

吴传万, 杜小凤, 顾大路, 等. 覆盖方式对温室红椒生长发育及土壤环境的影响[J]. 江苏农业学报, 2015, 31(2): 407-414.  
doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2015.02.029

## 覆盖方式对温室红椒生长发育及土壤环境的影响

吴传万, 杜小凤, 顾大路, 文廷刚, 杨文飞, 郭小山, 汪国莲, 谢忠谊, 王伟中  
(江苏徐淮地区淮阴农业科学研究所, 江苏 淮安 223001)

**摘要:** 为了研究不同覆盖方式对温室红椒的生物学及土壤环境效应。采用田间试验, 分析了地膜覆盖、秸秆覆盖和地膜加秸秆覆盖对温室红椒土壤温度、生长发育、营养品质、产量、土壤理化性质、土壤微生物、酶活性和水分利用效率的影响。结果显示, 地膜加秸秆覆盖、地膜覆盖和秸秆覆盖均可提高温室红椒土壤温度、株高和茎粗, 提高土壤有机质、全氮、碱解氮、全磷、速效磷、全钾和速效钾含量; 3种覆盖处理均可提高土壤细菌数量、放线菌数量、微生物总量和  $B/F$  值及土壤脲酶、磷酸酶、蔗糖酶和过氧化氢酶活性, 降低真菌数量, 并提高红椒维生素 C、可溶性糖和可溶性蛋白质含量, 降低硝酸盐含量。地膜覆盖、秸秆覆盖和地膜加秸秆覆盖处理的水分利用效率和产量显著增加, 水分利用效率分别为不覆盖处理(对照)的 1.77 倍、1.63 倍和 1.81 倍, 产量分别增加 11.12%、8.98% 和 15.99%。表明地膜覆盖、秸秆覆盖, 特别是地膜加秸秆覆盖处理有利于改善温室红椒土壤微生物群落结构和理化性质, 提高土壤温度和水分利用效率, 增加土壤微生物数量和土壤酶活性, 促进红椒生长, 改善品质和提高产量。

**关键词:** 覆盖方式; 红椒; 生长发育; 土壤微生物; 土壤酶活性

**中图分类号:** S641.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2015)02-0407-08

## Effects of mulching modes on soil environment and growth of red pepper in greenhouse

WU Chuan-wan, DU Xiao-feng, GU Da-lu, WEN Ting-gang, YANG Wen-fei, GUO Xiao-shan,  
WANG Guo-lian, XIE Zhong-yi, WANG Wei-zhong

(Huaiyin Institute of Agricultural Sciences of the Xuhuai District of Jiangsu Province, Huai'an 223001, China)

**Abstract:** A field experiment was conducted to investigate the influence of different mulching treatments (plastic film mulching, rice straw mulching, plastic film combined with rice straw mulching) on greenhouse red pepper growth, nutritional value, yield, soil temperature, soil physicochemical properties, soil microorganism, enzyme activities and water use efficiency. The results showed that three mulching treatments significantly increased plant height

and stem diameter, soil temperature, soil organic matter, total nitrogen, available nitrogen, total phosphorus, available phosphorus, total potassium and available potassium of red pepper. The three mulching treatments improved the total numbers of soil bacteria, actinomycetes and the sum of microorganism and  $B/F$  ratio, and enhanced the activities of soil urease, phosphatase, invertase and catalase. However, mulching treatments reduced the number of soil fungi. The con-

收稿日期: 2014-07-25

**基金项目:** 江苏省农业科技自主创新基金项目[CX(12)3027]; 江苏省农业科技支撑计划项目(BE2012417); 淮安市科技成果转化专项引导基金项目(HA2011014); 淮安市农业科技攻关项目(SN1127)

**作者简介:** 吴传万(1976-), 男, 博士, 江西吉安人, 副研究员, 主要从事作物栽培生理与植物生长调节剂研发。(Tel) 0517-83640559; (E-mail) chuanwanwu@sina.com

**通讯作者:** 王伟中, (Tel) 0517-83675988

tents of vitamin C, soluble sugar and soluble protein in greenhouse red pepper were enhanced in three mulching treatments while the nitrate content was decreased. The water use efficiency and yield of red pepper were significantly increased in mulching treatments, the water use efficiency being 1.63–1.81 times as much as those without mulching treatment, and the yield being increased by 8.98%–15.99%. Application of plastic film mulching combined with rice straw mulching was the most beneficial to improve the soil microbial community structure, soil physicochemical properties, soil temperature, water use efficiency, soil microorganism quantity and soil enzyme activities and promote red pepper growth, nutritional value and yield of red pepper in greenhouse.

**Key words:** mulching mode; red pepper; growth and development; soil microorganism; soil enzyme activity

淮安鲜红椒所形成的品牌“淮安红椒”已成为国家地理标志证明商标。淮安红椒在全国鲜红椒市场有着举足轻重的地位,可以影响全国各个地区鲜红椒市场的行情。由于淮安红椒产于中国地理南北分界线的特定生态区域,以春提早和秋延后保护地栽培为主,优良的气候生态环境和无公害标准化生产技术的全面应用,决定了淮安红椒良好的外观商品性状和独特的内在优良品质,深受国内外市场欢迎。2012 年 3 月,在农业部公布的“2011 消费者最喜爱的 100 个中国农产品区域公用品牌”中,淮安红椒排名全国辣椒品牌之首。淮安市常年设施化栽培红椒面积达  $2.7 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ,成为淮安市农民增收致富的一项主导产业<sup>[1]</sup>。

由于耕地数量有限,土地、气候等条件的限制以及对高产高效的追求,设施红椒连作使土地难以得到轮作倒茬的现象较为普遍,加之超量使用化肥、化肥使用不当、土壤盐渍化等,红椒连作障碍日益严重。红椒种子的发芽、根系的吸水吸肥均不能正常进行,常常出现植株生长发育不良,如幼苗枯萎、烂根、生长点发育不正常及新生枝叶不能伸长,多种病害同时发生等,致使红椒产量和品质下降,连作障碍病害严重时可导致整个大棚绝收,严重影响了淮安红椒生产的可持续发展,而水旱轮作是解除设施蔬菜基地连作障碍最简单、最有效的方法,如水稻与红椒轮作栽培模式就能很好的解决淮安红椒连作障碍,极大地促进了淮安红椒产业发展。

大田作物研究表明,秸秆(覆盖)还田可加速土壤物质的生物循环,促进土壤有益微生物的生长,改善土壤结构,提高土壤有机质含量,调节氮、磷、钾、微量元素等养分供应状况,对培肥地力具有重要的作用,因而具有一定的增产效果<sup>[2-7]</sup>。Liang 等<sup>[8]</sup>研究发现麦草覆盖可改善温室辣椒土壤理化性质,提高辣椒产量与品质。Patra 等<sup>[9]</sup>认为,秸秆覆盖下不同深度土壤温度分布均匀,不覆盖的土壤温度随深度增

加而增高。崔凤俊等<sup>[10]</sup>、巩杰等<sup>[11]</sup>和刘世平等<sup>[12]</sup>认为,秸秆覆盖具有高温降温和低温保温的调温效应,在作物生育前期和土壤表层表现突出。吴兴等<sup>[13]</sup>认为地膜加秸秆覆盖有利于温室辣椒生长、提高水分利用率。张金珠等<sup>[14]</sup>研究认为秸秆表面覆盖对于棉花土壤整体保水性较好,能有效抑制耕层水分散失和盐分聚集,30 cm 深层覆盖整体保水性优于无覆盖,相对表层覆盖仅在秸秆层以下靠近滴灌带的有限范围内具有优势,并显著提高耕层以下土壤水分含量。翟胜等<sup>[15]</sup>研究结果表明,采用地膜覆盖、秸秆覆盖和地膜加秸秆覆盖可有效促进黄瓜植株生长,提高坐瓜率和正常瓜比例,缩短成瓜时间,增加单瓜质量,且以地膜加秸秆覆盖效果较好。

农田秸秆覆盖是一种历史悠久的作物栽培技术,具有改变农田下垫面性质和能量平衡,减少土壤蒸发、蓄水保墒、调节地温、提高肥力、抑制杂草、提高作物产量等综合作用。然而,目前对覆盖方面的研究多集中于大田作物,而在蔬菜生产中则主要研究地膜覆盖,但在日光温室条件下进行地膜覆盖、秸秆覆盖和地膜加秸秆覆盖对蔬菜作物生长发育的研究报道较少。本试验在前人研究基础上,结合淮安红椒与水稻轮作栽培模式特点,将秸秆覆盖与地膜相结合,在日光温室条件下研究地膜覆盖、秸秆覆盖和地膜加秸秆覆盖对辣椒生长发育及土壤环境的影响,为稻草秸秆利用及设施农业持续发展提供技术支持。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验设计

试验于 2012 年 10 月至 2013 年 6 月在江苏省淮安市淮阴日光温室蔬菜科技园区位于淮阴区丁集镇娘庄村的日光温室中进行,该日光温室已经连续种植辣椒 2 年,本试验辣椒为第 3 年种植。土壤为沙壤土,肥力中等,pH 值 7.6,有机质 26.61 g/kg,碱

解氮 147.0 mg/kg, 速效磷 45.4 mg/kg, 速效钾 302.0 mg/kg。

试验设 4 个覆盖处理, 分别为地膜覆盖(地膜厚度 0.01 mm, 覆于植株行间, 覆膜后四周用土压实); 秸秆覆盖(水稻秸秆, 秸秆用量 1 kg/m<sup>2</sup>); 地膜加秸秆覆盖(水稻秸秆覆盖, 秸秆用量 1 kg/m<sup>2</sup>, 再用地膜覆盖, 覆膜后四周用土压实); 不覆盖(对照)。随机区组设计, 3 次重复, 每个重复内各处理设 1 个栽培畦, 每畦面积 6 m<sup>2</sup>, 畦与畦间用塑料薄膜隔开。

供试辣椒 (*Capsicum annuum* L.) 品种为淮椒 1108, 由江苏徐淮地区淮阴农业科学研究所蔬菜研究中心选育并提供。辣椒种子经 5% 次氯酸钠消毒 15 min 后浸种 6 h, 然后置于铺有单层滤纸的培养皿内, 恒温培养箱(28 ℃)中催芽。2012 年 9 月 10 日选择发芽整齐一致的种子播入 72 孔穴盘, 采用江苏徐淮地区淮阴农业科学研究所蔬菜研究中心自制优佳牌蔬菜育苗基质进行育苗, 10 月 24 日进行定植, 株行距 30 cm×50 cm, 10 月 26 日浇透定植水。定植后 8:00 拉开风口进行通风, 17:00 关上风口, 11 月 15 日安装草帘, 根据实际情况进行开、关风口和揭、盖草帘。

## 1.2 测定项目与方法

2012 年 11 月 9 日早晨 10:00 开始, 每隔 5 d 测量土壤 20 cm 处温度, 并分别于辣椒的结果初期(2012 年 12 月 15 日)、盛果期(2013 年 2 月 18 日)和结果末期(2013 年 4 月 15 日)测量辣椒的株高和茎粗。试验过程中, 按小区分批累计记产, 核算红椒产量。

土壤含水量控制在田间最大持水量的 70%~85%, 整个生育期每 15 d 用烘干法测定 1 次土壤含水量, 各小区低于控水下限时即按控水上限补充灌水, 并按照吴兴等<sup>[13]</sup>方法计算水分利用率。

于盛果期(2013 年 2 月 18 日), 每小区按多点法采集根系周围土壤(约 2~25 cm 土层)得到混合样, 新鲜土样用灭菌的塑料袋包扎密封, 一部分 4 ℃ 保存, 用于微生物数量的测定; 一部分风干, 过 1 mm 筛孔, 用于测定土壤理化性质和土壤酶活性。土壤微生物数量采用稀释平板计数法进行测定<sup>[16]</sup>。细菌采用牛肉膏蛋白胨培养基培养; 真菌采用马丁氏培养基培养(每 300.0 ml 培养基中加入 3% 重铬酸钾 1.0 ml 以抑制细菌和霉菌生长); 放线菌采用改

良高氏一号培养基培养(每 1 000.0 ml 培养基中加 1% 孟加拉红水溶液 3.3 ml 和 1% 链霉素 3.0 ml)。土壤容重、有机质、全氮、碱解氮、全磷、速效磷、全钾和速效钾含量分别采用称质量法、重铬酸钾-外加热法、半微量开氏法、氢氧化钠碱解-扩散法、NaOH 熔融-钼锑抗比色法、碳酸氢钠-钼锑抗比色法、火焰光度法和醋酸铵浸提-火焰光度法测定, 土壤 pH 值按土水比 1:5 浸提后酸度计测定。此外, 测定土壤中脲酶、过氧化氢酶、蔗糖酶和中性磷酸酶活性, 其中土壤脲酶活性用靛酚蓝比色法测定<sup>[16]</sup>, 以 1 g 土 24 h 产生的 NH<sub>3</sub>-N 毫克数表示; 过氧化氢酶活性用高锰酸钾滴定法测定<sup>[16]</sup>, 以 1 g 土消耗 0.1 mol/L KMnO<sub>4</sub> 毫升数表示; 蔗糖酶活性用 3,5-二硝基水杨酸比色法测定<sup>[16]</sup>, 以 1 g 土 24 h 产生的葡萄糖毫克数表示; 中性磷酸酶活性用磷酸苯二钠比色法测定<sup>[16]</sup>, 以 1 g 土 24 h 产生的酚毫克数表示。

于盛果期(2013 年 2 月 18 日)采集红椒果实, 选取中间部位用常规方法测定红椒品质, 其中维生素 C 含量采用 2,6-二氯酚靛酚滴定法测定<sup>[17]</sup>; 可溶性糖含量采用蒽酮比色法测定<sup>[17]</sup>; 可溶性蛋白质含量采用考马斯亮蓝 G-250 染色法测定<sup>[17]</sup>; 硝酸盐含量采用水杨酸比色法测定<sup>[17]</sup>。

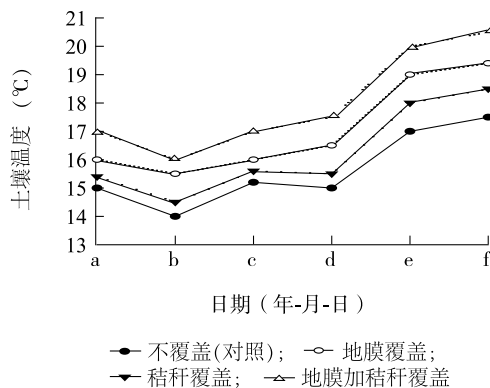
## 1.3 数据分析与处理

采用 DPS v14.10 高级版和 Microsoft Excel 2010 软件对试验数据进行处理和统计分析, 用 LSD (Least significant difference) 法进行多重比较, 并用 SigmaPlot 12.0 作图。

# 2 结果与分析

## 2.1 不同覆盖方式对温室红椒土壤温度的影响

由图 1 可见, 所有覆盖处理均能提高土壤温度, 保温效果大小依次为地膜加秸秆覆盖>地膜覆盖>秸秆覆盖。从 2012 年 12 月 2 日土壤温度测定结果来看, 地膜加秸秆覆盖土壤温度较地膜覆盖、秸秆覆盖和不做任何覆盖(对照)处理分别高 1.1 ℃、2.0 ℃ 和 3.0 ℃, 而地膜覆盖和秸秆覆盖较对照土壤温度分别高 1.9 ℃ 和 1.0 ℃。这是由于地膜覆盖能有效保墒, 隔绝土壤与外界的水分交换, 抑制潜热和显热交换, 地膜及其表面附着的水层对长波反辐射有削弱作用, 使夜间温度下降减缓, 进而提高土壤温度<sup>[18]</sup>。



a; 2012-11-9; b; 2012-11-14; c; 2012-11-19; d; 2012-11-24; e; 2012-11-29; f; 2012-12-2。

图1 不同覆盖方式对温室红椒土壤温度的影响

Fig. 1 Effects of different mulching treatments on soil temperature of greenhouse red pepper

表1 不同覆盖方式对温室红椒生长的影响

Table 1 Effects of different mulching modes on growth of greenhouse red pepper

处 理	结果初期		结果盛期		结果末期	
	株高 (cm)	茎粗 (mm)	株高 (cm)	茎粗 (mm)	株高 (cm)	茎粗 (mm)
不覆盖 (对照)	45.55±3.62b	6.85±0.53b	59.68±4.32b	8.76±0.48b	60.42±4.02b	9.95±0.46b
地膜覆盖	57.72±3.86a	9.77±0.64a	77.35±3.58a	11.75±0.47a	77.15±6.13a	12.56±0.26a
秸秆覆盖	58.64±3.73a	9.84±0.45a	78.36±4.16a	11.88±0.89a	79.65±4.15a	12.82±0.47a
地膜加秸秆覆盖	59.79±3.65a	10.11±0.35a	79.45±4.78a	12.09±0.55a	81.05±5.46a	13.24±0.75a

同列不同小写字母表示处理间差异达 0.05 显著水平。

### 2.3 不同覆盖方式对温室红椒土壤理化性质的影响

由表 2 可知,不同覆盖处理对土壤容重、有机质、全氮、碱解氮、全磷、速效磷、全钾和速效磷等土壤理化性质具有不同的影响。其中秸秆覆盖与地膜加秸秆覆盖处理较地膜覆盖与不覆盖处理,有机质、碱解氮、速效磷、全钾和速效钾含量均显著增加 ( $P < 0.05$ ),其中以地膜加秸秆覆盖对土壤配肥改良效

### 2.2 不同覆盖方式对温室红椒生长的影响

田间观测结果发现,所有覆盖处理的红椒株高明显比对照高,叶色深绿,长势旺盛。由表 1 生理指标的测定结果可见,与不覆盖处理(对照)相比,地膜覆盖、秸秆覆盖和地膜加秸秆覆盖处理均能显著提高温室红椒株高和茎粗 ( $P < 0.05$ ),尤其是地膜加秸秆覆盖处理效果明显,兼具地膜覆盖与秸秆覆盖效果,显著促进红椒生长,为其高产提供了良好的生物学基础。地膜加秸秆覆盖处理,结果初期,株高和茎粗较对照分别增加 31.26% 和 47.59%;结果盛期,株高和茎粗较对照分别增加 33.13% 和 38.01%;结果末期,株高和茎粗较对照分别增加 34.14% 和 33.07%,说明地膜加秸秆覆盖有利于提高红椒生长。

果为佳。地膜加秸秆覆盖处理土壤容重较常规单一地膜覆盖降低 11.67%,而有机质、全氮、碱解氮、全磷、速效磷、全钾和速效磷含量分别增加 60.81%、23.28%、41.56%、32.80%、43.87%、12.79% 和 21.99%,说明地膜加秸秆覆盖,有利于改善土壤理化性质。

表2 不同覆盖方式对温室红椒土壤理化性质的影响

Table 2 Effects of different mulching treatments on soil physicochemical properties of greenhouse red pepper

处 理	容重 (g/cm <sup>3</sup> )	有机质 (g/kg)	全氮 (g/kg)	碱解氮 (mg/kg)	全磷 (g/kg)	速效磷 (mg/kg)	全钾 (g/kg)	速效钾 (mg/kg)
不覆盖 (对照)	1.20a	27.3b	1.16a	142.2b	1.89b	46.5b	17.2b	315.1b
地膜覆盖	1.12a	26.9b	1.19a	147.8b	2.36ab	51.2b	17.5b	325.3b
秸秆覆盖	1.08a	41.6a	1.29a	195.6a	2.41a	65.4a	19.5a	375.8a
地膜加秸秆覆盖	1.06a	43.9a	1.43a	201.3a	2.51a	66.9a	19.4a	384.4a

同列不同小写字母表示处理间差异达 0.05 显著水平。

### 2.4 不同覆盖方式对温室红椒土壤微生物的影响

土壤微生物是土壤有机质和土壤养分转化和循

环的动力,参与有机质的分解、腐殖质的形成、养分的转化和循环的各个生化过程,在土壤肥力和生态



系统中具有重要的作用,土壤微生物体系组成和数量的变化,对土壤养分的转化和吸收以及各种土壤病虫害的发生均有较大关系<sup>[19]</sup>。由表 3 可知,温室红椒土壤微生物均以细菌为主,其次放线菌,真菌数量最低,但不同覆盖处理对微生物数量影响显著,地膜加秸秆覆盖处理与不覆盖(对照)相比,可显著提高细菌数量、放线菌数量、微生物总量和  $B/F$  值 ( $P<0.05$ ),降低真菌数量( $P<0.05$ ),其中细菌数量

增加 $1.53\times10^7$  CFU/g,增幅达 41.46%;放线菌数量增加 $1.95\times10^4$  CFU/g,增幅达 76.47%;微生物总量增加 $15.31\times10^6$  CFU/g,增幅达 41.44%; $B/F$  值增加 1 736.10,增幅达 1.09 倍;真菌数量降低 $7.5\times10^3$  CFU/g,降幅达 32.33%。与常规单一地膜覆盖比较,细菌数量、放线菌数量、微生物总量和  $B/F$  值分别提高 40.32%、65.44%、40.29% 和 117.22%,真菌数量降低 35.39%。

表 3 不同覆盖方式对温室红椒土壤微生物的影响

Table 3 Effects of different mulching treatments on soil microbial quantity of greenhouse red pepper

处 理	细菌 ( $\times10^7$ CFU/g)	真菌 ( $\times10^4$ CFU/g)	放线菌 ( $\times10^4$ CFU/g)	微生物总量 ( $\times10^7$ CFU/g)	$B/F$ 值
不覆盖(对照)	3.69 $\pm$ 0.35b	2.32 $\pm$ 0.16a	2.55 $\pm$ 0.31b	3.69b	1 591.62b
地膜覆盖	3.72 $\pm$ 0.28b	2.43 $\pm$ 0.24a	2.72 $\pm$ 0.22b	3.73b	1 531.98b
秸秆覆盖	4.95 $\pm$ 0.45a	1.65 $\pm$ 0.12b	4.30 $\pm$ 0.36a	4.96a	3 002.61a
地膜加秸秆覆盖	5.22 $\pm$ 0.34a	1.57 $\pm$ 0.13b	4.50 $\pm$ 0.41a	5.23a	3 327.71a

同列不同小写字母表示处理间差异达 0.05 显著水平。 $B/F$ :(细菌数量+放线菌数量)/真菌数量。

2.5 不同覆盖方式对温室红椒土壤酶活性的影响

土壤酶是土壤生态系统中活跃的生物活性物质,其活性反映了土壤中各种生物化学过程的动向和强度,直接影响土壤中微生物的诸多代谢,土壤中脲酶、磷酸酶、蔗糖酶和过氧化氢酶可以作为作物敏感的土壤酶学指标,其活性不仅能反映出土壤微生物活性的高低,而且能表征土壤养分转化和运移能力的强弱,是评价土壤肥力的重要参数之一<sup>[20]</sup>。由表 4 可见,地膜覆盖、秸秆覆盖和地膜加秸秆覆盖等不同覆盖方式对土壤酶活性具有显著影响,在温室红椒结果盛期,地膜加秸秆覆盖处理能显著提高土

壤脲酶、磷酸酶、蔗糖酶和过氧化氢酶活性 ( $P<0.05$ ),与不覆盖处理(对照)相比,土壤脲酶、磷酸酶、蔗糖酶和过氧化氢酶活性分别提高 73.74%、32.16%、49.70% 和 76.47%;与地膜覆盖比较,地膜加秸秆覆盖处理的土壤脲酶、磷酸酶、蔗糖酶和过氧化氢酶活性分别增加 30.30%、24.86%、37.36% 和 63.04%,而秸秆覆盖的土壤脲酶、磷酸酶、蔗糖酶和过氧化氢酶活性分别比地膜覆盖增加 25.00%、20.17%、26.37% 和 41.30%。说明秸秆覆盖和地膜加秸秆覆盖具有提高土壤酶活性的功效。

表 4 不同覆盖方式对温室红椒土壤酶活性的影响

Table 4 Effects of different mulching treatments on soil enzyme activities of greenhouse red pepper

处 理	脲酶 (mg/g, $\text{NH}_3\text{-N}$ )	磷酸酶 (mg/g)	蔗糖酶 (mg/g)	过氧化氢酶 (ml/g)
不覆盖(对照)	0.99 $\pm$ 0.15c	3.42 $\pm$ 0.27b	1.67 $\pm$ 0.30b	0.85 $\pm$ 0.12b
地膜覆盖	1.32 $\pm$ 0.11b	3.62 $\pm$ 0.25b	1.82 $\pm$ 0.23b	0.92 $\pm$ 0.13b
秸秆覆盖	1.65 $\pm$ 0.15a	4.35 $\pm$ 0.18a	2.30 $\pm$ 0.14a	1.30 $\pm$ 0.17a
地膜加秸秆覆盖	1.72 $\pm$ 0.12a	4.52 $\pm$ 0.33a	2.50 $\pm$ 0.21a	1.50 $\pm$ 0.11a

同列不同小写字母表示处理间差异达 0.05 显著水平。

2.6 不同覆盖方式对温室红椒营养品质的影响

由表 5 可见,地膜覆盖、秸秆覆盖与地膜加秸秆覆盖处理对温室红椒维生素 C、可溶性糖、可溶性蛋白质和硝酸盐含量具有不同的影响,尤其是秸秆覆

盖与地膜加秸秆覆盖可显著提高红椒维生素 C 含量,降低硝酸盐含量。与不覆盖(对照)相比,地膜加秸秆覆盖处理维生素 C 含量显著增加,增幅达 30.73%,且硝酸盐含量显著降低,下降了 34.45%;

与地膜覆盖处理相比,秸秆覆盖和地膜加秸秆覆盖处理维生素 C 含量均显著增加,硝酸盐含量均显著降低;单一地膜覆盖处理的温室红椒维生素 C 和硝

酸盐含量与不覆盖处理(对照)间无显著差异。4 种处理的可溶性糖和可溶性蛋白质含量间无显著差异。可见,秸秆覆盖还田能改善温室红椒品质。

表 5 不同覆盖方式对温室红椒营养品质的影响

Table 5 Effects of different mulching treatments on nutritional value of greenhouse red pepper

处 理	维生素 C (mg/kg)	可溶性糖 (mg/g)	可溶性蛋白质 (mg/kg)	硝酸盐 (mg/kg)
不覆盖(对照)	254.47±17.12b	9.77±0.55a	2.75±0.25a	223.17±11.45a
地膜覆盖	277.47±14.23b	9.82±0.56a	2.76±0.13a	213.22±12.26a
秸秆覆盖	342.67±15.14a	9.72±0.66a	2.78±0.22a	156.79±11.78b
地膜加秸秆覆盖	332.67±12.35a	10.25±0.55a	2.91±0.23a	146.28±12.30b

同列不同小写字母表示处理间差异达 0.05 显著水平。

## 2.7 不同覆盖方式对温室红椒产量与水分利用效率的影响

由表 6 可见,地膜覆盖、秸秆覆盖和地膜加秸秆覆盖处理对温室红椒产量、耗水量和水分利用效率具有显著的影响。3 种覆盖处理均能显著提高红椒产量,增产大小依次为地膜加秸秆覆盖>地膜覆盖>秸秆覆盖,增产幅度分别为 15.99%、11.12% 和 8.98%。农业生产中的耗水量由土壤耗水、地面蒸发消耗和植物蒸腾作用耗水共同决定。由于在日光温室试验条件下,土壤水分无地表径流和地下渗漏产生,所以水分消耗主要通过地表蒸发和植物蒸腾作用。由表 6 可知,在地膜加秸秆覆盖和地膜覆盖

处理中,耗水量显著低于不覆盖处理,其原因在于:土壤水分蒸发遇到地膜阻挡形成蒸汽,夜晚遇冷凝结成水珠可重新被植株利用,无地表蒸发,水分主要通过植物蒸腾作用消耗,故水分消耗较少,而秸秆覆盖处理因其生物量显著高于不覆盖处理,所以通过植物蒸腾作用消耗的水量高于不覆盖对照处理,总耗水量也相应地较高<sup>[21]</sup>。不同覆盖处理的水分利用效率依次为地膜加秸秆覆盖>地膜覆盖>秸秆覆盖>不覆盖(对照),3 种覆盖处理下的水分利用效率分别为对照的 1.81 倍、1.77 倍和 1.63 倍。说明覆盖处理可以获得较高的经济收入和节水效果,尤其是地膜加秸秆覆盖。

表 6 不同覆盖方式对温室红椒产量与水分利用率的影响

Table 6 Effects of different mulching treatments on yield and water use efficiency of greenhouse red pepper

处 理	产量 (kg/m <sup>2</sup> )	增产 (%)	耗水量 (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )	水分利用效率 (kg/m <sup>3</sup> )
不覆盖(对照)	4.721b	—	0.163 2a	28.93c
地膜覆盖	5.246a	11.12	0.102 6b	51.13a
秸秆覆盖	5.145a	8.98	0.109 2b	47.12b
地膜加秸秆覆盖	5.476a	15.99	0.104 6b	52.35a

同列不同小写字母表示处理间差异达 0.05 显著水平。

## 3 讨 论

地表覆盖能改善土壤水热条件,有效抑制水分流失,增加土壤含水量,减轻植株蒸腾失水,提高土壤温度<sup>[22]</sup>。胡明芳等<sup>[23]</sup>对新疆棉田覆盖耕层土壤温度效应研究发现,地膜覆盖可显著调控棉田耕层土壤温度。王俊等<sup>[24]</sup>研究发现地膜覆盖可明显提高春小麦土壤温度,吴兴等<sup>[13]</sup>对设施栽培辣椒覆盖方式研究发现,地表覆盖能提高土壤温度,尤其是地膜加秸秆覆盖保温效果显著。本试验研究结果也证

实,采用地膜覆盖或结合秸秆覆盖,可明显提高土壤温度。这可能是由于地膜覆盖能有效保墒,隔绝土壤与外界的水分交换,抑制潜热和显热交换,地膜及其表面附着的水层对长波反辐射有削弱作用,使夜间温度下降减缓,进而提高土壤温度<sup>[18]</sup>。

针对覆盖措施对土壤的保水效果,前人已做了大量研究,认为地膜覆盖或秸秆覆盖等地表覆盖时,由于土壤表面覆盖了一层不透水膜,可阻止土壤水分纵向蒸发,促进水分横向移动,有效地保持土壤水分,减少蒸发,减缓地表径流,减少土壤水分蒸发和

灌溉用水,协调作物生长需水与供水的矛盾,并且促进对深层水分的利用,提高水分利用率<sup>[13-14,25]</sup>。本研究结果表明,地膜覆盖、秸秆覆盖和地膜加秸秆覆盖处理对温室红椒耗水量和水分利用率具有显著的影响,3种覆盖处理的水分利用效率依次为地膜加秸秆覆盖>地膜覆盖>秸秆覆盖>不覆盖,说明覆盖处理可以获得较好的节水效果,尤其是地膜加秸秆覆盖。

地面覆盖可以增加土壤的营养物质含量,这主要是因为覆盖改善了土壤水分、热力学性状和微生物活性,使物质矿化过程加快,更利于植物吸收利用,其中覆草处理对增加土壤养分更为显著<sup>[26]</sup>。郭学军等<sup>[27]</sup>通过对不同覆盖方式对苹果园土壤状况及果树生长与果实的影响研究发现,在初始养分条件基本相等的情况下,随着处理时间的延长,生草覆盖处理可以提高土壤养分含量,有机质、全氮、碱解氮、有效磷和速效钾较处理之初依次提高14.60%、13.80%、19.70%、6.32%和14.20%。刘冬青等<sup>[28]</sup>研究也证实,秸秆覆盖可提高土壤养分含量,其中速效钾、有效磷含量增加较多,单纯秸秆覆盖处理速效钾、磷含量分别较不覆盖(对照)增加209.0 mg/kg和12.1 mg/kg;地膜加秸秆覆盖处理分别较对照增加192.0 mg/kg和11.2 mg/kg;土壤有机质、全氮、碱解氮含量也有不同程度的提高。本试验结果表明,与地膜覆盖与不覆盖处理(对照)相比,秸秆覆盖与地膜加秸秆覆盖处理显著增加有机质、碱解氮、速效磷、全钾和速效钾含量( $P<0.05$ ),尤以地膜加秸秆覆盖对土壤配肥改良效果为佳。

土壤环境是一个复杂的动态环境,土壤微生物和土壤酶参与了土壤的形成发育、物质循环和肥力演变等过程,是作物-土壤生态系统中最活跃的组成成分,同时也是土壤中植物有效养分的储备库,对土壤的农业生产可持续性起到至关重要的作用,农业系统的生产力在很大程度上依赖于土壤微生物和土壤酶系统的作用<sup>[29]</sup>。众多研究表明,不同覆盖方式会影响土壤微生物组成与数量及土壤酶活性<sup>[30-32]</sup>。张林森等<sup>[33]</sup>研究发现,麦草覆盖和黑地膜覆盖处理下的苹果园土壤微生物群落碳源利用率、微生物群落 Shannon 指数和微生物群落丰富度指数均高于不覆盖处理。本研究结果表明,温室红椒土壤微生物以细菌为主,其次是放线菌,真菌数量最低,但不同覆盖处理对微生物数量影响显著,秸秆覆

盖或地膜加秸秆覆盖处理可显著提高细菌数量、放线菌数量、微生物总量和 B/F 值,降低真菌数量,有利于土壤向细菌型转化,以改善土壤环境。同时,地膜覆盖、秸秆覆盖和地膜加秸秆覆盖等3种覆盖方式处理能显著提高土壤酶活性,地膜加秸秆覆盖处理与不覆盖对照处理相比,土壤脲酶、磷酸酶、蔗糖酶和过氧化氢酶活性分别提高73.74%、32.16%、49.70%和76.47%;与地膜覆盖比较,地膜加秸秆覆盖处理的土壤脲酶、磷酸酶、蔗糖酶和过氧化氢酶活性分别增加30.30%、24.86%、37.36%和63.04%,而秸秆覆盖以常规地膜覆盖相比,土壤脲酶、磷酸酶、蔗糖酶和过氧化氢酶活性也分别增加25.00%、20.17%、26.37%和41.30%,这可能正是覆盖对温室红椒增产的内在因子之一,这与时向东等<sup>[34]</sup>研究结果相一致。

周茂娟等<sup>[25]</sup>研究发现覆盖地膜处理辣椒果实 pH 值、维生素 C 含量均显著高于其他处理,且其电导率、阳离子交换量和硝酸盐含量均显著低于其他处理。本试验研究结果表明,地膜覆盖、秸秆覆盖与地膜加秸秆覆盖处理可提高温室红椒维生素 C、可溶性糖和可溶性蛋白质含量,降低硝酸盐含量,以改善品质。同时,地膜覆盖、秸秆覆盖和地膜加秸秆覆盖处理均能显著提高红椒产量,增产大小依次为地膜加秸秆覆盖>地膜覆盖>秸秆覆盖,增产幅度分别为15.99%、11.12%和8.98%,这与小麦<sup>[24]</sup>、苹果<sup>[27]</sup>、棉花<sup>[28]</sup>、烟草<sup>[32]</sup>和马铃薯<sup>[35]</sup>等作物上的研究结果相一致。

综上所述,地膜加秸秆覆盖对提高土壤温度和水分利用效率、促进温室红椒植株生长、改善土壤理化性质、调优土壤微生物群系、提高土壤酶活性、改善红椒品质和提高产量具有良好的效果,其作用机制在于:地膜加秸秆覆盖,可显著提高土壤温度和水分利用效率,降低土壤容重,提高土壤有机质、全氮、碱解氮、全磷、速效磷、全钾和速效钾含量,并提高土壤细菌数量、放线菌数量、微生物总量和 B/F 值及土壤脲酶、磷酸酶、蔗糖酶和过氧化氢酶活性,降低真菌数量,以改善土壤环境,进而促进温室红椒生长,提高红椒产量及改善品质,显著增产增收。因此,在设施农业实际生产中,可以将秸秆还田与地膜覆盖相结合,完善设施农业中覆盖方式与秸秆利用途径,达到秸秆还田、改良土壤环境、促进作物生长、改善品质和提高产量的目的。



## 参考文献:

- [1] 王立华,王锡明,吴洪斌. 淮安红椒产业现状及发展对策[J]. 长江蔬菜,2012(18):95-97.
- [2] 卜玉山,苗果园,周乃健,等. 地膜和秸秆覆盖土壤肥力效应分析与比较[J]. 中国农业科学,2006,39(5):1069-1075.
- [3] 吴涌泉,屈明,孙芬,等. 秸秆覆盖对土壤理化性状、微生物及生态环境的影响[J]. 中国农学通报,2009,25(14):263-268.
- [4] ZHANG G S, CHAN K Y, LI G D, et al. Effect of straw and plastic film management under contrasting tillage practices on the physical properties of an erodible loess soil[J]. Soil and Tillage Research, 2008, 98: 113-119.
- [5] 王志春. 畜禽粪便和秸秆资源化利用技术[J]. 江苏农业学报,2014,30(5):1180-1184.
- [6] 王志春. 养殖废弃物和农作物秸秆混合干式发酵模式的应用[J]. 江苏农业科学,2013,41(12):386-387.
- [7] 刘继龙,张振华. 秸秆覆盖条件下黑土区不同土层土壤全氮分布特征[J]. 江苏农业科学,2013,41(10):295-296.
- [8] LIANG Y L, WU X, ZHU J J, et al. Response of hot pepper (*Capsicum annuum* L.) to mulching practices under planted greenhouse condition[J]. Agricultural Water Management, 2011, 99: 111-120.
- [9] PATRA D D, RAM M, SINGH D V. Influence of straw mulching on fertilizer nitrogen use efficiency, moisture conservation and herb and essential oil yield in Japanese mint (*Mentha arvensis* L.) [J]. Nutrient Cycling in Agro-ecosystems, 1993, 34(2):135-139.
- [10] 崔凤俊,王国柱,尹振君,等. 秸秆覆盖对棉田土壤的影响[J]. 中国棉花,1998,25(5):7-9.
- [11] 巩杰,黄高宝,陈利顶,等. 旱作麦田秸秆覆盖的生态综合效应研究[J]. 干旱地区农业研究,2003,21(3):69-73.
- [12] 刘世平,张洪程,戴其根,等. 免耕套种与秸秆还田对农田生态环境效应及小麦生长的影响[J]. 应用生态学报,2005,16(2):393-396.
- [13] 吴兴,梁银丽,郝旺林,等. 覆盖方式对温室辣椒结果期生长和水分利用的影响[J]. 中国生态农业学报,2011,19(1):54-58.
- [14] 张金珠,王振华,虎胆·吐马尔白. 秸秆覆盖对滴灌棉花土壤水盐运移及根系分布的影响[J]. 中国生态农业学报,2013,21(12):1467-1476.
- [15] 翟胜,梁银丽,王巨媛,等. 地表覆盖对日光温室黄瓜生长发育及生理特性的影响[J]. 中国生态农业学报,2007,15(2):73-77.
- [16] 李振高,骆永明,腾应. 土壤与环境微生物研究法[M]. 北京:科学出版社,2008.
- [17] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京:高等教育出版社,2000.
- [18] 胡实,谢小立,王凯荣. 秸秆覆盖对夏玉米田间蒸发和近地层气象要素的影响[J]. 中国农业气象,2008,29(2):170-173.
- [19] TIAN Y, ZHANG X, LIU J, et al. Effects of summer cover crop and residue management on cucumber growth in intensive Chinese production systems: soil nutrients, microbial properties and nematodes[J]. Plant Soil, 2011,339:299-315.
- [20] CALDWELL B A. Enzyme activities as a component of soil biodiversity: A review[J]. Pedobiologia, 2005, 49: 637-644.
- [21] 孙立涛,王 玉,丁兆堂. 地表覆盖对茶园土壤水分、养分变化及茶树生长的影响[J]. 应用生态学报,2011,22(9):2291-2296.
- [22] 姚健,王 丁,张显松,等. 不同地表覆盖方式对土壤水分、温度及幼苗生长的影响[J]. 南京林业大学学报:自然科学版,2009,33(5):7-11.
- [23] 胡明芳,田长彦. 新疆棉田地膜覆盖耕层土壤温度效应研究[J]. 中国生态农业学报,2003,11(3):128-130.
- [24] 王 俊,李凤民,宋秋华,等. 地膜覆盖对土壤水温和春小麦产量形成的影响[J]. 应用生态学报,2003,14(2):205-210.
- [25] 周茂娟,梁银丽,贺丽娜,等. 地表覆盖方式对辣椒水分利用效率、果实品质及氮素分布的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2009,15(1):155-163.
- [26] LI F M, SONG Q H, JEMBA P K, et al. Dynamics of soil microbial biomass C and soil fertility in cropland mulched with plastic film in a semiarid agro-ecosystem[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2004, 36(11):1893-1902.
- [27] 郭学军,韩张雄,马锋旺. 不同覆盖方式对苹果园土壤状况及果树生长与果实的影响[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版,2013,41(9):112-118.
- [28] 刘冬青,辛淑荣,张世贵. 不同覆盖方式对旱地棉田土壤环境及棉花产量的影响[J]. 干旱地区农业研究,2003,21(2):18-21.
- [29] HUANG Z Q, XU Z H, CHEN C R. Effect of mulching on labile soil organic matter pools, microbial community functional diversity and nitrogen transformations in two hardwood plantations of subtropical Australia[J]. Applied Soil Ecology, 2008, 40: 229-239.
- [30] 杨青华,韩锦峰. 棉田不同覆盖方式对土壤微生物和酶活性的影响[J]. 土壤学报,2005,42(2):348-351.
- [31] 宋秋华,李凤民,刘洪升,等. 黄土区地膜覆盖对麦田土壤微生物体碳的影响[J]. 应用生态学报,2003,14(9):1512-1516.
- [32] 徐国伟,陈明灿,王旭刚,等. 覆盖方式对烟草光合速率及耕层环境的影响[J]. 河南农业科学,2011,40(2):64-68.
- [33] 张林森,刘富庭,张永旺,等. 不同覆盖方式对黄土高原地区苹果园土壤有机碳组分及微生物的影响[J]. 中国农业科学,2013,46(15):3180-3190.
- [34] 时向东,耿 伟,焦 枫,等. 不同覆盖方式下烤烟根际土壤微生物数量动态变化[J]. 华北农学报,2010,25(3):221-224.
- [35] 王正荣. 不同覆盖方式对冬种马铃薯生长特性及产量与品质的影响[J]. 中国农学通报,2013,29(15):117-122.

(责任编辑:袁 伟)