



DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdtk.2017.05.029

毛军,尹世洋,牛勇,等.设施草莓耗水规律及灌水器选型试验研究[J].南水北调与水利科技,2017,15(5):190-194,208. MAO Jun, YIN Shi yang NIU Yong, et al. Experimental study on water consumption of greenhouse strawberry and selection of drip emitter[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2017, 15(5): 190-194, 208. (in Chinese)

设施草莓耗水规律及灌水器选型试验研究

毛军¹,尹世洋²,牛勇³,王新星⁴,梁翠萍⁴

(1. 泛华建设集团公司,北京 100071; 2. 中国地质大学(北京),北京 100083;

3. 山东农业大学,山东泰安 271018; 4. 北京江河中基勘测设计有限公司,北京 100070)

摘要:以揭示设施草莓耗水规律、明确灌水器选型模式为研究目的,采用大型称重式蒸渗仪开展设施草莓耗水规律研究。基于生态环境要素构建了设施草莓耗水经验模型,对比试验分析了滴灌带(管)规格对土壤水分均匀度、产量、根系发育等因素的影响,按照需水特征将草莓全生育期划分为4个主要阶段:花芽分化期、越冬期、盛果期、盛果后期。研究表明:(1)设施草莓全生育期的耗水强度随生育期呈现“U”型变化趋势,其中越冬期耗水量最小,试验监测显示设施草莓全生育期(2013年9月5日-2014年5月23日)的耗水量为406 mm,日均1.55 mm;(2)相关性分析显示叶面积指数对草莓耗水强度影响较小;(3)在试验所处条件下,滴头间距为20 cm的滴灌带(管)较为适于设施草莓灌溉。

关键词:设施草莓;耗水规律;灌水器;灌溉设备

中图分类号: S626; S668.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-1683(2017)05-0190-05

Experimental study on water consumption of greenhouse strawberry and selection of drip emitter

MAO Jun¹, YIN Shi yang², NIU Yong³, WANG Xin xing⁴, LIANG Cui ping⁴

(1. Pan China Group, Beijing 100071, China; 2. China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China; 3. Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, China; 4. Beijing Jianghe Zhongji Survey and Design Co., Ltd., Beijing 100070, China)

Abstract: We investigated the evapotranspiration (ET) of greenhouse strawberry using the large scale weighing lysimeter. An empirical water consumption model of greenhouse strawberry was established based on eco environmental factors. We compared the effects of drip tape sizes on the soil moisture uniformity, yield, and root development. We divided strawberry growth into four stages based on its water consumption characteristics: flower bud differentiation period, over wintering period, full fruiting period, and post fruiting period. The results showed: (1) The water consumption intensity of greenhouse strawberry during the whole growth period showed a U-shaped variation trend, with minimum water consumption in the over wintering stage. The water consumption of greenhouse strawberry during the whole growth period (September 5, 2013 to May 23, 2014) was 406 mm, which was 1.55 mm/d. (2) Correlation analysis showed that the leaf area index had little effect on the water consumption intensity of greenhouse strawberry. (3) Dripper spacing of 20 cm was the most suitable for irrigation under the experiment conditions.

Key words: greenhouse strawberry; water consumption pattern; drip emitter; irrigation equipment

自20世纪80、90年代以来,草莓种植业在我国发展十分迅速。1985年我国草莓种植面积为0.33

万hm², 2003年已增加至7.73万hm²,超过欧美等草莓传统产区,成为世界第一大草莓生产国。据

收稿日期: 2016-10-20 修回日期: 2016-12-20 网络出版时间: 2017-08-29
网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20170829.1927.017.html>

基金项目: 山东省水土保持遥感监测项目“高分水利遥感应用示范系统”(一期)(08-Y30B07-900F-1315)

Fund: Application Demonstration System of High-grade Remote Sensing in Water Management (SN: 08-Y30B07-900F-1315)

作者简介: 毛军(1982-),男,北京人,高级工程师,主要从事水文水资源方面的研究。E-mail: 297389165@qq.com

通讯作者: 牛勇(1983-),男,山东菏泽人,讲师,主要从事水文水资源方面的研究。E-mail: niuyong1988@qq.com

2010年中国园艺学会草莓分会统计,全国草莓种植面积已达11.4万 hm^2 ^[11]。随着我国草莓种植面积的迅速增加,围绕草莓生理^[2]、栽培^[3]、病虫害防治^[4]、采收^[5-8]、储运^[9-13]等方面开展了大量研究。在草莓灌溉技术领域,虽然高畦腹膜滴灌模式得到了大力推广,而以经验为主导的草莓灌溉方式,存在水分生产效率(WUE)低下、肥料淋溶损失严重等问题,而且目前设施草莓灌溉设备的配套选型多参照设施蔬菜栽培的模式(单行单滴管带,滴头间距30 cm),未能充分考虑草莓的生长发育、栽培方式的特点,存在灌水不均匀,缺苗率高的问题。国外相关研究成果由于受到地理位置、栽培模式等因素差异的限制^[14-19],多数成果无法直接应用,而国内相关研究目前处于起步阶段^[20],尚未见有关设施草莓耗水规律的量化研究成果。针对我国设施草莓的生长和栽培特点,开展典型品种的耗水规律及关键设备的配套选型等基础研究,对制定设施草莓栽培技术地方标准有重要意义。

本文将对日光温室内充分灌溉条件下的草莓耗水过程进行研究,建立草莓需水经验模型。并通过田间试验,分析不同滴头间距的滴灌带(管)对草莓缺苗率、产量、土壤水润均匀度等指标的影响,最终提出设施草莓灌水器的选型模式。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

试验所用的生物材料选取北方地区草莓主栽品种章姬,滴灌带选接管径为16 mm,滴头间距分别为15 cm、20 cm、30 cm,壁厚为0.7 mm管材。

1.2 试验区基本情况

设施草莓耗水规律试验在北京市节水灌溉试验中心试验站(位于北京市通州区永乐店镇)的日光温室内进行,其地处北纬 $39^{\circ}20'$,东经 $114^{\circ}20'$,海拔12 m,多年平均降雨量565 mm,多年平均水面蒸发量1140 mm,多年平均气温 11.5°C ,无霜期185 d。所选用日光温室内建有大型称重式蒸渗仪一座。灌水器选型试验在北京市昌平区百善镇万德草莓园的日光温室内进行,其地处北纬 $40^{\circ}11'$,东经 $116^{\circ}21'$,海拔41 m,多年平均气温为 12°C ,多年平均降雨量为500 mm,无霜期190 d^[21]。

1.3 试验方法

供试草莓均采用起垄宽窄行方式种植,垄高30 cm,垄间距0.9 m,每垄种植2行草莓。定植时间为2013年9月5日,选取长势稍壮、株高为25~30 cm

的草莓苗定植,株距20 cm,定植密度为8000株/亩,每垄草莓由2根滴灌带(滴头流量为1.38 L/h)进行灌溉,当年11月5日,土垄表面加盖黑色塑料膜,提高土壤积温。次年5月23日全生育期结束。

在温室中部建有大型称重式蒸渗仪1台,其土箱长、宽、高分别为2 m、2 m、2.3 m,设计精度为80 g,即0.02 mm水深。蒸渗仪土箱内起2条土垄,种植36株草莓,为保持蒸渗仪内外种植密度一致,将蒸渗仪内未利用的土面(面积为 1 m^2)用薄膜进行覆盖。在0~20 cm的耕层内布置4只土壤水分传感器,采用土壤含水量测定仪(mini-Trase,美国)每天早上8:00测量1次土壤含水量,当土壤含水量低于田间持水量的80%时进行灌溉,使耕层土壤的含水量恢复到田间持水量。试验开始后,称重式蒸渗仪整点自动测量。

在开展灌水器选型试验的日光温室内,供试草莓的种植方式如前述方式一致。将温室在东西方向上分为3段,自西向东分别标记为T1区、T2区、T3区,各区所选用的滴头间距依次为30 cm、20 cm、15 cm规格的滴灌带进行灌溉,并将其作为3种试验处理(标记为T1、T2、T3处理)。在设施草莓生长过程中监测缺苗率、土壤湿润均匀度(式1)、根系发育、产量等指标。各处理由独立的灌溉首部控制,灌溉频率和灌水量参照当地常规栽培,各区统一管理。

$$u = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |\theta_i - \bar{\theta}|}{n \times \bar{\theta}} \quad (1)$$

式中: u 为土壤湿润均匀度; θ_i 为第 i 个样本土壤含水量(%); $\bar{\theta}$ 为样本土壤含水量均值(%); n 为样本数量。

各试验温室内均布设小型自动气象站1台(watchdog2000,美国),每15 min记录1次温室内的温度(T)、湿度(RH)、太阳辐射(SR)等环境气象因子值。在草莓生育期内,定期测定土壤含水量、植株存活数等。进入采摘期,将成熟果实按垄计量果实重量和数量。

参考作物蒸发蒸腾量 ET_0 (潜在蒸散量)的计算采用1998年FAO-56推荐方法,计算时间步长为1 d,所需气象数据由温室内自动气象站提供。

2 结果与分析

2.1 设施草莓耗水规律

2.1.1 全生育期蒸发蒸腾强度动态变化

蒸腾蒸发是植物利用水分的最主要形式,植株生长、环境因子等众多因素对其存在不同程度的影

响。借助布设在田间的高精度大型称重式蒸渗仪,可在较小的时间尺度上获得作物的腾发量。滴灌条件下,设施草莓日耗水动态变化见图 1。设施草莓全生育期的耗水强度变化整体呈现“两头高,中间低”的趋势。由于设施草莓前期(9、10 月份)辐射、温度值相对较大,环境蒸发力强,而且未覆盖塑料薄膜,造成其耗水量较大,随着辐射、气温的进一步降低,及覆盖农膜,设施草莓的耗水强度显现显著减小趋势。至次年,辐射温度等环境值再次回升,果实产量增加,设施草莓的耗水强度呈现快速增加的趋势。至全生育期的末期,由于设施草莓植株衰老,同化作用等生理过程减弱,耗水强度有所衰减。根据上述设施草莓耗水强度动态变化特点,将全生育期耗水过程划分为 4 个耗水阶段(如图 1 中虚线所示):花芽生长期、越冬期、盛果期、盛果后期,该划分方法有别于复杂的植物生理学划分方法,可以更加准确地区分设施草莓实际耗水阶段,便于灌溉管理。

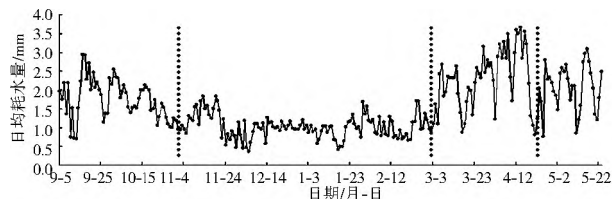


图 1 设施草莓日均耗水量动态变化

Fig. 1 Dynamic variation of daily water consumption of greenhouse strawberry

通过对试验阶段称重式蒸渗仪所采集到的数据进行统计分析(见表 1),设施草莓全生育期耗水量为 406 mm,日均耗水强度为 1.55 mm/d。各生育期耗水总量由大到小依次为越冬期、盛果期、花芽生长期、尾果期。耗水强度均值由大到小依次为盛果期、尾果期、花芽生长期、越冬期。耗水强度最大值为 3.65 mm/d,出现在盛果期(2014 年 4 月 14 日),耗水强度最小值为 0.35 mm/d,出现在越冬期(2013 年 12 月 5 日)。

表 1 设施草莓各生育阶段耗水参数
Tab. 1 Water consumption parameters of greenhouse strawberry at each growth stage

生育阶段	花芽分化期	越冬期	盛果期	尾果期
天数/d	58	125	44	35
耗水量/mm	101.04	128.19	108.02	68.59
潜在蒸散量/mm	73.70	114.62	79.61	67.94
水面蒸发量/mm	96.57	104.60	106.80	104.60
耗水强度/(mm·d ⁻¹)	1.74	1.03	2.46	1.96
潜在蒸散强度/(mm·d ⁻¹)	1.27	0.92	1.81	1.94
水面蒸发强度/(mm·d ⁻¹)	1.79	0.84	2.43	2.99
作物系数 K _c	1.37	1.12	1.36	1.01
蒸发皿系数 K _p	0.97	1.23	1.01	0.66

各生育期作物系数 K_c 值分布在 1.01~ 1.37 之间,蒸发皿系数 K_p 值分布在 0.66~ 1.23 之间。设施草莓的前 3 个生育阶段,其时长占全生长季的 85% 左右,在该时段内 K_c 值和 K_p 值分别分布在 1.28 和 1.07 附近,且波动较小,即这一时期设施草莓耗水量大约为同期潜在蒸散量的 1.3 倍,为同期水面蒸发量的 1.1 倍,Yuan^[20] 指出选取水面蒸发量的 1.1 倍作为灌水量,可获得较高的产量。

2.1.2 设施草莓耗水强度影响因素与模型

通过对草莓耗水强度和辐射、温度等多个影响因子进行相关性分析,得到各变量间的 Pearson 相关系数见表 2,草莓耗水强度与湿度呈负相关关系,而与辐射、温度、LAI、水面蒸发量呈正相关关系。草莓耗水强度与水面蒸发量之间的相关系数的绝对值最大,其后依次为湿度、辐射、温度、LAI 等,其中 LAI 与草莓耗水强度之间的相关系数仅为 0.15,相关性不显著。如图 2 所示,由于受到摘除老叶等栽培措施的作用,设施草莓的叶面积指数在全生育期基本保持在 1 上下,变幅约为 0.3,而全生育期设施草莓耗水强度则随着环境变化呈现显著的一致性变化趋势,变化范围从 0.35~ 3.65 mm/d,虽然由于“摘老叶”栽培作业行为造成的叶面积迅速下降,并在短时间内导致植株蒸腾量下降,但新叶子的增加会促使耗水强度迅速恢复到该时期的平均水平。由此可见,在设施栽培条件下,主导草莓耗水强度的因素是环境因子,而非茎、叶等营养器官的生长。

表 2 草莓耗水强度与各影响因子间的相关性
Tab. 2 Correlation between strawberry's water consumption intensity and impact factors

	耗水强度	日均辐射	日均温度	日均湿度	叶面积指数	水面蒸发量
耗水强度	1					
日均辐射	0.77	1				
日均温度	0.64	0.57	1			
日均湿度	-0.78	-0.85	-0.63	1		
叶面积指数	0.15	0.22	-0.06	-0.29	1	
水面蒸发量	0.81	0.87	0.74	-0.90	0.18	1

根据上述发现,选取相关生态环境因子作为参考变量,使用 SPSS12.0 多元线性回归模块构建设施草莓耗水强度多元线性经验模型如下:

$$ET = 0.24WE + 0.023T + 0.048SR - 0.007RH + 1.00 \quad R^2 = 0.687$$

式中:ET 为草莓的耗水强度(mm/d);WE 为水面蒸发强度(mm/d);T 为日均温度(°C);SR 为太阳日辐射量(MJ/m²);RH 为相对空气湿度(%)。

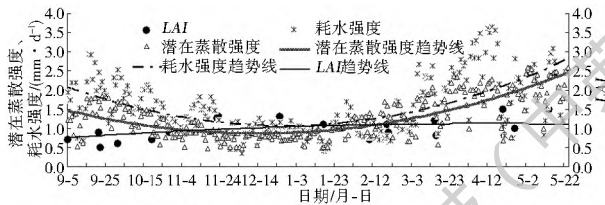


图 2 设施草莓耗水强度、潜在蒸散量与 LAI 变化趋势

Fig. 2 Variation trends of water consumption, potential evapotranspiration, and LAI of greenhouse strawberry

2.2 设施草莓灌水器选型

国外众多文献显示,无论是草莓露地栽培还是设施栽培,起垄栽培、膜下滴灌的灌溉模式在提高地温、减少水分损失、促进根系发育等方面均可获得较为理想的结果^[23-27],但对滴管带(管)的选型方法少有研究。

本文从壁厚、滴头流量和滴头间距等三个方面考虑,开展滴管带的选型试验。

以往研究发现,壁厚在 0.7 mm 以上、单组滴头流量小于 3 L/h 的滴灌带(管)不仅具有较强的器械强度,以减少栽培措施产生的损伤,而且可以避免垄顶积水,以减少灌水过程中水、肥流失^[22]。对于滴灌带的滴头间距的选择,本研究通过开展滴头间距选型试验,根据根系发育、产量、土壤湿润均匀度、缺苗率等指标差异对滴灌带滴头间距规格进行判断。

如图 3 所示,不同滴头间距条件下,设施草莓根系在水平方向,主要分布在以主根为中心,半径为 20 cm 的范围内,由于设施草莓株距一般为 20 cm,可将单组滴头水平湿润半径取为 15 cm;在水平垂直方向上,设施草莓根系主要分布在地表以下 20 cm 以内。参考张志新提出的土壤湿润半径经验公式^[28],选取单组滴头流量为 2.8 L/h,滴水时间为 20 min,推求得到充分湿润根系活动层所需要水平湿润半径为 14 cm,因此在该流量条件下,选取 20~25 cm 的滴头间距较为适宜。

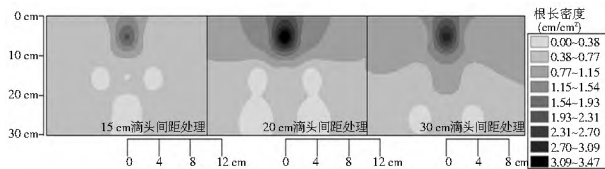


图 3 不同滴头间距处理条件下根长密度分布

Fig. 3 Root length density distribution under different dripper spacings

通过监测不同滴头间距条件下灌后 24 h 根系活动层内(0~20 cm)土壤含水量,采用灌水均匀度的计算方法(式 1)和方差反映灌后土壤湿润均匀度状况。如图 4 所示,T1、T2 处理的土壤湿润均匀度为 0.92~0.93,相对于 T3 处理提高了 5%,而且

T1、T2 处理土壤含水量样本方差($n=20$)均显著小于 T3 处理,由此可见,滴头间距为 30 cm 的滴灌带(管)在灌溉过程中会导致水分在土垄上不均匀分布,部分草莓得不到充分供水,造成生长缓慢、死苗、减产等严重后果。通过监测各处理缺苗率、产量发现,T1、T2、T3 处理的缺苗率为 6.05%、5.27%、10.48%,其产量分别为 18.1、15.7、14.7 t/hm²(图 5),以上两个指标均可印证前述选型结论。

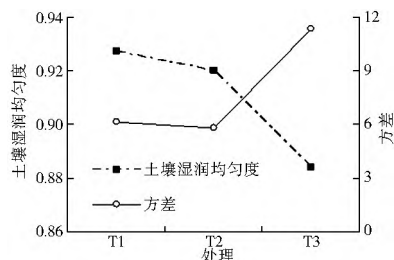


图 4 滴头间距对土壤湿润均匀性的影响

Fig. 4 Soil moisture uniformity under different dripper spacings

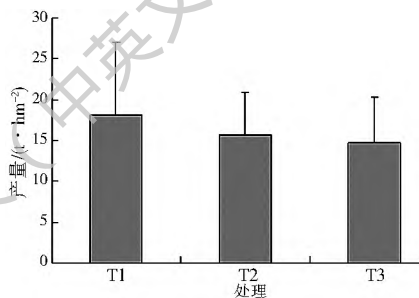


图 5 滴头间距对产量的影响

Fig. 5 Yield under different dripper spacings

因此滴头间距为 15 cm、20 cm 的滴灌带(管)均能较好满足设施草莓的灌溉需求,但由于 T1、T2 之间各参数差异较小,建议在生产中选择价格相对较低的滴头间距为 20 cm 规格的滴灌带(管)。

3 结论

采用大型称重式蒸渗仪,首次获得设施草莓全生育期耗水过程,并由此将草莓全生育期划分为 4 个耗水阶段:花芽生长期、越冬期、盛果期、盛果后期。提出影响设施草莓耗水强度的主要因子,建立了基于生态环境要素的设施草莓耗水经验模型,并提出在缺少环境参数时,可使用同期水面蒸发量估算设施草莓耗水强度。

基于壁厚、滴头流量和滴头间距等三个参数的考量,通过开展滴头间距对作物生长影响的对比试验,认为在试验条件下,滴头间距为 20 cm 规格滴灌带(管)较为适宜于设施草莓灌溉选配。

参考文献(References):

[1] 张志恒,王强,赵学平.国内外草莓生产及贸易的发展概况[J].

- 中国果蔬, 2006(6): 6-6. (ZHANG Zhi heng, WANG Qiang, ZHAO Xue ping. The development of strawberry production and trade at home and abroad[J]. Chinese Fruits Vegetables, 2006(6): 6-6. (in Chinese)) DOI: 10.3969/j.issn.1008-1038.2006.01.003.
- [2] 徐凯, 郭延平, 张上隆. 不同光质对草莓叶片光合作用和叶绿素荧光的影响[J]. 中国农业科学, 2005, 38(2): 369-375. (XU Kai, GUO Yan ping, ZHANG Shang long. Effect of light quality on photosynthesis and chlorophyll fluorescence in strawberry leaves [J]. China Agriculture Science, 2005, 38(02): 369-375. (in Chinese)) DOI: 10.3321/j.issn.0578-1752.2005.02.024
- [3] 杨敏. 稀土肥料在温室草莓栽培中的应用研究[J]. 安徽农业科学, 2006, 34(19): 4992-4993. (YANG Min. Application of the rare earth fertilizer in strawberry cultivation in greenhouse [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2006, 34(19): 4992-4993. (in Chinese)) DOI: 10.3969/j.issn.0517-6611.2006.19.089
- [4] 张红印, 马龙传, 姜松, 等. 臭氧结合拮抗酵母对草莓采后灰霉病的控制[J]. 农业工程学报, 2009, 25(5): 258-263. (ZHANG Hong yin, MA Long chuan, JIANG Song, et al. Effect of ozone in combination with antagonistic yeast on postharvest gray mold rot incidence in strawberry fruits [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2009, 25(5): 258-263. (in Chinese)) DOI: 10.3969/j.issn.1002-6819.2009.05.48.
- [5] Guo Feng, Cao Qixin, Cui Yongjie, et al. Fruit location and stem detection method for strawberry harvesting robot [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2008, 24(10): 89-94.
- [6] 张凯良, 杨丽, 王粮局, 等. 高架草莓采摘机器人设计与试验 [J]. 农业机械学报, 2012, 43(9): 165-172. (ZHANG Kai liang, YANG Li, WANG Liang ju, et al. Design and experiment of elevated substrate culture strawberry picking robot [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(9): 165-172. (in Chinese)) DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2012.09.031
- [7] 张铁中, 陈利兵, 宋健. 草莓采摘机器人的研究: 基于图像的草莓重心位置和采摘点的确定 [J]. 中国农业大学学报, 2005, 10(1): 48-51. (ZHANG Tie zhong, CHEN Li bing, SONG Jian. Study on strawberry harvesting robot: 0. Image based identifications of strawberry barycenter and plucking position [J]. Journal of China Agricultural University, 2005, 10(1): 48-51. (in Chinese)) DOI: 10.3321/j.issn:1007-4333.2005.01.012.
- [8] 张铁中, 周天娟. 草莓采摘机器人的研究: 基于 BP 神经网络的草莓图像分割 [J]. 中国农业大学学报, 2004, 9(4): 65-69. (ZHANG Tie zhong, ZHOU Juan. Strawberry harvesting robot: 1. Segmentation of strawberry image by BP neural network [J]. Journal of China Agricultural University, 2004, 9(4): 65-69. (in Chinese)) DOI: 10.3321/j.issn:1007-4333.2004.04.015
- [9] 邵兴锋, 程赛, 王鸿飞, 等. 茶树精油熏蒸处理保鲜草莓的工艺优化 [J]. 农业工程学报, 2012, 28(19): 279-286. (SHAO Xing feng, CHENG Sai, WANG Hong fei, et al. Optimization of tea tree oil fumigation for keeping quality of harvested strawberry fruit [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 28(19): 279-286. (in Chinese)) DOI: 10.3969/j.issn:1002-6819.2012.19.037
- [10] 张立华, 张元湖, 曹慧, 等. 石榴皮提取液对草莓的保鲜效果 [J]. 农业工程学报, 2010, 26(2): 361-365. (ZHANG Lihua, ZHANG Yuanhu, CAO Hui, et al. Effects of pomegranate peel extract on keeping fresh of strawberry [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2010, 26(2): 361-365. (in Chinese)) DOI: 10.3969/j.issn.1002-6819.2010.02.063
- [11] 章承林, 李春民. 草莓贮藏保鲜技术综述 [J]. 湖北生态工程职业技术学院学报, 2010, 8(3): 6-10. (ZHANG Cheng lin, LI Chun min. Summarization of storage technology of strawberry [J]. Journal of Hubei Vocational College of Ecological Engineering, 2010, 8(3): 6-10. (in Chinese))
- [12] 张红印, 王雷, 姜松, 等. 热水处理对草莓采后病害的抑制作用及对贮藏品质的影响 [J]. 农业工程学报, 2007, 23(8): 270-273. (ZHANG Hong yin, WANG Lei, JIANG Song, et al. Control of postharvest disease of strawberries by hot water treatments and its effects on the quality in storage period [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2007, 23(8): 270-273. (in Chinese)) DOI: 10.3321/j.issn:1002-6819.2007.08.051
- [13] 王愈, 郝建雄, 李里特. 电生功能水和静电场处理对草莓采后生理的影响 [J]. 农业工程学报, 2006, 22(3): 184-187. (WANG Yu, HAO Jian xiong, LI Li te. Effects of electrolyzed functional water and electrostatic field treatment on postharvest physiology of strawberry fruit [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2006, 22(3): 184-187. (in Chinese)) DOI: 10.3321/j.issn:1002-6819.2006.03.040
- [14] Leon A Terry, Gemma A Chope, Jordi Gin Bordonaba. Effect of water deficit irrigation and inoculation with *botrytis cinerea* on strawberry (*Fragaria x ananassa*) Fruit Quality [J]. J. Agric. Food Chem., 2007, 55(26): 10812-10819.
- [15] Lydia Serrano, Xavier Carbonell, Robert Sav. et al. Effects of irrigation regimes on the yield and water use of strawberry [J]. Irrigation Science. Irrigation Science, 1992, 13(1): 45-48.
- [16] Kumar Sushil, Dey Pradip. Influence of soil hydrothermal environment, irrigation regime, and different mulches on the growth and fruit quality of strawberry (*Fragaria x ananassa* L.) plants in a subtropical climate [J]. Journal of Horticultural Science & Biotechnology, 2012, 87(4): 374-380.
- [17] Renquist A R, Breen P J, Martin L W. Effect of polyethylene mulch and strawberry irrigation regimes on subsequent flowering and fruiting of 'Olympus' strawberry [J]. American Society for Horticultural Science, 1982, 107(3): 373-376.
- [18] M C Mart nez Barroso, C E Alvarez. Toxicity symptoms and tolerance of strawberry to salinity in the irrigation water [J]. Scientia Horticulturae, 1997, 71(3-4): 177-188.

(下转第 208 页)

- 水动力学研究与进展, 2000, 15(1): 129-133. (SHEN Dong, CHU Fir tao, CHEN Si. Diagnosis and identification of vibration accident for hydrogenerator unit[J]. Journal of Hydrodynamics, 2000, 15(1): 129-133. (in Chinese)) DOI: 10.3969/j.issn.1000-4874.2000.01.015
- [18] 哈尔滨电机厂有限责任公司. 仙居电站水轮机顶盖刚强度计算报告[R]. 2013. (Harbin Electric Machinery Co., Ltd. Head cover stress calculation report of Zhejiang Xianju pumped storage power station[R], 2013. (in Chinese))
- [19] 大连理工大学. 浙江仙居抽水蓄能电站地下厂房结构动力分析报告[R]. 2014. (Dalian University of Technology. Dynamic response analysis report on underground powerhouse structure of Zhejiang Xianju pumped storage power station[R]. 2014. (in Chinese))
- [20] 职保平. 基于复杂扰动的水电机组与厂房振动传导研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2014. (ZHI Bao ping. Study of vibration transmission path about hydropower station units and powerhouse with complex disturbance[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2014. (in Chinese))
- [21] 马震岳, 董毓新. 水电站机组及厂房振动的研究与治理[M]. 水利水电出版社, 2004. (MA Zhenyue, DONG Yuxin. Vibration of water turbine generator set and powerhouse and its corrective actions[M]. China Water and Power Press, 2004. (in Chinese))

(上接第 194 页)

- [19] Jordi Guimer, Oriol Marf, Lucila Candela, et al. Nitrate leaching and strawberry production under drip irrigation management[J]. Agriculture Ecosystems & Environment, 1995, 56(2): 121-135.
- [20] Yuan B Z, Sun J, Nishiyama S. Effect of drip irrigation on strawberry growth and yield inside a plastic greenhouse[J]. Biosystem Engineering, 2004, 87(2): 237-245.
- [21] 范希峰, 侯新村, 朱毅等. 杂交狼尾草作为能源植物的产量和品质特性[J]. 中国草地学报, 2012, 34(1): 48-52. (FAN Xifeng, HOU Xincun, ZHU Yi, et al. Biomass Yield and Quality of Hybrid Pennisetum[J]. Chinese Journal of Grassland, 2012, 34(1): 48-52. (in Chinese)) DOI: 10.3969/j.issn.1673-5021.2012.01.009
- [22] 刘洪禄, 吴文勇. 都市农业高效用水原理与技术[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2012: 326-333. (LIU Honglu, WU Wenrong. Principle and technology of high efficient water use in urban agriculture[M]. Beijing: China Water & Power Press, 2012: 326-333. (in Chinese)) ISBN: 9787508494616.
- [23] Daugovish Oleg, Bolda Mark, Kaur, Sukhwinder et al. Drip irrigation in california strawberry nurseries to reduce the incidence of colletotrichum acutatum in fruit production[J]. Hortscience, 2012, 47(3): 368-373.
- [24] Kumar P Suresh, Choudhary, Choudhary V K. Influence of mulching and irrigation level on water use efficiency, plant growth and quality of strawberry (Fragaria x ananassa)[J]. Indian Journal of Agricultural Sciences, 2012, 82(2): 127-133.
- [25] Kumar Sushil, Dey P. Effects of different mulches and irrigation methods on root growth, nutrient uptake, water use efficiency and yield of strawberry[J]. Scientia Horticulture, 2011, 127(3): 318-324. (in English)
- [26] Daugovish Oleg, Faber Ben, Mochizuki Maren J et al. Strawberry establishment with drip or sprinkler irrigation[J]. Hortscience, 2010, 45(8): 263-264.
- [27] Coelho Marcus V S, Palma Flavio R, Cafe Filho Adalberto C. Management of strawberry anthracnose by choice of irrigation system, mulching material and host resistance[J]. International Journal of Pest Management, 2008, 54(4): 347-354.
- [28] 张志新. 滴灌工程规划设计原理与应用[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2007: 112-113. (ZHANG Zhixin. Drip irrigation planning and design principles and application[M]. Beijing: China Water & Power Press, 2007: 112-113. (in Chinese)) ISBN: 9787508446158.