

# PAM 与天然土壤改良材料混合对部分土壤理化性质的影响

康倍铭<sup>1</sup>, 徐健<sup>2</sup>, 吴淑芳<sup>1,3</sup>, 徐晓敏<sup>1</sup>, 冯浩<sup>3</sup>

(1. 西北农林科技大学 水利与建筑工程学院, 陕西 杨凌 712100;

2. 中国石油长庆油田分公司, 西安 710018; 3. 西北农林科技大学 中国旱区节水农业研究院, 陕西 杨凌 712100)

**摘要:**为了充分发挥高分子土壤改良剂和一些天然土壤改良材料改土培肥作用,选取了高分子土壤改良剂聚丙烯酰胺(PAM),分别与具有改土培肥功能的天然土壤改良材料——油渣、秸秆、蛭石、草炭、页岩、风化煤按不同用量混合施入土壤,利用湿筛法、称重法、重铬酸钾容量法、离心法,测定对土壤水稳性团聚体、孔隙度、土壤有机质、有效含水量和水分蒸发等土壤理化性质的影响。结果表明:(1)各处理与单施 PAM 相比,对土壤孔隙度没有明显影响,但对土壤水稳性团聚体含量均有不同程度的提高,其中 PAM 与 0.6% 秸秆处理和 PAM 与 0.3% 油渣处理对其影响最为显著,较单施 PAM 提高 4.9% 和 4.6%;(2)通过天然土壤改良剂自身的有机质含量测定以及 PAM 分别与六种天然土壤改良材料混合施入土壤培养前后有机质含量测定,结果分析得出,随着材料施入量增加,各处理培养前后土壤有机质含量呈现递增趋势;风化煤处理对土壤有机质含量增加显著,培养后其土壤损失有机质百分比较高,幅度约 50%,页岩处理培养土壤损失有机质的百分比较少,幅度约为 6%;(3)通过各处理在不同水吸力下土壤持水量和蒸发观测得出,PAM 与 3% 的风化煤处理显著提高土壤有效水含量,PAM 与 1% 的秸秆处理和 PAM 与 1% 的油渣处理显著提高了土壤抗蒸发能力。总体上,PAM 与风化煤、PAM 与油渣和 PAM 与秸秆处理对土壤结构、土壤有机质含量、土壤水分等方面有显著改善作用。这对进一步研制具有多重功能的土壤改良剂提供参考。

**关键词:**聚丙烯酰胺(PAM);天然土壤改良材料;土壤理化性质

**中图分类号:**S153

**文献标识码:**A

**文章编号:**1005-3409(2014)03-0068-05

## Effect of Combination of Polyacrylamide (PAM) and Natural Improvement Material on Some Soil Physical and Chemical Properties

KANG Bei-ming<sup>1</sup>, XU Jian<sup>2</sup>, WU Shu-fang<sup>1,3</sup>, XU Xiao-min<sup>1</sup>, FENG Hao<sup>3</sup>

(1. College of Water Resources and Architectural Engineering, Northwest A&F University,

Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Petrochina Changqing Oilfield Company, Xi'an 710018, China;

3. Institute of Water-saving Agriculture in Arid Regions of China, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** In order to make full use of keeping the soil moisture of upper absorbent polymer, increasing soil nutrient and improving soil structures of some cheap organic resources, this study selected polyacrylamide (PAM) with strong water holding capacity, and PAM was mixed with different amounts of cheap organic resources, such as oil residue, straw, vermiculite and peat, shale, weathering coal, respectively, and then those mixed materials were applied to soil to increase soil nutrient and improve soil structures. Soil water-stable aggregates, soil porosity, soil organic matter, soil water content and soil water evaporation were determined by wet sieving method, weight method, potassium dichromate volumetric method, centrifuge method, respectively. The results show that: (1) compared with only adding PAM, soil porosity of different material treatments has no difference, but quantity of soil water-stable aggregates of different material treatments has increased obviously, the treatments of PAM with 0.6% straw and PAM with 0.3% oil residue increased significantly by 4.9% and 4.6%; (2) by measuring the organic matter of cheap organic material itself and the treatments, soil organic matter content of each treatment showed increasing trend with the increase

收稿日期:2013-10-24

修回日期:2013-12-05

资助项目:国家 863 重点项目“抗旱节水材料与制剂”(2011AA100503);国家 863 重点项目“作物生境过程模拟与动态优化决策技术”(2013AA100904)

作者简介:康倍铭(1988—),女,陕西延安人,硕士研究生,研究方向:农田土壤扩蓄增容技术研究。E-mail:kangbeiming1988@163.com

通信作者:吴淑芳(1977—),女,宁夏灵武人,博士,副教授,主要从事水资源高效利用工作。E-mail:wsfjs@163.com

of the amount of applied materials, soil organic matter were significantly affected by the treatments of PAM with weathered coal, the percentage of the loss of soil organic matter is higher and up to about 50%, for shale soil treat, the percentage of the loss of soil organic matter is less and about 6%; (3) through measuring the soil water content under different water suction and evaporation, the treatments of PAM with 3% weathered coal and PAM with 1% oil residue significantly increased available soil water content, significantly improved the soil evaporation resistance; (4) in general, treatments of PAM with weathered coal, PAM with sludge and PAM with straw, significantly improved soil structures, increased the content of soil organic matter and soil moisture. This research provides academic and instructive bases for developing organic composite water retaining agent.

**Key words:** polyacrylamide (PAM); natural soil improvement material; soil physical and chemical properties

在长期的农业生产中,为满足人口增加对粮食生产的需求,人们大量不合理地利用耕地并无节制地使用化肥和农药,这些最终导致了土壤理化性质恶化。高分子土壤结构改良剂聚丙烯酰胺(PAM)是目前应用较多的土壤改良剂之一<sup>[1]</sup>。曹丽花等<sup>[2]</sup>采用PAM、B-环糊精、沃特保水剂、腐殖酸4种土壤结构改良剂,通过室内土柱培养,结果表明4种改良剂在浓度为0.05%~0.4%时,均可改善风沙土结构。员学峰等<sup>[3]</sup>研究小区试验表明施加当PAM施用浓度为0.5~2.0 g/m<sup>2</sup>时,玉米增产幅度为5.54%~14.51%。但高分子土壤改良剂生产工艺和原料来源要求较高,价格昂贵,使其大范围应用受限,一定程度上限制了此类土壤改良剂的推广<sup>[4]</sup>。

除以上高分子土壤改良剂以外,天然土壤改良材料因价格低廉、有机质含量高,已在农业生产试验中小范围得以应用。天然土壤改良材料如油菜渣、草炭、风化煤、页岩、蛭石、秸秆等在改土培肥方面已取得一定成效且有相关报道。如陈克亮等<sup>[5]</sup>通过盆栽试验研究了不同含量的油田油渣对玉米生长及品质的影响,结果表明,在土壤中施加适量油渣不会对玉米生长及品质造成不利影响,而且土壤中掺入一定量油渣可改善土壤的理化性质,增强持水能力和增加土壤养分,从而提高玉米出苗率。Spaccini等<sup>[6]</sup>研究了玉米秸秆覆盖和玉米秸秆混合施入土壤两种利用方式对土壤团聚体的影响,发现秸秆施入土壤后更能提高土壤团聚体的稳定性,且秸秆还田量一般以2 250~3 750 kg/hm<sup>2</sup>为宜。陈双燕等<sup>[7]</sup>利用蛭石基质引发处理结缕草种子,在最适温度条件下,能够显著提高种子的最终发芽率、发芽速度和发芽的整齐度。陈伏生等<sup>[8]</sup>通过盆栽试验比较了施用不同剂量的草炭(0%,2%,5%,8%及10%)对风沙土改良的效果和对白菜生长及产量的影响,结果表明:草炭能增强风沙土的持水能力,降低土壤的pH值,增加土壤中的有机质、全氮、速效氮和速效磷等的含量;白菜根系长度、生物量、高生长和地上部分的生物量均有增加,其

中8%草炭处理为最佳,同时施用草炭还有利于提高白菜干物质的积累及其品质。苗利国等<sup>[9]</sup>利用页岩有机肥料对沈阳松苗木生长的影响进行研究,结果表明施用新型页岩有机肥料对苗木的高度有明显的促进作用。新疆生物土壤沙漠研究所<sup>[10]</sup>在多年大田试验后得出,可以单独使用风化煤,用量以稍大为好,在试验中用7 500~15 000 kg。

因PAM特殊分子结构与这些天然土壤改良材料存在交互作用,研究表明PAM与天然土壤改良材料混施可改善土壤结构,提高土壤肥力,促进作物生长等,如:冯瑞云等<sup>[11]</sup>以高分子材料聚丙烯酰胺(PAM)、秸秆纤维素为试材,系统分析了土壤改良剂扩蓄增容效果。结果表明,秸秆扩蓄肥具有较强的保水性能,有效降低土壤体积质量,提高非毛管孔隙比例,增加土壤孔隙度。李刚等<sup>[12]</sup>通过球磨插层法将吸水性高分子在蛭石层间插层聚合,制备成的有机复合吸水材料,结合了高分子吸水材料与矿物型吸水材料的优点,吸水量大;蛭石的加入可以降低吸水材料的成本,同时还可以起到改良土壤的作用。迟永刚等<sup>[13]</sup>通过盆栽实验对玉米幼苗生长及生理特性的监测,探讨了水分胁迫和正常供水条件下PAM分别与泥炭、沸石和稀土复合应用的互作效应。结果表明,保水剂+泥炭在两种水分条件下均能复合应用,可有效促进玉米生长和提高水分利用效率。

基于上述研究现状,本研究利用上述研究思路,将少量PAM分别与油渣、秸秆、蛭石、页岩、草炭、风化煤按一定比例混合,施入土壤,培养一定时期后,研究其对土壤结构、保水持水以及有机质含量的影响,寻找与PAM混合效果较好的土壤改良材料,有望为低成本多功能复合土壤改良剂研发提供重要依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

试验用土采自陕西杨凌西北农林科技大学灌溉试验站,土壤类型为塋土,其砂粒、粉粒、黏粒含量分

别为 8.3%,62.9%,28.8%,质地为粉黏壤土。

聚丙烯酰胺(PAM)由胜利炼油厂劳动服务公司生产,分子量大于 800 万,粉末状,4~6 万元/t;蛭石购于河北省石家庄市灵寿县敏诚蛭石加工厂(500 元/t);油渣购于杨凌油渣厂,为生产油菜油后剩余的油菜渣(1 900 元/t);秸秆为西北农林科技大学灌溉试验站试验田内的玉米秸秆;草炭购于河北省石家庄市灵寿县敏诚草炭有限公司(1 000 元/t);页岩购于陕西省三原县,为油页岩(690 元/t);风化煤购于甘肃省平凉市华亭县华亭煤矿(600 元/t)。以上土壤及蛭石、油渣、秸秆、风化煤、页岩、草炭均风干后磨碎至粉末状过 2 mm 筛。

### 1.2 试验处理

设计处理用量参考以往相关研究报道<sup>[2]</sup>,PAM 施用浓度为 0.05%;油渣、秸秆、蛭石质量占总质量分别为 0.3%,0.6%,1%;风化煤、草炭、页岩质量占总质量分别为 3%,5%,10%。实验设置 20 个处理,重复 6 次,如表 1 所示。

表 1 试验设计处理

处理	处理内容
CK	不添加任何材料
P	只添加 0.1%的 PAM
YP	PAM 分别与 0.3%,0.6%,1%的油渣混合
JP	PAM 分别与 0.3%,0.6%,1%的秸秆混合
ZP	PAM 分别与 0.3%,0.6%,1%的蛭石混合
FP	PAM 分别与 3%,5%,10%的风化煤混合
CP	PAM 分别与 3%,5%,10%的草炭混合
YYP	PAM 分别与 3%,5%,10%的页岩混合

### 1.3 研究方法

试验主要在室内进行,将上述处理的土样按容重 1.25 g/cm<sup>3</sup> 分层均匀填装到直径 10 cm,高 12 cm 的 PVC 管中,管的底端用纱布密封,装土高度 10 cm。采用自吸水方式来湿润土柱至饱和,24 h 后放于人工气候箱中(温度 35℃,相对湿度 70%)培养,控制土柱含水量下限为 80%的田间持水量(CK 处理的田间持水量),如低于此含水量,将土柱进行饱和处理后继续放入气候箱培养<sup>[14]</sup>。培养 60 d 后,用环刀取土 3 个重复,先用离心机测定不同水吸力下土壤含水量,再烘干计算土壤容重,比重瓶法测定土壤比重,土壤总孔隙度通过公式计算获得,土壤总孔隙度=(1-容重/比重)×100%。使用湿筛法测定其水稳性团聚体含量,重铬酸钾容量法测定土壤有机质<sup>[15]</sup>。剩余 3 个重复的土柱放在盛有薄层水的水槽中,让土柱自动吸水湿润,待全部土柱表面湿润,取出放置 24 h,在自然条件下利用称重法观测土壤蒸发情况<sup>[16]</sup>。

### 1.4 数据处理

试验数据采用 Execl 和 SAS 6.2 软件处理数据,

对测定结果进行单因素方差分析,并用 Duncan 新复极差法( $\alpha=0.05$ )进行多重比较。

## 2 结果与分析

### 2.1 PAM 与天然土壤改良材料混合对土壤水稳性团聚体和孔隙度的影响

根据团聚体形成的多级团聚理论,一般把湿筛法获得>0.25 mm 的团聚体称为土壤水稳性团聚体结构,水稳性团聚体对保持土壤结构的稳定性有重要的贡献<sup>[17]</sup>。由表 2 不同处理土壤水稳性团聚体含量表发现:单施 PAM 后土壤水稳性团聚体含量显著增加,相比对照增加了 48.35%;PAM 分别与各材料混合,其土壤水稳性团聚体含量均较单施 PAM 处理有不同程度的增加,其中,PAM 与 0.6%的秸秆处理,土壤水稳性团聚体含量较单施 PAM 增加最大,为 2.5 倍。其次,PAM 与 0.3%的油渣处理,较单施 PAM 增加 2.4 倍,PAM 与页岩、蛭石处理后其水稳性团聚体含量增幅较小,较单施 PAM 增加 3.1%,5.1%。

土壤孔隙度也是评价土壤结构的重要指标<sup>[18]</sup>。由图 1 发现,除 PAM 与页岩混合处理(YYP)对土壤孔隙度有负增加现象外,其余处理土壤孔隙度较对照和单施 PAM 有所增加,相对对照增幅 2.1%~4.4%,但相对单施 PAM 处理,增幅在 2.3%以下,其增加幅度并不显著。

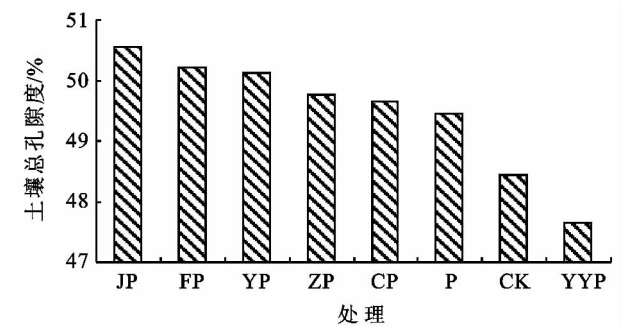


图 1 不同材料处理土壤孔隙度比较

### 2.2 PAM 与天然土壤改良材料混合对土壤有机质的影响

有机质对土壤物理性质有深远影响,它影响着土壤结构、水的渗透、水的保持和组成。图 2 为各天然土壤改良材料有机质含量,发现风化煤、油渣、玉米秸秆有机质含量较高。表 3 为 PAM 与不同材料混合后培养前后土壤有机质含量,由表 3 发现,单施 PAM 对土壤有机质影响不显著,所有处理均提高了土壤有机质含量,同种材料,施入浓度越大,培养前后其土壤有机质含量越高。其中:PAM 分别与三种高用量材料(页岩、草炭、风化煤)混施土壤中,风化煤处理对土

壤有机质增加显著,培养后其土壤损失有机质的百分比比较高,幅度约 50%,页岩处理培养后土壤损失有机质的百分比最小,幅度约为 6%;PAM 分别与三种低用量材料(油渣、秸秆、蛭石)混施土壤处理中,蛭石处理培养前后对土壤有机质增加不明显,随用量增加油渣处理培养后土壤损失有机质百分比增大,且变幅较大。

表 2 不同处理土壤水稳性团聚体含量比较

材料	浓度/%	大于 0.25 mm 团聚体含量/%	较对照 增加百分比/%	较单施 PAM 增加百分比/%	较单施 PAM 平均 增加百分比/%
对照	—	4.28e	0.00	—48.35	—48.35
PAM	0.1	8.29de	93.62	0.00	0
油渣+PAM	0.3	19.60ab	357.79	136.44	102.36
	0.6	16.03bcd	274.45	93.40	
	1.0	14.7bc	243.18	77.25	
	0.3	11.35cd	164.97	36.85	
秸秆+PAM	0.6	20.89a	387.90	151.99	80.72
	1.0	12.71bcd	196.84	53.31	
	0.3	9.62d	124.55	15.97	
蛭石+PAM	0.6	8.54de	99.38	2.98	5.06
	1.0	7.98de	86.32	—3.77	
	3.0	9.94d	132.16	19.91	
风化煤+PAM	5.0	10.40d	142.88	25.45	27.58
	10.0	11.39cd	165.99	37.38	
	3.0	11.97bcd	179.53	44.37	
草炭+PAM	5.0	10.89d	154.33	31.36	32.62
	10.0	10.13cd	136.46	22.13	
	3.0	7.46de	74.31	—9.97	
页岩+PAM	5.0	8.11de	89.48	—2.13	3.09
	10.0	10.06d	135.03	21.39	

注:数据后标有相同字母表示在 0.05 水平上差异不显著,下同。

表 3 不同处理土壤有机质含量

材料	浓度/%	培养前土壤 有机质含量/%	培养 60 d 后土壤 有机质含量/%	培养后土壤损失 有机质百分比/%
CK	—	0.52±0.02i	0.50±0.02f	3.83
P	0.1	0.57±0.02hi	0.55±0.03ef	4.17
油渣+PAM	0.3	0.79±0.01ghi	0.65±0.01ef	17.93
	0.6	1.27±0.03e	0.68±0.00ef	46.53
	1.0	2.64±0.02c	0.69±0.12ef	73.84
	0.3	0.80±0.02ghi	0.55±0.01ef	31.13
秸秆+PAM	0.6	1.29±0.03e	0.60±0.02ef	53.78
	1.0	2.70±0.03c	1.09±0.03d	59.62
	0.3	0.59±0.02hi	0.50±0.01g	15.47
蛭石+PAM	0.6	0.60±0.03hi	0.52±0.04g	13.67
	1.0	0.63±0.01hi	0.58±0.00ef	8.56
	3.0	2.71±0.01c	1.38±0.09c	48.89
风化煤+PAM	5.0	4.81±0.05b	2.50±0.06b	48.05
	10	7.62±0.13a	3.69±0.21a	51.66
	3.0	0.69±0.00hi	0.54±0.01ef	22.07
草炭+PAM	5.0	0.78±0.01ghi	0.61±0.03ef	21.12
	10	0.89±0.03gh	0.70±0.00ef	22.03
	3.0	0.97±0.01fg	0.94±0.01d	5.73
页岩+PAM	5.0	1.18±0.05ef	1.08±0.06d	7.97
	10	1.56±0.04d	1.49±0.03c	4.31

表中数据为平均数±标准差。

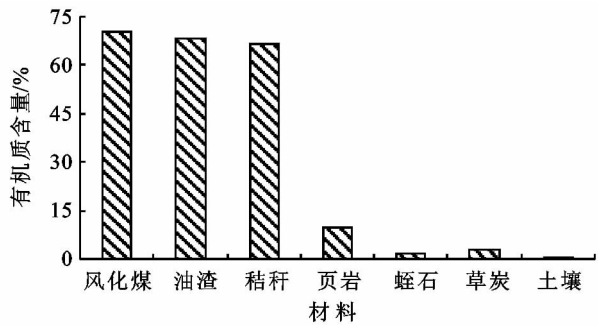


图 2 各天然土壤改良材料有机质含量

2.3 PAM 与天然土壤改良材料混合对土壤水分的影响

土壤有效水含量在 10 kPa 水吸力下土壤所持水量与 1 500 kPa 水吸力下土壤所持水量之差,为土壤可供作物吸收的有效水量<sup>[19]</sup>。本研究通过离心机法测定了不同水吸力下土壤持水量,选用有效水含量作为土壤保水性指标<sup>[20]</sup>,图 3 为各材料平均有效水含量,结果表明:PAM 与风化煤处理后土壤持水性较好,其有效含水量较对照提高了 10.8%,较单施 PAM 处理提高 7.9%,油渣、蛭石次之,较对照均提高了 6.5%,较单施 PAM 处理均提高 3.7%,PAM 与页岩处理最差,较对照降低了 1.1%,较单施 PAM 处理降低了 3.7%。处理中保水性较好的为 PAM 与风化煤处理,当风化煤为 3% 的浓度时,其持水性能最突出,较对照提高 23.2%,较单施 PAM 提高 20%。

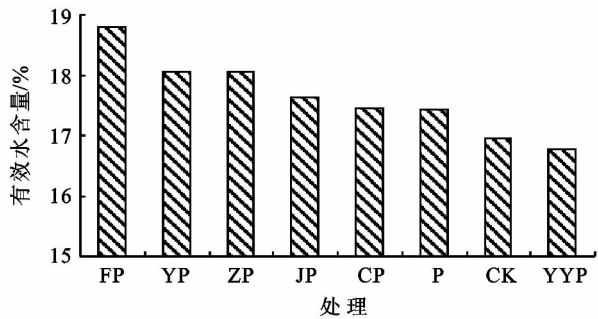


图 3 不同材料处理土壤有效水含量比较

图 4 为各材料处理随时间变化的蒸发过程图,各处理初始含水量为吸水至饱和后除去重力水的土壤含水量,所有处理均较对照含水量有所提高,其中 PAM 与秸秆处理其储存于土壤的水分最大,初始含水量较单施 PAM 土壤含水量提高了 11.6%。其次 PAM 与油渣处理其初始含水量较单施 PAM 提高 5.1%。随着蒸发时间推移,各处理蒸发速率基本相等(如图 4 中各曲线斜率),蒸发结束后,PAM 与秸秆、PAM 与油渣、PAM 与蛭石处理的土壤其含水量相对较高,基本上均失去约 21% 的土壤水分,即初期土壤吸水量越多,蒸发结束后,其含水量仍相对较高。

为更准确反映各处理的抗蒸发能力,本研究选用

了蒸发失水比指标,即在某一时段内的蒸发量与土柱吸水总量的比值来反映各处理抗蒸发性能强弱,其值越小,说明抗蒸发性能越强。通过计算,秸秆、油渣、蛭石蒸发失水分别为 54.17%,54.53%,55.93%,比单施 PAM 处理平均减少 9.3%,8.7%,6.3%,抗蒸发能力较强,其中,PAM 与 1% 秸秆和 1% 的油渣处理抗蒸发能力最强。

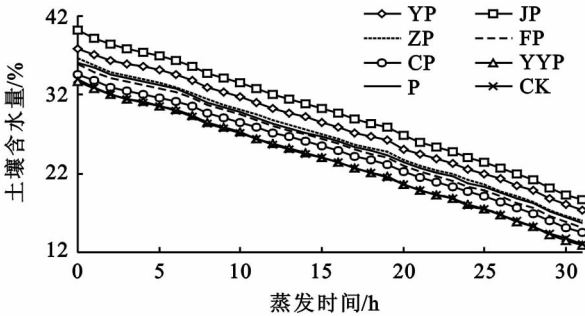


图 4 不同材料处理土壤含水量随时间的变化

3 结论

6 种天然土壤改良材料与 PAM 混合后不仅能够提高土壤有机质含量,提升土壤肥力,而且增加土壤水稳性团聚体含量,改善土壤结构,同时提高了土壤有效水含量,增强土壤抗蒸发能力。6 种天然土壤改良材料与 PAM 混合施用对土壤结构影响发现,PAM 与油渣和 PAM 与秸秆处理其平均水稳性团粒含量增加最为显著,对于单施 PAM,各处理对土壤孔隙度无显著影响。各处理对土壤有机质提高效果相比,培养前后均不同程度提高了土壤有机质含量,其高低与材料自身有机质含量及用量相关,6 种天然土壤改良剂中,PAM 与风化煤处理培养后土壤损失有机质百分比最大,约为 50%。各处理对土壤水分效果相比,除页岩外,各处理均提高了土壤保水性和增强了土壤抗蒸发性,其中 PAM 与 3% 的风化煤处理显著提高了土壤有效水含量,PAM 与 1% 的秸秆处理和 PAM 与 1% 的油渣处理抗蒸发性能较强。

总体上,PAM 与风化煤、秸秆、油渣处理对稳定土壤结构,增加有机质含量,保持土壤水分等方面有显著改善作用,今后还需进一步研制多功能的土壤改良剂,研究其适用性、适宜用量和作用机理。

参考文献:

[1] 吴淑芳,张永东,冯浩,等. 土壤扩蓄增容技术研究现状与展望[J]. 水土保持研究,2013,20(2):302-308.  
[2] 曹丽花,赵世伟,赵勇刚. 土壤结构改良剂对风沙土水稳性团聚体改良效果及机理的研究[J]. 水土保持学报,2007,21(4):65-68.

间格局演变的驱动力主要体现在能矿资源开发、经济区位差异和区域发展政策 3 个方面。能矿资源和经济区位是各地区发展的客观条件,而唯有制定合理的区域发展政策才能推动各县域快速发展,从而合理调控省内经济格局。

本研究还有两个问题有待进一步研究。(1) 不同的空间权重矩阵对空间集聚的分析结果会产生不同的影响,可以进一步尝试不同空间关系建模方法对分析结果进行相关比较和验证。(2) 本研究从区域尺度细化到县域,但在一定程度上仍不能反映个别地区经济发展的空间集聚及演变状况,可以进一步细化到乡镇级进行分析,以期得到更为全面和精细的分析结果。

#### 参考文献:

- [1] 李小建,乔家君. 20 世纪 90 年代中国县际经济差异的空间分析[J]. 地理学报,2001,56(2):136-145.
- [2] 张海峰,白永平,陈琼,等. 基于 ESDA-GIS 的青海省区域经济差异研究[J]. 干旱区地理,2009,32(3):454-461.
- [3] Gastwirth J L. The estimation of the Lorenz curve and Gini index[J]. The Review of Economics and Statistics, 1972,54(3):306-316.
- [4] Theil H. Economics and Information Theory[M]. Chicago: Rand McNally and Company,1967.
- [5] Arbia G. The role of spatial effects in the empirical analysis of regional concentration[J]. Journal of Geographical Systems,2001,3(3):271-281.
- [6] 席建强,刘超,高小敏. 陕西省区域经济增长差异的空间统计分析[J]. 统计与决策,2009(4):92-95.
- [7] 李芹芳,钱文君,陈玮,等. 陕西省区域经济发展水平差异评价分析[J]. 干旱区地理,2010(5):456-461.
- [8] 赵光华,于鹏,丁艳萍. 陕西省区域经济增长差异分析[J]. 地域研究与开发,2007,26(3):27-30.
- [9] 李梅,王铁. 基于 ESDA 的区域经济格局时空演变研究[J]. 国土与自然资源研究,2011(6):9-11.
- [10] 李小建,乔家君. 20 世纪 90 年代中国县际经济差异的空间分析[J]. 地理学报,2001,56(2):136-145.
- [11] Le Gallo J, Ertur C. Exploratory spatial data analysis of the distribution of regional per capita GDP in Europe, 1980—1995[J]. Papers in Regional Science, 2003,82(2):175-201.
- [12] Getis A, Ord J K. The analysis of spatial association by use of distance statistics[J]. Geographical Analysis, 1992,24(3):189-206.
- [13] Cliff A, Ord J. Spatial autocorrelation[M]. London: Pion Ltd,1973.
- [14] 张松林,张昆. 空间自相关局域指标 Moran 指数和 G 系数研究[J]. 大地测量与地球动力,2007,27(3):31-34.
- [15] 靳诚,陆玉麒. 基于县域单元的江苏省经济空间格局演化[J]. 地理学报,2009,64(6):713-724.
- [16] 李丁,李平安,王鹏. 基于 ESDA 的甘肃省县域经济空间差异分析[J]. 干旱区资源与环境,2009,23(12):1-5.
- [12] 李刚,刘开平,成信东,等. 蛭石/有机复合高吸水保水复合材料的研究[J]. 化学工程与装备,2009(6):19-21.
- [13] 迟永刚,黄占斌,李茂松. 保水剂与不同化学材料配合对玉米生理特性的影响[J]. 干旱地区农业研究,2005,23(6):132-135.
- [14] 王增丽. 秸秆不同处理还田方式对土壤理化特性和作物生长效应的影响[D]. 陕西杨凌:西北农林科技大学,2012.
- [15] 南京农业大学. 土壤农化分析[M]. 2 版. 北京:农业出版社,1998.
- [16] 潘英华,雷霆武,赵军. PAM 与 PG 对土壤水分蒸发的影响[J]. 土壤通报,2008,39(5):990-996.
- [17] 卢金伟,李占斌. 土壤团聚体研究进展[J]. 水土保持研究,2002,9(1):81-84.
- [18] 宫渊波,麻泽龙,陈林武,等. 嘉陵江上游低山暴雨区不同水土保持林结构模式水源涵养效益研究[J]. 水土保持学报,2004,18(3):28-36.
- [19] 庄文化,冯浩,吴普特,等. 2 种高分子保水材料对土壤持水性能的影响[J]. 中国水土保持科学,2008,6(3):81-87.
- [20] 李笑吟,毕华兴,张建军,等. 晋西地区土壤水分有效性分析[J]. 水土保持研究,2006,13(5):205-211.

(上接第 72 页)

- [3] 员学锋. PAM 的土壤保水、保肥及作物增产效应研究[D]. 陕西杨凌:西北农林科技大学,2003.
- [4] 张璐,孙向阳,田赞,等. 复合保水剂吸水保水性及其性能[J]. 农业工程学报,2012,28(15):87-93.
- [5] 陈克亮,孟祥远. 油田油渣对玉米生长及品质的影响[J]. 西南农业大学学报,2002,24(2):161-164.
- [6] Spaccini R, Piccolo A, Haberhauer G, et al. Decomposition of maize straw in three European soils as revealed by DRIFT spectra of soil particle fractions[J]. Geoderma, 2001,99(3):245-260.
- [7] 陈双燕,韩建国,王文,等. 蛭石引发对结缕草种子发芽率和发芽速度的影响[J]. 草地学报,2007,15(3):254-258.
- [8] 陈伏生,王桂荣,张春兴,等. 施用泥炭对风沙土改良及蔬菜生长的影响[J]. 生态学杂志,2003,22(4):16-19.
- [9] 苗利国,周晓莹. 油页岩在林业苗圃中的应用研究初报[J]. 育苗技术,2012(3):24-26.
- [10] 马毅杰,李述刚,王周琼. 风化煤对土壤胶体特性的影响[J]. 土壤学报,1979(1):22-28.
- [11] 冯瑞云,杨武德,王慧杰,等. 秸秆扩蓄肥对土壤水分和马铃薯产量品质及水分利用的影响[J]. 农业工程学报,2012,28(2):100-105.