

doi: 10.11838/sfsc.1673-6257.19472

复合氨基酸增效剂与尿素配施对水稻幼苗生长及土壤氮素的影响

葛明慧, 章力干*, 齐永波, 张国漪, 蒋 东, 程 林

(农田生态保育与污染防治安徽省重点实验室, 安徽农业大学资源与环境学院, 安徽 合肥 230036)

摘 要: 为探讨氨基酸作为肥料增效剂在水稻生长过程中的增效作用, 以复合氨基酸溶液为主要材料, 通过室内盆栽试验, 研究复合氨基酸增效剂与普通尿素配施对水稻幼苗生长及土壤养分的影响。结果表明, 与不施肥 (CK1) 相比, 施用 5% 复合氨基酸增效剂 (A), 水稻幼苗株高、叶绿素含量 (SPAD)、根系生长指标、地上部干重和氮磷钾累积吸收量均随移栽时间延长呈显著增加趋势, 其中株高增幅为 11.1% ~ 18.1%, 地上部干重增幅为 9.03% ~ 24.00%, 地上部氮磷钾累积吸收量分别增加了 32.3% ~ 57.0%、50.7% ~ 74.0% 和 19.0% ~ 40.5%。与单施普通尿素 (U) 相比, 复合氨基酸增效剂与普通尿素配合施用 (AU), 移栽前期水稻幼苗株高、根系生长指标增加显著, 移栽后期 SPAD 增加显著, 地上部干重和氮磷钾累积吸收量均随移栽时间延长呈增加趋势。在同等氮素条件下, AU 处理不同取样期氮肥利用率为 8.24% ~ 31.50%, 均高于 U 处理 (6.08% ~ 28.10%)。此外, AU 处理根际土壤全氮含量随移栽时间延长由 0.93 g/kg 降至 0.91 g/kg, 降幅低于 U 处理; AU 处理根际土壤全氮和有效磷含量均高于非根际土壤, 表明添加氨基酸能够促进非根际土壤全氮和有效磷向根际土壤转化, 并使根际土壤氮含量维持在较高水平。综上所述, 施用复合氨基酸增效剂, 可明显促进水稻幼苗生长, 复合氨基酸增效剂与普通尿素配合施用, 可显著提高尿素氮肥利用率, 并利于土壤全氮的积累。

关键词: 复合氨基酸增效剂; 水稻; 幼苗生长; 氮肥利用率; 土壤养分

氨基酸发酵尾液是在工业化生产氨基酸的过程中产生的发酵尾液, 含有植物生长发育所需的氮磷钾以及大量的游离氨基酸等活性有机小分子物质^[1]。氨基酸是一种可以直接被植物吸收的有机物^[2], 被作物吸收后还可以清除植物体内活性氧自由基, 有刺激和调节作物生长发育和提高作物抗逆性的功能^[3]。近年来氨基酸发酵尾液作为一种廉价易得的农用有机资源应用于农业生产, 已受到广泛关注^[4-5]。尿素作为目前我国用量最多的氮肥品种, 在粮食生产过程中发挥着不可替代的作用^[6-7]。目前, 我国尿素年均消费量高、利用率低、肥效期短等弊端日益突出, 而且不合理施用尿素带来的环境污染和资源浪费等问题也十分严重^[8-10]。因此, 研究尿素增值增效技术, 节约尿素投入, 提高利用率, 延长肥效, 对我国农业发展及生态环境保护都具有十分重要的意义。目前, 已有大量研究表

明^[9, 11-13], 单施氨基酸发酵尾液或与尿素、复合肥配施后, 能够增加作物产量, 改善农产品品质, 提高肥料的利用效率, 改善土壤生物环境, 但是对其增效机理的研究较少。

水稻作为我国重要的粮食作物, 在我国有大面积的种植, 其产量和品质对我国粮食安全起到关键作用^[14]。作物苗期的生长状况对作物的一生及较高经济产量的获得有重要作用, 研究作物苗期氮素吸收特性对指导生产实践具有重要理论意义^[15-17]。本文通过盆栽试验研究复合氨基酸增效剂与尿素配施对水稻苗期生长发育及其对土壤养分的影响, 探究氨基酸增效尿素在水稻苗期生长发育过程中的增效机理, 以期为提高尿素氮肥利用率, 开发氨基酸作物专用肥料及其在肥料增效领域的科学研究提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验于 2018 年 6 月到 8 月在安徽农业大学农萃园实验基地进行, 供试水稻品种为徽两优 898, 供试土壤为安徽江淮地区黄褐土, 取自安徽省合肥

收稿日期: 2019-09-29; 录用日期: 2019-11-24

基金项目: 国家重点研发计划 (2016YFD0200402, 2018YFD0800301)。

作者简介: 葛明慧 (1992-), 女, 山东临沂人, 硕士, 主要从事植物营养与新型肥料研发相关研究。E-mail: 1130105744@qq.com。

通讯作者: 章力干, E-mail: zhligan@ahau.edu.cn。

市庐阳区三十岗的耕层土,基本理化性质为:有机质 10.24 g/kg,全氮 0.78 g/kg,有效磷 9.35 mg/kg,速效钾 138.6 mg/kg,碱解氮 42.4 mg/kg, pH 6.57。供试肥料氮肥为分析纯尿素,磷、钾肥为分析纯磷酸二氢钾和氯化钾,复合氨基酸增效剂由中国农业科学院农业资源与农业区划研究所提供,为氨基酸含量 20% 液体氨基酸,成分以谷氨酸、赖氨酸、缬氨酸、丙氨酸为主。

1.2 试验设计及试验方法

盆栽试验共设置 5 个处理,(1) 不施肥 CK1、(2) 不施氮肥 CK2、(3) 尿素 U、(4) 5% 复合氨基酸增效剂 A、(5) 尿素 +5% 复合氨基酸增效剂 AU,重复 3 次。盆为长 27 cm × 宽 20 cm × 高 16 cm 的方形塑料盆,每盆装入 4 kg 过 2 mm 筛黄褐土,土壤表面距盆口约 5 cm,每盆中埋入 4 个长宽为 12 cm × 10 cm 根袋,呈四方形分布,将每个根袋中装入 80 g 过 2 mm 筛黄褐土,浇水至饱和状态。浸泡平衡一周后,将育好的长势一致的秧苗移栽到 4 个根袋里,每穴 1 株。上述处理的施肥量分别以 N、P₂O₅ 和 K₂O 计,肥料用量分别为:氮肥 0.16 g/kg、磷肥 0.08 g/kg、钾肥 0.11 g/kg,为田间施肥量的 2 倍,复合氨基酸增效剂添加量为施氮量的 5%,将氨基酸尿素按每盆施用量以溶液的形式作为基肥一次性施入土壤中。取样时间为移栽后第 7、17、27 d,分别取植株样品和土壤样品进行各指标测定。

1.3 样品收集与处理

样品收集时将根袋和水稻苗整体取出后去除根袋,用称量勺小心取出根际土,再从盆中取 3 份非根际土,土壤风干后过 2 mm 筛,用于土壤氮磷钾含量的测定;用剪刀将水稻地上部剪下,去离子水冲洗干净后置于 105℃ 烘箱杀青 30 min,调温 75℃ 烘干至恒重,称量地上部生物量;将移栽后 7 d 植株根系先用自来水冲去多余泥土,再用去离子水冲洗后,进行根系扫描。

1.4 样品测定方法

植株株高采用刻度尺直接测量的方法;叶绿素含量 (SPAD) 用手持叶绿素仪 (SPAD-502) 测定;植株样品和土壤样品氮含量测定参照《土壤农化分析方法》^[18] 进行测定,全氮用 H₂SO₄-H₂O₂ 消煮后,用凯氏定氮仪蒸馏滴定;磷含量测定采用钼锑抗比色法;钾含量测定用火焰光度法;氯化三苯基四氮唑 (TTC) 法测定根系活力^[19];根系扫描

用 WinRHIZO 根系扫描分析系统测定。氮肥利用率公式:氮肥利用率 (%) = (施氮处理植株地上部总吸氮量 - 无氮处理植株地上部总吸氮量) / 施氮量 × 100。

1.5 数据分析

相关数据采用 Excel 2016, Origin 8.0 和 SPSS 19.0 软件进行处理和统计分析。

2 结果与分析

2.1 复合氨基酸增效剂对水稻幼苗生长的影响

图 1 (a) 是复合氨基酸增效剂对水稻幼苗株高的影响。可以看出,5 个处理不同取样时间株高排序均为 AU>U>A>CK2>CK1。只施增效剂处理 (A) 与不施肥处理 (CK1) 相比,3 个取样时间株高增幅分别为 11.1%、18.1% 和 13.3%。尿素 - 增效剂配施处理 (AU) 与只施尿素处理 (U) 相比,3 个取样时间株高增幅分别为 10.20%、5.21% 和 0.26%。表明复合氨基酸增效剂对水稻幼苗株高有促进作用,移栽前期的促进效果更为明显,且达到 5% 的显著性差异水平。

图 1 (b) 是复合氨基酸增效剂对水稻幼苗地上部干重的影响。可以看出,随着生长期的延长,各处理水稻地上部干物质质量不断积累,施尿素处理 (U、AU) 地上部生物量显著高于不施尿素的 3 个处理。不同取样时间复合氨基酸增效剂均有增加水稻幼苗地上部干重的作用。只施增效剂处理 (A) 与不施肥处理 (CK1) 相比,3 个取样时间地上部干重增幅分别为 9.03%、26.1% 和 24.0%。尿素 - 增效剂配施处理 (AU) 与只施尿素处理 (U) 相比,3 个取样时间地上部干重增幅分别为 7.21%、8.80% 和 10.40%,且达到 5% 的显著性差异水平。

图 1 (c) 是复合氨基酸增效剂对水稻幼苗 SPAD 值的影响。可以看出,3 次取样施尿素处理 (U、AU) 水稻 SPAD 值不断增加,不施尿素的 3 个处理在 27 d 取样时与 17 d 相比较 SPAD 值出现了降低的趋势。移栽后期复合氨基酸增效剂具有提高水稻幼苗 SPAD 值的作用。与 CK1 相比,施用增效剂处理 (A) 的水稻幼苗移栽后第 17 和 27 d 的 SPAD 值分别增加 12.3% 和 14.8%。尿素 - 增效剂配施处理 (AU) 与只施尿素处理 (U) 相比,水稻幼苗移栽后第 17 和 27 d 的 SPAD 值分别增加 3.50% 和 5.57%。表明复合氨基酸增效剂可提高水稻幼苗叶片叶绿素含量,生长后期效果更加明显。

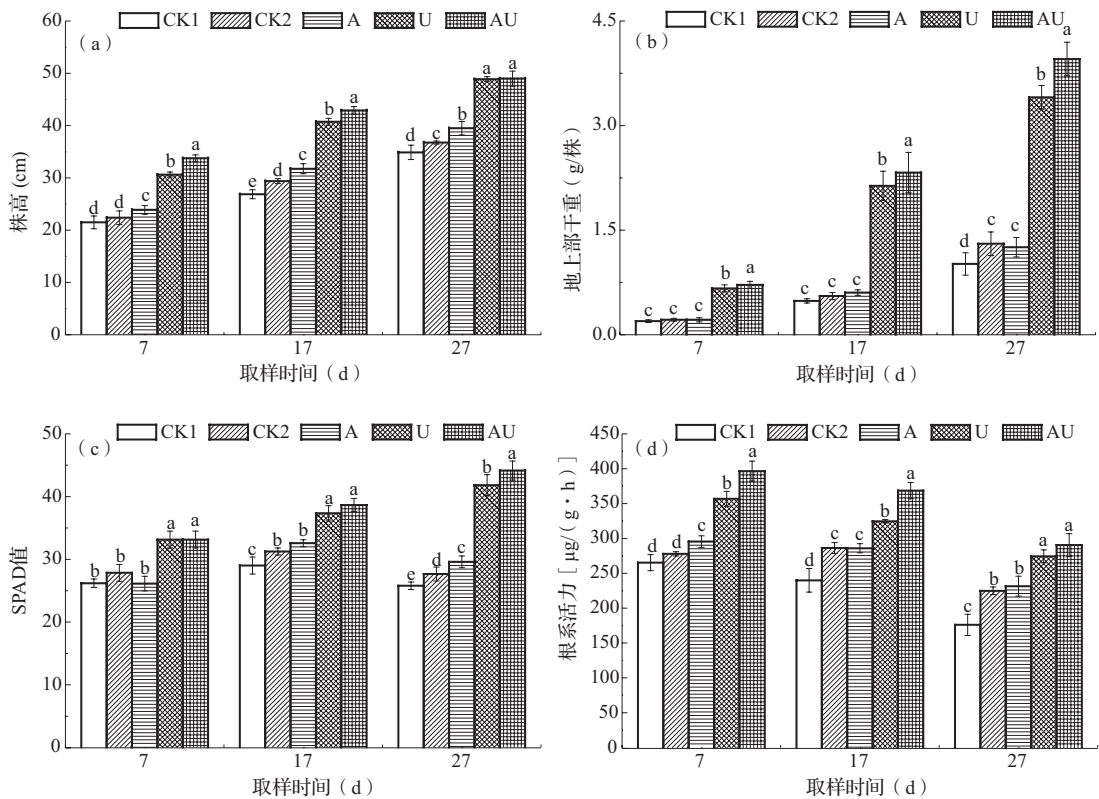


图 1 复合氨基酸增效剂对水稻幼苗生长的影响

注：不同小写字母表示处理间差异显著 ($P<0.05$)，下同。

由图 1 (d) 可知，与对照相比，U、AU 处理明显增强了水稻根系活力，3 次取样 U 处理与不施氮肥 (CK2) 相比较根系活力分别增加 22.3%、12.7%、18.1%。添加氨基酸增效剂对水稻根系活力增加最明显，3 次取样 AU 处理与 U 处理相比根系活力分别增加 10.00%、11.00%、5.54%，移栽 7 和 17 d 取样 AU 处理根系活力与 U 处理达到显著性差异水平 ($P<0.05$)，表明氨基酸增效剂对水稻生育前期根系活力影响显著。随着生育期延长，后期各处理水稻根系活力有所下降。

由表 1 可以看出，复合氨基酸增效剂对水稻幼苗根系生长有明显促进作用。5 个处理水稻幼苗移栽 7 d 后总根长、根投影面积、根表面积、根体积、根尖数和分枝数依次排序均为 $\text{AU}>\text{U}>\text{A}>\text{CK2}>\text{CK1}$ 。与 CK1 相比，施用增效剂处理 (A) 根系各项指标的增加均达到 5% 的显著性差异水平。尿素与氨基酸增效剂配施处理 (AU) 与只施尿素处理 (U) 相比，总根长、根表面积、根体积、根尖数、分枝数均有增加，其中根表面积和根体积的增加最显著，分别增加 16.1%、17.7%。

表 1 复合氨基酸增效剂对水稻幼苗根系指标 (移栽后 7 d) 的影响

处理	总根长 (cm/株)	根投影面积 ($\text{cm}^2/\text{株}$)	根表面积 ($\text{cm}^2/\text{株}$)	根体积 ($\text{cm}^3/\text{株}$)	根尖数 (个/株)	分枝数 (个/株)
CK1	88.72 c	11.62 b	8.07 d	1.76 d	2 224 d	5 551 d
CK2	117.7 b	13.57 a	9.12 cd	2.34 c	2 677 c	6 378 cd
A	119.4 b	13.59 a	10.01 c	2.78 bc	2 936 bc	6 718 bc
U	125.9 ab	13.62 a	11.45 b	3.06 b	3 071 ab	7 399 ab
AU	132.3 a	12.98 a	13.65 a	3.72 a	3 254 a	7 672 a

注：不同小写字母表示处理间差异显著 ($P<0.05$)，下同。

2.2 复合氨基酸增效剂对水稻幼苗养分吸收及氮肥利用率的影响

由图 2 可以看出，同一处理不同取样时间水

稻幼苗地上部的氮磷浓度呈先升后降趋势，钾浓度呈逐渐降低趋势。与 CK1 相比，A 处理显著提高了水稻幼苗地上部的氮磷钾浓度，氮浓度提高了

17.7% ~ 24.5%，磷浓度提高了 33.4% ~ 40.3%，钾浓度提高了 9.16% ~ 11.40%。尿素-增效剂配施处理 (AU) 与只施尿素处理 (U) 相比，复合氨基酸

增效剂能增加水稻幼苗地上部的氮浓度，而增加磷钾浓度的效果并不显著。移栽后 27 d 水稻植株磷钾含量明显下降，且 U 和 AU 处理没有显著差异。

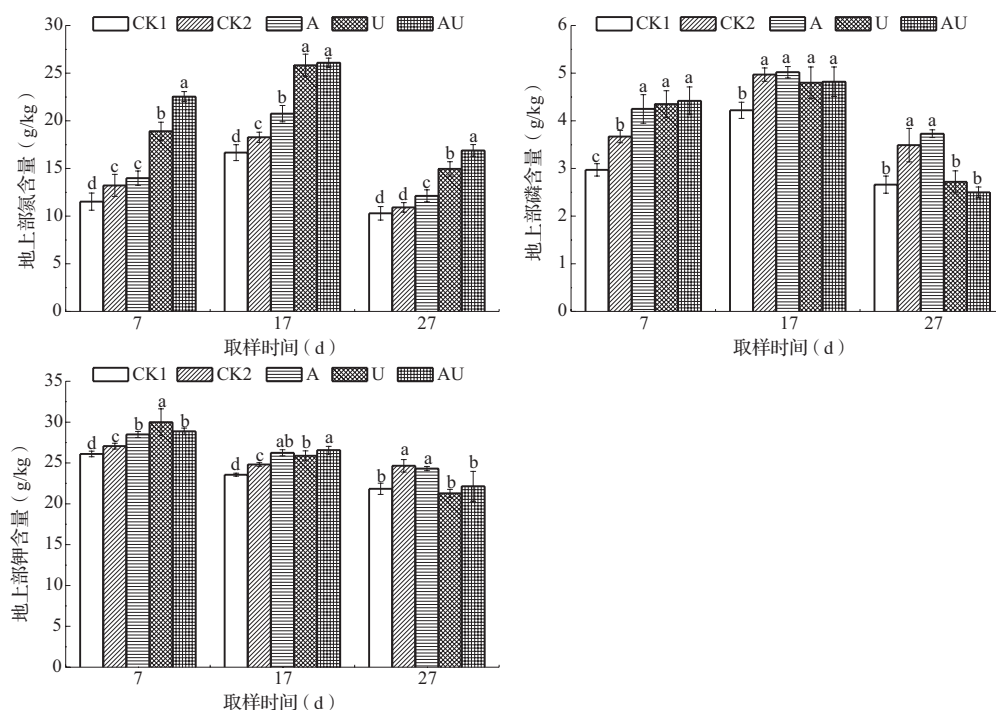


图2 复合氨基酸增效剂对水稻幼苗地上部氮磷钾浓度的影响

由图3可以看出，水稻幼苗地上部氮、磷、钾吸收量均随培养时间的增加而逐渐增多。与

CK1相比，施用增效剂处理 (A) 水稻幼苗地上部氮、磷、钾吸收量分别增加了 32.3% ~ 57.0%、

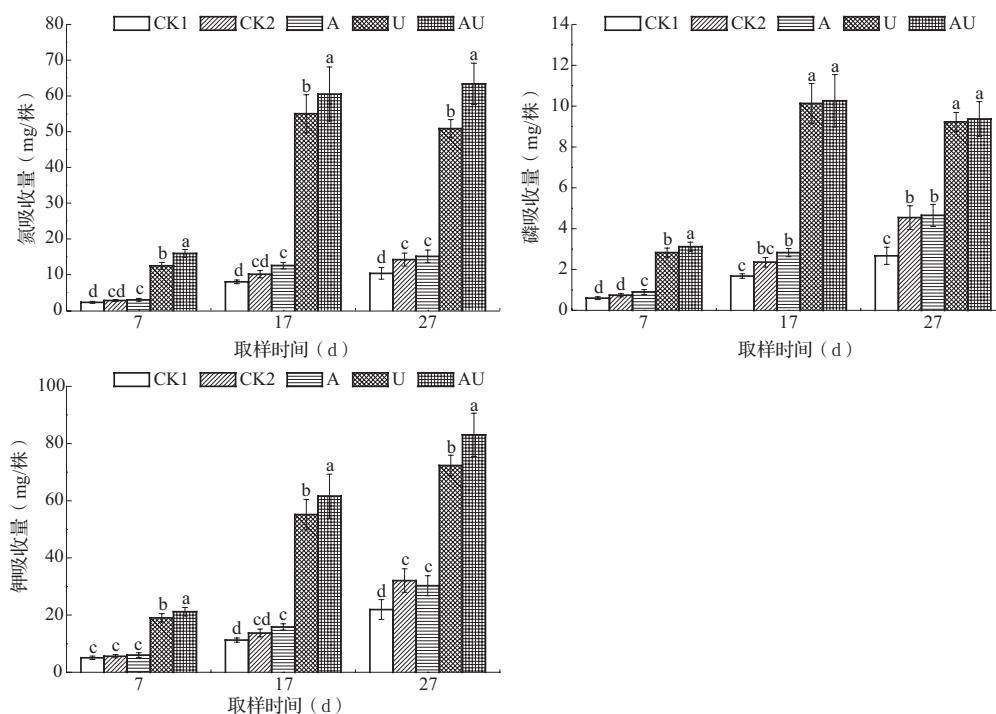


图3 复合氨基酸增效剂对水稻幼苗地上部氮磷钾吸收量的影响

50.7% ~ 74.0% 和 19.0% ~ 40.5%。尿素-增效剂配施处理 (AU) 与只施尿素处理 (U) 相比, 水稻幼苗地上部氮、磷、钾吸收量分别增加了 9.96% ~ 27.80%、1.33% ~ 10.30% 和 11.4% ~ 14.9%。说明复合氨基酸增效剂能够提高水稻幼苗地上部氮磷钾累积量。移栽后各时期, 复合氨基酸增效剂对氮钾累积量的促进效果均达到显著水平, 而移栽 7 d 后, 与 U 相比, AU 对磷累积量未表现出显著性差异。

复合氨基酸增效剂对水稻幼苗氮肥利用率的影响如表 2 所示, 同等施氮条件下, U 处理氮肥利用率为 6.08% ~ 28.10%, AU 处理氮肥利用率为 8.24% ~ 31.50%, 3 个取样期, AU 处理氮肥利用率均高于 U 处理, 且增幅随移栽时间延长呈增加趋势。由此可见, 复合氨基酸增效剂能明显提高水稻幼苗的氮肥利用率。

表 2 复合氨基酸增效剂对水稻幼苗氮肥利用率的影响 (%)

处理	取样时间 (d)		
	7	17	27
CK1	—	—	—
CK2	—	—	—
A	—	—	—
U	6.08	28.1	22.9
AU	8.24	31.5	30.7

2.3 复合氨基酸增效剂对土壤养分的影响

不同处理土壤全氮、有效磷、速效钾含量的动态变化见图 4, 整体而言, 根际和非根际土壤全氮、有效磷、速效钾含量随移栽时间延长均呈降低趋势。从全氮含量变化来看, 移栽后第 7 和 17 d 根际土低于非根际土, 移栽后第 27 d, U 和 AU 处理根际土高于非根际土, 且 AU 处理根际土全

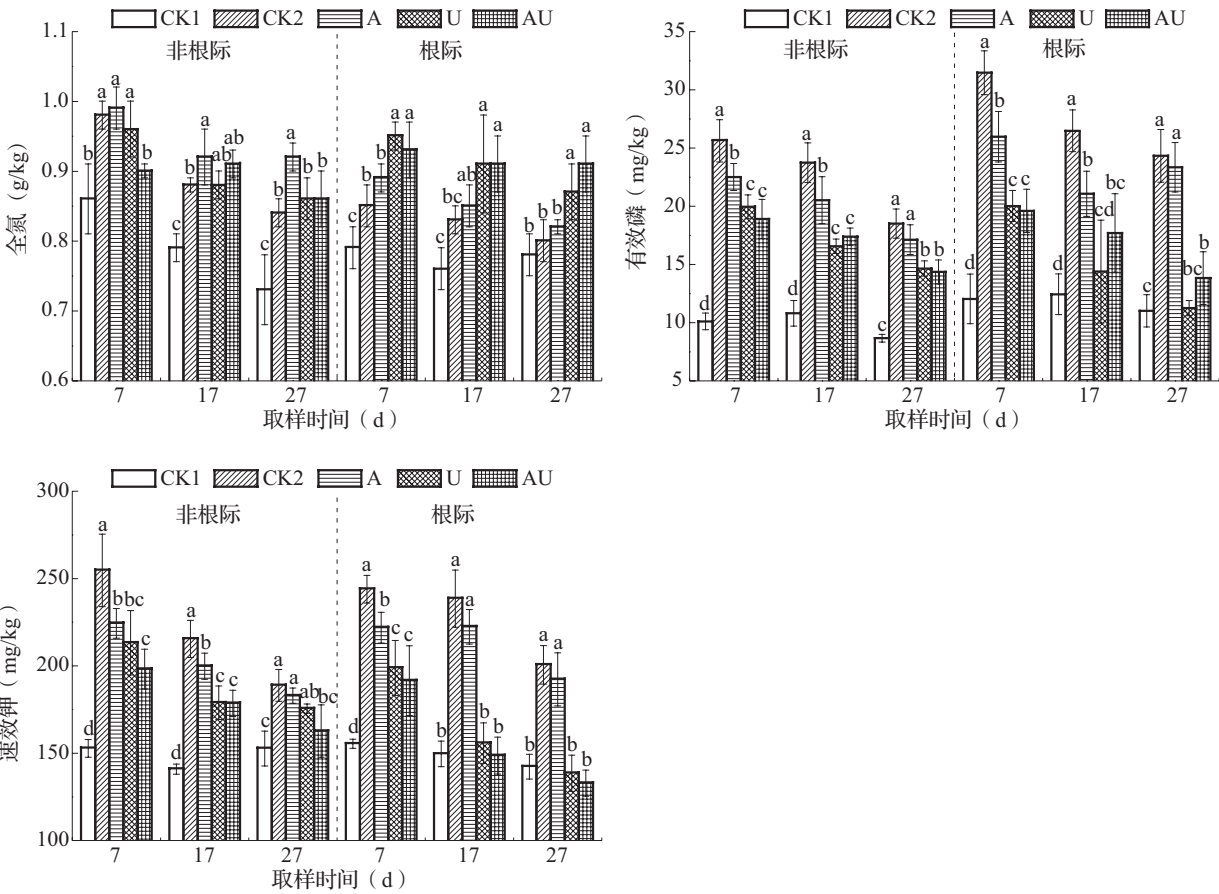


图 4 复合氨基酸增效剂对土壤全氮、有效磷、速效钾含量的影响

氮含量高于 U 处理。从有效磷含量变化来看, 移栽后第 7 和 17 d 根际土高于非根际土, 移栽后第 27 d, U 和 AU 处理根际土低于非根际土。与有

效磷含量变化趋势相似, 移栽后第 7 和 17 d 根际土速效钾含量高于非根际土, 移栽后第 27 d, U 和 AU 处理根际土低于非根际土。此外, 与 CK1

相比, A 处理能显著提高根际和非根际土壤全氮、有效磷、速效钾含量。AU 与 U 处理相比, 仅移栽后第 7 d 非根际土全氮含量有显著性差异。

3 讨论

3.1 氨基酸增效剂对水稻生长发育的影响

尿素是活性很强的氮肥, 施入土壤后在土壤微生物和脲酶等的作用下迅速水解为铵态氮, 除被作物吸收和土壤固持外, 容易发生气态或淋溶损失^[6]。本研究结果表明, 复合氨基酸增效剂与尿素配施, 可明显促进水稻幼苗生长, 增效作用一方面表现为随移栽时间延长水稻幼苗株高、叶绿素含量 (SPAD)、地上部干重和水稻植株氮磷钾累积吸收量均呈显著增加趋势, 这一结果与已有研究相一致, 外源氨基酸 (单一氨基酸或复合氨基酸) 在适宜浓度下能够促进作物幼苗生长, 具体表现为增加株高、调控根系形态、促进根系生长、增强作物叶片光合作用等^[4, 20-22]。于会丽等^[20]研究发现, 叶面喷施甘氨酸能显著促进小油菜生长发育, 提高小油菜株高、叶面积和叶绿素含量, 从而增强光合作用。许猛等^[13]研究表明施用复合氨基酸制剂能够促进棉花植株生长, 增加叶面积和叶片 SPAD 值, 促进地上部干物质的积累, 促进棉花对氮磷钾养分的吸收利用。另一方面表现为移栽前期可明显促进水稻根系总根长、根表面积、根体积、根尖数等根系生长指标的增加, 提高根系活力。原因是复合氨基酸溶液中含有植物生长发育所需的氮磷钾以及大量的游离氨基酸、糖分等活性有机小分子物质, 可直接被植物根系吸收, 促进根系生长, 主要表现为促进主根生长并增加侧根数量^[4-5, 23]。此外, 施用氨基酸能够促进作物对氮、磷、钾养分的吸收。这可能是由于氨基酸能够直接被植物吸收利用, 很快在根部转化为其它含氮物质, 提高作物体内氮含量^[24-25]; 作为生物刺激素或信号分子的作用^[26]; 作为生物活性类肥料增效剂, 促进作物对养分的吸收利用, 提高养分利用率, 发挥多重增效作用^[8]。水稻苗期氮肥利用率提高是配施氨基酸增效剂增加肥料氮素生物固持的重要体现。而且, 水稻苗期氮素吸收特性对根系、地上部生长发育和产量形成有显著影响。苗期增加氮素积累量 (尤其是对早熟品种) 有利于分蘖早发, 形成较多的高峰苗数, 从而形成较多的有效穗数, 进而有利于产量的提高^[15, 17]。

3.2 氨基酸增效剂对土壤养分的影响

氨基酸增效剂影响养分吸收的机制可以分为通过影响土壤过程和直接影响植物生理来改善植物营养^[21]。通过螯合微量营养素, 提高植物体内微量营养素的迁移率, 改变根系形态; 提高硝态氮同化酶的活性等^[27]。本研究的结果发现, 复合氨基酸增效剂与普通尿素配合施用, 可明显促进水稻幼苗生长, 并提高氮素利用率, 有利于土壤全氮的积累。杜伟等^[28-29]的研究也得到相似结果: 利用谷氨酸尾液为原料开发的复合氨基酸制剂分别与尿素、磷酸一铵和氯化钾复混制成的氨基酸复混肥, 均提高了肥料表观利用率。氨基酸与尿素配施处理根际土中氮含量明显高于非根际土, 施用复合氨基酸尿素明显增加了根际土氮含量, 表明土壤中氮有向根际土转移的趋势, 这可能由于氨基酸发酵尾液中含有的大量游离氨基酸, 氨基酸作为有机小分子可直接被植物根系吸收, 一方面刺激了根系的生长, 增强了根系对土壤中氮素的吸收能力, 另一方面刺激根系分泌物的增加, 本研究表明氨基酸尿素配施处理根际土中磷含量低于非根际土, 由于根系分泌物中含有氨基酸、有机酸等酸性物质, 促进根际土中磷的活化和植物对磷的吸收和向地上部转化。根系分泌物不仅为根际土壤微生物系统提供能源, 还影响着根际微生物的多样性和丰富度^[30]。氨基酸作为优质氮源, 施用含有氨基酸的有机物料可刺激土壤微生物的生长和激发土壤微生物活性^[5, 31]。因此根际土中微生物数量和活性高于非根际土, 微生物在增殖过程中, 可利用尿素水解释放的氮作为氮源, 将一部分无机氮转化成微生物氮固定在土壤中, 从而减少氮素损失, 有利于土壤氮素的持久供应。陈鸿飞等^[32]研究也表明, 根际土中酶活性和根际微生物在植物根系的生长和植物养分的吸收过程中发挥着重要作用。另外, 复合氨基酸增效剂对土壤性质的影响, 尤其是根际土壤微生物数量和土壤酶活性, 间接影响到尿素态氮在土壤中的转化和去向。复合氨基酸增效剂与普通尿素配施的增效机制可能是多种因素共同作用的结果, 还有待进一步深入研究。

4 结论

与不施肥处理相比, 施用复合氨基酸增效剂, 可明显促进水稻幼苗生长。在添加 5% 复合氨基酸

增效剂条件下, 水稻幼苗株高、叶绿素含量、根系生长、地上部干物质积累量和氮磷钾的累积吸收量均显著提高。与单施普通尿素相比, 复合氨基酸增效剂与普通尿素配合施用, 可明显促进水稻幼苗生长, 并提高尿素氮肥利用率, 有利于提高水稻根际土壤全氮含量, 因此, 复合氨基酸增效尿素可作为增效氮肥进行推广应用。

参考文献:

- [1] 赵兰坤, 徐太海, 范婷婷, 等. 氨基酸发酵废水的分类处理和利用 [J]. 发酵科技通讯, 2018, 47 (3): 180-183.
- [2] Fischer W N, André B, Rentsch D, et al. Amino acid transport in plants [J]. Trends in Plant Science, 1998, 3 (5): 188-195.
- [3] 张英, 董绍华. 氨基酸清除活性氧自由基作用的研究 [J]. 科技通报, 1997, 13 (5): 312-315.
- [4] 张健, 李絮花, 李燕婷, 等. 氨基酸发酵尾液在水溶肥料中的应用及其效果 [J]. 中国土壤与肥料, 2017 (4): 66-71.
- [5] 黄继川, 彭智平, 吴雪娜, 等. 施用氨基酸对大白菜根系及土壤生物活性的影响 [J]. 中国农学通报, 2014, 30 (28): 194-198.
- [6] 朱兆良. 农田中氮肥的损失与对策 [J]. 土壤与环境, 2000, 9 (1): 1-6.
- [7] 隽英华, 陈利军, 武志杰, 等. 尿素氮形态转化对腐殖酸的响应 [J]. 土壤通报, 2011, 42 (1): 112-116.
- [8] 赵秉强. 发展尿素增值技术 促进尿素产品技术升级 [J]. 磷肥与复肥, 2013, 28 (2): 6-7.
- [9] 袁亮, 赵秉强, 林治安, 等. 增值尿素对小麦产量、氮肥利用率及肥料氮在土壤剖面中分布的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20 (3): 620-628.
- [10] 李代红, 沈兵, 焦虎. 尿素增值技术及应用 [J]. 磷肥与复肥, 2012, 27 (4): 87-90.
- [11] 彭智平, 黄继川, 于俊红, 等. 味精废液对花生产量、品质和土壤酶活性的影响 [J]. 热带作物学报, 2012, 33 (9): 1579-1583.
- [12] 张健, 李燕婷, 袁亮, 等. 氨基酸发酵尾液可促进樱桃番茄对水溶肥料氮素的吸收利用 [J]. 植物营养与肥料学报, 2018, 24 (1): 114-121.
- [13] 许猛, 袁亮, 李伟, 等. 复合氨基酸肥料增效剂对新疆棉花生长、产量和养分利用的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2018 (4): 87-92.
- [14] 方福平, 程式华. 论中国水稻生产能力 [J]. 中国水稻科学, 2009, 23 (6): 559-566.
- [15] 石庆华, 潘晓华, 钟旭华, 等. 不同熟期杂交晚稻的氮素吸收特性与产量形成的研究 [J]. 江西农业学报, 1991 (1): 43-50.
- [16] 宗学风, 孙年喜, 王三根. 玉米苗对氮素吸收和利用效率的研究 [J]. 西南农业大学学报 (自然科学版), 2004 (2): 206-209.
- [17] 陈浩, 张秀英, 周游, 等. 氮肥利用对水稻不同生育期的影响概述 [J]. 大麦与谷类科学, 2017, 34 (1): 11-14.
- [18] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法 [M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1999.
- [19] 白宝璋, 金锦子, 白崧, 等. 玉米根系活力 TTC 测定法的改良 [J]. 玉米科学, 1994 (4): 44-47.
- [20] 于会丽, 林治安, 李燕婷, 等. 喷施小分子有机物对小油菜生长发育和养分吸收的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20 (6): 1560-1568.
- [21] Colla G, Nardi S, Cardarelli M, et al. Protein hydrolysates as biostimulants in horticulture [J]. Scientia Horticulturae, 2015, 196: 28-38.
- [22] 任志广, 杨立均, 龚治翔, 等. 不同小分子有机物对烤烟生理特性、碳氮代谢及烟叶品质的影响 [J]. 植物生理学报, 2017, 53 (7): 1225-1233.
- [23] 巩元勇, 瞿小青, 宋奇超, 等. 谷氨酸调节根系形态建成的研究进展 [J]. 中国农业科技导报, 2011, 13 (1): 34-43.
- [24] Kan C C, Chung T Y, Juo Y A, et al. Glutamine rapidly induces the expression of key transcription factor genes involved in nitrogen and stress responses in rice roots [J]. BMC Genomics, 2015, 16 (1): 731-746.
- [25] Kan C C, Chung T Y, Wu H Y, et al. Exogenous glutamate rapidly induces the expression of genes involved in metabolism and defense responses in rice roots [J]. BMC Genomics, 2017, 18 (1): 186-203.
- [26] Calvo P, Nelson L, Kloepper J W. Agricultural uses of plant biostimulants [J]. Plant and Soil, 2014, 383 (1-2): 3-41.
- [27] Halpern M, Bar-Tal A, Ofek M, et al. The use of biostimulants for enhancing nutrient uptake [J]. Advances in Agronomy, 2015, 130: 141-174.
- [28] 杜伟, 赵秉强, 林治安, 等. 有机无机复混肥优化化肥养分利用的效应与机理研究 I. 有机物料与尿素复混对玉米产量及肥料养分吸收利用的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2012, 18 (3): 579-586.
- [29] 杜伟, 赵秉强, 林治安, 等. 有机无机复混肥优化化肥养分利用的效应与机理研究 II. 有机物料与磷肥复混对玉米产量及肥料养分吸收利用的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2012, 18 (4): 825-831.
- [30] 李冬洁. 植物根系分泌物与根际微生物的相互作用 [J]. 广东蚕业, 2018, 52 (4): 21.
- [31] 张树生, 杨兴明, 黄启为, 等. 施用氨基酸肥料对连作条件下黄瓜的生物效应及土壤生物性状的影响 [J]. 土壤学报, 2007, 44 (4): 689-694.
- [32] 陈鸿飞, 庞晓敏, 张仁, 等. 不同水肥运筹对再生季稻根际土壤酶活性及微生物功能多样性的影响 [J]. 作物学报, 2017, 43 (10): 1507-1517.

Effects of combined application of compound amino acid synergist and urea on the growth of rice seedlings and soil nitrogen

GE Ming-hui, ZHANG Li-gan*, QI Yong-bo, ZHANG Guo-yi, JIANG Dong, CHENG Lin (Anhui Province Key Laboratory of Farmland Ecological Conservation and Pollution Prevention, School of Resources and Environment, Anhui Agricultural University, Hefei Anhui 230036)

Abstract: In order to explore the synergistic effect of amino acid as fertilizer synergist in the growth of rice, a pot experiment was conducted to investigate the influence of the application of compound amino acid solution combined with common urea on the growth of rice seedlings and soil nutrients. The results showed that, compared with no fertilization (CK1), rice seedling height, chlorophyll content (SPAD), root growth index, shoot dry weight and NPK cumulative uptake were increased significantly with the extension of transplanting time by the application of 5% compound amino acid synergist (A). Among which, the plant height increased by 11.1% ~ 18.1%, the dry weight of aboveground increased by 9.03% ~ 24.00%, and the cumulative absorption of N, P, K increased by 32.3% ~ 57.0%, 50.7% ~ 74.0%, and 19.0% ~ 40.5%, respectively. Compared with single urea (U) application, the plant height and root growth index of rice seedlings increased significantly in the early transplanting stage, the SPAD increased significantly in the late transplanting stage, and the dry weight of aboveground and the cumulative uptake of NPK increased with the transplanting time by the combined application of 5% compound amino acid synergist with common urea (AU). Under the same nitrogen conditions, the AU treatment improved the nitrogen use efficiency (8.24% ~ 31.50%) compared with the U treatment (6.08% ~ 28.10%). In addition, for AU treatment, the total nitrogen content in rhizosphere soil decreased from 0.93 g/kg to 0.91 g/kg with the increase of transplanting time, which was lower than that of U treatment. And the contents of total nitrogen and available phosphorus in rhizosphere soil were higher than that in non-rhizosphere soil. These indicate that the addition of compound amino acid can promote the conversion of total nitrogen and available phosphorus from non-rhizosphere soil to the rhizosphere soil, and maintain the nitrogen content in the rhizosphere soil at a high level. In summary, the application of compound amino acid can significantly promote the growth of rice seedlings, and the combination of compound amino acid with common urea can also improve the nitrogen absorption and utilization, and conducive to the accumulation of soil total nitrogen.

Key words: compound amino acid synergist; rice; seedling growth; nitrogen use efficiency; soil nutrients