

沿海围垦区普通塑料大棚内黄瓜需水量研究

赵晓波, 周诗魁, 贾宏伟 (浙江省水利河口研究院, 浙江杭州 310020)

摘要 [目的]开展沿海围垦区大棚内黄瓜(*Cucumis ativus*)需水量试验,对指导大棚内作物种植,发展精准灌溉具有重要的意义。[方法]以20 cm深处土壤含水率的上下限,确定土壤的灌水时间、灌水量。苗期土壤含水率的上下限分别按田间持水率70%~100%、80%~100%控制;开花坐果期、盛果期土壤含水率的上下限分别按田间持水率70%~100%、80%~100%、90%~100%控制。[结果]春、秋两季种植的黄瓜需水量在300 mm左右,秋黄瓜生育期需水量略高于春黄瓜。两者的需水量、需水强度均随着作物生长而增大,盛果期最大,春黄瓜盛果期需水量173.1 mm,需水强度5.09 mm/d;秋黄瓜盛果期需水量156.7 mm,需水强度4.09 mm/d。[结论]秋黄瓜与春黄瓜各生育期的需水强度及需水量差异较大,棚内温度差异是造成春、秋两茬黄瓜需水规律不一致的主要原因。

关键词 围垦区;塑料大棚;黄瓜需水量

中图分类号 S642.2 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2013)09-03823-03

Study on the Water Requirement of Coastal Reclamation Area Cucumber (*Cucumis ativus*) in Ordinary Plastic Greenhouse

ZHAO Xiao-bo et al (Zhejiang Institute of Hydraulics & Estuary, Hangzhou, Zhejiang 310020)

Abstract [Objective] The aim was to carry out experiment of cucumber water requirement in plastic greenhouse in coastal reclamation area, which had an important significance for guiding the crops cultivation in plastic greenhouse and developing precision irrigation. [Method] The soil irrigation time and irrigation amount were confirmed on according to the upper limit and lower limit of 20 cm deep soil water content. At seedling stage, the upper limit and lower limit of soil water content were 70%–100%, 80%–100% of field capacity resp.; at flowering and fruit setting stage and full fruiting stage, they were 70%–100%, 80%–100% and 90%–100% of field capacity resp. [Result] In Spring, Autumn, water requirement of planting cucumber was about 300 mm, water requirement of Autumn cucumber growth period of was slightly higher than that of spring cucumber. Water requirement, water requirement intensity increased with the crop growth, and reached the biggest at full fruiting stage, thereinto, Spring cucumber's water requirement was 173.1 mm, water requirement intensity was 5.09 mm/d; Autumn cucumber's water requirement was 156.7 mm, water requirement intensity was 4.09 mm/d. [Conclusion] There are big difference in water requirement and water requirement density between Autumn cucumber and Spring cucumber at different growth periods, and the temperature difference is mainly caused by the law inconsistent of Spring cucumber and Autumn cucumber.

Key words Reclamation area; Plastic greenhouse; Cucumber water requirement

以大棚等为主的设施农业是近几年来发展优质高效节水型农业的一种重要种植模式。据估计,截至2010年全国设施农业总面积已达约266.67万 hm^2 ,包括为数众多的节水灌溉示范基地或示范区以及农民自发兴建的各类规模大棚。围垦区也是发展高效设施农业的新兴区域。近年来,浙江、福建、广东等沿海地区,围垦面积逐年增加,仅浙江省“十一五”全省就围填海约4.21万 hm^2 ,相当于“十五”期间的1.62倍,“十二五”期间浙江省计划围填海约6.67万 hm^2 ^[1]。滩涂围垦拓展了当地经济社会的发展空间,极大地缓解了土地供需矛盾。近几年,围垦区大棚设施农业如雨后春笋,发展迅速。

大棚在棚膜遮盖条件下,室内形成了相对封闭的自然环境,大棚土壤耕作层不能直接利用天然降水,需要依靠人为灌溉补充水分。目前大棚作物灌溉以滴灌为主,灌水量基本上依据传统的种植经验或参照露地作物需水情况确定。但由于大棚的特殊环境,其需水规律与露地不同。其需水不仅满足作物的生长需要,还需要满足其他需要,如防止土壤盐渍化^[2]。因此,研究围垦区大棚内常见种植作物的需水规律,对制定大棚内作物灌溉制度,提高作物品质和产量具有重要的意义。

1 材料与方法

1.1 试验小区概况 浙江省灌溉试验中心站江东试验基地位于杭州市萧山区东北部围垦区,属亚热带季风气候,年平均降水量1320 mm,多年平均气温16.1℃,无霜期224 d,年相对湿度82%,年日照时数2116.6 h,年辐射45.88万 J/m^2 。土壤为受海潮顶托及盐分凝聚作用回潮沉降的浅海泥沙,质地为砂壤土,原土有机质11 g/kg,全氮0.6 g/kg,全磷0.6 g/kg,含钾丰富,pH 7.5,含盐量0.1%~0.2%,属轻度盐化土壤,土壤容重1.26 g/cm^3 ,田间持水率31.2%。

试验在江东基地西侧2栋普通塑料大棚中进行。塑料大棚为拱圆形装配式镀锌钢管大棚,大棚长宽分别为50.0 m×6.0 m×2.5 m。每栋大棚内用钢管和塑料薄膜隔成4个格,每格长12.5 m。每格留一个方便人进出的门及通风口。每格布置3个蒸渗器(测筒)设施,蒸渗器为塑料(高强度聚脂材料)测筒,筒直径120 cm,高度130 cm,筒内自下而上填20 cm碎石、10 cm粗砂、10 cm细砂、50 cm下层土、30 cm试验地耕作土。

1.2 试验设计 试验对象为大棚内常见种植的黄瓜,分春季黄瓜和秋季黄瓜,采用滴灌。春季黄瓜种植时期为4~6月,秋季黄瓜为9~11月。试验期间,以作物生育阶段为因素,每个生育阶段设置不同的土壤含水率(水平)作为灌溉的上下限^[3]。黄瓜按照生长特性划幼苗期、开花坐果期、盛果期3个生育阶段,分别用A1、A2、A3表示。

处理水平:以20 cm深处土壤含水率的上下限,确定土壤的灌水时间、灌水量。苗期土壤含水率的上下限分别按田

基金项目 浙江省水稻灌区节水减污研究创新人才培养计划项目(2010F20016)。

作者简介 赵晓波(1974-),男,湖南道县人,高级工程师,硕士,从事农村水利研究工作,E-mail:zhaoxb@zjwater.gov.cn。

收稿日期 2013-03-26

间持水率70%~100%、80%~100%控制;开花坐果期、盛果期土壤含水率的上下限分别按田间持水率70%~100%,80%~100%、90%~100%控制。试验设置9组试验,每组试验安排3个重复(表1)。

表1 黄瓜各生育期土壤含水率的设计上下限 %

处理序号	苗期(A1)		开花坐果期(A2)		盛果期(A3)	
	上限	下限	上限	下限	上限	下限
1	70	100	80	100	90	100
2	70	100	80	100	80	100
3	70	100	70	100	90	100
4	80	100	80	100	90	100
5	80	100	70	100	90	100
6	80	100	90	100	90	100
7	80	100	70	100	70	100
8	80	100	80	100	70	100
9	80	100	80	100	80	100

1.3 观测项目及方法 每个测筒内种4株黄瓜,筒外黄瓜株距35 cm×70 cm。黄瓜品种为当地常见的“益津四号”。作物生长期,施复合肥2~3次,每次按照225 kg/hm²施肥。

试验期间,在各大棚及测坑内装设滴灌设备以及水表、TDR(土壤含水量测定仪)、温湿度等仪器,同步连续观测土壤含水量、灌溉水量、温湿度以及作物生长状况。试验过程中,同时还记录各个处理的黄瓜植株茎粗、株高、产量,并检测黄瓜糖度。

1.4 需水量计算方法 试验在大棚内测筒中进行,测筒与外界隔离,降雨量、地下水的补给量均为0。试验采用滴灌,避免了深层渗漏及排水,排水量为0。作物的需水量计算公式为^[4]:

$$ET_{1-2} = 10 \sum_{i=1}^n \gamma_i H_i (\theta_{i1} - \theta_{i2}) + M \quad (1)$$

式中, ET_{1-2} 为阶段需水量,mm; γ_i 为第*i*层的土壤干容重, g/cm^3 ; H_i 为第*i*层的土壤厚度,cm; $\theta_{i1,2}$ 为第*i*层土壤在计算时段始末的含水率(干土重的百分比); M 为时段内灌溉水量,mm。

2 结果与分析

2.1 设施栽培下春、秋黄瓜需水量分析 2011年9月至2012年6月,共种植了2茬黄瓜。2011年9月13日至11月21日种植1茬秋黄瓜,2012年4月12日至6月27日种植1茬春黄瓜,试验品种均为“益津四号”。试验按照9个处理进行,观测计算出9个处理春、秋黄瓜各个月份和生育阶段的需水量。

同一种作物,在同一地点,不同的灌溉方式,因其灌溉水量大小不一,计算出来的作物需水量也不一样。灌溉水量越大,计算出来的作物需水量也会越大,反之则越小。而灌溉水量直接影响作物的生长态势及产量、品质。灌溉过多、过少,都会导致作物产量下降,品质降低。因此,按照最优法则,根据作物的生长态势、产量及品质可以确定作物最适宜的需水量。经过比较,确定黄瓜最适合的需水量,结果见表2、3所示。

根据表2、3可知,春黄瓜生育期需水量为293.6 mm,折

合2 937.0 m³/hm²,生育期77 d,日平均需水强度3.82 mm。秋黄瓜生育期需水量306.5 mm,折合3 064.5 m³/hm²,生育期73 d,日平均需水强度4.19 mm。秋黄瓜生育期需水量比春黄瓜多12.9 mm,即多127.3 m³/hm²,日平均需水强度多0.37 mm。

表2 设施栽培春、秋黄瓜月需水量汇总

黄瓜种类	月份	天数//d	需水强度//mm/d	需水量//mm
春黄瓜	4	19	1.93	36.7
	5	31	3.76	116.6
	6	27	5.20	140.4
	合计	77		293.6
秋黄瓜	9	20	3.03	60.6
	10	31	4.44	137.6
	11	22	4.92	108.2
	合计	73		306.5

表3 设施栽培春、秋黄瓜各生育阶段需水量汇总

黄瓜种类	生育期	天数//d	需水强度//mm/d	需水量//mm
春黄瓜	苗期	26	1.94	50.4
	开花坐果期	17	4.12	70.0
	盛果期	34	5.09	173.2
	合计	77		293.6
秋黄瓜	苗期	23	3.14	72.2
	开花坐果期	18	4.31	77.6
	盛果期	32	4.90	156.7
	合计	73		306.5

2.2 设施栽培下黄瓜需水规律分析 春、秋黄瓜各月份以及各生育阶段需水强度、需水量变化见图1~4。

由图1可知,春黄瓜的月需水强度及需水量呈上升趋势。4月份,黄瓜处于生长初期,作物植株较小,根系浅,棚内温度低,作物蒸发蒸腾量小,需水量也小,每日需水强度为1.93 mm,需水量36.7 mm,占总需水量的12.5%;5月份,黄瓜处于开花坐果期和生长盛期,随着棚内温度逐渐增高,需水量增大,每日需水强度为3.76 mm,需水量116.6 mm,占总需水量的39.7%;6月份,黄瓜处于盛果期,作物生长旺盛,此时棚内气温高,作物需水量达到最大值,每日需水强度为5.20 mm,需水量140.4 mm,占总需水量的47.8%。由图2可知,秋黄瓜的月需水强度变化趋势跟春黄瓜的一致。随着

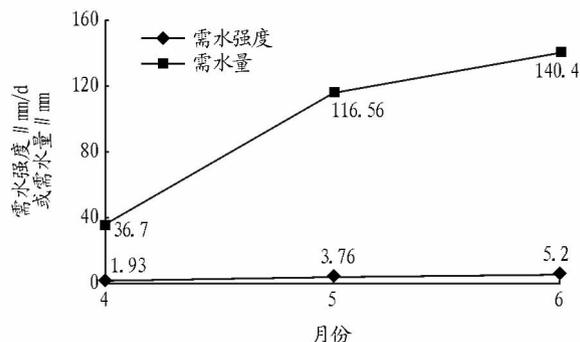


图1 春黄瓜月需水强度及需水量变化

月份增大,秋黄瓜需水强度逐渐增大。

由图 3 可知,春黄瓜的生育期需水强度及需水量呈逐渐增大趋势。苗期,黄瓜植株体较小,叶片数较少,而且由于移栽时间短,根系尚不发达,所以黄瓜植株耗水量小,每日需水强度为 1.94 mm,苗期需水量为 50.4 mm,折合需水 505.5 m^3/hm^2 ,需水量占全生育期需水量的 17.2%;开花坐果期,以生殖生长为主,植株长高,开始开花、结果,对水分的需求量比苗期大,每日需水强度为 4.12 mm,苗期需水量为 70.0 mm,折合需水 700.5 m^3/hm^2 ,需水量占全生育期需水量的 23.8%;盛果期,黄瓜植株体较大且连续结果,对水分的需求量比开花坐果期大,每日需水强度为 5.09 mm,需水量为 173.2 mm,折合需水 1 732.0 m^3/hm^2 ,需水量占全生育期需水量的 59.0%。

由图 4 可知,秋黄瓜的生育期需水强度也呈逐渐增大趋势。苗期,虽然棚内温度较高,棵间蒸腾量较大,但黄瓜植株体较小,黄瓜腾发量小,由于采用滴灌,棵间蒸腾对作物需水

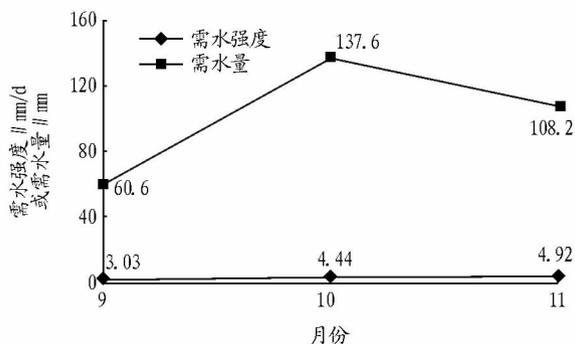


图 2 秋黄瓜月需水强度及需水量变化

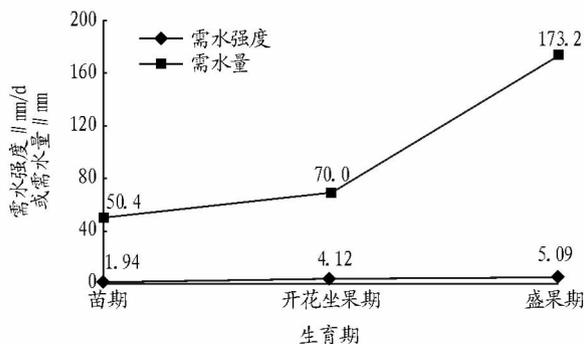


图 3 春黄瓜生育期需水强度及需水量变化

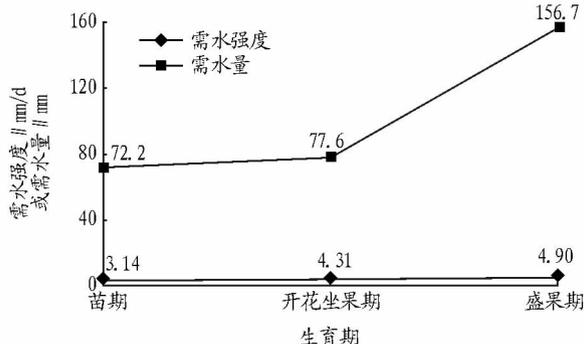


图 4 秋黄瓜生育期需水强度及需水量变化

量影响弱,因此苗期需水量仍然较小,每日需水强度为 3.14 mm,苗期需水量为 72.2 mm,折合需水 721.5 m^3/hm^2 ,需水量占全生育期需水量的 23.6%;开花坐果期,棚内温度仍然较高,棵间蒸腾量仍然较大,加上此时黄瓜以生殖生长为主,对水分的需求量大,每日需水强度为 4.31 mm,需水量为 77.6 mm,折合需水 777.0 m^3/hm^2 ,需水量占全生育期需水量的 25.3%;盛果期,受外部天气影响,棚内温度逐渐降低,棵间蒸腾量逐渐减小,但黄瓜此时处于生长旺期,需水量达到高峰,每日需水强度为 4.90 mm,需水量为 156.7 mm,折合需水 1 566.0 m^3/hm^2 ,需水量占全生育期需水量的 51.1%。

由此可见,秋黄瓜与春黄瓜需水两者变化趋势一致,需水强度随着月份增加或作物生长而增大。但秋黄瓜与春黄瓜各生育期的需水强度及需水量差异较大,见图 5、6 所示。

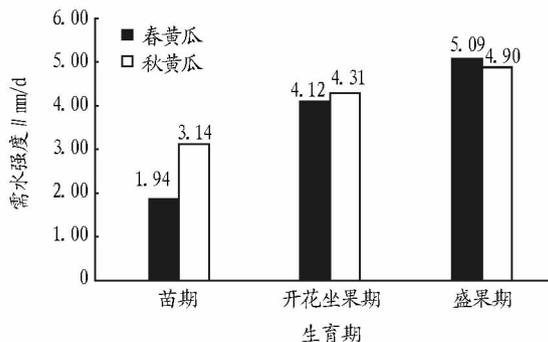


图 5 春、秋黄瓜生育期需水强度对比

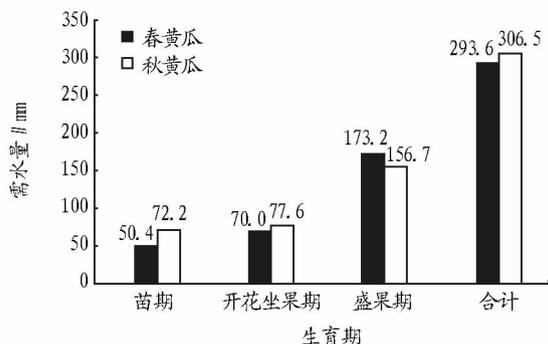


图 6 春、秋黄瓜生育期需水量对比

秋黄瓜苗期由于棚内温度高,植株棵间蒸腾量大,每日需水强度(3.14 mm)比春黄瓜(1.94 mm)增加了 1.20 mm,增大 61.8%,需水量(72.2 mm)比春黄瓜(50.4 mm)增加了 21.8 mm,增大 43.3%;秋黄瓜盛果期,由于棚内温度低,植物叶面积大,植株棵间蒸腾量小,虽然作物连续结果,但每日需水强度(4.90 mm)比春黄瓜(5.09 mm)减小了 0.19 mm,减小 3.7%,需水量(156.7 mm)比春黄瓜(173.2 mm)减小 16.5 mm,减小 10.5%。由此可见,棚内温度差异是造成春、秋两茬黄瓜需水规律不一致的主要原因。

3 结论

沿海围垦区普通塑料大棚内春、秋两季种植的黄瓜,生育期需水量在 300 mm 左右,需水量均随着作物生长而增大,

(下转第 3922 页)

的氧化应激,从而造成对细菌的毒害作用,这是 Ag NPs 主要的致毒机制。另外有研究表明,Ag NPs 诱导细菌胞内 ROS 的产生和聚集,并且 Ag NPs 对细菌的抑制率和单个细菌胞内的 ROS 浓度呈现较好的相关性。

Nel 等^[3]认为纳米材料暴露能刺激生物细胞表面电子供体与氧分子反应,从而生成超氧自由基(O_2^-),随后超氧自由基可以在细胞体内发生歧化反应或 Fenton 反应而产生 ROS,ROS 的产生能够导致细胞的一系列氧化应激等反应。虽然在低浓度 ZnO NPs(10 mg/L)在一定程度上抑制了大肠杆菌的生长,但其抗氧化活性并未受到抑制或提高。当 ZnO NPs 浓度为 50 mg/L 时,大肠杆菌的生长受到更大抑制的同时,其抗氧化能力却明显提高,大肠杆菌通过增强 CAT 活性以清除纳米材料诱导产生的 ROS,从而保证甚至促进大肠杆菌的生长。当 ZnO NPs 暴露浓度超过一定范围(100 mg/L)时,细菌胞内 CAT 活性大幅降低,虽然此时 SOD 活性有所提高,但是总抗氧化能力比 50 mg/L 处理组低,因此难以清除大量积累的 ROS 而使细胞受损导致细胞的生长受到更大的抑制。

综上所述,在该试验条件下纳米氧化锌抑制大肠杆菌的生长,其 EC_{50} 值为 251 mg/L。氧化损伤是纳米氧化锌的重要毒性机制。ZnO NPs 能够影响细胞抗氧化物质与活性的动态平衡,进而产生自由基破坏细胞组织。同时,大肠杆菌能够通过提高抗氧化酶活性以减轻 ZnO NPs 对细胞造成的伤害。

参考文献

- [1] NOWACK B. The behavior and effects of nanoparticles in the environment [J]. *Environmental Pollution*, 2009, 157(4): 1063.
- [2] NAVARRO E, BAUN A, BEHRA R, et al. Environmental behavior and ecotoxicity of engineered nanoparticles to algae, plants, and fungi [J]. *Ecotoxicology*, 2008, 17(5): 372–386.
- [3] NEL A, XIA T, MADLER L, et al. Toxic potential of materials at the nanolevel [J]. *Science*, 2006, 311(5761): 622–627.
- [4] ADAMS L K, LYON D Y, ALVAREZ P J J. Comparative eco-toxicity of nanoscale TiO_2 , SiO_2 , and ZnO water suspensions [J]. *Water Research*, 2006, 40(19): 3527–3532.

- [5] LI M, ZHU L, LIN D. Toxicity of ZnO Nanoparticles to *Escherichia coli*: Mechanism and the Influence of Medium Components [J]. *Environmental Science & Technology*, 2011, 45(5): 1977–1983.
- [6] KUMAR A, PANDEY A K, SINGH S S, et al. Engineered ZnO and TiO_2 nanoparticles induce oxidative stress and DNA damage leading to reduced viability of *Escherichia coli* [J]. *Free Radic Biol Med*, 2011, 51(10): 1872–1881.
- [7] ZHANG L, MANTHIRAM A. Chains composed of nanosize metal particles and identifying the factors driving their formation [J]. *Applied Physics Letters*, 1997, 70(18): 2469–2471.
- [8] 蒋国翔, 沈珍瑶, 牛军峰, 等. 环境中典型人工纳米颗粒物毒性效应 [J]. *化学进展*, 2011, 23(8): 1769–1781.
- [9] SHARMA V, ANDERSON D, DHAWAN A. Zinc oxide nanoparticles induce oxidative DNA damage and ROS-triggered mitochondria mediated apoptosis in human liver cells (HepG2) [J]. *Apoptosis*, 2012, 17(8): 852–870.
- [10] 王学, 李勇超, 李铁龙, 等. 零价纳米铁对大肠杆菌的毒性效应 [J]. *生态毒理学报*, 2012, 7(1): 49–56.
- [11] POYNTON H C, LAZORCHAK J M, IMPELLITTERI C A, et al. Differential Gene Expression in *Daphnia magna* Suggests Distinct Modes of Action and Bioavailability for ZnO Nanoparticles and Zn Ions [J]. *Environmental Science & Technology*, 2011, 45(2): 762–768.
- [12] 洪丽玲, 丁树娟, 朱江波, 等. 纳米氧化锌与常规氧化锌对 A549 细胞的毒性与 DNA 损伤的比较研究 [J]. *癌变·畸变·突变*, 2011, 23(5): 340–343.
- [13] 沙保勇, 徐峰, 卢天健. 纳米氧化锌对大鼠肝及肝癌细胞的毒性效应 [J]. *西安交通大学学报: 医学版*, 2012(3): 266–270.
- [14] HEINLAAN M, LVASK A, BLINOVAL L I, et al. Toxicity of nanosized and bulk ZnO, CuO and TiO_2 to bacteria *Vibrio fischeri* and crustaceans *Daphnia magna* and *Thamnocephalus platyurus* [J]. *Chemosphere*, 2008, 71(7): 1308–1316.
- [15] ZHU X, ZHU L, DUAN Z, et al. Comparative toxicity of several metal oxide nanoparticle aqueous suspensions to Zebrafish (*Danio rerio*) early developmental stage [J]. *Journal of Environmental Science and Health Part A*, 2008, 43(3): 278–284.
- [16] 朱小山, 朱琳, 田胜艳, 等. 三种金属氧化物纳米颗粒的水生态毒性 [J]. *生态学报*, 2008, 28(8): 3507–3516.
- [17] IVASK A, BONDARENKO O, JEPPIHINA V, et al. Profiling of the reactive oxygen species-related ecotoxicity of CuO, ZnO, TiO_2 , silver and fullerene nanoparticles using a set of recombinant luminescent *Escherichia coli* strains; differentiating the impact of particles and solubilised metals [J]. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 2010, 398(2): 701–716.
- [18] XIU Z M, MA J, ALVAREZ P J J. Differential Effect of Common Ligands and Molecular Oxygen on Antimicrobial Activity of Silver Nanoparticles versus Silver Ions [J]. *Environmental Science & Technology*, 2011, 45(20): 9003–9008.

(上接第 3825 页)

盛果期最大,春黄瓜盛果期需水量 173.2 mm,需水强度 5.09 mm/d;秋黄瓜盛果期需水量 156.7 mm,需水强度 4.09 mm/d。秋黄瓜生育期需水量略高于春黄瓜。

秋黄瓜与春黄瓜各生育期的需水强度及需水量大小差异较大。秋黄瓜苗期需水量、需水强度分别比春黄瓜多 42.9%、61.8%;盛果期需水量、需水强度分别比春黄瓜小 10.5%、3.7%;全生育期需水量、需水强度分别比春黄瓜多 2.9%、9.6%。棚内温度差异是造成春、秋两茬黄瓜需水规

律不一致的主要原因。

参考文献

- [1] 浙江省发展和改革委员会办公室. 浙江省滩涂围垦总体规划(2005–2020) [Z]. 2006.
- [2] 李援农, 马孝义, 李建明. 保护地节水灌溉技术 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [3] 罗金耀, 李少龙. 我国设施农业节水灌溉理论与技术研究进展 [J]. *节水灌溉*, 2003(2): 11–12.
- [4] 中国灌溉排水发展中心, 水利部农田灌溉研究所. SL13-2004, 灌溉试验规范 [S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2005.