

氮素水平对宽杆芥菜幼苗生长及酶活性的影响

邹文桐, 李海珍, 林文娇, 陈 盛

(福建师范大学福清分校生物与化学工程系, 福清 350300)

摘 要: 以 NH_4NO_3 作为变量, 试验设 7 个处理, 以普良尼柯夫配方营养液进行试验来研究氮素对芥菜幼苗生长及酶活性的影响。水培试验结果表明, 芥菜幼苗移栽后 14 d, 营养液中的总氮量为 $9 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ (N_3 处理)的株高、叶数、最大叶长和最大叶宽均最大, 分别为 4.03 cm、3.00 片·株⁻¹、2.43 cm 和 1.08 cm, 与 N_0 处理的差异均达到极显著水平。芥菜苗移栽后 42 d, 以 N_3 处理的株高、叶数、最大叶长、地上部、地下部、总生物量、根系活跃吸收面积和最长根长均最多, 分别为 4.30 cm、5.00 片·株⁻¹、3.36 cm、367.87 mg、27.13 mg、395.00 mg、53.03% 和 6.03 cm, 它们与 N_0 的差异均达到极显著水平, 除最大叶长与 N_0 处理的差异达到显著水平外。 N_3 处理叶片的 CAT 和 POD 活性均较高, 分别为 $16.89 \text{ U}\cdot\text{mg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ 和 $134.27 \text{ U}\cdot\text{mg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$, MDA 含量最小 ($2.29 \text{ nmol}\cdot\text{g}^{-1}$), 与 N_0 的差异均达到极显著水平。因此, 在本试验条件上, 营养液中的总氮量为 $9 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ (N_3) 处理芥菜的幼苗生长和酶活性指标最好。建议营养液中施总氮量为 $9 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 。

关键词: 氮; 宽杆芥菜; 生长; 酶活性

中图分类号: S637

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2011)06-0952-05

Effects of the content of available nitrogen in water on the growth and enzymatic activity of *Brassica juncea*

ZOU Wen-tong, LI Hai-zhen, LIN Wen-jiao, CHEN sheng

(Department of Biology and Chemistry Engineering, Fuqing Branch of Fujian Normal University, Fuqing 350300)

Abstract: Taken NH_4NO_3 as variable value, seven treatments were designed to study the effects of the content of available nitrogen in nutrient solutions on the growth and enzymatic activity of *Brassica juncea*. The result of water culture experiment indicated that: after *Brassica juncea* seedlings were transplanted for 14 days, the height, number of leaves, the maximum leaf length and the maximum leaf width of the leaf mustard plants treated with N_3 ($9 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1} \text{N}$) could reach 4.03 cm, 3.00 piece per plant, 2.43 cm and 1.08 cm, respectively, which showed significant difference in contrast with N_0 treatment. After 42 days, the height, number of leaves, the maximum leaf length, overground biomass, belowground biomass, total biomass, root active absorption area and the longest root length of the treated *Brassica juncea* plants were found to be 4.30 cm, 5.00 piece per plant, 3.36 cm, 367.87 mg, 27.13 mg, 395.00 mg, 53.03% and 6.03 cm, respectively, which showed significant difference in contrast with N_0 treatment, except that the maximum leaf length attained notable level in contrast with N_0 treatment. CAT and POD activities in the leaf with N_3 treatment reached the peak value of $16.89 \text{ U}\cdot\text{mg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ and $134.27 \text{ U}\cdot\text{mg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$, respectively, while the MDA content reached the bottom of $2.29 \text{ nmol}\cdot\text{g}^{-1}$, which also revealed the significant difference in contrast with N_0 treatment. Under the experimental conditions, growth status and enzymatic activity of *Brassica juncea* with N_3 treatment obtained the best indices. So $9 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ of total nitrogen was recommended as the suitable applied concentration in the nutrient solutions.

Key words: nitrogen; *Brassica juncea*; growth; enzymatic activity

氮是植物体内的重要元素, 可以促进植物的生长。植物生长需要多种营养元素, 而以氮素最为重

收稿日期: 2011-04-18

基金项目: 福建省教育厅 B 类项目 (JB09241) 资助。

作者简介: 邹文桐, 男, 实验师。E-mail: Wtz_5267370@163.com

* 通讯作者: 陈 盛, 男, 教授。E-mail: chensheng@fjnu.edu.cn

要。氮素是蛋白质、核酸、磷脂的主要成分, 又是原生质、细胞核和生物膜的重要组成部分, 在生命活动中有特殊作用, 将其称为生命元素^[1]。近年来关于氮素营养对植物生长、酶活性影响的相关研究有不少报道。如杨永胜^[2]研究供氮水平对玉米生长性状及产量的影响, 结论是适量施用氮肥可以改善玉米植株的营养生长。在作物酶活性机理研究中, CAT 和 POD 等^[3-5] 酶活性的变化已广泛作为指示植物抵御逆境伤害的指标。张英鹏等^[6]研究供氮水平对菠菜营养品质和体内抗氧化酶活性的影响, 结果表明供氮水平为 $8 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 时, 菠菜叶片具有较高的抗氧化酶活性和较低的 MDA 含量。

目前我国在氮素施肥量大但却较为盲目, 从而造成不必要的肥料浪费, 不但增加了生产成本而且氮素供应不足、过量施用氮肥对蔬菜的产量和品质都会造成不良影响。因此如何做到提高产量的同时避免肥料的浪费成为关键, 单独从水培试验来研究氮素对芥菜生长和酶活性的影响, 目前国内外这方面的研究还比较缺乏。本研究采用水培试验法, 以福州宽杆芥菜为材料, 以求初步了解氮素对芥菜生长和酶活性的影响, 初步摸索出芥菜的经济、有效、合理的施氮范围, 并且为菜农合理施用氮肥提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 供试材料

供试芥菜品种为福州宽杆芥菜 (*Brassica juncea*)。

1.2 试验设计

筛选籽粒饱满的种子, 均匀地撒在土壤上, 然后放置于光照培养箱 (参数设定为温度 25.0°C , 光照 $12 \text{ h}\cdot\text{d}^{-1}$, 光照强度 4000 lx , 湿度 $\geq 80\%$) 中培养。待长至第 1~2 片真叶完全展开后, 挑选大小长势基本一致的幼苗用于水培试验。先将长至 1~2 片真叶的芥菜苗用营养液普良尼柯夫^[7]标准配方培养一段时间 (7 d), 培养钵为塑料桶, 塑料桶侧面用黑色塑料袋包裹, 桶上用海绵做桶盖, 并且海绵钻孔用以放置幼苗。然后以 NH_4NO_3 作为氮源, 试验根据总氮浓度设 7 个处理, 总氮浓度及处理编号: $0 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ (CK)、 $3 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ (N_1)、 $6 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ (N_2)、 $9 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ (N_3)、 $12 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ (N_4) 及 $15 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ (N_5), 其他元素的配方同普良尼柯夫配方, 每个处理 10 株, 5 个重复, 随机排列, 用于测定生长指标, 同时设计同样的处理和重复用于测定酶活性指标。放置于自然条件中进行培养。移栽后每天观察 1 次,

并用精密 pH 试纸调 pH 值于 5.5~6.0 之间, 每周用充气设备给营养液充气 3 次, 芥菜生长前期营养液每隔 7 d 更换 1 次, 芥菜生长中后期每周换 2 次。

1.3 分析测定方法

1.3.1 生长性状的测定 株高、叶数、最大叶长和最大叶宽的测定: 移栽后每隔 14 d 进行测定 1 次。

1.3.2 生物量的测定 鲜重、干重的测定: 移栽 42 d 后分别测定地下部和地上部的鲜重和干重^[8]。

1.3.3 根系生长状况的测定 最长根长的测定 移栽 42 d 后用卷尺测定最长根长。根系活跃吸收面积采用甲烯蓝法^[9]测定。

1.3.4 采样及酶液提取 在宽杆芥菜培养 42 d 后, 采集各处理相同叶龄的芥菜叶片进行相关酶活性指标测定。称取 0.3 g 芥菜叶片, 加入 5 mL 预冷提取液 (PBS 7.0, $50 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$), 在冰浴中研磨成匀浆, 再于 $15000\times\text{g}$, -4°C 离心 20 min (冷冻离心机), 取上清液贮于冰箱中备用。过氧化氢酶 (CAT) 活性的测定参照李合生的方法测定^[10]; 过氧化物酶 (POD) 活性参照张志良的方法测定^[11]; MDA 含量的测定丙二醛 (MDA) 含量依照西北农业大学植物生理生化教研组的方法测定^[12]。

2 结果与分析

2.1 氮素水平对宽杆芥菜生长状况的影响

芥菜幼苗移栽 14 d 后, 不同氮素水平处理的芥菜幼苗长势有一定的差异 (表 1)。N0 处理的株高、叶数、最大叶长和最大叶宽较小。随着营养液中的总氮量水平的提高, 芥菜幼苗的株高、叶数、最大叶长和最大叶宽呈现先增加后减少的趋势。N3 处理的株高、叶数、最大叶长和最大叶宽均最高, 与 N0 处理相比较, 分别提高了 72.96%、50.00%、82.71% 和 58.82%。但是当营养液中总氮量增加到 $12 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ (N_4 处理) 时, 芥菜的株高、叶数、最大叶长和最大叶宽均有所下降。方差分析结果表明: N_3 处理的株高、叶数、最大叶长和最大叶宽与 N_0 、 N_1 、 N_4 和 N_5 处理的差异均达到极显著水平。

芥菜幼苗移栽 42 d 后, 不同氮素水平处理的芥菜幼苗长势有一定的差异 (表 2)。随着营养液中的总氮量水平的提高, 芥菜幼苗的株高、叶数、最大叶长和最大叶宽呈现先升高后降低的趋势。N3 处理的株高、叶数和最大叶长相对较高, 与 N_0 处理相比较, 分别增加了 65.38%、42.86% 和 22.18%。但是当营养液中总氮量增加到 $12 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ (N_4 处理) 时, 芥菜的株高、叶数、最大叶长和最大叶宽呈现下降的趋势。方差分析结果表明: N_3 处理的株高与 N_0 、

N₄、和 N₅ 处理的差异均达到极显著水平。N₃ 处理的叶数、最大叶宽与 N₀ 和 N₅ 处理的差异均达到极显著水平。N₃ 处理的最大叶长与 N₄ 和 N₅ 处理的差

异均达极显著水平,与 N₀ 处理的差异达到显著水平。可见,适宜的总氮量能够提高芥菜的株高、最大叶长等生长指标,改善芥菜的生长状况。

表 1 氮素水平对宽杆芥菜移栽 14 d 后生长状况的影响

Table 1 Effects of exchangeable nitrogen on the growth of *Brassica juncea* after transplantation for 14 days

处 理 Treatment	株高/cm Height	叶数/片·株 ⁻¹ Number of leaves	最大叶长/cm Maximum leaf length	最大叶宽/cm Maximum leaf width
N ₀	2.33±0.22 ^{dD}	2.00±0.00 ^{bB}	1.33±0.13 ^{dCD}	0.68±0.10 ^{bcC}
N ₁	3.40±0.16 ^{bB}	2.75±0.50 ^{aA}	2.03±0.05 ^{bB}	0.98±0.05 ^{aAB}
N ₂	3.83±0.38 ^{aAB}	3.00±0.00 ^{aA}	2.35±0.30 ^{aAB}	1.05±0.10 ^{aA}
N ₃	4.03±0.17 ^{aA}	3.00±0.00 ^{aA}	2.43±0.19 ^{aA}	1.08±0.17 ^{aA}
N ₄	2.88±0.15 ^{cC}	2.00±0.00 ^{bB}	1.65±0.17 ^{cC}	0.80±0.00 ^{bcC}
N ₅	1.90±0.24 ^{eD}	2.00±0.00 ^{bB}	1.03±0.26 ^{eD}	0.63±0.10 ^{cC}

注:小写字母为方差分析LSD法0.05水平上差异,大写字母为方差分析LSD法0.01水平上差异。下同。

Note: Small and capital letters followed the data mean significant difference at 0.05 and 0.01 level by LSD method, respectively. The same below.

表 2 氮素水平对宽杆芥菜移栽 42 d 后生长状况的影响

Table 2 Effects of exchangeable nitrogen on the growth of *Brassica juncea* after transplantation for 42 days

处 理 Treatment	株高/cm Height	叶数/片·株 ⁻¹ Number of leaves	最大叶长/cm Maximum leaf length	最大叶宽/cm Maximum leaf width
N ₀	2.60±0.24 ^{cC}	3.50±0.58 ^{bB}	2.75±0.22 ^{bAB}	0.94±0.10 ^{bB}
N ₁	3.91±0.21 ^{abAB}	5.00±0.82 ^{aA}	2.67±0.37 ^{bB}	1.16±0.25 ^{abAB}
N ₂	4.27±0.12 ^{aAB}	5.00±0.82 ^{aA}	2.92±0.20 ^{abAB}	1.40±0.28 ^{aA}
N ₃	4.30±0.43 ^{aA}	5.00±0.00 ^{aA}	3.36±0.47 ^{aA}	1.37±0.19 ^{aA}
N ₄	3.60±0.33 ^{bB}	4.50±0.58 ^{aAB}	2.64±0.46 ^{bB}	1.07±0.15 ^{bAB}
N ₅	2.31±0.46 ^{cC}	3.25±0.50 ^{bB}	2.00±0.17 ^{cC}	0.95±0.09 ^{bB}

表 3 氮素水平对宽杆芥菜生物量的影响

Table 3 Effects of exchangeable nitrogen on biomass production in *Brassica juncea*

处 理 Treatment	鲜重/mg Fresh weight			干重/mg Dry weight		
	地上部 Overground part	地下部 Underground part	总生物量 Total biomass	地上部 Overground part	地下部 Underground part	总生物量 Total biomass
N ₀	144.27±16.5 ^{cC}	16.30±2.25 ^{bB}	160.57±0.02 ^{cC}	13.43±2.45 ^{cdBC}	1.83±0.23 ^{aBC}	15.27±2.58 ^{cdBC}
N ₁	262.33±37.4 ^{bB}	25.80±3.85 ^{aA}	288.13±0.04 ^{bB}	22.10±4.86 ^{aA}	2.43±0.61 ^{aA}	24.53±5.05 ^{aA}
N ₂	252.40±23.0 ^{bB}	23.13±1.59 ^{aA}	275.53±0.02 ^{bB}	17.07±1.56 ^{bcAB}	2.43±0.57 ^{aA}	19.50±2.13 ^{bcAB}
N ₃	367.87±26.1 ^{aA}	27.13±2.25 ^{aA}	395.00±0.03 ^{aA}	21.30±1.78 ^{abA}	1.97±0.15 ^{aAB}	23.27±1.87 ^{abA}
N ₄	155.87±30.6 ^{cC}	12.50±2.56 ^{bcB}	168.37±0.03 ^{cC}	10.77±1.39 ^{deBC}	0.90±0.35 ^{bBC}	11.67±1.72 ^{deC}
N ₅	117.80±9.4 ^{cC}	9.97±0.97 ^{cB}	127.77±0.01 ^{cC}	8.37±0.60 ^{cC}	0.77±0.12 ^{bC}	9.13±0.60 ^{cC}

2.2 氮素水平对宽杆芥菜生物量的影响

随着营养液中的总氮量水平的提高,芥菜幼苗地上部、地下部、总生物量的鲜重整体上呈现先增加后减少的趋势。N₃ 处理(总氮量为 9 mmol·L⁻¹)芥菜幼苗生长最好(表 3),与 N₀ 处理相比较,增幅分别为 154.99%、66.44%和 146.00%。当营养液中总氮量增加到 12 mmol·L⁻¹(N₄ 处理)时,芥菜的地上部、地下部、总生物量三者的鲜重均有所下降。方差分析结果表明:N₃ 处理地上部和总生物量的鲜重与其它各处理的差异均达到极显著水平。N₃ 处理

地下部的鲜重与 N₀、N₄ 和 N₅ 处理的差异达极显著水平。

随着营养液中的总氮量水平的提高,芥菜幼苗各部位的干重整体上的规律不明显。N₁ 处理的地上部、地下部和总生物量三者的干重与其它处理相比相对较高。方差分析结果表明:N₁、N₃ 处理地上部的干重、总生物量与 N₀、N₄ 和 N₅ 处理的差异达极显著水平。可见,适当提高总氮量有利于芥菜生物量的提高。

表 4 氮素水平对宽杆芥菜根系生长的影响

Table 4 Effects of exchangeable nitrogen on *Brassica juncea* root's growth

处理 Treatment	根系活跃吸收面积/% Absorption area of active root system	最长根长/cm·株 ⁻¹ Longest root length
N ₀	43.02±3.19 ^{cC}	4.72±0.25 ^{bB}
N ₁	52.37±2.74 ^{aA}	4.99±0.13 ^{bB}
N ₂	51.96±2.10 ^{abA}	5.06±0.30 ^{bB}
N ₃	53.03±1.88 ^{aA}	6.03±0.18 ^{aA}
N ₄	50.46±0.94 ^{abA}	3.36±0.25 ^{cC}
N ₅	45.46±1.18 ^{cBC}	3.37±0.22 ^{cC}

2.3 氮素水平对宽杆芥菜根系生长状况的影响

根系活跃吸收面积反映根部吸收能力和合成代谢能力的强弱,根系活跃吸收面积越大,植株吸收水分和养分的能力越强,越有利于植株生长。随着营养液中总氮量水平的提高,芥菜幼苗的根系活跃吸收面积和最长根长整体上呈现先增加后减少的趋势(表4)。N₃处理的根系活跃吸收面积和最长根长均达到最大,与N₀处理相比较,增幅分别为23.27%和27.75%。但是当营养液中总氮量增加到12 mmol·L⁻¹(N₄处理)时,芥菜的根系活跃吸收面积和最长根长均有所下降。方差分析结果表明:N₃处理的根系活跃吸收面积与N₀和N₅处理的差异达极显著水平,但与N₁、N₂、N₄处理的差异不显著。N₃处理的最长根长与其它各处理的差异均达到极显著水平。由此可知高氮和缺氮都会造成宽杆芥菜幼苗根吸收能力的下降。可见适宜的总氮量水平能够促进根系的生长。

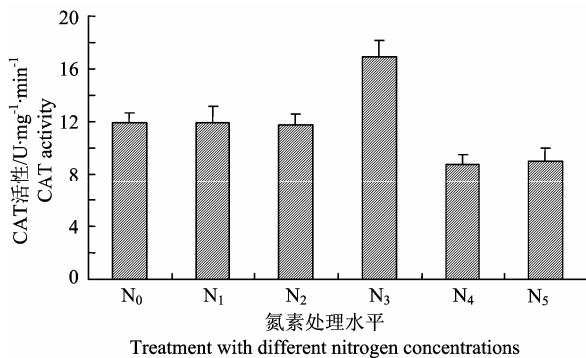


图 1 氮素处理水平对宽杆芥菜叶片 CAT 活性的影响

Figure 1 Effects of exchangeable nitrogen in nutrient solution on CAT in *Brassica juncea* leaves

2.4 氮素水平对宽杆芥菜叶片的 CAT 活性的影响

试验结果表明,宽杆芥菜幼苗在不同总氮量处理水平的作用下,芥菜中的 CAT 活性有明显的差异(图1)。随着营养液中总氮量浓度的增加,芥菜中

的 CAT 活性先升高后降低;在 N₃ 处理即总氮量为 9 mmol·L⁻¹ 时 CAT 活性达到最大值为 16.89 U·mg⁻¹·min⁻¹,与对照相比,提高了 41.58%。但是随着营养液中总氮量浓度的继续增加,芥菜中 CAT 的活性开始呈下降的趋势。方差分析结果表明,N₃ 处理的叶片 CAT 活性与其他处理的差异达极显著水平,N₀、N₁ 和 N₂ 处理间的差异不显著。可见,适宜的总氮量水平能提高芥菜叶片的 CAT 活性。

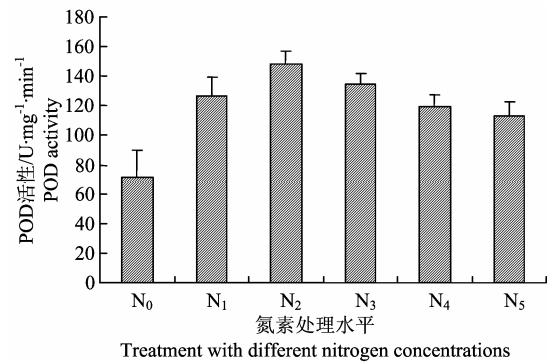


图 2 氮素处理水平对宽杆芥菜叶片 POD 活性的影响

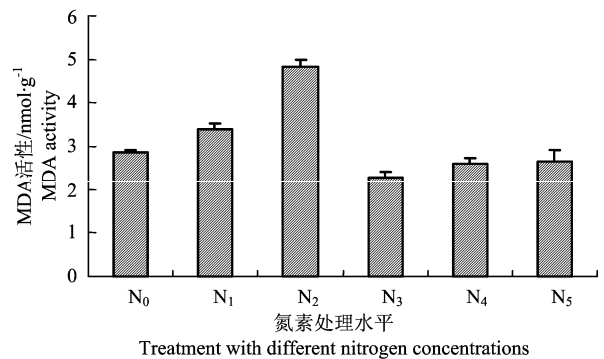
Figure 2 Effects of exchangeable nitrogen in nutrient solution on POD in *Brassica juncea* leaves

图 3 氮素处理水平对宽杆芥菜叶片 MDA 含量的影响

Figure 3 Effects of exchangeable nitrogen in nutrient solution on MDA in *Brassica juncea* leaves

2.5 氮素水平对宽杆芥菜叶片 POD 活性的影响

试验结果表明,宽杆芥菜幼苗在不同总氮量处理水平的作用下,芥菜中的 POD 活性有一定的差异(图2)。由图2可看出N₀~N₂处理(总氮量为0~6 mmol·L⁻¹),芥菜中的 POD 活性与营养液中总氮浓度呈正相关;在N₂处理即总氮量为6 mmol·L⁻¹时 POD 活性最高,达到147.81 U·mg⁻¹·min⁻¹,与N₀处理相比较,增加了105.38%;在N₃处理即总氮量为9 mmol·L⁻¹时 POD 活性次之,达到134.27 U·mg⁻¹·min⁻¹,与N₀处理相比较,增加了86.56%;

当营养液中总氮量 $\geq 9 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$, 芥菜中的 POD 活性与营养液中总氮量呈负相关。方差分析结果表明, N_2 处理的叶片 POD 活性与 N_3 处理的差异不显著, 与 N_0 、 N_4 和 N_5 处理的差异达到极显著水平, 与 N_1 处理的差异只达到显著水平。可见, 适宜的总氮量水平能提高芥菜叶片的 POD 活性。

2.6 氮素水平对宽杆芥菜叶片 MDA 含量的影响

试验结果表明, 宽杆芥菜幼苗在不同氮素处理水平的作用下, 芥菜叶片中的 MDA 含量有一定的差异(图 3)。从图 3 可知, 在 N_3 处理即总氮浓度为 $9 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 时 MDA 含量最小为 $2.29 \text{ nmol}\cdot\text{g}^{-1}$, 与 N_3 处理的相比较, 其它几个处理的芥菜叶片的丙二醛含量增加了 $0.3\sim 2.54 \text{ nmol}\cdot\text{g}^{-1}$, 提高了 $13.10\%\sim 110.92\%$ 。方差分析结果表明, N_3 处理叶片的 MDA 含量与 N_0 、 N_1 和 N_2 的差异达到极显著水平, 但与 N_4 、 N_5 处理的差异只达到显著水平。营养液中总氮量较低或较高时, 芥菜叶片丙二醛(MDA)的含量均较高, 叶片膜脂的过氧化程度较严重。可见, 只有营养液中总氮量水平适当才能使芥菜叶片丙二醛含量维持在较低的水平, 减轻芥菜叶片膜脂的过氧化程度。

3 结论

随着营养液中的氮素水平的提高, 芥菜幼苗的各生长指标均有所增加。芥菜苗移栽后 14 d, 营养液中的总氮量为 $9 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ (N_3 处理) 的株高、叶数、最大叶长和最大叶宽均达到最大, 它们与 N_0 、 N_1 、 N_4 和 N_5 处理的差异均达到极显著水平。芥菜苗移栽后 42 d, 以 N_3 处理的株高、叶数、最大叶长均为最高, 株高与 N_0 、 N_4 、和 N_5 处理的差异均达到极显著水平, 叶数、最大叶宽与 N_0 和 N_5 处理的差异均达到极显著水平, 最大叶长与 N_0 处理的差异达到显著水平。总氮量为 $9 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ (N_3 处理) 芥菜幼苗和根系生长最好, 地上部鲜重、总生物量的鲜重、最长根长与其它各处理的差异均达到极显著水平, 地下部的鲜重、根系活跃吸收面积与 N_0 和 N_5 处理的差异达极显著水平。可见, 适宜的氮素水平能改善芥菜叶片的生长状况, 促进生物量的累积以及根系的生长。

随着营养液中的总氮量的增加, 芥菜叶片中

CAT 活性、POD 活性等也增高。营养液中的总氮量为 $9 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ (N_3 处理) CAT 和 POD 活性均较高, MDA 含量最小, CAT 活性、MDA 含量与 N_0 、 N_1 和 N_2 的差异达到极显著水平, POD 活性与 N_0 的差异达到极显著水平。可见, 适宜的总氮量水平能提高芥菜叶片的 CAT 活性和 POD 活性, 使芥菜叶片丙二醛含量维持在较低的水平, 减轻芥菜叶片膜脂的过氧化程度。

因此, 在本试验条件下, 营养液中的总氮量为 $9 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ (N_3 处理) 芥菜的幼苗生长和酶活性指标最好。建议营养液中施总氮量为 $9 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 。

参考文献:

- [1] 张平, 索滨华, 郭世伟, 等. 基肥氮素水平与人参碳氮代谢[J]. 吉林农业大学学报, 1995, 17(2): 63-67.
- [2] 杨永胜. 供氮水平对玉米生长性状及产量的影响[J]. 河北农业科学, 2009, 13(6): 42.
- [3] 段云青, 王艳. cd 胁迫对油菜和小白菜苗 POD、POD 和 SOD 活性的影响[J]. 山西农业大学学报, 2005, 25(1): 54-57.
- [4] 克热木, 伊力, 袁琳, 等. 盐胁迫对阿月浑子 SOD、CAT、POD 活性的影响[J]. 新疆农业科学, 2004, 41(3): 129-134.
- [5] 向言词, 易俗, 王瑞兰, 等. 铀尾矿胁迫对水稻幼苗 POD 活性、MDA 含量的影响[J]. 湘潭师范学院学报, 2005, 27(1): 79-81.
- [6] 张英鹏, 林咸永, 章永松. 供氮水平对菠菜营养品质和体内抗氧化酶活性的影响[J]. 应用生态学报, 2005, 16(3): 519-523.
- [7] 西北农学院, 华南农业大学. 农业化学研究法[M]. 2 版. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [8] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1999.
- [9] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [10] 王晶英. 植物生理生化实验技术与原理[M]. 北京: 东北林业大学出版社, 2003: 83.
- [11] 张志良. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 1990: 154-155.
- [12] 西北农业大学植物生理教研组. 植物生理学实验指导[M]. 西安: 陕西科学出版社, 1987: 58-59.