

供氮水平对苦苣生长、光合特性及活性氧清除能力的影响

马亚东^{1,2}, 刘慧英^{1,2}, 张筱茜^{1,2}, 刘亚萍^{1,2}, 刁明^{1,2}

(1. 石河子大学 农学院, 新疆 石河子 832000; 2. 特色果蔬栽培生理与种质资源创新利用兵团重点实验室, 新疆 石河子 832003)

摘 要:以苦苣为试材, 采用营养液栽培法, 研究了不同供氮水平对苦苣生长、根系活力、叶片叶绿素相对含量(SPAD 值)、光合气体交换参数、 H_2O_2 和丙二醛(MDA)含量以及活性氧清除能力的影响。结果表明:在 5 个不同供氮处理水平中, $8\text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ (N8) 的施氮水平下苦苣植株生长最佳, 这与植株具有较高水平的根系活力、SPAD 值、净光合速率(Pn)和较高的活性氧清除能力、较低的膜脂过氧化程度有关。而低氮($2.5\text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$)或高氮供应水平($11, 14\text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$)因不同程度降低苦苣植株根系活力、叶片光合色素含量和活性氧清除能力, 导致 H_2O_2 过量积累、膜脂过氧化加剧, 细胞膜的结构及功能受损伤, 从而抑制苦苣植株的光合作用和生长。

关键词:苦苣; 氮素水平; 生长; 光合特性; 活性氧清除能力

中图分类号:S 636.906⁺.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2016)15-0021-06

苦苣(*Cichorium endivia* L.) 属菊科(Compositae)苦苣属(*Sonchus*) 一年或二年生的草本植物, 别名苦菜、菊苣、明目菜等。近年来, 因苦苣具有抗菌、解热、消炎、明目和降血糖、血压、抑制肿瘤和抗氧化等保健作用^[1-2], 已成为目前人们喜食和设施生产普遍栽培的主要叶菜之一。

氮是植物必需的大量营养元素之一, 对蔬菜作物的生长发育、产量形成与品质好坏有极为重要的作用。许多研究和生产已证明, 通过氮素营养的调控是协调作物生长与光合生产的重要手段之一^[3]。但目前我国蔬菜生产, 尤其是叶菜类蔬菜生产在氮素施肥方面存在过量施肥、氮素吸收率较低等问题, 不仅造成肥料浪费、成本增加, 而且会严重影响蔬菜的生长和产品品质。蒋达波等^[4] 研究指出, 重度和轻度氮素胁迫均降低玉米叶片的净光合速率, 轻度氮素胁迫显著降低玉米气孔导度和蒸腾强度。陈修斌等^[5] 认为, 氮肥供应过多或过少都会影响到番茄群体光合作用的进行, 进而影响番茄植株生长和产量的高低。

许多研究表明, 氮素胁迫可以通过影响植物体内抗氧化物质含量及抗氧化酶活性, 导致氧化伤害损伤来影响植物的生长。马宗斌等^[6] 和赵长星等^[7] 亦指出施氮量过高会导致植株叶片超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)活性下降, 丙二醛(MDA)含量增加, 膜脂过氧化程度加剧。氮素胁迫对小麦、玉米、水稻等大田作物以及小白菜、黄瓜、生菜和菠菜等蔬菜作物的生长、抗氧化系统及光合特性方面已经做了很多研究, 但目前氮素营养对苦苣生长、光合作用及抗氧化系统影响的研究鲜见报道。

因此, 该试验通过不同氮素水平水培试验, 研究氮素营养对苦苣生长特性、光合特性以及抗氧化能力等方面的影响, 以期对苦苣种植的合理施肥, 提高其产量和品质提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试苦苣品种为北京绿东方农业技术研究所生产的“细叶苦苣”。

1.2 试验方法

试验于石河子大学农学院试验站日光温室里进行。采用水培的方式进行。种子经浸种催芽后播于 72 孔育苗穴盘, 于苦苣 3 叶 1 心时, 按 $20\text{ cm} \times 15\text{ cm}$ 的密度定植于 50 L 水培槽中, 水培槽为 200 cm (长) $\times 30\text{ cm}$ (宽) $\times 15\text{ cm}$ (高) 的 PE 半圆管。营养液配方以华南农业大学

第一作者简介:马亚东(1992-), 男, 安徽蒙城人, 硕士研究生, 研究方向为设施作物栽培生理。E-mail:1595990994@qq.com.

责任作者:刁明(1968-), 男, 新疆吐鲁番人, 博士, 教授, 现主要从事作物模拟模型与精准农业等研究工作。

基金项目:国家星火重点资助项目(2012GA8910033, 2015GA891008); 国家自然科学基金资助项目(31360478)。

收稿日期:2016-04-25

叶菜 B 的标准营养液配方为基础,其大量元素配方为硝酸钙($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)472 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、硝酸钾(KNO_3)267 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、硝酸铵(NH_4NO_3)53 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、磷酸二氢钾(KH_2PO_4)100 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、硫酸钾(K_2SO_4)116 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、七水硫酸镁($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)246 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。在其它营养元素含量不变的前提下,设置 5 个氮素浓度梯度处理,分别为 N2(2 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$)、N5(5 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$)、N8(8 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$,华南农业大学叶菜 B 配方浓度)、N11(11 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$)、N14(14 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$)。试验采用随机区组试验设计,每处理重复 3 次,每个重复 20 株。水培期间营养液进行全天人工供氧,每 2 d 调节 1 次 pH,每 7 d 更换 1 次。

1.3 项目测定

1.3.1 生长性状测定 于水培 4 周后取新鲜苦苣菜植株洗净,用吸水纸擦干、用直尺测量株高、叶长,并记录叶片数;用叶面积扫描仪(Li 3100 台式叶面积扫描仪,美国)测定叶面积;于茎基部将地上部和地下部分开,自来水冲洗 2~3 次,再用蒸馏水冲洗 2 次,然后用吸水纸吸干水后称量鲜样质量。105 $^{\circ}\text{C}$ 杀青 30 min,75 $^{\circ}\text{C}$ 烘干至恒重,称量干样质量。

1.3.2 叶绿素相对含量(SPAD 值)及光合气体交换参数测定 采用 SPAD-502 叶绿素仪测定主茎倒数第 3 叶片中部的叶绿素相对含量。用 LI-6400R 型光合仪(美国)测定主茎倒数第 3 片功能叶片的净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)、胞间 CO_2 浓度(C_i)、蒸腾速率(E)。

1.3.3 H_2O_2 和丙二醛(MDA)含量测定 H_2O_2 含量测定采用 PATTERSON 等^[8]的方法;MDA 含量测定采用 DRAPER 等^[9]的方法。

1.3.4 抗氧化酶活性和抗氧化物质含量的测定 SOD

活性的测定参照 RAO 等^[10]的方法;POD、CAT 和抗坏血酸过氧化物酶(APX)等抗氧化酶活性测定参照 ZHANG^[11]的方法;抗坏血酸(AsA)含量和谷胱甘肽(GSH)含量测定采用 LAW 等^[12]的方法。

1.4 数据分析

试验数据采用 SPSS 16.0 软件进行统计分析、Duncan's 法进行差异显著性检验,显著性水平设定为 $\alpha=0.05$;以作图软件 Origin Pro 7.5 作图。

2 结果与分析

2.1 不同氮素水平处理对苦苣生长的影响

由表 1 和表 2 可以看出,不同氮素水平处理对苦苣植株叶长、株高和地下干样质量无显著影响,但对叶片数、茎粗、叶面积、地上和地下鲜样质量及地上干样质量有影响。在施氮水平分别为 2、5、8 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 3 个处理中,苦苣的叶片数、茎粗和叶面积均表现出随着氮素浓度的增加而递增趋势,但随着氮素处理浓度(11、14 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$)的进一步提高,均呈递减趋势。N8 处理的叶片数显著高于 N2 处理,与 N5 差异不显著,但与 N11 和 N14 处理间无显著差异。N2 处理的叶片数最少,显著低于其它 4 个处理;N8 处理的茎粗显著高于其它 4 个处理。N2 处理的茎粗最小,显著低于 N11,与 N5 和 N14 处理间无显著差异;N8 处理的叶面积显著高于 N2 和 N5 处理,但与 N11 和 N14 处理间无显著差异。N2 处理的叶面积最小,显著低于 N5 处理;在不同氮素水平处理中,苦苣的地上鲜样质量和干样质量均表现出随着氮素处理浓度的增加而呈现先增后降的趋势,以 N11 处理的地上鲜样质量和干样质量最高。N8、N11、N14 处理的地上鲜样质量显著高于 N2 和 N5 处理的,而

表 1 供氮水平对苦苣形态指标的影响

Table 1 Effect of different nitrogen levels on the morphological index of endive

处理 Treatment	每株叶片数 Number of leaves/片	叶长 Leaf length/cm	株高 Plant height/cm	茎粗 Stem diameter/mm	叶面积 Leaf area/cm ²
N2	24.50±3.33c	19.87±1.01a	16.93±0.65a	3.76±0.47c	713.10±99.64c
N5	29.83±3.48b	20.25±1.72a	16.47±0.85a	4.46±0.60bc	1 020.77±127.54b
N8	34.00±3.03ab	21.05±1.96a	17.40±1.85a	6.24±0.58a	1 326.51±136.58a
N11	32.83±4.34a	21.40±1.14a	18.07±1.15a	5.98±0.43b	1 257.41±87.72a
N14	31.83±2.48ab	20.02±1.77a	16.40±1.05a	4.94±0.17c	1 184.48±114.16ab

注:不同小写字母表示处理间在 5% 水平的差异显著性,下同。

Note: Different letters above tables indicate significant difference at 5% level, the same below.

表 2 供氮水平对苦苣植株干鲜样质量的影响

Table 2 Effect of different nitrogen levels on the fresh weight and dry weight of endiveplant

$\text{g} \cdot \text{株}^{-1}$

处理 Treatment	地上鲜样质量 Shoot fresh weight	地上干样质量 Shoot dry weight	地下鲜样质量 Root fresh weight	地下干样质量 Root dry weight
N2	37.07±6.38c	2.65±0.28b	5.48±0.73b	0.56±0.14a
N5	49.58±5.52b	3.55±0.15b	7.01±0.79a	0.59±0.13a
N8	68.34±7.92a	4.47±0.32a	6.94±0.82a	0.61±0.092a
N11	71.30±11.69a	4.61±0.19a	7.62±0.98a	0.67±0.14a
N14	61.48±6.79a	3.73±0.38b	5.47±1.04b	0.52±0.12a

N5 处理的显著高于 N2 处理;N8、N11 处理的地上干样质量显著高于 N2、N5、N14 处理;N2 处理的地上干样质量最低,但与 N5 和 N14 处理之间差异不显著。

2.2 不同氮素水平对苦苣根系活力和叶片叶绿素相对含量(SPAD 值)的影响

由图 1 可以看出,苦苣的根系活力表现出随着施氮水平的升高先升高后下降的趋势,以 N8 处理的根系活力较高,显著高于 N2、N11、N14 处理,但与 N5 处理之间差异不显著,N14 处理的根系活力显著低于其余 4 个处

理。不同施氮水平处理之间,苦苣叶片的 SPAD 值呈先上升后不规则下降的趋势,以 N8 处理的最高,N2 处理的最低,N2 处理的 SPAD 值显著低于其余 4 个处理,N11 和 N14 处理的叶片 SPAD 值显著低于 N8 处理,但 2 个处理间差异不显著。说明在一定范围内增施氮肥可以提高作物叶片的叶绿素含量,过量增施氮肥不但不会提高作物叶片的叶绿素含量,反而会降低作物叶片的叶绿素含量。

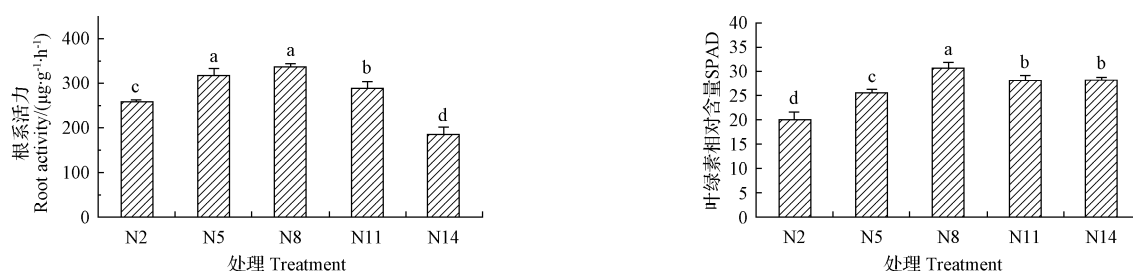


图 1 供氮水平对苦苣根系活力和叶片 SPAD 值的影响

Fig. 1 Effect of different nitrogen levels on the root activity and SPAD value in leaves of endive

2.3 不同氮素水平处理对苦苣叶片光合特性的影响

由图 2 可以看出,苦苣叶片的 Pn、Gs 和 E 均表现出随着施氮水平的升高先升高后下降的趋势,以 N8 处理的 Pn、Gs 和 E 最高。N8 处理下的 Pn 显著高于 N2、N5 和 N14 处理,但与 N11 处理间无显著性差异,N2 处理的 Pn 最低,其与 N14 处理之间无显著性差异。N8 与 N5 处理间 Gs 值无显著性差异,但均显著高于 N2、N11 和

N14 处理,而 N2、N11 与 N14 处理间无显著差异。N8 处理的 E 显著高于 N2、N11 和 N14 处理,其与 N5 处理间差异不显著,N2 和 N14 的 E 显著低于其它 3 个处理;在不同氮素浓度处理下,以 N8 处理的 Ci 最低,显著低于其它 4 个处理,N2 处理的 Ci 最高,显著高于 N11 与 N14 处理,但与 N5 处理间无显著差异。

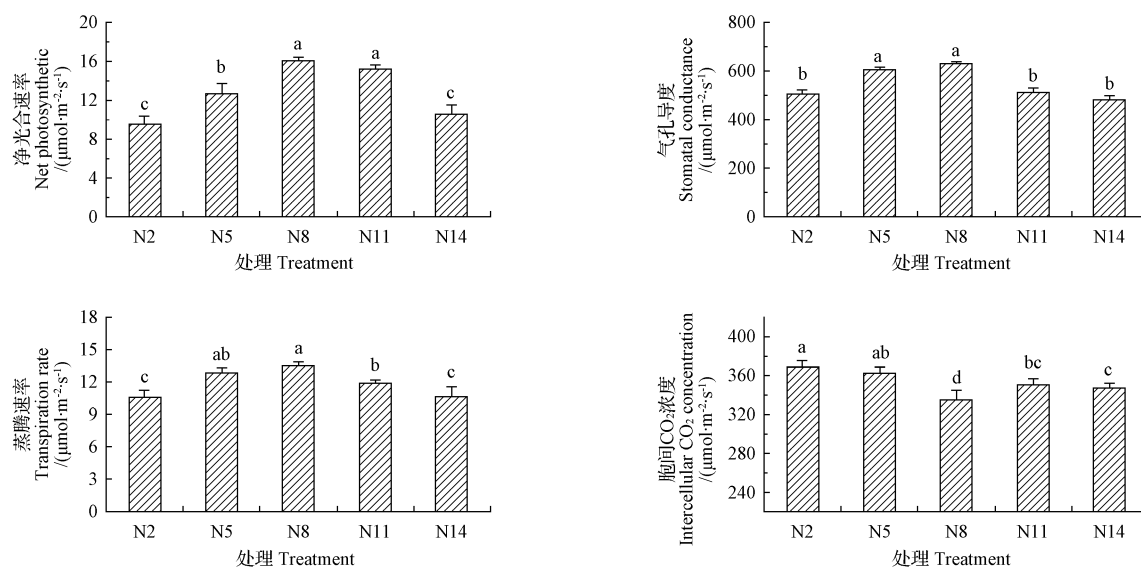


图 2 供氮水平对苦苣叶片净光合速率(Pn)、气孔导度(Gs)、蒸腾速率(E)和胞间 CO₂ 浓度(Ci)的影响

Fig. 2 Effect of different nitrogen treatments on net photosynthetic rate, stomatal conductance, transpiration rate and intercellular CO₂ concentration in leaves of endive

2.4 不同氮素水平处理对苦苣叶片 H_2O_2 和 MDA 含量的影响

由图 3 可以看出, N14 处理下苦苣叶片的 H_2O_2 含量最高, N8 处理的最低, 这 2 个处理分别显著高于和低于其它 4 个氮素处理, N2 处理的 H_2O_2 含量显著高于 N5 和 N11 处理, N5 和 N11 处理间无显著差异; 与 H_2O_2

含量变化趋势一样, N14 处理苦苣叶片的 MDA 含量显著高于其它 4 个处理, N8 处理的最低, 显著低于其它 4 个氮素处理, 且 N5 和 N11 处理间无显著差异。说明氮素浓度过低或者过高都会增加苦苣叶片的 H_2O_2 和 MDA 含量, 以 N14 处理的膜脂过氧化水平最高。

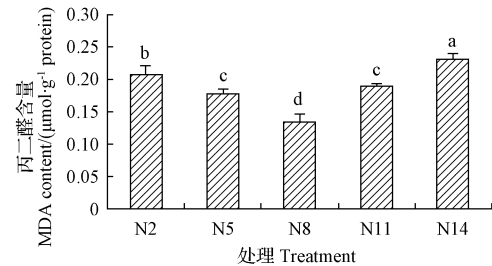
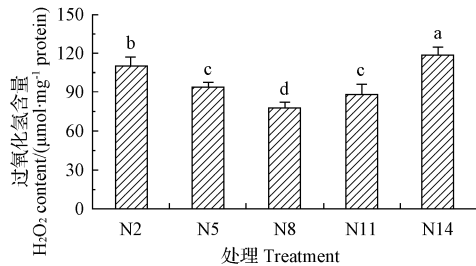


图 3 供氮水平处理对苦苣叶片 H_2O_2 和 MDA 含量的影响

Fig. 3 Effect of different nitrogen levels on H_2O_2 and MDA content in leaves of endive

2.5 不同氮素水平处理对苦苣叶片内抗氧化酶活性的影响

如图 4 所示, 不同氮素水平处理对苦苣叶片的抗氧化酶活性的影响不同。N8 处理的 SOD 活性最低, 显著低于其余 4 个处理, N2 处理的 SOD 活性最高, 显著高于 N5、N8、N14 处理, N2 与 N11 处理之间无显著差异, 而 N5 与 N11 和 N14 处理间亦无显著差异; 在各处理中, 以 N11 和 N14 处理的 POD 活性最高, 显著高于其它 3 个处理, N5 处理的 POD 活性显著低于 N2, 但与 N8 处

理无显著差异; 在施氮水平为 2、5、8 mmol·L⁻¹ 的 3 个处理中, 表现出随着氮素浓度的提高, CAT 活性逐渐上升, 当施氮水平为 11、14 mmol·L⁻¹ 时, CAT 活性下降, 显著低于 N5、N8 处理, 但与 N2 处理无显著差异, N8 处理的 CAT 活性最高, 显著高于其它 4 个处理; 在不同氮素浓度处理下, N8 处理的 APX 酶活性最高, 其次是 N11 处理, 这 2 个处理间无显著差异, 但均显著高于其它 4 个处理, N5 处理的 APX 活性显著高于 N2 处理, 但与 N14 处理间无显著差异。

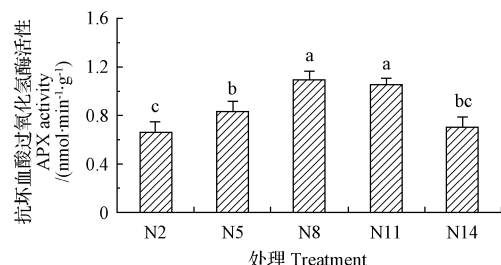
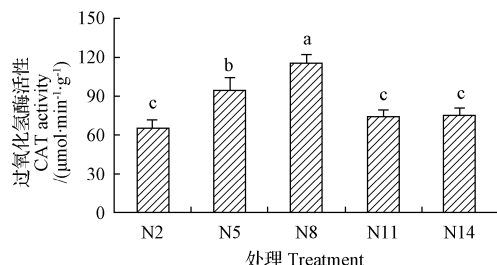
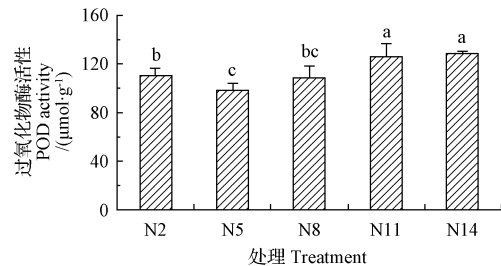
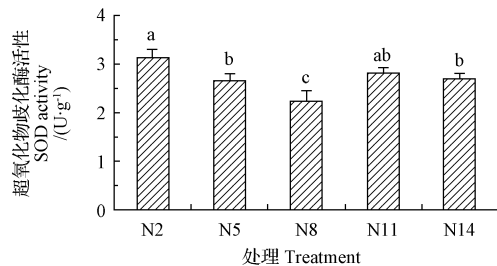


图 4 供氮水平对苦苣叶片 SOD、POD、CAT 和 APX 活性的影响

Fig. 4 Effect of different levels of nitrogen fertilization on SOD, POD, CAT and APX activities in leaves of endive

2.6 不同氮素水平处理对苦苣叶片内抗氧化物质含量的影响

由图 5 可以看出, 苦苣叶片的 AsA 含量表现出随

着施氮处理水平的升高先升高后下降的趋势, 在 N8 处理下的 AsA 含量最高。N8 处理下的 AsA 含量显著高于 N11 和 N14 处理, 但与 N2 和 N5 处理间无显著差异,

N2、N5、N11、N14 处理间无显著差异;在施氮水平为 2~8 mmol·L⁻¹ 处理下,苦苣叶片的 GSH 含量呈逐渐上升趋势,N11 处理与 N14 处理则呈现出不规则性下降,且 N8 处理下叶片的 GSH 含量显著高于其它 4 个处理的,

N5 和 N14 间无显著差异,但均显著高于 N2 和 N11 处理的。说明在低氮处理和高氮处理下,苦苣叶片抗氧化物质含量显著下降。

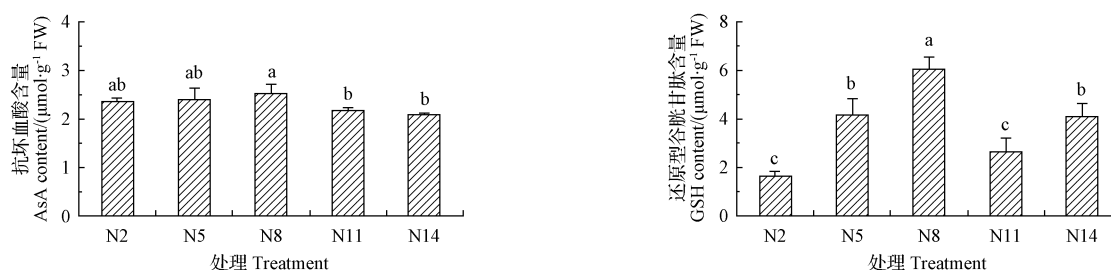


图 5 供氮水平对苦苣叶片内抗坏血酸(AsA)和谷胱甘肽(GSH)含量的影响

Fig. 5 Effect of different nitrogen treatments on the AsA and GSH contents in the leaves of endive

3 讨论与结论

氮素在植物生长发育中起到极其重要的作用,若氮素供应不足,影响蔬菜生长、产量和品质,但如果氮素供应过量,反而会导致作物减产。李俊良等^[13]研究表明,在一定施氮量范围内,大白菜的生长和产量随施氮量增加而增加,但当施氮量超过一定程度时,生长和产量反而下降。该研究亦表明,供氮水平影响苦苣的生长(表 1、2)。在施氮水平为 2、5、8 mmol·L⁻¹ 3 个处理下的苦苣的叶片数、茎粗、叶面积和施氮水平为 2、5、8、11 mmol·L⁻¹ 4 个处理下的地上、地下鲜样质量及地上干样质量均表现出随着处理浓度的升高而提高的趋势,而随着处理浓度的进一步提高,各项指标均而呈现下降趋势。各处理中,N8 处理的叶片数、茎粗和叶面积和地上鲜样质量显著高于 N2 和 N5,N5 处理的叶片数、叶面积和地上、地下鲜样质量显著高于 N2 处理,而 N11、N14 处理除茎粗显著低于 N8 处理外,其它各项指标与 N8 处理均无显著差异。说明 8 mmol·L⁻¹ (N8) 的施氮水平下苦苣植株生长最佳,而低氮(2、5 mmol·L⁻¹)或高氮水平(11、14 mmol·L⁻¹)均不同程度导致苦苣生长受抑,且低氮水平对苦苣生长的抑制作用大于高氮处理水平的。

光合作用是植物生长和产量形成的生理基础,胁迫环境下,大多数植物光合速率显著降低。一般认为影响植物光合作用的主要因素为气孔限制和非气孔限制。当植物叶片 Pn、Gs 和 Ci 同时下降,说明 Pn 的降低主要是因气孔因素所致,而 Pn、Gs 下降、Ci 升高则表明非气孔限制是 Pn 降低的主要限制因素^[14]。已有许多研究表明,在低氮和高氮浓度处理下,植物叶片的光合速率显著降低^[15-16]。该研究结果表明,N8 处理的 Pn、Gs、E 和叶绿素含量最高,Ci 最低,N2、N14 处理的 Pn、Gs 和 E 最低。同时研究发现,施氮水平为 2、5、8 mmol·L⁻¹ 3

个处理下苦苣叶片的叶绿素含量、Pn、Gs 和 E 值均随着处理浓度的升高而提高,而 Ci 则呈下降趋势。与 N8 处理相比,2 个高氮素水平(11、14 mmol·L⁻¹)处理的叶片 Ci 升高,但 Pn、Gs、E 值和叶绿素呈现不同程度的下降,且 N14 处理下叶片 Pn 和 E 值均显著低于 N11 处理。说明供氮水平影响苦苣叶片的光合作用,低氮(2、5 mmol·L⁻¹)和高氮素浓度(11、14 mmol·L⁻¹)对苦苣叶片的光合作用具有抑制作用,且非气孔限制因子是限制光合速率的主要原因。

植物在正常生长条件下,活性氧(ROS)的形成和清除之间保持一种动态平衡,而在逆境胁迫下,ROS(O₂⁻ 和 H₂O₂)大量积累导致细胞氧化伤害和膜脂过氧化。MDA 是膜脂过氧化的产物,是衡量细胞膜损伤程度的重要指标。植物在胁迫应答过程中,主动或被动地调动酶促和非酶促 2 条途径来清除活性氧和氧自由基,减缓和抵御细胞的氧化伤害。SOD 作为活性氧清除系统的第一道防线,将活性氧 O₂⁻ 快速歧化为 H₂O₂ 和 O₂,随后 H₂O₂ 的清除主要是通过 CAT、POD 与 APX 等 H₂O₂ 清除酶及 GSH 和 AsA 抗氧化剂被快速清除和还原^[17]。张英鹏等^[18]研究表明,在低氮和高氮水平处理下均导致了菠菜体内 MDA 和超氧自由基积累,从而使膜脂产生过氧化作用,影响菠菜的正常生长。该研究结果表明,低氮水平处理(N2 和 N5)叶片的 MDA、AsA 含量和 SOD 活性与 N8 无显著差异,但 H₂O₂ 含量显著高于 N8 处理,CAT 和 APX 活性、GSH 含量显著低于 N8 处理的;高氮水平(N11、N14)处理下的苦苣叶片的 H₂O₂、MDA 含量和 SOD、POD 活性提高,CAT、APX 活性和 AsA、GSH 含量下降。说明低氮水平和高氮水平处理均由于抗氧化酶活性和抗氧化剂含量降低,导致 H₂O₂ 清除能力降低,H₂O₂ 的过量积累,从而导致膜脂过氧化,影响细胞膜的结构及功能。此结果与张英鹏

等^[18]的研究结果以及鲜开梅等^[19]的研究结果相一致。

综合考虑不同氮素施用水平对植株生长性状、光合特性以及活性氧清除能力的影响,在5个不同供氮处理水平中,8 mmol·L⁻¹(N8)的施氮水平下苦苣植株生长最佳,这与植株具有较高水平的根系活力、叶片叶绿素相对含量、净光合速率和高的活性氧清除能力、较低的膜脂过氧化程度与关,而低氮(2.5 mmol·L⁻¹)或高氮供应水平(11、14 mmol·L⁻¹)因不同程度降低苦苣植株根系活力、叶片光合色素含量和活性氧清除能力,导致H₂O₂过量积累,膜脂过氧化加剧,细胞膜的结构及功能遭到破坏,从而抑制苦苣植株光合作用,导致植株生长不良。

参考文献

- [1] 徐燕,梁敬钰.苦苣菜的化学成分[J].中国药科大学学报,2005,36(5):411-413.
- [2] 马祥忠,曾阳,吴旻,等.苦苣菜属植物的化学成分及药理作用研究进展[J].青海师范大学学报(自然科学版),2011(2):49-52.
- [3] SHARMA S N. Effects of ammonium and nitrate on CO₂ assimilation, RuBPC, PEPC and dry matter production[J]. Res, 1987, 12(3): 265-272.
- [4] 蒋达波,宗秀虹,李帮秀,等.氮素胁迫对玉米光合及叶绿素荧光参数的影响[J].西南师范大学学报(自然科学版),2015,40(1):135-139.
- [5] 陈修斌,李翊华,许耀照.温室番茄对水肥耦合的光合特性及叶绿素荧光参数响应[J].土壤通报,2015,46(3):687-693.
- [6] 马宗斌,严根土,刘桂珍,等.施氮量对黄河滩区棉花叶片生理特性、干物质积累及产量的影响[J].植物营养与肥料学报,2013,19(4):849-857.
- [7] 赵长星,马东辉,王月福,等.施氮量和花后土壤含水量对小麦旗叶衰老及粒重的影响[J].应用生态学报,2008,19(11):2388-2393.
- [8] PATTERSON B D, MACRAE E A, FERGUSON I B. Estimation of

hydrogen peroxide in plants extracts using titanium(IV)[J]. Annals of Biochem, 1984, 134: 487-492.

- [9] DRAPER H H, HADLEY M. Malondialdehyde determination as index of lipid peroxidation[J]. Method Enzymol, 1990, 186: 421-431.
- [10] RAO K V M, SRESTY T V S. Antioxidant parameters in the seedlings of pigeon pea (*Cajanus cajan* L. Mill spaugh) in response to Zn and Ni stresses[J]. Plant Sci, 2000, 157: 113-128.
- [11] ZHANG X Z. The measurement and mechanism of lipid peroxidation and SOD, POD and CAT activities in biological system[M]//ZHANG X Z (Ed.). Research methodology of crop physiology. Beijing: Agriculture Press, 1992: 208-211.
- [12] LAW M Y, CHARLES S A, HALLIWELL B. Glutathione and ascorbic acid in spinach (*Spinacia oleracea*) chloroplasts[J]. Biochemical Journal, 1983, 210: 899-903.
- [13] 李俊良,陈新平,李晓林,等.大白菜氮肥施用的产量效应、品质效应和环境效应[J].土壤学报,2003,40(2):261-266.
- [14] FARQUHAR G D, SHARKEY T D. Stomatal conductance and photosynthesis[J]. Annu Rev Plant Physiol, 1982, 33: 317-345.
- [15] 李强,罗延宏,余东海,等.低氮胁迫对耐低氮玉米品种苗期光合及叶绿素荧光特性的影响[J].植物营养与肥料学报,2015,21(5):1132-1141.
- [16] 曾希柏,谢德体,青长乐,等.氮肥施用量对莴笋光合特性影响的研究[J].植物营养与肥料学报,1997,3(4):323-328.
- [17] DRAPER H H, HADLEY M. Malondialdehyde determination as index of lipid peroxidation[J]. Method Enzymol, 1990, 186: 421-431.
- [18] 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.
- [19] 鲜开梅,刘慧英.不同氮素水平对彩椒几项生理指标及活性氧清除系统的影响[J].北方园艺,2015(4):17-21.

Effect of Different Nitrogen Levels on Growth, Photosynthetic Characteristics and Reactive Oxygen Scavenging Capacity of *Cichorium endivia* L.

MA Yadong^{1,2}, LIU Huiying^{1,2}, ZHANG Xiaoqian^{1,2}, LIU Yaping^{1,2}, DIAO Ming^{1,2}

(1. College of Agronomy, Shihezi University, Shihezi, Xinjiang 832000; 2. Key Laboratory of Special Fruits and Vegetables Cultivation Physiology and Germplasm Resources Utilization of Xinjiang Production and Contruction Crops, Shihezi, Xinjiang 832003)

Abstract: With *Cichorium endivia* L. as test material, hydroponic experiments were conducted to investigate the effects of different nitrogen levels on plant growth and root activity, as well as chlorophyll relative content (SPAD value), photosynthetic gas exchange parameters, the contents of H₂O₂ and malondialdehyde (MDA) and active oxygen scavenging capacity in leaves of endive. The results showed that, the growth of endive plants under 8 mmol·L⁻¹(N8) nitrogen level treatment was the best among of five different nitrogen treatments, which was related to the higher root activity, SPAD value, net photosynthetic rate (Pn) and reactive oxygen species scavenging capability, as well as lower membrane lipid peroxidation in endive plants. Furthermore, the application of low nitrogen (2 mmol·L⁻¹, 5 mmol·L⁻¹) or high nitrogen level (11 mmol·L⁻¹, 14 mmol·L⁻¹) decreased Pn and inhibited the growth of endive plants in different degree likely due to the decrease in root activity and leaf photosynthetic pigment content and the damage in structure and function of cell membrane caused by the decrease of active oxygen scavenging capacity, which resulted in the accumulation of H₂O₂ and membrane lipid peroxidation enhancement.

Keywords: *Cichorium endivia* L.; nitrogen level; growth; photosynthetic characteristics; reactive oxygen scavenging capacity