

不同水肥调控措施对日光温室土壤水分和番茄水分利用效率的影响

周 博^{1,2}, 周建斌¹

(1 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100; 2 杨凌职业技术学院, 陕西 杨凌 712100)

【摘 要】 **【目的】**研究不同水肥调控措施对日光温室土壤水分状况和番茄水分利用效率的影响,为西北地区日光温室水肥的合理利用提供参考依据。**【方法】**采用田间试验方法,研究不同水肥处理对日光温室土壤含水量及番茄水分利用效率的影响。**【结果】**在肥料用量为 N 450 kg/hm²、P₂O₅ 225 kg/hm²、K₂O 225 kg/hm² 条件下,节水灌溉处理的水分利用率最高,达 50.3 kg/m³;在灌水量相同的条件下,常规施肥与配方施肥的水分利用率无显著差异;而在施肥量相同的条件下,节水灌溉的水分利用率比常规灌溉明显提高;在肥料用量为 N 450 kg/hm²、P₂O₅ 315 kg/hm²、K₂O 450 kg/hm² 条件下,收获时土壤贮水量最小,比同期常规水肥处理低 0.88×10³ m³/hm²,比栽植时减少 0.52×10³ m³/hm²。张力计读数的变化趋势和土壤含水量变化趋势基本一致,张力计能够反映土壤的水分状况。**【结论】**采用节水节肥的措施虽然未能显著增加番茄的产量,但能提高番茄的水分利用率,降低生产成本。

【关键词】 日光温室;番茄;水肥条件;土壤水分;张力计

【中图分类号】 S625.5

【文献标识码】 A

【文章编号】 1671-9387(2009)01-0211-06

Effects of different fertilizers and water managements on water distribution in soil and water use efficiency of tomato

ZHOU Bo^{1,2}, ZHOU Jian-bin¹

(1 College of Resource and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2 Yangling Institute of Vocation and Technology, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: **【Objective】** The research studied the effects of different fertilizers and water managements on water distribution in soil and water use efficiency of tomato to provide reference service for reasonable water and fertilizer utilization in vegetable cultivation in sunlight greenhouse. **【Method】** A field experiment was carried out in soil cultivated sunlight greenhouse in Yangling district, Shaanxi Province to study the effects of different fertilizers and water managements on water distribution in soil and water use efficiency of tomato. **【Result】** The water utilization efficiency of the treatment with addition of 450 kg N/hm², 225 kg P₂O₅/hm², and 225 kg K₂O/hm² was as high as 50.3 kg/m³, when water saving irrigation method was adopted. When the amount of irrigation water was similar, there was not significant difference between the water utilization efficiency of conventional fertilization and formula fertilization. When the amount of fertilizing was similar, water saving irrigation improved the water utilization efficiency significantly compared with conventional irrigation. When the amount of fertilizing was 450 kg N/hm², 315 kg P₂O₅/hm², and 450 kg K₂O/hm², water in soil at tomato harvest was lowest, which was less 0.88×10³ m³/hm² than corresponding

* [收稿日期] 2008-03-03
[基金项目] 科技部“十五”科技攻关项目(2004BA516A09);西安市农业科技攻关项目(GG04094);西北农林科技大学科研专项(04ZM097)
[作者简介] 周 博(1976—),男,陕西周至人,讲师,在读博士,主要从事植物营养与调控研究。
[通信作者] 周建斌(1964—),男,陕西大荔人,教授,博士生导师,主要从事植物营养与旱地水肥调控研究。

period amounts of conventional irrigation and conventional fertilization, and $0.52 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ less than amounts of planting. The trend of tensiometers readings changes in different days was identical to the change of soil moisture, and could indicate the water level in the soil. 【Conclusion】 Water-saving irrigation and formula fertilization in this study did not increase tomato yield, but significantly increased water use efficiency of tomato.

Key words: sunlight greenhouse; tomato; fertilizer and water management; water content; tensiometer

我国西北地区是世界上干旱缺水最严重的地区之一,随着人口的增加和经济的发展,水已成为制约西部经济社会发展及生态环境改善的主要因素^[1]。西北地区水资源总量为 2 344 亿 m^3 ,仅占全国水资源总量的 8%^[2],有效利用水资源是解决西部农业干旱缺水的重要途径之一。

当前在设施栽培条件下,大多数地方的菜农仍然采用漫灌的方式来灌溉,“肥大水勤”已成为的普遍现象,盲目灌溉不但增加了生产成本,也造成了水资源的浪费,而且高灌溉量还会导致硝态氮淋溶和减产^[3-7]。近几年来,关于如何提高水分利用效率的研究很多,如设施内渠灌可改进为微喷灌、滴灌,通过安装水表掌握和控制灌溉量;根据土壤水分含量和蔬菜种类及其生育期确定灌水时间和灌溉量^[8-11]。另外,可用张力计监测土壤水分吸力的变化,根据张力计指示值指导灌水^[12]。然而,西北地区由于经济条件差、生产条件简单,上述新的灌溉技术难以推广应用,因此如何指导当地菜农科学合理地进行灌溉,已成为当务之急。为此,本试验探讨了不同水肥调控措施对日光温室土壤水分状况和番茄水分利用率的影响,以期为当地日光温室蔬菜栽培水分的合理利用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验基地概况

试验在陕西省杨凌农业高新技术产业示范区李台乡胡家底村日光温室生产基地进行。该村于 1998 年开始建设日光温室,数量已由最初的 48 座发展到现在的 200 多座,栽培的蔬菜品种主要为越冬番茄。该地区年平均降水量 654.8 mm,正常情况下年平均气温 12.9℃,地下水位深 15 m。

1.2 供试土壤

试验地耕层土壤(0~20 cm)质地为粘壤土,土壤 pH 值为 6.89,有机质含量为 15.2 mg/kg,土壤硝态氮、有效磷和速效钾含量分别为 59,518 和 381 mg/kg,属肥力较高的土壤。

1.3 试验方法

试验于 2004-10~2005-07 进行,设 A~E 5 个

处理(表 1),每处理重复 3 次,小区面积为 15.0 m^2 ,每小区栽植番茄 4 行,行间距为 60 和 80 cm,番茄株距 25 cm,每行 21 株,每小区共计 88 株。各小区随机排列,小区间用 2 行保护行隔开。各试验小区均以鸡粪(多含稻壳)为肥底,用量为 90 m^3/hm^2 ,于番茄定植前作基肥施入。氮肥的 1/5、钾肥的 1/4 和磷肥作基肥,于番茄定植前施入,氮肥和钾肥其余部分作追肥分别于第一穗果膨大期、第一穗果开始采收期、第三穗果采收期和第 5 穗果(最后一层)刚坐果后分 4 次施用。追肥方法为膜下撒施、随后灌水。灌溉方式为畦灌,常规灌水量以当地菜农的传统经验灌水量 $5.21 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ (一茬)为标准;5 月份前,考虑到各处理水分损耗相对较低,因此所有处理的灌水量均相同,即采用常规方法灌水。从 5 月份开始,根据田间埋设的张力计读数,对处理 B、D 和 E 实施节水处理,具体办法为:灌水期与常规方法相同,各小区均分别于 05-11、05-21、05-30 和 06-14 进行,灌水量分别为 0.25×10^3 、 0.30×10^3 、 0.35×10^3 和 $0.25 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{hm}^2$,均为相应常规灌水量的一半(利用水表控制灌水用量)。2005-06-03 采集番茄果实,并进行相关指标的测定。2005-07-08 进行收获。

2004-11-20 在处理 D 对应的小区埋置 1 组张力计,埋置深度分别为 20 cm 和 50 cm。平衡一段时间后,每天观察记录其读数。在番茄定植前、生长期间以及收获后用土钻采取土壤剖面土样,生长期间分别于 2005-01-14 和 2005-04-22 在每次追肥前 2 d 取样,取样深度为 0~100 cm(20 cm 为 1 层);种植前 2004-09-17 和收获后 2005-07-08 取 0~200 cm 土样。

1.4 测定项目及方法

土壤含水率测定采用烘干法进行。

水分利用率=果实产量/(灌水量+栽植时土壤贮水量-收获时土壤贮水量)。

土壤贮水量是指 0~200 cm 各层土壤水分的总量,土壤贮水量=土壤容重×土壤体积×土壤含水率。

表 1 田间试验方案
Table 1 Design of the field experiment

处理编号 Code	处理方法 Treatment	灌水量/(m ³ ·hm ⁻²) Irrigation rate	m(N) : m(P ₂ O ₅) : m(K ₂ O)	肥料用量/(kg·hm ⁻²) N-P ₂ O ₅ -K ₂ O
A	常规施肥+常规灌溉 Conventional fertilization and conventional irrigation	5.21×10 ³	农户自定 Decided by farmer	600-600-825
B	常规施肥+节水灌溉 Conventional fertilization and water-saving irrigation	4.06×10 ³	农户自定 Decided by farmer	600-600-825
C	配方施肥 1+常规灌水 Formula fertilization 1 and conventional irrigation	5.21×10 ³	1 : 0.5 : 0.5	450-225-225
D	配方施肥 1+节水灌溉 Formula fertilization 1 and water-saving irrigation	4.06×10 ³	1 : 0.5 : 0.5	450-225-225
E	配方施肥 2+节水灌溉 Formula fertilization 2 and water-saving irrigation	4.06×10 ³	1 : 0.7 : 1	450-315-450

注:灌水量是根据每次灌水时水表读数统计,其数量为一茬番茄的总用水量。
Note: Total irrigation rate was calculated according to water-meter of each irrigation.

2 结果与分析

2.1 不同水肥处理对土壤剖面水分含量及分布的影响

考虑到栽植前各小区土壤条件基本一致,故 2004-09-17 采集 3 个点组成 1 个混合样;同样考虑

到 2005-05 前处理 A 与 B 及处理 C 与 D 栽培条件相同,故于 2005-01-24 和 2005-04-22 只采集处理 B、D、E 对应小区的土样;2005-05 后开始进行节水管理,故于 2005-07-08 采集处理 A、B、C、D、E 对应小区的土样。对采集土样的水分含量(用质量分数表示(%))进行测定,结果如图 1 所示。

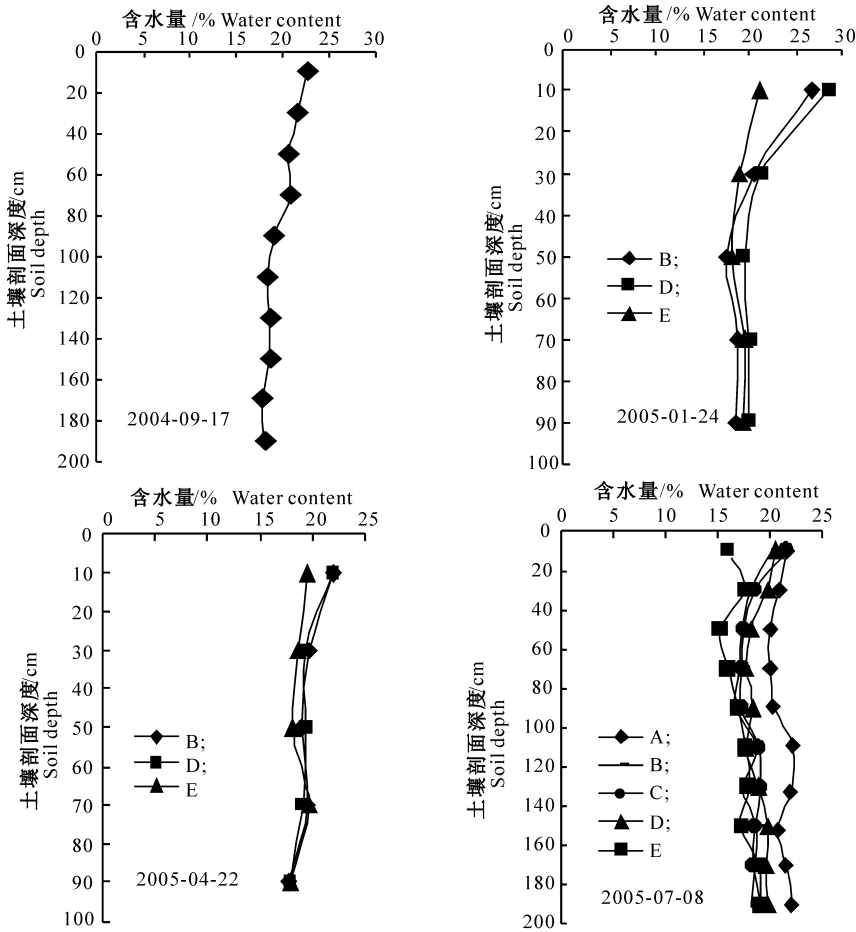


图 1 不同水肥处理对日光温室土壤含水率的影响
Fig. 1 Changes of water content in different treatments in sunlight greenhouse

从图 1 可以看出,在栽植番茄之前(2004-09-17)0~200 cm 土层的土壤含水量充足,其中 80~100 cm 土层中的土壤含水量达 19.22 %,180~200 cm 土层的土壤含水量达 17.98 %,这与栽植前期的自然降雨有关。从 2005-01-24 测定的结果可以看出,在番茄生长期间,处理 B 和 D 0~30 cm 土层土壤含水量明显高于处理 E,而 3 个处理 30 cm 以下土层土壤含水量基本相同。表明从栽植前 2004-09-17~2005-01-24,植株主要利用的是 0~30 cm 土层土壤的水分;在同样条件下,配方施肥 2 处理番茄对水分的吸收利用量大于常规施肥处理和配方施肥 1 处理。

从 2005-01-24~04-22,处理 B 和 D 0~60 cm 土层土壤含水率明显高于处理 E,而 3 个处理 60 cm 以下土层土壤含水量基本相同。表明在此时段,随着番茄植株根系的伸长,其对水分的吸收范围比以前明显扩大,由 0~30 cm 增加为 0~60 cm。同时也说明,这一时期,在同样的条件下,配方施肥 2 处理番茄对水分的吸收利用量大于常规施肥和配方施

肥 1 处理。常规施肥处理和配方施肥 1 处理土壤含水量无明显差异。

由表 2 可以看出,番茄收获后(2005-07-08),处理 A 土壤贮水量相对最大,处理 E 土壤贮水量最小。比较处理 A 与 B 及处理 C 与 D 可以发现,处理 A 与 B 之间及 C 与 D 之间土壤贮水量均无明显变化,表明在常规施肥和配方施肥 1 条件下,节水处理与常规灌溉土壤贮水量没有明显差异。比较处理 D 与 E 可以发现,处理 D 的土壤贮水量明显高于处理 E,表明在灌水量相同的条件下,配方施肥 2 处理的水分消耗量大于配方施肥 1 处理。

比较不同时期各处理 80~100 cm 土层土壤的含水量可知,在番茄生长前期,不同措施对该层土壤含水量影响不大,而在生长后期,采用节水或节肥措施均可明显降低该层次土壤的含水量。值的注意的是,在常规施肥和灌溉条件下(处理 A),番茄收获后土壤贮水量为 $4.77\times10^3\text{ m}^3/\text{hm}^2$,比栽植前土壤贮水量高 $0.36\times10^3\text{ m}^3/\text{hm}^2$ (表 2),说明常规水肥管理存在着明显的水分浪费。

表 2 不同水肥处理对日光温室番茄水分利用率的影响

Table 2 Water consumption and use efficiency of tomato in different treaments

处理 Treament	果实产量/ ($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$) Yield	土壤贮水量/($\text{m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$) Water in soil		灌水量/ ($\text{m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$) Irrigation rate	水分利用率/ ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$) Water use efficiency
		栽植时 Planting	收获时 Harvesting		
A	$1.89\times10^5\text{ a}$	4.41×10^3	4.77×10^3	5.21×10^3	39.7 c
B	$2.01\times10^5\text{ a}$	4.41×10^3	4.07×10^3	4.06×10^3	45.7 b
C	$1.93\times10^5\text{ a}$	4.41×10^3	4.21×10^3	5.21×10^3	36.1 c
D	$2.01\times10^5\text{ a}$	4.41×10^3	4.30×10^3	4.06×10^3	50.3 a
E	$2.09\times10^5\text{ a}$	4.41×10^3	3.89×10^3	4.06×10^3	45.7 b

注:同列数据后标不同小写字母者表示差异显著($P<0.05$)。
Note:Date with the different small letter in the same column means significantly different ($P<0.05$).

2.2 不同水肥处理对番茄水分利用效率的影响

由表 2 可知,处理 C 水分利用率最低,为 $36.1\text{ kg}/\text{m}^3$;处理 D 水分利用率最高,达 $50.3\text{ kg}/\text{m}^3$;处理 B 的水分利用率显著高于处理 A,处理 D 的水分利用率显著高于处理 C。表明在相同施肥条件下,节水灌溉措施可以显著提高水分的利用效率。处理 A 与 C 的水分利用率无显著差异;处理 B 与 D 及处理 D 与 E 的水分利用率差异显著,表明在相同的灌水条件下,不同配方施肥对土壤水分利用率有明显影响。

由于各处理间番茄产量无显著差异,从经济效益角度考虑,配方施肥 1 加节水灌溉处理(处理 D)的效益最高。表明在研究区,节水灌溉和配方施肥有巨大的推广潜力。

2.3 田间张力计读数的动态变化

2005-01-01~2005-06-19,张力计读数变化见图 2。从图 2 可以看出,20 cm 和 50 cm 不同深度的张力计的读数变化趋势基本一致,其读数上升一段时间后突然降低,接着又逐渐升高,过一段时间到达最高点后又突然降低,如此反复变化,而且每次反复所用的时间不同,前期所用的时间长,后期所用的时间短。张力计读数的这种变化趋势与土壤水分变化趋势基本一致,灌水前土壤含水量相对较低,张力计读数最大;灌溉后土壤含水量增加,其读数减小,灌水量充足时,读数减小为零。从前一次灌溉到下一次灌溉这段时间,张力计读数随着水分含量的减少而逐渐增大。前期张力计读数回落所需时间较长,后期所需时间逐渐缩短,其原因是前期温度低,植物需水少,蒸发和蒸腾作用弱,而且灌水会降低棚温,灌

水间隔较长;而后期温度逐渐升高,植物需水增加,蒸发和蒸腾作用增强,灌水间隔时间明显缩短。

由图 2 还可以看出,从第 1 天(2005-01-01)到第 152 天(2005-05-31),深埋 50 cm 的张力计读数低于相应时间深埋 20 cm 的张力计读数,其差值在每次灌水前达到最大,随后逐渐减小;第 152 天(2005-05-31)以后,深埋 50 cm 的张力计读数高于相应时间深埋 20 cm 的张力计读数,两者间的差值在每次灌水时最大,随后逐渐减小。这表明随着温度的升

高和番茄根系的伸长,土壤水分受蒸发和蒸腾作用逐渐增强,较深层的水分消耗明显增加,到生长后期,由于蒸发和蒸腾作用很强,使 50 cm 以下土层土壤一直处在水分不饱和状态。分析从第 49 天(2005-02-19)到第 164 天(2005-06-11)张力计读数的变化,可以发现,深埋 50 cm 的张力计在每次灌水前其读数逐渐增大,而深埋 20 cm 的张力计在每次灌水前其读数变化无规律性,表明按照经验决定灌水时间存在一定的偏差。

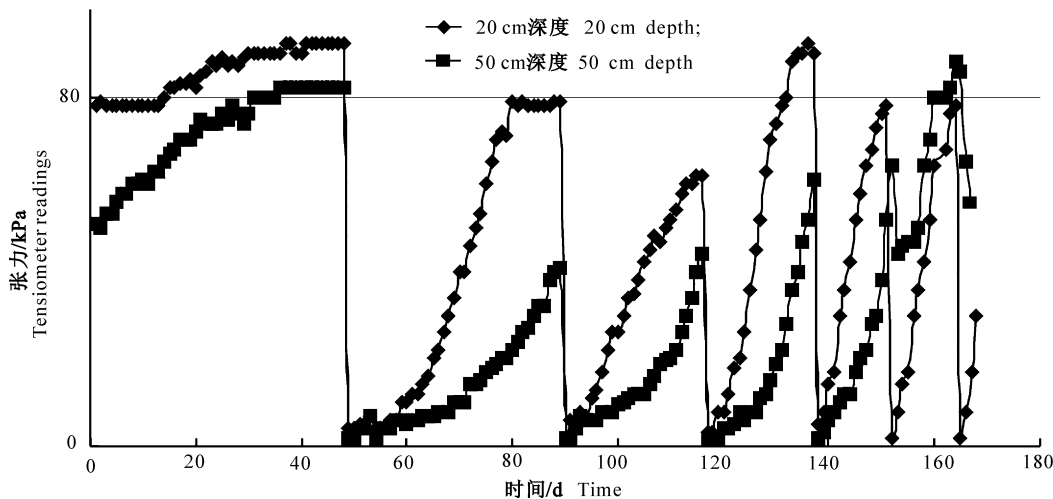


图 2 日光温室番茄生长期间张力计读数的动态变化

Fig. 2 Changes of tensiometer readings during the growth of tomato in sunlight greenhouse

3 讨 论

过量施肥和盲目灌溉,是当前我国不少地区日光温室水肥管理存在的突出问题。刘明池等^[13]对不同品种的大果番茄和樱桃番茄的研究表明,亏缺灌溉条件下,随土壤水分含量的降低,番茄的品质提高,但产量普遍降低。刘海涛等^[14]等研究了不同水分亏缺程度对番茄生长发育、产量和果实品质的影响,结果表明,灌水量 x 与产量 y 的关系为: $y = 0.036x + 247.92 (R^2 = 0.979^{**})$,灌水量减少,产量降低。本研究发现,将施肥量由常规的 $N\ 600\ kg/hm^2$ 、 $P_2O_5\ 600\ kg/hm^2$ 、 $K_2O\ 825\ kg/hm^2$ 调整为 $N\ 450\ kg/hm^2$ 、 $P_2O_5\ 225\ kg/hm^2$ 、 $K_2O\ 225\ kg/hm^2$,水分用量由 $5.21 \times 10^3\ m^3/hm^2$ 调整为 $4.06 \times 10^3\ m^3/hm^2$,水分利用率最高,达 50.3 kg/m³;调整后肥料用量特别是磷、钾肥用量明显降低,水分用量较常规用量减少了 $1.15 \times 10^3\ m^3/hm^2$,但番茄产量没有下降。表明在研究地区推广节水节肥措施,对水、肥的科学合理利用,具有很大的积极作用。

本试验中灌水时间按照菜农的经验进行,用水量用水表控制,同时利用张力计来监测土壤水分变化,寻求合理的水分控制指标,提高了水分管理的条件。从本试验张力计读数可以看出,张力计读数的变化趋势与土壤水分变化趋势基本一致,深埋 20 cm 张力计的读数在每次灌水前较为稳定,为 80 kPa 左右。在实际生产中,是否可将深埋 20 cm 张力计 80 kPa 这一读数作为确定灌水时间的标准,还需进一步试验研究。

水、肥的科学管理是日光温室高效栽培的关键问题,虽然前人对此已经进行了大量研究,但能被生产水平落后的西北地区菜农采用的方法不多。本研究从实际条件出发,采用简单易行的手段,对水肥管理进行了研究,结果显示,在试验区采用节水节肥措施,可以明显减少水肥的用量,节约投入成本,提高经济效益,具有一定的推广价值。

[参考文献]

[1] 韩茂莉. 论西部开发的可持续性进程 [J]. 北京大学学报: 哲学社会科学版, 2003, 40(3): 109-116.
Han M L. On the process of sustainable development of north-

- west China [J]. Journal of Peking University: Philosophy and Social Sciences Edition, 2003, 40(3): 109-116. (in Chinese)
- [2] 耿雷华, 钟华平, 黄永基, 等. 西北地区水资源及生态环境浅析 [J]. 水利水运工程学报, 2003, 3(9): 18-22.
Gen L H, Zhong H P, Huang Y J, et al. Analysis of water resources and ecological environment in Northwest China [J]. Hydro-Science and Engineering, 2003, 3(9): 18-22. (in Chinese)
- [3] 冷家峰, 崔丽英, 肖美丽. 济南市地下水硝酸盐污染研究 [J]. 农村生态环境, 1998, 14(1): 55-57.
Leng J F, Cui L Y, Xiao M L. Study on nitrate pollution in groundwater of Jinan City [J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 1998, 14(1): 55-57. (in Chinese)
- [4] 李晓欣, 胡春胜, 陈素英. 控制灌水对华北高产区土壤硝态氮累积的影响 [J]. 河北农业科学, 2005, 9(3): 6-10. (in Chinese)
Li X X, Hu C S, Chen S Y. Effects of controlled irrigation on nitrate accumulation in north China [J]. Journal of Hebei Agricultural Science, 2005, 9(3): 6-10. (in Chinese)
- [5] 徐福利, 梁银丽, 陈志杰, 等. 延安市日光温室蔬菜施肥现状与环境效应 [J]. 西北植物学报 2003, 23(5): 797-801.
Xu F L, Liang Y L, Chen Z J, et al. The study of fertilizer application and its effect to environment in sunlight greenhouse in Yan'an [J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2003, 23(5): 797-801. (in Chinese)
- [6] 易秀, 薛澄泽. 氮肥在壤土中渗漏污染研究 [J]. 农业环境保护, 1993, 12(6): 250-253.
Yi X, Xue C Z. On determination of nitrogen fertilizer pollution in Lotu soil using lysimetric method [J]. Journal of Agro-Environment Science, 1993, 12(6): 250-253. (in Chinese)
- [7] 张明泉, 高洪宜, 吴克俭. 兰州马滩地 NO_3^- -N 污染环境条件分析 [J]. 环境科学, 1990, 11(5): 79-82.
Zhang M Q, Gao H Y, Wu K J. A Survey on the cause of nitric radical pollution in Matan water-supply, source site of Lanzhou City [J]. Environmental Science, 1990, 11(5): 79-82. (in Chinese)
- [8] 张光星, 王靖华, 薛亚明, 等. 浅析我国蔬菜生产中存在的问题与对策 [J]. 沈阳农业大学学报, 2000, 31(1): 140-143.
Zhang G X, Wang J H, Xue Y M, et al. Problems and counter-measures of protected vegetable production in China [J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2000, 31(1): 140-143. (in Chinese)
- [9] 隋方功, 王运华, 长友诚, 等. 滴灌施肥技术对大棚甜椒产量与土壤硝酸盐的影响 [J]. 华中农业大学学报, 2001, 20(4): 358-362.
Sui F G, Wang Y H, Chang Y C, et al. The effect of fertigation system on yield of sweet pepper (*Capsicum annul.* L) and soil nitrate in greenhouse culture [J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2001, 20(4): 358-362. (in Chinese)
- [10] 李俊良, 朱建华, 张晓晨, 等. 保护地番茄养分利用及土壤氮素淋失 [J]. 应用与环境生物学报, 2001, 7(2): 126-129.
Li J L, Zhu J H, Zhang X S, et al. Nitrate leaching loss from soil and nutrient utilization by tomato in protected field [J]. Chin J Appl Environ Biol, 2001, 7(2): 126-129. (in Chinese)
- [11] 周建斌, 陈竹君. 以色列农业在水肥方面取得的成就与做法 [J]. 干旱地区农业研究, 2002, 20(2): 40-47.
Zhu J B, Chen Z J. Achievements and corresponding measures in efficiently using limited resources of water and soil in Israel's agriculture [J]. Agriculture reseach in the Arid Areas, 2002, 20(2): 40-47. (in Chinese)
- [12] 诸葛玉平, 张玉龙, 李爱峰, 等. 保护地番茄栽培渗灌灌水指标的研究 [J]. 农业工程学报, 2002, 18(2): 53-57.
Zhuge Y P, Zhang Y L, Li A F, et al. Irrigation scheduling of tomato by subsurface irrigation with porous pipe in greenhouse [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2002, 18(2): 53-57. (in Chinese)
- [13] 刘明池, 陈殿奎. 亏缺灌溉对樱桃番茄产量形成和果实品质的影响 [J]. 中国蔬菜, 2002(6): 4-6.
Liu M C, Chen D K. Effect of deficit irrigation on yield and quality of cherry tomato [J]. China vegetable, 2002(6): 4-6. (in Chinese)
- [14] 刘海涛, 齐红艳, 刘洋, 等. 不同水分亏缺程度对番茄生长发育、产量和果实品质的影响 [J]. 沈阳农业大学学报, 2006, 37(3): 414-418.
Liu H T, Qi H Y, Liu Y, et al. Effects of different water deficit levels on the growth and development, yield and quality of tomato [J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2006, 37(3): 414-418. (in Chinese)