

# 农作物秸秆深耕还田技术研究进展

王毅琪<sup>1,2</sup>, 韩文彪<sup>1,2</sup>, 陈灏<sup>1,3</sup>, 赵玉柱<sup>1,2</sup>, 呼斯冷<sup>1,2</sup>, 郝春霞<sup>1,2</sup>

(1. 中国科学院生态环境研究中心鄂尔多斯固体废弃物资源化工程技术研究所, 内蒙古鄂尔多斯 017000; 2. 鄂尔多斯市城市矿产研究开发有限公司, 内蒙古鄂尔多斯 017000; 3. 中国科学院生态环境研究中心, 北京 010018)

**摘要** 介绍了农作物秸秆还田技术及秸秆深耕还田技术, 探讨了秸秆深耕对土壤和作物的影响, 其中, 对土壤的影响包括物理性质、化学性质、生物学性质 3 个方面, 对作物的影响包括作物生长发育、作物产量 2 个方面。

**关键词** 秸秆还田; 深耕; 土壤性质; 产量

**中图分类号** S216.2 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2017)06-0050-04

## Research Progress of Crop Straw Deep Plowing and Returning Technology

WANG Yi-qi<sup>1,2</sup>, HAN Wen-biao<sup>1,2</sup>, CHEN Hao<sup>1,3</sup> et al (1. Ordos Institute of Solid Waste Technology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Ordos, Inner Mongolia 017000; 2. Ordos Urban Mining Research and Development Co., Ltd., Ordos, Inner Mongolia 017000; 3. Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 010018)

**Abstract** The technology of straw returning and crop straw plowing and returning were introduced, the straw plowing and returning impact on soil and crop straw were discussed, the effect on soil included physical properties, chemical properties and biological properties, the influence on crops included crop growth and crop yield.

**Key words** Straw retained; Deep tillage; Soil property; Yield

农作物秸秆主要指玉米、水稻、小麦等农作物收获后剩余的茎秆, 含有丰富的氮、磷、钾等微量营养元素, 是农业的主要副产品, 同时也是一种再生资源<sup>[1]</sup>。我国农作物秸秆资源丰富, 约占世界秸秆总量的 25.00%, 是世界第一秸秆大国<sup>[2-3]</sup>。据农业部统计, 全国每年秸秆产量近 9 亿 t, 其中水稻、玉米、小麦和豆类的秸秆资源占秸秆总量的 80.00% 左右<sup>[4]</sup>, 但是仍有近 2.0 亿 t 秸秆未被利用, 这些未实现资源化利用的秸秆量大面广、乱堆乱放、随意焚烧, 不仅浪费了资源, 还加剧了温室气体的排放与雾霾天气的形成, 造成严重的交通问题和生态环境污染问题。由于秸秆资源的不合理利用和浪费, 秸秆的处理已成为一大难题, 并已经引起国家的高度重视, 发改委、农业部、环保部等部门也出台了一系列文件, 提倡加强农作物秸秆综合利用, 明令禁止焚烧秸秆, 并提出到 2030 年农作物秸秆要得到全面利用, 全国基本实现农业废弃物趋零排放。笔者探讨了农作物秸秆深耕还田对土壤和作物的影响, 以期优化农田生态环境及提高作物产量提供借鉴。

## 1 秸秆还田技术

目前, 农作物秸秆处理已成为热点, 大量研究团队对秸秆的资源化利用开展了相应的研究, 并取得了重大进展。农作物秸秆的主要利用方式有秸秆还田、秸秆产沼气发电、用作饲料、用作建材和栽培食用菌等, 其中秸秆还田作为最直接、最低成本的利用方式, 也逐渐成为作物生产中的一项常规技术, 受到人们的广泛重视, 学者也就秸秆还田的政策性措施、腐解特征、还田方式、利用效果等内容开展了大量研究。

秸秆还田是指将秸秆直接或堆肥腐熟后施用于土壤的一项技术。我国多数农村地区分散、偏远, 且随着农业结构的调整, 秸秆已经很少作为能源原料和饲料使用, 还田技术就成为秸秆利用的重要方式。秸秆还田不仅可将作物中的营养元素归还于土壤, 改善土壤理化性质, 提高作物产量<sup>[5]</sup>, 还可以减少秸秆焚烧和乱堆乱放引起的环境污染, 推进农业的可持续发展。目前秸秆还田的方式主要有直接还田、堆沤还田、过腹还田、炭化还田等。

直接还田技术是将秸秆机械粉碎后进行还田, 是秸秆利用最简单的方法, 可提高土壤肥力, 缺点是如果处理不当会使作物出苗不齐, 引发病虫害; 堆沤还田是将秸秆发酵堆沤产生的有机肥施用于土壤, 缺点是堆沤过程中氮素损失严重, 肥效难以保证; 过腹还田是将秸秆先用作饲料, 饲喂牛、马、猪、羊等牲畜, 经牲畜消化吸收后变成粪、尿, 以畜禽粪便的形式进行还田, 如果按照 1 头牛消耗秸秆 15.0 kg/d、1 只羊消耗秸秆 1.5 kg/d 计算, 秸秆消耗量相当可观, 但是过腹还田只适用于一些大规模养殖场, 具有一定的局限性; 炭化还田是将含水率低于 20.00% 的秸秆经过高温热解, 最后将形成的炭颗粒还田<sup>[6]</sup>, 所形成的颗粒理化性质稳定, 孔隙度大, 吸附能力强, 对土壤具有较好的改良效果<sup>[7]</sup>, 但是制取颗粒过程中出炭率和混合可燃气体的收集利用是该技术需要突破的难点。

秸秆还田是一项提高土壤肥力、改善土壤理化性质的措施, 但目前我国大多采用秸秆覆盖还田, 秸秆存在于土壤浅层<sup>[8]</sup>, 耕层土壤变浅, 又由于秸秆碳氮比(C/N)高, 导致土壤过于紧实, 造成肥料及养分下移困难, 从而影响作物根系的生长发育及土壤蓄水能力。同时, 长期耕作方式单一、耕地复种指数高、倒茬时间短等因素也是影响秸秆还田效应的重要因素。因此, 如果将秸秆的还田效应与当前农业科技形成的配套种植技术(农业耕作方式)相结合, 促使秸秆快速腐

**基金项目** 2015 年国家科技支撑计划项目(2015BAL04B02)。

**作者简介** 王毅琪(1987—), 女, 内蒙古鄂尔多斯人, 工程师, 从事有机废弃物处置与利用研究。

**收稿日期** 2017-01-06

解,势必会改善土壤性质和农作物生长环境。

## 2 秸秆深耕还田技术

秸秆深耕还田是将秸秆还田与土地深耕方式相结合,使秸秆覆于深层土壤,相比较常规秸秆还田,秸秆的营养物质均可均匀分布于底层,促进秸秆快速腐解,同时改善土壤性质和农作物生长环境,提高肥料利用率,最终达到增加作物产量的目的。

土壤深耕可有效打破犁底层,改善土壤的松紧状况和孔隙度,但是如果只进行深耕不进行秸秆还田,长期大量施用化肥最终还会引发土壤肥力降低、土壤板结等问题,形成恶性循环,严重制约作物产量的提高及农业的健康发展。秸秆还田和深耕技术的结合是打破这一环节的重要举措,是农业生产中的重要增产技术<sup>[9]</sup>。从某种意义上说,秸秆还田的最终目的是利用农业科技手段,通过调整农业生物资源的有效配置,实现农业生产方式的转变及资源的再次利用,达到农业经济效益、生态效益和社会效益的最大化,从而促进农业生产可持续发展。

## 3 秸秆深耕还田对土壤的影响

### 3.1 对物理性质的影响

土壤物理性质主要包括土壤结构、孔隙度、土壤容重、含水量等,是影响作物生长的重要因素。合理的深耕+秸秆还田能够有效调整土壤的水、肥、气、热等因素,降低土壤容重,显著提高土壤含水量及土壤保墒能力,提高作物对水分的吸收与利用效率<sup>[10-11]</sup>,改善土壤通透性<sup>[12-13]</sup>,提升土壤肥力,为作物提供良好的生长环境,还可以发生交互作用,比单独处理改善土壤物理性状更加明显。杨杰瑞<sup>[14]</sup>研究表明,秸秆深耕还田处理麦田与浅耕秸秆还田处理相比,20~40 cm 土层的土壤含水量明显升高,且两者差异极显著( $P < 0.01$ ),土壤容重降低,且两者差异显著( $P < 0.05$ )。赵亚丽等<sup>[15]</sup>研究表明,深耕+秸秆还田与常规耕作+无秸秆还田相比,20~30 cm 土层的土壤容重降低了 8.50%。陆丰升<sup>[16]</sup>通过 5 年连续的秸秆还田和秋种深耕后,结果表明,土壤总孔隙度增加了 10.60%,25 cm 土层土壤容重显著降低。李凤博<sup>[17]</sup>研究表明,秸秆深耕还田相比免耕无秸秆还田,土壤容重减小了 8.14%,且秸秆深耕还田处理相比其他几种耕作方式与秸秆还田的组合处理,土壤容重减小值最大,为 0.18 g/cm<sup>3</sup>,并得出土壤容重随着耕作深度的增加而逐渐降低,秸秆还田可以降低土壤容重。田慎重等<sup>[18]</sup>在山东农业大学通过不同的耕作措施与秸秆还田相结合进行对比试验,结果表明,20~30 cm 土层秸秆深耕还田处理相比深耕无秸秆还田处理,水稳性大团聚体比例提高了 3.18 个百分点,达到了 80.72%;同时土壤团聚体的平均重量直径(MWD)提高了 13.28%,使土壤团聚结构更加稳定。秸秆深耕可以连年深耕,也可以隔年深耕,均可改善土壤物理性质。朱利群等<sup>[19]</sup>研究表明,水稻在第 3 季收获后土壤容重明显较前 2 季小,其中连续 2 年深耕+秸秆还田处理和隔年深耕+秸秆还田处理对比免耕和旋耕与秸秆还田的组合,对土壤容重的降低效果都达到了最好,且差异不大,土壤容重均可降低到 1.25 g/cm<sup>3</sup> 以下。

### 3.2 对化学性质的影响

土壤化学性质包括土壤养分、土壤有机质、土壤酸碱性、土壤缓冲能力及胶体性等,其中土壤养分为作物生长提供必需的营养元素,尤其是氮、磷、钾等元素是作物生长的重要营养元素;土壤有机质是最重要的土壤肥力表征,主要由碳和氮的有机化合物组成,是评价土壤养分的重要指标。秸秆深耕还田可使秸秆中的营养物质均匀分布于耕层,提高土壤养分含量与速效营养含量,降低土壤 C/N,最终改善土壤的化学性质。冀保毅<sup>[20]</sup>在漯河和鹤壁 2 地开展的深耕和秸秆还田相结合的试验证明,秸秆深耕还田后,提高了壤土中全氮、有效磷、速效钾、有机质含量,增幅分别为 13.8%、11.0%、11.80% 和 3.00%,黏土的全氮、有效磷、速效钾、有机质含量的增幅分别为 20.20%、6.00%、15.80% 和 1.60%,土壤的 C/N 平均下降了 10.00%,同时比单独深耕和秸秆还田处理的效果明显。张紧紧<sup>[21]</sup>研究表明,经过秸秆深耕还田,土壤有机碳、铵态氮含量有较大幅度的提升,在小麦的起身期、抽穗期与灌浆期 3 个时期,秸秆深耕还田处理后速效磷含量均达最高,分别为 26.39、16.99 和 19.62 mg/kg,20~40 cm 土层秸秆深耕还田处理比秸秆浅耕还田的 C/N 下降了 4.43。如果秸秆深耕还田再辅助以腐秆剂,可加速秸秆在底层的腐解,改善效果将更加明显,如范乃忠<sup>[22]</sup>研究表明,秸秆还田+深耕+腐秆剂技术经过 1 年的试验与秸秆还田+旋耕相比,全氮含量增加 0.05 g/kg,有效磷含量增加 0.3 g/kg,有机质含量增加 0.6 g/kg,增量也较秸秆还田+深耕处理大。也有研究显示,深耕+秸秆还田相比免耕+秸秆还田,土壤中的全氮、速效钾和速效磷的增量并不稳定,甚至有降低的现象,如朱杰等<sup>[23]</sup>研究表明,水稻秸秆深耕还田后,各层土壤全氮含量变化不大,而速效磷与速效钾的含量甚至小于免耕+秸秆还田处理。

### 3.3 对生物学性质的影响

土壤生物学性质与土壤的物理性质和化学性质相辅相成、密不可分,包括土壤微生物和土壤酶的一些状况。土壤微生物是土壤肥力的表征,反映土壤中部分营养元素的物质循环和能量流动<sup>[24]</sup>,受土壤耕作措施的影响;土壤酶活性是土壤生物学活性的总体体现,几乎参与土壤中所有生化反应,可直接或间接影响土壤的生产量和作物产量,其活性反映土壤中各种生化反应的方向和强度<sup>[25]</sup>。通过秸秆深耕还田,土壤层频繁扰动,通气性增加,微生物与有机质接触面积增大,有利于微生物的生长,可以增加土壤微生物数量,提高土壤酶活性。郭海滨<sup>[26]</sup>研究表明,秸秆深耕还田与常规耕作秸秆还田处理相比,20~30、30~40 cm 土层土壤微生物总量分别提高了 31.90% 和 47.90%,土壤蔗糖酶活性分别提高 73.30% 和 78.40%,土壤脲酶活性分别提高 30.20% 和 38.80%,土壤碱性磷酸酶活性分别提高 45.10% 和 51.60%。赵亚丽等<sup>[27]</sup>研究显示,深耕+秸秆还田与常规耕作+无秸秆还田相比,土壤微生物数量、土壤酶活性分别提高 45.90% 和 34.50%;同时还可以提高土壤中细菌、放线菌和真菌的数量,Lou 等<sup>[28]</sup>的研究也得出类似结论。冀保毅等<sup>[20,29]</sup>在秸秆深耕还田对土壤酶活性的影响研究中得出,秸秆深耕还田可显著提高酶活性,比常

规耕作+秸秆还田处理壤土土壤的磷酸酶、过氧化氢酶、蔗糖酶和脲酶活性分别提高了33.03%、5.43%、7.39%、4.01%。孟庆阳等<sup>[30]</sup>在淮北平原砂姜黑土麦田开展的试验表明,秸秆深耕还田可不同程度地提高砂姜黑土土壤的过氧化氢酶、蔗糖酶、脲酶、碱性磷酸酶活性,在成熟期的20~40 cm土层,秸秆深耕还田处理后的土壤过氧化氢酶、磷酸酶、脲酶相比旋耕秸秆还田、深耕秸秆不还田和旋耕秸秆不还田处理均达到了最高值,蔗糖酶活性相对增幅较小。

#### 4 秸秆深耕还田对作物的影响

**4.1 对生长发育的影响** 秸秆深耕还田具有良好的生物效应和农田效应,通过改变土壤的内在环境来影响作物的生长和发育,主要对出苗、株高、基粗、叶面积及根系的生长等有促进作用。李波等<sup>[31]</sup>的不同耕作方式下水稻秸秆还田试验表明,随着土壤耕作深度的增加,小麦出苗均匀性提高,其中深耕+水稻秸秆还田处理的均匀性最好,同时还有助于小麦出苗的整齐度。李亭亭<sup>[32]</sup>进行了春玉米田间试验,对比了不同耕作方式与秸秆还田对春玉米生育状况的影响,认为深耕+秸秆还田可有效提高茎秆强度和生育后期的叶面积,延缓春玉米的衰老,还可显著提高春玉米的总根长、根体积和根表面积。洪德峰等<sup>[33]</sup>研究表明,深耕和秸秆还田相结合可增加夏玉米籽粒干物质的积累,提高叶面积指数,相比较深耕秸秆不还田达到显著水平。同时,也有研究报道显示,秸秆深耕还田可以提高作物的抗病性和防治杂草的效果<sup>[17]</sup>。范乃忠<sup>[22]</sup>在虞城县黄家乡进行秸秆深耕还田试验,结果表明,深耕+玉米秸秆还田相比单纯的深耕可降低44.90%的小麦病穗率,同时比旋耕+玉米秸秆还田降低的病穗率提高了12个百分点。

**4.2 对产量的影响** 秸秆深耕还田可以提高作物生物产量和经济产量,主要是通过土壤理化性质和生物学性质的改善提高产量,尤其很大程度上取决于土壤中的氮、磷、钾含量。战秀梅等<sup>[34]</sup>在辽宁省海城市的秸秆深耕试验表明,深耕+秸秆还田与旋耕+秸秆还田相比,春玉米产量增加了667.80 kg/hm<sup>2</sup>,增产率为6.07%。孟庆阳等<sup>[30]</sup>通过不同耕作方式及秸秆还田处理砂姜黑土,结果表明,深耕秸秆还田处理相比旋耕秸秆还田、深耕秸秆不还田和旋耕秸秆不还田处理,能够显著提高冬小麦籽粒产量及千粒重,在深耕处理秸秆还田与不还田之间,产量差异显著,产量达到9 517.50 kg/hm<sup>2</sup>。王秋菊等<sup>[35]</sup>在黑钙土上连续开展了3年的有机物料深耕还田试验,证明秸秆深耕还田处理与常规耕作相比第1、2、3年分别增产11.20%、9.80%和18.10%,平均每年增产11.30%。秸秆深耕还田还可以结合地膜覆盖,尤其是在北方地区,可有效调控秋雨冬保春用跨季节的土壤墒情,提高作物产量,如田力<sup>[36]</sup>在东北地区开展的玉米秸秆深耕还田产量比较试验,得出在深耕情况下,玉米拔节期、抽穗期、灌浆期和成熟期,秸秆还田处理的植株干物质积累均高于秸秆不还田处理,秸秆深耕还田干物质积累量最大的是秸秆还田量为16 500 kg/hm<sup>2</sup>的处理,且差异显著,产量达到12 835.65 kg/hm<sup>2</sup>,比秸秆不还田处理(对照)增产2 115.15 kg/hm<sup>2</sup>。

也有一些地区进行了秸秆深耕还田的实践应用,如河南省商水县开展和推进的秸秆深耕还田工作,根据他们的实际测算:秸秆深耕25 cm比深耕15 cm的小麦成穗增加了22.5万~46.5万穗/hm<sup>2</sup>,穗粒数增加了1~2粒,千粒重增加了1.00~2.00 g,增产810.00 kg/hm<sup>2</sup>,增产率达8.00%~9.00%<sup>[37]</sup>。

#### 5 结论

综上,秸秆还田不仅减少了资源浪费,还有效改善了生态环境,同时,结合现代农业耕作方式——土地深耕,可加速秸秆的腐解,提高土壤有机质及氮、磷、钾含量,改善土壤理化性状和生物学性状,优化农田生态环境,提高作物产量与品质,是一种有效的农田培肥措施。因此,农作物秸秆的深耕还田是秸秆资源利用中最经济且可持续的方式之一,不但可以解决秸秆的环境污染问题,而且可以促进农村养分资源的循环利用和农业可持续发展。

#### 参考文献

- [1] 郭永奇. 河南省主要农作物秸秆生物质资源定量评价及其地理分布[J]. 农业现代化研究, 2013, 34(1): 114-117.
- [2] LAL R. World crop residues production and implications of its use as a biofuel[J]. Environment international, 2005, 31(4): 575-584.
- [3] 毕于运, 王亚静, 高春雨. 中国主要秸秆资源数量及其区域分布[J]. 农机化研究, 2010(3): 1-7.
- [4] 郭冬生, 黄春红. 近10年来中国农作物秸秆资源量的时空分布与利用模式[J]. 西南农业学报, 2016, 29(4): 948-953.
- [5] WANG H X, LIU C M, ZHANG L. Water-saving agriculture in China: An overview[J]. Advances in agronomy, 2002, 75: 135-171.
- [6] 孟军, 张伟明, 王绍斌, 等. 农林废弃物炭化还田技术的发展与前景[J]. 沈阳农业大学学报, 2011, 42(4): 387-392.
- [7] 王茜, 王磊. 炭化秸秆还田量对土壤肥力与作物生长的影响[J]. 中国农业信息, 2016(2): 83-85.
- [8] 郝强, 张晓敏, 管敬华. 秸秆还田地深松深耕轮作的必要性[J]. 农机科技推广, 2016(7): 28.
- [9] 江永红, 宇振荣, 马永良. 秸秆还田对农田生态系统及作物生长的影响[J]. 土壤通报, 2001, 32(5): 209-213.
- [10] 李涛, 李金铭, 赵景辉, 等. 深耕对小麦发育及节水效果影响的研究[J]. 山东农业科学, 2003, 1(3): 18-20.
- [11] JAT M L, GATHALA M K, SAHARAWAT Y S, et al. Double no-till and permanent raised beds in maize-wheat rotation of north-western Indo-Gangetic plains of India: Effects on crop yields, water productivity, profitability and soil physical properties[J]. Field crops research, 2013, 149(1): 291-299.
- [12] HEUER H, TOMANOVÁ O, KOCH H J, et al. Subsoil properties and cereal growth as affected by a single pass of heavy machinery and two tillage systems on a Luvisol[J]. Journal of plant nutrition and soil science, 2008, 171(4): 580-590.
- [13] LAMPURLANÉS J, CANTERO-MARTÍNEZ C. Soil bulk density and penetration resistance under different tillage and crop management systems and their relationship with barley root growth[J]. Agronomy journal, 2003, 95: 526-536.
- [14] 杨杰瑞. 不同翻耕模式与秸秆还田对豫中区麦田土壤理化性状影响的研究[D]. 新乡: 河南师范大学, 2014.
- [15] 赵亚丽, 于淑婷, 穆心愿, 等. 深耕加秸秆还田下施氮量对土壤碳氮比、玉米产量及氮效率的影响[J]. 河南农业科学, 2016, 45(10): 50-54.
- [16] 陆丰升. 超高产麦作秸秆还田及深耕试验研究[J]. 基层农技推广, 2016, 4(1): 25-27.
- [17] 李凤博. 不同耕作方式下秸秆还田对直播田生态环境的影响[D]. 南京: 南京农业大学, 2008.
- [18] 田镇重, 王瑜, 李娜, 等. 耕作方式和秸秆还田对华北地区农田土壤水稳性团聚体分布及稳定性的影响[J]. 生态学报, 2013, 33(22): 7116-7124.
- [19] 朱利群, 张大伟, 卞新民. 连续秸秆还田与耕作方式轮换对稻麦轮作田土壤理化性状变化及水稻产量构成的影响[J]. 土壤通报, 2011, 42(1): 81-85.
- [20] 冀保毅. 深耕与秸秆还田的土壤改良效果及其作物增产效应研究[D]. 郑州: 河南农业大学, 2013.

[21] 张紧紧. 深耕和有机物料还田对土壤-小麦系统碳、氮动态影响的研究[D]. 新乡:河南师范大学,2014.

[22] 范乃忠.“深耕深松+秸秆还田”对耕层土壤理化性状的影响[J]. 农业工程技术,2016(3):23-24.

[23] 朱杰,牛永志,高文玲,等. 秸秆还田和土壤耕作深度对直播稻田土壤及产量的影响[J]. 江苏农业科学,2006(6):388-396.

[24] 陈芝兰,张涪平,蔡晓布,等. 秸秆还田对西藏中部退化农田土壤微生物的影响[J]. 土壤学报,2005,42(4):696-699.

[25] DICK R P,RASMUSSEN P E,KERLE E A. Influence of long-term residue management on soil activities in relation to soil chemical properties of a wheat-fallow system[J]. *Biology and fertility of soil*,1988,6(2):159-164.

[26] 郭海滨. 耕作方式与秸秆还田对冬小麦-夏玉米一年两熟农田土壤生物性状和作物生长的影响[D]. 郑州:河南农业大学,2014.

[27] 赵亚丽,郭海斌,薛志伟,等. 耕作方式与秸秆还田对土壤微生物数量、酶活性及作物产量的影响[J]. 应用生态学报,2015,26(6):1785-1792.

[28] LOU Y L,LIANG W J,XU M G, et al. Straw coverage alleviates seasonal variability of the topsoil microbial biomass and activity[J]. *Catena*,2011,86(2):117-120.

[29] 冀保毅,赵亚丽,穆心愿,等. 深耕和秸秆还田对土壤酶活性的影响

[J]. 河北农业科学,2016,20(1):46-51.

[30] 孟庆阳,王永华,靳海洋,等. 耕作方式与秸秆还田对砂姜黑土土壤酶活性及冬小麦产量的影响[J]. 麦类作物学报(农业与生命科学版),2016,36(3):341-346.

[31] 李波,魏亚凤,季桦,等. 水稻秸秆还田与不同耕作方式下影响小麦出苗的因素[J]. 扬州大学学报(农业与生命科学版),2013,34(2):60-64.

[32] 李亭亭. 不同耕作及秸秆还田方式对春玉米产量形成及养分吸收的影响[D]. 沈阳:沈阳农业大学,2013.

[33] 洪德峰,陈红,唐振海,等. 不同深耕方式和秸秆还田对夏玉米植株性状及籽粒产量的影响[J]. 山东农业科学,2015,47(1):26-28.

[34] 战秀梅,李秀龙,韩晓日,等. 深耕及秸秆还田对春玉米产量、花后碳氮积累及根系特征的影响[J]. 沈阳农业大学学报,2012,43(4):461-466.

[35] 王秋菊,高中超,焦峰,等. 有机物料深耕还田改善石灰性黑钙土化学性质提高玉米产量[J]. 农业工程学报,2015,31(14):110-115.

[36] 田力. 耐密玉米大垄深耕秸秆深还量产量比较试验栽培模式研究[J]. 农业科技通讯,2013(3):75-77.

[37] Alice. 秸秆处理面临四重难题待解 土地深耕或成破局良方[EB/OL]. (2016-10-17) [2016-11-12]. [http://www.hbzhan.com/news\\_people/detail/406.html](http://www.hbzhan.com/news_people/detail/406.html).

(上接第40页)

黄瓜障碍问题研究较少。该研究所筛选菌株的孢子悬浮液

能有效促进连作黄瓜幼苗生长,对于该菌株的促生效果、促生机制及菌肥的制备还有待进一步研究探讨。

表1 菌株 T3-5 对黄瓜株高、地上鲜重及叶片生理生化指标的影响

Table 1 Effects of Strain T3-5 on cucumber height, the ground fresh weight, leaf physiological and biochemical indexes

处理 Treatment	株高 Height//cm	地上鲜重 The ground fresh weight//g	叶片磷含量 Leaf phosphorus content//mg/g	叶片硝态氮含量 Leaf nitrate nitrogen content//mg/g	叶绿素 a 含量 Chlorophyll a content//mg/g	叶绿素 b 含量 Chlorophyll b content//mg/g	类胡萝卜素含量 Carotenoid content//mg/g
CK	14.49	1.193	1.672	16.04	1.081	0.617	0.245
T3-5	16.14	1.652	2.004	18.08	1.689	0.748	0.342
较 CK 提高 Compared with CK//%	11.38	38.47	19.86	12.72	56.24	21.23	39.59

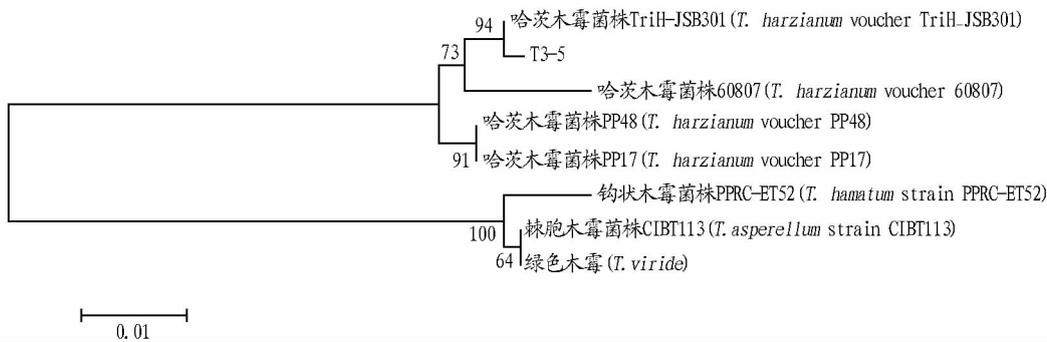


图6 基于 rDNA-ITS 序列木霉种属间的系统进化树

Fig. 6 Phylogenetic analysis of *Trichoderma* species based on rDNA-ITS sequences

参考文献

[1] 胡江春,薛德林,马成新,等. 植物根际促生菌(PGPR)的研究与应用前景[J]. 应用生态学报,2004,15(10):1963-1966.

[2] 康给军,胡健,单君,等. 两株解磷真菌的解磷能力及其解磷机理的初步研究[J]. 微生物学通报,2006,33(5):22-27.

[3] GREINER R,HALLER E,KONIETZNY U, et al. Purification and characterization of a phytase from *Klebsiella terrigena* [J]. *Arch Biochem Biophys*,1997,341(2):201-206.

[4] 张东艳,刘晔,吴越,等. 花生根际产 IAA 菌的筛选鉴定及其效应研究[J]. 中国油料作物学报,2016,38(1):104-110.

[5] CONTRERAS-CORNEJO H A,MACÍAS-RODRÍGUEZ L,CORTÉS-PENAGOS C, et al. *Trichoderma virens*, a plant beneficial fungus, enhances biomass production and promotes lateral root growth through an auxin-dependent mechanism in *Arabidopsis* [J]. *Plant physiology*, 2009, 149(3):1579-1592.

[6] 王学奎. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 2版. 北京:高等教育出版社,2000.

[7] HARMAN G E. Overview of mechanisms and uses of *Trichoderma* spp. [J]. *Phytopathology*,2006,96(2):190-194.