

# 日光温室西瓜产量影响因素通径分析及水分生产函数

郑健<sup>1,2</sup>, 蔡焕杰<sup>1\*</sup>, 王健<sup>1</sup>, 王燕<sup>2</sup>

(1. 西北农林科技大学旱区农业水土工程教育部重点实验室, 杨凌 712100;

2. 兰州理工大学能源与动力工程学院, 兰州 730050)

**摘要:** 该文以温室小型西瓜为试材, 采用日光温室内 E601 型蒸发器蒸发量值控制灌溉水量, 在西瓜的不同生育阶段设置 4 个灌水水平, 研究不同生长阶段不同土壤水分条件对产量的影响, 得出产量与水分之间的函数关系; 以株高、茎粗、叶面积指数 (LAI)、地上部干质量和根干质量为产量影响因素, 通过通径分析方法, 计算它们与产量之间的直接通径系数和间接通径系数。结果表明: 温室西瓜在滴灌条件下总产量与总耗水量之间呈二次函数关系, 最佳灌水量为 107 mm; 水分敏感指数在果实膨大期最大, 开花坐果期次之, 苗期和成熟期水分敏感指数较低; 产量与茎粗、LAI 和根干质量之间的单相关系数均达到显著和极显著水平, 而茎粗和根系干质量可作为评价小型西瓜高产的单个因素。

**关键词:** 日光温室, 效率, 水分处理, 水分利用效率, 水分生产函数, 西瓜

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2009.10.006

中图分类号: S275.6

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2009)-10-0030-05

郑健, 蔡焕杰, 王健, 等. 日光温室西瓜产量影响因素通径分析及水分生产函数[J]. 农业工程学报, 2009, 25(10): 30-34.

Zheng Jian, Cai Huanjie, Wang Jian, et al. Path analysis of yield components and water production function of watermelon in greenhouse[J]. Transactions of the CSAE, 2009,25(10): 30-34.(in Chinese with English abstract)

## 0 引言

小型西瓜 (*Citrullus vulgaris* Schard.), 又称“微型西瓜”、“礼品西瓜”, 是近年发展起来的优质西瓜新品种, 已成为中国西瓜市场上的高档畅销果品, 是现代化温室和设施中经济效益较高、栽培量较大的果品种类之一。西瓜耗水量大且对水分反应特别敏感, 在生长发育期间灌水频率, 灌水时间及灌水量对其生理生态性状具有明显影响。

作物水分生产函数是以作物各生育阶段的相对耗水量为自变量, 反映作物各生育阶段水分消耗与作物产量之间的函数关系。Kirda.C.<sup>[1]</sup>、Cabelguenne M.等<sup>[2]</sup>对不同农作物的耗水规律及水分对产量的影响进行了研究, 并提出优化灌溉措施的方案。国外设施蔬菜耗水规律的研究主要集中于无土栽培<sup>[3-4]</sup>。国内设施蔬菜耗水规律研究以番茄、黄瓜较多, 翟胜等<sup>[5]</sup>、徐淑贞等<sup>[6]</sup>和韩建会等<sup>[7]</sup>分别研究了日光温室黄瓜和番茄的需水规律及产量与耗水量之间的关系, 并提出了相应的灌水方案。通径分析是数量遗传学家 Sewall Wright 于 1921 年提出, 经过各专业学者不断改进而形成的一种统计方法, 它不仅可揭

示相关性状的因果关系, 更主要的是能反映各农艺性状对产量提高的相对作用大小, 它具有直观、精确等优点。通过对产量构成因素的通径分析不仅可以揭示各因素之间的相关关系, 而且能反映各产量影响因素对产量直接、间接的影响程度及对提高产量作用的大小。一些学者利用通径分析对多种作物进行分析研究<sup>[8-13]</sup>, 探明了其构成高产的主要因素。小型西瓜作为一种高附加值的水果, 在产量构成因素和水分生产函数的系统性研究还较少, 尤其是在设施栽培条件下。本文通过对秋季温室小型西瓜产量构成因素的通径分析和水分生产函数的研究, 以为日光温室小型西瓜生产实践中水分的合理分配和高效利用提供科学依据和理论指导。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试验在西北农林科技大学旱区农业水土工程教育部重点实验室的日光温室内进行。日光温室长 36 m, 宽 10.3 m, 高 4 m。实验室位于东经 108°04', 北纬 34°20'。种植前测定的土壤养分状况: 土壤有机质质量分数为 16.09 g/kg, 全氮质量分数为 1.15 g/kg, 全磷质量分数为 1.18 g/kg, 全钾质量分数 20.26 g/kg, 速效磷含质量分数为 26.30 mg/kg, 土壤肥力中等。温室内 60 cm 土层内平均土壤干容重为 1.39 g/kg, 田间持水率  $\theta_f$  为 31.73% (体积百分数)。

试验以小型西瓜“黑美人”为试验材料, 属于小型早熟西瓜种。2007 年 8 月 5 日播种, 8 月 26 日定植, 11 月 27 日试验结束。垄与垄间距 100 cm, 株距为 40 cm, 密度为 25 000 株/hm<sup>2</sup>。温室小型西瓜是一种耗水量较大

收稿日期: 2008-01-05 修订日期: 2009-10-15

项目基金: 国家自然科学基金资助 (50779059); 国家高新技术研究“863”计划资助 (2006AA100202)

作者简介: 郑健 (1981—), 男, 新疆阿克苏人, 博士, 主要从事节水灌溉理论及技术研究。兰州 兰州理工大学能源与动力工程学院, 730050。

Email: zhj16822@126.com

\*通信作者: 蔡焕杰 (1962—), 男, 教授, 主要从事农业节水和水资源高效利用方面的研究。杨凌 西北农林科技大学水建学院, 712100。

Email: caihj@nwsuaf.edu.cn

的作物，因此在制定灌水定额时尽量不使其发生重度亏水，同时温室小型西瓜属于喜温型作物，秋季气温较低，在 9 月 26 日—10 月 16 日出现连续阴雨天气，不利于作物的生长，故作物产量较低。

1.2 试验设计与布置

试验采用膜下滴灌，一条毛管控制一行作物，毛管长度与小区垄长相同。试验设置在西瓜不同生育阶段采用不同灌溉水量，灌溉水量采用 E601 型蒸发器的蒸发量值控制，以每天早晨 8:00 测定的蒸发量数值为灌溉标准，灌溉频率为 1 d<sup>-1</sup>，蒸发器安置在温室内。计算方法为<sup>[1]</sup>

$$M = K_p \times S \times E_p \quad (1)$$

式中： $M$ ——灌溉水量，mL； $K_p$ ——作物—蒸发皿系数； $S$ ——单个滴头控制面积，cm<sup>2</sup>，本研究中为 40 cm × 50 cm； $E_p$ ——两次灌水时间间隔内的蒸发皿蒸发量，mm。

试验设置如表 1 所示，其中  $E_p$  为 E601 型蒸发器蒸发量数值，1.25、1、0.75、0.5 为作物—皿系数  $K_p$ ，每处理设置 3 个重复，为防止各小区间水分相互渗透，相邻小区间用埋深 60 cm 的塑料布隔开。

表 1 温室小型西瓜灌溉试验灌水方案

Table 1 Irrigation scheme of mini-watermelon growing in greenhouse

处理	苗期	开花坐果期	果实膨大期	成熟期
1	1.25E <sub>p</sub>	1.25E <sub>p</sub>	1.25E <sub>p</sub>	1.25E <sub>p</sub>
2	1.25E <sub>p</sub>	1E <sub>p</sub>	1E <sub>p</sub>	1E <sub>p</sub>
3	1.25E <sub>p</sub>	0.75E <sub>p</sub>	0.75E <sub>p</sub>	0.75E <sub>p</sub>
4	1.25E <sub>p</sub>	0.5E <sub>p</sub>	0.5E <sub>p</sub>	0.5E <sub>p</sub>
5	1E <sub>p</sub>	1.25E <sub>p</sub>	1E <sub>p</sub>	0.75E <sub>p</sub>
6	1E <sub>p</sub>	1E <sub>p</sub>	1.25E <sub>p</sub>	0.5E <sub>p</sub>
7	1E <sub>p</sub>	0.75E <sub>p</sub>	0.5E <sub>p</sub>	1.25E <sub>p</sub>
8	1E <sub>p</sub>	0.5E <sub>p</sub>	0.75E <sub>p</sub>	1E <sub>p</sub>
9	0.75E <sub>p</sub>	1.25E <sub>p</sub>	0.75E <sub>p</sub>	0.5E <sub>p</sub>
10	0.75E <sub>p</sub>	1E <sub>p</sub>	0.5E <sub>p</sub>	0.75E <sub>p</sub>
11	0.75E <sub>p</sub>	0.75E <sub>p</sub>	1.25E <sub>p</sub>	1E <sub>p</sub>
12	0.75E <sub>p</sub>	0.5E <sub>p</sub>	1E <sub>p</sub>	1.25E <sub>p</sub>
13	0.5E <sub>p</sub>	1.25E <sub>p</sub>	0.5E <sub>p</sub>	1E <sub>p</sub>
14	0.5E <sub>p</sub>	1E <sub>p</sub>	0.75E <sub>p</sub>	1.25E <sub>p</sub>
15	0.5E <sub>p</sub>	0.75E <sub>p</sub>	1E <sub>p</sub>	0.5E <sub>p</sub>
16	0.5E <sub>p</sub>	0.5E <sub>p</sub>	1.25E <sub>p</sub>	0.75E <sub>p</sub>

1.3 测定项目与方法

叶面积指数 (LAI, leaf area index) 采用 LP-80 型 PAR/LAI 冠层分析仪测定。土壤含水率采用 CS820 型中子土壤水分仪测定，测定前采用烘干法对仪器进行校正，监测深度为 90 cm，分 9 层进行数据采集，每层 10 cm，生育阶段每 4 d 测定 1 次。

试验结束时，从各处理中取具有代表性植株 3 株共 48 株，取其地面以上高度为株高，所有茎节粗的平均值为茎粗。根系鲜质量、冠鲜质量的测定：将取样的西瓜植株从茎基部剪下，获得完整的冠部，然后将植物地上各部分分开后，擦拭表面尘污后立即称其鲜质量，根系取样面积为植株周围 40 cm × 40 cm，取样深度根据根系

生长而定，尽量取到以肉眼看不见细毛根为止，然后将其浸泡在盆中，到土柱变得松散时冲洗根系，将地上各部分与根系分别放入信封内，在 105℃ 烘 30 min 杀青，并在 75℃ 下烘至恒质量，用 1/100 电子天平称取干质量。

2 结果与分析

2.1 产量构成因素对小型西瓜产量的影响

试验选取株高 ( $x_1$ )、茎粗 ( $x_2$ )、叶面积指数 LAI ( $x_3$ )、地上部干质量 ( $x_4$ ) 和根干质量 ( $x_5$ ) 作为小型西瓜产量构成因素，各单项指标对产量 ( $Y$ ) 的单相关系数  $r_{iy}$ 、直接通径系数  $P_{iy}$  和间接通径系数  $r_{ij}P_{jy}$  的计算分析采用 SAS 软件实现<sup>[14]</sup>。各单个因素分析计算结果如表 2 和表 3 所示。

表 2 单项指标间相关分析和直接通径系数

Table 2 Correlation analysis among individual index and directly path coefficient

	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$y$
$x_1$	1	0.294	0.101	0.273	0.071	0.127
$x_2$	0.294	1	0.499*	0.701**	0.843**	0.863**
$x_3$	0.101	0.499*	1	0.329	0.472	0.582*
$x_4$	0.273	0.701**	0.329	1	0.506*	0.473
$x_5$	0.071	0.843**	0.471	0.506*	1	0.851**
$y$	0.127	0.863**	0.582*	0.473	0.851**	1
标准差	0.500	33.66	171.476	2.447	54.56	112.286
回归系数	-0.203	71.594	201.184	-2.615	65.250	164.416
直接通径系数 $P_{iy}$	-0.057	0.672**	0.172	-0.194	0.307*	

注：\*表示相关性在  $P=0.05$  水平上显著；\*\*表示相关性在  $P=0.01$  水平上显著。

表 3 产量构成因素与产量的间接通径系数

Table 3 Indirectly path coefficient between yield and its composing factors

因素	相关系数	直接通径系数	间接通径系数				
			$x_1 \rightarrow y$	$x_2 \rightarrow y$	$x_3 \rightarrow y$	$x_4 \rightarrow y$	$x_5 \rightarrow y$
$x_1$	0.127	-0.057		0.197	0.017	-0.053	0.022
$x_2$	0.863	0.672	-0.017		0.086	-0.136	0.259
$x_3$	0.582	0.172	-0.006	0.335		-0.064	0.145
$x_4$	0.473	-0.194	-0.014	0.471	0.057		0.155
$x_5$	0.851	0.307	-0.004	0.566	0.081	-0.098	

从表 2 可获得各产量构成因素 ( $x_1 \sim x_5$ ) 与产量 ( $Y$ ) 之间的线性回归方程为

$$Y = 164.416 - 0.203x_1 + 71.594x_2 + 201.184x_3 - 2.615x_4 + 65.25x_5 \quad (2)$$

其  $F=10.58^{**}$  ( $p < 0.001$ ) 达极显著，这说明  $Y$  关于  $x_1$ 、 $x_2$ 、 $x_3$ 、 $x_4$ 、 $x_5$  的通径分析是有意义的，且产量和各构成因素之间的多元回归关系可用方程 (2) 表示。通过计算回归方程的误差  $\varepsilon$  的通径系数  $P_{\varepsilon y} = 0.398$ ，说明还有一些影响产量 ( $Y$ ) 的因素未被考虑，需要在试验中进一步研究。

通过对各产量构成因素与产量之间的相关分析可知，除株高 ( $x_1$ ) 外，产量 ( $Y$ ) 与茎粗 ( $x_2$ )、LAI ( $x_3$ ) 和根干质量 ( $x_5$ ) 之间的单相关系数分别为 0.863、0.586、

0.851, 均达到显著和极显著水平; 各产量构成因素之间均存在一定程度的相关关系, 说明产量构成各因素与产量之间以及各单项因素之间相互的影响, 相互作用。

直接途径系数表明了各产量构成因素对产量的直接影响程度, 从表 2 中直接途径系数值可以看出, 茎粗和根干质量对产量的直接途径系数  $P_{1y}$  与  $P_{5y}$  达极显著和显著水平, 说明当用构成产量的单个因素来评价产量时, 茎粗可作为高产指标的第一选择, 而根干质量可作为高产指标的第二选择, 其回归方程分别为

$$Y=91.985x_1+105.19 \quad R^2=0.7444 \quad (3)$$

$$Y=181.36x_5+344.44 \quad R^2=0.7246 \quad (4)$$

间接途径系数表明构成产量的各单因素通过其他各因素对产量的影响程度, 通过对表 3 的分析可知: 1) 茎粗对产量的影响主要是直接影响, 而通过根干质量对产量的影响次之。2) LAI 通过茎粗对产量的间接影响最大, 而直接对产量的影响次之, 通过根干质量对产量的影响最小。3) 地上干物质通过茎粗对产量的间接影响最大, 通过根干质量对产量的影响较小。4) 根干质量对产量的影响主要是通过茎粗的间接影响, 而其直接影响次之。

综上所述, 各产量构成因素对产量都有不同程度的影响, 且该影响分别由直接影响和间接影响组成, 主要表现为直接途径系数和间接途径系数。对于茎粗和根干质量而言, 其直接途径系数, 分别达极显著和显著水平, 因此, 茎粗和根干质量可分别作为温室小型西瓜高产单项指标的第一选择和第二选择, 同时说明在温室小型西瓜的某个生育期适当的进行水分亏缺, 增大西瓜的茎粗和根量, 提高根冠比有利于最终产量的形成。

## 2.2 不同处理对单株产量、耗水量及水分利用效率的影响

由图 1 可知, 就整个生育期而言, 在苗期和开花坐果期采用  $0.75E_p$  的灌水量, 在膨大期提高到  $1.25E_p$  的灌溉水量 (处理 11), 不仅可以获得最高的产量, 同时也达到了最大的水分利用效率 ( $6.34 \text{ g/mm}$ ), 实现了高产与高效的统一。在小型西瓜的开花坐果期、果实膨大期和成熟期均采用  $0.5E_p$  灌溉水量的处理 4, 使得西瓜植株受到严重的干旱胁迫, 使其营养生长和生殖生长收到抑制, 虽然水分利用效率不是最低, 但其产量远低于其他处理, 这样的高效用水在生产实践中没有任何意义。整个生育期采用  $1.25E_p$  灌溉水量的处理 1, 虽然也有较高的产量, 但这是以大的耗水量为代价换来的, 最终使得水分利用效率降低 ( $4.48 \text{ g/mm}$ ), 这不但浪费水资源, 同时也容易导致作物病虫害的发生, 不利于温室小型西瓜的生长。因此, 在秋季温室小型西瓜的各生育期按处理 11 进行水分的科学管理, 可以实现作物的高产和水分利用高效的统一。

## 2.3 总产量与总耗水量的关系

通过对秋季温室小型西瓜总产量与总耗水量平均值之间进行回归分析, 得出产量与耗水量之间呈二次抛物线关系 (见图 2), 其回归方程为

$$y=-3.3895x^2+724.6x-25\ 593 \quad (5)$$

式中:  $y$ ——西瓜的总产量,  $\text{kg}/\text{hm}^2$ ;  $x$ ——西瓜生育期灌

水总量,  $\text{mm}$ ;  $R^2=0.798$ , 达显著水平。

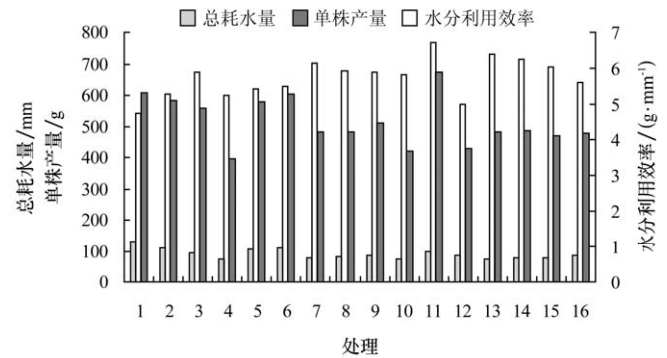


图 1 不同处理对单株产量、耗水量及水分利用效率的影响  
Fig.1 Effects of different treatments on per plant yield, water consumption and water use efficiency

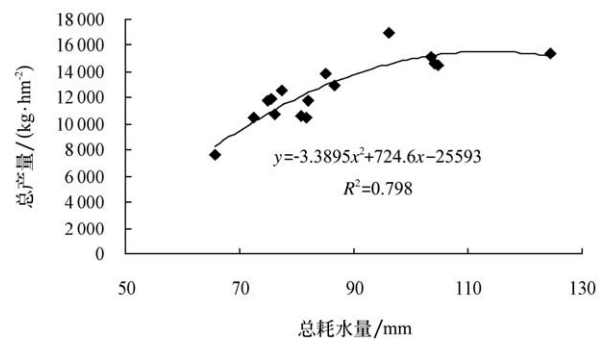


图 2 小型西瓜总产量与总耗水量之间的关系  
Fig.2 Relationship between total yield of mini-watermelon and water consumption

结果表明, 秋季温室小型西瓜采用膜下滴灌时全生育期的最佳需水量为  $107 \text{ mm}$ , 当全生育期供水量小于  $107 \text{ mm}$  时, 西瓜产量随耗水量的增加而增加; 当全生育期供水量大于  $107 \text{ mm}$  时, 产量不但不增加, 反而呈现降低的趋势。在秋季温室西瓜的生产实践中, 可以用此来指导灌溉, 既能满足西瓜生长发育的需求, 又能充分发挥其生产潜力, 同时也可以避免由于过量灌水引起的病虫害, 实现节水高产的目的。

## 2.4 温室小型西瓜水分生产函数

作物水分生产函数是水与作物产量之间的数量关系, 作物产量不仅受到水分条件的影响, 还受到本身品种以及养分、空气、热状况等诸多因素的综合影响。了解了作物各生育阶段对水分的敏感程度, 在生产实践中, 就可以清楚的认识作物的需水规律, 知道什么时期需要控水, 什么时期需要充足的水量, 把有限的水资源配给作物对水分最为敏感的时期, 以取得最大的经济效益。

水分生产函数的确定, 应该在除水分条件以外的其他可控制因素保持同等水平的条件下进行。作物水分生产函数有两种不同的形式, 一种是用于描述作物整个生长期总耗水量和产量的关系函数, 另一种是同时包括灌水时间和灌水量对产量影响的作物用水与产量关系函数, 称之为分阶段考虑的作物水分生产函数。从节水灌溉与用水管理的实际出发, 本试验研究以产量与需水量的关系表示水分生产函数, 近年来作物水分生产函数应

用较普遍的是詹森 (Jensen) 连乘模型

$$\frac{Y'}{Y_m} = \prod_{i=1}^n \left[ \frac{ET_i}{ET_{mi}} \right]^{\lambda_i} \quad (6)$$

式中： $Y'$ ——各处理条件下的实际产量； $Y_m$ ——各阶段均是最大腾发量  $ET_{mi}$  即不受水分胁迫或充分供水条件下的作物产量； $ET_i$ ——处理条件下的实际需水量； $ET_{mi}$ ——供水充足（即水分适宜）条件下的作物需水量； $i$ ——阶段序号； $n$ ——番茄全生育期的阶段数； $\lambda_i$ ——水分敏感指数，其值表示了该阶段缺水对产量的影响。 $\lambda_i$  越大表明该阶段缺水后减产率越高， $\lambda_i$  越小表明该阶段缺水后减产率越小。

根据试验结果，利用最小二乘法转化 Jensen 模型为求解线性方程组来计算水分敏感系数  $\lambda$ ，所得秋季温室小型西瓜水分生产函数模型为

$$\frac{Y'}{Y_m} = \left[ \frac{ET_1}{ET_{m1}} \right]^{0.021} \left[ \frac{ET_2}{ET_{m2}} \right]^{0.177} \left[ \frac{ET_3}{ET_{m3}} \right]^{0.212} \left[ \frac{ET_4}{ET_{m4}} \right]^{0.068} \quad (7)$$

式中脚标 1、2、3、4 是生育阶段序号，分别代表苗期、开花坐果期、果实膨大期和果实成熟期。

结果表明，水分敏感指数  $\lambda_i$  在果实膨大期最大，开花坐果期次之，苗期和成熟期水分敏感指数较低，说明开花坐果期和果实膨大期对水分最为敏感，若遭受水分胁迫将会对产量造成不可挽回的影响。在苗期和果实成熟期可以采用一定的水分亏缺，不会对作物产量的形成产生大的影响。

### 3 讨论与结论

通过对产量构成因素株高、茎粗、叶面积指数 LAI、地上部干质量和根干质量与产量之间的相关系数可知，株高与产量之间不显著。除株高外，产量与茎粗、LAI 和根干质量之间的单相关系数均达到显著和极显著水平；各产量构成因素之间均存在一定程度的相关关系，说明产量构成各因素与产量之间以及各单项因素之间相互影响，相互作用。

通过将相关系数分解为直接通径系数和间接通径系数，表明茎粗和根系干质量对产量分别有极显著和显著的正相关，因此可将茎粗和根系干质量作为评价温室小型西瓜高产的主要因素。建议在小型西瓜的培育过程中，要通过适时监测西瓜茎粗变化来调节西瓜生长的小环境，通过茎粗的增大来获得较高的产量；而叶面积指数和地上部干质量对产量的影响则是通过与茎粗、根干质量的作用间接作用于产量，因此它们对产量的评价将通过相对指标和复合指标等来实现。这些指标在今后的研究中将有待于进一步分析。

综合不同生育阶段需水量、耗水量与产量之间的关系以及利用 Jensen 计算的各生育阶段的水分敏感指数的研究结果表明：日光温室秋季小型西瓜在苗期和开花坐果期采用  $0.75E_p$  的灌水量，在膨大期提高到  $1.25E_p$  的灌溉水量，不仅可以获得最高的产量，同时也达到了最大的水分利用效率，实现了高产与高效的统一，过高和过低的土壤含水率均不利于温室小型西瓜的生长发育和产

量的形成；水分敏感指数表明果实膨大期和开花坐果期对水分敏感程度高，果实成熟期和苗期的水分敏感程度较低，这与 Yesim Erdem 和 A Nedim Yuksel<sup>[15]</sup> 在土耳其对西瓜进行的灌溉试验研究结果略有不同，同时也说明 Jensen 模型对温室小型西瓜生长中水分管理具有指导意义。

综上所述，结合对温室小型西瓜产量构成因素的分析 and 水分生产函数的研究结果，说明茎粗和根量是产量形成的主要因素，在苗期和成熟期施加一定的水分亏缺不会对产量造成影响，反而有利于促进产量的形成。现有的研究结果也表明在作物的苗期施加一定的水分亏缺可以增大茎粗，减小作物的“徒长”现象<sup>[16-17]</sup>，在果实成熟期施加一定的水分亏缺对产量影响不大<sup>[18]</sup>。因此，在温室小型西瓜的苗期和成熟期可以进行水分调亏处理。

### [参 考 文 献]

- [1] Kirda C. Deficit irrigation scheduling based on plant growth stages showing water stress to lernance[C]// Rome: Deficit Irrigation Practices, Water Reports 22, FAO, 2002: 102.
- [2] Cabelguenne M, Debaeke P, Bouniols A. EPICphase, a version of the EPIC mode lsimulating stages: Validation on maize, sunflower, sorghum, soybean and winter wheat[J]. Agricultural Systems, 1999, 60: 175—196.
- [3] Lorenzo P, Medrano E. Greenhouse crop transpiration: an implement to soil-free irrigation management[J]. Acta Hort, 1998, 459: 113—119.
- [4] Graaf R de, Esmeijer M H. Comparing calculated and measured water consumption in a study of the (minimal) transpiration of cucumbers grown on rock wool[J]. Acta Horticulturae, 1998, 459: 103—111.
- [5] 翟胜, 梁银丽, 王巨媛, 等. 干旱半干旱地区日光温室黄瓜水分生产函数的研究[J]. 农业工程学报, 2005, 21(4): 136—139.  
Zhai Sheng, Liang Yinli, Wang Juyuan, et al. Water production function of cucumber in Chinese solar greenhouse in arid and semiarid region[J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(4): 136—139. (in Chinese with English abstract)
- [6] 徐淑贞, 张双宝, 鲁俊奇, 等. 滴灌条件下日光温室番茄需水规律及水分生产函数的研究与应用[J]. 河北农业科学, 2000, 4(3): 26—28.  
Xu Shuzhen, Zhang Shuangbao, Lu Junqi, et al. The study and application of tomato's water requirement pattern and water productive function under condition of trickle irrigation in solar greenhouse[J]. Journal of Hebei Agricultural Sciences, 2000, 4(3): 26—28. (in Chinese with English abstract)
- [7] 韩建会, 徐淑贞. 日光温室番茄滴灌节水效果及灌溉制度的评价[J]. 西南农业大学学报, 2003, 25(1): 77—79.  
Han Jianhui, Xu Shuzhen. Water-saving effect of drip irrigation and evaluation of irrigation regimes for tomato production in solar energy greenhouse[J]. Journal of Southwest Agricultural University, 2003, 25(1): 77—79. (in Chinese with English abstract)
- [8] 田纪春, 邓志英, 胡瑞波, 等. 不同类型超级小麦产量构成因素及籽粒产量的通径分析[J]. 作物学报, 2006, 32(11): 1699—1705.

- Tian Jichun, Deng Zhiying, Hu Ruibo, et al. Yield components of super wheat cultivars with different types and the path coefficient analysis on grain yield[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2006, 32(11): 1699—1705. (in Chinese with English abstract)
- [9] 滕辉升, 张述宽, 陈天渊, 等. 青贮玉米生物产量与主要农艺性状的相关和通径分析[J]. *作物杂志*, 2007, (5): 48—50.
- [10] 向长萍, 陈洪明, 张宏荣. 南瓜产量构成性状的相关分析[J]. *中国蔬菜*, 2004, (6): 29—30.
- [11] 张继宁, 袁文业, 郭仰东. 茄子主要农艺性状的相关与通径分析[J]. *中国农学通报*, 2007, 23(5): 290—292.  
Zhang Jining, Yuan Wenye, Guo Yangdong. Correlation and path analysis of main agronomic characters of eggplant[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2007, 23(5): 290—292. (in Chinese with English abstract)
- [12] 陈贤, 关文灵, 杨磊, 等. 番茄品系产量构成因素的通径分析[J]. *安徽农业科学*, 2007, 35(8): 2268—2269.  
Chen Xian, Guan Wenling, Yang Lei, et al. Path analysis in yield component of tomato lines[J]. *Journal of Anhui Agri. Sci.* 2007, 35(8): 2268—2269. (in Chinese with English abstract)
- [13] 闫立英, 冯志红, 李晓丽, 等. 保护地旱黄瓜主要农艺性状的相关与通径分析[J]. *华北农学报*, 2005, 20(3): 30—31.  
Yan Liying, Feng Zhihong, Li Xiaoli, et al. Study on correlation and path analysis of the main agronomic characters of cucumber[J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2005, 20(3): 30—31. (in Chinese with English abstract)
- [14] 胡小平, 王长发. SAS 基础及统计实例教程[M]. 西安: 西安地图出版社, 2001.
- [15] Yesim Erdem, Nedim Yuksel A. Yield response of watermelon to irrigation shortage[J]. *Scientia Horticulturae*, 2003, 98: 365—383.
- [16] 王燕, 蔡焕杰, 陈新明, 等. 根区局部控水无压地下灌溉对番茄生理特性及产量、品质的影响[J]. *中国农业科学*, 2007, 40(2): 322—329.  
Wang Yan, Cai Huanjie, Chen Xinming, et al. Effects of crop rootzone non-pressure subirrigation on tomato physiological characteristics, yield and quality[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2007, 40(2): 322—329. (in Chinese with English abstract)
- [17] 常莉飞, 邹志荣. 调亏灌溉对温室黄瓜生长发育、产量及品质的影响[J]. *安徽农业科学*, 2007, 35(23): 7142—7144.  
Chang Lifei, Zhou Zhirong. Effects of regulated deficit irrigation (RDI) on the growth, yield and quality of greenhouse cucumber[J]. *Journal of Anhui Agri Sci*, 2007, 35(23): 7142—7144. (in Chinese with English abstract)
- [18] 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.  
Ma Fusheng, Kang Shaozhong, Wang Mixia, et al. Effect of regulated deficit irrigation on water use efficiency and fruit quality of pear-jujube tree in greenhouse[J]. *Transactions of the CSAE*, 2006, 22(1): 37—43. (in Chinese with English abstract)

## Path analysis of yield components and water production function of watermelon in greenhouse

Zheng Jian<sup>1,2</sup>, Cai Huanjie<sup>1\*</sup>, Wang Jian<sup>1</sup>, Wang Yan<sup>2</sup>

(1. Key Laboratory of Agricultural Soil and Water Engineering in Arid Area of Ministry of Education, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling 712100, China;

2. College of Energy and Power Engineering, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China )

**Abstract:** With irrigation water amount controlled by E601 type evaporator, the authors studied the effects of different water supply conditions in different growth stages on water production function of mini-watermelon, and calculation directly path coefficient and indirectly path coefficient among plant height, stem diameter, leaf area index (LAI), shoot dry weight, root dry weight and yield by path analysis method. The experiments included four levers of water supply at different growing stages of mini-watermelon. The results indicated that the relationship between total yield and the total amount of water consumption was quadratic parabola, and the optimal irrigation amount was 107 mm. Water sensitivity index went down successively from fruit spreading growth stage, blossoming and bearing fruits stage, fruit maturing stage and seeding stage. The correlation coefficient between stem diameter and yield, LAI and root dry weight reached significant level and extremely significant level. The stem diameter and root dry weight can be used as evaluation indexes.

**Key words:** greenhouse, efficiency, water treatments, water use efficiency, water production function, watermelon