

麦秸淹水处理对连作土壤性状和辣椒疫病田间防控效果的影响

顾志光^{1,2}, 马艳^{1,2*}, 安霞², 王光飞², 孙迪², 王秋君²

(1.南京农业大学生命科学学院, 南京 210095; 2.江苏省农业科学院农业资源与环境研究所, 南京 210014)

摘要:采用室内模拟土壤淹水的方法, 研究不同麦秸用量、不同淹水时间对辣椒连作土壤理化性状和辣椒疫霉菌数量的影响以及田间麦秸淹水处理对辣椒生长和辣椒疫病防控效果的影响。通过常规分析和定量 PCR 分别测定了不同淹水处理期间多种土壤理化指标和辣椒疫霉菌的数量, 调查了麦秸淹水处理后大棚辣椒的长势、产量和辣椒疫病发生率。研究表明: 与土壤保湿处理相比, 不同麦秸用量和不同淹水时间处理均能降低土壤氧化还原电位, 提高土壤有机质、速效磷、速效钾、有机酸和总酚酸的含量。常规淹水和麦秸淹水处理均能降低土壤中辣椒疫霉菌数量, 在 10 d 和 14 d 两个淹水时间下, 秸秆用量为 0.25% 时抑制效果最强, 继续增加秸秆用量对辣椒疫霉菌的抑制作用降低。辣椒生产大棚的田间淹水试验表明, 添加麦秸淹水处理 20 d 可提高土壤中铵态氮、速效磷和速效钾的含量, 降低硝态氮的含量, 并可以有效防控辣椒疫病, 促进辣椒植株的生长并使产量增加 12%。

关键词:淹水; 麦秸; 土壤性状; 辣椒疫霉; 辣椒疫病

中图分类号: X712 文献标志码: A 文章编号: 1672-2043(2014)09-1762-08 doi:10.11654/jaes.2014.09.014

Effects of Wheat Straw with Flooding on Soil Properties and *Phytophthora* Blight Control in Continuous Chili Pepper Cropping Field

GU Zhi-guang^{1,2}, MA Yan^{1,2*}, AN Xia², WANG Guang-fei², SUN Di², WANG Qiu-jun²

(1.College of Life Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; 2.Institute of Agriculture Resource and Environment, Jiangsu Academy of Agriculture Sciences, Nanjing 210014, China)

Abstract: Crop residues may be used to control soil borne plant diseases. In a laboratory experiment, the effects of different rates of wheat straw on soil physical properties and *Phytophthora capsici* population were studied under different flooding time. The impact of wheat straw with flooding on the growth and yield of chili pepper was carried out in high tunnel fields. Compared to moist soil, applying wheat straw and flooding significantly decreased soil EC but increased organic matter, available phosphorus, available potassium, organic acids and phenolic acid contents. The number of *P. capsici* was reduced significantly in both flooding only and flooding plus wheat straw in comparison with the moist soil. Application of 0.25% wheat straw with flooding for 10 days or 14 days strongly inhibited the growth of *P. capsici*. However, such inhibition to *P. capsici* declined with increasing rates of wheat straw. Field tests showed that flooding for 20 days with wheat straw addition at 400 kg/667 m² not only increased contents of ammonium nitrogen, available phosphorus and available potassium but also effectively reduced disease incidence of chili pepper blight, promoting pepper growth and enhancing chili pepper yield by 12%.

Keywords: flooding; wheat straw; soil property; *Phytophthora capsici*; *Phytophthora* blight

设施蔬菜栽培由于具有较高的经济效益, 近 20 年在我国获得了迅猛发展。但由于设施蔬菜生产中高复种指数、高温高湿和大肥大水的特点, 土壤酸化、盐

渍化和病虫害等现象严重^[1-2], 已经成为制约其进一步发展的瓶颈。辣椒疫病是世界范围内辣椒生产上毁灭性的土传病害。土壤吸附和钝化使得化学药剂防效较低, 病原菌辣椒疫霉能在短时间内大量释放游动孢子而造成病害在短期内爆发, 在辣椒主产区发病面积可达 20%~30%, 造成巨大经济损失, 并呈现逐年增加趋势^[3], 亟待寻求技术和经济可行并符合土壤可持续利用的防控措施。

收稿日期: 2014-01-21

基金项目: 农业部公益性行业计划 (201103004-9)

作者简介: 顾志光 (1988—), 男, 江苏连云港人, 硕士研究生, 主要从事土壤微生物研究。E-mail: gzhgl@163.com

* 通信作者: 马艳 E-mail: myjaas@sina.com

随着我国农业发展转型、农业结构调整和农村生活方式的转变,传统上作为农户燃料的农作物秸秆如今正成为农村面源污染的新源头。大量秸秆的处置和利用成为全社会和各级政府关注的焦点。通过科技进步与创新,虽然已经为农作物秸秆的综合利用找到还田肥料化、饲料化、能源化和材料化等多种用途^[4]。但是,在粮食主产区,秸秆的处置和利用现状仍不容乐观,特别是在长江中下游的稻麦种植区。虽然麦秸还田栽植水稻有较多的研究和一定的应用,但实际生产中麦秸腐解产生大量有机酸和酚酸类化感物质对水稻早期的生长和后期产量的影响仍然存在争议^[5]。而另一方面,近几年来利用植物化感物质防控病虫害的研究和应用正在引起广泛关注^[6]。

添加有机物料进行淹水处理改良土壤理化和养分性状的报道较多^[7-8],其效果也得到普遍认可。单玉华等^[9]研究了麦秸淹水过程中甲酸、乙酸、丙酸及丁酸在土壤中的积累和 Eh 变化情况,发现添加秸秆显著降低土壤 Eh,随秸秆用量的增加,有机酸积累显著增多。麦秸的腐解过程中,通过多种化学和生物学反应迅速降低土壤氧化还原电位,造成不利于好氧微生物特别是病原菌生存的环境,同时麦秸腐解产生的有机酸和酚酸也可以有效杀灭土壤中病原菌^[10],起到“药肥”双效的作用,在解决麦秸回田利用的同时又为设施栽培土传病害的防控提供新思路。尚未见将麦秸淹水处理对土壤理化、养分的影响与病原菌的消长及田间病害防控效果相结合的研究报道。

基于土壤对麦秸的实际消纳能力以及农业生产上可行的淹水时间,本研究不同麦秸用量和不同淹水时间处理下土壤理化和养分含量以及有机酸和总酚酸的变化情况,通过人工接种辣椒疫霉菌,研究不同淹水处理土壤中辣椒疫霉的数量变化;并进一步研究辣椒生产大棚中麦秸淹水处理对土壤理化性状、辣椒生长和土传病害防控效果的影响。旨在为麦秸淹水改善土壤性状和防控辣椒疫病等土传病害提供理论依据和技术支撑,为实现设施栽培土壤可持续利用提供新思路。

1 材料与方法

1.1 试验材料

室内淹水试验所用土壤取自淮安辣椒连作大棚(过 0.5 cm 孔径筛备用),基本性状为:有机质 11.50 g·kg⁻¹,全氮 0.33 g·kg⁻¹,硝氮 11.86 mg·kg⁻¹,铵氮 11.18 mg·kg⁻¹,全磷 0.61 g·kg⁻¹,速效磷 13.31 mg·kg⁻¹,

速效钾 141.12 mg·kg⁻¹。麦秸为宁麦 16 收获后的秸秆,剪至 2 cm 左右备用。秸秆的基本成分:总有机碳 411.50 g·kg⁻¹,全氮 6.70 g·kg⁻¹,全磷 2.70 g·kg⁻¹,全钾 22.8 g·kg⁻¹。

辣椒疫霉(*Phytophthora capsici* L.)为本实验室分离保存,V8 蔬菜汁培养基用于辣椒疫霉的培养。

田间淹水试验土壤基本性状为:有机质 19.90 g·kg⁻¹,全氮 0.94 g·kg⁻¹,硝氮 133.12 mg·kg⁻¹,铵氮 5.06 mg·kg⁻¹,速效磷 144.83 mg·kg⁻¹,速效钾 141.12 mg·kg⁻¹。小麦秸秆购买于当地秸秆回收站。秸秆的基本成分:总有机碳 400.20 g·kg⁻¹,全氮 4.50 g·kg⁻¹,全磷 2.80 g·kg⁻¹,全钾 22.80 g·kg⁻¹。

1.2 辣椒疫霉菌游动孢子液的制备

生长旺盛的辣椒疫霉菌菌丝块接种于 V8 固体培养基上,28 ℃培养 5 d,将含新鲜菌丝的培养皿放置于温度 28 ℃、光照强度为 12 000 lx 的光照培养箱中,光照培养 2 d。向培养皿中加入 15 mL 无菌水,于 28 ℃下放置 10 min、4 ℃下放置 10 min、28 ℃下放置 20 min,即有大量游动孢子释放。将游动孢子悬液置于 170 r·min⁻¹ 的振荡器上振荡 2 min,使得游动孢子脱去鞭毛形成休止孢,用血球计数板计数并调整浓度至 2×10⁵ 个·mL⁻¹,备用^[11]。

1.3 室内麦秸淹水处理

将过筛后的土壤 14 kg 装于塑料桶(底径×口径×高=25 cm×34 cm×30 cm)中,添加辣椒疫霉菌孢子液,使病原菌浓度为 1000 个孢子·g⁻¹土,在土壤中均匀拌入麦秸,秸秆用量设置三个处理,分别为 0.25%、0.5%、0.75%(W/W),加水至土壤吸水饱和并维持水层高度为 10 cm。在淹水处理的第 0、5、10、14 d 原位测量土壤 Eh 和 pH,并及时补充因蒸发损失的水分。淹水期间气温为 25~28 ℃,对照处理为相同重量的土壤保持湿润。淹水结束后,弃去上层清液,混匀土壤,置于阴凉处自然晾干后,采集土壤样品测定相关指标。

1.4 辣椒生产大棚中麦秸淹水处理

试验地点为江苏省淮安市青浦区盐河镇谢碾村辣椒连作生产大棚,辣椒疫病发生严重。随机选取相邻两个大棚,每个大棚面积约 667 m²,其中一个大棚采用常规淹水,另一个大棚采用麦秸淹水。

试验开始于 2013 年 7 月 10 日。将 400 kg 秸秆均匀撒施于大棚土壤,将土翻耕 25 cm 深后开始灌水,在淹水深度 10 cm 下保持 5 d,然后用旋耕机翻耕土壤混匀秸秆,继续淹水 15 d。淹水期间维持水深约 10 cm,淹水期间温度 28~35 ℃。在 2013 年 7 月 30 日

将水排空晾田,8月17日移栽4叶期淮安红椒,每棚栽植辣椒2800株。麦秸淹水处理每棚施用尿素20 kg,常规淹水处理施用50 kg复合肥(15-15-15)和1000 kg腐熟猪粪,肥水管理和病虫害防治与其他辣椒生产大棚一致。在淹水的第0、4、5、15、20 d原位测定土壤Eh值,第0、5、20、40、52、85、198 d采集和保存土壤样品,分析各理化指标。在栽植辣椒94 d后,在两个大棚中随机调查三个小区,每个小区测量50株辣椒的株高,162 d后统计每个大棚辣椒发病株数,计算发病率,待辣椒全部收获后分别统计两个大棚的辣椒产量。

1.5 测定项目与方法

土壤pH用Thermo8107便携式pH计原位测量;Eh用氧化还原电位仪FJA-6原位测量;总氮用半微量凯氏定氮法^[11];铵态氮用KCl浸提-靛酚蓝比色法^[11];硝态氮用紫外分光光度法^[11];总磷和速效磷用钼锑抗比色法^[11];速效钾用 NH_4OAc 火焰光度法^[11];有机酸用气相色谱法^[12];总酚酸用磷钼酸-磷钨酸盐比色法^[13];

辣椒疫霉数量测定采用荧光定量PCR法^[8,14]。

1.6 数据统计分析

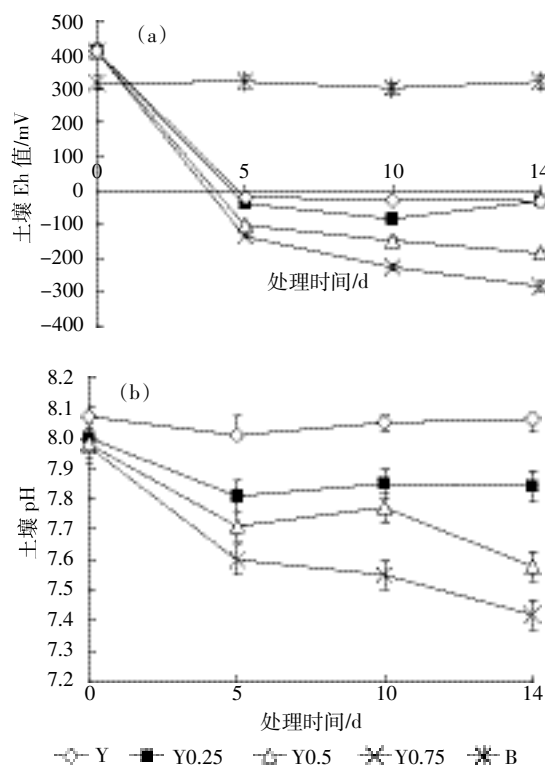
所有试验结果均以烘干土重为基础(105℃烘至恒重),利用PASW Statistics 18.0 Duncan多重比较来判断处理间差异显著性($P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 麦秸淹水处理对土壤理化性状的影响

2.1.1 对土壤Eh和pH的影响

从图1(a)可以看出,添加麦秸可以有效降低土壤的Eh值,麦秸用量对土壤Eh产生较大影响。土壤淹水10 d后,常规淹水的Eh值由320 mV下降至-17 mV,延长淹水时间至14 d时Eh值变化不大。Eh值降低幅度随着秸秆用量的增加而增大,0.75%秸秆用量、淹水14 d时Eh降至-280 mV。添加麦秸增强了土壤中相关微生物分解代谢活性,降低了土壤中氧气浓度,产生了大量还原性物质,且麦秸用量越高,微生物代谢越强,耗氧速度越快,从而使Eh下降更快,与单玉华等^[9]的研究结果一致。添加麦秸降低了土壤的pH,但下降幅度不大,不同淹水时间土壤pH见图1(b)。相同淹水时间、不同麦秸用量下,随着秸秆添加量增加,pH降低。淹水处理5 d后常规淹水和麦秸用量0.25%淹水处理pH不再降低;麦秸用量0.5%淹水处理在淹水期间pH呈降低趋势,但在第5 d至第10 d时略有上升;麦秸用量0.75%淹水处理在整个淹



B表示土壤保湿处理;Y表示土壤淹水处理;Y0.25、Y0.5和Y0.75表示麦秸用量(W/W)分别为0.25%、0.5%和0.75%。下同

B means moist soil; Y means water flooding only; Y 0.25, Y 0.5, and Y 0.75 mean flooding with wheat straw rate at 0.25%, 0.5%, and 0.75% (W/W), respectively. The same below

图1 麦秸淹水处理期间土壤Eh(a)和pH(b)的动态变化

Figure 1 Dynamics of Eh and pH in soil added with different amount of wheat straw under flooding

水处理期间pH持续降低。增加麦秸添加量和延长淹水时间,土壤pH均有所下降,可能与麦秸腐解后产生有机酸类物质有关。

2.1.2 对土壤主要养分含量的影响

相同淹水时间、不同麦秸用量淹水后,与基础土壤相比,所有淹水处理的土壤全氮、铵氮、硝氮、全磷、速效磷、速效钾的含量均发生显著变化(表1)。总体来看,由于淹水结束时倒掉一定量的水,其中含有土壤中的部分可溶性养分,使常规淹水处理土壤的各养分含量较基础土壤均有所下降,但添加秸秆处理使土壤的各养分指标(硝氮除外)含量显著高于常规淹水处理。两个淹水时间下,增加麦秸用量后,土壤有机质、全氮、全磷、速效磷、速效钾的含量均呈递增趋势,且具有显著性差异;铵氮、硝氮含量的变化情况比较复杂,淹水10 d、0.5%用量时铵氮含量高于其他淹水处理,硝氮的含量各处理间差异显著,且均低于常规淹水和保湿处理。

相同麦秸用量、不同淹水时间处理条件下,延长淹水时间可以有效提高土壤各养分指标的含量,这表明淹水条件可以促进麦秸腐解。常规淹水处理延长淹水时间后,土壤的全氮、铵氮和硝氮呈下降趋势,有机质、全磷、速效磷和速效钾的含量变化不大。添加麦秸延长淹水时间后,土壤有机质、全氮、有机酸和总酚酸含量也随之增加,速效钾含量随之降低。其中麦秸用量为 0.25% 时,铵氮含量随着时间延长呈增加趋势,麦秸用量为 0.5% 和 0.75% 时,铵氮含量呈下降趋势;硝氮含量在麦秸用量为 0.25% 和 0.75% 时,淹水 10 d 较 14 d 均有所降低,但 0.5% 用量时趋势相反。保湿处理放置一段时间后,土壤的各养分指标(除硝氮外)的含量均显著降低。

2.1.3 对土壤有机酸和酚酸含量的影响

如图 2 所示,相同淹水时间、不同麦秸用量条件下,两个处理时间的土壤有机酸含量(有机酸数值为气相色谱测定的乙酸、丙酸、丁酸、戊酸的含量相加)均随秸秆施用量增加呈上升趋势,淹水 14 d、0.75% 用量处理的有机酸含量较常规淹水处理提高了 34 倍;淹水 10 d 处理的总酚酸变化情况与有机酸一致,但延长时间至 14 d 后,麦秸用量为 0.25% 和 0.5% 时总酚酸含量较常规淹水变化不大,而 0.75% 用量较常规淹水处理提高了 10 倍。相同麦秸用量,延长淹水时间后,麦秸处理组土壤有机酸的含量均有所提高,0.75% 用量处理提高了 36.1%;总酚酸的含量有所降低,0.5% 麦秸用量处理甚至从 29.84 mg·kg⁻¹ 降至 15.33

mg·kg⁻¹,土壤保湿处理变化不大。

综合看来,土壤淹水处理后,土壤各养分含量均有所降低,但添加麦秸淹水可以增加淹水土壤有机质、全磷、速效磷和速效钾的含量,对改良土壤的理化性状有重要意义^[15-16]。

2.2 麦秸淹水处理对辣椒疫霉数量的影响

如图 3 所示,土壤处理 10 d 后各处理的辣椒疫霉数量从接种的 3.53×10⁹ copies·g⁻¹ 急剧下降至 10⁵~10⁶ copies·g⁻¹,相同土壤处理时间下,保湿处理辣椒疫霉数量最多,保湿 10 d 时辣椒疫霉的数量为 2.62×10⁶ copies·g⁻¹,淹水处理能进一步降低辣椒疫霉的数量,淹水处理组的辣椒疫霉数量由低到高依次为:麦秸用量 0.25% < 常规淹水 < 麦秸用量 0.5% < 麦秸用量 0.75%。延长土壤处理至 14 d 时,各处理的辣椒疫霉数量均明显降低,麦秸用量为 0.5% 和 0.75% 时辣椒疫霉数量明显降低,较 10 d 时分别降低了 69% 和 71%,常规淹水和麦秸用量为 0.25% 处理辣椒疫霉数量有所降低,保湿处理较 10 d 时降低了 38%,且淹水 14 d 时各处理辣椒疫霉数量的变化情况与淹水 10 d 一致。

研究表明,土壤理化和生物学性状会影响土壤中辣椒疫霉的数量^[8],通过对辣椒疫霉数量与土壤主要性状的双变量相关性分析(表 3)发现,辣椒疫霉的数量与土壤有机质、有机酸和总酚酸等理化指标的含量呈负相关,但与土壤全氮、铵氮和硝氮等理化指标的含量呈正相关,但相关性均不显著。

表 1 施用麦秸淹水对土壤主要养分含量的影响

Table 1 Effects of flooding with wheat straw addition on concentrations of nutrients in soil

处理	用量/%	有机质/%	全氮/g·kg ⁻¹	铵氮/mg·kg ⁻¹	硝氮/mg·kg ⁻¹	全磷/g·kg ⁻¹	速效磷/mg·kg ⁻¹	速效钾/mg·kg ⁻¹
Y14	0	1.02e2A1	0.20e2A1	8.79a2B1	5.29b2A1	0.33e2A1	5.72d2B1	140.69d2A1
Y14	0.25	1.14d2AB2	0.24d2A2	7.80c2B2	2.19d2B2	0.42d2B2	8.10c2B2	151.17c2B2
Y14	0.5	1.26c2B3	0.25c2B3	8.45b2C3	2.68c2A3	0.49b2B3	9.33b2A3	164.36b2C3
Y14	0.75	1.30a2A4	0.32a2A4	6.78d2C4	2.12e2B4	0.53a2B4	10.29a2A4	181.31a2C4
B14	0	1.18b2B5	0.27b2B5	6.17e2C5	15.26a2B5	0.43c2B5	10.35a2B5	128.59e2B5
Y10	0	1.06d3A1	0.21c3A1	9.28b3A1	5.53b3A1	0.32e3B1	6.71e3A1	136.47e3B1
Y10	0.25	1.07e3B2	0.11e3B2	6.75e3C2	2.81d3A2	0.38d3C2	7.45d3C2	193.78c3A2
Y10	0.5	1.09c3B3	0.20d3C3	10.60a3A3	2.46e3B3	0.42c3C3	8.17c3C3	195.39b3A3
Y10	0.75	1.12b3B4	0.23b3B4	8.00c3B4	3.06c3A4	0.54a3C4	9.42b3C4	199.88a3A4
B10	0	1.18a3B5	0.27a3B5	6.97d3A5	14.67d3C5	0.52b3A5	12.67d3A5	137.3d3A5

注: B10 表示保湿 10 d, Y10 表示淹水 10 d, B14 表示保湿 14 d, Y14 表示淹水 14 d; 数字后小写字母表示相同处理时间、不同麦秸用量的土壤主要性状的差异, 字母后的数字相同代表相同处理时间; 数字后大写字母表示相同麦秸用量、不同处理时间的土壤主要性状的差异, 字母后数字相同代表相同的麦秸用量。下同。

Note: B10 and Y10 mean keeping soil moist and flooded for 10 days; B14 and Y14 mean keeping soil moist and flooded for 14 days. Data followed by different lowercase letters mean significant difference in soil properties with same treatment time but different straw rates. The number after letter represents treatment time. Data followed by different uppercase letters mean significant differences in soil properties with the same straw rate but different treatment time. The number after letter indicates straw rate. The same below.

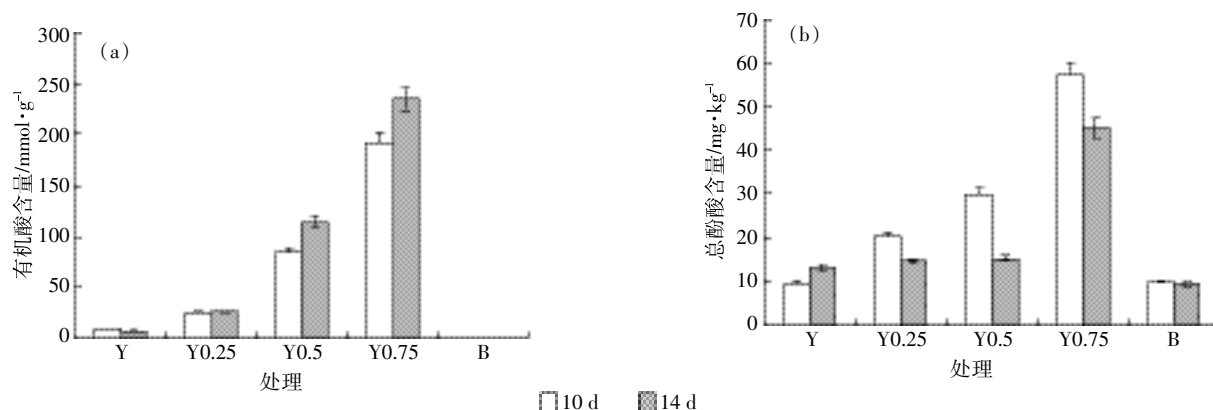


图2 不同麦秸用量、不同淹水时间后土壤有机酸(a)和总酚酸(b)的含量

Figure 2 Concentrations of organic acids(a) and total phenolic acids(b) in soil added with different straw rates under different flooding periods

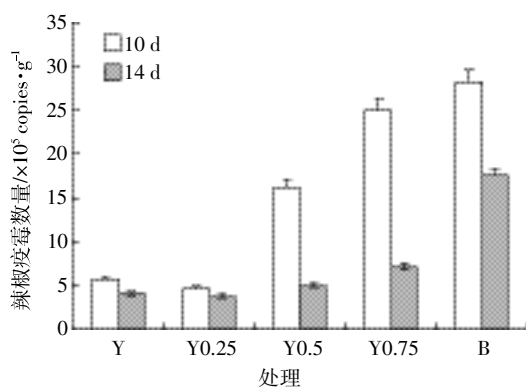


图3 不同淹水处理土壤中辣椒疫霉的数量

Figure 3 Population of *Phytophthora capsici* in soil added with different straw rates under different flooding periods

2.3 麦秸淹水处理对辣椒连作大棚土壤性状的影响及对辣椒疫病的防控效果

2.3.1 对辣椒连作大棚土壤 Eh 的影响

施用秸秆、有机肥等有机物料在分解过程中会消耗土壤中的氧化性物质,从而使土壤的 Eh 值降低^[17]。从图 4 可以看出,常规淹水处理土壤的 Eh 值不断下降,15 d 后下降幅度较小,基本维持在-30 mV。麦秸淹水处理的 Eh 值下降幅度明显高于常规淹水处理,但在淹水第 5 d 时由于翻耕土壤混匀秸秆,使土壤 Eh 有一定提高,麦秸处理在淹水第 15 d 时达到-203 mV,比常规淹水降低了 173 mV,但继续延长淹水时间后 Eh 变化不大。添加麦秸可以加快 Eh 的下降并最终显著增强土壤的还原性。

2.3.2 对土壤主要养分含量的影响

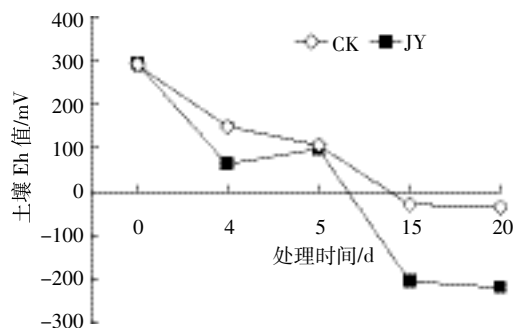
由图 5(a~f)可知,在淹水期间麦秸淹水和常规淹水处理的全氮和硝氮含量逐渐降低,可能有一部分下渗进入深层土壤,两个处理在淹水结束时全氮分别降低了 56%和 59%,硝氮含量分别由淹水前 110、155

表3 不同淹水处理中辣椒疫霉数量与土壤主要性状的相关性分析

Table 3 Correlations between *Phytophthora capsici* population and soil properties under different flooding treatments

相关性	有机质	全氮	铵氮	硝氮	有机酸	总酚酸
辣椒疫霉数量	-0.012	0.414	0.493	0.291	-0.202	-0.183

$\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 降至 10、14 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,麦秸淹水的降低幅度较常规淹水大,表明有机物料可以降低土壤硝态氮的含量^[18],两种处理的铵氮均先上升后降低,麦秸淹水处理的铵氮含量在淹水期间明显高于常规淹水处理,可能是麦秸中易降解的有机氮经土壤微生物代谢活动而增高。麦秸淹水处理的有机质含量明显高于常规淹水处理,麦秸淹水腐解产生大量分解产物,可以促进土壤磷元素的解吸^[19],淹水期间土壤速效磷的含量逐步提高,麦秸淹水和常规淹水处理土壤速效磷含量分别由 141.4、146.3 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 升高至 224.6、172.6 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。淹水过程中两个处理的土壤的速效钾含量先升



CK 表示常规淹水, JY 表示麦秸淹水。下同

CK indicates flooding without wheat straw addition; JY represents flooding with wheat straw addition. The same below

图4 辣椒连作大棚中麦秸淹水处理期间土壤 Eh 的变化

Figure 4 Changes of Eh in continuous cropping high tunnel soil under flooding with or without wheat straw addition

高而后略微降低,但麦秸淹水处理一直高于常规淹水处理。

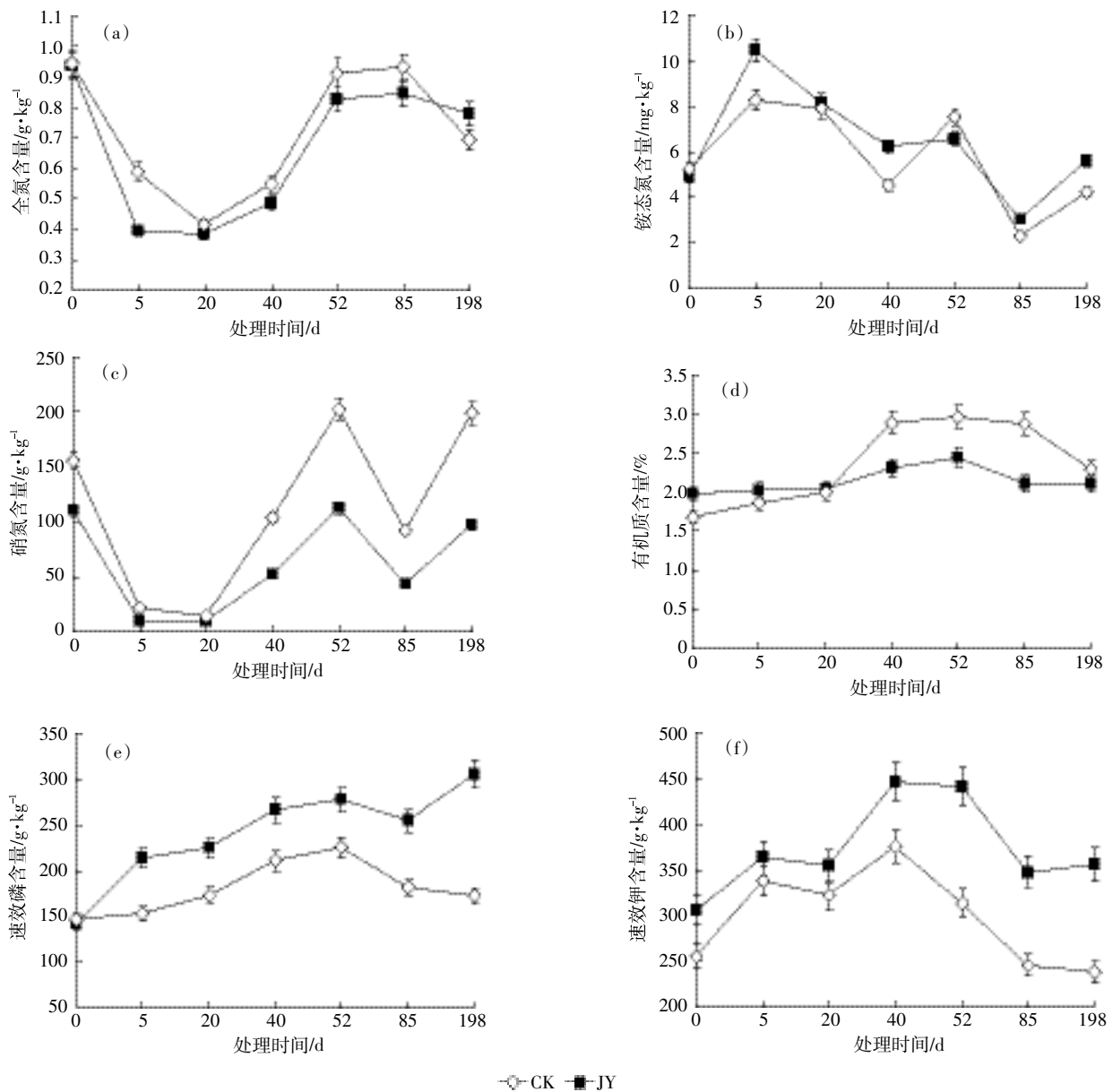
栽植辣椒后,常规淹水在栽植辣椒时施用了大量猪粪肥,全氮、硝氮和有机质含量高于麦秸淹水处理,由于栽植辣椒后受施肥的影响,铵氮和硝氮含量呈波动性变化。麦秸淹水处理有效磷含量总体上呈增加趋势,而常规淹水处理先升高而后逐步降低,说明麦秸腐解需要较长的过程,可以长期活化土壤磷元素,从而可以使土壤有效磷含量保持较高水平。常规淹水处理在栽植辣椒时施用了复合肥,但麦秸淹水处理的速

效钾含量一直高于常规淹水处理。

大田麦秸淹水和常规淹水处理期间土壤的有机质、速效磷和速效钾的含量与室内试验的淹水处理变化情况一致,均随淹水时间延长,含量增高,硝态氮浓度降低;土壤铵态氮的含量先升高而后降低,主要可能是淹水前期有机氮经微生物的矿化作用得以增加,而后部分铵态氮转化成氨挥发损失。

2.3.3 对辣椒生长和辣椒疫病的防控效果

从表4可以看出,麦秸淹水可以明显促进辣椒生长并提高辣椒产量。据田间实际观察和图6可以发



a: 土壤全氮; b: 铵氮; c: 硝氮; d: 有机质; e: 速效磷; f: 速效钾
a: Total N; b: Ammonium nitrogen; c: Nitrate; d: Organic matter; e: Available P; f: Available K

图5 麦秸淹水处理下辣椒连作大棚土壤的主要养分含量

Figure 5 Nutrient contents in continuous chili pepper cropping soil under flooding with wheat straw addition

表4 麦秸淹水处理对辣椒生长和辣椒疫病发生情况的影响
Table 4 Effects of flooding and wheat straw addition on growth of chili peppers and incidence of disease

处理	株高/cm	产量/kg	发病率/%
常规淹水	49.21b	2034b	7.8a
麦秸淹水	74.23a	2284a	3.2b

注:株高数据为三个小区辣椒株高的平均值;发病率为栽植162 d后的统计结果。

Note: Plant height is average of chili pepper plants in three plots; Disease incidence was investigated after 162 days of planting.

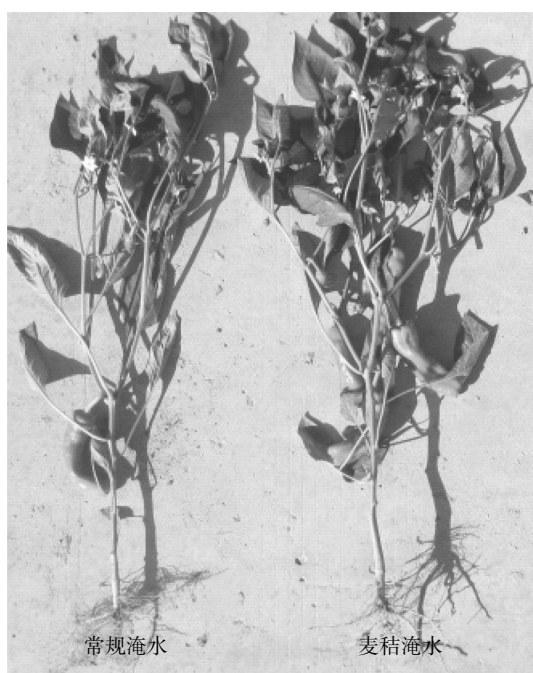


图6 不同淹水处理大棚中辣椒植株的长势

Figure 6 Growth of chili pepper grown in high tunnel soil under flooding with or without wheat straw addition

现,麦秸淹水处理辣椒植株健壮、分枝多、根系发达、挂果多且大、经济价值高。与对照相比,麦秸淹水处理产量增加12.3%。与常规淹水处理的辣椒疫病的发病率相比,麦秸淹水处理辣椒疫病的发病率比常规淹水降低59%。

3 讨论

本研究发现,淹水过程中添加小麦秸秆,土壤的理化性状呈现一定的变化趋势。麦秸作为一种高碳氮比的有机物料,淹水条件下依靠土壤中的微生物和土壤酶进行矿化和腐解作用,产生大量的分解产物,土壤的Eh快速下降至负值,使土壤处于厌氧环境。麦秸腐解过程中产生了大量有机酸和酚酸,可以抑制、杀灭辣椒疫病菌,梁盛年等^[20]也研究发现多种有机酸对多种细菌具有抑制效果。麦秸淹水还增加了土

壤有机质、全氮、磷、钾元素的含量,促进微生物在分解能源物质过程中保护土壤中有效磷,转化难溶性磷,减少磷的吸附和固定,从而提高磷的有效性,麦秸淹水降低土壤铵氮、硝氮的含量,主要是因为麦秸淹水过程中固定了土壤中的有效氮^[21],需在定植时适量补充氮肥。延长淹水时间和增加秸秆施用量均可以提高有机酸和总酚酸等化感物质的含量,降低土壤的Eh值。但只有秸秆施用量为0.25%,辣椒疫霉的数量均为同时期最低,增加秸秆用量后,虽然有机质、有机酸、总酚酸的含量增加,但辣椒疫霉的数量却提高。可见,辣椒疫霉的生存还与土壤的其他性状相关,其机理还有待于深入研究。

考虑到田间生产中大尺度淹水时土壤性状变化的复杂性以及秸秆腐解的时间特征,为避免秸秆腐解产物对辣椒植株生长可能存在的负面影响,本实验将淹水时间延长至20 d,结果表明田间淹水期间,夏季气温较高,麦秸腐解程度高于室内淹水,可以更好地防控辣椒疫病,增加土壤的各种养分指标,尤其对土壤中有效磷和有效钾的影响较大,促进栽植辣椒的生长,增加产量和提高果实品质。

添加秸秆淹水在有效改善土壤多种性状的同时,也有一些问题需要继续探索 and 解决。如Kaewpradit等^[22]报道淹水过程中添加麦秸促进了土壤反硝化,增加N₂O的排放,有一定的环境风险。其次,淹水过程中保持田间一定的持水量,会加大土壤中各种化学成分的下渗,特别是一些不易被土壤吸附的养分容易流失,可能会造成对地下水的影响^[23],我们将继续开展这方面的研究。

4 结论

室内淹水试验表明添加麦秸淹水明显降低土壤的Eh值,麦秸淹水较常规淹水处理可以增加土壤有机质、速效磷和速效钾的含量,但长时间淹水后土壤铵氮和硝氮的含量降低,淹水14 d、麦秸用量为0.25%时,辣椒疫霉数量最低。

田间辣椒生产大棚淹水处理表明,添加麦秸淹水可以有效防控辣椒疫病,且同时提高土壤的各种养分含量,促进作物生长,提高辣椒产量。

参考文献:

- [1] 孙光闻,陈日远,刘厚诚.设施蔬菜连作障碍原因及防治措施[J].农业工程学报,2005,21(增刊):184-188.
SUN Guang-wen, CHEN Ri-yuan, LIU Hou-cheng. Causes and control measures for continuous cropping obstacles in protected vegetable culti-

- vation[J]. *Transactions of the CSAE*, 2005, 21(Suppl):184-188.
- [2] 赵风艳, 吴凤芝, 刘 德, 等. 大棚菜地土壤理化特性的研究[J]. 土壤肥料, 2000(2):11-13.
- ZHAO Feng-yan, WU Feng-zhi, LIU De, et al. Research on soil physical and chemical properties of vegetable of greenhouses[J]. *Soils and Fertilizers*, 2000(2):11-13.
- [3] 易图永, 谢丙炎, 张宝玺, 等. 辣椒疫病防治研究进展[J]. 中国蔬菜, 2002, 5(5):52-55.
- YI Tu-yong, XIE Bing-yan, ZHANG Bao-xi, et al. Advances in prevention of *Phytophthora* blight of pepper[J]. *China Vegetables*, 2002, 5(5):52-55.
- [4] 阚振山. 农作物秸秆的综合开发利用[J]. 中国新技术新产品, 2010, 18:235.
- KAN Zhen-shan. Utilization of crop straw comprehensive development [J]. *China New Technologies and Products*, 2010, 18:235
- [5] 于建光, 顾 元, 常志州, 等. 小麦秸秆浸提液和腐解液对水稻的化感效应[J]. 土壤学报, 2013, 50(2):349-356.
- YU Jian-guang, GU Yuan, CHANG Zhi-zhou, et al. Allelopathic effects of wheat straw and decomposed liquid extract of rice straw[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2013, 50(2):349-356.
- [6] 曹志平, 周乐昕, 韩雪梅. 引入小麦秸秆抑制番茄根结线虫病[J]. 生态学报, 2010, 30(3):765-773.
- CAO Zhi-ping, ZHOU Le-xin, HAN Xue-mei. Introduction of wheat straw inhibition to tomato root knot nematode[J]. *Acta ecologica Sinica*, 2010, 30(3):765-773
- [7] 刘红江, 陈留根, 周 炜, 等. 麦秸还田对水稻产量及地表径流 NPK 流失的影响[J]. 农业环境科学学报, 2011, 30(7):1337-1343.
- LIU Hong-jiang, CHEN Liu-gen, ZHOU Wei, et al. Effects of wheat straw return on rice yield and the N P K loss with overland runoff[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2011, 30(7):1337-1343.
- [8] 王光飞, 马 艳, 常志州, 等. 淹水改良土壤性状及对辣椒疫病的防效研究[J]. 水土保持学报, 2013, 27(2):209-214.
- WANG Guang-fei, MA Yan, CHANG Zhi-zhou, et al. Effect of flooding on soil charater and disease control of phytophthora blight of chili pep- per[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2013, 27(2):209-214.
- [9] 单玉华, 蔡祖聪, 韩 勇, 等. 淹水土壤有机酸积累与秸秆碳氮比及氮供应的关系[J]. 土壤学报, 2006, 43(6):941-947.
- SHAN Yu-hua, CAI Zu-cong, HAN Yong, et al. The relationship between flooded soil organic acid accumulation and straw carbon nitrogen ratio and nitrogen supply of soil[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2006, 43(6):941-947.
- [10] 梁春启, 甄文超, 张承胤, 等. 玉米秸秆腐解液中酚酸的检测及对小麦土传病原菌的化感作用[J]. 中国农学通报, 2009, 25(2):210-213.
- LIANG Chun-qi, ZHEN Wen-chao, ZHANG Cheng-yin, et al. Determination of phenolica acids in decomposing products of maize straw and their allelopathy on pathogens of wheat soil-borne disease[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2009, 25(2):210-213.
- [11] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2002.
- BAO Shi-dan. Soil agrochemistry analysis[M]. 3rd edition. Beijing: China Agriculture Press, 2002.
- [12] Paul J W. Rapid extraction and analysis of volatile fatty acids in soil[J]. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 1989, 20(1-2):85-94.
- [13] 吴 蓁, 徐 宁, 温美娟. 磷钼酸-磷钨酸盐比色法测定土壤中总酚酸含量[J]. 环境化学, 2000, 19(1):67-72.
- WU E, XU Ning, WEN Mei-juan. Phosphomolybdic acid phospho- tungstate colorimetric method for the determination of total phenolic acid contents in soil[J]. *Environmental Chemistry*, 2000, 19(1):67-72.
- [14] Silvar C, Duncan J M, Cooke D E L. Development of specific PCR primers for identification and detection of *Phytophthora capsici* Leon [J]. *European Journal of Plant Pathology*, 2005, 112(1):43-52.
- [15] 乐丽鑫. 耕作方式对稻田土壤有机碳库的影响[D]. 武汉: 华中农业大学, 2010.
- LE Li-Xin. Tillage effects on soil organic carbon pool in paddy soil[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2010
- [16] 莫淑勋. 土壤中有机的产生、转化及对土壤肥力的某些影响[J]. 土壤学进展, 1986, 10(4):1-10.
- MO Shu-xun. The formation, transformation of organic acid in soil and some effects on soil fertility[J]. *Progress in Soil Science*, 1986, 10(4):1-10.
- [17] 王良梅, 周立祥, 占新华, 等. 水田土壤中水溶性有机物的产生动态及对土壤中重金属活性的影响: 田间微区试验[J]. 环境科学学报, 2004, 24(5):858-864.
- WANG Gen-mei, ZHOU Li-xiang, ZHAN Xin-hua, et al. Dynamics of dissolved organic matter and its effect on metal availability in paddy soil: Field micro-plot trials[J]. *Journal of Environmental Science*, 2004, 24(5):858-864.
- [18] 杨敏芳, 朱利群, 韩新忠, 等. 耕作措施与秸秆还田对稻麦两熟制农田土壤养分、微生物生物量及酶活性的影响[J]. 水土保持学报, 2013, 27(2):272-275, 281.
- YANG Min-fang, ZHU Li-qun, HAN Xin-zhong, et al. Effect of tillage and crop residues incorporation on soil nutrient, microbial biomass and enzyme activity under rice-wheat rotation[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2013, 27(2):272-275, 281.
- [19] 郝小雨. 设施菜田养分平衡特征与优化调控研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2012.
- HAO Xiao-yu. Study on nutrient balance and optimized management in soil-greenhouse vegetable system[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2012.
- [20] 梁盛年, 段志芳, 方旺标, 等. 香蕉皮化学成分的预试验及抑菌初探 [J]. 食品科技, 2007, 32(1):108-111.
- LIANG Sheng-nian, DUAN Zhi-fang, FANG Wang-biao, et al. Pre-experiment of chemical composition of banana skin and its primary antibacterial effect[J]. *Food Science and Technology*, 2007, 32(1):108-111.
- [21] 李 勇, 曹红娣, 储亚云, 等. 麦秆还田氮肥运筹对水稻产量及土壤氮素供应的影响[J]. 土壤, 2010, 42(4):569-573.
- LI Yong, CAO Hong-di, CHU Ya-yun, et al. Straw field effects of ni- trogen management on rice yield and soil nitrogen supply[J]. *Soils*, 2010, 42(4):569-573.
- [22] Kaewpradit W, Toomsan B, Cadisch G, et al. Regulating mineral N re- lease and greehouse gas emissions by mixing groundnut residues and rice straw under field conditions[J]. *European Journal of Soil Sci- ence*, 2008, 59(4):640-652.
- [23] 高海鹰, 张 奇, 庄 霞. 土壤水下渗解析解与数值解的比较研究 [J]. 水土保持通报, 2010, 30(6):153-157.
- GAO Hai-ying, ZHANG Qi, ZHUANG Xia. Comparison of analytical and numerical solutions for soil water leakage calculation[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2010, 30(6):153-157.