

富硒秸秆袋料栽培对平菇头潮菇硒及养分的生物强化效应

夏芳芳^{1,2}, 操涛¹, 李哲³, 宋旭东¹, 从响¹, 孙亚波¹, 周毅^{1,2*}, 汪建飞^{1,2*} (1. 安徽科技学院资源与环境学院, 安徽凤阳 233100; 2. 农业部生物有机肥创制重点实验室, 安徽蚌埠 233400; 3. 山东聊城莘县农业农村局, 山东莘县 252400)

摘要 [目的] 研究以富硒(Se)小麦秸秆作为袋料培养料成分栽培平菇, 对其硒及养分的生物强化效应。[方法] 富硒秸秆与棉籽壳以6种比例混合设置平菇袋料的供硒水平。[结果] 随着袋料中富硒秸秆占比、硒含量和硒累积量的升高, 头潮菇的生物量、硒含量和硒累积量的变化可用一元二次方程拟合。其中, 头潮菇鲜重最大时的袋料富硒秸秆占比、硒含量和硒累积量分别为52.4%、0.27 mg/kg和141.8 μg; 且富硒秸秆占比、硒含量及硒累积量与头潮菇的铜、磷和钾含量呈极显著负相关关系($P < 0.01$), 与镁含量呈显著负相关关系($P < 0.05$)。[结论] 该研究为实现富硒农产品的高效安全生产提供参考。

关键词 富硒秸秆; 平菇; 生物强化

中图分类号 S646.1⁺4 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2020)09-0055-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2020.09.017



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Biofortified Effect of Se-enriched Straw on Se Content and Nutrient Content in the First Tide of *Pleurotus ostreatus* Fruiting-body
XIA Fang-fang^{1,2}, CAO Tao¹, LI Zhe³ et al (1. College of Resource and Environment, Anhui Science and Technology University, Fengyang, Anhui, 233100; 2. Key Laboratory of Bio-organic Fertilizer Creation, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Bengbu, Anhui 233400; 3. Shenxian Agricultural and Rural Work Bureau, Shenxian, Shandong 252400)

Abstract [Objective] To estimate biofortified effect of selenium (Se)-enriched wheat straw on Se content and other nutrients content of *Pleurotus ostreatus* mushroom fruiting-body. [Method] 6 different percentages of Se-riched wheat straw in the total base material were selected for the cultivation of Se-enriched *Pleurotus ostreatus*. [Result] Parabola curves were fitted by the relation between properties (percentages, Se content and amount of Se accumulation) of Se-riched straw and properties (fresh weight, Se content, and amount of Se accumulation) of the first tide of *Pleurotus ostreatus* fruiting-body, respectively. The percentages, Se content and amount of Se accumulation of Se-riched straw at the highest fresh weight of the first tide of *Pleurotus ostreatus* fruiting-body was 52.4%, 0.27 mg/kg and 141.8 μg, respectively. Furthermore, the properties of Se-riched straw were extremely significant negatively related to Cu, P and K content of the first tide of *Pleurotus ostreatus* fruiting-body ($P < 0.01$), while the significant negative relationship was also observed between the properties of Se-riched wheat straw and Mg content of the fruiting-body ($P < 0.05$). [Conclusion] The study provides a reference for efficient and safe production of selenium-rich agricultural products.

Key words Selenium-enriched straw; *Pleurotus ostreatus*; Biofortify

硒(Se)是人体必需的微量元素之一, 具有营养、解毒、致毒三重生物学功能, 硒摄入不足或摄入过量均会造成人体伤害^[1-6]。由于地壳中硒含量低且分散^[5], 在我国, 总计有72%的土壤处于低硒状态^[7]。因此, 居民硒缺乏的风险相对更大, 但硒的最低摄入量至安全剂量的范围相对较窄, 且人群对硒的需求具有明显的地域、年龄和身体状况的差别^[6], 制定食品富硒的国家标准存在一定难度。目前, 各类富硒食品层出不穷, 但很少对这类农产品跨区域销售和食用过程中的安全性进行评价。此外, 除富硒地区已有确定因地质原因造成的人畜硒中毒的报道^[8], 对富硒食品生产工艺过程是否会造造成微域的环境污染尚未引起足够的重视。

毒理分析表明, 在不同的硒形态中, 有机硒比无机硒的毒性小且活性高^[1-3]。因此, 利用生物转化获得低毒、高效的有机硒是目前主要的研究方向之一。研究认为, 食用真菌具有较强的耐硒和富硒能力, 是较为理想的有机硒补剂产品^[5]。富硒食用菌的获得多以富硒菌种选育^[9]、在培养料中添加亚硒酸钠、亚硒酸钠、富硒酵母、硒代蛋氨酸及纳米硒

等^[1-5], 或者直接使用富硒秸秆作为培养料组分, 再通过食用菌吸收来达到富硒的效果^[1-3]。笔者采用富硒小麦秸秆部分替代平菇培养料中的棉籽壳, 研究其替代比例对平菇硒及养分含量的影响, 为降低直接添加亚硒酸钠可能对平菇及环境产生的污染风险, 并对富硒种植业产生的废弃秸秆进行再次利用, 为实现富硒农产品的高效安全生产提供参考。

1 材料与方法

1.1 试剂 硒、钙、镁、铜、锌和铁标准贮备液购自国家标准物质研究中心。消解用硝酸、盐酸及掩蔽剂氯化镧均为优级纯, 其余试剂均为分析纯。所有试剂在配制过程中均采用超纯水(电导率18 MΩ·cm)作为溶剂。

1.2 材料 富硒秸秆采自经过叶面喷施硒肥的试验田收获后的小麦秸秆(硒含量为0.52 mg/kg)。用铡刀切段至1 cm长。

平菇品种为农科12, 属于中广温型平菇菌株。平菇培养料配方: 有机物料(棉籽壳和富硒秸秆)85%、麸皮10%、石灰3%、蔗糖0.5%、尿素0.5%、过磷酸钙0.5%、复合维生素0.02%, 杀菌剂0.01%, 杀虫剂0.0001%, 料水比1:1.3。

1.3 试验设计 试验共设计6个处理。通过调节袋料中富硒秸秆的添加量而设置6个硒水平, 即富硒秸秆的占比分别为0、17%、34%、51%、68%和85%, 不足部分以棉籽壳补充至占培养袋料的85%。袋料中的其他成分用量保持一致。每个处理设置4个重复。

基金项目 安徽省学术和技术带头人科研资助项目(2018D181); 安徽科技学院校级质量工程项目(X2018004); 滁州市重大科技专项(2019ZK001)。

作者简介 夏芳芳(1989—), 女, 安徽宿州人, 硕士研究生, 研究方向: 农产品微量元素生物强化技术与应用。*通信作者: 周毅, 教授, 博士, 从事养分高效利用与管理研究; 汪建飞, 教授, 博士, 从事高附加值农产品生产技术与应用研究。

收稿日期 2019-09-05

每袋装培养料干重 520 g。培养料配制后,统一灭菌,接种。出菇温度为 $(15\pm 5)^\circ\text{C}$,湿度保持在 80%~90%。头潮菇长至七八分熟时采收,用蒸馏水冲洗后,70~80 $^\circ\text{C}$ 烘干至恒重,粉碎备用。

1.4 测定项目与方法

1.4.1 秸秆、平菇硒含量和累积量(富集量)。采用 $\text{HNO}_3\text{-H}_2\text{O}_2$ 法,使用 Jupiter-B 多通量微波消解/萃取系统(上海新仪微波化学科技有限公司)消解,消解后待测液中的硒含量采用原子荧光法,使用 PF3 原子荧光光度计(北京普析通用仪器有限公司)测定。其中,载流溶液为 5% 的盐酸溶液,还原剂为 10 g/L 的硼氢化钾溶液。硒累积量(富集量)=硒含量 \times 生物量干重。

1.4.2 平菇钙、镁、铜、锌、铁含量。采用原子吸收法,使用 ZEEnit700 原子吸收光谱仪(德国耶拿分析仪器股份公司)测定。

1.4.3 平菇氮、磷、钾含量。采用浓 $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}_2$ 法消煮,消

煮液中的全氮、全磷和全钾含量分别采用奈氏比色法、钼锑抗比色法和火焰光度计法测定。

1.5 数据分析 采用 SPSS 19.0 进行回归与相关分析,WPS 2016 制图。

2 结果与分析

2.1 栽培袋料添加秸秆占比、硒含量和硒累积量对平菇头潮菇鲜质量的影响 随着袋料中秸秆占比、硒含量和硒累积量的升高,平菇头潮菇的鲜质量呈先增加后降低的趋势(图 1)。这可能是高硒浓度对平菇生长产生了抑制效应;富硒小麦秸秆不及棉籽壳养分含量高或全面,降低了袋料对平菇生长的总体养分供应水平有关。根据散点图的特征,采用一元二次方程(在方程中不包含常量)分别拟合袋料中秸秆占比、硒含量和硒累积量与平菇头潮菇鲜质量之间的关系,经 F 检验 3 个回归方程均达差异显著水平。通过计算可知,在该试验条件下,头潮菇鲜质量最大时的秸秆占比、硒含量和硒累积量分别为 52.4%、141.8 mg/kg 和 0.27 mg。

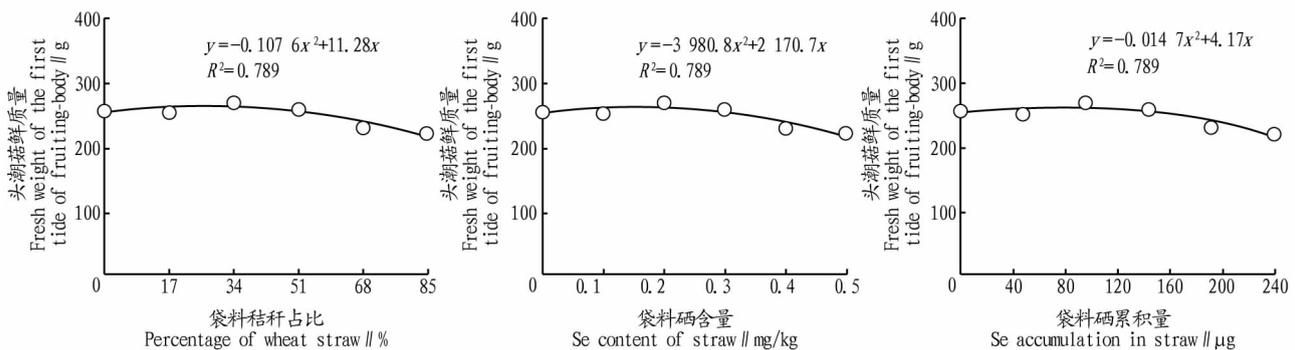


图 1 栽培袋料添加富硒秸秆占比、硒含量和硒累积量对平菇头潮菇鲜质量的影响

Fig. 1 Effect of Se-riched straw percentage, Se content and Se accumulation on the *Pleurotus ostreatus* first tide of fruiting-body

2.2 栽培袋料添加秸秆占比、硒含量和硒累积量对平菇头潮菇硒含量和富集量影响 根据图 2 的特征,采用线性方程和一元二次方程拟合袋料中秸秆占比、硒含量和硒累积量与头潮菇硒含量的关系,所得的方程经 F 检验均达差异显著水平,但其中以线性方程的 R^2 (0.971 **) 相对较低。因此,仍

可以通过一元二次方程计算出头潮菇硒含量最高时的秸秆占比、硒含量和硒累积量(结果未列),但 3 个数值均远远超出了该试验设置的范围,其中,富硒秸秆占比甚至超过了理论最大值(100%)。这说明供试秸秆的硒含量可能是其作为袋料栽培的有机物料组成,提高平菇硒含量的限制因素。

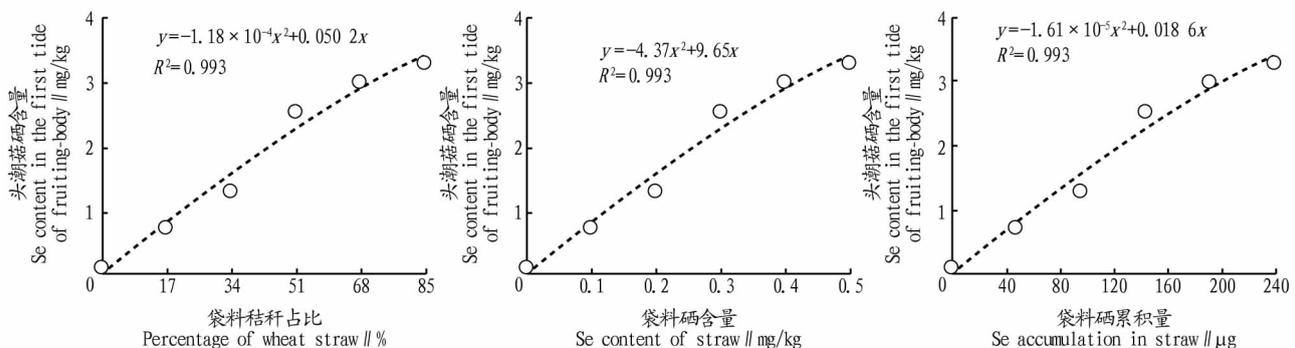


图 2 栽培袋料添加富硒秸秆占比、硒含量和硒累积量对平菇头潮菇硒含量的影响

Fig. 2 Effect of Se-riched straw percentage, Se content and Se accumulation on Se content in the first tide of fruiting-body

平菇头潮菇的硒富集量也随袋料中秸秆占比、硒含量和硒累积量的升高呈持续增高的趋势(图 3)。通过表征其关系的 3 个一元二次方程($P < 0.05$),分别计算头潮菇硒富集量最高时的秸秆占比、硒含量和硒累积量,其中,秸秆占比

(108.6%)也超过了 100%,而此时秸秆的硒含量和硒累积量分别为 0.56 mg/kg 和 293.6 μg ,接近该试验设置的最大值,说明袋料中富硒秸秆的占比过高时,主要通过降低平菇的生物量,而不利于其对硒的富集。因此,后续应考虑在补充因

降低棉籽壳用量减少养分的条件下,明确平菇生物量随其内源硒含量升高后的变化规律。

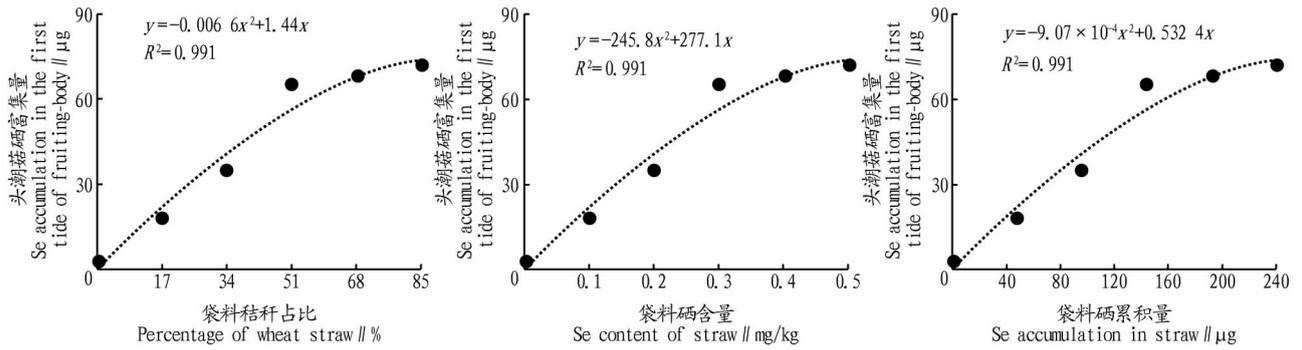


图3 栽培袋料添加富硒秸秆占比、硒含量和硒累积量对平菇头潮菇硒富集量的影响

Fig. 3 Effect of Se-riched straw percentage, Se content and Se accumulation on Se accumulation in the first tide of fruiting-body

2.3 栽培袋料添加秸秆占比、硒含量和硒累积量与平菇头潮菇硒及养分含量的关系 由表1可知,平菇头潮菇的鲜质量与袋料富硒秸秆占比、硒含量及硒累积量的相关系数相对其与其他养分的添加可能影响该试验条件下平菇鲜质量的主要

因素。而袋料秸秆占比、袋料硒含量及硒累积量除与头潮菇的硒含量及硒累积量呈极显著正相关外($P < 0.01$),还与其Cu、P和K含量呈极显著负相关,与Mg含量呈显著负相关($P < 0.05$),且与N含量的相关系数也为负值,但未达显著相关水平。

表1 栽培袋料添加秸秆占比、硒含量和硒累积量与平菇头潮菇硒及养分含量的相关关系

Table 1 Correlationship of straw percentage, Se content and Se accumulation and Se content, and nutrient content in the *Pleurotus ostreatus* first tide of fruiting-body

指标 Index	Se 富集量 Se accumulation	Ca	Mg	Cu	Zn	Fe	Se	N	P	K	袋料秸秆占比 Percentage of straw	袋料硒含量 Se content of base material	袋料硒累积量 Se accumulation in base material
鲜质量 FW	-0.576	-0.493	0.414	0.575	-0.184	0.110	-0.679	0.497	0.406	0.470	-0.721	-0.721	-0.721
Se 富集量		0.023	-0.872*	-0.929**	0.424	-0.087	0.991**	-0.672	-0.924**	-0.982**	0.964**	0.964**	0.963**
Ca			0.300	0.006	0.402	0.673	0.085	0.351	0.091	-0.012	0.059	0.060	0.062
Mg				0.825*	-0.269	0.198	-0.863*	0.886*	0.862*	0.853*	-0.889*	-0.890*	-0.891*
Cu					-0.605	0.203	-0.927**	0.570	0.974**	0.948**	-0.944**	-0.944**	-0.942**
Zn						0.413	0.401	0.145	-0.642	-0.558	0.421	0.421	0.422
Fe							-0.102	0.349	0.106	0.024	-0.156	-0.155	-0.147
Se								-0.704	-0.896*	-0.956**	0.986**	0.985**	0.985**
N									0.558	0.578	-0.749	-0.749	-0.752
P										0.969**	-0.902**	-0.902**	-0.901**
K											-0.929**	-0.929**	-0.928**

注:“*”和“**”分别表示在0.05水平和0.01水平(双侧)上显著相关

Note:“*” and “**” indicate significant correlations at the 0.05 and 0.01 levels (bilateral), respectively

3 结论与讨论

向平菇^[10]、金针菇^[11]等食用菌固^[1-11]、液体^[10]栽培料中直接添加无机硒,通过食用菌将其吸收并转化为有机硒,是生产富硒食用菌的常用方法。研究认为,食用菌对硒的吸收和转化与培养料中的硒含量和形态存在一定的相关性^[1-11],同时,有机硒比无机硒更易被机体吸收和利用,且安全性更高^[1-3]。因此,胡婷^[5]认为,富硒地区或富硒种植业产生的高硒含量的农业废弃物为富硒食用菌栽培提供了安全的硒源。早在2013年,Bhatia等^[1]采用富硒小麦秸秆和水稻作为培养料栽培食用菌的研究结果表明,与对照相比,硒含量升高了8倍左右;Kaur等^[4]研究表明,采用富硒小麦秸秆栽培平菇可使平菇的硒含量提高100倍。目前,国内以富硒秸秆直接作为食用菌培养料的研究尚不多见,推测可能与缺

乏富硒秸秆资源有关。以四川省为例,常规种植小麦品种的秸秆硒含量为0.016~0.072 mg/kg^[12],远低于文献^[2]的富硒地区小麦秸秆的硒含量(24.0 mg/kg)。通过土施^[13]和叶面喷施^[14],可使小麦秸秆的硒含量提高至1 mg/kg^[13-14]以上;但在出现减产的外源硒供应浓度下,小麦秸秆的硒含量可升至接近10 mg/kg^[13];而在对产量尚存在促进效应的硒供应浓度下,小麦秸秆的硒含量则接近1 mg/kg。可见,该试验中,供试小麦秸秆的硒含量为0.52 mg/kg,代表了将来大面积利用土施和叶面喷施硒技术生产富硒小麦时,所产出的秸秆硒含量。

研究表明,硒对食用菌生长的影响符合报酬递减规律:在适宜浓度下呈促进效应;在高浓度下则呈毒害效应^[11]。在该试验中,尽管随着袋料中硒含量的增加,平菇的生物量

变化能用一元二次方程拟合,但由于袋料中棉籽壳的占比也在下降;而用棉秆^[15]、稻壳^[16]等其他有机物料替代棉籽壳的试验表明,完全替代可能不利于食用菌的生长。此外,在该试验中,秸秆袋料占比还与平菇的Mg、Cu、P和K含量呈显著或极显著负相关关系,而在笔者采用不改变培养料组分,通过喷施硒生产富硒双孢菇的试验中,也出现了喷施硒浓度与双孢菇P和K含量呈显著负相关关系的结果,说明P和K含量降低与秸秆替代棉籽壳引起的养分供应不足可能无必然的联系;而从理论上分析,硒对生物吸收养分的抑制效应表现于其高浓度水平下,故而,根据该试验结果,还不能完全确定平菇生物量的增减是袋料中硒含量变化的效应,其内在的机制有待深入研究。研究认为,当添加硒含量为0.52 mg/kg的小麦秸秆替代棉籽壳时,其最佳占比以不超过袋料总重的52.4%为宜。

参考文献

- [1] BHATIA P, PRAKASH R, PRAKASH T. Selenium uptake by edible oyster mushrooms (*Pleurotus* sp.) from selenium-hyperaccumulated wheat straw [J]. *Journal of nutritional science and vitaminology*, 2013, 59(1): 69-72.
- [2] BHATIA P, PRAKASH R, TEJO PRAKASH N. Enhanced antioxidant properties as a function of selenium uptake by edible mushrooms cultivated on selenium-accumulated waste post-harvest wheat and paddy residues [J]. *International journal of recycling of organic waste in agriculture*, 2014, 3(4): 127-132.

(上接第54页)

营养早衰、棉株单株结铃降低,最终降低群体产量。因此,针对杂交棉种植管理,施用合适的水肥管理措施,配合上特有的“矮、密、早”种植模式,对新疆植棉区提高肥料利用率、降低棉田生产成本、提升产量具有重要意义。

综上所述,在南疆的光热条件下,当种植密度为28.5万株/hm²、尿素施用量为750 kg/hm²、重过磷酸钙施用量为337.5 kg/hm²时,杂交棉获得较好的产量结构和较高的产量。在此条件下,杂交棉要达到单产2700 kg/hm²皮棉的产量是完全可以实现的。

参考文献

- [1] 夏永强. 棉花高产栽培密度的探讨[J]. *新疆农业科学*, 2008, 45(S1): 70-71.
- [2] 毛树春. 我国棉花种植技术的应用和发展[J]. *中国棉花*, 2009, 36(9):

- [3] TSIVILEVA O, PERFILEVA A. Selenium compounds biotransformed by mushrooms; Not only dietary sources, but also toxicity mediators [J]. *Current nutrition & food science*, 2017, 13: 82-96.
- [4] KAUR G, KALIA A, SODHI H S. Selenium biofortification of *Pleurotus* species and its effect on yield, phytochemical profiles, and protein chemistry of fruiting bodies [J]. *Journal of food biochemistry*, 2018, 42(2): 1-7.
- [5] 胡婷, 惠改芳, 赵桂慎, 等. 富硒食用菌研究进展 [J]. *食用菌学报*, 2019, 26(1): 68-76.
- [6] 向成莲, 张驰. 高等食用真菌集硒特性研究进展 [J]. *湖北农业科学*, 2019, 58(6): 5-8, 12.
- [7] 王新风, 戴传超, 蒋海龙, 等. 硒对栽培平菇产量及营养成分影响的研究 [J]. *食品科学*, 2005, 26(8): 91-95.
- [8] 侯江文, 祁周约, 刘斌峰, 等. 饲喂高硒玉米对山羊的毛、血、组织中含硒量的影响 [J]. *中国动物营养学报*, 1993, 5(1): 64.
- [9] 刘碧容, 温海洋, 萧洪东. 富硒平菇菌种的筛选 [J]. *中国食用菌*, 2007, 26(3): 14-16.
- [10] 徐暄, 顾艳, 孙其文. 硒元素对平菇液体深层发酵的影响研究 [J]. *安徽农业科学*, 2012, 40(31): 15121-15122.
- [11] 李华为, 铁梅, 张崑, 等. 金针菇子实体富硒栽培特性及 HPLC-ICP-MS 法对硒的分布研究 [J]. *菌物学报*, 2012, 31(1): 86-91.
- [12] 鲁璐, 季英苗, 李莉蓉, 等. 不同地区、不同品种(系)小麦锌、铁和硒含量分析 [J]. *应用与环境生物学报*, 2010, 16(5): 646-649.
- [13] 刘虹恩, 李金峰, 赵鹏, 等. 施硒对冬小麦产量及硒吸收转运的影响 [J]. *麦类作物学报*, 2017, 37(5): 694-699.
- [14] 唐玉霞, 王慧敏, 吕英华, 等. 冬小麦硒素吸收积累特性及叶面喷硒效应的研究 [J]. *华北农学报*, 2010, 25(S1): 198-201.
- [15] 彭学文, 周廷斌, 解文强, 等. 棉柴部分代替棉籽壳栽培杏鲍菇技术研究 [J]. *安徽农业科学*, 2016, 44(17): 33, 119.
- [16] 张恒. 稻壳替代棉籽壳栽培平菇研究 [J]. *中国食用菌*, 1998, 17(6): 15-16.

17-22.

- [3] DEVKOTA M, MARTIUS C, LAMERS J P A, et al. Tillage and nitrogen fertilization effects on yield and nitrogen use efficiency of irrigated cotton [J]. *Soil & tillage research*, 2013, 134: 72-82.
- [4] 张旺锋, 王振林, 余松烈, 等. 氮肥对新疆高产棉花群体光合性能和产量形成的影响 [J]. *作物学报*, 2002, 28(6): 789-796.
- [5] 李春艳, 张巨松, 石洪亮, 等. 密度与氮肥对机采棉叶铃分布的影响及与产量的关系 [J]. *中国农业大学学报*, 2018, 23(11): 47-59.
- [6] 娄善伟, 高云光, 郭仁松, 等. 不同栽培密度对棉花植株养分特征及产量的影响 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2010, 16(4): 953-958.
- [7] 徐娇, 孟亚利, 睢宁, 等. 种植密度对转基因棉氮、磷、钾吸收和利用的影响 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2013, 19(1): 174-181.
- [8] 张旺锋, 王振林, 余松烈, 等. 种植密度对新疆高产棉花群体光合作用、冠层结构及产量形成的影响 [J]. *植物生态学报*, 2004, 28(2): 164-171.
- [9] 万素梅, 郑德明, 翟云龙, 等. 新疆棉田不同产量构成因素及棉铃空间分布特征研究 [J]. *中国棉花*, 2006, 33(8): 8-9.
- [10] 曹雯梅, 刘松涛, 王汉民. 常规棉与杂交棉产量构成因素的偏相关和通径分析 [J]. *中国种业*, 2006(10): 35-36.