

亏缺灌溉及叶面喷锌对番茄产量品质及水分利用效率的影响

姜凤超^{1,2}, 刘孟雨^{1*}, 乔匀周¹, 石磊^{1,2}, 董宝娣¹

(1. 中国科学院遗传与发育生物学研究所农业资源研究中心, 河北 石家庄 050021; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘 要: 通过盆栽试验, 研究了 3 个土壤水分水平(W_1 : 田间持水量的 60%~65%、 W_2 : 75%~80%、 W_3 : 90%~95%)、两个锌溶液水平(Z_0 : 0%、 Z_1 : 0.2%)对番茄生长、果实产量及品质、耗水、水分利用效率的影响。结果表明, 随土壤水分的增加, 番茄株高、植株生物量显著提高, W_3 处理的生物量分别比 W_2 、 W_1 高出 20.8% 和 35.9%, 但果实产量表现为先升高后降低的趋势, 即 $W_2 > W_3 > W_1$ 的变化规律, 过高的土壤水分或土壤干旱使果实产量明显降低; 叶面喷施锌溶液对生物量的影响不明显, 但使 W_1 、 W_2 、 W_3 下的果实产量分别提高 9.4%、9.2% 和 3.1%, 且使果实口味改善、品质提高; 土壤水分的提高使植株的耗水量增加, 却降低了水分利用效率, 水分和喷施锌溶液对以生物量计的水分利用效率影响不显著, 但对以果实产量计和营养成分计的水分利用效率均达到显著程度; W_2Z_1 处理的水分利用效率最高分别为: $WUE_{产量} = 61.62 \text{ kg/m}^3$ 、 $WUE_{Ve} = 9.56 \text{ mg/m}^3$ 、 $WUE_{糖} = 4.7 \text{ g/m}^3$ 。

关键词: 番茄; 锌; 亏缺灌溉; 品质; 产量; 水分利用效率

中图分类号: S641.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2009)03-0060-06

随着社会经济的发展和人们生活水平的提高, 番茄品质越来越受到人们的关注, 对园艺产品的需求已经从数量型向质量型转变^[1]。在保证蔬菜品质提高的同时, 使产量达到种植者能够接受的范围内, 是开展蔬菜作物节水灌溉研究的关键, 因此开发新的生产模式, 来提高园艺产品的品质, 是亟需解决的问题。灌水增加了作物的产量, 却降低了果实品质及干物质的含量^[2]。自从亏缺灌溉作为一种新型的灌水方式提出来以后, 国内外较多的学者进行了大量的试验研究。在国外, 较多地报道了亏缺灌溉对果树生长和果实品质的影响^[3~5]。在国内, 对梨、棉花、大果番茄及樱桃番茄等作物的亏缺灌溉研究表明^[6~9], 亏缺灌溉可以提高作物水分生产效率改善产品品质, 但番茄产量普遍降低。肥料和水分是影响园艺产品质量和品质的主要因素^[8], 但对番茄产量品质和水分利用效率的研究中, 大部分学者主要研究水分因素, 却鲜见与肥料因素相结合, 尤其是与微量元素锌相结合的较少。为此, 本试验通过盆栽方式, 研究了在亏缺灌溉条件及叶面喷施微量元素锌对番茄的生理指标、产量品质以及水分利用效

率的影响, 以期番茄节水高产生生产模式的实施提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验于 2007 年 11 月~2008 年 5 月在中国科学院栾城农业生态系统试验站的日光温室内进行, 盆栽土壤取自于大田 20 cm 耕层土壤, 质地为潮褐土。试验土壤理化性质如下: 土壤田间持水量为 23.7%, 全氮 12.9 g/kg, 速效氮 59 mg/kg, 速效磷 31.1 mg/kg, 速效钾 76 mg/kg, 锌 51.13 mg/kg, 供试作物为番茄, 品种为鲁比, 移栽时番茄苗龄 65 d。

1.2 试验设计

试验用盆直径 30 cm, 高度为 35 cm, 装土后土层高 30 cm, 每盆装土壤 12 kg。番茄定植缓苗后 10 d 开始控水, 按土壤相对含水量 (占田间持水量) 不同设 3 个水平, 分别为田间持水量的 60%~65% (W_1)、75%~80% (W_2)、90%~95% (W_3), 分别简称缺水、适量、过量; 2 个锌溶液水平 0% (Z_0)、0.2% (Z_1), 试验过程中叶面喷锌两次, 分别为缓苗后及初

收稿日期: 2008-11-25

基金项目: 中国科学院创新方向性项目“北方粮食主产区水资源调控机理和模式”(KSCX2-YW-N-004); 国家 863“华北半干旱区现代节水农业技术研究与集成”(2006AA100221); 中国科学院创新方向性项目“首都圈安全生产技术体系研究与示范”(KSCX2-YW-N-042-01)

作者简介: 姜凤超 (1982-), 男, 河北衡水人, 硕士, 主要从事植物生理生态和生物节水研究。

*** 通讯作者:** 刘孟雨 (1962-), 男, 河北深泽人, 教授, 博士, 博士生导师, 主要从事作物水分生理生态研究。E-mail: mengyuliu@ms.sjziam.ac.cn。

花期。详细处理如表 1 所示。以称重法控制土壤水分。每处理重复 5 次,共 30 盆。

番茄于 2007 年 11 月 12 号定植,缓苗后于 12 月 16 号开始控水,2008 年 4 月 8 号开始采摘,5 月 30 日试验结束。番茄定植前将土壤进行风干过筛处理,将风干土按照等重量装入供试盆中。定植前将磷酸二铵 400 kg/hm² 与土壤均匀混合装盆。各处理施用肥料种类、数量相同。

表 1 处理编号及试验方案

Table 1 The codes and experimental design

处理 Treatment	水分处理(%) Water treatment	锌浓度(%) Zn concentration	喷锌时间 Time of spraying Zn
W ₁ Z ₀	60~65	0	苗期、初花期 Seedling and initial flowering.
W ₁ Z ₁		0.2	苗期、初花期 Seedling and early flowering.
W ₂ Z ₀	75~85	0	苗期、初花期 Seedling and early flowering.
W ₂ Z ₁		0.2	苗期、初花期 Seedling and early flowering.
W ₃ Z ₀	90~95	0	苗期、初花期 Seedling and early flowering.
W ₃ Z ₁		0.2	苗期、初花期 Seedling and early flowering.

1.3 取样方法及测定项目

1.3.1 水分控制方法 用称重法监控土壤水分,当土壤含水量达到设计下限值时对番茄进行灌水,灌至土壤水分上限值。试验进行过程中,根据番茄植株生长大小,选定与试验植株相似的株苗进行称重,加入到盆内,据此调整计算灌水量。

1.3.2 生物量的测定 烘干法:将鲜样样品放入大培养皿称重并记录,置于鼓风烘箱中 105℃ 下杀青,然后在鼓风烘箱中 80℃ 下烘干,48 h 后取出称重,计算干物质含量。

1.3.3 品质的测定 番茄进入成熟期后采摘成熟果实,每个处理均选第三穗果做品质测定。选取番茄测定的平均样品时,按照不同类型样品的比例取样,纵切剖开后各切取相同的比例,混合在一起组成平均样品。

维生素 C(Vc)的测定:钼蓝比色法^[10];可溶性总糖的测定:蒽酮比色法^[10];可溶性蛋白质含量的测定:考马斯亮蓝 G-250 法^[10];有机酸的测定:滴定法^[10]。

1.3.4 全生育期耗水量 全生育期耗水:记录每次灌水量 m₁、m₂、m₃、……,测定幼苗移植前、试验结束后土壤水分的变化 Δm,植株耗水量=m₁+m₂+m₃……+Δm。

1.3.5 水分利用效率的计算:

$$WUE_{\text{生物量}} = \text{生物量干重(kg)} / \text{耗水量(m}^3\text{)};$$
$$WUE_{\text{产量}} = \text{番茄产量(kg)} / \text{耗水量(m}^3\text{)};$$
$$WUE_{\text{营养成分}} = \text{番茄营养成分质量(g)} / \text{耗水量(m}^3\text{)};$$

1.3.6 实验数据 用 Excel2003 进行整理,用 SPSS 软件进行方差分析和多重比较。

2 结果与分析

2.1 水分和锌对番茄生物量的影响

不同处理间番茄株高、根干重、叶干重、地上部干重及总生物量的差别主要是由水分条件的差异造成的,而喷锌没有显著影响(表 2)。随着灌水量的增加,根干重先减少后增加,而叶干重和地上部干重则呈一直增加趋势。喷锌有增加叶干重和地上部分干重的趋势,在 W₂ 水分条件下喷锌效果最明显,分别使叶干重和地上部分干重提高 8.4% 和 11.0%。在喷锌条件下, W₃ 处理的生物量分别较 W₂、W₁ 提高 17.8% 和 37.6%。

表 2 不同土壤水分和锌对番茄株高、生物量等指标影响

Table 2 Effects of different treatment on plant height and biomass of tomato

处理 Treatment	株高(cm) Plant height	根干重(g) Root dry weight	茎干重(g) Stem dry weight	叶干重(g) Leaf dry weight	生物量(g) Biomass
W ₁ Z ₀	83.6 _c	2.61 _b	7.15 _{ab}	15.23 _d	24.97 _c
W ₁ Z ₁	82.6 _c	2.83 _b	5.54 _b	16.31 _{cd}	24.68 _c
W ₂ Z ₀	107.2 _b	2.36 _b	5.47 _b	16.71 _{cd}	26.11 _c
W ₂ Z ₁	105.4 _b	2.47 _b	8.25 _{ab}	18.11 _{bc}	28.84 _{bc}
W ₃ Z ₀	140.4 _a	4.05 _{2a}	8.52 _{ab}	19.83 _{ab}	32.40 _{ab}
W ₃ Z ₁	138.6 _a	3.58 _a	9.50 _a	20.90 _a	33.98 _a

注:不同字母表示差异达 5% 水平。 Note: Different letters mean significant difference at 5%.

2.2 水分和锌对番茄产量的影响

土壤水分增加虽然显著提高了植株生物量,但W₂水分处理产量最高,过多的灌水和土壤水分亏缺降低了果实产量(图 1)。喷锌使果实产量提高,在W₁、W₂、W₃水平下,喷锌分别使果实增产9.4%、9.2%、3.1%。综合各处理来看,适量灌水且喷锌产量最高,是番茄生产中的较佳选择。

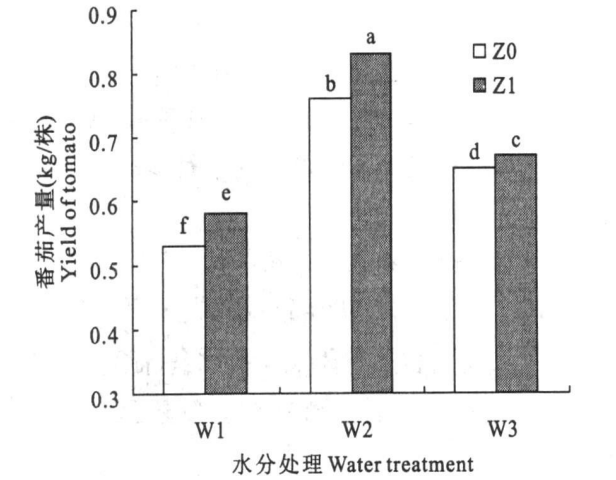


图 1 不同土壤水分条件下锌对番茄产量的影响
Fig.1 Effects of Zn on the yield of tomato under different soil water conditions

2.3 水分和锌对番茄果实品质的影响

Vc 含量是鉴别果蔬品质的重要指标之一。从表 3 可以看出,水分条件对番茄果实中 Vc 含量影响达到显著程度,且随灌水量的增加 Vc 含量降低。喷锌均不同程度地提高了番茄果实中 Vc 含量,但在 W₂ 适宜水分条件下提高最显著为 2.8%。

可溶性糖和有机酸是形成番茄果实风味的主要物质,其含量的变化规律与 Vc 基本相似(表 3),且喷锌对番茄果实中糖含量影响达到极显著水平,在 W₂ 适宜水分条件下使糖含量提高幅度为 7.6%。番茄果实中有机酸含量受喷锌影响不明显。糖酸比被认为是衡量番茄果实品质的主要指标,随着水分的增加糖酸比不断降低。水分条件相同时喷锌可以显著提高糖酸比,从而提高番茄果实的品质。

番茄果实中可溶性蛋白质的含量以 W₂ 最高,土壤水分过多、干旱均使之降低。

水分和锌对番茄品质均有比较显著影响,但二者的交互作用却没有达到显著程度(表 4)。喷锌对番茄可溶性糖和糖酸比影响均达到极显著程度,表明喷锌可以明显改善番茄果实的口味,提高番茄的商品价值。

表 3 土壤水分和锌对番茄果实品质的影响

Table 3 Effects of Zn and different soil water on quality of tomato

处理 Treatment	Vc 含量 Vc content (mg/100g)	可溶性糖 Soluble sugar (g/100g)	有机酸 Organic acid (g/100g)	糖酸比 Sugar-acid ratio	可溶性蛋白质 Soluble protein (mg/g)
W ₁ Z ₀	32.76 _a	7.74 _b	0.93 _a	8.32 _{bc}	1.26 _c
W ₁ Z ₁	33.00 _a	8.07 _a	0.94 _a	8.61 _{ab}	1.24 _c
W ₂ Z ₀	30.87 _c	7.09 _c	0.88 _b	8.04 _{bc}	1.49 _a
W ₂ Z ₁	31.75 _b	7.63 _b	0.85 _b	8.98 _a	1.49 _a
W ₃ Z ₀	29.68 _d	6.81 _d	0.87 _b	7.83 _c	1.34 _b
W ₃ Z ₁	30.36 _{cd}	7.14 _c	0.87 _b	8.17 _{bc}	1.35 _b

注:不同字母表示差异达 5%水平;表中 Vc、可溶性糖、有机酸含量均在鲜重下测定。
Note: Different letters mean significant difference at 5%; Table Vc, Soluble sugar, Organic acid were measured in fresh weight.

表 4 不同土壤水分和锌水平下维生素 C、可溶性糖、有机酸、糖酸比及可溶性蛋白质的方差分析结果

Table 4 Two-way ANOVA results of the effects of different soil water and Zn levels on Vc, soluble sugar, organic acid, sugar-acid ratio and soluble protein

处理 Treatment	维生素 C Vitamin C	可溶性糖 Soluble sugar	有机酸 Organic acid	糖酸比 Sugar-acid ratio	可溶性蛋白质 Soluble protein
Water	54.38 ^{**}	108.82 ^{**}	12.00 ^{**}	4.05 ^{ns}	563.202 ^{**}
Zn	7.08 [*]	60.52 ^{**}	0.31 ^{ns}	10.64 ^{**}	0.001 ^{ns}
W×Zn	0.70 ^{ns}	1.83 ^{ns}	0.944 ^{ns}	1.65 ^{ns}	1.530 ^{ns}

注: * 表示在 5% 水平差异显著, ** 表示在 1% 水平差异显著, ns 表示不显著。
Note: * means significant difference at 5%, ** means significant difference at 1%, and ns means no difference.

综上可知,番茄果实中 Vc 含量、可溶性糖及有机酸含量与土壤含水量呈负相关,随灌水量的增加

而降低。表明水分对 Vc 含量、可溶性糖及有机酸含量的影响起着主导作用, 而叶面喷锌则起到一定的调节作用。番茄叶面喷锌可明显地改善果实品质, 增强口感, 生产中可进行叶面喷锌处理, 既保证

产量, 又可提高番茄果实品质。
2.4 水分和锌对番茄耗水、水分利用效率的影响
从表 5 可以看出, 番茄全生育期耗水量 $W_1 < W_2 < W_3$, 叶面喷锌对番茄全生育期耗水量影响不大。

表 5 番茄全生育期耗水量
Table 5 The whole growth period water of tomato

处理 Treatment	种植时土壤含水量 Water content before planting (%)	生育期内灌水量 Irrigation amount in growth period (L)	收获时土壤含水量 Water content at harvest (%)	总耗水量 Total water consumption (L)
W ₁ Z ₀	8.3	12.824	12.5	12.32
W ₁ Z ₁	8.3	12.792	12.4	12.30
W ₂ Z ₀	8.3	14.246	15.1	13.43
W ₂ Z ₁	8.3	14.250	15.3	13.41
W ₃ Z ₀	8.3	17.900	17.3	16.82
W ₃ Z ₁	8.3	17.914	17.5	16.81

水分与叶面喷锌对番茄生物量水分利用效率的影响均未达到显著程度(图 2)。生物量水分利用效率随灌水量的增加呈先升高后降低的趋势, 以 W₂ 水平为最高为 2.05 kg/m³。喷锌有提高番茄生物量的水分利用效率的趋势, 在 W₂ 条件下表现尤为明显, 使生物量的水分利用效率提高 9.7%。
不同灌水水平和锌对番茄产量水分利用效率均有显著影响(图 3)。过低或过高土壤水分均使产量

水分利用效率降低, 且过高土壤水分的负作用更加明显。喷锌提高了产量水分利用效率, 在 W₁、W₂、W₃ 条件下分别提高了 10.1%、9.2%和 4.3%。不同处理间以适量灌水(W₂)且叶面喷锌水分利用效率最高, 达 61.62 kg/m³。从节约农业用水的角度出发, 适量灌水且叶面喷锌处理仍是农业生产中最理想选择之一。

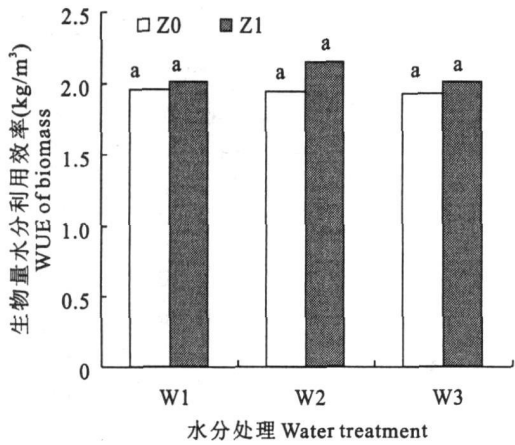


图 2 番茄不同水分施锌条件下生物量水分利用效率
Fig.2 Effects of Zn under different soil water conditions on WUE of tomato biomass

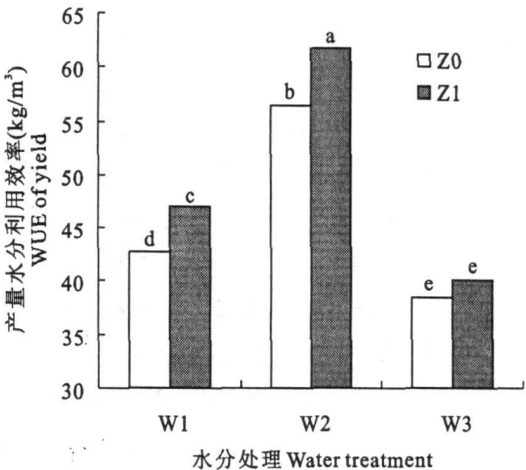


图 3 番茄不同水分施锌条件下产量的水分利用效率
Fig.3 Effects of Zn on WUE of tomato yield under different soil water conditions

果实中的有效营养成分是果实产量与品质的核心。以植株单位耗水所生产的营养成分来衡量其对水分的利用效率, 结果见图 4、图 5。水分和叶面喷锌对番茄果实中 Vc 和糖的水分利用效率均达到显著水平, 过低或过高的土壤水分均使 Vc 和糖的水

分利用效率降低, 且过高土壤水分的负效应更大。水分条件相同时, 喷锌均可提高 Vc 和糖的水分利用效率, 以适量水分时提高最多分别为 13.3%、17.4%, 过量水分处理 Vc 和糖的水分利用效率降低最多分别为 6.9%、9.5%。因此, 从营养价值和节

水角度考虑, 适量灌水且喷锌处理是农业生产中最

理想的选择。

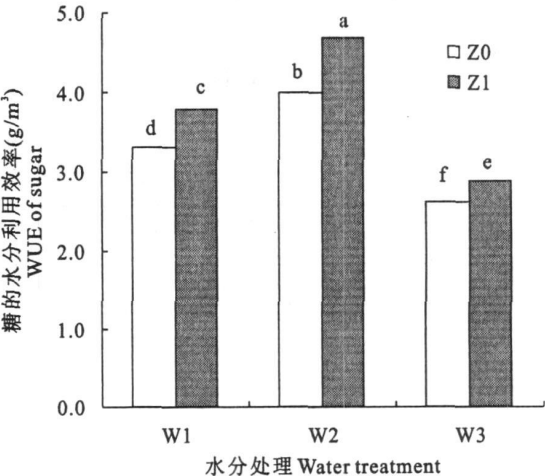
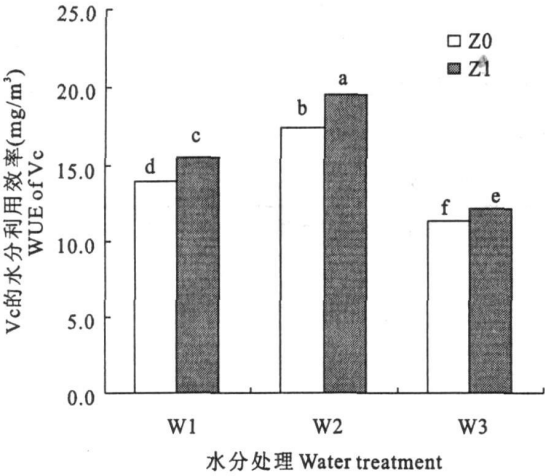


图 4 番茄不同水分施锌条件下 Vc 的水分利用效率

图 5 番茄不同水分施锌条件下糖的水分利用效率

Fig.4 Effects of Zn on WUE of Vc under soil different water conditions

Fig.5 Effects of Zn on WUE of soluble sugar under different soil water conditions

3 讨 论

水分是作物生长发育的必需条件, 过多或过少的土壤水分将会造成作物生长的逆境^[11]。在蔬菜生产中, 人们往往担心土壤水分不足, 常常大量多次灌溉。本试验结果表明, 过多的土壤水分促进了番茄生物量的增加, 反而显著降低了果实产量和水分利用效率, 表明过多的土壤水分使光合产物增加的部分转化成对生物量的积累, 而对产量的贡献较小, 过量灌水并未使产量提高反而降低, 所以过量灌溉造成水资源浪费, 这正是节水的潜力所在。

目前, 我国蔬菜生产已由注重数量保障供给向优质高产方向发展。本试验通过控制灌水量与叶面喷锌对番茄果实品质进行研究, 结果表明减少灌水量及叶面喷锌可以提高番茄果实品质, 但产量会有所降低。能否找到一个产量和品质的平衡点, 这个点的产量在种植者能够接受的范围内, 而果实品质又不会有明显降低。从图 6 可以看出, 在 W₁Z₁ 和 W₃Z₀ 之间有两个交叉点, 在这两点之间, 产量与品质均随灌水量的增加有升高的趋势, 因此从实际生产和节水角度考虑 W₂Z₁ 这个点附近是最佳选择, 该点可以平衡产量和品质之间的矛盾, 既保证了产量又未明显降低果实品质, 因此不失为一种新的番茄生产种植模式。

锌是作物生长发育必需的微量元素, 对作物的生长发育起着重要的生理作用。锌决定并影响着数十种酶的活性, 在某些酶系统中 Zn 在酶和基质之间搭桥, 使之结合并形成特定结构, 从而影响作物的某些生理功能^[12]; 锌是叶绿体的组成成分之一, 对叶绿素的形成和功能起着重要的作用^[12]; 锌参与作物生长素的代谢, 影响生长素的合成^[13]。在本试验中, 可以看到喷锌使番茄的叶干重、Vc、糖、糖酸比提高, 可能是由于锌可以提高叶绿体的含量, 从而可以产生更多的光合产物, 而同时锌促进生长素的合成及提高了某些与 Zn 相关的酶系统的活性, 使光合产物迅速分配到相应器官中, 因而增加了生物量和产量及 Vc、糖、蛋白质等营养成分的含量。叶面喷锌提高了番茄生物量、产量及营养成分的水分利用效率, 因此, 在水资源日益紧缺的今天, 从灌溉和作物自身调节等角度进行生物节水的尝试具有重要的现实意义。

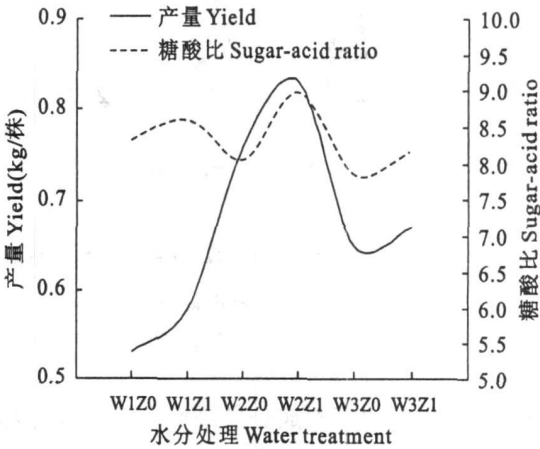


图 6 不同处理产量和品质的趋势图

Fig.6 Trend chart of yield and quality in different treatments

4 结 论

- 1) 随土壤水分增加番茄产量呈抛物线形式变化, 过高土壤水分含量并未获得最高产量, 喷锌有增产效果并在适宜水分时增加最明显。
- 2) 随土壤水分增加番茄品质降低, 叶面喷锌可显著提高品质。
- 3) 随土壤水分增加番茄产量、Vc、糖的水分利用效率均呈先升高后降低的趋势, 叶面喷锌可提高水分利用效率, 且在适宜土壤水分时提高最明显。

致谢:感谢中国科学院栾城农业生态系统试验站提供支持。

参 考 文 献:

[1] 谭其猛. 蔬菜育种[M]. 北京: 中国农业出版社, 1984, 169—180.
[2] 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.
[3] Wery J. Differential effects of soil water deficit on the basic plant functions and their significance to analyse crop responses to water deficit in indeterminate plants[J]. Australian Journal of Agricultural Research, 2005, 56(11): 1201—1209.

[4] Intriglio D S, Caatel J R. Effects of regulated deficit irrigation on growth and yield of young Japanese plum trees[J]. Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 2005, 80(2): 177—182.
[5] Goldhamer D A, Viveros M, Salinas M. Regulated deficit in almonds: Effects of variations in applied water and stress timing on yield and yield components[J]. Irrigation Science, 2006, 24(2): 101—114.
[6] 马福生, 康绍忠, 王密侠, 等. 调亏灌溉对温室梨枣树水分利用效率与枣品质的影响[J]. 农业工程学报, 2006, 22(1): 37—43.
[7] 齐红岩, 李天来, 曲春秋, 等. 亏缺灌溉对设施栽培番茄物质分配及果实品质的影响[J]. 中国蔬菜, 2004, (2): 4—7.
[8] 史文娟, 康绍忠, 宋孝玉. 棉花调亏灌溉的生理基础研究[J]. 干旱地区农业研究, 2004, 22(3): 91—95.
[9] Phene C J, Hutmacher R B, Davis K R, et al. Water-fertilizer management of processing tomatoes [J]. Acta Horticulture, 1990, 277: 137—193.
[10] 高俊凤, 孙 群, 梁宗锁, 等. 植物生理学实验技术[M]. 西安: 世界图书出版公司, 2000.
[11] 董宝娣, 张正斌, 刘孟雨, 等. 小麦不同品种的水分利用特性及对灌溉制度的影响[J]. 农业工程学报, 2007, 23(9): 27—33.
[12] 王富芳, 李 路, 刘尚义. 作物必需微量元素及其生理功能[J]. 作物杂志, 1994, (4): 34—36.
[13] 张贵常. 锌对番茄叶绿体显微结构的影响与光的关系[J]. 实验生物学报, 1984, 17(2): 491—495.

Effects of deficit irrigation and Zn on yield, quality and WUE of tomato

JIANG Feng-chao^{1,2}, LIU Meng-yu¹, QIAO Yun-zhou¹, SHI Lei^{1,2}, DONG Bao-di¹

(1. Center for Agricultural Resources Research, Institute of Genetics and Developmental Biology, CAS, Shijiazhuang, Hebei 050021, China; 2. Graduate University of CAS, Beijing 100049, China)

Abstract: With pot experiment, the effects of different soil water levels [60%~65%(W₁), 75%~80%(W₂), 90%~95%(W₃) of field moisture capacity] and two Zn solutions [0%(Z₀), 0.2%(Z₁)] on the growth, yield, quality, water consumption and WUE of tomato fruit were studied. The results indicated that the plant height and biomass increased obviously with the increase of soil water, that is the biomass of W₃ treatment was 20.8% and 35.9% higher than W₂ and W₁, but the changes of fruit yield performed for the first rise after the lower trend, that was W₂>W₃>W₁. Fruit yield decreased significantly with excessive soil water or soil drought. There was no significant difference in biomass with spraying Zn on leaves. However, the fruit yield of W₁, W₂ and W₃ increased by 9.4%, 9.2% and 3.1%, and the taste and quality of fruit improved. The improvement of soil moisture to the plants increased water consumption, but WUE declined. There was no significant difference at WUE of biomass level with soil water and spraying Zn on leaves, but significant difference at WUE of fruit yield and nutritional components level. W₂Z₁ was the best treatment with high WUE of fruit, with WUE_{yield}=61.62 kg/m³, WUE_{Vc}=9.56 mg/m³, and WUE_{sugar}=4.7 g/m³.

Keywords: tomato; Zn; deficit irrigation; quality; yield; WUE