

减施氮肥下聚天冬氨酸对烤烟生理特性及氮肥去向的影响

曹本福^{1,2}, 陆引罡^{1,2,3}, 刘丽^{1,3}, 陈海念¹, 刘晓云¹, 祖庆学⁴

(1. 贵州大学农学院, 贵阳 550025; 2. 贵州省烟草品质研究重点实验室, 贵阳 550025;

3. 贵州大学新型肥料资源与技术研究所, 贵阳 550025; 4. 贵阳市烟草公司开阳分公司, 贵州 开阳 550300)

摘要: 针对烤烟种植氮素施用量过多、氮肥利用率不理想等问题, 以聚天冬氨酸(PASP)为肥料增效剂、我国烤烟主要种植品种“云烟 87”和贵州黄壤为供试材料, 采用¹⁵N 同位素示踪技术, 探索了减施氮肥 30% 情况下 PASP 施用对烤烟生理特性和氮肥去向的影响, 为 PASP 应用于烤烟生产提供参考。结果表明: 减施氮肥和添加 PASP 均可有效提高烤烟氮肥利用率, 前者提高效果在烤烟生育后期尤为明显, 后者在前者的基础上可进一步增强提高效果。常规施肥减氮 30% 条件下, 烤烟根系生理和叶片光合特性受到显著影响; 在此基础上添加 PASP 其烤烟根系生理、叶片生理形态及氮肥利用率皆得到显著促进。低水平 PASP(100 mg/plant)可在一定程度上提高氮肥利用率, 但对烤烟根系、叶片光合特性促进效果不显著; 相比较而言, 较高水平 PASP(400 mg/plant)更有利于烤烟根系和叶片的生理代谢及肥料利用率的提高。相关分析表明, PASP 的添加量与氮肥利用率之间存在极显著正相关关系($p < 0.01$)。生育后期, 各处理的¹⁵N 分配率均表现为地上部大于地下部, 且随着 PASP 添加量的增加, 植株分配到地上部的¹⁵N 的量相应增加; 此外, 施用 PASP 显著降低了氮肥损失率, 提高了氮肥总回收率, 表现为 PASP 用量越高效果越明显。综上可知, 施用 PASP 促进了烤烟生理代谢和氮素的吸收, 降低了氮肥损失, 以施 400 mg/plant PASP 效果最佳。

关键词: 聚天冬氨酸(PASP); 烤烟; 光合特征; 氮肥利用率; 氮肥去向

中图分类号: S572.062

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2019)05-0223-07

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcbxb.2019.05.033

Effects of Polyaspartic Acid on Physiological Characteristics and Fate of Nitrogen Fertilizer in Flue-cured Tobacco with Nitrogen Fertilizer Reduction

CAO Benfu^{1,2}, LU Yingang^{1,2,3}, LIU Li^{1,3}, CHEN Hainian¹, LIU Xiaoyun¹, ZU Qingxue⁴

(1. The Agricultural College of Guizhou University, Guiyang 550025; 2. Guizhou Key Laboratory for Tobacco Quality Study, Guiyang 550025; 3. Institute of New Fertilizer Resources and Technology, Guizhou University, Guiyang 550025; 4. Kaiyang Branch of Guiyang Tobacco Company, Kaiyang, Guizhou 550300)

Abstract: With the excellent performance of fertilizer synergist, polyaspartic acid (PASP) may have an effect on the physiological metabolism and nitrogen use efficiency of flue-cured tobacco, which will solve the problems of excessive nitrogen application and low nitrogen use efficiency in tobacco-planting, and provide some reference to the application of PASP in tobacco production. A pot experiment which took the flue-cured tobacco called ‘Yun 87’, and yellow soil, the typical soil of Guizhou Province, was carried out to explore the effects of PASP on the physiological characteristics of tobacco and the fate of nitrogen fertilizer when reducing nitrogen application by ¹⁵N-isotope tracer technique. The results indicated that the reduction of nitrogen fertilizer (30%), and the addition of PASP could effectively improve the utilization rate of nitrogen fertilizer, the improvement effect of N reducing was particularly obvious in the late growth stage of flue-cured tobacco, and PASP application could further enhance the improvement effect. With 30% reduction of nitrogen fertilizer application, the root physiology and leaf photosynthetic characteristics of flue-cured tobacco were significantly affected. Under the same conditions, adding PASP significantly promoted root physiology, leaf physiological morphology and nitrogen use efficiency of flue-cured tobacco. The low level PASP(100 mg/pant)

收稿日期: 2019-06-10

资助项目: 国家自然科学基金项目(31760133); 中国烟草总公司贵州省公司科技项目[中烟黔科(2018)07]; 贵州省烟草公司贵阳市公司科技项目[贵烟科(2019)2 号]; 贵州省烟草品质遗传改良与生物转化科技创新人才团队[黔科合人才团队(2015)4011 号]; 贵州省高层次人才创新型人才培养计划——百层次人才[黔科合平台人才(2016)5663 号]

第一作者: 曹本福(1995—), 男, 在读硕士研究生, 主要从事植物营养生理与遗传研究。E-mail: Bfucao0712@163.com

通信作者: 陆引罡(1962—), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事植物营养学研究。E-mail: agr.yglu@gzu.edu.cn

刘丽(1987—), 女, 教授, 硕士生导师, 主要从事微生物资源开发与利用研究。E-mail: liuliz706@sina.com

didn't showed significant promotion effect on photosynthetic characteristics of flue-cured tobacco roots and leaves, even though it improved nitrogen utilization rate to some extent. Conversely, the high-level PASP (400 mg/pant)were more conducive to the physiological metabolism of roots and leaves of flue-cured tobacco and increased fertilizer use efficiency. In addition, the result of correlation analysis indicated that there was a significant positive correlation between PASP addition and nitrogen use efficiency ($p < 0.01$). Furthermore, the application of PASP significantly increased the total recovery of nitrogen fertilizer, and for tobacco plant, the ^{15}N distribution of aerial part was higher than that of underground part in all treatments during the late growth stage, both of them became higher with the increase of PASP. In conclusion, the application of PASP facilitated the physiological metabolism of flue-cured tobacco, N absorption, and minimize nitrogen loss, especially in the treatment of N reduced by 30% + PASP 400 mg/plant.

Keywords: polyaspartic acid; flue-cured tobacco; photosynthetic characteristics; nitrogen use efficiency; fate of nitrogen fertilizer

作为陆地植物生长的主要限制因子,氮素在促进作物生长、提高作物产量中发挥了巨大作用^[1];对于烟草这一经济作物,氮肥的丰缺除直接影响产量外,还与烟草内含物成分含量相关,故而氮素施用成为烟叶生产不可忽视的环节,但因其利用率较低而造成流失已成为烤烟种植面临的主要难题^[2-3]。在农业生产中,导致农田附近水体富营养化的主要原因之一在于化学氮肥的过度使用,我国主要经济作物的氮肥利用率均较低^[1,4],烤烟氮肥利用率更是普遍低于其他作物。大量未被烤烟吸收和利用的氮素养分,在烟田土壤耕作层沉积,氮素流失风险呈指数增加,导致土壤保水性能变差、肥力下降,加重烟叶田间生产的恶性循环,成为植烟区病虫害频发的主导因子之一^[5-6]。因此,如何有效降低氮肥施用量、保证烟田健康发展已成为亟待解决的问题。聚天冬氨酸(polyaspartic acid, PASP)是一种多功能高分子材料,对钙无机盐具有良好的螯合能力,广泛用作水源、矿物盐的阻垢剂和钢铁缓蚀剂^[7-9],因其含有大量活性基团,具有分散和螯合等功能,在种子包衣、农药复配、缓温保墒方面也表现出良好的应用前景。作为肥料增效剂,聚天冬氨酸可富集植物根部区域养分,增强作物对养分的吸收,从而减少肥料损失;其分解终产物生成水和二氧化碳,是一种环境友好型材料^[10],因此越来越多地应用于农业生产。唐会会等^[11]发现, PASP 螯合氮肥减量一次性基施,可增加春玉米籽粒灌浆花期的硝酸还原酶(NR)活性,提高花后谷氨酰胺合成酶(GS)和谷草转氨酶(GOT)活性,具有促进氮素代谢、提高玉米氮肥利用效率的作用;Wang 等^[12]研究指出, PASP 可促进蛋白质累积、调节硝酸还原酶(NR)活性,从而提高玉米幼苗植株的生物量和氮含量,并且在缺乏 NO_3^- 时提高效果更加显著;Ju 等^[13]、Deng 等^[14]研究表明,聚天冬氨酸可促进水稻开花前器官对氮的积累,提高氮肥回收率,改善氮需求与氮输入

间的平衡,减少氮损失;孙克刚等^[15]发现,在减施一定量氮肥的情况下添加聚天冬氨酸,小麦植株地上部含氮量增加,相比单施全量氮肥,小麦产量间差异不显著,说明聚天冬氨酸可减少氮肥使用量。可见,聚天冬氨酸在农业生产中具有较好的应用前景。烟草上应用含聚天冬氨酸的肥料增效剂及专利有不少,然而对其核心成分聚天冬氨酸的研究鲜有报道。鉴于此,本研究采用 $^{15}\text{NH}_4^{15}\text{NO}_3$ 双标记进行盆栽试验,在减施氮肥的基础上通过添加不同用量的聚天冬氨酸,研究其对烤烟根系生理、叶片生理形态及氮肥利用率等的影响,以期聚天冬氨酸应用于烟叶生产提供理论支持。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试品种为“云烟 87”,包衣种子来自玉溪烤烟良种繁育基地。

农用聚天冬氨酸(PASP):粉状,质量分数 $\geq 98\%$,石家庄德赛化工生产。

供试土壤:黄壤,为贵州省贵阳市花溪区松林坡($106^{\circ}44'57''\text{N}$, $26^{\circ}27'54''\text{E}$)下 0—20 cm 土壤,海拔 1 110 m,是贵州省烟区主要的土壤类型。基本理化性状为:pH 6.85,有机质含量 9.13 g/kg,全氮含量 0.51 g/kg,碱解氮含量 25.77 mg/kg,有效磷含量 8.46 mg/kg,速效钾含量 79.05 mg/kg。

供试肥料:氮肥采用稳定性的 $^{15}\text{NH}_4^{15}\text{NO}_3$ ($\delta^{15}\text{N}$ 为 10.15‰,购于上海同位素工程研究中心);供试磷、钾肥分别为分析纯的磷酸二氢钾和硫酸钾,均由天津永大化工生产。

1.2 试验设计

2018 年于贵州大学农学院试验场地进行盆栽试验,试验设置 5 个处理,分别为:T1,常规施肥处理,单株施纯氮 8.37 g (N : P_2O_5 : K_2O 为 10 : 10 : 20),不添加聚天冬氨酸(PASP);T2,常规氮肥减量

30%,即单株施纯氮 5.86 g (N : P₂O₅ : K₂O 为 7 : 10 : 20),不添加 PASP;T3,在 T2 的基础上添加 100 mg/plant 的 PASP;T4,在 T2 的基础上添加 200 mg/plant 的 PASP;T5,在 T2 的基础上添加 400 mg/plant 的 PASP。各处理重复 5 次。PASP 与肥料一同施用并提前拌匀。

试验盆栽用具为聚乙烯材料,盆高 35.5 cm,上口口径 42.0 cm,底径 30.0 cm。供试土样自然风干后熏蒸消毒并过 0.7 cm×0.7 cm 不锈钢网筛,与提前拌匀的 PASP—肥料混合均匀后装盆,每盆 15 kg,按 110 cm×55 cm 的行株距完全随机排列。肥料与聚天冬氨酸皆在前期一次性全部施入,保持田间 60%持水量平衡 1 周后,选取长势一致且无病害特征的烟苗于 4 月 25 日单盆单株移栽,6 月 29 日(移栽后 65 天)进行打顶(各烟株打顶存在 1~3 天差距),水分补充为人工适时补给,其他栽培管理措施及病虫害防治均按贵阳市优质烟叶生产管理要求进行。

1.3 测定指标

1.3.1 叶片生理形态的测定 在烟株移栽后 30~90 天期间,每隔 20 天选取各处理选定长势良好、生长一致的烟株,使用 LI-6400 便携式光合测定仪(LI-Cor Ins,USA)测定烤烟功能叶片(上数第 7 片叶)的净光合速率(P_n)、胞间 CO₂ 浓度(C_i)、蒸腾速率(T_r)和气孔导度(G_s);测定时选择红蓝光源叶室,叶室温度设置 25 ℃,CO₂ 浓度 400 μmol/mol,光量子通量密度为 800 μmol/(m²·s),每处理测定 3 株,重复 3 次。光合特性测定完毕后选定同一功能叶测定叶宽、叶长以确定其叶面积。

1.3.2 根系生理的测定 同期选取与测定光合参数相同的烟株整株取样,用清水小心反复冲洗烟根以获得完整根系,采用氯化三苯基四氮唑(TTC)比色法^[16]测定烟株根系活力;根系 ATPase 活性测定采用霍昭光等^[17]方法略有改良,即将 0.3 g 新鲜烤烟根系和生理盐水(0.9%)配制为质量系数为 15%的匀浆,在 4 ℃、6 000 g/min 的条件下离心 15 min,吸取离心上清液,将生理盐水和上清液按照 1 : 4 的比例稀释成体积系数为 2%的匀浆,按照 ATPase 活性试剂盒(南京建成生物研究所)步骤说明进行测定。

1.3.3 氮素含量的测定 于烟株根系生理及光合作用参数测定完毕后对烟株各部位进行 105 ℃杀青 30 min,65 ℃烘干至恒重后记录干物质重,粉碎过 0.25 mm 筛包装于锡箔纸待测。土壤氮素于 7 月 24 日(移栽后 90 天)烟株取样后,将土壤全部收齐混匀,采用四分法舍取,自然风干后挑出可能残留的烟根,研磨过 0.1 mm 筛待测。烟株全氮和土壤全氮分别采用 H₂SO₄—H₂O₂法、H₂SO₄—全氮加速剂消化后皆

采用开氏法^[18]测定,同位素 δ¹⁵N 采用质谱法测定,所用仪器为 Thermal Finnigan TC /EA-IRMS 测试仪,型号为 DELTAV Advantage。

1.4 数据处理

烟株肥料利用率的计算^[19]:

烟株各器官 Ndff(%) = 烟株各器官¹⁵N 原子百分超/肥料¹⁵N 原子百分超×100%

标记氮肥利用率(%) = 植株干重×植株全 N (%)×植株 Ndff(%) / 施氮量×100%

土壤 Ndff(%) = 土壤的¹⁵N 原子百分超/肥料的¹⁵N 原子百分超×100%

标记土壤氮肥残留率(%) = 土壤总干重×土壤全 N (%)×土壤 Ndff(%) / 施氮量×100%

标记表观氮肥损失率(%) = 100% - 标记氮肥利用率(%) - 标记氮肥残留率(%)

式中:Ndff 表示来自标记肥料的氮素。

采用 Microsoft Excel 2013 和 DPS 14.0 软件进行统计分析与作图,采用新 Duncan's 法进行多重比较($P < 0.05$)。

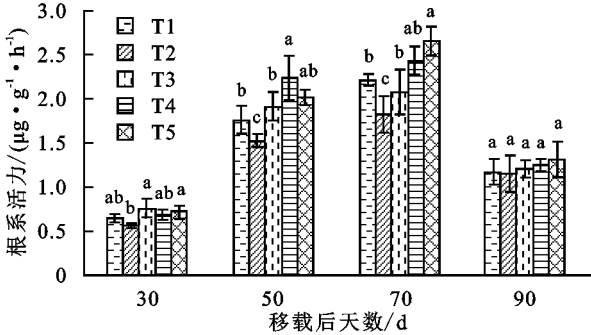
2 结果与分析

2.1 聚天冬氨酸对不同生育期烤烟根系生理活性的影响

2.1.1 聚天冬氨酸对不同生育期烤烟根系活力的影响 从图 1 可以看出,在烤烟生育期内,烟株根系活力呈先上升后下降的变化趋势。烤烟移栽后 30 天,T1、T2 处理根系活力较低,但二者之间无显著差异;从试验数据来看,聚天冬氨酸处理均高于 T1、T2 处理,其中 T3、T5 处理显著高于减氮施肥的 T2 处理($P < 0.05$)。随着生育期推进,移栽后 50 天以聚天冬氨酸处理根系活力较高,显著大于 T2 处理,其中 T4 处理活力最高,均显著高于 T1、T2 处理。此后,T4、T5 处理根系活力皆相对较高;移栽后 70 天时 T4、T5 处理显著高于 T2 处理,T5 显著高于 T1、T2 处理。移栽后 90 天仍以 T5 处理根系活力较高,但各处理间无显著差异。综合整个生育期可见,减施氮肥 30%对根系活力的影响显著,在减施氮肥 30%的基础上添加聚天冬氨酸可不同程度地提高根系活力,根系活力表现为随聚天冬氨酸施用量的增加而增加,以 T4、T5 处理效果较好。

2.1.2 聚天冬氨酸对不同生育期烤烟根系 ATPase 活性的影响 从图 2 可以看出,在烤烟生育期内,烟株根系 ATPase 活力呈先上升后下降的变化趋势,各处理根系活力在移栽后 70 天较高。从各生育期处理间的差异来看,移栽后 30 天各处理之间根系 ATPase 活性无明显差异;移栽后 50 天,减施氮肥 30%的 T2 处理略高于

T1 处理,二者之间差异不显著,添加聚天冬氨酸效果表现不一,其中 T5 处理显著高于 T1、T2 处理;移栽后 70 天时,T2 处理 ATPase 活力最低,显著低于 T1 处理,添加聚天冬氨酸的 T3~T5 处理显著高于 T1、T2 处理;这种差异随着生育期的变化在逐渐减小,但始终以添加聚天冬氨酸量最大的 T5 处理为最高,且显著高于 T2 处理。由此可见,减施氮肥 30%显著影响烤烟根系 ATPase 活性,在减施氮肥的基础上通过添加聚天冬氨酸能显著提高 ATPase 活性,且添加量越多,提高效果越持久。



注:图中不同小写字母表示同一时间下不同处理间差异达 5% 显著水平,误差线为标准误。下同。

图 1 聚天冬氨酸用量对烤烟不同生育时期烤烟根系活力的影响

2.2 聚天冬氨酸对不同生育期烤烟叶片形态生理的影响

2.2.1 聚天冬氨酸对烤烟光合特性的影响 从图 3 可以看出,在整个生育期内,烤烟叶片净光合速率(P_n)呈先上升后下降的趋势,各处理均于移栽后 50 天达到峰值。各生育期烟株叶片 P_n 均以添加聚天冬

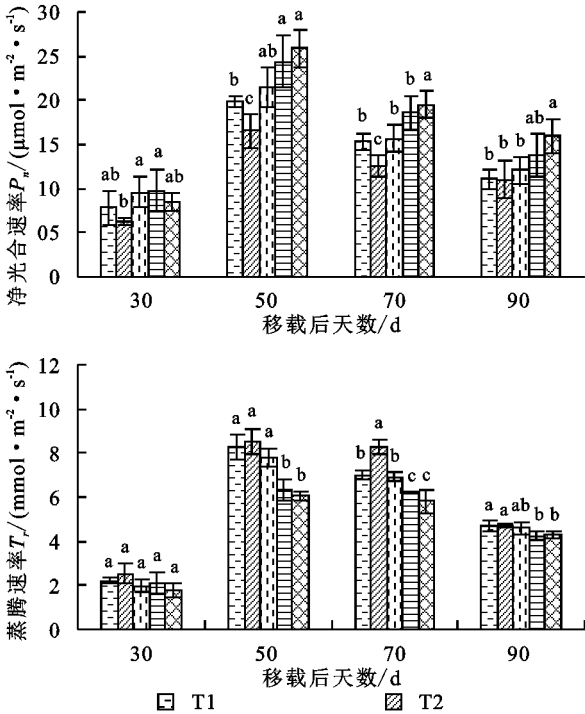


图 3 聚天冬氨酸对烤烟不同生育时期叶片光合特性的影响

氨酸的处理较大,T1、T2 处理较小;移栽后 30 天时 T3、T4 处理的 P_n 显著高于减氮 30%的 T2 处理;移栽后 50 天 T4、T5 处理显著高于 T1、T2 处理,此后皆以 T5 处理显著高于 T1、T2 处理。烟株叶片的气孔导度(G_s)与 P_n 变化趋势基本一致。叶片蒸腾速率(T_r)在移栽后 30 天时各处理间无显著差异,此后,T1、T2 处理皆较高,显著高于 T4、T5 处理;整个生育期中, T_r 最大值出现在移栽后 50、70 天,而移栽后 90 天有所降低。胞间 CO_2 浓度(C_i)在整个生育期内变化趋势与 G_s 、 P_n 基本一致,但波动较小,生育前中期(30、50 天)各处理间无显著差异;进入生育中后期(70、90 天)T5 处理的叶片 C_i 显著高于 T1、T2 处理。可见,增施聚天冬氨酸有利于提高烤烟叶片 P_n 、 G_s 和 C_i ,同时降低 T_r ,对烤烟种植中水分的高效利用有一定指导意义。此外,从各光合特性指标的变化趋势来看,生长后期 G_s 和 C_i 均同时下降,表明气孔限制可能是 P_n 降低的主要原因之一^[20]。

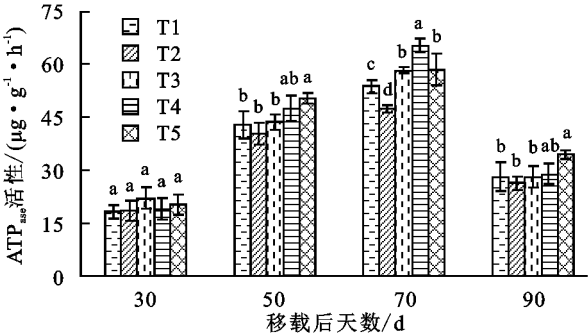
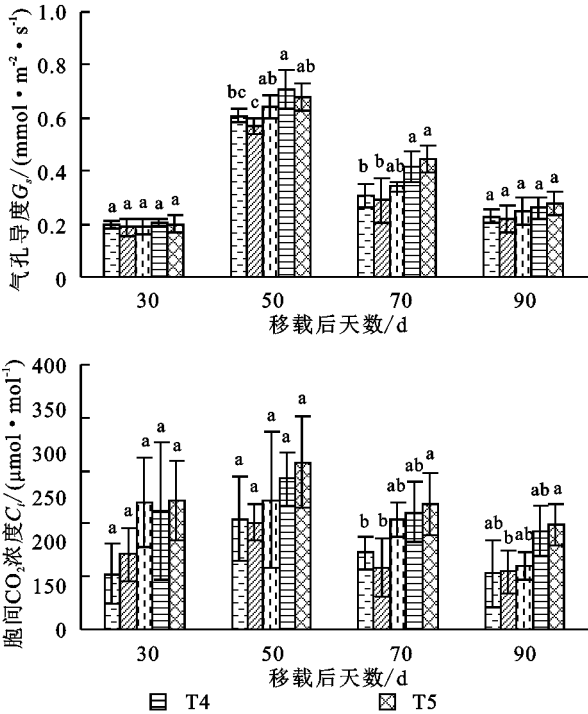


图 2 聚天冬氨酸用量对烤烟不同生育时期烤烟根系 ATPase 活性的影响



2.2.2 聚天冬氨酸对烤烟叶片面积的影响 由表 1 可知,各处理烟株叶片在移栽后 30~70 天迅速延展,叶面积增长 26.49 倍以上,移栽后 70~90 天叶面积扩展速度减缓,逐渐由叶片发育向品质形成转化。移栽后 30 天对照施肥处理(T1)与减氮施肥处理(T2)叶面积较大,二者之间无显著差异;聚天冬氨酸处理烟株叶面积均低于 T1、T2 处理,其中 T4、T5 处理显著低于 T1 处理。随着烤烟生育期的推进,聚天冬氨酸处理叶面积增长速度明显。减氮处理(T2)在移栽后 50 天其叶面积最小,但与常规处理(T1)无显著差

异;烤烟叶面积随聚天冬氨酸添加量的提高而显著提高。移栽后 70,90 天不同处理间烤烟叶面积大小皆表现为 T2<T1<T3<T4<T5,且 T4、T5 处理叶面积均显著大于 T1、T2 处理。生长中前期(移栽后 70 天前)减氮施肥处理 T2 叶面积均较小,但与常规处理 T1 之间均无显著差异,生长后期时(移栽后 90 天)差异显著。可见,减氮施肥 30%烤烟叶片扩展较慢,其烟叶发育受到明显影响。此外,在减氮施肥 30%下添加聚天冬氨酸可促进烤烟叶片横向发育^[21-22],聚天冬氨酸添加量越多效果越明显,以 T5 处理效果较佳。

表 1 聚天冬氨酸对烤烟不同生育期叶面积的影响 单位:cm²

处理	移栽后 30 d	移栽后 50 d	移栽后 70 d	移栽后 90 d
T1	36.93±6.23a	377.79±20.44ab	916.24±46.05c	1202.54±77.46b
T2	33.12±3.13ab	359.06±13.79b	877.32±71.78c	1051.57±51.33c
T3	29.13±2.07ab	394.25±34.91ab	962.95±27.17b	1315.45±106.58ab
T4	27.09±4.91b	434.57±30.60a	1004.30±45.14ab	1423.88±114.86a
T5	27.33±2.89b	417.59±41.09a	1038.07±59.14a	1475.96±74.50a

注:同列不同小写字母表示不同处理间差异达 5%显著水平。下同。

2.3 聚天冬氨酸对烤烟氮肥利用率的影响

从图 4 可以看出,烤烟氮肥利用率随生育期的推进而逐渐提高的趋势,在移栽后 90 天达到最高。移栽后 30 天聚天冬氨酸处理氮肥利用率与 T1、T2 处理均无显著差异。移栽后 50 天其烤烟氮肥利用率增加了 1.75~2.36 倍,以 T4 处理最大,显著大于 T1~T3 处理。至移栽后 70,90 天,T4、T5 处理烤烟氮肥利用率皆显著高于其他处理;其中移栽后 90 天时,T2 处理氮肥利用率较 T1 处理提高了 16.22%,二者之间差异显著。对移栽后 90 天聚天冬氨酸施用量与相应烤烟氮肥利用率进行相关分析发现,二者呈显著正相关关系($r=0.983\ 3$, $P=0.008\ 4$)。由此说明,通过减施氮肥和添加聚天冬氨酸均可有效提高氮肥利用率,前者提高效果在烟草生育后期尤为明显,后者可在前者的基础上进一步增强提高效果,在烤烟移栽后 50 天即可表现出显著效果,且提高效果与聚天冬氨酸的添加量呈显著正相关关系。

34.64%,从烟株根部的氮肥利用率来看,以 T2 处理最大,较其他处理差异显著,以 T1 处理最低,显著小于聚天冬氨酸处理;就烟株地上部氮肥利用率而言,各处理烟株地上部氮肥利用率明显高于根部,以 T1、T2 处理利用率较低,施入聚天冬氨酸后其地上部氮肥利用率得到不同程度的提高,其中 T4、T5 处理较 T1 和 T2 处理显著增加 24.65%和 24.99%、29.88%和 30.23%。从土壤残留率的试验数据来看,与 T1 处理相比,添加聚天冬氨酸其残留率表现不一,介于 29.73%~36.26%,较 T2 处理增加 1.17~1.42 倍,其中 T4 处理土壤残留率较高,较 T1 处理增加 5.44%,但二者间未达显著差异水平。总回收率中,T1 处理回收率较低,减施氮肥后其总回收率显著下降,因而损失率较高,添加聚天冬氨酸后其总回收率得到提高,损失率下降,其中 T4、T5 处理效果最佳,与 T1、T2 处理差异显著。说明聚天冬氨酸可显著提高烟株吸收利用氮素,且主要促进氮素向地上部运输。

3 讨论

植物根系活力和 ATPase 活力是根系生理代谢的重要表现。根系活力越高,表明植物根系脱氢酶活性高,根系发育状况越好;ATPase 活力直接影响根系对养分和水分的吸收、运输等一系列活动,在一定程度上体现了根系代谢活动的旺盛程度^[17]。本研究表明,添加 PASP 烤烟各生育期的植株根系活力和 ATPase 活力均得到不同程度的提高,且无论是 TTC 测定的根系活力还是 ATPase 活性均呈现出先升高后降低的趋势,皆在移栽后 70 天达到峰值,这可能与烟株打顶存在一定关系。前人^[23-24]研究指出,

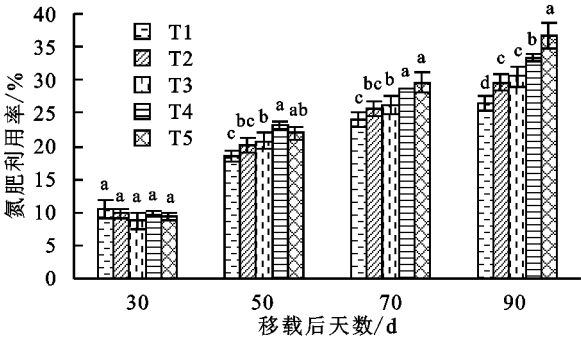


图 4 聚天冬氨酸对烤烟不同生育期氮肥利用率的影响

2.4 聚天冬氨酸对¹⁵N 标记氮肥去向的影响

从表 2 可以看出,烟株氮肥利用率为 26.46%~

打顶对烤烟根系活力、ATPase 活性具有一定影响。一方面,烟株打顶后更多的养分分配于侧叶,促进产量和品质的形成;同时地上部一定量的钾素等养分由韧皮部回流至根系,因此,相比打顶前根系累积较多的养分离子,细胞渗透压加强,促进根系生长和对水分吸收,根冠比增加,此时根系活力、ATPase 酶同步增强。另一方面,打顶是去除顶芽的一种损伤性措施,打顶后烟株为促进伤口愈合,减少外部病菌侵染,致使呼吸速率上升以分泌杀菌物质形成防御

体系;ATP 分解供能是加强呼吸速率的重要前提,ATP 酶活性因此增加;与此同时,植物体内有机物经脱氢酶催化氧化产生电子,最后经由氧化磷酸化过程偶联ADP 和 P_i 生成三磷酸腺苷(ATP),以确保 ATP 供应^[25],根系活力增加。此外,本研究结果进一步指出,减施氮肥 30% 会显著影响烤烟根系生理活性,在减施氮肥的基础上通过添加聚天冬氨酸(PASP)能显著提高根系活力,且添加量越多,提高效果越持久。

表 2 不同处理下¹⁵NH₄⁺¹⁵NO₃⁻标记氮肥中氮素的去向

单位: %

处理	烟株氮肥利用率		土壤残留率	总回收率	损失率
	根部	地上部			
T1	4.27±0.60c	23.19±1.02c	33.39±1.96a	59.85±0.83b	40.15±2.12b
T2	7.46±0.52a	22.13±0.91c	26.48±2.16b	56.07±2.85c	44.53±1.73a
T3	5.48±0.75c	25.09±2.67bc	29.73±2.35ab	60.30±1.01b	39.70±2.14b
T4	5.62±0.82bc	27.66±1.01ab	35.26±3.25a	68.54±3.12a	31.46±4.83c
T5	6.39±0.43b	30.25±2.42a	32.38±3.10a	69.02±1.66a	30.98±2.83c

植物的绝大多数干物质和经济产量来源于光合作用产生的碳水化合物^[26],光合特征是光合作用和叶片发育优劣的重要体现,植物叶片光合特性较好,说明叶片结构协调、光合进程顺利,有利于作物进行生物量累积^[25]。本研究中,PASP 处理烤烟叶片净光合速率(P_n)、胞间 CO_2 浓度(C_i)、气孔导度(G_s)显著增加,蒸腾速率(T_r)减缓,说明 PASP 有效促进了烤烟进行光合作用。同时,PASP 处理下烤烟叶面积扩展更为明显,以 T4、T5 处理效果最佳,即较高水平的 PASP 用量更有利于烤烟产量的最终形成,这与本课题组于 2017 年在贵州开阳进行的大田试验结果^[27]趋于一致。

PASP 施入土壤后可进入植物根部,包裹多余的养分,其后逐渐释放,从而提高肥料利用率,促进农作物生长^[28]。Deng 等^[29-30]研究表明,尿素添加 PASP 可提高谷氨酰胺合成酶(GS)和谷氨酸合成酶(GOGAT)的活性,降低水稻开花前的表观氮盈余和开花后的氮亏缺,提高其吸氮量和氮肥利用率;侯晓娜等^[31]研究指出,较高的 PASP、黄腐酸用量配施尿素可显著促进蔬菜对氮素的吸收,减少氮肥损失,增加土壤氮库容量。本研究表明,烤烟氮肥利用率随生育期的推进而逐渐提高,移栽后 30、50 天处理间氮肥利用率差异不显著;此后,减施氮肥和添加 PASP 对氮肥利用率皆有显著提高作用,前者提高效果在烟草生育后期尤为明显,后者可在前者的基础上进一步增强提高效果,且该提高效果与 PASP 的添加量具有明显正相关关系。由此说明,适当减少氮肥施用量可有效提高氮肥利用率,且配施 PASP 效果更佳。

田间养分缺乏时,烤烟为适应胁迫环境,把更多的养分分配于根部,以促进根部生长发育,为获取更多的

养分提供可能;充足的氮素供应则可同时促进根系、地上部的生长^[32-33]。本研究中,就后期氮肥去向的试验数据来看,常规氮肥用量减施 30%,其烤烟氮肥利用率显著提高,但¹⁵N 示踪表明相对较多的氮素分布于根部;可见,减氮 30% 不利于烟株正常生长。减氮 30% 的基础上施入 PASP 促进了烤烟植株对氮肥的吸收,且植株¹⁵N 分配率表现为地上部大于地下部,说明 PASP 主要促进烤烟进行氮素向地上部运输。此外,添加较高水平的 PASP,其标记氮肥的损失率显著降低,表现出较好的保肥性,这与相关研究结果^[28,31,34]一致。

4 结 论

常规氮肥减量 30% 可显著提高烤烟氮肥利用率,但不利于烟株根系生理、烟叶光合特征效果。减施氮肥 30% 的基础上添加一定用量的 PASP,其烤烟根系活力和 ATPase 活力活性提升显著,PASP 促进了烟株进行光合作用,增加了烤烟叶面积,提高了氮肥利用率,降低了氮肥损失,均以较高用量的 PASP 处理效果较好。综合整个生长期内 PASP 对烤烟生理特性及后期氮肥去向的影响结果来看,T5 处理(减施氮肥 30%+400 mg/plant PASP)烟株在整个生长期内的根系生理、叶片形态生理以及氮肥利用率均存在较大值,氮肥损失显著减少,是最优处理。该研究为烤烟生产中聚天冬氨酸的应用提供了理论依据和技术支撑。

参考文献:

[1] 张福锁,王激清,张卫峰,等.中国主要粮食作物肥料利用率现状与提高途径[J].土壤学报,2008,45(5):915-924.

[2] Autret B, Beaudoin N, Rakotovololona L, et al. Can alternative cropping systems mitigate nitrogen losses and improve GHG balance? Results from a 19-yr experiment

- in Northern France[J]. *Geoderma*, 2019, 342: 20-33.
- [3] Hazel D W, Franklin E C, Thomas K T, et al. Integrated practices for reducing sediment loss from Piedmont tobacco fields[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2008, 63(3): 143-152.
- [4] 巨晓棠. 氮肥有效率的观念及意义: 兼论对传统氮肥利用率的理解误区[J]. *土壤学报*, 2014, 51(5): 921-933.
- [5] 张云伟, 徐智, 汤利, 等. 不同有机肥对烤烟根际土壤微生物的影响[J]. *应用生态学报*, 2013, 24(9): 2551-2556.
- [6] 田佳, 安德荣, 雷超, 等. 陕西烟田病害种类调查[J]. *中国烟草科学*, 2016, 37(5): 57-62.
- [7] Pramanik B K, Gao Y, Fan L, et al. Antiscalcing effect of polyaspartic acid and its derivative for RO membranes used for saline wastewater and brackish water desalination[J]. *Desalination*, 2017, 404: 224-229.
- [8] Wang C, Chen J X, Han J, et al. Enhanced corrosion inhibition performance of novel modified polyaspartic acid on carbon steel in HCl solution[J]. *Journal of Alloys and Compounds*, 2019, 771: 736-746.
- [9] Vikneshvaran S, Velmathi S. Reinforcement of low-carbon steel against corrosion in acidic condition by some Schiff bases: Experimental and theoretical studies[J]. *Materials and Corrosion*, 2018, 69(8): 1084-1094.
- [10] 肖凤龙, 卫民, 赵剑. 聚天冬氨酸合成与应用研究进展[J]. *生物质化学工程*, 2014, 48(6): 50-55.
- [11] 唐会会, 许艳丽, 王庆燕, 等. 聚天门冬氨酸螯合氮肥减量基施对东北春玉米的增效机制[J]. *作物学报*, 2019, 45(3): 431-442.
- [12] Wang Q Y, Tang H H, Li G Y, et al. Polyaspartic acid improves maize (*Zea mays* L.) seedling nitrogen assimilation mainly by enhancing nitrate reductase activity[J]. *Agronomy*, 2018, 8(9): 9-25.
- [13] Ju O, Lee J H, Choi B R, et al. Effects of PAA (Polyaspartic acid) contained complex fertilizer on rice growth and CH₄ emission from rice cultivation[J]. *Korean Journal of Crop Science*, 2013, 22(6): 705-711.
- [14] Deng F, Wang L, Ren W J, et al. Optimized nitrogen managements and polyaspartic acid urea improved dry matter production and yield of indica hybrid rice[J]. *Soil and Tillage Research*, 2015, 145: 1-9.
- [15] 孙克刚, 和爱玲, 张运红, 等. 聚天门冬氨酸包裹尿素对冬小麦增产效果研究[J]. *中国土壤与肥料*, 2015, 53(4): 128-130.
- [16] 高俊凤. *植物生理学实验指导*[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006: 91-93.
- [17] 霍昭光, 孙志浩, 邢雪霞, 等. 北方烟区水肥一体化对烤烟生长、根系形态、生理及光合特性的影响[J]. *中国生态农业学报*, 2017, 25(9): 1317-1325.
- [18] 鲍士旦. *土壤农化分析*[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 42-48, 264-268.
- [19] 王国栋, 肖元松, 彭福田, 等. 纳米碳对草莓氮素吸收利用及植株生长的影响[J]. *水土保持学报*, 2018, 32(5): 335-340, 351.
- [20] Bunce J A. Effects of pulses of elevated carbon dioxide concentration on stomatal conductance and photosynthesis in wheat and rice[J]. *Physiologia Plantarum*, 2013, 149(2): 214-221.
- [21] Zhang X, Madi S, Borsuk L, et al. Laser microdissection of narrow sheath mutant maize uncovers novel gene expression in the shoot apical meristem[J]. *PloS-genet*, 2007, 3(6): e101.
- [22] Tsuge T. Two independent and polarized processes of cell elongation regulate leaf blade expansion in *Arabidopsis thaliana* L. Heynh[J]. *Development*, 1996, 122(5): 1589-1596.
- [23] 时向东, 刘艳芳, 文志强, 等. 打顶对烟株根系活力及内源激素含量的影响[J]. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2008, 36(2): 143-147.
- [24] 许自成, 张婷, 马聪, 等. 打顶后烤烟叶片酶活性、钾及烟碱含量的调控技术研究[J]. *植物营养与肥料学报*, 2006, 12(5): 701-705.
- [25] 王忠. *植物生理学*[M]. 北京: 中国农业出版社, 2009: 128-129, 188-190, 195, 218.
- [26] 周建朝, 范晶, 王孝纯, 等. 磷胁迫下不同基因型甜菜的光合特征[J]. *植物营养与肥料学报*, 2009, 15(4): 910-916.
- [27] 曹本福, 桂阳, 祖庆学, 等. 减量施肥下聚天冬氨酸对烤烟生长、产量及养分吸收的影响[J]. *中国烟草科学*, 2018, 39(5): 57-63.
- [28] 陶虎春, 黄君礼, 杨士林, 等. 聚天冬氨酸的环境影响研究[J]. *环境科学研究*, 2004, 15(5): 32-34, 59.
- [29] Deng F, Wang L, Ren W J, et al. Enhancing nitrogen utilization and soil nitrogen balance in paddy fields by optimizing nitrogen management and using polyaspartic acid urea[J]. *Field Crops Research*, 2014, 169: 30-38.
- [30] Deng F, Wang L, Mei X F, et al. Polyaspartic acid (PASP)-urea and optimised nitrogen management increase the grain nitrogen concentration of rice[J]. *Scientific Reports*, 2019, 9: e313.
- [31] 侯晓娜, 王旭, 黄腐酸和聚天冬氨酸对薤菜氮素吸收及氮肥去向的影响[J]. *中国土壤与肥料*, 2014, 51(1): 48-52.
- [32] 凌寿军, 谢玉华, 曾晓娥. 4种土壤的养分供给特性及烟株对肥料的利用率研究[J]. *中国烟草科学*, 2003, 24(3): 11-13.
- [33] 李玥, 赖勇林, 王军, 等. 不同养分缺乏对烤烟根系形态及营养生长的影响[J]. *中国烟草科学*, 2015, 36(2): 60-65.
- [34] 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.