保水剂粒径对秦巴山区土壤水分及烤烟生长的影响

杜社妮[1,2]，郭胜利[1,2]，王百群[1,2]，
白岗栓[1,2]，何登峰[3]，耿 伟[4]，闫超超[5]，赵洋洋[6]

（1.西北农林科技大学 水土保持研究所，陕西 杨凌 712100；2.中国科学院 水利部 水土保持研究所，陕西 杨凌 712100；3.陕西省烟草公司，陕西 西安 710065；4.安康市烟草公司旬阳分公司，陕西 旬阳 725700；5.商洛市烟草公司洛南分公司，陕西 洛南 726100；6.宝鸡市烟草公司陇县分公司，陕西 陇县 721200）

摘 要：[目的] 探究保水剂粒径对秦巴山区土壤水分及烤烟生长的影响，为改善秦巴山区烟田的土壤环境以及促进保水剂在烤烟生产中的应用提供科学支持。[方法] 以不施用保水剂为对照，以粉末状（粒径＜0.18 mm）、细颗粒状（粒径 0.18～2.25 mm）和颗粒状（粒径 2.25～3.25 mm）的聚丙烯酸钾保水剂为研究材料，监测不同粒径的保水剂对秦巴山区黄棕壤烟田土壤水分、土壤容重及烤烟生长、烤烟品质及经济性状的影响。[结果] 不同粒径的聚丙烯酸钾保水剂在烤烟不同生长期均可提高 0—40 cm 土层土壤水分，降低 0—40 cm 土层土壤容重，但对 40 cm 以下土层的土壤水分无显著影响，其中细颗粒状保水剂对土壤水分、土壤容重影响较大。不同粒径的保水剂均可促进烤烟根系生长及茎叶生长，提高烟叶产量与产值，降低下等烟的比例，其中细颗粒状保水剂对烤烟最大叶片、根系生长量、产量及产值影响较大，但粉末状保水剂对上等烟比例影响较大。[结论] 不同粒径的保水剂均可提高烤烟品质，其中细颗粒状保水剂对烟碱、总氮、钾及氯的影响较大，粉末状保水剂对总糖和还原糖影响较大。秦巴山区黄棕壤烟田应选用细颗粒状的聚丙烯酸钾保水剂。

关键词：烤烟；保水剂粒径；土壤水分；土壤容重；产量与产值

文献标识码：A **文章编号**：1000-288X(2018)06-0103-10 **中图分类号**：S572，S156

文献参数：杜社妮，郭胜利，王百群，等.保水剂粒径对秦巴山区土壤水分及烤烟生长的影响[J].水土保持通报，2018，38(6)：103-112. DOI：10.13961/j.cnki.stbctb.2018.06.016. Du Sheni, Guo Shengli, Wang Baiqun, et al. Effects of super absorbent ploymer with different particle sizes on soil moisture and flue-cured tobacco growth in Qinba Mountain area[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2018, 38(6): 103-112.

Effects of Super Absorbent Ploymer with Different Particle Sizes on Soil Moisture and Flue-cured Tobacco Growth in Qinba Mountain Area

DU Sheni[1,2], GUO Shengli[1,2], WANG Baiqun[1,2], BAI Gangshuan[1,2],
HE Dengfeng[3], GENG Wei[4], YAN Chaochao[5], ZHAO Yangyang[6]

(1. *Institute of Soil and Water Conservation, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling, Shaanxi* 712100, *China*; 2. *Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi* 712100, *China*; 3. *Tobacco Company of Shaanxi Province, Xi'an, Shaanxi* 710065, *China*; 4. *Tobacco Company of Xunyang County, Shaanxi Province, Xunyang, Shaanxi* 725700, *China*; 5. *Tobacco Company of Luonan County, Shaanxi Province, Luonan, Shaanxi* 726100, *China*; 6. *Tobacco Company of Longxian County, Shaanxi Province, Longxian, Shaanxi* 721200, *China*)

Abstract: [Objective] The effect of particle sizes of super absorbent ploymer on soil moisture and flue-cured tobacco(*Nicotiana tabacum*) growth was studied in order to provide scientific support for improving soil moisture and flue-cured tobacco growth in Qinba Mountain area. [Methods] The experiment took no super absorbent polymer application as control, powder (particle size＜0.18 mm), fine granularity (particle size 0.18～2.25 mm) and granularity(particle size 2.25～3.25 mm) of potassium polyacrylate super absorbent

收稿日期：2018-06-26 **修回日期**：2018-07-20
资助项目：中国烟草总公司陕西省公司“秦巴生态优质烟区水肥耦合调控关键技术”(k4030216083)
第一作者：杜社妮(1966—)，陕西省杨凌区人，硕士，副研究员，主要从事农田生态方面的研究。E-mail：sndu@nwsuaf.edu.cn。
通讯作者：白岗栓(1965—)，陕西省富平县人，硕士，研究员，主要从事农田生态方面的研究。E-mail：gshb@nwsuaf.edu.cn。

ploymer as the research materials in yellow brown soil of Qinba Mountain area, the effects of different particle sizes of potassium polyacrylate super absorbent ploymer on soil moisture, soil bulk density and flue-cured tobacco growth, flue-cured tobacco quality and flue-cured tobacco economic properties were investigated. [Results] The soil moisture of 0—40 cm soil layer were increased and the soil bulk density of 0—40 cm soil layer were reduced by potassium polyacrylate super absorbent ploymer with different particle sizes in different growing stages of flue-cured tobacco, but there was no significant effect on soil moisture under 40 cm soil layer. Among different particle sizes of potassium polyacrylate super absorbent ploymer, fine granularity potassium polyacrylate super absorbent ploymer had great influence on soil moisture and soil bulk density. Potassium polyacrylate super absorbent ploymer with different particle sizes could promote root growth, stem growth and leaf growth of flue-cured tobacco, increase tobacco yield and tobacco output value, and reduce the proportion of inferior tobacco, and fine granularity potassium polyacrylate super absorbent ploymer had a great effect on the largest leaf growth, root growth, tobacco yield and tobacco output value, but powder potassium polyacrylate super absorbent ploymer has a great influence on the proportion of superior tobacco. [Conclusion] Potassium polyacrylate super absorbent ploymer with different particle sizes improved the quality of flue-cured tobacco, and the fine granularity potassium polyacrylate super absorbent ploymer had great influence on levels of nicotine, total nitrogen, potassium and chlorine of tobacco, and the powder potassium polyacrylate super absorbent ploymer had a great influence on the total sugar and reducing sugar levels of tobacco. Fine granularity potassium polyacrylate super absorbent ploymer should be used in yellow brown soil in Qinba Mountain area in tobacco fields.

Keywords: flue-cured tobacco; particle size of super absorbent ploymer; soil moisture; soil bulk density; tobacco yield and tobacco output value

秦巴山区位居汉江南北,为亚热带与暖温带分界线及中国南北分界线。秦巴山区以山地丘陵为主,海拔较高且光照充足,为陕西省优质烤烟(*Nicotiana tabacum*)生产基地[1]。秦巴山区烟田多为坡地,土层薄,蓄水保水能力差且无灌溉设施,在烤烟团棵期到现蕾期易出现季节性干旱,严重影响烤烟的产量与质量[2]。合理调控土壤水分,可提高烤烟产量与质量,提高单位面积烤烟产值[3-5]。保水剂(super absorbent polymers, SAP)是利用强吸水性树脂或淀粉等合成的一种具有超高吸水、保水能力的高分子聚合物,能吸收大量的土壤水分并在土壤中形成大量的"小水库",增强土壤蓄水保墒能力,且吸收的水分可缓慢释放,供作物生长发育[6-9]。保水剂可促进降水入渗,减少地表径流[10-12],并在吸水、释水的过程中改善土壤团粒结构,提高土壤通气性及土壤水分和养分的利用效率[13-17],减少环境污染[18-19],促进作物生长[20-24],是继农药、化肥和地膜之后最有可能在农业生产中大面积推广应用的化学制品[25-27]。保水剂的应用效果与其种类、粒径、土壤质地及施用方法等密切相关[28-33],施用不当会对土壤产生不良影响[34]。保水剂在烤烟生产中应用较多[35-41],但在季节性干旱明显,土壤多为黄棕壤和黄褐土的秦巴山区则未见报道。为了缓解季节性干旱,特别是春夏交际时期的干旱对烤烟产量、质量及产值的影响,提高土壤的蓄水保水能力,2016 年在秦巴山区开展了不同粒径聚丙烯酸钾保水剂对土壤水分及烤烟生长的影响研究,旨在促进秦巴山区烤烟产业持续、健康发展。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验地位于秦巴山区东段的旬阳县神河镇丰家岭村,东经 109°27′,北纬 32°42′,海拔 605 m,为汉江以南的大巴山区。试验地年均降雨量 851 mm,年均气温 15.4 ℃,最高月 26.9 ℃,最低月 3.3 ℃,年均日照时数 1 790.4 h,无霜期 236 d,年均蒸发量 1 252.8 mm,为北亚热带温暖湿润气候区。试验地为坡地,坡度 7°左右,前茬作物为玉米(*Zea Mays*)。试验地土壤为黄棕壤,厚度 60—70 cm。试验地耕层(0—20 cm 土层)土壤 pH 值 6.4 左右,有机质 1.81%,速效氮 60.24 mg/kg,速效磷 22.46 mg/kg,速效钾 134.24 mg/kg,物理性黏粒 47.90%,黏粒 17.30%。试验地无灌溉设施,为雨养烟田。

1.2 供试材料

供试保水剂为丙烯酸钾保水剂,购于山东省唯信农业科技有限公司,分别为粉末状(粒径<0.18 mm)、细粒状(粒径 0.18～2.25 mm)和颗粒状(粒径 2.25～3.25 mm),均含丙烯酸钾 23%～26%,去离子水的吸水倍数为 300～500,0.9%NaCL 溶液的吸

水倍数为 100～150。

供试烤烟为云烟 105,五叶一心,采用井窖式移栽。

1.3　试验设计

试验以不施保水剂为对照,起垄前条施基肥时将粉末状、细粒状和颗粒状的聚丙烯酸钾保水剂均以 60 kg/hm^2 的施用量与适量干细土搅拌均匀后均匀撒施于地表,然后整地起垄,等待降雨,当降过透雨后(降水量超过 25 mm)及时对垄体进行地膜覆盖以供移栽烤烟。供试烤烟采用单行起垄栽培,垄高 30 cm 左右,垄面宽 20 cm,垄距(行距)110 cm,株距 55 cm。试验小区宽 4.4 m,长 11.0 m(每小区有 4 行烤烟,每行 20 株),每小区定植烤烟 80 株。不同小区均采用随机排列,重复 3 次。供试烤烟于 4 月 25 日移栽,烟苗为 5 叶 1 心。不同处理的施肥量与当地烤烟规范化栽培相同,即 N 65 kg/hm^2,N∶P_2O_5∶K_2O=12∶12∶18,基肥于起垄前条施,氮肥 60%作为基肥,40%作为追肥,磷肥全部作为基肥,钾肥 30%作为基肥,70%作为追肥,追肥在烤烟旺长初期进行,即移栽后 30 d 左右降雨后及时施入。其他各项田间生产管理均按当地烤烟规范化措施进行。

1.4　测定项目

降水量　试验地旁空地设有自动雨量计,监测起垄至烤烟采收后期间的降水量。

土壤水分　起垄整地前和烤烟还苗期、团棵期、旺长期、打顶期、成熟期和采收后,在每个小区随机选择 3 个点,在两株烤烟中部的垄面上(起垄前为平地),以 10 cm 土层为一层,分层采取 0—60 cm 土层土壤,烘干法测定土壤含水率(w/%)。

土壤容重　起垄前、还苗期、旺长期和烤烟采收后,在每个小区随机选择 3 个点,在两株烤烟中部的垄面上(起垄前为平地),环刀法测定耕层(0—20 cm)土壤和 20—40 cm 土层土壤容重。

农艺性状　按照《烟草农艺性状调查测量方法(YC/T142-2010 标准)》,每个小区随机选取长势一致的 5 株烤烟挂牌标定,在烤烟团棵期、旺长期和打顶期测量最大叶长、最大叶宽、株高、茎围及有效叶数[42];每次测定烤烟农艺性状时选取与挂牌标定的烤烟长势相同的烤烟 5 株,分层剥离土壤并收集根系并将根系冲洗干净,将根系、茎秆、叶分别在 105 ℃下杀青 30 min,80 ℃烘干至恒重,称取根系、茎秆和叶片生物量。

最大叶面积(cm^2)=叶长(cm)×叶宽(cm)×0.634 5

经济性状　以试验小区烤烟株数为基础,按照 16 529 株/hm^2 换算出单位面积烤烟产量。依照国家烤烟分级标准(GB2635-1992 国标)及 2016 年当地烤烟收购原则及价格,计算出不同等级烤烟均价和产值等,折算出最终产量和产值。

烤烟品质　成熟期采收不同小区烤烟植株中部的叶片,烘烤后选择 C3F(中桔三)粉碎后过 40 目筛,分析不同处理烤烟化学品质,即烟碱、总糖、还原糖、总氮、钾及氯含量。其中烟碱采用紫外分光光度法测定,总糖用蒽酮比色法测定,还原糖用 3,5－二硝基水杨酸比色法测定,总氮用凯氏定氮法测定,钾含量用火焰光度计法测定,氯含量用莫尔法测定,根据测试结果计算氮碱比、糖碱比和钾氯比[43]。

1.5　数据处理

试验数据采用 Excel 2007 制作图表,SPSS 19.0 软件进行单因素方差分析;如果差异显著则采用 Duncan 多重比较进行检验。

2　结果与分析

2.1　试验期间的降水量

从整地起垄(3 月 25 日)至烤烟采收后(10 月 30 日)共计降水 520 mm,其中烤烟团棵期至旺长期降水强度较大,20 d 内降水 111.0 mm,平均 5.55 mm/d,其次是起垄期至移栽期,32 d 降水 75.6 mm,平均 2.36 mm/d,采收期(第 1 次采收)至采收后平均降水 2.20 mm/d,而移栽期至还苗期、还苗期至团棵期、旺长期至打顶期、打顶期至采收期(第 1 次采收)降水较少,分别为 1.73,1.74,1.62,1.57 mm/d(图 1),移栽期至还苗期、还苗期至团棵期降水偏少,对烤烟产量影响较大。

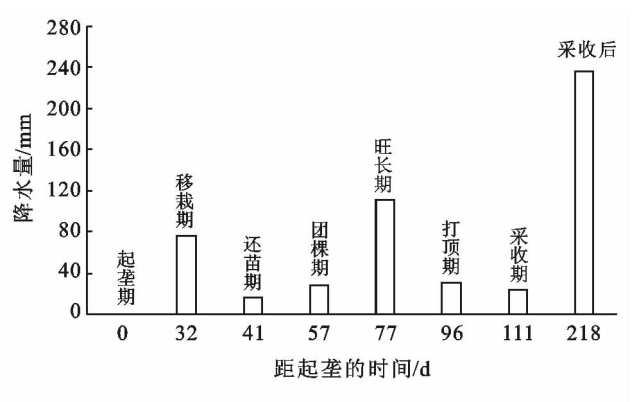


图 1　试验监测期间的降水量

2.2　不同处理对土壤水分的影响

受降水及烤烟生长的影响,烤烟生长发育期的土壤水分表现为还苗期到旺长期较高,采收期较低,采收后最高,不同处理不同生长期的土壤水分存在一定差异(图 2)。

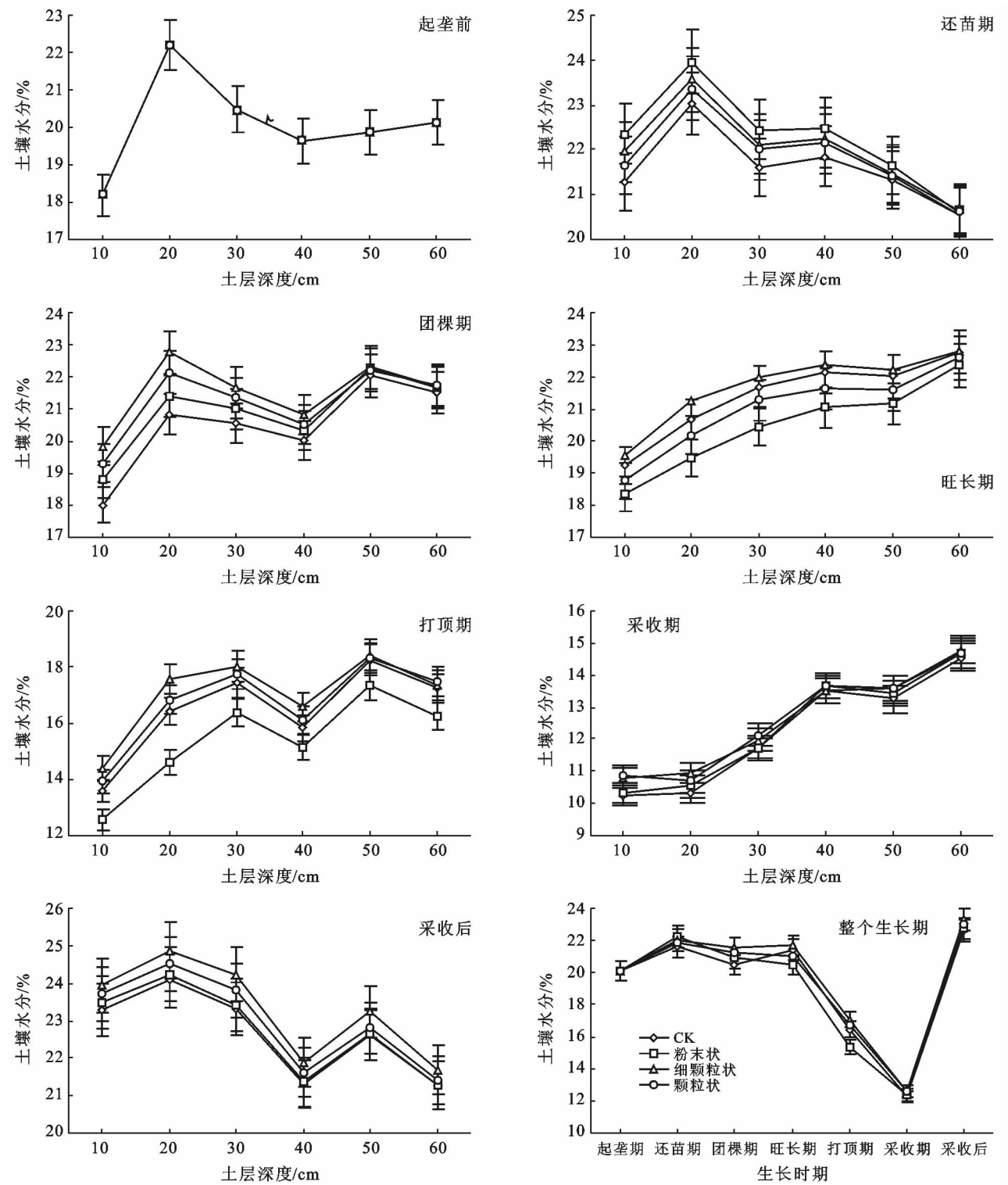


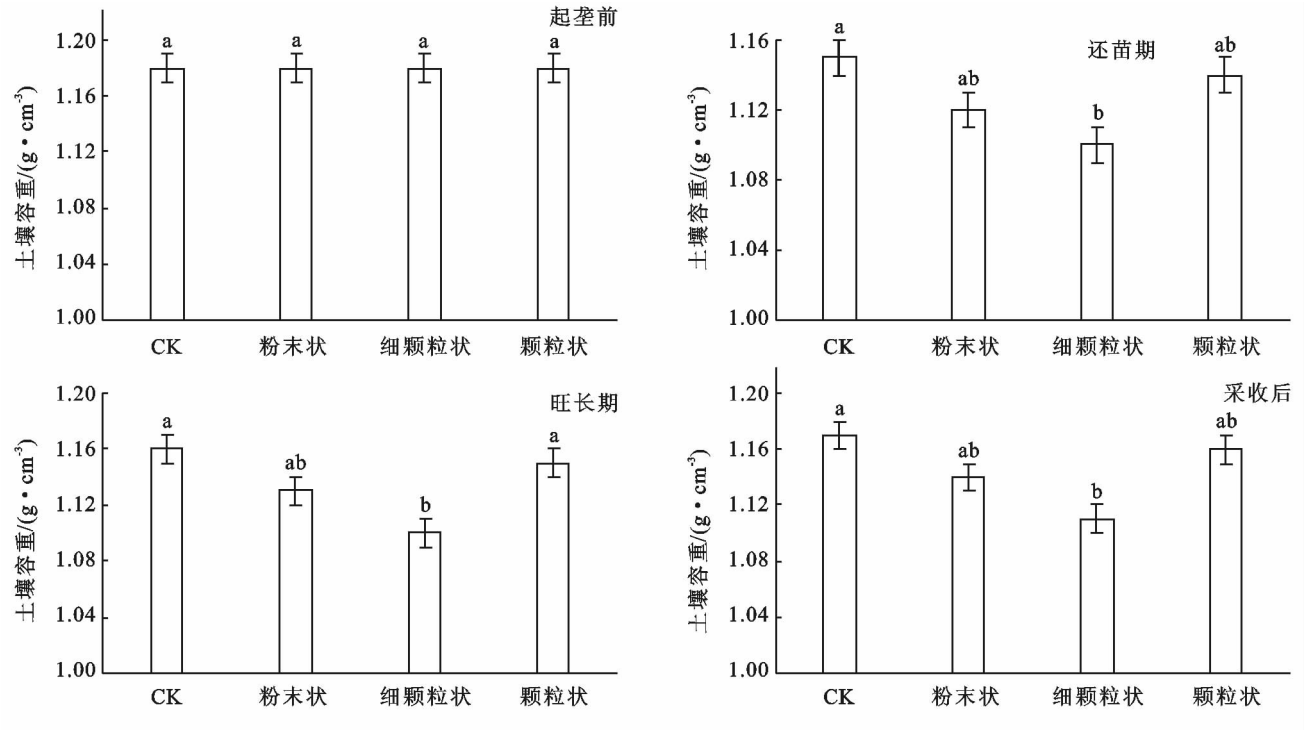
图 2 不同处理烤烟不同生长期的土壤水分

起垄前不同处理的土壤水分基本一致且无显著差异。还苗期土壤水分表现为:粉末状>细颗粒状>颗粒状>对照,其中 0—40 cm 土层土壤水分差异相对较大,40—60 cm 差异相对较小,但不同处理之间无显著差异。团棵期 0—40 cm 土层土壤水分和 0—60 cm 土层土壤水分均表现为:细颗粒状>颗粒状>粉末状>对照,其中细颗粒状 0—40 cm 土层土壤水分显著高于($p<0.05$)对照,其他处理之间无显著差异。旺长期 0—40 cm 土层土壤水分和 0—60 cm 土层土壤水分均表现为:细颗粒状>对照>颗粒状>粉末状,其中细颗粒状和对照 0—40 cm 土层土壤水分显著高于($p<0.05$)粉末状,其他处理之间无显著差异。打顶期 0—40 cm 和 0—60 cm 土层土壤水分均表现为细颗粒状>颗粒状>对照>粉末状,其中细颗

粒状、颗粒状和对照 0—40 cm 土层和 0—60 cm 土层土壤水分均显著高于($p<0.05$)粉末状,其他处理之间无显著差异(图 2)。采收期不同处理的土壤水分较低,0—40 cm 和 0—60 cm 土层土壤水分表现为:细颗粒状≈颗粒状>粉末状>对照,不同处理间无显著差异。采收后 0—40 cm 和 0—60 cm 土层土壤水分表现为:细颗粒状>颗粒状>粉末状>对照,不同处理间无显著差异(图 2)。

2.3　不同处理对土壤容重的影响

图 3—4 表明,不同处理的土壤容重均表现为起垄前最高,还苗期最低,还苗期到成熟期缓慢上升,且 0—20 cm 土层土壤容重低于 20—40 cm 土层。起垄前不同处理 0—20 cm 及 20—40 cm 土层土壤容重无显著差异。



注:柱状图上部的不同小写字母表示不同处理之间存在 $p<0.05$ 的显著差异。下同。

图 3　不同处理各生长期耕层(0－20 cm)土壤容重

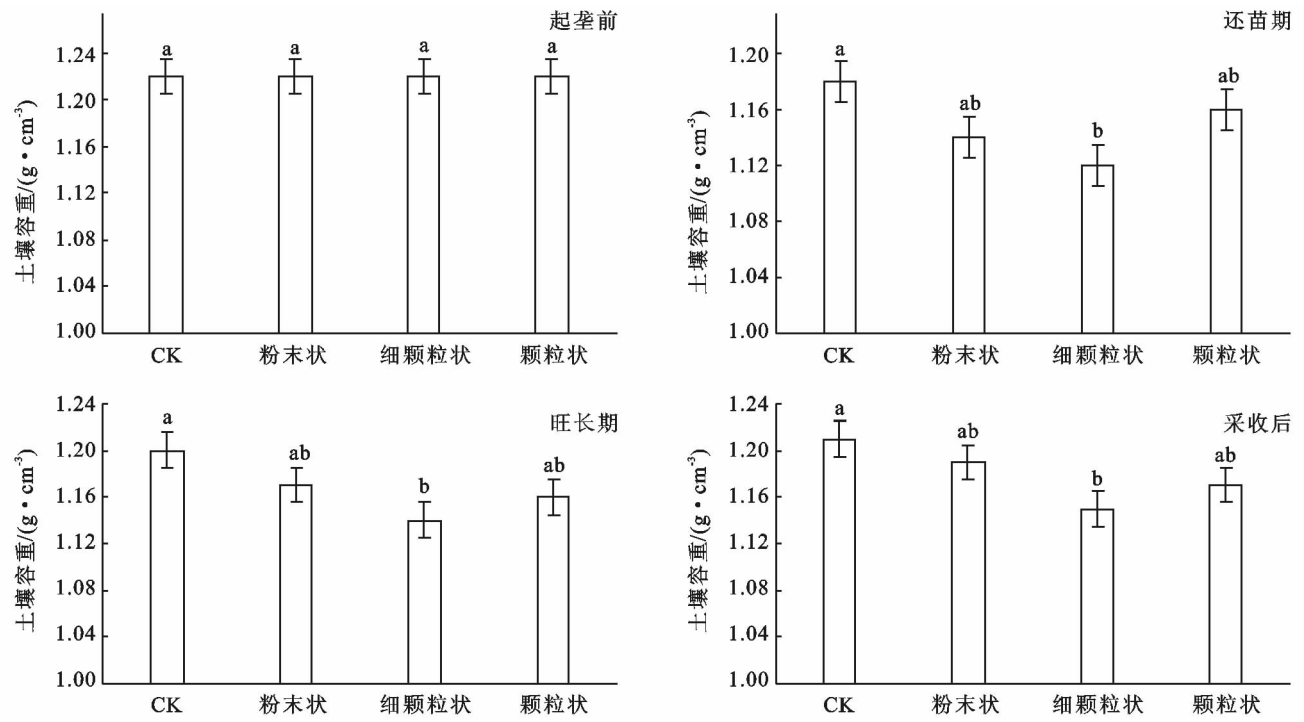


图 4　不同处理不同生长期的 20－40 cm 土层土壤容重

还苗期不同处理0—20 cm和20—40 cm土层土壤容重表现为:对照>颗粒状>粉末状>细颗粒状,其中对照显著高于($p<0.05$)细颗粒状。旺长期和采收后不同处理0—20 cm土层土壤容重均表现为:对照>颗粒状>粉末状>细颗粒状,20—40 cm土层表现为对照>粉末状>颗粒状>细颗粒状,其中对照0—20 cm和20—40 cm土层土壤容重均显著高于($p<0.05$)细颗粒状。

2.4 不同处理对烤烟生长的影响

由表1可知,团棵期、旺长期和打顶期不同处理的株高均处于同一水平,无显著差异;不同处理的茎围表现为:细颗粒状>粉末状>颗粒状>对照,其中细颗粒状显著高于($p<0.05$)对照。不同处理的叶片数表现为:细颗粒状>粉末状>颗粒状>对照,团棵期细颗粒状显著高于($p<0.05$)对照,旺长期显著高于($p<0.05$)对照、颗粒状和粉末状,打顶期不同处理则无显著差异。不同处理的最大叶长、叶宽和叶面积均表现为:细颗粒状>粉末状>颗粒状>对照。团棵期细颗粒状的最大叶长、叶宽显著高于($p<0.05$)对照;细颗粒状、粉末状和颗粒状的最大叶片叶面积均极显著高于($p<0.01$)对照,细颗粒状显著高于($p<0.05$)粉末状和颗粒状。旺长期细颗粒状的最大叶长显著高于($p<0.05$)对照和颗粒状,不同处理的最大叶宽无显著差异,但细粒状的最大叶面积显著高于($p<0.05$)对照和颗粒状,粉末状显著高于($p<0.05$)对照。打顶期细颗粒状的最大叶长和叶面积显著高于($p<0.05$)对照,其他处理之间无显著差异。不同处理的冠幅表现为细颗粒状>粉末状>颗粒状>对照,团棵期细颗粒状显著高于($p<0.05$)颗粒状和对照,粉末状和颗粒状显著高于($p<0.05$)对照;旺长期和打顶期细颗粒状显著高于($p<0.05$)颗粒状和对照,粉末状显著高于($p<0.05$)对照。

表1 不同处理不同生长期的烤烟生长状况

生长期	处理	株高/cm	茎围/cm	叶片数	最大叶片			冠幅/cm	生物量(g/株)			
					长/cm	宽/cm	叶面积/cm^2		根系	茎秆	叶片	整株
团棵期	CK	27.61^{a}	6.71^{b}	9.35^{b}	49.65^{b}	26.34^{b}	829.79^{Bc}	63.2×64.4^{c}	3.39b	2.14Cc	15.46^{b}	20.99^{c}
	粉末状	28.19^{a}	6.94^{ab}	9.54^{ab}	54.36^{ab}	27.87^{ab}	961.28^{Ab}	65.3×73.1^{ab}	3.64^{a}	2.44^{ABb}	16.59^{a}	22.67^{ab}
	细颗粒状	28.62^{a}	7.15^{a}	9.86^{a}	55.62^{a}	28.92^{a}	1 020.61^{Aa}	68.1×77.2^{a}	3.75^{a}	2.23^{BCc}	17.46^{a}	23.44^{a}
	颗粒状	27.89^{a}	6.84^{ab}	9.42^{ab}	54.12^{ab}	27.65^{ab}	949.48^{Ab}	66.2×67.9^{b}	3.32^{b}	2.59^{Aa}	15.68^{b}	21.59^{bc}
旺长期	CK	44.92^{a}	8.71^{b}	12.68^{b}	57.65^{b}	35.53^{a}	1 299.65^{c}	70.4×84.1^{c}	15.43^{c}	10.92^{a}	53.78^{a}	80.13^{a}
	粉末状	46.24^{a}	9.36^{ab}	13.21^{b}	60.94^{ab}	35.98^{a}	1 391.22^{ab}	74.1×90.4^{ab}	16.68^{ab}	10.36^{b}	54.64^{a}	81.68^{a}
	细颗粒状	47.18^{a}	9.42^{a}	13.96^{a}	62.54^{a}	36.28^{a}	1 439.65^{a}	75.4×92.6^{a}	16.97^{a}	10.65^{ab}	55.99^{a}	83.61^{a}
	颗粒状	45.72^{a}	8.94^{ab}	13.18^{b}	58.87^{b}	35.89^{a}	1 340.6^{b}	71.2×85.2^{bc}	15.89^{bc}	10.87^{ab}	53.98^{a}	80.74^{a}
打顶期	CK	121.08^{a}	10.05^{b}	26.02^{a}	71.12^{b}	38.21^{a}	1 724.25^{b}	94.4×109.4^{c}	65.24^{b}	71.88^{a}	152.06^{a}	289.18^{a}
	粉末状	126.13^{a}	10.65^{ab}	26.05^{a}	74.02^{ab}	38.36^{a}	1 801.6^{ab}	98.3×118.7^{ab}	68.34^{ab}	73.24^{a}	154.87^{a}	296.45^{a}
	细颗粒状	125.24^{a}	10.97^{a}	26.12^{a}	75.82^{a}	38.44^{a}	1 849.26^{a}	99.5×121.6^{a}	69.14^{a}	71.26^{a}	156.74^{a}	297.14^{a}
	颗粒状	127.12^{a}	10.52^{ab}	26.03^{a}	73.14^{ab}	38.25^{a}	1 775.08^{ab}	96.2×112.1^{bc}	64.98^{ab}	71.64^{a}	152.98	289.60^{a}

注:同列不同小写和大写字母分别表示不同处理同一生长期存在显著($p<0.05$)和极显著($p<0.01$)差异。下同。

不同处理的根系、叶片和整株生物量表现为:细颗粒状>粉末状>颗粒状>对照,但茎秆生物量在团棵期为:颗粒状>粉末状>细颗粒状>对照,在旺长期为:颗粒状>细颗粒状>粉末状>对照,在打顶期为:粉末状>颗粒状>细颗粒状>对照,不同时期的变化规律不相同。不同处理的根系、茎秆、叶片及整株生物量之间的差异随着烤烟的生长逐渐降低,如茎秆生物量在团棵期存在极显著差异,旺长期存在显著差异,打顶期则无显著差异(表1)。

2.5 不同处理对烤烟品质的影响

烤烟品质与气候、土壤及栽培措施密切相关[2],优质烤烟的氮碱比、糖碱比等均处于一定的适宜范围[41-42,46]。试验地烤烟钾含量低于优质烤烟标准,钾氯比高于优质烤烟标准,粉末状保水剂和细颗粒状保水剂的总糖高于优质烤烟标准,粉末状、细颗粒状和颗粒状保水剂的还原糖高于优质烤烟标准,其他品质含量符合优质烤烟标准。施用保水剂提高了烤烟中的烟碱、总糖、还原糖、总氮、钾及氯含量,其中粉末状保水剂对烤烟中的总糖、还原糖含量影响较大,细颗粒状保水剂对烤烟中的烟碱、总氮、钾及氯含量影响较大,不同处理之间存在显著或极显著差异。不同处理的氮碱比为:对照>粉末状=颗粒状>细颗粒状,其中对照显著高于($p<0.05$)细颗粒状。不同处理的糖碱比为:粉末状>对照>颗粒状>细颗粒状,其中

粉末状显著高于($p<0.05$)颗粒状和细颗粒状,对照显著高于($p<0.05$)细颗粒状。不同处理的钾氯比为:细颗粒状>颗粒状>粉末状>对照,其中细颗粒状显著高于($p<0.05$)对照(表 2)。

表 2　不同处理的烤烟品质

处 理	烟碱/%	总糖/%	还原糖/%	总氮/%	钾/%	氯/%	氮碱比	糖碱比	钾氯比
CK	2.12^{Bc}	23.6^{c}	21.7^{b}	1.72^{b}	1.69^{b}	0.135^{b}	0.81^{a}	11.13^{ab}	12.52^{b}
粉末状	2.24^{ABb}	25.8^{a}	23.5^{a}	1.77^{ab}	1.75^{ab}	0.139^{ab}	0.79^{ab}	11.52^{a}	12.96^{ab}
细颗粒状	2.42^{Aa}	25.2^{ab}	23.2^{a}	1.83^{a}	1.82^{a}	0.145^{a}	0.76^{b}	10.41^{c}	13.48^{a}
颗粒状	2.27^{ABb}	24.3^{bc}	22.8^{a}	1.79^{ab}	1.77^{ab}	0.141^{ab}	0.79^{ab}	10.70^{bc}	13.11^{ab}
优质烤烟	1.8～2.8	20～25	18～22	1.5～2.5	>2.0	<0.8	≤1	8～12	4～10

2.6　不同处理对烤烟经济性状的影响

粉末状、细颗粒状和颗粒状的烤烟平均价格分别比对照高 2.02%,1.55%和 0.33%,与对照无显著差异;产量分别比对照高 4.51%,6.84%和 1.51%,其中细颗粒状显著高于($p<0.05$)对照;产值分别比对照高 6.63%,8.50%和 1.90%,其中细颗粒状显著高于($p<0.05$)颗粒状和对照,粉末状显著高于($p<0.05$)对照。粉末状的上等烟比例略高于对照,细颗粒状和颗粒状则略低于对照;粉末状、细颗粒状和颗粒状中等烟的比例均略高于对照,但粉末状和细颗粒状的下等烟的比例均显著低于($p<0.05$)对照(表 3)。

表 3　不同处理的烤烟产量、产值及等级比例

处 理	均价/(元·kg^{-1})	产量/(kg·hm^{-2})	产值/(元·hm^{-2})	烤烟等级比例		
				上等烟/%	中等烟/%	下等烟/%
CK	21.30^{a}	$2\,039.85^{b}$	$43\,438.65^{c}$	45.22^{a}	39.30^{a}	15.48^{a}
粉末状	21.73^{a}	$2\,131.80^{ab}$	$46\,319.25^{ab}$	46.28^{a}	40.39^{a}	13.33^{b}
细颗粒状	21.63^{a}	$2\,179.35^{a}$	$47\,131.35^{a}$	44.57^{a}	41.13^{a}	14.30^{b}
颗粒状	21.37^{a}	$2\,070.75^{ab}$	$44\,263.05^{bc}$	45.14^{a}	40.10^{a}	14.76^{ab}

3　讨 论

3.1　不同粒径保水剂对土壤水分及土壤容重的影响

土壤水分是烤烟生长发育、产量和质量形成的基础,烤烟不同生育期个体生长发育、群体大小等不同,特别是莲座期,干旱胁迫会迫使烤烟产生一系列非正常的生理生化变化,影响烤烟产量与品质[3,44-46]。保水剂是一类遇水膨胀的聚合物,具有一个庞大的聚合物"骨架"并携带大量的$-COOH$,$-OH$,$-NH_2$等极性亲水基团,可吸附自身质量数百倍甚至更高的水分[9],可缓解土壤干旱胁迫,促进烤烟生长发育,但保水剂的应用效果与土壤质地、土壤 pH 值、土壤离子浓度、土壤温度和保水剂的颗粒大小、施用方法、施用量等密切相关[9-15]。相同质量的保水剂,粒径越小,比表面积越大,吸水速率越高,吸水饱和所需的时间越短,且粒径越小,当土壤水分处于胁迫时向土壤释放水分的速率也越高,但保水剂粒径越小,吸水膨胀越完全,越不能形成较大的合力吸附更多的水分;保水剂粒径越大,其比表面积越小,与土壤水溶液的接触面积减小,土壤抑制保水剂膨胀的阻力越大,越易造成保水剂不能达到完全饱和吸附状态,吸水量则越小;只有适宜粒径的保水剂与所施土壤合理配合,才可吸附较多的土壤水分[9,29]。保水剂的吸水能力易受土壤水溶液离子浓度的影响,特别是土壤中的Na^+,K^+等阳离子,会置换$-COOH$,$-OH$的H^+离子,降低保水剂的吸水能力[48]。保水剂粒径越小,比表面积越大,吸水膨胀后对凝胶网络上的负离子基团的吸引力越大,越易抑制凝胶网络的扩张甚至收缩,越易导致凝胶网络发生体积相变而失去吸水保水能力;保水剂颗粒越大,含有的高分子量越多,凝胶网络的抵抗力越强,凝胶网络相变出现的几率越少,因而保水剂粒径越大,失去吸水保水的能力越缓慢。随着保水剂吸水次数的增多及反复的吸水膨胀与释水收缩,导致土壤中的细小颗粒进入保水剂颗粒内部,保水剂粒径越小,土壤中的细小黏粒进入保水剂内部的几率越多,对保水剂本身结构的影响力越大,导致保水剂丧失吸水膨胀的功能越强,且温度会促使小粒径的保水剂相对较快的速率失去吸水保水能力,因而随着保水剂吸水次数的增多,保水剂粒径越小,吸水能力降低的幅度越大[29-30,47-48]。保水剂施入土壤后,保水剂吸水膨胀、释水收缩过程中土壤中的固、液、气三相组成发生不同程度的变化,土壤液相组成比例(相

当于毛管孔隙度)相对增加,固相、气相组成比例则相对减少,即土壤孔隙增加,利于降水入渗,增加土壤水分[11-12],降低土壤容重[29-30,47-48]。供试的 3 种不同粒径保水剂,粉末状的粒径偏小,前期吸水速率高,吸水量较大,因而在烤烟还苗期土壤水分较高,由于易受到土壤离子及本身结构等的影响,故随着吸水膨胀、释水收缩次数的增多,吸水保水的能力逐渐减弱,对土壤水分、土壤容重的影响力降低,土壤水分在烤烟打顶期略低于对照,0—20 cm 及 20—40 cm 土层土壤容重略低于对照并与对照无显著差异;颗粒状的粒径偏大,不易发生凝胶网络体积相变,抗土壤离子等的干扰能力较强,因而颗粒状保水剂在烤烟采收后的土壤水分较高,但由于颗粒状保水剂的粒径偏大,吸收水分膨胀后易堵塞土壤部分大孔隙,降低降水入渗且保存的土壤水分有限[8,35],且粒径较大,吸水膨胀度易受土壤颗粒的挤压,吸水保水量相对较少,因而颗粒状保水剂的土壤水分在烤烟生长前期处于较低水平且土壤容重与对照无显著差异(略低于对照);细颗粒状保水剂的粒径较适中,除在还苗期的土壤水分略低于粉末状外,土壤水分一直处于较高水平且土壤容重显著低于对照,这与马鑫等人的研究结果相一致[29]。

3.2 不同粒径保水剂对烤烟生长及品质的影响

土壤颗粒是土壤养分吸附及贮存场所,土壤孔隙是土壤水分贮存场所和空气传导通道,土壤物理性质决定土壤的保水、保肥性,影响植物生长所需的水、肥、热、气等土壤环境[50]。保水剂不但可提高土壤团聚体,提高土壤通气性及土壤水分和养分的利用效率[13-17],而且保水剂的聚合物"骨架"是一个适度交联的网状结构,可让一些小分子或离子如 $CO(NH_2)_2$,NH_4^+ 和 NO_3^- 扩散进入,暂时被溶胀的保水剂分子包裹起来;保水剂也可通过静电引力、范德华力、离子交换、离子吸附、螯合等机制与土壤颗粒表面的活性基团或离子发生相互作用,通过创建和稳定水稳性团粒结构吸附土壤养分,延缓土壤养分释放,抑制土壤养分流失[13-17,49]。施用保水剂后,土壤的保水性、通气性及保肥能力增强,为烤烟生长提供良好的土壤环境[13-19],促进烤烟生长[35-41]。不同粒径的保水剂中,细颗粒状的保水剂不但吸附、保持的土壤水分较多,而且对土壤的通气性影响较大,缓解干旱胁迫的能力较强,能有效提高烤烟根系活力,促进烤烟生长发育,因而细颗粒状保水剂烤烟产量较高,单位面积产值高。

烤烟的生长发育、产量和品质由遗传因素、生态环境和栽培因素共同决定。其中生态环境是影响烤烟生长发育的重要因素,气候、土壤等生态环境因素的变化均会对烤烟的产量和品质产生较大影响[2,50]。生物碱和糖含量是烟叶的重要质量要素,直接影响烟草的生理强度、烟气特征和安全性[50]。烤烟第一朵中心花开时根系开始合成烟碱,烟碱的大量合成和积累主要出现在打顶之后[51]。根系是烤烟吸收土壤水分、养分及合成植物激素、烟碱和部分氨基酸的主要器官,影响烤烟产量与品质[52]。与温度、光照等气候因子相比,土壤水分对烤烟烟碱含量的影响最大[51]。莲座期和旺长期保持良好的土壤水分,烤烟才能健康生长发育[4-5]。团棵期和旺长期,施用保水剂提高了土壤中的水分,降低了土壤容重,改善了土壤的通透环境,特别是细粒状保水剂,对土壤水分及土壤通透性影响较大,利于促进烤烟根系生长和植株发育,提高烤烟总糖、还原糖的含量,降低烟碱、总氮和氯离子的含量,促进化学成分协调,改善烟叶品质[50]。成熟期适度干旱对烤烟品质有很大的促进作用[4-5],粉末状保水剂在烤烟生长前期提高土壤水分,在烤烟生长后期则对土壤水分影响较弱,而颗粒状保水剂在烤烟生长后期对土壤水分影响较强,且颗粒状保水剂颗粒较大,吸水膨胀后影响土壤通透性,不利于作物根系生长[8,35,53],故粉末状保水剂上等烟的比例高于对照,颗粒状保水剂则略低于对照且其烤烟产量略低于细颗粒状保水剂。

保水剂不但可吸附 K^+,Ga^{2+},Mg^{2+} 等阳离子,而且可包裹 NO_3^-,Cl^- 等阴离子,提高土壤养分含量,减少土壤养分淋溶,因而施用保水剂提高了烟叶中总氮、钾及氯含量。施用保水剂改善了土壤的水分及通气环境,减少土壤养分流失,促进烤烟根系生长,而烟碱合成与根系生长密切相关,因而施用保水剂提高了烤烟烟碱含量,提高烤烟总糖及还原糖含量,并促使糖碱比、氮碱比等处于适宜范围内。细颗粒状保水剂对土壤水分、土壤容重等影响较大,故提高烟碱、总氮、钾及氯的能力较强,粉末状保水剂在烤烟生长前期对土壤水分影响较大而后期较小,对烤烟糖分积累有促进作用[2-5],因而提高了总糖及还原糖的含量。不同处理的钾、氯含量较低,钾氯比较高,主要是由于当地土壤中钾、氯含量较低造成的[54]。

4 结 论

(1) 不同粒径保水剂均可提高秦巴山区坡地黄棕壤烟田的土壤水分,除还苗期粉末状保水剂 0—40 cm 土层土壤水分略高于细颗粒状保水剂外,从团棵期到采收后,细颗粒状保水剂的土壤水分均高于颗粒状、粉末状保水剂及对照。不同粒径保水剂均可降低

烟田 0—20 cm 土层及 20—40 cm 土壤容重,其中细颗粒状保水剂降低幅度较大。

(2) 不同粒径保水剂均可促进烤烟生长,提高烤烟产量与产值,其中细颗粒状保水剂对烤烟最大叶片、根系生长、产量及产值影响较大,但粉末状保水剂对上等烟的比例影响较大。

(3) 不同粒径保水剂均可提高烤烟中的烟碱、总糖、还原糖、总氮、钾及氯的含量,并使糖碱比、氮碱比处于适宜水平。不同粒径保水剂中,细颗粒状保水剂对烟碱、总氮、钾及氯的影响较大,粉末状保水剂对总糖和还原糖影响较大。

秦巴山区黄棕壤烟田施用聚丙烯酸钾保水剂应选用细颗粒状的聚丙烯酸钾保水剂,不但可提高土壤水分,降低土壤容重,而且可提高烤烟产量、产值及品质。

[参 考 文 献]

[1] 张喜峰,张立新,高梅,等. 不同氮肥形态和腐殖酸对陕西典型生态区烤烟化学成分和产质量的影响[J]. 草业学报,2013,22(6):60-67.

[2] 李小芳,赵鹏,张向荣,等. 生育期气候因子对陕西安康烟区烤烟产量、质量的影响[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版,2015,43(9):97-102.

[3] 崔保伟,陆引罡,张振中,等. 不同生育期水分胁迫对烤烟生理特性及化学品质的影响[J]. 中国烟草科学,2009,30(3):19-23.

[4] 汪耀富,韩锦峰,林学梧. 烤烟生长前期对干旱胁迫的生理生化响应研究[J]. 作物学报,1996,22(1):117-121.

[5] 汪耀富,孙德梅,徐传快,等. 干旱胁迫下氮用量对烤烟养分积累与分配及烟叶产量和品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2004,10(3):306-311.

[6] Sojka R E, Bjorneberg D L, Entry J A, et al. Polyacrylamide in agriculture and environmental land management [J]. Advances in Agronomy, 2007,92:75-162.

[7] Silberbush M, Adar E, De Malach Y. Use of an hydrophilic polymer to improve water storage and availability to crops grown in sand dunes I. Corn irrigated by trickling[J]. Agricultural Water Management, 1993,23(4):303-313.

[8] 杨永辉,吴普特,武继承,等. 保水剂对冬小麦不同生育阶段土壤水分及利用的影响[J]. 农业工程学报,2010,26(12):19-26.

[9] 党秀丽,张玉龙,黄毅. 保水剂对土壤持水性能影响的模拟研究[J]. 农业工程学报,2005,21(4):191-192.

[10] Helalia A, Letey J. Cationic polymer effects on infiltration rates with a rainfall simulator[J]. Soil Science Society of America Journal, 1987,52(1):247-250.

[11] 白文波,李茂松,赵虹瑞,等. 保水剂对土壤积水入渗特征的影响[J]. 中国农业科学,2010,43(24):5055-5062.

[12] 白文波,宋吉青,李茂松,等. 保水剂对土壤水分垂直入渗特征的影响[J]. 农业工程学报,2009,25(2):18-23.

[13] Mikkelsen L R. Using hydrophilic polymers to control nutrient release[J]. Fertilizer Research, 1994, 38(1):53-59.

[14] Terry, Richard E, Nelson, et al. Effects of polyacrylamide and irrigation method on soil physical properties [J]. Soil Science, 1986,141(5):317-320.

[15] 苟春林,王新爱,李永胜,等. 保水剂与氮肥的相互影响及节水保肥效果[J]. 中国农业科学,2011,44(19):4015-4021.

[16] 杜建军,苟春林,崔英德,等. 保水剂对氮肥氨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.

[17] 岳征文,王百田,王红柳,等. 复合营养长效保肥保水剂应用及其缓释节肥效果[J]. 农业工程学报,2011,27(8):56-62.

[18] 黄占斌,孙朋成,钟建,等. 高分子保水剂在土壤水肥保持和污染治理中的应用进展[J]. 农业工程学报,2016,32(1):125-131.

[19] 廖人宽,杨培岭,任树梅. 高吸水树脂保水剂提高肥效及减少农业面源污染[J]. 农业工程学报,2012,28(17):1-10.

[20] Guiwei Q, Varennes A D, Martins L L, et al. Improvement in soil and sorghum health following the application of polyacrylate polymers to a Cd-contaminated soil[J]. Journal of Hazardous Materials, 2010,173(1/3):570-575.

[21] Woodhouse J, Johnson M S. Effect of super absorbent polymers on survival and growth of crop seedlings [J]. Agricultural Water Management, 1991,20(1):63-70.

[22] Hüttermann A, Zommorodi M, Reise K. Addition of hydrogels to soil for prolonging the survival of *Pinus halepensis* seedlings subjected to drought[J]. Soil and Tillage Research, 1999,50(3/4):295-304.

[23] Yazdani F, Allahdadi I, Akbari G A. Impact of superabsorbent polymer on yield and growth analysis of soybean(*Glycine max* L.) under drought stress condition [J]. Pakistan Journal Biologic Science, 2007,10(23):4190-4196.

[24] Li Biao, Ni Jing, Wang Jinhua, et al. Effect of water-retaining agent on growth and development of three local legumes on lead-zinc tailings of Lanping[J]. Advanced Materials Research, 2012,518/523:1744-1748.

[25] 庄文化,冯浩,吴普特. 土壤中施用聚丙烯酸钠保水剂对冬小麦生长及产量影响[J]. 农业工程学报,2008,24(5):37-41.

[26] 杜社妮,白岗栓,赵世伟,等. 沃特和 PAM 保水剂对土

壤水分及马铃薯生长的影响研究[J]. 农业工程学报，2007，23(8)：72-79.

[27] 井大炜，邢尚军，刘方春，等. 保水剂施用方式对侧柏根际微生态环境的影响[J]. 农业机械学报，2016，47(5)：146-154.

[28] 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.

[29] 马鑫，魏占民，于健，等. 保水剂粒径与不同质地土壤吸、失水特性的相关关系[J]. 水土保持学报，2014，28(1)：270-275.

[30] 崔娜，张玉龙，白丽萍. 不同粒径保水剂对土壤物理性质和番茄苗期生长的影响[J]. 核农学报，2011，25(1)：127-130.

[31] Yu J，Shainberg I，Yan Y L，et al. Super absorbents and semiarid soil properties affecting water absorption [J]. Soil Science Society of America Journal，2011，75(6)：2305-2313.

[32] Yu Jian，Shi Jigang，Dang Pengfei，et al. Soil and polymer properties affecting water retention by super absorbent polymers under drying conditions[J]. Soil Science Society of America Journal，2012，76(5)：1758-1767.

[33] 闫永利，于健，魏占民，等. 土壤特性对保水剂吸水性能的影响[J]. 农业工程学报，2007，23(7)：76-79.

[34] 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[J]. 环境科学，2014，35(1)：394-400.

[35] 陈芳泉，邵惠芳，崔登科，等. 保水剂对烟草生理特性的影响[J]. 中国农业科技导报，2017，19(1)：51-57.

[36] 赵铭钦，赵进恒，张迪，等. 保水剂对烤烟光合特性日变化的影响[J]. 中国农业科学，2010，43(6)：1265-1273.

[37] 侯毛毛，邵孝侯，陈竞楠，等. EM保水剂施用对烤烟的影响及其施用制度的优选研究[J]. 中国生态农业学报，2016，24(5)：628-636.

[38] 王玉萍，房军. 烤烟栽培保水抗旱技术研究[J]. 西南农业学报，2009，22(6)：1542-1545.

[39] 彭菊，王文华，林焕新，等. 施用不同用量保水剂对烟草农艺性状、产量及品质的影响[J]. 耕作与栽培，2014(5)：4-5，33.

[40] 徐露，张丹，青会，等. 保水剂结合黑麦草绿肥对烟田土壤的改良效应及烤烟品质的影响[J]. 山地学报，2017，35(5)：727-733.

[41] 刘世亮，刘芳，化党领，等. 抗旱保水剂对烤烟生长及品质的影响研究[J]. 干旱地区农业研究，2007，25(4)：109-113.

[42] 徐天养，赵正雄，李忠环，等. 耕作深度对烤烟生长、养分吸收及产量、质量的影响[J]. 作物学报，2009，35(7)：1364-1368.

[43] 王瑞新. 烟草化学[J]. 北京：中国农业出版社，2003.

[44] 童文杰，邓小鹏，徐照丽，等. 不同耕作深度对土壤物理性状及烤烟根系空间分布特征的影响[J]. 中国生态农业学报，2016，24(11)：1464-1472.

[45] 王发勇，袁清华，廖宜树，等. 栽培措施对烤烟生育进程的影响研究进展[J]. 中国烟草科学，2016，37(2)：89-94.

[46] 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.

[47] 李兴，蒋进，宋春武，等. 不同粒径保水剂吸水特性及其对土壤物理性能的影响[J]. 干旱区研究，2012，29(4)：609-614.

[48] 李晶晶，白岗栓. 保水剂在水土保持中的应用及研究进展[J]. 中国水土保持科学，2015，10(1)：114-120.

[49] Sadeghi M，Hosseinzadeh H. Swelling behavior of a novel protein-based super absorbent hydrogel composed of poly(math acrylic acid) and collagen[J]. Asian Journal of Chemistry，2010，22(9)：6743-6746.

[50] 谢志坚，涂书新，张嵌，等. 影响烤烟烟碱合成与代谢的因素及其机理分析[J]. 核农学报，2014，28(4)：714-719.

[51] 郭培国，陈建军，李荣华. pH值对烤烟根系活力及烤后烟叶化学成分的影响[J]. 中国农业科学，2000，33(1)：39-45.

[52] 钟秋瓒，郭伟，肖先仪，等. 保水剂对烤烟生长及产量的影响[J]. 广东农业科学，2014(19)：18-22.

[53] 赵陟峰，王冬梅，赵廷宁. 保水剂对煤矸石基质上高羊茅生长及营养吸收的影响[J]. 生态学报，2013，33(16)：5101-5108.

[54] 张喜峰，张立新，高梅，等. 不同移栽期对陕南烤烟氮钾含量、光合特性及经济性状的影响[J]. 中国烟草科学2013，34(4)：20-24.