别藻蓝素之间, 它们的敏感性并没有显著差异。至于它们响应的机理可能与水分胁迫、盐胁迫及 UV-B 辐射等逆境的情况类似, 叶绿素含量的降低很可能是光合作用反应中心活性开始抑制和成分加快降解<sup>[24,25]</sup>, 藻胆素含量降低可能是藻蓝蛋白结构的变化导致了色素分子的聚集或组装发生了变化<sup>[26]</sup>。另外, 藻胆素较叶绿素  $a$  敏感的原因有可能是藻细胞为了防止出现过量的光氧化而进行的保护机制<sup>[7]</sup>。具体讲, 在风胁迫下藻细胞有可能首先降低捕光色素系统减少光能的吸收, 继而减少电子传递链上电子的数量, 防止后续的光合作用无法利用而引起电子的泄漏, 造成体内大量自由基的累积而对藻细胞造成大量的损伤, 在藻细胞光合作用抑制后, 继而也会发生光合作用反应中心(如藻类光合反应中心色素叶绿素  $a$ )的降解。我们的实验也发现反映光系统 II (PSII) 活性的叶绿素荧光的可变部分( $F_v$ )与最大荧光值( $F_m$ )比值在风胁迫下降低, 同时反映光合作用电子传递速率的  $ETR$  指标在风胁迫下也出现了降低, 表明风胁迫会引起 PSII 反应中心失活和光合作用电子传递效率降低, 如果没有捕光色素的减少, 一定会引起电子的泄漏和大量自由基的累积, 而这对于藻细胞

将是十分不利的。这些结果从另一个侧面证实了我们的猜想。

至于风胁迫如何引起藻细胞出现如此变化的机制,我们认为主要有两方面可能的途径。一是风力胁迫引起水分的大量蒸发而导致水分胁迫的间接作用,二是风力胁迫引起的直接机械作用。

## 参考文献:

- [1] Moore P D. Life in the upper crust [J]. *Nature*, 1998, **393**: 419—420
- [2] Gillis A M. Crustful of nutrients [J]. *Bio Science*, 1994, **44**: 735—736
- [3] Belnap J. The world at your feet: Desert biological soil crusts [J]. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2003, **1**(5): 181—189
- [4] Hu C X, Liu Y D, Zhang D L, et al. Gluing mechanism of desert algal crust [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2002, **47**(12): 931—937 [胡春香, 刘永定, 张德禄, 等. 荒漠结皮的胶结机理. 科学通报, 2002, **47**(12): 931—937]
- [5] Potts M. Minireview: Mechanisms of desiccation tolerance in cyanobacteria [J]. *Eur J Phycol*, 1999, **34**: 319—328
- [6] Chen L Z, Li D H, Liu Y D. Salt tolerance of *Microcoleus vaginatus* Gom., a cyanobacterium isolated from desert algal crust, was enhanced by exogenous carbohydrates [J]. *Journal of Arid Environments*, 2003, **55**: 645—656
- [7] Harel Y, Ohad I, Kaplan A. Activation of photosynthesis and resistance to Photoinhibition in Cyanobacteria within biological desert crust [J]. *Plant Physiology*, 2004, **136**: 3070—3079
- [8] Wright D J, Smith S C, Joardar V, et al. UV irradiation and desiccation modulate the three-dimensional extracellular matrix of *Nostoc commune* (Cyanobacteria) [J]. *J Biol Chem*, 2005, **280**(48): 40271—40281
- [9] Hu C X, Liu Y D, Song L R, et al. Species composition and distribution of algae in semi-desert algal crusts [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2000, **11**(1): 61—65 [胡春香, 刘永定, 宋立荣, 等. 半荒漠藻结皮中藻类的种类组成和分布. 应用生态学报, 2000, **11**(1): 61—65]
- [10] Hu C X, Liu Y D. Primary succession of algal community structure in desert soil [J]. *Acta Botanica Sinica*, 2003, **45**(8): 917—924
- [11] Hu C X, Liu Y D, Song L R, et al. Effect of desert soil algae on the stabilization of fine sands [J]. *Journal of Applied Phycology*, 2002, **14**: 281—292
- [12] Xie Z M, Chen L Z, Li D H, et al. The research on the function of soil filamentous cyanobacteria in desertification control [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2007, **31**(6): 886—890 [谢作明, 陈兰洲, 李敦海, 等. 土壤丝状蓝藻在荒漠治理中的作用研究. 水生生物学报, 2007, **31**(6): 886—890]
- [13] Special Committees of Soil Agriculture and Chemistry, Soil Science Society of China. General analytical method of soil [M]. Beijing: Academic Press. 1965, 4—5 [中国土壤学会土壤农化分析专业委员会编. 土壤常规分析方法. 北京: 科学出版社. 1965, 4—5]
- [14] Lichtenthaler H K. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes [A]. In: Packer L. Douce R (Eds.), *Methods in enzymology* [C]. New York: Academic Press. 1987, **148**: 350—382
- [15] Liu H, Mei X G. Examining cell viability of *Taxus chinensis* with TTC (2, 3, 5-triphenyl-2H-tetrazolium chloride) [J]. *Plant Physiology Communication*, 2001, **37**(6): 537—539 [刘华, 梅兴国. TTC 法测定红豆杉细胞活力. 植物生理学通讯, 2001, **37**(6): 537—539]
- [16] Siegelman H W, Kycia J H. Algal biliproteins. In: Hellebust J A and Graigie J S (Eds.), *Handbook of phycological methods, physiological and biochemical methods*. Cambridge: Cambridge University Press. 1978, 1—61
- [17] Korner S, Nicklisch A. Allelopathic growth inhibition of selected phytoplankton species by submerged macrophytes [J]. *J Phycol*, 2002, **38**: 862—871
- [18] Chen L Z, Xie Z M, Li D H, et al. Recovery of photosynthetic activity of *Microcoleus vaginatus* after water loss and rehydration [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2006, **30**(4): 404—407 [陈兰洲, 谢作明, 李敦海, 等. 失水-吸水过程中微鞘藻光合活性的特性. 水生生物学报, 2006, **30**(4): 404—407]
- [19] Qiu B S, Gao K S. Photosynthetic characteristics of the terrestrial blue-green alga, *Nostoc flagelliform* [J]. *European Journal of Phycology*, 2001, **36**: 147—156
- [20] Gao K S, Qiu B S, Xia J R, et al. Effect of wind speed on loss of water from *Nostoc flagelliform* colonies [J]. *Journal of Applied Phycology*, 1998, **10**: 55—58
- [21] De Philippis R, Sili C, Paperi R, et al. Exopolysaccharide-producing cyanobacteria and their possible exploitation: A review [J]. *J Appl Phycol*, 2001, **13**: 293—299
- [22] Yu Y J, Xin Y Y, Liu J Q, et al. Effect of wind and wind-sand current on the physiological status of different sand-fixing plants [J]. *Acta Botanica Sinica*, 1998, **40**(10): 962—968 [于云江, 辛越勇, 刘家琼, 等. 风和风沙流对不同固沙植物生理状况的影响. 植物学报, 1998, **40**(10): 962—968]
- [23] Yu Y J, Shi P J, Lu C X, et al. Response of the eco-physiological characteristics of some plant under blow sand [J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 2003, **27**(1): 53—58 [于云江, 史培军, 鲁春霞, 等. 不同风沙条件对几种植物生态生理特征的影响. 植物生态学报, 2003, **27**(1): 53—58]
- [24] Wang G H, Chen L Z, Li G B, et al. Improving photosynthesis of microalgae by changing the ratio of light-harvesting pigments [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2005, **50**(14): 1474—1479 [王高鸿, 陈兰洲, 李根保, 等. 改变捕光色素比例用于提高微藻光合效率. 科学通报, 2005, **50**(14):

- 1474—1479]
- [25] Xue L G, Xu S J, Li S W, *et al.* Response of *Spirulina platensis* to enhanced UV-B stress [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2007, **31**(2): 201—207 [薛林贵, 徐世建, 李师翁, 等. 螺旋藻对增强的 UV-B 胁迫的响应. 水生生物学报, 2007, **31**(2): 201—207]
- [26] Bi H, Zhang G M, Wang W. Changes of Phycocyanin in *Spirulina platensis* after ultraviolet light irradiation [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2007, **26**(3): 1033—1039 [毕海, 张光明, 王伟. 紫外辐照对钝顶螺旋藻藻蓝蛋白的影响研究. 农业环境科学学报, 2007, **26**(3): 1033—1039]

## EFFECT OF WIND STRESS ON PHOTOSYNTHETIC ACTIVITY OF *MICROCOLEUS VAGINATUS* CRUSTS

XU Juan-Juan<sup>1</sup>, ZHANG De-Lu<sup>1, 2</sup>, WU Guo-Qiao<sup>1</sup>, WANG Gao-Hong<sup>1</sup>, LIU Yong-Ding<sup>1</sup> and HU Chun-Xiang<sup>1</sup>

(1. Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072;

2. Biological Science and Technology, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070)

**Abstract:** Algal crusts are the early stage of biological soil crusts development and succession in the arid and semi-arid regions, in which filamentous cyanobacteria are often dominant organisms, and these algae have been recognized to possess importance functions both in the stabilization of topsoil, retarding water evaporation, meliorating soil structure, and enhancing soil fertility. Of course, the environments they grow and survive determine that they are often subjected to harsh environmental conditions, such as windy, arid, sunny irradiation and extreme temperature fluctuation. Accordingly these organisms have developed variable strategies to adapt them. Up to data, their adaptation to drought, radiation and salt stress have been studied extensively, but few is done for wind force stress, and very little is known about its acclimation to this stress.

*Microcoleus vaginatus* is the first dominant species and community - building species of more than 95% algal crusts on the world, with the most promising foreground in desertification control and application of algal crusts. The objective of this study is to explore the effects of wind stress on photosynthetic activity of *M.vaginatus* crusts.

In this study, *M. vaginatus* isolated from Qubqi Desert was batch cultured, and inoculated onto the surface of local shifting sand in laboratory. After the algal crusts formation, they were taken to the outdoors for stress exercise for 10 days from 9:00 to 12:00 everyday. Then the man-made *M.vaginatus* crusts were exposed to different scales wind forces environments (3m/s, 5m/s and 7m/s), algal physiological responses were *in situ* studied. The results showed that alga biomass decreased significantly under windy conditions, it was significantly negatively correlated with blowing time, but positively correlated with wind force scale ( $y = 14.78 - 1.48a + 0.035b$ ,  $a$  blowing time,  $b$  wind force,  $r^2=0.79$ ). After 7 hours continuous blowing at different scales wind forces, the main photosynthetic pigments and antenna pigments contents, chlorophyll fluorescence ( $F_v / F_m$ ), the apparent electron transfer rate ( $ETR$ ) and net photosynthetic rate ( $P_n$ ) decreased significantly, and the greater drop occurred at the stronger wind force. Above results indicated that wind force stressed algal growth and photosynthetic activity by impacting metabolism of pigments and photosynthetic electron transport rate, but algal cell vitality was not affected obviously.

**Key words:** Wind stress; *Microcoleus vaginatus*; Photosynthetic pigments; Cell vitality;  $F_v / F_m$ ;  $P_n$