

不同硝铵比对基质栽培番茄氮素代谢 关键酶及其氮素利用效率的影响

公华锐, 骆洪义, 亓艳艳, 庞晓燕

(山东农业大学 资源与环境学院, 山东 泰安 271000)

摘 要:以秋冬茬番茄为研究对象,采用基质盆栽试验,研究等量氮(N素)供应下不同硝铵态氮比例对番茄生长过程中N素代谢、吸收及其利用效率的影响。结果表明:在等量氮素供应的条件下,与CK(全硝态N)相比,处理T1(5%铵态N)、T2(10%铵态N)、T3(15%铵态N)、T4(25%铵态N)的番茄叶片中N素代谢关键酶及地上部硝态N含量在生长发育过程中,随着营养液中铵态N比例的增加而降低,叶片中谷氨酰胺还原酶活性随着铵态N比例的增加而提高,处理T4的番茄叶片硝酸还原酶活性及硝酸盐含量相对于CK分别下降了45.5%与17.8%,谷氨酰胺还原酶活性相对于CK提高了50.2%。不同硝铵比通过调节氮素关键酶活性,进而对番茄氮素的吸收、分配等产生影响。适量增加铵态N比例能有效促进番茄对N素的吸收,提高番茄产量,但当铵态N比例增加至T4处理水平时,番茄产量及N素利用率均有显著的下降。T3处理番茄产量相对于T4处理提高了21.2%、N素偏生产力高于T4处理 $47.09\text{ g}\cdot\text{g}^{-1}$,N素收获指数达到 $0.48\text{ g}\cdot\text{g}^{-1}$,同时高于其它处理,是该试验的最佳处理。

关键词:番茄;基质栽培;硝态N;铵态N;N素代谢;N素利用

中图分类号:S 641.206⁺.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2017)24-0007-10

设施蔬菜种植是一种高投入、高产出、高收益的蔬菜生产体系。随着种植时间的延长,大量未被利用的肥料残留在土壤中,造成了作物营养失调、蔬菜品质下降、土传病害严重等问题,并对环境造成了严重污染^[1-3]。水肥一体化基质栽培技术,以不同的作物对营养元素的需要量与吸收比例为理论基础,结合有机基质栽培模式,具有有效克服连作障碍、显著提高蔬菜产量与品质、轻质简便易操作等优势^[4-5]。番茄设施栽培相关研究表

明,水肥一体化种植模式相对于沟灌施肥方式,番茄产量可提高26.3%~31.2%、氮(N)素利用率由6.0%~6.5%提高至16.5%~20.4%^[6]。

氮(N)素是构成植株蛋白质、核酸、叶绿素及多种营养物质的主要成分,N素营养水平直接影响作物的生长、产量及品质^[7-8]。 NO_3^- -N与 NH_4^+ -N是作物生长过程中吸收利用的主要无机N素形态。研究表明,对喜 NO_3^- -N作物,以 NO_3^- -N为主合理配施适量 NH_4^+ -N,能够显著促进作物生长,并降低作物硝酸盐含量。因此在水肥一体化基质栽培中,确定营养液中合理的 NO_3^- -N/ NH_4^+ -N比例,能够有效促进作物生长、提高作物品质及其肥效^[9-10]。

番茄是我国华北地区冬暖式大棚主栽蔬菜之一,通常N素营养以 NO_3^- -N为主,相关研究表明, NO_3^- -N与 NH_4^+ -N以一定比例配施能够有

第一作者简介:公华锐(1991-),男,硕士研究生,研究方向为无土栽培及其营养机理。E-mail:gong187@126.com.

责任作者:骆洪义(1965-),男,教授,研究方向为无土栽培技术。E-mail:hot68168@163.com.

基金项目:山东省自主创新及成果转化专项资助项目(2014ZZCX070402)。

收稿日期:2017-07-26

效促进番茄生长^[11-12],对水肥一体化基质栽培的温室番茄传统营养液中 NH_4^+-N 比例为10%,但多以番茄产量为评价标准,而在减肥增效的今天,传统的 $\text{NO}_3^--\text{N}/\text{NH}_4^+-\text{N}$ 比例亟待更新,提高肥料利用效率。该研究采用水肥一体化基质栽培模式,在不同 $\text{NO}_3^--\text{N}/\text{NH}_4^+-\text{N}$ 比营养液浇施下,通过测定番茄生长过程中N素吸收及代谢过程、利用效率,探究水肥一体化基质栽培模式下番茄生长所适宜的 $\text{NO}_3^--\text{N}/\text{NH}_4^+-\text{N}$ 比例,为实现设施蔬菜高产优质、减肥减药,兼顾环境友好的多重目标提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试番茄品种为“金棚 11-8 号”,由西安金鹏种苗有限公司提供,定植时选取长势相同且株高

10~12 cm 的壮苗;供试基质为草炭、混合发酵物、珍珠岩、蛭石(2:1:1:1)复合基质,基本理化性质见表 1。

1.2 试验方法

试验于 2015 年 10 月至 2016 年 4 月在山东省泰安市岱岳区黄家庄村冬暖式大棚进行。根据前期番茄基质栽培 N、P、K 配施最优比例为基础,在营养液总 N 浓度均为 $11 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的前提下,设置 5 个 $\text{NH}_4^+-\text{N}/\text{NO}_3^--\text{N}$ 比例处理,分别为 0:40、2:38、4:36、6:34、10:30。所用番茄专用营养液中其它大量元素见表 2,微量元素含量见表 3;加入双氰胺($7 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$)作为硝化抑制剂,pH 调节至 5.5~6.1。试验采用花盆(直径 40 cm、高 40 cm、容积 50 dm^3)栽培,盆面覆盖黑色地膜,随机排列,每个处理设 10 盆,重复 4 次。

表 1

供试基质理化性质

Table 1

Physical and chemical properties of substrate used for experiment

pH (H_2O)	容重 Bulk density	总孔隙度 Bulk porosity	有机质 OM	全氮 Total N	全磷 Total P	全钾 Total K	碱解氮 Alkaline hydrolysis N	速效磷 Rapidly available P	速效钾 Rapidly available K
(1:5)	$/(\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$	/%	$/(\text{g} \cdot \text{kg}^{-1})$	$/(\text{g} \cdot \text{kg}^{-1})$	$/(\text{g} \cdot \text{kg}^{-1})$	$/(\text{g} \cdot \text{kg}^{-1})$	$/(\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1})$	$/(\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1})$	$/(\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1})$
6.52	0.59	68.9	149.67	4.35	1.51	1.03	87.21	100.29	264.58

表 2

营养液中大量元素组成

Table 2

Components of macro-elements in the nutrition solution

处理 Treatment	硝态 N/铵态 N $\text{NH}_4^+-\text{N}/\text{NO}_3^--\text{N}$	大量元素 Macro-elements/ $(\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1})$					
		NO_3^--N	NH_4^+-N	P	K	Ca	Mg
CK	0:40	11.00(100%)	—	1.5	8.4	4.5	1.0
T1	2:38	10.45(95%)	0.55(5%)	1.5	8.4	4.5	1.0
T2	4:36	9.90(90%)	1.10(10%)	1.5	8.4	4.5	1.0
T3	6:34	9.35(85%)	1.65(15%)	1.5	8.4	4.5	1.0
T4	10:30	8.25(75%)	2.75(25%)	1.5	8.4	4.5	1.0

表 3

营养液中微量元素含量

Table 3

Content of micro-elements in the nutrition solution

 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

$\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	H_3BO_3	$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	$(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	$\text{Na}_2\text{Fe-EDTA}$
2.13	2.86	0.22	0.05	0.02	50.00

1.3 项目测定

1.3.1 植株样品采集

在番茄生长期(定植后 20 d)、初花期(定植后 40 d)、初果期(定植后 70 d)、盛果期(定植后 120 d)采地上部植株样,称量番茄不同部位鲜质量后,测

定与 N 素代谢相关酶活性、植株组织内 NO_3^--N 含量,之后将样品 105°C 杀青 30 min 后, 75°C 烘干至恒重,用分析天平称其干质量,测定植物组织全 N 含量。

1.3.2 与 N 素代谢相关酶活性测定

取整株叶片混匀,硝酸还原酶(NR)活性使用活体法测定,反应后在 540 nm 处测定其吸光值表示酶活性^[13];谷氨酰胺还原酶(GS)活性参照赵世杰^[14]的方法测定,以 1 mg 酶蛋白在 1 h 内催化生成的 γ -谷氨酰基异羟肟酸与铁络合的产物在 540 nm 处的吸光值表示酶活性。

1.3.3 植株组织内 NO_3^- -N 含量测定

取整株叶片混匀,采用研磨浸提法制成 NO_3^- -N 待测液,用连续流动分析仪(AA3)测定^[14]。

1.3.4 植物组织内全 N 含量测定

干样品经 $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}_2$ 消煮后,使用全自动间断化学分析仪(Smart Chem 200)测定。

1.3.5 计算公式

单株 N 素吸收总量(g)=植株各器官干物质质量(g) \times 植株各部分含 N 量($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$) $\times 10^{-3}$; N 素分配率(%)=植株各器官吸 N 量(g)/植株整株吸 N 量(g) $\times 100$; N 素偏生产力^[15]($\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)=果实产量(g)/施 N 量(g); N 素收获指数^[9]($\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)=果实吸 N 量(g)/植株地上部吸 N 量(g); N 素产量效用指数($\text{g}\cdot\text{mg}^{-1}$)=果实产量(g)/植株地上部吸 N 量(g); N 素生物物质效用指数($\text{g}\cdot\text{mg}^{-1}$)=植株地上部生物产量(g)/植株地上部吸 N 量(g)。

1.4 数据分析

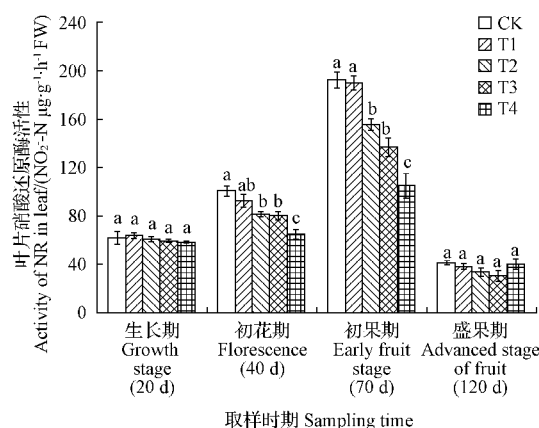
试验数据采用 Origin Lab 2015 软件制图,采用 SPSS Statistics 21.0 软件进行数据的单因素方差分析,采用 Duncan's 新复极差法进行差异显著性检验($\alpha=0.05$)。

2 结果与分析

2.1 不同 NH_4^+ -N/ NO_3^- -N 比例对番茄叶片 N 素代谢关键酶活性及地上部 NO_3^- -N、N 素含量的影响

2.1.1 不同 NH_4^+ -N/ NO_3^- -N 比例对番茄不同时期叶片硝酸还原酶(NR)活性的影响

图 1 表明,在营养液中不同 NO_3^- -N/ NH_4^+ -N 比例条件下番茄不同生长阶段叶片 NR 活性不同,在番茄各个生长阶段,叶片的 NR 活性随营养液中 NO_3^- -N/ NH_4^+ -N 比例的变化趋势基本一致,即随着营养液中 NH_4^+ -N 占总 N 的比例增加,叶片中 NR 活性逐渐降低。在营养生长期,各施 NH_4^+ -N 处理与 CK 差异不显著;在初花期,与 CK 相比,T1、T2、T3、T4 处理的番茄片中 NR 活性分别下降了 8.2%($P<0.05$)、19.6%($P<0.05$)、20.4%($P<0.05$)、35.6%($P<0.05$);在初果期, NO_3^- -N/ NH_4^+ -N 不同比例处理的番茄叶片中 NR 活性达到最高值,但 T1 与 CK 无明显



注:不同小写字母表示处理间差异显著($P<0.05$),以下同。

Note: Values with different lowercase letters indicated statistically significant difference at $P<0.05$ level, the same below.

图 1 不同 NO_3^- -N/ NH_4^+ -N 下番茄不同生长阶段叶片硝酸还原酶活性

Fig. 1 NR activity of tomato leaf under different growing stage grown under different NO_3^- -N/ NH_4^+ -N ratios

差异, T2、T3 与 T4 处理的番茄叶片 NR 活性分别较 CK 降低了 23.84% ($P < 0.05$)、40.56% ($P < 0.05$) 和 83.36% ($P < 0.05$); 在盛果期, 营养液中不同 NH_4^+-N 比例处理的番茄叶片中 NR 活性相较于同处理其它时期均显著下降, 但各处理间差异不显著。

2.1.2 营养液中不同 $\text{NO}_3^--\text{N}/\text{NH}_4^+-\text{N}$ 比例对番茄不同生长期叶片谷氨酰胺合成酶(GS)活性的影响

图 2 表明, 在番茄全生育期内, 叶片中的 GS 活性表现为先上升后下降的变化趋势; 在番茄不同生长发育阶段, 随着营养液中 NH_4^+-N 占总 N 比例的增加, 叶片中 GS 活性均呈现增加趋势。

在营养生长期, 各处理叶片中 GS 活性呈现较低水平, 随着营养液中 NH_4^+-N 比例的增加, 不同 $\text{NO}_3^--\text{N}/\text{NH}_4^+-\text{N}$ 比例处理的番茄叶片中 GS 活性无显著差异; 在初花期, T1 处理的 GS 活性与 CK 相比无显著差异, T2、T3、T4 处理的叶片 GS 活性分别较 CK 显著提高了 42.3%、51.7%、85.8% ($P < 0.05$); 初果期, 叶片中 GS 活性随着营养液中 NH_4^+-N 比例的增加而显著增加, 其中 T4 处理 GS 活性最强, 相较于 CK, 增加了 50.2% ($P < 0.05$); 盛果期各处理叶片中 GS 活性降低, T1、T2、T3 与 CK 差异不显著, 而 $\text{NO}_3^--\text{N}/\text{NH}_4^+-\text{N}$ 比例为 30:10 的 T4 处理叶片 GS 活性高于 CK 42.8% ($P < 0.05$), 差异显著。

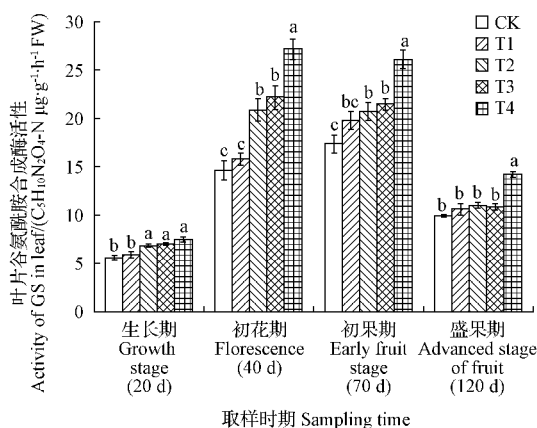


图 2 不同 $\text{NO}_3^--\text{N}/\text{NH}_4^+-\text{N}$ 下番茄不同生长阶段叶片谷氨酰胺合成酶活性

Fig. 2 GS activity of tomato leaf at different growing stage grown under different $\text{NO}_3^--\text{N}/\text{NH}_4^+-\text{N}$ ratios

2.1.3 营养液中不同 $\text{NO}_3^--\text{N}/\text{NH}_4^+-\text{N}$ 比例对番茄不同时期地上部 NO_3^--N 及全 N 含量的影响

从表 4 可以看出, 在番茄生长过程中, 地上部 NO_3^--N 含量及全 N 含量呈现先上升、生长后期略微下降的趋势, 随着营养液中 NH_4^+-N 占总 N 比例的增加, 番茄地上部 NO_3^--N 含量逐渐降低; 在营养生长期与初花期, CK 的番茄地上部 NO_3^--N 含量显著高于其它施 NH_4^+-N 处理 ($P < 0.05$), 且有随营养液中 NH_4^+-N 占总 N 比例的增加而降低的趋势; 随着番茄的生长, 各处理番茄地上部 NO_3^--N 含量在初果期均有不同程度的提高, 营养液中 $\text{NO}_3^--\text{N}/\text{NH}_4^+-\text{N}$ 比例为

38:2、36:4、34:6 的 T1、T2、T3 处理的番茄地上部 NO_3^--N 含量与 CK 相比差异不显著, 仅 T4 处理相较于 CK 显著下降了 17.8% ($P < 0.05$); 在盛果期, 各处理相较于初果期番茄地上部 NO_3^--N 含量均有不同程度下降, 但 CK 的番茄地上部 NO_3^--N 含量仍维持较高水平, 施用不同比例 NH_4^+-N 的 T1、T2、T3、T4 处理相较于 CK 分别下降了 6.2%、9.7% ($P < 0.05$)、9.0% ($P < 0.05$)、11.8% ($P < 0.05$)。

表 4 结果还表明, 番茄地上部的全 N 含量与施用的 NH_4^+-N 占全 N 比例无显著相关关系。在番茄营养生长期与初花期, 各处理的番茄地上部全 N 含量随着番茄的生长有不同程度的增加,

但处理间差异不显著;在初果期,相较于 CK,番茄地上部全 N 含量随着营养液中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 比例的升高表现出先上升后下降的趋势,T1 和 T4 处理的番茄地上部全含量与 CK 差异不显著,而 T2 处理显著高于 T1、T4 处理($P<0.05$),但与 CK 差异不显著,T3 处理地上部全 N 含量最高,显著

高于 CK 8.3%($P<0.05$);在盛果期,T1、T2、T3、T4 处理的番茄地上部全 N 含量之间差异不显著,但相较于 CK 分别高出 18.8%($P<0.05$)、22.3%($P<0.05$)、19.4%($P<0.05$)、13.5%($P<0.05$),差异显著。

表 4 不同 $\text{NO}_3^-\text{-N}/\text{NH}_4^+\text{-N}$ 下番茄不同时期地上部 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 及全 N 含量

Table 4 Contents of $\text{NO}_3^-\text{-N}$ and total N of aerial part of tomato at different growing stage grown under different $\text{NO}_3^-\text{-N}/\text{NH}_4^+\text{-N}$ ratios

处理 Treatment	生长期 Growth stage(20 d)		初花期 Florescence(40 d)		初果期 Early fruit stage(70 d)		盛果期 Advanced stage of fruit(120 d)	
	硝态氮含量 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ content	全 N 含量 N content	硝态氮含量 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ content	全 N 含量 N content	硝态氮含量 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ content	全 N 含量 N content	硝态氮含量 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ content	全 N 含量 N content
	$/(\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1})$	$/(\text{mg}\cdot\text{g}^{-1})$	$/(\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1})$	$/(\text{mg}\cdot\text{g}^{-1})$	$/(\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1})$	$/(\text{mg}\cdot\text{g}^{-1})$	$/(\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1})$	$/(\text{mg}\cdot\text{g}^{-1})$
CK	214.72±8.81a	15.80±1.58a	294.17±10.92a	29.78±2.97a	424.18±31.91a	31.08±1.49bc	415.99±26.90a	21.52±2.04b
T1	204.63±10.72ab	15.32±1.58a	289.22±18.23ab	31.32±2.93a	411.48±9.33a	30.64±1.13c	390.29±15.02ab	25.56±1.11a
T2	195.24±7.70bc	15.81±1.42a	278.75±5.96ab	30.21±3.62a	393.83±20.80a	33.01±1.37ab	375.71±6.71b	26.32±0.79a
T3	194.49±7.53bc	16.12±0.90a	272.71±13.37ab	30.50±1.45a	385.77±19.82a	33.64±0.38a	378.70±12.34b	25.69±1.72a
T4	186.13±2.98c	14.87±1.45a	256.25±33.44bc	29.01±2.20a	348.88±3.22b	30.46±1.26c	366.92±19.06b	24.42±0.93a

注:数据为平均值±标准差($n\geq 3$),同列不同小写字母表示处理间差异显著($P<0.05$),下同。
Note: Values are means±SD($n\geq 3$), values with different letters indicated statistically significant difference at $P<0.05$ level. The same below.

2.2 营养液中不同 $\text{NO}_3^-\text{-N}/\text{NH}_4^+\text{-N}$ 比例对番茄干物质质量、全 N 含量及其 N 素积累量的影响

2.2.1 不同 $\text{NO}_3^-\text{-N}/\text{NH}_4^+\text{-N}$ 比例对番茄干物质质量及 N 素含量的影响

由表 5 可知,相对于 CK,番茄整株干物质质量随着营养液中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 比例的增加而降低,施 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 水平最低的 T1 处理与施 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 水平最高的 T4 处理,分别较 CK 提高了 7.3%及降低了 8.4%($P<0.05$);相对于 CK,番茄叶、茎及根干物质质量随营养液中不同 $\text{NO}_3^-\text{-N}/\text{NH}_4^+\text{-N}$ 比

例的变化趋势基本一致,即随着营养液中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 比例的增加,植株各器官干物质质量逐渐降低。叶片的干物质质量,只有 T1 处理显著高于 CK 16.6%($P<0.05$),其它处理与 CK 差异均不显著。T1 处理番茄茎干物质质量高于 CK 8.9%($P<0.05$),T2 处理与 CK 相比差异不显著,T3、T4 处理的番茄茎干物质质量分别比 CK 降低 16.2%($P<0.05$)与 11.9%($P<0.05$)。T1 处理番茄根干物质质量与 CK 无显著差异,T2、T3、T4 处理分别比 CK 低 21.4%($P<0.05$)、

表 5 不同 $\text{NO}_3^-\text{-N}/\text{NH}_4^+\text{-N}$ 下番茄干物质质量及 N 素含量

Table 5 Dry mass and total N contents of tomato grown different $\text{NO}_3^-\text{-N}/\text{NH}_4^+\text{-N}$ ratios

处理 Treatment	叶 Leaf		茎 Stem		根 Root		果实 Fruit		整株 Whole plant
	干物质 Dry matter	全 N 含量 N content	干物质 Dry matter	全 N 含量 N content	干物质 Dry matter	全 N 含量 N content	干物质 Dry matter	全 N 含量 N content	干物质 Dry matter
	content	$/(\text{mg}\cdot\text{g}^{-1})$	content	$/(\text{mg}\cdot\text{g}^{-1})$	content	$/(\text{mg}\cdot\text{g}^{-1})$	content	$/(\text{mg}\cdot\text{g}^{-1})$	content
	$/(\text{g}\cdot\text{株}^{-1})$		$/(\text{g}\cdot\text{株}^{-1})$		$/(\text{g}\cdot\text{株}^{-1})$		$/(\text{g}\cdot\text{株}^{-1})$		$/(\text{g}\cdot\text{株}^{-1})$
CK	59.90±5.55b	23.19±1.20c	27.80±2.34ab	16.33±0.27a	6.86±0.60a	19.74±1.44a	83.15±9.49ab	20.22±0.24a	177.71±8.18a
T1	69.83±2.47a	23.55±1.00c	30.28±2.16a	15.16±0.40a	7.00±0.74a	19.03±0.20a	83.59±9.88ab	19.45±0.49ab	190.69±8.47a
T2	58.92±2.72b	25.52±0.29b	27.91±2.98ab	15.73±0.59a	5.39±0.75b	18.87±0.14a	86.13±7.74ab	19.05±0.22b	178.35±9.75a
T3	57.83±3.39b	26.69±1.41ab	23.31±1.89c	15.53±0.34a	5.29±0.60b	19.10±0.20a	90.91±8.83a	19.37±0.62b	177.33±12.70a
T4	57.89±4.87b	27.42±0.14a	24.50±0.79bc	15.27±1.68a	5.34±0.54b	18.00±1.91a	75.02±3.72b	18.83±0.46b	162.75±5.30b

22.9% ($P<0.05$)、22.1% ($P<0.05$)。T1、T2 处理的番茄果实干物质质量与 CK 差异不显著, T3 处理的番茄果实干物质质量在所有处理中最高, 较 CK 高 9.3% ($P>0.05$), T4 处理的果实干物质质量与 CK 相比降低了 9.7% ($P<0.05$), 显著低于 T3 处理 ($P<0.05$)。

营养液中不同 NO_3^- -N/ NH_4^+ -N 比例对番茄叶片全 N 含量影响显著, 随着施 NH_4^+ -N 比例占总 N 比例的增加, 叶片中全 N 含量呈现上升趋势, T1 处理与 CK 差异不显著, T2、T3、T4 处理的叶片全 N 含量分别比 CK 增加了 10.1% ($P<0.05$)、15.1% ($P<0.05$)、18.3% ($P<0.05$)。营养液中不同 NO_3^- -N/ NH_4^+ -N 比例处理对茎与根部分全 N 含量影响不显著。对于果实全 N 含量, 营养液中不同 NO_3^- -N/ NH_4^+ -N 比例处理间差异不显著, 而 T2、T3、T4 处理显著低于 CK ($P<0.05$)。

2.2.2 营养液中不同 NO_3^- -N/ NH_4^+ -N 比例对番茄单株各器官 N 素吸收量及其分配率的影响

表 6 结果表明, 营养液中不同 NO_3^- -N/ NH_4^+ -N 比例处理之间的番茄整株 N 素吸收量

差异不显著; 在叶片部分, T1、T4 处理的 N 素吸收量相对于 CK, 分别增加了 18.4% ($P<0.05$) 和 14.3% ($P<0.05$); 在番茄茎部, T3 处理 N 素吸收量明显低于 CK ($P<0.05$), 下降了 20.3%; 在番茄根部, T4 处理 N 素吸收量显著低于 CK ($P<0.05$), 相对于 CK, 增施 NH_4^+ -N 的 T2、T3、T4 分别下降了 24.9%、25.4%、29.0% ($P<0.05$); 在果实部分, T1、T2 与 T3 处理间无显著差异, T1、T2 与 T3 处理与 CK 相比差异也不显著, T4 处理显著低于 CK 16.0% ($P<0.05$)。在 N 素分配方面, T3 与 CK 果实 N 素分配率分别为 46.68% 与 45.92%, 均高于 T1、T2、T4 处理; 在叶部分, 施 NH_4^+ -N 各处理均高于 CK 的 N 素分配, 其中 NH_4^+ -N 比例最高的 T4 处理高出 CK 7.7 个百分点; 而在 N 素分配率水平较低的根茎部分, CK 的 N 素分配均高于其它处理, 并均在 T3 处理时 N 素分配率水平最低。这表明, 在营养液中适量施加 NH_4^+ -N 对番茄整株 N 素吸收量有促进作用, 但当 NH_4^+ -N 达到一定比例, N 素吸收量开始下降。

表 6

不同 NO_3^- -N/ NH_4^+ -N 下番茄各器官 N 素吸收量及其分配率

Table 6

Uptake and distribution of N in different organs of tomato grown under different NO_3^- -N/ NH_4^+ -N ratios

处理 Treatment	叶 Leaf		茎 Stem		根 Root		果实 Fruit		整株 Whole plant
	N 素吸收量 N uptake	N 素分配率 Distribution	N 素吸收量 N uptake	N 素分配率 Distribution	N 素吸收量 N uptake	N 素分配率 Distribution	N 素吸收量 N uptake	N 素分配率 Distribution	N 素吸收量 N uptake
	/(g·株 ⁻¹)	rate/%	/(g·株 ⁻¹)	rate/%	/(g·株 ⁻¹)	rate/%	/(g·株 ⁻¹)	rate/%	/(g·株 ⁻¹)
CK	1.39±0.13b	37.96	0.45±0.04a	12.42	0.14±0.01a	3.70	1.68±0.19a	45.92	3.66±0.17ab
T1	1.64±0.06a	42.63	0.46±0.03a	11.91	0.13±0.01a	3.46	1.63±0.19ab	42.00	3.86±0.17a
T2	1.50±0.07ab	40.84	0.44±0.05a	11.93	0.10±0.01b	2.77	1.64±0.15ab	44.47	3.68±0.20ab
T3	1.54±0.09ab	41.01	0.36±0.03b	9.62	0.10±0.01b	2.70	1.76±0.17a	46.68	3.77±0.26ab
T4	1.59±0.13a	45.69	0.37±0.01b	10.79	0.10±0.01b	2.78	1.41±0.07b	40.74	3.47±0.14b

2.3 营养液中不同 NO_3^- -N/ NH_4^+ -N 比例对番茄产量及 N 素利用率的影响

由表 7 结果可知, 营养液中不同 NO_3^- -N/ NH_4^+ -N 比例对番茄单果平均质量影响不显著。在一定范围内, 随着营养液中 NH_4^+ -N 比例占总氮比例的提高, T1、T2 处理的番茄单株平均产量与

CK 差异不显著, 但当 NH_4^+ -N 水平达到一定比例时, 番茄的单株产量显著下降。例如, 处理 T1 和 T2 番茄平均单株产量相对于 CK 差异不显著, 处理 T3 较 CK 高 9.3% ($P<0.05$), 而处理 T4 相比 CK 则降低了 9.8% ($P<0.05$), 且显著低于 T3 处理 ($P<0.05$)。

表 7

不同 NO_3^- -N/ NH_4^+ -N 下番茄产量及 N 素利用率

Table 7

Yield and N utilization efficiency of tomato grown under different NO_3^- -N/ NH_4^+ -N ratios

处理 Treatment	平均单果质量 Weight per fruit /g	平均单株产量 Yield per plant /g	N 素偏生产力 Partial productivity /(g·g ⁻¹)	N 素收获指数 Harvest index /(g·g ⁻¹)	N 素产量效用指数 Biomass efficiency index /(g·mg ⁻¹)	N 素生物质效用指数 Yield efficiency index /(g·mg ⁻¹)
CK	147.13±14.92a	1 139.00±129.98ab	246.54±28.13ab	0.48±0.05a	0.32±0.03ab	0.53±0.01a
T1	167.50±32.94a	1 145.11±135.41ab	247.86±29.31ab	0.43±0.03ab	0.31±0.02b	0.53±0.01a
T2	178.91±21.99a	1 179.89±106.01ab	255.39±22.95ab	0.46±0.02b	0.33±0.01ab	0.53±0.01a
T3	172.20±26.59a	1 245.28±120.95a	269.54±26.18a	0.48±0.01a	0.34±0.01a	0.52±0.01a
T4	145.21±7.06a	1 027.70±50.95b	222.45±11.03b	0.42±0.02b	0.30±0.02b	0.51±0.01b

在相同的 N 素供应水平下,营养液中不同 NO_3^- -N/ NH_4^+ -N 比例对 N 素偏生产力的影响与其对单株产量所表现出的趋势一致,即处理 T1、T2 与 CK 差异不显著,处理 T3 的 N 素偏生产力峰值,较 CK 高 $23.15 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$ ($P < 0.05$),且显著高于处理 T4 ($P < 0.05$)。

N 素收获指数在一定程度上反映了 N 素分配合理性。处理 T1、T4 的番茄 N 素收获指数与 CK 相比并无显著差异,但 T2 与 T3 处理分别较 CK 低 10.4% 和 12.5% ($P < 0.05$)。

N 素产量效用指数指植株地上部每吸收 1 mg N 素所获得的经济产量^[15]。在不同 NO_3^- -N/ NH_4^+ -N 比例处理中,T3 处理的 N 素产量效用指数达到峰值,显著高于 T1、T4 处理 ($P < 0.05$),但相较于 CK、T2 处理并无显著差异。

N 素生物质效用指数是植株地上部每吸收 1 mg N 素所获得的生物产量^[15-17]。T1、T2、T3 处理的番茄 N 素生物质效用指数与 CK 相比差异不显著,而 T4 处理番茄 N 素生物质效用指数显著低于 CK 及其它处理 ($P < 0.05$)。

3 讨论

在植物的 N 代谢过程中,N 素形态直接影响植物体内 N 素代谢关键酶活性。硝酸还原酶(NR)是植物体内 NO_3^- -N 转化关键酶,是植物 N 代谢过程中硝酸盐同化过程的限速因子,施用的 N 素化肥中, NH_4^+ -N/ NO_3^- -N 的不同比例对番茄叶片中 NR 活性的影响显著。SIVASANKAR 等^[18]研究表明,随着外源 NO_3^- -N 的增加,番茄幼苗 NR 活性呈现增加趋势。汪建飞等^[16]对营养液栽培的菠菜的研究结果表明,营养液中 NH_4^+ -N/ NO_3^- -N 比例高时,菠菜茎叶 NR 的活性降低,

NH_4^+ -N/ NO_3^- -N 比例低时,菠菜茎叶 NR 的活性增强。该研究的结果表明,在 N 素供应水平一致条件下,不同 NO_3^- -N/ NH_4^+ -N 比例对番茄生长初期及盛果期叶片 NR 活性影响不显著,但对番茄初花期及初果期的叶片 NR 活性影响较为显著,叶片 NR 活性与 NO_3^- -N 添加比例呈线性关系,不添加 NH_4^+ -N 处理的番茄叶片 NR 活性在初花期和初果期最高(图 1)。这与 SIVASANKAR 等^[18]的结果一致。

谷氨酰胺合成酶(GS)是植株同化 NH_4^+ -N 关键酶, NH_4^+ -N 浓度越高 GS 活性越强^[19]。该试验结果表明,番茄生长发育各时期,GS 活性与营养液中 NH_4^+ -N 占总 N 比例呈正相关关系,以 NH_4^+ -N 比例最高的 T4 处理的 GS 活性最高。这与张小翠等^[19]的研究结果一致。

BOUDSOCP 等^[20]、陈巍等^[21]研究表明, NH_4^+ -N 代替 NO_3^- -N 能显著降低蔬菜 NO_3^- -N 含量。该试验中,在番茄生长的整个阶段,全 NO_3^- -N 处理的番茄地上部 NO_3^- -N 含量显著高于其它处理,且与施入的 NH_4^+ -N 比例呈线性关系。

一些研究结果证实,相同 N 素供应水平下,适量增加 NH_4^+ -N 比例能促进植物对 N 素吸收,如玉米、甘蓝、小麦^[22-24]等。该试验中,番茄在生长期、初花期,不同 NO_3^- -N/ NH_4^+ -N 比例对地上部 N 素吸收无显著影响,这与卢颖林^[25]对番茄幼苗试验所呈现的结果一致;但在番茄初果期、盛果期, NO_3^- -N/ NH_4^+ -N 比例为 36:4 与 34:6 的 T2、T3 处理,地上部 N 素含量在各处理达到最高值,符合前人对玉米等的研究结果^[22-24]。

综上所述,N 素作为植物生长必需元素被植物吸收,关键在于植株对外源 NO_3^- -N 供应的转化以及对植株体内 NH_4^+ -N 的同化,即 NR 将吸收的

NO_3^- -N 转化为 NH_4^+ -N, 之后与直接吸收来的 NH_4^+ -N 一起被 GS 同化为氨基酸。在 N 素供应水平一定的条件下, 适量增加 NH_4^+ -N 比例, 虽然在一定程度上抑制了 NR 活性, 但增强了 GS 活性, 促进了氨基酸的同化与转化, 故促进了植株对 N 素的吸收; 但随着 NH_4^+ -N 比例增加超过一定比例, NO_3^- -N 供应不足显著抑制了 NR 活性, 同时直接吸收的 NH_4^+ -N 无法弥补由于 NO_3^- -N 供应不足而导致的 NR 同化后的 NH_4^+ -N 减少的部分, 因而导致在 NH_4^+ -N 比例超过一定范围后, 抑制了植株 N 素吸收, 这一结果与马检等^[26]及 CLAUSSEN 等^[27]的试验结果一致。因此, 番茄在营养液浇施基质栽培条件下, 保持 N 素水平以及适量的 NH_4^+ -N 比例, 能在一定程度上促进其 N 素代谢。

不同 NO_3^- -N/ NH_4^+ -N 比例通过影响植物 N 素代谢过程, 进而对植株的 N 素吸收、N 素积累及分布产生影响。该试验结果表明, T1 处理的番茄整株干物质质量及整株 N 素吸收量均为各处理最高水平, 随着 NH_4^+ -N 比例的提高, 番茄整株干物质质量及其 N 素吸收量均有显著的下降趋势, 这与对花椰菜、葡萄、番茄幼苗等作物的研究结果^[25, 28-29]一致, 即高 NO_3^- -N 营养下适量增加 NH_4^+ -N 比例有利于干物质与 N 素的积累, 但当 NH_4^+ -N 达到一定比例, 对作物产生毒害, 致使其生物量降低及 N 素积累下降; 同时, 番茄各器官干物质质量及其 N 素含量同样存在高 NO_3^- -N 营养下适量增加 NH_4^+ -N 比例会促进干物质与 N 素的积累, 但当 NH_4^+ -N 超过一定比例, 其干物质质量降低及 N 素积累量就会下降的趋势, 在该试验中不同器官干物质质量及其 N 素吸收量所适宜 NO_3^- -N/ NH_4^+ -N 比例均有所差异, 这也符合作物 N 素分配的特点^[30-31]。其中在番茄果实部分, 随着 NH_4^+ -N 比例的增加, 其干物质质量与 N 素吸收量同样符合先增加后下降这一特点, 这与刘赵帆^[28]、杨阳^[29]的研究结果相一致, 但番茄果实干物质质量及 N 素吸收量的峰值是 NO_3^- -N/ NH_4^+ -N 比例为 34 : 6 的 T3 处理, 而番茄整株干物质质量及 N 素吸收量的最高值为 T1 处理; 另一方面, CK 的番茄果实 N 素含量均高于其它施加 NH_4^+ -N 处理, 这反映了不同 NO_3^- -N/ NH_4^+ -N 比例对番茄不同器官对 N 素的吸收征调能力有一定的影响。TOSELLIM 等^[32]对

苹果的研究发现, 在不同施肥期中心生长器官与非中心器官对 N 素的吸收征调能力有较大差异; 史祥宾等^[33]对“巨峰”葡萄的研究结果也证明果实对 N 素的吸收要显著高于其它器官, 并认为这种差异来自于不同作物长势及管理水平的可能性较大, 这也可能是该试验番茄各器官 N 素分配率出现不规则的原因。从经济收益的角度考虑, N 素在果实中的分配率越高 N 素分配越合理, 因此 NO_3^- -N/ NH_4^+ -N 比例为 34 : 6 的 T3 处理在 N 素分配合理性上优于其它处理。该试验没有研究证明不同 NO_3^- -N/ NH_4^+ -N 比例对植物各器官 N 素吸收征调能力有所影响, 因此在 N 素水平一致条件下, NH_4^+ -N 比例对番茄各器官 N 素吸收征调能力的影响还有待研究。

目前, 农田 NO_3^- -N 的淋洗成为地下水污染的重要污染源, 在保证产量的同时又要降低来自过量施用 NO_3^- -N 造成的危害, 其主要途径就是丰富 N 素来源^[34-35]。灌溉施肥一体化技术在番茄、马铃薯等作物上已有大量研究结果证实^[36-37], 相对于传统沟灌施肥, 灌溉施肥一体化能大幅提高水分养分利用率, 同时增加作物产量提高品质。因此, 在水肥一体化基质栽培的基础上, 合理改善硝铵比提高作物产量及 N 素利用率, 具有一定理论依据。

该试验结果表明, 在 N 素供应水平一致条件下, 随着营养液中 NH_4^+ -N 占总 N 比例的增加, 具有增加番茄单株产量的效果, 当 NH_4^+ -N 占总 N 比例的 15% 时 (T3), 番茄单株产量是 CK 产量的 1.1 倍; 随着 NH_4^+ -N 比例继续增加, T4 处理的番茄单株产量也出现了较大幅度的下降, 这与 NO_3^- -N/ NH_4^+ -N 比例对果实 N 素吸收量及分配率的影响所得结果一致。由于具有较高的产量以及较为合理的 N 素分配, 且在施 N 水平一致条件下, 故 T3 处理同样也有较高的偏生产力。该试验所得出不同 NO_3^- -N/ NH_4^+ -N 比例对番茄产量及 N 素利用效率影响的结果, 在很多番茄研究结果中得到证明^[38-39]。

N 素收获指数是果实吸 N 量与植株地上部吸 N 量之比。该试验中番茄果实 N 素吸收量最高的 CK 与 T3 处理, 其 N 素收获指数均高于其它 NO_3^- -N/ NH_4^+ -N 比例处理。N 素产量效用指数反映了 N 素的经济利用效率, 与 N 素偏生产力所呈现的结果一致, 即 T3 处理产量效用指数显著高

于其它 NO_3^- -N/ NH_4^+ -N 比例处理。N 素生物质效用指数,反映了整株生物量对 N 素的利用效率,即在相同 N 素吸收量下能获得更多的地上部生物量。该试验的结果表明,营养液中不同 NO_3^- -N/ NH_4^+ -N 比例对番茄 N 素生物质效用指数影响不显著,与陈亮^[40]对棉花的试验结果一致。

综上所述,在水肥一体化基质栽培模式中,在相同的施 N 水平下, NO_3^- -N/ NH_4^+ -N 比例为 34:6(总 N 量为 $11 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$)能够合理调节 N 素代谢关键酶活性,促进番茄对 N 素的吸收与转化,并优化 N 素在番茄各器官的积累与分配,从而得到最高的番茄产量及最合理的 N 素利用率。该研究为水肥一体化与 N 肥优化配比的契合提供了理论依据,并为下一步在实际生产中提高番茄产量、优化肥料利用率、降低 N 肥次生污染提供支持。而针对不同 NO_3^- -N/ NH_4^+ -N 比例对番茄不同器官 N 素吸收征调能力的影响,以及番茄果实品质的影响还有待于下一步研究。

参考文献

- [1] 刘苹,李彦,江丽华,等. 施肥对蔬菜产量的影响:以寿光市设施蔬菜为例[J]. 应用生态学报,2014,25(6):1752-1758.
- [2] 史春余,张夫道,张俊清,等. 长期施肥条件下设施蔬菜地土壤养分变化研究[J]. 植物营养与肥料学报,2003,9(4):437-441.
- [3] 刘兆辉,江丽华,张文君,等. 山东省设施蔬菜施肥量演变及土壤养分变化规律[J]. 土壤学报,2008,45(2):296-303.
- [4] 郭世荣,孙锦,束胜. 我国设施园艺概况及发展趋势[J]. 中国蔬菜,2012(18):1-14.
- [5] 孙严艳. 我国蔬菜无土栽培的研究现状及进展[J]. 中国科技信息,2014(21):127-128.
- [6] 王欣. 灌溉施肥一体化对设施番茄产量和水氮利用效率影响研究[D]. 北京:中国农业科学院,2012.
- [7] 曹翠玲,李生秀. 氮素形态对作物生理特性及生长的影响[J]. 华中农业大学学报,2004,23(5):581-586.
- [8] 杨旭,邹志荣,贺忠群,等. 蔬菜无土栽培营养液中的氮素及其调控[J]. 西北植物学报,2003,23(9):1644-1649.
- [9] 姜慧敏,张建峰,杨俊诚,等. 施氮模式对番茄氮素吸收利用及土壤硝态氮累积的影响[J]. 农业环境科学学报,2009,29(12):2623-2630.
- [10] LU Y L, XU Y C, SHEN Q R, et al. Effects of different nitrogen forms on the growth and cytokinin content in xylem sap of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) seedlings[J]. Plant and Soil, 2009, 315(1-2):67-77.
- [11] IWASAKI K, TI-DA G E. Effects of nitrogen forms on carbon and nitrogen accumulation in tomato seedling[J]. Agricultural Sciences in China, 2008, 7(11):1308-1317.
- [12] BORGOGNONE D, COLLA G, ROUPHAEL Y, et al. Effect of nitrogen form and nutrient solution pH on growth and mineral composition of self-grafted and grafted tomatoes[J]. Scientia Horticulturae, 2013, 149:61-69.
- [13] 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,2000:125-127.
- [14] 赵世杰. 植物生理学实验指导[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,2002:96-97.
- [15] CASSMAN K, PENG S, OLK D. Opportunities for increased nitrogen use efficiency from improved resource management in irrigated rice systems[J]. Field Crops Research, 1998, 56:7-38.
- [16] 汪建飞,董彩霞,谢越,等. 铵硝比和磷素营养对菠菜生长、氮素吸收和相关酶活性的影响[J]. 土壤学报,2006,43(6):954-960.
- [17] 王云华,王志强,张楚富,等. 硝态氮对黄瓜子叶谷氨酰胺合成酶和谷氨酸脱氢酶活性的影响[J]. 武汉植物学研究,2004,22(6):534-538.
- [18] SIVASANKAR S, OAKS A. Nitrate assimilation in higher plants: The effect of metabolites and light[J]. Plant Physiology and Biochemistry, 1996, 34(5):609-620.
- [19] 张小翠,贺超兴,于贤昌,等. 亚适宜温光环境下不同硝铵比营养液对黄瓜幼苗生长、氮吸收和代谢的影响[J/OL]. 应用生态学, <http://www.cnki.net/kcms/detail/21.1253.q.20160603.1421.020.html>.
- [20] BOUDSOCQ S, NIBOYET A, LATA J C, et al. Plant preference for ammonium versus nitrate A neglected determinant of ecosystem functioning? [J]. American Naturalist, 2012, 180(1):60-69.
- [21] 陈巍,罗金葵,姜慧梅,等. 不同形态氮素比例对不同小白菜品种生物量和硝酸盐含量的影响[J]. 土壤学报,2004,41(3):420-425.
- [22] 邹春琴,李春俭. 铁和不同形态氮素对玉米植株吸收矿质元素及其在体内分体内分布的影响: I. 对氮、磷、钾、钙、镁等营养元素的影响[J]. 植物营养与肥料学报,1996,2(1):68-73.
- [23] 牛振明. 化肥减量及氮素形态对比对甘蓝养分吸收、产量和品质的影响[D]. 兰州:甘肃农业大学,2014.
- [24] 马新明,王志强,王小纯,等. 氮素形态对不同专用型小麦根系及 N 素利用率影响的研究[J]. 应用生态学报,2004,15(4):655-658.
- [25] 卢颖林. 铵硝营养影响番茄幼苗生长和氮素代谢的分子生理机制[D]. 南京:南京农业大学,2009.
- [26] 马检,樊卫国. 不同配比的硝态氮和铵态氮对枇杷实生苗 N 素吸收动力学及生长的影响[J]. 中国农业科学,2016,49(6):1152-1162.
- [27] CLAUSSEN W, LENZ F. Effect of ammonium or nitrate nutrition on net photosynthesis, growth, and activity of the enzymes nitrate reductase and glutamine synthetase in blueberry, raspberry and strawberry[J]. Plant and Soil, 1999, 208(1):95-102.

- [28] 刘赵帆. 氮素形态及配比对花椰菜产量、品质和养分吸收的影响[D]. 兰州:甘肃农业大学, 2013.
- [29] 杨阳. 氮素形态对葡萄生长发育的影响[D]. 泰安:山东农业大学, 2010.
- [30] 左青松, 葛云龙, 刘荣, 等. 油菜不同氮素籽粒生产效率品种氮素积累与分配特征[J]. 作物学报, 2011, 37(10): 1852-1859.
- [31] 张守仕, 彭福田, 齐玉吉, 等. 不同养分供应方式对盆栽桃树生长及其氮素吸收、分配的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2015, 21(1): 156-163.
- [32] TOSELLI M, FLORE J A, ZAVALLONI C, et al. Nitrogen partitioning in apple trees as affected by application time[J]. Hort Technology, 2000, 10(1): 136-140.
- [33] 史祥宾, 杨阳, 翟衡, 等. 不同时期施用氮肥对巨峰葡萄氮素吸收、分配及利用的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(6): 1444-1450.
- [34] 张春霞, 文宏达, 刘宏斌, 等. 优化施肥对大棚番茄氮素利用和氮素淋溶的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19(5): 1139-1145.
- [35] 郝小雨, 高伟, 王玉军, 等. 有机无机肥料配合施用对设施番茄产量、品质及土壤硝态氮淋失的影响[J]. 农业环境科学学报, 2012, 31(3): 538-547.
- [36] FAVATI F, LOVELLI S, GALGANO F, et al. Processing tomato quality as affected by irrigation scheduling[J]. Scientia Horticulturae, 2009, 122(4): 562-571.
- [37] WANG F X, KANG Y, LIU S P. Effects of drip irrigation frequency on soil wetting pattern and potato growth in North China Plain[J]. Agricultural Water Management, 2006, 79(3): 248-264.
- [38] 杨月英, 张福漫, 乔晓军. 不同形态氮素对基质培番茄生育、产量及品质的影响[J]. 华北农学报, 2003, 18(1): 86-89.
- [39] 杜娅丹. 无土栽培番茄对不同氮肥形态和浓度的响应[D]. 杨凌:西北农林科技大学, 2016.
- [40] 陈亮. 氮肥分次施用比例对棉花生长发育、干物质和氮素累积的影响[D]. 武汉:华中农业大学, 2012.

Effects of NO_3^- -N/ NH_4^+ -N Ratio on Enzyme Activity in Nitrogen Assimilation and Nitrogen Efficiency of Tomato Cultivated in Organic Substrate

GONG Huarui, LUO Hongyi, QI Yanyan, PANG Xiaoyan

(College of Resources and Environment, Shandong Agricultural University, Tai'an, Shandong 271000)

Abstract: In the present research, winter-crossing greenhouse tomato was taken as experimental plants by pot containing substrate, the effects of different NH_4^+ -N/ NO_3^- -N ratios related to N assimilation and uptake, efficiency of tomato were studied. By the equivalent N supply, compared to CK(0% NH_4^+ -N), at T1(5% NH_4^+ -N), T2(10% NH_4^+ -N), T3(15% NH_4^+ -N), T4(20% NH_4^+ -N) the NR activity and NO_3^- -N contents of tomato plants decreased with the increased proportion of NH_4^+ -N within total N, the GS activity of tomato increased with the increased proportion of NH_4^+ -N in nutrient solution. The enzyme activity responsible for N assimilation was regulated effectively by moderately increased proportion of NH_4^+ -N, and the absorption and efficiency of N by tomato plants was promoted as well. When the NH_4^+ -N proportion raised at T4, the field and N efficiency decreased significantly, and at T3 NH_4^+ -N proportion, the field and N efficiency were better than the other treatments. Thus, based on the experimental results, it was suggested that the NH_4^+ -N proportion of treatment T3 would be the optimal one.

Keywords: tomato; substrate cultivation; NO_3^- -N; NH_4^+ -N; N assimilation; N efficiency