

不同浓度外源氨基酸对水稻秧苗生长及相关生理指标的影响

刘繁超^{1,2} 方淑梅^{1,2} 王庆燕^{1,2} 王晗昕¹ 牛娟娟^{1,2} 梁喜龙^{1,2}

(¹黑龙江八一农垦大学农学院, 163319, 黑龙江大庆; ²黑龙江省植物生长调节剂工程技术研究中心, 163319, 黑龙江大庆)

摘要 以垦粳8号为供试品种, 通过温室试验, 研究了不同浓度外源氨基酸(L-亮氨酸、L-天门冬氨酸、L-谷氨酸、L-精氨酸)对水稻秧苗生长及相关生理指标的影响。结果表明, 添加外源亮氨酸(4 g/L)、天门冬氨酸(1.00 g/L)和谷氨酸(0.9 g/L)能够提高秧苗干物质积累量、叶绿素含量、渗透物质含量及抗氧化酶活性, 降低丙二醛含量, 促进秧苗根系生长, 提高秧苗素质。秧苗株高分别增加55.14%、57.25%和37.90%, 茎基宽分别增加10.53%、12.78%和42.85%, 总干物质量分别增加66.91%、42.75%和38.66%, 总叶绿素含量分别增加64.41%、20.85%和1.84%。外源精氨酸拌土处理在本研究浓度范围内可显著抑制秧苗根系生长和地下部干物质量积累。说明外源亮氨酸、天门冬氨酸和谷氨酸调控效果显著, 尤其是4 g/L的外源亮氨酸作用效果突出, 在今后培育高素质水稻秧苗的生产实践中可作为调控秧苗生长的技术手段。

关键词 氨基酸; 水稻; 秧苗素质; 农艺性状; 抗逆性

水稻(*Oryza sativa* L.)作为最重要的粮食作物之一, 全球已有超过50%的人口以稻米为主食, 与其他粮食相比, 稻米更适合人体需要, 其所含的粗纤维少, 淀粉粒小, 易于消化^[1]。水稻秧苗建成对其生产起着关键性作用, 通过添加外源物质可提高水稻秧苗素质、产量和品质^[2]。经蛋白质水解后得到的氨基酸常见的仅有20种, 它们是构成蛋白质的基本单位^[3]。氨基酸作为一种生物刺激素可提高肥料利用率, 易于被作物吸收, 可促进作物根系生长, 增强相关酶活性, 调节作物生长发育, 提升作物对逆境的适应性, 进而提高作物产量, 改善作物品质^[4-5]。氨基酸对植物的促生作用研究, 可追溯到20世纪80年代, 现已应用与推广到大田作物中^[6]。如今水稻实际生产中机械化栽插技术越发成熟, 机械化作为节本增效的重要技术之一, 已逐步取代人工移栽, 在规模化、专业化和集约化生产条件下, 高素质水稻秧苗的培育是水稻全程机械化推广面临的技术问题^[7-8], 良好的秧苗素质对水稻产量形成与品质改善具有重要作用, 高素质水稻秧苗对水稻的高效生产起积极作用^[9]。

陈雪等^[10]研究聚天门冬氨酸浸种对水稻秧苗抗逆性的影响发现, 浸种处理后显著提高秧苗生

根能力、保护性酶活性等抗性指标和SPAD等生理指标, 表明聚天门冬氨酸对水稻秧苗素质具有促进作用。左莹^[11]在研究添加外源谷氨酸对水稻抗旱性的影响中发现, 谷氨酸预处理能够提高水稻的抗旱性, 为解决水稻干旱问题提供了新思路和新途径。邹朝晖等^[12]研究在不同时期喷施外源L-亮氨酸-¹⁵N对水稻干重及含氮量的影响, 结果表明水稻叶面喷施外源氨基酸能提高水稻生物量和植株中含氮量, 促进其根对氮肥的吸收, 进而提高产量及稻米中氨基酸含量。梁志雄等^[13]研究发现, 丙氨酸作为增效剂与硼肥配合施用, 可提高硼肥的应用效应。前人针对氨基酸在农作物生产的研究主要集中在氨基酸作为叶面肥、肥料增效剂和提高氮肥利用率等方面, 而针对单一氨基酸对作物生长发育影响的研究较少, 所以外源氨基酸在农业生产上的广泛使用, 尤其是水稻的育苗生产仍需要进行针对性探究。

本试验以黑龙江八一农垦大学农学院自主培育的水稻品种垦粳8号为试验材料, 于植物培养室内进行氨基酸拌土处理, 研究不同外源氨基酸处理对水稻秧苗生长的影响, 探讨不同外源氨基酸调控水稻秧苗生长的生理机制, 为外源氨基酸在实际水稻育苗生产上进行有针对性高效应用提

作者简介: 刘繁超, 研究方向为作物化学调控, E-mail: 2673445674@qq.com

梁喜龙为通信作者, 研究方向为作物化学控制原理与技术, E-mail: xilongliang@126.com

基金项目: 黑龙江八一农垦大学博士启动金(XDB-2016-01); 黑龙江八一农垦大学“三横三纵”支持计划(2018年度平台支持计划)

收稿日期: 2023-03-24; 修回日期: 2023-04-13; 网络出版日期: 2023-05-16

供理论依据和技术支持。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验水稻品种为垦粳 8 号，由黑龙江八一农垦大学水稻研究中心提供。L-谷氨酸（L-glutamic acid, 99%）、L-亮氨酸（L-leucine, 99%）和 L-天门冬氨酸（L-aspartic acid, 99%）均购于上海麦克林生化科技股份有限公司，L-精氨酸（L-arginine, ≥98%）购于北京酷来搏科技有限公司。试验土壤为黑龙江八一农垦大学国家杂粮中心室外盆栽场统一用土，上茬作物为大豆。土壤基本理化性质为碱解氮 131.95 mg/kg、有效磷 60.65 mg/kg、速效钾 211.20 mg/kg、pH 7.34、有机质 2.47%。

1.2 试验设计

试验于 2022 年 10 月采用发芽盒培育方式在黑龙江八一农垦大学农学院温室内进行，昼/夜空气温度为 23~28 °C/18~23 °C，光照强度为 18 000 lx。播种量统一为 7.5 g/盒（水稻发芽盒规格为 18 cm×12.5 cm×5 cm），底土 400 mL，覆土 130 mL（底土与覆土体积约比为 3:1），底土厚度及覆土量与机插水稻育秧盘土壤条件一致，供试药剂拌土施用，播种前底土浇透水。播种后进行覆膜，于 3 d 后去掉塑料薄膜。试验设置处理小组 4 组，每个处理小组分别设置 4 个不同浓度梯度，以空白作对照，每个处理重复 3 次，如表 1 所示。于播后

21 d 取样，进行相关指标测定，设置取样区间为 10 cm×10 cm，选取具有代表性的水稻秧苗 50 株测定指标。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 农艺性状 于取样区间内取样测定，重复 3 次，每次随机选取具有代表性植株 10 株，对株高、茎基宽和叶面积进行测定，然后将测定样品置于 105 °C 杀青 30 min，80 °C 烘干至恒重，测定地上和地下干物质量，并参照齐德强等^[14]描述的公式计算根冠比、秧苗充实度和生长函数（G 值）^[15]：

根冠比=地下干物质量/地上干物质量；

秧苗充实度=地上干物质量/株高；

生长函数=植株干物质量/育苗周期（苗龄）。

1.3.2 根系形态及活性 分别于取样区间内挑选长势基本一致的 20 株秧苗用蒸馏水清洗干净，将每株秧苗的根系剪下，通过台式扫描仪（Epson CORP, 日本）进行扫描，再将图像通过 WinRHIZO 根系分析软件（Regent Instruments, Inc, Quebec, 加拿大）进行分析，获得根系总长度、总根表面积和总根体积等相关指标。参照王晶英等^[16]描述的方法，采用氯化三苯基四氮唑（TTC）法测定秧苗根系活力。

1.3.3 光合色素含量 参照胡秉芬等^[17]的方法测定叶片光合色素含量，取新鲜水稻叶片剪碎混匀，用 95%乙醇浸泡避光提取 12 h，然后将浸提液在 649 和 665 nm 波长下比色。参考公式 Chla=13.95A₆₆₅-6.88A₆₄₉，Chlb=24.96A₆₄₉-7.32A₆₆₅ 计算叶绿素浓度。

1.3.4 碳代谢产物含量 选取水稻秧苗叶片用液氮速冻后保存于-40 °C冰箱中，参照张志良^[18]描述的方法测定叶片中蔗糖、淀粉和果糖含量。

1.3.5 保护性酶活性及丙二醛含量 选取水稻秧苗叶片用液氮速冻后保存于-40 °C冰箱中，待样品全部收集完毕后，参照李合生^[19]的方法统一测定超氧化物歧化酶（SOD）、过氧化物酶（POD）、过氧化氢酶（CAT）活性和丙二醛（MDA）含量等指标。

1.3.6 渗透调节物质 选取水稻秧苗叶片用液氮速冻，保存于-40 °C冰箱中，参照李合生^[19]的方法测定游离脯氨酸（Pro）和可溶性糖含量。参照 Bradford^[20]的方法测定可溶性蛋白含量。

1.4 数据处理

采用 SPSS 19.0 进行 ANOVA 单因素检验，用

表 1 试验设计方案

Table 1 Experimental design scheme

组别 Group	处理 Treatment	浓度 Concentration (g/L)
亮氨酸 Leucine	L1	1
	L2	2
	L3	4
	L4	8
天门冬氨酸 Aspartic acid	T1	0.25
	T2	0.50
	T3	1.00
	T4	5.00
谷氨酸 Glutamic acid	G1	0.9
	G2	1.8
	G3	3.6
	G4	7.2
精氨酸 Arginine	J1	0.85
	J2	1.70
	J3	3.40
	J4	10.20
对照 Control	CK	0.00

LSD 法比较处理之间 $P < 0.05$ 水平上的差异，并用 Excel 2021 进行图表处理与常规比较分析。

2 结果与分析

2.1 不同外源氨基酸对水稻秧苗农艺性状的影响

2.1.1 水稻秧苗地上部农艺性状 由表 2 可以看出，添加不同外源氨基酸对秧苗株高均有显著促进作用，均表现出随着处理浓度的增加呈先升高再降低的趋势。分别在 L3、T3、G3 和 J2 处理时株高达到最大值，与 CK 处理相比分别增加 55.14%、57.25%、74.71%和 64.78%。不同外源氨基酸对水稻秧苗茎基宽的促进效果表现并不相同，外源谷氨酸和精氨酸对其茎基宽的增加有显著促进效果，分别在 G1 和 J2 处理时达到最大，

比 CK 增加 42.05%和 36.84%。不同外源氨基酸对秧苗叶面积均有促进作用，且差异显著。外源亮氨酸表现为随着处理浓度的增加叶面积降低，在 L1 处理时促进效果最优并达到最大值，与 CK 相比增加 122.35%。其他外源氨基酸均表现出随着处理浓度的增加呈先增加后降低的趋势，分别在 T3、G2 和 J3 处理时达到最大值，与 CK 相比增加 190.58%、222.35%和 278.82%。在秧苗地上部干物质质量方面，不同外源氨基酸处理均有显著促进效果。外源谷氨酸随着处理浓度的增加地上部干物质质量增加，在 G4 处理时达到最大值，与 CK 相比增加 79.96%。其他外源氨基酸均表现为随着处理浓度的增加地上部干物质质量呈先增加后降低的趋势，分别在 L3、T3 和 J2 处理时达到最大，比

表 2 不同氨基酸处理对水稻秧苗农艺性状的影响
Table 2 Effects of different amino acid treatments on agronomic traits of rice seedlings

组别 Group	处理 Treatment	株高 Plant height (cm)	茎基宽 Stem base width (mm)	叶面积 Leaf area (cm ²)	地上部 干物质质量 Above ground dry weight (mg)	地下部 干物质质量 Underground dry weight (mg)	根系总长度 Total root length (cm)	总根表面积 Total root surface area (cm ²)	总根体积 Total root volume (cm ³)	充实度 Fullness (mg/cm)	生长函数 Growth function (mg/d)	根冠比 Root-shoot ratio
亮氨酸 Leucine	CK	13.80±0.95b	1.33±0.06a	0.85±0.07b	6.09±0.14b	7.36±1.09b	80.98±3.69cd	7.07±0.31b	0.05±0.002b	0.44±0.03cd	0.75±0.07c	1.21±0.15a
	L1	15.69±0.67b	1.39±0.08a	1.89±0.39a	7.35±0.48b	8.35±0.15b	88.07±2.41c	7.87±0.65b	0.05±0.008b	0.47±0.01c	0.82±0.04c	1.32±0.07a
	L2	16.22±1.57b	1.39±0.17a	1.53±0.19a	9.32±1.39a	9.37±0.80b	142.26±9.59a	12.15±1.40a	0.08±0.015a	0.57±0.03a	0.98±0.12b	1.02±0.05ab
	L3	21.41±0.96a	1.47±0.16a	1.70±0.25a	10.65±0.47a	11.88±0.72a	125.78±10.01b	11.07±1.33a	0.08±0.012a	0.50±0.01b	1.01±0.05b	1.12±0.02a
	L4	21.11±3.30a	1.48±0.17a	1.65±0.20a	9.92±1.04a	7.51±0.45b	70.97±6.11d	6.99±0.37b	0.05±0.005b	0.47±0.02bc	1.21±0.09a	0.76±0.09b
天门冬氨酸 Aspartic acid	CK	13.80±0.95c	1.33±0.06a	0.85±0.07c	6.09±0.14c	7.36±1.09ab	80.98±3.69b	7.07±0.31bc	0.05±0.002bc	0.44±0.03b	0.75±0.06b	1.21±0.15a
	T1	18.77±2.34b	1.38±0.09a	1.75±0.10b	6.80±0.28c	5.88±0.34b	76.87±4.33b	6.55±0.20c	0.04±0.001c	0.36±0.03c	0.71±0.04b	0.86±0.02b
	T2	15.37±1.36c	1.37±0.16a	2.07±0.31ab	6.87±0.29c	8.51±0.98a	86.47±7.48b	7.44±0.70b	0.05±0.003b	0.38±0.02c	0.80±0.07b	1.24±0.13a
	T3	21.70±0.54a	1.50±0.11a	2.47±0.43a	9.83±0.64a	9.37±0.92a	107.23±8.89a	9.54±0.42a	0.07±0.004a	0.45±0.02b	1.01±0.08a	0.95±0.04ab
谷氨酸 Glutamic acid	T4	14.65±1.64c	1.39±0.16a	1.67±0.30b	8.25±1.16b	6.96±0.66ab	60.03±5.95c	5.71±0.70d	0.04±0.006c	0.54±0.05a	0.85±0.10b	0.84±0.04b
	CK	13.80±0.95d	1.33±0.06b	0.85±0.07c	6.09±0.14c	7.36±1.09b	80.98±3.69b	7.07±0.31b	0.05±0.002a	0.44±0.03b	0.75±0.07c	1.21±0.15a
	G1	19.03±0.92c	1.90±0.17a	1.73±0.15b	8.87±0.44b	9.78±1.07a	97.94±7.40a	7.73±0.20b	0.05±0.001a	0.47±0.01b	0.86±0.05bc	1.10±0.03a
	G2	21.42±0.83b	1.66±0.04a	2.74±0.32a	9.11±0.53a	6.57±0.46b	53.93±2.99c	5.01±0.50c	0.04±0.006b	0.46±0.01b	0.91±0.07b	0.72±0.03b
	G3	24.11±0.92a	1.87±0.10a	2.65±0.56a	9.38±0.78a	6.45±0.66b	58.42±2.81c	5.50±0.61c	0.04±0.008ab	0.39±0.02c	0.87±0.06bc	0.69±0.03b
精氨酸 Arginine	G4	19.24±1.46c	1.79±0.18a	2.45±0.27a	10.96±0.79a	6.24±0.39b	46.15±3.39d	5.89±2.25a	0.04±0.005ab	0.56±0.03a	1.15±0.10a	0.57±0.05c
	CK	13.80±0.95b	1.33±0.06cd	0.85±0.07c	6.09±0.14c	7.36±1.09a	80.98±3.69a	7.07±0.31a	0.05±0.002a	0.44±0.03c	0.75±0.07c	1.21±0.15a
	J1	15.08±0.58b	1.61±0.03b	2.11±0.34b	7.54±0.44b	6.32±0.41ab	61.04±3.27b	5.69±0.45b	0.04±0.002a	0.50±0.04b	0.77±0.04bc	0.84±0.01b
	J2	22.74±0.16a	1.82±0.04a	2.79±0.29a	11.97±0.69a	5.89±0.49bc	49.43±4.92c	4.81±0.28c	0.04±0.003a	0.53±0.03b	0.99±0.07a	0.49±0.02c
	J3	20.32±2.73a	1.39±0.13c	3.22±0.13a	10.84±1.00a	4.89±0.53c	44.92±4.24c	4.41±0.61c	0.03±0.006a	0.53±0.03b	0.87±0.08b	0.45±0.04c
	J4	10.78±1.15c	1.18±0.12d	1.04±0.32c	6.72±0.80bc	2.95±0.23d	21.01±2.60d	2.72±0.34d	0.01±0.001a	0.62±0.03a	0.54±0.05d	0.44±0.05c

不同小写字母表示不同处理间差异达到显著水平 ($P < 0.05$)，下同。

Different lowercase letters indicate the significant difference between different treatments ($P < 0.05$), the same below.

CK 增加 74.87%、61.41%和 86.55%。

2.1.2 水稻秧苗地下部农艺性状 由表 2 可知，添加外源精氨酸对水稻秧苗的根系总长度、总根表面积、总根体积和地下部干物质质量均有显著抑制作用，并随着处理浓度的增加抑制效果越明显。其他外源氨基酸对其根系生长均表现为促进作用，

且促进效果显著，分别在 L3、T3 和 G1 处理时秧苗根系素质达到最优。L3 处理时其根系总长度、总根表面积、总根体积和地下部干物质质量与对照相比分别增加 55.32%、56.57%、60%和 61.41%。T3 处理时其根系总长度、总根表面积、总根体积和地下部干物质质量与对照相比分别增加 32.41%、

34.93%、40.00%和 27.31%。G1 处理时其根系总长度和地下部干物质量与 CK 相比促进效果显著，分别增加 20.94%和 32.88%。

2.1.3 水稻秧苗充实度、生长函数和根冠比 通过表 2 可发现,添加不同外源氨基酸与 CK 相比显著提高了秧苗充实度和生长函数,在 L2、T4、G4 和 J4 处理时充实度达到最大,分别增加 29.54%、22.72%、27.27%和 40.90%,并在 L4、T3、G4 和 J2 处理时生长函数达到最大,分别增加 61.33%、34.66%、53.33%和 32.00%。外源谷氨酸表现为随着处理浓度的增加抑制根冠比增加效果越显著,并在 G2 处理时达到显著抑制。外源精氨酸对其根

冠比的增加有显著抑制作用。

2.2 不同外源氨基酸对水稻秧苗根系活力的影响

如图 1 所示,水稻秧苗的根系活力在 L3、T4、G4 和 J1 处理时活力最强,与 CK 相比促进效果显著,分别增加 122.72%、168.18%、54.54%和 100.00%。由表 2 可以发现,在 G4 和 J1 处理时,秧苗根系总长度、总根表面积、总根体积和地下部干物质量均出现显著下降,根系活力在此处最大,初步推断为此时抑制秧苗根系侧根生长,但主根对环境适应性较强,并未受到明显影响,在对根系活力进行测定时,测定样品主要来源为活性较强的主根,因此此时根系活力最大。

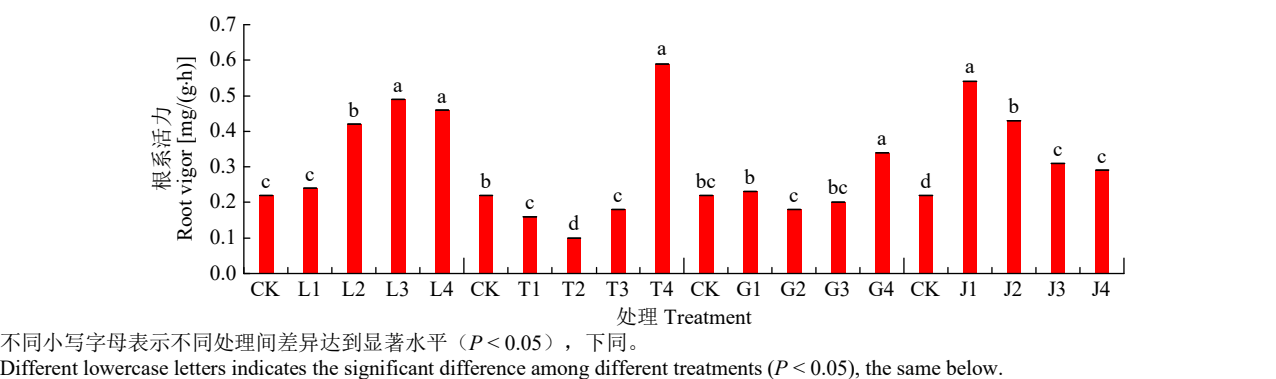


图 1 不同处理对水稻秧苗根系活力的影响
Fig.1 Effects of different treatments on root vigor of rice seedlings

2.3 不同外源氨基酸对水稻秧苗叶绿素含量的影响

由表 3 可知,不同外源氨基酸对水稻秧苗叶绿素 a 含量、叶绿素 b 含量和叶绿素总含量均能起到显著促进作用,分别在 L4、T3、G4 和 J2 处理时其达到最大值,叶绿素总量与 CK 相比分别增加 100.61%、20.85%、77.91%和 102.37%。但叶绿素 a/b 均出现不同程度的下降,且下降效果显著。

表 3 不同处理对水稻秧苗素质叶绿素含量的影响
Table 3 Effects of different treatments on chlorophyll contents in rice seedlings

组别 Group	处理 Treatment	叶绿素 a 含量 Chlorophyll a content (mg/g)	叶绿素 b 含量 Chlorophyll b content (mg/g)	叶绿素总含量 Total chlorophyll content (mg/g)	叶绿素 a/b Chlorophyll a/b
亮氨酸 Leucine	CK	1.30±0.02c	0.32±0.01c	1.63±0.03c	4.00±0.06a
	L1	1.14±0.02c	0.32±0.01c	1.46±0.01c	3.55±0.16b
	L2	1.79±0.01b	0.53±0.01b	2.32±0.01b	3.38±0.09bc
	L3	2.04±0.41b	0.63±0.17b	2.68±0.59b	3.27±0.26c
	L4	2.41±0.01a	0.86±0.01a	3.27±0.01a	2.79±0.02d
天门冬氨酸 Aspartic acid	CK	1.30±0.02b	0.32±0.01c	1.63±0.03b	4.00±0.06a
	T1	1.14±0.11c	0.31±0.01c	1.46±0.13c	3.65±0.21b
	T2	1.33±0.06b	0.37±0.03b	1.69±0.09b	3.63±0.11b
	T3	1.54±0.06a	0.42±0.02a	1.97±0.08a	3.66±0.05b
	T4	1.16±0.02c	0.32±0.01c	1.48±0.03c	3.69±1.10b
谷氨酸 Glutamic acid	CK	1.30±0.02bc	0.32±0.01c	1.63±0.03c	4.00±0.06a
	G1	1.37±0.11bc	0.29±0.03c	1.66±0.14c	4.02±0.11a
	G2	1.49±0.12b	0.41±0.05c	1.89±0.17b	3.66±0.17ab
	G3	1.51±0.30b	0.56±0.14b	2.07±0.17b	2.91±1.11b
	G4	2.20±0.03a	0.70±0.01a	2.90±0.03a	3.15±0.05ab

续表 3 Table 3 (continued)

组别 Group	处理 Treatment	叶绿素 a 含量 Chlorophyll a content (mg/g)	叶绿素 b 含量 Chlorophyll b content (mg/g)	叶绿素总含量 Total chlorophyll content (mg/g)	叶绿素 a/b Chlorophyll a/b
精氨酸 Arginine	CK	1.30±0.02d	0.32±0.01c	1.63±0.03d	4.00±0.06a
	J1	0.70±0.04e	0.19±0.03d	0.89±0.07e	3.79±0.37ab
	J2	2.10±0.01a	0.62±0.01a	2.72±0.01a	3.41±0.03b
	J3	1.80±0.06c	0.52±0.02b	2.32±0.07c	3.48±0.08ab
	J4	1.97±0.10b	0.59±0.04a	2.56±0.14b	3.32±0.08b

2.4 不同外源氨基酸对水稻秧苗碳代谢产物的影响

由图 2 可以发现，外源精氨酸对秧苗蔗糖含量在 J2 处理时促进效果最优，与 CK 相比增加 29.26%。其他外源氨基酸表现为明显降低蔗糖含量。外源天门冬氨酸和谷氨酸对其果糖含量有显

著促进作用，在 T4 和 G2 处理时达到最大值，与 CK 相比增加 72.72%和 27.27%，施用亮氨酸和精氨酸后表现为果糖含量显著下降。外源天门冬氨酸和精氨酸可显著促进秧苗淀粉含量，分别在 T3 和 J1 处理时达到最大值，与 CK 相比增加 7.07%

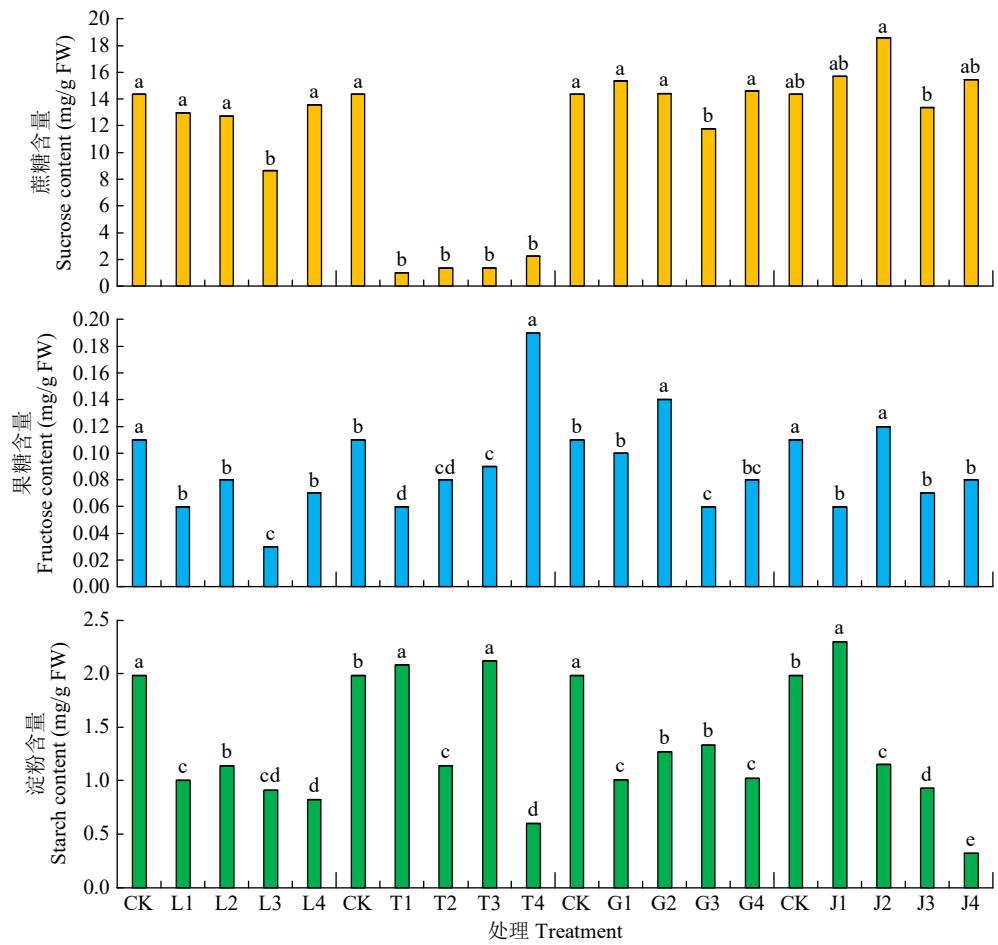


图 2 不同处理对水稻秧苗碳代谢产物的影响
Fig.2 Effects of different treatments on carbon metabolite of rice seedlings

和 16.16%。

2.5 不同外源氨基酸对水稻秧苗保护性酶活性的影响

通过图 3 发现，外源氨基酸能显著提高秧苗 SOD 活性，并在 L2、T4、G3 和 J3 处理时达到最

大，与 CK 相比分别增加 16.71%、15.11%、14.58%和 14.85%。外源氨基酸可提高 POD 活性，且达到显著水平，并在 L3、T4、G4 和 J2 处理时达到最大，与 CK 相比分别增加 106.24%、89.79%、60.84%和 67.98%。外源氨基酸可提高 CAT 活性，

效果显著，并在 L2、T4、G2 和 J3 处理时，酶活性达到最大，与 CK 相比分别增加 74.19%、196.78%、238.72%和 80.65%。外源亮氨酸、天门冬氨酸和谷氨酸显著降低秧苗 MDA 含量，并在 L3、T1 和 G4 处理时达到最小值，与 CK 相比分别降低 84.69%、41.15%和 53.06%，其中天门冬氨

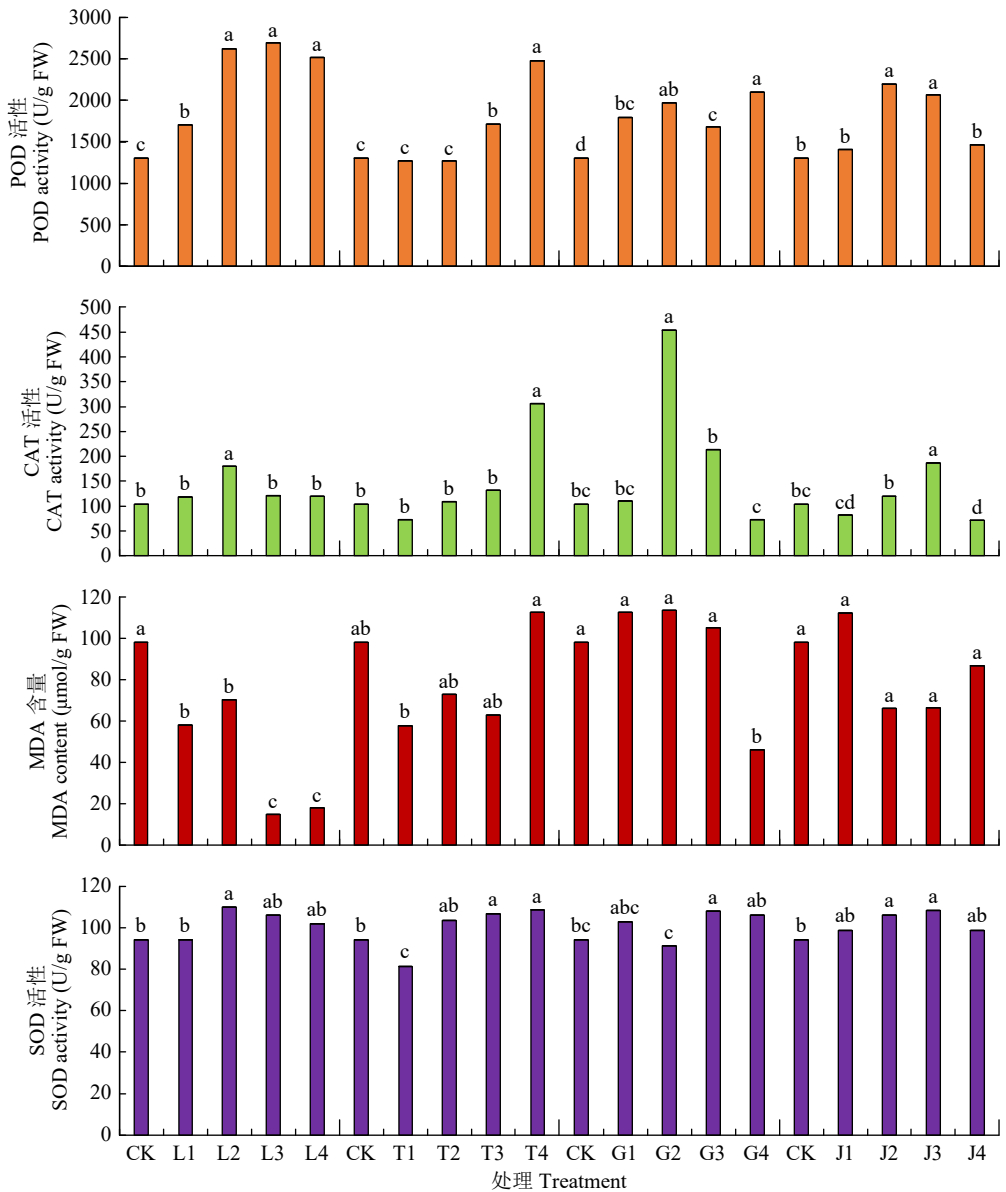


图 3 不同处理对水稻秧苗保护性酶活性的影响

Fig.3 Effects of different treatments on protective enzyme activities of rice seedlings

酸随着处理浓度增加，MDA 含量增加。

2.6 不同外源氨基酸对水稻秧苗渗透调节物质的影响

通过图 4 可看出，添加外源氨基酸显著增加秧苗游离 Pro 含量，分别在 L2、T4、G4 和 J3 处理时达到最大，与 CK 相比分别增加 20.99%、43.33%、42.92%和 230.98%。外源氨基酸有助于可溶性蛋白含量增加，并且促进效果显著，在 L4、T4、G4 和 J4 处理时到达最大，与 CK 相比分别增加 70.00%、60.00%、80.00%和 80.00%。随着外源亮氨酸处理浓度的增加可溶性糖含量逐渐降低，并在 L3 处理时达到显著水平，其他外源氨基酸均表现为显著增加，在 T4、G2 和 J1 处理时达到最大，与 CK 相比分别增加 60.95%、23.81%和 9.68%。

3 讨论

水稻秧苗素质是水稻高产栽培的基础，直接影响着水稻实际生产的品质与产量，施肥是育秧

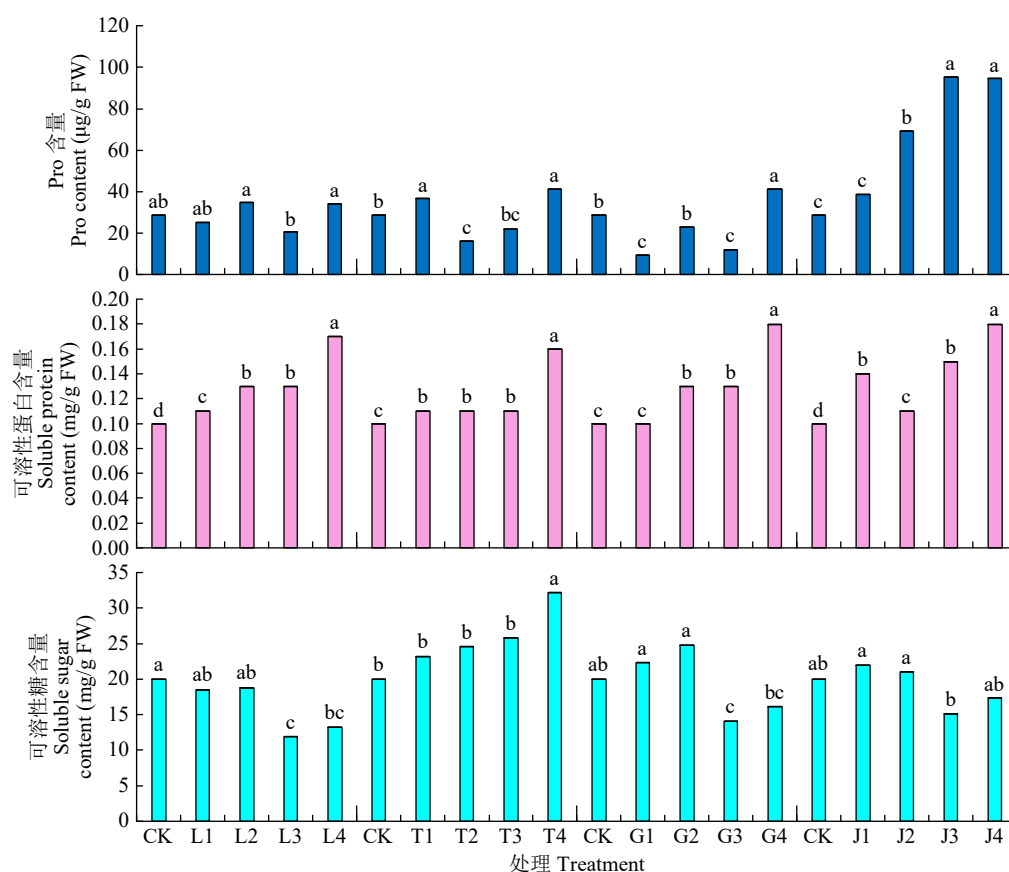


图 4 不同处理对水稻秧苗渗透调节物质含量的影响

Fig.4 Effects of different treatments on osmoregulation substances contents of rice seedlings

栽培中的重要措施^[21]。氨基酸易被作物吸收，可生物降解，为环境友好型绿色化合物，作为肥料增效剂在肥料生产领域广受关注，然而针对某一种具体氨基酸展开研究却鲜见报道。

农艺性状可以反映出作物实际的生长状态。在本研究中，添加外源氨基酸对秧苗株高均有显著促进作用，其中外源谷氨酸和精氨酸对其茎基宽的增加促进效果显著。此外，合理添加外源氨基酸对其地上部生长和干物质积累具有显著促进效果。但在其根系生长和地下部干物质积累上，外源精氨酸起到显著抑制作用，其他 3 种氨基酸表现为显著促进效果，与宋胜^[22]在聚合氨基酸对大豆生长发育及产量品质的调控发现相似。根表面积可衡量根系吸收养分的强弱，而根体积是反映根系生长状况的重要指标^[23]。添加外源亮氨酸和天门冬氨酸处理后总根表面积和总根体积均显著高于对照且出现最大值，在水稻根系生长方面促根效果显著。根冠比代表矿质元素和光合产物在地上地下的分配状况，可衡量根系负责的单位重量植物地上部的养分需求，直接反映植株的生

长特性^[24-25]。充实度和生长函数可作为衡量水稻秧苗生长的壮秧指标。植株充实度越大，茎秆机械强度越强。生长函数越大，植株生长越旺盛。添加外源氨基酸使秧苗充实度和生长函数显著增加，但精氨酸对其根冠比的增加有抑制作用，且达到显著水平，与苑婧娴^[26]在氨基酸对小麦幼苗生长的影响发现结果相似。水稻叶片中叶绿体内的光合色素捕获光能进行光合作用，从而调节植物生长和发育^[27-29]，增加叶片光合色素含量，叶片叶色浓绿可以促进光合作用产物的积累和运输，直接影响着水稻生长发育和产量。本研究发现，外源氨基酸对于水稻秧苗叶绿素含量的增加有显著促进效果，与张鹏宇等^[30]发现氨基酸肥在大豆生产中的结果相似。

本研究中，添加外源天门冬氨酸和谷氨酸对水稻秧苗果糖含量有显著促进作用，外源天门冬氨酸和精氨酸显著促进秧苗淀粉含量，同时精氨酸显著促进蔗糖含量的增加。在进行相关性分析后，外源精氨酸对于水稻秧苗叶片光合产物的积累促进效果最优，能够更好地将无机碳转化为秧

苗需要的有机碳水化合物。在后续的研究过程中建议更改精氨酸处理方式,以避免精氨酸对植株根系生长的抑制作用。SOD、POD 和 CAT 作为作物维持活性氧的清除和平衡的重要酶类^[31],三者协同作用,可达到保护植株的目的,同时作为衡量植物抗性的重要指标,可评价水稻是否满足壮秧标准。渗透调节物质的含量,代表植株在水分胁迫下,细胞吸水与保水能力的高低。本研究中,适当添加外源氨基酸后,处理植株 SOD、POD 和 CAT 活性与游离 Pro、可溶性蛋白和可溶性糖含量均显著高于对照植株,其中外源亮氨酸和天门冬氨酸显著促进 SOD、POD 和 CAT 活性,降低秧苗 MDA 含量,促进秧苗中 Pro 和可溶性蛋白的积累,提高水稻秧苗抗性效果较好,这与李成江等^[32]对小麦的研究结果相似。

4 结论

外源精氨酸的拌土施用在本试验浓度范围内显著抑制秧苗地下部的根系总长度、总根表面积和根体积,且地下干物质质量积累明显降低。添加外源亮氨酸、天门冬氨酸和谷氨酸促进秧苗综合素质效果显著,其中外源亮氨酸(4 g/L)、天门冬氨酸(1.00 g/L)和谷氨酸(0.9 g/L)时在同组内表现最优。具体表现为适量施加外源亮氨酸、天门冬氨酸和谷氨酸能够促进水稻秧苗根系生长,增加秧苗干物质积累量和渗透物质含量,激活抗氧化酶活性。由此可见,在水稻秧苗培育过程中,选择适当的外源氨基酸可以调控水稻秧苗生长,增强秧苗综合素质。

参考文献

- [1] 申春芳. 水稻栽培技术对稻米品质的影响. 世界热带农业信息, 2022(5): 84-86.
- [2] 李瑶, 郑殿峰, 冯乃杰, 等. 调环酸钙对盐胁迫下水稻幼苗生长及抗性生理的影响. 植物生理学报, 2021, 57(10): 1897-1906.
- [3] 华东理工大学有机化学教研组. 有机化学: 第二版. 北京: 高等教育出版社, 2013.
- [4] 王振华. 氨基酸能促进插条生根. 中国花卉盆景, 1988(1): 13.
- [5] 邹朝晖, 张志元, 邓钢桥, 等. 喷施外源氨基酸对水稻干重及含氮量的影响. 核农学报, 2016, 30(7): 1435-1439.
- [6] 陈鹏, 霍天满, 夏金林, 等. 丙氨酸浸种对水稻发芽及幼苗生长和养分元素含量的影响. 安徽科技学院学报, 2022, 36(4): 25-30.
- [7] 姚雄, 万军, 蓝平, 等. 氮肥与多效唑配合对稻麦两熟区机插水稻秧苗生长的影响. 植物营养与肥料学报, 2009, 15(6): 1364-1371.
- [8] Huang M, Han S, Ao J, et al. Primary-tiller panicle number is critical to achieving high grain yields in machine-transplanted hybrid rice. Scientific Reports, 2020, 10(1): 2811-2817.
- [9] 李晓蕾, 钱永德, 黄成亮, 等. 苗期氮素用量对水稻秧苗素质的影响. 江苏农业科学, 2014(3): 47-50.
- [10] 陈雪, 夏冰, 张思佳. 聚天门冬氨酸浸种对水稻秧苗抗逆性的影响. 中国农技推广, 2022, 38(4): 49-52.
- [11] 左莹. 外源添加谷氨酸提高水稻抗旱性机制. 福州: 福建农林大学, 2022.
- [12] 邹朝晖, 张志元, 邓钢桥, 等. 喷施外源氨基酸对水稻干重及含氮量的影响. 核农学报, 2016, 30(7): 1435-1439.
- [13] 梁志雄, 彭智平, 涂玉婷, 等. 氨基酸配合硼喷施对油菜菜薹营养及生长、品质的影响. 核农学报, 2020, 34(11): 2587-2594.
- [14] 齐德强, 冯乃杰, 郑殿峰, 等. 不同复配壮秧剂对水稻机插秧根系形态及抗性生理的影响. 南方农业学报, 2019, 50(5): 974-981.
- [15] 安之冬. 水稻育秧基质配施化肥与生长调节剂对秧苗素质及产量的影响. 合肥: 安徽农业大学, 2021.
- [16] 王晶英, 敖红, 张杰, 等. 植物生理生化实验技术与原理. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 2003.
- [17] 胡秉芬, 黄华梨, 季元祖, 等. 分光光度法测定叶绿素含量的提取液的适宜浓度. 草业科学, 2018, 35(8): 1965-1974.
- [18] 张志良. 植物生理学实验指导: 第5版. 北京: 高等教育出版社, 2016.
- [19] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [20] Bradford M M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of proteins utilizing the principle of protein-dye binding. Analytical Biochemistry, 1976, 227: 248-254.
- [21] 安之冬, 管浩, 朱远芑, 等. 育秧基质配施腐植酸对水稻秧苗素质及产量的影响. 中国土壤与肥料, 2022(6): 173-181.
- [22] 宋胜. 聚合氨基酸、SOD 模拟物及其复合物对大豆生长发育及产量品质的调控效应. 大庆: 黑龙江八一农垦大学, 2008.
- [23] 牛耀芳, 宗晓波, 都韶婷, 等. 大气 CO₂ 浓度升高对植物根系形态的影响及其调控机理. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(1): 240-246.
- [24] 王艳丽, 刘国顺, 丁松爽, 等. 磷用量对烤烟根系及其与地上部关系的影响. 应用生态学报, 2015, 26(5): 1440-1446.
- [25] 王艳哲, 刘秀位, 孙宏勇, 等. 水氮调控对冬小麦根冠比和水分利用效率的影响研究. 中国生态农业学报, 2013, 21(3): 282-289.
- [26] 苑婧娴. 氨基酸对小麦幼苗生长及生理特性的影响. 南京: 南京农业大学, 2013.
- [27] 褚润, 陈年来. UV-B 辐射增强对芦苇光合生理及叶绿体超微结构的影响. 应用生态学报, 2017, 28(11): 3515-3520.
- [28] ALquezar B, Rodrigo M J, Zacarias L. Regulation of carotenoid biosynthesis during fruit maturation in the red-fleshed orange mutant Cara. Phytochemistry, 2008, 69(10): 1997-2007.
- [29] 潘圣刚, 闻祥成, 田华, 等. 播种密度和壮秧剂对水稻秧苗生理特性的影响. 华南农业大学学报, 2015, 36(3): 32-36.
- [30] 张鹏宇, 张晓蕊, 贺如, 等. 氨基酸肥喷施次数和时期对大豆生理和产量的影响. 大豆科学, 2022, 41(5): 569-579.
- [31] 朱广龙, 宋成钰, 于林林, 等. 外源生长调节物质对甜高粱种子萌发过程中盐分胁迫的缓解效应及其生理机制. 作物学报, 2018, 44(11): 139-150.
- [32] 李成江, 谢小林, 周莲, 等. 羽毛酶解氨基酸肥对小麦根系形态及抗性酶活的影响. 中国土壤与肥料, 2022, 305(9): 127-132.

Effects of Different Concentrations of Exogenous Amino Acids on Growth and Related Physiological Indicators of Rice Seedlings

Liu Fanchao^{1,2}, Fang Shumei^{1,2}, Wang Qingyan^{1,2}, Wang Hanxin¹, Niu Juanjuan^{1,2}, Liang Xilong^{1,2}

(¹College of Agriculture, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing 163319, Heilongjiang, China; ²Heilongjiang Plant Growth Regulator Engineering Technology Research Center, Daqing 163319, Heilongjiang, China)

Abstract With the test material of Kenjing 8, the effects of different exogenous amino acids (L-leucine, L-aspartic acid, L-glutamic acid, L-arginine) on rice seedlings growth and related physiological indicators were studied through greenhouse experiment. The results showed that, the addition of exogenous leucine (4 g/L), aspartic acid (1.00 g/L) and glutamic acid (0.9 g/L) could increase the accumulation of dry matter content, chlorophyll content, osmotic substance content, increase antioxidant enzyme activities and reduce malondialdehyde content, further promote root growth of seedlings, and improve the quality of seedlings. Specifically, the plant height of seedlings increased by 55.14%, 57.25% and 37.90%, respectively, the stem base width increased by 10.53%, 12.78% and 42.85%, respectively, the total dry matter mass increased by 66.91%, 42.75% and 38.66%, respectively, and the total chlorophyll content increased by 64.41%, 20.85% and 1.84%, respectively. The exogenous arginine mixed soil treatment showed that the root growth and underground dry matter accumulation of seedlings were significantly inhibited in the concentration range of seedlings. This study showed that exogenous leucine, aspartic acid and glutamic acid had significant regulatory effects. In particular, 4 g/L exogenous leucine had an outstanding effect, which could be used as a technical means to control seedling growth in production of cultivating high-quality rice seedlings.

Key words Amino acid; Rice; Seedling quality; Agronomic traits; Resistance