

DOI:10.13869/j.cnki.rswc.2024.05.031.

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[J]. 水土保持研究, 2024, 31(5): 53-63.

Zhou Ping, Fang Ke, Zhao Nan, et al. Influence of the Condition of Different Dosages of Water Retaining Agent Application on Soil Water Content and Soil Nutrients and the Indices of the Flue-Cured Tobacco Quality in Purple Soils of Southwest of China[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2024, 31(5): 53-63.

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

周萍^{1,2}, 方珂^{1,2}, 赵楠^{1,2}, 鞠臻^{1,2},
庄文化³, 杨军伟⁴, 叶田会⁴, 张丹¹

(1.中国科学院、水利部 成都山地灾害与环境研究所 山地表生过程与生态调控重点实验室, 成都 610041;
2.中国科学院大学, 北京 100049; 3.四川大学 水利水电学院 水力学与山区河流开发保护国家重点实验室,
成都 610065; 4.四川省烟草公司攀枝花市公司, 四川 攀枝花 617061)

摘要: [目的]揭示保水剂聚丙烯酸钾不同施用量对西南烟区紫色土水分、土壤孔隙状况、土壤养分特征及烟叶品质的影响,为缓解季节性干旱区植烟土壤水分缺乏及高产优质的烟草生产提供重要参考。[方法]采用随机区组设计,定量研究了不同保水剂施用量条件下的紫色土水分、养分及烟叶品质特征。[结果]保水剂添加后,土壤 pH 值变化范围为 7.4~7.7,土壤总孔隙度、毛管孔隙度、土壤饱和含水量、田间持水量、毛管含水量均呈先增大后减小变化规律,当保水剂施用量为 150 kg/hm²时,土壤容重达到最低值,土壤总孔隙度和毛管孔隙度、土壤饱和含水量、毛管含水量均达到最大值。土壤的阳离子交换量(CEC 值)呈现出波动式变化。土壤有机碳、全钾和速效钾含量随着保水剂施用量的增加呈先增加后降低的趋势,土壤全氮、全磷、碱解氮和速效磷含量呈逐渐增加趋势。土壤容重呈现出先减小后增大的趋势。烟叶氮含量、总氮含量变化为上部叶<中部叶<下部叶。随着保水剂施用浓度的增加,烟叶氮含量呈波动变化。中上部烟叶含钾量高于下部烟叶含钾量且随保水剂施用浓度的增加略有增加。烟碱含量变化为上部叶>中部叶>下部叶,且烟碱含量与保水剂施用浓度相关性较弱。烟叶还原糖和总糖的变化趋势较为一致。不同部位的烟叶钾氮比表现为上部叶>中部叶>下部叶,且最随着保水剂施用浓度的增加,烟叶钾氮比呈波动态变化。不同叶位烟碱/总氮比和糖碱比均表现为上部叶<中部叶<下部叶,且随着保水剂浓度的增大,均表现为递增趋势。植烟土壤全氮含量与不同叶位的烟叶氮含量、上部叶含钾量、还原糖含量之间均呈显著正相关关系($p<0.05$)。不同叶位烟叶氮含量、还原糖含量、上部烟叶钾含量、下部烟叶烟碱含量均与土壤有机碳间存在显著正相关关系($p<0.05$)。[结论]保水剂为 150 kg/hm²对于西南紫色土的改良效果最佳,研究可为植烟土壤抗旱性能增强及烟叶品质的提升提供科学依据。

关键词: 保水剂; 土壤水分; 土壤养分; 烟叶品质指标; 相关关系

中图分类号: S156.2

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2024)05-0053-11

Influence of the Condition of Different Dosages of Water Retaining Agent Application on Soil Water Content and Soil Nutrients and the Indices of the Flue-Cured Tobacco Quality in Purple Soils of Southwest of China

Zhou Ping^{1,2}, Fang Ke^{1,2}, Zhao Nan^{1,2}, Ju Zhen^{1,2},
Zhuang Wenhua³, Yang Junwei⁴, Ye Tianhui⁴, Zhang Dan¹

(1. The Key Laboratory of Mountain Surface Processes and Ecological Regulation, Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China;

收稿日期: 2023-03-18

修回日期: 2023-10-12

资助项目: 国家自然科学基金项目“松散土体的冲散机理及根系的固结保护作用”(42277353); 中国烟草总公司四川省公司重点科技项目(SCYC202105)

第一作者: 周萍(1981—), 女, 陕西汉中, 博士, 研究员, 主要研究方向: 土壤侵蚀与水土保持。E-mail: zp09@imde.ac.cn

通信作者: 庄文化(1981—), 男, 江苏连云港人, 博士, 副教授, 主要研究方向: 土壤学与农田水利。E-mail: whzhuang04@mails.gucas.ac.cn

<http://stbcyj.paperonce.org>

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. State Key Laboratory of Hydraulics and Mountain River Engineering, College of Hydraulic and Hydroelectric Engineering, Sichuan University Chengdu 610065, China; 4. Sichuan Tobacco Corporation Panzhihua Branch, Panzhihua, Sichuan 617061, China)

Abstract: [Objective] The aims of this study are to clarify the characteristics and influence of soil water content, soil porosity, soil nutrients and the flue-cured tobacco quality in the condition of different dosage of water retaining agent (Potassium polycalcium), to apply the important supply to relieve drought and enhance the quality of the tobacco. [Methods] The random-groups design and the condition of different dosages of water retention agent were adopted to measure the indices of soil water content, soil nutrients and tobacco quality. [Results] As the dosages of water retention agent increased, the soil pH value changed from 7.4 to 7.7, total porosity, capillary porosity, soil saturated water content, field capacity, capillary water content first increased then decreased, when the dosage of water retaining agent reached to 150 kg/hm², the value of soil bulk density reached to the lowest value. However, the values of total porosity, capillary porosity, soil saturated water content and capillary porosity reached to the highest values. The value of CEC showed fluctuated changes. With the increased of the dosages of water retention agent, the soil organic carbon, soil total potassium, available potassium first increased then decreased. However, the total nitrogen, total phosphorus, alkali-hydrolyzed nitrogen and available phosphorus showed the increasing trends. But the bulk density first decreased then increased. The chlorine and total nitrogen of the tobacco leaves showed the trends of the upper leaves < the middle leaves < the lower leaves, and as the concentrations of the water retention agent increased, the content of the chlorine of the tobacco leaves showed the fluctuating change. The potassium of middle and upper leaves of the tobacco leaves were higher than that of the lower leaves. And it increased as the concentrations of the water retention agent increased. The content of nicotine changed as the order: the upper leaves > the middle leaves > the lower leaves, and there existed the weak correlation between nicotine and the concentration of the water retention agents. The reducing sugar and total sugar showed the similar change trends. The ratio of potassium and chlorine changed as the order: the upper leaves > the middle leaves > the lower leaves, and showed the fluctuating change trends as the concentration of water retention agent increased. However, the ratio of nicotine and total nitrogen and the ratio of sugar and alkaline showed the order: the upper leaves < the middle leaves < the lower leaves, and the two ratios increased as the concentration of water retention agents increased. Meanwhile, there existed the significant positive correlation between the soil total nitrogen and the chlorine contents, the potassium of the upper leaves, the reducing sugar ($p < 0.05$). Also there existed the significant positive correlation between the soil organic carbon and the chlorine contents, the reducing sugar, the potassium of the upper leaves, the nicotine of the lower leaves ($p < 0.05$). [Conclusion] Above all, the dosage of 150 kg/hm² is considered as the best dosage to soil amelioration in southwest China. Also this study can supply the basis and data supports to the anti-drought ability and enhance the flue-cured tobacco quality.

Keywords: water retention agent; soil water content; soil nutrients; the indices of flue-cured tobacco quality; correlations

烟草作为重要的经济作物之一,烟草的单位经济效益远高于其他农作物^[1]。我国的烟叶年产量达 200 多万 t,上缴国家财政总额 9 000 亿元。当前,我国烟草产业不断向规模化和集约化方向发展,但干旱导致烟叶产量降低和质量下降的现象日益严峻^[2]。新垦植烟土壤在烟区占有一定面积,但新垦植烟土壤普遍存在土壤板

结、干旱缺水、养分贫瘠等突出问题,直接导致烟草产量和品质下降。水分是烟草生长必不可少的环境因子,适宜的土壤水分是烟草正常生长的基础^[3]。干旱胁迫下烟株会发生一些复杂的生理代谢反应,严重影响烟株生长发育,在缺水和季节性干旱区,水资源的匮乏直接影响烟草的产量和品质。因此,大力发展抗旱

节水技术在农业生产上显得尤为迫切。

保水剂(water retaining agent)是一种由高分子三维网状结构及大量亲水基团组成的新型功能吸水材料^[4]。它可以在短时间内吸收其自身质量几百倍以上的水分,具有稳定性好,高吸水保水等功能^[5]。保水剂的施用可改良土壤结构^[6]、改善土壤水分状况^[7]、营造土壤水库、减少肥料淋失等^[8]。保水剂的吸水力最大为 13~14 kg/cm²,而烟草根系的吸水力一般是 17~18 kg/cm²;在土壤中加入保水剂后,可以在根系周围形成蓄水球囊,相当于为根系提供了一个微型水库^[9],有利于烟草抗旱生长。利用保水剂保水,改善土壤水分状况的国内外研究已有很多,将保水剂在小麦、棉花、马铃薯等农作物生产上的应用已有较多报道^[10-12],但将保水剂应用于烟草的研究还不多。本研究通过改变植烟土壤的土壤水分状况,进而改善土壤结构及养分状况,从而提高烟叶产量和质量。

位于四川省凉山彝族自治州南端的会东县,受金沙江干热河谷气候条件影响,该区季节性干旱问题较为突出^[13]。随着水资源的缺乏,烟草水分供需矛盾越来越明显。且会东烟区土壤主要为紫色土,土层薄,蓄水保水能力差,加之当地降水量具有烟草生长前期较少、中后期较多的特点,严重影响烤烟的产量与质量^[14]。土壤干旱缺水是凉山州烟区农业生产活动的主要限制因子。因此,本试验将保水剂应用在紫色土新垦植烟土壤中,研究新垦植烟土壤施用保水剂对土壤碳氮及烟叶品质的影响,探索提高凉山州紫色土有效蓄水能力的具体措施。旨在为缓解季节性干旱区植烟土壤水分缺乏及高产优质的烟草生产提供技术参考与数据支持。

1 研究区概况及研究方法

1.1 试验区概况

试验地位于四川省南部凉山彝族自治州会东县小坝乡(26°34′30″N,102°22′17″E),地处云贵高原西北边缘部分,受干热河谷深切和大气环流影响,该区域属于属中亚热带西部湿润季风气候区,当地烟区所产烤烟质量较好,在凉山州烤烟种植区有着重要地位^[15],为四川中烟、甘肃中烟、湖北中烟等多家工业企业提供烟叶。该区年平均气温 16.2℃, >10℃积温为 5 249℃,无霜期 268 d,年日照时间 2 288.6 h,年均蒸发量为 2 002.7 mm,年均降水量为 1 111.6 mm,雨季 6—10 月降雨量占年降雨量 95%左右,多为暴雨,降雨时空分布极其不均,季节性春旱较严重。试验区土壤主要为紫色土,土层浅薄,厚度 40 cm 左右。供试紫色土田间持水量为 24.7%。

1.2 供试土壤及试验设计

试验区供试土壤为新垦植烟紫色土,供试保水剂为聚丙烯酸钾盐(K-PAM),购于任丘市辉达化工有限公司,粒径 0.18~2.25 mm,吸水倍数 300~500。本试验设计 5 个试验处理:保水剂浓度分别 0 kg/hm², 30 kg/hm², 90 kg/hm², 150 kg/hm², 210 kg/hm²。采用随机区组设计,每个处理重复 3 次,试验小区规格为 4 m×5 m。PAM 保水剂按试验设计施用梯度一次性施入,K-PAM 保水剂与小区细土按质量比为 1:10 充分混合均匀后,并于烟草种植的同时,在烟草根部周围穴施保水剂,定植穴的尺寸为 20 cm×20 cm×20 cm。烟苗定植时间为 4 月 26 日。烟苗在营养钵中培育了 35 d 后,移栽到田间定植。其他管理措施与大田管护措施相同。并于烟草收割后采集土壤样品。在各小区采用 S 型线路,随机采集 5 点,每个采样点用土钻采集表层 0—20 cm 原状土壤,剔除石砾和植物残根等杂物,混匀作为 1 个土壤样品,每个小区采集 3 个土壤样品。所采集的土壤样品自然风干,研磨过筛,保存至塑封袋中用于土壤碳氮养分测定。土壤容重、饱和含水量、田间持水量、毛管持水量、毛管孔隙度、非毛管孔隙度和总孔隙度采用环刀法^[16],土壤含水量采用烘干法,土壤 pH 采用电位计法测定,阳离子交换量(CEC)采用乙酸铵交换法测定;土壤有机碳含量测定采用重铬酸钾—浓硫酸外加热法测定,土壤全氮含量采用半自动凯氏定氮仪测定,全磷采用氢氧化钠熔融—钼锑抗比色法测定;全钾采用氢氧化钠熔融—火焰分光光度计法测定;碱解氮采用碱解扩散法测定;有效磷采用碳酸氢钠浸提分光光度计比色法测定;速效钾采用乙酸铵浸提—火焰光度法测定。

1.3 烟叶样品的采集与烟叶化学品质测定

供试烟草品种为“云烟 87”,烟苗定植时间为 4 月 26 日。烟苗在营养钵中培育了 35 d 后,移栽到田间定植。烟叶样品的采集按照上部叶、中部叶、下部叶分别采集健康叶片,并装入密封袋中,置于 4℃冰箱冷藏保存,待后续烘干后,用于烟叶品质(烘干烟叶)相关指标的测试。主要采用 MPA 型近红外光谱仪(Bruker,德国)和配套近红外预测模型对烟叶样品中的总糖、还原糖、总氮、氯和钾含量进行分析,并计算对应的钾氯比、氮碱比和还原糖/总糖、糖碱比指标。

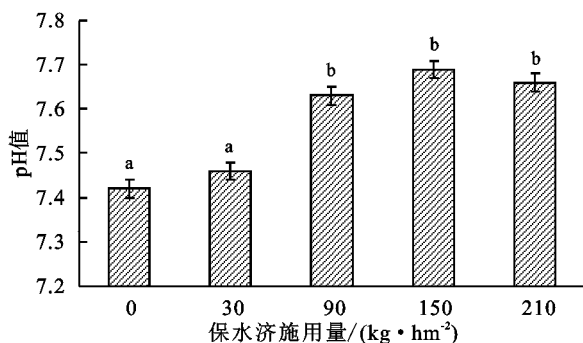
1.4 数据处理与分析

数据统计分析运用 SPSS 20.0 软件中进行,采用 Turkey 检验法进行方差分析,相关性分析采用 Person 法,绘图使用 Origin 9.0 和 Excel 软件。

2 结果与分析

2.1 不同保水剂施用量条件下土壤 pH 值及容重变化特征

保水剂添加后,土壤 pH 值变化范围为 7.4~7.7,随着保水剂施用量的增加,土壤 pH 值逐渐增加(图 1)。保水剂添加后,土壤容重呈现出先减小后增



大的趋势,当保水剂施用量小于 150 kg/hm²时,随着保水剂施用量的增加,土壤容重逐渐减小,当保水剂施用量大于 150 kg/hm²时,土壤容重达到最低值,随着保水剂用量的继续增加,土壤容重有所升高。保水剂施用量为 150 kg/hm²时对应的土壤容重与其他处理的土壤容重间存在显著差异($p < 0.05$),保水剂的添加,有利于土壤结构的改善。

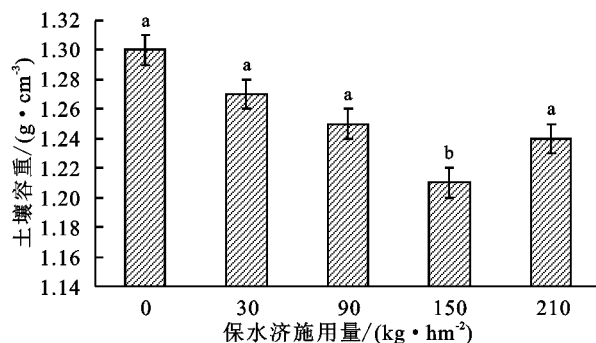


图 1 不同保水剂施用量条件下土壤 pH 值及容重变化特征

Fig. 1 Characteristics of soil pH value and bulk density in the condition of different dosages of water retaining agent

2.2 不同保水剂浓度下土壤孔隙状况及水分特征

随着保水剂施用量的增加,土壤总孔隙度和毛管孔隙度呈现出相似的变化规律(图 2),当保水剂施用量小于 150 kg/hm²时,随着保水剂施用量的增加,土壤总孔隙度和毛管孔隙度均呈增加趋势,当保水剂施用量为 150 kg/hm²时,土壤总孔隙度和毛管孔隙度均达到最大值。且保水剂施用量为 150 kg/hm²时,土壤总孔隙度与其他施用量条件下的土壤总孔隙度存在显著差异($p < 0.05$),而当保水剂施用量 ≥ 90 kg/hm²时,土壤毛管孔隙度与对照处理和 30 kg/hm²保水剂施用量条件下的毛管孔隙度之间存在显著差异($p < 0.05$)。随着保水剂施用量增加到 210 kg/hm²时,土壤总孔隙度和毛管孔隙度随着降低。土壤非毛管孔隙度在不同的保水剂施用量条件下的差异未达到显著性水平。

在保水剂施用量 ≤ 150 kg/hm²时,土壤饱和含

水量和毛管含水量均随着保水剂施用量的增加呈增加趋势,当保水剂施用量达到 210 kg/hm²时,土壤饱和含水量和毛管含水量有所下降。且当保水剂施用量为 150 kg/hm²时的土壤饱和含水量和毛管含水量与其他几个处理的保水剂施用量的土壤饱和含水量和毛管含水量之间存在显著差异($p < 0.05$)。土壤的非毛管含水量在不同的保水剂施用量条件下不存在显著差异。当保水剂施用量 ≤ 150 kg/hm²时,土壤田间持水量随着保水剂施用量的增加,并在保水剂施用量达到 150 kg/hm²时,土壤田间持水量达到最大值。随着保水剂施用量达到 210 kg/hm²时,土壤田间持水量反而有所降低。且在保水剂施用量为 150 kg/hm²条件下的土壤田间持水量与其他处理间存在显著差异($p < 0.05$)。土壤田间持水量在不同保水剂施用量条件下的变化趋于与饱和含水量和毛管含水量随着保水剂施用量的变化趋势相一致。

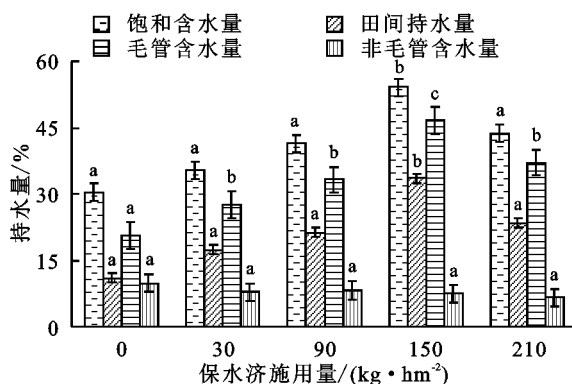
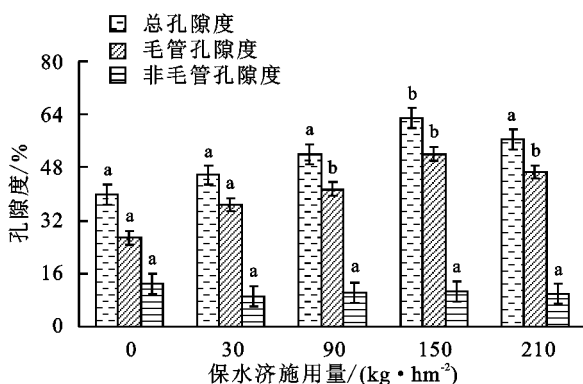


图 2 不同保水剂施用量下土壤孔隙度和含水量特征

Fig. 2 Characteristics of soil porosity and soil water contents in the condition of different dosages of water retaining agent

2.3 不同保水剂浓度下土壤有机碳及氮磷钾全量养分特征

紫色土有机碳含量随着保水剂施用量的增加呈先增加后降低的趋势(图3),当保水剂浓度 ≤ 150 kg/hm^2 时,土壤有机碳含量与其他处理间不存在显著差异。当保水剂浓度 ≥ 150 kg/hm^2 时,土壤有机碳含量在不同的保水剂施用量间存在显著差异($p < 0.05$)。随着保水剂施用量的增加,土壤全氮和全磷含量呈缓慢增加趋势,土壤全氮的变化范围为1.16~1.39 g/kg ,土壤全磷的变化范围为0.55~0.66 g/kg ,

但土壤全氮和全磷含量在各处理间的差异均未达到显著性水平。土壤全钾含量在不同的保水剂施用量条件下的变化范围为12.92~14.25 g/kg ,当保水剂施用量 ≤ 30 kg/hm^2 时,土壤全钾含量在不同的保水剂施用量条件下不存在显著差异,随着保水剂施用量的增加,土壤全钾含量逐渐增大,当保水剂施用量 ≥ 90 kg/hm^2 时,土壤全钾含量在不同保水剂施用量条件下也不存在显著差异。但当不添加保水剂或保水剂施用量为30 kg/hm^2 条件下的土壤全钾含量与其他处理之间存在显著差异($p < 0.05$)。

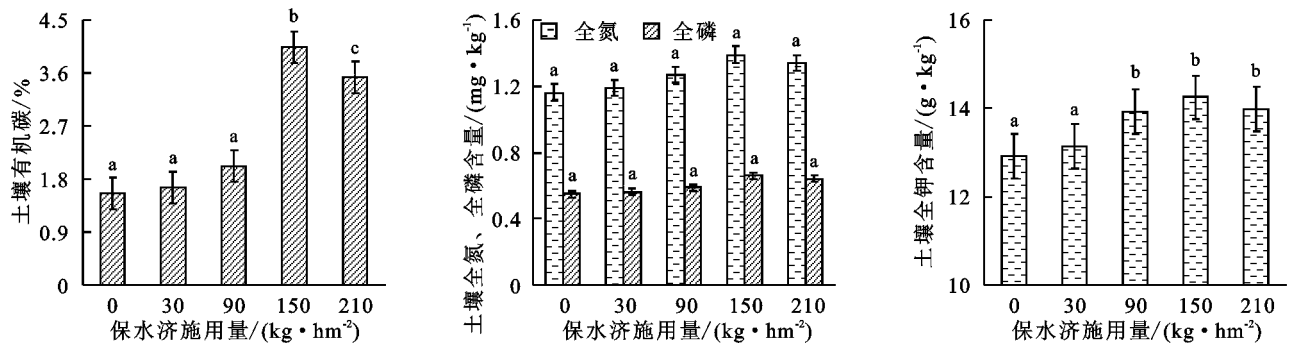


图3 不同保水剂施用量下土壤有机碳及氮磷钾全量养分特征

Fig. 3 Characteristics of soil organic carbon, nitrogen, phosphorus and potassium in the condition of different dosages of water retaining agent

2.4 不同保水剂浓度下植烟土壤 CEC 值及氮磷钾速效养分特征

随着保水剂施用量的增加,土壤的阳离子交换量(CEC 值)变化范围为19.42~22.93 cmol/kg ,呈现出波动式变化趋势,各处理间的 CEC 值不存在显著差异(图4)。不同的保水剂施用量对土壤碱解氮含量影响不显著,碱解氮在不同的保水剂施用量条件下变化范围为76.95~79.75 mg/kg 。当不施用保水剂时,

土壤速效钾含量最小,仅为108.27 mg/kg ,随着保水剂施用量的增加,土壤速效钾含量逐渐增大,当保水剂施用量为150 kg/hm^2 时,土壤速效钾达到最大值,随着保水剂施用量继续增加,土壤速效钾含量有所降低。随着保水剂施用量的增加,土壤速效磷的含量逐渐增加。且当保水剂施用量 ≥ 150 kg/hm^2 时,土壤速效磷含量与其他保水剂处理下的速效磷含量之间的差异达到显著性水平($p < 0.05$)。

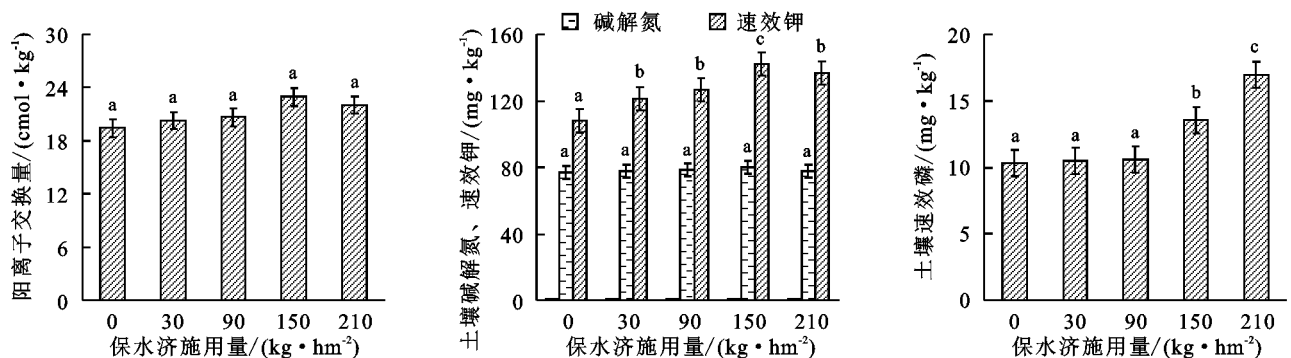


图4 不同保水剂浓度的土壤 CEC 值和氮磷钾速效养分含量特征

Fig. 4 Characteristics of soil CEC value, available nitrogen, available phosphorus and available potassium in the condition of different dosages of water retaining agent

2.5 保水剂施用量对烟叶化学品质指标的影响

烟叶化学成分中的氯和钾的含量与烟叶的燃烧值直接相关,烟叶总糖、还原糖、烟碱和总氮等指标与吸味有关^[17]。不同保水剂施用量条件下的不同部位

的烟叶化学品质特征见图5。结果表明,同一个保水剂施用量条件下,烟叶氯含量表现为上部叶<中部叶<下部叶。随着保水剂施用量的增加,烟叶氯含量呈现出增加—减小—再增加—再减小的波动变化。说明

烟叶中氯含量受保水剂浓度的影响较小。烟叶钾含量在烤烟上部叶、中部叶和下部叶的变化范围分别为:1.910%~2.197%,1.974%~2.135%和1.946%~2.086%,中上部烟叶含钾量高于下部烟叶含钾量。随着保水剂施用量的增加,烟叶含钾量小幅增加。烟叶烟碱含量在不同部位烟叶的变化为上部叶>中部叶>下部叶,且随着保水剂施用量的增加,不同部位烟叶的烟碱含量表现为波动式变化,说明烟碱含量与

保水剂施用量相关性较弱。烟叶还原糖和总糖的变化趋势较为一致,随着保水剂施用量的增加,烟叶还原糖和总糖随之增加,但当保水剂施用量达到 210 kg/hm²时,烟叶还原糖和总糖含量则出现下降趋势。烟叶还原糖和总糖含量在烟叶不同部位表现为上部叶<中部叶<下部叶。烟叶总氮含量在不同叶位表现为上部叶<中部叶<下部叶,且随着保水剂施用量的增加,烟叶总氮变化不显著。

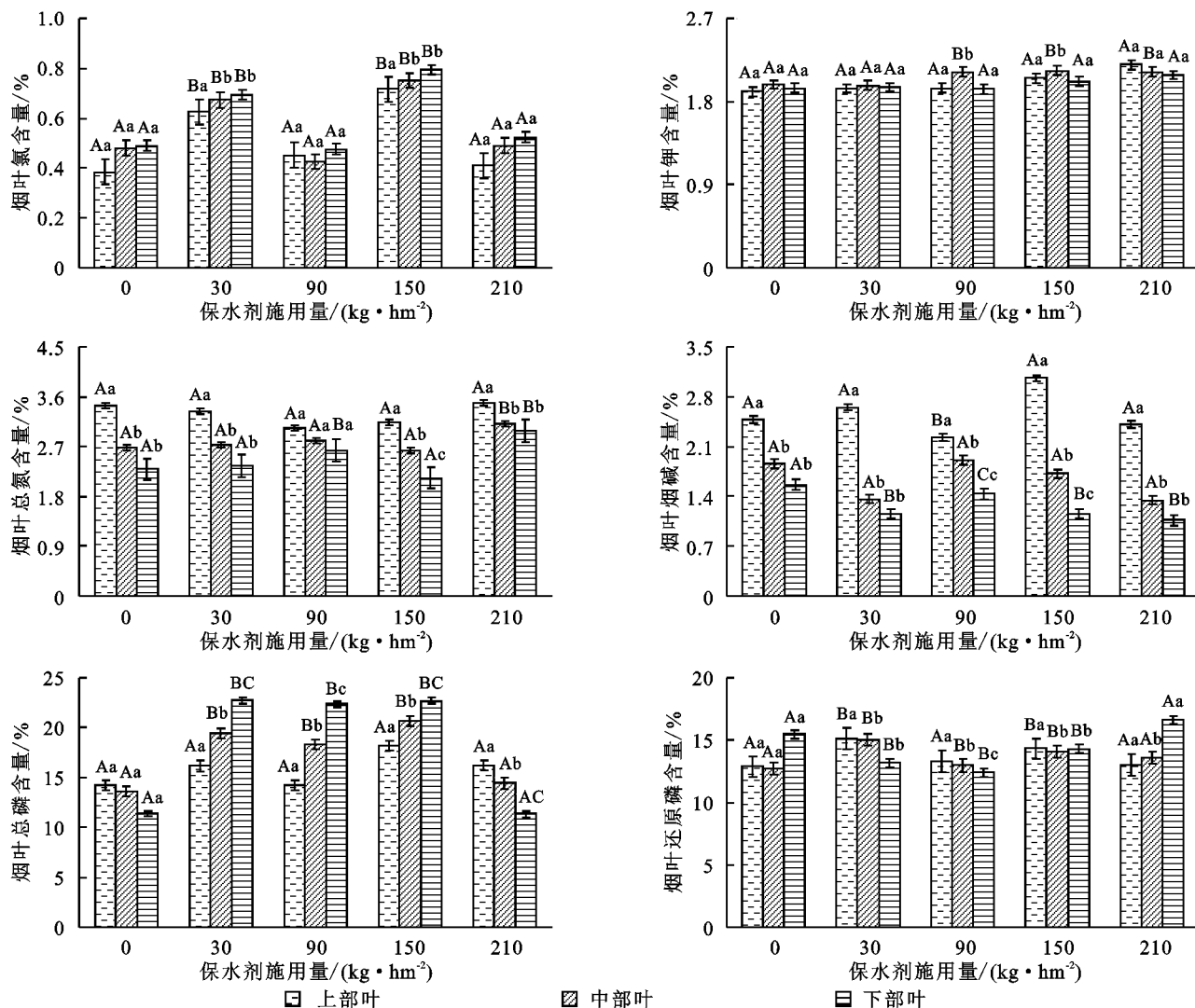


图5 不同保水剂施用量条件下烟叶化学品质指标特征

Fig. 5 Characteristics of chemical quality of tobacco leaves in the condition of different dosages of water retaining agent

2.6 不同保水剂施用量条件下烟叶钾氯比和糖碱比

烟叶品质的二级指标如钾氯比、烟碱/总氮比、还原糖/总糖比和糖碱比能够反映烟气中酸性物质和碱性物质之间的平衡状况,也是衡量和表征烟叶内在品质的重要指标。不同部位的烟叶钾氯比表现为:上部叶>中部叶>下部叶,且最随着保水剂施用量的增加,烟叶钾氯比呈波动态(图6),当保水剂施用量为 90 kg/hm²时,中部烟叶的钾氯比最高。不同叶位烟碱/总氮比变化趋势与钾氯比相反,表现为:上部叶<

中部叶<下部叶。且随着保水剂施用量的增大,烟碱/总氮表现为递增趋势。不同部位烟叶还原糖/总糖差别不大,且与保水剂施用量的变化相关性较低。不同部位烟叶糖碱比随着叶位的升高而降低,表现为:上部叶<中部叶<下部叶,且随着保水剂施用量的升高,表现为逐渐增加的趋势。

2.7 土壤碳氮与烟叶品质指标的相关关系

土壤全氮含量与不同叶位的烟叶氯含量之间均呈显著线性正相关关系($p<0.05$),烟叶含钾量、还原

糖含量均与土壤全氮含量之间存在线性正相关关系,且上部叶含钾量、还原糖含量与土壤全氮含量间的正相关关系达到显著性水平($p<0.05$)(图7)。

土壤全氮含量与不同叶位烟叶烟碱含量之间存在对数正相关关系,但均未达到显著性水平。随着土壤全氮含量的增加,不同叶位烟叶总糖含量随着线性增加,但不同叶位烟叶总糖含量与土壤全氮之间的相关性未达到显著性水平。不同叶位烟叶总氮含量、糖碱比均与土壤全氮含量之间存在线性正相关

关系。不同叶位烟叶氯含量、还原糖含量均与土壤有机质间存在显著指数正相关关系($p<0.05$)。不同叶位烟叶钾含量与土壤有机碳间存在指数正相关关系,且仅上部烟叶钾含量与土壤有机碳间的正相关关系达到显著性水平($p<0.05$)。仅下部烟叶烟碱含量与土壤有机碳之间的线性正相关关系达到显著水平($p<0.05$)。不同叶位烟叶总氮含量、总糖含量及糖碱比均与土壤有机碳间的指数正相关关系未达到显著性水平。

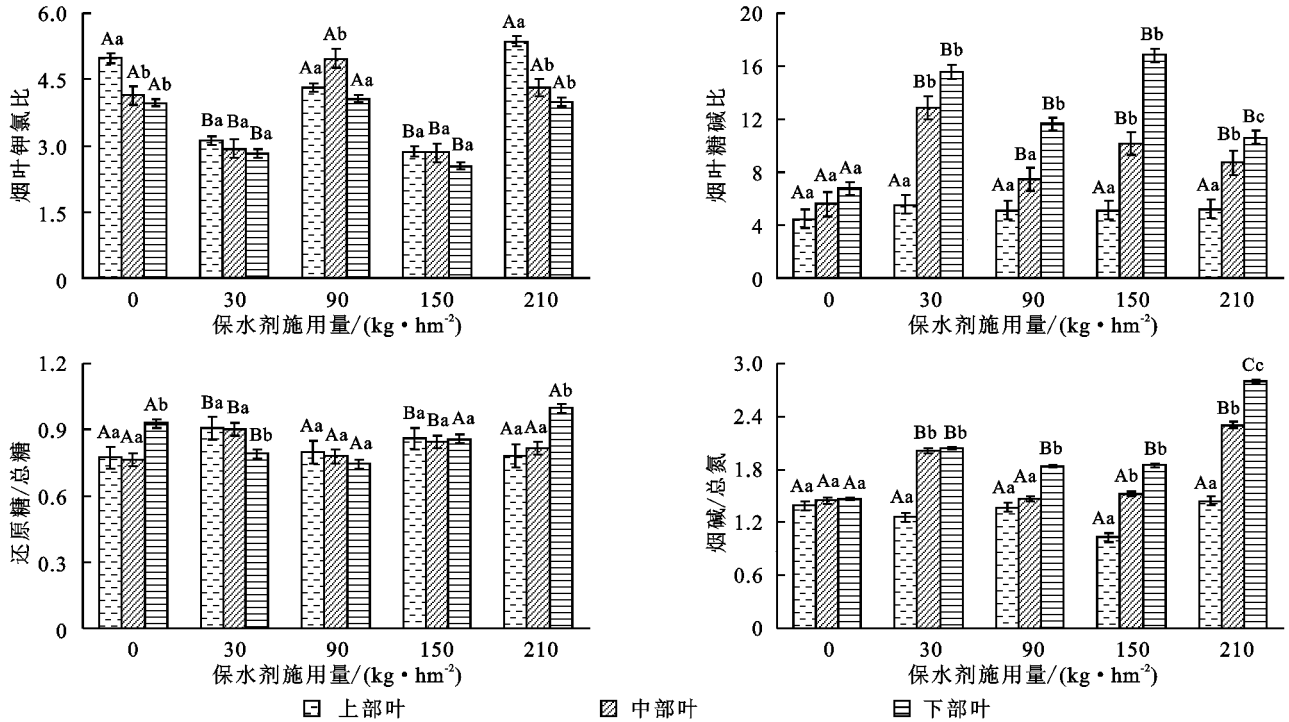


图6 烟叶钾氯比、糖碱比等随保水剂施用量及叶位的变化特征

Fig. 6 Characteristics of chloride and potassium ratio, sugar nicotine ratio of different leaves position in the condition of different dosages of water retaining agent

3 讨论

3.1 植烟紫色土的土壤水分特征及保水剂在烟叶生产的应用

土壤容重、孔隙度等物理性质是调节土壤水、肥、气、热的主要因子,且在水分运移中发挥着重要作用,对作物生长影响显著^[18]。保水剂的施用,改变了土壤容重、孔隙状况及入渗性能,从而改善了土壤水分状况,但过量的保水剂施用,会使得保水剂在吸水膨胀后呈水凝胶状态,可能会促进土壤胶结,反而使土壤容重增大。保水剂可增强土壤的持水性能,但在西南紫色土区不同保水剂施用量对土壤孔隙状况及水分含量的影响研究还较缺乏。紫色土是凉山彝族自治州烟草生产的主要土壤资源,紫色土存在土壤板结、紧实度高、土壤水分条件差等突出问题,土壤水分亏缺是该区旱作烟草农业生产的是限制主要因

子^[19-20]。水分又是烟草的重要组成成分,是烟草赖以生存的必要因子之一^[21]。在水分匮乏的干旱胁迫下,烟草会发生一系列的生理生化反应,如烟叶萎蔫、变小增厚,水分再分配导致底烘,烟株生长慢,生育期延迟,成熟落黄不良等现象,影响烟草正常的生命活动,从而严重影响烟叶产量和品质^[22]。如何提高降水资源利用效率,避免土壤养分流失,是保障凉山州旱作烟叶生产的关键。因此,适宜的抗旱栽培技术对旱区烟草的稳产高质显得尤为重要。保水剂是一种具有超高吸水保水能力的高分子聚合物,能吸收大量的土壤水分加以储存并缓慢释放,供作物生长发育,增强土壤的蓄水保墒能力,改善烤烟农艺性状^[23]。通过将保水剂应用于烟叶生产中,施用保水剂改良植株土壤水分状况,不仅可以改善土壤的通气透水性、减少土壤水分蒸发、有效提高土壤含水量,同时还可以提高植烟土壤的土壤养分状况。

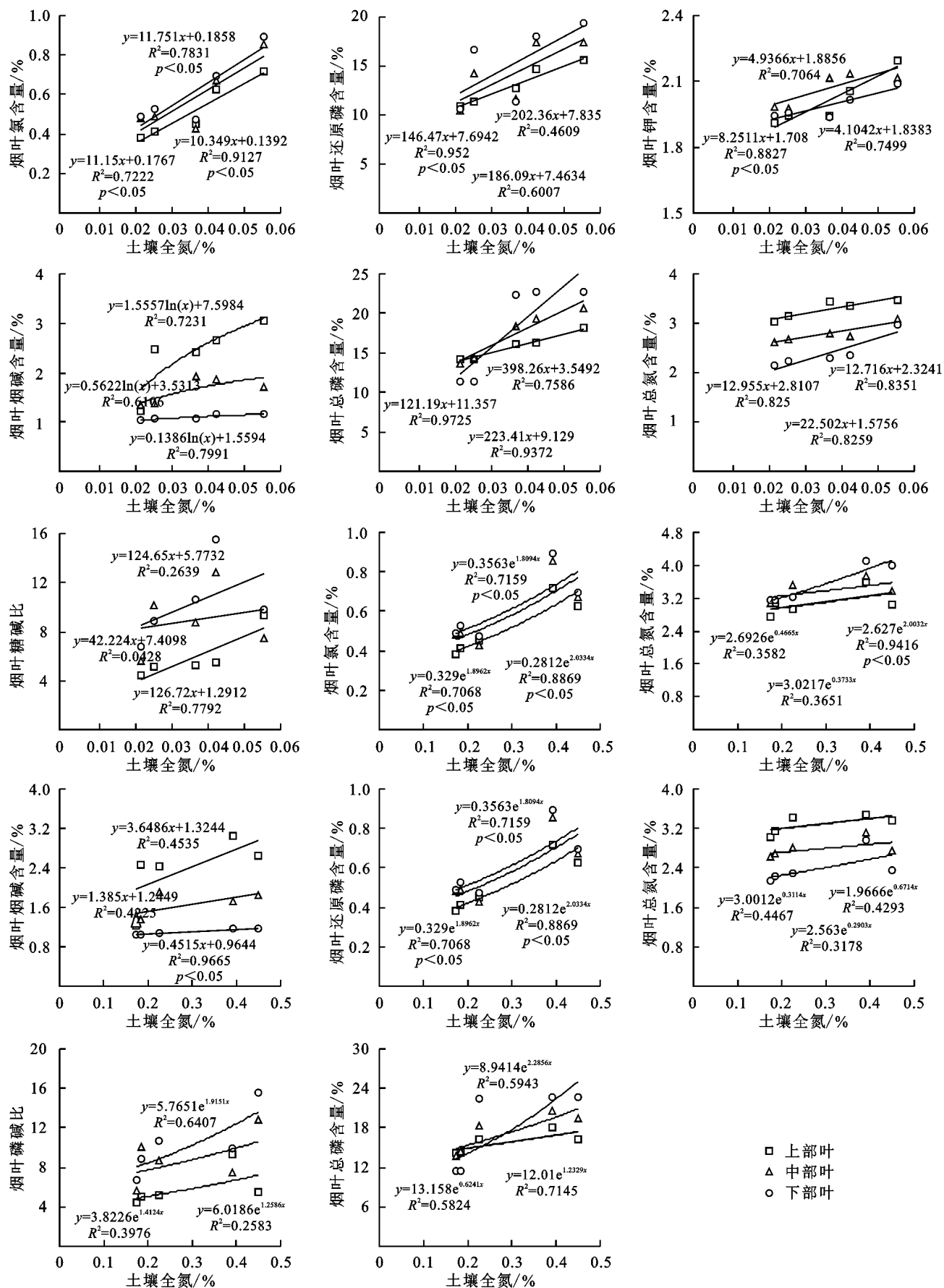


图7 土壤全氮、有机碳含量与烤烟化学品质及协调性的相关关系

Fig. 7 Correlation among soil nitrogen, soil organic carbon, tobacco chemical quality and coordination

3.2 不同浓度保水剂对土壤营养元素的影响

保水剂是具有强吸水特性的功能性高分子材料类(Super Absorbent Polymer, SAP)的统称,保水剂作为一种新型抗旱材料已在农林生产中得到广泛应用,当环境土壤水分较低时,保水剂通过缓慢释放水分以满足植物生长发育的需求^[24]。因此,本研究施用了不同浓度保水剂,使得土壤容重降低、土壤孔隙度增加、土壤通气性提高、土壤水分含量增加,在一定程度上促进了土壤微生物的生物转化作用及土壤的矿化过程,进而影响了土壤碳氮元素含量。同时,在改善土壤理化性状、减少肥料淋溶等方面具有积极作用^[24]。本研究结果也表明,随着保水剂浓度的增加,土壤有机碳含量总体呈递增趋势。国内外有学者研究得出,保水剂与土混施可减少肥料的施用30%左右^[25]。保水剂在一定程度上可有效减少可溶性养分的淋失,从而显著增加土壤的持肥能力^[26]。

3.3 烤烟不同叶位烟叶的总氮、烟碱及氮碱比特征

烟草叶片的总氮含量随着叶位的升高而降低,这与部分研究结果相同^[27],这是由于上部叶长出时间晚于中部叶和下部叶,上部叶片的生长力较中下部烟叶弱,烟株中的氮素营养元素更易被中下部烟叶截获。且植烟土壤的肥力有限,土壤中有效物质和能量不能及时地供给烟株上部烟叶的生长,因此,整个烟株的全氮含量表现为上部叶<中部叶<下部叶。中部烟叶和下部烟叶氮含量与烟碱含量呈正相关关系。烟株中的钾素可催化光合作用,ATP生长、糖的转换及蛋白合成等,显著影响烤烟质量的生化过程。中上部烟叶含钾量高于下部烟叶含钾量且随保水剂施用量的增加略有增加。优质烟水平(烟叶含钾量>2.0%^[28])。本研究在不同保水剂施用量条件下,烟叶钾含量在烤烟上部叶、中部叶和下部叶的变化范围分别为:1.910%~2.197%,1.974%~2.135%和1.946%~2.086%,中上部烟叶含钾量高于下部烟叶含钾量。随着保水剂施用量的增加,烟叶含钾量达到2.0%以上,显著提升了烟叶品质。氯是影响烟叶吸湿性和燃烧性的重要指标,氯钾比为衡量燃烧性指标,优质烤烟中氯<0.8%^[28]。本研究施用保水剂后,烟叶氯含量除了150 kg/hm²的保水剂施用浓度外,其他保水剂浓度处理下,烟叶氯含量均在0.8%以下,达到优质烟标准(氯含量<0.8%)^[28]。

不同保水剂施用量条件下,烟叶还原糖和总糖的变化趋势较为一致,随着保水剂施用量的增加而增加,但当保水剂施用量达到210 kg/hm²时,烟叶还原糖和总糖含量则出现下降趋势,说明保水剂用量并非越大越好,<150 kg/hm²的保水剂施用量较适合烟

草生长。烟叶还原糖和总糖含量在烟叶不同部位表现为:上部叶<中部叶<下部叶。这与已有研究^[29]还原糖和总糖随叶片部位的提高而降低的结论一致。不同部位烟叶糖碱比随着叶位的升高而降低,表现为:上部叶<中部叶<下部叶,且随着保水剂浓度的升高,表现为逐渐增加的趋势。且本研究中不同保水剂处理的烟叶糖碱比变化范围为4.12~16.83之间,且上部烟叶的糖碱比在不同保水剂浓度处理下均在4.12~5.13变化,未达到优质烤烟糖碱比,但中部叶和下部叶在施用保水剂后,叶片糖碱比均>8,达到了优质烤烟的糖碱比(优质烤烟糖碱比为8~12)^[17]。

4 结论

(1) 随着保水剂施用量的增加,土壤pH值、总孔隙度、毛管孔隙度、土壤饱和含水量、田间持水量、毛管含水量均呈先增大后减小变化规律,土壤非毛管孔隙度和非毛管含水量在不同的保水剂施用量条件下的差异未达到显著性水平。土壤的阳离子交换量(CEC值)呈现出波动式变化趋势。

(2) 紫色土有机碳、全钾和速效钾含量随着保水剂施用量的增加呈先增加后降低的趋势,土壤全氮、全磷、碱解氮和速效磷含量呈逐渐增加趋势。土壤容重呈现出先减小后增大的趋势。

(3) 烟叶氯含量、总氮含量变化为上部叶<中部叶<下部叶。随着保水剂施用浓度的增加,烟叶氯含量呈波动变化。中上部烟叶含钾量达到2.0%以上,高于下部烟叶含钾量,且随保水剂施用浓度的增加略有增加。随着保水剂施用浓度的增加,烟碱含量变化为上部叶>中部叶>下部叶,且烟碱含量与保水剂施用浓度相关性较弱。烟叶还原糖和总糖的变化趋势较为一致。不同部位的烟叶钾氯比表现为上部叶>中部叶>下部叶,且随着保水剂施用量的增加,烟叶钾氯比呈波动态变化。不同叶位烟碱/总氮比和糖碱比与钾氯比规律相反,且随着保水剂施用量的增大,烟碱/总氮比和糖碱比均表现为递增趋势。

(4) 植烟土壤全氮含量与不同叶位的烟叶氯含量、上部叶含钾量、还原糖含量之间均呈显著正相关关系($p<0.05$)。不同叶位烟叶氯含量、还原糖含量、上部烟叶钾含量、下部烟叶烟碱含量均与土壤有机碳间存在显著正相关关系($p<0.05$)。综上所述,保水剂为150 kg/hm²对于西南地区紫色土的改良效果最佳。

参考文献(References):

- [1] 刘国顺,陈义强,王芳,等.氮磷钾肥及水分因子对烤烟叶片叶黄素的综合影响[J].作物学报,2008,34(4):690-699.

- Liu G S, Chen Y Q, Wang F, et al. Effects of nitrogen phosphorus potassium and water on lutein in tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) leaves[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2008,34(4):690-699.
- [2] 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[J].烟草科技,2017,50(3):31-38.
- Chen F Q, Shao H F, Wang K Y, et al. Effects of water retaining agent on growth and physiological characteristics of different flue-cured tobacco varieties[J]. *Tobacco Science & Technology*, 2017,50(3):31-38.
- [3] 段淑辉,杨亿军,刘建利,等.烟草需水规律研究进展[J].中国烟草科学,2012,33(4):99-105.
- Duan S H, Yang Y J, Liu J L, et al. Advance in water requirement of tobacco[J]. *Chinese Tobacco Science*, 2012,33(4):99-105.
- [4] 黄占斌,朱书全,张铃春,等.保水剂在农业改土节水中的效应研究[J].水土保持研究,2004,11(3):57-60.
- Huang Z B, Zhu S Q, Zhang L C, et al. The effect on soil improving and water saving applied with chemical aquasorb in agriculture[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2004,11(3):57-60.
- [5] 谢伯承,薛绪掌,王纪华,等.保水剂对土壤持水性状的影响[J].水土保持通报,2003,23(6):44-46.
- Xie B C, Xue X Z, Wang J H, et al. Influence of water absorbing resin on soil moisture retention properties[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2003,23(6):44-46.
- [6] 左广玲,叶红勇,杜朝军,等.大豆秸秆基保水剂对南阳烟田土壤物理性状及烟叶生长的影响[J].农业工程学报,2011,27(2):15-19.
- Zuo G L, Ye H Y, Du C J, et al. Effects of soybean straw-based water retaining agent on tobacco growth and soil physical properties of tobacco field in Nanyang[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2011,27(2):15-19.
- [7] 王宇,叶建仁.保水剂种类及含量对土壤水分蒸发的影响[J].南京林业大学学报:自然科学版,2008,32(4):95-97.
- Wang Y, Ye J R. Effects of water-retaining-agents species and concentrations on water evaporation quantity of soil[J]. *Journal of Nanjing Forestry University: Natural Sciences Edition*, 2008,32(4):95-97.
- [8] 杜建军,苟春林,崔英德,等.保水剂对氮肥挥发和氮磷钾养分淋溶损失的影响[J].农业环境科学学报,2007,26(4):1296-1301.
- Du J J, Gou C L, Cui Y D, et al. Effects of water retaining agent on ammonia volatilization and nutrient leaching loss from N, P and K fertilizers[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2007,26(4):1296-1301.
- [9] 苏文强,杨磊,杨冬梅.高吸水树脂在土壤改良中的效应[J].东北林业大学学报,2004,32(5):35-36.
- Su W Q, Yang L, Yang D M. Effects of super water absorbent on soil improvement[J]. *Journal of Northeast Forestry University*, 2004,32(5):35-36.
- [10] 杨永辉,武继承,李宗军,等.保水剂用量对冬小麦生长及水肥利用的影响[J].干旱地区农业研究,2013,31(3):127-132,149.
- Yang Y H, Wu J C, Li Z J, et al. Impacts of dosage of water-retaining agent on growth and water and fertilizer utilization of winter wheat[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2013,31(3):127-132,149.
- [11] 王汉民,刘松涛,曹雯梅,等.保水剂对土壤和棉花生长发育及产量的影响[J].华北农学报,2006,21(4):79-81.
- Wang H M, Liu S T, Cao W M, et al. Effect of aquasorb on soil and growing development and yield of cotton[J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2006,21(4):79-81.
- [12] 李倩,刘景辉,张磊,等.适当保水剂施用和覆盖促进旱作马铃薯生长发育和产量提高[J].农业工程学报,2013,29(7):83-90.
- Li Q, Liu J H, Zhang L, et al. Using water-retaining agent and mulch to improve growth and yield of potato under dry farming[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2013,29(7):83-90.
- [13] 徐露,张丹,向宇国,等.金沙江下游季节性干旱区紫色土坡耕地土壤水分变化特征[J].土壤通报,2021,52(3):585-593.
- Xu L, Zhang D, Xiang Y G, et al. Moisture characteristics of purple soil in a seasonal arid area in the lower reaches of the Jinsha River[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2021,52(3):585-593.
- [14] 王彦亭,谢剑平,李志宏.中国烟草种植区划[M].北京:科学出版社,2010.
- Wang Y T, Xie J P, Li Z H. Planting regional division of China tobacco.[M]. Beijing: Science Press, 2010.
- [15] 吴俊龙,闫凯龙,李佳颖,等.凉山州烤烟特色品种的比较筛选[J].山西农业科学,2013,41(1):15-19.
- Wu J L, Yan K L, Li J Y, et al. Screening of the characteristic flue-cured tobacco varieties suitable for Liangshan prefecture[J]. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 2013,41(1):15-19.
- [16] 中国科学院南京土壤研究所土壤物理研究室.土壤物理性质测定法[M].北京:科学出版社,1978.
- Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences. Measurements methods of soil physical properties[M]. Beijing: Science Press, 1978.
- [17] 杜文,谭新良,易建华,等.用烟叶化学成分进行烟叶质量评价[J].中国烟草学报,2007,13(3):25-31.
- Du W, Tan X L, Yi J H, et al. Evaluation of leaf tobacco quality using chemical composition data[J]. *Acta Tabacaria Sinica*, 2007,13(3):25-31.
- [18] Yang Y, Wu J, Zhao S, et al. Assessment of the responses of soil pore properties to combined soil structure

- amendments using X-ray computed tomography [J]. Scientific Reports, 2018, 8(1): 695.
- [19] Wang Y J, Xie Z K, Malhi S S, et al. Effects of rainfall harvesting and mulching technologies on water use efficiency and crop yield in the semi-arid Loess Plateau, China [J]. Agricultural Water Management, 2009, 96(3): 374-382.
- [20] Su Z G, Zhang J H, Nie X J. Effect of soil erosion on soil properties and crop yields on slopes in the Sichuan Basin, China [J]. Pedosphere, 2010, 20(6): 736-746.
- [21] 刘国顺, 陈江华. 中国烤烟灌溉学 [M]. 北京: 科学出版社, 2012: 36-46.
- Liu G S, Chen J H. China tobacco irrigation science [M]. Beijing: Science Press, 2012: 36-46.
- [22] 刘国顺. 烟草栽培学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2003: 212-220.
- Liu G S. Tobacco Cultivation [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2003: 212-220.
- [23] 白岗栓, 耿伟, 何登峰. 保水剂施用量对秦巴山区土壤特性及烤烟生长的影响 [J]. 浙江大学学报: 农业与生命科学版, 2019, 45(3): 343-354.
- Bai G S, Geng W, He D F. Effects of super absorbent polymer with different application rates on soil characteristics and flue-cured tobacco growth in Qinba Mountain Area [J]. Journal of Zhejiang University: Agriculture and Life Sciences, 2019, 45(3): 343-354.
- [24] 庄文化, 冯浩, 吴普特. 高分子保水剂农业应用研究进展 [J]. 农业工程学报, 2007, 23(6): 265-270.
- Zhuang W H, Feng H, Wu P T. Development of super absorbent polymer and its application in agriculture [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2007, 23(6): 265-270.
- [25] 王宗恒, 马志远, 苏兆亮, 等. 不同保水剂施用量对烟草生长品质的影响 [J]. 现代农业科技, 2019(20): 11-12, 14.
- Wang Z H, Ma Z Y, Su Z L, et al. Effects of different super absorbent polymers residue levels on growth quality of tobacco [J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2019(20): 11-12, 14.
- [26] 范富, 张庆国, 侯迷红, 等. 保水剂对不同质地土壤保肥性影响的研究 [J]. 干旱地区农业研究, 2013, 31(6): 115-120.
- Fan F, Zhang Q G, Hou M H, et al. Effects of super absorbent polymer on nutrient retaining property in soils with different textures [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2013, 31(6): 115-120.
- [27] 李霞, 张丹, 青会, 等. 保水剂结合豌豆翻压对季节性干旱区新垦植烟土壤的改良效应及烤烟品质的影响 [J]. 水土保持学报, 2019, 33(1): 288-293, 300.
- Li X, Zhang D, Qing H, et al. Impact of water retention agent combined with *Pisum sativum* linn application on improvement of newly cultivated soil and flue-cured tobacco quality in seasonal drought area [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2019, 33(1): 288-293, 300.
- [28] 程辉斗, 温永琴, 陆富, 等. 土壤供钾水平与云南烤烟含钾量关系的研究 [J]. 烟草科技, 2000, 33(3): 41-43.
- Cheng H D, Wen Y Q, Lu F, et al. Research on the relationship between soil potassium supply level and potassium content in Yunnan tobacco [J]. Tobacco Science & Technology, 2000, 33(3): 41-43.
- [29] 许自成, 黎妍妍, 肖汉乾, 等. 湘南烟区生态因素与烤烟质量的综合评价 [J]. 植物生态学报, 2008, 32(1): 226-234.
- Xu Z C, Li Y Y, Xiao H Q, et al. Evaluation of ecological factors and flue-cured tobacco quality in tobacco-growing areas in southern Hunan, China [J]. Journal of Plant Ecology, 2008, 32(1): 226-234.

(上接第 52 页)

- [23] Mou P, Mitchell R J, Jones R H. Root distribution of two tree species under a heterogeneous nutrient environment [J]. The Journal of Applied Ecology, 1997, 34(3): 645-656.
- [24] 刘均阳, 周正朝, 苏雪萌. 植物根系对土壤团聚体形成作用机制研究回顾 [J]. 水土保持学报, 2020, 34(3): 267-273, 298.
- Liu J Y, Zhou Z C, Su X M. Review of the mechanism of root system on the formation of soil aggregates [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2020, 34(3): 267-273, 298.
- [25] Parrotta J A. The role of plantation forests in rehabilitating degraded tropical ecosystems [J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 1992, 41(2): 115-133.
- [26] 郭建英, 何京丽, 李锦荣, 等. 典型草原大型露天煤矿排土场边坡水蚀控制效果 [J]. 农业工程学报, 2015, 31(3): 296-303.
- Guo J Y, He J L, Li J R, et al. Effects of different measures on water erosion control of dump slope at opencast coal mine in typical steppe [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2015, 31(3): 296-303.
- [27] Zhang L, Wang J M, Bai Z K, et al. Effects of vegetation on runoff and soil erosion on reclaimed land in an opencast coal-mine dump in a loess area [J]. Catena, 2015, 128: 44-53.