

# 不同质量浓度海带多糖对水稻幼苗生长的影响

赵文慧<sup>1</sup>, 张华颖<sup>2\*</sup>, 吴阳<sup>3</sup>, 赵飞<sup>3\*</sup>, 宫一震<sup>1</sup>, 李曼<sup>4</sup>, 孙静<sup>5</sup>, 张秀梅<sup>1</sup>, 夏苏东<sup>1</sup>

<sup>1</sup>天津农学院水产学院, 天津市水产生态及养殖重点实验室, 天津

<sup>2</sup>天津市农业发展服务中心, 天津

<sup>3</sup>天津市食味水稻科技创新与成果转化国际联合中心, 天津

<sup>4</sup>天津师范大学教育学部, 天津

<sup>5</sup>天津纳尔生物科技有限公司, 天津

收稿日期: 2025年2月10日; 录用日期: 2025年3月3日; 发布日期: 2025年3月14日

## 摘要

为探究不同质量浓度海带多糖对两种水稻(津川一号和天隆优619)幼苗生长和生理指标的影响, 旨在确定海带多糖对水稻幼苗的作用效果, 并筛选出适宜的海带多糖质量浓度以促进水稻的健康生长。试验采用水培法, 设置了5个不同浓度海带多糖处理组和一个对照组。结果表明, 海带多糖对水稻幼苗的苗长、根长、鲜重、干重、抗氧化酶活性、丙二醛含量和光合色素含量均有一定影响, 且最佳质量浓度为0.15 g/L。

## 关键词

海带多糖, 水稻, 幼苗生长, 抗氧化酶, 丙二醛, 光合色素

# Effects of Different Concentrations of Kelp Polysaccharides on the Growth of Rice Seedlings

Wenhui Zhao<sup>1</sup>, Huaying Zhang<sup>2\*</sup>, Yang Wu<sup>3</sup>, Fei Zhao<sup>3\*</sup>, Yizhen Gong<sup>1</sup>, Man Li<sup>4</sup>, Jing Sun<sup>5</sup>, Xiumei Zhang<sup>1</sup>, Sudong Xia<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Tianjin Key Laboratory of Aquatic Ecology and Aquaculture, College of Aquatic Products, Tianjin Agricultural University, Tianjin

<sup>2</sup>Tianjin Agricultural Development Service Center, Tianjin

<sup>3</sup>Tianjin International Joint Research and Development Center for Technological Innovation and Achievement Transformation on Palatability and Quality of Rice, Tianjin

<sup>4</sup>Faculty of Teacher Education, Tianjin Normal University, Tianjin

<sup>5</sup>Tianjin Naer Biotechnology Co., Ltd., Tianjin

\*通讯作者。

文章引用: 赵文慧, 张华颖, 吴阳, 赵飞, 宫一震, 李曼, 孙静, 张秀梅, 夏苏东. 不同质量浓度海带多糖对水稻幼苗生长的影响[J]. 水产研究, 2025, 12(1): 50-58. DOI: 10.12677/ojfr.2025.121006

## Abstract

In order to investigate the effects of different mass concentrations of kelp polysaccharide on the growth and physiological indexes of two kinds of rice seedlings (Jinchuan No.1 and Tianlongyou 619), the aim was to determine the effect of kelp polysaccharide on rice seedlings and to screen out the appropriate mass concentration of kelp polysaccharide to promote the healthy growth of rice. The experiment was conducted by hydroponics, and five treatment groups with different concentrations of kelp polysaccharide and one control group were set up. The results showed that kelp polysaccharide had a certain effect on seedling length, root length, fresh weight, dry weight, antioxidant enzyme activity, malondialdehyde content and photosynthetic pigment content of rice seedlings, and the optimal quality concentration was 0.15 g/L.

## Keywords

**Kelp Polysaccharide, Rice, Seedling Growth, Antioxidant Enzymes, Malondialdehyde, Photosynthetic Pigments**

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

地球表面大约有 70% 的面积被海洋所覆盖，海洋中蕴含着丰富的生物资源。海藻作为海洋中关键的生产者，含有多种活性营养物质，是目前海洋生物提取物研究中最活跃的领域之一[1]。海带多糖是从海带属(*Laminaria*)藻类中提取分离得到的一类水溶性多糖[2]，含有大量的常量营养元素和微量营养元素以及生长激素、氨基酸、微生物、甜菜碱、细胞分裂素等有机成分[3]，这些成分会对植物的生理生化反应产生影响，如促进植物生长、养分吸收，增强植物的抗胁迫能力，刺激叶绿素和植物激素的合成[4]。目前国内海带多糖的活性研究多集中在人或动物的抗氧化、抗辐射、抗凝血、抗菌、抗病毒、抗肿瘤、抗衰老、抗炎症、抗血栓、降血糖和降血脂等方面，近几年开始有学者对海带多糖进行纯化，研究其结构特征。而国外研究多集中在抗氧化、增强免疫、抗疲劳、抗癌、抗凝血、抗血栓、抗炎症、降血糖、降血脂以及血管保护和肾脏保护等功能[5]。

水稻作为我国最主要粮食作物之一，其种植面积大、总产高，我国半数以上人口以稻米为主食，水稻的生产在我国粮食生产中占有举足轻重的地位，提升水稻综合生产能力是保障国家粮食安全的有力支撑[6]。俗话说“好秧才能出好禾”，秧苗是水稻生产中重要的环节，也是水稻优质丰产的基础。好的秧苗不仅能缩短水稻成熟期，增加分蘖数量，还能提高幼苗的抗病及应对不良环境的能力，为水稻的优质高产奠定良好的基础[7]。为了提高幼苗素质、培育健壮幼苗，科研人员已从多方面进行了研究，其中利用生长调节物质调控水稻幼苗生长发育是重要方向之一[8]。目前，不同质量浓度海带多糖对水稻各项生理指标、抗氧化能力鲜有报道。

本研究在 2 品种水稻上探究 6 个不同质量浓度海带多糖对水稻幼苗的作用效果，筛选出适宜的海带多糖浓度，促进水稻幼苗的健康生长，并为海洋生物提取物在农业生产中的应用与开发提供理论依据。

## 2. 材料与方法

### 2.1. 供试材料

- 1) 供试水稻品种：“津川一号”、“天隆优 619”，由天津农学院种子科学与工程实验室提供。
- 2) 海带多糖由天津市水产生态及养殖重点实验室提供。
- 3) 水培营养液购置于 Fu Jian Vango Agrochemical Co., Ltd.。

### 2.2. 试验设计

本试验共设置 6 个处理，1~5 分别添加海带多糖 0.05、0.1、0.15、0.2、0.25 g 与营养液和水配合成 1L 溶液，同时设置营养液和清水混合液作为对照(CK)组。

本试验采用水培法，挑选一定数量饱满无残缺的水稻种子，用 70%乙醇溶液浸泡 1 min，清水冲洗两遍去除种子上残留的乙醇溶液，再用 1%次氯酸钠溶液浸泡 30 min，冲洗 6 至 7 遍去除种子上残留的次氯酸钠溶液。水稻种子浸种萌发 3 d 后，挑选萌发一致的种子置于 96 孔黑色水培盒中，置于恒温光照培养箱培养(培养条件：光照 12 h/d，温度 26℃，湿度 50%)。4 d 后添加海带多糖处理，每隔三天更换一次溶液。

### 2.3. 取样与测定方法

水稻幼苗长至第 14 d 时，选取长势一致的幼苗，用滤纸吸干幼苗表面的水分，3 次重复选取，测定其根长、苗长、鲜质量、干质量等形态指标。

水稻幼苗过氧化氢酶(CAT)、过氧化物酶(POD)、丙二醛(MDA)活性购买索莱宝试剂盒检测，超氧化物歧化酶(T-SOD)购买南京建成生物研究所试剂盒。

采用乙醇浸提法测定叶绿素和类胡萝卜素含量。

### 2.4. 数据处理

使用 Microsoft Excel 2019 软件进行数据处理，SPSS 27.0 软件进行单因素方差分析。

## 3. 结果与分析

### 3.1. 不同质量浓度海带多糖对水稻幼苗生长指标的影响

#### 3.1.1. 水稻幼苗苗长和根长的测定结果

由表 1 可知，不同处理组的水稻苗长为 21.43~25.97 cm。与对照相比，经海带多糖处理的水稻幼苗，苗长均随质量浓度的增加呈现先增高后降低的趋势，且均高于对照(CK)组。津川一号和天隆优 619 水稻苗长在质量浓度 0.15 g/L 时最长，比对照组高 19.30% 和 16.30%，结果表明添加海带多糖能够促进水稻幼苗生长，质量浓度为 0.15 g/L 的海带多糖处理效果最好。

不同处理组中两个品种水稻根长为 7.03~12.20 cm。与对照相比，津川一号和天隆优 619 水稻的根长呈现先增加后降低的趋势，津川一号水稻处理组均高于对照组，天隆优 619 水稻处理组在 0.2、0.25 g/L 时根被抑制，与对照组相比，降低了 8.05% 和 34.90%。津川一号和天隆优 619 水稻根长均在质量浓度为 0.05 g/L 达到最大值，与对照组相比升高了 36.50% 和 12.96%，差异显著。

#### 3.1.2. 水稻幼苗鲜质量和干质量测定结果

由表 2 可知，随着处理组质量浓度的增加，水稻的鲜质量和干质量均呈现先增加后减小的趋势，在 0.15 g/L 时，津川一号和天隆优 619 水稻鲜质量和干质量达到最大值，鲜质量为 0.1666 g 和 0.1599 g，干质量为 0.0224 g 和 0.0235 g，鲜质量较 CK 处理分别提高了 12.04% 和 18.53%，干质量较 CK 分别提高了

33.33%和 14.63%；津川一号和天隆优 619 水稻鲜质量海带多糖组与对照组间差异显著；津川一号水稻干质量与 CK 相比差异显著，天隆优 619 水稻干质量与 CK 相比在质量浓度为 0.1、0.15 g/L 差异显著；天隆优 619 水稻在 0.25 g/L 时被抑制，与对照组相比，鲜质量降低 6%，干质量降低 7.8%。

**Table 1.** Effects of different mass concentrations of kelp polysaccharides on seedling length and root length of rice seedlings  
**表 1.** 不同质量浓度海带多糖对水稻幼苗苗长和根长的影响

| 品种      | 处理/(g/L) | 苗长/cm                      | 根长/cm                      |
|---------|----------|----------------------------|----------------------------|
| 津川一号    | 0 (CK)   | 21.43 ± 0.32 <sup>d</sup>  | 8.30 ± 0.70 <sup>c</sup>   |
|         | 0.05     | 24.90 ± 0.10 <sup>b</sup>  | 11.33 ± 0.55 <sup>a</sup>  |
|         | 0.1      | 25.20 ± 0.20 <sup>ab</sup> | 9.57 ± 0.35 <sup>b</sup>   |
|         | 0.15     | 25.57 ± 0.47 <sup>a</sup>  | 9.13 ± 0.70 <sup>bc</sup>  |
|         | 0.2      | 22.63 ± 0.57 <sup>c</sup>  | 9.10 ± 0.70 <sup>bc</sup>  |
|         | 0.25     | 22.33 ± 0.25 <sup>c</sup>  | 8.93 ± 0.23 <sup>bc</sup>  |
| 天隆优 619 | 0 (CK)   | 22.33 ± 0.29 <sup>c</sup>  | 10.80 ± 0.44 <sup>bc</sup> |
|         | 0.05     | 22.63 ± 0.23 <sup>c</sup>  | 12.20 ± 0.26 <sup>a</sup>  |
|         | 0.1      | 23.70 ± 0.17 <sup>b</sup>  | 11.20 ± 0.20 <sup>b</sup>  |
|         | 0.15     | 25.97 ± 0.40 <sup>a</sup>  | 10.97 ± 0.51 <sup>b</sup>  |
|         | 0.2      | 23.80 ± 0.26 <sup>b</sup>  | 9.93 ± 0.84 <sup>c</sup>   |
|         | 0.25     | 23.47 ± 0.40 <sup>b</sup>  | 7.03 ± 0.51 <sup>d</sup>   |

注：同列数据中标有不同字母者表示具有显著性差异( $P < 0.05$ )，下同。

**Table 2.** Effect of different mass concentrations of kelp polysaccharides on fresh and dry mass of rice seedlings  
**表 2.** 不同质量浓度海带多糖对水稻幼苗鲜质量和干质量的影响

| 品种      | 处理/(g/L) | 鲜质量/g                        | 干质量/g                          |
|---------|----------|------------------------------|--------------------------------|
| 津川一号    | 0 (CK)   | 0.1487 ± 0.0060 <sup>b</sup> | 0.0168 ± 0.0006 <sup>c</sup>   |
|         | 0.05     | 0.1635 ± 0.0031 <sup>a</sup> | 0.0203 ± 0.0007 <sup>b</sup>   |
|         | 0.1      | 0.1636 ± 0.0014 <sup>a</sup> | 0.0213 ± 0.0003 <sup>ab</sup>  |
|         | 0.15     | 0.1666 ± 0.0078 <sup>a</sup> | 0.0224 ± 0.0011 <sup>a</sup>   |
|         | 0.2      | 0.1602 ± 0.0010 <sup>a</sup> | 0.0214 ± 0.0009 <sup>ab</sup>  |
|         | 0.25     | 0.1600 ± 0.0082 <sup>a</sup> | 0.0214 ± 0.0005 <sup>ab</sup>  |
| 天隆优 619 | 0 (CK)   | 0.1349 ± 0.0007 <sup>d</sup> | 0.0205 ± 0.0007 <sup>cd</sup>  |
|         | 0.05     | 0.1465 ± 0.0014 <sup>b</sup> | 0.0227 ± 0.0004 <sup>abc</sup> |
|         | 0.1      | 0.1467 ± 0.0020 <sup>b</sup> | 0.0231 ± 0.0006 <sup>ab</sup>  |
|         | 0.15     | 0.1599 ± 0.0018 <sup>a</sup> | 0.0235 ± 0.0008 <sup>a</sup>   |
|         | 0.2      | 0.1406 ± 0.0033 <sup>c</sup> | 0.0210 ± 0.0011 <sup>bcd</sup> |
|         | 0.25     | 0.1268 ± 0.0018 <sup>e</sup> | 0.0189 ± 0.0007 <sup>d</sup>   |

### 3.2. 不同质量浓度海带多糖对水稻幼苗抗氧化性的影响

#### 3.2.1. 水稻幼苗 CAT 活性的测定结果

由表 3 可知，与 CK 相比，津川一号水稻幼苗处理组添加海带多糖后 CAT 活性差异显著；天隆优 619

水稻幼苗处理组, 与对照组相比, 在质量浓度为 0.05、0.15、0.25 g/L 时有显著差异; 随着质量浓度的变化, 两品种水稻 CAT 活性变化无明显规律; 0.05 g/L 海带多糖处理津川一号的效果最好; 0.15 g/L 海带多糖处理天隆优 619 效果最好。

### 3.2.2. 水稻幼苗 POD 活性的测定结果

由表 3 可知, 天隆优 619 水稻幼苗处理组的 POD 活性, 随质量浓度增加持续上升, 在 0.15、0.2、0.25 g/L 时, 水稻幼苗的 POD 酶活性与对照组相比有显著差异( $P < 0.05$ ); 当质量浓度为 0.25 g/L 时, POD 活性最高。津川一号种子的 POD 活性, 呈现先上升后下降的趋势, 添加了海带多糖的处理组, 水稻幼苗中 POD 酶活性明显超过对照组( $P < 0.05$ ), 并在 0.15 g/L 时达到峰值。

### 3.2.3. 水稻幼苗 T-SOD 活性的测定结果

由表 3 可知, 随着处理质量浓度的增加, 津川一号水稻幼苗处理组的 T-SOD 活性无规律性变化, 天隆优 619 幼苗处理组的 T-SOD 活性表现出先增加后降低的变化趋势; 海带多糖溶液处理津川一号和天隆优 619 水稻时, T-SOD 活性均上升, 其中津川一号水稻在 0.05、0.1、0.15、0.25 g/L 与对照组差异显著( $P < 0.05$ ), 天隆优 619 水稻在 0.1、0.15、0.2 g/L 时与对照组相比差异显著( $P < 0.05$ ); 其中 0.15 g/L 处理组津川一号和天隆优 619 水稻的活性最高, 与对照组相比提高了 6.7% 和 5.8%。

**Table 3.** Effects of different mass concentrations of kelp polysaccharides on antioxidant enzyme activities of rice seedlings  
**表 3.** 不同质量浓度海带多糖对水稻幼苗抗氧化酶活性的影响

| 品种      | 处理/(g/L) | CAT 活性                        | POD 活性                         | T-SOD 活性                       |
|---------|----------|-------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| 津川一号    | 0 (CK)   | 1044.12 ± 74.58 <sup>d</sup>  | 147.00 ± 49.00 <sup>d</sup>    | 2166.57 ± 32.16 <sup>c</sup>   |
|         | 0.05     | 1923.26 ± 37.34 <sup>a</sup>  | 1617.00 ± 306.00 <sup>c</sup>  | 2260.83 ± 10.78 <sup>b</sup>   |
|         | 0.1      | 1356.00 ± 75.50 <sup>b</sup>  | 2417.33 ± 465.71 <sup>ab</sup> | 2262.25 ± 4.28 <sup>b</sup>    |
|         | 0.15     | 1222.66 ± 17.06 <sup>c</sup>  | 2597.00 ± 343.00 <sup>a</sup>  | 2312.24 ± 31.00 <sup>a</sup>   |
|         | 0.2      | 919.82 ± 39.14 <sup>e</sup>   | 1992.67 ± 172.08 <sup>bc</sup> | 2197.99 ± 34.28 <sup>c</sup>   |
|         | 0.25     | 1353.74 ± 60.77 <sup>b</sup>  | 1764.00 ± 343.00 <sup>c</sup>  | 2273.68 ± 20.25 <sup>ab</sup>  |
| 天隆优 619 | 0 (CK)   | 1554.88 ± 45.14 <sup>c</sup>  | 1960.00 ± 490.00 <sup>c</sup>  | 2225.12 ± 15.05 <sup>c</sup>   |
|         | 0.05     | 1701.78 ± 48.89 <sup>ab</sup> | 2254.00 ± 224.55 <sup>c</sup>  | 2290.82 ± 30.40 <sup>abc</sup> |
|         | 0.1      | 1586.52 ± 42.34 <sup>c</sup>  | 3038.00 ± 49.00 <sup>bc</sup>  | 2305.10 ± 26.76 <sup>ab</sup>  |
|         | 0.15     | 1760.54 ± 20.71 <sup>a</sup>  | 3479.00 ± 224.55 <sup>b</sup>  | 2355.09 ± 39.81 <sup>a</sup>   |
|         | 0.2      | 1627.20 ± 24.45 <sup>bc</sup> | 5145.00 ± 1127.00 <sup>a</sup> | 2322.24 ± 17.14 <sup>ab</sup>  |
|         | 0.25     | 1685.96 ± 52.66 <sup>ab</sup> | 5733.00 ± 931.00 <sup>a</sup>  | 2245.12 ± 81.41 <sup>bc</sup>  |

### 3.3. 不同质量浓度海带多糖对水稻损伤程度的影响

由表 4 可知, 经过不同海带多糖质量浓度处理津川一号水稻, 只有 0.25 g/L, MDA 含量与对照组无显著差异( $P > 0.05$ ); 在 0.15、0.2、0.25 g/L 时, MDA 的含量普遍低于对照组, 特别是当质量浓度达到 0.15 g/L 时, MDA 的含量降至最低点, 相较于对照组减少了 84.31%。与对照组相比表明, 此时幼苗的细胞膜受到的损伤最小。不同质量浓度海带多糖处理天隆优 619 水稻, 在 0.05、0.1 g/L 时 MDA 含量高于对照组, 但当质量浓度达到 0.15、0.2、0.25 g/L 时, MDA 含量明显低于对照组, 在 0.15 g/L 时, MDA 含量下降到最低, 下降了 72.5%, 表明此时期幼苗细胞膜受到的损伤相对较轻。

**Table 4.** Effects of different mass concentrations of kelp polysaccharides on MDA content of rice seedlings  
**表 4.** 不同质量浓度海带多糖对水稻幼苗 MDA 含量的影响

| 处理/(g/L) | 品种                        |                           |
|----------|---------------------------|---------------------------|
|          | 津川一号                      | 天隆优 619                   |
| 0 (CK)   | 18.49 ± 0.99 <sup>c</sup> | 16.45 ± 2.01 <sup>c</sup> |
| 0.05     | 28.92 ± 2.2 <sup>a</sup>  | 29.89 ± 3.18 <sup>a</sup> |
| 0.1      | 23.87 ± 0.32 <sup>b</sup> | 23.33 ± 3.05 <sup>b</sup> |
| 0.15     | 2.9 ± 0.65 <sup>d</sup>   | 4.52 ± 2.52 <sup>e</sup>  |
| 0.2      | 4.41 ± 1.22 <sup>d</sup>  | 5.91 ± 1.62 <sup>de</sup> |
| 0.25     | 16.34 ± 2.15 <sup>c</sup> | 10.32 ± 2.33 <sup>d</sup> |

### 3.4. 不同质量浓度海带多糖对水稻幼苗光合色素的影响

由表 5 可知,随着质量浓度的升高,津川一号水稻幼苗的叶绿素含量没有呈现规律的变化趋势,在 0.15 g/L 时,叶绿素含量最高,与对照组相比,升高了 39.81%;在 0.25 g/L 时叶绿素的产生被抑制( $P < 0.05$ ),与对照组相比,降低了 19.59%;不同质量浓度海带多糖处理天隆优 619 水稻幼苗,随着处理变化,叶绿素含量呈现先上升后下降,在 0.2 g/L 时,叶绿素含量最高,与对照组相比,升高了 8.33%;

津川一号组类胡萝卜素含量没有呈现出较为规律的变化趋势,在 0.05、0.1、0.15、0.2 g/L 时与对照组有显著差异( $P < 0.05$ ),且在 0.2 g/L 时含量最高,为对照组的 30.84%;天隆优 619 组水稻类胡萝卜素含量也没有呈现出规律的变化趋势,在处理组为 0.05、0.2 g/L 时与对照组有显著差异,在 0.2 g/L 时类胡萝卜素含量最高,为对照组的 26.39%。津川一号和天隆优 619 水稻幼苗的类胡萝卜素含量均在 0.2 g/L 时达到最高,呈现的效果最好。表明海带多糖对于不同水稻的影响效果有很大差异,但一定质量浓度海带多糖可以提高水稻中的叶绿素和类胡萝卜素的含量。综合来看,叶绿素含量的测定在 0.15 g/L 组处理津川一号效果最佳,0.2 g/L 组处理天隆优 619 效果最佳;类胡萝卜素含量测定均在 0.2 g/L 时效果最好。

**Table 5.** Effects of different mass concentrations of kelp polysaccharides on photosynthetic pigment content of rice seedlings  
**表 5.** 不同质量浓度海带多糖对水稻幼苗光合色素含量的影响

| 品种      | 处理/(g/L) | 叶绿素含量/(mg/g)                 | 类胡萝卜素含量/(mg/g)                |
|---------|----------|------------------------------|-------------------------------|
| 津川一号    | 0 (CK)   | 1.2382 ± 0.0053 <sup>d</sup> | 0.2056 ± 0.0062 <sup>b</sup>  |
|         | 0.05     | 1.5709 ± 0.0779 <sup>b</sup> | 0.2592 ± 0.0324 <sup>a</sup>  |
|         | 0.1      | 1.3855 ± 0.0076 <sup>c</sup> | 0.2551 ± 0.0024 <sup>a</sup>  |
|         | 0.15     | 1.7311 ± 0.0061 <sup>a</sup> | 0.2517 ± 0.0016 <sup>a</sup>  |
|         | 0.2      | 1.2982 ± 0.0485 <sup>d</sup> | 0.2690 ± 0.0014 <sup>a</sup>  |
|         | 0.25     | 0.9956 ± 0.0132 <sup>e</sup> | 0.1843 ± 0.0033 <sup>b</sup>  |
| 天隆优 619 | 0 (CK)   | 1.7736 ± 0.0069 <sup>b</sup> | 0.2675 ± 0.0047 <sup>c</sup>  |
|         | 0.05     | 1.5915 ± 0.0133 <sup>d</sup> | 0.2912 ± 0.0143 <sup>b</sup>  |
|         | 0.1      | 1.6476 ± 0.0143 <sup>c</sup> | 0.2661 ± 0.0193 <sup>c</sup>  |
|         | 0.15     | 1.7784 ± 0.0410 <sup>b</sup> | 0.2892 ± 0.0153 <sup>bc</sup> |
|         | 0.2      | 1.9214 ± 0.0108 <sup>a</sup> | 0.3381 ± 0.0071 <sup>a</sup>  |
|         | 0.25     | 1.5459 ± 0.0274 <sup>e</sup> | 0.2808 ± 0.0044 <sup>bc</sup> |

## 4. 讨论

### 4.1. 海带多糖对水稻幼苗生长的影响

海带多糖是褐藻提取物的主要活性物质之一，主要包括海带淀粉、海带胶、藻酸等多糖类物质，能够有效诱导植物抗逆性反应，抑制植株叶片中叶绿素的降解，维持较高的根系活力，进而促进植株生长，提高产量[9]。有研究表明，海藻提取物中含有氨基酸、微生物和激素类物质能够刺激细胞分裂和伸长从而促进植物生长[10]。本研究使用不同质量浓度海带多糖处理两种水稻，对其进行生长实验，在水稻幼苗的生长发育过程中，海带多糖溶液营养物质从根部细胞进入水稻幼苗，并转移到植物体的各个部位不断积累。当积累到一定程度，开始对水稻幼苗外部形态产生影响[11]。研究发现，褐藻胶寡糖可以刺激水稻幼苗生长并提升抗寒性[12]。本研究显示，海带多糖质量浓度在 0.15 g/L 时，两个品种水稻苗长、鲜质量和干质量均达到最大值；在 0.05 g/L 时，两品种水稻根长均达到最大值，海带多糖对水稻的苗长、根长、鲜质量和干质量有不同程度的促进作用，此研究结果与 QIAO 研究[13]结果相符。王小蒙[14]等也发现，适宜浓度的海藻精能提高水稻种子发芽率，促进水稻幼苗生长。此外，苗和根对于海带多糖的反应不一致，可能是由于根对于海带多糖溶液敏感度大于苗[15]。

### 4.2. 海带多糖对水稻活性氧化代谢的影响

当植物体受到外部环境因素的影响时，其细胞膜上的特定受体会被激活，进而刺激过氧化氢的合成。过氧化氢在植物的代谢和信号传递过程中发挥着重要的作用，适当水平的过氧化氢能够触发植物的防御机制，这些机制专门用来对抗氧化应激，从而减轻植物体可能遭受的氧化损伤。超氧化物歧化酶和过氧化物酶的活性常被作为衡量植物抗逆性的两大指标[16]。植物多糖可以通过提高抗氧化酶活性、清除羟基自由基等发挥抗氧化作用[17]。王杰[18]等研究结果显示，海带多糖能够系统地诱导烟草体内 PAL、POD 和 SOD 活性，控制感染烟草花叶病毒(TMV)后烟草叶绿素含量的下降，抑制率达 42.42%。徐常健[19]对低温胁迫下的水稻施用 25 mg/L 和 50 mg/L 海藻寡糖后发现，水稻抗氧化酶 POD、SOD、CAT 活性提高，减轻低温胁迫对水稻造成的伤害。本研究发现，在海带多糖的处理下，津川一号和天隆优 619 水稻的 CAT 活性均表现出先增加后减少的趋势；津川一号水稻的 POD 活性呈现先上升后下降，而天隆优 619 水稻的 POD 活性呈现直线上升的趋势。津川一号水稻的 SOD 活性变化没有明显的规律，天隆优 619 水稻的 SOD 活性呈现先升高后下降的趋势。一定质量浓度的海带多糖帮助水稻幼苗消除活性氧化自由基带来的伤害，从而提高水稻幼苗的抗逆性，这与前人研究结果相符。综上结果表明两种水稻的 CAT、POD 和 SOD 活性存在差异，且一定质量浓度海带多糖对水稻幼苗中的抗氧化酶有促进作用。

### 4.3. 海带多糖对水稻幼苗损伤程度的影响

植物在生长过程中，受到外界不良因素的影响会发生膜质过氧化，使细胞膜受到损伤，MDA 是膜质过氧化作用的最终产物，MDA 的含量可以作为一项重要的指标衡量细胞膜上脂质过氧化水平[20]。崔莹[21]等人研究的海藻糖处理赤霞珠叶片可降低其 MDA 含量。刘玲[22]等人的研究表明喷施外源 AOS 后能显著降低由盐胁迫引起的水稻幼苗叶片膜质过氧化伤害。Liu 等[23]研究表明，AOS 能促进抗氧化酶活性，消除 ROS，降低 MDA 含量，缓解干旱诱导的氧化损伤。本实验中 MDA 的含量表明，在一定质量浓度海带多糖处理下可减少 MDA 在幼苗体内的含量，两种水稻均在 0.15 g/L 时 MDA 含量最少，抗损伤效果极其显著，证明水稻幼苗在 0.15 g/L 时受到的损伤最小。

### 4.4. 海带多糖对水稻幼苗光合色素含量的影响

植物进行光合作用离不开叶绿素 a、叶绿素 b 及类胡萝卜素等光合色素的作用，其含量可反应植物同

化物质能力的强弱[24][25]。徐雅欣[26]等人发现喷洒 650 倍海藻肥时可以明显提高枇杷幼苗的光合色素含量, 进而促进其生长, 450 倍海藻肥仅提高叶绿素 b 和叶绿素总含量。喷洒 450 倍、850 倍和 1050 倍海藻肥后类胡萝卜素含量均降低, 650 倍海藻肥对其类胡萝卜素含量无显著变化。张运红[27]等人发现, 从海带或海藻中提取的一类生物刺激素海藻酸钠寡糖处理, 可以提高小麦叶片叶绿素含量, 调节气孔开合, 提高光合速率, 从而能促进小麦的生长发育及干物质积累, 最终提高其产量。本实验中所测定的光合色素含量变化没有规律的趋势, 但能表明使用一定浓度的海带多糖能够有效提高叶绿素和类胡萝卜素的含量, 其原因是海藻提取物中含有甜菜碱或其他微量元素可以使叶绿素和类胡萝卜素水平增加, 提高水稻叶片的光捕获潜力, 促进光合作用, 达到增产的作用[27][28]。

## 5. 结论

海带多糖可促进水稻幼苗的生长和代谢过程。在一定质量浓度下, 海带多糖可改变水稻幼苗的形态变化, 提高光合色素含量和抗氧化水平, 减少对水稻幼苗的伤害。在本实验中, 不同浓度的海带多糖处理组对水稻幼苗有不同影响, 综合所有指标后显示海带多糖在 0.15 g/L 时对水稻的影响效果最好, 更适宜培养水稻生长。本文仅对海带多糖在水稻水培阶段中对幼苗生长所起到的作用进行探讨, 对于其在水稻其他生长阶段作用需要进一步深入研究。

## 基金项目

天津市科技计划项目(23ZYCGSN00550; 24YDTPJC00930); 天津市教委科研项目(2022ZD004)《稻鳅共生种养环境优化关键技术的研究应用》(23ZYCGSN00030)。

## 参考文献

- [1] 郭安军.  $\text{Ca}^{2+}$ -calpain-Gs  $\alpha$  介导海带多糖调控自噬抑制巨噬细胞泡沫化的作用机制[D]: [硕士学位论文]. 合肥: 合肥工业大学, 2022.
- [2] 王杰, 朱玉坤, 张骞. 海带多糖在农业生产中应用[J]. 世界农药, 2011, 33(6): 43-47.
- [3] 王学江, 孙林, 王乐兵, 等. 海藻提取物对内蒙古甜瓜产量和品质的影响[J]. 分子植物育种, 2022, 20(16): 5532-5537.
- [4] 王鹏远, 赵帅, 李飞雨, 等. 不同制备工艺的海带提取物对黄瓜幼苗促生长作用研究[J]. 水产科技情报, 2023, 50(6): 367-373.
- [5] 高洁. 海带多糖的结构表征及其对血脂异常相关肠道菌群的影响研究[D]: [博士学位论文]. 广州: 华南理工大学, 2019.
- [6] 马艺轩, 杨光, 周吉. 发展绿色水稻种植 推动农业高质量发展[J]. 新农业, 2023(24): 11-12.
- [7] 孙淑琴, 李月娇, 李广胜, 等. 几种植物生长调节剂对水稻种子萌发及对秧苗素质的调控效应[J]. 中国农学通报, 2023, 39(33): 1-7.
- [8] 胡恩祥, 杨青. 育秧基质中 2 种植物生长调节剂对水稻秧苗素质的影响[J]. 大麦与谷类科学, 2022, 39(6): 23-25.
- [9] 肖富容, 李东坡, 薛妍, 等. 海带多糖与生化抑制剂结合的稳定性尿素在黑土和黄土水稻上的施用效果[J]. 水土保持学报, 2022, 36(3): 352-360.
- [10] Chai Wanon, J., Wang, W., Zhu, J.Y., et al. (2016) Information Integration and Communication in Plant Growth Regulation. *Cell*, **164**, 1257-1268. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2016.01.044>
- [11] 高梦迪, 盛茂银, 傅籍锋. 纳米材料对植物生长发育的影响[J]. 生物技术通报, 2019, 35(7): 172-180.
- [12] 何雅清, 钱湘玉, 于宇璇, 等. 应用多组学技术研究褐藻胶寡糖提高水稻幼苗抗寒性能的机理[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2025, 61(1): 1-13.
- [13] Qiao, M. and Ouyang, L.M. (2013) Recombinant Production of Alginate Lyase for Improved Stress Resistance in Plants. *Journal of Pure and Applied Microbiology*, **7**, 1615-1624.
- [14] 王小蒙, 梁富忠, 叶坤国. 海藻精和壳寡糖对水稻种发芽及幼苗生长的影响[J]. 中国农技推广, 2022, 38(3): 84-87.

- [15] 朱宝德, 刘亚婷, 曹桂萍, 等. 纳米二氧化锆对水稻种子萌发及幼苗生长生理的影响[J]. 湘南学院学报, 2023, 44(5): 10-14.
- [16] 王亚新, 冯乃杰, 赵黎明, 等. 植物生长调节剂与氮肥对盐胁迫下水稻幼苗生理特性的影响[J]. 核农学报, 2024, 38(3): 561-573.
- [17] 孙新堂. 植物多糖的生物活性及其在畜牧业中的应用[J]. 畜牧与兽医, 2019, 51(8): 135-137.
- [18] 王杰, 王开运, 张骞, 等. 海带多糖对烟草花叶病毒的抑制作用及其对烟草酶活性的影响[J]. 植物保护学, 2011, 38(6): 532-538.
- [19] 徐常健. 低温胁迫下三种诱导剂对水稻幼苗抗寒的研究[D]: [硕士学位论文]. 大庆: 黑龙江八一农垦大学, 2022.
- [20] 王旭明, 赵夏夏, 陈景阳, 等. 盐胁迫下海水稻抗逆生理响应分析[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2019, 27(5): 747-756.
- [21] 崔莹, 吴洁萍, 张俊霞, 等. 外源海藻糖影响赤霞珠幼苗抗寒性的生理生化作用[J]. 果树学报, 2023, 40(3): 505-515.
- [22] 刘玲, 冯乃杰, 郑殿峰, 等. 叶喷海藻酸钠寡糖对盐胁迫下水稻幼苗抗逆性及生理特性的影响[J]. 生态学杂志, 2022, 41(10): 1887-1894.
- [23] Liu, H., Zhang, Y.H., Yin, H., *et al.* (2013) Alginate Oligosaccharides Enhanced *Triticum aestivum* L. Tolerance to Drought Stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, **62**, 33-40. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2012.10.012>
- [24] Yu, G., Tao, W., Na, W., *et al.* (2012) Genetic Mapping and Localization of Quantitative Trait Loci for Chlorophyll Content in Chinese Cabbage (*Brassica rapa* ssp. *Pekinensis*). *Scientia Horticulturae*, **147**, 42-48. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.09.004>
- [25] 陈芊如, 褚德朋, Ilyas Naila, 等. 海藻提取物的农业应用研究进展[J]. 江苏农业科学, 2021, 49(20): 49-56.
- [26] 徐雅欣, 黄泳, 林立金, 等. 氨基酸肥与海藻肥对枇杷幼苗光合色素和抗氧化酶活性的影响[J]. 贵州农业科学, 2023, 51(8): 54-60.
- [27] 张运红, 和爱玲, 杨占平, 等. 海藻酸钠寡糖灌根处理对小麦光合特性、干物质积累和产量的影响[J]. 江西农业学报, 2018, 30(11): 1-5.
- [28] 王明鹏, 陈蕾, 刘正一, 等. 海藻生物肥研究进展与展望[J]. 生物技术进展, 2015, 5(3): 158-163.