

# 土层置换与培肥对石灰性黑钙土土壤养分的影响

李响, 辛刚\*

(黑龙江八一农垦大学, 黑龙江 大庆 163319)

**摘要:** 土壤对作物的生长起着决定性的作用, 土层置换与定向培肥是改善土壤养分的关键技术, 为研究土层置换与培肥对石灰性黑钙土土壤养分的影响, 本研究以黑龙江某区块(石灰性黑钙土)为研究对象, 将0~20 cm土壤与20~40 cm土壤进行一年土层置换后连续三年定向培肥处理, 探讨土层置换对石灰性黑钙土养分含量及有效性的影响; 以土层不置换为对照(CK), 进一步对石灰性黑钙土进行土层置换(T<sub>1</sub>)、土层置换+秸秆(T<sub>2</sub>)、土层置换+500 kg/667 m<sup>2</sup>烘干鸡粪(T<sub>3</sub>)、土层置换+40%理论磷肥施用量(T<sub>4</sub>)等四种方法作为试验组, 研究不同施肥情况对土层置换的定向培育有效性的影响。研究表明: 只进行土层置换后, 石灰性黑钙土的速效氮磷钾和总有机碳含量降低; 在土层置换的基础上, 分别以秸秆、烘干鸡粪和磷为肥料, 增加对石灰性黑钙土的施肥, 此后土壤有机碳和速效氮磷钾含量显著提高, 从而平衡了石灰性黑钙土的酸碱度; 在土壤进行土层置换和定向培育的对比中发现, 以土层置换+500 kg/667 m<sup>2</sup>烘干鸡粪的方式培育出的效果最佳, 其石灰性土壤的速效氮磷钾和总有机碳含量增速最大。应用土层置换和定向培肥技术, 能显著改善石灰性黑钙土的养分含量, 提高养分的有效性, 为作物生长提供良好的土壤环境。

**关键词:** 土层置换; 定向培肥; 石灰性黑钙土; 土壤养分含量

中图分类号: S15

文献标识码: A

文章编号: 2096-5877(2023)02-0068-04

## Effect of Soil Layer Displacement and Directional Fertilization on Nutrient Content of Lime-Based Black Calcium Soil

LI Xiang, XIN Gang\*

(College of Agronomy, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing 163319, China)

**Abstract:** In the cultivation, the essential material is soil, which plays a decisive role in the growth of the whole crop. Soil replacement and directional fertilization are the key technologies to improve soil nutrients. In order to study the influence of soil replacement and fertilization on soil nutrients of calcareous chernozem, this paper takes a certain block of Heilongjiang Province (calcareous chernozem) as the research object, and takes 0-20 cm soil and 20-40 cm soil as the research object. After one year of soil replacement, three consecutive years of directional fertilization treatment was carried out to explore the effect of soil replacement on nutrient content and effectiveness of calcareous chernozem; with no soil replacement as control (CK), further soil replacement (T<sub>1</sub>), soil replacement + straw (T<sub>2</sub>), soil replacement + 500 kg dried chicken manure (T<sub>3</sub>), soil replacement 40% theoretical phosphorus fertilizer application amount (T<sub>4</sub>) were carried out for calcareous chernozem. In order to study the effects of different fertilization conditions on the effectiveness of directional cultivation of soil layer replacement, four methods were used as experimental groups. The results show that the content of available N, P, K and TOC in calcareous chernozem will decrease after soil layer replacement only. In the comparison of soil layer replacement and directional cultivation, it was found that the effect of soil layer replacement + 500 kg/667 m<sup>2</sup> drying chicken manure was the best, and the content of available nitrogen, phosphorus, potassium and total organic carbon in calcareous soil increased the most. The application of soil replacement and directional fertilization technology can significantly improve the nutrient content of calcareous chernozem, improve the effectiveness of nutrients, and provide a good soil environment for crop growth.

**Key words:** Soil layer replacement; Directional cultivation; Lime-based black calcium soil; Nutrient content

收稿日期: 2020-02-21

基金项目: 黑龙江八一农垦大学学成引进人才科研启动计划(XDB201819)

作者简介: 李响(1996-), 女, 在读硕士, 从事作物生长与土壤环境研究。

通讯作者: 辛刚, 男, 硕士, 副教授, E-mail: amckhavoxi@163.com

土壤是植物赖以生存的基础与前提,土壤耕作是农业生产的重要措施之一,研究发现以不同的外部条件作用于土壤,从根源上改变土壤养分的含量和土壤的结构,为作物生长发育创造良好的外部条件,使土壤为植物提供更丰富的水分、空气、矿质元素等资源<sup>[1-4]</sup>。黑龙江省是我国重要的商品粮生产地,多年的传统耕作和单一的种植模式,导致土壤质量和土壤保水保肥能力逐渐下降,严重影响了作物产量和土地可持续利用<sup>[5-6]</sup>。土层置换技术是一项改善障碍土壤的有效技术,将土壤表层0~20 cm的土壤与耕底层20~40 cm的土壤进行置换,可以较好地改良土壤结构从而提升土壤地力,达到消除土壤障碍、缓解疲劳土层的目的<sup>[7-9]</sup>;土层置换后对土壤的定向培肥,可更好地为作物生长提供土壤环境。本研究针对当前黑龙江省石灰性黑钙土结构变差、有机质含量下降、生产力下降等问题,利用土层置换和培肥等手段,探讨不同模式下石灰性黑钙土的养分含量及其有效性的变化规律,进而提高土壤养分的有效性,改善土壤的通透性,以期为该地区置换土壤培肥提供理论依据和技术支撑。

## 1 材料与方 法

### 1.1 研究区域概况

黑龙江八一农垦大学在中国的东北部,属于季风气候带,本次试验基地定于此。本地自然特征为:年均降雨440 mm,年均蒸发量1 597 mm,年均气温3.5 °C,无霜期130 d,有效积温( $\geq 10$  °C)2 840 °C。土壤类型为石灰性黑钙土。供试玉米品种为鑫钰2号。

### 1.2 试验设计

试验共设5个处理,非土层置换(CK),土层置换( $T_1$ )、土层置换+秸秆( $T_2$ )、土层置换+500 kg/667 m<sup>2</sup>烘干鸡粪( $T_3$ )、土层置换+40%理论磷肥施用量( $T_4$ )。不同处理具体施肥情况见表1。

土层置换的本质即互换(30±10)cm的土层和20 cm以下土层的位置,作业的深度高达40 cm。土层置换施基肥( $T_1$ )的处理方法为:作物收获后,首先用小型挖土机将0~20 cm耕层土壤和20~40 cm耕底层土壤挖出后分开堆放,然后将0~20 cm的土壤填回,进而将20~40 cm的土层铺于0~20 cm土层之上,铺平后进行施肥处理,起垄整成待播状态。土层置换施秸秆( $T_2$ )处理是在上述土层置换后,铺上秸秆,等待播种。土层置换施有机肥( $T_3$ )、施化肥( $T_4$ )处理都是在土层置换之后,铺

表1 不同处理下施肥情况

不同处理	施肥情况
CK 不置换土壤施基肥	N 6 kg/667 m <sup>2</sup> 、P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 6 kg/667 m <sup>2</sup> 、K <sub>2</sub> O 3 kg/667 m <sup>2</sup> 肥料类型为尿素(46%)、过磷酸钙(P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 18%)和硫酸钾(50%)
$T_1$ 土层置换施基肥	同对照CK处理施基肥
$T_2$ 土层置换施秸秆	同对照CK处理施基肥后,于20 cm处进行全量秸秆还田
$T_3$ 土层置换施有机肥	同对照CK处理施基肥后增施500 kg/667 m <sup>2</sup> 烘干鸡粪,有机肥料总有机质 $\geq 34\%$
$T_4$ 土层置换施化肥	同对照CK处理施基肥增施40%磷肥,增施磷肥为过磷酸钙(P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 18%)

平土壤分别施有机肥和化肥,等待播种。

田间各小区面积为50 m<sup>2</sup>,随机排列。在不同年份做基肥、拔节、穗肥施入的氮肥占比分别为40%、30%、30%。氮肥为尿素(N,46%),施入量为8 kg/667 m<sup>2</sup>;磷肥为过磷酸钙(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 17%),施入量为4 kg/667 m<sup>2</sup>;钾肥为硫酸钾(K<sub>2</sub>O, 50%),施入量为6 kg/667 m<sup>2</sup>。磷肥做基肥一次施入,钾肥60%做基肥施入、40%做穗肥施入。

2016~2018年,试验地一直实施根垄栽培技术,具体做法是:垄上单行种植,垄间相隔65 cm,垄长10 m,每平方米种植0.17株,在其他试验区同样遵循该种方案。

### 1.3 测定项目及方法

于2016年10月11日、2017年10月9日和2018年10月10日连续三年测定土层置换后的0~20 cm(上层土壤)、20~40 cm(下层土壤)的养分含量。每个小区分别用土钻取土0~10 cm、10~20 cm分别装袋,带回实验室风干后过1 mm筛,用于土壤养分指标的测定。利用重铬酸钾法测定土壤的总有机碳含量;以碳酸氢钠法来测定土壤速效磷等<sup>[10-12]</sup>。

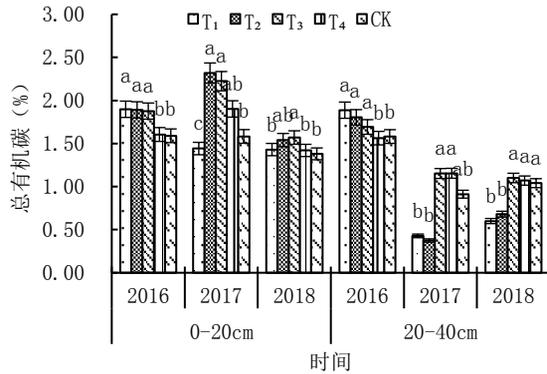
### 1.4 数据统计与分析

使用Excel 2021, DPS 7.05 进行数据分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 土层置换对石灰性黑钙土总有机碳的影响

0~20 cm石灰性黑钙土:同一处理2016~2018年石灰性黑钙土的总有机碳含量存在显著变化(图1), $T_1$ 处理土壤总有机碳含量明显减少, $T_2$ ~ $T_4$ 处理的变化趋势是由增到减。2016年 $T_1$ ~ $T_3$ 处理土壤总有机碳含量的增长幅度较大。与CK相



注:不同小写字母表示差异显著( $P<0.05$ ),下同

图1 不同处理方法对石灰性黑钙土总有机碳的影响

比,  $T_4$ 处理并未发生显著变动。2017年土壤经过  $T_2$ 处理总有机碳含量增加41.14%,  $T_3$ 处理增加40.51%,  $T_2\sim T_4$ 处理总有机碳含量高于CK。2018年除  $T_3$ 处理与CK土壤总有机碳含量差异显著外,其他处理差异不显著。说明在土层置换后,早期阶段磷肥对0~20 cm石灰性黑钙土的作用并不是很大,中期阶段基肥反而会降低0~20 cm石灰性黑钙土的总有机碳含量,后期阶段有机肥对0~20 cm石灰性黑钙土的总有机碳增量有一定的效果。

20~40 cm石灰性黑钙土:同一处理三年土壤总有机碳含量整体呈逐渐降低趋势。与对照相比,2016年  $T_1\sim T_3$ 处理总有机碳含量差异显著。2017年  $T_1$ 处理总有机碳含量降低52.75%、 $T_2$ 处理降低59.34%,  $T_3$ 和  $T_4$ 处理总有机碳含量增加。2018年  $T_1$ 处理的总有机碳含量降低40.31%、 $T_2$ 处理降低34.62%,差异显著;  $T_3$ 和  $T_4$ 处理差异不显著。说明土层置换后不同处理都会消耗20~40 cm石灰性黑钙土的总有机碳含量,早期阶段土层置换后化肥对20~40 cm石灰性黑钙土的总有机碳含量的影响并不大,中期阶段基肥和秸秆对20~40 cm石灰性黑钙土的总有机碳含量有反作用趋势,后期阶段与中期阶段的趋势差不多。

由此可看出,只进行土层置换不利于土壤总有机碳的积累,土层置换后不同肥源才能够有效增加土壤有机质含量,试验条件下以  $T_3$ 效果最好,  $T_4$ 处理次之。

## 2.2 土层置换对石灰性黑钙土碱解氮含量的影响

玉米喜氮,碱解氮可快速供给作物养分,在评估土壤供氮能力时常会以此为首要的参考依据。由图2可知,对碱解氮会有显著影响的两大因素是施肥处理、土层。

0~20 cm石灰性黑钙土:同一处理2016~2018

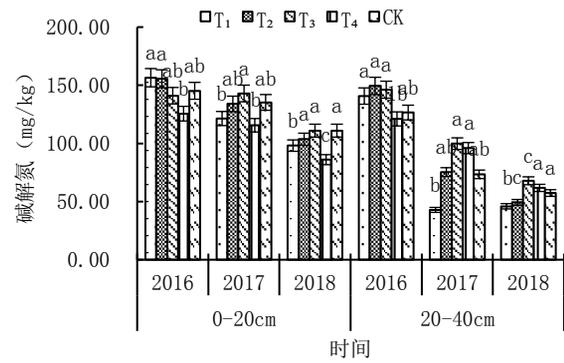


图2 不同处理对石灰性黑钙土碱解氮含量的影响

年碱解氮的含量日渐减少。与CK相比,2016年  $T_1\sim T_4$ 处理碱解氮含量略微下降。2017年  $T_3$ 处理的碱解氮含量增加5.72%,虽然碱解氮含量最高,但差异不显著;  $T_1$ 处理碱解氮含量降低10.24%,  $T_4$ 处理降低14.52%。2018年  $T_1$ 处理降低11.60%,  $T_4$ 处理降低22.52%,差异显著,其他处理差异不显著。

20~40 cm石灰性黑钙土:2016~2018年土壤碱解氮的含量不断减少。与CK相比,2016年  $T_1$ 处理土壤碱解氮含量增加11.20%,  $T_2$ 处理增加18.07%,  $T_3$ 处理增加15.52%,  $T_4$ 处理差异不显著。2017年  $T_3$ 处理增加35.96%,  $T_4$ 处理增加30.70%,  $T_1$ 处理减少41.66%,差异显著;  $T_2$ 处理未达显著水平。2018年  $T_1$ 处理下降19.87%,  $T_2$ 处理下降13.97%;  $T_3$ 和  $T_4$ 处理呈上升趋势,但未达到显著水平。

由此可看出,土层置换后增施有机肥(秸秆、鸡粪)更有利于增加土壤碱解氮含量,试验条件下以  $T_3$ 处理效果最好。

## 2.3 土层置换对石灰性黑钙土速效磷含量的影响

土壤中的速效磷是玉米生长发育必不可少的营养元素之一,它以多种方式参与玉米植株的各种生理代谢过程。由图3可知,不同土层中速效磷的含量差异较大。

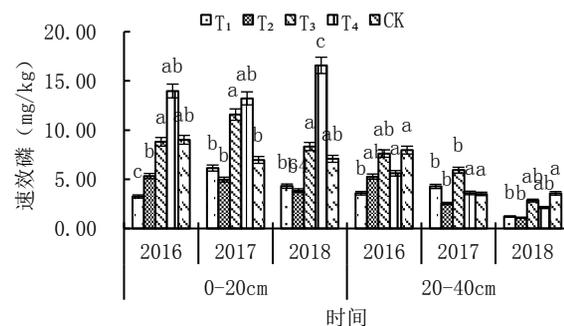


图3 不同处理对石灰性黑钙土速效磷含量的影响

0~20 cm石灰性黑钙土:同一处理速效磷的含量随处理年限增加变化不大。与CK相比,2016年  $T_1$ 处理降低63.95%,  $T_2$ 处理降低40.87%,速效

磷含量最高的是 $T_4$ ,增长幅度为55.07%, $T_3$ 处理没有达到显著性水平。2018年 $T_1$ 处理降低39.12%、 $T_2$ 处理降低45.76%,差异不显著,以 $T_4$ 处理速效磷含量最高,差异显著, $T_3$ 处理差异不显著。

20~40 cm石灰性黑钙土:同一处理土壤中速效磷含量随年限增长整体呈下降趋势。与CK相比,2016年速效磷含量最低的是 $T_1$ 处理,下降55.02%,差异显著, $T_2$ 、 $T_3$ 、 $T_4$ 处理差异不显著。2017年速效磷含量最高的是 $T_3$ ,增长68.71%, $T_2$ 处理下降27.88%,差异显著, $T_1$ 、 $T_4$ 处理差异不显著。2018年土壤速效磷含量最高的是CK处理,其次是 $T_3$ 处理,未达显著性水平, $T_1$ 、 $T_2$ 和 $T_4$ 处理显著下降。

由此可以看出,土层置换不利于土壤速效磷的积累,增施不同肥源对土壤速效磷的积累具有重要作用,试验条件下,增施40%磷肥的 $T_4$ 处理对0~20 cm的石灰性黑钙土的速效磷增加幅度最大,对20~40 cm石灰性黑钙土的效果不显著;综合来看, $T_3$ 对两层土壤的影响效果最佳。

#### 2.4 土层置换对石灰性黑钙土速效钾含量的影响

速效钾是玉米生长重要元素之一,它能够促进作物的光合作用,提高抗逆能力,从而提高玉米产量和品质。

0~20 cm石灰性黑钙土:同一处理土壤速效钾含量随年限增长呈降低趋势(图4)。与CK相比,2016年 $T_3$ 处理后土壤速效钾含量升高64.14%,差异显著,其他处理差异不显著。2017年 $T_1$ 处理土壤速效钾含量最高,但差异不显著。2018年 $T_3$ 处理土壤速效磷含量最高,差异显著,其他处理差异不显著。

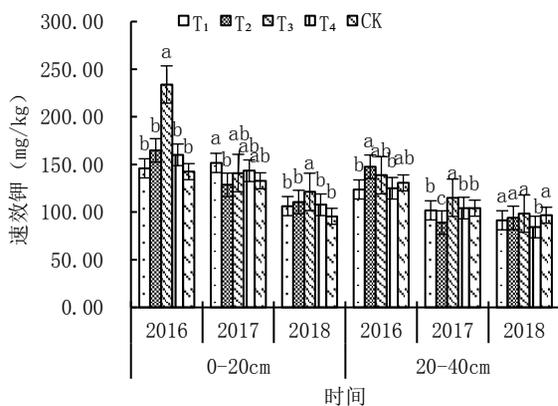


图4 不同处理对石灰性黑钙土速效钾含量的影响

20~40 cm石灰性黑钙土:同一处理土壤中速效钾含量随年限增长呈缓慢降低趋势。与CK相比,2016年速效钾含量最低和最高的分别是 $T_1$ 、 $T_2$ 处理,但差异不显著。2017年速效钾含量最高和最低的分别是 $T_3$ 、 $T_2$ 处理,前者增加10.51%,后者

降低14.50%,差异显著,其他处理差异不显著。2018年 $T_4$ 处理速效钾含量降低12.77%,差异显著,其他处理差异不显著。可见,虽然土壤速效钾含量并不会受土层置换的影响,但是,增施有机肥源却可促使其含量明显上升。在处理的过程中发现,效果最明显的是 $T_3$ 处理。

### 3 结论与讨论

(1)土层置换处理后,可一定程度提高石灰性黑钙土总有机碳的含量。研究指出,土层置换处理随土层深度增加土壤养分含量呈不同的变化趋势,这种置换有利于不同土层土壤养分含量的均匀分布<sup>[1]</sup>,与本研究结论基本一致。本研究还得出土层置换后不同培育处理都会消耗20~40 cm石灰性黑钙土的总有机碳含量,早期阶段土层置换后化肥对20~40 cm石灰性黑钙土的总有机碳含量的影响并不大,中期阶段基肥和秸秆对20~40 cm石灰性黑钙土的总有机碳含量有反作用趋势,后期阶段与中期阶段的趋势相似。总体而言,只进行土层置换不利于土壤总有机碳的积累,土层置换后不同肥源才能够有效增加土壤有机质含量,试验条件下 $T_3$ 增加有机肥效果最好, $T_4$ 增加化肥的效果次之。

(2)土层置换处理后,供试土壤常规耕作处理石灰性黑钙土碱解氮含量随土层深度加深呈下降趋势,土层置换处理后不同施肥对土壤养分含量的影响程度不同,与杨封科等<sup>[4]</sup>研究结论一致,但本研究培肥方式与其不同,其侧重于工业肥料,本研究侧重于更易获得的秸秆、鸡粪等,研究价值各有不同。土层置换后增施秸秆、有机肥,即通过 $T_2$ 、 $T_3$ 处理后,更有利于增加土壤碱解氮的含量,在本试验条件下以 $T_3$ 增加有机肥所取得的效果最好, $T_2$ 处理次之,这是因为土壤置换促进了作物对有机养分的吸收利用,吸收有机肥不仅增加0~20 cm土层养分的积累,且对20~40 cm土层养分的积累作用效果明显。

(3)土层置换处理后,供试土壤常规耕作处理石灰性黑钙土速效磷含量随土层深度加深呈下降趋势,土层置换处理后不同施肥对土壤养分含量的影响程度不同,这很好地验证了苍真名<sup>[4]</sup>的研究结论。总体而言,土层置换不利于石灰性黑钙土速效磷的积累,增施不同肥源对石灰性黑钙土速效磷的积累具有重要作用,试验条件下,增施40%磷肥的 $T_4$ 处理对0~20 cm石灰性黑钙土的速效磷增加幅度最大,但对20~40 cm(下转第85页)

- [67] 刘双洋. 丛枝菌根真菌对水稻镉胁迫响应及其转运过程的影响研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2015.
- [68] 杨超. 深色有隔内生真菌对水稻铅耐受性及转运的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2018.
- [69] 袁志林. 一株广谱内生真菌 B3 对水稻生长及生理影响研究[D]. 南京: 南京师范大学, 2005.
- [70] 吴金丹, 陈乾, 刘晓曦, 等. 印度梨形孢对水稻的促生作用及其机理的初探[J]. 中国水稻科学, 2015, 29(2): 200-207.
- [71] 杨陶陶, 倪国荣, 邵正英, 等. 生防链霉菌 JD211 对水稻秧苗形态和生理特征的影响[J]. 南方农业学报, 2015, 46(10): 1805-1811.
- [72] 邵正英, 聂丽, 李张, 等. 链霉菌 JD211 对水稻根系形态特征和抗性酶活的影响[J]. 西南农业学报, 2017, 30(4): 739-743.
- [73] 魏赛金, 王世强, 李昆太, 等. 链霉菌 702 对水稻种子萌发、幼苗生长及土壤微生物的影响[J]. 农业环境科学学报, 2014, 33(5): 853-861.
- [74] 李张, 徐志荣, 汪青松, 等. 链霉菌 JD211 所产活性物质对水稻种子萌发及叶片防御反应的影响[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(7): 95-98.
- [75] 王世强, 杨陶陶, 李庆蒙, 等. 链霉菌 JD211 对水稻幼苗生长及土壤可培养功能微生物的影响[J]. 广东农业科学, 2014, 41(11): 10-13.
- [76] Ortíz-Castro R, Contreras-Cornejo H A, Macías-Rodríguez L, et al. The role of microbial signals in plant growth and development[J]. Plant Signaling and Behavior, 2009, 4(8): 701-712.

(责任编辑: 王昱)

(上接第 71 页)的效果不显著,  $T_3$  增加有机肥对两层土壤的影响效果最佳。

(4) 土层置换处理后, 伴随着土层深度的不断变化, 石灰性黑钙土速效钾含量会逐渐降低。实际上, 在处理后由于施肥方式的不同, 导致土壤养分含量也会呈现出多种变化趋势。虽然土壤速效钾含量的改变并不由土层置换技术来决定, 但是, 增施有机肥源却可达到这一目的。在试验过程中, 处理效果最可观的是  $T_3$  处理。利用土壤置换技术结合有机肥供给可以显著改善土壤环境, 增加土壤肥力, 进而为作物营造良好的土壤环境, 适于推广应用。

#### 参考文献:

- [1] 卢佳, 邹洪涛, 刘峰, 等. 土层置换对土壤物理性质及养分有效性的影响[J]. 土壤通报, 2015, 46(5): 198-202.
- [2] 周利军, 叶会财, 李大明, 等. 配施有机肥对潜育化水稻土的培肥效果[J]. 中国土壤与肥料, 2016(1): 89-93.
- [3] 孟庆英, 张春峰, 朱宝国, 等. 土层置换对土壤酶及土壤养分含量的影响[J]. 中国农学通报, 2014, 30(3): 157-161.
- [4] 杨封科, 何宝林, 张国平, 等. 土壤培肥与覆膜垄作对土壤养分、玉米产量和水分利用效率的影响[J]. 应用生态学报, 2019, 30(3): 186-198.
- [5] 陈子明. 土壤培肥对土层结构养分性状的影响[J]. 土壤通报, 1988(3): 17-19.
- [6] 赵晓会, 刘海轮, 孙颖, 等. 培肥对烟田土壤养分含量及烤烟生长发育的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2011(6): 123-129.
- [7] 宣毓龙. 改性高分子化合物对土壤养分和小麦产量的影响[D]. 石河子: 石河子大学, 2016.
- [8] Sheng Y, Zhu L. Biochar alters microbial community and carbon sequestration potential across different soil p H[J]. Science of the Total Environment, 2018, 622(may1): 1391-1399.
- [9] Juan Zhao, Xingchang Wang. Effects of substrates on soil microbial carbon, nitrogen and phosphorus based on soil replacement method[J]. Journal of Northeast Forestry University, 2017, 41(2): 73-80.
- [10] 张丽霞, 王俊文, 王立春, 等. 有机物料腐熟剂在东北农作物秸秆还田上的应用[J]. 东北农业科学, 2018, 43(6): 5-8.
- [11] Hanackova E, Slamka P. Effect of Soil Cultivation Technology and Fertilization on Spring Barley (*Hordeum Vulgare* L.) Production Process[J]. Research Journal of Agricultural Science, 2012(1): 63-96.
- [12] Ward E J, Domec J C, Lavinier M A, et al. Fertilization intensifies drought stress: Water use and stomatal conductance of *Pinus taeda* in a midrotation fertilization and throughfall reduction experiment[J]. Forest Ecology and Management, 2015, 355: 72-82.

(责任编辑: 王昱)