

# 地表处理方式对日光温室辣椒水分利用效率及土壤硝态氮、速效磷分布的影响\*

周茂娟<sup>1</sup> 梁银丽<sup>1,2\*\*</sup> 陈甲瑞<sup>1</sup> 熊亚梅<sup>1</sup> 韦泽秀<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>西北农林科技大学资源环境学院, 陕西杨凌 712100; <sup>2</sup>中国科学院水利部水土保持研究所, 陕西杨凌 712100)

**摘要** 研究了不同地表处理方式对日光温室辣椒水分利用效率及土壤氮磷分布的影响. 结果表明: 地表覆盖秸秆+地膜处理的辣椒产量水分利用效率和经济水分利用效率最高, 分别达  $33.04 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$  和  $50.22 \text{ 元} \cdot \text{m}^{-3}$ ; 其次是地表覆盖地膜处理, 分别达  $18.81 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$  和  $28.57 \text{ 元} \cdot \text{m}^{-3}$ . 不同地表处理方式对 0~20 cm 土壤的硝态氮含量有显著影响, 地表覆盖秸秆和覆盖秸秆+地膜处理, 分别为  $31.98 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  和  $31.96 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 小于对照处理 ( $50.33 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ); 地表覆盖地膜和使用保水剂处理的硝态氮含量较低. 与对照相比, 各处理辣椒对氮肥的利用均有所增加, 耕层硝态氮积累减少. 在 0~20 cm 耕层内, 地表覆盖地膜处理的速效磷含量最低, 为  $0.72 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 其次是地表覆盖秸秆+地膜处理, 为  $0.92 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ . 地表覆盖秸秆+地膜和地表覆盖地膜处理增加了当季作物对肥料的利用率, 减少了肥料的损失, 提高了产量.

**关键词** 日光温室 辣椒 水分利用效率 硝态氮 速效磷

文章编号 1001-9332(2007)06-1393-04 中图分类号 S641.2 文献标识码 A

**Effects of soil covering on solar greenhouse pepper water use efficiency and soil nitrate N and available phosphorus contents.** ZHOU Mao-juan<sup>1</sup>, LIANG Yin-li<sup>1,2</sup>, CHEN Jia-rui<sup>1</sup>, XIONG Ya-mei<sup>1</sup>, WEI Ze-xiu<sup>1</sup> (<sup>1</sup>College of Resource and Environmental Science, Northwest A & F University, Yangling 712100, Shaanxi, China; <sup>2</sup>Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resource, Yangling 712100, Shaanxi, China). -Chin. J. Appl. Ecol., 2007, 18(6): 1393-1396.

**Abstract:** A greenhouse study on the effects of soil covering on pepper (*Capsicum annuum* L.) water use efficiency and soil nitrate and available phosphorus contents showed that straw mulch + plastic film mulch could get the highest pepper yield water use efficiency ( $33.04 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ) and economic water use efficiency ( $50.22 \text{ yuan} \cdot \text{m}^{-3}$ ), followed by plastic film mulch, with the two parameters being  $18.81 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$  and  $28.57 \text{ yuan} \cdot \text{m}^{-3}$ , respectively. Significant differences of nitrate N content in 0-20 cm soil layer were observed among different treatments. The control had the highest nitrate N content ( $50.33 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ), followed by straw mulch ( $31.98 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) and straw + plastic film mulch ( $31.96 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ), and plastic film mulch and applying water preserving agent. Compared with the control, soil covering could increase the nitrate N use efficiency of pepper, and decrease the accumulation of nitrate N in plough layer. In 0-20 cm soil layer, treatment plastic film mulch had the lowest available phosphorus content ( $0.72 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ), and the second ( $0.92 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) was the treatment straw + plastic film mulch. Treatments straw + plastic film mulch and plastic film mulch could increase pepper fruit yield and fertilizer use efficiency, and decrease fertilizer loss.

**Key words:** solar greenhouse; pepper; water use efficiency; nitrate N; available phosphorus.

\* 中国科学院知识创新项目(KZCX2-XB2-05-1)、国家科技支撑项目(2006BAD09B07)和中国科学院水土保持研究所领域前沿资助项目(SW04302)。

\*\* 通讯作者. E-mail: liangyl@ms.iswc.ac.cn

2006-05-15 收稿, 2007-03-08 接受。

## 1 引言

干旱缺水、水资源利用率低一直是我国北方干旱、半干旱地区农业生产的主要障碍。随着工农业生产的发展,社会需水量越来越大,水资源日益短缺。农业用水的严重不足,导致作物灌溉保证率有逐年下降的趋势<sup>[4]</sup>。

农田氮、磷流失是引起水体富营养化的重要原因<sup>[7]</sup>。土壤硝态氮作为土壤中作物吸收氮的有效形式,在土壤中易于发生淋溶而损失,这不但造成资源和资金的极大浪费,而且易进入水体,污染环境。当季作物对磷肥的利用率很低,通常只有 5% ~ 15%,加上后效一般也不超过 25%,因此约有 75% ~ 90% 的磷滞留在土壤中<sup>[12]</sup>。长期过量施用磷肥常导致农田耕层土壤处于富磷状态,从而可通过径流等途径加速磷向水体的迁移<sup>[6]</sup>。自 20 世纪 90 年代以来,农民施用化肥量呈增加趋势,平均达 1 200 kg · hm<sup>-2</sup>,比 10 年前增加 8 倍,并因肥料结构和施肥方法不当等造成化肥的大量流失,成为水体氮、磷超标的重要原因<sup>[15]</sup>,而蔬菜生产中肥料施用量大,灌水数量和频率又高于一般农田,因此菜地的养分累积情况更加严重<sup>[13]</sup>。国内外对硝态氮的迁移动力学和防止硝态氮淋失的对策方面作了很多研究<sup>[8]</sup>。目前,对氮、磷淋失的研究大都集中在施肥水平、灌溉措施、轮作及耕作措施上,对不同地表处理方式下氮、磷含量的研究较少。本文研究了不同地表处理方式对辣椒 (*Capsicum annuum* L.) 产量、水分利用效率及土壤硝态氮、速效磷分布的影响,以期获得一种既能取得最好的经济效益,又有较好的生态效益和环境效益的地表覆盖技术,用于指导农业生产实践。

## 2 材料与方法

试验于 2004 年在中国科学院水利部水土保持研究所试验场日光温室拱棚内进行。土壤为黑垆土,其饱和含水量为 24%,肥力状况为:有机质含量 6.73 g · kg<sup>-1</sup>,全氮 0.50 g · kg<sup>-1</sup>,速效氮 8.74 mg · kg<sup>-1</sup>,全磷 0.57 g · kg<sup>-1</sup>,速效磷 4.62 mg · kg<sup>-1</sup>,速效钾 69.8 mg · kg<sup>-1</sup>。辣椒品种为西北农林科技大学园艺学院生产的新杂优 F4,2004 年 3 月下旬育苗,5 月下旬定植。试验设 6 个处理,分别为:CK 对照、T<sub>1</sub> 覆盖秸秆(秸秆为麦草,切成长约 5 cm,每平方米 1 kg)、T<sub>2</sub> 覆盖地膜、T<sub>3</sub> 覆盖秸秆 + 地膜(先覆盖秸秆,然后上面覆盖地膜)、T<sub>4</sub> 保水剂 2 g · m<sup>-2</sup>、T<sub>5</sub> 保水剂 4 g · m<sup>-2</sup>(保水剂为陕西稷丰生物

有限公司生产的稷丰牌高效吸水树脂)。小区面积 3 m × 2 m,每处理 3 次重复。定植时使用尿素 30 g · m<sup>-2</sup>作为基肥。生长期土壤含水量控制在相对含水量的 70% ~ 85% 范围内,根据不同时期土壤含水量的变化情况补充灌水。在辣椒收获后采用 5 点取样法分别取 0 ~ 20、20 ~ 40、40 ~ 60、60 ~ 80 和 80 ~ 100 cm 土层土壤,去除杂质,风干后研磨备用。硝态氮、铵态氮浓度用 1 mol · L<sup>-1</sup> KCl 浸提后,连续流动分析仪测定;速效磷浓度用碳酸氢钠浸提—钼锑抗比色法测定<sup>[5]</sup>。

对辣椒灌水量、产量、价格做动态记录,根据产量动态、价格动态计算经济收入,根据辣椒总产量、经济收入与灌水量计算产量水分利用效率和经济水分利用效率。硝态氮、铵态氮、速效磷含量分布用 SPSS 软件进行方差分析,Duncan 法进行多重比较。文中数据均为各重复的平均值。

## 3 结果与分析

### 3.1 不同地表处理方式下辣椒的水分利用效率

由表 1 可知,不同地表处理方式对辣椒产量的影响达极显著水平 ( $P < 0.01$ )。覆盖秸秆 + 地膜处理能显著提高辣椒产量和经济收入,其次是覆盖地膜处理,覆盖秸秆和使用保水剂 4 g · m<sup>-2</sup> 处理与对照间无显著差异,使用保水剂 2 g · m<sup>-2</sup> 处理的辣椒产量和经济收入最低。覆盖地膜使土壤温度升高而加剧了水分消耗。各处理灌水量和产量之间无显著相关性。地表处理方式对水分利用效率的影响达极显著水平。综合考虑经济收入和节水灌溉,覆盖秸秆 + 地膜处理能够获得最优的经济收入和节水效果,

表 1 不同地表处理方式下辣椒的灌水量、产量与水分利用效率

Tab. 1 Irrigation amount, pepper fruit yield and water use efficiency under different soil covering treatments

处理 Treatment	灌水量 Irrigation amount (kg · m <sup>-2</sup> )	产量 Yield (kg · m <sup>-2</sup> )	经济收入 Economic income (Yuan · m <sup>-2</sup> )	产量水分 利用效率 Yield water use efficiency (kg · m <sup>-3</sup> )	经济水分 利用效率 Economic water use efficiency (Yuan · m <sup>-3</sup> )
CK	89.0B	0.72B	1.10C	8.11D	12.36D
T <sub>1</sub>	46.5D	0.82B	1.25C	17.63B	26.88B
T <sub>2</sub>	136.5A	2.57A	3.90B	18.81B	28.57B
T <sub>3</sub>	91.0B	3.01A	4.57A	33.04A	50.22A
T <sub>4</sub>	91.0B	0.66B	1.00C	7.26D	10.99D
T <sub>5</sub>	65.0C	0.78B	1.18C	11.97C	18.15C

CK: 对照 Control; T<sub>1</sub>: 覆盖秸秆 Straw mulch; T<sub>2</sub>: 覆盖地膜 Plastic film mulch; T<sub>3</sub>: 覆盖秸秆 + 地膜 Straw + plastic film mulch; T<sub>4</sub>: 保水剂 2 g · m<sup>-2</sup> 2 g · m<sup>-2</sup> water preserving agent; T<sub>5</sub>: 保水剂 4 g · m<sup>-2</sup> 4 g · m<sup>-2</sup> water preserving agent. 表示同列内不同字母表示差异达 0.01 显著水平 Different letters in the same column meant significant difference at 0.01 level (LSD test). 下同 The same below.

表 2 不同地表处理方式对土壤硝态氮含量的影响

Tab. 2 Effect of different soil covering treatments on content of soil nitrate N ( mg · kg<sup>-1</sup> )

处理 Treatment	0 ~ 20 cm	20 ~ 40 cm	40 ~ 60 cm	60 ~ 80 cm	80 ~ 100 cm	平均 Average
CK	50.33A	24.98A	16.03A	14.44A	10.55A	23.27A
T <sub>1</sub>	31.98B	18.88B	14.19B	10.50B	8.54B	16.82B
T <sub>2</sub>	27.63C	17.12B	11.07C	5.18D	3.25D	12.85C
T <sub>3</sub>	31.96B	19.55B	14.03B	7.63C	6.48C	15.93B
T <sub>4</sub>	16.86D	13.17C	8.49D	6.92C	6.08C	10.30D
T <sub>5</sub>	9.71E	8.15D	7.49D	7.13C	6.31C	7.76E
平均 Average	28.08	16.98	11.89	8.63	6.87	

其次是覆盖地膜处理,这两种地表处理方式无论是产量、经济收入还是水分利用效率方面,都显著高于对照,而使用保水剂 2 g · m<sup>-2</sup> 处理则显著低于对照。

### 3.2 地表处理方式对辣椒土壤硝态氮含量的影响

方差分析结果表明(表 2),不同地表处理方式对土壤硝态氮含量有显著影响( $F = 906.12, P < 0.01$ )。不同土层深度的硝态氮含量以对照处理最高,尤其是在耕作层(0 ~ 20 cm),其含量达 50.33 mg · kg<sup>-1</sup>;其次是覆盖秸秆和覆盖秸秆 + 地膜处理,分别为 31.98 mg · kg<sup>-1</sup> 和 31.96 mg · kg<sup>-1</sup>;再次是覆盖地膜处理;使用保水剂处理的硝态氮含量最少,其中 4 g · m<sup>-2</sup> 保水剂处理的耕层土壤硝态氮含量低于 2 g · m<sup>-2</sup> 处理。

不同土层深度中,以耕作层 0 ~ 20 cm 的硝态氮含量最高,随着土层深度的增加,硝态氮含量显著降低。保水剂可显著减少土层中的硝态氮含量,这可能是由于保水剂增强了土壤对水分的束缚能力,减少了水分向地下的渗漏,从而减少了肥料的淋失。与对照相比,5 种地表处理方式都显著减少了土壤中的硝态氮含量,尤其是耕作层的硝态氮含量,增强了作物对氮肥的吸收利用,减少了肥料的损失。方差分析表明,不同地表处理方式对土壤中铵态氮的影响差异不显著。

### 3.3 地表处理方式对辣椒土壤速效磷含量的影响

由于磷肥施用主要在耕层,所以多数人认为土壤中的磷沿剖面垂直向下淋溶的可能性不大,地表径流和土壤侵蚀被广泛认为是主要途径,淋溶(包括亚表层径流)量极少,可以忽略<sup>[2,14]</sup>,国内众多学者也持相同的观点<sup>[1,3]</sup>。但最近的研究表明,长期施用磷肥,特别是菜田等也会导致磷的淋溶损失。

方差分析表明,不同地表处理方式对土壤速效磷含量有显著影响( $F = 115.85, P < 0.01$ );不同土层深度的速效磷含量也有显著差异( $F = 2.57, P <$

表 3 不同地表处理方式对土壤速效磷含量的影响

Tab. 3 Effect of different soil covering treatments on content of soil available phosphorus ( mg · kg<sup>-1</sup> )

处理 Treatment	0 ~ 20 cm	20 ~ 40 cm	40 ~ 60 cm	60 ~ 80 cm	80 ~ 100 cm	平均 Average
CK	1.10a	0.43b	0.30b	0.17b	0.12b	0.42ab
T <sub>1</sub>	1.17a	0.45b	0.36a	0.27a	0.17a	0.48ab
T <sub>2</sub>	0.72c	0.34c	0.24b	0.13c	0.03c	0.29c
T <sub>3</sub>	0.92b	0.30d	0.22c	0.16b	0.11b	0.34b
T <sub>4</sub>	1.18a	0.42b	0.37a	0.21a	0.18a	0.47ab
T <sub>5</sub>	1.29a	0.63a	0.34a	0.26a	0.16a	0.52a
平均 Average	1.05	0.43	0.31	0.20	0.13	

同列内不同字母表示差异达 0.05 显著水平 Different letters in the same column meant significant difference at 0.05 level (LSD test)。

0.01);但各处理的速效磷主要集中在耕作层 0 ~ 20 cm 范围内。由表 3 可知,在 0 ~ 20 cm 耕层范围内,覆盖地膜处理的速效磷含量最低,为 0.72 mg · kg<sup>-1</sup>;其次是覆盖秸秆 + 地膜处理,为 0.92 mg · kg<sup>-1</sup>,这与汪景宽等<sup>[11]</sup>的研究结果相同,即地表覆盖地膜增加了作物对土壤中磷的吸收量,而降低了其在土壤中的积累量。

磷在土壤中迁移一般主要集中在土壤表层,较难穿透较厚的土层<sup>[9-10]</sup>,这与本试验的研究结果一致。随着土层的下移,土壤中的速效磷含量显著减少,即使是在耕作层,其含量也低于 5 mg · kg<sup>-1</sup>。在黄土丘陵区土壤含磷水平较低,今后生产中需增施磷肥。

## 4 结 语

与对照相比,地表覆盖秸秆 + 地膜和地表覆盖地膜处理及其它地表处理方式能显著增加辣椒的产量和经济收入,提高产量水分利用效率和经济水分利用效率。地膜覆盖改善了土壤的水、肥、气、热状况,起到节水增温的作用,而秸秆覆盖增加了土壤的有机质,因此,地表覆盖秸秆 + 地膜是一种理想的地表处理方式,在生产中可推广应用。

地表覆盖秸秆 + 地膜和覆盖地处理增加了当季作物对肥料的利用率,减少了肥料的损失,这也是这两种地表处理方式增产的原因之一。地表覆盖地膜虽然在当季能获得较高的产量,但是以消耗地力为代价的,因此应注意适当增加肥料用量,并与有机肥配合使用。此外,各地表处理方式均不会引起肥料的淋溶,不会对地下水造成污染。

本试验中,使用保水剂处理的耕层土壤中硝态氮含量最少,其氮肥转移到果实中还是积累在植株中或是促进了土壤氮素的反硝化过程还有待于进一步研究。

## 参考文献

- [ 1 ] Gao C (高 超), Zhang T-L (张桃林), Wu W-D (吴蔚东). 2001. Risk evaluation of agricultural soil phosphorus release to the water bodies. *Acta Scientiae Circumstantiate* (环境科学学报), **21**(3): 343-348 (in Chinese)
- [ 2 ] Hesketh N, Brookes PC. 2000. Development of an indicator for risk of phosphorus leaching. *Journal of Environmental Quality*, **29**: 105-110
- [ 3 ] Jin W-M (金为民), Yan L-J (严力姣). 2002. Effects of agricultural non-point source pollution on eutrophication of water body and its control measure. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **22**(3): 291-299 (in Chinese)
- [ 4 ] Liang Y-L (梁银丽), Cao D-Y (曹导叶), You H-X (由海霞), et al. 2006. Water-saving and efficient cropping system in northwest semi-humidity irrigation area. *Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica* (西北农业学报), **15**(3): 50-53 (in Chinese)
- [ 5 ] Lu R-K (鲁如坤). 2000. Methods for Soil Agro-chemistry Analysis. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press. (in Chinese)
- [ 6 ] LÜ D-Q (吕殿青), Yang X-Y (杨学云), Zhang H (张 航), et al. 1996. Study on the characteristics of movement and leaching loss of nitrate-N in Lou soil in Shaanxi and its influencing factors. *Plant Nutrition and Fertilizer Science* (植物营养与肥料学报), **2**(4): 289-296 (in Chinese)
- [ 7 ] Si Y-B (司友斌), Wang S-Q (王慎强), Chen H-M (陈怀满). 2000. Farmland nitrogen, phosphate loss and water eutrophication. *Soils* (土壤), **32**(4): 188-193 (in Chinese)
- [ 8 ] Stevenson FJ, Bremner JM, Hauck RD, et al. 1981. Trans. Min J-K (闵九康). 1989. Soil Nitrogen. Beijing: Science Press: 44-46 (in Chinese)
- [ 9 ] Sui H-J (隋红建), Yang B-J (杨帮杰), Zhang J-B (张家炳). 1996. Numerical simulation of the transport of phosphate in unsaturated soil during infiltration. *Acta Scientiae Circumstantiate* (环境科学学报), **16**(3): 302-307 (in Chinese)
- [ 10 ] Wang C (王 超). 1997. Research of phosphate fertilizer transport characteristics in unsaturated soil. *Journal of Nanjing University* (南京大学学报), **33**(2): 253-255 (in Chinese)
- [ 11 ] Wang J-K (汪景宽), Xu X-C (须相成), Zhang X-D (张旭东), et al. 1994. Effects of long-term sheeting with plastic film on the properties of phosphorus in soil. *Journal of Shenyang Agricultural University* (沈阳农业大学学报), **25**(3): 311-315 (in Chinese)
- [ 12 ] Wang Q-R (王庆仁), Li J-Y (李继云). 1999. Fertilizer proper use and sustainable development of soil environment in China. *Techniques and Equipment for Environment Pollution Control* (环境污染治理技术与设备), **7**(2): 116-123 (in Chinese)
- [ 13 ] Wang Z-H (王朝辉), Zong Z-Q (宗志强), Li S-X (李生秀). 2002. Difference of several major nutrients accumulation in vegetable and cereal crop soils. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), **13**(9): 1091-1094 (in Chinese)
- [ 14 ] Xu M-G (徐明岗), Sun B-H (孙本华), Zhang Y-P (张一平). 1998. Diffusion of phosphate and its energetic characteristics in soils. II. Influence of phosphorus application rate and its interaction with soil moisture or/and temperature. *Acta Pedologica Sinica* (土壤学报), **35**(1): 55-65 (in Chinese)
- [ 15 ] Zhang Z-J (张志剑), Wang K (王 珂), Zhu Y-M (朱荫涓), et al. 2001. Phosphorus loss potential of soil-water in site of the main rice-yield area in the northern Zhejiang. *Chinese Journal of Environmental Science* (环境科学), **22**(1): 98-101 (in Chinese)

---

作者简介 周茂娟,女,1978年生,博士.主要从事农业生态及作物生理生态研究. Tel: 029-87012210; E-mail: zmj791026@126.com

责任编辑 张凤丽

---