

doi: 10.11838/sfsc.1673-6257.23469

添加聚天冬氨酸对土壤氮素淋失及烟株氮素利用的影响

段俊雅¹, 王婷婷¹, 韦建玉², 赵园园^{1*}, 王政², 王德勋³, 欧清华², 史宏志^{1*}

(1. 河南农业大学烟草学院 / 烟草农业减害研究中心 / 烟草行业烟草栽培重点实验室, 河南 郑州 450046; 2. 广西中烟工业有限责任公司, 广西 南宁 530001; 3. 云南省烟草公司大理州公司, 云南 大理 671000)

摘要: 为探究添加聚天冬氨酸 (PASP) 对土壤氮素淋失及烟株氮素利用的影响, 设置不同 PASP 添加比例土柱淋失试验和不同氮肥梯度下添加 PASP 烤烟盆栽试验, 研究 PASP 对土壤矿质氮淋失和烟株生长、叶绿素含量、净光合速率、碳氮代谢关键酶活性、化学成分及氮肥利用率等的影响。结果表明, 添加 PASP 能够减少土壤中硝态氮和铵态氮的淋失, 且 PASP 添加比例越大, 减少淋失效果越好。常规施氮和减氮 10% 条件下添加 PASP 均可使烟株的长势变好, 净光合速率提高, 碳氮代谢关键酶活性和根系活力增强, 干物质和氮素积累量增多, 氮肥利用率较 CK 分别提高了 57.74% 和 42.54%。与 CK 相比, 减氮 20% 条件下添加 PASP 后的处理烟株长势稍弱, 除蔗糖合成酶 (合成方向) 活性外, 其他生理指标整体上略有降低, 总氮和糖含量降低, 氮素积累量下降, 氮肥利用率与 CK 相当。综合分析认为, 可考虑在减氮 10% 条件下配施 5%PASP 以降低土壤氮素淋失、提高烟株氮肥利用率。

关键词: 聚天冬氨酸; 烤烟; 氮素; 淋失; 氮肥利用率

氮素对作物的生长发育及产质量形成起到重要作用, 但是, 目前我国农田氮肥利用率仅为 30% ~ 35%^[1], 大量的氮素以活性氮形式 (硝态氮、铵态氮) 淋失到地表水或地下水中^[2], 造成环境面源污染, 作物氮肥利用率低。洱海是云贵高原第二大淡水湖泊, 近年来, 洱海流域水体富营养化加剧^[3], 其中种植业导致的面源污染在总污染负荷中占比最高^[4]。烟草是洱海流域的主要经济产业之一^[5], 如何减少烤烟氮肥使用、降低植烟土壤氮素淋失, 对于改善洱海流域生态环境、烟田可持续发展具有重要意义。

已有大量研究表明, 聚天冬氨酸 (PASP) 有利于植物生长和土壤氮素积累^[6]。在牛粪好氧发酵中添加 PASP 能够控制高温堆肥中的氮素流失^[7], 马灿灿等^[8]在室内恒温培养试验中发现, 在土壤中加入氮素配以 PASP 后, 氮损失量降低, 氮素利用率提高。PASP- 尿素可提高水稻叶片的叶绿素

浓度和光合速率, 籽粒产量增加^[9], 减量施氮下 PASP-Ca 与尿素复配能够降低水稻田面氮素浓度, 氮肥表观利用率提高^[10]。PASP 可促进小麦的干物质积累和氮素吸收量, 对小麦产量有明显提升作用^[11-13]。PASP 通过提高硝酸还原酶 (NR) 活性促进玉米幼苗氮素同化^[14], 显著提高玉米产量和氮素利用效率^[15]。PASP 与壳聚糖复配配施氮肥能提高谷子土壤中硝态氮和铵态氮的含量, 减少氮素流失, 延缓叶片衰老进程, 进而提高产量^[16]。

前人研究多集中在 PASP 在其他作物上的应用, 对于植烟土壤的研究较少, 且没有系统性地将土壤和烟叶种植联系起来。因此, 本研究通过设置土柱淋失和烤烟盆栽试验, 研究添加不同比例 PASP 条件下土壤矿质氮淋失的规律, 和 PASP 对不同氮肥梯度下烤烟生长的影响, 旨在为洱海流域烟区降低植烟土壤氮素流失、提高烤烟氮肥利用率提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地点与材料

试验在河南农业大学烟草学院烟草栽培生理生化实验室进行。在云南省大理白族自治州洱源县凤羽镇采集 0 ~ 20 cm 耕层植烟土壤, 风干后, 用 2 mm 的筛子筛分, 除去可见的植物残屑和石子, 然后储存备用。土壤基础理化性质见表 1。

收稿日期: 2023-08-06; 录用日期: 2023-11-08

基金项目: 广西中烟工业有限责任公司项目 (2021450000340021); 中国烟草总公司云南省公司科技项目 (2022530000241015)。

作者简介: 段俊雅 (1996-), 在读硕士研究生, 主要从事烟草栽培生理研究。E-mail: 15713888578@163.com。

通讯作者: 赵园园, E-mail: zhaoyy2019@henau.edu.cn; 史宏志, E-mail: shihongzhi88@163.com。

表1 土壤基础理化性质

质地	全氮 (g/kg)	碱解氮 (mg/kg)	硝态氮 (mg/kg)	铵态氮 (mg/kg)	有机质 (g/kg)	容重 (g/cm ³)	pH	土壤粒级分布 (%)		
								砂粒	粉粒	黏粒
壤土	2.06	178.43	6.30	107.28	39.94	1.22	5.43	49.83	29.22	20.95

供试烤烟品种为红花大金元。固态烟草专用有机肥 (N 16.13 g/kg)、液态烟草专用肥含 (N 60.00 g/kg) 均为大理洱海生物肥业有限公司生产。硫酸钾 (K₂O 52%) 为国投新疆罗布泊钾盐有限责任公司生产, 过磷酸钙 (P₂O₅ 16%) 为云南云天化股份有限公司生产。PASP 购买自上海麦克林生化科技股份有限公司, 质量分数为 95%。

1.2 试验设计

1.2.1 土壤氮素淋失试验

采用单因素随机区组试验设计, 试验模拟 80 mm/d 降水量 (2021 年大理单日最大降水量), 每次加入的水量约为 628 mL。按照土柱面积参考洱源当地常规施氮量 (N 75 kg/hm²) 计算每个土柱的有机肥用量为 3.95 g。共设 4 个处理, CK: 不添加 PASP, T1: 添加 2.5%PASP, T2: 添加 5.0%PASP, T3: 添加 7.5%PASP (其中 2.5%、5.0% 和 7.5%PASP 指添加 PASP 的量与施用肥料总氮量的百分比), 各处理均重复 3 次。参照田间土壤容重, 计算每个土柱所需的土壤重量为 4.04 kg。

采用高 50 cm、内径 10.4 cm 的圆柱形 PVC 管作为材料。装柱前, 先将洗净并干燥后的石英砂装填于土柱底部 (厚约 1.5 cm), 上下各铺一层 0.075 mm 尼龙布, 防止土壤颗粒撒漏。然后, 将按照容重计算的一半装填土量装入 PVC 管下半层, 再将剩余一半土量和烟草专用有机肥及 PASP 均匀混合装入上半层 (20 cm 耕层), 形成 40 cm 的土柱, 装填时压实边缘土壤防止侧渗发生。土样压实装毕, 尽量保持其容重与田间土壤容重一致。最后, 在表层土壤铺上石英砂和上下两层尼龙布, 防止灌水时扰动耕层土壤。

开始时土柱先加入去离子水淋洗使土壤湿润, 调节土柱中土壤含水量与田间取样时相同。放置一周后, 开始淋失试验。将去离子水用医用输液器控制流速, 避免造成地表径流。待淋失液渗出时开始收集, 收集完淋失液后, 间隔 12 h 进行下一次淋洗, 共进行 7 次淋洗。收集淋失液并测定每次的体积, 后放入 4℃ 冰箱保存待测。所有淋洗结束之后, 统一测定淋失液样品硝态氮和铵态氮含量。

1.2.2 烟株氮素利用试验

参考土柱氮素淋失结果, 并考虑成本效益与大田烤烟实际生长情况, 避免烟株吸收过多氮素造成后期落黄困难, 故烟株氮素利用试验的 PASP 添加比例设置为 5.0%。采用单因素随机区组试验设计, 共 5 个处理, CK: 常规施氮、不添加 PASP, T1: 常规施氮、添加 5.0%PASP, T2: 减氮 10%、添加 5.0%PASP, T3: 减氮 20%、添加 5.0%PASP, N0: 不施氮、不添加 PASP, 各处理均重复 15 次。CK 按照 1 kg 土中施入 0.50 g 总氮且基肥: 追肥 = 4:6 施入氮肥, 基肥为固态烟草专用有机肥, 追肥为液态烟草专用肥, 其他处理按照 CK 计算施肥量。减量施氮指基肥和追肥皆减量, 减氮的同时保持磷钾肥一致, 不足的磷钾肥用过磷酸钙和硫酸钾补足。

将土壤、固态烟草专用有机肥和 PASP 均匀混合装入盆 (高 10.2 cm, 上口径 17.4 cm, 下口径 10 cm, 装土 1.8 kg), 土样压实装毕, 尽量保持其容重与田间土壤容重一致。开始时盆内先加入适量水使土壤湿润, 调节土壤含水量与田间取样时相同。放置 1 周后, 将烟苗移栽至盆中, 在烟苗移栽后 50 d 进行测定取样。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 淋失液体积和硝态氮、铵态氮含量测定

收集每次淋失液并用量筒测定体积, 最后一次淋洗结束后, 计算淋失液总体积。将各处理所有淋失液均匀混合测定其硝态氮和铵态氮浓度, 均使用苏州科铭生物技术有限公司的试剂盒进行测定。

其余指标按以下方法计算^[17]:

硝态氮淋失量 = 淋失液体积 × 硝态氮浓度

铵态氮淋失量 = 淋失液体积 × 铵态氮浓度

矿质氮淋失量 = 硝态氮淋失量 + 铵态氮淋失量

1.3.2 烟株生长指标的测定

选择各处理长势一致的烟株, 测定烟株株高、茎围, 选取由下而上第 6 片叶测定叶长和叶宽。

1.3.3 烟叶叶绿素含量和净光合速率的测定

选取由下而上第 6 片叶, 使用便携式光合仪

(YX-1102G, 北京雅欣理仪科技有限公司)测定净光合速率,光源光照度为 $800 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。取鲜烟样测定叶绿素含量,采用 95% 乙醇法测定^[18]。

1.3.4 烟叶碳氮代谢关键酶活性和根系活力的测定

选取由下而上第 6 片叶,取鲜烟样保存在液氮中,测定 NR、谷氨酰胺合成酶(GS)和蔗糖合成酶(合成方向;SS-II)的活性,用清水冲洗根系测定烟株根系活力。3 种酶活性和根系活力均使用试剂盒进行测定,试剂盒购买自苏州科铭生物技术有限公司。

1.3.5 烟叶总氮、总糖和还原糖的测定

选取长势一致的植株,取同一部位烟叶在 105°C 杀青 15min 后 65°C 烘干,使用连续流动化学分析仪(AA III, 德国 BRAN+LUEBBE 公司)测定相关化学指标。

1.3.6 烟株氮肥利用率的测定

整株取样,分成根、茎、叶三部分,用清水冲洗干净,杀青烘干,称干物质重,并测定植株各部位总氮含量。其余指标按以下方法计算^[19]:

$$\begin{aligned} \text{氮素吸收量 (g)} &= \text{干物质量} \times \text{总氮含量} \\ \text{氮肥表观利用率 (\%)} &= (\text{施氮处理总吸氮量} - \\ &\quad \text{不施氮处理总吸氮量}) / \text{施氮量} \times 100 \end{aligned}$$

1.4 数据处理与分析

采用 DPS 7.05 和 Origin 2018 进行数据统计分析和作图,用 Duncan's 新复极差法进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 聚天冬氨酸对土壤氮素淋失的影响

各处理的硝态氮、铵态氮和矿质氮淋失量见图 1。由图 1 可知,硝态氮是矿质氮的主要淋失形态,占矿质氮淋失量的 98% 以上。添加 PASP 之后,硝态氮、铵态氮和矿质氮的淋失量都显著减少,且随 PASP 添加比例的增加而下降。与 CK 相比,添加 7.5%PASP 之后,硝态氮、铵态氮和矿质氮的淋失量分别下降了 13.60%、26.16% 和 13.74%。试验结果说明,添加 PASP 能够降低土壤中矿质氮的淋失,且添加比例越高降低效果越佳。

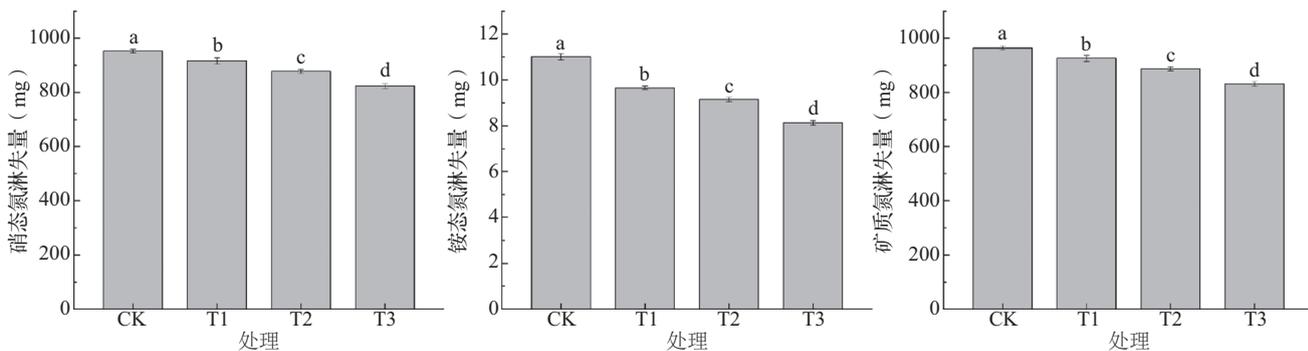


图 1 聚天冬氨酸对土壤氮素淋失的影响

注:不同小写字母表示处理间在 0.05 水平上差异显著,下同。

2.2 聚天冬氨酸对烟株生长的影响

由表 2 可知,添加同一比例 PASP 之后,烟株各生长指标随着施氮量的减少呈降低的趋势,说明减氮对烟株生长存在负效应。与 CK 相比,常规施氮条件下添加 PASP 后,烟株长势显著变好,T1 处理的株高、茎围、叶长和叶宽分别比 CK 增加了 8.95%、15.71%、10.23% 和 26.16%。随着施氮量的减少,烟株长势变弱,T2 处理的株高和茎围与 CK 相差不大,叶长和叶宽显著高于 CK 8.46% 和 18.31%。T3 处理的株高、茎围和叶宽与 CK 相比无显著差异,叶长低于 CK 7.03%。

表 2 聚天冬氨酸对烟株生长的影响

处理	株高 (cm)	茎围 (cm)	叶长 (cm)	叶宽 (cm)
CK	36.10b	4.90b	37.83b	11.47c
T1	39.33a	5.67a	41.70a	14.47a
T2	36.53ab	4.93b	41.03a	13.57b
T3	34.23b	4.83b	35.17c	11.00c

注:不同小写字母表示处理间在 0.05 水平上差异显著,下同。

2.3 聚天冬氨酸对烟叶叶绿素含量和净光合速率的影响

叶绿素是作物进行光合作用合成有机物的主要色素^[20],光合作用是作用生长和产量形成的基础。

由表 3 可见, T1、T2、T3 处理随着施氮量的减少, 叶片叶绿素含量和净光合速率均呈下降趋势。正常施肥条件下添加 PASP 能够显著促进烟叶的叶绿素合成和净光合速率的提高, 与 CK 相比, T1 的叶绿素 a、叶绿素 b 和叶绿素总量分别增加了 5.83%、7.14% 和 6.21%, 净光合速率提高了 23.70%。减氮的 2 个处理添加 PASP 后, 烟叶的叶绿素 a、叶绿

表 3 聚天冬氨酸对烟叶叶绿素含量和净光合速率的影响

处理	叶绿素 a (mg/g)	叶绿素 b (mg/g)	叶绿素总量 (mg/g)	净光合速率 [$\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]
CK	1.03b	0.42b	1.45bc	7.68c
T1	1.09a	0.45a	1.54a	9.50a
T2	1.04b	0.42b	1.46b	8.51b
T3	1.00b	0.41b	1.41c	6.96d

素 b 和叶绿素总量与 CK 相比均没有显著差异, T2 的净光合速率较 CK 提高了 10.81%, T3 的净光合速率较 CK 降低了 9.38%。

2.4 聚天冬氨酸对烟叶碳氮代谢酶活性和根系活力的影响

NR 和 GS 是氮代谢关键酶, 能够促进硝酸盐和铵的同化, SS-II 是碳代谢关键酶, 促进蔗糖的合成^[21]。由表 4 可以看出, 施用 PASP 之后, T1 和 T2 处理的 NR、GS、SS-II 活性和根系活力均有一定程度的提高, T3 处理的 GS 活性和根系活力与 CK 相比差异不大, NR 活性下降了 5.04%, SS-II 活性升高了 50.33%。T1 处理的 NR、GS 活性和根系活力最高, 分别高出 CK 10.04%、7.84% 和 16.40%。T2 处理的 SS-II 活性最高, 为 349.64 $\mu\text{g}/(\text{g} \cdot \text{min})$, 比 CK 高 74.92%。

表 4 聚天冬氨酸对烟叶碳氮代谢酶活性和根系活力的影响

处理	硝酸还原酶活性 [$\text{nmol}/(\text{g} \cdot \text{min})$]	谷氨酰胺合成酶活性 [$\mu\text{mol}/(\text{g} \cdot \text{h})$]	蔗糖合成酶活性 [$\mu\text{g}/(\text{g} \cdot \text{min})$]	根系活力 [$\mu\text{g}/(\text{g} \cdot \text{h})$]
CK	377.81c	4.08c	199.89d	224.40c
T1	415.73a	4.40a	257.37c	261.20a
T2	400.75b	4.29b	349.64a	239.60b
T3	358.77d	4.11c	300.50b	229.30bc

2.5 聚天冬氨酸对烟叶总氮、总糖和还原糖的影响

各处理烟叶的总氮和糖含量见表 5。常规施氮添加 PASP 后, 烟叶的总氮含量显著上升, 高于 CK 23.03%, 总糖和还原糖含量略有上升, 与 CK 差异不明显。减氮添加 PASP 后, 与 CK 相比, 总氮含量在减氮 10% 添加 PASP 处理中升高, 在减氮 20% 添加 PASP 处理中下降, 总糖和还原糖含量在减氮处理之后均随下降, 且随施氮量的减少而降低。与 CK 相比, T3 的总氮、总糖和还原糖含量分别降低了 6.12%、11.75% 和 17.62%。

表 5 聚天冬氨酸对烟叶总氮、总糖和还原糖的影响 (%)

处理	总氮	总糖	还原糖
CK	3.43c	5.70a	4.03ab
T1	4.22a	5.79a	4.17a
T2	3.80b	5.25b	3.84b
T3	3.22d	5.03b	3.32c

2.6 聚天冬氨酸对烟株氮肥利用率的影响

从图 2 可以看出, 各处理的干物质质量和氮素积累量均表现为叶 > 茎 > 根。4 个处理的根干重差异不明显, T1 的茎干重大于另外 3 个处理, 高出最小值的 T3 处理 12.06%, 减氮的 2 个处理的叶干重与 CK 相当。各部位的氮素积累量均表现为 T1>T2>CK>T3, 与 CK 相比, T2 处理的根、茎氮素积累量略有升高但无显著变化, 叶氮素积累量显著升高, T3 处理的各部位氮素积累量均显著小于 CK。从整株氮素积累量来看, 各处理间差异显著, T1 最高, 为 829.65 mg/株, T3 处理最低, 为 584.18 mg/株, T1 和 T2 处理分别高于 CK 29.09% 和 14.25%, T3 处理低于 CK 9.10%。常规施氮和减施 10% 氮肥添加 PASP 后, 烟株的氮肥利用率显著提高, 分别比 CK 提高了 57.74% 和 42.54%, 减氮 20% 之后添加 PASP, 烟株的氮肥利用率与 CK 相当, 仅高于 CK 2.81%。试验结果说明, 单纯添加 PASP 或减施适量氮肥后添加 PASP 均能提高烟株的氮肥利用率。

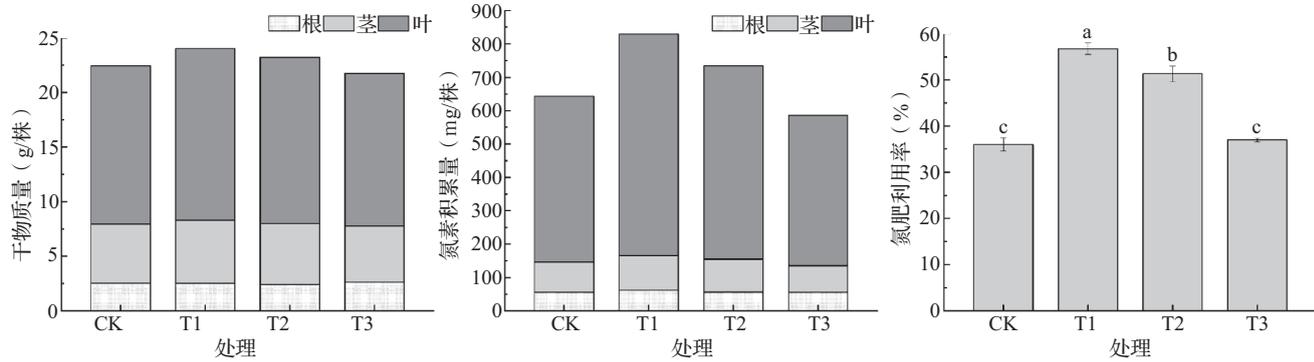


图2 聚天冬氨酸对烟株氮肥利用率的影响

3 讨论

3.1 聚天冬氨酸对土壤氮素淋失的影响

PASP 对于降低土壤氮素淋失, 提高植物氮素利用率具有重要作用。陈倩等^[22]研究表明, 在甜茶幼苗生长土壤中添加 PASP 后, 土壤氮素残留率升高、损失率下降, 且作用效果随 PASP 添加量的增加而更显著。本试验研究发现, 在土柱中添加 PASP 后, 土壤淋失液中的硝态氮和铵态氮含量显著下降, 且 PASP 添加比例越高, 降低效果越好, 这可能是因为 PASP 延缓了氮素的释放速度^[23], 从而减少土壤中氮素的淋失。淋失形态以硝态氮为主, 与曾招兵等^[24]的研究结果一致, 因为土壤胶体大多带负电荷, 容易吸附带正电荷的铵态氮, 而对带负电荷的硝态氮吸附较弱^[25]。

3.2 聚天冬氨酸对烟株氮素利用的影响

硝态氮和铵态氮是作物吸收氮素的主要形态^[26], 添加 PASP 后, 硝态氮和铵态氮淋失减少, 土壤中残留氮素增加, 促进烟株根系生长^[27], 根系活力提高。较高的根系活力可以加速烟株对氮素的吸收, 提高各部位的氮素含量^[28], 叶绿素 a、叶绿素 b 等参加光合作用的主要色素^[29] 含量增加, 光合作用增强, 干物质积累变多。本试验中, 施用 PASP 后, 烟叶氮代谢关键酶 NR、GS 活性增强, 促进叶片氮同化作用, 叶绿素含量升高。氮代谢为碳代谢提供酶和光合色素, 碳代谢为氮代谢提供碳源和能量^[30], 氮同化作用的促进更有利碳代谢的进行。蔗糖是碳水化合物从叶片碳源向碳库转运的主要形式, 蔗糖合成酶可能是限制叶片光合同化物输送的主要因素之一^[31], 碳代谢关键酶 SS-II 活性显著升高, 烟株同化物供给能力增强, 促进烟株生长。在高施氮水平下 (常规施氮和减氮 10%) 添

加 PASP 后, 烟叶的总氮含量上升, 在低施氮水平下 (减氮 20%) 添加 PASP 后总氮含量下降, 添加 PASP 之后, 各处理的糖含量相较于 CK 变化不显著或下降, 可能是因为 PASP 能够促进烟株氮素同化作用和光合作用, 烟叶碳固定和转化代谢强度增大, 糖分形式减弱^[32]。PASP 能将氮素整合聚集在烟株根系附近, 加强烟株氮素吸收^[33], 还能吸附 NH_4^+ , 减少氨挥发造成的氮损失, 有利于氮肥缓慢持续供应养分^[34], 从而提高烟株氮肥利用率。正常施氮和少量减施氮肥 (减氮 10%) 条件下增施 PASP 能促进烟株的生长发育, 使叶片碳氮代谢增强, 叶绿素含量升高, 光合产物增加, 叶面积增大, 干物质积累变多, 氮素积累量显著增加, 氮肥利用率提高。结合大田验证试验, 减氮 10% 配施 5.0%PASP 处理与 CK 相比, 每公顷成本增加 1140 元, 产值上升 4545 元, 增收 3405 元, 通过增效实现了减氮增产, 具有经济可行性。

4 结论

PASP 能够降低植烟土壤中硝态氮和铵态氮的淋失, 促进烤烟生长, 提高烟株根系活力, 有利于叶片叶绿素合成和净光合速率的提高, 碳氮代谢关键酶活性增强, 干物质质量和氮素吸收量增加, 从而提高烟株氮肥利用率。减氮 10% 配施 PASP 处理各指标均优于 CK, 减氮 20% 配施 PASP 处理的烟株生长略弱于 CK, 因此, 可考虑通过减施 10% 氮肥配以一定比例的 PASP 来减少土壤氮素流失, 提高烟株氮肥利用率。

参考文献:

- [1] 方艺, 委亚庆, 张世浩, 等. 重庆稻油轮作区氮素利用及氮肥投入阈值研究 [J]. 西南大学学报 (自然科学版),

- 2023, 45 (8): 95-104.
- [2] 李晶, 何志斌, 王建兵, 等. 荒漠绿洲农田土壤水热动态及硝态氮淋溶特征 [J]. 中国沙漠, 2022, 42 (5): 245-257.
- [3] 朱毓蓉, 欧阳铖人, 于良君, 等. 不同基追比例对湖泊流域烟田氮、磷养分流失和烟叶经济性状的影响 [J]. 云南农业大学学报 (自然科学), 2023, 38 (1): 166-172.
- [4] 郭迎新, 陈永亮, 苗琪, 等. 洱海流域植烟土壤养分时空变异特征及肥力评价 [J]. 中国农业科学, 2022, 55 (10): 1987-1999.
- [5] 欧阳铖人, 王钧宜, 于良君, 等. 有机肥替代化肥对洱海抚仙湖流域烟田氮磷养分流失和烤烟经济效益的影响 [J]. 江西农业大学学报, 2021, 43 (4): 942-950.
- [6] Liu T, Yang J, Wang H, et al. Effects of molecular weight of polyaspartic acid on nitrogen use efficiency and crop yield [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2022, 102 (15): 7343-7352.
- [7] 徐荣, 朱凌宇, 王守红, 等. 牛粪好氧发酵添加聚天冬氨酸固持氮素的机理 [J]. 植物营养与肥料学报, 2020, 26 (6): 1165-1178.
- [8] 马灿灿, 杜臻杰, 白芳芳, 等. 聚天冬氨酸添加对猪场废水灌溉土壤氮迁移的影响研究 [J]. 灌溉排水学报, 2022, 41 (5): 55-63.
- [9] Deng F, Wang L, Mei X F, et al. Morphological and physiological characteristics of rice leaves in response to PASP-urea and optimized nitrogen management [J]. Archives of Agronomy and Soil Science, 2017, 63 (11): 1582-1596.
- [10] 王娜, 徐嘉翼, 张鑫, 等. 聚天门冬氨酸尿素对水稻产量及田面水氮素变化的综合影响 [J]. 农业资源与环境学报, 2021, 38 (1): 96-103.
- [11] 刘媛, 袁亮, 张水勤, 等. 不同分子量聚天冬氨酸对小麦根系生长和养分吸收的影响 [J]. 中国农业科学, 2022, 55 (13): 2526-2537.
- [12] Yan P, Dong X, Lu L, et al. Wheat yield and nitrogen use efficiency enhancement through poly (aspartic acid) -coated urea in clay loam soil based on a 5-year field trial [J]. Frontiers in Plant Science, 2022, 13: 953728.
- [13] 朱凌宇, 徐荣, 张家宏, 等. 聚天冬氨酸增效复合肥在小麦上的应用效果 [J]. 江苏农业科学, 2016, 44 (6): 132-134.
- [14] Wang Q, Tang H, Li G, et al. Polyaspartic acid improves maize (*Zea mays* L.) seedling nitrogen assimilation mainly by enhancing nitrate reductase activity [J]. Agronomy, 2018, 8 (9): 188.
- [15] Ji P T, Li X L, Peng Y J, et al. Effect of polyaspartic acid and different dosages of controlled-release fertilizers on nitrogen uptake, utilization, and yield of maize cultivars [J]. Bioengineered, 2021, 12 (1): 527-539.
- [16] 王琦, 许艳丽, 闫鹏, 等. PAC对谷子花后土壤氮素供应和叶片抗氧化特性的影响 [J]. 植物学报, 2023, 58 (1): 90-107.
- [17] 王阁, 赵园园, 陈小龙, 等. 土柱模拟条件下降雨强度对滇西和豫中典型植烟土壤氮淋失的影响 [J]. 河南农业科学, 2023, 52 (1): 86-94.
- [18] 李玉静, 冯雨晴, 赵园园, 等. 硝态铵态氮比例对不同氮效率烟草苗期氮素吸收及利用的影响 [J]. 中国烟草学报, 2023, 29 (1): 23-35.
- [19] 陈云梅, 赵欢, 肖厚军, 等. 化肥氮减量配施生物炭和菜籽饼对玉米-白菜养分吸收、氮素利用及产量的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2022 (6): 115-122.
- [20] 王伟燕, 冯文强, 常乃杰, 等. 基于光谱预处理和机器学习算法的烤烟叶绿素含量预测 [J]. 中国土壤与肥料, 2023 (3): 194-201.
- [21] 王瑞, 李向岭, 郭栋, 等. 增施氮肥对夏玉米花后高温胁迫下籽粒碳氮代谢的影响 [J]. 作物学报, 2023, 49 (12): 3342-3351.
- [22] 陈倩, 李洪娜, 门永阁, 等. 不同聚天冬氨酸水平对盆栽平邑甜茶幼苗生长及¹⁵N-尿素利用与损失的影响 [J]. 水土保持学报, 2013, 27 (1): 126-129, 135.
- [23] Yan P, Fang M, Lu L, et al. Effect of urea coated with polyaspartic acid on the yield and nitrogen use efficiency of Sorghum (*Sorghum bicolor*, (L.) Moench.) [J]. Plants, 2022, 11 (13): 1724.
- [24] 曾招兵, 李盟军, 姚建武, 等. 习惯施肥对菜地氮磷径流流失的影响 [J]. 水土保持学报, 2012, 26 (5): 34-43.
- [25] 褚继登, 闫慧峰, 王树声, 等. 化肥减量配施生物炭对植烟土壤氮素淋失的影响 [J]. 中国烟草科学, 2022, 43 (4): 40-47.
- [26] 李玉静, 冯雨晴, 赵园园, 等. 不同形态氮素吸收利用及其对植物生理代谢影响的综述 [J]. 中国农业科技导报, 2023, 25 (2): 128-139.
- [27] 张玉芹, 杨恒山, 张瑞富, 等. 浅埋滴灌下水氮运筹对春玉米根系衰减特性及产量的影响 [J]. 作物学报, 2023, 49 (11): 3074-3089.
- [28] 陈心怡, 朱盈, 马中涛, 等. 光强和氮肥互作对南方软米粳稻灌浆结实期碳氮代谢影响及其与产量品质间关系 [J]. 作物学报, 2023, 49 (11): 3042-3062.
- [29] 任毛飞, 毛桂玲, 刘善振, 等. 光质对植物生长发育、光合作用和碳氮代谢影响的研究进展 [J]. 植物生理学报, 2023, 59 (7): 1211-1228.
- [30] 王春恒, 韩爱民, 张立梅, 等. 外源 γ -氨基丁酸对蛇龙珠葡萄叶片碳氮代谢的影响 [J]. 果树学报, 2023, 40 (7): 1386-1398.
- [31] Yan P, Chen C, Xu T, et al. A novel plant growth regulator ameliorates chilling tolerance for spring maize in Northeast China [J]. Plant Growth Regulation, 2020, 91: 249-261.
- [32] 黄佳, 李信, 王子一, 等. 种植密度和施氮量对烤烟碳氮代谢关键酶及品质的影响 [J]. 江苏农业科学, 2023, 51 (9): 82-88.
- [33] 朱梦真, 韩路, 代雅琦, 等. 聚天冬氨酸保水剂对胡杨光合特性的影响 [J]. 林业资源管理, 2021 (4): 149-156.
- [34] 刘曼霞, 邢志强, 张鑫, 等. 聚天冬氨酸尿素及生化抑制剂对长江流域典型土壤 N_2O 排放的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2021 (3): 110-118.

Effects of adding polyaspartic acid on soil nitrogen leaching and nitrogen utilization of tobacco plants

DUAN Jun-ya¹, WANG Ting-ting¹, WEI Jian-yu², ZHAO Yuan-yuan^{1*}, WANG Zheng², WANG De-xun³, OU Qing-hua², SHI Hong-zhi^{1*} (1. College of Tobacco Science / Research Center for Tobacco Harm Reduction / Tobacco Cultivation Key Laboratory of China Tobacco, Henan Agricultural University, Zhengzhou Henan 450046; 2. China Tobacco Guangxi Industrial Co. Ltd., Nanning Guangxi 530001; 3. Dali Branch of Yunnan Provincial Tobacco Company, Dali Yunnan 671000)

Abstract: In order to investigate the effects of adding polyaspartic acid (PASP) on soil nitrogen leaching loss and nitrogen utilization of tobacco plants, soil column leaching test with different PASP addition ratio and pot experiment with PASP addition under different nitrogen fertilizer gradients were set up to study the effects of PASP on soil mineral nitrogen leaching, tobacco plant growth, chlorophyll content, photosynthetic rate, key enzyme activity of carbon and nitrogen metabolism, chemical composition and nitrogen utilization rate. The results showed that adding PASP reduced the leaching loss of nitrate nitrogen and ammonium nitrogen in soil, and the greater the proportion of PASP added, the better the leaching loss reduction effect. Compared with the control group, under conventional nitrogen application and 10% nitrogen reduction conditions, adding PASP improved the growth of tobacco plants, increased the net photosynthetic rate, enhanced the activity of key enzymes in carbon and nitrogen metabolism and root activity, increased dry matter and nitrogen accumulation, and increased the nitrogen utilization rate by 57.74% and 42.54%, respectively. The tobacco plant growth of PASP treated with 20% nitrogen reduction was slightly weaker, except sucrose synthase (synthesis direction) activity, other physiological indexes were slightly decreased on the whole, total nitrogen and sugar contents were decreased, nitrogen accumulation was decreased, and nitrogen utilization rate was similar to that of the control group. It was concluded that the application of 5% PASP under the condition of 10% nitrogen reduction could reduce the soil nitrogen leaching loss and increase the nitrogen utilization rate of tobacco plants.

Key words: polyaspartic acid; flue-cured tobacco; nitrogen; leaching loss; nitrogen utilization rate