

## 不同保水剂对土壤特性及烤烟生长的影响

白岗栓<sup>1</sup> 何登峰<sup>2</sup> 耿伟<sup>3</sup> 杜社妮<sup>1</sup> 黄仲江<sup>4</sup>

(1. 西北农林科技大学 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100;

2. 陕西省烟草公司, 西安 710065;

3. 安康市烟草公司旬阳分公司, 陕西 旬阳 725700;

4. 陕西中烟工业公司 宝鸡卷烟厂, 陕西 宝鸡 721000)

**摘要** 为提高秦巴山区黄棕壤烟田的土壤性能,减少季节性干旱对烤烟生长的影响,以不施保水剂为对照,在烟田整地起垄前分别施入聚丙烯酸钾(K-PAM)、聚丙烯酰胺(PAM)和腐殖酸钾(KHm)3种保水剂,测定施用不同保水剂后的土壤容重、土壤水分和烤烟生长状况、常规化学成分及经济性状。结果表明,聚丙烯酸钾和聚丙烯酰胺保水剂均降低0~40 cm土层土壤容重,在烤烟旺长期提高0~40 cm土层土壤水分。不同保水剂均可提高烤烟常规化学成分含量,其中腐殖酸钾保水剂显著降低烤烟的糖碱比和氮碱比。聚丙烯酸钾保水剂提高烤烟的产量、产值、上等烟比例及净增产值,而聚丙烯酰胺和腐殖酸钾保水剂处理组则降低烤烟的净增产值。因此,建议秦巴山区黄棕壤烟田选用聚丙烯酸钾类保水剂。

**关键词** 保水剂; 土壤容重; 土壤水分; 烤烟生长状况; 烤烟品质

中图分类号 S572; S156 文章编号 1007-4333(2020)10-0031-13 文献标志码 A

## Effects of different super absorbent polymer on soil characteristics and flue-cured tobacco growth

BAI Gangshuan<sup>1</sup>, HE Dengfeng<sup>2</sup>, GENG Wei<sup>3</sup>, DU Shen<sup>1</sup>, HUANG Zhongjiang<sup>4</sup>

(1. Institute of Soil and Water Conservation, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling 712100, China;

2. Tobacco Company of Shaanxi Province, Xi'an 710065, China;

3. Xunyang County Branch Company of Ankang City Tobacco Company, Xunyang 725700, China;

4. Baoji Cigarettes Factory, China Tobacco Shaanxi Industrial Corporation, Baoji 721000, China)

**Abstract** In order to improve the soil characteristics of tobacco field with yellow brown soil in Qinba mountain area, and reduce the effect of seasonal drought on the growth of flue-cured tobacco, taking no super absorbent polymer as control, potassium polyacrylate (K-PAM), polyacrylamide (PAM) and potassium humate (KHm) super absorbent polymers respectively were applied before ridging, the effects of different super absorbent polymers on soil bulk density, soil moisture and the growth, conventional chemical composition, economic characteristics of flue-cured tobacco were monitored. The results showed that K-PAM and PAM decreased soil bulk density in 0–40 cm soil layer, and increased soil moisture in 0–40 cm soil layer during tobacco flourishing growth stage. The content of conventional chemical components in flue-cured tobacco can be improved by different super absorbent polymers, among which KHm significantly reduced the ratio of sugar to nicotine and the ratio of nitrogen to nicotine of the flue-cured tobacco. K-PAM increased the yields, output value, the proportion of superior tobacco and the net output value, while PAM and KHm decreased the net output value of flue-cured tobacco. Therefore, it is suggested that K-PAM should be used in the tobacco field with yellow brown soil in Qinba Mountain area.

收稿日期: 2019-04-15

基金项目: 中国烟草总公司陕西省公司资助

作者简介: 白岗栓, 研究员, 主要从事农田生态方面研究, E-mail: gshb@nwsuaf.edu.cn

Keywords super absorbent polymer; soil bulk density; soil moisture; growth of flue-cured tobacco; quality of flue-cured tobacco

秦巴山区位居汉江上游,海拔较高且光照充足,为陕西省优质烤烟(*Nicotiana tabacum* L.)生产基地<sup>[1]</sup>。秦巴山区土壤主要为黄棕壤和黄褐土,土层薄,蓄水保水能力差,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<sup>[2-5]</sup>。保水剂(Super absorbent polymers, SAP)具有超高的吸水能力和保水能力,能在土壤中形成“小水库”<sup>[6-7]</sup>,促进降水入渗<sup>[8-10]</sup>,减少地表径流,改善土壤团粒结构,降低土壤容重,提高土壤通透性,提高土壤养分和水分的利用效率<sup>[11-13]</sup>,减少环境污染<sup>[14-15]</sup>,促进作物生长<sup>[16-20]</sup>,但保水剂的应用效果与其种类、土壤质地、施用量、粒径和施用方法等密切相关<sup>[21-25]</sup>,施用不当会对土壤及作物产生不良影响<sup>[26]</sup>。保水剂可提高烤烟的光合能力、产量与品质,减少干旱对烤烟生长带来的不良影响<sup>[27-32]</sup>。有关保水剂粒径、施用量对秦巴山区黄棕壤土壤水分及烤烟生长的研究已有报道<sup>[33-34]</sup>,但有关秦巴山区黄棕壤适宜的保水剂种类未见报道。本研究于2017年监测聚丙烯酸钾、聚丙烯酰胺和腐殖酸钾3种保水剂对秦巴山区黄棕壤的土壤容重、土壤水分及烤烟生长的影响,旨在缓解该地区烤烟团棵期到旺长期的季节性干旱对烤烟生长带来的不良影响,以期秦巴山区黄棕壤烟田提供适宜的保水剂种类。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验区概况

试验地位于陕南秦巴山区旬阳县神河镇黑沟村,为北亚热带温暖湿润气候区,东经 $109^{\circ}26'$ ,北纬 $32^{\circ}43'$ ,海拔537 m,年均气温 $15.4^{\circ}\text{C}$ ,日照时数1790.4 h,无霜期236 d,降雨量851 mm,蒸发量1252.8 mm,坡度 $8^{\circ}$ 左右。试验地土壤为黄棕壤,土层厚度60~70 cm,耕层(0~20 cm土层)土壤有机质为 $18.10\text{ g/kg}$ ,速效氮为 $60.24\text{ mg/kg}$ ,速效磷为 $22.46\text{ mg/kg}$ ,速效钾为 $134.24\text{ mg/kg}$ ,pH 6.4,物理性粘粒为47.90%(质量百分数),粘粒为17.30%(质量百分数)。试验地前茬作物为玉米(*Zea Mays*),为雨养烟田。

### 1.2 供试材料

供试保水剂分别是聚丙烯酸钾(Potassium polyacrylate, K-PAM)、聚丙烯酰胺(Polyacrylamide,

PAM)和腐殖酸钾(Potassium humate, KHm)保水剂。

聚丙烯酸钾保水剂为细粒状,粒径1.25~2.25 mm,三维立体网状结构,其中丙烯酸钾含量为230~260 g/kg,在0.9 g/kg的NaCl溶液中的吸水倍数为100~150,在去离子水中的吸水倍数为300~500,价格为18.0元/kg,购于山东省唯信农业科技有限公司。

聚丙烯酰胺保水剂为粉末状,粒径为0.11~0.64 mm,线性结构,分子量为 $18\times 10^6$ ,阴离子型,水解度为30%~32%(水解度是阴离子聚丙烯酰胺在水解过程中分子中的氨基转化为羧基的百分比),在质量含量为9.0 g/kg的NaCl溶液中的吸水倍数为80~100,在去离子水中的吸水倍数 $\geq 500$ ,价格为15.0元/kg,购于山东省唯信农业科技有限公司。

腐殖酸钾保水剂为颗粒状,粒径2.25~3.25 mm,含腐植酸钾40%左右,在质量含量为9.0 g/kg的NaCl溶液中的吸水倍数为50~60,在去离子水中的吸水倍数为200~300,价格为10.0元/kg,由山东华潍公司提供。

### 1.3 试验设计

试验以不施保水剂为对照,根据2016年的试验结果,聚丙烯酸钾保水剂的适宜施用量为 $60.0\text{ kg/hm}^2$ ,聚丙烯酰胺保水剂为 $30.0\text{ kg/hm}^2$ ,腐殖酸钾保水剂为 $150.0\text{ kg/hm}^2$ 。供试烤烟为‘云烟87’,采用单行起垄栽培,垄距(行距)110 cm,垄高30 cm左右,垄面宽20 cm,株距55 cm。每个小区宽4.4 m,长11.0 m,定植4行烤烟,每行20株。试验重复3次,共12个小区,不同小区随机排列。

不同保水剂均采用垄施,即在起垄前(2017年4月1日)条施基肥时将不同保水剂分别与适量干细土搅拌均匀,均匀撒施于不同小区,然后整地起垄,促使保水剂均匀混施于垄体土壤中。起垄后等待下雨,4月24—25日降雨量达35 mm,4月28日对垄体进行地膜覆盖。

供试烤烟采用基质育苗,5叶1心,5月1日采用井窖式移栽。不同处理的施肥量N为 $65.0\text{ kg/hm}^2$ , $\text{P}_2\text{O}_5$ 为 $65.0\text{ kg/hm}^2$ , $\text{K}_2\text{O}$ 为 $97.5\text{ kg/hm}^2$ ,其中60%氮肥作为基肥,40%作为追肥;30%钾肥作为基肥,70%作为追肥;磷肥全部作为基肥。基肥在起垄

前条施,追肥在烤烟旺长初期进行(即移栽后 40 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 测定指标

**降水量:** 试验地旁设有自动雨量监测器,监测试验期间的降水量。

**土壤容重:** 在烤烟生长的不同时期,每个小区在相邻烟株之间的垄面上(起垄前为平地)随机选择 3 个采样点,环刀法测定 0~20 和 20~40 cm 土层土壤容重。

**土壤水分:** 在烤烟生长的不同时期,每个小区在相邻烟株之间的垄面上随机选择 3 个采样点,10 cm 土层为一层,分层取 0~60 cm 土层土壤,烘干法测定土壤含水率( $w$ ),%。

**农艺性状:** 按照《烟草农艺性状调查测量方法》(YC/T142—2010 标准)<sup>[35]</sup>,在烤烟生长的不同时期,每个小区随机选取烟株 3 株,测量烟株上部、中部和下部最大叶长、最大叶宽和株高、茎围及有效叶数,并计算最大叶面积,cm<sup>2</sup>。

最大叶面积 = 叶长 × 叶宽 × 0.634 5

**经济性状:** 以小区烟株为基础,换算出单位面积烤烟产量。根据《中华人民共和国国家标准》(GB2635—92)<sup>[36]</sup>对烤烟进行分级,并根据当地烤

烟收购价格,计算不同小区烤烟均价、产值及净增产值等。

**烤烟常规化学成分:** 烤烟烘烤后选择中桔三(C3F)粉碎后过 40 目筛,总氮用凯氏定氮法、总糖用蒽酮比色法、还原糖用 3,5-二硝基水杨酸比色法、烟碱采用紫外分光光度法、钾用火焰光度计法、氯用莫尔法测定,并根据测试结果计算氮碱比、糖碱比和钾氯比<sup>[37]</sup>。

#### 1.5 数据处理

试验数据采用 SPSS 19.0 进行单因素方差分析,差异显著性比较采用 Duncan 检验。

## 2 结果与分析

### 2.1 试验期间的降水量

起垄(2017 年 4 月 1 日)至烤烟采收后(2017 年 9 月 22 日)175 d 共计降水 1 062.30 mm,日均降水 6.57 mm;烤烟移栽期(5 月 1 日)至第二次采收期(7 月 20 日)81 d 降水 547.30 mm,日均降水 6.76 mm。试验期间的降水量高于往年,但移栽期至还苗期、团棵期至旺长期多以雷阵雨或暴雨的形式出现,不利降水入渗,而还苗期至团棵期日均降水仅 2.26 mm(图 1),影响烤烟生长发育<sup>[2-5]</sup>。

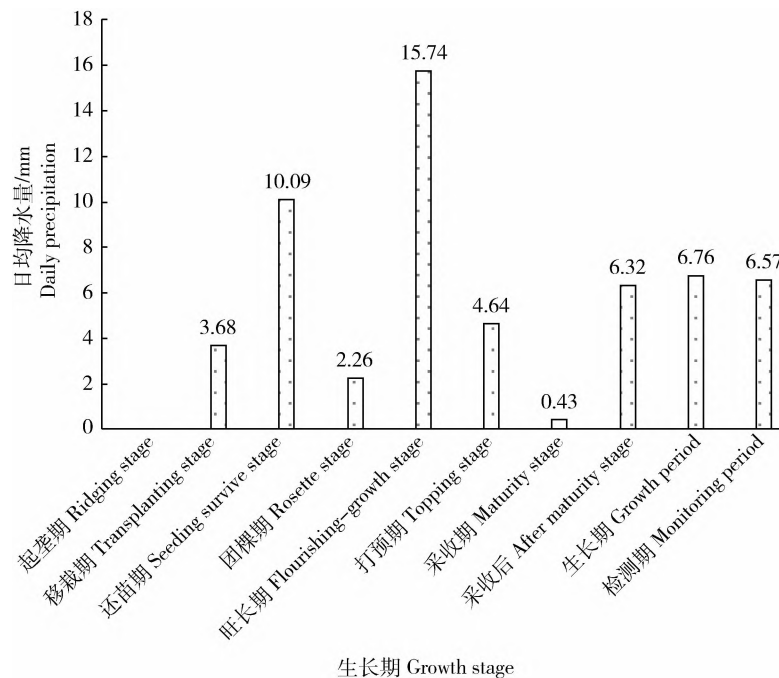


图 1 试验监测期间不同生长期的日均降水量

## 2.2 不同处理对土壤容重的影响

土壤的物理结构、透水性、透气性以及保水保肥能力与土壤容重密切相关<sup>[6-9]</sup>。由表1可知,起垄前不同处理的土壤容重相同,表层0~20 cm土层较轻,>20~40 cm土层较重。

还苗期至采收后,0~20和>20~40 cm土层

土壤容重均表现为聚丙烯酸钾和聚丙烯酰胺处理组的显著低于( $P<0.05$ )对照,腐殖酸钾处理组与对照处于同一水平(表1)。随着保水剂的吸水膨胀、释水收缩及人为耕作、雨滴击打等的影响,保水剂对土壤容重的影响力逐渐减弱,不同处理组的土壤容重均缓慢上升<sup>[33-34]</sup>。

表1 不同处理不同生长期的土壤容重

Table 1 Soil bulk density of different treatments in different growth stages

cm<sup>3</sup>

生育时期 Growth stage	处理 Treatment	土层深度/cm Soil depth		生育时期 Growth stage	处理 Treatment	土层深度/cm Soil depth	
		0~20	>20~40			0~20	>20~40
起垄前 Before ridging stage	CK	1.21 a	1.23 a	还苗期 Seedling survive stage	CK	1.17 a	1.19 a
	聚丙烯酸钾 K-PAM	1.21 a	1.23 a		聚丙烯酸钾 K-PAM	1.11 b	1.13 b
	聚丙烯酰胺 PAM	1.21 a	1.23 a		聚丙烯酰胺 PAM	1.11 b	1.13 b
	腐殖酸钾 KHm	1.21 a	1.23 a		腐殖酸钾 KHm	1.13 ab	1.15 ab
旺长期 Flourishing growth stage	CK	1.19 a	1.21 a	采收后 After maturity stage	CK	1.20 a	1.22 a
	聚丙烯酸钾 K-PAM	1.12 b	1.14 b		聚丙烯酸钾 K-PAM	1.13 b	1.15 b
	聚丙烯酰胺 PAM	1.13 b	1.15 b		聚丙烯酰胺 PAM	1.14 b	1.16 b
	腐殖酸钾 KHm	1.14 ab	1.17 ab		腐殖酸钾 KHm	1.15 ab	1.17 ab

注:同列不同小写字母表示不同处理同一生育时期存在显著( $P<0.05$ )差异。下同。

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant difference ( $P<0.05$ ) between different treatments at same growth stage. The same below.

## 2.3 不同处理对土壤水分的影响

土壤水分是烤烟生长发育的基础,影响烤烟的产量及品质<sup>[2-5]</sup>。起垄前不同处理均未施用保水剂,不同处理的土壤水分基本一致。移栽期至还苗期降水量较多,日均达10.09 mm,但降水形式主要是雷阵雨和暴雨,流失量大且不易入渗,0~60 cm土层土壤水分表现为聚丙烯酸钾处理组的略高,聚丙烯酰胺和腐殖酸钾处理组的居中,对照略低,不同处理组之间无显著差异。烤烟还苗期至团棵期降水量较少,日均仅2.26 mm,不同处理0~60 cm土层土壤水分表现为聚丙烯酸钾处理略高,对照居中,腐殖酸钾与聚丙烯酰胺处理略低,不同处理处于同一水平。烤烟团棵期到旺长期降水量多,日均高达15.74 mm,聚丙烯酸钾和聚丙烯酰胺处理组0~40 cm土层土壤水分均显著高于( $P<0.05$ )对照;腐殖酸钾处理组>10~20 cm土层和>30~40 cm土层的土壤水分显著高于对照( $P<0.05$ ),不同处理其他土层之间均无显著差异。旺长期至打顶期降水量略少,日

均4.64 mm,不同处理的土壤水分表现为聚丙烯酸钾处理的略高,聚丙烯酰胺和腐殖酸钾处理的居中,对照略低,不同处理之间无显著差异。打顶期到采收期日均降水量仅为0.43 mm,不同处理的土壤水分表现为聚丙烯酸钾处理组略高,腐殖酸钾与聚丙烯酰胺处理组居中,对照略低,不同处理之间无显著差异。采收期到采收后日均降水量为6.32 mm,不同处理的土壤水分表现为腐殖酸钾处理略高,聚丙烯酸钾与聚丙烯酰胺处理居中,对照略低,不同处理处于同一水平(表2)。聚丙烯酰胺处理在烤烟生长前期对土壤的保水作用较好,腐殖酸钾处理在烤烟生长后期较好,而聚丙烯酸钾处理在烤烟整个生长期均较好。

## 2.4 不同处理对烤烟生长的影响

团棵期聚丙烯酸钾、聚丙烯酰胺和腐殖酸钾处理组的烟草株高显著高于对照( $P<0.05$ ),现蕾期和园顶期则与对照无显著差异。团棵期和现蕾期聚丙烯酰胺处理组的烤烟茎围显著高于对照( $P<0.05$ ),

表 2 不同处理不同生长期的土壤水分含量  
Table 2 Soil moisture of different treatments of flue-cured tobacco in different growing stages

生育时期 Growth stage	处理 Treatment	土层深度/cm Soil depth						平均 Average
		0~10	>10~20	>20~30	>30~40	>40~50	>50~60	
起垄前	CK	18.24 a	22.38 a	20.74 a	19.86 a	20.12 a	20.43 a	20.30 a
	聚丙烯酸钾 K-PAM	18.26 a	22.34 a	20.73 a	19.86 a	20.16 a	20.43 a	20.30 a
	聚丙烯酰胺 PAM	18.26 a	22.36 a	20.75 a	19.84 a	20.14 a	20.43a	20.30 a
	腐殖酸钾 KHm	18.24 a	22.37 a	20.74 a	19.85 a	20.15 a	20.44a	20.30 a
还苗期	CK	16.74 a	17.16 a	17.28 a	17.38 a	17.46 a	17.49a	17.25 a
	聚丙烯酸钾 K-PAM	17.26 a	17.46 a	17.52 a	17.56 a	17.56 a	17.57a	17.49 a
	聚丙烯酰胺 PAM	16.95 a	17.34 a	17.42 a	17.46 a	17.43 a	17.46a	17.34 a
	腐殖酸钾 KHm	16.86 a	17.26 a	17.34 a	17.43 a	17.49 a	17.51a	17.32 a
团棵期	CK	13.45 a	14.23 a	14.53 a	14.62 a	15.04 a	15.32 a	14.53 a
	聚丙烯酸钾 K-PAM	13.65 a	14.35 a	14.62 a	14.68 a	15.07 a	15.34 a	14.62 a
	聚丙烯酰胺 PAM	13.36 a	14.21 a	14.32 a	14.46 a	15.03 a	15.34 a	14.45 a
	腐殖酸钾 KHm	13.37 a	14.26 a	14.35 a	14.46 a	15.04 a	15.31 a	14.47 a
旺长期	CK	21.26 b	21.04 b	20.62 b	19.62 b	19.54 a	19.43 a	20.25 b
	聚丙烯酸钾 K-PAM	22.78 a	22.84 a	22.14 a	21.46 a	20.14 a	19.98 a	21.56 a
	聚丙烯酰胺 PAM	22.43 a	22.64 a	21.86 a	21.34 a	19.84 a	19.86 a	21.33 a
	腐殖酸钾 KHm	22.14 ab	22.24 a	21.34 ab	20.86 a	19.64 a	19.46 a	20.95 ab
打顶期	CK	9.82 a	9.96 a	10.42 a	11.03 a	11.68 a	12.45 a	10.89 a
	聚丙烯酸钾 K-PAM	10.13 a	10.24 a	10.66 a	11.34 a	11.72 a	12.48 a	11.10 a
	聚丙烯酰胺 PAM	10.04 a	10.12 a	10.56 a	10.94 a	11.71 a	12.47 a	10.97 a
	腐殖酸钾 KHm	9.98 a	10.04 a	10.57 a	10.89 a	11.69 a	12.45 a	10.94 a
采收期	CK	9.36 a	9.84 a	10.33 a	10.42 a	11.16 a	11.24 a	10.39 a
	聚丙烯酸钾 K-PAM	9.64 a	10.05 a	10.45 a	10.65 a	11.24 a	11.32 a	10.56 a
	聚丙烯酰胺 PAM	9.56 a	9.98 a	10.32 a	10.45 a	11.17 a	11.32 a	10.47 a
	腐殖酸钾 KHm	9.57 a	10.03 a	10.42 a	10.51 a	11.23 a	11.31 a	10.51 a
采收后	CK	17.09 a	18.52 a	18.56 a	18.72 a	18.78 a	18.99 a	18.44 a
	聚丙烯酸钾 K-PAM	17.34 a	18.78 a	18.98 a	18.89 a	19.12 a	19.09 a	18.70 a
	聚丙烯酰胺 PAM	17.12 a	18.56 a	18.64 a	18.74 a	18.79 a	18.98 a	18.47 a
	腐殖酸钾 KHm	17.68 a	18.99 a	19.18 a	19.08 a	19.06 a	19.08 a	18.85 a

圆顶期聚丙烯酸钾、聚丙烯酰胺和腐殖酸钾处理组均显著高于对照 ( $P < 0.05$ )。团棵期、现蕾期及圆顶期不同处理组的叶片数基本一致,无显著差异(表 3)。团棵期、现蕾期及圆顶期不同处理组烤烟

上部、中部及下部的最大叶长、最大叶宽和最大叶面积之间的差异表现不一致,团棵期总体表现为聚丙烯酸钾处理组的叶片较大,依次为腐殖酸钾处理组,聚丙烯酰胺处理组,对照组最小;现蕾期和圆顶期总

表3 不同处理不同生长期的烤烟生长状况

Table 3 Growth of flue-cured tobacco with different treatments at different growth stages

生育时期 Growth stage	处理 Treatment	株高/cm Plant height	茎围/cm Stem girth	叶片数 Number of blades	最大叶长/cm Length of maximum blade			最大叶宽/cm Width of maximum blade			最大叶面积/cm <sup>2</sup> Area of maximum blade		
					上部 Upper	中部 Middle	下部 Lower	上部 Upper	中部 Middle	下部 Lower	上部 Upper	中部 Middle	下部 Lower
					CK	45.5 b	7.6 b	13.9 a	37.7 a	55.9 a	41.3 a	19.1 b	31.7 a
聚丙烯酰胺 K-PAM	48.1 a	7.8 ab	14.0 a	39.6 a	56.4 a	41.9 a	20.8 a	32.0 a	23.7 ab	522.62 Aa	1 145.15 a	630.08 Aab	
聚丙烯酰胺 PAM	48.0 a	8.1 a	14.3 a	38.1 a	55.6 a	40.8 a	20.9 a	32.1 a	24.8 a	505.25 ABa	1 132.43 a	642.01 Aa	
腐殖酸钾 KHm	48.0 a	7.9 ab	14.0 a	39.5 a	56.0 a	41.0 a	20.6 a	32.2 a	23.5 b	516.29 Aa	1 144.13 a	562.14 Bc	
CK	137.8 a	8.7 b	28.7 a	36.8 ab	65.1 a	45.8 a	17.8 b	27.2 a	24.8 b	415.62 Bc	1 123.52 b	720.69 ABb	
聚丙烯酰胺 K-PAM	140.3 a	9.0 ab	29.0 a	37.5 ab	65.4 a	45.0 a	19.6 a	27.5 a	25.1 b	466.36 Aa	1 141.15 ab	716.67 ABb	
聚丙烯酰胺 PAM	140.7 a	9.2 a	28.0 a	38.1 a	66.7 a	43.9 a	19.4 a	28.3 a	24.6 b	468.98 Aa	1 197.69 a	685.22 Bb	
腐殖酸钾 KHm	140.5 a	9.1 ab	29.0 a	36.0 b	65.8 a	45.7 a	19.5 a	28.2 a	27.4 a	445.42 ABb	1 177.35 ab	794.51 Aa	
CK	113.4 a	9.5 b	20.8 a	52.3 a	65.1 a	50.8 b	19.1 b	28.7 a	26.7 b	633.82 Cc	1 185.48 b	860.61 Bc	
聚丙烯酰胺 K-PAM	117.7 a	10.4 a	21.0 a	54.0 a	67.0 a	52.0 b	20.7 a	29.5 a	27.7 ab	709.24 ABa	1 254.09 a	913.93 ABb	
聚丙烯酰胺 PAM	117.7 a	10.2 a	20.7 a	54.8 a	67.5 a	52.8 b	20.9 a	29.5 a	27.1 ab	726.71 Aa	1 263.45 a	907.89 Bb	
腐殖酸钾 KHm	118.7 a	10.2 a	21.0 a	52.0 a	66.3 a	56.5 a	19.6 b	29.8 a	28.2 a	646.68 BCbc	1 253.61 a	1010.95 Aa	

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。

Note: Different lowercase letters and capital letters in the same column indicate significant difference ( $P < 0.05$ ) and extremely significant difference ( $P < 0.01$ ) between different treatments at same growth stage, respectively. The same below.

体表现为腐殖酸钾处理组的烤烟叶片较大,依次为聚丙烯酰胺处理组,聚丙烯酸钾处理组,对照组最小,不同处理间存在显著( $P < 0.05$ )或极显著差异( $P < 0.01$ )(表 3)。受打顶的影响,圆顶期不同处理组的烤烟株高及叶数较现蕾期降低,但烤烟茎围及最大叶面积则增加。

## 2.5 不同处理对烤烟常规化学成分的影响

保水剂降低土壤容重,提高土壤水分,增大烤烟叶面积,对烤烟常规化学成分也产生一定影响;受土壤质地的影响,供试烤烟的钾含量低于优质烤烟,钾氯比高于优质烤烟(表 4)。

不同保水剂均提高烤烟中的烟碱、总糖、还原糖、总氮、钾及氯含量,其中腐殖酸钾和聚丙烯酰胺处理组的烟草烟碱含量极显著高于对照( $P < 0.01$ ),聚丙烯酸钾处理组显著高于对照( $P < 0.05$ ),且腐殖酸钾处理组显著高于聚丙烯酸钾处理组( $P < 0.01$ )。不同保水剂处理组的烟草总糖、还原糖、总氮、钾及氯含量之间均无显著差异。聚丙烯酸钾处理组和腐殖酸钾处理组的总糖、还原糖、钾含量显著高于对照( $P < 0.05$ )。聚丙烯酰胺处理组的总氮含量显著高于对照( $P < 0.05$ );不同保水剂处理组的氯含量均显著高于对照( $P < 0.05$ )。腐殖酸钾处理组的烤烟氮碱比显著低于对照( $P < 0.05$ )、聚丙烯酸钾处理组和聚丙烯酰胺处理组。聚丙烯酰胺处理组和腐殖酸钾处理组的烤烟糖碱比显著低于聚丙烯酸钾处理组和对照( $P < 0.05$ ),不同保水剂处理组的烤烟钾氯比均与对照无显著差异(表 4)。

## 2.6 不同处理对烤烟经济性状的影响

2017 年烤烟还苗期到团棵期、旺长期至打顶期、打顶期至采收期降水偏少,烤烟产量及上等烟的比例仅为常年的 70%左右。聚丙烯酸钾、聚丙烯酰胺和腐殖酸钾处理组的烤烟产量较对照分别提高 5.71%、0.95%和 3.08%,其中聚丙烯酸钾处理组显著高于对照( $P < 0.05$ );平均价格分别提高 6.39%、-3.05%和 -1.87%,其中聚丙烯酸钾处理组显著高于对照( $P < 0.05$ );产值分别提高 12.46%、-2.12%和 1.16%,其中聚丙烯酸钾处理组极显著高于聚丙烯酰胺处理组、腐殖酸钾处理组和对照( $P < 0.01$ )。不同保水剂中,腐殖酸钾的费用最高,聚丙烯酰胺的最低,之间存在极显著差异( $P < 0.01$ )。聚丙烯酸钾处理组极显著提高烤烟的净增产值( $P < 0.01$ ),而聚丙烯酰胺和腐殖酸钾处理组则极显著降低烤烟的净增产值( $P < 0.01$ ),见

表 5。

聚丙烯酸钾处理组的上等烟比例较对照提高 8.78%,达显著差异( $P < 0.05$ );而腐殖酸钾处理组的上等烟比例较对照降低 9.41%,显著低于对照( $P < 0.05$ );聚丙烯酰胺处理组的上等烟比例较对照降低 4.11%,略低于对照。聚丙烯酸钾、聚丙烯酰胺和腐殖酸钾处理组的中等烟比例分别较对照提高 0.42%、-1.26%和 2.79%,与对照无显著差异。聚丙烯酸钾、聚丙烯酰胺和腐殖酸钾处理组的下等烟比例分别较对照降低 16.53%、-10.41%和 -9.56%,与对照形成极显著( $P < 0.01$ )及显著差异( $P < 0.05$ )(表 5)。聚丙烯酸钾处理组提高上等烟比例,而腐殖酸钾处理组和聚丙烯酰胺处理组则降低上等烟的比例。

## 3 讨论

### 3.1 不同保水剂对土壤容重及土壤水分的影响

烤烟生长发育、产量形成和质量形成与土壤质地、土壤水分密切相关,特别是团棵期和旺长期,土壤干旱胁迫会导致烤烟产生一系列非正常的生理生化变化,影响烤烟品质与产量<sup>[3,38-40]</sup>。保水剂可吸附自身质量数百倍甚至更高的水分<sup>[7]</sup>,降低土壤容重,增加土壤孔隙度,提高土壤通透性及蓄水、保水能力<sup>[6,20,26,41]</sup>,但保水剂的应用效果与保水剂种类、施用量及土壤质地、土壤 pH 值和土壤离子浓度等密切相关<sup>[7-11]</sup>。当保水剂种类、施用量适宜时,土壤中的液相组成比例(相当于毛管孔隙度)会相对增加,固相和气相组成比例则会相对减少,可降低土壤容重<sup>[21-22,41-43]</sup>,利于降水入渗,增加土壤水分<sup>[9-10]</sup>;当保水剂种类不适宜,保水剂吸水膨胀后会阻塞土壤孔隙,增加土壤容重<sup>[20,26,41]</sup>,降低土壤通透性,不利于降水入渗,易导致土壤板结。只有适宜、适量的保水剂与所施土壤合理配合,才可吸附较多的土壤水分<sup>[26,41]</sup>。

本试验中,聚丙烯酰胺的粒径小,吸水速率快,吸水倍率高,在烤烟生长前期对土壤水分有一定的影响,但持续期短,在烤烟旺长期至打顶期对土壤水分的影响力小,且聚丙烯酰胺为线性结构,膨胀后易阻塞土壤孔隙,造成土壤板结,增加土壤容重<sup>[44]</sup>。腐殖酸钾保水剂的粒径大,吸水膨胀后会对土壤颗粒产生一定的挤压,不利于提高土壤的通透性,降低土壤容重<sup>[33]</sup>;腐殖酸钾保水剂的吸水倍率低,吸水速率慢,在烤烟生长前期难以吸附足够的水分,对土

表 4 不同处理的烤烟常规化学成分

Table 4 Conventional chemical constituents of flue-cured tobacco with different treatments

处理 Treatment	含量/(g/kg) Content								
	烟碱 Nicotine	总糖 Total sugar	还原糖 Reducing sugar	总氮 Total nitrogen	钾 Potassium	氯 Chlorine	氮碱比 Ratio of nitrogen to nicotine	糖碱比 Ratio of sugar to nicotine	钾氯比 Ratio of potassium to chloride
CK	21.6 Bd	224.0 b	203.0 b	17.6 b	17.5 b	1.37 b	0.81 a	10.37 a	12.77 a
聚丙烯酸钾 K-PAM	23.2 ABbc	237.0 a	215.0 a	18.1 ab	18.9 a	1.49 a	0.78 a	10.22 a	12.68 a
聚丙烯酰胺 PAM	24.2 Aab	234.0 ab	212.0 ab	18.8 a	18.1 ab	1.48 a	0.78 a	9.67 b	12.23 a
腐殖酸钾 KHm	24.8 Aa	236.0 a	214.0 a	18.4 ab	18.4 a	1.49 a	0.74 b	9.52 b	12.35 a
优质烤烟指标 Indicators of high-quality flue-cured tobacco	18.0~28.0	200~250	180.0~220.0	15.0~25.0	>20.0	<8.00	≤1.00	8.00~12.00	4.00~10.00

表 5 不同处理的烤烟产量、产值及等级比例

Table 5 The yields, output value and grade ratio of flue-cured tobacco with different treatments

处理 Treatment	产量/ (kg/hm <sup>2</sup> ) Yield	均价/ (元/kg) Average price	产值/ (元/hm <sup>2</sup> ) Output value	保水剂费用/ (元/hm <sup>2</sup> ) Expense of SAP	净增产值/ (元/hm <sup>2</sup> ) Net increase in output value	烤烟等级比例/% Grade ratio of flue-cured tobacco		
						上等烟 First class	中等烟 Medium	下等烟 Inferior
CK	1 450.80 b	20.36 b	29 538.29 Bb	0.00 Dd	0.00 Bb	33.37 ABb	47.70 a	18.93 Ab
聚丙烯酸钾 K-PAM	1 533.60 a	21.66 a	33 217.78 Aa	1 080.0 Bb	2 599.49 Aa	36.30 Aa	47.90 a	15.80 Bc
聚丙烯酰胺 PAM	1 464.60 ab	19.74 b	28 911.20 Bb	450.0 Cc	-1 077.09 Cc	32.00 Bb	47.10 a	20.90 Aa
腐殖酸钾 KHm	1 495.50 ab	19.98 b	29 880.09 Bb	1 500.0 Aa	-1 158.20 Cc	30.23 Bc	49.03 a	20.74 Aa



壤水分的影响能力弱,不利于烤烟生长发育;腐殖酸钾保水剂吸水及保水的有效期持续期长,在烤烟生长后期吸附较多的土壤水分,易造成烤烟徒长,不利于提高烤烟质量<sup>[33-34]</sup>。聚丙烯酸钾为三维网状结构,粒径较聚丙烯酰胺大,较腐殖酸钾小,能与土壤颗粒有效结合,降低土壤容重,增加土壤的蓄水保水能力,对土壤水分和土壤容重的影响能力相对较大且相对稳定<sup>[22,33-34]</sup>。

聚丙烯酸钾、聚丙烯酰胺和腐殖酸钾 3 种保水剂的结构及支链上的吸水官能团不同,受土壤质地和土壤离子浓度的影响也不同,且粒径越小,越易受到土壤中的阳离子干扰,降低保水剂的吸水及保水能力<sup>[6,26,41]</sup>,因而随着时间的持续,不同保水剂对土壤水分和土壤容重的影响力逐渐变小。除旺长期外,不同保水剂对烤烟土壤水分的影响均未达到显著差异,主要是烤烟生长前期降水相对较多,烤烟植株较小,消耗的土壤水分较少,土壤中含有较多的水分,造成不同保水剂的吸水及保水能力不易体现;后期降水量偏少而烤烟生长量较大,消耗土壤水分较多,保水剂难以吸收、保持足够的土壤水分;旺长期降水量多,烤烟生长量大,消耗的土壤水分较多,不同保水剂的吸水及保水能力出现差异。

### 3.2 不同保水剂对烤烟生长及常规化学成分的影响

土壤是植物生长的基础<sup>[45]</sup>。保水剂不但可提高土壤的通气性及土壤水分、养分的利用效率,提高土壤团聚体含量<sup>[11-13]</sup>,而且可吸附土壤养分,延缓土壤养分释放,抑制、减少土壤养分流失<sup>[11-13,45]</sup>。烤烟旺长期的土壤干旱对烟叶产量的影响较大<sup>[3-5]</sup>。施用保水剂在烤烟旺长期提高了烟田土壤水分,特别是烤烟旺长期至打顶期、打顶期至采收期提高土壤的保水性、通气性及保肥性,为烤烟生长提供相对良好的土壤环境<sup>[11-15]</sup>,因而促进烤烟生长<sup>[27-32]</sup>。不同保水剂中,聚丙烯酰胺为线性结构,吸水膨胀的长链尾端易堵塞土壤孔隙,对土壤水分及土壤容重的影响能力弱,缓解干旱的能力较差,而腐殖酸钾的粒径大,吸水速率慢,吸水倍数小,降水量小或降水持续时间短不易吸附足够的土壤水分,对土壤水分的影响能力弱,且腐殖酸钾的吸水、保水持续期长,在烤烟生长后期易吸附大量的土壤水分,且充分吸水膨胀后会对土壤颗粒产生一定程度的挤压,造成土壤缺氧,不利于烤烟根系生长及对土壤养分、水分的吸收<sup>[20,26,41]</sup>,而烤烟根系的生长状况往往影响烤烟的化学成分<sup>[46-47]</sup>。聚丙烯酸钾的化学成分、结构及粒

径及与秦巴山区的黄棕壤配合比较合理,不但可吸附、保持较多土壤水分,而且对土壤容重影响较大,能有效提高烤烟根系生长活力,促进烤烟生长发育<sup>[33]</sup>,提高烤烟质量、产量及产值。

烤烟的生长发育、品质及产量由遗传因素、生态环境和栽培因素共同决定<sup>[2,45]</sup>。根系是烤烟吸收土壤养分、水分及合成植物激素、烟碱和部分氨基酸的主要器官,影响烤烟品质与产量<sup>[46-47]</sup>。生物碱和糖含量直接影响烟草的生理强度、烟气特征和安全性<sup>[45]</sup>。土壤水分对烤烟根系生长发育和烟碱含量的影响最大<sup>[46-47]</sup>。团棵期和旺长期保持良好的土壤水分,烤烟根系才能健康生长发育<sup>[4-5]</sup>。烤烟根系大量合成和积累烟碱主要出现在打顶期之后<sup>[46-47]</sup>。施用保水剂改善土壤的通透环境,特别是施用聚丙烯酸钾保水剂,对土壤水分及土壤通透性影响较大,促进烤烟根系及植株的生长发育<sup>[33-34]</sup>,故提高了烤烟烟碱、总氮和氯离子的含量,增加了总糖、还原糖的含量,改善了烟叶品质<sup>[45]</sup>。成熟期适度干旱对烤烟品质有很大的促进作用<sup>[4-5]</sup>,而腐殖酸钾保水剂在烤烟生长后期则提高了土壤水分,不利于优质烤烟的形成,因而降低了上等烟的比例。

保水剂提高土壤中的水分和养分含量,改善土壤中的通气环境,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理代谢密切相关<sup>[45-47]</sup>,因而施用保水剂提高烤烟烟碱、总糖及还原糖含量,并促使氮碱比和糖碱比等处于适宜范围内。聚丙烯酸钾保水剂相对提高土壤水分,降低土壤容重,促进烤烟植株生长,从而相对增加烤烟叶片的总糖、还原糖和钾含量。不同处理组烤烟叶片的钾和氯含量都较低,钾氯比较高,主要是由于当地土壤中钾和氯含量都较低造成的<sup>[48]</sup>。

## 4 结 论

1) 聚丙烯酸钾和聚丙烯酰胺保水剂降低 0~20 和 20~40 cm 土层土壤容重,在烤烟旺长期提高 0~40 cm 土层土壤水分,其他时期则对土壤水分未产生显著影响。不同保水剂均可提高烤烟常规化学成分含量,其中腐殖酸钾保水剂显著降低了烤烟的糖碱比和氮碱比。

2) 聚丙烯酸钾保水剂处理提高了烤烟产量、产值及上等烟的比例,提高了烤烟的净增产值,而聚丙烯酰胺和腐殖酸钾保水剂降低了烤烟的净增产值。

秦巴山区黄棕壤烟田施用保水剂时,建议选用聚丙烯酸钾保水剂。

## 参考文献 References

- [1] 张喜峰, 张立新, 高梅, 韦成才, 马英明, 王平平, 耿伟. 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  
Zhang X F, Zhang L X, Gao M, Wei C C, Ma Y M, Wang P P, Geng W. Effects of different nitrogen fertilizer types and humic acid (HA) on chemical composition, yield and quality of flue-cured tobacco traits in typical ecological zones of Shaanxi Province[J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2013, 22(6): 60-67 (in Chinese)
- [2] 李小芳, 赵鹏, 张向荣, 吴莹, 张波, 杨瑾, 朱峰. 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  
Li X F, Zhao P, Zhang X R, Wu Y, Zhang B, Yang J, Zhu F. Influence of climate factors in growth period on yield and quality of flue-cured tobacco in Ankang, Shaanxi[J]. *Journal of Northwest A & F University: Natural Science Edition*, 2015, 43(9): 97-102 (in Chinese)
- [3] 崔保伟, 陆引罡, 张振中, 任钜. 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  
Cui B W, Lu Y G, Zhang Z Z, Ren K. Effect of water stress on physiological characteristic and chemical quality during different growth stage of flue-cured tobacco [J]. *Chinese Tobacco Science*, 2009, 30(3): 19-23 (in Chinese)
- [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  
Wang Y F, Han J F, Lin X W. Study on physiological and biochemical responses of flue-cured tobacco to drought stress during early growth of the plants[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 1996, 22(1): 117-121 (in Chinese)
- [5] 汪耀富, 孙德梅, 徐传快, 程玉渊. 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  
Wang Y F, Sun D M, Xu C K, Chen Y Y. Effects of nitrogen rates on accumulation and distribution of nutrients and the yield and quality of flue-cured tobacco under drought stress [J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2004, 10(3): 306-11 (in Chinese)
- [6] Sojka R E, Bjorenberg D L, Entry J A, Lentz R D. Polyacrylamide in agriculture and environmental land management [J]. *Advances in Agronomy*, 2007, 92: 75-162
- [7] 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  
Dang X L, Zhang Y L, Huang Y. Modeling of the effect of super absorbent ploymer on soil moisture[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2005, 21(4): 191-192 (in Chinese)
- [8] Helalia A M, Letey J. Cationic polymer effects on infiltration rates with a rainfall simulator [J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1988, 52(1): 247-250
- [9] 白文波, 李茂松, 赵虹瑞, 刘布春, 武永峰, 宋吉青. 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  
Bai W B, Li M S, Zhao H R, Liu B C, Wu Y F, Song J Q. Effect of super absorbent polymer on the ponding infiltration characteristics of soil water[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2010, 43(24): 5055-5062 (in Chinese)
- [10] 白文波, 宋吉青, 李茂松, 汪亚峰, 武永峰, 刘布春, 王春艳, 王秀芬. 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  
Bai W B, Song J Q, Li M S, Wang Y F, Wu Y F, Liu B C, Wang C Y, Wang X F. Effects of super absorbent polymer on vertical infiltration characteristics of soil water[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2009, 25(2): 18-23 (in Chinese)
- [11] 苟春林, 王新爱, 李永胜, 杜建军, 曲东. 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  
Gou C L, Wang X A, Li Y S, Du J J, Qu D. Interaction between water retaining agent and nitrogen fertilizers and the effect of water and fertilizer conservation [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2011, 44(19): 4015-4021 (in Chinese)
- [12] 杜建军, 苟春林, 崔英德, 曲东. 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, Qu D. 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 (in Chinese)
- [13] 岳征文, 王百田, 王红柳, 杨浩. 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  
Yue Z W, Wang B T, Wang H L, Yang H. Application of nutrient and super absorbent polymer compound and effect of fertilizer slow-release[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2011, 27(8): 56-62 (in Chinese)

Chinese)

- [14] 黄占斌, 孙朋成, 钟建, 陈雨菲. 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
- Huang Z B, Sun P C, Zhong J, Chen Y F. Application of super absorbent polymer in water and fertilizer conversation of soil and pollution management[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2016, 32(1): 125-131 (in Chinese)
- [15] 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
- Liao R K, Yang P L, Ren S M. Review on super absorbent polymer application for improving fertilizer efficiency and controlling agricultural non-point source pollutions[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2012, 28(17): 1-10 (in Chinese)
- [16] Guiwei Q, Varennes A D, Martins L L, Mourato M P, Cardoso A I, Mota A M, Pinto A P, Gonçalves M L. 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
- [17] 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
- [18] Li B, Ni J, Wang J H, Xiong Z. 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
- [19] 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
- Zhuang W H, Feng H, Wu P T. Effects of super absorbent polyer of sodium polyacrylate used in soil on the growth and yield of winter wheat[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2008, 24(5): 37-41 (in Chinese)
- [20] 杜社妮, 白岗栓, 赵世伟, 侯喜录. 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
- Du S N, Bai G S, Zhao S W, Hou X L. Effects of wote super absorbent and PAM absorbent on soil moisture and growth of potato [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2007, 23(8): 72-79 (in Chinese)
- [21] 马鑫, 魏占民, 于健, 张月鲜. 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
- Ma X, Wei Z M, Yu J, Zhang Y X. Relationship between particle of water retaining agents and characteristics of absorbing and losing water of different texture of soil[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2014, 28(1): 270-275 (in Chinese)
- [22] 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
- Cui N, Zhang Y L, Bai L P. Effects of super absorbent polymers with different granularities on soil physical properties and growth of tomato seeding [J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2011, 25(1): 127-130 (in Chinese)
- [23] Yu J, Shainberg I, Yan Y L, Shi J G. Super absorbents and semiarid soil properties affecting water absorption [J]. *Soil Science Society of America Journal*, 2011, 75(6): 2305-2313
- [24] Yu J, Shi J G, Dang P F, Mamedov A I. 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
- [25] 闫永利, 于健, 魏占民, 张俊生, 王志刚. 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
- Yan Y L, Yu J, Wei Z M, Zhang J S, Wang Z G. Effects of soil properties on water absorption of super absorbent polymers [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2007, 23(7): 76-79 (in Chinese)
- [26] 李希, 刘玉荣, 郑袁明, 贺纪正. 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
- Li X, Liu Y R, Zhang Y M, He J Z. Characterization and soil environmental safety assessment of super absorbent polymers in agricultural application[J]. *Environmental Science*, 2014, 35(1): 394-400 (in Chinese)
- [27] 陈芳泉, 邵惠芳, 崔登科, 王凯悦, 许自成, 黄五星, 范艺宽, 张慢慢, 赵蓉蓉. 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
- Chen F Q, Shao H F, Cui D K, Wang K Y, Xu Z C, Huang W X, Fan Y K, Zhang M M, Zhao R R. Effects of water retaining agent on physiological characteristics of tobacco[J]. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2017, 19(1): 51-57 (in Chinese)
- [28] 赵铭钦, 赵进恒, 张迪, 韩富根, 张广富, 李元实, 金洪石. 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
- Zhao M Q, Zhao J H, Zhang D, Han F G, Zhang G F, Li Y S, Jin H S. Effects of water retention agent on diurnal changes

- of photosynthetic characteristics in flue-cured tobacco [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2010, 43(6): 1265-1273 (in Chinese)
- [29] 侯毛毛, 邵孝侯, 陈竞楠, 翟亚明, 赵廷超, 王刚. 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
- Hou M M, Shao X H, Chen J N, Zhai Y M, Zhao T C, Wang G. Optimization of EM water-retention agent application in flue-cured tobacco [J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2016, 24(5): 628-636 (in Chinese)
- [30] 彭菊, 王文华, 林焕新, 林汉明, 李仕忠. 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
- Peng J, Wang W H, Lin H X, Lin H M, Li S Z. Effects of different water retaining agent dose on agronomic traits, yield and quality of tobacco [J]. *Tillage and Cultivation*, 2014(5): 4-5, 33 (in Chinese)
- [31] 徐露, 张丹, 青会, 官宇. 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
- Xu L, Zhang D, Qing H, Guan Y. A combined effects of ryegrass green manure with water-retaining agent on the improvement of tobacco field and the quality of flue-cured tobacco leaves [J]. *Mountain Research*, 2017, 35(5): 727-733 (in Chinese)
- [32] 刘世亮, 刘芳, 化党领, 杨素勤, 介晓磊, 韩富根, 刘增俊. 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
- Liu S L, Liu F, Hua D L, Yang S Q, Jie X L, Han F G, Liu Z J. The effect of water-retaining agents on flue-cured tobacco growth and the tobacco qualities [J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2007, 25(4): 109-113 (in Chinese)
- [33] 杜社妮, 郭胜利, 王百群, 白岗栓, 何登峰, 耿伟, 闫超超, 赵洋洋. 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
- Du S N, Guo S L, Wang B Q, Bai G S, He D F, Geng W, Yan C C, Zhao Y Y. Effects of super absorbent polymer 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): 7-12 (in Chinese)
- [34] 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(1): 256-261
- 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(1): 256-261 (in Chinese)
- [35] 徐天养, 赵正雄, 李忠环, 陈荣平, 许龙, 王昞霖, 金霞. 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
- Xu T Y, Zhao Z X, Li Z H, Chen R P, Xu L, Wang G L, Jin X. Effect of tilling depth on growth, nutrient uptake, yield and quality of flue-cured tobacco plant [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2009, 35(7): 364-1368 (in Chinese)
- [36] GB2635—92. 中华人民共和国国家标准: 烤烟[S]. 北京: 中国标准出版社, 1992
- GB2635—92. National standard of the People's Republic of China: Flue-cured tobacco[S]. Beijing: China Standard Press, 1992 (in Chinese)
- [37] 王瑞新. 烟草化学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003
- Wang R X. *Tobacco Chemistry* [M]. Beijing: China Agricultural Press, 2003 (in Chinese)
- [38] 陈芳泉, 邵惠芳, 王凯悦, 许自成, 黄五星, 范芝宽, 张慢慢. 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, Xu Z C, Huang W X, Fan Y K, Zhang M M. 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 (in Chinese)
- [39] 童文杰, 邓小鹏, 徐照丽, 马二登, 晋艳, 李军营. 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
- Tong W J, Deng X P, Xu Z L, Ma E D, Jin Y, Li J Y. Effect of plowing depth on soil physical characteristics and spatial distribution of root system of flue-cured tobacco [J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2016, 24(11): 1464-1472 (in Chinese)
- [40] 王发勇, 袁清华, 廖宜树, 陈建军. 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
- Wang F Y, Yuan Q H, Liao Y S, Chen J J. Research progress on the effects of cultivating measures on flue-cured tobacco developmental process [J]. *Chinese Tobacco Science*, 2016, 37(2): 89-94 (in Chinese)
- [41] 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
- Li J J, Bai G S. Application and development of water holding agents in soil and water conservation [J]. *Science of Soil and Water Conservation*, 2015, 10(1): 114-120 (in Chinese)

- [42] 李兴, 蒋进, 宋春武, 陈明, 张运超, 张恒. 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  
Li X, Jiang J, Song C W, Chen M, Zhang Y C, Zhang H. Water absorbent capacity of super absorbent polymer with different granularities and its effect on soil physical properties [J]. *Arid Zone Research*, 2012, 29(4): 609-614 (in Chinese)
- [43] Sadeghi M, Hosseinzadeh H. Swelling behavior of a novel protein-based super absorbent hydrogel composed of poly (meth acrylic acid) and collagen [J]. *Asian Journal of Chemistry*, 2010, 22(9): 6743-6 746
- [44] 张婉璐, 魏占民, 徐睿智, 李彦, 李佳宝, 李泽鸣. PAM对河套灌区盐渍土物理性状及水分蒸发影响的初步研究[J]. 水土保持学报, 2012, 26(3): 227-231, 237  
Zhang W L, Wei Z M, Xu R Z, Li Y, Li J B, Li Z M. Preliminary study on effect of PAM on physical properties and water evaporation of saline-alkali soil of Hetao irrigation[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2012, 26(3): 227-231, 237 (in Chinese)
- [45] 谢志坚, 涂书新, 张颖, 李海蓝, 韩丹, Muhammad I, 徐昌旭, 刘光荣, 罗华汉. 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  
Xie Z J, Tu S X, Zhang Q, Li H L, Han D, Muhammad I, Xu C X, Liu G R, Luo H H. Factors of nicotine synthesis and metabolism in *Nicotiana tabacum* L[J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2014, 28(4): 714-719 (in Chinese)
- [46] 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  
Guo P G, Chen J J, Li R H. Effects of pH values on the activity of roots and chemical compositions of the cured leaves in flue-cured tobacco[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2000, 33(1): 39-45 (in Chinese)
- [47] 钟秋瓚, 郭伟, 肖先仪, 申昌优, 刘小平, 张根平, 谢丽芳, 刘毅. 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  
Zhong Q Z, Guo W, Xiao X Y, Shen C Y, Liu X P, Zhang G P, Xie L F, Liu Y. Effect of water retaining agent on the growth and yield of flue-cured tobacco[J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2014(19): 18-22 (in Chinese)
- [48] 张喜峰, 张立新, 高梅, 翟优雅, 李云飞, 韦成才, 马英明. 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  
Zhang X F, Zhang L X, Gao M, Zhai Y Y, Li Y F, Wei C C, Ma Y M. Effect of different transplanting time on nitrogen and potassium contents, photosynthetic characteristics and economic traits of flue-cured tobacco in southern Shaanxi Province[J]. *Chinese Tobacco Science*, 2013, 34(4): 20-24 (in Chinese)

责任编辑: 吕晓梅