排灌机械工程学报
Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering
2018 年 7 月 July 2018 | 第 36 卷 第 7 期 Vol. 36 No. 7

doi:10.3969/j.issn.1674-8530.17.0127


刘中良

农业废弃物还田对番茄品质、产量及土壤氮磷钾的影响

刘中良[1]，张艳艳[1]，谷端银[1]，焦娟[1]，高俊杰[1*]，刘世琦[2,3]

（1. 泰安市农业科学研究院，山东 泰安 271018；2. 山东农业大学园艺科学与工程学院，山东 泰安 271018；3. 农业农村部黄淮地区园艺作物生物学与种质创制重点实验室，山东 泰安 271018）

摘要： 为了探明农业废弃物还田对设施番茄产量、品质及土壤氮磷钾（NPK）等的影响，以“金棚 8 号”番茄品种为研究对象，通过日光温室小区试验法，设置菌渣、稻壳和麦秸配比（体积比）：CK 为 0∶0∶0，T1 为 2∶0∶1，T2 为 0∶1∶2，T3 为 1∶2∶0，T4 为 1∶1∶1，T5 为 1∶0∶2，T6 为 2∶1∶0，T7 为 0∶2∶1 共 8 个处理，研究了不同配比还田处理对日光温室番茄产量、品质及土壤 NPK 质量比等的影响. 结果表明，还田提高了番茄果实可溶性糖、维生素 C（VC）和番茄红素质量分数，降低了有机酸质量比，增大了糖酸比. 其中处理 T4 的可溶性糖质量比最高，达 3.30%，而有机酸质量比则最低，为 0.30%；果实糖酸比以处理 T1，T2 和 T5 的为较佳，分别为 7.21，8.49 和 8.60；果实 VC 质量比为（9.62～17.54）×10^{-2} mg/g，较 CK 的增加了 33.16%～82.33%，各处理间的差异具有统计学意义. 处理 T4 的番茄红素质量比最高，其次为 T2 的，分别为 82.88，80.80 mg/kg，较 CK 的分别增加了 47.11%，43.41%. 此外，还田处理显著增加了番茄产量，处理 T2 的产量最高，达 100 927.02 kg/hm^2，较 CK 增产 31.41%，各处理间的差异具有统计学意义. 土壤碱解氮质量比以处理 T3 的最高，达 131.26 mg/kg；各处理的土壤有效磷质量比均显著高于对照的；土壤速效钾质量比为 127.02～155.03 mg/kg. 处理 T6 的有机质质量比最高，为 16.0 g/kg. 综合考虑产量和品质等指标，处理 T2 较佳.

关键词： 菌渣；稻壳；麦秸；番茄；品质；产量；土壤氮磷钾

中图分类号： S277.9；X712；S641.2　**文献标志码：** A　**文章编号：** 1674-8530(2018)07-0639-06

刘中良，张艳艳，谷端银，等. 农业废弃物还田对番茄品质、产量及土壤氮磷钾的影响[J]. 排灌机械工程学报,2018,36(7):639-644.

LIU Zhongliang, ZHANG Yanyan, GU Duanyin, et al. Effects of recycled agricultural wastes on tomato quality, yield and soil NPK nutrient content in protected house[J]. Journal of drainage and irrigation machinery engineering(JDIME), 2018,36(7):639-644. (in Chinese)

Effects of recycled agricultural wastes on tomato quality, yield and soil NPK nutrient content in protected house

LIU Zhongliang[1], *ZHANG Yanyan*[1], *GU Duanyin*[1], *JIAO Juan*[1], *GAO Junjie*[1*], *LIU Shiqi*[2,3]

(1. Taian Academy of Agricultural Sciences, Taian, Shandong 271018, China; 2. College of Horticulture Science and Engineering, Shandong Agricultural University, Taian, Shandong 271018, China; 3. Key Laboratory of Biology and Genetic Improvement of Horticulture Crops(Huanghuai Region), Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Taian, Shandong 271018, China)

收稿日期： 2017-06-08；**修回日期：** 2017-08-30；**网络出版时间：** 2018-03-02

网络出版地址： http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1814.TH.20180302.1016.070.html

基金项目： 2014 年山东省农业重大应用技术创新课题项目；2015 年山东省农业技术推广项目；山东省现代农业产业技术体系创新团队项目（SDAIT-05-09）

第一作者简介： 刘中良（1984—），男，山东台儿庄人，农艺师（sdau0525@126.com），主要从事设施蔬菜栽培生理研究.

通信作者简介： 高俊杰（1970—），男，山东潍坊人，研究员（sdaugao@126.com），主要从事设施蔬菜基质栽培研究.

Abstract: To investigate the effects of recycled agricultural wastes on tomato quality and yield as well as soil NPK content, a tomato variety "Jinpeng 8" was used as test plant, and eight treatments of mushroom dregs, rice husk and wheat straw were designed, i.e. CK 0:0:0, T1 2:0:1, T2 0:1:2, T3 1:2:0, T4 1:1:1, T5 1:0:2, T6 2:1:0 and T7 0:2:1. The influences of agricultural wastes on the fruit yield, quality and soil NPK content were clarified experimentally. Results show that the agricultural wastes increase soluble sugar, VC and lycopene content of tomato fruit, decrease organic acid content and intensify the sugar-to-acid ratio. The soluble sugar content in the fruit reaches the maximum 3.30% in treatment T4, while the organic acid content is the lowest 0.30%. The sugar-to-acid ratios are 7.21, 8.49 and 8.60, respectively, in treatments T1, T2 and T5, and are better than those in treatment CK. The VC content is $(9.62-17.54)\times10^{-2}$ mg/g, increases by 33.16% -82.33% in comparison with treatment CK, and the differences in the content are statistically significant among the treatments. The lycopene content is as high as 82.88 mg/kg and 80.80 mg/kg in treatments T4 and T2, respectively, increases by 47.11% and 43.41% compared with those in treatment CK. In addition, the yield reaches the highest of 100 927.02 kg/hm^2 in treatment T2, increases by 31.41% compared with treatment CK and is subject to statistical significance. In treatment T3, the alkali-hydrolysable nitrogen content is at the highest of 131.26 mg/kg. The available phosphorus content in each treatment is significantly higher than treatment CK. The available kalium content is in a range of 127.02 -155.03 mg/kg. The organic matter content in treatment T6 is at the highest of 16.0 g/kg. Comprehensively considering yield, quality and the other indices, treatment T2 is the better one.

Key words: mushroom dregs; rice husk; wheat straw; tomato; quality; yield; soil NPK

番茄是中国北方设施农业种植主要蔬菜之一. 随着设施番茄生产集约化、规模化,连作种植与过量不平衡施肥管理等问题日趋严重,从而导致土壤养分失衡、有机质含量下降、理化性质恶化、病害加剧及产量品质下降等[1]. 有研究结果表明农业废弃物是土壤有机质的重要来源,还田后可以显著改善土壤理化性质,增加作物产量,提高品质[2]. 中国是农业大国,农业废弃物数量巨大且种类繁多. 据统计,目前中国每年生产约7亿t秸秆,0.04亿t菌渣. 加强农业弃物料还田不仅能促进废弃物的资源化利用,还能提高土壤质量,促进作物增产,实现设施农业的可持续发展.

近年来,国内外对农业废弃物还田在作物生长、品质、产量及改善土壤特性等方面做了大量研究工作,主要集中在玉米[3]、水稻[4]等大田作物上,但还田率不足50%,并且在蔬菜上研究较少. 宫再英[5]研究发现适当麦秸还田可以显著提高黄瓜幼苗的株高、茎粗、干质量、叶面积及微生物量,碳、氮含量等;高青海等[6]通过秸秆还田对甜瓜生长和土壤养分的影响研究发现,麦秸还田处理土壤中的有机质、速效磷和速效钾质量比较对照分别提高6.67%,6.45%和9.32%;田平平等[7]通过草菇菌渣还田对土壤肥力和生菜产量影响的试验研究发现,还田后大棚中土壤有机质含量增加129.0% ~230.4%,产量提高34.1% ~59.7%. 此外,菌渣还田可显著提高土壤速效氮、有效磷和速效钾质量比. 高青海等[8]在研究稻壳还田时发现,稻壳还田增强了黄瓜叶片的光能利用效率、净光合速率,提高了坐果率、单果质量及产量,其中产量达49 029.25 kg/hm^2,较对照增产22.20%. 相关研究结果也表明麦秸、菌渣和稻壳还田可作为土壤调理剂改善土壤理化性质、提高土壤有机质及氮磷钾质量比.

农业废弃物还田栽培是一种简易土壤改良技术,可有效克服土壤连作障碍等问题,提高作物产量、品质. 目前,针对麦秸、菌渣和稻壳还田的研究工作主要集中在育苗和纯无土栽培上,在直接还田上的研究成果鲜见报道. 例如:张新建等[9]通过以麦秸腐熟物为主体的不同基质配方对番茄幼苗生长试验发现,配方为麦秸腐熟物:蛭石:草炭=6:2:2是理想的育苗基质. 此外,梁海恬等[10]和吕晓惠等[11]在菌渣基质育苗上也做了相关研究工作.

文中通过麦秸、菌渣和稻壳还田试验,探讨还田对设施番茄产量、品质及土壤有机质质量比等的影响,以期为番茄的优质高效栽培提供理论依据.

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于2016年3—6月在山东省泰安市农业科

学研究院试验示范基地进行(117°11′E,36°12′N),该区海拔为 138 m,年均气温为 13 ℃,年均降水 697 mm,属温带半湿润大陆性季风气候. 试验用温室土壤为壤土,耕层(0 ~ 20 cm)的基础理化性状:各组分的质量比为有机质 8.02 g/kg,碱解氮 79.83 mg/kg,有效磷(P_2O_5)54.14 mg/kg,速效钾(K_2O)108.26 mg/kg;pH 值为 7.25.

1.2　试验设计

供试番茄品种为西安皇冠蔬菜研究所培育的金棚 8 号. 稻壳、麦秸和菌渣由山东农业大学资源与环境学院提供. 麦秸、稻壳和菌渣的碱解氮质量分数分别为 0.47%,1.32% 和 1.16%;有效磷质量分数分别为 0.39%,1.67% 和 1.05%;速效钾质量分数分别为 1.71%,1.80% 和 1.25%;有机质质量分数分别为 78.4%,72.9% 和 82.2%. 以空白不还田为基础对照,设置 8 个不同配比处理,即菌渣、稻壳和麦秸的配比(体积比):CK 为 0∶0∶0,T1 为 2∶0∶1,T2 为 0∶1∶2,T3 为 1∶2∶0,T4 为 1∶1∶1,T5 为 1∶0∶2,T6 为 2∶1∶0,T7 为 0∶2∶1;各处理随机区组排列,3 次重复;小区面积为 25.2 m^2,定植前随整地施入,用量为 9 000 kg/hm^2. 3 月 4 日大小行定植,大行距为 100 cm,小行距为 40 cm,株距为 30 cm;滴灌肥水管理,肥料为雅苒康晶(20 - 20 - 20) + TE 水溶肥,滴灌施肥时间根据徐鹤林等[12]对番茄生育时期的划分,分别为缓苗期(定植后 10 d)、苗期(定植后 25 d)、第一穗果膨大期(定植后 46 d)、第二穗果膨大期(定植后 60 d)和第三穗果膨大期(定植后 74 d),每次用量 150 kg/hm^2. 5 层果摘心打顶,每层留 4 穗果. 其他管理参照当地常规管理措施.

1.3　指标测定

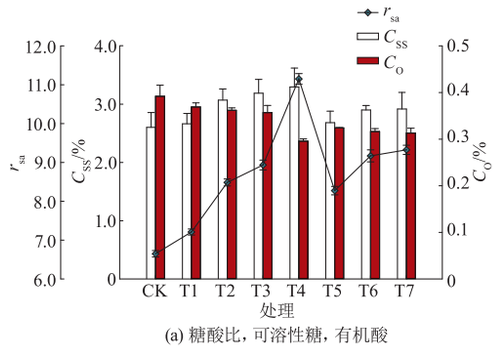
试验数据测定在山东农业大学园艺科学与工程学院农业农村部黄淮地区园艺作物生物学与种质创制重点实验室和作物生物学国家重点实验室进行. 分别选取成熟一致的第 3 层果实进行果实发育及品质指标测定. 随机称取 3 组,每组 10 个果实,计算单果质量;采用游标卡尺测量果实纵径和横径,果型指数为果实纵径和横径之比. 维生素 C(VC)、番茄红素、可溶性糖、有机酸等品质指标含量分别采用紫外快速测定法、高效液相色谱法、蒽酮比色法和滴定法测定[13-14];产量为每次收获累计总产. 6 月 30 日拉秧. 土壤养分和有机质质量比测定:待番茄拉秧后,每个处理随机钻取 3 份土壤,带回室内风干磨细,过 1 mm 筛,混匀备用. 土壤有机质质量比用重格酸钾滴定法 - 外加热法测定;土壤碱解氮、有效磷和速效钾质量比分别采用碱解扩散法、碳酸氢钠法和醋酸铵 - 火焰光度计法测定;土壤 pH 采用电位法(土∶水 = 1∶2.5)测定[15].

试验数据用 Microsoft Excel 2007 进行数据计算,DPS 7.05 软件统计分析,SigmaPlot 12.5 作图.

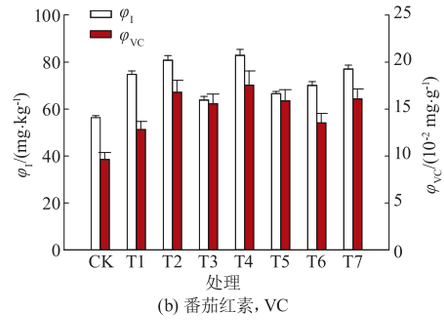
2　结果与分析

2.1　对番茄果实品质的影响

图 1 为麦秸、稻壳及菌渣还田对番茄品质的影响指标,图中分别为糖酸比 r_{sa}、可溶性糖质量分数 C_{SS}(鲜质量分数,%,FW,下同)、有机酸质量分数 C_O(%,FW)、番茄红素质量比 φ_I(mg/kg,FW),VC 质量比 φ_{VC}(10^{-2} mg/g,FW).



(a) 糖酸比,可溶性糖,有机酸



(b) 番茄红素,VC

图 1　麦秸、稻壳及菌渣还田对番茄品质的影响

Fig. 1　Effects of wheat straw, rice husk and mushroom dreg on tomato quality

由图 1 可见,不同配比麦秸、稻壳及菌渣还田对番茄品质影响明显. 各还田处理的可溶性糖质量分数均高于 CK 的,处理 T4 的可溶性糖质量分数最高,为 3.30%;除处理 T3 和 T4,T6 和 T7 的差异不具有统计学意义外,其他各处理间的差异具有统计学意义. 各还田处理可有效降低番茄果实的有机酸质量分数,改善果实品质,处理 T4 的有机酸质量分数最低,为 0.30%,与处理 T5,T6,T7 之间的差异不

具有统计学意义. 糖酸比大小是衡量番茄品质的重要指标之一,较佳的比例为 6.90 ~ 10.80[16],CK 的糖酸比为 6.65,偏酸;处理 T3,T6,T7 和 T4 的糖酸比分别为 8.94,9.17,9.33 和 11.15,过甜;处理 T1,T2 和 T5 的分别为 7.21,8.49 和 8.60,口感较佳. 各还田处理的 VC 质量比变化为(9.62 ~ 17.54) × 10^{-2} mg/g,较 CK 的提高 33.16% ~ 82.33%,各处理之间的差异具有统计学意义. 番茄红素质量比以处理 T4 的最高,达 82.88 mg/kg;其次是 T2 的,为 80.80 mg/kg,较 CK 的分别增加 47.11%,43.41%,两者的差异不具有统计学意义,处理 T1 和 T7 间的差异不具有统计学意义.

2.2 对番茄果实发育指标及产量的影响

表 1 为麦秸、稻壳及菌渣还田对番茄产量的影响指标,表中 L,D,L/D,m,Y_t 分别为果实的纵径、横径,果型指数,平均单果质量,总产量. 由表可见,不同配比的麦秸、稻壳及菌渣还田对番茄果实发育指标及产量的影响不同. 处理 T5 的果实纵径最大,为 5.96 cm,CK 的最小,为 5.24 cm,处理 T1 和 T2 间的差异不具有统计学意义;除处理 T2 和 T3 外,其余处理间果实横径差异具有统计学意义($P < 0.05$). 果型指数为 0.77 ~ 0.88,总体稍扁. 从产量上也发现农业废弃物配比还田不仅提高了番茄单果质量,而且还提高了产量,其中处理 T2 的产量最高,达 100 927.02 kg/hm^2,较 CK 增产 31.41%;处理 T6 增产最低,为 81 076.23 kg/hm^2,比 CK 增产 5.57%,各处理间差异具有统计学意义.

表 1 麦秸、稻壳及菌渣还田对番茄产量的影响

Tab. 1 Effects of wheat straw, rice husk and mushroom dreg on tomato yield

处理	L/cm	D/cm	L/D	m/g	Y_t/(kg · hm^{-2})
CK	5.24d	6.45e	0.81	120.85ab	76 800.98d
T1	5.75bc	6.90c	0.83	127.51ab	80 548.09cd
T2	5.75bc	7.34b	0.78	129.43a	100 927.02a
T3	5.62c	7.24b	0.78	121.36ab	85 839.50c
T4	5.79b	6.50e	0.89	128.49ab	84 268.39c
T5	5.96a	7.69a	0.77	128.30ab	98 311.78ab
T6	5.30d	6.74cd	0.79	120.43b	81 076.23cd
T7	5.85ab	6.62de	0.88	127.96ab	93 521.24b

注:同列小写字母表示处理间差异具有统计学意义($P < 0.05$),下同

2.3 对土壤 NPK 及有机质质量比的影响

表 2 为麦秸、稻壳及菌渣还田对土壤 NPK 及有机质质量比的影响指标,表中 φ 为质量比. 由表可知,与 CK 相比,不同配比麦秸、菌渣和稻壳还田总体上增加土壤 NPK 及有机质质量比. 其中土壤碱解氮质量比以处理 T3 的最高,达 131.26 mg/kg,其次是处理 T7 的,为 130.53 mg/kg,处理 T2,T5 和 T6 间的差异不具有统计学意义,其他处理间差异具有统计学意义. 各处理的有效磷质量比均显著高于对照的,处理 T4,T3,T1,T7 和 T5 的有效磷质量比分别高于 T6,T2,CK 的,其中处理 T4 的有效磷质量比最高,较 CK 增加 15.22%,各处理间差异具有统计学意义. 土壤速效钾质量比为 127.02 ~ 155.03 mg/kg,处理 T2 和 T3,T4 和 T6 间的差异不具有统计学意义,而与其他处理间的差异具有统计学意义,这说明不同配比麦秸、菌渣和稻壳还田能使土壤的速效钾质量比提高. 土壤有机质是土壤肥力高低评价的重要指标,其中以处理 T6 的有机质质量比最高,为 16.0 g/kg,其次是处理 T3 的,为 15.8 g/kg,两者差异不具有统计学意义.

表 2 麦秸、稻壳及菌渣还田对土壤 NPK 及有机质的影响

Tab. 2 Effects of wheat straw, rice husk and mushroom dreg on soil NPK and organic matter content

处理	φ/(mg · kg^{-1})			
	碱解氮	有效磷	速效钾	有机质
CK	95.27c	106.49c	127.02d	9.7×10^3e
T1	104.64c	118.65ab	136.76b	12.0×10^3d
T2	122.61ab	107.10c	150.19a	14.7×10^3b
T3	131.26a	121.01ab	155.03a	15.8×10^3a
T4	117.86b	122.70a	131.29cd	14.7×10^3b
T5	124.78ab	117.41b	140.44b	11.9×10^3d
T6	126.30ab	110.23c	131.68cd	16.0×10^3a
T7	130.53a	117.65b	136.12bc	13.9×10^3c

3 讨 论

关于麦秸、菌渣和稻壳还田对农作物影响,前人的研究工作结果大多表明能够增加蔬菜品质和产量.

文中研究表明,在连作设施地块通过不同配比麦秸、稻壳及菌渣还田,有效提高了番茄果实 VC、可溶性糖和番茄红素含量,改善了果实糖酸比,这与前人在大白菜[17]等蔬菜上的研究结果一致. 研究结果还表明,处理 T4 的可溶性糖和番茄红素含量最高,分别为 3.30%,82.88 mg/kg,而有机酸质量分数以处理 T4 的最低,为 0.30%;处理 T1,T2 和 T5 的糖酸比分别为 7.21,8.49 和 8.60,口感较佳;VC 质量比为(9.62 ~ 17.54) × 10^{-2} mg/g. 设施番茄品质提高与还田后土壤理化特性改善有很大关系[18].

文中研究结果根据糖酸比,优选处理 T1,T2 和 T5;根据可溶性糖和番茄红素含量,选择处理 T4;根据产量,以处理 T2 为最佳.

研究还发现还田可有效提高土壤速效 NPK 和

有机质质量比. 土壤碱解氮质量比以处理 T3 的最高,达 131.26 mg/kg. 各处理的有效磷质量比均显著高于对照的,速效钾质量比为 127.02 ~ 155.03 mg/kg,处理 T6 的有机质质量比最高,为 16.0 g/kg. 这与单一还田提高速效氮磷钾和有机质质量比研究结果一致[1]. 徐国伟等[19]研究表明秸秆还田能够增强土壤有机质质量比,降低土壤中 Na^+,Mg^{2+} 及 Ca^{2+} 质量比,提高土壤肥力;也可有效改善土壤 C/N 比[20]. 常介田等[21]通过麦秸直接还田,发现可以提高土壤碱解氮、速效磷和速效钾质量比;若碳化还田质量比为 30% 时,较利于氮磷保留缓释提高产量. KAUR 等[22]研究认为,秸秆还田比畜禽粪便更能够提高土壤有效钾的质量比;继而利于耕地质量提高. 邓欧平等[23]研究表明,菌渣还田处理的土壤碱解氮、速效钾和有效磷质量比分别比化肥处理的高出 3.55% ~ 20.24%,2.84% ~ 31.97% 和 2.10% ~ 14.48%.

文中研究主要针对麦秸、稻壳和菌渣不同配比还田进行探讨,配比梯度较少,因此不能详尽分析其对设施番茄的影响. 另外,受到原料来源、处理方式等差异影响,也不能代表很大区域. 因此,需要针对还田下不同配比的麦秸、菌渣和稻壳养分释放规律、番茄植株吸收等特性做进一步研究,为合理还田、增产增效提供理论支撑.

4　结　论

1) 不同配比麦秸、稻壳及菌渣还田对番茄品质、产量、土壤 NPK 和有机质质量比均有促进作用. 可溶性糖和番茄红素质量比以处理 T4 的最高,分别为 3.30%,82.88 mg/kg;糖酸比以处理 T1,T2 和 T5 的最佳,分别为 7.21,8.49 和 8.60;VC 质量比为 $(9.62 \sim 17.54) \times 10^{-2}$ mg/g,较 CK 的提高 33.16% ~ 82.33%. 处理 T2 的产量最高,达 100 927.02 kg/hm^2,较 CK 增产 31.41%,各处理间差异具有统计学意义.

2) 根据土壤 NPK 和有机质质量比,处理 T3 的土壤碱解氮质量比最高,为 131.26 mg/kg;各处理的有效磷质量比均显著高于对照的;土壤速效钾质量比为 127.02 ~ 155.03 mg/kg;有机质质量比以处理 T6 的最高,为 16.0 g/kg.

3) 根据研究数据,综合比较产量和品质等量化指标,以处理 T2 较佳,可为设施番茄农业废弃物还田生产提供参考.

参考文献(References)

[1] 李天来,杨丽娟. 作物连作障碍的克服——难解的问题[J]. 中国农业科学,2016,49(5):916 - 918.
LI Tianlai, YANG Lijuan. Overcoming continuous cropping obstacles—the difficult problem[J]. Scientia agricultura sinica, 2016,49(5):916 - 918. (in Chinese)

[2] WANG Yajing, BI Yuyun, GAO Chunyu. The assessment and utilization of straw resources in China[J]. Agricultural sciences in China, 2010, 9(12): 1807 - 1815.

[3] 王淑兰,王浩,李娟,等. 不同耕作方式下长期秸秆还田对旱作春玉米田土壤碳、氮、水含量及产量的影响[J]. 应用生态学报,2016,27(5):1530 - 1540.
WANG Shulan, WANG Hao, LI Juan, et al. Effects of long-term straw mulching on soil organic carbon, nitrogen and moisture and spring maize yield on rain-fed croplands under different patterns of soil tillage practice[J]. Chinese journal of applied ecology, 2016,27(5): 1530 - 1540. (in Chinese)

[4] 周运来,张振华,范如芹,等. 秸秆还田方式对水稻田土壤理化性质及水稻产量的影响[J]. 江苏农业学报,2016,32(4):786 - 790.
ZHOU Yunlai, ZHANG Zhenhua, FAN Ruqin, et al. Effects of straw-returning modes on paddy soil properties and rice yield[J]. Jiangsu journal of agricultural sciences, 2016,32(4):786 - 790. (in Chinese)

[5] 宫再英. 秸秆残体还田对黄瓜幼苗生长及土壤微生物菌群的影响[D]. 哈尔滨:东北农业大学,2016.

[6] 高青海,贾双双,郭远远. 秸秆集中深还田对设施连作土壤微生物区系和甜瓜根系生长的影响[J]. 生态学杂志,2016,35(6):1447 - 1452.
GAO Qinghai, JIA Shuangshuang, GUO Yuanyuan. Effect of deeply and concentrated straw returning on soil microbial community and melon root growth in continuously cropped greenhouse soil[J]. Chinese journal of ecology, 2016,35(6):1447 - 1452. (in Chinese)

[7] 田平平,何铭烽,李碧瑶,等. 施用不同草菇菌渣对生菜产量、品质及土壤理化性质的影响[J]. 河南农业大学学报,2015,49(2):203 - 207.
TIAN Pingping, HE Mingfeng, LI Biyao, et al. Effect of straw mushroom residue on soil lettuce yield and quality and soil physicochemical property[J]. Journal of Henan Agricultural University, 2015, 49(2): 203 - 207. (in Chinese)

[8] 高青海,陆晓民,贾双双. 不同作物秸秆还田对设施黄瓜生长及光合特性的影响[J]. 西北植物学报,2013,33(10):2065 - 2070.

GAO Qinghai, LU Xiaomin, JIA Shuangshuang. Effects of different drop straw returning on growth and photosynthesis characteristic of cucumber[J]. Acta botanica boreali - occidentalia sinica, 2013,33(10):2065 - 2070. (in Chinese)

[9] 张新建,赵秋,宁晓光. 以麦秸腐熟物为主体的基质对番茄幼苗生长的影响[J]. 江苏农业科学,2015,43(10):201 - 202,379.
ZHANG Xinjian, ZHAO Qiu, NING Xiaoguang. Effects of wheat straw decomposed substance on tomato seedling growth[J]. Jiangsu agricultural sciences, 2015, 43(10):201 - 202,379. (in Chinese)

[10] 梁海恬,何宗均,高贤彪,等. 菇渣、草炭、蛭石混合基质化处理产物对番茄苗期发育特性的影响[J]. 华北农学报,2015,30(4):194 - 199.
LIANG Haitian, HE Zongjun, GAO Xianbiao, et al. Influences of mushroom residue, peat and vermiculite matrix product on the growth characteristics of tomato seedlings[J]. Acta agriculturae boreali - sinica, 2015, 30(4):194 - 199. (in Chinese)

[11] 吕晓惠,杨宁,李海燕,等. 菌渣部分替代草炭对樱桃番茄生长及养分吸收的影响研究[J]. 中国农学通报,2016,32(4):63 - 67.
LYU Xiaohui, YANG Ning, LI Haiyan, et al. Study on compound substrate properties with spent mushroom compost and effects on cherry tomato growth[J]. Chinese agricultural science bulletin, 2016,32(4):63 - 67. (in Chinese)

[12] 徐鹤林,李景富. 中国番茄[M]. 北京:中国农业出版社,2007.

[13] 蔬菜及制品中番茄红素的测定 高效液相色谱法:NY/T 1651—2008[S].

[14] 李小方,张志良. 植物生理学实验指导[M]. 5版. 北京:高等教育出版社,2016.

[15] 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.

[16] 霍建勇,刘静,冯辉,等. 番茄果实风味品质研究进展[J]. 中国蔬菜,2005(2):34 - 36.
HUO Jianyong, LIU Jing, FENG Hui, et al. Research progress of tomato fruit flavor quality[J]. China vegetables, 2005(2):34 - 36. (in Chinese)

[17] 徐学忠,胡靖锋,杨红丽,等. 菌渣有机肥在大白菜生产中的应用研究[J]. 福建农业学报,2015,30(7):675 - 678.
XU Xuezhong, HU Jingfeng, YANG Hongli, et al. Mushroom dregs for Chinese cabbage cultivation[J]. Fujian journal of agricultural sciences, 2015,30(7):675 - 678. (in Chinese)

[18] 范弟武,李秀芝,黄斌,等. 稻壳炭施加对设施土壤的改良效果[J]. 江苏农业学报,2016,32(2):345 - 350.
FAN Diwu, LI Xiuzhi, HUANG Bin, et al. Improving effects of rice husk char on greenhouse soil[J]. Jiangsu journal of agricultural sciences, 2016,32(2):345 - 350. (in Chinese)

[19] 徐国伟,段骅,王志琴,等. 麦秸还田对土壤理化性质及酶活性的影响[J]. 中国农业科学,2009,42(3):934 - 942.
XU Guowei, DUAN Hua, WANG Zhiqin, et al. Effect of wheat-residue application on physical and chemical characters and enzymatic activities in soil[J]. Scientia agricultura sinica, 2009,42(3):934 - 942. (in Chinese)

[20] 姜超强,郑青松,祖朝龙. 秸秆还田对土壤钾素的影响及其替代钾肥效应研究进展[J]. 生态学杂志,2015,34(4):1158 - 1165.
JIANG Chaoqiang, ZHENG Qingsong, ZU Chaolong. Research progress on effects of straw returning on soil potassium and its substitute for po-tassium fertilizer[J]. Chinese journal of ecology, 2015,34(4):1158 - 1165. (in Chinese)

[21] 常介田,张翠翠,孟祥远,等. 麦秸直接还田对作物产量及培肥土壤效应分析[J]. 中国农学通报,2012,28(8):213 - 216.
CHANG Jietian, ZHANG Cuicui, MENG Xiangyuan, et al. Study on the effects of returning wheat straws to fields directly on raising the yield of crops and fertilizing soil[J]. Chinese agricultural science bulletin, 2012,28(8):213 - 216. (in Chinese)

[22] KAUR N, BENIPAL D S. Effect of crop residue and farmyard manure on K forms on soils of long term fertility experiment[J]. Indian journal of crop science, 2006,1(1/2):161 - 164.

[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.
DENG Ouping, LI Han, ZHOU Xi, et al. Effect of spent mushroom substrates on dynamic changes of soil available nutrients in rice - wheat rotation[J]. Soil and fertilizer sciences in China, 2014(4):18 - 23. (in Chinese)

(责任编辑 张文涛)