

DOI:10.3969/j.issn.1000-1298.2010.05.010

# 滴灌模式和灌水下限对甜瓜耗水量和产量的影响\*

王洪源 李光永

(中国农业大学水利与土木工程学院, 北京 100083)

**【摘要】** 以膜下滴灌(MDI)、地表滴灌(DI)和地下滴灌(SDI)3种滴灌模式与4种不同灌水下限组合,在我国西北地区进行了滴灌模式和灌水下限对甜瓜耗水量和产量影响的试验研究。结果表明:同一灌水下限下,MDI较DI平均增产16.0%,较SDI平均增产7.5%,SDI较DI平均增产7.9%,3种滴灌模式的单产均高于当地地面灌溉的单产(40.97 t/hm<sup>2</sup>);DI耗水量最大(平均239.3 mm),SDI次之(平均217.3 mm),MDI最小(平均193.0 mm)。同一滴灌模式下:伸蔓期灌水下限为60%田间持水量的处理较灌水下限为40%田间持水量的处理平均增产21.0%,耗水量平均增加9.2%;果实膨大期灌水下限为80%田间持水量的处理较灌水下限为70%田间持水量的处理平均增产9.3%,耗水量平均增加6.7%。甜瓜各生育阶段适宜土壤含水率下限(占田间持水量的百分比)分别为:苗期65%,伸蔓和开花坐果期60%,果实膨大期80%,成熟期55%。

**关键词:** 甜瓜 滴灌模式 灌水下限 耗水量 产量

中图分类号: S275.6 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2010)05-0047-05

## Effect of Drip Irrigation Model and Irrigation Start Point on Water Consumption and Yield of Sweet Melon

Wang Hongyuan Li Guangyong

(College of Water Conservancy and Civil Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

### Abstract

The field experiment was conducted to investigate the effect of irrigation models (drip irrigation under plastic mulching (MDI), drip irrigation (DI) and subsurface drip irrigation (SDI)) and irrigation start point on water consumption and yield of sweet melon. The results showed that under the same irrigation start point: MDI increased the yield by 16.0% compared with DI; MDI increased the yield by 7.5% compared with SDI; SDI increased the yield by 7.9% compared with DI. The average water consumption for MDI, SDI and DI were 193.0 mm, 217.3 mm, 239.3 mm respectively. Under the same drip irrigation model, the treatment of irrigation start point of 60% field capacity in extension vine and flowering fruit stage, yield increased by 21.0% compared with the treatment of 40% field capacity; the treatment of irrigation start point of 80% field capacity in fruitage stage, yield increased by 9.3% compared with the treatment of 70% field capacity. The appropriate irrigation start points (the percentage of field capacity) for the sweet melon were: seedling stage (65%), extension vine and flowering fruit stage (60%), fruitage stage (80%), mature stage (55%).

**Key words** Sweet melon, Drip irrigation model, Irrigation star point, Water consumption, Yield

### 引言

我国西北地区单位耕地面积平均水量仅为全国

水平的14%,水资源短缺极大地限制了该地区的农业生产<sup>[1]</sup>。微灌是世界公认的最节水的灌溉技术之一,在农业生产中推广微灌技术是解决水资源短

收稿日期: 2009-07-08 修回日期: 2009-12-14

\* “十一五”国家科技支撑计划资助项目(2007BAD88B07-3)和国家“863”高技术研究发展计划资助项目(2006AA10021301)

作者简介: 王洪源,硕士生,主要从事灌溉排水理论与技术研究, E-mail: hongyuanwang2008@126.com

通讯作者: 李光永,教授,博士生导师,主要从事灌溉排水理论与技术研究, E-mail: lgyl@cau.edu.cn

缺,提高地区农业可持续发展能力的有效措施和重要手段。

目前,微灌已广泛应用于棉花、番茄、马铃薯等多种大田作物和温室蔬菜花卉,微灌的灌水特性决定了作物耗水量、灌溉制度与传统地面灌溉有很大不同,加之微灌有多种应用模式,如膜下滴灌,地表滴灌和地下滴灌等,不同的灌溉应用模式对作物耗水量、耗水规律、产量均会有影响。

国内对滴灌条件下甜瓜适宜的土壤水分和灌水指标进行了大量研究,由于土壤、品种和气候的影响,各实验结果差异较大,但普遍的规律是;甜瓜苗期需水量较小,花期及果实膨大期需水较多<sup>[1-5]</sup>,适宜的土壤含水量可以促进甜瓜地上部和下部的生长,并有利于可溶性固形物和维生素 C 的积累和品质改善<sup>[5-6]</sup>,土壤含水量过高,可造成甜瓜植株徒长。与常规滴灌相比,交替滴灌甜瓜的叶片叶绿素、可溶性蛋白和丙二醛含量均较高,在产量基本不受影响的情况下,可节水 30% 左右<sup>[7]</sup>。

本文拟通过大田试验研究,探寻甘肃石羊河流域地区不同滴灌模式和不同灌水下限对大田厚皮甜瓜耗水量和产量的影响规律,提出不同滴灌模式下甜瓜的水分管理措施。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验设计

试验于 2008 年 4 月~9 月在甘肃省武威市中国农业大学石羊河流域农业与生态节水试验站进行,该站位于东经 102°50'50",北纬 37°52'20",海拔 1 581 m。多年平均降水量 164.4 mm,土壤质地属灰钙质轻砂壤土,1 m<sup>3</sup> 土壤平均干容重 1.65 g/cm<sup>3</sup>,平均田间持水量 21.8% (占土体体积),地下水埋深 30 m,土壤肥力水平较低,有机质含量 0.4%~0.8%,土壤 pH 值约为 8.2,土壤速效性盐离子含量 0.12%~0.56%,灌溉水源为地下水。

本试验供试作物为厚皮甜瓜(黄蜂蜜 3 号),采用大田直播的方式于 5 月 10 日播种,5 月 17 日开始陆续出苗,5 月 22 日进入苗期,8 月 11 日进入成熟期,8 月 22 日全部采收完毕。试验中将甜瓜的生育期划分为 5 个不同的生育阶段,即苗期(5 月 22 日~6 月 10 日)、伸蔓期(6 月 11 日~6 月 27 日)、开花坐果期(6 月 28 日~7 月 19 日)、果实膨大期(7 月 20 日~8 月 10 日)和成熟期(8 月 11 日~8 月 22 日)<sup>[8]</sup>。

如表 1 所示,本次试验设置 12 个处理,每个处理 3 个重复(以“灌溉方式-伸蔓期灌水下限-果实膨大期灌水下限”来分别表示每个处理)。所有处

理的苗期和成熟期均分别采用 60%~70% 和 50%~60% 田间持水量来控制土壤含水率,其他生育阶段采用不同灌水下限控制灌水,每次灌水均灌到田间持水量。

表 1 试验处理  
Tab. 1 Treatment

灌水模式	处理号	灌水下限或控水范围(体积含水率)	
		伸蔓期和开花坐果期	果实膨大期
膜下滴灌 (MDI)	MDI-40-70	40	70
	MDI-40-80	40	80
	MDI-60-70	60	70
	MDI-60-80	60	80
地表滴灌 (DI)	DI-40-70	40	70
	DI-40-80	40	80
	DI-60-70	60	70
	DI-60-80	60	80
地下滴灌 (SDI)	SDI-40-70	40	70
	SDI-40-80	40	80
	SDI-60-70	60	70
	SDI-60-80	60	80

每个试验小区东西向长 5 m,南北向长 5 m,南北向起 3 条瓜垄,垄宽 1.4 m,垄高 25 cm,每条瓜垄上种植 2 行甜瓜,甜瓜行距 0.7 m,株距 0.5 m,单行株数为 10 株,相邻小区之间设置宽度为 40 cm 的隔离区。SDI 和 DI 小区仅在每条瓜垄播种甜瓜种子的地方覆 30 cm 宽的地膜,MDI 小区整个瓜垄均覆膜,每行甜瓜均布置一条滴灌带。MDI 和 DI 采用北京绿源公司的 0.4 mm 壁厚,直径为 16 mm 的滴灌带,滴头间距 30 cm,额定流量 2.74 L/h,SDI 采用以色列耐特菲姆公司的 0.4 mm 壁厚,直径为 16 mm 的超级台风地下滴灌带,滴头间距 40 cm,额定流量 1.1 L/h,滴灌带埋深为 25 cm。所有试验小区均采用同样的田间管理方法,施肥、除草、修剪等均保持一致(三蔓整枝),播种前施厩肥 37 500 kg/hm<sup>2</sup>、尿素 230 kg/hm<sup>2</sup>,磷酸二铵 255 kg/hm<sup>2</sup>,硫酸钾 480 kg/hm<sup>2</sup>,果实膨大期一次性施用瓜类专用液体肥 225 kg/hm<sup>2</sup>。小区种植方式和滴灌带、地膜布置如图 1 所示,试验处理方式如表 1 所示。

### 1.2 测定指标与方法

(1) 土壤含水率:使用美国 Decagon 公司生产的 ECH2O 土壤含水率观测系统监测土壤含水率变化。在每个处理第二条瓜垄的中间位置埋设非称重式蒸渗仪,地面以下 20 cm 和 40 cm 处各埋设一个 EC-5 探针,隔天测定一次。苗期以地面以下 20 cm

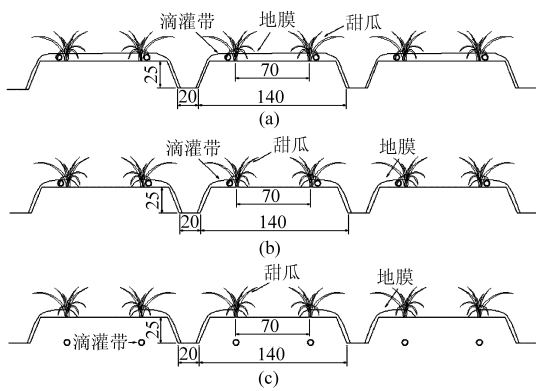


图1 3种滴灌模式下甜瓜种植方式与滴灌带、地膜布置示意图

Fig.1 Cropping patterns, drip irrigation pipe and mulch arrangement

(a) MDI小区 (b) DI小区 (c) SDI小区

处土壤含水率控制灌水,其他生育阶段以地面以下40 cm处土壤含水率控制灌水。

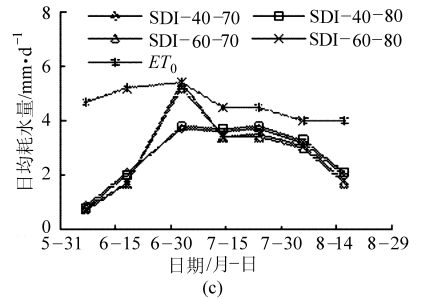
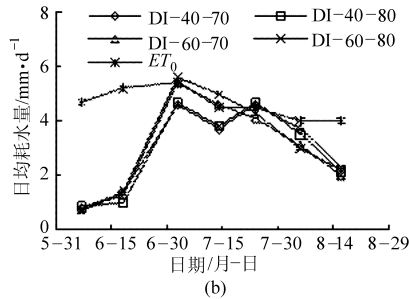
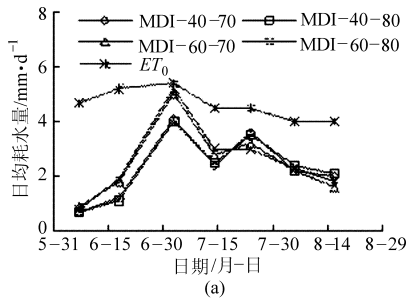


图2 同一滴灌模式不同灌水下限处理日均耗水量变化

Fig.2 Daily water consumption for different low irrigation limits of the same drip irrigation model

(a) MDI处理 (b) DI处理 (c) SDI处理

各生育阶段的蒸散量为苗期 0.75 mm/d, 膨瓜期 4.56 mm/d, 成熟期 1.73 mm/d; 新密 19 甜瓜苗期 0.39 mm/d, 膨瓜期 2.29 mm/d, 成熟期 0.69 mm/d。总的趋势是苗期和成熟期的日均耗水量较小, 膨果期的日均耗水量最大, 这与本文的试验结果基本一致, 但由于气候和试验所采用甜瓜品种的不同, 日均耗水量的绝对值有所不同。此外, 本文将甜瓜生育期划分为苗期、伸蔓期和开花坐果期、果实膨大期以及成熟期, 由于生育期更加细化, 进而确定出甜瓜在伸蔓期和开花坐果期的日均耗水量最大, 果实膨大期次之。

同一生育阶段内, 灌水下限较高处理的耗水速率较快。在伸蔓期和开花坐果期: MDI-60-70 和 MDI-60-80 处理的平均耗水速率为 4.01 mm/d, MDI-40-70 和 MDI-40-80 处理的平均耗水速率仅为 3.31 mm/d, 前者较后者高 21.1%。果实膨大期: MDI-40-80 和 MDI-60-80 处理的平均耗水速率为 2.90 mm/d, MDI-40-70 和 MDI-60-70 处理的平均耗水速率为 2.75 mm/d, 前者较后者高 5.5%。

(2) 产量: 果实成熟以后, 每个小区分别收获果实, 计算产量。

## 2 结果与讨论

### 2.1 甜瓜耗水量

#### 2.1.1 日耗水量

以 7 d 为一个时段计算各处理日均耗水量, 各处理日均耗水量变化如图 2 所示。甜瓜日均耗水量变化的总体趋势是: 苗期 (0.79 mm/d)、成熟期 (1.98 mm/d)、果实膨大期 (3.35 mm/d)、伸蔓期和开花坐果期 (4.11 mm/d)。所有处理均出现 2 个日耗水高峰期, 这 2 个日耗水高峰期集中在 6 月 20 日~7 月 15 日和 7 月 16 日~8 月 5 日。这两个时间段正是甜瓜的伸蔓、开花坐果期, 果实膨大期, 是甜瓜营养生长和生殖生长的重要时期。

桑艳朋等<sup>[2]</sup>研究结果表明: 8601 甜瓜膜下滴灌

全生育期内, 伸蔓期和开花坐果期灌水下限较低的处理在果实膨大期的耗水速率较快。MDI-40-70 和 MDI-40-80 处理在果实膨大期的平均耗水速率为 2.95 mm/d, 较 MDI-60-70 和 MDI-60-80 处理的平均耗水速率 (2.70 mm/d) 高 9.3%。这就说明: 生育前期的亏水程度对于后期的耗水速率是有影响的, 前期灌水下限较低的处理在后期的耗水速率大于前期灌水下限较高的处理。

#### 2.1.2 生育期累计耗水量

滴灌模式和灌水下限对甜瓜生育期累计耗水量均有显著影响, 如表 2 所示, 生育期累计耗水量随着灌水下限的提高而逐渐增加。

同一滴灌模式下, 如 SDI 的生育期累计耗水量从小到大依次为: SDI-40-70、SDI-40-80、SDI-60-70、SDI-60-80。伸蔓期灌水下限相同的两组处理中: SDI-40-80 的生育期累计耗水量较 SDI-40-70 高 13.7%; SDI-60-80 的生育期累计耗水量较 SDI-60-70 高 4.4%。果实膨大期灌水下限相同的两组处理中: SDI-60-70 的生育期累计耗水量较

SDI-40-70 高 16.6% ;SDI-60-80 的生育期累计耗水量较 SDI-40-80 高 7.1%。MDI 和 DI 处理的生育期累计耗水量也出现了与 SDI 相同的规律。

表 2 各处理生育期累计耗水量

Tab.2 Water consumption of each treatment

during growing season mm

MDI 处理	耗水量	DI 处理	耗水量	SDI 处理	耗水量
MDI-40-70	181.2	DI-40-70	224.1	SDI-40-70	192.3
MDI-40-80	185.3	DI-40-80	241.7	SDI-40-80	218.6
MDI-60-70	193.2	DI-60-70	242.2	SDI-60-70	224.3
MDI-60-80	212.3	DI-60-80	249.2	SDI-60-80	234.1

同一灌水下限下,3种滴灌模式的生育期累计耗水量从小到大依次为:MDI、SDI、DI。伸蔓期和果实膨大期灌水下限分别为40%和80%田间持水量的3个处理中:DI处理的生育期累计耗水量较SDI处理高10.6%,较MDI处理高30.4%;SDI处理的生育期累计耗水量较MDI处理高18.0%。其他3种灌水下限组合也出现了相同的规律。这是因为MDI处理的整个瓜垄均覆有地膜,几乎没有地面蒸

发,水分被植株充分吸收利用,所以耗水量最小;SDI处理与DI处理相比,虽然两种滴灌模式的裸土面积相同,但是SDI条件下,水分被直接输送到植株的主要根系层,利于植株根系吸收水分,减少了土壤蒸发量,所以地面蒸发量较大的DI处理的耗水量最大。

### 2.1.3 不同滴灌模式下甜瓜作物系数

根据2008年生育期的气象资料,利用Penman-Monteith公式计算参考作物蒸发蒸腾量 $ET_0$ 。以MDI-60-80,DI-60-80和SDI-60-80这3个灌水下限,最高处理的各生育期作物耗水量和 $ET_0$ 分别计算3种滴灌模式下的作物系数 $K_c$ 。本文在计算作物系数时将甜瓜生育期划分为前期(5月22日~6月18日),中期(6月19日~8月5日)和后期(8月6日~8月22日),与FAO56分册提供的地面灌溉条件下瓜类作物系数进行对比,结果如表3所示。3种滴灌模式下的作物系数均低于FAO56分册的推荐值,主要原因是:滴灌模式下,水分利用率高,无效土壤蒸发量小。本试验的3种滴灌模式在不同程度上均采用了地膜覆盖,减少了土壤蒸发量。

表 3 不同滴灌模式作物系数与 FAO56 分册推荐值对比

Tab.3 Crop coefficient of each drip irrigation model and the comparison with FAO56

生育期	2008 年试验结果			FAO56 分册	
	MDI-60-80	DI-60-80	SDI-60-80	甜瓜	西瓜
前期( $K_{cini}$ )	0.27	0.21	0.24		0.4
中期( $K_{cmid}$ )	0.72	0.96	0.83	1.05	1.00
后期( $K_{cend}$ )	0.45	0.55	0.45	0.75	0.75
全生育期 $K_c$	0.57	0.66	0.62		

另外,根据FAO56分册提供的地面灌瓜类的作物系数和生育期气象数据,利用彭曼公式计算得到的甜瓜全生育期耗水量为316.5mm。与地面灌溉相比,MDI、DI和SDI分别节水32.9%、21.3%和26.0%。

## 2.2 产量

各处理产量统计分析如表4所示,滴灌模式和灌水下限均对产量有显著影响,所有处理中MDI-60-80的单产最高,为70.13 t/hm<sup>2</sup>,DI-40-70单产量最低,为45.27 t/hm<sup>2</sup>。2007年甘肃甜瓜播种面积为0.31万hm<sup>2</sup>,总产量12.7万t,平均单产为40.97 t/hm<sup>2</sup>[10],本文所采用的3种滴灌模式的产量均高于当地传统地面灌溉条件下的产量,平均增幅在27.6%~47.9%。

(1) 同一滴灌模式下,随着灌水下限的提高,产量逐渐增加。如SDI模式下4种灌水下限处理的产量从小到大依次为:SDI-40-70、SDI-40-80、SDI-

表 4 同一滴灌模式下产量、单果重及果实个数统计分析

Tab.4 Statistical analysis of yield

MDI 处理	单产 /t·hm <sup>-2</sup>	DI 处理	单产 /t·hm <sup>-2</sup>	SDI 处理	单产 /t·hm <sup>-2</sup>
MDI-40-70	54.71 <sup>c</sup>	DI-40-70	45.27 <sup>d</sup>	SDI-40-70	49.34 <sup>c</sup>
MDI-40-80	56.97 <sup>bc</sup>	DI-40-80	49.05 <sup>c</sup>	SDI-40-80	51.24 <sup>c</sup>
MDI-60-70	60.66 <sup>b</sup>	DI-60-70	53.73 <sup>b</sup>	SDI-60-70	59.81 <sup>b</sup>
MDI-60-80	70.13 <sup>a</sup>	DI-60-80	61.03 <sup>a</sup>	SDI-60-80	65.18 <sup>a</sup>

注:a、b、c等字母表示同一滴灌模式下同一指标在 $P_{0.1}$ 水平上的统计显著性,对同一灌水下限下不同滴灌模式处理进行统计分析差异也显著。

60-70、SDI-60-80。伸蔓期灌水下限相同的两组处理中,SDI-40-80较SDI-40-70高3.9%;SDI-60-80较SDI-60-70高9.0%。果实膨大期灌水下限相同的两组处理中,SDI-60-70较SDI-40-70高21.2%;SDI-60-80较SDI-40-80高27.2%。这说明伸蔓期和果实膨大期的不同灌水下

限均对产量有显著影响,与果实膨大期相比,伸蔓期的影响更大。MDI和DI的产量关系也出现了与SDI相同的规律。

(2)同一灌水下限下,3种滴灌模式的产量从小到大依次为:DI、SDI、MDI,MDI较SDI平均增产7.5%,较DI平均增产16.0%,SDI较DI平均增产7.9%。

### 2.3 产量与耗水量的关系

如图3所示,同一灌水下限下,3种滴灌模式的水分生产效率从小到大依次为:DI、SDI、MDI。MDI、DI和SDI灌水下限最高处理的水分生产效率分别为33.02、24.48和27.83 kg/m<sup>3</sup>。

## 3 结束语

试验结果表明:在我国西北地区干旱半干旱气候条件下,膜下滴灌(MDI)模式下甜瓜的产量最高,

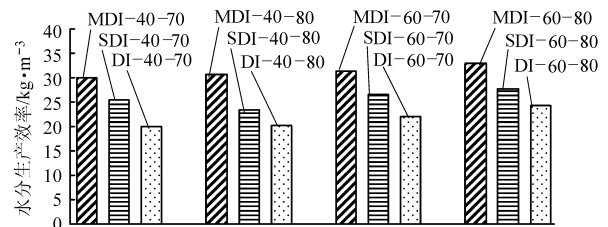


图3 同一灌水下限不同滴灌模式处理水分生产效率比较

Fig. 3 Water use efficiency for different drip irrigation models of the same low irrigation limit

生育期累计耗水量最小,同时也获得了最高的水分生产效率;地表滴灌(DI)模式下甜瓜的产量最低,生育期累计耗水量最大,水分生产效率也最小;地下滴灌(SDI)介于两者之间。西北干旱内陆区甜瓜种植适宜采用膜下滴灌和地下滴灌模式,伸蔓和开花坐果期与果实膨大期分别采用60%和80%田间持水量控制灌水会获得较高的产量。

## 参 考 文 献

- 刘声锋,郭文忠,冯志红. 银川地区甜瓜滴灌节水栽培技术[J]. 上海蔬菜,2003(6):45~46.
- 桑艳朋,王祯丽,刘慧英. 膜下滴灌条件下甜瓜田间需水规律的研究[J]. 中国瓜菜,2006(6):8~11.  
Sang Yanpeng, Wang Zhenli, Liu Huiying. Water requirement of melon with the drip irrigation under mulching cultivation [J]. China Cucurbits and Vegetables, 2006(6):8~11. (in Chinese)
- 丁新利,荆汝康. 甜瓜滴灌耗水量试验研究[J]. 新疆水利,1998(5):24~28.
- 王志伟,郁继华,郭晓冬. 日光温室甜瓜节水灌溉土壤水分上限指标研究[J]. 华中农业大学学报,2004,23(12):198~202.  
Wang Zhiwei, Yu Jihua, Guo Xiaodong. Study on soil water maximum index for muskmelon irrigation in solar greenhouse[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2004,23(12):198~202. (in Chinese)
- 王加蓬,蔡焕杰,王健. 温室甜瓜膜下滴灌初花期适宜蒸发皿系数研究[J]. 干旱地区农业研究,2009,27(7):22~26.  
Wang Jiapeng, Cai Huanjie, Wang Jian. Study on suitable crop-pan coefficients during early florescence for drip-irrigated muskmelon under film mulch in greenhouse [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2009, 27(7):22~26. (in Chinese)
- 桑艳朋,王祯丽,刘慧英. 膜下滴灌量对甜瓜产量和品质的影响[J]. 中国瓜菜,2005(6):11~13.  
Sang Yanpeng, Wang Zhenli, Liu Huiying. Effects of water treatments on fruit quality and yield of muskmelon under plastic mulched drip irrigation[J]. China Cucurbits and Vegetables, 2005(6):11~13. (in Chinese)
- 钱卫鹏,邹志荣,孟长军. 大棚内膜下根系分区交替滴灌不同灌溉下限对甜瓜生长及水分利用效率的影响[J]. 干旱地区农业研究,2007,25(3):11~13.  
Qian Weipeng, Zou Zhirong, Meng Changjun. Effect of alternate partial root-zone drip irrigation under plastic film on plant growth and water use efficiency of muskmelon in greenhouse[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2007, 25(3):11~13. (in Chinese)
- 王坚. 中国西瓜甜瓜[M]. 北京:中国农业出版社,2000.
- Allen R G, Pereira L S, Raes D, et al. Crop evapotranspiration-guidelines for computing crop water requirements—FAO irrigation and drainage paper 56[M]. Roma: FAO of the United Nations, 1998:109~110.
- 农业部. 2007年全国各地蔬菜、西瓜、甜瓜、草莓、马铃薯播种面积和产量[J]. 中国蔬菜,2009(1):51.