

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

周茂娟¹, 梁银丽^{1, 2*}, 贺丽娜¹, 高静¹, 韦泽秀¹, 黄茂林¹, 吴燕¹

(1 西北农林科技大学资环学院, 陕西杨凌 712100; 2 中国科学院水利部水土保持研究所, 陕西杨凌 712100)

摘要: 研究了地表覆盖方式对辣椒 (*Capsicum annuum* L.) 水分利用效率、品质、叶片硝酸还原酶活性及植株和土壤中氮素分布的影响。结果表明, 覆盖可增加辣椒整个生育期土壤水分含量。覆盖地膜和覆盖秸秆+地膜比其他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。覆盖可显著降低耕作层(0-20 cm)土壤硝态氮含量, 且随着土层深度的增加, 硝态氮含量显著降低, 但对各土壤铵态氮含量无显著影响。对品质而言, 覆盖地膜处理辣椒果实 pH、维生素 C 含量显著高于其他处理, 且其电导率、阳离子交换量和硝酸盐含量显著低于其他处理。覆盖可增强叶片硝酸还原酶活性, 降低叶片中的全氮含量, 显著降低每百千克产量氮肥吸收量。从提高辣椒的品质、环境安全、肥料利用和经济效益各因素考虑, 生产中辅以科学的水分管理, 覆盖地膜和覆盖秸秆+地膜是可行的地表覆盖方式。

关键词: 水分利用效率; 果实品质; 硝酸还原酶; 硝态氮

中图分类号: S641.3

文献标识码: A

文章编号: 1008-505X(2009)01-0158-06

Influences of soil mulching approaches on WUE, fruit quality and nitrate distribution of capsicum

ZHOU Mao-juan¹, LIANG Yin-li^{1, 2*}, HE Li-na¹, GAO Jing¹, WEI Ze-xiu¹, HUANG Mao-lin¹, WU Yan¹

(1 College of Resources and Environment Science, Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2 Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resource, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: The effects of soil mulching approaches on water use efficiency, fruit quality and leaf nitrate reductases activity of capsicum (*Capsicum annuum* L.), and as well as plant and soil nitrate allocation were studied in a green house environment. There were four treatments in the study, namely, control (CK), straw mulching (T₁), plastic film mulching (T₂), and straw and plastic film combined mulching (T₃). The results show that soil water contents are increased in the capsicum growth period for the three mulching practices, and plastic film mulching and straw and plastic film combined mulching can get high capsicum yields, water use efficiency of yield and economic water use efficiency compare to the other two treatments. Soil nitrate-N contents of the tillage layer (0-20 cm) are significantly decreased under the mulching treatments, the high the soil depths, the lower the soil nitrate contents. However, soil ammonium-N contents are not significantly affected by the mulching practices. Vitamin C content and pH value of capsicum fruit are increased under the plastic film mulching, while electricity conductivity, cation exchange capacity and nitrate content of the soil are decreased. Nitrate reductases activity of leaves are increased under the mulching practices, while total N content of leaves is decreased, and the N absorption amount per 100 kg yields is reduced significantly. In agriculture production, helped with scientific water management, plastic film mulching, and straw and plastic film combined mulching are feasible mulching

收稿日期: 2008-01-21 接受日期: 2008-05-19

基金项目: 中国科学院知识创新项目(KZCX2-XB2-05-01); 国家科技支撑项目(2006BAD09B07); 中国科学院安塞站和中国科学院水土保持研究所领域前沿项目(SW04302)资助。

作者简介: 周茂娟(1978-), 女, 山东诸城人, 博士, 主要从事农业生态及作物生态生理研究。Tel: 029-87012227, E-mail: zmj791026@126.com

* 通讯作者 Tel: 029-87012222, E-mail: liangyl@ms.iswc.ac.cn

practices to enhance capsicum fruit quality, environment security, fertilizer use efficiency and economic benefit.

Key words: water use efficiency; fruit quality; nitrate reductases activity; nitrate-N

农业生产系统中尤其是蔬菜生产中由于过多的施用氮肥和过量灌溉而引起的低能源利用率和日益严重的地下水污染问题引起越来越多的人的关注。农田氮素流失是引起水体富营养化的重要原因^[1-2]。温室蔬菜生产中由于过多的施用氮肥和过量灌溉引起的温室土壤养分积累问题比其他农田土壤更加严重。氮肥施用的合理与否,既关系到蔬菜产量与品质,又直接影响到土壤与地表地下水质量安全。大棚蔬菜具有较高的产量和经济收益,但肥料投入高出大田作物 4~10 倍,几乎是蔬菜实际需要量的 6~8 倍^[3]。同时蔬菜需水量高于大田作物,过多的氮肥投入使菜地硝酸盐积累更加严重,最终产生由于降水和过度灌溉引起的硝酸盐淋失^[4]。Isse 等^[5]研究认为,甜玉米收获后种植大麦等作物可有效降低土壤中的硝态氮含量;国内外对硝态氮的迁移动力学和防止硝态氮淋失方面作了很多研究^[6-8]。

土壤覆盖具有保持水分、改善土壤结构、调节土壤肥力状况、改善作物生长环境、增加作物产量等优点^[9]。Lutaladio 等^[10]研究覆盖在木薯生长后期能显著降低土壤温度,增加 6.1% 的土壤含水量,连续 3 年有机物覆盖能增加土壤 pH、有机碳、全氮、速效磷和交换性阳离子含量。Romic 等^[11]研究覆盖比不覆盖处理能减少硝酸盐淋失量。黑色聚乙烯膜覆盖除能提高产量外,还可以减少硝态氮肥的淋失,与施肥方式相结合可以减少地表和地下水硝酸盐污染的潜在风险。Zhai 等^[12]研究了在日光温室条件下不同地表覆盖对黄瓜品质、水分利用效率及土壤环境的影响,表明地表覆盖不仅能明显增加黄瓜可溶性糖、Vc、可溶性蛋白、干物质含量及游离氨基酸总量,而且能提高黄瓜的水分利用效率。

目前,对氮肥的研究大都集中在施肥水平、灌溉措施、轮作及耕作措施上;而对覆盖的研究主要在大田作物,蔬菜生产中则主要研究地膜覆盖,对其他覆盖方式研究较少。本研究开展了不同地表处理方式对辣椒产量、品质,水分利用效率及植株各部位和土壤氮素分布的影响,以期获得一种既能取得较好的经济效益,又有较好的环境效益的地表覆盖技术,用于农业生产,达到节约资源,保护环境的目的。

1 材料与方法

试验于 2007 年在中国科学院水利部水土保持

研究所试验场拱棚内进行。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,全氮 0.50 g/kg,速效氮 176.74 mg/kg,全磷 0.57 g/kg,速效磷 47.62 mg/kg,速效钾 129.8 mg/kg。辣椒 (*Capsicum annuum* L.)品种为农城椒 2 号(西北农林科技大学园艺学院产)。试验设 4 个处理,即:对照(CK)、覆盖秸秆(秸秆为麦草,切成长约 5 cm, 1 kg/m², T₁)、覆盖地膜(透明聚乙烯膜,0.01 mm 厚, T₂)、覆盖秸秆+地膜(先覆盖秸秆,然后上面覆盖地膜, T₃), 3 次重复。小区面积 3 m×2 m,小区间用 0.6 m 深的 PVC 板间隔,防止水分侧渗。2007 年 3 月下旬育苗,4 月下旬定植,定植全部成活 5 d 后进行覆盖处理。定植时使用尿素化肥 30 g/m² 作为基肥。土壤水分控制在相对含水量的 70%~85%,生长期每 7 d 左右用 TDR(Time domain reflectometry)结合烘干法测定 0—20 cm 土壤含水量,当土壤含水量低于土壤相对含水量的 70%时补充灌水,根据控水上限(85%)补充灌水,灌水量由流量计控制。

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,去杂后过 0.25 mm 筛,混匀后用 1 mol/L KCl 浸提,震荡 0.5 h,过滤后用连续流动分析仪测定硝态氮含量。

在辣椒生育盛期(7 月 20 日)取植株完全展开的功能叶(鲜样)用磺胺比色法测定硝酸还原酶活性^[13];用硫酸-水杨酸比色法测定植株和果实中的硝态氮;用钼蓝比色法测定果实维生素 C 含量;可溶性固形物含量(%)用手持折光仪测定;pH 值用 pH 计(国产 PHB-4 型)测定;电导率 EC(mS/cm)和盐离子浓度(%)用电导仪(日本产 B-173 型)测定^[13-14]。在收获后取植物样,分成根、茎、叶,60℃ 烘干 48 h,用凯氏定氮仪测定植株各部分的全氮含量。

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。依据每次的灌水量计算辣椒整个生育期灌水总量,用 SAS 软件进行数据方差分析, Duncan's 法进行多重比较。文中数据均为各重复的平均值。主要指标计算:

$$\text{经济收入}(\text{Yuan}/\text{m}^2) = \text{单价} \times \text{产量};$$

产量用水效率 (WUE_Y) (kg/m^3) = (产量 × 1000)/灌水量;

经济用水效率 (WUE_E) (kg/m^3) = (经济收入 × 1000)/灌水量;

百千克产量氮肥吸收量 (kg) = 作物地上部吸收养分含量 (kg)/作物经济产量 (kg) × 100。

2 结果与分析

2.1 不同覆盖方式下耕层土壤水分的动态变化

不同覆盖处理下,耕层土壤水分在辣椒整个生

育期内的变化(图1)看出, T_3 处理耕层土壤水分含量在整个生育期内一直较其他处理高,其次是 T_2 处理。各处理耕层土壤含水量在辣椒生长初期(5月1日~5月24日)和后期(7月28日~8月29日)含量相对较高,因辣椒生长初期根系较小,其吸收水分的能力也较小,地上部分消耗的水分也比较少,后期根系衰老,吸收水分的能力有所下降;而旺盛生长期,其根系发达,地上部分枝叶生长旺盛,且此时气温高,蒸腾作用强消耗大量水分,故此时土壤含水量较低。

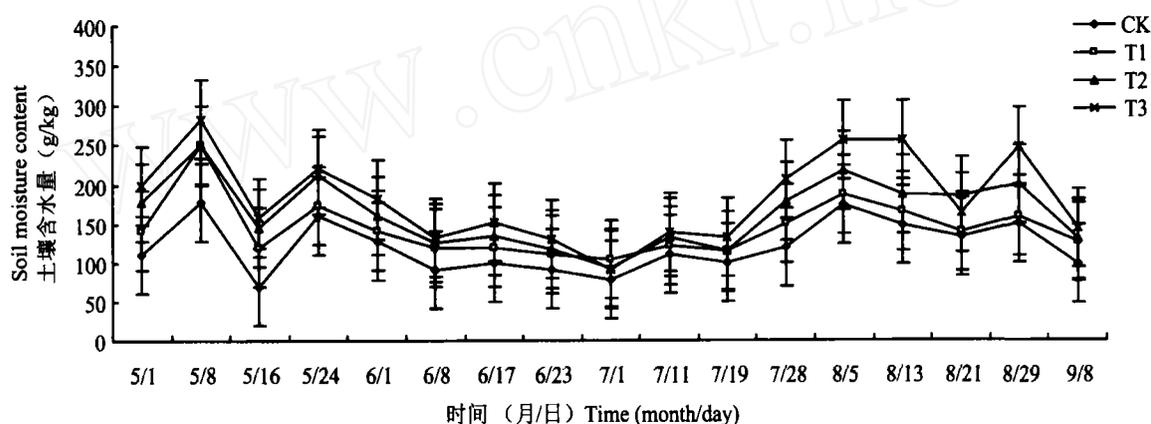


图1 不同覆盖方式下耕层土壤水分的动态变化

Fig.1 The dynamic changes of soil water contents in the tillage layer the under the different mulching practices

2.2 不同地表覆盖方式对辣椒产量和水分利用效率的影响

不同地表处理方式对辣椒产量的影响达极显著水平。表1看出, T_3 处理能显著提高辣椒产量和经济收入,其次是 T_2 处理,CK处理的辣椒产量和经济收入最低,但与 T_1 间无显著差异。各处理耗水量和产量之间无显著相关。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, T_3 和 T_2 处理能够获得较高的经济收入和节水效果,是较好的地表处理方式。

2.3 地表覆盖方式对辣椒品质的影响

表2可知,不同覆盖方式对辣椒果实pH影响差异显著, T_2 处理的辣椒果实pH和Vc含量显著高于其他处理,CK处理最低;而 T_3 与CK处理间pH无差异。设施土壤由于其高温高湿的内部环境,影响作物对养分的吸收,养分积累导致盐分含量超标,而使果实中硝酸盐含量、电导率和阳离子交换量提高。表2还看出,不同覆盖处理对辣椒果实中硝酸盐含量和盐离子浓度有显著影响, T_2 处理比其他处理方式显著降低果实中硝酸盐含量、电导率和阳离子交

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

Table 1 Capsicum yields and water use efficiency under the different soil mulching practices

处理 Treat.	灌水量 Irrig. rate (kg/m^2)	产量 Yield (kg/m^2)	经济收入 Income ($ yuan/m^2$)	YWUE (kg/m^3)	EWUE ($ yuan/m^3$)
CK	136.7 A	0.72 B	1.10 C	5.43 C	8.0 C
T_1	117.5 B	0.82 B	1.25 C	6.97 C	10.6 C
T_2	96.5 C	2.57 A	3.90 B	26.6 B	40.4 B
T_3	89.0 C	3.01 A	4.57 A	33.7 A	51.3 A

注(Note): YWUE—产量水分利用效率 Yield water use efficiency; EWUE—经济水分利用效率 Economic water use efficiency. 同列中不同大写字母分别表示差异达1%显著水平,下同。Different capital the same column mean significant at 1% levels, respectively. The same below.

换量。因此,从营养品质和食品安全品质等因素考虑, T_2 处理比其他覆盖方式可提高设施辣椒品质。

2.4 地表覆盖方式对辣椒土壤硝态氮与铵态氮含量的影响

土壤累积硝态氮被吸收利用的关键是随水分上升向上迁移到达根区,因此根系的吸收作用与土壤

表 2 不同地表覆盖方式对辣椒品质的影响
Table 2 Effect of soil mulching on capsicum fruit quality

处理 Treatment	pH	Vc 含量 Vc content (mg/kg, FW)	电导率 EC (mS/cm)	阳离子交换量 CEC (%)	可溶性固形物 Soluble solids (%)	硝酸盐含量 Nitrate content (mg/g, FW)
CK	4.8 C	850.6 C	4.73 A	0.247 B	9.83 A	19.4 B
T ₁	5.3 B	1014.0 B	4.60 A	0.253 AB	8.90 A	16.8 B
T ₂	5.5 A	1326.0 A	3.63 B	0.190 C	6.03 B	11.2 C
T ₃	4.8 C	1217.8 AB	4.93 A	0.260 A	9.70 A	28.8 A

水分状况均会影响养分在土壤中的迁移与分布^[15]。方差分析结果(表 3)表明,不同地表处理方式对土壤硝态氮含量有显著影响($F = 906.12$, $P = 0.0001$); CK 处理各土层深度的硝态氮含量最高,尤其是在耕作层(0—20 cm),其含量达 50.4 mg/kg,因对照比地表覆盖表层土壤水分蒸发快,使土壤水分向表层运移,养分也随之迁移;其次是 T₁ 和 T₃ 处理,均为 32.0 mg/kg。

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。地膜和秸秆覆盖都有明显保水作用。秸秆覆盖各土层中硝态氮含量显著高于覆膜处理;覆膜处理

各土层硝态氮含量差异显著,尤其是深度 60 cm 以下,其含量与其他处理差异达到极显著。这主要是秸秆覆盖增加了表层土壤水分含量,深层土壤含水量反而明显降低,而覆膜各层土壤水分都有明显提高^[16]。与对照相比,3 种地表处理方式增强了作物对氮肥的吸收利用,显著减少了土壤中的硝态氮含量,尤其是耕层,从而减少了因地表径流造成肥料损失的潜在风险。

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($P = 0.6017 > 0.05$),不同土壤深度间铵态氮含量差异也不显著($P = 0.4812 > 0.05$)。

表 3 覆盖对不同土层硝态氮和铵态氮含量的影响 (mg/kg)

Table 3 Effects of soil mulching on nitrate-N and ammonium-N contents in different soil layers

处理 Treatment	0—20 cm		20—40 cm		40—60 cm		60—80 cm		80—100 cm	
	NO ₃ -N	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ -N	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ -N	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ -N	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ -N	NH ₄ ⁺ -N
CK	50.4 A	12.2	25.0 A	8.0	16.0 A	11.0	14.4 A	9.7	10.6 A	9.7
T ₁	32.0 B	10.4	18.9 B	10.8	14.2 B	12.6	10.5 B	9.8	8.5 AB	9.2
T ₂	27.6 B	12.1	17.1 B	12.3	11.1 B	10.2	5.9 C	11.4	3.2 C	10.5
T ₃	32.0 B	12.2	19.6 B	10.9	14.0 B	10.1	7.6 BC	9.9	6.5 B	9.1

2.5 地表覆盖方式对辣椒植株各部位硝态氮分布及叶片硝酸还原酶的影响

硝态氮经根系吸收,运送到植株各部位,并在植株各部位经过硝酸还原酶和亚硝酸还原酶的转化作用被植物利用。多重比较结果表明,不同覆盖方式对辣椒植株各部硝态氮含量影响差异显著(表 4)。根系中 T₁ 处理硝态氮含量最高,CK 处理则最低;茎中 CK、T₁、T₃ 处理间含量差异不显著,但都与 T₂ 处理差异达到显著水平。各覆盖处理叶片中硝态氮含量显著高于其他部位,而 CK 处理则较其他部分低。这是作物吸收的氮素主要在叶片中进行转化,叶片是植物最大的养分贮藏库。硝态氮含量受作物生育时期的影响,所以植株各部位硝态氮含量可代

表取样时期的差异。

2.6 地表覆盖方式对辣椒植株氮含量及氮肥利用的影响

4 种处理方式下根系全氮含量差异不显著(表 5),但茎秆中全氮 T₃ 和 T₁ 处理含量最高,T₂ 处理含量最低。叶片全氮 CK 处理含量最高,其次是 T₁ 处理,T₂ 和 T₃ 处理含量最低。叶片生长速度快,具有较大的生物量,是主要的养分转化和储存中心,故叶片中全氮含量显著高于根系和茎秆,这与王忠强等^[17]的研究结果相一致。每百千克产量氮肥吸收量顺序为:CK > T₁ > T₂ > T₃,说明在相同的施肥水平下,CK 处理获得相同的产量需要更多的肥料,而覆盖能提高肥料利用效率,增加辣椒产量。

表4 地表覆盖方式辣椒对植株各部位硝态氮含量及叶片硝酸还原酶活性的影响

Table 4 Effect of soil mulching on nitrate content of different parts of plant and leaf nitrate reductase activity

处理 Treat.	硝酸盐含量 Nitrate content (mg/kg)				NRA [mg/(kg·h)]
	根 Root	茎 Stem	叶片 Leaf	果实 Fruit	
CK	32.2 C	70.6 A	32.2 C	19.4 B	250.37 C
T ₁	83.9 A	72.8 A	91.3 A	16.8 B	365.31 A
T ₂	56.3 B	51.7 B	88.6 A	11.2 C	305.01 B
T ₃	59.7 B	76.2 A	83.0AB	28.8 A	348.85 A

NRA: 硝酸还原酶活性 Nitrate reductases activity

表5 覆盖对辣椒植株全氮含量及吸氮量的影响
Table 5 N content of plant and N absorption under the different mulching practices

处理 Treat.	植株含氮量(g/kg) N content of plant			吸氮量 N absorption (g/kg, yield)
	根 Root	茎 Stem	叶 Leaf	
CK	2.33 A	1.48 B	4.17 A	11.0 A
T ₁	2.34 A	1.61 A	3.90 B	9.6 A
T ₂	2.24 A	1.41 C	3.70 C	2.9 B
T ₃	2.24 A	1.64 A	3.70 C	2.5 B

3 讨论与结论

本试验结果表明,覆盖秸秆+地膜(T₃)和覆盖地膜(T₂)处理能显著增加辣椒的产量和经济收入以及产量水分利用效率和经济水分利用效率。覆盖改善了土壤的水、肥、气、热状况,起到节水增温的作用,改善作物的生长发育条件。李世清等^[18]研究覆盖地膜可显著增加0—20 cm土壤含水量,覆膜可提高作物生长前期和后期的土壤温度,这是地膜覆盖得以大面积应用的原因。

作物吸收的氮素必须经过硝酸还原酶的转化变成作物可直接吸收利用的硝态氮才能被吸收利用。本试验3种地表覆盖方式土壤中的硝态氮含量显著低于对照处理,尤其是耕作层中的含量,减少了因地表径流造成的肥料损失。覆盖地膜虽在当季能获得较高的产量,可以有效降低土壤硝酸盐淋失风险,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^[19]。此外,在本试验灌水条件下,各处理方式均不会产生地表径流引起肥料的流失,不会造成对地表水的污染。

从食品安全角度分析,覆盖地膜Vc含量高,而

电导率、阳离子交换量和硝酸盐含量显著低于其他处理,尤其是硝酸盐含量显著低于其他处理。因此,综合营养品质和食品安全品质各因素考虑,覆膜处理比其他覆盖方式可提高设施辣椒品质。

综上所述,从食品安全、环境安全、肥料利用和经济效益各因素考虑,生产中辅以科学的水分管理,覆盖地膜和覆盖秸秆+地膜是可行的地表覆盖方式。但对残留的地膜要进行合理的集中处理,否则易产生地膜残留带来的环境问题,且地膜覆盖增温保温效果显著,在夏季可采用遮阳网遮荫等方式进行降温。

由于受取样时期的限制,辣椒植株各部位硝态氮含量和硝酸还原酶活性只能代表取样时期各处理间的差异,不能代表整个生育时期的变化趋势。

参考文献:

- [1] 司友斌,王慎强,陈怀满. 农田氮、磷流失与水体富营养化[J]. 土壤, 2000, 32(4): 188-193.
Si Y B, Wang S Q, Chen H M. Farmland nitrogen, phosphate loss and water eutrophication[J]. Soils, 2000, 32(4): 188-193.
- [2] Delgado J A, Khosla R, Bausch W C *et al.* Nitrogen fertilizer management based on site-specific management zone reduces potential for nitrate leaching[J]. J. Soil Water Conserv., 2005, 60(6): 402-410.
- [3] 程智慧,刘旭新,董志刚,冯武焕. 西安蔬菜主产区土壤硝态氮累积现状与蔬菜产品、浅层地下水氮素污染调查研究[J]. 西北农业学报, 2008, 17(1): 188-192, 198.
Cheng Z H, Liu X X, Dong Z G, Feng W H. The investigation and research of n contamination in vegetable, soil and underground water in vegetable fields of Xi'an[J]. Acta Agric. Boreali-Occid. Sin., 2008, 17(1): 188-192, 198.
- [4] 张学军,陈晓群,罗建航,等. 不同水氮措施对芹菜-白菜轮作体系中氮素利用与土壤NO₃-N残留的影响[J]. 土壤通报, 2007, 38(5): 906-910.
Zhang X J, Chen X Q, Luo J H *et al.* Effect of different water and nitrogen measure on n uptake and balance in celery-Chinese cabbage rotate system[J]. Chin. J. Soil Sci., 2007, 38(5): 906-910.
- [5] 史帝文森(闵九康译). 土壤中的氮素[M]. 北京: 科学出版社, 1981. 44-46.
Stevenson F J (Min J K Trans.). Soil nitrogen[M]. Beijing: Science Press. 1981. 44-46.
- [6] Isse A A, Mackenzie A F, Stewart K. Cover crops and nutrient retention for subsequent sweet corn production[J]. Agron. J., 1999, 91: 934-939.
- [7] 刘宏斌,李志宏,张维理,林葆. 露地栽培条件下大白菜氮肥利用率与硝态氮淋溶损失研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2004, 10(3): 286-291.
Liu H B, Li Z H, Zhang W L, Lin B. Study on N use efficiency of Chinese cabbage and nitrate leaching under open field cultivation[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2004, 10(3): 286-291.

- [8] Deklein E A, Van Logtestijn R S. Denitrification in the top soil of managed grassland in the Netherlands in relation to soil and fertilizer level[J]. *Plant Soil*, 1994, 163: 33-44.
- [9] Liang Y L, Zhang C E, Guo D W. Mulch types and their benefit in cropland ecosystems on the Loess Plateau in China[J]. *J. Plant Nutr.*, 2002, 25 (5): 945-955.
- [10] Lutaladio N B, Wahua T A T, Hahn S K. Effect of mulch on soil properties and on the performance of late season cassava (*Manihot esculenta crantz*) on an acid ultwasol in southwestern Zaire[J]. *Tropicultura*, 1992, 10 (14): 20-26.
- [11] Romić D, Romić M, Borosic J, Poljak M. Mulching decreases nitrate leaching in bell pepper (*Capsicum annuum* L.) cultivation[J]. *Agric. Water Manag.*, 2003, 60: 87-97.
- [12] Zhai S, Liang Y L, Zhang X S *et al.* Effects of soil mulching on cucumber quality, water use efficiency and soil environment in greenhouse[J]. *Trans. CSAE*, 2008, 24(3): 65-70.
- [13] 赵会杰, 刘华山, 董新纯. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 1998.
- Zhao H J, Liu H S, Dong X C. Plant physiological biochemical experiment[M]. Beijing: China Agricultural Sciencetech Press, 1998.
- [14] 鲁如坤. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000.
- Lu R K. Methods for soil agro-chemistry analysis[M]. Beijing: China Agricultural Sciencetech Press, 2000.
- [15] Barber S A. Soil nutrient bioavailability: a mechanistic approach [M]. New York: John Wiley and Sons Incorporation, 1984. 95-99.
- [16] 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.
- Bu Y S, Miao G Y, Zhou N J *et al.* Analysis and comparison of the effects of plastic film mulching and straw mulching on soil fertility [J]. *Sci. Agric. Sin.*, 2006, 39(5): 1069-1075.
- [17] 王忠强, 吴良欢, 许波峰, 邵雪玲. 供氮水平对爬山虎幼苗生长形态和氮分配的影响[J]. *应用生态学报*, 2007, 18(10): 2214-2218.
- Wang Z Q, Wu L H, Xu B F, Shao X L. Effects of nitrogen supply on *Parthenocissus tricuspidata* seedling morphology and nitrogen allocation[J]. *Chin. J. Appl. Ecol.*, 2007, 18(10): 2214-2218.
- [18] 李世清, 李凤民, 宋秋华, 王俊. 半干旱地区不同地膜覆盖时期对土壤氮素有效性的影响[J]. *生态学报*, 2001, 21(9): 1519-1526.
- Li S Q, Li F M, Song Q H, Wang J. Effects of plastic film mulching periods on the soil nitrogen availability in semiarid areas[J]. *Acta Ecol. Sin.*, 2001, 21(9): 1519-1526.
- [19] 卜玉山, 邵海林, 王建程. 不同覆盖材料对玉米幼苗生长和土壤养分含量及分布的影响[J]. *水土保持学报*, 2002, 16(3): 40-42.
- Bu Y S, Shao H L, Wang J C. Effects of different mulching materials on corn seedling growth and soil nutrients contents and distributions [J]. *J. Soil Water Conserv.*, 2002, 16(3): 40-42.