

聚天门冬氨酸与壳聚糖配施对烤烟生长及烤后烟叶品质的影响

喻奇伟¹ 张月华² 贺帅³ 张梁⁴ 景延秋⁴ 马黔¹
马关凯¹ 朱国志⁴ 王茂贤¹ 王秋领²

(¹贵州省烟草公司毕节市公司, 551700, 贵州毕节; ²河南中烟工业有限责任公司, 450002, 河南郑州;

³中国烟草总公司贵州省烟草公司, 550081, 贵州贵阳; ⁴河南农业大学烟草学院, 450002, 河南郑州)

摘要 为明确聚天门冬氨酸 (PASP) 与壳聚糖 (CTS) 配施对毕节干旱地区植烟土壤含水率、烟株及根系生长发育、烟叶品质的调控效应, 以云烟 87 为试验材料, 施加不同浓度 PASP 及 CTS (CK: 施等量清水; T1: 3.0 kg/hm² PASP, 0.3 kg/hm² CTS; T2: 3.0 kg/hm² PASP, 0.6 kg/hm² CTS; T3: 6.0 kg/hm² PASP, 0.3 kg/hm² CTS; T4: 6.0 kg/hm² PASP, 0.6 kg/hm² CTS), 测定烤烟不同生育期植烟土壤及根系指标、烟株生长发育指标及烤后烟叶品质指标。结果表明, 与其他处理相比, T3 处理对土壤含水率提升显著, 团棵期浅层土壤含水率相较 CK 处理提升 15.01%, 深层土壤提升 10.16%。T4 处理对侧根、不定根数目、根体积及根系活力提升显著, 与 CK 处理相比分别提升 34.07%、29.12%、25.70% 和 29.56%。二者配施对烤烟生长发育及干物质积累提升显著, 浓度越高作用效果越明显, 与 CK 处理相比, T4 处理叶面积及茎围分别提升 18.3% 和 12.3%, 干物质积累量提升 26.04%。烟叶化学成分、感官及外观质量均得到不同程度的提升, T2 处理提升效果最显著, 与 CK 处理相比分别提升 10.36%、7.76% 和 7.30%。烟叶质量评价较 CK 处理提升 7.57%。PASP 与 CTS 配施能够有效提升土壤含水率, 促进烤烟根系发育, 改善烟叶品质。3.0 kg/hm² PASP 与 0.6 kg/hm² CTS 处理综合表现最优, 可有效缓解干旱导致毕节烟区烤烟产质量下降的问题。

关键词 烤烟; 聚天门冬氨酸; 壳聚糖; 保水剂; 土壤含水率; 根系发育; 烟叶品质

毕节烟区是贵州省重点建设的核心烟区, 受高原季风气候影响, 威宁与赫章片区易发生春旱, 黔西钟山则以伏旱为主, 已经严重影响到烤烟的正常生产, 减少干旱造成的经济损失及品质下降已成为目前亟待解决的问题^[1-3]。聚天门冬氨酸 (polyaspartic acid, PASP) 是一种含有大量活性基团的天然多肽, 具有较好的螯合与吸附能力, 且对环境友好^[4]。壳聚糖 (chitosan, CTS) 是一种绿色可降解的甲壳素衍生物, 能够活化根际状态, 促进作物生长, 用于植物生长调节剂^[5-7]。一方面, PASP 与 CTS 能够促进土壤团粒结构的形成, 增进土壤活性及透气性, 有效保留土壤水分及养分, 是改良土壤结构和保水保肥的有效手段^[8]。另一方面, CTS 及 PASP 配施能够调节植物发育, 促进根系生长, 增强植物吸水吸肥能力, 提升植株抗旱及抗倒伏能力^[9]。关于 PASP 或 CTS 用作新型保水剂的研

究已有相关报道^[10-11]。目前保水剂相关研究主要围绕聚丙烯酰胺类及生物炭类保水剂, 施用聚丙烯酰胺类保水剂能够降低烟株活性氧物质, 提升抗旱能力^[12], 而生物炭类保水剂能够改善土壤理化性质, 提升烤后烟叶化学物质的协调性, 改善烟叶品质^[13], 同时能够促进碳氮代谢, 提升烤烟最大叶长及根系体积^[14]。但二者施用过程中存在有害成分残留等问题, 聚丙烯酰胺类残留单体丙烯酰胺具有多种毒性^[15], 生物炭的制备过程会生成包括多环芳烃和二噁英等有机污染物, 这些污染物会在生物炭的生产使用过程中进入自然环境, 危害环境健康^[16], 而本研究选用的 PASP 及 CTS 均为天然绿色聚合物, 不会对环境产生危害。基于 PASP 和 CTS 的优良特性, 通过研究二者配施对植烟土壤含水率、根系发育、烟叶生长及品质的影响, 以期通过调节适宜 PASP 和 CTS 配施浓度, 增强土壤保水能力, 促进

作者简介: 喻奇伟, 主要从事烟草育种及栽培研究, E-mail: ycs327@126.com; 张月华为共同第一作者, 主要从事烟草生产工作, E-mail: 764355504@qq.com

王茂贤为通信作者, 主要从事烟叶生产管理研究, E-mail: 1035526313@qq.com; 王秋领为共同通信作者, 研究方向为卷烟工艺, E-mail: wangqlhnzy@126.com

基金项目: 贵州省烟草公司毕节市公司科技项目“基于肥料工艺优化的水肥耦合抗春旱技术与集成应用”(202452050 0240067)
收稿日期: 2024-08-30; 修回日期: 2024-10-06; 网络出版日期: 2025-02-06

烤烟发育, 减少干旱带来的经济损失。

1 材料与方 法

1.1 试验区概况

试验于 2023-2024 年在贵州省毕节市威宁县黑石头镇烟草科技园进行, 平均气温 12.3 °C, 年降水量为 522.48 mm, 低于全省年降水量 31.79%, 降水天数 95 d, 且集中于 5-8 月, 春旱及伏旱现象严重。供试土壤为贵州石灰岩发育的黄壤土, 土壤有机质 18.59 g/kg、碱解氮 118.75 mg/kg、有效

磷 16.60 mg/kg、速效钾 232.00 mg/kg。所选试验田均为烟叶生长优良、肥力均匀且地势平坦的连片烟田。

烟苗于 4 月左右进行移栽, 为方便比较, 选取降水量较为适宜的贵阳地区作为对比。由图 1 可看出, 团棵期 (4-5 月) 威宁降水量极度匮乏, 明显低于贵阳地区, 出现春旱现象, 直至 6 月降水开始明显升高, 旺长期及成熟期 6-8 月降水量较为集中, 部分天数降水量明显高于贵阳, 9 月左右降水几乎停止。

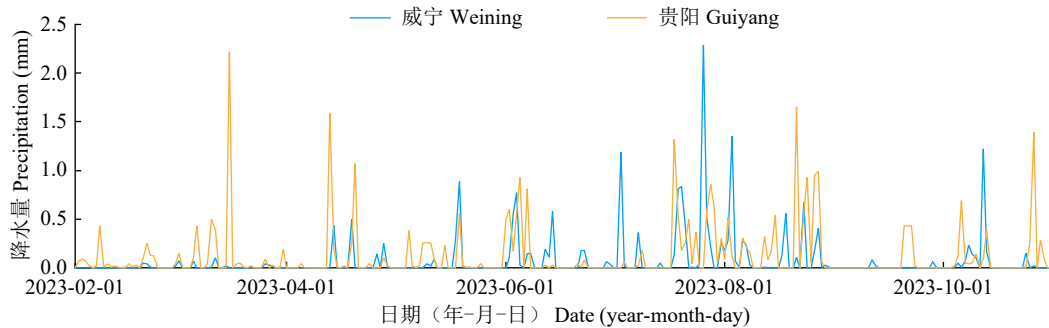


图 1 不同地区生育期降水量对比

Fig.1 Comparison of precipitation during the growing period in different regions

1.2 试验设计

供试品种为云烟 87, 试验处理为不同浓度 PASP 与 CTS 配施 (配施浓度见表 1), PASP 由湖北科沃德化工有限公司提供, PASP 含量 $\geq 99\%$, CTS 由山东铭盛生物科技有限公司提供。施用方法: 烟苗破膜后按试验设计用量将 PASP 及 CTS 放入 1 L 量筒进行稀释, 将配施溶液与纯净水按 1:50 体积比混合 (对照组施用等量清水), 采用灌根的方式分 4 次施用, 每次间隔 1 周。

表 1 不同处理 PASP 及 CTS 用量
Table 1 The application amount of PASP and CTS in different treatments kg/hm²

处理 Treatment	PASP	CTS
CK	0.0	0.0
T1	3.0	0.3
T2	3.0	0.6
T3	6.0	0.3
T4	6.0	0.6

田间试验采用随机区组设计, 每个处理设置 3 次重复, 共 15 个小区。为保证结果准确性, 挑选成熟度较优且一致的云烟 87 中部叶 (第 10~12 叶位) 和上部烟叶 (第 15~17 叶位), 每竿 140 片绑竿标记, 所有处理均在同一天内完成采收、编烟、

装炕与开烤, 供试烤房为标准密集型烤房。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 土壤含水率 于烟株移栽后团棵期 (30 d)、旺长期 (60 d) 和成熟期 (90 d), 采用五点取样法分别采集各小区 20 cm 土层根际土壤样品 20 g, 装入自封袋中, 土样混匀后用烘干称重法测定土壤含水率^[17]。

1.3.2 根条数、根系活力及根体积 于移栽后 30、60 和 90 d, 每小区选择长势均匀、有代表性烟株 3 株, 将其根系完整挖出, 用水冲洗干净, 阴干表面水分, 采用 TTC 比色法测定不同处理根系活力^[18]。用镊子将烤烟根系置于盛有浅水的玻璃板中, 使根系尽量展开, 彼此不重叠, 通过计数法测定侧根及不定根的数目, 采用排水法测定根体积^[19]。

1.3.3 干物质积累量 于移栽后 30、60 和 90 d, 每小区选择 3 株长势均匀一致的植株, 将其根、茎和叶片均置于 105 °C 杀青 15 min, 50 °C 烘干至恒重后测定干物质积累量。

1.3.4 农艺性状 烟叶于移栽后 30、60 和 90 d, 参照《烟草农艺性状调查测量方法》^[20]对烟株的农艺性状指标进行调查。每小区随机选择 5 株代表性烟株, 测定株高、叶间距、茎围、最大叶长和最大

叶宽等农艺性状指标，计算最大叶面积。最大叶面积=最大叶长×最大叶宽×0.6345（0.6345 为叶面积指数）。

1.3.5 烟叶质量评价 烟叶采烤结束后，选取 B2F 和 C3F 等级的烟叶各 2.0 kg，其常规化学成分采用流动分析法^[21]测定总糖及还原糖（YC/Y 159-2002）^[22]、总植物碱（YC/T 468-2021）^[23]、总氮（YC/T 161-2002）^[24]、氯（YC/T 153-2001）^[25]和钾含量（YC/T 73-2003）^[26]。每个处理各抽取 20 片等级、部位相同的烟叶，使用人工气候箱（DHG-9140A），在温度 22 °C、相对湿度 60%条件下平衡 48 h，依据杨虹琦等^[27]的方法测定烟叶叶面密度、拉力、平衡含水率及含梗率等指标。烟叶外观质量及感官质量评价由河南农业大学烟草风味与功能表征团队按照《中国烟草种植区划》^[28]评价方法进行打分。

将烤后烟叶按照《中国烟草种植区划》烟草适宜性评价标准^[28]进行赋值打分，得到最终烟叶质量评价结果，即外观质量、物理特性、化学成分协调性及感官质量的综合反映，4 个部分权重依次为 0.06、0.06、0.22 和 0.66。

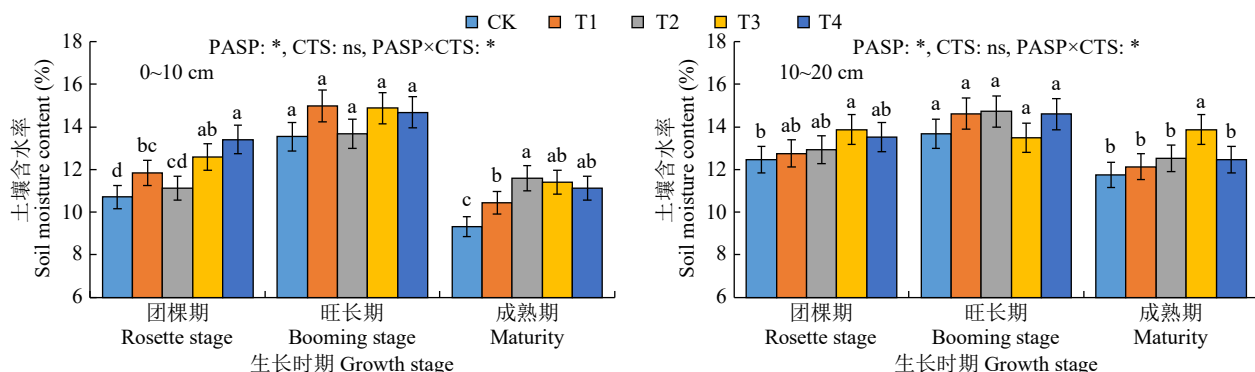
1.4 数据处理

采用 Microsoft Excel 2016 及 Origin 2024 软件进行数据统计和可视化，采用 IBM Statistics SPSS 27.0 软件进行显著性、方差及主成分分析。

2 结果与分析

2.1 PASP 与 CTS 配施对土壤含水率的影响

由图 2 可知，PASP 与 CTS 配施显著提升烤烟团棵期及成熟期土壤含水率，与其他处理相比，T2 处理于成熟期对 0~10 cm 浅层土壤含水率提升效果显著，较 CK 处理提升 19.67%，T4 处理于团棵期对 0~10cm 浅层土壤提升效果显著，较 CK 处理提升 20.15%。T3 处理 0~10cm 土壤含水率在团棵期及成熟期略高于 T1 处理，均显著高于 CK 处理。相较其他处理，T3 处理在团棵期及成熟期提升 10~20 cm 土壤含水率效果显著，与 CK 处理相比分别提升 10.16%和 15.28%。T1、T2 和 T4 处理于团棵期及成熟期 10~20cm 土壤含水率处于中间水平，相较 CK 提升 2.66%~6.73%。总体表现为，土壤含水率受 PASP 及 PASP 与 CTS 交互作用的影响均达显著水平，旺长期 PASP 与 CTS 二者配施效果不明



“*” 和不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)，ns 表示差异不显著，下同。
 “*” and different lowercase letters indicate significant difference ($P < 0.05$), ns indicates no significant difference, the same below.

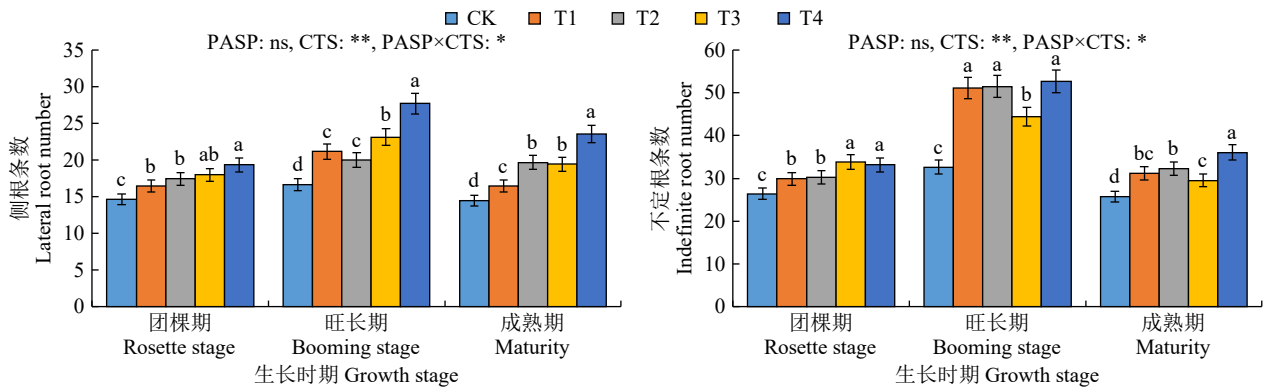
图 2 不同浓度 PASP 与 CTS 配施处理对不同土层和生长时期土壤含水率的影响
 Fig.2 Effects of different concentrations of PASP combined with CTS on soil moisture content in different soil layers and growth stages

显，团棵期 T4 处理对 0~10 cm 浅层土壤起到较为显著的保水效果。T3 处理对 10~20 cm 土壤有较为显著的保水效果。

2.2 PASP 与 CTS 配施对烤烟根系的影响

由图 3 可知，PASP 与 CTS 配施能够显著提升烤烟侧根及不定根条数，T4 处理提升侧根及不定根条数效果最为显著，生育期（团棵期、旺长期和成熟期）均值较 CK 处理分别提升 34.07%和

29.12%。T1、T2 和 T3 处理侧根条数生育期均值相较 CK 分别提升 14.70%、19.61%和 23.87%，不定根条数分别提升 21.85%、23.29%和 20.53%，显著高于 CK 处理。总体表现为侧根条数受 CTS 作用的影响均达极显著水平，二者交互效应对侧根影响显著，配施浓度越高对侧根条数增加效果越明显。不定根条数受 CTS 作用的影响达极显著水平，二者交互效应对不定根影响显著，配施浓度越高对不定



“**”表示差异极显著 ($P < 0.01$), 下同。
 “**” indicates extremely significant difference ($P < 0.01$), the same below.

图 3 不同浓度 PASP 与 CTS 配施处理对不同生长时期侧根及不定根条数的影响

Fig.3 Effects of different concentrations of PASP combined with CTS on the number of lateral roots and adventitious roots at different growth stages

根条数增加效果越明显。

由图 4 可知, PASP 与 CTS 配施显著提升烤烟根系活力, 团棵期及成熟期 T4 处理提升根系活力效果最为显著, 旺长期处理间无显著差异, 均显著高于 CK。T1、T2 和 T3 处理处于中间水平, 与 CK 相比, 分别提升 17.49%、19.80%和 18.55%。根系活力的生育期均值较 CK 处理分别提升 17.49%、19.80%和 18.55%。总体表现为根系活力受 PASP 及 CTS 影响显著, 二者交互效应对侧根影响显著, 配施浓度越高对根系活力增加效果越明显。

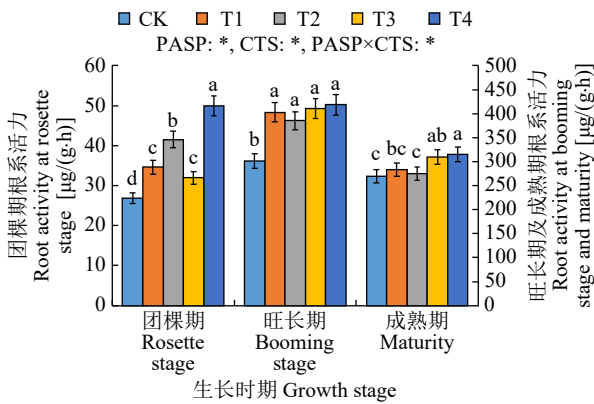


图 4 不同浓度 PASP 与 CTS 配施处理对不同生长时期根系活力的影响

Fig.4 Effects of different concentrations of PASP and CTS on root activity at different growth stages

由图 5 可知, PASP 与 CTS 配施显著提升烤烟根体积, T4 处理于团棵期及成熟期提升根体积效果最为显著, 与 CK 处理相比分别提升 24.24%和 27.81%, T1、T2、T3 处理根体积团棵期及成熟期均值相较 CK 处理分别提升 12.10%、9.35%、18.67%。旺长期 T3 处理对根体积提升显著, 相

CK 处理提升 22.04%。T1、T2 和 T4 处理处于中间水平, 旺长期根体积均值相较 CK 处理分别提升 17.74%、19.87%和 25.05%。总体表现为根体积受 PASP 影响达极显著水平, 二者交互效应对根体积影响极显著, 配施浓度越高对根体积增加效果越明显。

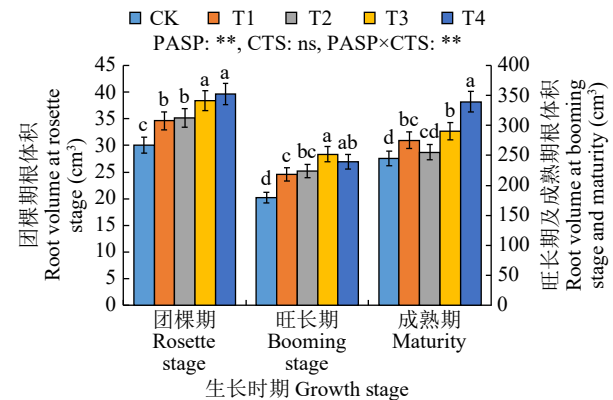


图 5 不同浓度 PASP 与 CTS 配施处理对不同生长时期根体积的影响

Fig.5 Effects of different concentrations of PASP and CTS on root volume at different growth stages

2.3 PASP 与 CTS 配施对干物质积累量的影响

由图 6 可知, PASP 与 CTS 配施显著提升烤烟根干物质积累量, T4 处理于团棵期、旺长期和成熟期提升根干物质积累量效果显著, 与 CK 处理相比分别提升 38.37%、18.38%和 25.00%。T1、T2 和 T3 处理处于中间水平, 根系干物质积累量生育期均值相较 CK 处理分别提升 8.91%、18.73%和 15.94%。总体表现为根系干物质积累受 PASP 及 CTS 的影响达极显著水平, 二者交互效应对根干物质积累影响不显著, 配施浓度越高对根干物质增加效果越明显。

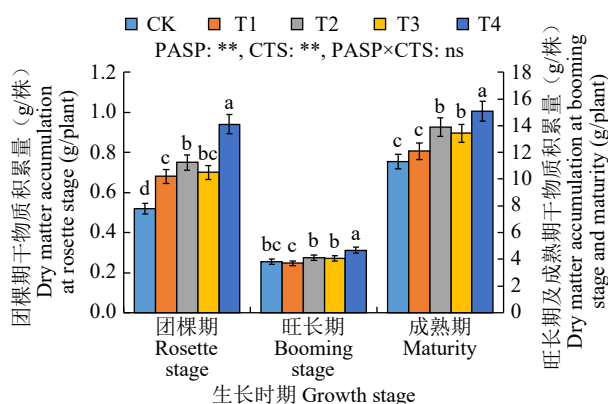


图 6 不同浓度 PASP 与 CTS 配施处理对不同生长时期根干物质积累量的影响

Fig.6 Effects of different concentrations of PASP and CTS on root dry matter accumulation at different growth stages

由图 7 可知，PASP 与 CTS 配施能够显著提升烤烟茎干物质积累量，T4 处理于团棵期及旺长期提升茎干物质积累量效果最为显著，与 CK 处理相比分别提升 38.37%和 7.44%，T2 处理于旺长期提升茎干物质积累量效果最显著，与 CK 处理相比提升 19.64%。T1 和 T3 处理处于中间水平，茎干物质积累量生育期均值相较 CK 处理分别提升 14.94%和 10.07%。总体表现为茎干物质积累受 PASP 及 CTS 影响显著，二者交互效应对茎干物质积累影响不显著，配施浓度越高对茎干物质积累量增加效果越明显。

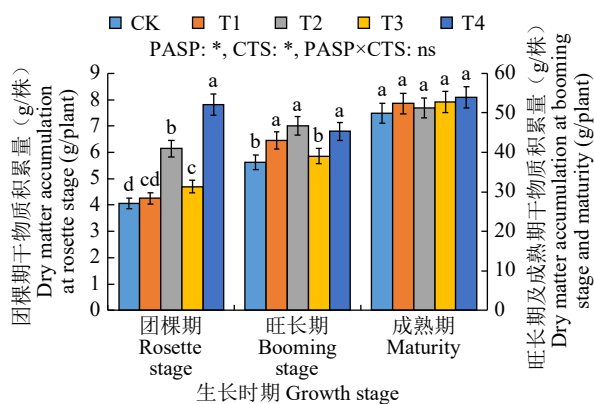


图 7 不同浓度 PASP 与 CTS 配施处理对不同生长时期茎干物质积累的影响

Fig.7 Effects of different concentrations of PASP and CTS on stem dry matter accumulation at different growth stages

由图 8 可知，PASP 与 CTS 配施能够显著提升烤烟叶片干物质积累量，T4 处理于团棵期及成熟期提升叶干物质积累效果最为显著，与 CK 处理相比分别提升 28.23%和 30.36%，T1 处理于旺长期提升叶干物质积累量效果最显著，与 CK 处理相比提

升 19.23%。T2 和 T3 处理处于中间水平，叶片干物质积累量生育期均值相较 CK 处理分别提升 18.09%和 10.07%。总体表现为叶片干物质积累受 CTS 的影响达极显著水平，二者交互效应对叶片干物质积累影响极显著，配施浓度越高对叶片干物质增加效果越明显。

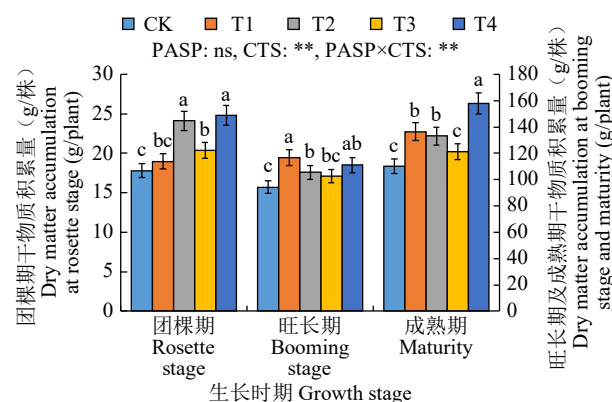


图 8 不同浓度 PASP 与 CTS 配施处理对不同生长时期叶干物质积累的影响

Fig.8 Effects of different concentrations of PASP and CTS on leaf dry matter accumulation at different growth stages

2.4 PASP 与 CTS 配施对烤烟生长发育的影响

由表 2 可知，PASP 与 CTS 配施显著促进烟株生长发育，T4 处理对烟株最大叶长、最大叶宽、叶面积和茎围提升效果最为显著，4 个指标在旺长期相较 CK 分别提升 7.67%、12.36%、19.08%和 9.52%，在成熟期相较 CK 处理分别提升 5.58%、9.15%、14.22%和 13.04%。其中 PASP 与 CTS 配施对成熟期烟叶叶面积提升效果显著，成熟期二者配施对茎围提升效果最显著。二者配施对全生育茎围提升效果极显著。T1 处理株高相较 CK 处理显著升高，生育期均值提升 5.66%。主效应分析结果表现为，PASP 对烟株全生育期叶宽、叶面积及茎围提升效果极显著，对团棵及成熟期叶长提升效果显著，CTS 对团棵期及成熟期烟株最大叶宽提升效果显著，对成熟期叶面积及茎围提升效果极显著，二者配施的交互效应对团棵期及旺长期株高的提升效果显著，对成熟期的叶片增长效果显著，对全生育期的茎围提升效果极显著。

由图 9a 可知，通过对相关生长发育数据进行主成分分析，进行权重赋值及综合评价，结果显示 PC1 和 PC2 主成分方差解释率达 87.4%，能够代表所测定因素的综合结果。各指标在 PC1 上权重无显著差异，含水率及根活力对 PC2 呈显著正

表 2 不同浓度 PASP 与 CTS 配施处理对烤烟生长发育的影响
Table 2 Effects of different concentrations of PASP and CTS on the growth and development of flue-cured tobacco

生长时期 Growth stage	处理 Treatment	最大叶长 Maximum leaf length (cm)	最大叶宽 Maximum leaf width (cm)	叶面积 Leaf area (cm ²)	株高 Plant height (cm)	叶间距 Leaf space (cm)	茎围 Stem girth (cm)
团棵期 Rosette stage	T1	46.20±1.39b	22.40±0.67b	656.63±19.70d	29.00±0.84a	3.12±0.09ab	6.51±0.19b
	T2	47.45±1.42ab	23.70±0.71ab	713.54±21.41bc	27.20±0.82b	3.02±0.09b	6.02±0.18c
	T3	48.84±1.47ab	24.23±0.73a	750.86±22.53ab	27.40±0.82b	3.04±0.09b	6.57±0.20b
	T4	49.30±1.48a	24.68±0.74a	772.01±23.16a	28.10±0.87ab	3.22±0.10a	7.08±0.21a
	CK	47.26±1.42ab	22.58±0.68b	677.09±20.31cd	26.70±0.80b	2.97±0.09b	6.40±0.19b
	PASP	*	**	**	ns	ns	**
	CTS	ns	*	**	ns	ns	ns
PASP×CTS		ns	ns	ns	*	*	**
旺长期 Booming stage	T1	67.10±2.02ab	24.80±0.74bc	1055.86±31.77c	117.60±1.53a	6.92±0.11ab	9.70±0.17a
	T2	68.30±2.02ab	24.70±0.74bc	1070.41±31.51bc	114.60±1.44bc	6.74±0.10bc	9.50±0.18a
	T3	68.90±2.06ab	25.60±0.76ab	1119.16±33.04b	117.30±1.52ab	6.90±0.11ab	9.80±0.17a
	T4	70.40±2.05a	26.70±0.77a	1192.66±33.46a	118.50±1.56a	6.97±0.11a	9.80±0.16a
	CK	65.00±2.01b	23.40±0.73c	965.07±31.12d	112.50±1.38c	6.62±0.10c	9.50±0.19a
	PASP	ns	**	**	ns	ns	**
	CTS	ns	ns	*	ns	ns	*
PASP×CTS		ns	ns	ns	*	ns	**
成熟期 Maturity	T1	75.10±1.13bc	28.94±0.43b	1379.02±20.69c	115.10±1.69ab	6.62±0.10ab	10.30±0.15c
	T2	76.80±1.15ab	28.97±0.43b	1411.70±21.18bc	113.80±1.71ab	6.69±0.10ab	10.70±0.16b
	T3	77.30±1.16a	29.30±0.44b	1437.07±21.56b	113.70±1.71ab	6.69±0.10ab	10.50±0.16bc
	T4	78.80±1.18a	30.60±0.45a	1529.96±22.50a	112.50±1.73ab	6.77±0.10ab	11.50±0.16a
	CK	74.40±1.12c	27.80±0.43c	1312.35±20.39d	110.50±1.66b	6.50±0.10b	10.00±0.15d
	PASP	*	**	**	ns	**	**
	CTS	*	*	**	ns	ns	**
PASP×CTS		ns	*	*	ns	ns	**

不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。“*”表示效应显著 ($P < 0.05$)，“**”表示效应极显著 ($P < 0.01$)，ns 表示不显著。下同。
Different lowercase letters indicate significant difference ($P < 0.05$), “*” indicates the effect is significant ($P < 0.05$), “**” indicates the effect is extremely significant ($P < 0.01$), and ns indicates no significant. The same below.

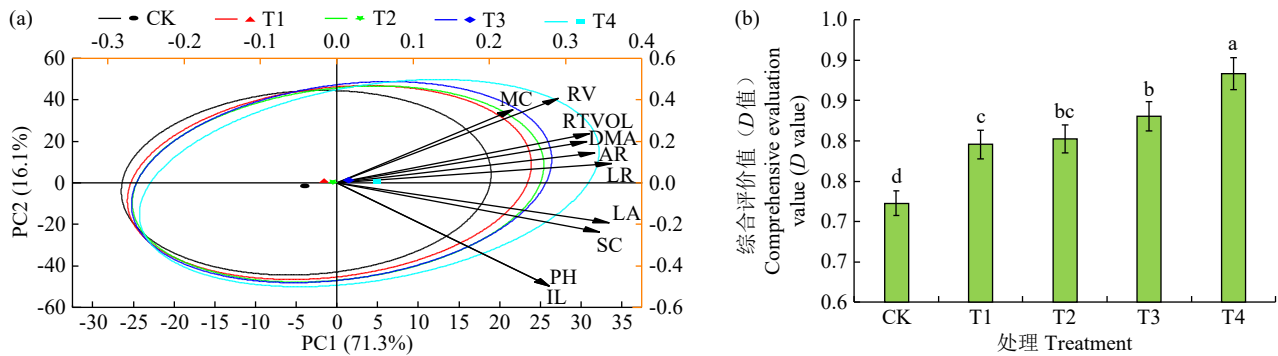


图 9 不同浓度 PASP 与 CTS 配施对烤烟生长发育影响 PCA 分析及综合评价
Fig.9 PCA analysis and comprehensive evaluation of the effects of different concentrations of PASP and CTS on the growth and development of flue-cured tobacco

相关，而叶间距及株高呈显著负相关。综合评价结果（图 9b）显示，随 PASP 及 CTS 配施浓度升高，生长指标综合评价显著上升，表明 PASP 及 CTS 对烟草生长发育有较为显著的促进作用。

2.5 PASP 与 CTS 配施对烟叶品质的影响

由表 3、表 4 可知，PASP 与 CTS 配施显著提升烟叶化学成分协调性，高浓度显著提升中部烤后烟叶植物碱含量，中、低浓度烤后烟叶淀粉含量显

由表 5 可知, PASP 与 CTS 配施显著提升烤后 烟叶感官质量及外观品质, 相较其他处理, 高浓度

表 5 不同浓度 PASP 与 CTS 配施处理烟叶感官、外观及物理特性评价
Table 5 Evaluation of sensory, appearance and physical properties of tobacco leaves treated with different concentrations of PASP and CTS

烟叶等级 Tobacco grade	处理 Treatment	感官质量 Sensory quality							
		香气质 Quality of aroma	香气量 Aroma quantity	杂气 Miscellaneous gas	刺激性 Irritant	余味 After-taste	总分 Total score		
C3F	CK	6.60	6.90	6.50	6.40	6.50	6.70		
	T1	6.40	6.50	6.50	6.50	6.40	6.50		
	T2	7.10	7.40	6.90	6.60	6.90	7.10		
	T3	6.90	6.90	7.00	6.50	7.00	6.90		
	T4	7.00	7.10	6.80	6.60	7.00	7.00		
	PASP	*	ns	*	ns	**	ns		
	CTS	**	**	ns	ns	*	**		
	PASP×CTS	**	**	**	ns	*	**		
	B2F	CK	6.10	6.10	5.90	7.40	5.90	6.10	
		T1	5.80	5.90	5.90	7.40	5.70	6.00	
T2		6.70	6.80	6.70	7.20	6.60	6.80		
T3		6.40	6.40	6.60	7.30	6.70	6.50		
T4		6.50	6.50	6.40	7.50	6.40	6.60		
PASP		*	ns	*	ns	**	*		
CTS		**	**	**	ns	**	**		
PASP×CTS		**	**	**	*	**	**		
烟叶等级 Tobacco grade		处理 Treatment	外观质量 Appearance quality						
			颜色 Color	成熟度 Maturity	结构 Structure	身份 Thickness	油分 Oil content	色度 Chromaticity	总分 Total score
C3F	CK	7.80	8.15	7.70	8.01	7.70	6.90	7.81	
	T1	7.62	7.70	7.42	8.80	7.42	7.00	7.68	
	T2	8.46	8.90	8.46	8.80	8.46	7.60	8.54	
	T3	8.47	7.65	8.47	8.80	8.47	7.40	8.22	
	T4	8.23	8.37	8.23	8.80	8.23	7.30	8.26	
	PASP	**	*	**	ns	ns	ns	ns	
	CTS	**	**	**	ns	ns	*	**	
	PASP×CTS	**	*	**	ns	ns	**	**	
	B2F	CK	7.40	6.60	7.50	7.85	7.40	7.71	7.29
		T1	7.12	6.70	7.12	7.40	7.12	8.50	7.16
T2		7.86	6.90	7.86	8.15	7.83	8.15	7.68	
T3		7.87	6.80	7.87	7.05	7.87	8.20	7.53	
T4		7.63	6.70	7.63	7.77	7.63	8.20	7.46	
PASP		*	ns	*	**	*	ns	ns	
CTS		*	ns	*	**	*	ns	*	
PASP×CTS		**	ns	**	ns	**	ns	**	
烟叶等级 Tobacco grade		处理 Treatment	物理特性 Physical property						
			叶面密度 Leaf density	拉力 Tensile force	平衡含水率 Equilibrium moisture content	含梗率 Stem percentage	总分 Total score		
C3F	CK	82.00	81.00	85.50	84.50	82.54			
	T1	81.00	84.00	85.00	85.00	83.25			
	T2	82.00	82.00	90.00	83.50	83.36			
	T3	81.50	83.50	83.50	87.50	83.44			
	T4	82.00	84.00	84.00	86.50	83.70			
	PASP	ns	ns	**	*	ns			
	CTS	ns	ns	*	ns	ns			
	PASP×CTS	ns	ns	*	ns	ns			
	B2F	CK	81.00	83.00	84.00	70.00	80.36		
		T1	82.00	84.00	78.00	72.50	80.62		
T2		80.00	83.00	75.00	80.00	80.35			
T3		81.00	82.50	80.50	74.50	80.42			
T4		80.50	84.00	75.00	79.00	80.72			
PASP		ns	ns	ns	ns	ns			
CTS		ns	ns	**	**	ns			
PASP×CTS		ns	ns	ns	ns	ns			

(T4) 处理烟叶刺激性提升, 明显提升中浓度 T2 处理对香气质及香气量, 同时 T2 处理烟叶颜色、成熟度及中部叶色度、平衡含水率提升, 中高浓度 (T3 和 T4 处理) 显著提升中部烟叶含梗率。感官、外观及物理评价结果表明, T2 处理烟叶感官质量及外观质量评分高于其他处理, 中上部叶片感官质量与 CK 处理相比分别提升 5.63% 和 10.29%, 外观质量分别提升 8.55% 和 5.08%。主效应分析结果表现为, 二者交互作用对烟叶香气质、香气量、杂气及总分提升效果极显著, 同时对烟叶颜色、结

构及外观质量总分提升效果极显著, 对物理特性未表现出强交互效应。

由表 6 可知, PASP 与 CTS 配施显著提升烤后烟叶感官及外观质量, 对烤后烟叶品质提升效果显著。高浓度 T4 处理对烟叶物理特性提升较大, 中等浓度 T3 处理对烟叶化学成分提升效果显著, T2 处理则能够极显著提升烟叶感官质量及外观品质。总体评价表现为 T2 处理中上部烟叶质量较 CK 分别提升 6.29% 和 7.77%, 相较其他处理提升效果明显, 高浓度烟叶质量反而下降。

表 6 不同浓度 PASP 与 CTS 配施处理烟叶质量评价分值

Table 6 The quality evaluation scores of tobacco leaves treated with different concentrations of PASP and CTS were evaluated

烟叶等级 Tobacco grade	处理 Treatment	化学成分 Chemical composition	感官质量 Sensory quality	外观质量 Appearance quality	物理特性 Physical property	总分 Total score
C3F	CK	85.53	7.20	7.81	82.54	80.93
	T1	82.43	7.00	7.68	83.25	78.73
	T2	94.02	7.60	8.54	83.36	86.36
	T3	94.12	7.40	8.22	83.44	84.91
	T4	91.46	7.50	8.26	83.70	84.87
	PASP	*	ns	ns	ns	*
	CTS	*	**	**	ns	**
	PASP×CTS	**	**	**	ns	**
B2F	CK	72.61	6.40	7.29	80.36	72.39
	T1	70.81	6.30	7.16	80.62	70.61
	T2	78.53	7.10	7.68	80.35	78.49
	T3	80.36	6.80	7.53	80.42	77.23
	T4	73.88	6.90	7.46	80.72	75.83
	PASP	ns	*	ns	ns	*
	CTS	ns	**	*	ns	**
	PASP×CTS	**	**	**	ns	**

3 讨论

调控土壤水分可以影响烟叶的水分含量及物质转化, 改善叶厚, 致使烟叶内含物充实, 结构紧实, 改善烟叶质量^[29-30]。本研究结果表明, 根施 PASP 及 CTS 能有效增强土壤持水能力, 保持土壤水分稳定。在烤烟生长前期根灌 PASP 及 CTS 溶液, 能明显提升团棵期及成熟期土壤含水率, 0~10 cm 土层 6.0 kg/hm² PASP 与 0.6 kg/hm² CTS 处理浓度保水效果最佳, 主要原因为 PASP 及 CTS 具有极强的螯合吸附能力, 能够促进土壤形成团粒结构, 使土壤变松、保水, 减少耕层土壤水分的下渗和蒸发, 改善植株根部水分环境, 10~20 cm 土层 6.0 kg/hm² PASP 与 0.3 kg/hm² CTS 处理浓度对团棵期及成熟期保水效果提升效果显著, 而更高浓度配施反而下降, 可能由于浅层土壤中 PASP 及 CTS 随时间推移

逐渐沉积于 20 cm 左右耕层, CTS 含量过高导致团聚体增大, 保水性能反而下降。

增强植株根系能够提升作物吸水吸肥能力, 促进植株地上及地下部分生长发育^[31-32]。本研究表明, 根施 PASP 及 CTS 能够增强烤烟生理生化机制, 促使根系发达, 茎叶粗壮, 6.0 kg/hm² PASP 与 0.6 kg/hm² CTS 处理浓度显著提升烟株根系活力、根系条数以及根体积。主要原因为 PASP 及 CTS 可保证根际微生物保持较长时期的相对稳定, 同时 CTS 具有调节植物发育的功能, 能够发根促茎, 增强烟株吸水吸肥能力, 提升抗旱与抗倒伏能力。PASP 与 CTS 能够提升干物质积累量, 浓度越高作用效果越显著, 3.0 kg/hm² PASP 与 0.3 kg/hm² CTS 处理株高提升显著, 6.0 kg/hm² PASP 与 0.6 kg/hm² CTS 配施对烟株最大叶长、最大叶宽、叶面积及茎围提升效果最为显著。烤烟生长综合评价表明,

PASP与CTS配施浓度增加会显著促进烤烟生长发育,浓度越高作用效果越明显。主要原因为PASP及CTS能够提升烤烟根系发育,活化根际状态,溶解养分分子,使氮磷钾等养分能够得到植物充分有效的吸收,提升植烟土壤水肥利用率,促进烟叶生长发育,而CTS具有发根促茎的作用,使茎缩短粗壮,所以高浓度配施株高反而降低。

PASP与CTS配施能够促进烟株对养分及微量元素吸收,协调烟叶内部化学成分,提升烤后烟叶品质。研究表明,6.0 kg/hm² PASP与0.3 kg/hm² CTS配施能够明显改善烟叶化学成分协调性,3.0 kg/hm² PASP与0.6 kg/hm² CTS配施处理对烟叶感官质量及外观品质提升效果最好,6.0 kg/hm² PASP与0.6 kg/hm² CTS配施能够提升烟叶物理特性,另外3.0 kg/hm² PASP与0.6 kg/hm² CTS处理浓度能够明显提升烟叶香气质和香气量。主要由于土壤中的微量元素在PASP及CTS的螯合下,容易被烟株吸收,从而增加蛋白质和氨基酸的含量,从根本上改善品质,因此低浓度及适宜浓度PASP与CTS配施对烤烟生长及烟叶质量具有显著促进作用。

4 结论

PASP与CTS配施能够有效提升团棵及成熟期土壤含水率,6.0 kg/hm² PASP与0.3 kg/hm² CTS配施效果最显著,同时6.0 kg/hm² PASP与0.6 kg/hm² CTS处理能够显著提升烟株根系活力及根体积,增加根系条数,有效提升植株对土壤水肥利用率,二者配施能够促进烤烟生长发育,显著提升烟株叶面积、茎围及干物质积累量,浓度越高作用效果越明显。3.0 kg/hm² PASP与0.6 kg/hm² CTS配施处理烟叶质量评价显著高于对照处理,浓度增加烟叶质量评价反而下降,因此,3.0 kg/hm² PASP与0.6 kg/hm² CTS配施对烤烟生长及烟叶品质具有促进作用,能够显著改善烤后烟叶产品质量。

参考文献

[1] 符新妍,翟欣,李晓睿,等. 毕节特色烤烟品种抗旱性评价. 西南农业学报, 2014, 27(5): 1841-1846.
 [2] 张兰,韦小雨,龙鹏,等. 不同种源棕榈幼苗对干旱胁迫的响应及抗旱性评价. 东北林业大学学报, 2017, 45(11): 1-5.
 [3] 袁恒新,罗南忠,陈勇,等. 贵州西部脱毒马铃薯威芋3号抗旱技术研究. 种子, 2014, 33(7): 113-115.
 [4] 杨启航,陈建军,叶晓青,等. 减氮条件下配施聚天门冬氨酸对烤烟氮代谢及氮素吸收利用的影响. 烟草科技, 2021, 54

(10): 1-10.
 [5] 李炳言,宋大利,王秀斌,等. 不同生物刺激素对玉米生长及土壤微生物群落结构的影响. 植物营养与肥科学报, 2023, 29(11): 2172-2180.
 [6] 鲍莹,严梦圆,吴萌,等. 腐殖酸配施壳聚糖调控设施番茄土壤细菌群落. 农业环境科学学报, 2022, 41(12): 2772-2778.
 [7] 王少丽,杨绪平,雒超星,等. 聚合物型土壤固结剂对土壤的固结性能及其在苗木移栽上的应用. 林业科学, 2022, 58(1): 151-161.
 [8] 陈迪芬,卢霖,闫鹏,等. 聚天门冬氨酸和壳聚糖复配剂对谷子光合生理特性及产量的影响. 核农学报, 2024, 38(3): 551-560.
 [9] 王琦,许艳丽,闫鹏,等. 聚天门冬氨酸和壳聚糖复配剂对东北春谷农艺性状、产量及氮素利用的影响. 作物杂志, 2023(1): 58-67.
 [10] 张余莽,陈贵娟,常洪艳,等. 水分胁迫下新型土壤保水剂对玉米苗期发育的影响. 中国农业科技导报(中英文), 2025, 27(1): 201-210.
 [11] 魏贤,李鹏飞,陈瑞环,等. 环境友好型保水剂的合成、性能及应用. 水土保持通报, 2018, 38(5): 293-299, 312.
 [12] 陈芳泉,邵惠芳,王凯悦,等. 保水剂对烤烟品种生长发育和生理特性的影响. 烟草科技, 2017, 50(3): 31-38.
 [13] 梅雅楠,赵世民,赵铭钦,等. 保水剂用量对豫西旱地土壤养分和烤烟质量的影响. 干旱地区农业研究, 2018, 36(3): 149-155.
 [14] 夏茂林,刘云飞,张承吉,等. 新型复合保水剂对半干旱区烤烟生长和生理特性的影响. 中国烟草科学, 2023, 44(1): 32-37.
 [15] 王小彬,闫湘,李秀英,等. 农林保水剂效果评价及其环境风险探讨. 中国农业科学, 2024, 57(6): 1117-1136.
 [16] 李希,刘玉荣,郑袁明,等. 保水剂性能及其农用安全性评价研究进展. 环境科学, 2014, 35(1): 394-400.
 [17] 环境保护部. 土壤 干物质和水分测定 重量法: HJ 613-2011. 北京: 中国环境科学出版社, 2011.
 [18] 赵世杰,李德全. 现代作物生理学实验指南. 北京: 科学出版社, 1999.
 [19] 杨彦磊,冉静,郭鸿雁,等. 不同垄高对植烟土壤热量状况及烤烟根系生长和烟叶耐熟性的影响. 华北农学报, 2024, 39(5): 128-138.
 [20] 国家烟草专卖局. 烟草农艺性状调查测量方法: YC/T 142-2010. 北京: 中国标准出版社, 2010.
 [21] 鲍士旦. 土壤农化分析. 3版. 北京: 中国农业出版社, 2000, 43-45.
 [22] 国家烟草专卖局. 烟草及烟草制品 水溶性糖的测定 连续流动法: YC/T 159-2002. 北京: 中国标准出版社, 2002.
 [23] 国家烟草专卖局. 烟草及烟草制品 总植物碱的测定 连续流动(硫氰酸钾)法: YC/T 468-2021. 北京: 中国标准出版社, 2013.
 [24] 国家烟草专卖局. 烟草及烟草制品 总氮的测定 连续流动法: YC/T 161-2002. 北京: 中国标准出版社, 2002.
 [25] 国家烟草专卖局. 烟草及烟草制品 氮含量的测定 电位滴定法: YC/T 153-2001. 北京: 中国标准出版社, 2001.
 [26] 国家烟草专卖局. 烟草及烟草制品 钾的测定 火焰光度法: YC/T 173-2003. 北京: 中国标准出版社, 2003.
 [27] 杨虹琦,周冀衡,李永平,等. 云南不同产区主栽烤烟品种烟叶物理特性的分析. 中国烟草学报, 2008, 14(6): 30-36.
 [28] 王彦亭,谢剑平,李志宏,等. 中国烟草种植区划. 北京: 科学出版社, 2010: 17-21.
 [29] 周萍,方珂,赵楠,等. 保水剂施用量对西南紫色土水分和养

- 分特征及烟叶品质的影响. 水土保持研究, 2024, 31(5): 53-63.
- [30] 韩雅婷, 郭天骄, 贾国涛, 等. 保水剂和抗蒸腾剂配施对土壤水分和云烟 87 化学成分、碳氮代谢的影响. 河南农业科学, 2023, 52(11): 57-65.
- [31] 朱经伟, 马亚欢, 张恒, 等. 氮肥对植烟土壤生化性状及烤烟根系发育的影响. 中国烟草科学, 2024, 45(3): 34-42.
- [32] 华仲臣, 李学芹, 张振, 等. 促根剂对重庆烤烟根系发育和上部叶产量及质量的影响. 烟草科技, 2024, 57(4): 61-67.

Effects of Combined Application of Polyaspartic Acid and Chitosan on Growth of Flue-Cured Tobacco and Quality of Cured Tobacco Leaves

Yu Qiwei¹, Zhang Yuehua², He Shuai³, Zhang Liang⁴, Jing Yanqiu⁴,
Ma Qian¹, Ma Guankai¹, Zhu Guozhi⁴, Wang Maoxian¹, Wang Qiuling²

¹Bijie Branch of Guizhou Provincial Tobacco Company, Bijie 551700, Guizhou, China;

²China Tobacco Henan Industrial Co., Ltd., Zhengzhou 450002, Henan, China;

³China National Tobacco Corporation Guizhou Provincial Company, Guiyang 550081, Guizhou, China;

⁴Tobacco College of Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, Henan, China)

Abstract To clarify the regulatory effects of a polyaspartic acid (PASP) combined with chitosan (CTS) on soil moisture content, tobacco plant and root growth and development, and tobacco leaf quality in the arid tobacco area of Bijie, field experiments were conducted using Yunyan 87. Different concentrations of PASP and CTS (CK: same amount of water; T1: 3.0 kg/ha PASP+0.3 kg/ha CTS; T2: 3.0 kg/ha PASP+0.6 kg/ha CTS; T3: 6.0 kg/ha PASP+0.3 kg/ha CTS; T4: 6.0 kg/ha PASP+0.6 kg/ha CTS) were applied. Soil and root indexes, growth and development parameters and quality indexes of flue-cured tobacco leaves were measured at different growth stages. The results showed that compared with other treatments, T3 treatment significantly increased soil moisture content. At the rosette stage, the moisture content of the shallow soil layer increased by 15.01% and that of deep soil layer increased by 10.16% compared with CK. T4 treatment significantly increased the number of lateral roots and adventitious roots, as well as root volume and root activity, by 34.07%, 29.12%, 25.70% and 29.56% respectively compared with the CK. The combined application of PASP and CTS significantly promoted growth, development, and dry matter accumulation of flue-cured tobacco, with higher concentrations leading to more obvious effects. Compared with CK, the leaf area and stem circumference of T4 treatment increased by 18.3% and 12.3% respectively, and the dry matter accumulation increased by 26.04%. The chemical composition, sensory and appearance quality of tobacco leaves were improved to varying degrees. The improvement effect of T2 treatment was the most significant, with increases of 10.36%, 7.76% and 7.30% respectively, compared with the CK. The quality evaluation of tobacco leaves was 7.57% higher than that of CK. The combined application of PASP and CTS can effectively increase the soil moisture content, promote the root development of flue-cured tobacco, and improve leaf quality. The optimal treatment (3.0 kg/ha PASP+0.6 kg/ha CTS) alleviated the decline in yield and quality of flue-cured tobacco caused by drought in Bijie.

Key words Flue-cured tobacco; Polyaspartic acid; Chitosan; Water retention agent; Soil moisture content; Root development; Tobacco quality