

氨基酸液体肥对洋葱幼苗生长及氮代谢关键酶活性的影响

肖瑞晴¹, 胡皓翔¹, 荀天卓¹, 李洁¹, 许红军¹, 孙艳洳², 张卫华², 贾凯¹

(1. 新疆农业大学园艺学院 乌鲁木齐 830052; 2. 新疆东鲁水控农业发展有限公司 新疆疏勒 844200)

摘要:施用氨基酸液体肥有利于作物生长发育和增产,通过不同浓度氨基酸液体肥对洋葱幼苗处理,探究其对洋葱幼苗生长及氮代谢关键酶活性的影响,为洋葱苗期施肥管理提供相应的指导。供试材料为白皮洋葱白雪,设置1组对照CK(1/4霍格兰营养液)及3个处理(T1:稀释500倍氨基酸液体肥+1/4霍格兰营养液;T2:稀释300倍氨基酸液体肥+1/4霍格兰营养液;T3:稀释100倍氨基酸液体肥+1/4霍格兰营养液),在幼苗长至2片真叶时测定植株生长指标及氮代谢生理指标。结果表明,与CK相比,T1处理洋葱幼苗株高降低了20.8%,茎粗增加了15.8%,根长增加了10.7%,相对含水量降低了3.3%,有机物积累增加。洋葱幼苗叶绿素相对含量在3种浓度的处理下分别增高了7.2%、7.9%和10.1%;随着氨基酸液体肥浓度的增加,氮代谢关键酶中谷氨酸脱氢酶、硝酸还原酶、谷氨酰胺合成酶和谷氨酸合成酶活性均呈现出上升趋势,最高可提升30.9%、43.1%、43.2%和38.6%;T3处理中,硝酸还原酶、谷氨酰胺合成酶和谷氨酸合成酶增长速率变缓。综合考虑洋葱幼苗生长状况,稀释300倍氨基酸液体肥为最优处理。

关键词:洋葱;氨基酸液体肥;生长指标;氮代谢

中图分类号:S633.2

文献标志码:A

文章编号:1673-2871(2025)12-156-07

Effects of amino acid liquid fertilizer on the growth and nitrogen metabolism of onion at seedling stage

XIAO Ruiqing¹, HU Haoxiang¹, XUN Tianzhuo¹, LI Jie¹, XU Hongjun¹, SUN Yanru², ZHANG Weihua², JIA Kai¹

(1. College of Horticulture, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, Xinjiang, China; 2. Xinjiang Donglu Water Control Agricultural Development Co., Ltd., Shule 844200, Xinjiang, China)

Abstract: Amino acid liquid fertilizer is beneficial to crop growth and development and yield increase, so this study investigated the effects of different concentrations of amino acid liquid fertilizer on onion seedling growth and nitrogen metabolism of key enzyme activities, to provide appropriate guidance for onion seedling fertilization management. The test material was white-skinned onion 'White Snow', with one control CK(1/4 Hogan's nutrient solution) and three treatments (T1: 500-fold dilution of amino acid liquid fertilizer + 1/4 Hogan's nutrient solution, T2: 300-fold dilution of amino acid liquid fertilizer + 1/4 Hogan's nutrient solution, T3: 100-fold dilution of amino acid liquid fertilizer + 1/4 Hogan's nutrient solution). Plant growth indexes and physiological indexes of nitrogen metabolism were carried out to determine when the seedlings grew to two true leaves. The results showed that, compared with CK, the height of onion seedlings in T1 treatment decreased by 20.8%, the stem thickness increased by 15.8%, the root length increased by 10.7%, the relative water content decreased by 3.3%, and the accumulation of organic matter increased. The relative chlorophyll content of onion seedlings increased by 7.2%, 7.9% and 10.1% under the three concentrations of treatments; with the increase of amino acid liquid fertilizer concentration, the key enzymes of nitrogen metabolism, including glutamate dehydrogenase, nitrate reductase, glutamine synthetase and glutamate synthetase, showed an increasing trend, with the highest enhance-

收稿日期:2025-02-19;修回日期:2025-04-21

基金项目:新疆维吾尔自治区重点研发计划(2023B02024-3);新疆维吾尔自治区自然科学基金(2022D01B24);新疆维吾尔自治区重点研发计划(2022B02032-2);新疆蔬菜产业技术体系昌吉综合试验站(XJARS-07);2021年天池博士计划项目

作者简介:肖瑞晴,女,在读硕士研究生,研究方向为蔬菜生理。E-mail:1535968376@qq.com

共同第一作者:胡皓翔,男,在读本科生,研究方向为蔬菜栽培。E-mail:2311498373@qq.com

通信作者:贾凯,男,讲师,研究方向为蔬菜栽培生理。E-mail:xjau_jk@163.com

ment of 30.9%, 43.1%, 43.2% and 38.6%; T3 In the treatment group, the growth rate of nitrate reductase, glutamine synthetase and glutamate synthetase slowed down. Considering the growth condition of onion seedlings, 300-fold dilution of amino acid liquid fertilizer was the optimal treatment.

Key words: Onion; Amino acid liquid fertilizer; Growth indicator; Nitrogen metabolism

洋葱(*Allium cepa* L.)又名皮牙子,石蒜科葱属二年生草本植物。洋葱对温度、水分、土壤和光照的适应性较强,因此能够在新疆多样的气候和土壤条件下生长,其品质优良,营养价值丰富,在新疆是重要的经济作物。洋葱的幼苗期氮元素需求偏大,在农业生产上施肥通常会超出作物自身所需的化肥用量^[1]。化肥用量过多易造成土壤淋溶、板结,以及环境污染等一系列的问题^[2]。为洋葱生产实现节本增效和保护生态环境,研究有机肥料替代化肥是十分关键的举措。液体肥料以氮、磷、钾为主要原料,氨基酸液体肥中的氨基酸可以被植物的各个器官直接吸收,可刺激根端分生组织细胞的分裂与增长,同时可促进作物的早熟、缩短生长周期^[3]。氨基酸肥料施用后无残留,能够起到改善土壤理化性状、改良土壤的作用。本研究采用氨基酸液体肥对洋葱幼苗的品质及生长指标进行测定,筛选出洋葱幼苗生长最适的氨基酸液体肥浓度,以期为化肥减量、有机肥代替传统化肥及新型肥料增效探索有效途径,达到“两增一减”的目的,为洋葱种植施肥提供新思路。李兵等^[4]认为,在番茄生长期喷施600倍的西姆益农氨基酸液体肥料能促进植株营养生长,显著提高结果数量和番茄产量。张妮等^[5]认为,减施氮肥40%,配施氨基酸液体肥料419.8 kg·hm⁻²,可显著提高辣椒的产量及增加果形指数,同时可显著改善辣椒的感官品质和营养品质。周素云^[6]对大葱进行氨基酸液面肥喷施,增产、抗病效果显著。刘鑫等^[7]在大豆分枝期叶面喷施台龙宝氨基酸液体肥,增产效果和经济效益明显。黄秀连^[8]的研究表明,在小白菜上喷施氨基酸水溶肥料能够提高小白菜的株高、叶长、叶宽以及叶片数,同时能显著提高小白菜的产量。王蓓等^[9]研究表明,在辣椒和豇豆根部灌施含氨基酸水溶肥料能显著提高辣椒和豇豆土壤中过氧化氢酶、脲酶、蔗糖酶和磷酸酶活性,氨基酸水溶肥料能够改善土壤理化性状,增强土壤肥力。氨基酸液体肥在番茄、辣椒等蔬菜上均有研究,但氨基酸液体肥在洋葱幼苗上的研究鲜见报道,因此,本研究采用不同浓度的氨基酸液体肥处理并对洋葱幼苗的生长指标、叶绿素相对含量、壮苗指数以及氮代谢

关键酶活性进行测定,以期探究洋葱苗期的生长生理及氮代谢关键酶活性的变化,筛选出适宜洋葱幼苗生长的氨基酸液体肥浓度,为洋葱集约化育苗提供技术参考,并为其推广应用提供有效验证及科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试品种为白皮洋葱白雪,种子购于济南广良农业开发有限公司。氨基酸水溶液体肥为扩科达拉牌,其中氨基酸浓度(ρ ,后同) $\geq 100 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$, ($\text{Fe} + \text{Zn} + \text{Ca}$)浓度 $\geq 30 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$, N含量(w ,后同) $\geq 0.9\%$, P_2O_5 含量 $\geq 0.9\%$, K_2O 含量 $\geq 0.9\%$, pH: 5.5~8.5。霍格兰氏液购自北京索莱宝科技有限公司, $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 浓度 945 mg·L⁻¹, KNO_3 浓度 607 mg·L⁻¹, $(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4$ 浓度 115 mg·L⁻¹, MgSO_4 浓度 493 mg·L⁻¹, 铁盐溶液浓度 2.5 mL·L⁻¹, 微量元素含量(φ ,后同)5 mL·L⁻¹, pH: 6.0。

1.2 试验设计

试验于2023年8—10月在新疆农业大学智能玻璃温室进行,日间温度25~28℃,夜间温度15~18℃,相对湿度40%~60%,光合有效辐射峰值为80~100 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,光照时长14 h。先将洋葱种子表面用0.1%的NaClO消毒8 min,然后使用无菌ddH₂O清洗5次,再将洋葱种子播进装有 $V_{\text{草炭}}:V_{\text{蛭石}}:V_{\text{珍珠岩}}$ 为3:1:1基质的营养钵(9 cm×9 cm)中,每个营养钵播进20粒洋葱种子。

以氨基酸液体肥浓度为变量设置单因素试验,设置1个对照(CK, 1/4霍格兰营养液)和3个浓度的氨基酸液体肥混合液(T1:稀释500倍氨基酸液体肥+1/4霍格兰营养液;T2:稀释300倍氨基酸液体肥+1/4霍格兰营养液;T3:稀释100倍氨基酸液体肥+1/4霍格兰营养液)。每个处理均匀播20粒洋葱种子,每个处理设置3次重复。每隔4 d于20:00浇800 mL蒸馏水直至幼苗长至2片真叶,采用一清一浊的方式浇灌不同浓度的氨基酸液体肥混合液,长至4~5片真叶时开始采收,采收后立即放入液氮存放,后转入-80℃超低温冰箱保存并进行相关指标的测定。

1.3 项目测定

1.3.1 生长指标测定 在洋葱幼苗长至4~5片真叶时,随机选取9株长势相近的植株作为生物学重复,使用游标卡尺测量幼苗株高(自基部至生长最高点)、茎粗(基部以上3 cm的直径)、最长根长;使用电子天平(0.001 g)测定植株的根鲜质量和地上部鲜质量;将幼苗植株放入105 °C烘箱杀青30 min,转80 °C下烘干至恒质量,使用电子天平分别称量地上部干质量和根干质量,计算壮苗指数。

壮苗指数=(茎粗/株高+根干质量/地上部干质量)×全株干质量^[10]。

1.3.2 叶绿素相对含量测定 在每组处理中随机选取9株长势基本一致的植株,用手持叶绿素仪SPAD 502测定叶绿素含量,选取从上往下第4叶片中间部位测量读数并记录。

1.3.3 氮代谢关键酶活性测定 硝酸还原酶(nitrate reductase, NR)、谷氨酰胺合成酶(glutamine synthetase, GS)活性采用苏州科铭生物技术有限公司的试剂盒测定^[11];谷氨酸脱氢酶(glutamate dehydrogenase, GDH)、谷氨酸合成酶(glutamate synthetase, GOGAT)活性采用北京索莱宝科技有限公司的试剂盒测定^[12]。

1.4 隶属函数分析

对洋葱幼苗4~5片真叶的生长指标、干物质累积指标、氮代谢关键酶(NR、GS、GDH、GOGAT)活性采用隶属函数法进行综合分析^[13]。

$$\text{隶属函数值: } R(X_i) = (X_i - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}) ; \quad (1)$$

$$\text{平均隶属值: } R(X_i) = [R(X_1) + R(X_2) + \dots + R(X_j)] / j . \quad (2)$$

式中, X_i 代表第*i*个综合指标; X_{\min} 代表第*i*个综合指标的最小值; X_{\max} 代表第*i*个综合指标的最大值。

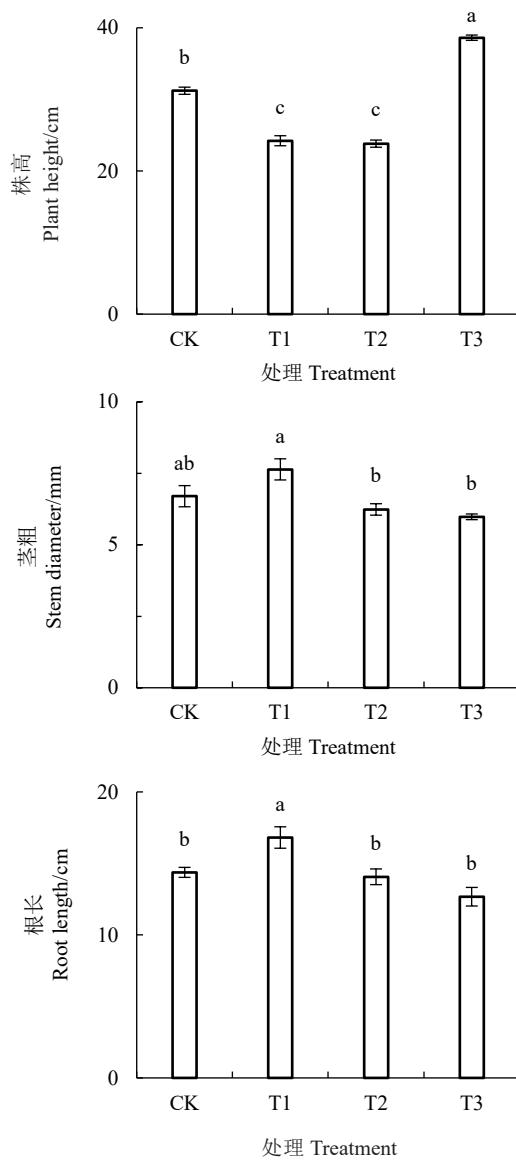
1.5 数据分析与处理

采用IBM SPSS Statistics 23.0统计分析软件处理试验数据并进行方差分析,采用Origin 2021软件作图。

2 结果与分析

2.1 不同浓度氨基酸液体肥处理对洋葱幼苗生长指标的影响

由图1可知,T1、T2处理的株高相较CK分别显著降低20.8%和20.1%,而T3处理相较CK显著升高13.5%。其中,T3处理相较T1、T2处理存在显著差异。T1处理的茎粗相较CK增加了



注:不同小写字母表示在0.05水平差异显著。下同。

Note: Different lowercase indicate letters significant difference at 0.05 level. The same below.

图1 不同浓度氨基酸液体肥处理下洋葱幼苗的生长指标

Fig. 1 Growth indexes of onion seedlings under different concentrations of amino acid liquid fertilizer treatment

15.8%,根长较CK显著增加了10.7%,并显著高于T2、T3。

由图2可知,随氨基酸液体肥处理浓度的升高,洋葱幼苗的叶绿素相对含量呈上升的趋势,T1、T2、T3处理相较CK均显著上升了7.2%、7.9%和10.1%,其中T3处理相较T1、T2处理也显著上升。

由图3可知,T1、T2处理壮苗指数相较于CK显著提高了3.8%和2.9%;而T3处理相较CK显著降低了6.5%,其中T1、T2处理均较T3处理显著提高。

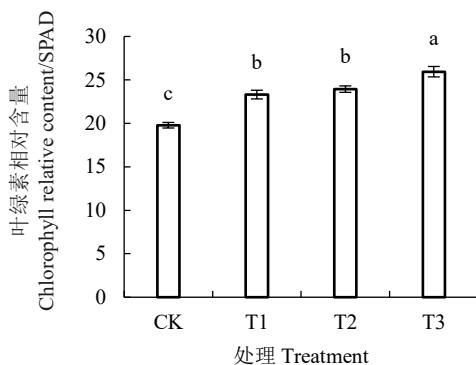


图 2 不同浓度氨基酸液体肥处理对洋葱幼苗叶绿素相对含量的影响

Fig. 2 Effects of different concentrations of amino acid liquid fertilizer on relative chlorophyll content of onion seedlings

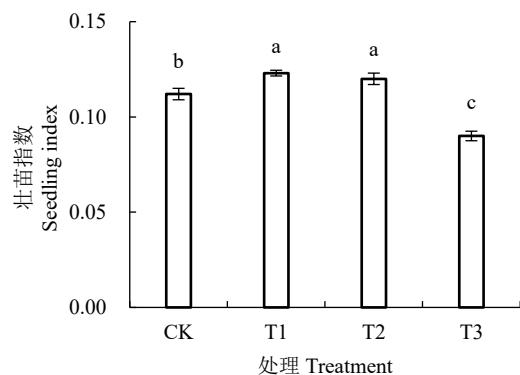


图 3 不同浓度氨基酸液体肥处理对洋葱幼苗壮苗指数的影响

Fig. 3 Effects of different concentrations of amino acid liquid fertilizer treatment on the seedling growth index of onion seedlings

2.2 不同浓度氨基酸液体肥处理对洋葱幼苗干物质累积的影响

由图 4 可知, T1 处理地上部鲜质量较 CK 降低 12.6%, T2 处理较 CK 增加 12.1%, T3 处理较 CK 显著增加 19.8%; T1 处理地上部干质量较 CK 降低 5.1%, T2、T3 处理相较 CK 增加 1.2% 和 5.8%; T1 处理根鲜质量相比 CK 上升 13.4%, T2、T3 处理则相较 CK 降低 5.2% 和 4.4%; 在根干质量上, 与根鲜质量相似, T1 处理相较 CK 提高 14.7%, T2、T3 处理相较 CK 降低 1.8% 和 3.5%。通过植株整体的相对含水量可以看出, 与 CK 相比, T1 处理相对含水量相较 CK 显著降低 3.3%, 则 T2、T3 处理较 CK 显著上升 3.8% 和 2.5%。

2.3 不同浓度氨基酸液体肥处理对洋葱幼苗氮代谢关键酶活性的影响

由图 5 可知, T1、T2 和 T3 处理相较 CK 的 GS

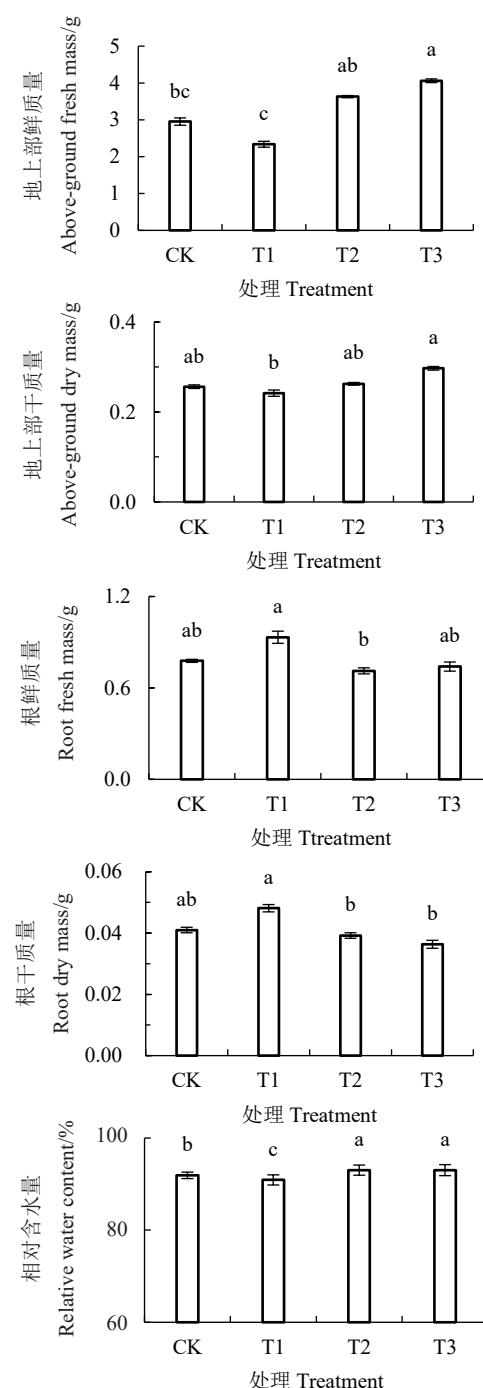


图 4 不同浓度氨基酸液体肥处理对洋葱幼苗干物质累积的影响

Fig. 4 Effects of different concentrations of amino acid liquid fertilizer treatment on dry matter accumulation of onion seedlings

活性分别显著提高 43.2%、41.6% 和 28.4%; 其中 T1、T2 处理显著高于 T3 处理; T1、T2 和 T3 处理的 GOGAT 活性相较 CK 分别显著提高 35.2%、38.6% 和 28.4%, 且 T1、T2 处理显著高于 T3 处理; T1、T2 和 T3 处理的 NR 活性相较 CK 分别显著提高 41.2%、43.1% 和 32.6%, T1、T2 处理显著高于 T3 处

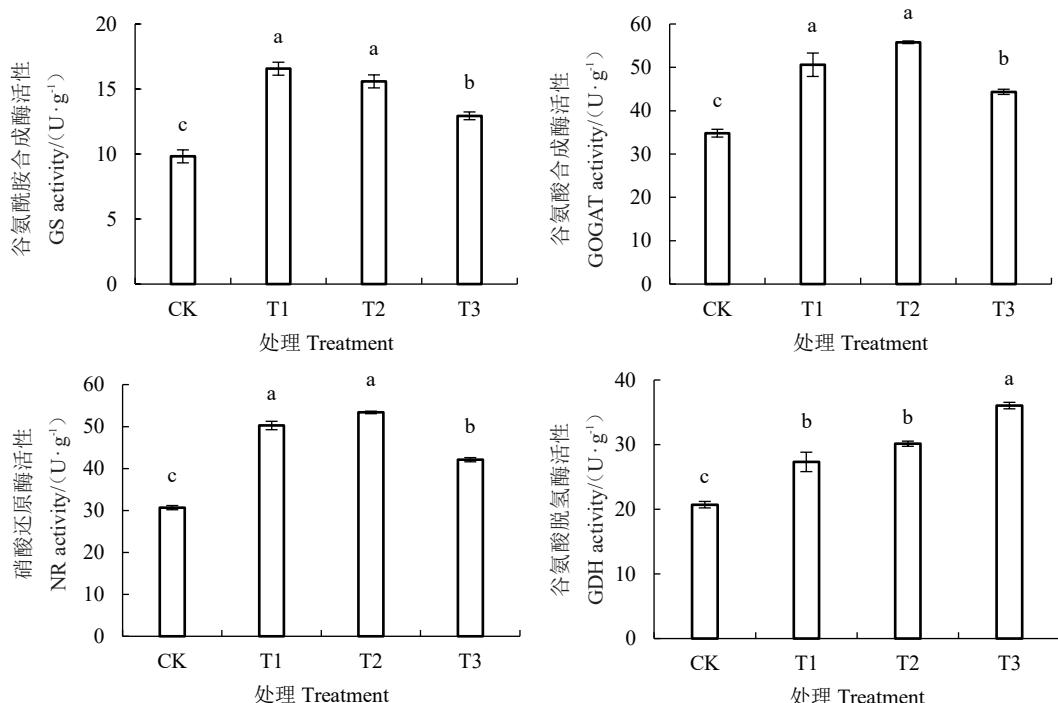


图 5 不同浓度氨基酸液体肥处理对洋葱幼苗氮代谢关键酶活性的影响

Fig. 5 Effects of different concentrations of amino acid liquid fertilizer on key enzyme activities of nitrogen metabolism in onion seedlings

理;在 GDH 活性中,T1、T2 和 T3 处理相较 CK 的 GDH 活性分别显著提高 15.6%、19.4% 和 30.9%, 其中 T3 处理显著高于 T1、T2 处理。

2.4 不同浓度氨基酸液体肥处理对洋葱幼苗生长的综合评价

采用隶属函数分析法, 对不同浓度氨基酸

液体肥处理下的洋葱幼苗的关键指标及氮代谢关键酶活性进行综合分析。由表 1 可知, 洋葱幼苗指标在不同浓度的氨基酸液体肥处理下的表现不同。在 T1、T2、T3 三个不同浓度处理与 CK 中, 综合隶属函数度排名由高到低分别为 T2>T1>T3>CK。

表 1 不同浓度氨基酸液体肥处理对洋葱幼苗生长的综合评价

Table 1 Comprehensive evaluation of onion seedling growth by different concentrations of amino acid liquid fertilizer treatment

| Treatment | 叶绿素相对含量 | 株高 Plant height | 茎粗 Stem diameter | 根长 Root length | 地上部鲜质量 Aboveground fresh mass | 根鲜质量 Root fresh mass | 地上部干质量 Aboveground dry mass | 根干质量 Root dry mass | Relative water content | 相对 | 谷氨酰胺合成酶活性 | 谷氨酸合成酶活性 | 硝酸还原酶活性 | 谷氨酰脱氢酶活性 | 综合隶属度 |
|-----------|---------|-----------------|------------------|----------------|-------------------------------|----------------------|-----------------------------|--------------------|------------------------|------|-----------|----------|---------|----------|-------|
| | | | | | | | | | | GS | GOGAT | NR | GDH | CMD | |
| CK | 0.00 | 0.50 | 0.50 | 0.41 | 0.36 | 0.30 | 0.63 | 0.53 | 0.47 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 3.69 | 4 |
| T1 | 0.57 | 0.03 | 1.00 | 1.00 | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 0.86 | 0.00 | 1.00 | 0.75 | 0.86 | 0.43 | 7.50 | 2 |
| T2 | 0.67 | 0.00 | 0.18 | 0.34 | 0.75 | 0.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 0.87 | 1.00 | 1.00 | 0.61 | 8.43 | 1 |
| T3 | 1.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | 0.13 | 0.23 | 0.00 | 1.00 | 0.46 | 0.46 | 0.51 | 1.00 | 6.78 | 3 |

3 讨论与结论

氨基酸液体肥料中的氨基酸相对于其他氮源能被植物优先吸收,降低植物在吸收同化氮源时所消耗的能量,为作物代谢供氮、供碳和供能,从而增加洋葱的株高、茎粗、根长和叶绿素相对含量,有效

改善洋葱的农艺性状^[14]。方勇^[15]研究表明,氨基酸液体肥对设施栽培的铁皮石斛生长有显著促进作用,喷施适宜浓度的氨基酸液体肥能有效提高铁皮石斛的根数和根长。李磊等^[16]在辣椒上的研究结果也表明,喷施氨基酸液体肥能显著提高辣椒的株高,促进辣椒果实的生长发育。本研究结果也表

明,稀释500倍浓度的氨基酸液体肥混合液处理可明显促进茎粗和根长的增加,而稀释100倍及300倍的浓度处理与稀释500倍相比降低了植株根部干物质和有机物的累积。前人研究表明,10%与20%不同配比的氨基酸肥增加了生菜的地上部干质量及地下部干鲜质量,而50%处理时各指标均小于CK,推测可能是高浓度的氨基酸液体肥对植株造成了一定的胁迫^[17]。

叶绿素是植物光合作用光能捕获的重要物质基础^[18],叶绿素含量可以衡量植物的抗逆性强弱^[19-21]。本试验中不同浓度的氨基酸液体肥处理均可显著增加洋葱幼苗的叶绿素相对含量,这与王虹等^[17]在生菜上的研究结果相一致,不同配比的氨基酸肥混合液均可显著提高叶绿素含量。通过植株的株高、茎粗、根干质量、地上部干质量等生长指标可计算得出壮苗指数,壮苗指数可直接反映植株的质量^[22]。本试验结果表明,稀释500倍及300倍浓度的氨基酸液体肥混合液处理显著提高了洋葱幼苗的壮苗指数,而稀释100倍浓度的氨基酸液体肥处理则显著降低洋葱幼苗的壮苗指数。Wang等^[23]的研究则表明,小青菜质量的增加或减少则与使用的氨基酸浓度有关,而过高浓度的氨基酸处理抑制植株的生长可能与过高电导率引起的植株渗透胁迫有关。

氮素是植物生长过程中重要的大量元素之一,植物在吸收氮素后需要经过一系列的代谢过程才能合成自身所需的营养物质^[24],再参与植物其他代谢活动^[25]。氮素形态也会影响植物中代谢酶的活性,不同代谢酶活性对于不同氮形态表现不一^[26],但适宜的氮水平能够诱导氮代谢关键酶活性,同时刺激调控酶合成在氮代谢中发挥作用,高氮水平则抑制氮代谢调控酶的表达,对植物氮代谢有负面影响^[27]。GDH、NR、GS及GOGAT是氮代谢过程中的关键酶,增强其活性对植物氮代谢有推动作用,能促进蛋白质的合成和转化^[28]。本试验结果表明,不同浓度的氨基酸液体肥均可以提高洋葱幼苗的氮代谢关键酶活性,随着氨基酸液体肥浓度的上升, GDH、NR、GS及GOGAT活性均呈现出上升趋势,最高可提升30.9%、43.1%、43.2%和38.6%。曹云等^[29]在水稻的研究中发现,混合氮素营养既能提高NR活性又能增强NR基因的表达;李成阳等^[30]在甘薯的研究中发现,增加肥料配比中硝态氮比例可使NR与GDH活性上调,硝态氮和铵态氮配施可使GS活性上调,但是高浓度的两种形态氮素会抑制

酶的活性,本研究的结果也表明,稀释500倍及300倍浓度的混合液处理下洋葱幼苗的GOGAT、GS和NR的活性与CK相比显著提高,而将氨基酸液体肥混合液稀释到100倍时关键酶活性变缓之前的研究也表明,低浓度氨基酸可以提高氮素利用效率,如通过影响硝酸还原酶的活性来调控氮素代谢过程^[31]。

在本试验中,稀释一定浓度的氨基酸液体肥可促进洋葱幼苗的生长及氮代谢关键酶的活性,其中,稀释300倍的氨基酸液体肥混合液处理下洋葱幼苗的生长及酶活性指标显著优于对照,在洋葱实际种植过程中,可以用氨基酸液体肥替代部分化肥,从而减少化肥施用量,提高蔬菜品质,以上研究结果可为提高洋葱产量和氮代谢关键酶活性提供理论依据。

参考文献

- [1] 张红娟,陈梦华,何珊珊,等.有机肥配施生物炭对设施番茄产量、品质及土壤养分和重金属累积的影响[J].西北农业学报,2023,32(12):1978-1986.
- [2] 韩松竹,高杰.氮肥减施与氨基酸液体肥增施对露地膜下滴灌洋葱生长、产量和品质的影响[J].新疆农业科学,2021,58(5):838-845.
- [3] 王超,张宗翊,赵宝龙,等.不同叶面肥对温室番茄生长和果实品质的影响[J].中国瓜菜,2024,37(12):126-132.
- [4] 李兵,许晓静,段秋红.西姆益农氨基酸液体肥在番茄上的应用效果初探[J].西北园艺(综合),2017(5):52-53.
- [5] 张妮,阿迪力·阿卜来提,贾凯,等.氨基酸液体肥料替代氮肥对辣椒生长、产量及品质的影响[J].新疆农业科学,2020,57(5):918-924.
- [6] 周素云.氨基酸液体肥料在大葱生产上的应用[J].吉林蔬菜,2008(6):58.
- [7] 刘鑫,汤志平.台龙宝氨基酸液体肥在大豆上应用效果[J].现代化农业,2011(9):18.
- [8] 黄秀连.氨基酸水溶肥料在小白菜上的应用探究[J].南方农业,2017,11(30):27-28.
- [9] 王蓓,黄忠阳,徐明喜,等.含氨基酸水溶肥料在设施辣椒和豇豆上的田间效应研究[J].土壤通报,2017,48(3):683-691.
- [10] 潘佳琪,彭铁梨,贾媛婕,等.辣椒种苗质量分级与壮苗指数构建[J].中国农业大学学报,2024,29(2):91-98.
- [11] 凌丹丹,雒佳铭,刘晓英,等.不同光质组合对番茄开花初期碳、氮代谢及其关键酶活性的影响[J].南京农业大学学报,2021,44(4):622-627.
- [12] DING F, HU Q, WANG M, et al. Knockout of *SISBPASE* suppresses carbon assimilation and alters nitrogen metabolism in tomato plants[J]. International Journal of Molecular Sciences, 2018, 19(12):4046.
- [13] 姜冰,王松涛,孙增兵,等.基于隶属度函数和主成分分析的耕地土壤肥力评价[J].中国农学通报,2023,39(10):22-27.
- [14] 贾娟,李硕,高夕彤,等.氨基酸水溶肥与菌剂配施对洋葱生长

- 及土壤生态特征的作用效果[J].河北农业大学学报,2018,41(1):17-23.
- [15] 方勇.氨基酸液肥对设施栽培铁皮石斛生长品质的影响[J].浙江农业科学,2018,59(11):2017-2018.
- [16] 李磊,尹显慧,龙友华,等.氨基酸水溶肥对辣椒果实氨基酸含量及品质的影响[J].南方农业学报,2019,50(5):1049-1056.
- [17] 王虹,宋一鹏.氨基酸态氮与硝态氮不同配比对生菜生长及品质的影响[J].浙江农业科学,2022,63(12):2837-2839.
- [18] GONZALES-ALVARADO A C, CARDOSO C J. Development, chlorophyll content, and nutrient accumulation in vitro shoots of *Melaleuca alternifolia* under light wavelengths and 6- BAP[J]. Plants, 2024, 13(20):2842.
- [19] WAN C, ZHANG H, CHENG H Y, et al. Selective autophagy regulates chloroplast protein import and promotes plant stress tolerance[J]. EMBO Journal, 2023, 42(14):112534.
- [20] 罗凌迅,左婷,程维,等.叶面喷施氨基酸和钾肥对安吉白茶产量与品质的影响[J].浙江大学学报(农业与生命科学版),2024,50(5):724-736.
- [21] HUANG X, ZHOU Z C, LIU H Y, et al. Soil nutrient conditions alter viral lifestyle strategy and potential function in phosphorous and nitrogen metabolisms[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2024, 189:109279.
- [22] HUANG W, SHEN M Y, LIU Z L, et al. Effects of different application methods and application rates of biological nano-selenium on the quality of passion fruit[J]. Medicinal Plant, 2020, 11(3):68-69.
- [23] WANG H J, WU L H, WANG M Y, et al. Effects of amino acids replacing nitrate on growth, nitrate accumulation, and macroelement concentrations in pak-choi (*Brassica chinensis* L.)[J]. Pedosphere, 2007, 17(5):595-600.
- [24] 郭亚芬,米国华,陈范骏,等.硝酸盐供应对玉米侧根生长的影响[J].植物生理与分子生物学学报,2005,31(1):90-96.
- [25] 白文钦,胡明瑜,王春萍,等.氮素在植物中的利用综述[J].江苏农业科学,2020,48(4):1-11.
- [26] 卢丽兰,杨新全,王彩霞,等.不同硝铵比氮素供应对广藿香生长及药效成分的影响[J].植物营养与肥料学报,2017,23(5):1314-1325.
- [27] 侯昕,徐新翔,贾志航,等.供氮水平对苹果砧木‘M9T337’幼苗生长和GS、GOGAT、AS基因表达的影响[J].园艺学报,2019,46(11):2239-2248.
- [28] 程林,王宗亚,黄双双,等.氨基酸增值氮肥的增产作用及其机制研究[J].安徽农学通报,2024,30(11):70-73.
- [29] 曹云,范晓荣,孙淑斌,等.增硝营养对不同基因型水稻苗期硝酸还原酶活性及其表达量的影响[J].植物营养与肥料学报,2007,13(1):99-105.
- [30] 李成阳,柴沙沙,刘意,等.不同氮素形态配比对甘薯前期氮代谢的影响及其生理机制[J].植物科学学报,2021,39(4):433-445.
- [31] LIU X Q, KO K Y, KIM S H, et al. Effect of amino acid fertilization on nitrate assimilation of leafy radish and soil chemical properties in high nitrate soil[J]. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 2008, 39(1/2):269-281.