

青堆子湾池塘养殖区及邻近海域无机营养盐时空变化与富营养化风险

杨晓龙^{1,2}, 齐爱民^{1,2}, 王丽丽^{2*}, 宗虎民², 李强¹

(1. 大连海洋大学水产与生命学院, 辽宁大连 116023; 2. 国家海洋环境监测中心, 辽宁大连 116023)

摘要 [目的]研究青堆子湾池塘养殖区及邻近海域无机营养盐时空变化,评价其富营养化风险状况。[方法]根据2011年10月至2012年12月4个季节对青堆子湾池塘养殖区和邻近海域表层海水的无机营养盐调查,采用一种分类等级的海水富营养化评估模式,对该海域的营养化等级进行了评估。[结果]青堆子湾池塘养殖区和邻近海域营养盐含量呈显著的季节性变化,平面呈由养殖区向外海浓度逐渐降低的分布格局,受陆源污水排放和养殖活动影响;青堆子湾海域水质为中度营养等级,春夏季受氮限制,冬季受磷限制,可能面临赤潮暴发的危险,应加强陆源污水排放管理。[结论]青堆子湾池塘养殖区及邻近海域表层水体整体呈中度富营养化等级。

关键词 富营养化;青堆子湾;池塘养殖区;邻近海域;无机营养盐

中图分类号 S949 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2016)25-083-04

Temporal and Spatial Variation of the Inorganic Nutrients and the Risk Assessment of Eutrophication in Pond Aquaculture Area and Its Adjacent Sea Area of Qingduizi Bay

YANG Xiao-long^{1,2}, QI Ai-min^{1,2}, WANG Li-li^{2*} et al (1. College of Aquaculture and Life Science, Dalian Ocean University, Dalian, Liaoning 116023; 2. National Marine Environmental Monitoring Center, Dalian, Liaoning 116023)

Abstract [Objective] The aim was to study temporal and spatial variation of the inorganic nutrients in pond aquaculture area and its adjacent sea area of Qingduizi Bay, and evaluate its risk of eutrophication. [Method] Based on the investigation carried out in pond aquaculture area and its adjacent sea area of Qingduizi Bay from October 2011 to December 2012, a new classified model of eutrophication assessment was applied to evaluate eutrophication levels in the study area. [Result] The average concentration of nutrient showed a significant seasonal variation. The spatial variations showed decreasing tendencies from the aquaculture area towards the outer sea. The temporal and spatial variations were affected by terrigenous sewage and aquaculture activities. The superficial seawater in Qingduizi Bay is at medium eutrophication level with nitrogen limitation during spring and summer and phosphorus limitation in winter. According to the assessment result, Qingduizi Bay is exposed to the danger of red tide. It is necessary to reinforce the management of pollutants discharged from "land sources". [Conclusion] The superficial seawater in pond aquaculture area and its adjacent sea area of Qingduizi Bay is at medium eutrophication level.

Key words Eutrophication; Qingduizi Bay; Pond culture area; Adjacent sea area; Inorganic nutrients

营养盐作为海洋中初级生产者生长繁殖的关键环境因子,对于维持海洋生态系统的能量和物质循环起到至关重要的作用^[1]。但是营养盐过剩会造成水体污染,有害藻类繁殖过快,导致赤潮暴发等生态灾害频繁发生。黄海属于陆架海域,具有较高的生产力^[2]。青堆子湾位于黄湖北部,有湖里河、地窖河及英那河等多条河流汇入,同时从陆域携带大量的无机营养盐及有机污染物入湾^[3]。近年来,青堆子湾沿岸的水产养殖业,尤其是海参池塘养殖迅猛发展,养殖过程中投放的饲料、药品及水产生物遗留的残饵、粪便等随养殖海水排入湾内,也会导致湾内海水水质受到污染^[4],水体富营养化程度较严重。目前关于青堆子湾水体营养化程度和来源的研究报道较少。吴金浩等^[5]于2008~2009年对青堆子湾近海海域的水体富营养化程度进行了分析,发现不同季节导致水体富营养化的控制因子不同,但对于关键富营养化因子——无机氮磷的来源及养殖池塘对海域富营养化的可能贡献鲜见报道。笔者根据2011~2012年对青堆子湾海域及沿海养殖池塘的现场调查资料,分析了该海域和养殖池塘的营养盐时空分布及变化规律,并分析了该海域的营养盐结构特征,最后对青堆子湾海水的富营养化程度进行了评估,旨在为评估青堆子湾的环境质量、控制赤潮暴发、保护和进一步开发海洋资源等提供数据支撑。

1 材料与方法

1.1 样品采集 在青堆子湾养殖池塘和邻近海域布设9个断面,共31个站位。其中,在池塘养殖区内设置5个断面,共15个监测站位($C_1 \sim C_{15}$),在邻近海域设置4个断面,共16个监测站位($H_1 \sim H_{16}$) (图1)。调查取样时间分别为春季(2012年5月)、夏季(2012年8月)、秋季(2011年10月)和冬季(2012年12月)。

采用多参数水质监测仪 YSI 对表层海水(0.5 m)的温度、盐度和 pH 等环境参数进行现场监测并记录。用 2 500 mL 有机玻璃采水器采集表层 0.5 m 海水,水样经 0.45 μm 醋酸纤维滤膜现场减压过滤后低温保存至聚乙烯采样瓶中,运至实验室以待营养盐分析。

1.2 测定项目与方法 根据《海洋调查规范》(GB 17378—2007)对海水样品营养盐含量进行分析测定。采用奈乙二胺分光光度法测定亚硝酸氮($\text{NO}_2 - \text{N}$)含量;采用锌镉还原法测定硝酸氮($\text{NO}_3 - \text{N}$)含量;采用次溴酸钠氧化法测定铵氮($\text{NH}_4 - \text{N}$)含量;采用磷钼蓝分光光度法测定无机磷($\text{PO}_4 - \text{P}$)含量;总溶解无机氮为前三者总和。

1.3 数据统计 运用 ArcGIS 10.2 绘制站位图,采用克里金插值法绘制营养盐分布图。运用 SPSS 19.0 软件和 Microsoft Office Excel 2010 对试验数据进行统计分析和图形绘制。

2 结果与分析

2.1 无机氮(TIN)含量分布特征 从图2可以看出,海域表层海水不同季度的 DIN 浓度范围分别为:春季 100.1 ~ 841.7 $\mu\text{g/L}$ (平均值 406.0 $\mu\text{g/L}$),夏季 25.1 ~ 381.3 $\mu\text{g/L}$

基金项目 海洋公益行业性科研专项(201105006)。

作者简介 杨晓龙(1988-),男,河北张家口人,博士研究生,研究方向:海洋生态学。*通讯作者,硕士,从事海洋生态学。

收稿日期 2016-07-17

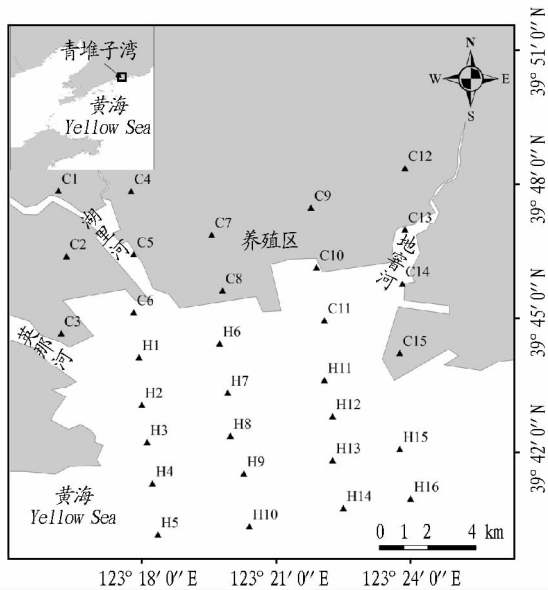


图1 青堆子湾采样站分布

Fig. 1 Distribution of sampling sites in Qingduizi Bay

(平均值 239.1 $\mu\text{g/L}$), 秋季 26.5 ~ 141.2 $\mu\text{g/L}$ (平均值 83.1 $\mu\text{g/L}$), 冬季 253.9 ~ 1 242.2 $\mu\text{g/L}$ (平均值 541.7 $\mu\text{g/L}$)。可见, 无机氮浓度在青堆子湾表现出明显的季节性变化, 从大到小依次为冬季、春季、夏季、秋季。

冬季 TIN 平均含量高于第四类海水水质标准, 污染程度较大, 高值主要出现在池塘养殖区, TIN 含量从养殖区向外

海逐渐降低, 表明 TIN 主要来源于养殖区水产养殖过程中排放的废水等, 这是由于未经处理的废水中含有高浓度的残饵、粪便、农药等, 导致邻近海域无机氮含量升高。冬季调查水域降温, 造成底层海水和表层海水交换, 形成上升流, 上升流促进底层营养盐向表层转移, 导致海域表层海水在冬季的 TIN 含量最高。春季海区的 TIN 含量符合第四类海水水质标准, 高值主要出现在养殖区和河口区, 这是由于春冬交替之际是养殖活动最为频繁的时期, 而入海河流的水流量也逐渐增大, 河水入海过程携带大量污染物对青堆子湾的无机氮含量升高也起到了较大的推动作用。夏季和秋季由于受到暖水团和季风影响, 表层海水 TIN 含量分布较为均匀且含量较低, 夏季海区的 TIN 含量接近第二类海水水质标准, 秋季 TIN 含量最低, 达到第一类海水水质标准。原因可能是由于夏秋季节海域的浮游植物繁殖旺盛, 大量消耗营养盐, 导致水体 TIN 含量普遍较低, 这与长江口邻近海域的 TIN 分布模式相似^[6]。青堆子湾 3 条入海径流 (湖里河、地窖河以及英那河) 在夏秋季节表现出不同的 TIN 含量变化。夏秋季节是入海径流的主汛期, 夏季表现为地窖河的 TIN 含量最高, 且接近地窖河口的养殖区及邻近海域 TIN 含量普遍较高, 因此夏季青堆子湾海域的 TIN 主要来源于地窖河径流的携带; 秋季表现为湖里河和英那河的 TIN 含量较高, 2 条径流河口区的 TIN 含量显著高于其他区域, 这表明湖里河和英那河是调查海域 TIN 含量的主要来源。

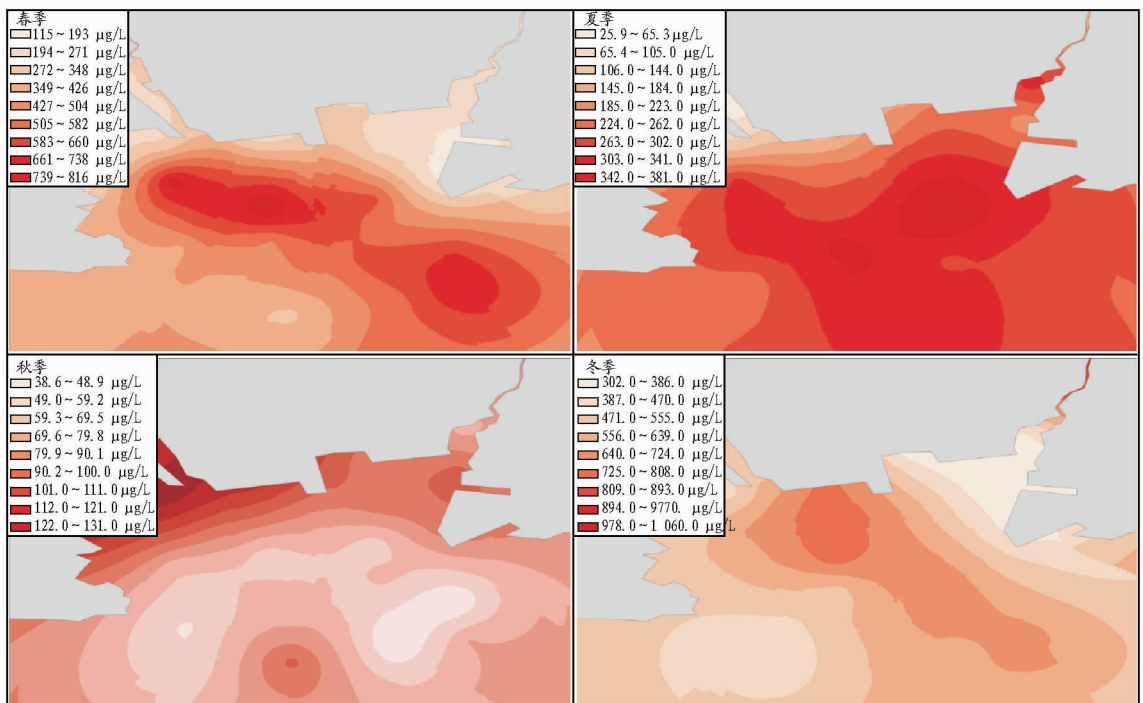


图2 青堆子湾养殖区和邻近海域 TIN 的时空分布

Fig. 2 Spatial and temporal distributions of TIN in aquaculture area and adjacent sea area in Qingduizi Bay

2.2 无机磷 (TIP) 含量分布特征 从图 3 可以看出, 与 TIN 含量时空变化相比, TIP 表现出相异的季节性变化, 主要表现为: 春季 7.67 ~ 73.30 $\mu\text{g/L}$ (平均值 32.11 $\mu\text{g/L}$), 夏季 13.43 ~ 89.14 $\mu\text{g/L}$ (平均值 46.62 $\mu\text{g/L}$), 秋季 2.24 ~

8.67 $\mu\text{g/L}$ (平均值 4.52 $\mu\text{g/L}$), 冬季 8.95 ~ 167.71 $\mu\text{g/L}$ (平均值 29.62 $\mu\text{g/L}$)。各季节的 TIP 含量从大到小依次为夏季、春季、冬季、秋季。

夏季养殖区和邻近海域的 TIP 平均含量最高, 超过第三

类海水水质标准的规定浓度,污染较严重。高值主要出现在湖里河口区,TIP 含量从河口向外海逐渐降低,表明 TIP 主要来源于湖里河等地表径流,同时受到东西流向的环流影响,TIP 浓度在调查海域出现了东低西高的分布局面。春季海区的 TIP 含量符合第三类海水水质标准,高值出现在英那河口区,由于春冬交替之际地表径流的水流量逐渐增大,河水入海过程携带大量污染物是青堆子湾 TIP 含量升高的关键因

素。秋季表层海水 TIP 含量分布较为均匀且含量最低,符合第一类海水水质标准。TIP 分布走向呈钝水舌形态由东向西逐渐升高,该分布模式仍受东西流向的环流影响。冬季养殖区和邻近海域的 TIP 含量接近第二类海水水质标准,与秋季的 TIP 浓度分布完全相反,表现出东高西低的分布模式。由于秋冬季节地表径流水流量减少,对调查海域 TIP 浓度的贡献不大,TIP 主要来源是养殖区废水和残饵等排放。

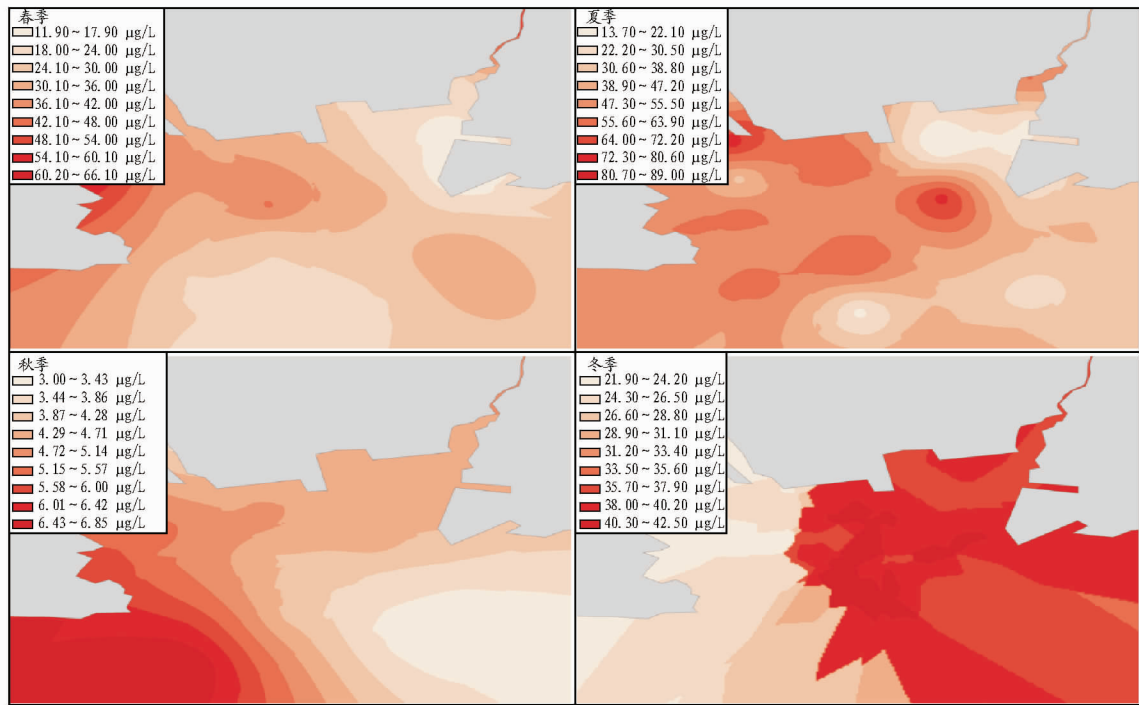


图3 青堆子湾养殖区和邻近海域 TIP 的时空分布

Fig.3 Spatial and temporal distributions of TIP in aquaculture area and adjacent sea area in Qingduizi Bay

2.3 营养盐结构 Redfield 研究发现,大洋深层的 N/P 值约为 16,与浮游植物体内元素成分的 N/P 值相似,因此该值 (Redfield 比值)是评价海域营养结构的重要指标,作为海域估算缺乏氮或磷元素的依据。从图 4 可以看出,调查海域春夏季节的 N/P 值低于 Redfield 比值,而秋冬季节的 N/P 值略高于 Redfield 比值。青堆子湾海域的 N/P 值在夏季达到最低(5.13),表明水体中 TIN 相对缺乏,而 TIP 含量相对过盛,该时期影响浮游植物生长的主要限制条件为 TIN 供给不足。秋冬季节的 N/P 值差异不大(18.39 和 18.29),且接近 Redfield 比值,该时期无机磷含量稍微过盛,根据胡明辉等^[7]的研究结果,海水 N/P 值小于 8 时,浮游植物的生长为 TIN 限制,N/P 值大于 30 时,浮游植物的生长为 TIP 限制。由此可见,春季和秋冬季节的海水无机营养盐不会对浮游植物的生长造成较大影响。

2.4 营养等级 目前,国内外有多种对海水富营养化等级的评价方法,如单项指标法、综合指数评价和模糊数学综合评价^[8-10],这些方法各有评价优势,但尚难以从根本上揭示营养盐限制对富营养化的影响。笔者采用郭卫东等^[11]提出的富营养化评价方法,对青堆子湾养殖区和试验区的水质富营养化等级进行评价(表 1)。

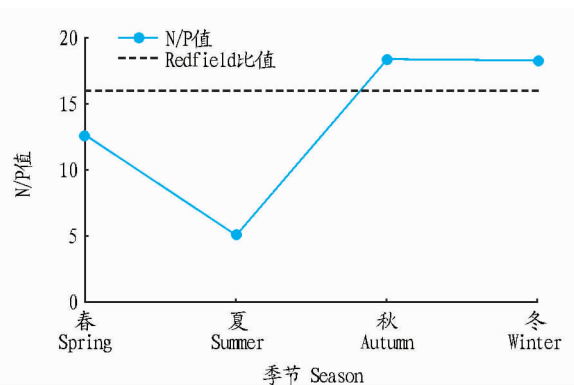


图4 青堆子湾养殖区及邻近海域 N/P 值的季节变化

Fig.4 Seasonal variation of N/P in aquaculture area and adjacent sea area in Qingduizi Bay

评价结果表明,春季和夏季养殖区的 N/P 值大多为 4~8,活性磷酸盐浓度为 0.030~0.045 mg/L,水质为氮限制中度营养(IV_N级);而青堆子湾海域春季的水质条件符合 II 级营养型,即中度营养化程度,夏季该海域为氮中等限制潜在性富营养等级(V_N级)。秋季养殖区和邻近海域的表层海水属于贫营养级(I级),营养盐浓度含量较低。冬季养殖区及邻近海域的表层海水水质属于磷中等限制潜在性富营养

(V_p 级)。

上述结果表明,青堆子湾调查海域的表层海水水质大部分属于中度营养等级,其中,春、夏季节属于氮限制性营养等

级,冬季转变为磷限制性营养等级,应及时限制陆源工业、生活污水和养殖污水排放,防止造成水域富营养化而发生赤潮。

表1 营养级划分标准

Table 1 Classification standard of nutritive levels

级别 Level	营养级 Nutritive level	TIN mg/L	$PO_4 - P$ mg/L	N/P
I	贫营养	<0.2	<0.030	8 ~ 30
II	中度营养	0.2 ~ 0.3	0.030 ~ 0.045	8 ~ 30
III	富营养	>0.3	>0.045	8 ~ 30
IV_p	磷限制中度营养	0.2 ~ 0.3	—	>30
V_p	磷中等限制潜在性富营养	>0.3	—	30 ~ 60
VI_p	磷限制潜在性富营养	>0.3	—	>60
IV_N	氮限制中度营养	—	0.030 ~ 0.045	<8
V_N	氮中等限制潜在性富营养	—	>0.045	4 ~ 8
VI_N	氮限制潜在性富营养	—	>0.045	<4

3 结论

(1) 青堆子湾池塘养殖区和邻近海域表层水体整体处于中度富营养化等级,氮磷营养盐含量季节性变化明显,表现为无机氮浓度冬季最高,秋季最低,而无机磷浓度夏季最高,秋季最低。营养盐含量的季节变化受陆源污水排放和浮游植物的影响和制约。

(2) 营养盐呈现从养殖区向外海逐渐降低的平面分布特征,陆源污染和水产养殖活动对青堆子湾海域的营养盐含量贡献较大。

(3) 夏季海域的 N/P 值远低于 Redfield 比值,说明青堆子湾海域无机氮相对缺乏,而无机磷过盛,浮游生物生长繁殖受到无机氮的制约。

(4) 除秋季外,青堆子湾表层海水水质属于中度营养级,春夏季节是氮限制性营养等级,冬季是磷限制性营养等级,亟需加强近岸排污管理,防止赤潮暴发。

参考文献

- [1] 廖秀丽, 陈丕茂, 马胜伟, 等. 大亚湾杨梅坑海域投礁前后浮游植物群落结构及其与环境因子的关系[J]. 南方水产科学, 2013, 9(5): 109 - 119.
- [2] 孙霞, 王保栋, 王修林, 等. 东海赤潮高发区营养盐时空分布特征及其控制要素[J]. 海洋科学, 2004, 28(8): 28 - 32.
- [3] 李文君, 宗虎民, 王立军, 等. 庄河青堆子湾海水和沉积物重金属分布特征[J]. 环境化学, 2015, 34(5): 1008 - 1010.
- [4] 尹佳, 王丽丽, 姚翔, 等. 青堆子湾养殖池塘与邻近海域悬浮颗粒物的平面分布与季节变化[J]. 现代农业科技, 2013(13): 239 - 241.
- [5] 吴金浩, 刘桂英, 王年斌, 等. 2008 - 2009 年青堆子湾水质状况与富营养化水平[J]. 水产科学, 2011, 30(11): 708 - 710.
- [6] 张传松, 王修林, 石晓勇, 等. 东海赤潮高发区营养盐时空分布特征及其与赤潮的关系[J]. 环境科学, 2007, 28(11): 2416 - 2424.
- [7] 胡明辉, 杨逸萍, 徐春林. 长江口浮游植物生长的磷酸盐限制[J]. 海洋学报, 1989, 11(4): 439 - 443.
- [8] 彭云辉, 王肇鼎. 珠江河口富营养化水平评价[J]. 海洋环境科学, 1991, 10(3): 7 - 13.
- [9] 熊德琪. 一种新的海水富营养化模糊评价方法[J]. 海洋通报, 1993, 12(6): 30 - 35.
- [10] 苏畅, 沈志良, 姚云, 等. 长江口及其邻近海域富营养化水平评价[J]. 水科学进展, 2008, 19(1): 99 - 105.
- [11] 郭卫东, 章小明, 杨逸萍, 等. 中国近岸海域潜在性富营养化程度的评价[J]. 台湾海峡, 1998, 17(1): 64 - 70.

(上接第 34 页)

- [3] 周双云, 蒋晶, 高龙燕, 等. 不同浓度 $CaCl_2$ 对盐胁迫下巴西蕉幼苗生理的影响[J]. 应用与环境生物学报, 2014, 20(3): 449 - 454.
- [4] 张志良, 翟伟菁. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 2003: 127 - 128, 159 - 160, 258 - 259.

- [5] 胡远富, 王泽奇, 施君信, 等. 氯化钙对大豆生长发育及抗逆性的促进效应研究[J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 2007, 19(3): 39 - 42.
- [6] 王增进, 张玉先. 大豆盐胁迫研究进展[J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 2005, 17(6): 26 - 29.