

# 土壤水分条件对温室黄瓜需水规律和水分利用的影响<sup>x</sup>

何 华, 杜社妮, 梁银丽, 张成娥

(中国科学院、水利部 西北农林科技大学水土保持研究所, 陕西杨陵 712100)

**摘 要:** 在日光温室盆栽条件下, 以不同生育时期为试验因素, 采用正交设计研究了不同土壤水分条件在开花期、初瓜期、盛瓜期和生育后期等生育时期对黄瓜蒸腾量、生物量和水分利用效率的影响, 并通过黄瓜的需水规律提出实现高产高效的土壤水分对策。研究结果表明: (1) 黄瓜对水分的需求基本上呈现为开花期和初瓜期小、盛瓜期大、后期小的规律。需水高峰出现在盛瓜期, 需水强度达到 3.977 mm/d; (2) 开花期蒸腾速率为 0.544 mm/d。此时保持土壤含水量在 80% ~ 90% 田间持水量范围内, 不仅有利于水分的利用, 而且可促进同化产物在根冠之间的合理分配; (3) 初瓜期对水分的需求大幅度增加, 蒸腾速率达到 1.956 mm/d。80% ~ 90% 田间持水量的含水量更有利于果实的形成和生长; (4) 盛瓜期对水分的需求也达到了整个生育时期的顶峰, 蒸腾速率达到 3.83 mm/d。90% ~ 100% 田间持水量的土壤水分条件可以获得最高产量, 并实现水分利用与产量的高效统一; (5) 生长后期保持 70% ~ 80% 田间持水量的土壤含水量即可满足生长对水分的需求; (6) 在开花期控制土壤水分为 80% ~ 90% 田间持水量、初瓜期保持为 80% ~ 90% 田间持水量、盛瓜期提高为 90% ~ 100% 田间持水量和后期降至 70% ~ 80% 田间持水量的土壤水分处理, 不仅可获得最高产量, 而且可以达到最大的水分利用效率, 实现高产高效的统一。

**关键词:** 黄瓜; 蒸腾量; 生物量; 水分利用

中图分类号: Q945.17; S642.2 文献标识码: A

## Effect of soil moisture on water requirement rule and water use efficiency of cucumber in greenhouse

HE Hua, DU She-ni, LIANG Yin-li, ZHANG Cheng-e

(Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** In a greenhouse, the experiment was conducted on the effect of different soil moistures on the Ts, biomass and WUE of cucumber during 4 stages: florescent stage, early-fruit stage, fruit stage and late-fruit stage. And the best soil moisture arrangement was gained through the rules of cucumber's need for water. The results shows: (1) the rules of cucumber's requirement for water were generally as follow: fewer water were needed during florescent stage, early-fruit stage and late-fruit stage while the greatest water was needed during fruit stage, which's Ts reached 3.977 mm/d; (2) the average Ts during florescence was 0.544 mm/d, and the soil moisture of 80% ~ 90% field water capacity was not only beneficial for water use but also improved the reasonable distribution of dry matter between roots and shoots; (3) the Ts greatly

X 收稿日期: 2003-02-25; 修改稿收到日期: 2003-05-07

基金项目: 中国科学院“知识创新”工程重大项目(KZCX1-06-02); “863”项目子课题(2001AA242101)

作者简介: 何 华(1971- ), 女(汉族), 助理研究员, 博士, 主要从事作物水分高效利用研究。

increased in early-fruit stage, which arrived 1.956 mm/d averagely, and the soil moisture of 80% ~ 90% field water capacity was suitable to the information and growth of fruits; (4) Ts in fruit stage reached the climax, which increased to 3.83 mm/d averagely, and the highest yield was gained when soil moisture was 90% ~ 100% field water capacity, also highest WUE was realized in the same soil moisture; (5) the soil moisture of 70% ~ 80% field water capacity could satisfy the need of the growth of cucumber in late-fruit stage; (6) it could not only gain the highest yield but also the highest WUE when soil moisture was 80% ~ 90% field water capacity in florescent stage, 80% ~ 90% field water capacity in early-fruit stage, 90% ~ 100% field water capacity in fruit stage and 70% ~ 80% field water capacity in late-fruit stage, which realized the agreement of high yield and economically efficient water use.

Key words: cucumber; Es; biomass; WUE

日光温室是目前我国东北、华北、西北等地冬春蔬菜生产的最重要的设施之一。由于效益高, 见效快, 黄瓜生产面积迅速增加, 目前已约占日光温室总面积的 1/3。提高日光温室黄瓜生产的经济效益要从增加产量入手; 黄瓜是需水量较大的蔬菜, 因此科学的水分管理是决定产量的关键。

日光温室黄瓜的栽培基本沿袭以往的经验做法进行灌溉, 不能对水分进行科学合理的利用与管理, 不仅浪费水资源, 而且导致日光温室保护地病、虫害发生和产量下降等问题。根据目前的生产现状和研究情况<sup>[1-5]</sup>, 本试验研究了不同土壤水分条件对黄瓜生长的影响, 探讨了适合黄瓜生长的水分条件, 对日光温室黄瓜的需水规律、水分利用状况和产量进行了试验分析, 并提出符合黄瓜需水规律并达到高产高效的土壤水分在不同生育时期的含量范围, 为

生产实践提供科学依据。

## 1 材料与方 法

盆栽试验在中国科学院水土保持研究所的微拱式日光温室中进行。供试土壤采自延安, 为黄绵土。基本肥力状况: 有机质 5.728 g · kg<sup>-1</sup>, 全氮 0.401 g · kg<sup>-1</sup>, 速效氮 9.878 mg · kg<sup>-1</sup>, 全磷 0.565 g · kg<sup>-1</sup>, 速效磷 4.728 mg · kg<sup>-1</sup>, 速效钾 77.9 mg · kg<sup>-1</sup>。供试材料为黄瓜 (*Cucumis sativus* L.), 品种为津春 3 号。云南黑籽南瓜做砧, 靠接法嫁接。2002 年 3 月 13 日定植, 4 月 4 日开始处理, 7 月 18 日结束。

盆栽试验按 4 因素 3 水平正交排列设计, 共 9 个处理(表 1), 16 个重复。

表 1 日光温室盆栽黄瓜试验处理

Table 1 The treatment of pot experiment on cucumber in greenhouse

处理 Treatment	土壤水分含量 Soil moisture (%)			
	开花期 Florescent stage	初瓜期 Early-fruit stage	盛瓜期 Fruit stage	后期 Late-fruit stage
1	70 ~ 80	70 ~ 80	70 ~ 80	70 ~ 80
2	70 ~ 80	80 ~ 90	80 ~ 90	80 ~ 90
3	70 ~ 80	90 ~ 100	90 ~ 100	90 ~ 100
4	80 ~ 90	70 ~ 80	80 ~ 90	90 ~ 100
5	80 ~ 90	80 ~ 90	90 ~ 100	70 ~ 80
6	80 ~ 90	90 ~ 100	70 ~ 80	80 ~ 90
7	90 ~ 100	70 ~ 80	90 ~ 100	80 ~ 90
8	90 ~ 100	80 ~ 90	70 ~ 80	90 ~ 100
9	90 ~ 100	90 ~ 100	80 ~ 90	70 ~ 80

在每个生育时期结束时采样, 4 个重复。水分控制采用称重法。由于盆面辅以薄膜, 计算数据实际为植物蒸腾量( transpiration, Ts)。

生长指标测定和生长期间管理同常规。为叙述方便, 以下分别称 70% ~ 80%、80% ~ 90% 和 90% ~ 100% 田间持水量的土壤含水量为低水、中水和高水。结果分析中开花期、初瓜期和盛瓜期的生物量系

指黄瓜在各生育时期生物量的增加量, 后期的果实量也指该期的结果量; 因此, 各生育时期的水分利用效率为阶段水分利用效率。

## 2 结果与分析

### 2.1 黄瓜的需水规律

日光温室黄瓜的需水量在全生育期的变化规律

可以通过黄瓜的日蒸腾量在全生育期的变化过程进行分析。在不同土壤水分条件下, 黄瓜需水量在全生育期内的变化过程实测结果如图 1 所示。不同的水分处理对黄瓜全生育期需水规律影响不大, 仅在需水量上产生差异。黄瓜需水量基本上呈现为开花期和初瓜期小、盛瓜期大、后期小的规律。需水高峰出现在盛瓜期, 最大需水强度为 8.811 mm/d (处理 3), 不同处理在该期的平均需水强度为 3.977 mm/d。在初瓜期, 黄瓜对水分的需求略有起伏, 后期对水分的需求则比较平稳。这种变化规律反映了黄瓜植株在开花期由于温度较低, 植株体尚小, 对水分的需求也小; 进入黄瓜结瓜期, 随着气温升高, 黄瓜株体的增大, 需水强度随着蒸腾的增强而加大。盛瓜期正值 5 月下旬至 6 月中旬, 温室气温达到 25 ~ 33, 黄瓜生长以生殖生长为主, 大量果实在此期间膨大成熟, 对土壤水分的需求强度达到最大。到生育后期, 随着果实的不断采摘和植株逐渐衰老, 黄瓜对水分的需求趋于下降, 日需水量随之降低。

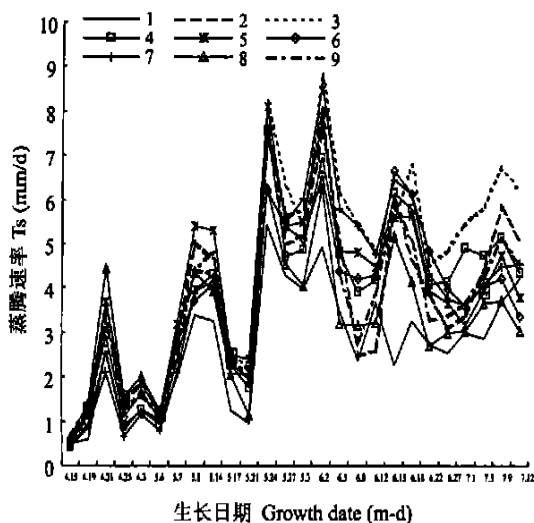


图 1 蒸腾速率的变化

Fig. 1 The Ts rate change with the growth of cucumber

2.2 不同生育时期土壤水分对黄瓜蒸腾、生物量和水利用的影响

2.2.1 开花期土壤水分与蒸腾、生物量和水利用的关系 开花期黄瓜以营养生长为主。在此生育期间的土壤水分条件不仅决定整个植株的生长状况, 而且对生物量在地上部分与地下部分的分配至关重要, 直接关系到黄瓜中后期的产量形成和产量高低。低水时, 黄瓜植株在开花期的蒸腾量为 4.767 mm; 中水的蒸腾量为 5.475 mm; 高水时, 蒸腾量为 6.064 mm。在开花期, 黄瓜植株蒸腾量随土壤水分的增加而增加。黄瓜植株的生长也遵循同一规律, 即

植株总生物量随着土壤含水量和植株蒸腾量的增加而依次增加。开花期土壤水分条件对同化物的积累及其在地上地下部分的分配起着关键作用。从黄瓜根冠比随不同土壤水分条件变化的规律, 可以看出其遵循“早长根, 湿长叶”的基本规律; 在高、中、低水的条件下, 其根冠比依次为 0.0382、0.0642、0.0645。植株在开花期的生长量随着土壤水分含量增加而增加, 其对水分的利用状况并非如此。本试验证明, 黄瓜开花期保持土壤含水量在中水(80%~90%)田间持水量范围内, 不仅有利于水分的利用(水分利用效率为 1.325 g/mm), 并且可以促进营养物质在根冠之间的合理分配, 为产量的形成和提高奠定了基础。低水处理的根冠比与水分利用效率虽然与中水处理相差无几, 但其绝对生物量最低, 植株生长受到抑制, 不利于开花坐果(图 2)。

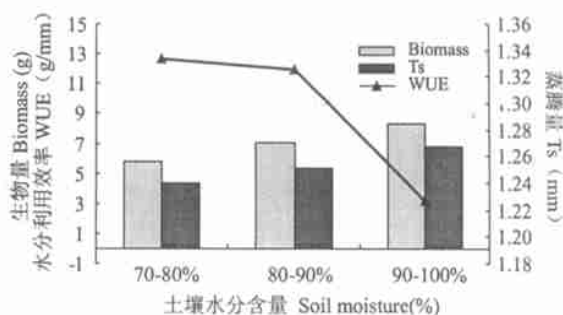


图 2 黄瓜开花期的蒸腾量、生物量和水利用效率

Fig. 2 The Ts, biomass and WUE of cucumber in florescent stage

2.2.2 初瓜期土壤水分与蒸腾、生物量和水利用的关系 黄瓜生长初瓜期是营养生长和生殖生长并进时期。这一生育时期随着植株的生长和温度的升高, 蒸腾量增加, 对水分的需求大幅度增加, 远远大于开花期黄瓜生长对水分的需求, 蒸腾速率达到 1.956 mm/d, 而开花期黄瓜的蒸腾速率仅为 0.544 mm/d。低水条件下植株的蒸腾量为 1.446 mm/d, 远低于在中水和高水情况下的蒸腾量; 而后两者之间的差异不大, 分别为 2.261 mm/d 和 2.159 mm/d。此时是矛盾集中的时期, 不仅地上地下部分竞争同化物的矛盾依然存在, 还存在营养生长与生殖生长对同化物的竞争, 并由此决定未来的果实产量。3 个水分处理的根冠比依然遵循“早长根, 水长苗”的规律, 并且根的比重较开花期加大, 达到 0.074(平均值); 但三者之间的差异趋于平缓。同时土壤水分条件对生殖生长的影响也有表现: 中水(80%~90%)田间持水量的含水量更有利于果实的形成和生长, 其果实重分别是低水和高水的 2/4 和 1.9 倍。

这一生育时期的阶段水分利用效率按低水、中水和高水的土壤含水量, 其分别为 1.054 g/mm、0.939 g/mm 和 0.796 g/mm (图 3)。

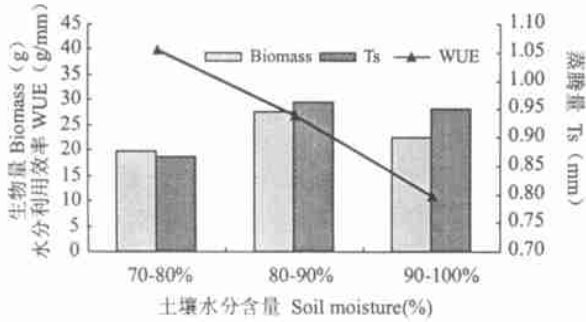


图 3 黄瓜初瓜期的蒸腾量、生物量和水分利用效率

Fig. 3 The Ts, biomass and WUE of cucumber in early-fruit stage

2.2.3 盛瓜期土壤水分与蒸腾、生物量和水分利用的关系 盛瓜期进入黄瓜生长的全盛时期。此时随着植株的进一步展开, 温度的持续上升和大量果实的形成与生长, 对水分的需求也达到了整个生育时期的顶峰, 蒸腾速率达到 3.977 mm/d。植株蒸腾量随着土壤水分含量的增加而增加。黄瓜的产量主要取决于这一阶段的产量, 高水条件可以获得最高产量, 达到 314.89 g, 比低水和中水的土壤水分条件, 分别高出 28.58% 和 32.03%; 并且这一阶段的最大水分利用效率也是在高水的土壤水分条件下得到的, 为 2.038 g/mm, 比低水和中水分别提高 12.60% 和 7.80%。说明黄瓜盛瓜期要求高的土壤含水量, 以保证植株的生长和果实的形成与生长, 从而达到水分利用与产量的高效统一, 实现同步提高 (图 4)。

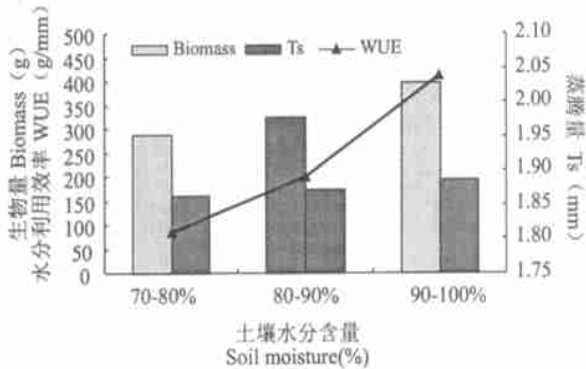


图 4 黄瓜盛瓜期的蒸腾量、生物量和水分利用效率

Fig. 4 The Ts, biomass and WUE of cucumber in fruit stage

2.2.4 生育后期土壤水分与蒸腾、生物量和水分利用的关系 进入黄瓜生长的后期, 由于叶片老化、枯死和结果量的急速下降, 植株蒸腾量有所下降。但由

于这一时期的温度达到全生育时期的最高点, 植株蒸腾量下降不多, 平均为 3.708 mm/d。产量相差不大, 低水的土壤水分条件下, 水分利用效率较高。因此, 黄瓜生长后期, 保持 70%~80% 田间持水量的土壤含水量就可以满足生长对水分的需求, 在保证一定结果量的前提下, 提高水分利用效率, 节约用水 (图 5)。

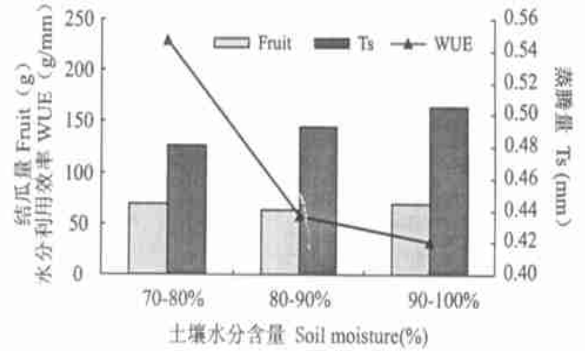


图 5 黄瓜后期的蒸腾量、结瓜量和水分利用效率

Fig. 5 The Ts, fruit and WUE of cucumber in late-fruit stage

### 2.3 黄瓜耗水量、产量和水分利用效率

试验的最终结果表明, 就整个生育期而言, 在开花期控制土壤水分为 80%~90% 田间持水量、初瓜期保持为 80%~90% 田间持水量、盛瓜期提高到 90%~100% 田间持水量和生长后期降至 70%~80% 田间持水量的土壤水分处理 (处理 5), 不仅可获得最高产量 (449 g/株), 而且可以达到最大的水分利用效率 (1.2 g/mm), 从而实现高产高效的统一。在全生育期保持 70%~80% 田间持水量的土壤含水量 (处理 1), 导致水分胁迫, 黄瓜的营养生长和生殖生长均得到抑制。其结果虽然水分利用效率较高, 但产量远远低于其他处理。另一方面, 充足而不适宜的水分供应并不产生最高产量 (图 6)。

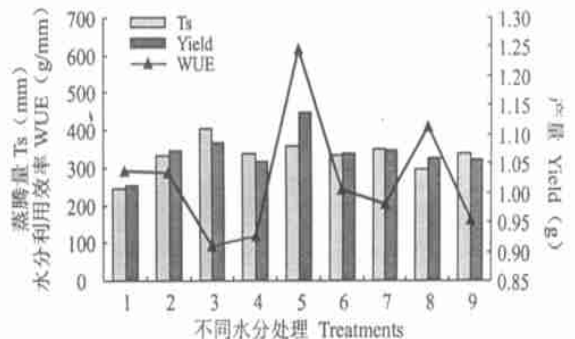


图 6 黄瓜的蒸腾量、产量和水分利用效率

Fig. 6 The Ts, yield and WUE of cucumber

### 3 讨论

关于日光温室条件下有利于黄瓜在不同生育时期生长发育的适宜土壤含水量的报道迄今未见<sup>[6]</sup>。本试验表明,开花期保持土壤含水量在 80%~90% 田间持水量范围,初瓜期 80%~90%,盛瓜期 90%~100% 和生长后期 70%~80% 的土壤水分含量不仅可以获得最高产量,而且实现了水分的高效利用。其原因主要在于土壤水分含量顺应了黄瓜在不同生育时期的需水规律,并能根据不同生育时期的生长重点进行调控。

黄瓜开花期以营养生长为主。这一时期不仅要保证一定的同化产物,为以后的开花坐果奠定基础;还要控制植株过度生长,形成合理的根冠比,有利于结瓜期增加产量。因此保持土壤含水量在 80%~90% 田间持水量范围内,不仅形成了适宜的生物量,而且促进同化产物在根冠之间的合理分配并促进了黄瓜对水分的利用效率。

初瓜期是营养生殖生长并重时期。这一时期的主要矛盾是同化产物在营养生长和生殖生长之间的合理分配。水分不适宜会造成植株生长受抑制(土壤

水分含量偏低)或营养生长过多消耗营养物质(土壤水分含量偏高),从而导致低产,降低对水分的利用效果。初瓜期保持 80%~90% 田间持水量的土壤含水量有利于同化产物的合理分配,进而促进果实的形成和生长。

盛瓜期虽然也是营养生长和生殖生长并进时期,但以生殖生长为主。因此,该生育时期是决定产量的关键时期。因为植株生长旺盛、坐果的需求以及持续的高温,对水分的需求达到黄瓜全生育期的高峰。90%~100% 田间持水量的土壤水分条件保证黄瓜获得了最高产量,并实现了水分利用与产量的高效统一。生长后期植株对水分的需求急剧下降,保持 70%~80% 田间持水量的土壤含水量即可满足生长对水分的需求。

黄瓜生长的规律性决定了其对水分需求的规律性。黄瓜在不同生育时期的生长特性和生长中心使其对水分的需求随之不断变化。不考虑黄瓜的生长规律、需水规律和环境条件(主要是温度)而保持常量灌溉,即使水分充足但由于不适宜,不仅浪费水资源、导致病虫害的发生,也不可能获得高产。

### 参考文献:

- [1] IRVIN E W, MICHEAL K. Environmental effects on seed dry weight and carbohydrate composition as related to expanse growth of cucumber (*Cucumis sativus* L.) fruit[J]. *Sci. Hort.*, 1995, 64: 21- 31.
- [2] GRAAF R, ESMEIJER M H. Comparing calculated and measured water consumption in a study of the (minimal) transpiration of cucumbers grown on rockwool[J]. *Acta Horticulturae*, 1998, 459: 103- 111.
- [3] PEI X B(裴孝伯), ZHANG F M(张福曼), GAO L H(高丽红). Study on water requirement of cucumber of different cropping in solar greenhouse[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin(中国农学通报)*, 2002, 18(4): 40- 42(in Chinese).
- [4] ZHANG X F(张宪法), YU X CH(于贤昌), ZHANG ZH X(张振贤). Effect of soil water on the growth and physiological characteristics of grafted and non-grafted cucumber in greenhouse[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology(应用生态学报)*, 2002, 13(11): 1399- 1402(in Chinese).
- [5] WANG X Y(王新元), LI D SH(李登顺), ZHANG X Y(张喜英). Relation between yield and water of the cucumber cropping of winter-spring in greenhouse[J]. *Chinese Vegetable(中国蔬菜)*, 1999, 1: 18- 21(in Chinese).
- [6] ZHANG X F(张宪法), YU X CH(于贤昌), ZHANG ZH X(张振贤). Effect of soil water on the growth and physiological characteristics of cucumber during fruit stage in greenhouse[J]. *Acta Horticulturae Sinica(园艺学报)*, 2002, 29(4): 343- 347(in Chinese).