

# 黑木耳菌糠还田对土壤理化性状的影响

孟庆英<sup>1,2</sup>, 张春峰<sup>1</sup>, 朱宝国<sup>1</sup>, 王囡囡<sup>1</sup>, 杨晓贺<sup>1</sup>, 顾鑫<sup>1</sup>, 高雪冬<sup>1</sup>, 姚亮亮<sup>1</sup>, 盖志佳<sup>1</sup>, 丁俊杰<sup>1\*</sup>

(1. 黑龙江省农业科学院佳木斯分院, 黑龙江 佳木斯 154000; 2. 沈阳农业大学土地与环境学院, 沈阳 110866)

**摘要:** 随着耕种年限增加, 土壤日益退化, 菌糠作为廉价有机物料及土壤改良剂对土壤的可持续利用和作物生长都具有积极的影响, 本研究采用随机区组试验设计方法, 以黑木耳菌糠为试验材料, 设置不施氮肥(CK), 纯氮 120 kg/hm<sup>2</sup> (T1), 菌糠替代氮肥用量 20% (T2)、40% (T3)、60% (T4) 5 个处理, 将菌糠与 0~20 cm 土层土壤充分混匀。研究黑木耳菌糠对土壤理化性状及马铃薯产量的影响。结果表明, 添加菌糠后土壤耕层贯入阻力下降; 土壤三相比得到改善; 土壤水稳性团聚体、平均重量直径(MWD)随菌糠添加量增加而增加, 且各处理差异达到显著水平 ( $P < 0.05$ ); 土壤有机质及全氮含量表现为增加趋势; 马铃薯产量与 CK 相比 2015 年各处理分别增产 10.51%、3.31%、8.19%、9.01%, 2016 年分别提高 4.61%、0.60%、5.13%、4.53%。结合马铃薯产量及经济效益结果, 本研究认为菌糠替代氮肥 40% 为最佳用量。

**关键词:** 黑木耳; 菌糠; 土壤; 马铃薯; 理化性状

中图分类号: S156

文献标识码: A

文章编号: 2096-5877(2021)05-0021-05

## Effects of Waste Material of *Auricularia Auricula* Substrate Returning to Field on Soil Physicochemical Properties

MENG Qingying<sup>1,2</sup>, ZHANG Chunfeng<sup>1</sup>, ZHU Baoguo<sup>1</sup>, WANG Nannan<sup>1</sup>, YANG Xiaohe<sup>1</sup>, GU Xin<sup>1</sup>, GAO Xuedong<sup>1</sup>, YAO Liangliang<sup>1</sup>, GAI Zhijia<sup>1</sup>, DING Junjie<sup>1\*</sup>

(1. Jiamusi Branch, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Jiamusi 154000; 2. College of Land and Environmental Science, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China)

**Abstract:** Waste material of *Auricularia auricula* (WMAA) degenerated from the culture medium after edible fungi harvesting still contains quite a few nutrients that are beneficial to the growth of crops. WMAA is a good organic material and ameliorant for soil improvement. We adopted a randomized block test design method and investigated physicochemical properties and microorganisms of soil in fields amended with WMAA. Five treatments were set up as follows: no fertilization (CK), chemical nitrogen fertilizer 120 kg/ha(T1), application of WMAA instead of 20% (T2), 40% (T3), 60% (T4) chemical nitrogen fertilizer. The WMAA was fully mixed with soil surface horizon (0~20 cm). The findings demonstrated that application of the WMAA significantly decreased the penetration resistance of soil surface (0~20 cm). WMAA had a role in improvement of soil structure which was evident by a decrease soil solid phase, soil bulk density and increase MWD of soil water stable aggregates, which became more obvious as the amounts of WMAA were increased, and the difference indicated significant level compared with CK ( $P < 0.05$ ). Compared with CK, the yield of increase ratio was 10.51%, 3.31%, 8.19%, 9.01% in 2015, and 4.61%, 0.60%, 5.13%, 4.53% in 2016. The application of different amounts of WMAA had positive effect on soil and the yield of potato. Combined with the results of potato yield, the author concluded that the use of WMAA to instead of 40% nitrogen fertilizer was reasonable.

**Key words:** *Auricularia auricula*; Waste material of *Auricularia auricula*; Soil; Potato; Physicochemical properties

收稿日期: 2020-06-22

基金项目: 黑龙江省现代农业产业技术协同创新推广体系(JM201700214); 黑龙江省农业科学院农业科技创新跨越工程项目(HNK2019CX14、HNK2019CX1304)

作者简介: 孟庆英(1982-), 女, 助理研究员, 博士, 主要从事土壤改良与植物营养研究。

通讯作者: 丁俊杰, 男, 博士, 研究员, E-mail: me999@126.com

中国食用菌总产量和总出口量位于世界第1位,食用菌年产量占世界总产量的75%以上<sup>[1]</sup>。菌糠作为食用菌栽培的副产品,据推算,每生产1 kg食用菌会产生约5 kg菌糠<sup>[2]</sup>。传统的菌糠处理方式多为废弃或燃烧,这不仅造成农业有机资源的浪费,也对周围的环境造成严重污染<sup>[3]</sup>,黑龙江省是仅次于河南省和山东省的全国第三大食用菌生产基地,菌糠给农区和林区经济、环境带来的压力已经成为亟待解决的问题。作为我国粮食主产区,黑龙江省部分耕地常年连作,经营模式单一,耕作方式粗放,导致该地区优质耕地资源急剧减少、基础地力持续下降,其中水土流失、土壤有机质下降、土壤酸化、土壤污染等问题十分突出<sup>[4]</sup>。化学肥料的大量使用,在增加农民种地成本的同时,也造成土壤酸化、土壤板结等一系列土壤退化问题<sup>[5]</sup>。大量研究表明菌糠作为一种有机物料还田后,不但可以缓效释放作物生长的大量营养元素,菌糠还含有许多微量元素及酶类,菌糠还田一方面可提高农业土壤养分含量<sup>[6-7]</sup>,另一方菌糠作为土壤改良剂,具有结构疏松、透气性好、保水保肥性强等特点,可提高土壤抗旱保水能力,对土壤可持续利用起到积极作用<sup>[8-9]</sup>。马铃薯是世界第4大粮食作物,黑龙江省是我国马铃薯主产区,马铃薯产量除受马铃薯品种的影响,土壤、肥料状况也直接影响马铃薯产量。本研究采用菌糠替代氮肥设计,以黑木耳菌糠为研究材料,探讨黑木耳菌糠不同还田量对土壤物理性质和化学性质的影响,为减少肥料用量、培肥土壤及作物增产提供综合性参考依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验区概况

试验地点位于黑龙江省农业科学院佳木斯分院试验地(46°47'29.9328"N,130°24'29.5056"E),属中温带大陆性季风气候,雨热同期,年平均气温3℃。冬长夏短,年平均降水量527 mm,有效积温2590℃·d。供试土壤为草甸土,土壤基本理化性质:有机质21.41 g/kg、全氮1.10 g/kg、pH 6.17。

### 1.2 试验设计

供试菌糠:黑木耳栽培废弃物,栽培料主要成分:53%木屑、15%麦麸、30%玉米芯、1%石膏、1%石灰。菌糠基本化学性质:全氮7.47 g/kg、全磷2.09 g/kg、全钾1.89 g/kg、有机质716.50 g/kg、pH 6.20。

试验于2015~2016年在田间微区进行,微区

每处理面积6 m<sup>2</sup>(长3 m,宽2 m),随机排列,3次重复,每小区设置50 cm隔离带。共设置5个处理,处理1不施氮肥(CK);处理2纯氮120 kg/hm<sup>2</sup>(T1);处理3菌糠替代氮肥20%(T2),菌糠用量为3213 kg/hm<sup>2</sup>;处理4菌糠替代氮肥40%,菌糠用量为6425 kg/hm<sup>2</sup>(T3);处理5菌糠替代氮肥60%,菌糠用量为9638 kg/hm<sup>2</sup>(T4)。种植作物:马铃薯(品种,荷兰14),采用垄作,每小区种植4行,行距65 cm,株距20 cm。于5月中旬播种,8月末收获。播种前将菌糠与耕层土壤(0~20 cm)充分混合。氮肥:尿素(N 46%),磷肥:过磷酸钙(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 12%)90 kg/hm<sup>2</sup>,钾肥:硫酸钾(K<sub>2</sub>O 50%)100 kg/hm<sup>2</sup>,将肥料混匀播种前均匀条施在每两行间。利用自然降水供水,田间管理同大田。

### 1.3 样品采集与测定方法

于2016年秋马铃薯成熟期进行土壤样品采集,蛇形采样法,采用容积为100 cm<sup>3</sup>环刀采集耕层(0~20 cm)土壤样品用于土壤容重及土壤三相测定;每个小区采集0~20 cm原状土,放入取样盒,在采集和运输过程中减少对土壤样品的扰动,减少对土壤团聚体的破坏。将一部分风干后土样混合均匀,采用四分法取100 g放入水桶中,分别通过2、1、0.5、0.25 mm的土壤套筛以振幅38 mm,30 min在水中筛分。将收集到的团聚体用蒸馏水洗入到铝盒,65℃烘干并称质量,用于土壤水稳性团聚体测定。一部分土壤风干后用于土壤有机碳、土壤全氮及土壤pH的测定。

土壤贯入阻力采用日本大起理工制DIK-5521硬度计,圆锥底面2 cm<sup>2</sup>测定;土壤三相采用日本DIK-1120土壤三相仪测定;土壤有机质测定采用重铬酸钾-硫酸外加热法;土壤全氮测定采用凯氏定氮法;pH值测定采用电位法<sup>[10]</sup>。

2015、2016年测定马铃薯产量,每小区整体收获,折算成公顷产量。

### 1.4 数据处理

不同粒级团聚体的质量百分数,按(1)式计算:

$$w_i = \frac{W_{wi}}{100} \times 100\% \dots\dots\dots (1)$$

式中,w<sub>i</sub>为i粒级团聚体质量百分比(%);W<sub>wi</sub>为i粒级团聚体质量(g);平均重量直径(mean weight diameter, MWD)按BAVEL<sup>[11]</sup>推导公式计算。

试验数据采用Excel 2010和SPSS 19.0进行计算和统计分析,多重比较采用最小显著极差法(LSD,α=0.05)。

## 2 结果与分析

### 2.1 菌糠对土壤理化性状的影响

#### 2.1.1 土壤贯入阻力

土壤贯入阻力对植物生长和作物产量有直接的影响。随土壤深度加深各处理土壤贯入阻力值呈增加趋势(图1),与CK比较,随菌糠添加量的增加,土壤贯入阻力值降低,但差异未达到显著水平( $P>0.05$ )。在20 cm深度,各处理土壤贯入阻力值分为CK, 0.48 MPa; T1, 0.45 MPa; T2, 0.43 MPa; T3, 0.47 MPa; T4, 0.33 MPa。结果表明菌糠添加可降低土壤贯入阻力,增加土壤疏松性。

#### 2.1.2 土壤三相及容重

土壤三相测定结果表明(表1),随着菌糠添加量的增加,土壤固相比值降低,气相、液相比值

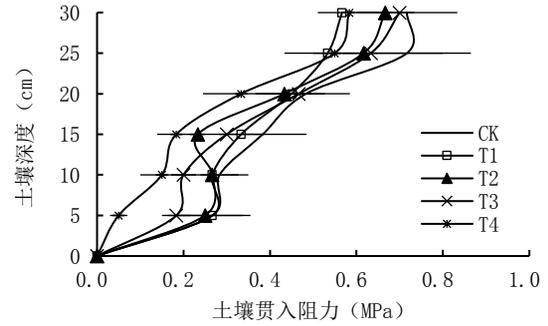


图1 菌糠对土壤贯入阻力的影响

升高,各处理固相比值比CK分别降低2.86%、8.92%、11.36%、11.38%, T3、T4处理的固相比值与CK差异达到显著水平( $P<0.05$ ),土壤液相比值处理间差异不显著;土壤气相比值,除T1处理,其他处理与CK差异达到显著水平( $P<0.05$ )。

表1 菌糠对土壤三相及土壤容重的影响

处理	土壤三相(%)			土壤容重( $g/cm^3$ )
	固相	液相	气相	
CK	49.49±1.49a	23.18±1.37a	27.33±0.12b	1.18±0.01a
T1	48.08±1.23ab	24.46±0.82a	27.47±0.47b	1.11±0.04ab
T2	45.08±0.40ab	23.72±0.44a	31.20±0.32a	1.10±0.03ab
T3	43.87±2.56b	24.45±1.99a	31.68±0.72a	1.06±0.03b
T4	43.86±1.09b	23.54±0.40a	32.60±0.71a	1.02±0.05b

随菌糠添加量的增加土壤容重值也降低, T3、T4处理与CK差异达到显著水平( $P<0.05$ )。说明菌糠的添加可有效降低土壤固相比值,提高气相液相比值,降低土壤容重,从而可有效改变长期耕作造成的土壤板结、变硬等问题。

#### 2.1.3 土壤水稳性团聚体

土壤水稳性团聚体对保持土壤结构的稳定性有重要作用,土壤团聚体MWD是各级团聚体的综合指标,其值随着大粒级团聚体的含量增加而增加,其值越大说明团聚体稳定性越好<sup>[12]</sup>。由表2可知,0~20 cm土层土壤水稳性团聚体集中分布在<0.25 mm粒级;随菌糠添加量的增加各处理

2~1 mm粒级土壤团聚体数量增加,MWD值也表现为增加趋势,T4处理的MWD最高;菌糠的添加等同于有机物料的添加,可以增加0~20 cm土层土壤大团聚体的数量,进而增加土壤MWD值,说明菌糠添加对于改善土壤团聚体结构具有积极作用。

#### 2.1.4 菌糠对土壤有机质、全氮及pH的影响

由表3可知,菌糠不同添加量对土壤pH没有显著影响,对土壤有机质、全氮有显著影响,随着菌糠添加量的增加,土壤有机质、全氮含量有增加的趋势。产生上述现象的原因是,食用菌栽培料本身含有大量的有机质,菌糠的添加改善土壤物理性状,使土壤通气透水性能增强,影响土壤

表2 不同处理对土壤水稳性团聚体的影响

处理	团聚体百分含量(%)					MWD
	>2 mm	2~1 mm	1~0.5 mm	0.5~0.25 mm	<0.25 mm	
CK	4.71±0.13a	9.48±0.92c	16.13±2.34a	13.59±0.55b	56.09±2.53a	0.55±0.01e
T1	4.41±0.09a	11.94±0.22bc	18.31±1.33a	13.39±1.57b	51.94±0.78a	0.59±0.00d
T2	4.87±0.94a	12.86±2.22bc	17.76±1.09a	19.20±2.7 a	45.31±2.71b	0.62±0.01c
T3	4.91±0.34a	15.98±1.16ab	16.10±0.33a	18.14±1.39ab	44.87±0.85b	0.66±0.00b
T4	2.19±0.16a	18.50±2.11a	21.63±4.66a	16.46±1.23ab	39.23±2.26b	0.70±0.01a

注:不同小写字母表示处理间存在显著差异( $P<0.05$ ),下同

表3 菌糠对土壤有机质、全氮及pH的影响

处理	有机质(g/kg)	全氮(g/kg)	pH
CK	21.26±0.61d	1.03±0.05b	6.23±0.03a
T1	22.18±0.43cd	1.05±0.04b	6.24±0.01a
T2	23.06±0.21bc	1.11±0.02ab	6.29±0.01a
T3	24.14±0.43b	1.12±0.01ab	6.24±0.02a
T4	27.51±0.53a	1.17±0.01a	6.27±0.05a

表4 菌糠添加对马铃薯产量的影响

时间	处理	CK	T1	T2	T3	T4
2015	产量(kg/hm <sup>2</sup> )	33 588.00±801.54b	37 117.67±1049.28a	34 698.33±1130.17ab	36 338.67±516.18ab	36 614.67±670.79a
	增产比(%)	-	10.51	3.31	8.19	9.01
2016	产量(kg/hm <sup>2</sup> )	36 712.33±361.53b	38 404.67±335.57ab	36 933.67±700.82ab	38 595.00±780.55a	38 375.00±395.41ab
	增产比(%)	-	4.61	0.60	5.13	4.53

理增产 3.31%, T3 处理增产 8.19%, T4 处理增产 9.01%; 2016 年马铃薯产量测定结果表明, 与 CK 比较其他处理均表现为产量增加, 增产比为 T3>T1>T4>T2。两年产量结果说明菌糠不同比例替代氮肥与常规施肥比虽然产量有所降低, 但差异未达到显著水平, 且 2016 年 40% 氮肥替代处理 (T3) 产量略高于常规施肥处理 (T1)。本研究中各处理马铃薯经济效益主要受马铃薯产量、尿素用量和菌糠投入成本影响, 按照尿素 2.6 元/kg; 施用菌糠费用: T2 处理 500 元/hm<sup>2</sup>, T3 处理 800 元/hm<sup>2</sup>, T4 处理 1 100 元/hm<sup>2</sup>; 马铃薯按照市场价格 1 元/kg 进行计算, 与常规施肥 T1 处理相比, T3 处理两年平均每年多投入 854.34 元/hm<sup>2</sup>, T4 处理多投入 1 005.34 元/hm<sup>2</sup>。由此表明本研究 T3 处理在马铃薯经济效益上优于 T4 处理。

### 3 讨论

中国耕地普遍采用增施有机肥、秸秆还田等方式培肥土壤, 但在中国北方气温低严重影响秸秆腐解速度<sup>[13-15]</sup>, 菌糠内的纤维素、木质素已被大量降解, 对于快速培肥土壤具有积极意义。本研究表明, 黑木耳菌糠添加可降低 0~20 cm 土壤硬度、固相及容重且随菌糠用量增加降低幅度增加, 土壤水稳性大团聚体数量及 MWD 值均增加, 产生上述原因是菌糠质量轻、密度较小, 能够很好地进行孔隙填充工作, 并极大程度地优化土壤结构, 如石堃等研究猴头菇菌糠作为盐碱土改良剂可减小土壤容重、增大土壤孔隙度、增加土壤大团聚体数量<sup>[16]</sup>; 代立兰等利用双孢蘑菇菌糠改良盐碱土结果表明菌糠可降低土壤容重<sup>[17]</sup>; 王

莹等研究香菇菌糠施用可降低土壤容重, 增加土壤大团聚体数量<sup>[3,9,18]</sup>。本研究结果表明, 菌糠替代氮肥还田不但可以节约氮肥用量, 还能增加土壤有机质和全氮含量, 其原因一方面是菌糠本身含有大量的有机质, 另一方面食用菌生长过程中产生大量菌丝体, 菌丝体含有大量的多糖、单糖、氨基酸等营养物质, 食用菌生长过程中菌丝体还会向栽培基质中分泌大量的酶类、多糖和生物酶等其他次生代谢物, 从而增加菌糠的养分含量<sup>[19]</sup>。土壤有机质的增加可培肥土壤, 还可以改变土壤结构, 增加土壤大团聚体<sup>[12]</sup>进而影响土壤微生物学特性。曹雪莹等认为菌糠微生物含量较高, 能够行之有效地提升与优化植株的生长环境, 极大程度地降低病虫害灾害, 形成良好的生长模式<sup>[20]</sup>。菌糠使土壤理化性质得到改善, 对作物生长起到积极作用, 2 年研究结果表明菌糠添加可有效增加马铃薯产量。

### 2.2 菌糠对马铃薯产量及经济效益的影响

由表 4 可知, 2015 年马铃薯产量测定结果表明, 与 CK 相比 T1 产量最高, 增产幅度达到 10.51%。说明不施氮肥显著影响马铃薯产量 ( $P < 0.05$ ); 与 T1 相比, 菌糠替代氮肥添加各处理产量有所下降, 但差异未达到显著水平; 随菌糠添加量增加与 CK 相比各处理马铃薯产量增加, T2 处

由于食用菌栽培物料和培养环境的不同, 菌糠的养分含量及组成差异较大<sup>[12, 21-22]</sup>。菌糠作为土壤改良剂或有机肥使用方法多样无统一标准, 有将菌糠直接还田<sup>[23-24]</sup>, 有将菌糠进行堆肥发酵或加一些微生物菌剂投入土壤<sup>[21]</sup>, 还有将菌糠与其他物料配合施用<sup>[25-26]</sup>。伴随新的化学工艺发展, 将菌糠养分进行提取、浓缩开发制作的土壤调节剂产品也将是菌糠利用的新途径。菌糠的利用应根据菌糠本身理化性质、土壤理化性质进行比较研究, 应综合考虑菌糠成分, 避免二次污染, 应对长期施用菌糠后土壤的微生物群落多样性变化进行分析, 同时对环境产生的影响进行综合评估。菌糠还田可采用新的配方集成, 降低菌糠处

理成本,减少菌糠丢弃焚烧对环境的污染,需要寻找新的工艺生产出涵盖大量养分元素和微量养分元素的新型生物质,达到降低肥料成本,改善土壤理化性质,增加土壤肥力和微生物活性,最终达到土壤的可持续发展和作物增产的目的。

## 4 结 论

菌糠添加可改善土壤理化性状,随着菌糠添加量的增加,土壤耕层贯入阻力减小,可改善土壤三相比,降低土壤容重,增加土壤水稳性大团聚体数量和MWD;菌糠添加在减少氮肥用量的同时使土壤有机质、全氮含量增加;综上,结合马铃薯产量及经济效益结果,本研究认为菌糠替代氮肥40%处理在减少尿素用量,改善土壤理化性状上效果最佳。

### 参考文献:

- [ 1 ] Islam T, Yu X, Xu B. Phenolic profiles, antioxidant capacities and metal chelating ability of edible mushrooms commonly consumed in china[J]. LWT-Food Science and Technology, 2016, 72: 423-431.
- [ 2 ] Lau K L, Tsang Y Y, Chi S W. Use of spent mushroom compost to bioremediate PAH-contaminated samples[J]. Chemosphere, 2003, 52: 1539-1546.
- [ 3 ] 楼子墨,王卓行,周晓馨,等.废弃菌糠资源化过程中的成分变化规律及其环境影响[J].环境科学,2016(1):397-402.
- [ 4 ] 魏 丹,杨 谦,迟凤琴.东北黑土区土壤资源现状与存在问题[J].黑龙江农业科学,2006(6):69-72.
- [ 5 ] 章海波,骆永明,李 远,等.中国土壤环境质量标准中重金属指标的筛选研究[J].土壤学报,2014,51(3):429-438.
- [ 6 ] Roy S, Barman S, Chakraborty U, et al. Evaluation of spent mushroom substrate as biofertilizer for growth improvement of *Capsicum annum* [J]. Appl Biol Biotechnol, 2015, 3: 22-27.
- [ 7 ] 毛碧增,贺满桥,陈丽闽,等.蘑菇菌糠复配生物基质对番茄营养生长及光合作用的影响[J].核农学报,2015(9):1821-1827.
- [ 8 ] Medina E, Paredes C, Bustamante M A, et al. Relationships between soil physico-chemical, chemical and biological properties in a soil amended with spent mushroom substrate[J]. Geoderma, 2012, 173: 152-161.
- [ 9 ] 王良梅,黄松杉,郑光耀,等.菌渣作为土壤调理剂资源化利用的研究进展[J].土壤通报,2016(5):1273-1280.
- [ 10 ] 鲁如坤.土壤农业化学分析方法[M].北京:中国农业科技出版社,2000:146-195.
- [ 11 ] Van Bavel, C H M. Mean weight-diameter of soil aggregates as a statistical index of aggregation[J]. Proceedings. Soil Science Society of America, 1949,14: 20-23.
- [ 12 ] Six J, Elliott E T, Paustian K, et al. Aggregation and soil organic matter accumulation in cultivated and native grassland soils [J]. Soil Science Society of America Journal, 2010, 62(5): 1367-1377.
- [ 13 ] 龚振平,邓乃榛,宋秋来,等.基于长期定位试验的松嫩平原还田玉米秸秆腐解特征研究[J].农业工程学报,2018,34(8):139-145.
- [ 14 ] 梁 卫,袁静超,张洪喜,等.东北地区玉米秸秆还田培肥机理及相关技术研究进展[J].东北农业科学,2016,41(2):44-49.
- [ 15 ] 李瑞平,罗 洋,谢瑞芝,等.秸秆覆盖免耕条件下玉米和大豆田机械与化学除草效果比较分析[J].东北农业科学,2019,44(2):1-6.
- [ 16 ] 石 堃,崔大练,易 杨,等.菌糠土壤改良剂对滩涂盐碱土壤主要理化性质的影响[J].国土与自然资源研究,2014(5):45-47.
- [ 17 ] 代立兰,张怀山,夏曾润,等.有机废弃物菌糠和醋糟对次生盐渍化土壤修复效果研究[J].干旱地区农业研究,2014,32(1):218-222,251.
- [ 18 ] 王 莹,马宏伟.食用菌废渣改良土壤理化性质的研究[J].吉林农业,2013(1):59-60.
- [ 19 ] 冯小飞,杨青青,熊建辉,等.2种玉米芯菌糠的营养成分测定及平菇栽培试验[J].西南林业大学学报(自然科学版),2019,39(6):71-76.
- [ 20 ] 曹雪莹,陈智毅,唐秋实,等.金针菇菌糠啤酒糟有机肥对土壤及马铃薯品质的影响[J].食品安全质量检测学报,2017,8(6):2140-2145.
- [ 21 ] 陆 娜,袁卫东,周祖法,等.4种工厂化食用菌菌糠的主要营养成分及重金属分析[J].中国食用菌,2015(6):42-44.
- [ 22 ] 范文丽,李天来,代 洋,等.杏鲍菇、香菇、金针菇、蛹虫草、滑菇、平菇菌糠营养分析评价[J].沈阳农业大学学报,2013,44(5):673-677.
- [ 23 ] 邓欧平,李 瀚,周 稀,等.菌渣还田对土壤有效养分动态变化的影响[J].中国土壤与肥料,2014(4):18-23.
- [ 24 ] 冯德庆,黄勤楼,黄秀声,等.菌渣对水稻生长性状、产量及土壤肥力的影响[J].中国土壤与肥料,2012(1):74-77.
- [ 25 ] 王 强.菌糠与EM菌配施对玉米品质、产量及土壤理化性状的影响[D].晋中:山西农业大学,2016.
- [ 26 ] 刘 冉,董 莎,姚志超,等.黑木耳菌糠有机肥的制备及肥效研究[J].东北农业科学,2018,43(6):20-24.

(责任编辑:王 昱)