

供水吸力对温室盆栽黄瓜产量与品质的影响

李 邵^{1,2}, 薛绪掌^{1,*}, 郭文善², 张伟娟¹, 张 敏¹, 陈 菲¹

(¹ 国家农业智能装备工程技术研究中心, 北京 100097; ² 扬州大学江苏省作物遗传生理重点实验室, 江苏扬州 225009)

摘 要: 采用负水头供水控水盆栽装置, 通过设定不同的供水吸力 (1、3、5、7、9、11 和 13 kPa) 稳定控制温室盆栽黄瓜的土壤水分值, 研究其对黄瓜产量与品质的影响。结果表明: 黄瓜单株产量、水分利用效率与商品率都随着供水吸力的增加先增加后减少, 单株产量和商品率分别在 3~9 kPa 和 3~5 kPa 处理内达到最高; 但 3~13 kPa 处理内水分利用效率无显著差异。不同处理的果实含水量和比质量无显著差异, 除 1 kPa 处理的果实长、单果质量和果皮总色素含量显著较低外, 其它各处理差异不显著。3~5 kPa 处理的果实单宁含量显著高于 7~13 kPa 处理, 但可溶性固形物、维生素 C 含量显著低于 7~13 kPa 处理, 3~7 kPa 处理范围的果实硝酸盐含量显著低于 9~13 kPa 处理。综合分析, 3~7 kPa 供水吸力范围内的黄瓜单株产量与整体品质较高, 对应的土壤体积含水量范围为 55%~81%。

关键词: 黄瓜; 负水头控水; 产量; 品质; 水分利用效率

中图分类号: S 642.2

文献标识码: A

文章编号: 0513-353X (2010) 08-1339-06

Influence of Water Supply Tension on Yield and Quality of Potted Cucumber in Greenhouse

LI Shao^{1,2}, XUE Xu-zhang^{1,*}, GUO Wen-shan², ZHANG Wei-juan¹, ZHANG Min¹, and CHEN Fei¹

(¹ National Engineering Research Center for Intelligent Agricultural Equipment, Beijing 100097, China; ² Key Laboratory of Crop Genetics and Physiology of Jiangsu Province, Yangzhou University, Yangzhou, Jiangsu 225009, China)

Abstract: A negative pressure water supplying and controlling pot device was used to control different soil water contents by setting the water supply tensions (WST) of the devices at different values. Yield and quality of potted cucumber fruit in greenhouse were study under seven WST, i.e., 1, 3, 5, 7, 9, 11 and 13 kPa. The results showed that yield, WUE and marketable rate of fruit had a parabola change tendency under seven treatments, the maximum yield and marketable rate of fruit value appeared in 3–9 kPa and 3–5 kPa separately, but plant WUE in 3–13 kPa had no differences. There were no significantly differences in water content and specific gravity of fruit among the seven treatments, and also the fruit length, mean fruit weight and total pigment content of peel except 1 kPa, which was significantly lower than other treatments. Tannin content within 3–5 kPa treatments were significantly bigger than 7–13 kPa treatments. Soluble solids and vitamin C content of fruits were significantly lower. Nitrate content of cucumber fruits within 3–7 kPa treatments were significantly lower than 9–13 kPa treatments. The above results indicated that range of 3–7 kPa water supply tension when soil relatively water content

收稿日期: 2010-05-05; 修回日期: 2010-07-21

基金项目: 国家 '863' 项目 (2010AA10A301); 北京市农业科技示范推广项目; 扬州大学研究生培养创新工程项目

* 通信作者 Author for correspondence (E-mail: xuexz@nercita.org.cn)

within 55% – 81% were more suitable for the enhancement of fruit yield and quality in cucumber.

Key words : cucumber ; negative pressure water control ; yield ; quality ; WUE

国内外研究发现, 黄瓜产量随着灌水量的增加而增加, 但水分利用效率与品质呈抛物线变化趋势 (王新元等, 1999; 韩建会等, 2000; 张宪法等, 2002; Mao et al., 2003); 而在黄瓜开花期和初瓜期保持 80% ~ 90% 田间持水量, 盛瓜期保持 90% ~ 100% 田间持水量和生育后期降至 70% ~ 80% 田间持水量的土壤水分处理, 能同时实现最高产量和最大水分利用效率 (何华等, 2003)。还有研究表明, 90% 的田间持水量灌溉上限有利于黄瓜产量、水分利用效率以及果实营养品质的提高 (邹志荣等, 2005; 常莉飞和邹志荣, 2007)。然而, 这些研究中的土壤水分控制大多为常规浇灌方式, 土壤水分都会经历一个干湿交替的过程, 从而会影响水分控制的精确性和改变土壤的松紧度等, 对试验结果会造成一定的影响。

本试验采用一种负水头供水控水盆栽装置进行土壤含水量的精确控制, 其主要利用土壤的吸力与灌溉装置的负水头值呈一定对应关系的原理, 而负水头值我们将其表述为灌溉装置的供水吸力值, 通过调节装置的供水吸力值就可以稳定地控制土壤不同的含水量, 避免了土壤的干湿交替。恒定的土壤含水量对作物生长的影响研究还未见报道, 前人已利用此装置研究了不同供水吸力对温室苗期小麦、黄瓜、菜豆和观赏辣椒等作物生长发育的影响 (万克江, 2005; 耿伟等, 2006; 邹朝望, 2007; 李邵等, 2008a), 但缺乏对不同供水吸力下作物品质的研究。

本试验中利用负水头供水控水盆栽装置, 研究不同供水吸力对温室黄瓜产量和品质的影响, 以期对温室黄瓜水分量化管理以及负水头供水控水盆栽装置的推广提供理论与实践依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料与处理

试验于 2008 年 2—7 月在北京市农林科学院日光温室内进行。试验盆钵规格为高 30 cm, 内径 30 cm 的 PVC 圆桶。盆栽用土为院内试验田表层褐土, 容重为 $1.3 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$, 过 50 目筛, 每盆装土 15 kg, 施入腐熟鸡粪 500 g、过磷酸钙 3 g、尿素 3 g 作为基肥, 在开花期, 盛果期分别追施尿素 0.5 g、硫酸钾 1 g、磷酸氢二铵 1 g。采用负水头供水控水盆栽装置 (邹朝望, 2007; 李邵等, 2008b), 设 1、3、5、7、9、11 和 13 kPa 共 7 个供水吸力值处理来控制不同的土壤含水量, 每处理 4 次重复。试验黄瓜品种为“津春 4 号”, 2 月 21 日育苗, 3 月 12 日定植, 每盆 1 株。黄瓜幼苗定植前即按设定的供水吸力值供水。黄瓜采收时间为 4 月 28 日—6 月 13 日。

1.2 试验取样与指标测定

土壤含水量用烘干法测定。每天 9:00 读取试验装置储水管内的水位高度, 累积法计算黄瓜全生育期耗水量。记录黄瓜采收期内收获总瓜条数和质量, 测定单果质量与水分利用效率。用直尺测量瓜条长度, 游标卡尺测量瓜条直径, 烘干法测定果实含水量, 排水法测定果实比质量; 瓜条商品率根据“商品瓜条数/总瓜条数 $\times 100$ ”计算。

所有用来测定品质指标的样品均为采收盛期 (5 月 15—25 日) 的果实。沿果实纵向削下宽 1 cm、厚 0.2 cm 左右的表皮, 采用 95% 乙醇与 80% 丙酮按 1:1 混合提取法 (沈伟其, 1988) 测定果皮的叶绿素和类胡萝卜素含量, 并计算总色素含量。另取整根黄瓜果实捣碎混匀供品质指标测定用; 果实单宁含量采用高锰酸钾滴定法测定; 硝酸盐含量采用沸水浸提、紫外分光光度法测定; 维生素 C

采用 2, 6-二氯酚靛酚滴定法测定；可溶性固形物采用 ATAGO-P32 手持折射仪测定；有机酸采用碱滴定法测定。各处理样品平行重复测定 2 次，取平均值。

采用 Excel 2003 和 DPS V7.55 软件进行试验数据统计分析与作图。

2 结果与分析

2.1 不同供水吸力下的土壤含水量变化

选取装置运行稳定后的一天(3月10日),测定各处理 20 cm 深的土壤质量含水量(图 1)。可知,随着供水吸力增大,土壤含水量逐渐减少,土壤含水量与供水吸力值成反比关系。供水吸力控制在 1 ~ 13 kPa 的土壤含水量范围为 42.32% ~ 14.23%,对应的土壤体积含水量范围为 100% ~ 34%。

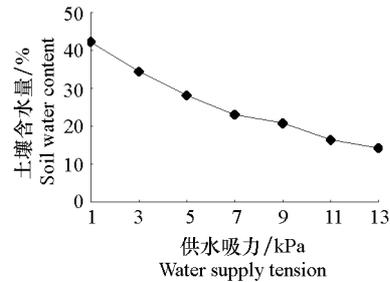


图 1 不同供水吸力处理土壤含水量的变化

Fig. 1 Variation of soil water content under different water supply tension

2.2 不同供水吸力对黄瓜产量和水分利用效率的影响

产量与水分利用效率是决定设施黄瓜经济效益的重要指标。不同供水吸力处理下的黄瓜单株产量呈先增加后减少的变化趋势(图 2), 3 ~ 9 kPa 处理较高, 1 kPa 处理为最低。水分利用效率在 1 kPa 处理下最低, 为 $6.36 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, 3 ~ 13 kPa 处理的水分利用效率明显提高, 但差异不显著。试验结果表明土壤水分的减少对黄瓜水分利用效率的影响较小, 但对产量影响显著。

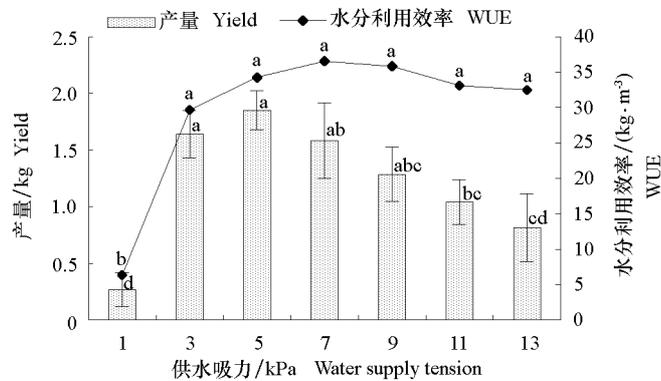


图 2 不同供水吸力对黄瓜产量与水分利用效率的影响

不同小写字母表示相同测定指标在 $P < 0.05$ 水平上显著。下同。

Fig. 2 Effects on yield and WUE of cucumber under different water supply tension

Different small letters represent statistic significance at level of 0.05.

The same below.

2.3 不同供水吸力对黄瓜形态与品质指标的影响

2.3.1 果实形态 由表 1 可见, 不同供水吸力处理黄瓜果实的含水量和比质量无显著差异。1 kPa 处理的果实长和直径、单果质量、果实商品率、果皮光合色素含量都低于其它处理; 而 3 ~ 13 kPa 处理范围的果实长和直径、单果质量的差异不显著; 5 kPa 和 3 kPa 处理的果实商品率较高; 各处理的果皮光合色素含量总体表现 5 ~ 13 kPa 处理高于 1 ~ 3 kPa 处理。

表 1 不同供水吸力对果实形态指标与商品率的影响

Table 1 Effects of different water supply tension on fruits morphological indexes and marketable fruit rate

供水吸力/ kPa Water supply tension	果长/cm Fruit length	直径/mm Diameter	单果质量/g Mean fruit weight	含水量/% Water content	比质量/ (g·cm ⁻³) Specific gravity	商品率/% Fruits marketable rate	果皮光合色素 含量/(mg·g ⁻¹) Peel total pigment content
1	24.88 ± 4.52b	30.14 ± 2.96bc	125.71 ± 38.82b	96.34 ± 0.37a	0.99 ± 0.08a	8.3e	34.81 ± 4.08c
3	31.91 ± 2.88a	33.72 ± 2.68a	165.14 ± 29.68ab	96.58 ± 0.54a	0.92 ± 0.10a	82.7a	36.01 ± 2.94bc
5	33.35 ± 2.88a	33.68 ± 3.12ab	176.51 ± 12.76ab	96.27 ± 0.17a	0.94 ± 0.02a	88.3a	45.79 ± 0.18a
7	33.52 ± 3.18a	33.49 ± 3.82abc	173.81 ± 15.31ab	96.34 ± 0.58a	0.90 ± 0.05a	70.6ab	44.31 ± 0.47a
9	34.61 ± 4.55a	31.34 ± 3.60abc	173.68 ± 17.50ab	96.12 ± 0.19a	0.98 ± 0.04a	53.9bc	43.18 ± 3.23ab
11	33.41 ± 3.06a	34.07 ± 3.17a	180.68 ± 11.31a	96.11 ± 0.28a	0.95 ± 0.08a	43.2cd	43.61 ± 3.95a
13	31.15 ± 3.86a	32.80 ± 2.55abc	163.69 ± 26.32ab	96.03 ± 0.21a	0.95 ± 0.08a	30.5d	42.67 ± 0.08ab

2.3.2 果实营养品质 单宁的含量与黄瓜涩味程度密切相关(徐坤范等, 2006), 由表 2 可知, 黄瓜果实单宁含量随供水吸力的增加呈逐渐降低的变化趋势, 1~5 kPa 处理的单宁含量显著高于其它处理。表明适当增加供水吸力值即降低土壤含水量能减少黄瓜果实单宁含量, 从而减弱果实的涩味程度; 不同供水吸力处理的黄瓜硝酸盐含量有一定差异(表 2), 1 kPa 处理的最高, 为 309.79 mg·kg⁻¹; 而 3~7 kPa 处理范围的显著低于 1 kPa 和 9~13 kPa 处理。但各处理黄瓜均未超出国家对无公害瓜果类蔬菜硝酸盐 NO₃⁻ 438 mg·kg⁻¹ (GB18406.1-2001) 的安全要求。

各处理果实维生素 C 含量随着供水吸力的增加呈增加的趋势, 9~13 kPa 处理显著较高; 果实可溶性固形物含量在 9 kPa 与 11 kPa 处理下较高, 其它各处理无显著差异; 1 kPa 和 3 kPa 处理的果实有机酸含量显著低于其它处理, 7~13 kPa 处理含量较高。

表 2 不同供水吸力对果实营养品质指标含量的影响

Table 2 Effects of different water supply tension on nutrient quality of cucumber fruits

供水吸力/kPa Water supply tension	单宁/% Tannin content	硝酸盐含量/ (mg·kg ⁻¹) Nitrate content	维生素 C/(mg·kg ⁻¹) Vitamin C	可溶性固形物/% Soluble solids	有机酸/% Organic acid content
1	0.498 ± 0.006a	309.79 ± 32.06a	35.62 ± 2.25c	2.73 ± 0.65b	0.66 ± 0.14b
3	0.484 ± 0.009a	250.76 ± 7.34c	50.67 ± 1.53b	2.75 ± 0.07b	0.79 ± 0.10b
5	0.486 ± 0.011a	247.35 ± 2.36c	50.23 ± 0.95b	2.78 ± 0.05b	1.04 ± 0.13ab
7	0.455 ± 0.012b	253.02 ± 7.30c	53.26 ± 1.37ab	3.20 ± 0.22b	1.31 ± 0.25a
9	0.428 ± 0.004c	296.64 ± 30.54b	56.13 ± 3.48a	3.55 ± 0.19ab	1.31 ± 0.25a
11	0.424 ± 0.003c	276.01 ± 21.05b	57.23 ± 0.86a	4.25 ± 0.25a	1.32 ± 0.10a
13	0.422 ± 0.002c	281.39 ± 19.49b	55.59 ± 1.84a	3.00 ± 0.18b	1.39 ± 0.21a

3 讨论

本试验采用一种负水头供水控水盆栽装置进行水分持续稳定控制, 旨在探讨不同的恒定土壤水分值对黄瓜产量和品质的影响。该装置是基于盘式负压入渗仪的负压控制原理研制而成, 属于一种亚表层滴灌技术, 而目前亚表层滴灌的设备系统和使用技术已经基本成熟(Ayars et al., 1999; Freddie & Todd, 2003)。试验装置利用一透水不透气的陶瓷灌水器与一负水头控制装置相连, 将这种出水均匀的灌水器埋入土壤中, 通过调整装置负水头值即供水吸力值就能控制不同土壤水分, 而装置的持续供水又避免了土壤的干湿交替, 使得土壤水分值一直保持持续稳定的状态。本试验表明该装置能通过调节不同的供水吸力值来控制不同的土壤水分值, 且供水吸力值与土壤水分值呈反比对应关系, 1~13 kPa 范围内的供水吸力处理控制的土壤含水量范围为 42.32%~14.23%, 对应的土壤体积含水量范围为 100%~34%。

研究认为,水分对温室黄瓜的产量和品质的影响比较显著。王新元等(1999)研究表明黄瓜产量随灌水量的增加而增加,但水分利用效率较低;而抗旱灌溉水分利用效率最高,但产量较低。本试验结果表明黄瓜单株产量与水分利用效率都随供水吸力的增加呈先增加后减少的变化趋势,但3~13 kPa 处理范围内的水分利用效率无显著差异,这可能是由于黄瓜一直处于恒定的土壤水分值下,其生长与其土壤水分值达成一定的协调关系,从而形成高土壤水分下单株产量较高,低土壤水分条件下单株产量较低的现象。试验中3~5 kPa 处理范围的黄瓜单株产量要显著高于1和11~13 kPa 的处理,但与7~9 kPa 的差异不明显,此时土壤的体积含水量范围为67%~81%,要低于前人研究的最适土壤含水量值,这可能是本试验的水分是通过盆钵底部的供水盘向上渗透水分的,各层的土壤含水量分布较均匀,整个土体中可被植物吸收利用的水分相对较多;而在常规灌溉中,灌水后土壤表层土壤含水量一般要大于底层含水量,土表蒸发相对较大,而且离灌水日时间越长,土壤水分越低,这就有可能需要加大灌溉量,才能保证一段时间黄瓜对水分的需求量。

灌水量的增加可使黄瓜产量增加,但品质会呈现一定的下降趋势,具体表现在可溶性糖、可溶性蛋白与维生素C含量的降低(王新元等,1999;张西平,2005);邹志荣等(2005)的研究表明结果期适当的水分胁迫有利于黄瓜果实内代谢产物的积累,能提高果实可溶性糖、可溶性固形物等品质指标的含量。本试验研究结果表明,黄瓜果实含水量、比质量与单果质量基本不受供水吸力值的影响;较低的供水吸力能提高黄瓜的瓜条商品率,但降低了果实果皮色素的含量,这可能是由于低供水吸力下的土壤含水量较高,黄瓜果实充实较快,有效地降低了畸形瓜数量,但对果皮色素积累可能存在一定的抑制作用。较高的供水吸力能降低黄瓜果实的单宁含量,但使果实内的硝酸盐显著积累,这可能是由于干旱使黄瓜体内的硝酸还原酶含量下降、活性降低,从而使硝酸盐的积累显著增加(沈明珠等,1982;王利群等,2003)。各处理黄瓜果实内的维生素C、可溶性固形物、有机酸含量都随着供水吸力的增加呈增加趋势;这与前人的研究结果一致。试验表明,9~13 kPa 的高供水吸力处理下黄瓜果实的可溶性固形物、维生素C、有机酸含量较高,单宁含量较低,但硝酸盐含量较高;3~7 kPa 的供水吸力处理下产量较高,硝酸盐含量较低,瓜条商品率较高。综合分析表明,黄瓜在3~7 kPa 的供水吸力下,即整个生育期保持55%~81%的土壤体积含水量范围更有利于提高产量与品质以及水分利用效率。但由于黄瓜植株不同生育期对水分需求不同,而本试验中黄瓜整个生育期的土壤含水量都控制在同一水平,所以进行不同生育期的不同供水吸力值控制试验,探讨黄瓜优质、高产与高效的水管理策略是进一步研究的目标。

References

- Ayars J E , Phene C J , Hutmacher R B , Davis K R , Schoneman R A , Vail S S , Mead R M. 1999. Subsurface drip irrigation of row crops : A review of 15 years of research at the Water Management Research Laboratory. *Agricultural Water Management* , 42 (1) : 1 - 27.
- Chang Li-fei , Zou Zhi-rong. 2007. Effects of regulated deficit irrigation (RDI) on the growth , yield and quality of greenhouse cucumber. *Journal of Anhui Agricultural Sciences* , 35 (23) : 7142 - 7144. (in Chinese)
- 常莉飞 , 邹志荣. 2007. 调亏灌溉对温室黄瓜生长发育、产量及品质的影响. *安徽农业科学* , 35 (23) : 7142 - 7144.
- Freddie R L , Todd P T. 2003. Subsurface drip irrigation for corn production : A review of 10 years of research in Kansas. *Irrigation Science* , 22 : 195 - 200.
- Geng Wei , Xue Xu-zhang , Wang Zhi-min. 2006. Changes of some physiological indices in common bean under water supply tension. *Chinese Agricultural Science Bulletin* , 22 (5) : 206 - 210. (in Chinese)
- 耿伟 , 薛绪掌 , 王志敏. 2006. 不同供水吸力下豆角若干生理指标的变化. *中国农学通报* , 22 (5) : 206 - 210.
- Han Jian-hui , Shi Lin-qi , Wu Yan-rong. 2000. Effects of water stress upon the yield of cucumber grown in solar energy greenhouse. *Journal of Southwest Agricultural University* , 22 (5) : 395 - 397. (in Chinese)
- 韩建会 , 石琳琪 , 武彦荣. 2000. 水分胁迫对日光温室黄瓜产量的影响. *西南农业学报* , 22 (5) : 395 - 397.

- He Hua , Du She-ni , Liang Yin-li , Zhang Cheng-e. 2003. Effect of soil moisture on water requirement rule and water use efficiency of cucumber in greenhouse. *Acta Bot Boreali-Occident Sin* , 23 (8) : 1372 – 1376. (in Chinese)
- 何 华 , 杜社妮 , 梁银丽 , 张成娥. 2003. 土壤水分条件对温室黄瓜需水规律和水分利用的影响. *西北植物学报* , 23 (8) : 1372 – 1376.
- Li Shao , Xue Xu-zhang , Guo Wen-shan , Li Xia , Zhao Bao-ping , Chen Fei. 2008a. Influences of diatomite medium proportion on vegetative growth of pot *Capsicum annuum*. *Northern Horticulture* , (11) : 1 – 4. (in Chinese)
- 李 邵 , 薛绪掌 , 郭文善 , 李 霞 , 赵宝平 , 陈 菲. 2008a. 硅藻土基质配方对盆栽观赏辣椒生长的影响. *北方园艺* , (11) : 1 – 4.
- Li Shao , Xue Xu-zhang , Guo Wen-shan , Li Xia , Chen Fei. 2008b. Study and application of negative pressure water supplying , controlling pot device and irrigation system . *Journal of Shanghai Jiao Tong University : Agricultural Science* , 26 (5) : 478 – 482 . (in Chinese)
- 李 邵 , 薛绪掌 , 郭文善 , 李 霞 , 陈 菲 . 2008b . 负水头供水盆栽装置及灌溉系统的研究与应用 . *上海交通大学学报 : 农业科学版* , 26 (5) : 478 – 482 .
- Mao Xuesen , Liu Mengyu , Wang Xinyuan , Liu Changming , Hou Zhimin , Shi Jinzhi. 2003. Effects of deficit irrigation on yield and water use of greenhouse grown cucumber in the North China plain. *Agricultural Water Management* , 61 : 219 – 228.
- Shen Ming-zhu , Zhai Bao-jie , Dong Hui-ru , Li Jun-guo. 1982. Studies on nitrate accumulation in vegetable crops. *Acta Horticulturae Sinica* , 9 (4) : 41 – 48. (in Chinese)
- 沈明珠 , 翟宝杰 , 东惠茹 , 李俊国. 1982. 蔬菜硝酸盐累积的研究. *园艺学报* , 9 (4) : 41 – 48.
- Shen Wei-qi. 1988. Extraction of mixed solution for determination of chlorophyll content in rice leaf blade. *Plant Physiology Communications* , (3) : 62 – 64. (in Chinese)
- 沈伟其. 1988. 测定水稻叶片叶绿素含量的混合液提取法. *植物生理学通讯* , (3) : 62 – 64.
- Wan Ke-jiang. 2005. The dynamics of some physiological characteristics of wheat , cucumber and spinach under water precision controlled [M. D. Dissertation]. Beijing : China Agricultural University. (in Chinese)
- 万克江. 2005. 水分精确控制下小麦、黄瓜和菠菜若干生理指标的变化[硕士论文]. 北京 : 中国农业大学.
- Wang Li-qun , Wang Wen-bing , Wu Shou-yi , Dong Ying. 2003. Nitrate content in vegetables and influence of nitrate on nitrate reductase activity. *Food Science* , 24 (12) : 37 – 40.
- 王利群 , 王文兵 , 吴守一 , 董 英. 2003. 蔬菜硝酸盐含量与硝酸还原酶活性的研究. *食品科学* , 24 (12) : 37 – 40.
- Wang Xin-yuan , Li Deng-shun , Zhang Xi-ying. 1999. Relationship between irrigation amount and yield of cucumber in solar greenhouse. *China Vegetables* , (1) : 18 – 21. (in Chinese)
- 王新元 , 李登顺 , 张喜英. 1999. 日光温室冬春茬黄瓜产量与灌水量的关系. *中国蔬菜* , (1) : 18 – 21.
- Xu Kun-fan , Li Ming-yu , Ai Xi-zhen. 2006. Effect of nitrogen on taste compounds , nitrate and yield of cucumber in solar greenhouse. *Plant Nutrition and Fertilizer Science* , 12 (5) : 717 – 721. (in Chinese)
- 徐坤范 , 李明玉 , 艾希珍. 2006. 氮对日光温室黄瓜呈味物质、硝酸盐含量及产量的影响. *植物营养与肥料学报* , 12 (5) : 717 – 721.
- Zhang Xi-ping. 2005. Research of cucumber water requirement with drip irrigation under plastic mulch in greenhouse [M. D. Dissertation]. Yangling : Northwest A & F University. (in Chinese)
- 张西平. 2005. 日光温室膜下滴灌黄瓜需水规律的研究[硕士论文]. 杨凌 : 西北农林科技大学.
- Zhang Xian-fa , Yu Xian-chang , Zhang Zhen-xian. 2002. Effect of soil water on the growth and physiological characteristics of cucumber during fruit stage in greenhouse. *Acta Horticulturae Sinica* , 29 (4) : 343 – 347. (in Chinese)
- 张宪法 , 于贤昌 , 张振贤. 2002. 土壤水分对温室黄瓜结果期生长与生理特性的影响. *园艺学报* , 29 (4) : 343 – 347.
- Zou Chao-wang. 2007. Fundamental research of negative hydraulic head irrigation technique [Ph. D. Dissertation]. Wuhan : Wuhan University. (in Chinese)
- 邹朝望. 2007. 负水头灌溉技术基础研究[博士论文]. 武汉 : 武汉大学.
- Zou Zhi-rong , Li Qing-ming , He Zhong-qun. 2005. Effects of different irrigation maximums on growth dynamics , yield and quality of cucumber during fruit-bearing stage in greenhouse. *Transactions of the CSAE* , 21 (Supplement) : 77 – 81. (in Chinese)
- 邹志荣 , 李清明 , 贺忠群. 2005. 不同灌溉上限对温室黄瓜结瓜期生长动态、产量及品质的影响. *农业工程学报* , 21 (增刊) : 77 – 81.