

DOI: 10.19663/j.issn2095-9869.20240424002

http://www.yykxjz.cn/

段昱琪, 梁洲瑞, 徐慧, 鲁晓萍, 袁艳敏, 汪文俊. 光质对木下紫菜丝状体生长发育的影响. 渔业科学进展, 2025, 46(3): 139–148

DUAN Y Q, LIANG Z R, XU H, LU X P, YUAN Y M, WANG W J. Impacts of light quality on the growth and development of *Pyropia kinositae* conchocelis. Progress in Fishery Sciences, 2025, 46(3): 139–148

光质对木下紫菜丝状体生长发育的影响^{*}

段昱琪¹ 梁洲瑞² 徐慧² 鲁晓萍² 袁艳敏² 汪文俊^{2①}

(1. 浙江海洋大学水产学院 浙江 舟山 316000; 2. 海水养殖生物育种与可持续产出全国重点实验室(中国水产科学研究院黄海水产研究所) 青岛海洋科技中心海洋渔业科学与食物产出过程功能实验室 山东 青岛 266071)

摘要 木下紫菜(*Pyropia kinositae*)是理想的紫菜离岸栽培新种类,其苗种培育技术尚待完善。光是藻类生长发育的重要能量源和调控信号,而光质作为光环境的关键组成要素,调控紫菜生长发育进程的研究仍鲜见报道。本研究探究了不同光质(红光、绿光、蓝光和白光)对自由丝状体的营养扩增,贝壳丝状体营养藻丝向孢子囊枝的转化促熟,孢子囊枝细胞形成双分的诱导,以及壳孢子放散和萌发等苗种生产关键过程的影响。结果显示,蓝光组自由丝状体的相对生长速率(RGR)显著大于其他光质组,而红光、绿光和白光三组的相对生长速率之间无显著差异,表明蓝光较适宜木下紫菜自由丝状体的营养扩增;在蓝光下,自由丝状体的光系统II实际量子产量 $[Y(II)]$ 、潜在最大相对电子传递速率($rETR_{max}$)和半饱和光强(E_k),以及贝壳丝状体的光系统II最大量子产量(F_v/F_m)均显著大于其他光质组,表明蓝光显著提升了丝状体的光能转换效率,且提高了自由丝状体的电子传递活性和耐受强光能力;与蓝光组相反,在红光下,自由丝状体的 $Y(II)$ 和 $rETR_{max}$ 均显著低于其他光质组。在蓝光下,贝壳丝状体营养藻丝向孢子囊枝的转变率(48.7%)及双分孢子形成率(26.7%)均显著高于其他光质组,红光和绿光下的孢子囊枝比例最小(23.1%和24.6%),显著低于蓝光和白光下(33.2%);且在红光下的孢子囊枝形成双分孢子比例最小(10.9%),显著低于其他光质组。表明蓝光对贝壳丝状体的同步促熟效果显著,白光和绿光的促熟效果次之,红光则较差。对孢子囊枝成熟度一致(双分孢子比例水平相当)的贝壳丝状体进行降温诱导壳孢子放散,早期壳孢子放散量在白光、红光和绿光下无显著差异,而在蓝光下显著增大,表明蓝光可促进壳孢子的释放。红光和绿光下的壳孢子萌发率较低(<10%),而蓝光下的壳孢子萌发率(>80%)显著高于其他光质组。本研究初步探明了木下紫菜丝状体促长促熟及壳孢子放散和萌发的光质条件及其光合生理基础,可为其苗种生产的光环境调控提供理论支撑。

关键词 木下紫菜; 光质; 苗种培育; 丝状体; 壳孢子

中图分类号 S968.4 **文献标识码** A **文章编号** 2095-9869(2025)03-0139-10

紫菜具有较高的经济价值和营养价值,是全球产值最高的栽培经济海藻之一,在中国、日本和韩国均

有规模化生产(陈睿等, 2022)。目前,中国产业化栽培的紫菜种类主要有条斑紫菜(*Pyropia yezoensis*)和坛

^{*} 国家藻类产业技术体系(CARS-50)、山东省重点研发计划(2022LZGC004; 2021LZGC004)和中国水产科学研究院基

本科研业务费“创新团队”项目(2023TD28)共同资助。段昱琪, Email: duanyuqi77777@163.com

① 通信作者: 汪文俊, 研究员, Email: wjwang@ysfri.ac.cn

收稿日期: 2024-04-24, 收修改稿日期: 2024-05-23

紫菜(*P. haitanensis*)(李晓川, 2011), 传统栽培区域在江苏、福建、浙江等地的近岸海域, 均形成了较为成熟的栽培技术体系和较为完善的产业链(许璞等, 2013)。然而, 近年来, 在全球气候变化、海水污染、海岸工程等多重压力下, 近岸适养海区空间被大幅压缩, 紫菜产业布局发生变化, 离岸北移趋势日渐凸显(刘福利等, 2019、2020; Wang *et al.*, 2016)。开发高产、优质、抗逆、适合北方海域及外海深水区条件的紫菜新种质, 是推动紫菜离岸北移产业发展的有效措施之一。木下紫菜(*P. kinositae*), 隶属红藻门(Rhodophyta)、红毛菜科(Bangiaceae), 为近几年在我国黄海北部海域发现的紫菜新种类。野生木下紫菜生长于养殖浮筏上, 不经历周期性的干出, 藻体宽大、颜色深红, 是发展紫菜北方及离岸栽培产业的理想候选物种。目前木下紫菜的苗种培育技术尚不成熟, 限制了其在紫菜生产中的应用。

研究表明, 木下紫菜是条斑紫菜的近缘物种(Sano *et al.*, 2020; 贾如婕, 2022), 具有孢子体和配子体的异型世代交替生活史。丝状体阶段是紫菜生活史中的重要时期, 目前越来越多的紫菜育苗企业在生产上采用自由丝状体接种法, 将自由丝状体粉碎后喷洒到贝壳上形成贝壳丝状体(朱建一等, 2016; 陆勤勤等, 2018), 再对贝壳丝状体生长发育进行调控和管理, 包括调控丝状藻丝生长发育和壳孢子形成与放散的管理(陆勤勤等, 2001)。壳孢子是紫菜叶状体的主要苗源, 壳孢子放散的数量和放散的快慢直接影响了育苗效率的高低, 从而影响到海上栽培的质量和产量(杨玲等, 2004; 安健等, 2018)。近年来, 随着紫菜产品需求增大, 紫菜栽培业快速发展, 开发新的紫菜栽培品种、建立配套的高效育苗与栽培技术对产业发展具有重要意义。目前针对紫菜丝状体促长促熟及壳孢子放散和萌发的研究多集中于温度、光照强度、光周期和氮磷浓度等生态因子(Li *et al.*, 2011; 田翠翠等, 2021; 陈烨等, 2005; Knoop *et al.*, 2020)。光质作为光环境的关键组成要素(许大全等, 2015), 有关其在紫菜生长发育过程中的调控作用的研究鲜见报道。

光质对藻类的光合色素组分、蛋白含量等生理特征有显著影响(Gong *et al.*, 2020)。如红光促使脐形紫菜(*Porphyra umbilicalis*)合成叶绿素, 15 d 的红光照射能够促进长珊瑚藻(*Corallina elongata*)、海头红(*Plocamium cartilagineum*)和脐形紫菜藻红蛋白的合成, 而绿光可以促进其藻蓝蛋白的合成(López-Figueroa *et al.*, 1990)。白光能够显著提高条斑紫菜自由丝状体的叶绿素 *a* 含量, 蓝光可增加藻体藻红蛋白含量, 红光、绿光则使藻蓝蛋白含量增高(田翠翠等,

2023)。光质对藻类的生长速率、形态建成、细胞分裂等生长发育过程也有显著影响, 如蓝光可以显著提高海带幼苗的光合效率和生长速率、幼苗长度和宽度的增加(Wang *et al.*, 2010a、b)。不同藻类对光质的响应不同。蓝光促进鼠尾藻幼苗的生长, 而抑制菱形藻的生长(袁艳敏等, 2019)。小球藻(*Chlorella vulgaris*)在绿光下具有比蓝光和红光下更高的生长速率(Kubin *et al.*, 1983)。紫菜不同生长时期对光质的响应也可能存在差异。如脐形紫菜叶状体在红光下具有更高的生长率、叶面积和碳含量等(Godínez-Ortega *et al.*, 2008), 绿光下的坛紫菜果孢子萌发管生长速度、萌发管分枝形成速度及壳孢子分裂速度均显著高于蓝光和红光(刘嘉嘉等, 2023)。本研究以木下紫菜的丝状体和壳孢子为实验材料, 探讨其生长、孢子囊枝形成、双分细胞形成、壳孢子放散和萌发及丝状体的叶绿素荧光参数特征等指标对不同光质(红光、绿光、蓝光和白光)的反应规律, 以期探明木下紫菜丝状体促长促熟及壳孢子放散和萌发的光质条件, 为优化苗种生产的光环境调控提供理论支撑。

1 材料与方法

1.1 实验材料

木下紫菜采自大连旅顺海域养殖筏架(38°49'4"N, 121°22'48"E)。挑出健康且成熟的叶状体在灭菌海水中反复漂洗, 用灭菌毛刷刷去表面附着物。经阴干刺激后的藻体放入盛有灭菌天然海水的容器内, 不断搅拌海水促使果孢子放散。对获得的果孢子液进行充气悬浮培养, 以获得足量的自由丝状体的营养藻丝进行后续实验。自由丝状体培养条件: 温度为 18~20 °C, 光照强度为 60 $\mu\text{mol photons}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, 光周期为 12L : 12D, 盐度为 30, 培养液为添加了氮、磷营养盐($\text{NO}_3\text{-N}$ 浓度为 10 mg/L, $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 浓度为 1 mg/L)的灭菌海水。

将自由丝状体打碎后均匀喷洒在已灭菌的贝壳上, 贝壳丝状体接种密度为 500 ind./ cm^2 。在贝壳丝状体的藻丝营养生长阶段, 培养条件为: 水温为 20 °C, 白光, 光照强度为 50~60 $\mu\text{mol photons}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, 光周期为 12L : 12D, 盐度为 30, 添加氮、磷营养盐($\text{NO}_3\text{-N}$ 浓度为 10 mg/L, $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 浓度为 1 mg/L)。培养 60 d 后, 贝壳丝状体的营养藻丝布满贝壳, 部分变成不定形细胞, 且尚无孢子囊枝出现(使用柏兰尼液溶壳后进行镜检), 此时把贝壳丝状体分成 2 部分: 第 1 部分贝壳丝状体转到不同光质下, 作为营养藻丝转变为孢子囊枝的光质调控实验样品(标记为“BK1”); 第 2 部分贝壳丝状体继续在白光下, 在短光周期(8L : 16D)、

铁加富(Fe^{3+} 浓度为 0.2 mg/L)的条件下进行孢子囊枝的发育诱导。其他培养条件: 水温为 20 °C, 光照强度为 50~60 $\mu\text{mol photons}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$, 盐度为 30, 添加氮、磷营养盐(NO_3^- -N 浓度为 10 mg/L, PO_4^{3-} -P 浓度为 1 mg/L)。培养 40 d 后获得具有较高孢子囊枝比例(50%以上)的贝壳丝状体作为孢子囊枝细胞形成双分的光质调控实验样品(标记为“BK2”)。

挑选孢子囊枝形成比例高且细胞成熟度一致(双分孢子比例相当)的贝壳丝状体, 在温度为 (10 ± 2) °C、光照强度为 30 $\mu\text{mol photons}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 的条件下诱导壳孢子放散, 收集放散的壳孢子置于 17 °C、70 $\mu\text{mol photons}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 光照强度下培养, 作为壳孢子萌发的实验材料。

1.2 实验方法

1.2.1 光质对木下紫菜自由丝状体的影响 取适量木下紫菜丝状体, 用灭菌的筛绢过滤后吸干表面水分, 使用匀浆仪将藻团打碎成约为 200~300 μm 的藻丝细胞段, 于 GXZ 智能型光照培养箱(宁波江南仪器厂)中进行培养。分别在 60 $\mu\text{mol photons}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 的红光、绿光、蓝光和白光条件下对木下紫菜自由丝状体进行培养, 每个培养皿放置藻丝约 0.05 g, 其他培养条件为温度 20 °C, 光周期 12L : 12D, 氮浓度 2 mg/L NO_3^- -N, 磷浓度 0.2 mg/L PO_4^{3-} -P。每组 3 个重复, 每 5 d 更换 1/2 的培养液。15 d 后刮取培养皿中的木下紫菜自由丝状体藻丝称重, 计算不同光质条件下木下紫菜自由丝状体的相对生长速率(RGR), 计算公式为:

$$\text{RGR}=[\ln(W_t/W_0)/t]\times 100\%$$

式中, W_0 为藻体初始鲜重(g), W_t 为实验结束时藻体鲜重(g), t 为实验持续时间(d)。

叶绿素荧光参数的测定: 培养结束后, 分别吸取适量不同光质条件下悬浮培养的木下紫菜自由丝状体营养藻丝, 将待测藻丝置于暗盒进行 20 min 暗适应处理。使用调制叶绿素荧光成像系统 IMAGING-PAM (WALZ, 德国)测定其叶绿素荧光诱导曲线和快速光曲线(rapid light curve, RLC)。每组样品包含 6 个平行, 通过叶绿素荧光诱导曲线获得藻体的光系统 II 最大量子产量(F_v/F_m)和实际量子产量 $Y(\text{II})$; 基于电子传递速率对光响应的机理模型(Ye *et al.*, 2013)和 RLC 实测数据拟合得到潜在最大相对电子传递速率(rETR_{max})和 RLC 初始斜率(α), 并计算得到半饱和光强(E_k)。半饱和光强的计算公式为:

$$E_k=\text{rETR}_{\text{max}}/\alpha$$

1.2.2 光质对木下紫菜贝壳丝状体发育的影响 对材料“BK1”, 设置红光、绿光、蓝光和白光等不同光

质条件, 进行贝壳丝状体营养藻丝转变为孢子囊枝的光质调控实验。其他培养条件为: 温度 20 °C, 光照强度 30 $\mu\text{mol photons}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$, 氮浓度 2 mg/L NO_3^- -N, 磷浓度 0.2 mg/L PO_4^{3-} -P, Fe^{3+} 浓度 0.2 mg/L, 光周期 8L : 16D。以上每个光质组设置 5 块贝壳, 每个贝壳单独用一个方形塑料水槽培养, 每 5 d 更换 1/2 培养液。培养 25 d 后, 用干净的毛刷刷去贝壳表面的杂藻, 将贝壳敲成碎块, 取每个贝壳不同位置的碎块置于暗盒中进行 20 min 暗适应处理, 使用调制叶绿素荧光成像系统测定其叶绿素荧光诱导曲线和快速光曲线, 获得叶绿素荧光参数 F_v/F_m 、 $Y(\text{II})$ 、 rETR_{max} 、 α 和 E_k 。然后, 将贝壳用柏兰尼液处理 15 min, 用镊子将贝壳表面丝状体刮下, 在光学显微镜(尼康 E200) 40×10 的视野下进行观察。用 ImageJ 图像分析软件分别计算孢子囊枝的面积以及孢子囊枝和营养藻丝的总面积。营养藻丝细胞呈细长圆柱形, 色素体为侧生带状; 孢子囊枝细胞色素体为深红色星状体, 位于细胞中央。孢子囊枝比例的计算公式为:

孢子囊枝比例=孢子囊枝面积/(营养藻丝面积+孢子囊枝面积)×100%。

对材料“BK2”, 设置红光、绿光、蓝光和白光等不同光质条件, 进行贝壳丝状体孢子囊枝细胞形成双分的光质调控实验。其他培养条件为: 温度 12 °C, 光照强度 30 $\mu\text{mol photons}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$, 氮浓度 2 mg/L NO_3^- -N, 磷浓度 0.2 mg/L PO_4^{3-} -P, 光周期 8L : 16D。培养 7 d 后, 在光学显微镜 40×10 的视野下, 观察孢子囊枝中形成的双分孢子比例, 用 ImageJ 图像分析软件分别计算双分孢子的细胞个数以及孢子囊枝细胞的总个数, 双分孢子比例的计算公式为:

双分孢子比例=双分孢子细胞个数/孢子囊枝细胞总个数×100%

1.2.3 光质对木下紫菜壳孢子早期放散量的影响

对于上述完成双分孢子比例统计实验的白光组样品, 从中挑选出孢子囊枝形成比例相当, 且细胞成熟度一致(双分孢子比例相当)的贝壳丝状体, 设置红光、绿光、蓝光和白光等不同光质条件, 进行壳孢子放散的光质调控实验。其他培养条件: 温度 (10 ± 2) °C(白天 12 °C, 晚上 8 °C), 光照强度 30 $\mu\text{mol photons}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$, 氮浓度 2 mg/L NO_3^- -N, 磷浓度 0.2 mg/L PO_4^{3-} -P, 光周期 8L : 16D。每组设置 5 块贝壳, 每个贝壳单独用塑料方形水槽培养, 在每个水槽内接一个潜水泵, 模拟流水刺激。

诱导壳孢子放散的第 3 天, 将壳表面的壳孢子收集于藻细胞计数板中, 静置 1 h; 在 4×10 的显微镜视野下拍照, 使用 ImageJ 图像分析软件计算每张照片

中的壳孢子的数量,取每个视野下的平均值;再根据一个视野下的面积和细胞计数板的面积,计算出细胞计数板中的壳孢子数,即为每个贝壳的壳孢子放散量(吕峰等, 2019; 付春辉等, 2011)。

1.2.4 光质对木下紫菜壳孢子萌发的影响 将载玻片切割成 2 cm×2 cm 的 3 段,放入直径约为 9 cm 的培养皿中;加入壳孢子溶液使壳孢子均匀接种在载玻片上,分别在光照强度为 60 $\mu\text{mol photons}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 的红光、绿光、蓝光和白光条件下进行培养,其他培养条件为温度 17 $^{\circ}\text{C}$,氮浓度 2 mg/L NO_3^--N ,磷浓度 0.2 mg/L $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$,光周期 12L:12D。3 d 后在显微镜(4×10 倍)下随机选取 10 个视野进行观察,记录载玻片上的壳孢子总数和萌发的壳孢子数。

萌发率(%)=(萌发的壳孢子数/壳孢子总数)×100%

1.2.5 数据处理 使用 SPSS 25.0 数据统计软件进行单因素方差分析(one-way ANOVA)及 Duncan 多重比较, $P<0.05$ 为差异显著。使用 GraphPad Prism 8.0.2 进行作图。

2 结果

2.1 不同光质对木下紫菜自由丝状体相对生长率和光合生理的影响

从图 1 可知,在不同光质下培养 15 d 后,红光、绿光、蓝光和白光下木下紫菜自由丝状体的 RGR 分别为 3.856%、4.243%、5.825%和 4.378%,蓝光组的 RGR 最高,显著高于其他光质组($P<0.05$)。红光、绿光和白光 3 组的 RGR 之间无显著差异($P>0.05$)。

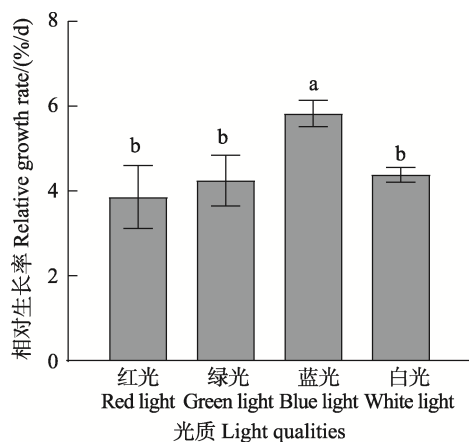


图 1 不同光质下木下紫菜自由丝状体的相对生长速率
Fig.1 Relative growth rate of *P. kinositae* free-living conchocelis under different light qualities

不同字母表示差异显著, $P<0.05$, 下同
Different letters indicate significant difference, $P<0.05$, the same below.

由图 2 可知,木下紫菜自由丝状体在蓝光下的 F_v/F_m 显著高于红光组($P<0.05$),而与绿光和白光组差异不显著($P>0.05$)。方差分析结果表明,光质对自由丝状体的 $Y(\text{II})$ 有显著影响($P<0.05$):蓝光组的 $Y(\text{II})$ 最高,显著高于其他光质组($P<0.05$);红光组的 $Y(\text{II})$ 值最低,显著低于绿光和白光组($P<0.05$)。

由图 3 可知,蓝光组的 E_k 最高,显著高于其他光质组($P<0.05$)。红光和绿光组的 E_k 值最低,均显著低于白光组($P<0.05$)。光质显著影响木下紫菜自由丝状体的 $r\text{ETR}_{\text{max}}$ ($P<0.05$):蓝光组的 $r\text{ETR}_{\text{max}}$ 最高,显著高于其他光质组($P<0.05$);红光组的 $r\text{ETR}_{\text{max}}$ 最

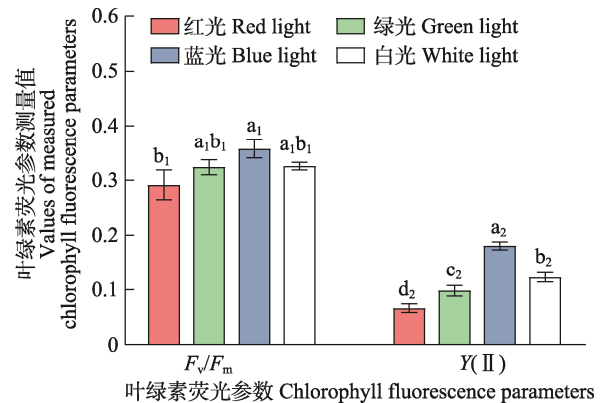


图 2 不同光质下木下紫菜自由丝状体的 F_v/F_m 和 $Y(\text{II})$
Fig.2 The maximal quantum yield of photosystem II (F_v/F_m) and actual quantum yield $Y(\text{II})$ of *P. kinositae* free-living conchocelis under different light qualities

柱状图上的字母下标为相同数字的作为同一组进行多重比较,同一组的不同字母表示在 $P<0.05$ 水平具有显著性差异,下同。

The same subscript number at the letters represent the same group. The measured values in the same group are compared. The different letters in the same group represent significant differences, $P<0.05$, the same below.

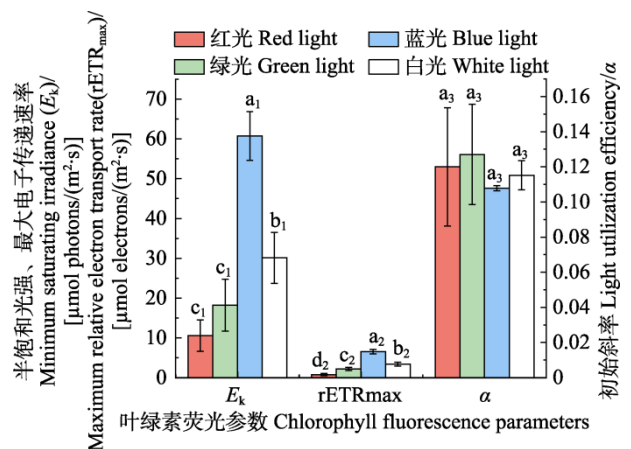


图 3 不同光质下木下紫菜自由丝状体的快速光曲线参数
Fig.3 Rapid light curve parameters of *P. kinositae* free-living conchocelis under different light qualities

低, 显著低于其他光质处理组($P<0.05$)。各组间的初始斜率无显著差异($P>0.05$)。

2.2 光质对木下紫菜贝壳丝状体的叶绿素荧光特性、孢子囊枝形成及成熟的影响

对于贝壳丝状体, 蓝光组的 F_v/F_m 显著高于其他光质组($P<0.05$) (见图4)。红光组的 F_v/F_m 显著高于绿光组和白光组($P<0.05$)。红光组的 $Y(II)$ 最低, 显著低于白光组($P<0.05$)。红光组的 $Y(II)$ 与绿光和蓝光组差异不显著($P>0.05$)。

从图5可以看出, 白光组的 E_k 最高, 显著高于其他光质组($P<0.05$)。红光组的 E_k 最低, 显著低于绿光组和蓝光组($P<0.05$)。白光组和蓝光组的 $rETR_{max}$ 最高, 显著高于红光组($P<0.05$)。但与绿光组差异不显著($P>0.05$)。红光处理组的初始斜率最高, 显著高于其他组($P<0.05$)。而绿光、蓝光和白光组之间的初

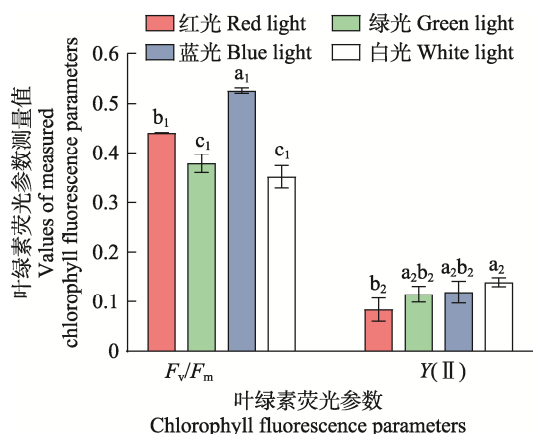


图4 不同光质下木下紫菜贝壳丝状体的 F_v/F_m 和 $Y(II)$

Fig.4 The maximal quantum yield of photosystem II (F_v/F_m) and actual quantum yield $Y(II)$ of *P. kinositae* shell-borne conchocelis under different light qualities

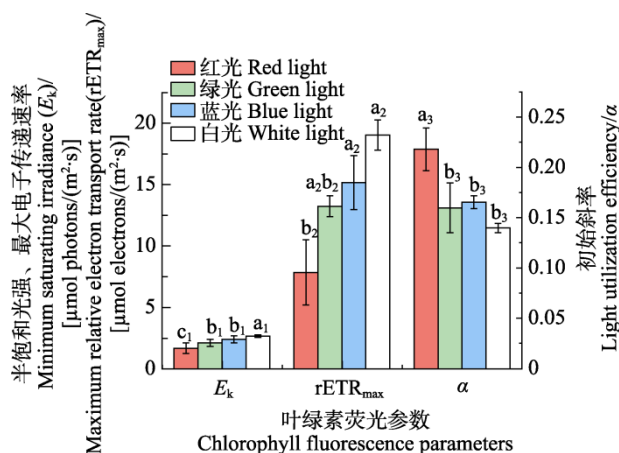


图5 不同光质下木下紫菜贝壳丝状体的快速光曲线参数

Fig.5 Rapid light curve parameters of *P. kinositae* shell-borne conchocelis under different light qualities

始斜率差异不显著($P>0.05$)。

从图6可以看出, 蓝光组的孢子囊枝的形成比例最大(48.7%), 显著高于其他光质组($P<0.05$)。而红光组(23.1%)和绿光组(24.6%)的孢子囊枝比例最小, 显著低于蓝光组和白光组($P<0.05$), 且红光组和绿光组之间的孢子囊枝形成率无显著差异($P>0.05$)。由方差分析结果可知, 白光组形成孢子囊枝的比例(33.2%)显著低于蓝光组($P<0.05$), 但高于红光组和绿光组($P<0.05$)。

方差分析和显微镜下孢子囊枝形态观察的结果均表明, 光质对木下紫菜贝壳丝状体孢子囊枝的发育有显著影响($P<0.05$) (图7、8)。蓝光组的孢子囊枝形成双分孢子的比例最大(26.7%), 显著高于红光、绿光和白光组($P<0.05$)。红光组的孢子囊枝形成双分孢子比例(10.9%)最小, 显著低于其他光质组($P<0.05$)。绿光组(19.6%)和白光组(18.3%)之间的双分孢子形成率无显著差异($P>0.05$)。

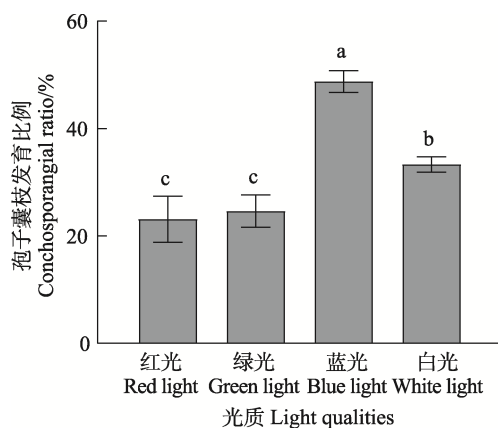


图6 不同光质下木下紫菜贝壳丝状体的孢子囊枝形成比例

Fig.6 Formation ratio of sporangium branches of conchocelis of *P. kinositae* under different light qualities

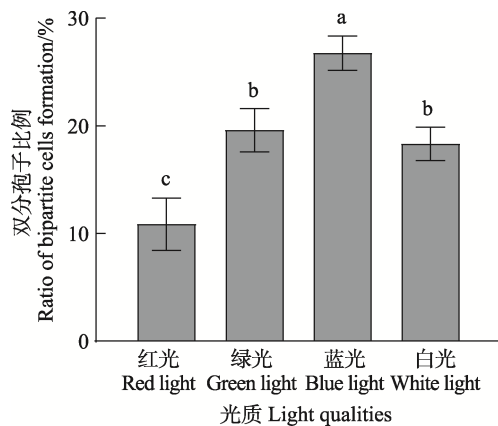


图7 不同光质下木下紫菜贝壳丝状体孢子囊枝形成双分孢子比例

Fig.7 Formation ratio of bipartite cells in *P. kinositae* conchosporangia under different light qualities

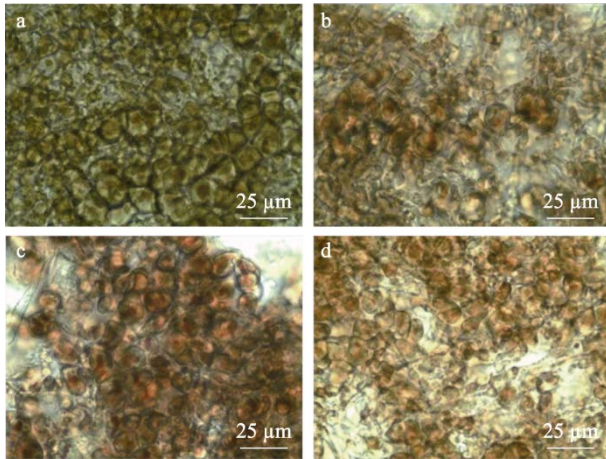


图 8 红光(a)、绿光(b)、蓝光(c)和白光(d)下木下紫菜贝壳丝状体孢子囊枝形态观察

Fig.8 Morphology observation of sporangium branches of *P. kinositae* conchocelis under red (a), green (b), blue (c) and white (d) lights

2.3 光质对木下紫菜壳孢子放散和萌发的影响

从图 9 可以看出,不同光质下木下紫菜贝壳丝状体壳孢子放散量存在显著差异($P<0.05$)。蓝光下木下紫菜贝壳丝状体壳孢子放散量达到最大(每壳最大放散量可达 3.2×10^5 个),显著高于红光、绿光和白光组($P<0.05$)。而红光、绿光和白光处理组之间的壳孢子放散量差异不显著($P>0.05$)。

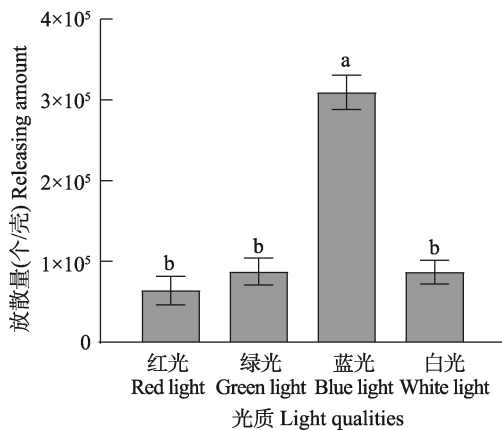


图 9 不同光质下木下紫菜的壳孢子放散量

Fig.9 Releasing amount of conchospore of *P. kinositae* under different light qualities

方差分析的结果表明,光质对木下紫菜壳孢子的萌发产生了显著的影响($P<0.05$) (图 10)。蓝光下壳孢子的萌发率最高(>80%),显著高于其他光质组($P<0.05$)。而红光和绿光下放散的壳孢子几乎不能萌发,萌发率显著低于蓝光和白光($P<0.05$),且均低于 10%。

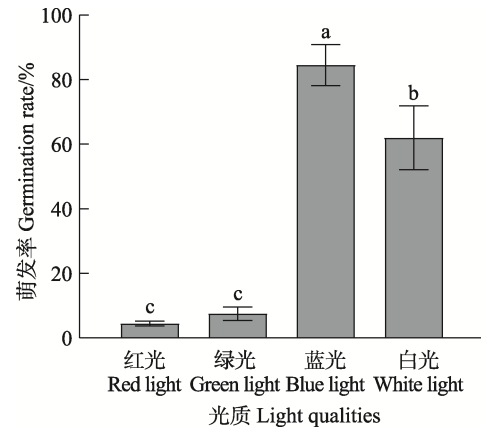


图 10 不同光质下木下紫菜壳孢子的萌发率

Fig.10 Germination rate of *P. kinositae* conchospore under different light qualities

3 讨论

光在植物的生长与发育中扮演着极其关键的角色,不仅为植物的光合作用提供能量来源,也作为一种重要的环境信号,广泛影响植物的形态建成、光合效率和生理代谢过程(郑洁等, 2008; 孙威等, 2024)。光为藻细胞光合作用提供能量,不同藻类的光感受器具有不同结构和功能,吸收光的波长范围存在差异,这导致不同光质对藻类生长和代谢会产生不同的效应(Jones, 2018; Hegemann, 2008)。藻类中参与光化学反应和电子传递的成分位于叶绿体的类囊体膜上(Chow *et al*, 2005)。田翠翠等(2023)发现,白光能显著提高条斑紫菜自由丝状体的生长率和叶绿素 *a* 含量,蓝光可增加藻体藻红蛋白含量,红光、绿光则使藻体藻蓝蛋白含量增高。本研究发现,蓝光组的自由丝状体 RGR 显著高于其他光质组,说明蓝光对木下紫菜自由丝状体的生长有促进作用。这与韩军军等(2017)发现蓝光可以显著提升坛紫菜自由丝状体的生长率的结果一致。叶绿素荧光参数是研究植物光合作用特别是光系统 II (PS II) 活性的重要工具,这些参数可以揭示 PS II 的功能状态,包括光能的吸收、转移、分布和耗散等多个过程的内在关系(Maxwell *et al*, 2000; 张学俭等, 2023; 袁艳敏等, 2023)。 F_v/F_m 是 PS II 的最大量子产量,反映了光系统的最大光能转换效率(Wu *et al*, 2014)。蓝光组的 F_v/F_m 和 $Y(II)$ 显著高于红光组,表明在蓝光条件下,木下紫菜自由丝状体的 PS II 活性更高,能实现更高的光合效率,这与王思琪(2021)发现的坛紫菜自由丝状体在蓝光下生长速率最快、光合效率最高的结论一致。这可能是因为蓝光能对高等植物和部分藻类的蛋白质合成具有促进作用

(Senge *et al.*, 1991), 它能够使 RuBisCO 酶活性升高, 有利于光合作用碳同化, 从而合成大量光合色素, 提升光合效率(韩军军, 2017)。蓝光处理组的 $rETR_{max}$ 显著高于其他光质组, 说明在蓝光照射下, 电子传递链工作效率更高, 有助于促进光合作用和能量的有效转换。 E_k 在蓝光的照射处理下最高, 表明蓝光下木下紫菜自由丝状体对强光的耐受能力更强。红光下木下紫菜自由丝状体的 $Y(II)$ 和 $rETR_{max}$ 显著低于其他光质组, 说明红光下光合效率明显受到抑制。

光不仅是植物光合作用的能源, 也是一种发育信号。植物由产生叶片的营养生长转变为开花、形成种子的生殖发育过程均会受到光质的影响(Fankhauser *et al.*, 1997)。类似的, 藻类的生命周期也会受到光质的调节。有研究发现, 蓝光能够促进海带配子体的发育, 而红光则起抑制作用(隋晓伟等, 2011; Lüning, 1980)。海带配子体的受精依赖于蓝光, 且蓝光照射达到一定强度才能产生诱导效应(Lüning *et al.*, 1978)。蓝光能够促进坛紫菜丝状体形成孢子囊枝, 而绿光则对孢子囊枝的形成产生明显的抑制作用(Wang *et al.*, 2020)。贝壳丝状体生长发育过程一般可分为 4 个阶段: 藻丝营养生长阶段、孢子囊枝形成阶段、壳孢子形成阶段和壳孢子放散阶段(赵素芬, 2012)。发育成熟的贝壳丝状体孢子囊枝会形成双分孢子, 在合适的条件下进一步形成壳孢子。有效控制孢子囊枝的成熟度, 可避免因异常天气(气温或海区水温发生剧烈变化)导致的双分孢子过早或过晚形成, 造成壳孢子流失或延误采苗时期。通过观察统计木下紫菜贝壳丝状体营养藻丝向孢子囊枝的转变率及双分孢子的形成率, 本研究发现这 2 个指标值在蓝光下显著高于其他光质组, 而在白光和绿光下其位于中等水平, 表明蓝光对贝壳丝状体的同步促熟(由营养生长转为生殖发育)效果显著, 白光和绿光的促熟效果次之, 红光则较差。对孢子囊枝成熟度一致(双分孢子比例水平相当)的贝壳丝状体进行降温诱导壳孢子放散时, 蓝光下的壳孢子放散量显著增大, 表明蓝光可促进双分孢子向壳孢子转化以及壳孢子的释放。而在白光、红光和绿光下, 采苗早期壳孢子放散量无显著差异。在关于光质对坛紫菜壳孢子放散的影响的研究中也有类似的发现, 蓝光能够促进孢子囊枝放散壳孢子, 而绿光抑制了壳孢子的放散(Wang *et al.*, 2020)。通过对贝壳丝状体叶绿素荧光特性的检测发现, 红光下贝壳丝状体的 F_v/F_m 虽然高于白光组, 但其 $Y(II)$ 和 $rETR_{max}$ 显著低于蓝光组和白光组, 表明红光下贝壳丝状体的整体光合效率受限。值得注意的是, 红光下贝壳丝状体的快速光响应曲线 RLC 的初始斜率 α 显著提升,

即红光驯化后的贝壳丝状体利用弱光的能力有所提高, 这可能与红光环境下贝壳丝状体色素组成发生变化有关(López-Figueroa *et al.*, 1990)。有研究发现, 蓝光可以使坛紫菜的壳孢子萌发体和丝状体颜色加深(刘嘉嘉等, 2023), 绿光能够在短时间内加快壳孢子的萌发速度, 但长时间的绿光照射不利于坛紫菜单性生殖孢子萌发体的发育, 使萌发体最终消亡(钟晨辉等, 2019; Leukart *et al.*, 1994)。本研究发现, 蓝光下木下紫菜壳孢子的萌发率显著高于其他光质组, 而红光和绿光则明显抑制了壳孢子的萌发。

4 结论

蓝光对木下紫菜自由丝状体的生长、贝壳丝状体孢子囊枝的形成和成熟, 以及壳孢子放散和萌发均有促进作用。红光则抑制贝壳丝状体孢子囊枝的形成和成熟, 且抑制壳孢子的萌发。这提示, 在木下紫菜育苗生产上可先利用蓝光条件进行丝状体的快速营养扩增, 再利用不同光质控制孢子囊枝的形成速率, 最后在蓝光环境下促进壳孢子的放散和萌发, 实现木下紫菜苗种的高效生产。

参 考 文 献

- AN J, CHEN B Y, LU J K, *et al.* The impact of environmental factors on conchospore dispersal and attachment in *Pyropia yezoensis*. *Journal of Aquaculture*, 2018, 39(8): 11–13 [安健, 陈百尧, 路吉坤, 等. 环境因子对条斑紫菜壳孢子放散和附着的影响. *水产养殖*, 2018, 39(8): 11–13]
- CHEN R, DU G Y, GUAN X W, *et al.* Metabolomic analysis of *Pyropia haitanensis* under dehydration stress. *Periodical of Ocean University of China*, 2022, 52(5): 76–85 [陈睿, 杜国英, 管晓伟, 等. 坛紫菜响应失水胁迫的代谢组学分析. *中国海洋大学学报(自然科学版)*, 2022, 52(5): 76–85]
- CHEN Y, PEI L Q, YAN X J, *et al.* Effects of phosphorus on sporangial branchlets formation of *Porphyra haitanensis*. *Journal of Aquaculture*, 2005, 26(5): 1–4 [陈烨, 裴鲁青, 严小军, 等. 磷对坛紫菜孢子囊枝形成的影响. *水产养殖*, 2005, 26(5): 1–4]
- CHOW W S, KIM E H, HORTON P, *et al.* Grana stacking of thylakoid membranes in higher plant chloroplasts: The physicochemical forces at work and the functional consequences that ensue. *Photochemical & Photobiological Sciences*, 2005, 4(12): 1081–1090
- FANKHAUSER C, CHORY J. Light control of plant development. *Annual Review of Cell and Developmental Biology*, 1997, 13: 203–229
- FU C H, YAN X H, HUANG L B, *et al.* The releasing and high-temperature resistance of conchospores from an

- improved strain in *Porphyra yezoensis* Ueda (bangiales, rhodophyta). *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2011, 42(3): 460–466 [付春辉, 严兴洪, 黄林彬, 等. 条斑紫菜(*Porphyra yezoensis*)选育品系壳孢子的放散量与耐高温性研究. *海洋与湖沼*, 2011, 42(3): 460–466]
- GODÍNEZ-ORTEGA J L, SNOEIJIS P, ROBLEDÓ D, *et al.* Growth and pigment composition in the red alga *Halymenia floresii* cultured under different light qualities. *Journal of Applied Phycology*, 2008, 20(3): 253–260
- GONG J Y, LIU Z W, ZOU D H. Growth and photosynthetic characteristics of *Gracilaria lemaneiformis* (Rhodophyta) and *Ulva lactuca* (Chlorophyta) cultured under fluorescent light and different LED light. *Journal of Applied Phycology*, 2020, 32(5): 3265–3272
- HAN J J, ZHONG C H, HE P M, *et al.* Effects of different light-qualities on growth and physiological characteristics of free living conchocelis of *Pyropia haitanensis*. *Journal of Fisheries of China*, 2017, 41(2): 230–239 [韩军军, 钟晨辉, 何培民, 等. 不同光质 LED 光源对坛紫菜自由丝状体生长和生理特性的影响. *水产学报*, 2017, 41(2): 230–239]
- HAN J J. Effect of light-qualities on growth and physiological characteristics of *Pyropia haitanensis* and transcriptome analysis of conchocelis under blue light. Master's Thesis of Shanghai Ocean University, 2017 [韩军军. 光质对坛紫菜生长和生理学特性的影响及坛紫菜丝状体蓝光效应的转录组分析. 上海海洋大学硕士研究生学位论文, 2017]
- HEGEMANN P. Algal sensory photoreceptors. *Annual Review of Plant Biology*, 2008, 59: 167–189
- JIA R J. Genetic impact of seaweed cultivation on wild populations. Master's Thesis of Shanghai Ocean University, 2022 [贾如婕. 海藻栽培对野生群体的遗传影响——以紫菜、羊栖菜为例. 上海海洋大学硕士研究生学位论文, 2022]
- JONES M A. Using light to improve commercial value. *Horticulture Research*, 2018, 5: 47
- KNOOP J, GRIFFIN J N, BARRENTO S. Cultivation of early life history stages of *Porphyra dioica* from the British Isles. *Journal of Applied Phycology*, 2020, 32(1): 459–471
- KUBÍN Š, BORNS E, DOUCHA J, *et al.* Light absorption and production rate of *Chlorella vulgaris* in light of different spectral composition. *Biochemie und Physiologie der Pflanzen*, 1983, 178(2/3): 193–205
- LEUKART P, LÜNING K. Minimum spectral light requirements and maximum light levels for long-term germling growth of several red algae from different water depths and a green alga. *European Journal of Phycology*, 1994, 29(2): 103–112
- LI X C. Industry development, standard and safety assessment of seaweed in China. *Chinese Fishery Quality and Standards*, 2011, 1(3): 9–12 [李晓川. 我国紫菜产业发展、标准状况及安全性评价. *中国渔业质量与标准*, 2011, 1(3): 9–12]
- LI X S, YANG L, HE P M. Formation and growth of free-living conchospore of *Porphyra yezoensis*: Effects of photoperiod, temperature and light intensity. *Aquaculture Research*, 2011, 42(8): 1079–1086
- LIU F L, LIANG Z R, ZHANG P Y, *et al.* Preliminary discussion on the development of *Saccharina japonica* offshore aquaculture in China. *Progress in Fishery Sciences*, 2019, 40(1): 161–166 [刘福利, 梁洲瑞, 张朋艳, 等. 中国海带养殖向离岸深水区发展的初步探讨. *渔业科学进展*, 2019, 40(1): 161–166]
- LIU F L, NIU J F, SUI Z H, *et al.* Overview and prospects of China economic seaweed cultivation technology. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2020, 22(12): 1–9 [刘福利, 牛建峰, 隋正红, 等. 中国经济海藻养殖技术概况与展望. *中国农业科技导报*, 2020, 22(12): 1–9]
- LIU J J, LIANG X J, ZHOU L L, *et al.* Effects of different light-qualities on the germination of carpospores and conchospores of *Pyropia haitanensis*. *Journal of Applied Oceanography*, 2023, 42(3): 409–415 [刘嘉嘉, 梁小君, 周琳琳, 等. 不同光质对坛紫菜果孢子和壳孢子萌发的影响. *应用海洋学学报*, 2023, 42(3): 409–415]
- LÓPEZ-FIGUEROA F, NIELL F X. Effects of light quality on chlorophyll and biliprotein accumulation in seaweeds. *Marine Biology*, 1990, 104(2): 321–327
- LÜ F, YAN X H, WANG X H, *et al.* Effects of transplantation quantity, light density and temperature on conchospore dispersion of different strains of *Porphyra yezoensis*. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2019, 47(10): 186–188 [吕峰, 严兴洪, 王小红, 等. 移植量、光密度及温度对条斑紫菜不同品系壳孢子放散量的影响. *江苏农业科学*, 2019, 47(10): 186–188]
- LU Q Q, ZHOU W, ZHU J Y, *et al.* The history, status quo and development trend of *Pyropia yezoensis* industry of China. *Marine Economy in China*, 2018(1): 3–11 [陆勤勤, 周伟, 朱建一, 等. 中国条斑紫菜产业的历史、现状与发展趋势. *中国海洋经济*, 2018(1): 3–11]
- LU Q Q, ZHU J Y, JI C L. Several technical measures in cultivating conchocelis of *Pyropia yezoensis*. *Journal of Aquaculture*, 2001, 22(3): 21–22 [陆勤勤, 朱建一, 吉传礼. 条斑紫菜贝壳丝状体培育中的几项技术措施. *水产养殖*, 2001, 22(3): 21–22]
- LÜNING K, NEUSHUL M. Light and temperature demands for growth and reproduction of laminarian gametophytes in southern and central California. *Marine Biology*, 1978, 45(4): 297–309
- LÜNING K. Critical levels of light and temperature regulating the gametogenesis of three *Laminaria* species (Phaeophyceae). *Journal of Phycology*, 1980, 16(1): 1–15
- MAXWELL K, JOHNSON G N. Chlorophyll fluorescence—a practical guide. *Journal of Experimental Botany*, 2000, 51(345): 659–668
- SANO F, MURATA K, NIWA K. Identification, growth, and pigment content of a spontaneous green mutant of

- Pyropia kinositae* (Bangiales, Rhodophyta). Journal of Applied Phycology, 2020, 32(3): 1983–1994
- SENGE M, SENGHER H. Adaptation of the photosynthetic apparatus of *Chlorella* and *Ankistrodesmus* to blue and red light. Botanica Acta, 1991, 104(2): 139–143
- SUI X W, REN W, YAN W H, *et al.* Effects of light wavelength on growth and reproduction of the gametophytes of *Laminaria japonica* Aresch. Marine Sciences, 2011, 35(4): 33–36 [隋晓伟, 任伟, 闫文华, 等. 光质对海带配子体生长发育影响的研究. 海洋科学, 2011, 35(4): 33–36]
- SUN W, WU W G, LIU Y, *et al.* The effects of temperature, light intensity, and photoperiod on the organic carbon release rate of *Sargassum horneri* seaweed. Progress in Fishery Sciences, 2024, 45(3): 46–54 [孙威, 吴文广, 刘毅, 等. 温度、光照强度和光照周期对铜藻有机碳释放速率的影响. 渔业科学进展, 2024, 45(3): 46–54]
- TIAN C C, LU Q Q, DENG Y Y, *et al.* Effects of different light qualities on growth and physiological characteristics of *Neopyropia yezoensis* free-living conchocelis. Marine Sciences, 2023, 47(3): 49–56 [田翠翠, 陆勤勤, 邓银银, 等. 光质对条斑紫菜自由丝状体生长和生理指标的影响. 海洋科学, 2023, 47(3): 49–56]
- TIAN C C, ZHOU W, HU C M, *et al.* Effect of light intensity on the growth and physiological properties of free-living conchocelis of *Pyropia yezoensis*. Journal of Guangxi Academy of Sciences, 2021, 37(1): 53–59 [田翠翠, 周伟, 胡传明, 等. 光照强度对条斑紫菜自由丝状体营养藻丝生长及生理指标的影响. 广西科学院学报, 2021, 37(1): 53–59]
- WANG S Q. Research on the response mode of two generations of *Neoporphyra haitanensis* to different light quality and transcriptome analysis. Master's Thesis of Ningbo University, 2021 [王思琪. 坛紫菜两个世代对不同光质的响应方式及转录组分析研究. 宁波大学硕士研究生学位论文, 2021]
- WANG W J, SUN X T, LIU F L, *et al.* Effect of abiotic stress on the gametophyte of *Pyropia katadae* var. *hemiphylla* (Bangiales, Rhodophyta). Journal of Applied Phycology, 2016, 28(1): 469–479
- WANG W J, SUN X T, WANG F J. Effect of blue light on early sporophyte development of *Saccharina japonica* (Phaeophyta). Marine Biology, 2010a, 157(8): 1811–1817
- WANG W J, SUN X T, WANG G C, *et al.* Effect of blue light on indoor seedling culture of *Saccharina japonica* (Phaeophyta). Journal of Applied Phycology, 2010b, 22(6): 737–744
- WANG X J, ZHANG P, WU Y B, *et al.* Effect of light quality on growth, ultrastructure, pigments, and membrane lipids of *Pyropia haitanensis*. Journal of Applied Phycology, 2020, 32(6): 4189–4197
- WU L, ZHANG G K, LAN S B, *et al.* Longitudinal photosynthetic gradient in crust lichens' thalli. Microbial Ecology, 2014, 67(4): 888–896
- XU D Q, GAO W, RUAN J. Effects of light quality on plant growth and development. Plant Physiology Journal, 2015, 51(8): 1217–1234 [许大全, 高伟, 阮军. 光质对植物生长发育的影响. 植物生理学报, 2015, 51(8): 1217–1234]
- XU P, ZHANG X C, WANG S J. Reproduction and development of major economic marine algae in China. Beijing: China Agriculture Press, 2013 [许璞, 张学成, 王素娟. 中国主要经济海藻的繁殖与发育. 北京: 中国农业出版社, 2013]
- YANG L, HE P M. Effect of temperature, light intensity and conchosporangium density on conchospores releasing in *Porphyra yezoensis*. Marine Fisheries, 2004, 26(3): 205–209 [杨玲, 何培民. 温度、光强和密度对条斑紫菜壳孢子放散的影响. 海洋渔业, 2004, 26(3): 205–209]
- YE Z P, SUGGETT D J, ROBAKOWSKI P, *et al.* A mechanistic model for the photosynthesis–light response based on the photosynthetic electron transport of photosystem II in C3 and C4 species. New Phytologist, 2013, 199(1): 110–120
- YUAN Y M, LIU F L, LIANG Z R, *et al.* Effects of different light quality and stress treatments on photosynthetic efficiencies and physiological characteristics of *Sargassum thunbergii* and epiphyllous algae. Progress in Fishery Sciences, 2019, 40(3): 168–177 [袁艳敏, 刘福利, 梁洲瑞, 等. 不同光质及胁迫处理对鼠尾藻及附生藻类光合生理的影响. 渔业科学进展, 2019, 40(3): 168–177]
- YUAN Y M, LIU F L, LIANG Z R, *et al.* Study on the physiological and biochemical influence of *Sargassum thunbergii* under dehydration. Progress in Fishery Sciences, 2023, 44(2): 149–160 [袁艳敏, 刘福利, 梁洲瑞, 等. 干露胁迫对鼠尾藻生理生化影响的研究. 渔业科学进展, 2023, 44(2): 149–160]
- ZHANG X J, ZHANG D L, ZHOU H, *et al.* Chlorophyll fluorescence detection and analysis technology and its application in agriculture. Journal of Ningxia Agriculture and Forestry Science and Technology, 2023, 64(11): 59–64 [张学俭, 张大林, 周慧, 等. 叶绿素荧光探测分析技术及其在农业中的应用. 宁夏农林科技, 2023, 64(11): 59–64]
- ZHAO S F. Marine algae and algal culture science. Beijing: National Defense Industry Press, 2012 [赵素芬. 海藻与海藻栽培学. 北京: 国防工业出版社, 2012]
- ZHENG J, HU M J, GUO Y P. Regulation of photosynthesis by light quality and its mechanism in plants. Chinese Journal of Applied Ecology, 2008, 19(7): 1619–1624 [郑洁, 胡美君, 郭延平. 光质对植物光合作用的调控及其机理. 应用生态学报, 2008, 19(7): 1619–1624]
- ZHONG C H, HAN J J, TANG L C, *et al.* Effects of different LED light-qualities on growth, development and physiological characteristics of the unisexual thallus in *Pyropia haitanensis*. Journal of Fisheries of China, 2019, 43(4): 895–906 [钟晨辉, 韩军军, 唐隆晨, 等. 不同光质 LED 光源对坛紫菜单性叶状体的生长发育及生理指标的影响. 水产学报, 2019, 43(4): 895–906]

ZHU J Y, YAN X H, DING L P, *et al.* Color atlas of Chinese laver. Beijing: China Agriculture Press, 2016, 52–61 [朱

建一, 严兴洪, 丁兰平, 等. 中国紫菜原色图集. 北京: 中国农业出版社, 2016, 52–61]

(编辑 马瑾艳)

Impacts of Light Quality on the Growth and Development of *Pyropia kinositae* Conchocelis

DUAN Yuqi¹, LIANG Zhourui², XU Hui², LU Xiaoping², YUAN Yanmin², WANG Wenjun^{2①}

(1. School of Fishery, Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316000, China; 2. State Key Laboratory of Mariculture Biobreeding and Sustainable Goods, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Laboratory for Marine Fisheries Science and Food Production Processes, Qingdao Marine Science and Technology Center, Qingdao 266071, China)

Abstract *Pyropia kinositae* is an ideal candidate for offshore cultivation of laver, but there is room for improvement in seedling breeding techniques. Light serves as a crucial energy source and regulatory signal for algal growth and development. However, research on the role of light quality in regulating the growth and development of laver is still scarce. This study extensively investigated the effects of different light qualities (red, green, blue, and white light) on vegetative conchocelis, the transition from vegetative conchocelis to conchosporangial phase, the formation of bipartite cells in conchosporangia, and conchospore release of *P. kinositae*. We also examined the chlorophyll fluorescence characteristics of conchocelis under different light qualities. The results showed that relative growth rate of conchocelis under blue light was significantly higher than that under other light qualities, indicating that blue light is more suitable for the expansion of vegetative conchocelis. Under blue light, the actual quantum yield [$Y(II)$], maximum electron transport rate ($rETR_{max}$), and the minimum saturating irradiance (E_k) of conchocelis as well as the maximal quantum yield of Photosystem II (F_v/F_m) of conchospores were significantly higher than those under other light qualities. This suggests that blue light significantly enhances the photosynthetic efficiency of conchocelis and improves its electron transfer activity and phototolerance under high light conditions. In contrast, $Y(II)$ and $rETR_{max}$ of conchocelis under red light were significantly lower than those under other light qualities. Under blue light, the conversion rate of conchocelis to conchospores (48.7%) and the rate of bipartite cells in conchosporangia formation (26.7%) were significantly higher than those under other light qualities, indicating that blue light significantly promotes the synchronous maturation of conchocelis, followed by white and green light, whereas red light did not show a significant effect. When inducing the conchospore release from conchocelis with consistent maturity, the early release of conchospores did not significantly vary under white, red, and green light, but a significant increase was observed under blue light, indicating that blue light promotes the release of bipartite cells. The germination rate of conchospores under red and green light was low (<10%), whereas it was significantly higher (>80%) under blue light compared with the other light qualities. These results provide preliminary insights into light quality conditions and the photosynthetic physiological basis for promoting the growth and development of *P. kinositae* conchocelis and maturation and release of conchospores, offering theoretical support for the regulation of light in seedling production.

Key words *Pyropia kinositae*; Light quality; Seedling cultivation; Conchocelis; Conchospores

① Corresponding author: WANG Wenjun, Email: wjwang@ysfri.ac.cn