

不同水平维生素E对小球藻生理过程的影响研究

任朝宇, 杨鹏鹏, 潘 聪, 李安然, 杨熠珊, 孙金辉*

天津农学院水产学院, 天津

收稿日期: 2025年7月28日; 录用日期: 2025年8月28日; 发布日期: 2025年9月1日

摘 要

维生素E是一种脂溶性维生素, 在各种生物体的生长与繁殖中起到不可或缺的作用。为比较不同水平维生素E对小球藻生长等方面的影响, 本研究以小球藻作为试验对象, 在相同培养条件下, 向培养液中添加0 mg/L、10 mg/L、25 mg/L、50 mg/L、100 mg/L的维生素E母液, 探究其对小球藻生长、内部VE合成含量、色素含量、最大光化学效率的作用效果。结果表明, 在培养液中加入适量的维生素E, 可对小球藻的生长起到促进作用, 在培养条件相同的情况下, 浓度为25 mg/L的维生素E生长效果最好且25 mg/L试验组的VE合成含量及最大光化学效率显著高于其余四组($P < 0.05$)。未来可通过探索维生素E与不同营养物质间的最佳配比, 以望开发出促生长效果更佳的复合营养强化剂, 为小球藻的大规模培养和应用提供更具优化性的营养方案。

关键词

小球藻, 维生素E, 生长, 光合色素, 最大光化学效率

Research on the Effects of Different Levels of Vitamin E on the Physiological Processes in *Chlorella Vulgaris*

Chaoyu Ren, Pengpeng Yang, Cong Pan, Anran Li, Yishan Yang, Jinhui Sun*

Fisheries College of Tianjin Agricultural University, Tianjin

Received: Jul. 28th, 2025; accepted: Aug. 28th, 2025; published: Sep. 1st, 2025

Abstract

Vitamin E is a fat-soluble vitamin that plays an essential role in the growth and reproduction of

*通讯作者。

文章引用: 任朝宇, 杨鹏鹏, 潘聪, 李安然, 杨熠珊, 孙金辉. 不同水平维生素 E 对小球藻生理过程的影响研究[J]. 水产研究, 2025, 12(3): 171-179. DOI: 10.12677/ojfr.2025.123018

various organisms. This study aimed to compare the effects of different concentrations of vitamin E on the growth and other characteristics of *Chlorella vulgaris*. Under controlled culture conditions, vitamin E solution at concentrations of 0 mg/L, 10 mg/L, 25 mg/L, 50 mg/L, and 100 mg/L were added to the culture solution to investigate their effects on growth, internal vitamin E synthesis, pigment content, and maximum photochemical efficiency of *Chlorella vulgaris*. The results indicated that the addition of an appropriate amount of vitamin E to the culture solution could enhance the growth of *Chlorella vulgaris*. Specifically, a concentration of 25 mg/L of vitamin E yielded the most significant growth effects, with the vitamin E synthesis content and maximum photochemical efficiency in the 25 mg/L group being significantly higher than those in the other four groups ($P < 0.05$). Future research will focus on exploring the optimal ratio of vitamin E to various nutrients, with the goal of developing compound nutrient enhancers that promote growth more effectively and provide improved nutritional solutions for the large-scale cultivation and application of *Chlorella vulgaris*.

Keywords

Chlorella Vulgaris, Vitamin E, Growth, Photosynthetic Pigments, Maximum Photochemical Efficiency

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

小球藻(*Chlorella vulgaris*)是一类单细胞绿藻,隶属于绿藻门、绿藻纲、绿藻目、小球藻科。目前世界上已知有十几种小球藻,加上变异种有几百种[1]。小球藻富含多种蛋白质、不饱和脂肪酸、类胡萝卜素、叶绿素及微量元素等,常作为水产动物饲料的重要植物蛋白来源和水产动物幼体的开口饵料,在促进动物生长与增强免疫力方面具有重要价值[2][3],因此被人们进行广泛培养。有研究表明,向草鱼饲料中添加 1.0%或 1.5%的小球藻可以显著提高其免疫力[4]。同时,在饲料中添加小球藻除了可以提高养殖动物的采食量和增重率,还能增强其消化酶含量[5][6]。小球藻作为饲料中重要的蛋白质来源,具有较好的诱食效果且在动物体内易于消化吸收,在必需氨基酸的组成及含量方面,又与鱼粉极其相似,因此可作为营养强化剂提高饲料中的蛋白营养[7]。

维生素 E 又称为生育酚,是一种脂溶性维生素,对鱼类生长和繁殖起重要作用[8]。研究发现,如果长期摄入缺乏维生素 E 的饲料,会表现出鱼体消瘦、性腺发育迟缓等症状,严重则影响养殖生产[9]。例如,在鲮鱼幼苗饲料中添加适量维生素 E 能够有效促进其生长[10]。此外,维生素 E 能促进动物性腺发育成熟及胚胎发育,改善机体的繁殖机能[11]。

随着我国水产养殖行业的发展,养殖人员小球藻这类高效饲料的营养需求量迅速增加,但如何促使培养的小球藻快速生长并增加其营养性能仍存在大量考究。

本试验通过向小球藻培养液中添加不同浓度维生素 E,分析小球藻生物量与营养物质含量的变化,优化适宜小球藻生长及营养物质合成积累的维生素 E 浓度,为小球藻的高效生产提供数据支持。

2. 材料与方法

2.1. 试验材料

本试验所用的藻种来自天津农学院天津市水产生态及养殖重点实验室分离纯化后的海水小球藻。二

甲基亚砒(DMSO)分析纯来自实验室药品柜。维生素 E 粉剂购自长信生物科技有限公司。

2.2. 微藻的扩培

本试验海水小球藻培养方法采用 f/2 培养基, 盐度为 30‰。将小球藻液与配置好的培养基按体积比 1:4 混合均匀后, 放入恒温光照培养箱中进行培养, 具体培养条件如下: 温度为 25℃, 光照强度 70 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$, 光照周期为 12h:12h, 相对湿度为 38%。每天早中晚摇瓶各 3~4 次, 防止小球藻贴壁或沉底。每天取样测定并记录相应藻密度及吸光度(OD)值, 及时绘制生长曲线, 当藻密度达到对数期时进行二次扩培。此次将藻液与培养基按体积比 1:1 进行扩培, 在其生长曲线处于对数期时即可作为试验用藻, 开始正式进行营养强化试验。

2.3. 试验设计

通过预实验确定无效应浓度后, 将维生素 E 粉末分别精确称量后溶解于适量 DMSO 中, 经充分搅拌与超声处理, 制备成不同浓度的维生素 E 母液, 并在超净工作台内将维生素 E 母液与已加入灭菌培养基藻液混合, 其中试验组中加不同浓度母液, 对照组加等量的 DMSO, 配制成维生素 E 浓度 0 mg/L、10 mg/L、25 mg/L、50 mg/L、100 mg/L, 接种密度 6.5×10^6 cells/ml, 接种总体积 250 ml。置于恒温培养箱中培养, 培养条件同 1.2。以接种第一天为第 0 天, 共培养 8 天。每日取样测定藻密度和吸光度, 并在培养的第 0、3、5、7 天测定叶绿素含量、叶绿素荧光参数及维生素 E 含量。

2.4. 指标检测

每日从各培养基中取体系为 5 ml 藻液作为指标检测样本。

藻细胞生长测定: 将样本藻液摇晃均匀, 用移液枪吸取 20 μL 藻液于血球计数板, 在显微镜下读数并记录。另取 3 ml 置于石英比色皿内, 在波长为 680 nm 的紫外分光光度计内测定吸光度并记录数据。

维生素 E 含量的测定: 在试验的第 0、3、5、7 天将样本以 6000 r/min 离心 10 min。离心结束后, 保留管底的一小部分上清液和管底的藻泥, 用移液枪多次吹打成均匀的藻液。吸取 50 μL 的藻液于新离心管内, 放入分析天平称重记录 50 μL 藻液质量, 采用南京建成的维生素 E (Vitamin E)测定试剂盒(比色法)进行 VE 含量的测定。

$$\text{VE 含量}(\mu\text{g/g}) = \frac{A_{\text{测定}} - A_{\text{空白}}}{A_{\text{标准}} - A_{\text{空白}}} \times C_{\text{标准}} \times \frac{W}{V_{\text{样总}}} \quad (1)$$

注: $C_{\text{标准}}=3 \mu\text{g/ml}$; W 为组织鲜重, g; $V_{\text{样总}}$ 为加入的提取液总体积, ml。

色素含量的测定: 采用乙醇法测定小球藻中叶绿素 a、叶绿素 b、类胡萝卜素的含量。在试验的第 0、3、5、7 天, 将样本于离心机 6000r/min, 离心 10 min, 弃上清, 加入 95%乙醇 5 ml, 混匀并包上锡纸, 置于 4℃冰箱避光保存 24 小时后, 离心机以 6000 r/min 离心 10 min, 取上清液放入紫外分光光度计中分别测量在波长 665 nm、649 nm、470 nm 处的吸光度。

$$Ca(\text{mg/L}) = 13.95A_{665} - 6.88A_{649} \quad (2)$$

$$Cb(\text{mg/L}) = 24.96A_{649} - 7.32A_{665} \quad (3)$$

$$Cc(\text{mg/L}) = (1000A_{490} - 2.05Ca - 114.8Cb)/245 \quad (4)$$

注: Ca 、 Cb 、 Cc 分别为小球藻中叶绿素 a、叶绿素 b、类胡萝卜素的含量; A_{665} 、 A_{649} 和 A_{470} 分别为叶绿体色素提取液在波长 665 nm、649 nm 和 470 nm 下的吸光度。

叶绿素荧光参数的测定: 在试验的第 0、3、5、7 天, 将样本放入黑暗环境下进行暗处理 15 min, 避

光结束后将摇晃均匀的藻液放入叶绿素荧光仪中测定小球藻的初始荧光产量(F_0), 最大荧光产量(F_m)参数。根据以上参数并计算出最大光能转化效率(F_v/F_m)的荧光参数, 具体计算公式如下:

$$F_v/F_m = \frac{F_m - F_0}{F_m} \quad (5)$$

2.5. 数据处理与分析

所有数据均为“平均值 ± 标准差”。使用 Excel 2021 进行数据整理与统计, IBM SPSS Statistics 27 进行数据分析, 显著水平设置为 $P < 0.05$ 。使用 Origin 2021 及 Prism 10 软件进行作图。

3. 结果与分析

3.1. 维生素 E 对小球藻生长的影响

维生素 E 对小球藻密度的影响如图 1 所示。随着试验时间的推移, 各试验组小球藻密度均有增加, 最终维生素 E 浓度为 25 mg/L 的试验组藻密度最高, 其次是 50 mg/L 和 100 mg/L 的试验组藻密度最低且低于对照组。在试验 0~2 天和 5~7 天, 维生素 E 浓度为 25 mg/L 试验组的藻密度增长速度明显高于其他组。结果表明, 在 0~100 mg/L 的维生素添加范围内, 培养液中添加浓度为 25 mg/L 维生素 E 的小球藻生长效果最佳。

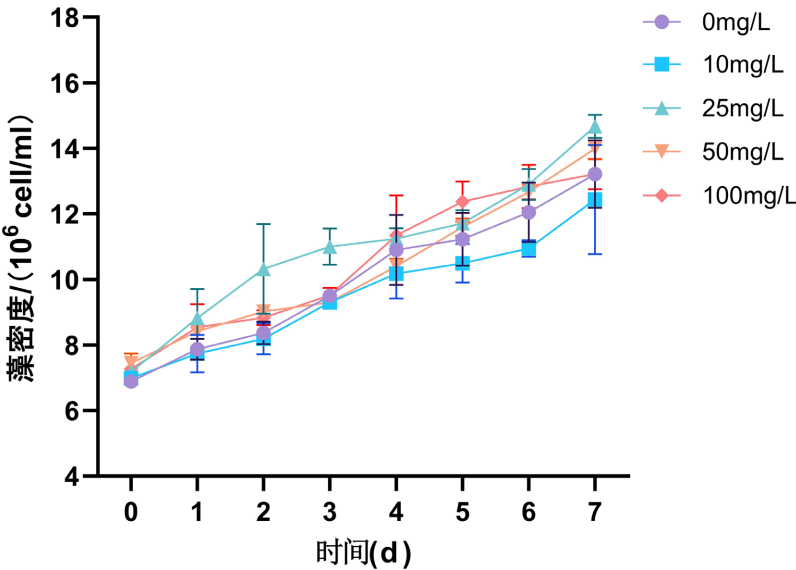


Figure 1. Growth rate of *Chlorella vulgaris* at different vitamin E concentrations
图 1. 不同维生素 E 浓度下小球藻生长趋势

3.2. 维生素 E 对小球藻 VE 积累量的影响

维生素 E 在小球藻中的积累量如图 2 和图 3 所示, 随着时间的推移, 各组小球藻内部的 VE 含量逐渐增加, 且试验最后一天所测得浓度为 25 mg/L 的试验组 VE 含量最高, 最低的为 10 mg/L 和 50 mg/L, 故在此实验水平内, 浓度为 25 mg/L 的维生素 E 对小球藻内部 VE 含量的积累效果最好。在试验第 3~7 天浓度为 25 mg/L 试验组 VE 含量积累速度最快。在试验第 0 天和第 3 天, 五组间的 VE 含量无显著性差异($P > 0.05$), 在第 5 天 50 mg/L 的试验组与对照组之间存在显著性差异($P < 0.05$), 且该组积累量低于所有试验组, 在第 7 天维生素 E 浓度为 25 mg/L 的试验组的 VE 含量显著高于其余四组($P < 0.05$)。

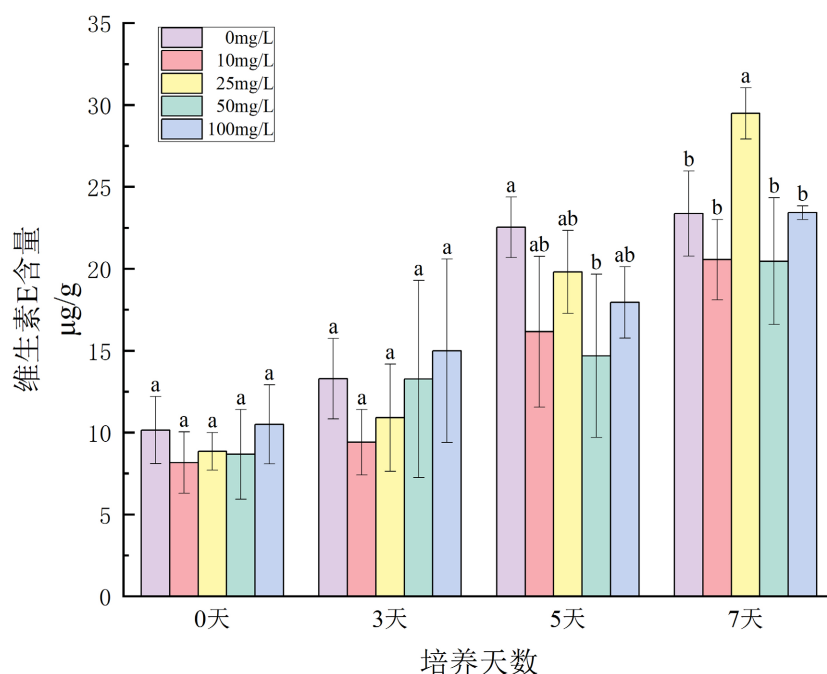


Figure 2. Differential analysis of VE content under the same incubation time

图 2. 相同培养时间下 VE 含量差异性分析

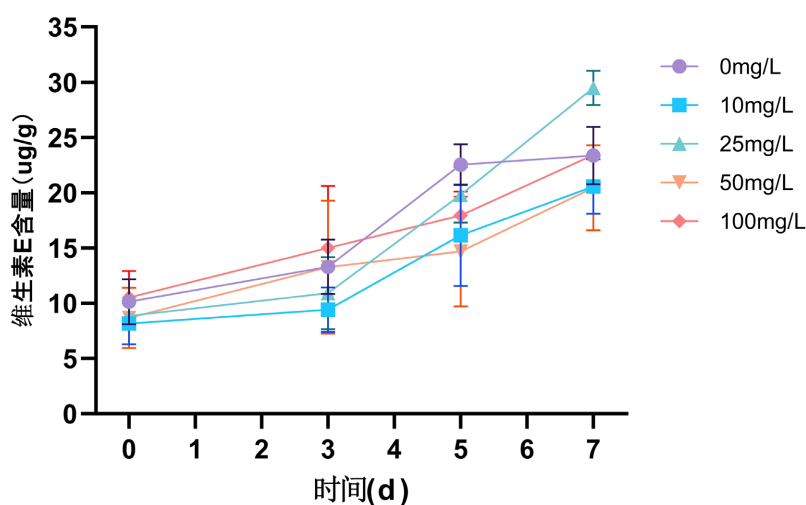


Figure 3. Trend of VE content in *Chlorella vulgaris*

图 3. 小球藻中 VE 含量变化趋势

3.3. 维生素 E 对小球藻色素含量的影响

维生素 E 对小球藻光合色素含量产生不同的影响(图 4), 四种色素含量均随时间的推移呈不断上升趋势, 且增长速度逐渐趋于平缓。对于类胡萝卜素, 在第 0~3 天内各试验组间均无显著性差异($P > 0.05$), 而在第 5~7 天 10 mg/L 的试验组类胡萝卜素含量显著低于其余四组($P < 0.05$), 且第 7 天时 10 mg/L 的试验组类胡萝卜素含量最低, 其余四组含量差异不大, 但 25 mg/L 的试验组类胡萝卜素含量最高。在 0~3 天各组间的叶绿素 a 含量无显著性差异($P > 0.05$), 第 5 天维生素 E 浓度为 25 mg/L、50 mg/L 的试验组叶绿素 a 的含量显著高于其余三组($P < 0.05$), 在第 7 天浓度为 25 mg/L 的试验组的叶绿素 a 的含量显著

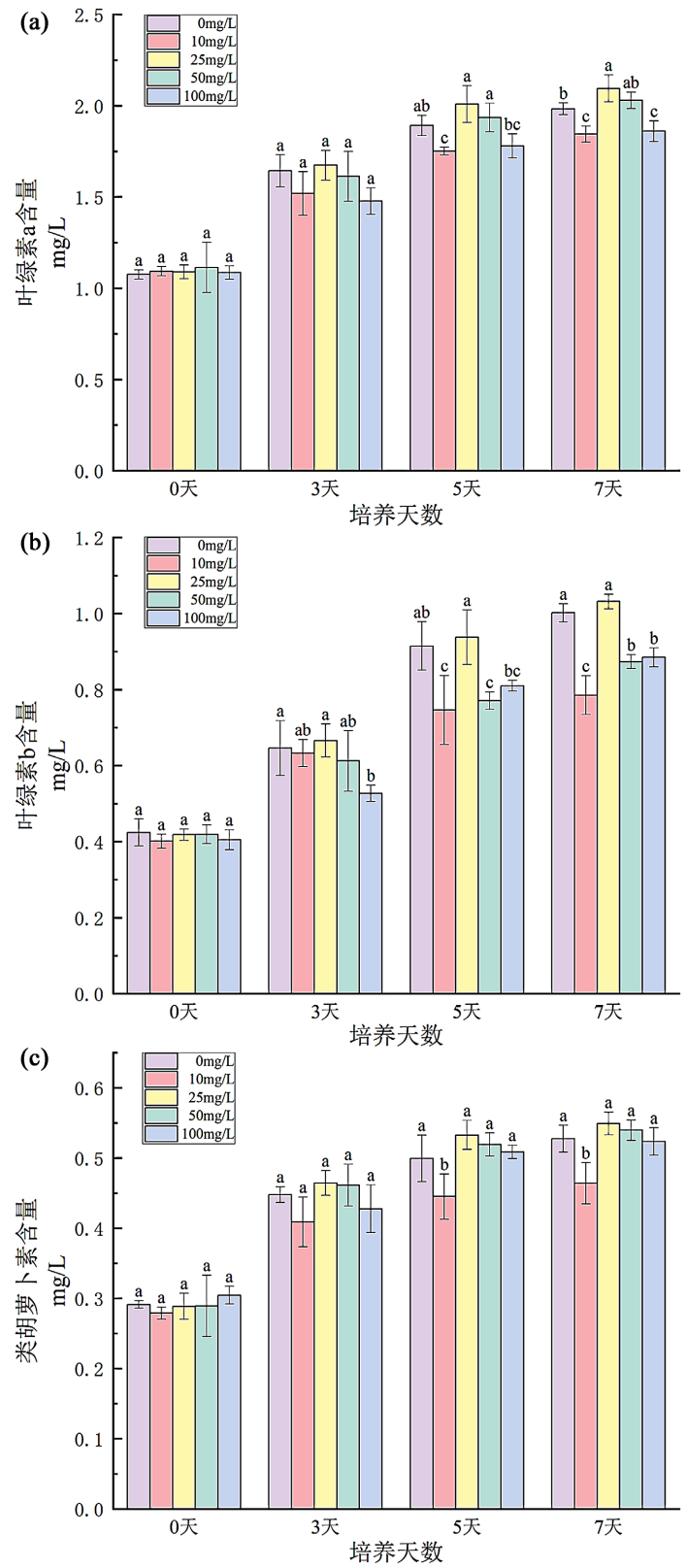


Figure 4. Trends in photosynthetic pigment content of *Chlorella vulgaris*
图 4. 小球藻光合色素含量变化趋势

高于其余四组($P < 0.05$)。对于叶绿素 b, 在第 3 天时, 各试验组含量出现了不同程度的变化, 且差异性随着时间增加逐渐增大, 且在试验第 7 天时浓度为 25 mg/L 的试验组叶绿素 b 含量最高。综上所述, 在该维生素 E 浓度范围内, 添加 10 mg/L 的维生素 E 对小球藻色素积累存在抑制效果, 而 25 mg/L 的浓度对小球藻细胞内色素有促进作用。

3.4. 维生素 E 对小球藻光合效率的影响

维生素 E 对小球藻光合效率的影响如图 5 所示, 在培养过程中, 五组小球藻的最大光化学效率(F_v/F_m)都随着时间的增加逐渐上升, 其中维生素 E 浓度为 25 mg/L 的试验组增长速度明显高于其余四组, 10 mg/L 和 100 mg/L 试验组 F_v/F_m 增长速度最平缓。试验第 7 天时维生素 E 浓度为 25 mg/L 试验组的最大光化学效率最高, 显著高于其余四组($P < 0.05$)。

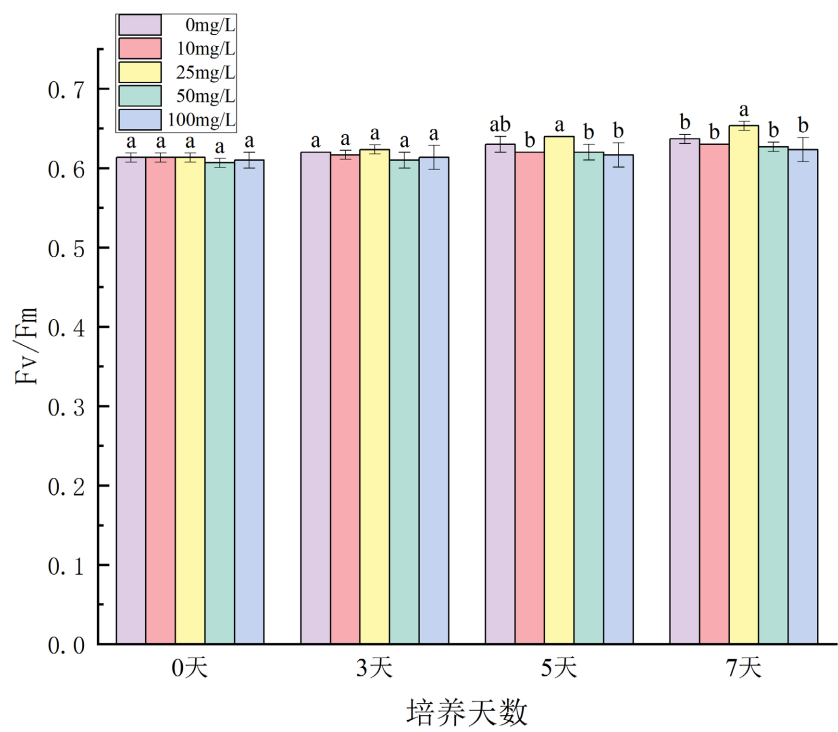


Figure 5. Differential analysis of maximum photochemical efficiency of *Chlorella vulgaris*
图 5. 小球藻最大光化学效率差异性分析

4. 讨论

4.1. 维生素 E 对小球藻生长及沉积量的响应

在不同的营养环境条件下, 不同藻类可能具有某一特定的维生素吸收机制, 这与微藻代谢的多种途径选择有关。有研究表明, 维生素参与机体代谢的过程并影响代谢产物[12]。

本研究通过细胞密度, 直观评估了维生素 E 添加量对小球藻生长的影响。结果表明, 在本试验浓度范围内, 25 mg/L 的维生素 E 对小球藻生长的促进效果最为明显。与对照组相比, 添加 25 mg/L 和 50 mg/L 维生素 E 显著增加了生物量, 而 10 mg/L 和 100 mg/L 试验组则表现出抑制作用。关于维生素 E 在小球藻内的积累情况, 在培养末期 25 mg/L 组的维生素 E 含量达到最高。维生素 E 作为藻类代谢中重要的抗氧化剂之一, 其主要生理功能在于维持叶绿体的氧化还原平衡, 保护光合器官的结构性及完整性, 从而保

障细胞膜的正常功能[13]-[15]。当机体内产生活性氧(ROS)时,便开始攻击蛋白质、脂质等大分子物质,形成具有破坏性的自由基。而此时维生素 E 便利用其自身的还原性清除 ROS,防止膜系统中多不饱和脂肪酸的氧化[16]。基于上述机制,我们推测添加 25 mg/L 的维生素 E 可能通过增强小球藻细胞内的抗氧化酶的活性,提高抗氧化能力,从而促进细胞生长和分裂。

4.2. 维生素 E 对小球藻光合作用的响应

小球藻中一项重要的生理功能便是光合作用,它可以直观的体现出藻类生物产生有机物的能力[17],若物质积累丰富通常表现为较高的光合效率,这一过程是维持机体正常生长代谢的关键因素之一[18]。试验结果表明,尽管培养期间各处理组色素总量均呈上升趋势,但具体影响与其浓度呈相关性。相比于对照组,25 mg/L 组对叶绿素 a、叶绿素 b 和类胡萝卜素的积累均表现显著促进作用;50 mg/L 组对叶绿素 a 和类胡萝卜素积累有促进作用,但对叶绿素 b 积累存在抑制;而 10 mg/L 和 100 mg/L 组则抑制了叶绿素 b 的积累。通过先前学者的大量研究,可能有以下方面影响小球藻内光合色素的积累。一方面,维生素 E 作为抗氧化剂降低了 ROS 水平,保护了如谷氨酰-tRNA 还原酶等叶绿素合成关键酶的活性,进而促进叶绿体色素前体的积累[19];另一方面,可能通过协同作用增强类胡萝卜素合成,后者作为非酶促抗氧化剂消除叶绿体中的单线态氧[20]。然而,过高浓度(如 100 mg/L)的维生素 E 可能干扰正常代谢过程,抑制色素合成相关酶及相关基因的表达[19]。

叶绿素荧光技术是在光合作用理论的基础上,对植物光合生理状态进行检测以及评估外部因素对其产生的影响,是一种研究光合作用尤其是光系统 II (photosystem II, PSII)功能的天然探针[21]。本试验利用该技术评估了维生素 E 对小球藻光合作用的影响。结果表明,维生素 E 的添加影响了光合效率。最大光化学效率(Fv/Fm)是衡量藻细胞的光合效率及其受胁迫程度的重要指标[22]。在培养期间,所有组的 Fv/Fm 均呈上升趋势,但 25 mg/L 组的增长速率显著高于其他组。这表明添加 25 mg/L 的维生素 E 有效提升了小球藻的光合效率。这可能由于色素的积累增强了光能的吸收与转化效率[23]或保护叶绿体结构的完整性,维持光合酶活性[24]。相反,高浓度维生素 E(如 100 mg/L)可能破坏叶绿体结构,抑制关键酶活性,阻碍光合电子传递链效率[24] [25],最终抑制光合作用,使其无法进行正常的生理活动。

5. 不足与展望

本研究提出了一种新的微藻营养强化培养策略,旨在促进其生态可持续发展,并充分利用其在生态技术方面的应用,如作为水产生物幼虫的喂养、人类保健品中的添加剂等,以便更好地发挥其潜在优势。关于维生素 E 对小球藻生长的影响,本次试验只是得到了一个初步的结果,且本实验存在许多不可避免的误差,限于试验条件等客观因素,无法深入探究小球藻吸收的动力学机制以及生理生化代谢反应机理;营养强化后的小球藻缺乏对养殖生物效果实践,无法得知营养强化效果的持久性以及其对养殖生物长期生长发育的潜在影响,限制了对营养强化技术实际应用价值的全面性评估。待后来学者在此基础上更加深入探索相关的领域,推动水产养殖的进一步发展。

6. 结论

试验结果表明,在培养液中加入适量的维生素 E,可对小球藻的生长起到促进作用,试验组浓度为 25 mg/L 的维生素 E 生长效果最好,明显高于对照组。相同的培养条件下,在 0~100 mg/L 维生素 E 浓度范围内,10 mg/L、50 mg/L、100 mg/L 试验组与对照组相比其促生长效果较微弱或对小球藻的生长及光合色素产生抑制作用。综合试验及生产成本的计量,培养基中添加 25 mg/L 的维生素 E 对小球藻生长效果最佳。

参考文献

- [1] 孟顺龙, 陈春光, 陈家长. 小球藻在池塘养殖中的调水作用[J]. 科学养鱼, 2020(9): 86.
- [2] 熊斯微, 范泽, 张海涛, 等. 小球藻的营养价值及其在水产动物饲料中的应用[J]. 饲料工业, 2024, 45(6): 7-13.
- [3] 闫海, 张宾, 王素琴, 等. 小球藻异养培养的研究进展[J]. 现代化工, 2007(4): 18-21.
- [4] 闻祖银. 不同水平的小球藻对草鱼免疫力功能的影响[J]. 黑龙江水产, 2024, 43(2): 165-168.
- [5] Chen, W., Gao, S., Huang, Y., Chang, K. and Zhao, X. (2022) Addition of *Chlorella sorokiniana* Meal in the Diet of Juvenile Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*): Influence on Fish Growth, Gut Histology, Oxidative Stress, Immune Response, and Disease Resistance against *Aeromonas salmonicida*. *Fish & Shellfish Immunology*, **129**, 243-250. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2022.08.062>
- [6] Kotrbáček, V., Doubek, J. and Doucha, J. (2015) The Chlorococcalean Alga *Chlorella* in Animal Nutrition: A Review. *Journal of Applied Phycology*, **27**, 2173-2180. <https://doi.org/10.1007/s10811-014-0516-y>
- [7] 徐晓莹, 史文凯, 赵佳琳, 等. 螺旋藻和小球藻在鱼类营养中的应用[J]. 渔业致富指南, 2022(3): 37-39.
- [8] 金明昌, 汪开毓. 水产动物的维生素 E 营养研究进展[J]. 淡水渔业, 2006(4): 59-61.
- [9] 蔡中华, 邢智智, 董双林. 维生素 E 对鲤鱼健康的影响[J]. 动物学报, 2001(S1): 120-124.
- [10] Wassef, E.A., El Masry, M.H. and Mikhail, F.R. (2001) Growth Enhancement and Muscle Structure of Striped Mullet, *Mugil cephalus* L., Fingerlings by Feeding Algal Meal-Based Diets. *Aquaculture Research*, **32**, 315-322. <https://doi.org/10.1046/j.1355-557x.2001.00043.x>
- [11] 王正方, 张庆, 卢勇, 等. 氮、磷、维生素和微量元素对赤潮生物海洋原甲藻的增殖效应[J]. 东海海洋, 1996(3): 33-38.
- [12] 史晓丽, 陈德富, 陈喜文. 利用微藻生产维生素 E 的研究现状与应用前景[J]. 生物学通报, 2011, 46(6): 5-7.
- [13] 钱文成, 陶苏丹, 陈德富, 等. 植物维生素 E 代谢工程研究[J]. 生物学通报, 2006, 41(12): 13-15.
- [14] 郭子建, 孙为银. 生物无机化学[M]. 北京: 科学出版社, 2006: 126-127.
- [15] 张恒. 生物化学与分子生物学[M]. 郑州: 郑州大学出版社, 2007: 169-196.
- [16] 张恒, 许兆棠, 孙苏阳, 等. 钙和磷对小麦胚芽愈伤组织维生素 E 积累的影响[J]. 食品工业科技, 2009, 30(11): 164-167, 172.
- [17] 何培民, 张政值, 张荣铨. 条斑紫菜的光合作用及其主要影响因素[J]. 南京农业大学学报, 1999(4): 19-22.
- [18] 谢聪颖, 钟雪峰, 乌兰, 等. 低温胁迫下条斑紫菜的生长和光合生理生化响应[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2024, 54(8): 33-42.
- [19] Nguyen, T.N.P. and Sung, J. (2024) Light Spectral-Ranged Specific Metabolisms of Plant Pigments. *Metabolites*, **15**, Article 1. <https://doi.org/10.3390/metabo15010001>
- [20] Havaux, M. (2013) Carotenoid Oxidation Products as Stress Signals in Plants. *The Plant Journal*, **79**, 597-606. <https://doi.org/10.1111/tpj.12386>
- [21] Schreiber, U., Bilger, W. and Neubauer, C. (1995) Chlorophyll Fluorescence as a Nonintrusive Indicator for Rapid Assessment of *in Vivo* Photosynthesis. In: Schulze, E.D. and Caldwell, M.M., Eds., *Ecophysiology of Photosynthesis*, Springer, 49-70. https://doi.org/10.1007/978-3-642-79354-7_3
- [22] 成杰, 季祥, 丁勇成. 乙醇对斜生栅藻叶绿素荧光特性以及油脂积累的影响研究[J]. 吉林师范大学学报(自然科学版), 2018, 39(2): 113-122.
- [23] Magdaong, N.C.M. and Blankenship, R.E. (2018) Photoprotective, Excited-State Quenching Mechanisms in Diverse Photosynthetic Organisms. *Journal of Biological Chemistry*, **293**, 5018-5025. <https://doi.org/10.1074/jbc.tm117.000233>
- [24] Zhang, Y., He, D., Bu, Z., Li, Y., Guo, J. and Li, Q. (2022) The Transcriptomic Analysis Revealed Sulfamethoxazole Stress at Environmentally Relevant Concentration on the Mechanisms of Toxicity of Cyanobacteria *Synechococcus* sp. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, **10**, Article ID: 107637. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2022.107637>
- [25] Li, J., Zheng, X., Liu, X., Zhang, L., Zhang, S., Li, Y., et al. (2023) Effect and Mechanism of Microplastics Exposure against Microalgae: Photosynthesis and Oxidative Stress. *Science of the Total Environment*, **905**, Article ID: 167017. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167017>