

空心村整治还田材料土壤培肥效果分析

雷娜^{1,2}, 陈田庆¹, 董起广¹, 罗林涛¹

(1. 陕西省土地工程建设集团有限责任公司, 西安 710075; 2. 西北农林科技大学水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 为改善空心村复垦为耕地后的土壤状况, 迅速恢复农业生产, 选取7种不同还田材料进行小区试验, 分析了不同还田材料对土壤贮水量、养分含量、株高、玉米产量及水分利用效率的影响。结果表明: 不同还田材料在夏玉米生长季0—105 cm土层土壤贮水量显著高于对照($P<0.05$), 生长季的平均土壤贮水量较对照增加了10.2~32.9 mm; 作物种植后不同还田材料下空心村复垦土壤较对照有机质、全氮、有效磷和速效钾含量分别提高了12.50%~66.44%, 15.15%~20.00%, 6.58%~64.62%和18.24%~26.82%, 养分含量较对照差异显著($P<0.05$); 各还田材料之间除全氮外, 其他养分含量差异显著($P<0.05$); 各还田材料夏玉米平均株高较对照差异显著, 分别提高了13~29 cm; TFC、TF、TSC、TSF和TFC处理相对于T0均显著提高了玉米产量, 增幅为18.40%~48.50%, TF、TSC和TSF处理显著提高了夏玉米的水分利用效率, 增幅为12.52%~44.47%。在黄土丘陵区空心村整治中, 有机肥和粉煤灰的复合施用可明显改善农田土壤水热及养分含量状况, 增加夏玉米株高、产量和水分利用效率, 是黄土丘陵空心村整治中最适合的还田材料, 对提升空心村整治还田质量有重要的意义。

关键词: 土壤培肥; 土壤养分; 还田材料; 空心村整治

中图分类号:S157.4 文献标识码:A 文章编号:1009-2242(2018)04-0222-05

DOI:10.13870/j.cnki.stbcxb.2018.04.035

Effects of the Returning Materials on Soil Fertility of Reclaimed Hollow Village

LEI Na^{1,2}, CHEN Tianqing¹, DONG Qingguang¹, LUO Lintao¹

(1. Shaanxi Provincial Land and Engineering Construction Group Co., Ltd., Xi'an 710075;
2. Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100)

Abstract: In order to improve the soil condition after the reclamation of hollow village, and to resume the agricultural production quickly, seven different returning materials were selected, and their effects on soil water storage, soil nutrition, water use efficiency and crop yield were analyzed. The results revealed that the soil water storage (0—105 cm) of different returning materials were significantly higher than the control in the summer maize growing season ($P<0.05$). The average soil water storage was increased by 10.2 mm to 32.9 mm than control. Different returning materials could effectively increase temperature and conserve soil moisture. After reclamation in the seasons, the organic matter, total nitrogen, available phosphorus and available potassium of the reclaimed soil using the different returning materials were respectively increased by 12.50%~66.44%, 15.15%~20.00%, 6.58%~64.62% and 18.24%~26.82% compared with the control. The nutrients contents were significantly different from the control ($P<0.05$), there was significant difference in nutrients contents except the total nitrogen using the different returning materials ($P<0.05$). The average height of maize using the different returning materials was significantly higher than that of the control, which increased by 13~29 cm. Compared with T0, TFC, TF, TSC, TSF and TFC treatment significantly increased the yield of maize, by 18.40%~48.50%, TF, TSC and TSF treatment significantly increased the water use efficiency of summer maize, by 12.52%~44.47%. In the loess hilly region in the hollow village renovation, the composted application of organic fertilizer and fly ash could obviously improve farmland soil water, heat and nutrients contents, improve the summer maize plant height, yield and water

收稿日期:2018-02-03

资助项目:国土资源部退化及未利用土地整治科技创新团队项目(2016KCT-23)

第一作者:雷娜(1985—),女,陕西渭南人,博士研究生,主要从事土地生态资源利用与管理研究。E-mail:619648133@qq.com

通信作者:罗林涛(1977—),男,陕西凤翔人,研究员,主要从事土地工程研究。E-mail:luolintao@sohu.com

use efficiency. These two should be the most suitable returning materials for the loess hilly hollow village renovation, and have an important significance for the improvement of soil quality in the reclaimed hollow village.

Keywords: soil fertility; soil nutrition; returning materials; hollow village renovation

黄土丘陵沟壑区生态环境脆弱、人地矛盾突出、城乡发展缓慢^[1-3],随着城镇化和工业化的发展,农村“空心化”现象日益突出,造成土地资源严重浪费、村庄人居环境恶化、农村“人减房空用地反增”和城乡建设用地“双增”态势等现实问题^[4-6],形成保障经济发展、保护耕地红线、保证国家粮食安全和改善人居环境的巨大压力^[7-9]。为此,国家出台了一系列空心村整治的政策文件,各地政府在政策的引导下积极推进空心村整治,涌现出“土地复垦”“旧村改造”“迁村并乡”“城镇社区”等整治模式^[10-13]。2005年以来天津、重庆、山东、陕西等地方陆续开展空心村整治,为合理利用土地资源,腾出一定数量的宅基地用于复耕。复耕土壤主要来源于房屋墙体,由于墙体土壤长年缺乏翻耕利用,且作为建筑主体暴露在空气中,受不同的气候和人为因素影响,物理结构破坏严重,土壤养分状况差,失去了土壤固有的功能和特性,导致土壤产出率低,影响作物产量和质量。需要通过对复垦土壤进行改良和培肥使之不断熟化,恢复设施土壤的功能,提高土地生产力^[14-16]。

现阶段对还田材料的研究^[17-20]多集中在矿区土地复垦、生态恢复等方面,对空心村复垦后土地质量的研究,尤其是复垦为耕地后土壤肥力提升的研究国内外还不多见。空心村复垦作为黄土丘陵沟壑区增加耕地面积的方式之一,在实现区域粮食安全以及社会主义新农村建设战略目标中有重要意义,因此快速提高复垦为耕地的土壤质量成为空心村整治急需解决的关键问题。本文以黄土丘陵区空心村整治为研究区,研究不同还田材料对空心村复垦后土壤肥力的影响,以期为复垦耕地质量的提高提供参考。

1 材料与方法

1.1 空心村土地复垦方式

本研究空心村整治项目区在澄城县,将全县废弃宅基复垦为耕地,主要工程包括房屋开挖、墙体推倒、土地平整、还田设计、农田水利、生态防护等。其中主体工程是土地平整,即清除瓦砾、屋基石块等杂物,将墙体破碎、平整覆盖于地表后形成耕地。平整后的复垦地土层厚度要求不低于40 cm,砾石含量在10%以内,整个土层大约70%~80%直接由墙体破碎物构成,小部分取自周边的荒山或草丛。

1.2 试验小区设计

试验小区于2016年5月建在国土资源部退化及未利用土地整治工程重点实验室室外试验小区内,位

于富平县。空心村复垦还田材料试验小区,设置3组重复,每组7个小区,小区面积为3 m×10 m,采用澄城县废弃宅基地的生土(老墙土)进行填充,老墙土尽量打碎土坯,在施用前几天泼水湿透,等土坯酥松后,再进行填充。试验前0—20 cm耕层土壤有机质、有效磷、速效钾及全氮的含量分别为4.3 g/kg,2.1 mg/kg,70.4 mg/kg及0.16 g/kg。

试验采用完全随机组合,设7个处理(表1),分别为粉煤灰还田(TC)、有机肥鸡粪还田(TF)、鸡粪用前需堆腐、改良剂还田(TS)、粉煤灰+有机肥还田(TFC)、改良剂+有机肥还田(TSF)和粉煤灰+改良剂还田(TSC),以无还田措施为对照(T0)。粉煤灰来源于大唐韩城发电厂烟煤燃烧后的粉煤灰,经测定颗粒组成0—20,20—60,60—100,100—200,200—300,300目以上的颗粒含量分别为0.36%,1.40%,2.72%,19.47%,24.31%和51.38%。As、Hg、Cu、Pb、Zn、Cd的含量分别为13.59,0.10,91.6,22.72,57.81,0.06 mg/kg,符合土壤环境质量(GB 15618—2008)。还田深度均为30 cm,与生土拌匀填充。7个处理追肥次数、用量相同。每次在种植农作物前撒施生物菌肥,在种植前一天,撒施复合肥,再进行旋耕。玉米品种为先玉335,播种量为60 000株/hm²,穴播,所有处理在播种前均配施复合肥2 250 kg/hm²,于2016年6月5日播种,10月11日收获,生长期共129 d。

表1 试验设计处理方案

序号	编号	处理	施用量/(t·hm ⁻²)
1	TC	粉煤灰	45
2	TF	有机肥(鸡粪)	30
3	TS	改良剂(硫酸亚铁)	0.6
4	TFC	粉煤灰+有机肥	22.5+15
5	TSF	改良剂+有机肥	0.6+30
6	TSC	改良剂+粉煤灰	0.6+45
7	T0	对照(无培肥措施)	0

1.3 测定方法

有机质采用油浴加热-K₂Cr₂O₇容量法测定;有效磷采用0.5 mol/L NaHCO₃浸提比色法测定;速效钾采用1 mol/L NH₄OAc浸提火焰光度计法测定;土壤全氮用K₂Cr₂O₇-H₂SO₄消化法,凯氏定氮仪测定。通过称重法测定0—15,15—30,30—45,45—60,60—75,75—90,90—105 cm土层的质量含水量,每两周测定1次。通过土壤温度传感器人工测定土壤5 cm深度的土壤温度,每15天测定1次。每个小区选取生长一致的玉米5株,测定株高,每15天1次。

1.4 作物水分利用效率

夏玉米水分利用效率的计算公式为:

$$\text{WUE} = Y / \Delta SW + I + P - R - D + CR$$

式中: WUE 为水分利用效率($\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{mm})$); Y 为籽粒产量(kg/hm^2); ΔSW 为生育期土壤贮水量消耗量(mm); I 为玉米生育期的灌溉量(mm); P 为玉米生育期内的降水量(mm); R 为地表径流量(mm); D 为深层渗漏量(mm); CR 为地下水毛细上升量(mm)。

黄土高原地下水位较深,作物根系层的土壤水分状况受地下水的影响可以忽略,土壤表层不易产生地表径流,因此试验中 R 和 CR 可以忽略。当土壤 0—105 cm 的贮水量较高时,降雨会使贮水量超过田间持水量(FC),多余的水渗入更深的区域,即深层渗漏量的方程为:

$$D = \begin{cases} 0 & SW + P \leq FC \\ SW + P - FC & SW + P > FC \end{cases}$$

1.5 数据统计分析

试验数据采用 Excel 2010 进行数据整理和制图,运用 SPSS 19.0 数据进行单因素方差分析,采用最小显著差异法(LSD)进行显著性检验($P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 不同还田材料土壤贮水量

从图 1 可以看出,还田材料显著增加 0—105 cm 土壤贮水量。相对于与其他处理,TC 处理对土壤贮水量的影响最显著。土壤贮水量较对照增幅最大出现在夏玉米生长的第 65 天,TC、TFC、TSC、TF、TSF、TS 处理分别较对照 T0 增加了 15.04%,13.73%,8.82%,8.73%,8.72% 和 6.00%;土壤贮水量较对照增幅最小出现在夏玉米生长的第 125 天,不同处理贮水量排序为 $TC > TSC > TFC > TSF > TS > TF > T0$, 分别较对照 T0 增加了 6.52%,5.33%,4.47%,3.61%,2.00% 和 1.18%。

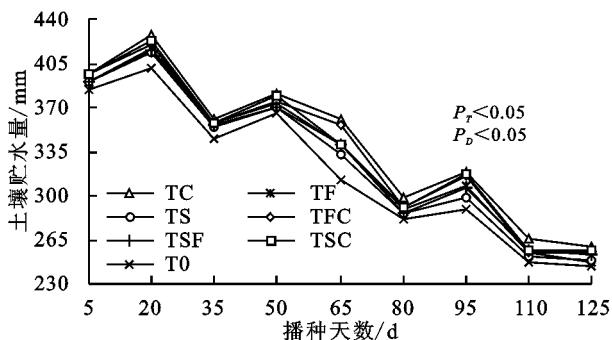


图 1 还田材料对土壤贮水量的影响

2.2 不同还田材料土壤养分

还田材料对空心村整治中土壤有机质、全氮、速效磷、速效钾含量有显著的影响(表 2)。添加有机肥的 TF、TFC、TSF 处理能够大幅度提高土壤有机质,较对照分别提高 66.44%,66.21% 和 64.75%。不同处理与对照相比土壤全氮均有不同程度的增加,

均达到显著性差异,但是各种处理之间差异不显著; TFC 处理土壤速效磷含量较对照增幅最大,提高了 64.62%,TC、TF、TSF 和 TS 次之,增幅在 47.45%~57.82%,TSC 处理增幅最小,提高了 6.58%;不同处理土壤速效钾含量从高到低依次为 $TFC > TC > TF > TSF > TS > TSC$, 分别较对照提高了 32.47%,26.82%,23.65%,22.91%,21.65% 和 18.24%。

表 2 还田材料对空心村整治土壤养分的影响

序号	处理	有机质/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	全氮/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	速效磷/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	速效钾/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)
1	TC	5.6±0.3b	0.35±0.12a	15.15±0.98ab	118.2±3.2b
2	TF	14.6±0.9a	0.33±0.13a	13.26±2.52b	113.3±3.9bc
3	TS	5.6±0.4b	0.35±0.06a	12.16±2.34b	110.4±1.7bc
4	TFC	14.5±1.0a	0.33±0.09a	18.06±2.31a	128.1±2.0a
5	TSF	13.9±0.6a	0.33±0.07a	12.42±1.27b	112.2±3.1bc
6	TSC	5.9±0.6b	0.34±0.14a	6.84±0.98c	105.8±6.5c
7	T0	4.9±0.6c	0.28±0.02b	6.39±0.72d	86.5±7.5d

注: 同列数值后不同字母表示不同处理在 $P < 0.05$ 水平上差异显著。下同。

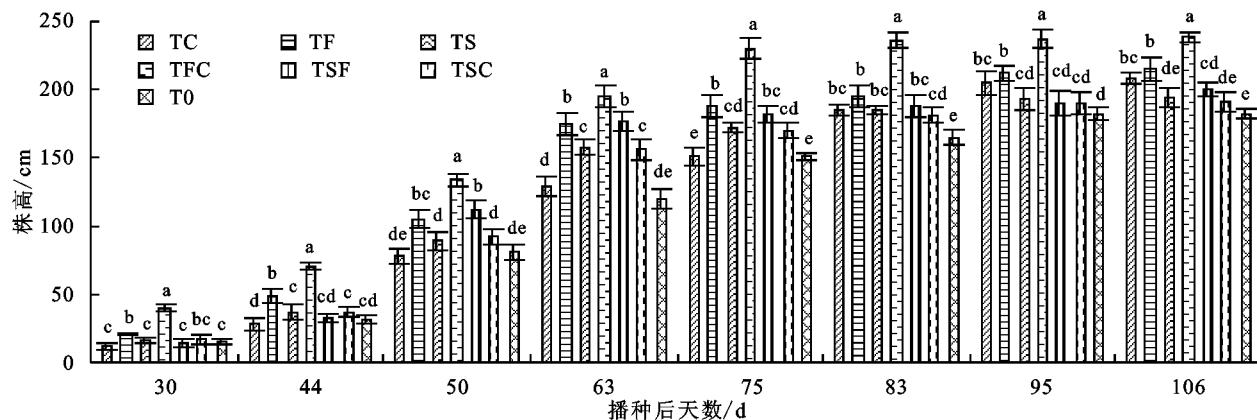
2.3 不同还田材料对夏玉米株高的影响

夏玉米生长的各个阶段还田材料均能显著增加株高(图 2)。8 个测定时期 TFC 处理在所有处理中玉米株高均达到最大,分别较 T0 增加了 62.5%,54.9%,39.6%,38.5%,34.3%,30.1%,23.2% 和 23.6%,TFC 处理对玉米生长的促进作用最好。同一处理在夏玉米株高在不同时期表现不同,玉米生长的第 30,44,50,63 天差异显著,玉米生长的 75,83,95,106 天差异不显著。

2.4 不同还田材料对夏玉米产量及水分利用效率的影响

不同还田材料下玉米产量差异显著(表 3)。TS、TC 处理与 T0 处理相比未能显著提高玉米的产量;TFC、TF、TSC、TSF 和 TFC 相对于 T0 均显著提高了玉米的产量,分别提高了 48.50%,28.29%,18.50%,18.40%,TFC 处理在所有处理中玉米产量达到最大为 $11775.62 \text{ kg}/\text{hm}^2$,这主要归因于穗粒数和百粒重量的增加。

不同还田材料下夏玉米水分利用效率差异较大(图 3)。夏玉米生育期不同的贮水量和产量最终导致了水分利用效率的不同。T0、TS 及 TC 处理的水分利用效率无显著差异,且利用效率较低,仅为 $12.52 \sim 15.46 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{mm})$;而 TF、TSC 与 TSF 处理则相对较高,为 $16.09 \sim 17.41 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{mm})$,显著高于 T0 和 TS 处理,但与 TC 处理差异并不显著;添加粉煤灰和有机肥的 TFC 处理下玉米水分利用效率最高,达到了 $23.52 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{mm})$,比对照提高了 44.47%,显著高于其他 6 个处理。



注:不同小写字母表示各处理间差异显著($P<0.05$)。下同。

图2 还田材料对夏玉米株高的影响

表3 还田材料对玉米产量的影响

序号	处理	穗粒数	百粒重量/g	产量/(kg·hm ⁻²)
1	TC	526.75±18.7b	21.57±3.13c	6270.10±232.90d
2	TF	525.21±13.89b	26.82±0.84b	8456.53±148.30b
3	TS	490.89±19.95bc	21.66±0.33c	6218.56±171.29d
4	TFC	614.33±12.97a	31.94±0.60a	11775.62±271.12a
5	TSF	470.51±14.84c	26.24±3.17b	7431.86±193.76c
6	TSC	492.67±19.24bc	25.21±0.66bc	7441.25±154.99c
7	T0	430.01±9.08d	20.98±1.87c	6064.42±269.59d

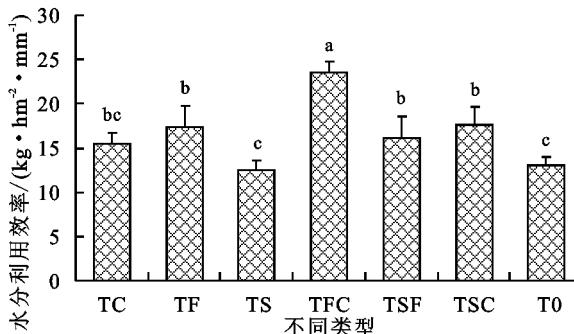


图3 还田材料对夏玉米水分利用效率的影响

3 讨论

在夏玉米生长观测期内,由于研究主要采用传统种植方式,进行常规灌溉,因而各处理之间的土壤贮水量变化规律趋于一致,主要以“V”形为主进行波动,呈现升高后再降低的趋势,这与董立国等^[21]对宁夏半干旱黄土丘陵区夏玉米的土壤贮水量研究规律一致。研究区土壤水分状况主要受到自然降水、灌溉等的影响,马浩等^[22]认为而深层100—200 cm 土壤贮水量则不易受降雨、灌溉等的影响,变化幅度较小。本试验研究0—105 cm 的土壤贮水量具有代表性,能够阐明不同还田材料对土壤贮水量变化的影响。有机质、全氮、速效磷、速效钾含量是作物生长不可或缺的养分,是土壤肥力的重要指标^[23],有机肥提高土壤肥力效果明显,试验发现有机肥与粉煤灰配合施用也能达到有机肥的培肥效果,采用“有机肥+粉煤灰”的模式进行施肥,能够有效地发挥有机肥和无机肥改土和培肥的综合

作用,能够较理想地达到改善空心村复垦土壤的土壤肥力,成本较低,易推广。这与任顺荣等^[24]研究认为宅基地复垦土壤培肥在一定范围内有机肥施用量越多效果越明显,但成本也随之增加,同时单施无机肥不利于复垦土壤物理结构调整和恢复,土壤养分增加不平衡,不利于土壤有机质的积累结论一致。

同一处理在夏玉米株高在玉米生长的不同时期表现不同,这与王晓娟等^[25]和吴东科^[26]对夏玉米株高的研究结果类似,也有研究^[27]表明培肥措施可使玉米茎秆长的更加健壮,但是株高之间的差异不显著,这与本试验研究结果不一致,这可能是由于基础肥力使用量不同所致。采用“有机肥+粉煤灰”的模式(TFC 处理)玉米产量达到最大。关红飞等^[28]、常鹏云^[29]和赵青等^[30]研究表明,粉煤灰多元复混肥可以提高土壤有效养分含量,有利于作物的生长发育,能够提高作物产量,这与本文研究结果一致。另外采用“有机肥+粉煤灰”的模式,有机肥和无机肥混施,一方面能够改变土壤的理化性质,提升土壤肥力,另一方面,也会对农作物的水分消耗特性产生一定的影响,从而提高土壤的水分利用效率,进而提高农作物产量。

4 结论

(1)黄土丘陵空心村整治不同还田材料均具有蓄水保墒作用,能显著提高0—105 cm 的土壤贮水量。其中 TC 处理增幅最大。夏玉米生长季的平均土壤贮水量较对照增加了10.2~32.9 mm。

(2)不同还田材料对空心村复垦土壤养分含量较对照有大幅度提高。作物种植后 TFC 处理较对照土壤有机质提高了66.44%;不同还田材料与对照相比土壤全氮均有不同程度的增加,但是各种还田材料之间差异不显著;TFC 处理土壤速效磷含量较对照增幅最大,提高了64.62%;不同还田材料下土壤速效钾含量最高为 TFC 处理,较对照提高了26.82%。

(3) 黄土丘陵区空心村整治还田过程中,有机肥和粉煤灰的复合施用对农作物的生长具有良好的促进作用。混合施用粉煤灰 22.5 t/hm² 和有机肥 15 t/hm² 的处理能够显著提高夏玉米的株高、百粒重和产量,提高水分利用效率,较对照相比,TFC 处理下夏玉米平均株高、百粒重、产量、水分利用效率分别提高了 34.34%,48.50%,46.77%。

(4) “有机肥+粉煤灰”是黄土丘陵空心村整治最适宜的还田材料。二者混合能够有效发挥有机、无机结合改良土壤的效果,增加土壤贮水量,改善土壤肥力,为夏玉米生长创造适宜的水热肥条件,提高夏玉米产量和水分利用效率。

参考文献:

- [1] 郑林昌,张雷,蔡征超. 地形条件约束下的区域发展模式选择[J]. 山地学报,2012,30(2):172-179.
- [2] Huang F, Wang P. Vegetation change of ecotone in west of Northeast China plain using time-series remote sensing data[J]. Chinese Geographical Science,2010,20(2):167-175.
- [3] 胡智超,彭建,杜悦悦,等. 基于供给侧结构性改革的空心村综合整治研究[J]. 地理学报,2016,71(12):2119-2128.
- [4] 赵明月,王仰麟,胡智超,等. 面向空心村综合整治的农村土地资源配置探析[J]. 地理科学进展,2016,35(10):1237-1248.
- [5] 张甜,王仰麟,刘焱序,等. 多重演化动力机制下的空心村整治经济保障体系探究[J]. 资源科学,2016,38(5):799-813.
- [6] 张英男,屠爽爽,龙花楼,等. 平原农区空心村整治潜力测算模型构建及应用:以山东省禹城市为例[J]. 农业资源与环境学报,2017,34(4):335-342.
- [7] 刘寅,黄志勤,辜寄蓉,等. 土地利用规划中资源环境承载力的内涵与评价方法研究:以四川省泸州市为例[J]. 国土资源科技管理,2016,33(5):94-104.
- [8] Liu Y S, Wang L J, Long H L. Spatio-temporal analysis of land-use conversion in the eastern coastal China during 1996—2005 [J]. Journal of Geographical Sciences,2008,18(3):274-282.
- [9] 鲁莎莎,刘彦随. 106 国道沿线样带区农村空心化土地整治潜力研究[J]. 自然资源学报,2013,28(4):537-549.
- [10] 胡伟伟,钱铭杰. 基于推拉理论的农村宅基地退出动力机制研究:以河南省唐河县为例[J]. 国土资源科技管理,2015,32(3):47-54.
- [11] 姜绍静,罗泮. 空心村问题研究进展与成果综述[J]. 中国人口·资源与环境,2014,24(6):51-58.
- [12] 徐安琪,高雪松,李启权,等. 平原村落空心化特征分析及类型识别[J]. 资源科学,2016,38(2):196-205.
- [13] 张露,韩霁昌,魏静. 空心村整治不同还田材料对冬小麦越冬前土壤水分的影响[J]. 水土保持研究,2017,24(4):123-126.
- [14] 黄耀华,王侃,苏婷婷,等. 重庆农村土墙型复垦宅基地土壤肥力特征及改造利用研究[J]. 西南大学学报(自然科学版),2015,37(1):33-39.
- [15] 华颖. 重庆市农村宅基地复垦耕地快速培肥技术研究[D]. 重庆:西南大学,2015.
- [16] 张绪美,沈文忠,胡青青. 绿肥种植对宅基地复垦土壤肥力的影响:以太仓市为例[J]. 农业灾害研究,2016,6(7):42-43.
- [17] 魏远,顾红波,薛亮,等. 矿山废弃地土地复垦与生态恢复研究进展[J]. 中国水土保持科学,2012,10(2):107-114.
- [18] 倪含斌,张丽萍,吴希媛,等. 矿区废弃地土壤重构与性能恢复研究进展[J]. 土壤通报,2007,38(2):399-403.
- [19] 刘景双,王金达,张学林,等. 煤矿塌陷地复垦还田生态重建研究:以抚顺煤矿为例[J]. 地理科学,2000,20(2):189-192.
- [20] 邱汉周. 淮南潘集煤矿区植被恢复模式及其土壤修复效应研究[D]. 长沙:中南林业科技大学,2012.
- [21] 董立国,李生宝,蒋齐,等. 宁夏半干旱黄土丘陵区不同土地利用类型土壤贮水量变化分析[J]. 干旱区资源与环境,2011,25(10):184-189.
- [22] 冯浩,刘晓青,左亿球,等. 硫石覆盖量对农田水分与作物耗水特征的影响[J]. 农业机械学报,2016,47(5):155-163.
- [23] 慕平,张恩和,王汉宁,等. 连续多年秸秆还田对玉米耕层土壤理化性状及微生物量的影响[J]. 水土保持学报,2011,25(5):81-85.
- [24] 任顺荣,邵玉翠,杨军. 宅基地复垦土壤培肥效果研究[J]. 水土保持学报,2012,26(3):78-81.
- [25] 王晓娟,贾志宽,梁连友,等. 旱地有机培肥对玉米产量和水分利用效率的影响[J]. 西北农业学报,2009,18(2):93-97.
- [26] 吴东科. 灌溉和施肥对埃及尼罗河三角洲玉米生长和水分利用的影响[D]. 陕西 杨凌:西北农林科技大学,2014.
- [27] 王春虎,杨文平. 不同施肥方式对夏玉米植株及产量性状的影响[J]. 中国农学通报,2011,27(9):305-308.
- [28] 关红飞,张雷,张瑞庆. 粉煤灰在土壤改良和土地整治中的作用[J]. 农业工程,2017,7(5):23-29.
- [29] 常鹏云. 粉煤灰和沼渣配施对玉米生长及土壤的影响[D]. 山西 太谷:山西农业大学,2013.
- [30] 赵青,史力有,李国桢,等. 粉煤灰多元复混肥花生配方研究[J]. 江西农业大学学报,2002,24(2):196-199.