

不同还田模式下玉米秸秆的腐解特征及对土壤养分的影响

杨晓菲¹, 焦悦莹¹, 魏钰¹, 张树军²

(1. 渭南师范学院 环境与生命科学学院, 陕西 渭南 714000; 2. 华阴市种子管理站, 陕西 华阴 714200)

摘要:本研究以玉米秸秆为研究对象, 采用尼龙网袋法初步分析了翻压 15 cm、30 cm 和地表覆盖三种不同秸秆还田方式下、不同时间的腐解特征及土壤中全氮、全磷和全钾的变化。结果表明: (1) 秸秆腐解累积量随着时间的推移而增加, 腐解率呈现前期增加后期增加缓慢的趋势; (2) 玉米秸秆翻埋还田的腐解率较地表覆盖快, 其中翻埋 15 cm > 翻埋 30 cm > 地表覆盖; (3) 不同玉米秸秆还田模式均对土壤中 N、P、K 的提高有积极的作用, 且在一定的还田时间内土壤中全氮、全磷和全钾含量变化均呈现先快后慢的趋势, 翻埋 15 cm 的促进效果优于其他两种还田方式。因此, 秸秆还田腐解可补充土壤中氮、磷、钾等的消耗, 对提高作物产量和品质具有重要意义。

关键词: 秸秆还田; 腐解率; 土壤养分

中图分类号: S154.2 文献标识码: A 文章编号: 0488-5368(2025)04-0052-05

Decomposition Characteristics of Maize Stover and Its Effects on Soil Nutrients Under Different Returning Modes

YANG Xiaofei¹, JIAO Yueying¹, WEI Yu¹, ZHANG Shujun²

(1. College of Environment and Life Sciences, Weinan Normal University, Weinan, Shaanxi 714000, China;

2. Huayin Seed Management Station, Huayin, Shaanxi 714200, China)

Abstract: With maize straw as the research object, nylon net bag method was used to analyze the decomposition characteristics and the changes of total nitrogen, total phosphorus and total potassium in soil at different times under three different straw returning modes: plowing at depths of 15 cm, 30 cm, and surface mulching. The results showed that: (1) The decomposition accumulation of straw increased with time, and the decomposition rate increased rapidly in the early stage and slowly in the later stage; (2) The decomposition rate of maize straw was faster than that of surface mulch, in which the soil was buried 15 cm > 30 cm > surface mulch; (3) Different maize straw returning modes had a positive effect on the increase of N, P and K in soil, and the changes of total nitrogen, total phosphorus and total potassium contents in soil showed a trend of first fast and then slow within a certain returning time. The promotion effect of burying 15 cm was better than that of the other two returning modes. In summary, returning straw to the field helps replenish nitrogen, phosphorus, potassium, and other nutrients in the soil, which is important for improving crop yield and quality.

Key words: Returning straw to the field; Decompose rate; Soil nutrient

秸秆是指从小麦、水稻、玉米、薯类、油菜、棉花、甘蔗和其他农作物(通常为粗粮)在收获籽实后的剩余部分, 是一种具有多用途的可再生生物资源^[1]。秸秆的不合理利用不仅造成资源浪费, 还会引起环境污染, 如何做好对农作物秸秆的就地转化是亟待解决的问题。我国是农业大国, 农作物秸

源^[1]。秸秆的不合理利用不仅造成资源浪费, 还会引起环境污染, 如何做好对农作物秸秆的就地转化是亟待解决的问题。我国是农业大国, 农作物秸

收稿日期: 2024-06-28 修回日期: 2024-08-15

基金项目: 2023 年国家级大学生创新创业训练计划项目(202310723026); 陕西省高校科协青年人才托举计划项目(20200207); 国家自然科学基金青年项目(31701416)。

第一作者简介: 杨晓菲(1988-), 女, 副教授, 主要从事农业生产生理研究。

共同第一作者: 焦悦莹(2002-), 女, 本科, 主要从事农业秸秆利用研究。

通信作者: 张树军。

秆既是农业生产过程中的最大副产物,也是基本的生产要素^[2],响应近年来中央一号文件的号召,以各种方式综合利用农作物秸秆资源,实现变废为宝。玉米秸秆在农作物秸秆中所占比例大,且富含氮、磷和钾等营养元素。当秸秆进入土壤后,经过一段时间的腐解,会释放出丰富的营养成分、提高土壤养分供应力、改善土壤结构,使作物产量显著提高^[3-6]。此外,秸秆还田无论是以覆盖的方式还是以深埋的方式,均能减少土壤水分蒸发量,进而提高土壤含水量^[7,8]。因此,秸秆还田越来越受到人们的重视。

对玉米秸秆地表覆盖和翻压两种不同秸秆还田方式下的腐解速率进行了研究,探究玉米秸秆还田后土壤中养分含量的变化,找出更高效的还田模式,为平衡耕地土壤当中的营养成分、有效的减少化肥的施用量和培肥土壤等方面提供依据。

1 材料与方 法

1.1 试验地点

试验设于东经 109°93"、北纬 34°57"的陕西省渭南市华阴市试验田。该地区年平均气温为 13.7℃左右,年平均降雨量为 599 mm 左右,年日照时数达 2 310.6 h,无霜期为 208 d。试验土壤为灰钙土,土壤基本理化性质为:pH8.5,有机质含量为 8.9 g/kg,全氮、全钾、全磷平均含量分别为 0.7 g/kg、16.5 g/kg 和 0.7 g/kg 左右。

1.2 试验方法

将土壤肥力均匀一致的试验田分为 3 块,分别记为 A、B、C。

1.2.1 不同秸秆还田模式下的秸秆腐解试验 将同一品种的玉米秸秆称取同等量的 3 份,并将玉米秸秆剪成 3 cm 左右的小段,装在尼龙网袋里,把其中两份分别翻压在 A 试验田的 15 cm、30 cm 处,剩余的一份覆盖在 B 试验田土壤表面。在还田后的第 60 天、120 天和 180 天时采样、烘干后测秸秆质量。

$$\text{秸秆腐解百分率}(\%) = (M_0 - M_t) / M_0 \times 100 \quad (1)$$

$$\text{秸秆腐解速率} V = Y \times (M_0 - M_t) / (M_0 \times T) \quad (2)$$

式(1)和(2)中 M_0 和 M_t 分别表示某个阶段初始和结束的秸秆质量(g),式(2)中 Y 表示的是 365(d/a),T 表示腐解时间(d),V 表示秸秆腐解速率(g/g·a)。

1.2.2 不同秸秆还田模式下的土壤中养分含量测定 将同一品种的玉米秸秆称取同等量的三份,并将玉米秸秆剪成 3 cm 左右的小段,装在尼龙网袋

里,把其中两份分别翻压在 C 试验田的 15 cm、30 cm 处,剩余的那一份覆盖在 B 试验田土壤表面。在还田后的第 60 天、120 天、180 天,用取土器取得土样装入样品袋并做好标记。待剔除石子等杂质后于通风处自然风干,碾细过 100 目筛子备用。

1.2.2.1 土壤中全氮含量的测定

$$\text{土壤全氮量} = \frac{C(V_1 - V_2) \times 0.014 \times 20}{V} \quad (3)$$

式(3)中 C 为标准盐酸溶液浓度; V_1 和 V_2 分别为滴定样品和空白用去的盐酸体积;V 为样品用量。土壤全氮含量采用凯氏定氮法测定^[9]。

1.2.2.2 土壤中全磷含量的测定

$$\text{土壤全磷量} = \rho \times \frac{V_1}{m} \times \frac{V_2}{V_3} \times 10^{-3} \times \frac{100}{100 - H} \quad (4)$$

式(4)中 ρ 为待测液中 P 的质量浓度($\mu\text{g}/\text{mL}$),m 为烘干土质量(g), V_1 为样品熔后的定容体积(mL), V_2 为显色时溶液定容的体积(mL), V_3 为从熔样定容后分取的体积(mL);H 为风干土水分含量百分数。采用钼锑抗比色法测定土壤全磷含量^[10]。

1.2.2.3 土壤中全钾含量的测定

$$\text{土壤全钾量} = \frac{\rho \times \text{测读液的定容体积} \times \text{分取倍数}}{m \times 10^6} \times 1000 \quad (5)$$

式(5)中代表的是从标准曲线上查得待测液中 K 的质量浓度($\mu\text{g}/\text{mL}$);m 代表烘干样品质量(g)。土壤全钾含量采用火焰光度法测定^[9]。

1.3 数据统计分析

应用 EXCEL2010 进行数据统计和作图。

2 结果与分析

2.1 不同秸秆还田模式下的腐解变化特征

2.1.1 腐解率变化

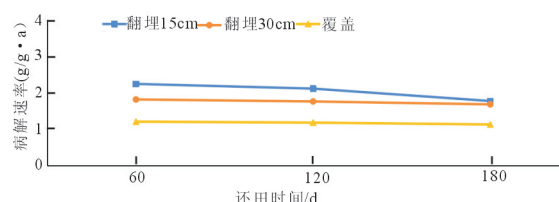


图1 不同时期、不同玉米秸秆还田模式下的腐解率

图1结果显示,玉米秸秆在不同时期、不同还田方式下都有一定的腐解量。具体表现为:秸秆还田到 60 d 时,翻埋 15 cm、30 cm 和覆盖在地表秸秆的腐解率分别约为 37%、30% 和 20%;还田到 120 d 时,这三种还田模式的腐解率分别达到

52%、49%、25%；还田到 180 d 时,不同玉米还田模式的腐解率分别达到 60%、58%、27%。结果表明:随着还田时间的推移,玉米秸秆的腐解累积量不断增加,且腐解率整体呈现前期增加后期缓慢的趋势。且在同一还田时间内,玉米秸秆翻埋 15 cm 的腐解率最快,翻埋 30 cm 腐解率其次,覆盖在地表的秸秆腐解率最慢。

2.1.2 腐解速率变化

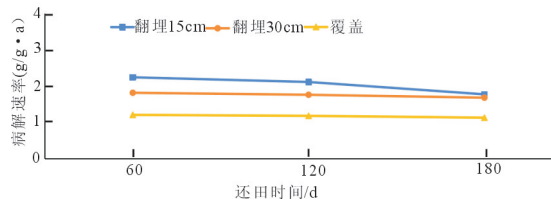


图2 不同时期、不同玉米秸秆还田模式下的腐解速率

图2结果显示,玉米秸秆在还田第60天时,翻埋15 cm、30 cm 和覆盖三种不同还田方式下的秸秆腐解率分别为 2.25、2.12 和 1.78 g/g·a;还田第120天时,三种不同还田方式下的秸秆腐解率分别为 1.83、1.77 和 1.69 g/g·a;还田第180天时,三种不同还田方式下的秸秆腐解率分别为 1.22、1.19 和 1.14 g/g·a。结果表明:在还田后的同一时间内,在 15 cm 深度还田的玉米秸秆的腐解速率是最快的,其次是玉米秸秆还田 30 cm 的腐解速率,最后是玉米秸秆表层还田。其中还田 15 cm 和 30 cm 的腐解速率相差不大,尤其是在还田 180 d 时,而覆盖在地表的玉米秸秆的腐解速率比其他两组处理的小些。同时,随着还田时间的延长,不同处理的腐解速率整体呈逐渐降低趋势。

2.2 不同秸秆还田模式下的土壤养分变化特征

2.2.1 土壤中全氮的变化

氮被称为“生命元素”,是植物生长发育重要的营养元素之一。土壤中全氮含量可以反映出该地区土壤供氮的总水平^[1]。

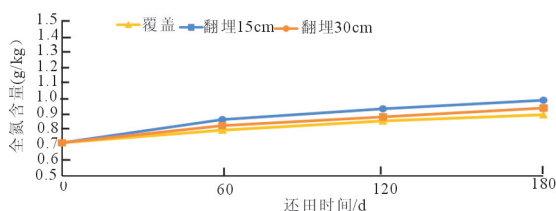


图3 不同时期、不同玉米秸秆还田模式对土壤中全氮含量变化

图3结果显示,玉米秸秆还田前土壤初始全氮含量为 0.71 g/kg,在一定的还田时间内土壤全氮含量的释放呈现先快后慢的趋势,即玉米秸秆翻埋和覆盖均在还田 0~60 d 时的土壤全氮量增幅较

大,之后全氮含量增幅较小。表明玉米秸秆还田对于土壤中全氮含量的增加起积极作用,尤其在还田第 60 天全氮含量释放量较多且迅速,同时翻埋 15 cm 的效果优于其他两种还田方式。

2.2.2 土壤中全磷的变化

土壤中全磷含量虽无法代表当地土壤的实际供磷水平,但对于判断当地土壤所含磷素的情况具有重要的参考价值^[1]。

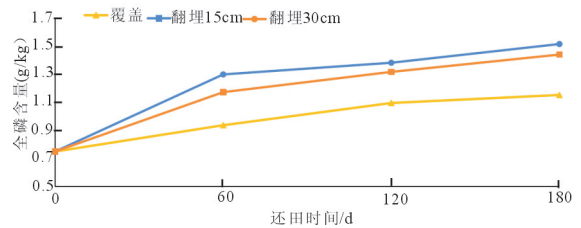


图4 不同时期、不同玉米秸秆还田模式对土壤中全磷含量变化

图4结果显示,玉米秸秆还田前土壤初始全磷含量为 0.75 g/kg,玉米秸秆翻埋和覆盖均在还田 60 d 时的土壤全磷量增幅较大,之后的第 120 天和 180 天时的土壤全磷量较前面 60 d 的增幅均较小。结果表明在一定的还田时间内土壤全磷含量的释放呈现先快后慢的趋势,翻埋 15 cm 的效果优于其他两种还田方式,且在第 60 天全磷含量均超过 1.3 g/kg。

2.2.3 土壤中全钾的变化

土壤全钾含量是指土壤中所有颗粒态和水溶态的钾总含量,其含量高低对于作物的正常生长发育、产量以及品质都有着重要的影响。

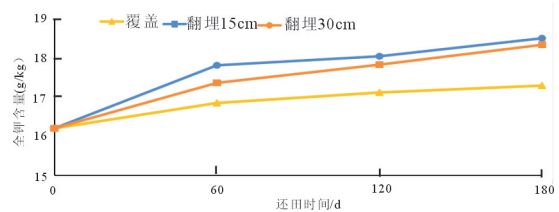


图5 不同玉米秸秆还田模式对土壤中全钾含量的影响

图5结果显示,玉米秸秆还田前土壤初始全钾含量为 16.20 g/kg,在一定的还田时间内土壤全钾含量的释放呈现先快后慢的趋势,即玉米秸秆翻埋和覆盖均在还田 60 d 时的土壤全钾量增幅为较大,具体表现为翻埋 15cm 下的全钾含量增幅为 9.91%、翻埋 30 cm 下的全钾含量增幅为 7.15%、秸秆覆盖 60 d 的全钾含量增幅为 3.99%;之后的第 120 天和第 180 天时的土壤全钾量较前面 60 d 的增幅较小,均不超过 3%。表明玉米秸秆还田在翻埋 15 cm 的效果优于其他两种还田方式,且在第 60 天全钾含量释放量较多且迅速。

3 讨论与分析

3.1 玉米秸秆还田的腐解特征

本研究通过三种不同还田方式(翻埋 15 cm、30 cm 和表面覆盖)分析玉米秸秆的腐解特征,结果表明随着还田时间的推移,秸秆累积腐解量逐渐增加,腐解速率整体呈现前期增加快、后期增加缓慢的趋势,这与马宇良^[10]、王旭东^[11]、匡恩俊^[12]和宫秀杰^[13]等研究玉米秸秆还田后的秸秆腐解率结果和变化趋势基本一致。关于农作物秸秆还田腐解特征,学者们做过油菜、小麦、水稻、大豆等不同作物秸秆还田的一系列研究。李逢雨等^[14]在研究麦秆和油菜秆还田腐解速率、李新举等^[15]对不同时期小麦秸秆腐解速度、武际等^[16]研究小麦秸秆还田后的腐解速率、匡恩俊等^[17]研究不同还田方式下大豆秸秆的腐解特征、张志毅等^[18]研究稻麦轮作制还田秸秆腐解和胡宏祥等^[19]采用尼龙网袋法研究水稻秸秆腐解特征的结果均表明小麦、油菜、水稻、大豆等的秸秆还田后的腐解累积量随时间的推移而逐渐增加,腐解速率也均呈现前期快后期慢的趋势。这可能是秸秆中的根、叶较易腐解,一定时间后腐解秸秆中较难腐解的茎,最后是剩下非常难腐解的纤维素和半纤维素,速度缓慢。因此,不同秸秆腐解得快慢与秸秆自身组成、C/N 比等因素都有一定的关系。

李新举等^[15]通过探究秸秆还田不同深度对秸秆腐解速率,发现小麦秸秆埋深 5 cm 的腐解率>埋深 15 cm>表层覆盖;张宇等^[20]发现翻耕 15 cm 处理的秸秆腐解率比免耕均匀覆盖地表腐解率高,与土壤含水量和腐解时间具有较高的相关性;王允青等^[21]采用尼龙网袋法研究露天、水泡、土埋 3 种田间作物秸秆腐解特征,表明小麦和油菜秸秆土埋于 15 cm 深处的腐解率明显高于水泡和露天处理;胡宏祥等^[19]采用尼龙网袋法研究水稻秸秆还田 5 cm 深度的腐解速度>10 cm 深度>表层还田。本研究结果表明在同一还田时间内,玉米秸秆翻埋 15 cm 的腐解率最快,翻埋 30 cm 腐解率其次,覆盖在地表的秸秆腐解率最慢。该研究结果与前人研究结果基本一致,分析原因主要与不同深度土层的水热和土壤中的微生物活动等有关,如秸秆覆盖,土壤表层水分容易蒸发,即使地表氧气充足但由于缺水而不利于分解秸秆,腐解速度慢;秸秆还田较深处因通气状况不良、微生物活动较弱,分解秸秆的速度也较慢;较浅的土层,一般水热组合相对较好,微生物活动较强,有利于秸秆分解。因此,需要综合考虑土壤水、气、热和微生物活动等状况

来调控不同还田模式下的秸秆腐解速率。总体而言,一般认为秸秆土埋处理较覆盖地表腐解得快,但是对于最有利于玉米秸秆腐解的土壤深度的发现,还有待于继续探究。

3.2 玉米秸秆还田对土壤养分的影响

研究表明作物秸秆还田可以提升土壤肥力^[22,23],其中对提高土壤中的有机碳和全氮等养分含量有显著效果^[6,24~26]。王秀娟等^[27]研究玉米秸秆还田配施磷肥减量 20%处理可提高磷素利用率及土壤有机质、全磷、有效磷含量。张静等^[28]发现玉米秸秆处理通过土壤全氮量不同幅度的提升可补充土壤中氮的消耗。梁尧等^[29]研究均匀垄与宽窄行种植模式下,玉米秸秆不同还田方式玉米产量表现为秸秆深翻>无秸秆还田>秸秆覆盖,说明深翻效果优于其他两种还田方式。本研究表明在一定的还田时间内土壤中全氮、全磷和全钾的含量变化速率均呈现前期快后期慢的趋势,在第 60 天全钾含量释放量较多且迅速,且还田在翻埋 15 cm 的效果优于其他两种还田方式,与前人研究结果基本一致。不同玉米秸秆还田模式均对土壤养分有积极的影响,其中翻埋对土壤养分含量的影响相对较大,因此,秸秆还田的大力提倡对于农业资源的可持续发展和农业的高产、稳产具有重要意义。

参 考 文 献:

- [1] 王亚静,王飞,石祖梁,等. 基于农业供给侧结构性改革背景的秸秆资源与利用研究[J]. 中国农业资源与区划,2017,38(6):13-20.
- [2] 方放,李想,石祖梁,等. 黄淮海地区农作物秸秆资源分布及利用结构分析[J]. 农业工程学报,2015,21(2):228-234.
- [3] 段午. 秸秆还田技术研究及应用进展分析[J]. 吉林蔬菜,2024(1):284-284.
- [4] 吾娜,夏里拜提·阿布都克里木. 玉米秸秆还田现状及发展[J]. 种子科技,2023,41(18):133-135.
- [5] 刘卉,周清明,黎娟. 秸秆还田对土壤改良及作物生长影响的研究进展[J]. 中国农学通报,2017,33(32):5.
- [6] Zhang Y, Li XJ, Gregorich EG, et al. Evaluating storage and pool size of soil organic carbon in degraded soils: Tillage effects when crop residue is returned[J]. Soil & Tillage Research, 2019(192):215-221.
- [7] 郑洪兵,罗洋,隋鹏祥,等. 秸秆还田对东北黑土水分特征及物理性质的影响[J]. 干旱地区农业研究,2024,42(1):226-236.
- [8] 高俊,汪慧泉,顾东祥,等. 秸秆还田对土壤生态及农作物生长发育影响的研究进展[J]. 中国农学通报,2023,39(30):87-93.

- [9] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 第3版. 北京: 中国农业出版社, 2008.
- [10] 马永良, 宇振荣, 江永红. 两种还田模式下玉米秸秆分解速率的比较[J]. 生态学杂志, 2002, 21(6): 68-70.
- [11] 王旭东, 陈鲜妮, 王彩霞, 等. 农田不同肥力条件下玉米秸秆腐解效果[J]. 农业工程学报, 2009, 25(10): 252-259.
- [12] 匡恩俊, 迟凤琴, 宿庆瑞, 等. 不同还田方式下玉米秸秆腐解规律的研究[J]. 玉米科学, 2012, 20(2): 99-101+106.
- [13] 官秀杰, 钱春荣, 曹旭, 等. 玉米秸秆还田配施氮肥对土壤酶活, 土壤养分及秸秆腐解率的影响[J]. 玉米科学, 2020, 28(2): 151-155.
- [14] 李逢雨, 孙锡发, 冯文强, 等. 麦秆、油菜秆还田腐解速率及养分释放规律研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 15(2): 374-380.
- [15] 李新举, 张志国, 李贻学. 土壤深度对还田秸秆腐解速度的影响[J]. 土壤学报, 2001, 38(1): 135-138.
- [16] 武际, 郭熙盛, 鲁剑巍, 等. 不同水稻栽培模式下小麦秸秆腐解特征及对土壤生物学特性和养分状况的影响[J]. 生态学报, 2013, 33(2): 565-575.
- [17] 匡恩俊. 不同还田方式下大豆秸秆腐解特征研究[J]. 大豆科学, 2010, 29(3): 479-482.
- [18] 张志毅, 何剑, 范先鹏, 等. 稻麦轮作制还田秸秆腐解和养分释放特征[J]. 中国土壤与肥料, 2022(8): 221-230.
- [19] 胡宏祥, 马中文, 邵致远. 还田秸秆腐解特征研究[J]. 湖南农业科学, 2012(5): 44-46.
- [20] 张宇, 陈阜, 张海林, 等. 耕作方式对玉米秸秆腐解影响的研究[J]. 玉米科学, 2009, 17(6): 68-73.
- [21] 王允青, 郭熙盛. 不同还田方式作物秸秆腐解特征研究[J]. 中国生态农业学报, 2008, 16(3): 607-610.
- [22] HUANG R, TIAN D, LIU J, *et al.* Responses of soil carbon pool and soil aggregates associated organic carbon to straw and straw-derived biochar addition in a dryland cropping mesocosm system[J]. Agriculture Ecosystems & environment, 2018(265): 576-586.
- [23] GAI X, LIU H, LIU J, *et al.* Contrasting impacts of long-term application of manure and crop straw on residual nitrate-N along the soil profile in the North China Plain[J]. Science of The Total Environment, 2019, 650(2): 2 251-2 259.
- [24] AKHTAR K, WANG W, REN G, *et al.* Integrated use of straw mulch with nitrogen fertilizer improves soil functionality and soybean production[J]. Environment International, 2019, 132: 105 092.
- [25] 隋鹏祥, 张心显, 温学发, 等. 耕作方式和秸秆还田对棕壤土壤养分和酶活性的影响[J]. 生态学杂志, 2016, 35(8): 2 038-2 045.
- [26] 张旸, 高燕, 张延, 等. 秸秆还田对东北黑土碳氮磷钾化学计量特征及玉米产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2023, 29(1): 31-44.
- [27] 王秀娟, 解占军, 何志刚, 等. 秸秆还田条件下减量施磷对玉米产量、磷素利用率及土壤磷含量的影响[J]. 河南农业科学, 2018, 47(8): 39-44.
- [28] 张静, 温晓霞, 廖允成, 等. 不同玉米秸秆还田量对土壤肥力及冬小麦产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(3): 612-619.
- [29] 梁尧, 蔡红光, 闫孝贡, 等. 玉米秸秆不同还田方式对黑土肥力特征的影响[J]. 玉米科学, 2016, 24(6): 107-113.

(上接第5页)

参 考 文 献:

- [1] 杨新美. 食用菌研究法[M]. 北京: 中国农业出版社, 1998.
- [2] 黄年来. 中国香菇栽培学[M]. 上海: 上海科学技术文献出版社, 1994.
- [3] Reis F S, Barros L, Martins A, *et al.* Chemical composition and nutritional value of the most widely appreciated cultivated mushrooms: an inter-species comparative study[J]. Food & Chemical Toxicology, 2012, 50(2): 191.
- [4] 鲍大鹏. 食用菌杂交育种中的科学问题[J]. 食用菌学报, 2020, 27(4): 1-24.
- [5] 田梦媛. 香菇优良菌株的性能测定及杂交选育[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2018.
- [6] 曹斌. “十四五”时期推进我国香菇产业高质量发展的前景和实现路径[J]. 食用菌学报, 2020, 27(4): 25-34.
- [7] 中国食用菌协会. 2021 年度全国食用菌统计调查结果分析[J]. 中国食用菌, 2023, 42(1): 118-127.
- [8] 杨顺强, 桑正林, 武婷, 等. 我国食用菌产业发展现状及优势[J]. 现代农业科技, 2016(8): 303-304+310.
- [9] 陈小敏, 吴海冰, 辜运富. 香菇种质资源遗传多样性研究[J]. 四川农业科技, 2019(12): 40-44.
- [10] 孔祥会. 毛木耳种质资源综合评价研究[D]. 长春: 吉林农业大学, 2019.
- [11] 于娅. 榆耳种质资源评价及优良品种选育的研究[D]. 长春: 吉林农业大学, 2013.
- [12] 田梦媛, 高原, 杜双田, 等. 27 个香菇菌株农艺性状比较研究[J]. 中国农业大学学报, 2019, 24(1): 82-91.
- [13] 程爽爽. 香菇优良菌株的选育[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2019.