

黄酮化合物对球形棕囊藻(*Phaeocystis globosa*) 生长和光合活性的影响*

李超¹ 于舒森¹ 徐彩彩¹ 肖溪^{1,2}

(1. 浙江大学海洋学院 舟山 316021; 2. 海洋赤潮灾害立体监测技术与应用国家海洋局重点实验室 上海 200137)

摘要 近年来,我国近岸海域赤潮暴发日益频繁,严重危害海洋生态环境、渔业及近海旅游业等海洋经济的发展,也给人类健康带来了威胁。本文研究了两种黄酮化合物槲皮素和杨梅素对我国赤潮暴发种球形棕囊藻生长的影响,并利用调制叶绿素荧光技术探究藻细胞光合作用 PS II 反应中心光合活性对黄酮胁迫的响应。结果表明:槲皮素和杨梅素均能有效抑制球形棕囊藻的生长(半抑制浓度 $IC_{50, 5d}$ 值分别为 0.068 和 0.309mg/L);槲皮素(16.0mg/L)在第 5 天对藻细胞的抑制率达到最大(89.38%±0.42%),杨梅素(16.0mg/L)在第 7 天对藻细胞的抑制率达到最大(84.76%±1.82%);相较于杨梅素胁迫,球形棕囊藻的光合作用对槲皮素胁迫更敏感[0.20mg/L 槲皮素胁迫 7 天后,最大光化学量子产量(F_v/F_m)、实际光化学量子产量(Yield)、最大相对电子传递速率($rETR_{max}$)和光能利用效率(α)值分别降低 18%、14%、24%和 28%]。研究结果以期对赤潮暴发的防治技术提供基础的理论科学参考。

关键词 黄酮化合物;赤潮;球形棕囊藻;半抑制浓度;光合活性

中图分类号 X55 **doi:** 10.11693/hyh20181100276

富营养化引起的赤潮在全球范围内时有发生,已成为全球性的环境污染问题(Du *et al.*, 2017; Thangaraj *et al.*, 2017; Hu *et al.*, 2018)。寻求有效的、环境友好的赤潮暴发控制方法已成为水生态环境领域的研究热点。

赤潮藻控制方法包括物理(Sengco *et al.*, 2005; Anderson, 2009)、化学(Zhou *et al.*, 2007; Jančula *et al.*, 2008)和生物(Alamsjah *et al.*, 2008; Eckersley *et al.*, 2018)等方法。其中,利用化感物质治理赤潮藻是一种新思路(Yang *et al.*, 2013)。化感物质是一类由植物或微生物产生的天然活性物质,具有易降解、高效性和生态安全性等优点(Rice, 1984)。已有大量研究证明多种植物包括水生植物和陆生植物对有害藻类具有化感作用,其中具有抑藻活性的化感物质主要是不饱

和内酯、有机酸、酚类和芳烃类等(Gross *et al.*, 2007; 肖溪等, 2009)。如:Li等(2005)发现从芦苇中得到的2-甲基乙酰乙酸乙酯(EMA)能够有效抑制铜绿微囊藻的生长;Xiao等(2014)从大麦秸秆中分离出的黄酮木犀素(Salcolin),对铜绿微囊藻具有抑制作用。

黄酮物质具有广谱杀菌的特性,并被广泛应用于食品和医药等领域(董艳荣, 2006; 郭丽琼等, 2012)。研究表明,黄酮化合物也对微藻生长具有一定的抑制能力。如:Huang等(2015)发现芹菜素、木犀草素和4',5-二羟基黄酮能显著影响铜绿微囊藻的生长和光合效率;尹玉丽(2007)发现黄芩素、黄芩苷、山奈素和木犀草素能有效抑制东海原甲藻和塔玛亚历山大藻,李赟辉等(2012)发现黄芩素、黄芩苷和木犀草素对米氏凯伦藻有显著抑制。然而,目前黄酮化合

* 国家自然科学基金项目, 21677122 号, 21876148 号; 海洋赤潮灾害立体监测技术与应用国家海洋局重点实验室开放基金资助项目, MATHAB201809 号; 国家重点研究和发展计划项目, 2016YFC1402104 号。李超, 硕士研究生, E-mail: lch1216@zju.edu.cn

通信作者: 肖溪, 副教授, 博士生导师, E-mail: prana@zju.edu.cn

收稿日期: 2018-11-19, 收修改稿日期: 2019-01-24

物对赤潮藻的抑制仅见到现象报道,其相关作用机理尚不明确。

球形棕囊藻(*Phaeocystis globosa*)是我国沿海赤潮暴发的典型物种,能在短期内迅速增殖形成有害赤潮(Chen *et al.*, 2014; 郭皓等, 2015)。因此,本文以球形棕囊藻为研究对象,研究黄酮化合物槲皮素和杨梅素对其生长和光合作用PSII反应中心的影响,以期为发展赤潮暴发防治的新技术提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

本研究选用赤潮藻种球形棕囊藻(*Phaeocystis globosa*),由浙江大学海洋学院海洋生物研究所藻种室提供。黄酮化合物槲皮素(Quercetin, 117-39-5, 20mg)和杨梅素(Myricetin, 529-44-2, 20mg)购自aladdin公司(中国,上海)。

1.2 实验方法

1.2.1 抑藻实验 球形棕囊藻的生活史独特,本实验的细胞形态为游离的单细胞。球形棕囊藻采用盐度为30的f/2培养基培养,于光照培养箱中驯化培养[温度(23±1)°C,光照90μmol/(m²·s)],光暗比12h:12h]。藻细胞接种扩增培养后,再次接种扩增培养,取对数生长期的藻细胞用于抑藻实验。用二甲基亚砜(DMSO)分别稀释槲皮素和杨梅素,得到浓度梯度为0.5、1、2、4、8和16mg/mL的黄酮化合物工作液。在250mL锥形瓶中加入100mL培养基、3mL对数生长期的藻细胞及100μL黄酮化合物工作液,使得各实验组最终黄酮化合物浓度为0.5、1、2、4、8和16mg/L。赤潮藻的初始藻密度为1.2×10⁵cells/mL。设置二甲基亚砜对照组(DMSO)和空白对照组。实验组和对照组均设置3个平行样,每天轻微摇动锥形瓶2次,且隔日随机交换锥形瓶位置。定期取样,用鲁哥试剂固定后,置于血球计数板中在光学显微镜下进行计数(放大倍数为400倍)。根据以下公式计算黄酮化合物对藻细胞的抑制率:

$$IR = \frac{X_0 - X_t}{X_0} \times 100\%$$

式中,IR为黄酮化合物对球形棕囊藻的抑制率(Inhibition rate); X_0 为空白对照组的藻密度; X_t 为处理组的藻密度。

通过Probit回归分析确定半抑制浓度(IC₅₀)。并根

据黄酮化合物的IC₅₀,分别设置0.5×IC₅₀、IC₅₀、2×IC₅₀三个浓度梯度,用于考察槲皮素和杨梅素对球形棕囊藻光合活性的影响。

1.2.2 叶绿素荧光参数的测定 采用超便携式调制叶绿素荧光仪(MINI-PAM-II, Walz, 德国)对黄酮化合物胁迫后的藻细胞叶绿素PSII(光合系统II)反应中心各荧光参数进行测定。测定前,藻液进行暗适应30min。本研究中测定的叶绿素荧光参数包括:(1)PSII最大光化学量子产量(F_v/F_m),经充分暗适应后在饱和脉冲激发条件下测得,是研究环境胁迫对光合作用影响的重要指标;(2)PSII实际光化学量子产量(Yield),反映的是光激发过程中参与光化学反应的部分能量;(3)最大相对电子传递速率(rETR_{max}),表征最大光合速率;(4)光响应曲线(LRC)的初始斜率α(alpha),表征光能利用效率。

1.2.3 数据统计分析 本文所有实验数据结果均以均值(\bar{X})±标准差(SE)表示。运用Microsoft Excel(2010)、Origin(2017)进行数据处理及绘图;在SPSS(22.0)上完成统计分析处理,进行单因素方差分析,通过LSD检验($P<0.05$)分析处理组间的差异显著性;所有实验组设置三组平行组。

2 结果

2.1 黄酮化合物对球形棕囊藻的抑制作用

两种黄酮化合物对球形棕囊藻的生长均有极显著的抑制作用($P<0.01$),结果如图1所示。空白对照组与二甲基亚砜对照组的藻密度(表1)表明,添加二甲基亚砜的剂量对球形棕囊藻生长无显著影响($P>0.05$)。黄酮化合物胁迫3天后,藻细胞就开始受到显著性抑制($P<0.05$)。槲皮素(16.0mg/L)在5天达到最大抑制效果(89.38%±0.42%),杨梅素(16.0mg/L)在第7天达到最大抑制效果(84.76%±1.82%)。进一步通过Probit回归分析,运用概率单位法计算出黄酮化合物作用于球形棕囊藻的IC₅₀值。以第5天抑藻情况为例,杨梅素和槲皮素均对球形棕囊藻的生长有极显著的抑制($P<0.01$),两者的IC_{50,5d}值分别为0.309、0.068mg/L。两种黄酮化合物对球形棕囊藻抑制率的拟合曲线如图2所示。

在后续光合活性响应的研究中,根据两种黄酮化合物的IC₅₀值,杨梅素浓度梯度设置为0.15、0.30和0.60mg/L,槲皮素浓度梯度设置为0.05、0.10和0.20mg/L。

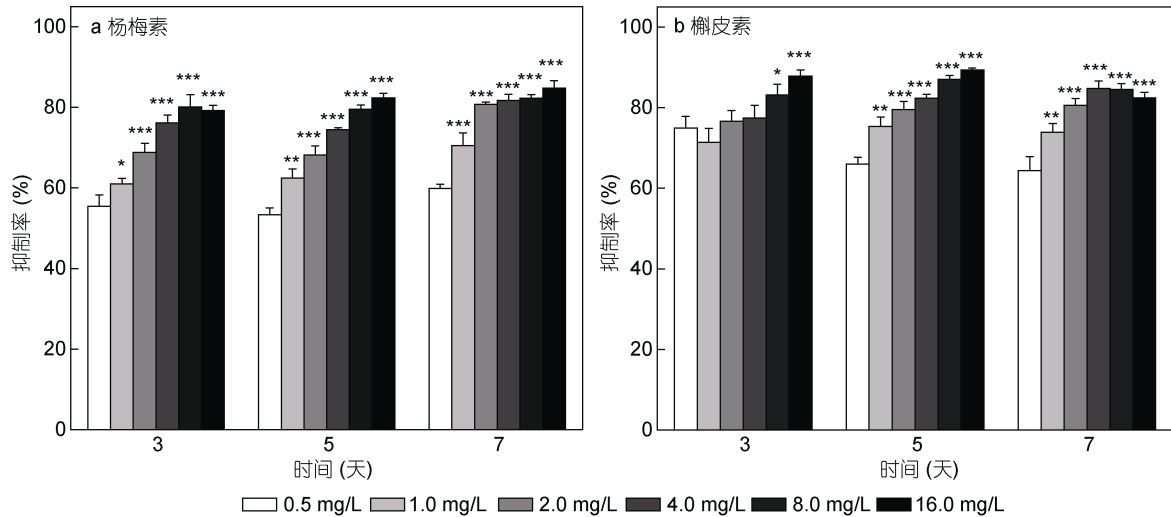


图1 杨梅素(a)、槲皮素(b)对球形棕囊藻暴露3、5、7天后生长的影响

Fig.1 Effect of myricetin (a) and quercetin (b) on the growth of *P. globosa* after 3, 5, 7-days of exposure
注: 当 P 值小于 0.05 时, 表示 0.5mg/L 组和其他处理组之间有显著性差异; *, **和***分别代表 $P<0.05$, $P<0.01$ 和 $P<0.001$ 下的显著性水平

表1 第3、5和7天后, 空白对照组(CK)和二甲亚砜对照组(DMSO)藻浓度对比

Tab.1 The comparison of algae density of blank control (CK) and dimethyl sulfoxide (DMSO) group after 3, 5, 7- days

组别	3 天	5 天	7 天
CK	0.77±0.07 ^a	1.57±0.07	1.75±0.10
DMSO	0.90 ± 0.06	1.73 ± 0.07	1.83±0.09

注: ^a表示均值±标准误差

2.2 黄酮化合物对球形棕囊藻叶绿素荧光参数的影响
用叶绿素荧光仪测定了球形棕囊藻受黄酮化合物胁迫后的叶绿素荧光参数。其中光化学量子产量反

映藻细胞将光能转化为化学能的能力, 包括 PSII 反应中心最大光化学量子产量(F_v/F_m)和实际光化学量子产量(Yield)。黄酮化合物对球形棕囊藻的最大光化学量子产量(F_v/F_m)的影响如图3所示: 总体而言, 球形棕囊藻光合作用的光化学过程对槲皮素胁迫更为敏感。首先, 在0.60mg/L ($2 \times IC_{50}$)的杨梅素胁迫下, 球形棕囊藻的 F_v/F_m 受到显著的抑制作用($P<0.05$); 而0.10 (IC_{50})和0.20mg/L ($2 \times IC_{50}$)的槲皮素对球形棕囊藻 F_v/F_m 均产生显著的抑制作用($P<0.05$)。其次, 0.60mg/L ($2 \times IC_{50}$)的杨梅素对球形棕囊藻的有效光化学量子产量(Yield)在胁迫7天后产生显著的抑制效果

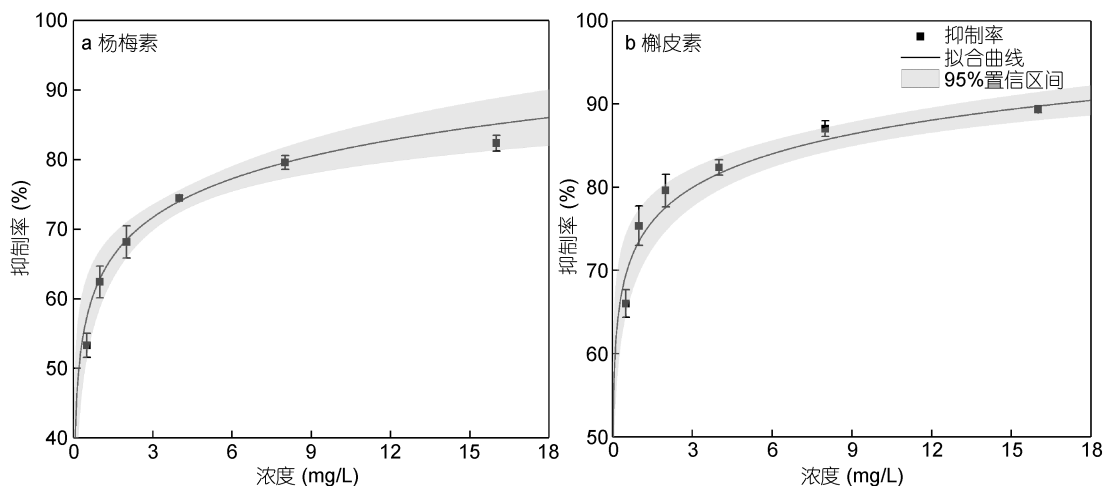


图2 杨梅素(a)、槲皮素(b)对球形棕囊藻抑制率的拟合曲线(5天)

Fig.2 The fitting curves of inhibition rate of myricetin (a) and quercetin (b) on *P. globosa* (5 day)

($P < 0.05$) (图 4a), 而 0.10 mg/L (IC_{50}) 的槲皮素在第 5 和 7 天均对 Yield 表现出显著性抑制 ($P < 0.05$) (图 4b)。此外, 杨梅素和槲皮素在第 7 天对球形棕囊藻的最大电子传递速率 $rETR_{max}$ 有极显著的影响 ($P < 0.01$)

(图 5)。0.20 mg/L ($2 \times IC_{50}$) 的槲皮素在第 7 天对球形棕囊藻的光能利用效率 α 产生了显著性抑制 ($P < 0.05$) (图 6b), 但杨梅素在三个浓度下均对其无显著影响 (图 6a)。

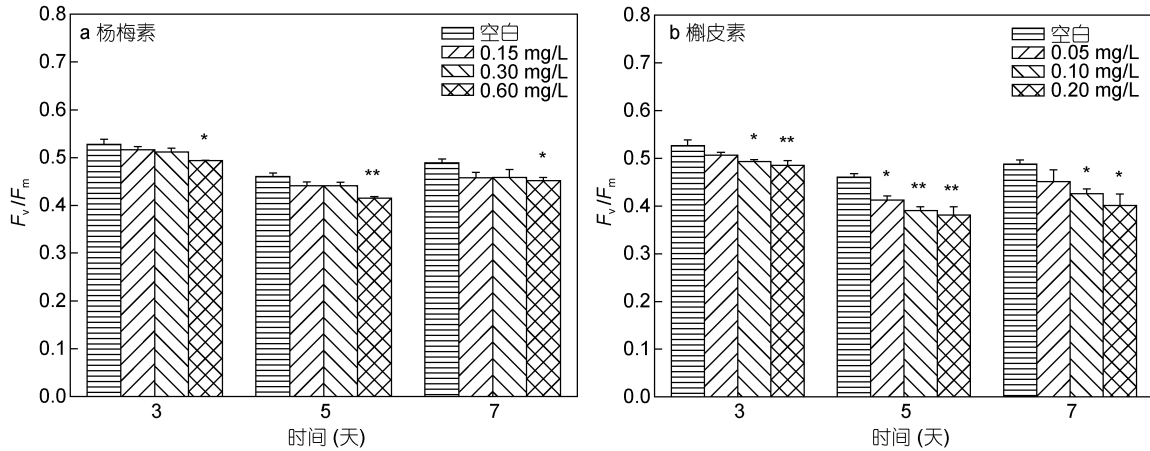


图 3 杨梅素(a)、槲皮素(b)对球形棕囊藻最大光化学量子产量(F_v/F_m)的影响

Fig.3 Effects of myricetin (a) and quercetin (b) on the maximal photochemical efficiency (F_v/F_m) of *P. globosa*
注: 当 P 值小于 0.05 时, 表示 CK 组和处理组之间有显著性差异; *和**分别代表 $P < 0.05$, $P < 0.01$ 下的显著性水平; 下同

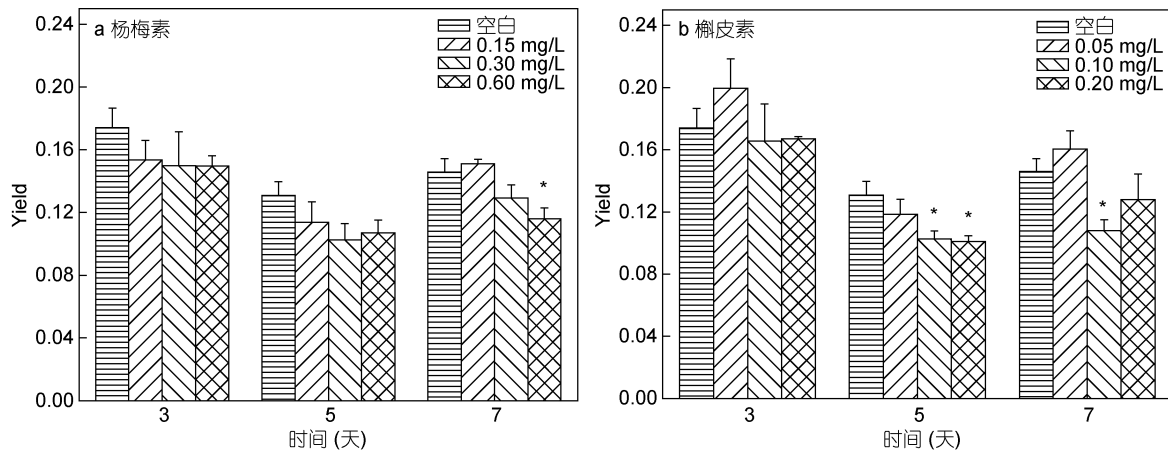


图 4 杨梅素(a)、槲皮素(b)对球形棕囊藻有效光化学量子产量(Yield)的影响

Fig.4 Effects of myricetin (a) and quercetin (b) on the actual photochemical efficiency (Yield) of *P. globosa*

3 讨论

已有研究报道了黄酮化合物或含有类黄酮素的提取物对淡水蓝藻(*Cyanobacteria*)的生长有抑制作用 (Yan *et al.*, 2012; Huang *et al.*, 2015), 本实验研究结果也进一步证明了黄酮化合物对赤潮藻球形棕囊藻同样存在抑制效果, 且随着黄酮化合物浓度 (0.5—16.0 mg/L) 的增加, 藻细胞的抑制效果也相应加强 (图 1)。黄皓旻 (2016) 研究了杨梅素和槲皮素对铜绿微囊藻 (*Microcystis aeruginosa*) 生长的抑制作用, 初始藻密度为 5×10^5 cells/mL, 半抑制浓度 $IC_{50, 5d}$ 值分别

为 2.83 和 1.99 mg/L, 而本研究中杨梅素和槲皮素对球形棕囊藻的半抑制浓度 $IC_{50, 5d}$ 值分别为 0.309 和 0.068 mg/L (初始藻密度为 1.2×10^5 cells/mL)。可见虽两种藻初始藻密度的数量级相同, 但同种黄酮化合物对不同微藻的抑制效果差异较大, 其抑制效应具有物种特异性, 因此有必要对赤潮暴发物种进行全面系统的筛选研究。实验设置的初始藻密度不同可能引起抑藻率实验结果的差别, 因此在抑藻有效性比较方面必须特别关注初始藻密度设置的差别。有趣的是, 球形棕囊藻作为一种竞争策略优越的真核浮游

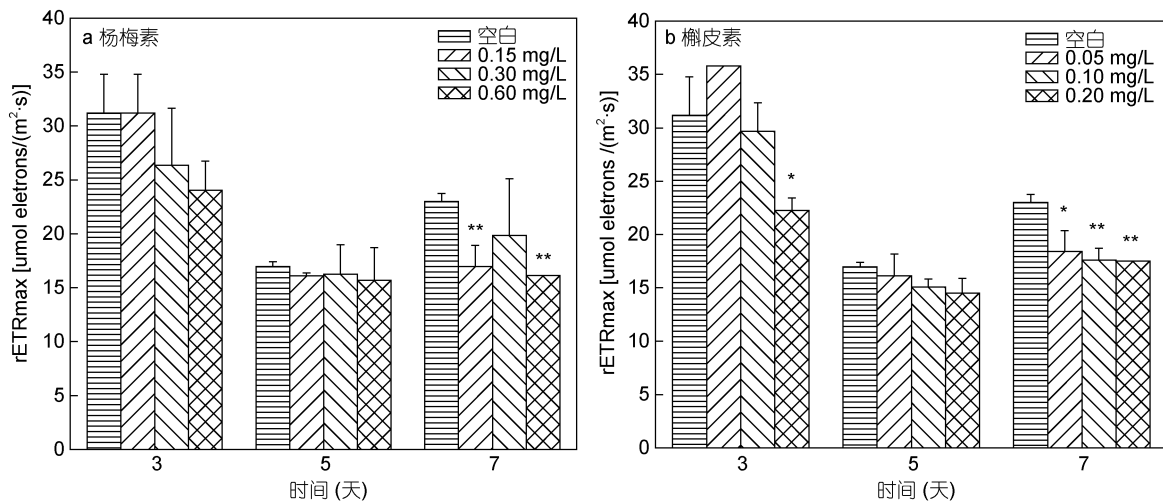
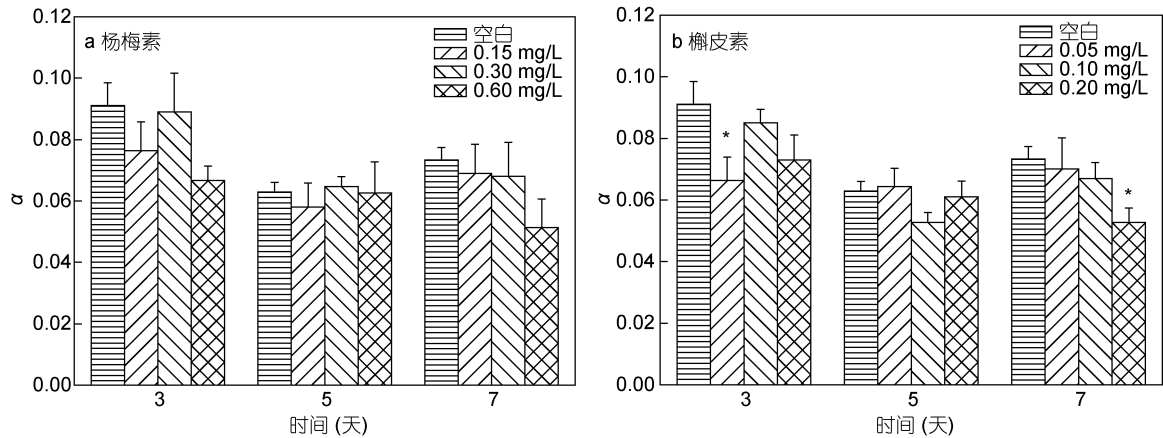
图 5 杨梅素(a)、槲皮素(b)对球形棕囊藻最大电子传递速率(rETR_{max})的影响Fig.5 Effects of myricetin (a) and quercetin (b) on the maximum electron transfer rate (rETR_{max}) of *P. globosa*

图 6 杨梅素(a)、槲皮素(b)对球形棕囊藻光能利用效率(α)的影响

Fig.6 Effects of myricetin (a) and quercetin (b) on the maximum electron transfer rate (α) of *P. globosa*

植物, 对于杨梅素和槲皮素胁迫却比蓝藻(原核生物)更为敏感, 这说明黄酮化合物在赤潮防治方面极具潜力。

叶绿素荧光参数可作为植物或藻细胞抗逆反应的指标之一, 是研究植物或藻类光合作用生理状况的有效探针(凌旌瑾, 2009; Huang *et al.*, 2015)。利用叶绿素荧光分析技术能够快速、有效地监测 PSII 系统能量利用情况, 以表征藻细胞的光合活性(Stirbet *et al.*, 2011)。F_v/F_m反映了藻细胞暗适应状态下 PSII 反应中心利用所捕获能量的情况, 本研究中的杨梅素和槲皮素处理组的 F_v/F_m值由 0.461(空白对照组)分别降低为 0.415 和 0.381(P<0.01), rETR_{max} 值由 23.02μmol electrons/(m²·s) (空白对照组)分别降低为 16.12 和 17.50μmol electrons/(m²·s)(P<0.01), Yield 值

由 0.15(空白对照组)分别降低为 0.12 和 0.11 (P<0.05), 表明杨梅素和槲皮素能够抑制藻细胞 PSII 反应中心的光合作用。类似地, Hussain 等(2011)从植物中提取了一些黄酮化合物, 包含木犀草素、芦丁、芹菜素和槲皮素等, 发现这些黄酮化合物降低了黑麦草 (*Lolium perenne*)等高等陆生植物 PS II 系统中 F_v/F_m 和 Yield 值。Huang 等(2015)研究也发现木犀草素、芹菜素和 5, 4'-二羟基黄酮可使铜绿微囊藻 (*Microcystis aeruginosa*)的光合活性受到抑制。有研究表明, 黄酮化合物和菠菜(*Spinacia oleracea* L)类囊体之间潜在的相互作用可能是通过破坏质体醌(QB)复合体功能和降低有效量子产率来中断 PS II 反应中心的电子传递, 从而损伤光合作用(Moreland *et al.*, 1987)。因此, 我们推测槲皮素和杨梅素可与球形棕囊

藻 PS II 系统的 QB-蛋白复合物相互作用, 胁迫其光合作用的原初反应, 中断光合电子的传递。与黄酮化合物的抑藻微观作用机制类似, 藻细胞光合作用过程往往是化感物质作用的关键, 如: Zhu 等(2010)研究了穗花狐尾藻(*Myriophyllum spicatum*)分泌的焦性没食子酸(Pyrogalllic acid)的抑藻效应, 结果表明焦性没食子酸能够阻断 PS II 系统中电子的传递, 从而抑制藻细胞生长。

4 结论

槲皮素和杨梅素对球形棕囊藻的生长均有极显著的抑制作用($P < 0.01$), 两者的半抑制浓度 $IC_{50, 5d}$ 值分别为 0.068 和 0.309 mg/L。球形棕囊藻的光合作用过程对槲皮素胁迫更为敏感。槲皮素和杨梅素均破坏了球形棕囊藻的光合系统, 影响了藻细胞的光合活性。

球形棕囊藻生活史复杂, 包括游离单细胞和囊体两种形态(王宗灵等, 2009)。赤潮发生时球形棕囊藻大多以囊体存在(王小冬, 2010), 且此阶段对海洋工程如核电、火电的危害最大, 因此未来有必要针对囊体形态的球形棕囊藻对黄酮化合物的响应效应及机制进行深入研究。

参 考 文 献

王小冬, 2010. 棕囊藻囊体形成及对环境压力的响应. 青岛: 中国海洋大学博士学位论文

王宗灵, 黎 慧, 高春蕾, 2009. 球状棕囊藻的形态结构、生活史及生态意义研究进展. 生态科学, 28(1): 90—96

尹玉丽, 2007. 两类植物化感物质对赤潮藻生长的影响研究. 广州: 暨南大学硕士学位论文

李赞辉, 吴 婷, 杨维东等, 2012. 十种黄酮类化合物对两种赤潮藻的抑制作用. 暨南大学学报(自然科学版), 33(1): 72—75

肖 溪, 楼莉萍, 李 华等, 2009. 沉水植物化感作用控藻能力评述. 应用生态学报, 20(3): 705—712

凌旌瑾, 2009. 环境胁迫对蛋白核小球藻(*Chlorella pyrenoidosa*)生长和光合作用的影响. 上海: 华东师范大学硕士学位论文

郭 皓, 丁德文, 林凤翱等, 2015. 近 20a 我国近海赤潮特点与发生规律. 海洋科学进展, 33(4): 547—558

郭丽琼, 苏 霞, 蒋国林等, 2012. 柑橘类黄酮提取方法的研究进展. 食品工业科技, 33(14): 412—416, 420

黄皓昱, 2016. 天然黄酮类化合物的抑藻活性—结构关系、作用机制及抑藻剂开发研究. 杭州: 浙江大学博士学位论文

董艳荣, 2006. 生物类黄酮的药理作用综述. 黑龙江医药, 19(5): 411—412

Alamsjah M A, Hirao S, Ishibashi F *et al*, 2008. Algicidal activity of polyunsaturated fatty acids derived from *Ulva fasciata*

and *U. pertusa* (Ulvaceae, Chlorophyta) on phytoplankton. Journal of Applied Phycology, 20(5): 713—720

Anderson D M, 2009. Approaches to monitoring, control and management of harmful algal blooms (HABs). Ocean & Coastal Management, 52(7): 342—347

Chen S W, Beardall J, Gao K S, 2014. A red tide alga grown under ocean acidification up-regulates its tolerance to lower pH by increasing its photophysiological functions. Biogeosciences, 11(17): 4829—4837

Du X J, Shao F J, Wu S Y *et al*, 2017. Complex network modeling for mechanisms of red tide occurrence: a case study in Bohai Sea and North Yellow Sea of China. Ecological Modelling, 361: 41—48

Eckersley E, Berger B W, 2018. An engineered polysaccharide lyase to combat harmful algal blooms. Biochemical Engineering Journal, 132: 225—232

Gross E M, Hilt S, Lombardo P *et al*, 2007. Searching for allelopathic effects of submerged macrophytes on phytoplankton—state of the art and open questions. Hydrobiologia, 584(1): 77—88

Hu Y, Ma Y, An J, 2018. Research on high accuracy detection of red tide hyperspectral based on deep learning CNN. In: Proceedings of the International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Beijing: ISPRS, XLII-3: 573—577

Huang H M, Xiao X, Ghadouani A *et al*, 2015. Effects of natural flavonoids on photosynthetic activity and cell integrity in *Microcystis aeruginosa*. Toxins, 7(1): 66—80

Hussain M I, González L, Souto C *et al*, 2011. Ecophysiological responses of three native herbs to phytotoxic potential of invasive *Acacia melanoxylon* R. Br. Agroforestry Systems, 83(2): 149—166

Jančula D, Drábková M, Černý J *et al*, 2008. Algicidal activity of phthalocyanines—screening of 31 compounds. Environmental Toxicology, 23(2): 218—223

Li F M, Hu H Y, 2005. Isolation and characterization of a novel anti-algal allelochemical from *Phragmites communis*. Applied and Environmental Microbiology, 71(11): 6545—6553

Moreland D E, Novitzky W P, 1987. Interference by luteolin, quercetin, and taxifolin with chloroplast-mediated electron transport and phosphorylation. Plant and Soil, 98(1): 145—159

Rice E L, 1984. Allelopathy. 2nd ed. Orlando: Academic Press

Sengco M R, Hagström J A, Granéli E *et al*, 2005. Removal of *Prymnesium parvum* (Haptophyceae) and its toxins using clay minerals. Harmful Algae, 4(2): 261—274

Stirbet A, Govindjee, 2011. On the relation between the Kautsky effect (chlorophyll *a* fluorescence induction) and Photosystem II: basics and applications of the OJIP fluorescence transient. Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology, 104(1—2): 236—257

Thangaraj P, Park T G, Ki J S, 2017. Molecular cloning reveals co-occurring species behind red tide blooms of the harmful dinoflagellate *Cochlodinium polykrikoides*. Biochemical Systematics and Ecology, 70: 29—34

- Xiao X, Huang H M, Ge Z W *et al*, 2014. A pair of chiral flavonolignans as novel anti-cyanobacterial allelochemicals derived from barley straw (*Hordeum vulgare*): characterization and comparison of their anti-cyanobacterial activities. *Environmental Microbiology*, 16(5): 1238—1251
- Yan R, Ji H L, Wu Y H *et al*, 2012. An investigation into the kinetics and mechanism of the removal of cyanobacteria by extract of *Ephedra equisetina* root. *PLoS One*, 7(8): e42285
- Yang C Y, Zhou J, Liu S J *et al*, 2013. Allelochemical induces growth and photosynthesis inhibition, oxidative damage in marine diatom *Phaeodactylum tricornerutum*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 444: 16—23
- Zhou L H, Zheng T L, Wang X *et al*, 2007. Effect of five chinese traditional medicines on the biological activity of a red-tide causing alga-*Alexandrium tamarense*. *Harmful Algae*, 6(3): 354—360
- Zhu J Y, Liu B Y, Wang J *et al*, 2010. Study on the mechanism of allelopathic influence on cyanobacteria and chlorophytes by submerged macrophyte (*Myriophyllum spicatum*) and its secretion. *Aquatic Toxicology*, 98(2): 196—203

EFFECTS OF FLAVONOIDS ON GROWTH AND PHOTOSYNTHETIC ACTIVITY OF *PHAEOCYSTIS GLOBOSA*

LI Chao¹, YU Shu-Miao¹, XU Cai-Cai¹, XIAO Xi^{1,2}

(1. Ocean College, Zhejiang University, Zhoushan 316021, China; 2. Key Laboratory of Integrated Marine Monitoring and Applied Technologies for Harmful Algal Blooms, Shanghai 200137, China)

Abstract Red tides occur frequently in Chinese coastal waters, which seriously endangers the marine ecological environment and development of fisheries and offshore tourism, as well as brings a threat to human health. The effects of quercetin and myricetin on the growth of *Phaeocystis globosa*, a typical red tide organism in China were studied. And the response of algal photosynthetic activity (PSII reaction center) to the stress of flavonoid was also investigated by the state-of-the-art modulated chlorophyll fluorescence technique. Both quercetin and myricetin effectively inhibit the growth of *Phaeocystis globosa* (The $IC_{50, 5d}$ values were 0.068 and 0.309mg/L, respectively); the inhibition rate of quercetin (16.0mg/L) on algae cells reached the highest (89.38%±0.42%) on the 5th day, while myricetin (16.0mg/L) on algae cells reached the highest (84.76%±1.82%) on the 7th day. Compared to myricetin, the photosynthesis of *Phaeocystis globosa* was more sensitive to quercetin. After 7 days treatment of 0.20mg/L quercetin, the maximum photochemistry quantum yield (F_v/F_m), actual photochemistry quantum yield (Yield), maximum relative electron transfer rate ($rETR_{max}$) and utilization efficiency of light energy (α) values of the algal cells were reduced by 18%, 14%, 24% and 28%, respectively.

Key words flavonoids; red tide; *Phaeocystis globosa*; half maximal inhibitory concentration; photosynthetic activity