

兰 蓉,沈 荣,王佔刚. LED 光质对钝顶螺旋藻抗氧化成分的影响[J]. 江苏农业科学,2019,47(20):184-188.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.20.042

# LED 光质对钝顶螺旋藻抗氧化成分的影响

兰 蓉,沈 荣,王佔刚

(北京电子科技职业学院生物工程学院,北京 100176)

**摘要:**为探究光质对螺旋藻抗氧化成分和活性的影响规律,以发光二极管(LED)为光源,以白光为对照,在 5 种单色光和 5 种红蓝组合光下培养螺旋藻,测定其次生代谢类抗氧化成分含量、抗氧化酶活性和总抗氧化能力。结果表明:蓝光显著提高螺旋藻维生素 C 含量、黄酮含量、抗氧化酶活性和总抗氧化能力;黄光组的维生素 C 含量、黄酮含量、总抗氧化能力最低;绿光和蓝光显著提高维生素 E 含量;红光组的维生素 E 含量、抗氧化酶活性最低;蓝光比例为 20% 的红蓝组合光处理后,螺旋藻维生素 C 和黄酮含量达到最高值;蓝光比例为 30% 的红蓝组合光处理后,维生素 E 含量、抗氧化酶活性和总抗氧化能力达到最高值。因此,蓝光和红蓝组合光是螺旋藻合成抗氧化成分的高效光质,蓝光比例为 20% ~ 30% 的红蓝组合光最利于螺旋藻抗氧化成分的合成和积累。

**关键词:**发光二极管;光质;螺旋藻;抗氧化

**中图分类号:**S968.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2019)20-0184-04

螺旋藻又称蓝细菌(cyanobacteria),是地球上最古老的光合生物之一。国内外大量研究表明<sup>[1-3]</sup>,螺旋藻营养全面且富含多种抗氧化活性成分,是一种安全可靠的天然抗氧化剂,可以提高机体的抗氧化能力,对抗活性氧及自由基引发的脂质过氧化及相关疾病。因此,提高螺旋藻中抗氧化活性成分含量从而进一步改善其营养品质具有重要意义。

发光二极管(LED)灯具有体积小、节能、寿命长、波长可控和热辐射低等优势,目前已经成为受控环境中植物生长所用的首选光源<sup>[4-5]</sup>。一些植物方面的研究表明,通过优化光质条件可以提高植物中抗氧化活性成分的含量。增加蓝色 LED 光质比例可促进樱桃番茄果实中番茄红素和类黄酮的形成<sup>[6]</sup>。红光能够明显地增加豌豆苗 $\beta$ -胡萝卜素的含量以及对健康有益的营养成分的抗氧化活性<sup>[7]</sup>。目前,关于光质对螺旋藻生长和形态影响的研究较多<sup>[8-11]</sup>,而对抗氧化活性成分积累的研究鲜有报道。本研究采用不同的 LED 光源,设置 5 种单色光和 5 种红蓝组合光对钝顶螺旋藻进行培养,探究不同光质对螺旋藻抗氧化成分和活性的影响规律,筛选螺旋藻高效培养光质条件,为定向培育螺旋藻的光环境调控技术和改善螺旋藻营养品质提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

钝顶螺旋藻(*Spirulina platensis*),由中国科学院水生生物研究所藻类生物学重点实验室提供。

### 1.2 试验方法

1.2.1 螺旋藻的培养 钝顶螺旋藻按照 3.5% (体积分数)的接种量接种在装有适量 Z 氏培养液<sup>[12]</sup>的气升式光反应器中。光源为深圳方洲照明有限公司的 LED 灯珠,反应器中心的光合有效辐射强度(PAR)为 3.90 mW/cm<sup>2</sup>。反应器的培养温度为 25 ℃,CO<sub>2</sub>浓度为 500 mg/L,通气量为 0.6 L/min,光周期为 23 h/d,培养周期为 7 d,重复 3 次<sup>[13]</sup>。试验设 10 种光质处理:白光(全光谱,W)、红光(620 ~ 630 nm,R)、黄光(580 ~ 590 nm,Y)、蓝光(460 ~ 470 nm,B)、绿光(520 ~ 530 nm,G)、红光:蓝光=9:1(9R1B,红光比例 90%)、红光:蓝光=8:2(8R2B,红光比例 80%)、红光:蓝光=7:3(7R3B,红光比例 70%)、红光:蓝光=6:4(6R4B,红光比例 60%)、红光:蓝光=5:5(5R5B,红光比例 50%),以白光作为对照。

1.2.2 螺旋藻样品的前处理 培养结束后,收集螺旋藻藻液,用 400 目滤网过滤,-20 ℃冷冻,用冷冻干燥机完全冻干后研磨,过 40 目筛,备用。

#### 1.2.3 维生素 C 含量的测定

1.2.3.1 维生素 C 标准曲线的制备 称取 25 mg 维生素 C,用 1% HCl 定容到 100 mL,量取上述溶液 10 mL,用 1% HCl 定容到 100 mL,得到 25 μg/mL 维生素 C 标准溶液。分别量取上述溶液 2、4、6、8、10 mL,用蒸馏水定容到 25 mL,在波长 243 nm 处测定 D 值。以吸光度为纵坐标、浓度为横坐标制作标准曲线。结果标准方程为  $\rho = 16.626D - 0.032$ ,  $r^2 = 0.9994$ 。

1.2.3.2 样品维生素 C 的测定 称取固体样品 50 mg,加 1% HCl 溶解定容到 10 mL,超声 15 min,过滤,取过滤液 2 mL 加 1% HCl 2 mL,用蒸馏水定容到 25 mL,在波长 243 nm 处测定 D 值。

#### 1.2.4 总黄酮含量的测定

1.2.4.1 黄酮标准曲线的制备 称取芸香苷 10 mg,用 60% 乙醇完全溶解,在 50 mL 容量瓶中定容到刻度线,得到

收稿日期:2018-08-10

基金项目:北京市自然科学基金(编号:2182019);北京电子科技职业学院科技类重点课题(编号:YZK2015034);北京电子科技职业学院天然产物研发团队(编号:TD201602)。

作者简介:兰 蓉(1974—),女,江西樟树人,硕士,教授,从事天然产物研究。E-mail:lanrong1688@sina.com。

0.2 mg/mL 芸香苷对照品溶液。精密吸取芸香苷对照品 0、1、2、3、4、5 mL 分别置于 25 mL 容量瓶中,补加蒸馏水使所有容量瓶内溶液在相同高度,加 1 mL 5% NaNO<sub>2</sub>,室温放置 6 min;加 1 mL 10% Al(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>,室温放置 6 min,加 1 mol/L NaOH 10 mL,用 60% 乙醇定容至 25 mL,摇匀放置 15 min,在波长 505 nm 处测定各溶液的 *D* 值,以吸光度为纵坐标、浓度为横坐标制作标准曲线。结果标准方程为  $\rho = 0.086\ 9D - 0.000\ 6$ ,  $r^2 = 0.999\ 9$ 。

1.2.4.2 样品总黄酮的测定 称取固体样品 100 mg,加入 1:25 的 HCl-乙醇(1% HCl、70% 乙醇)定容到 10 mL,超声 15 min,取上清液 2 mL,加 1 mL 5% NaNO<sub>2</sub>,室温放置 6 min;加 1 mL 10% Al(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>,室温放置 6 min,加 1 mol/L NaOH 10 mL,用 60% 乙醇定容至 25 mL,在波长 505 nm 处测定 *D* 值。

1.2.5 抗氧化酶活性、维生素 E 含量和总抗氧化能力的测定

1.2.5.1 过氧化物酶(POD,EC 1.11.1-X)活性的测定 冻干样品 10 mg 溶于 0.1 mol/L 磷酸盐缓冲液(pH 值=7.2)中,冰水浴条件下超声 15 min,制成 5% 的匀浆液,4 ℃、4 000 r/min 离心 10 min,上清液进行 POD 活性测定。

1.2.5.2 超氧化物歧化酶(SOD,EC 1.15.1.1)活性的测定 参照“1.2.5.1”节的方法,制成 2.5% 的匀浆液后离心 10 min,上清液进行 SOD 活性测定。

1.2.5.3 维生素 E 含量的测定 参照“1.2.5.1”节的方法,制成 1% 的匀浆液后离心 10 min,上清液进行维生素 E 含量测定。

1.2.5.4 总抗氧化能力(T-AOC)的测定 参照“1.2.5.1”节的方法,制成 10% 的匀浆液后离心 10 min,上清液进行 T-AOC 测定。

POD 活性、SOD 活性、维生素 E 含量和 T-AOC 的测定采用南京建成生物工程研究所试剂盒,具体测定方法参照试剂盒说明书进行。

1.2.6 统计分析 数据采用 SPSS 软件的方差分析(AVONA)程序进行方差分析,并对不同处理的平均值进行多重比较(Duncan's,  $\alpha = 0.05$ ),以  $P < 0.05$  和  $P < 0.01$  作为统计学显著和极显著意义。

2 结果与分析

2.1 不同光质对螺旋藻次生代谢类抗氧化剂含量的影响

光质条件对螺旋藻次生代谢类抗氧化剂维生素 C、维生素 E 和总黄酮的含量有显著影响(表 1)。

由表 2 可知,单色光处理后,黄光组、红光组和绿光组的维生素 C 含量与总黄酮含量均低于白光组(对照组),其中黄光组的维生素 C 含量和总黄酮含量最低,分别比对照组降低 33.63% 和 18.83%;蓝光显著提高螺旋藻维生素 C 含量和总黄酮含量,分别比对照组提高 6.19% 和 14.60%。与对照相比,绿光和蓝光显著提高维生素 E 的含量,分别提高 17.96% 和 15.82%;黄光组与对照组的维生素 E 含量差异不显著;红光组的维生素 E 含量显著低于对照组。

红蓝组合光处理后,随着组合光中蓝光比例的增加,螺旋藻维生素 C、维生素 E 和总黄酮的含量呈现出先升后降的变

化趋势。8R2B 组的维生素 C 含量达到最高值,比对照组增加 10.73%;7R3B 组的维生素 C 含量与对照组差异不显著,6R4B 组、5R5B 组的维生素 C 含量均显著低于对照组;红蓝组合光中,各处理组的维生素 E 含量均显著高于对照组,其中 7R3B 组的维生素 E 含量最高,其次是 8R2B 组,分别比对照组提高 27.39% 和 22.86%;8R2B、7R3B 和 6R4B 这 3 组的总黄酮含量均显著高于对照组,其中 8R2B 组最高,比对照组提高 66.49%,其次是 7R3B 组和 6R4B 组,分别提高 38.74% 和 36.59%,9R1B 组和 5R5B 组的总黄酮含量与对照组差异不显著。

可见,蓝光有利于维生素 C、维生素 E 和总黄酮等次生代谢抗氧化物质的合成,红光、黄光则分别抑制螺旋藻维生素 E、维生素 C 和总黄酮积累;红蓝组合光总体上比单色光更有利于促进螺旋藻次生代谢类抗氧化剂的积累;蓝光比例为 20%~30% 的红蓝组合光最有益于螺旋藻次生代谢类抗氧化剂的生成。

表 1 不同光质条件下钝顶螺旋藻抗氧化成分的单因子 ANOVA 显著性统计

抗氧化指标	显著性
维生素 C	$P < 0.05$
维生素 E	$P < 0.05$
总黄酮	$P < 0.05$
SOD	$P < 0.05$
POD	$P < 0.05$
T-AOC	$P < 0.05$

表 2 不同光质条件下钝顶螺旋藻次生代谢类抗氧化剂的含量( $\bar{x} \pm s, n = 3$ )

处理	维生素 C 含量 ( $\mu\text{g/g}$ )	维生素 E 含量 ( $\mu\text{g/g}$ )	总黄酮含量 ( $\text{mg/g}$ )
W	127.85 $\pm$ 3.38b	130.50 $\pm$ 4.20d	13.01 $\pm$ 0.49de
R	96.25 $\pm$ 7.37d	114.75 $\pm$ 1.74e	11.65 $\pm$ 0.54ef
Y	84.85 $\pm$ 6.24e	123.38 $\pm$ 5.47d	10.56 $\pm$ 0.48f
B	135.76 $\pm$ 6.89a	151.15 $\pm$ 7.43bc	14.91 $\pm$ 0.76c
G	101.70 $\pm$ 2.38d	153.94 $\pm$ 7.64bc	11.64 $\pm$ 2.33ef
9R1B	132.47 $\pm$ 7.11ab	153.54 $\pm$ 3.07bc	13.87 $\pm$ 0.38cd
8R2B	141.57 $\pm$ 3.60a	160.33 $\pm$ 3.06ab	21.66 $\pm$ 1.38a
7R3B	137.69 $\pm$ 2.69ab	166.24 $\pm$ 3.14a	18.05 $\pm$ 0.45b
6R4B	118.26 $\pm$ 3.81c	156.11 $\pm$ 5.57bc	17.77 $\pm$ 0.52b
5R5B	114.33 $\pm$ 5.06c	149.45 $\pm$ 5.45bc	14.36 $\pm$ 0.90cd

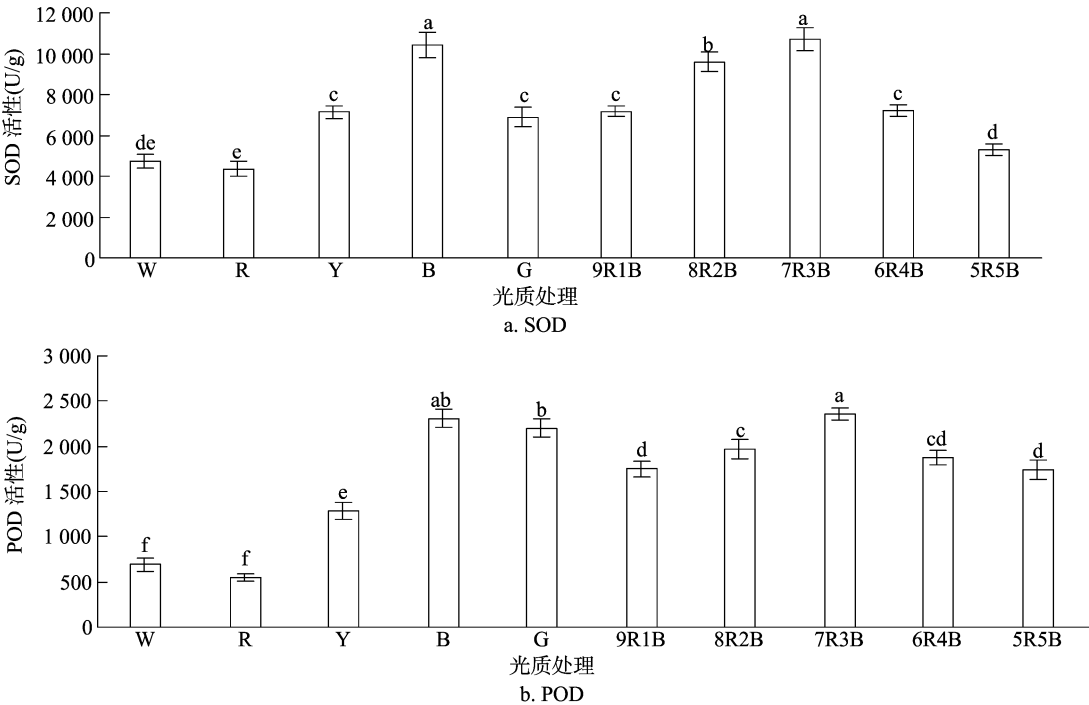
注:表中 2 组数据后标注相同字母表示 2 个处理间不存在显著性差异,2 组数据后标注不同字母时表示 2 个处理间存在显著性差异。

2.2 不同光质对螺旋藻抗氧化酶活性的影响

光质条件对螺旋藻 SOD 和 POD 活性有显著影响(表 1)。由图 1 可看出,单色光中,黄光、蓝光和绿光 3 组的 SOD 活性(图 1-A)与 POD 活性(图 1-B)均显著高于对照组,其中蓝光组的 SOD 和 POD 活性均最高,分别是对照组的 2.20 倍和 3.34 倍;红光组的 SOD 和 POD 活性均与对照组差异不显著。红蓝组合光中,各试验组 SOD 和 POD 活性随光质变化的趋势较一致,活性从高到低依次均为 7R3B > 8R2B > 6R4B >

9R1B>5R5B,其中9R1B、8R2B、7R3B 和6R4B 这 4 组的 SOD 与 POD 活性均显著高于对照组,5R5B 组的 SOD 活性与对照组差异不显著,但其 POD 活性显著高于对照组;随着组合光中蓝光比例的增加,螺旋藻 SOD 活性和 POD 活性均呈现出

先升后降的变化趋势;蓝光比例为 30% 时,SOD 和 POD 活性达到最高值,分别是对照组的 2.26、3.41 倍,但与蓝光组无显著差异。可见,蓝光组和红蓝光组合光比其他处理组更有利于螺旋藻抗氧化酶活性的提高。



不同处理间标有不同小写字母表示差异显著( $P<0.05$ )。下图同  
图1 不同光质条件下钝顶螺旋藻的 SOD 和 POD 活性

2.3 不同光质对螺旋藻总抗氧化能力的影响

光质条件对螺旋藻总抗氧化能力(T-AOC)有显著影响(表1),但不同光质对螺旋藻总抗氧化能力的影响不同(图2)。由图2可看出,在单色光中,蓝光组与红光组的总抗氧化能力显著高于对照组,分别比对照组增加 33.83% 和 17.05%;黄光组与绿光组的总抗氧化能力显著低于对照组,分别比对照组降低 50.02% 和 33.03%。在红蓝光组合光中,随着蓝光比例的增加,螺旋藻总抗氧化能力呈现出先升后降的

变化趋势,从高到低依次为 7R3B>8R2B>6R4B>9R1B>5R5B,其中 8R2B、7R3B 和6R4B 这 3 组的总抗氧化能力均显著高于对照组,分别比对照组增加了 42.82%、46.28% 和 29.29%,蓝光比例为 30% 的 7R3B 组总抗氧化能力最高;9R1B 组和 5R5B 组的总抗氧化能力与对照组差异不显著。可见,红蓝光组合光总体上更有利于螺旋藻总抗氧化能力的提高。

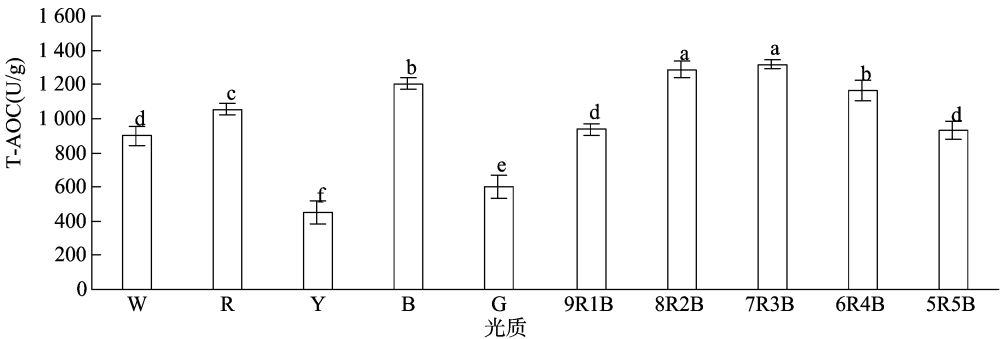


图2 不同光质条件下钝顶螺旋藻的总抗氧化能力

2.4 螺旋藻抗氧化成分含量与总抗氧化能力的相关性分析

由表3可知,螺旋藻中维生素C含量、总黄酮含量与其总抗氧化能力呈显著正相关,而维生素E含量、SOD活性和POD活性与其总抗氧化能力间无显著相关性。结果表明,螺旋藻维生素C和总黄酮含量的增加有利于提高螺旋藻的总抗氧化能力。

表3 螺旋藻抗氧化成分含量与总抗氧化能力的相关系数

相关系数				
维生素C含量	维生素E含量	总黄酮含量	SOD含量	POD含量
0.776 *	0.497	0.806 *	0.494	0.304

注:“\*”表示在0.05水平上显著相关。

### 3 讨论与结论

光质是螺旋藻人工培养过程中一个重要的环境因素,它不仅能够影响螺旋藻的生长、藻丝体的形态建成和色素组成,还能够调节螺旋藻次生代谢产物的合成。本研究表明,不同光质处理对螺旋藻中维生素 C、维生素 E 和总黄酮等次生代谢抗氧化物质的合成和积累有显著影响。单色光中,蓝光有利于维生素 C、维生素 E 和总黄酮等次生代谢抗氧化物质的合成,而黄光处理的螺旋藻维生素 C 和总黄酮含量最低,这与前人的研究结果相符<sup>[13-15]</sup>。蓝光可提高维生素 C 合成途径中关键酶——半乳糖酸内酯脱氢酶的活性<sup>[16]</sup>,还可刺激一些影响黄酮类化合物合成的主要酶——苯丙氨酸裂解酶(PAL)等的活性或上调其相关基因的表达<sup>[17]</sup>,这些可能是蓝光增加维生素 C、维生素 E 和总黄酮含量的原因。红蓝组合光中,蓝光比例为 20% 时,螺旋藻维生素 C 和总黄酮含量最高,蓝光比例为 30% 时,螺旋藻维生素 E 含量最高,三者均高于单色光最高值,说明红蓝组合光较单色光更有利于次生代谢抗氧化物质的合成和积累,可能是各单色光间具有互补和加性效应<sup>[18]</sup>。刘建福等的研究也表明,红蓝组合光有益于次生代谢产物的积累<sup>[19]</sup>。

SOD 和 POD 是生物体抗氧化酶体系的关键组成部分,能清除生物体在逆境中产生的氧自由基,形成一定程度的保护作用,从而延缓生物体的衰老与死亡。周琳等发现白光、蓝光处理后的茶树愈伤组织抗氧化酶活性较高,而红光处理后的活性则显著低于其他处理组<sup>[20]</sup>。王虹等的研究表明,蓝光可诱导黄瓜抗氧化酶基因的表达和酶活的上升<sup>[21]</sup>。还有研究表明,蓝光处理后的茅苍术抗氧化酶活性显著高于红蓝组合光组<sup>[22]</sup>。原因可能是蓝光具有较高的能量,易造成蓝光损伤<sup>[23-24]</sup>,细胞需要合成更多的抗氧化剂来降低氧化胁迫。本研究结果与上述报道基本相符,但蓝光组与红蓝组合 7R3B 组的 SOD 与 POD 活性水平无显著差异。另外,本试验中 SOD 和 POD 活性随光质变化的趋势较一致,这是因为生物体抗氧化酶体系是协同作用防止活性氧的损伤效应,SOD 将超氧阴离子转变为  $H_2O_2$ ,POD 则把 SOD 等产生的  $H_2O_2$  变成  $H_2O$ ,使活性氧维持在较低水平上。

总抗氧化能力与次生代谢产物是否具有相关性,目前的研究结果不尽相同。任锦等的研究认为紫背天葵叶片黄酮含量与其抗氧化活性之间存在较高的相关性<sup>[25]</sup>。但李亚华等的研究发现茄子果肉黄酮含量与其总抗氧化能力间无显著相关性,而维生素 C 含量与其总抗氧化能力呈显著正相关<sup>[26]</sup>。本研究中,螺旋藻总黄酮和维生素 C 含量与其总抗氧化能力均呈显著正相关,表明本试验条件下螺旋藻的总抗氧化能力主要是由黄酮和维生素 C 决定的。

综上所述,蓝光显著提高螺旋藻维生素 C 含量、总黄酮含量、抗氧化酶活性和总抗氧化能力,绿光和蓝光显著提高维生素 E 含量,而黄光抑制维生素 C 和黄酮的生成,红光抑制维生素 E 的合成并降低抗氧化酶活性;红蓝组合光中蓝光比例为 20% 时,螺旋藻维生素 C 和总黄酮含量达到最高值;蓝光比例为 30% 时,维生素 E 含量、抗氧化酶活性和总抗氧化能力达到最高值。因此,红蓝组合光和蓝光是螺旋藻合成抗氧化成分的高效光质,蓝光比例为 20% ~ 30% 的红蓝组合光

最利于螺旋藻抗氧化成分的合成和积累。本研究只考虑了光质对螺旋藻抗氧化成分的影响,今后应结合螺旋藻生长阶段、光照强度和光照时间等因素开展进一步研究,为螺旋藻的优质高效培养奠定良好基础。

### 参考文献:

- [1] 赵飞艳,敖长金,杜玲,等. 钝顶螺旋藻粗多糖抗氧化作用的研究[J]. 黑龙江畜牧兽医,2010(17):14-16.
- [2] 王菲,余星星,孙冰洁,等. 螺旋藻  $\gamma$ -亚麻酸的提取优化及体外抗氧化活性的研究[J]. 食品工业科技,2014,19(19):68-72.
- [3] 余琴,石忠峰. 螺旋藻抗氧化活性研究进展[J]. 广东药学院学报,2014,30(2):249-252.
- [4] Folta K M, Koss L L, McMorrow R, et al. Design and fabrication of adjustable red-green-blue LED light arrays for plant research[J]. BMC Plant Biology, 2005, 5:17.
- [5] Ilieva I, Ivanova T, Naydenov Y, et al. Plant experiments with light-emitting diode module in Svet space greenhouse[J]. Advances in Space Research, 2010, 46(7):840-845.
- [6] 刘晓英,常涛涛,郭世荣,等. 红蓝 LED 光全生育期照射对樱桃番茄果实品质的影响[J]. 中国蔬菜,2010(22):21-27.
- [7] Wu M C, Hou C Y, Jiang C M, et al. A novel approach of LED light radiation improves the antioxidant activity of pea seedlings[J]. Food Chemistry, 2007, 101(4):1753-1758.
- [8] Wang C Y, Fu C C, Liu Y C. Effects of using light-emitting diodes on the cultivation of *Spirulina platensis*[J]. Biochemical Engineering Journal, 2007, 37(1):21-25.
- [9] 魏莹. 微藻在不同波长光谱下生长规律及水热液化制备生物质油的优化工艺研究[D]. 杭州:浙江大学,2014.
- [10] 吴海燕. 阳光紫外辐射对经济蓝藻钝顶螺旋藻光合作用的影响及其机制研究[D]. 汕头:汕头大学,2010.
- [11] 孙备,何鹏,高天天,等. 红外辐射对极大螺旋藻生长的影响[J]. 广西科学院学报,2015,31(2):132-135.
- [12] Zarrouk C. Contribution a l'etude d'une cyanophycee: influence de divers facteurs physiques et chimiques sur la croissance et la photosynthese de *Spirulina maxima* (Setch. et Gardner) Geitler [M]. Paris: Faculte des Sciences, Universite de Paris, 1966.
- [13] 毛瑞鑫,郭双生. 光质对钝顶螺旋藻放氧效率及抗氧化剂含量影响的研究[J]. 载人航天,2017,23(6):835-840.
- [14] 张欢,徐志刚,崔瑾,等. 不同光质对萝卜芽苗菜生长和营养品质的影响[J]. 中国蔬菜,2009(10):28-32.
- [15] 巩彪,靳志勇,刘娜,等. 光质对紫背天葵生长、次生代谢和抗氧化胁迫的影响[J]. 应用生态学报,2016,27(11):3577-3584.
- [16] 徐茂军,朱睦元,顾青. 光诱导对发芽大豆中半乳糖酸内酯脱氢酶活性和维生素 C 合成的影响[J]. 营养学报,2002,24(2):212-214.
- [17] Ebisawa M, Shoji K, Kato M, et al. Supplementary ultraviolet radiation B together with blue light at night increased quercetin content and flavonol synthase gene expression in leaf lettuce (*Lactuca sativa* L.) [J]. Environment Control in Biology, 2008, 46(1):1-11.
- [18] 徐圆圆. 复配 LED 光源对红心杉组培苗生根及生理生化特性的影响[D]. 南宁:广西大学,2017.
- [19] 刘建福,王明元,唐源江,等. 光质对姜黄生理特性及根茎次生

杨志军,曹希全,魏杰,等.新疆车尔臣河塔里木裂腹鱼形态学特征[J].江苏农业科学,2019,47(20):188-190.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.20.043

# 新疆车尔臣河塔里木裂腹鱼形态学特征

杨志军,曹希全,魏杰,任永丽,聂竹兰

(塔里木大学动物科学学院/兵团塔里木畜牧科技重点实验室,新疆阿拉尔 843300)

**摘要:**以新疆车尔臣河的塔里木裂腹鱼为研究对象,运用传统形态学与框架形态学相结合的方法,测量了 19 个可量性状和 20 个框架距离,分析了塔里木裂腹鱼外观的可数性状与可量性状。结果表明,塔里木裂腹鱼体长较长,身体较细,头相对较小,尾柄呈长方形且较长,眼小且位于头前部等特征与塔里木裂腹鱼的俗名“尖嘴鱼”相统一;通过构建的框架结构进一步说明,塔里木裂腹鱼体形呈纺锤状,适于在静水或流水中快速游泳进行觅食活动或洄游产卵,符合塔里木裂腹鱼实际觅食情况以及洄游产卵的习性。结果丰富了塔里木裂腹鱼的生物学内容,为塔里木裂腹鱼的资源保护和可持续利用奠定了理论基础。

**关键词:**车尔臣河;塔里木裂腹鱼;形态学;框架结构

**中图分类号:**S917 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2019)20-0188-03

塔里木裂腹鱼(*Schizothorax biddulphi*),地方名为尖嘴鱼、新疆鱼,隶属鲤形目(Cypriniformes)鲤科(Cyprinidae)裂腹鱼亚科(Schizothoracinae)裂腹鱼属(*Schizothorax*),曾广泛分布于塔里木河流域诸水系,是新疆重要的经济鱼类之一。近年来,由于水利设施兴建、环境恶化和过度捕捞等因素导致塔里木裂腹鱼种群数量减少,于 1998 年收录于《中国濒危动物红皮书》的鱼类卷中<sup>[1]</sup>;2004 年,被列为新疆Ⅱ类水生野生保护动物,目前已濒危。

有关塔里木裂腹鱼的研究主要集中在基础生物学<sup>[2-3]</sup>、繁殖生物学<sup>[4-5]</sup>和遗传学<sup>[6-8]</sup>等方面。形态特征是生物分类系统建立的依据,在发育生物学和进化生物学研究中必不可少<sup>[9]</sup>。鱼类形态学研究主要通过鱼体可量性状与可数性状进行统计分析<sup>[10-12]</sup>,又称框架法<sup>[13]</sup>。传统的形态学测量指标多集中于鱼体头部和尾部,指标之间存在重叠现象,因此在描述鱼体形态时不够准确<sup>[14]</sup>。框架法利用鱼体的解剖学坐标点,纵横交错连接成线,几何地描述鱼类的形态特征,更能

准确地反映鱼类形态特征<sup>[15]</sup>。近年来,随着形态学的发展,框架法被越来越多地应用于形态特征的研究中。霍堂斌等采用传统形态学和框架测定相结合的方法,探讨了 2 种狗鱼的形态差异<sup>[16]</sup>。练青平等将传统形态学与框架法相结合,揭示了唇鲮、花鲮及其杂交 F<sub>1</sub> 的形态差异<sup>[17]</sup>。梁宏伟等选用了 10 个解剖学坐标点构建了鲢框架结构图,揭示了长丰鲢和长江鲢的形态差异<sup>[18]</sup>,为长丰鲢新品种的种质鉴定提供依据。徐丹丹等采用 10 个常规可量性状与 20 个框架性状研究了中华沙鳅和宽体沙鳅的形态差异及其物种的有效性<sup>[19]</sup>。

笔者以车尔臣河塔里木裂腹鱼为研究对象,运用传统形态学与框架法相结合的方法,构建塔里木裂腹鱼的框架结构图,以期为塔里木裂腹鱼的种质标准建立提供基础资料,为塔里木裂腹鱼种群的资源保护和可持续利用提供理论依据,为塔里木裂腹鱼群体后续研究工作的开展提供支持。

## 1 材料与方法

样本鱼于 2017 年 7 月采自新疆且末县车尔臣河,采用拖网与刺网相结合的方法捕捞,共 47 尾(表 1),用电子天平称量体质量(精确到 0.01 g),用量鱼板(精确度 0.1 mm)、直尺(精确度 0.1 mm)、游标卡尺(精确度 0.01 mm)测量试验鱼的 19 项可量性状和 20 个框架距离。19 个可量性状包括吻须长、颌须长、体长、体高、体宽、头长、眼后头长、头高、口裂长、口裂宽、吻长、眼间距、眼径、上颌厚、下颌厚、尾柄长、尾柄

收稿日期:2018-07-03

基金项目:国家自然科学基金(编号:31560721、31160526);新疆生产建设兵团塔里木畜牧科技重点实验室项目(编号:HS201712Z)。

作者简介:杨志军(1993—),男,山东德州人,硕士,主要从事渔业资源保护与利用研究。E-mail:1515677599@qq.com。

通信作者:聂竹兰,博士,教授,主要从事渔业资源保护与利用方面的研究。E-mail:niezhl2004@163.com。

代谢的影响[J].植物生理学报,2014(12):1871-1879.

[20]周琳,陈周一琪,王玉花,等.光质对茶树愈伤组织中茶多酚及抗氧化酶活性的影响[J].茶叶科学,2012,32(3):210-216.

[21]王虹,姜玉萍,师恺,等.光质对黄瓜叶片衰老与抗氧化酶系统的影响[J].中国农业科学,2010,43(3):529-534.

[22]李强,姚霞,孙楷,等.不同光质对茅苍术生长、抗氧化酶活性及挥发油含量的影响[J].中国实验方剂学杂志,2018,24(10):27-32.

[23]Kowalik W. Blue light effects on respiration[J]. Plant Biology,

1982,33(4):51-72.

[24]Ruyters G. Effects of blue-light on pyruvate kinase activity during chloroplast development of unicellular green algae [J]. Photochemistry & Photobiology,2008,35(2):229-231.

[25]任锦,郭双生,杨成佳,等.紫背天葵在不同二氧化碳浓度和 LED 光质条件下的抗氧化应激能力研究[J].航天医学与医学工程,2014,27(2):122-128.

[26]李亚华,陈龙,高荣广,等. LED 光质对茄子果实品质及抗氧化能力的影响[J].应用生态学报,2015,26(9):2728-2734.