

活性氧在海带抗褐藻酸降解菌感染中不同时期的抗氧化能力

张培玉^{1,2}, 唐学玺¹, 王丽丽¹, 杨震¹

(1. 中国海洋大学 海洋生态实验室, 山东 青岛 266003; 2. 曲阜师范大学 生命科学学院, 山东 曲阜 273165)

摘要:以海带为材料,研究了活性氧(ROS)在褐藻酸降解菌感染中的产生及其作用。结果表明:①褐藻酸降解菌感染引起海带活性氧的大量产生,且海带 No. 1 活性氧的产生速率始终明显大于海带 901 ($P < 0.05$)。②在褐藻酸降解菌感染的早期阶段,海带维持着较高的抗氧化能力和对褐藻酸降解菌感染较高的抗性,而且海带的抗感染能力与活性氧产生速率呈一定的正相关性;2个品系相比,海带 No. 1 的抗性又明显大于海带 901 ($P < 0.01$)。③在褐藻酸降解菌感染的后期,海带的抗氧化能力显著降低,膜脂过氧化和脱酯化伤害作用加剧,同时对褐藻酸降解菌感染的抗性显著降低,海带的抗感染能力与活性氧产生速率呈一定的负相关性,其中海带 No. 1 活性氧的产生速率、膜脂过氧化作用和脱酯化作用都远远高于海带 901;相反,海带 No. 1 对褐藻酸降解菌的抗性明显低于海带 901 ($P < 0.05$)。指示在感染的早期阶段,活性氧的产生在海带抵抗褐藻酸降解菌的感染中起着重要作用;而在后期阶段,活性氧的产生又大大降低了海带对褐藻酸降解菌感染的抗性。海带在感染的早期维持较高水平的抗氧化能力,而在感染的后期抗氧化能力显著下降是活性氧表现出双重作用的重要原因之一。

关键词:活性氧;海带;褐藻酸降解菌;感染

中图分类号:S946.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1005-8737-(2004)05-0467-06

氧的某些代谢产物及其衍生的含氧物质都直接或间接由氧转化而成,由于它们都含有氧,而且具有较氧活泼的化学性质,所以统称为活性氧。活性氧包括含氧自由基和含氧非自由基。在高等植物中有关活性氧抗感染反应的作用机制已经研究得比较深入。根据以往的研究报道,当植物体受到病原菌的感染时,往往产生大量的活性氧以抵抗病原菌的入侵^[1-2]。然而,大量的研究也表明,活性氧往往参加逆境胁迫(盐害、病害、低温、病害和污染等)对植物体的伤害,从而导致植物体抗感染能力的下降,造成病原菌的大量入侵并引起病害的发生^[3-4]。而对低等植物,如大型海藻,这方面的研究尚未见报道。本研究在原有工作的基础上^[5-6],以海带为材料,揭示褐藻酸降解菌感染过程中活性氧在不同感染时期的不同作用及其作用机制,以期为海带病烂发生的生物学基础研究和海带病烂的防治提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 海带品种的选择

实验选择日本真海带(*Laminaria japonica*)的2

个品系:海带 901 和荣城 1 号(简称海带 No. 1),分别取自烟台育苗厂和荣城育苗厂,苗体长为 4.0 ~ 6.0 cm。

1.2 菌株的选择

选用本实验室分离的褐藻酸酶活性较高的褐藻酸降解菌菌株,革兰氏阴性,杆状,细胞大小为(0.6 ~ 0.7) $\mu\text{m} \times (1.5 \sim 2.4) \mu\text{m}$ 。按伯杰氏手册将其定为埃氏交替单胞菌(*A. espejiana*)。

1.3 感染处理

用灭过菌的棉球蘸取无菌海水擦洗海带小苗反复多次,并经无菌海水冲洗后,置于灭菌培养皿中待用。取灭过菌的小刀在海带片上划 2 mm 左右的刀口,然后取褐藻酸降解菌菌悬液(浓度为 2×10^7 cells/mL) 2 μL 接种到海带刺伤处,加入适量的无菌海水并置于无光线直射处静置培养。在感染的过程中每隔一段时间取材,用于以下的分析。实验重复 1 次,每次设 1 个平行,数据取 4 次结果的平均值。

1.4 抗性分析

海带对褐藻酸降解菌抗性的大小以下式计算:

收稿日期:2004-01-09; 修订日期:2004-03-18.

基金项目:国家重点基础研究“973”项目(G1999012004);国家自然科学基金(30270258);山东省优秀中青年科学家科研奖励基金(03BS120).

作者简介:张培玉(1964-),男,博士,副教授,主要从事环境生物学研究.

通讯作者:唐学玺. Tel:0532-2032952. E-mail:Tangxx@ouc.edu.cn

$$K = N/M \times 100\%$$

式中, K 表示抗性的大小, N 表示一段时间内未感染的苗数, M 表示总苗数。

1.5 微粒体膜的提取

微粒体膜的制备按照 Kendall 等^[7]的方法进行。

1.6 生理指标分析

抗氧化能力的测定采用磷酸缓冲液 (pH 7.8, 0.05 mol/mL) 提取, 加适量石英沙冰浴中研磨, 16 000 r/min 下离心 30 min, 取上清液用抗氧化能力测定试剂盒 (南京建成) 测定。丙二醛 (MDA) 含量的测定按照 Dhindsa 等^[8]的方法进行, 磷脂含量测定采用超微量法^[9], 游离脂肪酸含量的测定按照 Sims 等^[10]的方法, 活性氧的产生采用 Ishii^[11]的方法, 以对肾上腺素的氧化能力计量。

2 结果

2.1 褐藻酸降解菌感染下海带活性氧的产生

表 1 和表 2 反映的是菌株感染海带 901 和海带 No. 1 活性氧大量产生和积累的情况。结果显示, 不经感染的对照组海带对肾上腺素的氧化能力始终较

弱, 而经过感染的处理组海带对肾上腺素的氧化能力大大提高, t 检验表明, 在感染的任一阶段与感染的起始 (0 d) 相比差异极显著 ($P < 0.01$)。若在测试体系中加入 35 $\mu\text{g/mL}$ 的超氧化物歧化酶 (SOD), 无论是对照组还是处理组, 均丧失了其对肾上腺素的氧化能力。若加入煮沸灭活的 35 $\mu\text{g/mL}$ SOD, 它们对肾上腺素的氧化能力分别恢复到原来的水平。这充分证实了在褐藻酸降解菌的感染下, 海带 901 和 No. 1 细胞内均产生并积累了大量的活性氧, 而且活性氧的大量产生贯穿于褐藻酸降解菌感染的整个过程中。海带 2 个品系间活性氧的产生同样表现出明显的差异性, 即海带 No. 1 的产生速率始终明显大于海带 901 ($P < 0.05$)。

2.2 海带抗褐藻酸降解菌感染能力的分析

图 1 反映了 2 个海带品系—海带 901 和海带 No. 1 对褐藻酸降解菌感染的抗性差异。结果显示, 在感染的早期 (4 d 以前), 2 个品系对褐藻酸降解菌感染都保持着较高的抗性, 而且海带 No. 1 的抗性又明显大于海带 901 ($P < 0.01$)。从图 1、表 1 和表 2 比较可以看出, 海带 2 个品系对褐藻酸降解菌的

表 1 褐藻酸降解菌感染下海带 901 活性氧的产生

Table 1 Production of reactive oxygen species in *Laminaria japonica* 901 under infection of alginic acid decomposing bacteria *A. espejiana* as OD_{490} $\bar{X} \pm \text{SE}$

处 理 Treatment	天数/d Infected days			
	0	3	6	9
对照组 Control	0.031 $\pm$ 0.003	0.032 $\pm$ 0.002	0.029 $\pm$ 0.004	0.031 $\pm$ 0.003
感染组 Treated group	0.033 $\pm$ 0.003	0.120 $\pm$ 0.004	0.1155 $\pm$ 0.006	0.121 $\pm$ 0.006
对照组 + 35 $\mu\text{g/mL}$ SOD	0.000 $\pm$ 0.000	0.000 $\pm$ 0.000	0.000 $\pm$ 0.000	0.000 $\pm$ 0.000
感染组 + 35 $\mu\text{g/mL}$ SOD	0.000 $\pm$ 0.000	0.000 $\pm$ 0.000	0.000 $\pm$ 0.000	0.000 $\pm$ 0.000
对照组 + 35 $\mu\text{g/mL}$ 灭活 SOD	0.032 $\pm$ 0.004	0.033 $\pm$ 0.003	0.031 $\pm$ 0.003	0.032 $\pm$ 0.003
感染组 + 35 $\mu\text{g/mL}$ 灭活 SOD	0.034 $\pm$ 0.003	0.119 $\pm$ 0.0065	0.124 $\pm$ 0.007	0.127 $\pm$ 0.006

表 2 褐藻酸降解菌感染下海带 No. 1 活性氧的产生

Table 2 Production of reactive oxygen species in *Laminaria japonica* No. 1 under the infection of alginic acid decomposing bacteria *A. espejiana* as OD_{490} $\bar{X} \pm \text{SE}$

处 理 Treatment	天数/d Infected days			
	0	3	6	9
对照组 Control	0.029 $\pm$ 0.003	0.032 $\pm$ 0.002	0.030 $\pm$ 0.004	0.031 $\pm$ 0.003
感染组 Treated group	0.031 $\pm$ 0.003	0.163 $\pm$ 0.005	0.175 $\pm$ 0.007	0.169 $\pm$ 0.006
对照组 + 35 $\mu\text{g/mL}$ SOD	0.000 $\pm$ 0.000	0.000 $\pm$ 0.000	0.000 $\pm$ 0.000	0.000 $\pm$ 0.000
感染组 + 35 $\mu\text{g/mL}$ SOD	0.000 $\pm$ 0.000	0.000 $\pm$ 0.000	0.000 $\pm$ 0.000	0.000 $\pm$ 0.000
对照组 + 35 $\mu\text{g/mL}$ 灭活 SOD	0.032 $\pm$ 0.004	0.031 $\pm$ 0.002	0.033 $\pm$ 0.004	0.031 $\pm$ 0.003
感染组 + 35 $\mu\text{g/mL}$ 灭活 SOD	0.035 $\pm$ 0.003	0.169 $\pm$ 0.005	0.172 $\pm$ 0.007	0.168 $\pm$ 0.006

抗性与活性氧的产生速率呈一定的正相关性。表明感染早期活性氧的大量产生在维持海带抵抗褐藻酸降解菌的感染中起着重要作用。相反,在感染的后期阶段(5 d 以后),海带 2 个品系对褐藻酸降解菌感染的抗性明显下降,而且 2 个品系的抗感染能力与活性氧的产生速率呈一定的负相关性,显示在感染的后期,活性氧的大量产生大大降低了海带对褐藻酸降解菌感染的抗性。

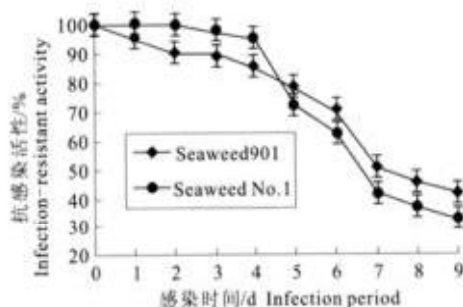


图1 海带抗褐藻酸降解菌感染的能力分析

Fig. 1 Analysis of alginic acid decomposing bacteria infection-resistant activity in *L. japonica*

2.3 褐藻酸降解菌感染过程中海带抗氧化能力分析
在褐藻酸降解菌感染的早期,海带 2 个品系均保持着较高的抗氧化能力。在感染的后期,它们的抗氧化能力明显下降(图 2)。

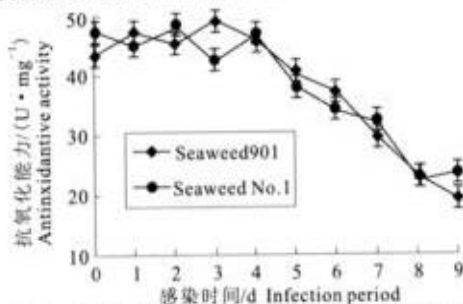


图2 褐藻酸降解菌感染对海带抗氧化能力的影响

Fig. 2 Effects of infection by alginic acid decomposing bacteria on antioxidative activity in *L. japonica*

2.4 褐藻酸降解菌感染对膜脂过氧化的影响

MDA 是膜脂过氧化的产物之一,其含量的高低是指示膜脂过氧化程度的一个重要指标,褐藻酸降解菌感染对海带膜脂过氧化水平的影响分 2 个阶段(图 3)。首先在感染的早期(前 4 d)MDA 含量较低,变化不明显,2 个品系间的差异也不显著($P > 0.05$);其次,随着感染的继续进行(5 d 后),海带

MDA 含量持续上升,而海带 No. 1 膜脂过氧化水平显著高于海带 901 品系($P < 0.05$)。

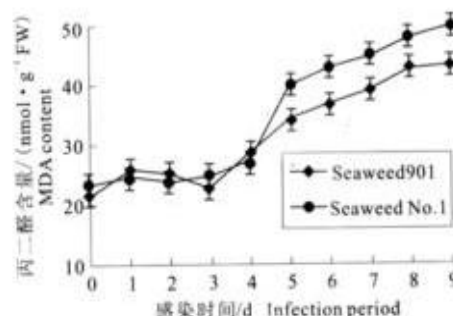


图3 褐藻酸降解菌感染对海带 MDA 含量的影响

Fig. 1 Effects of infection on MDA content in *L. japonica*

2.5 褐藻酸降解菌感染引起微粒体膜脂脱酯化

2 个品系的海带感染的早期阶段(前 4 d),无论是微粒体磷脂的含量还是游离脂肪酸的含量均表现出一定的相对稳定性,二者的变化不明显,差异也不显著($P > 0.05$)。在感染的后期(5 d 后),磷脂的含量迅速下降,游离脂肪酸的含量明显上升。显然,后期阶段褐藻酸降解菌的感染使微粒体膜脂发生了脱酯化,且随着感染时间的延长,脱酯化作用越来越加剧。另外,从表 3 和表 4 中还可以发现,海带 No. 1 的脱酯化程度明显高于海带 901($P < 0.05$)。

3 讨论

3.1 褐藻酸降解菌感染早期活性氧在海带抗感染中的作用及其可能的途径

在褐藻酸降解菌感染的早期阶段,海带 901 和海带 No. 1 细胞内活性氧的产生速率表现出明显的差异性,即海带 No. 1 的产生速率明显大于海带 901($P < 0.05$);同时,实验结果还表明,海带 2 个品系在感染的早期对褐藻酸降解菌感染都保持着较高的抗性,而且海带 No. 1 的抗性又明显大于海带 901($P < 0.01$)。因此,比较海带 2 个品系间活性氧水平和对褐藻酸降解菌抗性能力的差异性,不难发现,在褐藻酸降解菌感染的早期,海带活性氧产生的水平与其抗感染能力呈正相关,即活性氧水平高的海带 No. 1 其抗感染的能力较强,活性氧水平低的 901 品系其抗感染的能力较弱。这充分证明在褐藻酸降解菌感染的早期阶段活性氧在抗感染反应中起着关键性的作用。

表3 褐藻酸降解菌感染对海带微粒体磷脂含量的影响

Table 3 Effects of infection by alginic acid decomposing bacteria on phospholipid content in microsomal membrane of *Laminaria japonica*

海带 Seaweed strain	感染时间/d Infected days								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
901	55.1±2.3	57.2±2.2	54.2±2.7	56.1±2.5	47.4±2.4	40.4±2.1	37.2±1.8	30.5±1.6	26.8±1.8
No. 1	53.1±2.6	50.2±2.0	54.8±2.2	55.1±2.7	42.1±2.9	34.4±2.7	30.2±2.1	25.5±1.8	21.9±1.4

表4 褐藻酸降解菌感染对海带微粒体游离脂肪酸含量的影响

Table 4 Effects of infection by alginic acid decomposing bacteria on free fatty acid content in microsomal membrane of *Laminaria japonica*

海带 Seaweed strain	感染时间/d Infected days								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
901	49.1±2.1	51.2±2.4	52.4±2.2	50.1±2.4	67.4±2.9	74.3±3.1	87.2±3.8	100.5±4.6	126.8±4.8
No. 1	52.2±2.3	50.3±2.1	54.2±2.6	51.1±2.3	72.2±2.4	84.4±3.7	99.4±3.1	125.5±3.8	130.8±4.9

在高等植物中有关活性氧免疫抗感染反应的作用机制已经研究得比较深入。根据以往的研究报道,活性氧在植物免疫抗感染反应中的主要作用机制可归纳为以下几个方面:①直接作为抗菌剂^[1-2];②促进寄主细胞壁结构的增强^[12];③作为被感染细胞过敏性坏死的局部触发信号^[13-14];④作为可扩散的信号诱导邻近细胞防卫机制的启动^[15-16];⑤可能参与了系统获得性抗性的建立^[17]。对于大型海藻,有关这方面的研究至今未见报道。本文的实验结果只能说明海带在褐藻酸降解菌感染下活性氧的产生在海带抗感染的早期起着重要作用。但海带活性氧抗感染作用的机制是类似于高等植物的作用途径,还是按照自己所特有的作用过程有待于进一步的研究。

3.2 褐藻酸降解菌感染后期海带对褐藻酸降解菌感染抗性下降的原因

高等植物的研究证明,正常生理条件下,植物体内保持着较高的抗氧化能力,这时活性氧的产生和清除处于动态平衡中。但是逆境胁迫(盐害、病害、低温、污染等)往往造成植物体内抗氧化能力的下降,造成植物体内活性氧的大量产生与积累,而大量积累的活性氧能够引起植物体膜的过氧化和脱酯化伤害,从而降低植物体对逆境的抗性^[18-19]。本研究以低等植物——海带为材料,以褐藻酸降解菌为病原菌的工作进一步证实了这一观点。在褐藻酸降解菌感染的后期阶段(5 d以后),海带2个品系的抗氧化能力明显降低,但这时它们仍保持着较高的活

性氧产生速率,从而造成了海带膜脂过氧化和脱酯化伤害作用的加剧,引起它们对褐藻酸降解菌感染的抗性降低。实验结果还发现,海带 No. 1 活性氧的产生速率、膜脂过氧化作用和脱酯化作用都远远高于海带 901;相反,海带 No. 1 对褐藻酸降解菌的抗性明显低于海带 901。显示2个品系的抗感染能力与活性氧的产生速率、膜脂过氧化作用和脱酯化作用的程度均呈现出一定的负相关性。因此,可以认为,在褐藻酸降解菌感染的后期阶段,海带抗氧化能力的明显降低,造成体内活性氧的大量产生与积累,进而引起海带膜脂过氧化和脱酯化伤害作用的加剧是海带对褐藻酸降解菌感染抗性下降的主要原因之一。

参考文献:

- [1] Averyanov A A, Lapikova V P, Djawakhia V G. Active oxygen mediates heat-induced resistance of rice plant to blast disease[J]. *Plant Sci*, 1993, 92:27-34.
- [2] Wu G, Shortt B J, Lawrence E B. Disease resistance conferred by expression of a gene encoding H₂O₂ generating glucose oxidase in transgenic potato[J]. *Plant Cell*, 1995, 7:1 357-1 368.
- [3] Elstner E F, Kramer R. Role of the superoxide free radical ion in photosynthetic ascorbate oxidation and ascorbate-mediated photophosphorylation[J]. *Biochem Biophys Acta*, 1973, 314:340-353.
- [4] 王雅平,刘伊强,施 磊,等. 小麦对赤霉病抗性不同品种的SOD活性[J]. *植物生理学报*, 1993, 19(4):353-358.
- [5] 唐学玺,王艳玲,李岩然,等. 海带对褐藻酸降解菌的抗性与其抗氧化能力的相关性分析[J]. *中国水产科学*, 2002, 9(1):14

- 17.
- [6] 刘成圣,杨震,唐学玺.褐藻酸降解菌感染下海带活性氧产生的研究[J].海洋水产研究,2002,23(1):33-36.
- [7] Kendall E J, McKersie B D. Free radical and freezing injury to cell membrane of winter wheat[J]. *Physiol Plant*, 1989,78(1):86-94.
- [8] Dhindsa R S, Matowe W. Drought tolerance in two mosses; correlated with enzymatic defence against lipid peroxidation[J]. *J Expt Botany*, 1981,32:19-91.
- [9] 李琳,焦新之.应用孔雀石绿染料比色测定毫克分子量水平无机磷和磷脂的超微量方法[J].植物生理学通讯,1982,(2):52-54.
- [10] Sims R P A, Larose J A G. The use of iodine vapor as a general detection agent in the thin layer chromatography of lipids[J]. *J Amer Oil Chemists Society*, 1962, 39:232.
- [11] Ishii S. Generation of active oxygen species during enzymatic isolation of protoplast from oat leaves[J]. *In vitro*, 1987, 23(4):653-657.
- [12] Brisson L F, Tenhaken R, Lamb C. Function of oxidative cross-linking of a plant cell wall proline-rich protein; A novel rapid defense response[J]. *Cell*, 1992, 70:21-30.
- [13] Baker C J, Orlandi E W. Active oxygen in plant pathogenesis[J]. *Ann Rev Phytopathol*, 1995,33:299-321.
- [14] Dam A, Farkas T, Somlyai G. Consequence of O₂-generation during a bacterially induced hypersensitive reaction in tobacco: deterioration of member lipids[J]. *Physiol Mol Plant Pathol* 1989,34:13-26.
- [15] Levine A, Tenhaken D. H₂O₂ from the oxidative burst orchestrates the plant hypersensitive disease resistance response[J]. *Cell*, 1994,79:583-593.
- [16] Devlin W S, Gustine D L. Involvement of the oxidative burst in phytoalexin accumulation and the hypersensitive reaction[J]. *Plant Physiol*, 1992, 100:1189-1195.
- [17] Neuenschwander U, Vermooij B, Friedrich L. Is hydrogen peroxide a second messenger of salicylic acid in systemic acquired resistance[J]. *Plant*, 1995, 8:217-225.
- [18] Elster E F. Oxygen activation and oxygen toxicity[J]. *Ann Rev Plant Physiol*, 1982,33:73-96.
- [19] Nakano Y, Asada K. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts[J]. *Plant Cell Physiol*, 1981,22:867-888.

Antioxidative ability in *Laminaria japonica* against infection of alginic acid decomposing bacteria in different periods

ZHANG Pei-yu^{1,2}, TANG Xue-xi¹, WANG Li-li¹, YANG Zhen¹

(1. Marine Ecology Laboratory, Ocean University of China, Qingdao 266003, China; 2. Life Science College, Qufu Normal University, Qufu 273165, China)

Abstract: Some of the metabolism production of oxygen and oxygen derivative are converted directly or indirectly by oxygen. Because they all contain oxygen atom and are more lively than oxygen, these compounds are generally called reactive oxygen species. Reactive oxygen species includes free radicals which have oxygen atoms or not. The mechanism of the reaction of reactive oxygen species against infection on higher plant has been studied deeply. According to the research, when the plant was infected by pathogen, it could produce amounts of reactive oxygen to resist the invasion of the pathogen. On the other hand, there were other researches indicating that reactive oxygen could do great harm on plant with the presence of the adverse circumstance stress (high salinity, disease, low temperature and pollution, et al). As a result, the ability of the anti-infection of the plant decreased and disease appeared because of the invasion of germ. However, these researches on low-grade plant, such as large algae, has not been reported so far. Our research used the more reactive alginic acid decomposing bacteria, provided by Ecological Laboratory of the Ocean University of China. The original sources of the two *Laminaria japonica* strains—Seaweed 901 and Rongcheng No. 1 (for short: Seaweed No. 1) were from seaweed culture factory of Yantai and seaweed culture factory of Rongcheng respectively. Both of them were used in the infective experiments. Every two or three days during the process of infection, biochemistry and physiology indexes were used to analyze the samples and compare the difference of the two *Laminaria japonica* strains. The experiment was repeated with one test. Dates were the average of the four results. The production and its reaction of reactive oxygen species (ROS) in *Laminaria japonica* against infection of alginic acid decomposing bacteria

were investigated. The results showed as follows: (1) The infection of alginic acid decomposing bacteria resulted in massive production of reactive oxygen species. And the creation velocity of reactive oxygen in Seaweed No. 1 was obviously larger than that in Seaweed 901 all the time ($P < 0.05$). (2) At early stage of infection by alginic acid decomposing bacteria, the *Laminaria japonica* showed higher antioxidative activity and higher resistance against infection, and its resistance against infection had positive relationship with productive rate of reactive oxygen species. The comparison between the two strains showed the resistance of Seaweed No. 1 was obviously higher than Seaweed 901 ($P < 0.01$). (3) At the later stage of infection by alginic acid decomposing bacteria, the antioxidative activity decreased obviously, and the damage of membrane lipid peroxidation and esterification intensified in *Laminaria japonica*. Meanwhile, the resistance of *Laminaria japonica* against infection by alginic acid decomposing bacteria notably declined, and its resistance against infection had negative relationship with productive rate of reactive oxygen species. In Seaweed No. 1, the creation velocity of reactive oxygen, peroxidation of membrane grease and de-esterification were much more active than these in Seaweed 901. On the contrary, the Seaweed No. 1 had lower anti-infection against alginic acid decomposing bacteria than that of Seaweed 901.

Key words: reactive oxygen species; seaweed; alginic acid decomposing bacteria; infection

Corresponding author: TANG Xue-xi. E-mail: tangxx@ouc.edu.cn

加入华艺中文电子期刊服务(CEPS)的声明

《中国水产科学》自2004年8月起,加入华艺中文电子期刊服务(Chinese Electronic Periodicals Service, 简称CEPS)——思博网。CEPS是目前中国台湾地区最大的期刊全文数据库,收录中国台湾地区300余种核心期刊的全文,其访问地址为: www.ceps.com.tw。读者可以通过这一网址检索到《中国水产科学》于2004年起各期的全文,在一段时间后还可以检索2004年以前各期的全部内容。

此外,由于《中国水产科学》被CEPS收录,凡向本刊投稿者,均视为其文稿刊登后可供国内外文摘刊物或数据库收录、转载并上网发行,其作者文章著作权使用费与稿酬一次付清,本刊不再另付其他报酬。

CEPS目前除提供免费上网检索目次和摘要,并且每日动态更新期刊全文。未来更将免费提供给本刊投稿者《期刊引文频次分析检索与作者文章引用统计分析》的数据资料。

本刊编辑部