

王藏姣,牟守国,赵 华. 干旱风沙区采煤扰动耕地土壤改良方法研究[J]. 江苏农业科学,2017,45(11):201-206.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.11.054

干旱风沙区采煤扰动耕地土壤改良方法研究

王藏姣,牟守国,赵 华

[中国矿业大学(徐州)环境与测绘学院/江苏省资源环境信息工程重点实验室,江苏徐州 221116]

摘要:采煤扰动致使矿区耕地受损,土壤改良措施缺乏使耕地进一步退化。为揭示有机肥、保水剂、绿肥及间作等土壤改良措施对采煤扰动区耕地土壤理化性质及土壤综合肥力的改良效果,以大柳塔煤矿区内受损耕地为研究对象,设计有机肥梯度试验、保水剂改良试验、种植豆科绿肥试验及间作试验对土壤改良效果进行分析。结果表明,有机肥处理中,133.33 kg/hm² 有机肥处理能显著改善 NH₄⁺ - N、碱解氮和速效磷($P < 0.05$);保水剂试验中,保水剂 + 有机肥可显著改善速效钾($P < 0.05$);豆科绿肥试验中,紫花苜蓿可显著提高碱解氮含量($P < 0.05$);间作处理中,玉米 + 大豆间作可显著提高物理性黏粒含量($P < 0.05$);施用有机肥及有机肥 + 保水剂对土壤综合肥力有所改良。研究结果可为干旱风沙区采煤扰动耕地土壤改良提供依据。

关键词:土壤培肥;土壤理化性质;土壤综合肥力;采煤塌陷地;耕地

中图分类号: X752;S156 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)11-0201-06

煤炭是我国最主要一次性能源,消耗量大,约占一次性能源总量的 74%,而其中 96% 为井工开采^[1]。井工开采造成采空区上部顶板垮落,上覆岩层移动与变形,进而导致矿区范围内耕地耕层受损,土壤有机质及土壤氮磷钾含量降低^[2]、土壤黏粒减少,耕地逐渐沙化^[3],最终导致耕地减产甚至绝产。我国西部煤矿区内受采煤扰动影响的耕地面积大、恢复能力弱且所需时间长^[3-5]。矿区范围内耕地因开采扰动影响及不合理耕种使具备耕种条件的土地被抛荒,而有效土壤培肥方

法的缺乏使耕地土壤理化性质进一步恶化^[4,6]。

国内外有关土壤改良方法的研究较多,大量研究表明,施用有机肥可有效改善土壤理化性质,实现作物增产^[2,7]。针对干旱半干旱地区土壤水分短缺问题,保水剂成为干旱半干旱地区耕地改良的重要手段之一。保水剂吸水能力可达自身质量的数百倍之多,作为土壤改良剂具有改善土壤结构、提高土壤持水性能、保持土壤氮磷钾元素、增进作物抗旱能力、强化土壤酶活性等作用^[2,8]。豆科绿肥作物作为土壤改良中低成本生物工程,其突出的固氮能力,发达的根系生长对土壤结构及土壤有机质含量均具有改良作用,因此成为土壤改良中的重要手段之一^[9-10]。土壤改良是人与自然综合作用的结果,而间作模式为农户实际种植过程及研究者所热衷,作为人类对耕地集约利用的典范,对土壤肥力具有一定调节作用。研究表明,不同的耕地管理模式不但能改良土壤物理、化学及生物等性质,而且能提高土地利用率和作物产量^[11-12]。然而,当前对适合干旱半干旱风沙脆弱区采煤扰动耕地的土壤

收稿日期:2016-05-13

基金项目:国家重点基础研究发展计划(“973”计划)(编号:2013CB227904)。

作者简介:王藏姣(1992—),女,湖南安化人,硕士研究生,研究方向为土地复垦与生态重建。E-mail:wangcangjiao@126.com。

通信作者:牟守国,硕士,副教授,主要从事矿区生态修复等方面的研究。E-mail:mushouguo@163.com。

秸秆 N/P 随着还田时间的增加呈现波动性上升的趋势,这与秸秆中磷素含量下降快,而氮素变化平缓有关;N/P 受氮肥的影响也较大,适当施用氮肥(73 ~ 163 kg/hm²),能够提高水稻秸秆的 N/P,而不施氮处理和过量施氮处理的 N/P 较低。

参考文献:

- [1] 杨滨娟,钱海燕,黄国勤,等. 秸秆还田及其研究进展[J]. 农学报,2012,2(5):1-4.
- [2] 刘建胜. 我国秸秆资源分布及利用现状的分析[D]. 北京:中国农业大学,2005.
- [3] 王代平,陈 燕,黄厚宽. 不同作物秸秆添加腐熟剂进行还田对水稻产量及土壤理化性质的影响[J]. 安徽农学通报(上半月刊),2013,19(5):64-65.
- [4] 徐国伟. 种植方式、秸秆还田与实地氮肥管理对水稻产量与品质的影响及其生理的研究[D]. 扬州:扬州大学,2007.
- [5] 李朝苏,谢瑞芝,黄 钢,等. 稻麦轮作区保护性耕作条件下氮肥

对水稻生长发育和产量的调控效应[J]. 植物营养与肥料学报,2010,16(3):528-535.

[6] 马宗国,卢绪奎,万 丽,等. 小麦秸秆还田对水稻生长及土壤肥力的影响[J]. 作物杂志,2003(5):37-38.

[7] 闫 超. 水稻秸秆还田腐解规律及土壤养分特性的研究[D]. 哈尔滨:东北农业大学,2015.

[8] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3 版. 北京:中国农业出版社,2000.

[9] 何念祖,林咸永,林荣新,等. 面施和深施对秸秆中氮磷钾释放的影响[J]. 土壤通报,1995,26(7):40-42.

[10] 张 娜,石祖梁,杨四军,等. 施氮和秸秆还田对晚播小麦养分平衡和产量的影响[J]. 应用生态学报,2015,26(9):2714-2720.

[11] Gök M, Ottow J C G. Effect of cellulose and straw incorporation in soil on total denitrification and nitrogen immobilization at initially aerobic and permanent anaerobic conditions [J]. Biology and Fertility of Soils, 1988, 5(4):317-322.

改良研究较少。

因此,为筛选出适合干旱半干旱采煤扰动耕地土壤改良的有效措施,保持并提高矿区扰动耕地土壤肥力,增加耕地数量与改善耕地质量,本研究以大柳塔煤矿黄土沟壑区生态建设关键技术示范基地为研究区,设计有机肥梯度培肥试验、保水剂土壤改良试验、种植绿肥试验及间作试验对矿区扰动耕地土壤的培肥效果进行研究。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

大柳塔煤矿是我国“十二五”规划纲要中的重要能源基地,位于陕西省榆林市神木县和内蒙古自治区鄂尔多斯市伊金霍洛旗交界处,占地面积 191.34 km²,矿区范围内耕地面积 15 km²,占总用地面积的 7.86%。研究区属黄土高原与毛乌素沙地过渡带,气候属半干旱、半沙漠的高原大陆性气候,冬季严寒,夏季炎热,春季多风,秋季凉爽,全年少雨,昼夜温

差大,无霜期短,多年平均气温 8.6℃。降雨多集中在 7—9 月,约占全年降水量的 3/4,多年平均降水量 380 mm,多年平均蒸发量 2 113 mm。日照资源丰富,能够满足小杂粮作物生长对光照的需求。试验田位于大柳塔煤矿黄土沟壑区生态建设关键技术示范基地,包含大柳塔矿井 3 盘区 12304 和 12305 工作面的部分区域。平均海拔约 1 200 m,地表坡度 0°~8°,地块受煤炭开采活动导致地表塌陷和地裂缝的影响。在试验过程中对耕地范围内产生的地裂缝进行填补覆土,对土块进行推平。

1.2 试验设计方案与研究方法

1.2.1 试验设计方案 本研究将试验田耕地划分为 4 个区域,分别标记为 A、B、C、D(图 1),其中 A 区为有机肥梯度试验田、B 区为保水剂土壤改良试验田、C 区为种植绿肥试验田和 D 区为间作试验田(表 1)。试验采用完全随机区组设计,每个处理设置 3 次重复。

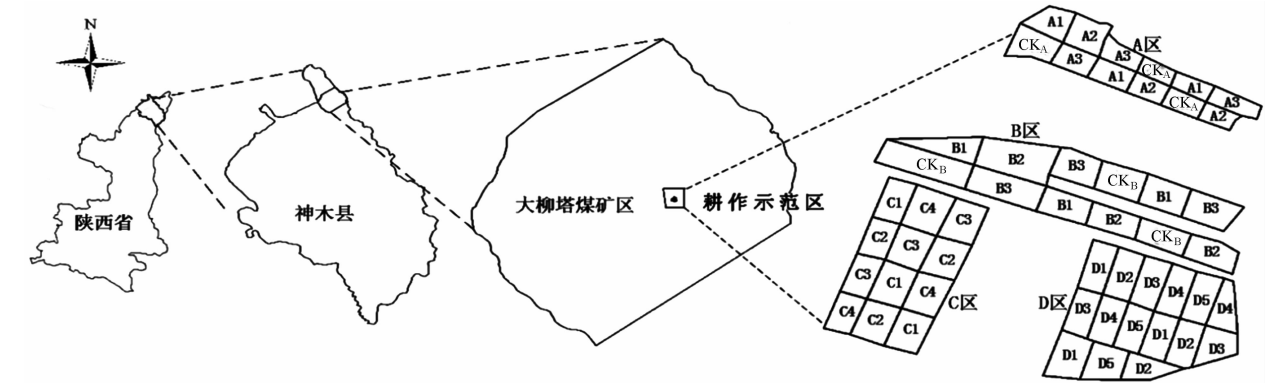


图1 研究区地理位置

表 1 A、B、C、D 区试验设计方案

试验方案	编号	处理	作物	翻耕方式
A:有机肥梯度试验组*	A1	15 t/hm ²	马铃薯	犁耕 10 cm
	A2	30 t/hm ²	马铃薯	犁耕 10 cm
	A3	45 t/hm ²	马铃薯	犁耕 10 cm
	CK _A	对照组	马铃薯	犁耕 10 cm
B:保水剂土壤改良试验组	B1	拌种**+施有机肥(15 t/hm ²)	玉米	犁耕 10 cm
	B2	拌种	玉米	犁耕 10 cm
	B3	施有机肥(15 t/hm ²)	玉米	犁耕 10 cm
	CK _B	对照组	玉米	犁耕 10 cm
C:种植豆科绿肥试验组	C1	紫花苜蓿(播种量 15 kg/hm ²)	紫花苜蓿	农机翻耕 15 cm
	C2	草木樨(播种量 22.5 kg/hm ²)	草木樨	农机翻耕 15 cm
	C3	绿豆(播种量 15 kg/hm ²)	绿豆	农机翻耕 15 cm
	C4	大豆(播种量 45 kg/hm ²)	大豆	农机翻耕 15 cm
D:间作耕作管理试验组	D1	玉米+大豆间作***	玉米+大豆	农机翻耕 15 cm
	D2	玉米+马铃薯间作***	玉米+马铃薯	农机翻耕 15 cm
	D3	单种玉米	玉米	农机翻耕 15 cm
	D4	单种大豆	大豆	农机翻耕 15 cm
	D5	单种马铃薯	马铃薯	农机翻耕 15 cm

注: * 有机肥购自内蒙古包头绿野肥业有限公司,其主要成分为全氮 2.91%、全磷 1.33%、全钾 3.9%、有机质 7.7%、硼 21.7~24 mg/kg、锌 29~290 mg/kg、锰 143~261 mg/kg、钼 3.0~4.2 mg/kg、有效铁 29~290 mg/kg 等; ** 拌种比例为保水剂:水=1:10; *** 玉米与大豆间作形式为 1 行玉米和 1 行大豆,玉米与马铃薯间作形式为 2 行玉米和 1 行马铃薯。

1.2.2 土样采集 在作物收割当季进行土壤取样,采样时间为 2013 年 10 月,用“S”形取样法,在采样过程中避开肥源,

每样点选取 5 个平行点,采集 0~20 cm 耕层土壤进行混合,每样品 1 kg 左右进行装袋、排气、密封,并做好标签。

1.3 测定项目和分析方法

1.3.1 土壤理化性质测定 本试验对 pH 值、有机质含量、阳离子交换量(CEC)、全磷、铵态氮($\text{NH}_4^+ - \text{N}$)、有效磷、速效钾和碱解氮含量以及土壤物理性黏粒等 8 项进行了测定。具体测定方法如下:(1)pH 值:KCl 浸提-酸度计法;(2)有机质:水合热重铬酸钾氧化-比色法;(3)阳离子交换量:石灰性土壤阳离子交换量;(4)全磷:NaOH 熔融-钼锑抗比色法;(5)铵态氮、有效磷和速效钾:土壤养分智能速测仪测定;(6)碱解氮:碱解扩散法;(7)颗粒组成:比重计法;其中土壤颗粒划分根据卡庆斯基粒级标准确定,物理性黏粒 $< 0.01 \text{ mm}$,物理性沙粒 $> 0.01 \text{ mm}$ 。

1.3.2 数据处理 样点独立基础上,利用 SAS 及 Excel 对土壤样点理化性质进行正态检验与方差齐性检验,符合正态分布与方差齐性检验后进行方差分析与 Duncan's 多重比较,否则用 NPAR1 WAY 过程进行 Kruskal-Wallis 非参数检验,并用 Rank 语句结合 ANOVA 过程对原始数据的秩次进行 Duncan's 多重比较。根据研究区缺磷、少氮和钾有余特点,选取有机质、全磷、碱解氮、速效磷和速效钾等 5 项指标作为土壤综合肥力评价指标。利用相关系数法计算有机质、全磷、碱

解氮、速效磷和速效钾指标权重(式 1)^[13],再通过隶属度函数对指标进行标准化(式 2),等级划分依据《全国第二次土壤普查养分分级标准》(表 2),土壤综合肥力计算采用模糊综合评价(式 3)^[14]。

$$D_i = \sum_{j=1} r_{ij} / \sum r_{i\cdot} \quad (1)$$

式中: i 和 j 分别表示相关系数矩阵中的行和列; D_i 代表权重值; $\sum_{j=1} r_{ij}$ 表示相关系数均值累计和; $\sum r_{i\cdot}$ 表示指标相关系数均值总和。

$$P_i = \begin{cases} 1 + (x - a_n) / a_n & x \geq a_n \\ 2 + (x - a_{n-1}) / (a_n - a_{n-1}) & a_{n-1} \leq x < a_n \\ 3 + (x - a_{n-2}) / (a_{n-1} - a_{n-2}) & a_{n-2} \leq x < a_{n-1} \\ \vdots & \vdots \\ n + 1 + x / a_1 & x < a_1 \end{cases} \quad (2)$$

其中: P_i 表示标准化值; a_n 表示第 n 等级土壤肥力界限。

$$P = \sum P_i \times W_i \quad (3)$$

其中: P 为土壤综合肥力; P_i 为第 i 个指标肥力等级值; W_i 为第 i 个指标权重值。

表 2 全国第二次土壤普查养分分级标准

指标	1 级	2 级	3 级	4 级	5 级	6 级	权重
全磷(g/kg)	> 1	$0.8 \sim 1$	$0.6 \sim < 0.8$	$0.4 \sim < 0.6$	$0.2 \sim < 0.4$	< 0.2	0.23
碱解氮(mg/kg)	> 150	$120 \sim 150$	$90 \sim < 120$	$60 \sim < 90$	$30 \sim < 60$	< 30	0.24
速效磷(mg/kg)	> 40	$20 \sim 40$	$10 \sim < 20$	$5 \sim < 10$	$3 \sim < 5$	< 3	0.07
速效钾(mg/kg)	> 200	$150 \sim 200$	$100 \sim < 150$	$50 \sim < 100$	$30 \sim < 50$	< 30	0.20
有机质(g/kg)	> 40	$30 \sim 40$	$20 \sim < 30$	$10 \sim < 20$	$6 \sim < 10$	< 6	0.25

2 结果与分析

2.1 有机肥梯度试验组

有机肥试验组(15、30、45 t/hm²)较对照组(CK_A)有机质和 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 含量均表现为增加,且 30 t/hm² 有机肥处理试验组(A2)较其他 2 组试验处理(A1 和 A3)增幅最大,增幅分别为 16.01% 和 107.72%,土壤 pH 值整体略有增加,变幅在 10% 之内。15 t/hm² 有机肥处理试验组(A1)较对照组(CK_A),有机质、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、CEC、全磷和碱解氮含量增加,最大增幅为 100%(全磷),土壤速效磷和速效钾含量降低,降幅最大为 69.93%(速效钾)。30 t/hm² 有机肥处理试验组(A2)较对照组(CK_A)除土壤 pH 值略有降低外,其他养分含量(有机质、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、CEC、全磷、碱解氮、速效磷和速效钾)均有所增加,且土壤 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、速效磷和速效钾含量增幅较大,增幅分别达到 107.72%、256.38% 和 132.18%。45 t/hm² 有机肥处理试验组(A3)较对照组(CK_A),有机质、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、速效磷和速效钾含量均有所增加,其中速效磷含量增幅最大,为 37.23%,土壤 CEC、全磷和碱解氮含量降低,其中碱解氮降幅最大,为 38.81%(图 2-a)。Duncan's 多因素方差分析结果显示,30 t/hm² 有机肥处理试验组(A2)中 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 含量显著高于 45 t/hm² 有机肥处理试验组(A3),碱解氮含量显著高于 45 t/hm² 有机肥处理试验组(A3)和对照组(CK_A)($P < 0.05$),速效磷含量显著高于 15 t/hm² 处理试验组(A1)($P < 0.05$),在各处理间其他化学性质(pH 值、CEC、有机质、

全磷和速效钾含量)无显著差异($P > 0.05$)(表 3)。土壤物理性黏粒亦无显著差异(图 3-a),且黏粒与沙粒相对变化幅度在 9% 范围内。土壤综合肥力水平由优至劣依次为 30 t/hm² 有机肥处理、15 t/hm² 有机肥处理、45 t/hm² 有机肥处理和对照组(图 4-a)。

2.2 保水剂土壤改良试验组

保水剂土壤改良试验组结果显示(图 2-b),相对于对照组(CK_B),有机肥+保水剂处理(B1)、保水剂拌种处理(B2)与有机肥处理(B3)中土壤全磷和速效钾含量有所增加,土壤 pH 值整体略有升高,CEC、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 含量有所降低。保水剂+有机肥处理试验组(B1)较对照组(CK_B),有机质、全磷、速效磷和速效钾含量增加,其中速效钾含量增幅最大,为 271.03%,土壤中 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、CEC 和碱解氮含量降低,其中 CEC 降幅最大,为 92.23%。保水剂拌种处理试验组(B2)较对照组(CK_B),有机质、全磷、碱解氮和速效钾含量增加,其中速效钾含量增幅最大,为 35.52%, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、CEC 和速效磷含量减少,其中 CEC 降幅最大,为 33.33%。15 t/hm² 有机肥处理试验组(B3)较对照组(CK_B),土壤全磷、速效磷和速效钾含量增加,其中全磷含量增幅最大,为 59.26%,有机质、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、CEC 和碱解氮含量降低,CEC 降幅最大,为 85.57%。Duncan's 多因素方差分析结果显示,拌种+有机肥处理(B1)土壤速效钾显著高于其他 3 组试验处理(B2、B3 和 CK_B)($P < 0.05$),处理间其他化学性质(pH 值、CEC、有机质、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、全磷、碱解氮和速效磷含量)无显著差异($P > 0.05$)(表 3)。土壤颗粒中黏粒含量表现为保水剂处

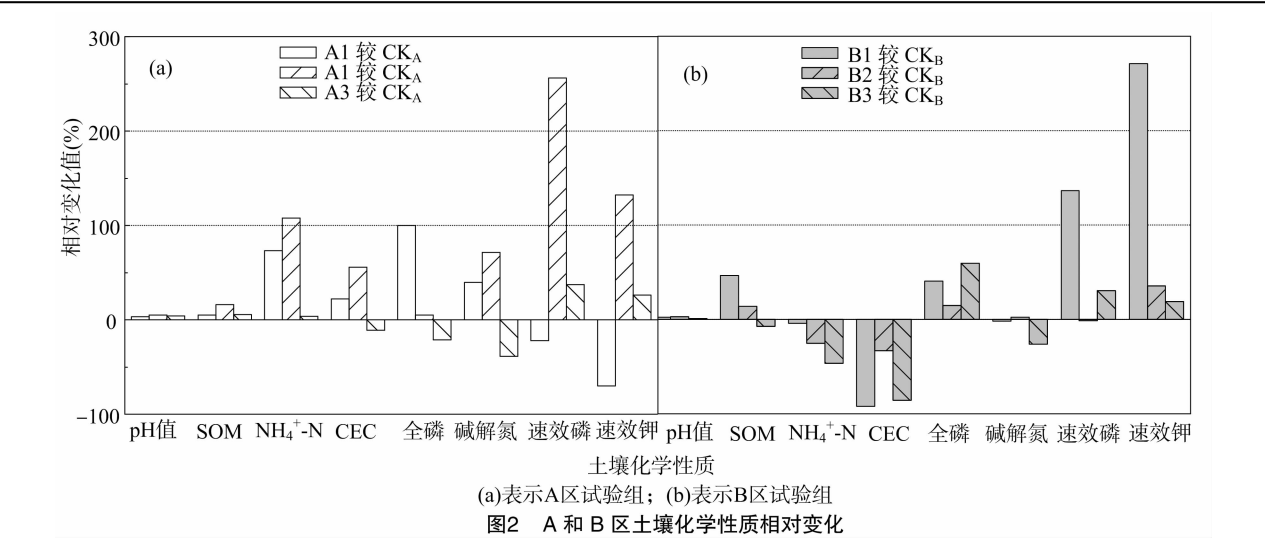


表 3 不同试验处理土壤化学性质

编号	pH 值	有机质 (g/kg)	NH ₄ ⁺ - N (mg/kg)	CEC (cmol/kg)	全磷 (mg/kg)	碱解氮 (mg/kg)	速效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)
A1	7.47 ± 0.25a	22.53 ± 3.72a	52.50 ± 49.00ab	3.67 ± 2.50a	0.40 ± 0.20a	7.04 ± 1.20ab	0.70 ± 0.65b	11.95 ± 5.50a
A2	7.60 ± 0.17a	24.85 ± 6.85a	63.00 ± 40.36a	4.70 ± 0.58a	0.20 ± 0.17a	8.66 ± 2.01a	3.40 ± 1.55a	92.30 ± 74.05a
A3	7.53 ± 0.25a	22.58 ± 5.07a	31.50 ± 3.50b	2.67 ± 1.50a	0.15 ± 0.10a	3.09 ± 0.69c	1.30 ± 0.11b	50.20 ± 31.41a
AC	7.23 ± 0.32a	21.42 ± 9.66a	30.30 ± 7.29ab	3.00 ± 0.00a	0.20 ± 0.10a	5.10 ± 0.85bc	0.94 ± 0.20b	39.70 ± 47.73a
B1	7.60 ± 0.17a	26.18 ± 7.45a	84.00 ± 36.37a	2.03 ± 1.15a	0.40 ± 0.01a	10.00 ± 2.08a	1.60 ± 0.56a	70.80 ± 19.83a
B2	7.63 ± 0.15a	20.36 ± 8.48a	65.30 ± 22.23a	2.00 ± 1.73a	0.30 ± 0.16a	10.44 ± 4.30a	0.60 ± 0.24a	25.90 ± 12.48b
B3	7.50 ± 0.10a	16.55 ± 3.99a	46.70 ± 10.10a	4.30 ± 0.58a	0.40 ± 0.15a	7.60 ± 1.88a	0.90 ± 0.65a	22.70 ± 7.81b
BC	7.43 ± 0.40a	17.86 ± 3.88a	87.50 ± 43.00a	3.00 ± 1.00a	0.27 ± 0.10a	10.20 ± 2.88a	0.70 ± 0.36a	19.10 ± 11.41b
C1	7.60 ± 0.17a	16.27 ± 5.99a	71.20 ± 47.65a	4.67 ± 3.20a	0.20 ± 0.04a	8.41 ± 1.46a	0.50 ± 0.13a	8.80 ± 5.48a
C2	7.63 ± 0.15a	16.34 ± 3.68a	42.00 ± 21.00a	3.67 ± 1.50a	0.15 ± 0.10a	7.00 ± 1.19ab	1.13 ± 0.60a	20.87 ± 6.00a
C3	7.50 ± 0.10a	15.51 ± 5.18a	61.83 ± 7.29a	1.67 ± 1.20a	0.20 ± 0.01a	4.30 ± 1.52b	0.70 ± 0.24a	83.30 ± 98.28a
C4	7.70 ± 0.17a	18.32 ± 6.40a	64.17 ± 38.40a	4.00 ± 2.00a	0.20 ± 0.03a	6.51 ± 2.50ab	0.80 ± 0.13a	38.50 ± 23.85a
D1	7.50 ± 0.10a	14.74 ± 1.55a	42.00 ± 12.62a	1.00 ± 1.00a	0.15 ± 0.10a	9.81 ± 3.34a	1.10 ± 0.14a	47.40 ± 47.41a
D2	7.57 ± 0.21a	19.50 ± 5.74a	56.00 ± 18.52a	2.00 ± 2.65a	0.17 ± 0.10a	5.78 ± 0.81a	4.00 ± 5.75a	49.50 ± 58.39a
D3	7.37 ± 0.12a	16.42 ± 7.47a	47.80 ± 16.54a	1.00 ± 1.00a	0.10 ± 0.03a	6.55 ± 1.13a	0.20 ± 0.06a	74.00 ± 69.78a
D4	7.70 ± 0.10a	14.60 ± 2.66a	35.00 ± 10.50a	1.00 ± 0.00a	0.14 ± 0.00a	8.69 ± 0.58a	0.16 ± 0.10a	28.30 ± 19.20a
D5	7.60 ± 0.26a	20.89 ± 5.21a	61.80 ± 29.77a	4.00 ± 1.73a	0.07 ± 0.00a	6.74 ± 4.48a	1.18 ± 0.30a	47.20 ± 27.75a

注:同列数据后不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。

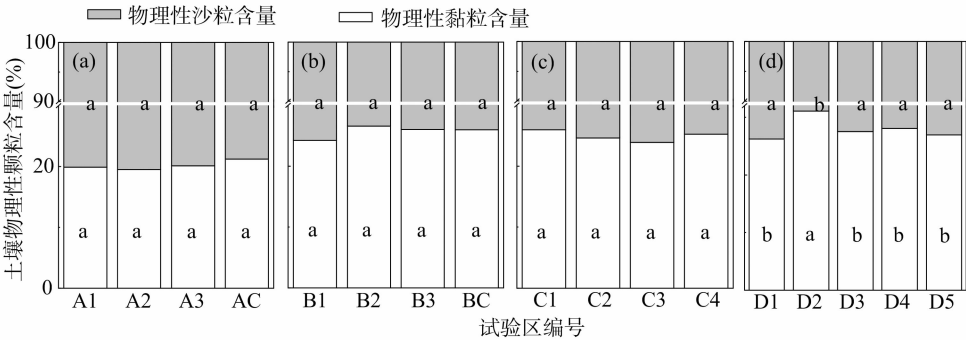


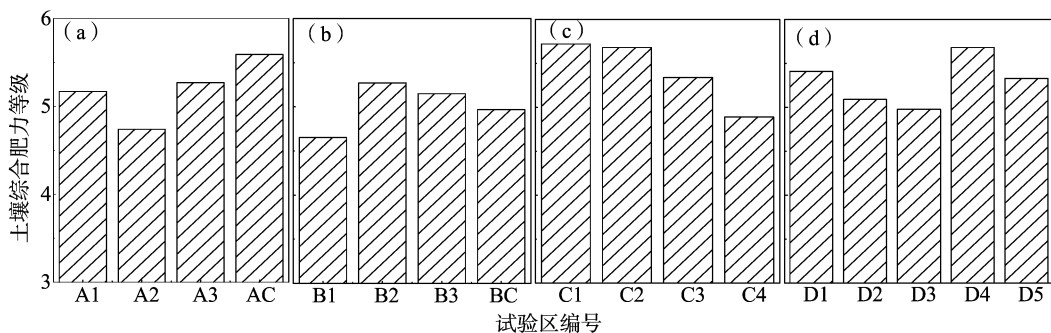
图3 土壤颗粒组成

理(B2) > 有机肥处理(B3) > 对照组(CK_B) > 保水剂 + 有机肥处理(B1),但未达显著性水平($P>0.05$) (图3-b),相对于对照组(CK_B),变化幅度在4%范围内。土壤综合肥力水平由优到劣依次为保水剂 + 有机肥处理试验组(B1)、对照组

(CK_B)、有机肥处理试验组(B3)和保水剂处理试验组(B2) (图4-b)。

2.3 种植豆科绿肥试验组

种植豆科绿肥试验显示,种植紫花苜蓿试验组(C1)土壤



(a)、(b)、(c)和(d)分别对应A、B、C和D试验区土壤综合肥力图号

图4 试验区土壤综合肥力

CEC、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 和碱解氮含量最高,较其他最低含量处理试验组分别高出 69.45% (C2)、179.64% (C3) 和 95.58% (C3),但其速效磷和速效钾含量较种植其他豆科绿肥含量低。种植草木樨处理试验组 (C2) 土壤速效磷含量最高,较含量最低试验处理组 (C1) 高出 113.21%,但 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 和全磷含量较种植其他豆科绿肥低。种植绿豆试验组 (C3) 土壤速效钾含量最高,较最低试验组 (C1) 高出 850.57%,土壤 pH 值、CEC、有机质和碱解氮含量较种植其他豆科绿肥低。种植大豆试验处理组 (C4) 土壤 pH 值、有机质和全磷含量最高,分别高出最低值 2.67% (C3)、18.12% (C3) 和 33.33% (C2)。通过对比可知,种植不同豆科作物在土壤 CEC、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、碱解氮、速效磷和速效钾含量上差异性较大。Duncan's 多因素方差分析结果表明,种植紫花苜蓿处理试验组 (C1) 土壤中碱解氮含量显著高于其他试验处理组 (C2、C3 和 C4) ($P < 0.05$),其他化学性质 (pH 值、CEC、有机质、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、全磷、速效磷和速效钾含量) 均未达显著性水平 ($P > 0.05$) (表 3)。土壤颗粒方面,土壤物理性黏粒含量表现为:种植紫花苜蓿处理试验组 (C1) > 种植大豆处理试验组 (C4) > 种植草木樨处理试验组 (C2) > 种植绿豆处理试验组 (C3),但各处理间无显著性差异 ($P > 0.05$) (图 3-c)。土壤综合肥力水平由优到劣为种植大豆处理试验组 (C4)、种植绿豆处理试验组 (C3)、种植草木樨处理试验组 (C2) 和种植紫花苜蓿处理试验组 (C1) (图 4-c)。

2.4 间作处理试验组

玉米 + 大豆间作试验处理 (D1) 较单种玉米处理 (D3) 土壤中全磷、碱解氮和速效磷含量有所增加,速效磷含量增幅最大,为 440.0%,而有机质、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 和速效钾含量降低,速效钾含量降幅最大,为 35.91%。玉米 + 大豆间作试验处理 (D1) 较单种大豆处理 (D4),有机质、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、全磷、碱解氮、速效磷和速效钾含量增加且土壤 pH 值有所降低,其中速效磷增幅最大,为 575.0%。玉米 + 马铃薯试验处理 (D2) 较单种玉米处理 (D3),CEC、有机质、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、全磷和速效磷含量增加,最大增幅为 1 890.0% (速效磷),但土壤 pH 值稍有增大,碱解氮和速效钾含量降低,其中速效钾含量降幅最大,为 33.09%。玉米 + 马铃薯试验处理 (D2) 较单种马铃薯处理 (D5),全磷、速效磷和速效钾含量增加且 pH 值稍有降低,速效磷含量增幅最大,为 237.29%,而 CEC、有机质、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 和碱解氮含量有所降低,其中 CEC 降幅最大,为 50%。Duncan's 多因素方差分析结果显示,间作对土壤化学

性质影响未达显著性水平 ($P > 0.05$) (表 3)。土壤颗粒方面,玉米 + 马铃薯间作试验处理 (D2) 土壤物理性黏粒含量显著高于玉米 + 大豆处理试验组 (D1)、单种玉米处理试验组 (D3)、单种大豆处理试验组 (D4) 和单种马铃薯处理试验组 (D5) (图 3-d)。土壤综合肥力水平由优到劣依次为单种玉米处理 (D3)、玉米 + 大豆处理 (D1)、单种马铃薯处理 (D5)、玉米 + 大豆处理 (D2) 和单种大豆处理 (D4) (图 4-d)。

3 讨论

有机肥是土壤有机质的重要来源,施用有机肥,既能增加土壤养分,又能提高土壤综合肥力。向受采煤扰动影响耕地中施用有机肥后土壤有机质含量得到改善,土壤养分含量增加,土壤综合肥力整体得到改良,此研究与王晓娟等向旱地施有机肥可有效提高土壤中有机质的研究结果^[7]及梁尧等加入有机肥是提高土壤肥力的有效途径的研究结果^[15]相一致。这也表明施用有机肥可有效改善干旱半干旱区扰动耕地的土壤有机质及提高土壤综合肥力。在有机肥施用量上,土壤理化性质及土壤综合肥力对有机肥施用量的响应效果不一,有机肥梯度试验有助于确定最佳有机肥施用量,实现土壤培肥的最优模式,试验中 133.33 kg/hm^2 有机肥处理对土壤养分含量及土壤综合肥力改良效果最佳,与王晓娟等研究的施用中量有机肥的土壤作物产量的经济效益最佳结果^[16]有共同之处,但对各养分元素的改良并未随有机肥用量的增加而增加,此研究结果与以往研究结果^[7,15]不一致,有待进一步研究。

保水剂作为近年来在农业领域应用广泛的一种化学改良剂,其吸水能力可达自身质量的数百倍之多^[2,17-18],对于缺水的干旱半干旱地区保持土壤养分和改善土壤结构等具有较好的效果,但单施保水剂对土壤的改良效果不佳,而有机肥 + 保水剂处理可有效改善土壤化学性质及土壤综合肥力。在土壤化学元素保持方面,保水剂对土壤速效钾含量的改善效果较好,此结论与李杨等研究的保水剂对土壤 K 具有较好的保持能力结果^[19]一致。但研究结果显示,向土壤中施加保水剂对土壤 CEC 的改良效果较差,此结果与刘瑞凤等研究的保水剂可显著提高土壤中 CEC 的结论^[20]不一致,其原因为土壤 CEC 与土壤有机、无机和有机无机复合胶体对土壤中阳离子的吸附量有关^[14],试验处理后,有机质虽增加,但由于受采煤扰动及侵蚀作用影响,使得决定土壤无机胶体含量的土壤黏粒含量降低,从而导致土壤 CEC 降低^[19]。

豆科绿肥作物的根瘤菌可把土壤空气中不能直接利用的氮气固定并转化为可被作物吸收利用的氮素养分,豆科绿肥对土壤 N 改良效果较好,同时能平衡土壤中其他养分元素,通过向深层土壤中生长根系,能改善土壤结构且根系残留能有效提高有机质含量。试验结果表明,种植紫花苜蓿较其他豆科绿肥作物对增加土壤碱解氮效果明显,但对土壤中速效钾和速效磷含量的改良效果不佳,可作为干旱半干旱采煤扰动耕地中固氮作物的首选,此结果与孙本华等研究的苜蓿作物可有效增加有机质及土壤 N 含量,但不能提高土壤速效磷和速效钾含量的研究结果^[9]一致。同时通过种植紫花苜蓿可有效提高土壤物理性黏粒含量,对沙地土壤保土起到一定作用。

改变耕作制度、更换种植物种、调整耕作模式等是实现耕地生产力提高和永续利用的有效途径^[12]。本试验中玉米 + 大豆间作对土壤碱解氮含量改良效果明显,且玉米 + 大豆间作较单种大豆土壤养分元素保持更有效,玉米 + 马铃薯间作对土壤磷素的改良效果较单种好,根据该地区土壤风成学说,因为土壤物理性黏粒($<0.01\text{ mm}$)显著使得土壤对养分的固定能力加强。玉米 + 大豆间作处理对土壤理化性质及土壤综合肥力的改良不如单种。虽然玉米 + 马铃薯间作可显著提高土壤中部分化学成分和物理性黏粒,但土壤综合肥力等级不如单种处理,此结果与张瑞等研究的干旱区土地间套作的土地利用方式较单种模式更能保持土壤肥力研究结果^[10]不一致,其原因可能是本试验土壤肥料投入低,未投入化学肥料,而同等产量条件下间作处理对土壤的养分消耗更高。试验结果进一步表明,在采煤扰动耕地上进行间作需投入额外的肥料且不同间作类型对土壤的改良效果不一,需科学选取合适的间作方式。

以上研究结果与分析可为黄土沟壑采煤扰动区耕地土壤改良提供理论基础和实践经验。但仍存在以下不足:一是本研究仅对培肥措施处理后土壤耕层土壤理化性质及综合肥力进行综合分析,在培肥过程中土壤理化性质变化机理研究不足;二是由于 1 年培肥研究时间较短,缺乏长期试验情况分析数据支撑,因此,研究结果无法对长期土壤改良做出指导;三是采煤扰动耕作区土壤空间变异性较大,不同改良方法间缺乏可比性。

4 结论

有机肥是土壤改良中的重要肥源,对采煤塌陷耕地可通过施用有机肥提高土壤有机质含量,改善土壤化学性质,提高土壤综合肥力。在有机肥用量上,30 t/hm² 有机肥处理对土壤肥力的改良效果较好,与 15 t/hm² 有机肥处理及 45 t/hm² 有机肥处理相比,30 t/hm² 有机肥处理能显著增加土壤铵态氮、土壤碱解氮和土壤速效磷。保水剂 + 有机肥处理较单施保水剂处理和有机肥处理更能有效提高土壤综合肥力,且对土壤速效钾改良效果显著,可用于受采煤影响耕地土壤综合肥力的改良。豆科绿肥作物的根瘤菌可把土壤空气中不能直接利用的氮气固定并转化为可被作物吸收的氮素养分,但不同豆科绿肥的固氮能力及对土壤的影响效果不一。与种植草木樨、大豆和绿豆相比,紫花苜蓿对碱解氮的改良效果显著,

且一定程度上可改良土壤物理性黏粒含量,可作为受采煤塌陷影响耕地碱解氮改良和保土的首选植物。耕作管理制度一定程度上可提高采煤扰动耕地生产力、提高土壤养分元素。玉米 + 大豆间作可显著改善土壤物理性黏粒含量,可用于该地区耕地的土壤颗粒改良,而短期内与间作种植方式相比,单种更能有效保持土壤肥力平衡。

参考文献:

- [1] 刘帆,宋玉,韩军锋. 煤矿采空区地面塌陷与地裂缝的环境治理[J]. 西部探矿工程,2011,23(12):125-126.
- [2] 吉林. 保水剂对干旱矿区土壤改良的试验研究[D]. 徐州:中国矿业大学,2014.
- [3] 王琦,全占军,韩煜,等. 风沙区采煤塌陷不同恢复年限土壤理化性质变化[J]. 水土保持学报,2014,28(2):118-122,126.
- [4] 张发旺,侯新伟,韩占涛,等. 采煤塌陷对土壤质量的影响效应及保护技术[J]. 地理与地理信息科学,2003,19(3):67-70.
- [5] 栗丽,王日鑫,王卫斌. 采煤塌陷对黄土丘陵区坡耕地土壤理化性质的影响[J]. 土壤通报,2010,41(5):1237-1240.
- [6] 苏永中,赵哈林,张铜会,等. 科尔沁沙地旱作农田土壤退化的过程和特征[J]. 水土保持学报,2002,16(1):25-28,115.
- [7] 王晓娟,贾志宽,梁连友,等. 旱地施有机肥对土壤有机质和水稳性团聚体的影响[J]. 应用生态学报,2012,23(1):159-165.
- [8] Rashidzadeh A, Olad A. Slow-released NPK fertilizer encapsulated by NaAlg-poly(AA-co-AAm)/MMT superabsorbent nanocomposite[J]. Carbohydrate Polymers, 2014, 114:269-278.
- [9] 孙本华,高明霞,吕家珑,等. 苜蓿培肥对灰漠土养分及胡敏酸特性的影响[J]. 水土保持研究,2007,14(3):338-340.
- [10] 张瑞,张景波,曹良图. 干旱区土地利用和土壤改良及植被恢复方式对沙地养分的恢复效应[J]. 水土保持研究,2010,17(4):153-157.
- [11] Szumigalski A R, van Acker R C. Nitrogen yield and land use efficiency in annual sole crops and intercrops[J]. Agronomy Journal, 2006, 98(4):1030-1040.
- [12] Pierce F J, Fortin M C, Staton M J. Periodic plowing effects on soil properties in a No-Till farming system[J]. Soil Science Society of America, 1994, 58(6):1782-1787.
- [13] 叶回春,张世文,黄元仿,等. 粗糙集理论在土壤肥力评价指标权重确定中的应用[J]. 中国农业科学,2014,47(4):710-717.
- [14] 吕晓男,陆允甫,王人潮. 土壤肥力综合评价初步研究[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版),1999,25(4):38-42.
- [15] 梁尧,韩晓增,丁雪丽,等. 不同有机肥输入量对黑土密度分组中碳、氮分配的影响[J]. 水土保持学报,2012,26(1):174-178.
- [16] 王晓娟,贾志宽,梁连友,等. 旱地施有机肥对土壤水分和玉米经济效益影响[J]. 农业工程学报,2012,28(6):144-149.
- [17] 李杨,王百田. 保水剂对土壤物理性状和棉花生长的影响[J]. 江苏农业科学,2015,43(10):97-99.
- [18] 邱月,张辉. 包膜氮肥、保水剂和生物炭在控制农田土壤氮素损失方面的应用综述[J]. 江苏农业科学,2015,43(10):417-422.
- [19] 李杨. 保水剂与肥料及土壤的互作机理研究[D]. 北京:北京林业大学,2012.
- [20] 刘瑞凤,杨红善,李安,等. PAA-atta 复合保水剂对土壤物理性质的影响[J]. 土壤通报,2006,37(2):231-235.