

崔云浩,刘俊清,张帆,等.不同氮素形态配比对辣椒幼苗生长及生理特性的影响[J].江苏农业科学,2022,50(20):161-168.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.20.024

# 不同氮素形态配比对辣椒幼苗生长及生理特性的影响

崔云浩<sup>1</sup>,刘俊清<sup>2</sup>,张帆<sup>1</sup>,王军娥<sup>1</sup>,王艳芳<sup>1</sup>,石玉<sup>1</sup>

(1.山西农业大学园艺学院,山西太谷 030801;2.晋中市现代农业产业发展中心,山西榆次 030600)

**摘要:**以辣椒嫁接苗 3964 红缨枪为试材,采用水培法,研究硝态氮( $\text{NO}_3^- - \text{N}$ )和铵态氮( $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ )不同配比( $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 与 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 浓度比分别为 100:0、75:25、50:50、25:75)对辣椒幼苗生长发育、光合特性、膜脂过氧化程度、抗氧化酶活性和矿质元素含量的影响,旨在探讨适于辣椒幼苗生长的最佳氮素形态配比。结果表明,辣椒幼苗的干物质积累量、叶绿素含量、净光合速率、气孔导度和蒸腾速率均在 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 与 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 配比为 50:50 时达到最大,且丙二醛(MDA)含量降至最低。辣椒幼苗叶片的超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)和过氧化氢酶(CAT)活性随着营养液中 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 比例降低表现出先降低后升高的趋势;根系的 POD 活性与 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 占比呈负相关,CAT 活性随着 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 比例降低表现出先降低后升高的趋势,而 SOD 活性的变化趋势则与其相反。随着 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 比例的降低,叶片中磷(P)含量呈先升高后降低再升高的趋势,镁(Mg)含量呈先降低后升高的趋势,钙(Ca)含量呈逐渐降低的趋势;随着营养液中 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 比例的降低,根系中 P 含量呈先降低后升高的趋势,Mg 含量呈逐渐降低的趋势,Ca 含量呈先降低后升高的趋势;随着营养液中 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 比例的降低,叶片和根系中氮(N)含量均呈逐渐升高趋势,钾(K)含量均呈先降低后升高的趋势,微量元素含量均呈先升高后降低的趋势。综合考虑,在本试验研究条件下,施用单一形态氮素不利于辣椒幼苗的生长,生产中辣椒幼苗的氮素补充应按硝、铵态氮肥适宜配比混合施用。经隶属函数进一步综合分析得出,硝铵混合施用降低了辣椒幼苗叶片和根系中 MDA 含量,提高了抗氧化酶活性,降低了脂质过氧化伤害,均衡了矿质元素分配,提高了辣椒幼苗的生理活性,进而促进其生长,尤其是 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 浓度: $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 浓度为 50:50 时促进效果更显著。

**关键词:** $\text{NO}_3^- - \text{N}/\text{NH}_4^+ - \text{N}$  配比;辣椒;光合作用;抗氧化酶活性;隶属函数

**中图分类号:**S641.306 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2022)20-0161-07

氮素在植物的生长发育、产量与品质形成过程中均起到至关重要的作用,被誉为“生命元素”,不仅参与植物体内氨基酸、核酸、磷脂、辅酶、叶绿素等多种功能物质的合成,而且也是植物进行光合作用的重要营养因子之一,氮素通过提高植物叶片中的叶绿素含量、核酮糖-1,5-二磷酸羧化酶(Rubisco)含量以及光能分配和气孔运动等直接或间接地影响光合速率,进而影响植物的生长发育,因此,植株对于氮素的需求远高于其他元素<sup>[1]</sup>。

硝态氮( $\text{NO}_3^- - \text{N}$ )和铵态氮( $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ )是植物能够吸收利用的 2 种主要氮素形态,由于不同作物

对不同氮源具有偏向选择性<sup>[2]</sup>,且作物对不同形态氮素的吸收、转运、同化方式不同,导致不同氮素形态配比对作物生理代谢活动的影响也存在差异<sup>[3]</sup>。单一供应 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 会对植株造成铵盐毒害,导致植株生长受抑<sup>[4]</sup>,另外作物在吸收单一 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 时须要吸收阴离子维持电荷,这会导致土壤 pH 值降低,抑制植株对 $\text{Ca}^{2+}$ 和 $\text{Mg}^{2+}$ 等二价阳离子的吸收,极易导致果实出现缺钙的脐腐病,也会影响叶绿素的合成,影响植株光合作用,进而导致作物生长不良<sup>[5]</sup>。单一供应 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 会导致土壤 pH 值升高,限制作物地下部生长,导致植株根系发育不良从而影响植株对 $\text{Fe}^{2+}$ 和其他微量元素的吸收转运,影响作物的生长发育以及叶绿素的合成,从而影响植物的光合作用,对于蔬菜作物而言,还可能使其可食用部分硝酸盐累积量偏高,降低其营养价值<sup>[6]</sup>。

对大多数植株而言,2 种形态氮配施会最大限度的促进植株生长<sup>[7-8]</sup>。研究表明,适宜的 $\text{NO}_3^- - \text{N}$

收稿日期:2021-11-18

基金项目:山西省重点研发计划项目(编号:201903D221065);山西农业大学教学改革项目(编号:YB-202116)。

作者简介:崔云浩(1998—),男,山西太原人,硕士研究生,主要从事设施蔬菜栽培生理研究。E-mail:13593192563@163.com。

通信作者:石玉,博士,副教授,主要从事设施蔬菜栽培生理研究。E-mail:ayu-shi@163.com。

与  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  配比可显著提高玉米、宽叶绿绒蒿、天门冬等的生长,提升叶片中的叶绿素含量,提高光能转化效率,提升光合速率,促进光合同化产物的积累<sup>[9-11]</sup>。王晋等的研究表明,营养液中  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  浓度 :  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  浓度为 7.5 : 2.5 时,油麦菜抗氧化酶活性最高,丙二醛(MDA)和脯氨酸含量最低,受氧化胁迫程度最低,氮同化速率和可溶性糖积累较快;最适宜油麦菜根系生长。在硝酸盐积累方面,用  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  部分代替  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  可以显著降低硝酸盐含量<sup>[12]</sup>。研究发现,在盐胁迫下, $\text{NO}_3^- - \text{N}$  与  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  混合配施比单独施用  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  或  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  效果好,并且  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  浓度 :  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  浓度为 25 : 75 时更有利于维持抗氧化酶及氮代谢酶活性,缓解盐胁迫对紫苏幼苗生长的抑制,促进鲜质量和干质量的增加,从而有助于增强紫苏的抗盐性<sup>[13]</sup>。低温胁迫下, $\text{NO}_3^- - \text{N}$  和  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  混合施用提高了棉花幼苗抗氧化酶活性,促进了活性氧代谢,降低了活性氧积累对植株细胞造成的损伤,增强了棉花幼苗对低温的抗性, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  浓度 :  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  浓度为 50 : 50 时效果更显著<sup>[14]</sup>。

辣椒(*Capsicum annum* L.)作为经济效益较高的蔬菜作物,在我国各地区广泛种植。辣椒喜肥,耐肥能力强,整个生长期离不开氮肥<sup>[15-16]</sup>,近年来,生产者为了追求蔬菜高产、稳产、经济效益的最大化,采取“大水大肥”的管理措施,且在肥料施用过程中盲目施用氮肥,尤其是单一形态氮肥的施用,导致土壤氮营养比例失调,严重影响了作物的生长发育,阻碍了农业生产的可持续发展。本研究通过探究不同氮素配比对辣椒幼苗生长、光合参数、膜脂过氧化及抗氧化酶活性的影响,以期为培育优质辣椒幼苗提供理论依据。

## 1 试验与设计

### 1.1 试验材料与方法

本试验于 2020 年在山西农业大学园艺试验站进行。辣椒嫁接苗 3964 红缨枪由山东伟两种苗有限公司提供,其中 3964 为接穗,红缨枪为砧木。待辣椒幼苗长至 3 叶 1 心时,选择长势基本一致的幼苗作为试材,将辣椒幼苗根系洗净,移入装有 10 L 营养液(1/4 日本山崎辣椒配方营养液)的塑料水培槽中进行水培。缓苗 1 周后在山崎配方营养液总氮浓度为 9.84 mmol/L 的基础上略作改动进行不同浓度硝铵配比的营养液处理,每组处理设置 3 次重复;

在辣椒的水培过程中每 4 d 更换 1 次营养液,每天调节营养液 pH 值( $6.00 \pm 0.20$ ),增氧泵间歇通气,每隔 1 h 通气 0.5 h 时;处理 2 周后取样,用于各项指标的测定。其中试验处理按以下硝铵浓度比进行营养液处理:T1 为硝态氮浓度 : 铵态氮浓度 (100 : 0) = 9.84 mmol/L : 0.00 mmol/L;T2 为硝态氮浓度 : 铵态氮浓度 (75 : 25) = 7.38 mmol/L : 2.46 mmol/L;T3 为硝态氮浓度 : 铵态氮浓度 (50 : 50) = 4.92 mmol/L : 4.92 mmol/L;T4 为硝态氮浓度 : 铵态氮浓度 (25 : 75) = 2.46 mmol/L : 7.38 mmol/L。

### 1.2 测定指标及方法

1.2.1 生物量测定 将选取的植株幼苗充分洗净并吸干表面水分,将样品装入纸袋并做好标记,于烘箱中 105 ℃ 杀青 15 min,75 ℃ 烘至恒质量后分别测其干质量。每个处理 3 次重复。

1.2.2 生理指标测定 叶绿素含量采用乙醇提取法<sup>[17]</sup>测定;硝态氮含量采用水杨酸 - 硫酸比色法<sup>[18]</sup>测定;MDA 含量用硫代巴比妥酸法<sup>[19]</sup>测定;超氧化物歧化酶(SOD)活性采用氮蓝四唑(NBT)光还原法<sup>[20]</sup>测定,过氧化物酶(POD)活性采用愈创木酚法<sup>[20]</sup>测定;过氧化氢酶(CAT)活性采用紫外吸光度法<sup>[20]</sup>测定。每个处理 3 次重复。

1.2.3 光合参数的测定 采用美国 LI-6400 便携式光合仪,于 09:00—11:00 进行光合参数测定。当净光合速率( $P_n$ )、气孔导度( $G_s$ )、胞间二氧化碳浓度( $C_i$ )和蒸腾速率( $T_r$ )的值稳定时采集数据,并计算水分利用效率( $\text{WUE} = P_n/T_r$ 、气孔限制值( $L_s = 1 - C_i/C_a$ ),每个处理 3 次重复。

1.2.4 矿质元素含量的测定 称取 0.2 g 辣椒叶片与根系干样,采用  $\text{H}_2\text{SO}_4 - \text{H}_2\text{O}_2$  进行消煮,采用凯氏定氮法、钼锑抗比色法和火焰分光光度法分别测定辣椒植株体内大量元素(氮、磷、钾、钙、镁)与微量元素(铁、锰、锌)含量。每个处理 3 次重复。

### 1.3 数据分析

试验数据采用 SPSS 21.0 统计软件进行方差分析,用 Duncan's 新复极差法进行多重比较( $\alpha = 0.05$ ),用 Microsoft Excel 2019 与 GraphPad Prism 8 对数据作图,图中数据均为平均值  $\pm$  标准误差。

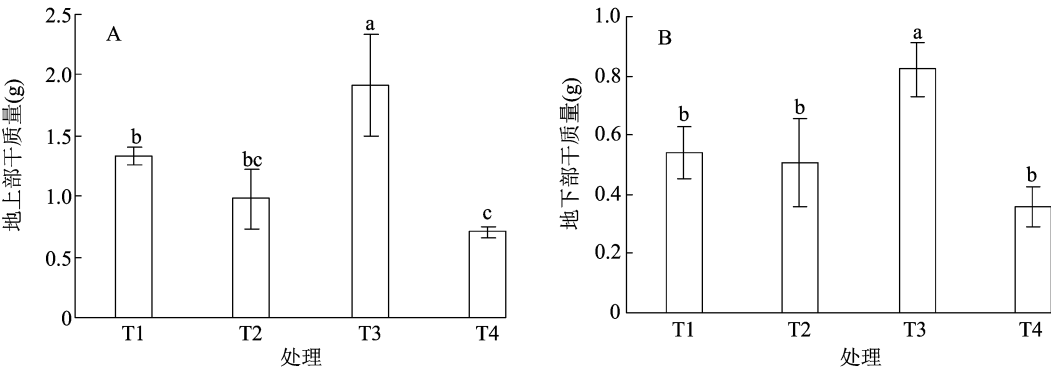
## 2 结果与分析

### 2.1 氮素形态不同配比对辣椒幼苗生物量的影响

由图 1 可知,随着营养液中  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  比例的增

大,辣椒幼苗干物质积累量均呈先增大后减小的趋势,均在 T3 处理下达最大值;与 T1 处理相比,T3 处理的辣椒幼苗地上部和地下部干质量积累分别提

高了 44.36% 和 51.85% ,T2 处理没有显著性差异, T4 处理的辣椒幼苗地上部和地下部干质量分别降低了 46.62% 和 33.33% 。



柱上不同小写字母表示处理之间差异显著(P<0.05)。下较同

图1 不同硝铵比对辣椒幼苗干物质积累量的影响

2.2 氮素形态不同对比对辣椒幼苗叶绿素含量的影响

由表 1 可知,随营养液中 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> - N 比例增大,辣椒幼苗叶绿素含量均呈先增大后减小的趋势,且在 T3 处理下达到最高,叶绿素 a 含量/叶绿素 b 含量呈

先减小后增大的趋势,在 T4 处理时达到最大值;与 T1 处理相比,T2 处理的叶绿素 a、叶绿素 b、类胡萝卜素、总叶绿素含量与叶绿素 a 含量/叶绿素 b 含量变化不显著;T4 处理叶绿素 b 含量显著降低了 20.48%, 叶绿素 a 含量/叶绿素 b 含量显著提高了 17.27% 。

表 1 不同硝铵比对辣椒叶绿素含量的影响

处理	叶绿素 a 含量 (mg/g)	叶绿素 b 含量 (mg/g)	类胡萝卜素含量 (mg/g)	总叶绿素含量 (mg/g)	叶绿素 a 含量/ 叶绿素 b 含量
T1	2.31 ± 0.06ab	0.83 ± 0.03a	0.41 ± 0.001ab	3.15 ± 0.09ab	2.78 ± 0.03b
T2	2.05 ± 0.16b	0.82 ± 0.04a	0.35 ± 0.02b	2.87 ± 0.21b	2.50 ± 0.01b
T3	2.53 ± 0.08a	0.87 ± 0.02a	0.45 ± 0.03a	3.41 ± 0.08a	2.91 ± 0.11b
T4	2.15 ± 0.01b	0.66 ± 0.04b	0.41 ± 0.04ab	2.80 ± 0.03b	3.26 ± 0.03a

注:同列数据后不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著,下表同。

2.3 氮素形态不同对比对辣椒幼苗光合参数的影响

由图 2 可知,随着营养液中 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> - N 比例的增大,辣椒幼苗净光合速率呈现先上升后下降的趋势,且在 T3 处理下达到最高;与 T1 处理相比,T2 处理的净光合速率与气孔导度分别提高了 0.26、2.00 倍,胞间二氧化碳浓度与蒸腾速率分别提高了 0.56、1.58 倍,气孔限制值和水分利用效率分别降低了 46.43% 和 53.18% ;T3 处理净光合速率与气孔导度分别提高了 0.24、2.86 倍,胞间二氧化碳浓度与蒸腾速率分别提高了 0.64、2.27 倍,气孔限制值降低了 62.22% ,水分利用效率降低了 59.33% ;T4 处理净光合速率降低了 33.18% ,胞间二氧化碳浓度提高了 16.64% ,气孔限制值和水分利用效率分别降低了 14.82% 和 32.39% 。

2.4 氮素形态不同对比对辣椒幼苗硝态氮含量的影响

由图 3 可知,随着营养液中 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> - N 比例的增大,辣椒幼苗中硝态氮含量呈先下降后升高的趋势,且在 T3 处理下达到最小值。与 T1 处理相比, T2 处理叶片与根系中硝态氮含量分别降低了 34.37% 和 20.00% ;T3 处理叶片与根系中硝态氮含量分别降低了 56.33% 和 25.49% ;T4 处理叶片与根系中硝态氮含量分别降低了 16.14% 和 10.15% 。

2.5 不同硝铵比对辣椒幼苗丙二醛含量的影响

由图 4 可以看出,随着营养液中 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> - N 比例的降低,辣椒幼苗叶片与根系中 MDA 含量均呈现先降低后升高的趋势,且在 T3 处理下达到最小值。与 T1 处理相比,T2 处理叶片与根系中 MDA 含量分别降低 44.30% 和 7.17% ;T3 处理叶片与根系 MDA

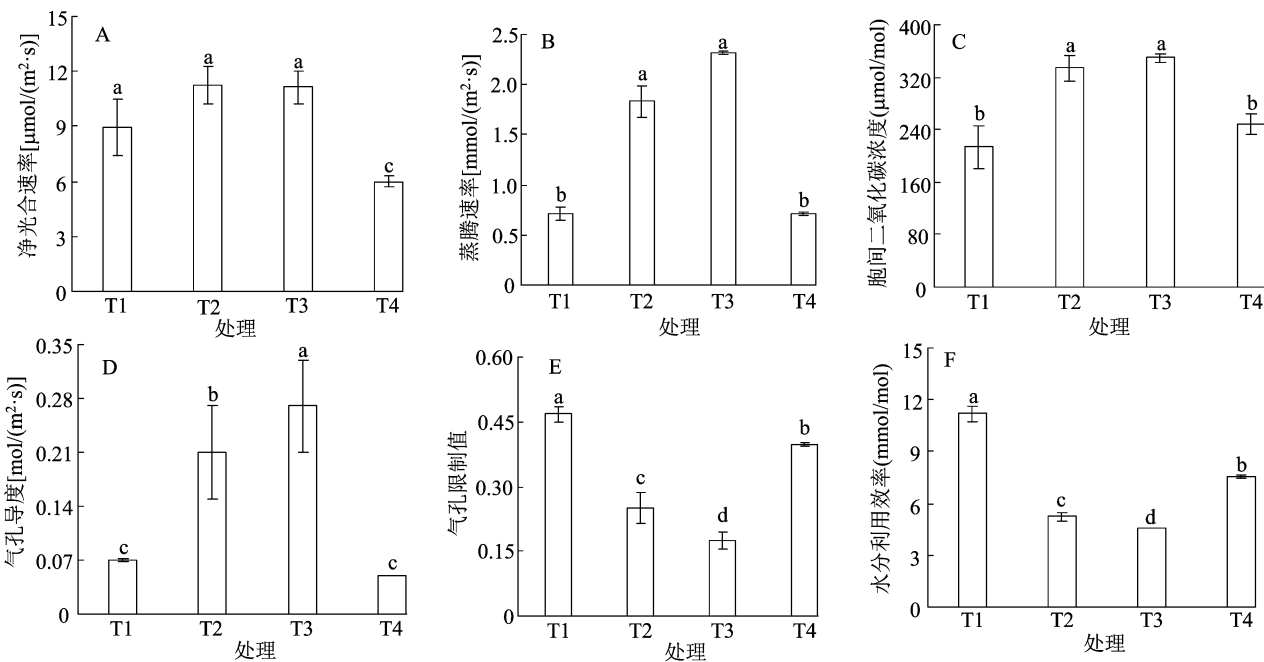


图2 不同硝铵比对辣椒幼苗光合参数的影响

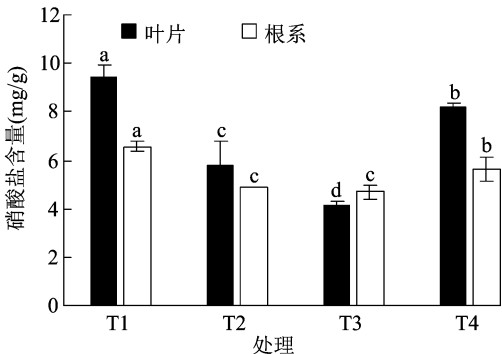


图3 不同硝铵比对辣椒幼苗硝态氮含量的影响

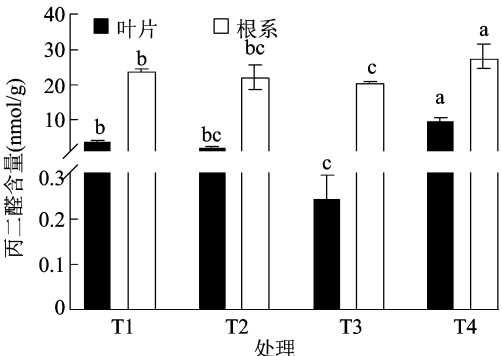


图4 不同硝铵比对辣椒幼苗丙二醛含量的影响

含量分别降低了 93.66% 和 13.99%；T4 处理叶片与根系 MDA 含量分别提高了 1.48、0.15 倍。

2.6 氮素形态不同配比对辣椒幼苗抗氧化酶活性的影响

由表 2 可知,随着营养液中  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  比例的增大,辣椒幼苗叶片中 SOD、POD 和 CAT 活性均表现

为先降低后升高的趋势,SOD 活性在 T3 处理下最低;与 T1 处理相比,T3 处理下辣椒叶片 SOD 活性降低了 11.42%,POD 与 CAT 活性分别降低了 41.25% 和 6.38%;POD 和 CAT 活性分别在 T3 和 T2 处理下活性最低,与 T1 处理相比,T2 处理下辣椒叶片 SOD、POD、CAT 活性分别降低了 7.95%、6.99%、25.95%;随着营养液中  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  比例的降低,辣椒幼苗根系中 SOD 活性在 T3 处理下达到最低,与 T1 处理相比,辣椒幼苗根系中 SOD 活性降低了 17.62%;POD 活性在 T4 处理下达到最小值,降低了 27.16%;CAT 活性在 T3 处理下达到最大值,升高了 26.24%。

2.7 氮素形态不同比对辣椒幼苗矿质元素含量的影响

由表 3 可以看出,随着营养液中  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  比例的增大,辣椒幼苗叶片和根系中大量元素 N 含量呈逐渐上升趋势,在 T4 处理时达到最大;K 含量呈先降低后升高的趋势,在 T1 处理时达到最大。与 T1 处理相比,T3 处理下辣椒叶片中大量元素 N 和 P 的含量分别提高了 18.85% 和 23.63%,K、Ca 和 Mg 含量分别降低了 38.46%、29.76% 和 50.69%,根系中大量元素 N 的含量提高了 12.52%,P、K、Ca 和 Mg 含量均有所下降,降幅分别达到 17.72%、39.29%、88.17% 和 21.96%。随着营养液中  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  比例的降低,辣椒幼苗叶片和根系中微量元素含量均呈先上升后下降的趋势,在 T3 处理时达到最大;与 T1

表2 不同硝铵比对辣椒幼苗的抗氧化酶活性的影响

处理	超氧化物歧化酶活性[U/(g·h)]		过氧化物酶活性[U/(g·min)]		过氧化氢酶活性[U/(g·min)]	
	叶	根	叶	根	叶	根
T1	412.43±2.70a	176.23±4.37b	1 187.00±7.00b	1 851.25±128.25b	1 069.17±4.15b	296.18±3.30b
T2	379.64±3.17c	187.98±4.43a	1 104.00±40.00c	2 366.25±89.25a	791.77±4.76d	262.95±3.33c
T3	365.31±3.10d	145.17±2.36c	870.50±5.50d	1 552.25±17.75c	1 000.93±2.87c	373.89±7.83a
T4	399.54±0.76b	177.38±1.10b	1 638.00±49.00a	1 348.50±18.00d	1 391.30±2.14a	239.47±2.80d

表3 不同硝酸比对辣椒幼苗矿质元素含量的影响

处理	部位	微量元素含量(mg)			大量元素含量(g)				
		Fe	Mn	Zn	N	P	K	Ca	Mg
T1	叶片	65.04±0.46b	1.21±0.00d	0.66±0.00b	5.04±0.40c	5.84±0.13c	0.26±0.00a	31.75±3.47a	72.80±3.53a
	根	15.92±0.20b	1.63±0.37d	0.40±0.08a	6.23±0.10d	6.60±1.04b	0.28±0.01a	33.80±2.59a	81.75±0.35a
T2	叶片	66.44±0.87b	6.06±0.54b	0.48±0.01c	5.67±0.01b	7.93±0.12b	0.17±0.03b	27.50±2.12ab	49.40±0.42b
	根	20.85±0.41b	3.04±0.12c	0.44±0.07a	6.64±0.12c	5.35±0.07b	0.28±0.00a	24.40±0.57ab	64.20±1.27b
T3	叶片	72.65±0.32a	11.89±0.43a	0.78±0.04a	5.99±0.04ab	7.22±0.57ab	0.16±0.01b	22.30±1.56b	35.90±2.97c
	根	55.44±3.16a	6.51±0.43a	0.55±0.01a	7.01±0.00b	5.43±0.01b	0.17±0.01c	4.00±0.14c	63.80±6.65b
T4	叶片	52.75±0.32c	3.21±0.50c	0.65±0.03b	6.51±0.09a	13.70±1.35a	0.24±0.01a	15.05±0.21c	47.05±1.34b
	根	25.36±0.49c	4.81±0.06b	0.12±0.02b	7.64±0.09a	10.94±0.31a	0.22±0.02b	14.30±0.85bc	41.65±6.29c

处理相比,T3 处理下辣椒叶片中 Fe、Mn 含量分别升高了0.11、8.83 倍,根系中 Fe、Mn 含量分别升高了1.52、2.99 倍。

2.8 氮素形态不同配比对辣椒幼苗生长及生理指标影响的综合评价

以生长指标为鉴定指标对不同硝铵配比水培的辣椒幼苗进行隶属函数分析。由表 4 可知,辣椒生长状况平均隶属函数值表现为 T3>T2>T1>T4,由此可见,辣椒幼苗生长状况随着营养液中铵态氮含量增加呈现先升高后降低的趋势,其中 T3 处理辣椒幼苗的生长状况最佳。以生理指标为鉴定指标对不同硝铵配比辣椒幼苗进行隶属函数分析。由表 5 可知,辣椒生理指标的平均隶属函数值表现为 T3>T2>T4>T1。综上所述,以生长及生理指标为评价指标的平均隶属函数值对各处理进行综合评价可知,T3 处理时辣椒幼苗的生长发育及生理状况最佳(表 6)。

3 讨论与结论

生物量是反映植株生长发育状况的重要指标之一<sup>[21]</sup>。而不同形态氮素可以通过影响植株的生长代谢,调控植株的生长发育,单一硝态氮或单一铵态氮处理分别会导致土壤碱化和酸化,阻碍植株根系对土壤中矿质元素的吸收<sup>[22]</sup>。与单一硝态氮相比适量增铵能够调节土壤 pH 值并促进植株根系发育,提高根系对水分及营养元素的吸收与转运能

表4 不同硝铵比对辣椒幼苗生长指标影响的综合评价

项目	隶属函数值			
	T1	T2	T3	T4
U1	0.51	0.22	1.00	0.00
U2	0.39	0.33	1.00	0.00
U3	0.54	0.00	1.00	0.21
U4	0.81	0.76	1.00	0.00
U5	0.60	0.00	1.00	0.60
U6	0.57	0.02	1.00	0.00
U7	0.56	1.00	0.98	0.00
U8	0.09	0.73	1.00	0.00
U9	0.00	0.88	1.00	0.26
U10	0.00	0.70	1.00	0.00
U11	0.00	0.76	1.00	0.24
U12	1.00	0.10	0.00	0.45
均值	0.42	0.46	0.91	0.15
排名	3	2	1	4

注:U1 为地上部干质量;U2 为地下部干质量;U3 为叶绿素 a 含量;U4 为叶绿素 b 含量;U5 为类胡萝卜素含量;U6 为总叶绿素含量;U7 为净光合速率;U8 为气孔导度;U9 为胞间二氧化碳浓度;U10 为蒸腾速率;U11 为气孔限制值;U12 为水分利用效率。

力,促进干物质的积累<sup>[23]</sup>。张淑英等研究发现,营养液增铵处理对棉花苗生物量的影响效果均表现出铵硝混合优于纯 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 或纯 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 处理,干物质积累量在 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 浓度: NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 浓度为 50:50 处理时达到最大值<sup>[14]</sup>。本试验结果表明,辣椒幼苗的生物量随着营养液中铵态氮含量的增加呈先增加后降低的趋势,并在 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 浓度: NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 浓度为 50:50 处理下达最大值,这与

表 5 不同硝铵比对辣椒幼苗生理指标影响的综合评价

项目	隶属函数值			
	T1	T2	T3	T4
U13	0.00	0.61	1.00	0.29
U14	0.00	0.78	1.00	0.40
U15	0.61	0.80	1.00	0.00
U16	0.52	0.77	1.00	0.00
U17	0.73	0.00	0.30	1.00
U18	0.75	0.00	1.00	0.73
U19	0.41	0.30	0.00	1.00
U20	0.49	1.00	0.20	0.00
U21	0.46	0.00	0.35	1.00
U22	0.00	1.00	0.18	0.43
均值	0.40	0.53	0.60	0.48
排名	4	2	1	3

注:U13 为叶片硝态氮含量;U14 为根系硝态氮含量;U15 为叶片 MDA 含量;U16 为根系 MDA 含量;U17 为叶片 SOD 活性;U18 为根系 SOD 活性;U19 为叶片 POD 活性;U20 为根系 POD 活性;U21 为叶片 CAT 活性;U22 为根系 CAT 活性。

表 6 不同硝铵比对辣椒幼苗影响的综合评价

处理	隶属函数值			
	生长指标	生理指标	均值	排名
T1	0.42	0.40	0.41	3
T2	0.46	0.53	0.50	2
T3	0.91	0.60	0.76	1
T4	0.15	0.48	0.32	4

前人的研究结果<sup>[14]</sup>一致,主要是因为适量增加铵态氮比例可以促进根系的生长发育和氮素的积累<sup>[24]</sup>,但是当根系环境中铵态氮含量过高时,会对植株造成铵盐毒害<sup>[25]</sup>。与铵态氮相比硝态氮不仅是一种氮素营养,还可以作为一种信号分子诱导细胞产生细胞分裂素与生长素,但营养液中较高的硝态氮含量会抑制硝态氮的诱导作用,进而影响植株幼苗的生长<sup>[26]</sup>。

叶绿素是绿色植物叶绿体中的主要色素,其含量是影响植株光合速率与产物积累的关键因素之一<sup>[27]</sup>。硝态氮与铵态氮在植物的叶绿素合成及光合作用过程中都起到非常重要的作用<sup>[28]</sup>。氮素是叶绿素分子的重要构成要素,植物吸收的氮约有 50% 被分配到光合器官中用来合成叶绿素 a 和叶绿素 b 等叶绿素分子<sup>[29]</sup>。本试验结果表明,合理范围内增施铵态氮肥,辣椒幼苗的光合色素含量和净光合速率均显著提高,有研究指出,铵硝等量供应时植物能够积累较多的叶绿素<sup>[30-31]</sup>,因为适量增铵不仅会改善根际土壤 pH 值,促进植物根系对金属阳离子的吸收,还会提高 5-氨基乙酰丙酸的含量,促

进光合色素合成,同时适量增铵可以促进叶片生长,增大叶面积提高植株光能捕捉能力,提高叶片气孔导度,促进植株与外界进行气体交换,提高植株光合效率<sup>[32]</sup>。胡海非等研究发现,油麦菜硝态氮处理对于叶绿素相对含量与叶绿素荧光参数的影响明显高于铵态氮处理<sup>[33]</sup>。本研究同样发现,当营养液中硝态氮含量较高时辣椒叶片中叶绿素含量与光合参数显著高于铵态氮含量高的状态,而这一现象则与植株对 2 种形态氮素的吸收与代谢方式不同相关,研究发现,硝态氮以主动吸收为主,除植物生长所需的氮素外,过量的硝态氮进入生物膜并储存于植物液泡中,促进植株体内的离子平衡与光合同化物积累,同时也不会对植株体内其他的生理代谢活动产生不良影响;而铵态氮以被动吸收为主,扩散进入生物膜并破坏膜结构,减弱氧化磷酸化反应,使光合磷酸化和非光合磷酸化解偶联,导致生成的腺嘌呤核苷三磷酸(ATP)数量减少,从而抑制 CO<sub>2</sub> 对碳的固定,降低植物的光合速率<sup>[2,34-35]</sup>。当营养液中铵硝比大于 1 时,辣椒叶片中叶绿素含量及光合速率降低,该结果与张国斌等的研究结果<sup>[17]</sup>一致。植株根际环境中铵态氮含量过高,会导致铵离子在植株体内聚集,破坏类囊体结构,导致叶片中类囊体系统松散,类囊体聚集程度变低,阻碍质子与碳水化合物形成,进而阻碍光合色素的形成与光合进程<sup>[36]</sup>。

植株受到胁迫后其体内活性氧自由基的产生和清除系统会遭到破坏,活性氧自由基的产生速率明显高于清除速率,体内活性氧自由基过度积累,自由基启动膜脂过氧化作用,使过氧化产物 MDA 大量积累,其含量大小可直接反映膜受损伤的程度,含量越高表明细胞组织的保护能力越差,植物抵抗胁迫的能力越弱,受胁迫影响越严重。植物能够通过抗氧化酶系统清除由于逆境所产生的大量活性氧,保证活性氧代谢处于平衡状态,进而提高植株抗性,保证植物的正常生长<sup>[4]</sup>。王晋等研究发现,水培条件下增加营养液铵态氮含量会促进油麦菜中 MDA 与脯氨酸的合成进而激活植株抗氧化酶系统,导致 SOD 活性呈现先升高后降低的趋势,而 POD 和 CAT 活性呈现先降低后升高的趋势<sup>[12]</sup>。而张淑英等的研究表明,棉花幼苗的 SOD 和 CAT 活性随着铵比例的增加逐渐增大,POD 活性随着营养液中铵比例的增加而呈现出先降低后升高的趋势<sup>[14]</sup>。由此看出,不同铵硝营养对植物抗氧化酶活性影响因植物种类不同而异。本试验结果表明,辣

椒幼苗叶片和根系中随营养液中铵态氮比例的增加会导致过氧化产物 MDA 的积累,在  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  浓度 :  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  浓度比例为 50 : 50 时达到最小值,此时 SOD 活性降低,但 POD 和 CAT 活性升高,且膜脂过氧化产物 MDA 含量较低,表明在 SOD、POD 和 CAT 等保护酶共同作用下可以缓解膜脂过氧化对辣椒幼苗的伤害,铵态氮比例最高时膜脂过氧化产物 MDA 显著积累,POD 和 CAT 活性较高,而 SOD 活性较低,这一结果与胡琳莉等对白菜的研究结果相似,这表明铵态氮比例高时植株中 SOD 在抗氧化过程中并没有起到关键性作用,虽然 POD 和 CAT 活性较高,但仍然不能有效地清除过度积累的活性氧而导致膜脂过氧化程度的加剧<sup>[37]</sup>,这也可能是铵态氮比例高条件下辣椒幼苗生长明显受抑的主要原因之一;也有学者认为,铵态氮比例高时 MDA 含量增加主要是由于纯铵条件下影响氮代谢中有关酶类的活性,促使植株体内的铵态氮过量积累,产生高铵毒害,导致细胞膜系统受到伤害,铵硝混合营养可以有效减轻铵浓度过大引起的细胞膜损伤,促进植株幼苗的生长,提高作物的抗逆境胁迫能力<sup>[14]</sup>。植物体内自由基的产生和清除关系十分复杂,营养液中不同形态氮素比条件下辣椒幼苗体内其他抗氧化酶和抗氧化剂的反应及其机制有待于进一步研究。

综上所述,适量硝铵配比可以促进辣椒叶绿素合成,提高叶片光合同化能力,促进辣椒幼苗的干物质积累,另外,适量的硝铵配比能够显著提高植株抗氧化酶活性,降低膜脂过氧化,提高植株抗性,从而促进植株生长发育。其中当硝铵比为 50 : 50 时,对辣椒幼苗的促进作用最为显著。

#### 参考文献:

- [1] 吴召林,祁娟,刘文辉,等. 氮素形态及其配比对老芒麦生长及生理特性的影响[J]. 草业科学,2020,37(5):942-951.
- [2] 张婧. 铵硝氮素比例影响辣椒生长与果实代谢的机理研究[D]. 兰州:甘肃农业大学,2020.
- [3] 郝凤,刘晓静,范俊俊.  $\text{NO}_3^- - \text{N}/\text{NH}_4^+ - \text{N}$  不同配比下紫花苜蓿氮代谢关键酶及铜、铁元素含量研究[J]. 干旱地区农业研究,2017,35(3):190-197.
- [4] 康利允,李晓慧,高宁宁,等. 不同铵硝比对甜瓜叶片生理特性及产量、品质的影响[J]. 果树学报,2021,38(5):760-770.
- [5] 徐子先,李银水,韩配配,等. 不同铵硝比对芝麻苗期光合荧光特性的影响[J]. 河南农业科学,2017,46(9):37-44.
- [6] 班甜甜,李晓慧,马超. 不同形态氮肥对黄瓜生长和营养元素吸收、利用的影响[J/OL]. 分子植物育种. (2021-06-28) [2021-10-01]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1068.S.20210628.1010.002.html>.
- [7] 韦悦,张翠平,郭双,等. 两种形态氮素及其配比对颠茄生长和氮代谢的影响[J]. 草业科学,2017,34(8):1669-1676.
- [8] 薛泽政,王世伟,丁俊杰,等. 不同形态氮素配比对核桃幼苗生长指标的影响[J]. 北方园艺,2020(19):40-45.
- [9] 刘会玲,沙晓晴,彭正萍. 不同形态氮源对玉米幼苗生长及根际环境的影响[J]. 江苏农业科学,2016,44(6):135-139.
- [10] 梁娟,叶漪,杨伟. 不同氮素形态及配比对天门冬生长和品质的影响[J]. 中国土壤与肥料,2018(1):28-31.
- [11] 刘建,蒋伟,贾维嘉,等. 不同氮素形态对宽叶绿绒蒿幼苗表型及光合荧光的影响[J]. 西南农业学报,2021,34(8):1608-1615.
- [12] 王晋,周相助,胡海非,等. 硝态和铵态氮配比对水培油麦菜苗期生长及生理特性的影响[J]. 西北植物学报,2016,36(3):542-550.
- [13] 隋利,易家宁,王康才,等. 不同氮素形态及其配比对盐胁迫下紫苏生理特性的影响[J]. 生态学杂志,2018,37(11):3277-3283.
- [14] 张淑英,褚贵新,梁永超. 不同铵硝比对低温胁迫棉花幼苗生长及抗氧化酶活性的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2017,23(3):721-729.
- [15] 马丽丽,左进华,王清,等. UV-C 处理对青椒色泽和生理品质的影响[J]. 食品科学,2021,42(3):281-288.
- [16] 韩瑛祚,司鹏飞,王秀娟,等. 减量施氮对保护地辣椒生长发育的影响[J]. 北方园艺,2017(22):71-75.
- [17] 张国斌,刘赵帆,魏红霞,等. 氮肥形态及配比对花椰菜生长和光合特性的影响[J]. 甘肃农业大学学报,2013,48(3):35-39,43.
- [18] Takács E, Técsi L. Effects of  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  ratio on photosynthetic rate, nitrate reductase activity and chloroplast ultrastructure in three cultivars of red pepper (*Capsicum annuum* L.) [J]. Journal of Plant Physiology, 1992, 140(3):298-305.
- [19] Liang Y C, Chen Q, Liu Q, et al. Exogenous silicon (Si) increases antioxidant enzyme activity and reduces lipid peroxidation in roots of salt-stressed barley (*Hordeum vulgare* L.) [J]. Journal of Plant Physiology, 2003, 160(10):1157-1164.
- [20] 王康君,樊继伟,陈凤,等. 植物对盐胁迫的响应及耐盐调控的研究进展[J]. 江西农业学报,2018,30(12):31-40.
- [21] Parida A K, Das A B. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review[J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2005, 60(3):324-349.
- [22] 苏金昌,何志强,李杰,等. 铵态氮和硝态氮肥配施对娃娃菜养分吸收利用及产量的影响[J]. 干旱地区农业研究,2017,35(4):45-53.
- [23] 章笑赞,祁百福,宋世威,等. 不同铵硝比对芥蓝伤流液组分及植株氮磷钾积累的影响[J]. 中国蔬菜,2014(1):31-36.
- [24] 庞夫花,赵密珍,王静,等. 不同形态氮肥供应对草莓宁玉生长的影响[J]. 江苏农业科学,2019,47(21):179-181.
- [25] 雷玉玲,陈紫妍,宋世威,等. 不同铵硝比对叶用莴苣生长及氮磷钾养分积累的影响[J]. 中国蔬菜,2015(9):48-52.

马慧敏,图拉,高世华.水肥互作对水曲柳氮代谢和光合特性的影响[J].江苏农业科学,2022,50(20):168-173.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.20.025

# 水肥互作对水曲柳氮代谢和光合特性的影响

马慧敏,图拉,高世华

(内蒙古农业大学职业技术学院,内蒙古包头 014109)

**摘要:**为研究水分和氮肥互作对水曲柳碳氮代谢及光合特性的影响,采用桶栽试验,设置高氮 24 g/桶(N1)、中氮 12 g/桶(N2)和低氮 0.5 g/桶(N3)等 3 个施肥水平,充分灌溉(W1)、轻度亏水灌溉(W2)和重度亏水灌溉(W3)等 3 个灌溉水平,组成 9 个处理,研究了水曲柳氮代谢关键酶活性、渗透调节物质、叶绿素含量、光合参数等变化特征。结果表明,充分灌水和适量氮肥可促进氮代谢关键酶活性的增加,可溶性糖和可溶性蛋白含量随施氮量的减少呈逐渐降低的趋势,随亏水程度的增加呈先升高后降低的趋势。高氮充分灌水处理的叶绿素含量和净光合速率最高,随氮肥和亏水程度的增加呈降低的变化,且和氮肥对水曲柳 GS、可溶性糖、可溶性蛋白、光合色素及蒸腾速率有显著的互作效应。研究说明,氮代谢和光合作用对水分和氮素的响应存在差异,且存在互作效应,充足灌水有利于植物光合作用,而轻度亏水有利于氮素代谢和转运,且在轻度亏水条件下,保证氮肥的充足供应,仍然能够保证水曲柳叶片正常的光合水平,保证植株的正常生长。

**关键词:**水曲柳;水肥调控;氮代谢;光合特性

**中图分类号:**S718.43;S718.45 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2022)20-0168-06

水曲柳(*Fraxinus mandshurica* Rupr.)是我国东北地区重要的珍贵树种,具有较高的经济和生态价

值<sup>[1]</sup>,但是大规模的采伐利用,使得水曲柳天然林的数量急剧下降,为恢复水曲柳木材的供应能力,进行了大规模的人工造林,但由于缺乏系统的培育技术体系,集约化程度不高,导致培育周期长、效率低,限制了水曲柳人工林的培育<sup>[2]</sup>。因此通过合理的技术措施培育健康的水曲柳幼苗对生产和生态有重要的研究意义。

水分是植物物质组成和养分运输的重要物质,

收稿日期:2021-10-28

基金项目:内蒙古自治区高等学校科学研究项目(编号:NJZY21515)。

作者简介:马慧敏(1993—),女,内蒙古土默特左旗人,助理实验师,

研究方向为园林栽培。E-mail:mnhle123456@126.com。

通信作者:图拉,硕士,讲师,研究方向为生态园林。

[26]胡琳莉. 铵营养缓解小型大白菜幼苗弱光胁迫的生理和分子机制[D]. 兰州:甘肃农业大学,2016.

[27]赵永平,赵盟,朱亚,等. 不同氮素形态对比对鲜食甜糯玉米光合特性和农艺指标的影响[J]. 江西农业学报,2019,31(12):38-42.

[28]Zebarth B J,Tai H,Luo S N,et al. Effect of nitrogen form on gene expression in leaf tissue of greenhouse grown potatoes during three stages of growth[J]. American Journal of Potato Research,2012,89(4):315-327.

[29]何志学. 氮素水平对辣椒生长生理和养分利用的影响[D]. 兰州:甘肃农业大学,2016.

[30]罗雪华,邹碧霞,吴菊群,等. 氮水平和形态对比对巴西橡胶树花药苗生长及氮代谢、光合作用的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2011,17(3):693-701.

[31]Sun Y D,Luo W R,Liu H C. Effects of different nitrogen forms on the contents of chlorophyll and mineral elements in Chinese chive seedlings[J]. Advance Journal of Food Science and Technology, 2014,6(5):696-700.

[32]刘会芳,韩宏伟,庄红梅,等. 氮素形态对盐胁迫下辣椒幼苗生长及光合特性的影响[J]. 新疆农业科学,2019,56(5):855-863.

[33]胡海非,张巧柔,吴卫东,等. 氮素形态对油麦菜幼苗光合作用及其荧光特性的影响[J]. 热带作物学报,2016,37(1):7-14.

[34]卞赛男,常鹏杰,王宁杭,等. 氮素形态对喜树叶片生长、叶绿素荧光参数及叶绿体相关基因表达的影响[J]. 浙江农林大学学报,2019,36(5):908-916.

[35]黎冰,侍朋宝,栾雪涛,等. 硝铵态氮不同配比对葡萄新梢生长和叶片光合特性的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2018,46(2):73-83.

[36]Roosta H R,Estaji A,Niknam F. Effect of iron,zinc and manganese shortage - induced change on photosynthetic pigments, some osmoregulators and chlorophyll fluorescence parameters in lettuce [J]. Photosynthetica,2018,56(2):606-615.

[37]胡琳莉,廖伟彪,马彦霞,等. 弱光下不同铵硝配比氮素对大白菜幼苗生长和抗氧化的影响[J]. 园艺学报,2016,43(5):897-906.