

遮荫对番茄单叶水分利用效率的影响研究*

刘贤赵

康绍忠

(山东烟台师范学院地理旅游系 烟台 264025) (西北农林科技大学农业水土工程研究所 杨陵 712100)

摘要 通过逐个分析 3 种遮荫水平下各参数变化对番茄单叶水分利用效率(WUE)的影响表明,各环境因子以综合复杂的方式影响水分利用效率,其中气孔阻力和水汽压差随环境因子变化最为重要。夏季晴天午间遮荫处理的气孔阻力和水汽压差明显小于对照,气孔阻力的增加有利于提高单叶水分利用效率,但水汽压差的增大又使单叶水分利用效率降低。由于环境因子日变化的非对称性和 2 种机制的相互作用,导致 3 种遮荫水平下单叶水分利用效率的日变化呈浅“L”型,并在 12:00~15:00 时 40%遮荫处理的单叶水分利用效率比对照平均增加 22.9%,而 75%遮荫处理的单叶水分利用效率平均比对照显著减少 28.1%,表明夏季晴天午间充足供水条件下适度遮荫可提高番茄单叶水分利用效率。

关键词 遮荫 番茄 环境因子 水分利用效率

Effects of environmental factors under shading conditions on water use efficiency of tomato leaves. LIU Xian-Zhao(Department of Geography and Tourism, Yantai Normal College, Yantai 264025), KANG Shao-Zhong(Institute of Agricultural Soil and Water Engineering, Northwest Science and Technology University of Agriculture and Forestry, Yangling 712100), *CJEA*, 2003, 11(1): 23~26

Abstract Effects of all parameters influenced by the three levels of shading (0% shading, HL; 75% shading, LL; 40% shading, ML) on water use efficiency (WUE) of tomato leaves grown in pots under well-watered conditions were investigated in summer sunny midday. The results show that environmental factors influence WUE synthetically and complexly, especially, stomatal resistance and vapor pressure difference (VPD). The stomatal resistance and the VPD increase by high evaporation potential because strong light and high temperature at noon at HL are more greater than those at ML and LL treatments. The increase in stomatal resistance can increase WUE, but the increase of VPD can decrease WUE. Daily variations of WUE under three shading levels show shallow “L” type, which are caused by the non-symmetry of diurnal variations of environmental factors and interaction of two mechanisms above. Compared with the non-shaded control, the average single leaf WUE of 40%-shaded plants increases by 22.9% during the 12:00~15:00 in summer sunny day, while the WUE for 75%-shaded plants reduces significantly by 28.1%, showing that moderate shading can enhance WUE of tomato leaves under sufficient water condition on summer midday.

Key words Shading, Tomato, Environmental factors, Water use efficiency

作物水分利用效率(WUE)是衡量作物耗水量与物质生产量之间关系的重要参数^[1],也是节水农业的重要指标。在设施栽培中为避免夏季晴天午间强光高温对作物的灼叶伤害,降低室内温度和光照强度,适当遮荫已成为一项有效措施。作物遮荫后其生长的微环境因子发生相应的变化,有可能对作物的水分利用效率产生影响。本研究探讨了遮荫条件下环境因子对番茄单叶水分利用效率影响的机理,对合理灌溉、采取各种有效的农艺措施改善设施农业小环境,提高水分利用效率和挖掘节水潜力有十分重要意义。

1 试验材料与方法

试验在西北农林科技大学节水灌溉试验站进行,供试品种为“毛粉 802 号”,按正常生长季将番茄种子播种于温室塑料大盆内,盆内装 1:1(v/v)的沙土和蛭石,室内温度控制在 15~25℃,光照时间 10h/d,相对湿度 50%~70%,当番茄苗长至 4 叶时移入内径 18cm×深 21cm 的瓷盆内,每盆 2 株,盆装土壤为容重 1.25 g/cm³、田间持水量 24.3%(占干土重%)的中壤土,装土前将土样分别加入硝酸铵 0.5g/kg 和磷酸二氢钾

* 国家杰出青年科学基金项目(49725102)、中国科学院知识创新项目(KZCX1-06-02-01)、烟台师范学院博士引进基金和西北农林科技大学青年专项基金共同资助

收稿日期:2001-12-31 改回日期:2002-02-08

0.2g/kg混匀施入,并在移栽前用 Hoagland 全营养液灌至田间持水量以保证土壤水分和肥力充足。试验期间用 TDR 监控土壤含水量,视其需要进行充分灌水,其他均按常规栽培管理。当番茄生长至开花后期时开始进行光照处理,以自然光为基础,设对照(0%遮荫,HL)、遮荫 40%(ML)和遮荫 75%(LL)3 个水平处理,通过不同透光能力的遮阳网(4m×3m)达到处理光强,每水平处理设 5 个重复,用便携式光合仪(LI-6400, LI-COR Inc., Lincoln, NE)测定单叶净光合速率、蒸腾速率、气孔阻力、叶温、水汽压差、光合有效辐射和 CO₂ 浓度,每株选 2 片叶,冠层上方气温、风速分别用 Asmman 通风干湿表和微型三杯风向风速仪测定,其他有关气象资料由离试验点 40m 处的气象站提供,观测时间选择两段晴稳天气进行白昼每小时 1 次的连续观测(6 月 21~23 日,7 月 16~21 日),由于各天测定结果无显著差异($P>0.05$),故使用数据均为所有测定平均值。单叶水分利用效率根据光合与蒸腾的实测资料用下式计算:

$$WUE = \frac{P_n}{T_r} = \frac{\lambda \gamma}{\rho c_p} \times \frac{C_a - C_i}{e_s - e_a} \times \frac{r_b + r_s}{1.34 r_b + 1.56 r_s + r'_m}$$

式中, r_b 、 r_s 分别为水汽扩散的边界层阻力和气孔阻力, λ 为蒸发潜热, ρ 、 c_p 分别为干空气密度和空气定压比热, γ 为干湿球常数, $(e_s - e_a)$ 为水汽压差, C_a 为冠层周围 CO₂ 浓度, C_i 为细胞间 CO₂ 浓度, r'_m 为 CO₂ 扩散进入细胞中的叶肉阻力。

2 结果与分析

2.1 气孔阻力变化及其对水分利用效率的影响机制

充分供水条件下 3 种不同光照处理气孔阻力日变化曲线均呈不对称的浅“W”型,在 11:00~15:00 时 3 种光照处理气孔阻力曲线均向上有不同程度的凸起,以 HL 的曲线凸起最明显,LL 的气孔阻力最小(见图

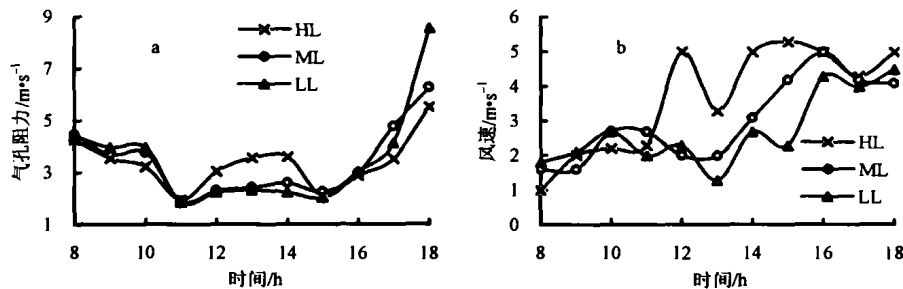


图 1 遮荫条件下番茄叶片气孔阻力与风速的日变化

Fig. 1 Diurnal changes in stomatal resistance of tomato leaves and wind speed under shading conditions

1a),这表明午后强光和高温形成的高蒸发力使对照植株因蒸腾失水产生一定程度的水分亏缺^[9]。为防止过度失水,番茄迫使气孔收缩,气孔阻力增加,出现午后气孔关闭的“午睡”现象。而相同水分条件下 75%遮荫与 40%遮荫因减少的光合有效辐射(中午 HL 冠层上方光合有效辐射为 1100~1300 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$, ML 和 LL 分别为 600 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ 和 300 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ 左右)和水汽压差(见表 1)使气孔阻力在 11:00~15:00 波幅较小,此间一直稳定在低值范围内,二者气孔阻力显著小于对照。

午间瞬时风力的增大使 HL 气孔阻力增加(见图 1b),风速作用减小了叶表面水汽扩散的界面阻力,致使蒸腾到叶表面的水汽能更快地扩散到大气中,午后水汽压差和风速的增大使叶片迅速干燥脱水,导致气孔关闭^[5]。CO₂ 浓度也可成为控制气孔开度的限制因子,但本试验中 3 种光照条件下冠层周围 CO₂ 浓度均维持在 370~390 $\mu\text{mol}/\text{mol}$ 的水平,不同光照之间 CO₂ 浓度无显著差异,且三者日变幅小于其他环境因子日波动变化,可以认为 CO₂ 浓度对遮荫条件下气孔开度几乎无限制作用。

由计算光合强度 [$P_n = (C_a - C_i)/(1.34 r_b + 1.56 r_s + r'_m)$] 和蒸腾强度 [$T_r = \rho c_p (e_s - e_a)/\lambda \gamma (r_b + r_s)$] 的关系式可知,当气孔阻力增大时蒸腾速率和净光合速率均下降,且当其他因子不变时蒸腾速率降幅大于净光合速率降幅;反之,当气孔阻力减小时蒸腾速率和净光合速率均上升,且蒸腾速率增幅大于净光合速率增幅。根据这一理论,HL 处理的番茄在午间引起的气孔阻力上升可提高光合与蒸腾之比,而遮荫处理减小的气孔阻力将降低光合与蒸腾之比,从而有可能引起水分利用效率的下降。

2.2 水汽压差的变化及其对水分利用效率的影响

水汽压差是影响作物蒸腾的重要因子,由计算水分利用效率的模式可知水汽压差与叶温、大气水汽压相联系,当水汽压差增大时,水分利用效率应减小^[2,6]。本试验结果表明遮荫处理下水汽压差均低于对照,对照处理的水分利用效率最小值与水汽压差最大值同步出现在午后 15:00;而 ML 和 LL 处理的水分利用效率

最小值分别出现在 18:00 和 17:00,与水汽压差最大值出现的时间并不同步,表明遮荫条件下水分利用效率与水汽压差之间关系变得较为复杂(见表 1)。

表 1 遮荫条件下水汽压差、气温、叶温与番茄叶片水分利用效率

Tab.1 Vapor pressure difference, air temperature, leaf temperature and water use efficiency of tomato leaves under shading conditions

时 间 Times	0%遮荫 0% shade				40%遮荫 40% shade				75%遮荫 75% shade			
	气温/℃ Air temperature	叶温/℃ Leaf temperature	水汽压差/kPa Vapor pressure difference	水分利用效率/ $\mu\text{mol}\cdot\text{mmol}^{-1}$ Water use efficiency	气温/℃ Air temperature	叶温/℃ Leaf temperature	水汽压差/kPa Vapor pressure difference	水分利用效率/ $\mu\text{mol}\cdot\text{mmol}^{-1}$ Water use efficiency	气温/℃ Air temperature	叶温/℃ Leaf temperature	水汽压差/kPa Vapor pressure difference	水分利用效率/ $\mu\text{mol}\cdot\text{mmol}^{-1}$ Water use efficiency
8:00	27.31	27.38	1.37	5.82	26.47	25.95	1.29	6.16	25.98	25.25	1.33	5.47
9:00	28.88	29.91	2.27	4.23	27.26	27.16	1.93	5.00	27.18	25.99	1.70	5.89
10:00	29.68	30.93	2.17	4.13	28.63	28.19	1.71	4.95	28.27	27.89	1.79	4.35
11:00	32.46	34.96	2.99	4.25	27.62	25.87	1.98	3.55	29.74	26.55	2.15	2.96
12:00	32.56	34.87	3.21	3.67	31.80	30.97	2.07	4.21	31.26	30.59	2.26	2.62
13:00	33.35	36.51	4.41	3.38	31.82	30.90	3.17	3.82	31.21	29.95	2.83	2.33
14:00	34.87	37.10	3.87	2.80	34.57	33.07	3.44	3.61	32.85	32.41	3.06	2.02
15:00	36.76	38.88	4.00	2.27	35.24	33.15	3.54	3.49	32.85	32.28	3.38	1.78
16:00	33.35	32.11	3.53	2.72	32.19	31.01	2.82	3.08	31.71	30.42	2.10	1.94
17:00	32.42	31.27	3.69	2.44	30.92	28.83	2.74	1.34	30.62	28.60	2.97	0.61
18:00	31.34	30.81	2.12	2.86	30.80	29.50	2.15	1.32	30.61	28.82	2.06	0.65

饱和水汽压增大或实际水汽压减小是水汽压差增加的 2 种方式,其直接原因主要是午后高温,而午后气温上升使叶温提高(见表 1),叶温上升后使饱和水汽压增大,并降低光合,增强叶片呼吸,使 HL 处理净光合速率下降(见图 2a)。午后高温的间接作用是指气孔行为的影响,当水汽压差较大时水分亏缺加剧引起气孔关闭,使叶内外显热交换与潜热交换受阻,蒸腾速率下降而蒸腾耗热减少,叶温升高导致气腔内部空气中水汽密度提高,饱和水汽压增大,而当气孔收缩、蒸腾减弱时由叶面扩散到叶外大气的水分减少,实际水汽压将下降,使气孔内外的水汽压差加大,作物为防止体内水分散失过多,气孔自行关闭。而遮荫处理下相对降低的气温、叶温和水汽压差以及较小的气孔阻力使午后(12:00~15:00)蒸腾速率高于对照(见图 2b)。水分利用效率的最终结果取决于 2 种机制作用的程度,本试验结果表明 12:00~15:00ML 处理的水分利用效率明显高于对照(平均比对照增加 22.9%),而 LL 的水分利用效率平均比对照下降 28.1%,HL 与 ML 在全天中总的水分利用效率无显著差异($P>0.05$),3 种光照条件下水分利用效率的日变化均呈浅“L”型,水分利用效率上午大于下午,傍晚略有回升(见图 2c)。水分利用效率上午高于下午的这种非对称性是光合与蒸腾日变化非对称性的必然结果(见图 2a 和 b),而光合与蒸腾日变化的非对称性又由气温、叶温、水汽压差和气孔阻力以及风速日变化的非对称性所造成。

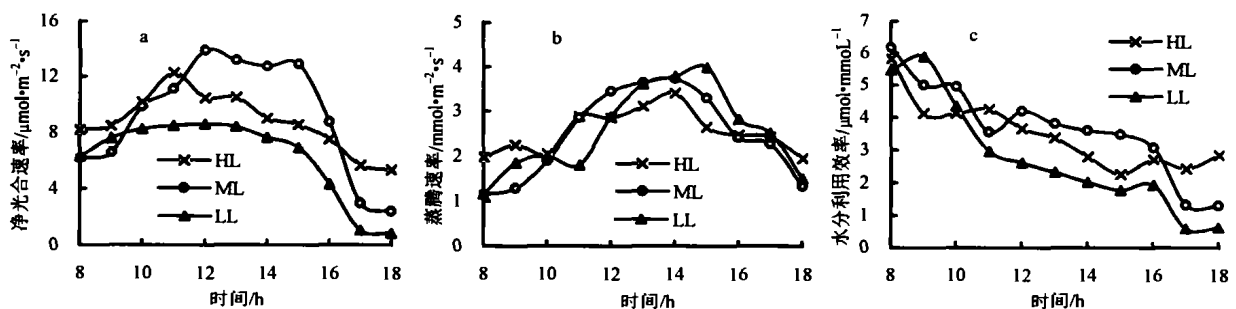


图 2 遮荫条件下番茄单叶净光合速率(a)、蒸腾速率(b)和水分利用效率(c)的日变化

Fig.2 Diurnal variation of net photosynthetic rate (a), transpiration rate (b) and water use efficiency (c) of tomato leaves

2.3 遮荫条件下其他因子对水分利用效率的效应

边界层阻力、叶肉阻力和 CO₂ 浓度差也是影响水分利用效率的因素,试验期间番茄在较短时间内株高

变化不大;而当参考高度取在贴近冠层上方时,层结稳定度对边界层阻力的影响亦可忽略^[7],因此可认为边界层阻力主要取决于风速,风速减小导致边界层阻力增大将有利于提高水分利用效率。不同光照条件下 HL 的风速最大,ML 次之,LL 的最小(见图 1b),根据这一理论,水分利用效率随风速增大减小的幅度为 HL > ML > LL,但本研究结果正相反,HL、ML 和 LL 的水分利用效率随风速增减的幅度分别为 0.6956、0.8425 和 1.0851,这是因为边界层阻力通常只有气孔阻力的 1/5 ~ 1/3^[3,4,8],风速减小导致边界层阻力增大对水分利用效率的提高效应远小于气孔阻力的提高效应,且遮荫条件下影响水分利用效率的其他因素存在较大差异,而水分利用效率又是多种环境因子综合作用的产物。

在相同水分和同种作物条件下叶肉阻力之间差异极小,一般可认为是常数。由于遮荫导致光照强度发生变化,叶肉阻力也可能产生变化。叶肉阻力的增大将使净光合速率下降,进而使水分利用效率降低,但本文视叶肉阻力为一个常数。本试验中不同遮荫条件下叶外周围 CO₂ 浓度终日维持在较高水平,各处理之间差异很小且日波动幅度很小,故本研究水分利用效率的变化与大气 CO₂ 浓度关系不大。

3 小 结

叶温、水汽压差、气孔阻力、气温和风速等都是影响作物水分利用效率的重要因子,其中水汽压差和气孔阻力随环境因子的变化最为强烈,气孔阻力的增加有利于提高水分利用效率,但这种提高效应会被相应产生的水汽压差增大对水分利用效率降低的效应所抵消,最终影响取决于这 2 种机制的相对强弱。大气稳定、风速减小时边界层阻力的增大和大气 CO₂ 浓度的提高,均有利于提高水分利用效率,但影响效应相对较小;在充足供水条件下夏季晴天午间适当遮荫(如 40% 遮荫)可明显提高番茄叶片的水分利用效率。

参 考 文 献

- 1 王 慧. 环境因子对冬小麦水分利用效率的影响. 生态学报, 1996 (16): 584 ~ 590
- 2 王 宏, 杨春宏等. 小麦气孔阻力与水分利用效率. 农田生态系统能量与物质交换. 北京: 气象出版社, 1987. 249 ~ 253
- 3 康绍忠. 土壤-植物-大气连续体水流阻力分布规律研究. 生态学报, 1993 (2): 157 ~ 163
- 4 卢振民, 张 翼等. 用彭曼-蒙太斯方法测算农田水分散失. 北京: 气象出版社, 1987. 125 ~ 137
- 5 Kramer P. J. Water Relation of Plant. New York: Academic Press, 1979. 489
- 6 Bierhuizen J. F., Slayer R. O. Effect of atmospheric of water vapor and CO₂ in determining transpiration photosynthesis relationships of cotton leaves. Agr. Meteo., 1965, 2: 259 ~ 270
- 7 Baily W. G., Davies J. A. The effect of uncertainty on aerodynamic resistance on evaporation model. Boundary-Layer Meteo, 1981, 20: 187
- 8 John W. R. Reconciling water-use efficiency of cotton in field and laboratory. Crop Science, 1992, 32: 13 ~ 18
- 9 Yadav S. K., Kumar A., Singh D. P. Microenvironment, water relations and yield of mustard cultivars in unirrigated and irrigated soils. J. Trop. Agric. Vet. Sci., 1990, 28: 399 ~ 406