

刘树文,杨川黔. 氯化钾和氯化铵对葛仙米的生理影响[J]. 江苏农业科学,2018,46(13):155-158.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.13.037

氯化钾和氯化铵对葛仙米的生理影响

刘树文, 杨川黔

(贵州师范学院化学与生命科学学院, 贵州贵阳 550018)

摘要:比较研究了氯化钾(KCl)和氯化铵(NH₄Cl)2种含氯化肥对葛仙米的生理影响。分别用BG₁₁₀培养基、含1 mmol/L KCl的BG₁₁₀培养基、含1 mmol/L NH₄Cl的BG₁₁₀培养基培养葛仙米,并测定葛仙米的各项生理指标。结果表明,含1 mmol/L NH₄Cl培养中生长的葛仙米的比生长速率、各种光合色素含量以及可溶性糖和可溶性蛋白质含量大幅度降低,但丙二醛含量大幅度升高($P < 0.05$)。而1 mmol/L KCl培养条件下葛仙米生长的各项生理指标略有降低,丙二醛含量略有增加,但无显著差异($P > 0.05$)。因此,1 mmol/L NH₄⁺对葛仙米的生理和生化有较强的抑制效应。为了保护野生葛仙米资源,在稻田中应该减少氮肥的施用量。

关键词:葛仙米;化肥;生理影响;氯化钾;氯化铵

中图分类号: Q945.78 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)13-0155-04

葛仙米(*Nostoc sphaeroides* Kütz.)生长于水稻田中,别称“天仙米”“天仙菜”“田木耳”,是一种药、食两用固氮蓝藻。《本草纲目》记载,自东晋开始,葛仙米就被作为一种美食和中草药成分,至今已有1 500多年的历史^[1]。其蛋白质含量较高,含有丰富的人体必需的各种氨基酸、脂肪酸、维生素以及矿质元素,并且含有具有多种药用价值的各种多糖、色素等,还含有超氧化物歧化酶等生理活性物质^[2-3]。据《本草纲目》《全国中草药汇编》以及《本草纲目拾遗》等记载,葛仙米性寒、味淡,具有明目益气、解热清膈、消除疲劳、久食延年,

能治疗目赤红肿、夜盲症、脱肛、烫伤,兼具美容护肤之功效,具有很高的药用和保健价值^[4]。葛仙米在保健食品、食品添加剂、动物饲料、医药、美容以及精细化加工品等领域也具有广阔的开发应用前景^[4-5]。

葛仙米作为我国传统出口的珍贵产品,同时在国内市场也占有举足轻重的地位。葛仙米市场供不应求,价格昂贵,只有少数人能品尝到这种珍稀的食用蓝藻^[6]。野生葛仙米在世界范围内分布稀少,主要分布在我国湖北省鹤峰县走马镇周围的水稻田中,非洲有少量分布,也曾陕西、湖北、广西、广东等省(区)有发现^[1]。葛仙米的生长期为每年的11月份到第二年的5月份^[1,7]。野生葛仙米产量甚微,大概每年7.5 kg/hm²左右^[7]。湖北省鹤峰县适于葛仙米生长的水稻田有796 hm²,但最大年产量已由25年前的25 t锐减至0.5 t^[1]。为了保护野生葛仙米资源并使其得到合理的开发利用,关于葛仙米的生理生态学以及野生葛仙米的人工培养方面的研究引起了学者的广泛关注^[7]。陈珍研究了除草剂、

收稿日期:2017-02-04

基金项目:国家自然科学基金(编号:31660115);贵州省科学技术厅项目(编号:黔科合J字[2013]2234号);贵州师范学院博士项目(编号:12BS030)。

作者简介:刘树文(1980—),男,湖北黄冈人,博士,副教授,研究方向为藻类生理生化。E-mail:1059834578@qq.com。

larval setae: a scanning electron microscope study of *Dissodactylus Crinitichelis* Moreira, 1901 (Brachyura: Pinnotheridae) [J]. Bulletin of Marine Science, 1981, 31(3): 736-752.

[6] Garm A. Mechanosensory properties of the mouthpart setae of the European shore crab *Carcinus maenas* [J]. Marine Biology, 2005, 147(5): 1179-1190.

[7] Borisov R R. Changes of the setae on the mouthparts of the red king crab *Paralithodes camtschaticus* (Tilesius, 1815) (Decapoda: Lithodidae) during ontogeny [J]. Russian Journal of Marine Biology, 2016, 42(1): 51-57.

[8] Wortham J L, Lavelle A D. Setal morphology of grooming appendages in the spider crab, *Libinia dubia* [J]. Journal of Morphology, 2016, 277(8): 1045-1061.

[9] Jaszowski K, Keiler J, Wirkner C S. The mouth apparatus of *Lithodes maja* (Crustacea: Decapoda) - form, function and biological role [J]. Acta Zoologica, 2015, 96(4): 401-417.

[10] 堵南山. 毛蟹的解剖[J]. 华东师范大学学报, 1957(1): 60-73.

[11] 梁象秋, 严生良, 郑德崇, 等. 中华绒螯蟹 *Eriocheir sinensis* H. Milne-Edwards 的幼体发育[J]. 动物学报, 1974, 20(1): 61-68.

[12] Kim C H, Hwang S G. The complete larval development of the mitten crab *Eriocheir sinensis* H. Milne Edwards, 1853 (Decapoda, Brachyura, Grapsidae) reared in the laboratory and a key to the known zoeae of the Varuninae [J]. Crustaceana, 1995, 68(7): 793-812.

[13] Montú M, Anger K, de Bakker C. Larval development of the Chinese mitten crab *Eriocheir sinensis* H. Milne-Edwards (Decapoda: Grapsidae) reared in the laboratory [J]. Helgoländer Meeresuntersuchungen, 1996, 50(2): 223-252.

[14] 堵南山, 陈炳良. 中华绒螯蟹幼体消化系统发育的研究[J]. 海洋与湖沼, 1992, 23(1): 79-82.

杀虫剂等农药对葛仙米的毒害效应,农药的使用已被认为是葛仙米减产的重要原因之一^[7]。

NH_4Cl 和 KCl 是水稻田中广泛施用的 2 种含氯氮肥和钾肥。李云广等研究了高浓度的 NaCl 对葛仙米生理生化特性的影响^[8]。陈珍等研究表明 1 mmol/L NH_4Cl 抑制了葛仙米的光合作用和呼吸作用速率^[7,9]。本试验将比较研究 1 mmol/L NH_4Cl 和 1 mmol/L KCl 2 种含氯化肥对葛仙米的生理生化特性的影响,为野生葛仙米资源的生态保护提供理论依据,为葛仙米保护区稻田的合理施肥提供指导。

1 材料与方法

1.1 葛仙米的培养

葛仙米采自贵州省岑巩县凯本乡沈家湾村的水稻田中,在实验室内制作得到人工培养的无杂藻和杂菌的葛仙米藻种。配制 BG_{110} 培养基, 121°C 灭菌 30 min。藻种经过匀浆之后,分别接种到 9 个经高压灭菌的 500 mL 锥形瓶中,加入 450 mL BG_{110} 培养基。分成 3 组,每组 3 个重复。1 组用 BG_{110} 培养基,1 组用含 1 mmol/L KCl 的 BG_{110} 培养基,1 组用含 1 mmol/L NH_4Cl 的 BG_{110} 培养基培养葛仙米。培养温度为 25°C ,用 30 W 日光灯提供光照,光照度通过照度计测定,培养光照度为 1500 lx 。用空气泵通入用 $0.22 \mu\text{m}$ 滤膜过滤的无菌空气,通气量为 300 mL/min ,经过 8 d 光照培养,取藻样测定各项生理指标。

1.2 比生长速率的测定

葛仙米在 BG_{110} 、含 1 mmol/L KCl 的 BG_{110} 以及含 1 mmol/L NH_4Cl 的 BG_{110} 3 种不同的培养液中培养 8 d,分别培养 0、2、4、6、8 d 后,从 9 个锥形瓶中各取藻液 10 mL,离心 30 min,去上清液,加 3 mL 95% 乙醇,振荡,放入 4°C 冰箱中 24 h。 4000 r/min 离心 30 min 后,取上清液,用分光光度计测定 $D_{665 \text{ nm}}$ 和 $D_{649 \text{ nm}}$ 。

叶绿素 a (chlorophyll a, 简称 Chl a) 含量计算公式^[10]:

$$\text{Chl a} (\text{mg/L}) = 13.95 \times D_{665 \text{ nm}} - 6.88 \times D_{649 \text{ nm}} \quad (1)$$

比生长速率的计算公式^[7]:

$$\mu = (\ln X_1 - \ln X_2) / (T_2 - T_1) \quad (2)$$

式中: X_1 、 X_2 分别是 T_1 (0 d)、 T_2 (8 d) 的叶绿素 a 含量。

1.3 各种光合色素含量的测定

葛仙米在 BG_{110} 、含 1 mmol/L KCl 的 BG_{110} 以及含 1 mmol/L NH_4Cl 的 BG_{110} 3 种不同的培养液中培养 6 d,分别 从 9 个培养瓶中各取 20 mL 藻液, 4000 r/min 离心 30 min,去上清液,加 3 mL 95% 乙醇, 4°C 冰箱中放置 24 h 后 4000 r/min 离心 30 min,取上清液,用分光光度计在波长 665、649、470 nm 下测定吸光度 $D^{[16]}$ 。叶绿素 b 和类胡萝卜素 (carotenoid, 简称 Car) 含量依据下列公式计算:

$$\text{Chl b} (\text{mg/L}) = 24.96 \times D_{649 \text{ nm}} - 7.32 \times D_{665 \text{ nm}}; \quad (3)$$

$$\text{Car} (\text{mg/L}) = 1000 \times D_{470 \text{ nm}} - 2.05 \times \text{Chl a} - 114.8 \times \text{Chl b} \quad (4)$$

葛仙米在 BG_{110} 、含 1 mmol/L KCl 的 BG_{110} 以及含 1 mmol/L NH_4Cl 的 BG_{110} 3 种不同的培养液中培养 6 d,分别 从 9 个培养瓶中各取 20 mL 藻液, 4000 r/min 离心 30 min,去上清液,加入 4 mL 0.1 mol/L pH 值 7.0 的磷酸缓冲液,冰浴

匀浆 90 次后 4000 r/min 离心 30 min。取上清液,用分光光度计测定上清液在波长 562、615、652 nm 下测定吸光度 D 。再计算出藻蓝蛋白 (phycocyanin, 简称 PC)、别藻蓝蛋白 (allophycocyanin, 简称 APC)、藻红蛋白 (phycoerythrin, 简称 PE) 的含量。根据 Siegelman & Kycia 计算^[11]:

$$\text{PC} (\text{mg/mL}) = (D_{615 \text{ nm}} - 0.474 \times D_{652 \text{ nm}}) / 5.34; \quad (5)$$

$$\text{APC} (\text{mg/mL}) = (D_{652 \text{ nm}} - 0.208 \times D_{615 \text{ nm}}) / 5.09; \quad (6)$$

$$\text{PE} (\text{mg/mL}) = (D_{562 \text{ nm}} - 2.41 \times \text{PC} - 0.849 \times \text{APC}) / 9.62 \quad (7)$$

1.4 蛋白质含量的测定 (考马斯亮蓝 G-250 染色法^[10])

葛仙米在 BG_{110} 、含 1 mmol/L KCl 的 BG_{110} 以及含 1 mmol/L NH_4Cl 的 BG_{110} 3 种不同的培养液中培养 6 d,从 9 个培养瓶中各取 20 mL 藻液, 4000 r/min 离心 30 min,去上清液,加 4 mL 0.1 mol/L pH 值 7.0 的磷酸缓冲液,冰浴匀浆 90 次, 4000 r/min 离心 30 min。提取得到的葛仙米蛋白溶液通过考马斯亮蓝 G-250 法测定。

1.5 可溶性糖含量的测定 (蒽酮法^[10])

葛仙米在 BG_{110} 、含 1 mmol/L KCl 的 BG_{110} 以及含 1 mmol/L NH_4Cl 的 BG_{110} 3 种不同的培养液中培养 6 d,从 9 个培养瓶中各取 20 mL 藻液, 4000 r/min 离心 30 min,去上清液,加 4 mL 蒸馏水,冰浴匀浆 90 次, 4000 r/min 离心 30 min。提取得到的葛仙米可溶性糖溶液通过蒽酮法测定。

1.6 丙二醛含量的测定 (硫代巴比妥酸法)

葛仙米在 BG_{110} 、含 1 mmol/L KCl 的 BG_{110} 以及含 1 mmol/L NH_4Cl 的 BG_{110} 3 种不同的培养液中培养 6 d,从 9 个培养瓶中各取藻液 20 mL, 4000 r/min 离心 30 min,去上清液,加 5% TCA 5 mL,冰浴匀浆 90 次, 4000 r/min 离心 30 min 后,分别取上清液 2 mL 放入相应带盖的试管中,再向每支试管中加 0.67% TBA 2 mL,混合后沸水浴 30 min,冷却后 4000 r/min 离心 30 min 后,取上清液,用分光光度计在波长 450、532、600 nm 下测定吸光度 D ,按公式 $C (\mu\text{mol/L}) = 6.45 (D_{532 \text{ nm}} - D_{600 \text{ nm}}) - 0.56 D_{450 \text{ nm}}$ 计算出 MDA 浓度。样品 MDA 含量 ($\mu\text{mol/mg}$ 叶绿素) = $C (\mu\text{mol/L}) \times 5/20/\text{叶绿素浓度} (\text{mg/L})$ 。

1.7 统计分析

利用软件 STATISTICA® 7.0 (StatSoft Inc, Tulsa, OK, USA) 进行统计分析处理。单因素方差分析 (ANOVA) 和 Tukey's 显著性检验 (HSD) 用来检测不同处理间的显著性水平。正态分布和方差同质性分析分别根据 Lilliefors 检验和 Levene 检验。

2 结果与分析

2.1 KCl 和 NH_4Cl 对葛仙米生长的影响

BG_{110} 培养基、含 1 mmol/L KCl 的 BG_{110} 培养基以及含 1 mmol/L NH_4Cl 的 BG_{110} 培养基 3 种培养条件下培养葛仙米的生长曲线见图 1。葛仙米分别在 BG_{110} 培养基、含 1 mmol/L KCl 的 BG_{110} 培养基中培养 8 d 后,以叶绿素含量表示的生物量分别增加到 0 d 的 4.34、3.95 倍;而在含 1 mmol/L NH_4Cl 的 BG_{110} 培养基中培养 8 d 后葛仙米的生物量降低到 0 d 的 0.31 倍。4 d 以后 1 mmol/L NH_4Cl 对葛仙米的生长有明显

的抑制作用,而 1 mmol/L KCl 对葛仙米的生长没有明显影响。

葛仙米分别在用 BG₁₁₀ 培养基、含 1 mmol/L KCl 的 BG₁₁₀ 培养基、含 1 mmol/L NH₄Cl 的 BG₁₁₀ 培养基培养 8 d 后葛仙米的比生长速率见表 1。在 1 mmol/L KCl 的 BG₁₁₀ 培养基中培养的葛仙米的比生长速率略低于 BG₁₁₀ 培养下葛仙米的比生长速率,但两者之间无显著差异 ($P>0.05$)。但 1 mmol/L NH₄Cl 的 BG₁₁₀ 培养基中生长的葛仙米的比生长速率为负值,与 BG₁₁₀ 培养基中培养的葛仙米的比生长速率相比降低了 168.4% ($P<0.05$)。

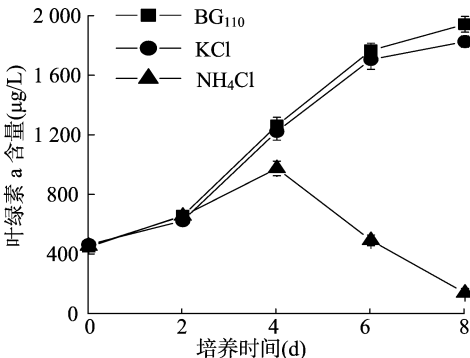


图1 3种培养条件下葛仙米的生长曲线

表 1 3 种培养条件下培养 8 d 后葛仙米的比生长速率

培养基	比生长速率
BG ₁₁₀	0.196 ± 0.003a
1 mmol/L KCl + BG ₁₁₀	0.188 ± 0.001a
1 mmol/L NH ₄ Cl + BG ₁₁₀	-0.134 ± 0.023b

注:同列数据后不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$),相同字母表示差异不显著。下表同。

2.2 KCl 和 NH₄Cl 对葛仙米光合色素含量的影响

葛仙米在 BG₁₁₀、含 1 mmol/L KCl 的 BG₁₁₀ 以及含 1 mmol/L NH₄Cl 的 BG₁₁₀ 3 种不同的培养液中培养 6 d 后,葛仙米的 3 种藻胆蛋白(藻蓝蛋白、别藻蓝蛋白、藻红蛋白)含量见表 2。与 BG₁₁₀ 培养基中培养葛仙米相比,1 mmol/L KCl 的 BG₁₁₀ 培养基中培养葛仙米的藻蓝蛋白、别藻蓝蛋白、藻红蛋白 3 种藻胆蛋白分别降低了 23.7%、16.1% 和 21.5%,但无显著差异 ($P>0.05$);1 mmol/L NH₄Cl 的 BG₁₁₀ 培养基中培养葛仙米的藻蓝蛋白、别藻蓝蛋白、藻红蛋白 3 种藻胆蛋白分别降低了 71.6%、74.6% 和 71.1%,且有显著差异 ($P<0.05$)。

葛仙米在 BG₁₁₀、含 1 mmol/L KCl 的 BG₁₁₀ 以及含 1 mmol/L NH₄Cl 的 BG₁₁₀ 3 种不同的培养液中培养 6 d 后,葛仙米的叶绿素 a、类胡萝卜素 2 种光合色素含量见表 3。与 BG₁₁₀ 培养基中培养葛仙米相比,1 mmol/L KCl 的 BG₁₁₀ 培养基中培养葛仙米的藻蓝蛋白、别藻蓝蛋白、藻红蛋白 3 种藻胆蛋白分别降低了 3.4%、5.8%,但无显著差异 ($P>0.05$);1 mmol/L NH₄Cl 的 BG₁₁₀ 培养基中培养葛仙米的藻蓝蛋白、别藻蓝蛋白、藻红蛋白 3 种藻胆蛋白分别降低了 72.2%、52.8%,且有显著差异 ($P<0.05$)。

2.3 KCl 和 NH₄Cl 对葛仙米可溶性蛋白质含量的影响

由图 2 可见,溶液中可溶性蛋白质含量(y)与考马斯亮

表 2 3 种培养条件下培养 6 d 后葛仙米 3 种藻胆蛋白含量

培养基	含量 (mg/L)		
	藻蓝蛋白	别藻蓝蛋白	藻红蛋白
BG ₁₁₀	4.19 ± 0.92a	1.88 ± 0.55a	1.85 ± 0.43a
KCl + BG ₁₁₀	3.19 ± 0.35a	1.58 ± 0.20a	1.45 ± 0.17a
NH ₄ Cl + BG ₁₁₀	1.19 ± 0.41b	0.48 ± 0.13b	0.53 ± 0.18b

表 3 3 种培养条件下培养 6 d 后葛仙米叶绿素 a 和类胡萝卜素含量

培养基	叶绿素 a 含量 (mg/L)	类胡萝卜素含量 (mg/L)
BG ₁₁₀	1.77 ± 0.05a	0.22 ± 0.01a
KCl + BG ₁₁₀	1.71 ± 0.07a	0.21 ± 0.03a
NH ₄ Cl + BG ₁₁₀	0.49 ± 0.04b	0.10 ± 0.01b

蓝染色后的可溶性蛋白质溶液在 595 nm 波长下的吸光度(x)之间的直线方程为: $y=0.002x+0.006$ ($r^2=0.997$)。葛仙米在 BG₁₁₀、含 1 mmol/L KCl 的 BG₁₁₀ 以及含 1 mmol/L NH₄Cl 的 BG₁₁₀ 3 种不同的培养液中培养 6 d 后,葛仙米的可溶性蛋白质含量见图 3。与 BG₁₁₀ 培养基中培养葛仙米相比,1 mmol/L KCl 的 BG₁₁₀ 培养基、1 mmol/L NH₄Cl 的 BG₁₁₀ 培养基中培养葛仙米的可溶性蛋白质含量分别降低了 5.7% ($P>0.05$) 和 53.0% ($P<0.05$)。

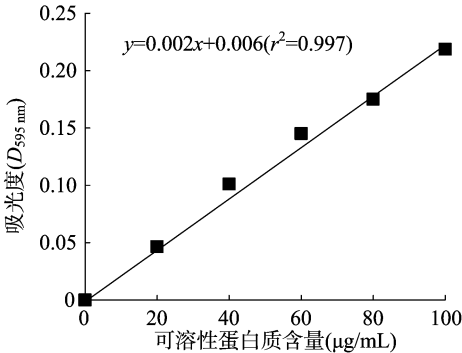


图2 可溶性蛋白质的标准曲线

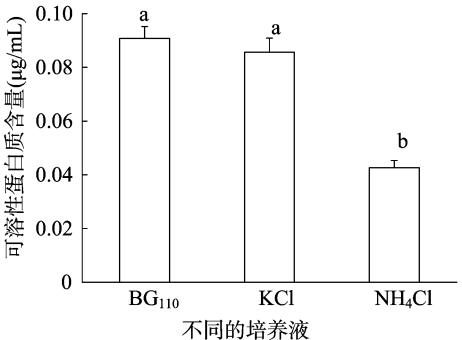


图3 3 种培养条件下培养 6 d 后葛仙米可溶性蛋白质含量

2.4 KCl 和 NH₄Cl 对葛仙米可溶性糖含量的影响

根据图 4,溶液中可溶性糖含量(y)与蒽酮试剂染色后的可溶性糖溶液在 620 nm 波长下的吸光度(x)之间的直线方程为: $y=1.5116x-0.022$ ($r^2=0.997$)。葛仙米在 BG₁₁₀、含 1 mmol/L KCl 的 BG₁₁₀ 以及含 1 mmol/L NH₄Cl 的 BG₁₁₀ 3 种不同的培养液中培养 6 d 后,葛仙米的可溶性糖含量见图 5。与 BG₁₁₀ 培养基中培养葛仙米相比,1 mmol/L KCl 的 BG₁₁₀ 培

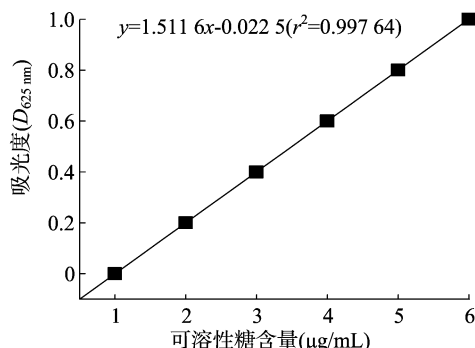


图4 可溶性糖标准曲线

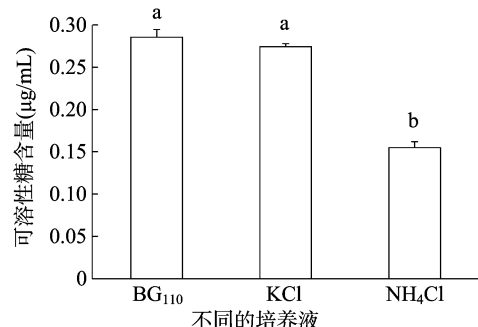


图5 3 种培养条件下培养 6 d 后葛仙米的可溶性糖含量

培养基、1 mmol/L NH₄Cl 的 BG₁₁₀ 培养基中培养葛仙米的可溶性糖含量分别降低了 3.9% ($P > 0.05$) 和 45.7% ($P < 0.05$)。

2.5 KCl 和 NH₄Cl 对葛仙米丙二醛含量的影响

葛仙米在 BG₁₁₀、含 1 mmol/L KCl 的 BG₁₁₀ 以及含 1 mmol/L NH₄Cl 的 BG₁₁₀ 3 种不同的培养液中培养 6 d 后,葛仙米的丙二醛含量见图 6。BG₁₁₀ 培养基、含 1 mmol/L KCl 的 BG₁₁₀ 培养基中培养葛仙米的丙二醛含量较低,且两者之间无显著差异($P > 0.05$)。含 1 mmol/L NH₄Cl 的 BG₁₁₀ 培养基培养下葛仙米的丙二醛含量大幅度升高,分别升高到前两者的 21.7、22.0 倍($P < 0.05$)。

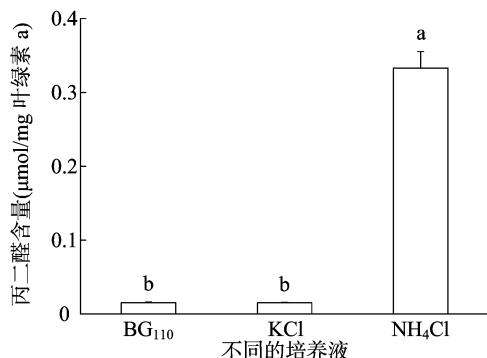


图6 3 种培养条件下培养 6 d 后葛仙米的丙二醛含量

3 结论与讨论

本试验比较研究了 1 mmol/L KCl 和 NH₄Cl 2 种含氯化肥对葛仙米生理生化特性的影响。添加 1 mmol/L NH₄Cl 的 BG₁₁₀ 培养基中培养的葛仙米,以叶绿素 a 含量表示的生物量、比生长速率以及各种光合色素、可溶性糖和可溶性蛋白质的含量大幅度下降($P < 0.05$);添加 1 mmol/L KCl 的 BG₁₁₀ 培养基中培养的葛仙米,上述各项生理指标略微降低但无显著

差异($P > 0.05$)。因此,1 mmol/L NH₄⁺ 对葛仙米生理生化特性的影响较为强烈,而 1 mmol/L K⁺ 和 Cl⁻ 对葛仙米生理生化特性的影响较小。

李运广等的研究结果表明,高于 400 mmol/L NaCl 对葛仙米产生较强的盐胁迫,葛仙米的可溶性糖含量随 NaCl 浓度的升高而降低。高浓度的盐主要是通过降低细胞外的离子平衡,而引起膜结构、细胞器及酶结构的破坏^[8]。但本研究中,KCl 和 NH₄Cl 的浓度只有 1 mmol/L,不足以对葛仙米产生强烈的盐胁迫伤害。因此,1 mmol/L KCl 对葛仙米的各项生理指标没有显著影响。但 1 mmol/L NH₄Cl 对葛仙米生理生化特性的影响强烈,因此,NH₄⁺ 对葛仙米的影响机制不同于盐胁迫。陈珍等研究表明,NH₄⁺ 破坏了葛仙米光系统 II 的放氧复合体^[7-9]。

在本研究中,1 mmol/L NH₄Cl 引起葛仙米细胞内丙二醛含量显著升高。在逆境胁迫条件下,植物体细胞内活性氧自由基的代谢平衡被破坏,促进植物体内自由基大量产生,导致膜脂过氧化而生成丙二醛,影响细胞膜的正常结构与功能^[12]。MDA 含量通常被用作膜脂过氧化程度的指标^[12]。脂膜过氧化还能影响植物光合作用和呼吸作用电子传递,从而导致活性氧自由基大量产生,进一步引起膜脂过氧化^[13]。

因此,为了保护野生葛仙米资源的生态环境,笔者建议在葛仙米生长区水稻田的农业生产中,应该减少含氮的化肥的施用量。

参考文献:

- [1] 邓中洋,阎春兰,胡强,等. 葛仙米研究进展[J]. 水生生物学报,2008,32(3):393-399.
- [2] 刘金龙. 葛仙米营养成分研究[J]. 中草药,2000,31(11):862-863.
- [3] 夏建荣,高坤山. 球形念珠藻的生化组成分析[J]. 武汉植物学研究,2002,20(3):223-224.
- [4] 陈德文,汪兴平,潘思铁. 葛仙米的研究现状及应用前景[J]. 食品科学,2003,24(11):153-156.
- [5] 毕永红,胡征宇. 葛仙米的营养价值及其开发利用[J]. 中国野生植物资源,2004,23(1):40-42.
- [6] 阎春兰,邓中洋. 葛仙米在水稻田的培养技术[J]. 中国野生植物资源,2010,29(2):64-65.
- [7] 陈珍. 农药和含氯化肥对食用蓝藻葛仙米生长和光合作用的影响[D]. 武汉:华中师范大学,2007.
- [8] 李运广,高坤山. 盐胁迫对地木耳和葛仙米生理生化特性的影响[J]. 水生生物学报,2003,27(3):227-231.
- [9] 戴国政. 蓝藻铵毒害的生态效应与分子机制[D]. 武汉:华中师范大学,2012.
- [10] 张志良,翟伟菁,李小方. 植物生理学实验指导[M]. 北京:高等教育出版社,2009:118-119.
- [11] Siegelman H W, Kycia J H. Algal biliproteins[M]//Hellebust J A, Craigie J S. Handbook of phycological methods: physiological and biochemical methods. Cambridge: Cambridge University Press, 1978:71-79.
- [12] 赵天宏,孙加伟,付宇. 逆境胁迫下植物活性氧代谢及外源调控机理的研究进展[J]. 作物杂志,2008,10(3):10-13.
- [13] 冯绪猛,罗时石,胡建伟,等. 农药对水稻叶片丙二醛及叶绿素含量的影响[J]. 核农学报,2003,17(6):481-484,411.