

灌溉上限对温室黄瓜初花期生理特性的影响

李清明¹, 邹志荣¹, 刘彬彬²

(1 西北农林科技大学 园艺学院, 陕西 杨凌 712100; 2 中科院水利部水土保持与生态环境研究中心
黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西 杨凌 712100)

[摘 要] 为了确定温室黄瓜初花期土壤灌溉上限指标, 对不同栽培季节、不同土壤灌溉上限处理的温室黄瓜初花期的生理特性进行了研究。结果表明, 不论是秋茬还是春茬, 在灌溉上限土壤含水量为 90 %田间持水量的条件下, 黄瓜叶片相对含水量、自由水/束缚水、细胞汁液浓度和水势等水分生理指标比较适宜植株的健壮生长; 叶绿素含量最高, 分别较灌溉上限土壤含水量为 100 %田间持水量处理高 0.14 和 0.19 g/kg; 根系活力最强, 分别较灌溉上限土壤含水量为 100 %田间持水量处理高 0.17 和 0.12 g/(kg·h); 叶片净光合速率和胞间 CO₂ 浓度在日变化过程中始终保持最高水平。因此, 灌溉上限土壤含水量为 90 %田间持水量, 有利于黄瓜初花期植株的生长和光合产物的形成及积累, 为初花期适宜的节水灌溉上限指标。

[关键词] 黄瓜; 灌溉上限; 初花期; 生理特性

[中图分类号] S642.2

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2007)06-0113-06

Effect of irrigation maximum on physiological characteristics of cucumber during initial bloom stage in greenhouse

LI Qing-ming¹, ZOU Zhi-rong¹, LIU Bin-bin²

(1 College of Horticulture, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2 State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming of the Loess Plateau, Research Center of Water and Soil Conservation and Ecological Environment, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Physiological characteristics of cucumber were studied under different soil irrigation maximum and different seasons in greenhouse during initial bloom stage. The results showed whenever in autumn or in spring, under treatment H₃ (soil irrigation maximum was 90 % of field water capacity), relative water content, free water/ bound water rate, cytoliquid and water potential of cucumber leaves were more suitable for plants growing vigorously; chlorophyll content of cucumber leaves was 0.14 and 0.19 g/kg higher than treatment H₄ (soil irrigation maximum were 100 % of field water capacity) respectively; root activity was the highest and higher 0.17 and 0.12 g/(kg·h) than treatment H₄ respectively; net photosynthesis rate was highest during diurnal variation. So 90 % of field water capacity is the suitable soil irrigation maximum index which can accelerate the plant growth as well as synthesis and accumulation of photosynthate.

Key words: cucumber; irrigation maximum; initial bloom stage; physiological characteristics

黄瓜 (*Cucumis sativus* L.) 是我国温室栽培的主要蔬菜作物, 其对土壤水分状况非常敏感, 需水量

*1 收稿日期: 2006-05-10

[基金项目] 国家“863”高新技术研究与发展计划项目(2001AA247012)

[作者简介] 李清明(1974-), 男, 甘肃陇西人, 助理研究员, 在读博士, 主要从事设施蔬菜栽培生理生态研究。

[通讯作者] 邹志荣(1956-), 男, 陕西延安人, 教授, 主要从事设施园艺研究。E-mail: zouzhihong2005@163.com

较大,对水分要求严格,而且不同生育期对水分的敏感程度不同^[1-2]。目前国内外对设施蔬菜栽培需水规律的研究,主要集中于无土栽培以及水分胁迫上,对蔬菜灌溉指标的研究主要集中在灌溉土壤水分下限即灌水始点的研究上^[3-9]。随着非充分灌溉理论与技术的发展,近年来对蔬菜作物灌溉土壤水分上限也有研究^[10-12],但在黄瓜初花期灌溉指标方面的研究鲜有报道^[13-15]。因此,本试验对温室黄瓜初花期进行不同的灌溉上限处理,研究各处理对黄瓜生理特性的影响,确定适宜的节水高效灌溉指标,以期对温室黄瓜水分的量化管理,以及可控条件下的智能化管理提供理论依据和技术参数。

1 材料与方法

1.1 材料

试验材料为天津市黄瓜研究所选育的保护地专用品种津优 1 号。

1.2 试验时间与地点

试验分别于 2003-07~10(秋茬,)和 2004-03~06(春茬,)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温室内进行。秋茬于 2003-07-29 播种,08-24 定植,定植苗龄 26 d,生理苗龄 3 叶 1 心,定植 1 周缓苗后即 09-01 开始进行水分处理,至 09-23 根瓜坐稳为止;春茬于 2004-03-15 播种,04-14 定植,定植苗龄 30 d,生理苗龄 3 叶 1 心,定植 1 周缓苗后即 04-21 开始进行水分处理,至 05-17 根瓜坐稳为止。之后进入结果期,水分管理统一为田间持水量的 75%~90%。

1.3 育苗及供试土壤条件

试验采用营养钵育苗,营养土用无病虫、肥沃的田园土和充分腐熟的优质农家肥,砸细过筛后按体积比 7:3 混合配制,每 m³ 营养土中同时加入 2 kg 磷二铵复合肥和 0.5 kg K₂SO₄ 混合均匀,消毒灭菌后装入营养钵备用。定植小区土壤为±娄土,容重 1.36 g/cm³,田间持水量 24%,有机质 18.2 g/kg,碱解氮 488 mg/kg,速效磷 55 mg/kg,速效钾 216 mg/kg,pH 值 7.85。

1.4 试验设计

试验土壤灌溉下限统一设为田间持水量的 60%,设 H₁(70%田间持水量)、H₂(80%田间持水量)、H₃(90%田间持水量)、H₄(100%田间持水量)4 个土壤灌溉上限处理,采用单因素随机完全区组设计,3 次重复,共 12 个小区,小区面积为 4.8 m²。每小区(垄宽 80 cm,沟宽 40 cm,长 4 m)定植 2 行,株

距 30 cm,共 24 株。垄上铺设两行滴灌带,然后再铺地膜,定植苗统一离滴头 3 cm,小区间用塑料膜隔开,埋设深度 50 cm,以防侧渗。

1.5 测试指标与方法

土壤含水量用 Diviner-2000 每 3 d 测定 1 次,并用烘干法进行校正。灌水量依下式计算:

$$M_{\text{滴灌}} = r \times p \times S \times h \times \theta_f \times (q_1 - q_2) / \eta。$$

式中: r 为土壤容重(1.36 g/cm³); p 为土壤湿润比,取 100%; S 为小区面积; h 为灌水计划湿润层,取 0.4 m; θ_f 为田间持水量(24%); q_1 和 q_2 分别为土壤水分上限和下限(以相对田间持水量的百分比表示); η 为水分利用系数,滴灌取 0.9。

叶片组织含水量和相对含水量用烘干法测定,并计算水分饱和亏;自由水、束缚水含量用马林契克法测定;叶片水势用压力室测定;叶片细胞汁液浓度用阿贝折射仪测定;叶绿素含量用丙酮提取法测定;根系活力用 TTC 法测定^[16];叶片净光合速率、蒸腾速率、胞间 CO₂ 浓度、气孔导度用英国 PP-system 生产的 CIRAS-1 型便携式光合测定仪测定。以上指标测定所选叶片均为植株从上往下第 5 片功能叶,分别于处理结束后的 2003-09-24(晴天)和 2004-05-18(晴天)测定,所测结果运用 EXCEL 及 SAS 8.1 软件进行分析处理。

2 结果与分析

2.1 不同灌溉上限对温室黄瓜初花期叶片水分状况的影响

由表 1 可以看出,温室黄瓜初花期叶片组织含水量和相对含水量随土壤灌溉上限的提高而增加,相应的水分饱和亏随土壤灌溉上限的提高而减小。秋茬黄瓜各指标在处理 H₂、H₃、H₄ 之间差异不显著,春茬在处理 H₃、H₄ 之间差异不显著,其余各处理间差异均达显著水平。相比较而言,处理 H₃ 既可满足叶片正常代谢所需水分条件,又可防止叶片含水量过高而导致湿度过大所引起的病害发生和流行,同时又可节约用水,为节水高效增产奠定了基础。

2.2 不同灌溉上限对温室黄瓜初花期叶片自由水和束缚水含量的影响

由表 2 可知,随着土壤灌溉上限的提高,温室黄瓜初花期叶片自由水/束缚水值增大,方差分析结果表明,不论是秋茬还是春茬,H₁、H₂ 与 H₃、H₄ 之间差异达显著水平,但 H₁ 和 H₂ 之间、H₃ 和 H₄ 之间差异均不显著。说明植株代谢强度随土壤含水量增

加呈增加趋势,但当土壤含水量增加到一定程度后,又可减少灌水量,而且还可避免自由水/束缚水值过大而降低植株的抗逆性。

代谢强度的增加并不明显。由此可知,处理 H₃ 既可满足植株正常的水分代谢需求,使植株代谢旺盛,

表 1 不同灌溉上限对温室黄瓜初花期叶片组织含水量、RWC 及 WSD 的影响

Table 1 Effect of different irrigation maximum on leaf water content ,RWC and WSD of cucumber in greenhouse during initial bloom stage						
处理 Treatment	组织含水量(占鲜重) Leaf water content		相对含水量 RWC Relative water content		水分饱和亏 WSD Water saturation deficiency	
H ₁	86.45 b	88.19 c	77.19 b	73.18 c	22.81 a	26.82 a
H ₂	88.71 ab	88.70 b	81.44 ab	74.28 b	18.56 ab	25.72 b
H ₃	93.14 a	90.08 a	83.16 a	76.28 a	16.84 b	23.72 c
H ₄	95.63 a	90.45 a	85.68 a	76.92 a	14.32 b	23.08 c

注:数据后小写字母为不同处理间 Duncan 多重比较的差异显著性(α = 0.05)。下表同。

Note :Multiple comparisons are Duncan's new multiple test. Means with different small letters are different at α = 0.05 level. The same is as below.

表 2 不同灌溉上限对温室黄瓜初花期叶片自由水、束缚水含量的影响

Table 2 Effect of different irrigation maximum on free water and bound water of cucumber leaves in greenhouse during initial bloom stage						
处理 Treatment	自由水/ % Free water		束缚水/ % Bound water		自由水/ 束缚水 Free water/ Bound water	
H ₁	71.34 c	76.01 d	15.11 ab	12.19 a	4.72 b	6.24 b
H ₂	73.55 bc	76.57 c	15.17 a	12.13 a	4.85 b	6.32 b
H ₃	78.16 ab	78.15 b	14.98 ab	11.93 b	5.22 a	6.55 a
H ₄	80.72 a	78.68 a	14.91 b	11.78 c	5.41 a	6.64 a

2.3 不同灌溉上限对温室黄瓜初花期叶片光合特性的影响

由图 1 净光合速率日变化曲线可以看出,秋茬处理 H₃、H₄ 为单峰曲线,峰值出现在中午 12:00,其余皆为双峰曲线,峰值分别出现在 10:00 和 14:00,但光合速率总的趋势是处理 H₃ > H₄ > H₂ > H₁,说明处理 H₃ 有利于提高黄瓜叶片的净光合速率,土壤水分含量过高或过低都不利于其光合作用的进行。从图 1 蒸腾速率日变化曲线可以看出,秋茬处理 H₃、H₄ 也为单峰曲线,峰值出现在中午 12:00,其余皆为双峰曲线,峰值分别出现在 10:00 和 14:00,各处理变化趋势为 H₄ > H₃ > H₂ > H₁,说明蒸腾速率随土壤含水量的增加始终在增加。对气孔导度而言,各处理变化趋势亦为 H₄ > H₃ > H₂ > H₁,其日变化曲线与蒸腾速率的日变化曲线基本吻合,说明随着土壤含水量的增加,气孔导度逐渐增大,从而蒸腾速率也明显增加。胞间 CO₂ 浓度为处理 H₃ > H₄ > H₂ > H₁,其日变化趋势与净光合速率的日变化曲线非常相似,说明处理 H₃ 可通过增加细胞间隙 CO₂ 浓度来提高叶片净光合速率,是较适宜的土壤灌溉上限指标。

由图 1 还可以看出,各项指标测定值基本上都是春茬大于秋茬,这是由不同茬口温室内光照、温度等环境条件不同造成的。春茬相对来说日出逐渐提早,光照强度与温度上升快,光合作用很快启动,气孔积极响应,气孔阻力较小,胞间 CO₂ 浓度高,因此净光合速率和蒸腾速率也高。而秋茬日出较晚,温室内光照与温度回升慢,黄瓜光合作用启动慢,气孔阻力较大,胞间 CO₂ 浓度低,因此净光合速率和蒸腾速率较低。再者,秋茬处理随着土壤灌溉上限的降低,光合日变化曲线从单峰型变为双峰型,“午休”现象日益严重,而春茬处理皆为双峰曲线。这可能是由于,首先不良的土壤水分状况引起光合“午休”现象,其次中午强太阳光、低空气湿度或高叶片和空气之间的水汽亏缺(VPD)引起气孔导度的降低和气孔部分关闭,因而气孔中午关闭是光合速率中午降低的重要生理原因。由于伴随气孔导度的下降,胞间 CO₂ 浓度也不断减小,说明中午净光合速率的降低主要是气孔限制因素起作用而并非叶肉细胞光合活性的降低所致。

总而言之,在 100 %田间持水量灌溉上限条件下,叶片蒸腾速率达最大,而净光合速率是处理 H₃

为最大值,说明处理 H₃ 既可减少作物的无效蒸腾, 利用效率,间接提高作物生产潜力。
又有利于提高净光合速率,从而提高单叶瞬时水分

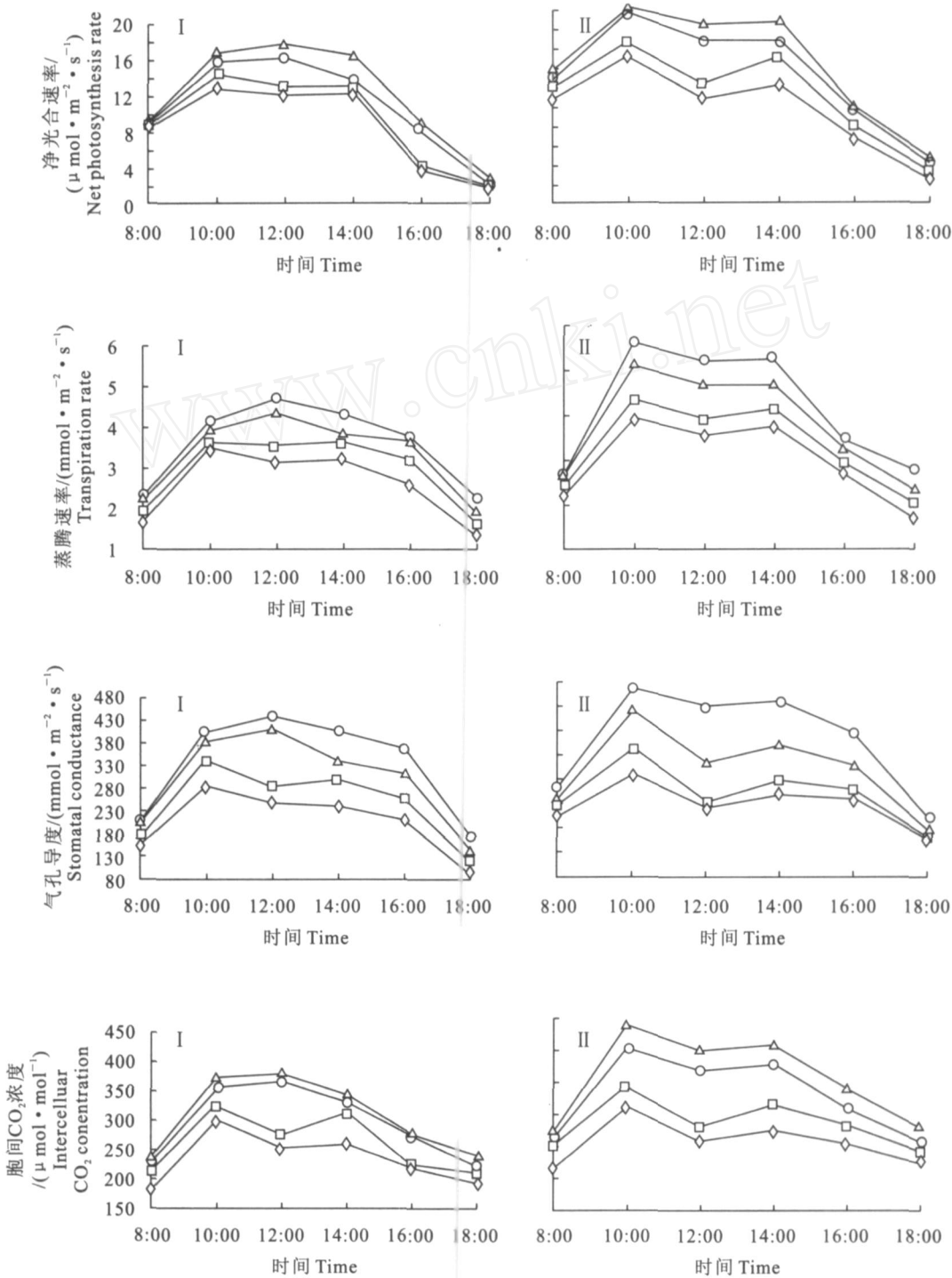


图 1 不同灌溉上限对温室黄瓜初花期叶片净光合速率、蒸腾速率、气孔导度和胞间 CO₂ 浓度的影响
- - - H₁; - - - H₂; - - - H₃; - - - H₄

Fig. 1 Effect of different irrigation maximum on diurnal variation of net photosynthesis rate ,transpiration rate ,stomata conductance and intercellular CO₂ content of cucumber leaves in greenhouse during initial bloom stage

2.4 不同灌溉上限对温室黄瓜初花期叶片细胞汁液浓度、水势、叶绿素含量及根系活力的影响

由表 3 可以看出,温室黄瓜初花期叶片细胞汁液浓度秋茬 H₃ 与 H₂、H₄ 差异不显著,与 H₁ 差异显著,春茬 H₃ 与 H₂ 差异不显著,其余处理间差异显著;叶片水势秋茬 H₃ 与 H₄ 差异不显著,春茬 H₃ 与 H₂、H₄ 差异不显著,其余处理间差异均显著。土壤灌溉上限低于田间持水量 80 %时,叶片水势明显

降低,叶片细胞汁液浓度显著提高,植株生理活性开始受到抑制,生长变缓。随土壤灌溉上限增大,细胞汁液浓度逐渐降低,且秋茬大于春茬;水势随土壤灌溉上限增大逐渐提高,秋茬小于春茬。

由表 3 还可以看出,温室黄瓜叶片叶绿素含量随土壤灌溉上限的增大而逐渐提高,当灌溉上限为 100 %田间持水量时,反而略有降低。秋茬和春茬都是处理 H₃ 叶绿素含量最高,分别达 2.36 和 2.45 g/kg,比处理 H₄ 分别高 0.14 和 0.19 g/kg,但差异不显著。

由表 3 可以看出,根系活力以处理 H₃ 最大,秋茬和春茬分别达 0.45 和 0.50 g/(kg·h),比处理 H₁ 分别高 0.22 和 0.21 g/(kg·h),比处理 H₄ 分

别高 0.17 和 0.12 g/(kg·h)。方差分析表明,秋茬处理 H₃ 的根系活力与其余处理差异均达显著水平,而春茬除处理 H₃ 与处理 H₁ 差异显著外,其余处理间皆不显著。这可能是由于秋茬温室内光照与温度等环境条件由比较适宜逐步向低温寡照的逆境变化,而春茬呈相反的变化趋势。因此,土壤灌溉上限对根系活力的影响秋茬比春茬更加明显。

综上所述,处理 H₃ 叶片具有较适宜的细胞汁液浓度和水势以及较高的叶绿素含量,植株处于较适宜的水分状况下,生长发育良好,光合性能较强,而且更有利于促进黄瓜根系的发育,增强根系活力,促进水分和矿质营养向地上部的运输。

表 3 不同灌溉上限对温室黄瓜初花期叶片细胞汁液浓度、水势、叶绿素含量及根系活力的影响

Table 3 Effect of different irrigation maximum on cytoliquid,water potential,chlorophyll content of cucumber leaves and root activity in greenhouse during initial bloom stage

处理 Treatment	细胞汁液浓度/ % Cytoliquid concentration		水势/ Mpa Water potential		叶绿素含量/(g·kg ⁻¹) Chlorophyll content		根系活力/(g·kg ⁻¹ ·h ⁻¹) Root activity	
H ₁	8.63 a	6.13 a	- 0.46 c	- 0.42 c	1.80 b	1.99 b	0.23 c	0.29 b
H ₂	7.38 b	5.06 b	- 0.41 b	- 0.30 b	2.06 ab	2.23 ab	0.35 b	0.42 ab
H ₃	7.00 bc	4.94 b	- 0.36 a	- 0.24 ab	2.36 a	2.45 a	0.45 a	0.50 a
H ₄	6.63 c	4.69 c	- 0.33 a	- 0.19 a	2.22 a	2.26 a	0.28 c	0.38 ab

3 讨 论

植株净光合速率和蒸腾速率一方面受温室内光温环境的直接影响,另一方面光温环境通过影响植株的生长发育速度从而间接影响植株的净光合速率和蒸腾速率^[17-19]。由于秋茬温室内光照由强到弱、日照时数由长到短、温度由高到低变化,作物生长趋向于不适宜植株生长的弱光、亚适温或低温环境条件;而春茬温度、光照等环境条件逐步改善,更加适宜于黄瓜的生长发育,因而相对来讲春茬黄瓜叶片水分状况适宜,植株生长发育和叶面积增加较快,叶绿素含量较高,根系活力较强,叶片净光合速率和蒸腾速率相对较高。

水是光合作用不可缺少的原料,但植物进行光合作用时,作为原料消耗的水只是植物从土壤中吸收或蒸腾失水的 1 %以下,因此水分亏缺时光合速率的降低,并非由于水分供应不足,而是由于水分亏缺引起气孔或非气孔因素的限制^[20]。然而,水分过多也不利于光合作用的进行。土壤水分过多、通气不良不仅会妨碍根系活动,从而间接影响光合作用,而且叶肉细胞处于低渗状态,也会使光合速率和量子效率下降,这可能是由于 NADP⁺ 还原反应受到不利影响所致^[21]。本研究结果也表明,土壤含水量

过高或过低都不利于光合作用的进行,90 %田间持水量的灌溉上限有利于提高黄瓜叶片的净光合速率,降低叶片的无效蒸腾,从而提高单叶瞬时水分利用效率,这与人研究结果一致^[22-25]。

对于光合“午休”现象来说,强太阳光、低空气湿度和低土壤水势可能是主要的环境因子,气孔导度的降低可能是重要的生理因子,而脱落酸(ABA)合成的增加和光系统 光化学效率的降低可能是重要的生化因子,这些因子相互密切联系。中午气孔部分关闭可能是对低空气湿度或高叶片和空气之间水汽亏缺(VPD)的响应。在这种情况下,气孔的中午关闭是光合速率中午降低的重要生理原因^[26-27]。不论在何种情况下,中午气孔关闭总是导致植物用水效率的提高,因为中午气孔关闭可以使叶片的气体交换主要在上午和下午光合速率较高而蒸腾速率较低时进行,而且中午气孔关闭也是植物对强光、低空气湿度和低土壤水势等不良环境因子的适应性调节^[28-30]。在多种环境因子中,不良的土壤水分状况是引起光合“午休”现象的一个决定性因素。对温室黄瓜而言,在适宜的土壤水分条件下光合“午休”更有利于提高水分利用效率。本研究结果表明,随着土壤水势的降低,光合日变化曲线从单峰型变为双峰型,“午休”现象日益严重。在光合速率变化过程

中,随着净光合速率的降低气孔导度和胞间 CO_2 浓度同时降低,由此可推知光合速率的降低是由气孔限制造成的。叶片含水量越高,气孔阻力越小,蒸腾强度也越大。但土壤水分上限达饱和田间持水量时,胞间 CO_2 浓度较 90 %田间持水量有所降低,从而导致净光合速率降低。

土壤灌溉上限低于田间持水量的 80 %时,叶片水势明显降低,叶片细胞汁液浓度显著提高,其生理活性开始受到抑制,植株生长变缓。随土壤干旱程度的增加和植株含水量的降低,细胞汁液浓度增高。当细胞汁液浓度增加到一定程度后,细胞渗透势增加,就会阻碍光合作用的进行和蛋白质的合成,影响植株的正常生长发育。这主要是由于细胞内贮藏有可溶性糖、氨基酸等化合物,使细胞的渗透势提高,阻碍了植株的正常生长。随着土壤水分的升高,叶片水势增加,叶细胞含水率也相应提高,使得细胞汁液浓度降低,植物生长旺盛^[31]。本试验在 90 %田间持水量的灌溉上限条件下,叶片具有适宜的相对含水量,植株水分代谢旺盛,而且可避免自由水/束缚水值过大而降低植株的抗逆性,叶片具有较适宜的细胞汁液浓度、水势以及较高的叶绿素含量,根系活力较强,植株处于较适宜的水分状况,生长发育良好,光合性能较强,真正达到了节水高效增产的目的。

[参考文献]

- [1] 张振贤. 蔬菜生理[M]. 北京:中国农业科技出版社,1993.
- [2] 日本农山渔村文化协会. 蔬菜生物生理学基础[M]. 北京农业大学,译. 北京:北京农业出版社,1985.
- [3] Borin M. Irrigation management of processing tomato and cucumber in environments with different water table depths[J]. Acta Horticulturae,1990,267:85-92.
- [4] Janoudi A K, Widders I E. Water deficits and environmental factors affect photosynthesis in leaves of cucumber (*Cucumis sativus* L.) [J]. Amer Soc Hort Sci,1993,118(3):366-370.
- [5] Graaf R D, 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.
- [6] 栾雨时. 塑料大棚黄瓜的灌水始点[J]. 灌溉排水,1990,9(1):62-63.
- [7] 诸葛玉平,张玉龙,李爱峰,等. 保护地番茄栽培渗灌灌水指标的研究[J]. 农业工程学报,2002,18(2):53-57.
- [8] 张万清. 土壤水分张力对大棚黄瓜生长发育的影响[J]. 中国农学通报,1996,12(4):23-25.
- [9] 曾向辉,王慧峰,戴建平,等. 温室西红柿滴灌灌水制度试验研究[J]. 灌溉排水,1999,18(4):23-26.
- [10] 黄兴学,邹志荣. 温室辣椒节水灌溉指标的研究[J]. 陕西农业科学,2002(3):8-10.
- [11] 李建明,邹志荣. 灌溉土壤水分上限对温室番茄开花坐果期生理指标的影响[J]. 西北农业学报,2000,9(4):71-74.
- [12] 王淑琴,施晓春,邹志荣,等. 工厂化育苗灌溉上限对甜瓜幼苗品质的影响[J]. 陕西农业科学,2003(3):18-20.
- [13] 贺忠群,邹志荣,陈小红,等. 温室黄瓜节水灌溉指标的研究[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版,2003,31(3):77-80.
- [14] 李清明,邹志荣,郭晓冬,等. 不同灌溉上限对温室黄瓜初花期生长动态、产量及品质的影响[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版,2005,33(4):47-52.
- [15] 李清明,邹志荣,贺忠群. 不同灌溉上限对温室黄瓜结瓜期生长动态、产量及品质的影响[J]. 农业工程学报,2005,21(增刊):77-81.
- [16] 高俊凤. 植物生理学实验技术[M]. 西安:世界图书出版公司,2000.
- [17] 裴孝伯,张福墁,高丽红. 日光温室不同茬口黄瓜对水分需求的规律[J]. 中国农学通报,2002,18(4):40-42.
- [18] 王绍辉,张福墁. 不同水分处理对日光温室黄瓜叶片光合特性的影响[J]. 植物学通报,2002,19(6):727-733.
- [19] 韩建会,徐淑贞,张福墁. 日光温室不同季节生态环境对黄瓜光合作用的影响[J]. 华北农学报,2003,18(F09):124-126.
- [20] 薛 崧,汪沛洪,许大全,等. 水分胁迫对冬小麦 CO_2 同化作用的影响[J]. 植物生理学报,1992,18(1):1-7.
- [21] 叶济宇,李德耀,沈允钢. 低渗膨胀对菠菜完整叶绿体光合作用的影响[J]. 植物生理学报,1995,21(1):73-79.
- [22] 徐克章,史跃林,许贵民,等. 保护地黄瓜叶片光合作用温度特性的研究[J]. 园艺学报,1993,20(1):51-55.
- [23] 卢育华,申玉梅,陈利平. 黄瓜单个叶片光合特性研究[J]. 园艺学报,1994,21(1):54-58.
- [24] 张宪法,于贤昌,张振贤. 土壤水分对温室黄瓜结果期生长与生理特性的影响[J]. 园艺学报,2002,29(4):343-347.
- [25] 张振贤,艾希珍,赵世杰,等. 黄瓜叶片光合作用的温度补偿点与光合启动时间[J]. 园艺学报,2003,30(2):157-162.
- [26] 许大全. 光合作用效率[M]. 上海:上海科学技术出版社,2002.
- [27] 许大全. 光合作用“午睡”现象的生态生理与生化[J]. 植物生理学通讯,1990(6):5-10.
- [28] Cowan I R, Farquhar G D. Stomatal function in relation to leaf metabolism and environment[C]. Integration of activity in the higher plant. London:Cambridge University Press,1997:471-501.
- [29] Farquhar G D, Schulze E D, Koppers M. Responses to humidity by stomata of *Nicotiana glauca* L. and *Corylus avellana* L. of carbon dioxide uptake with respect to water loss[J]. Aust J Plant Physiol,1980,7:315-327.
- [30] Tenhunen J D, Serra A S, Harley P C, et al. Factors influencing carbon fixation and water use by Mediterranean sclerophyll shrubs during summer drought[J]. Oecologia,1990,82:381-393.
- [31] 武维华. 植物生理学[M]. 北京:科学出版社,2003.