

水氮供应对温室黄瓜叶绿素含量及光合速率的影响

李 静^{1,2}, 李志军¹, 张富仓¹, 方栋平¹, 王海东¹

(1. 西北农林科技大学水利与建筑工程学院, 旱区农业水土工程教育部重点实验室, 中国旱区节水农业研究院, 陕西 杨凌 712100; 2. 陕西省土地工程建设集团, 陕西 西安 710075)

摘 要: 利用温室小区试验, 以黄瓜“博耐 9-1”为供试品种, 设置 3 个灌水水平: 低水 W_1 (60% ET_0)、中水 W_2 (80% ET_0) 和高水 W_3 (100% ET_0), 全生育期灌水量分别为 126、152 mm 和 177 mm; 4 个施氮水平: 无氮 N_0 (0)、低氮 N_1 (180 $kg \cdot hm^{-2}$)、中氮 N_2 (360 $kg \cdot hm^{-2}$) 和高氮 N_3 (540 $kg \cdot hm^{-2}$), 共 12 个处理, 研究了不同水氮供应对温室黄瓜叶绿素含量和光合速率的影响。结果表明: 黄瓜叶绿素含量随着生育期的推进呈现先增加后降低的趋势, 在盛果期取得最大值。在同一施氮水平条件下, 灌水量的提高对叶绿素含量的提高均起到了促进作用。其中叶绿素总含量在 W_3N_3 处理下取得最大值, 为 12.32 $mg \cdot g^{-1}$, 且与 W_2N_2 处理之间无显著差异。在各水氮供应条件下, 黄瓜叶片的净光合速率日变化呈现单峰曲线, 不施氮肥或严重亏水均会显著影响作物的净光合速率, 而适量的节水节肥不仅能节约农业成本, 且相比于充分灌水施肥, 作物也能达到较好的净光合速率。在光照较强较稳定的情况下, W_2 处理下黄瓜叶片净光合速率达到最大值。从总体变化趋势看, W_2N_2 处理 (80% ET_0 , N 360 $kg \cdot hm^{-2}$) 可认为是基于本试验条件下较适宜的水氮组合。

关键词: 温室黄瓜; 水氮供应; 滴灌施肥; 叶绿素含量; 光合速率

中图分类号: S158.5 **文献标志码:** A

Effects of water and nitrogen supply on chlorophyll content and photosynthetic rate of greenhouse cucumber

LI Jing^{1,2}, LI Zhi-jun¹, ZHANG Fu-cang¹, FANG Dong-ping¹, WANG Hai-dong¹

(1. College of Water Resources and Architectural Engineering, Key Laboratory of Agricultural Soil and Water Engineering in Arid and Semiarid Areas of Ministry of Education, Institute of Water-saving Agriculture in Arid Areas of China, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Shaanxi Land Construction Group, Xi'an, Shaanxi 710075, China)

Abstract: Choosing ‘Bonai 9-1’ as the test cultivar, the greenhouse plot experiment was subjected to three irrigation water levels W_1 (60% ET_0), W_2 (80% ET_0) and W_3 (100% ET_0), the irrigation of the whole growth period of cucumber were 126, 152 mm and 177 mm, respectively, in interaction with four nitrogen fertilization levels [N_0 (0 $kg \cdot hm^{-2}$), N_1 (180 $kg \cdot hm^{-2}$), N_2 (360 $kg \cdot hm^{-2}$), N_3 (540 $kg \cdot hm^{-2}$)], and there were 12 treatments in total. The effects of different water and nitrogen supply on chlorophyll content and photosynthetic rate of greenhouse cucumber were investigated. The results showed that: the chlorophyll content of cucumber showed an increasing trend and then decreasing with the growth progress, and obtained the maximum in full fruit. Improving irrigation played a catalytic role on chlorophyll content under the same nitrogen level. The maximum of total chlorophyll content which was 12.32 $mg \cdot g^{-1}$ was obtained under W_3N_3 treatment, and had no significant differences with W_2N_2 treatment. Under the various water and nitrogen supply conditions, the diurnal variation of Pn of cucumber appeared unimodal curve. No nitrogen or severe water deficit significantly affected net photosynthetic rate of cucumber, and appropriate water and fertilizer saving management not only could save the cost of agriculture, but also could achieve the better net photosynthetic rate comparing to full irrigation and fertilization. The net photosynthetic rate of cucumber leaves obtained the maximum under treatment W_2 with a

收稿日期: 2015-12-22

基金项目: “十二五”国家 863 计划项目课题“农田水肥联合调控技术与设备”(2011AA100504); 教育部高等学校创新引智计划项目 (B12007)

作者简介: 李 静 (1990—), 女, 陕西渭南人, 硕士研究生, 主要从事节水灌溉理论与技术研究。E-mail: muzizheng1990@163.com。

通信作者: 李志军 (1976—), 男, 陕西千阳人, 实验师, 主要从事节水灌溉理论与技术研究。E-mail: lizhij@nwsuaf.edu.cn。

stronger and more stable light irradiation. Comparing the general trend, W_2N_2 treatment ($80\% ET_0$, $N 360 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$) was the more appropriate combination of water and nitrogen based on the experimental conditions.

Keywords: greenhouse cucumber; water and nitrogen supply; fertigation; chlorophyll content; photosynthetic rate

黄瓜在设施蔬菜生产中占重要地位,增产潜力大,对水分及肥料需求量大。并且在所有矿物质养分中,氮素对促进作物生长发育和增产的效果最为显著。为使作物生长迅速、高产,弥补作物吸收能力的不足,盲目过量的灌水与施肥现象极为显著,导致硝态氮在土壤中大量累积,加之频繁的灌水,很容易造成地下和地表水的污染^[1-2],导致水资源的极大浪费和农田水肥环境的污染。因此,研究节水节肥的作物灌溉施肥制度,是当前农业生产亟需解决的问题。光合速率作为植物生理性状的一个重要指标,是估测植株光合生产能力的主要依据之一,其变化不仅决定于植株本身的生物学特性外,还受水肥等环境因子的影响^[3]。而叶绿素是光合色素中重要的色素分子,直接参与作物光合作用中光能的吸收、传递和转化,是反映其光合能力的重要指标之一^[4]。因此,针对作物生长发育期不同水氮供应对其生理特性的效应研究就显得尤为重要。近年来,有关水肥管理对作物生理特性影响的研究较多^[5-10],朱金霞等^[11]研究表明,适宜的灌水量有利于枸杞光合速率的增长,水分亏缺使光合速率降低,而水分过多则会导致土壤通气不良,致使根系活力降低,间接影响作物光合速率。也有研究表明,叶片的光合速率随着灌水量的减少而急剧的减小^[12],且在干旱胁迫下施氮可提高作物叶片的光合速率,促进植株生长,缓解因水分不足而减产所造成的不利影响^[13-14]。研究表明灌水或施肥过多过少都会引起叶绿素含量的降低^[15],不利于光合速率的提高,合理的水肥调控才是提高作物生理特性的关键^[16-17]。在针对众多关于水肥管理对蔬菜生理特性的响应研究中,多以灌水量和施肥量作为单一因子来进行评价,而有关水肥一体化条件下的研究报道比较少,加之其作物品种、土壤特点、种植密度以及气候等各种因素,导致得出的研究结论也大不相同。本研究通过分析不同水氮供应水平对黄瓜叶绿素及光合速率的影响,探求黄瓜对干旱逆境的生理响应机制及对氮素的调控机制,以期科学地对水肥进行调控,为节水农业生产提供科学的参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验区基本概况

试验于2013年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日光温室中进行,试验

地位于东经 $108^{\circ}40'$,北纬 $34^{\circ}18'$ 。试验站海拔521 m,年平均气温 13°C ,年降水量 $550 \sim 600 \text{ mm}$,主要集中在7—9月。站内设有国家一般气象站,按照国家气象局的《地面气象观测规范》标准进行气温、湿度、降水、日照、水面蒸发、风速、气压和地温观测,并设有自动气象站自动记录气温、相对湿度、太阳辐射和风速。供试土壤为重壤土,耕作层土壤理化性质为:有机质 $14.1 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,土壤容重为 $1.43 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$,田间持水量为 23.67% (质量含水率),土壤pH为7.8,全氮 $0.87 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,碱解氮为 $63 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,速效磷为 $58.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,速效钾为 $146.8 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

1.2 试验设计

试验设灌水量与施氮量2个因素,其中灌水量设置3个水平,分别为低水($W_1 60\% ET_0$)、中水($W_2 80\% ET_0$)和高水($W_3 100\% ET_0$),其中 ET_0 为参考作物蒸发蒸腾量;施氮量设置4个水平,分别为对照(N_0 无氮肥)、低氮($N_1 180 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)、中氮($N_2 360 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)和高氮($N_3 540 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)。试验采用完全随机设计,共12个处理,各处理重复3次,分36个小区(长 \times 宽 $= 6 \text{ m} \times 1.25 \text{ m}$)种植。为防止试验处理间相互渗漏影响,试验小区之间用塑料薄膜隔离。试验中氮肥用尿素(含N 46.4%),磷肥用重过磷酸钙(含 $P_2O_5 44\%$),钾肥用氯化钾(含 $K_2O 60\%$)。其中磷肥和钾肥用量分别为 $P_2O_5 200 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $K_2O 450 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。定植前,将全部的磷肥、22%的氮肥及33%的钾肥作为基肥施入;苗期施17%的氮肥,具体时间为9月5日,剩余氮肥及钾肥分7次等量追施,间隔时间为7天,并采用液压比例施肥泵装置控制施肥,具体追肥时间为9月23日、10月1日、10月9日、10月17日、10月25日、11月2日、11月10日。

1.3 试验材料

滴灌试验在坐北朝南的日光温室内进行,温室通过屋顶通风口通风,长50 m,宽8 m,有效种植面积为 300 m^2 。为了保持幼苗存活和生长迅速,黄瓜种植方向为南北走向。黄瓜定植时,温室都灌以25 mm的缓苗水来保证幼苗的成活率。试验黄瓜于2013-08-21定植,11-22拉秧,供试品种为“博耐9-1”(Bonai 9-1)。种植方式为当地典型的起垄覆膜栽培模式,垄高20 cm,宽75 cm,各试验小区种植2行黄瓜,共24株,在2行黄瓜中间布置1条直径8

cm 的内镶式滴灌带,滴头间距 33 cm,滴头流量为 $3.6 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1}$ 。黄瓜的生育阶段划分为苗期(2013-08-21—2013-09-20)、开花坐果期(2013-09-21—2013-10-01)、盛果期(2013-10-02—2013-11-08)、末果期(2013-11-09—2013-11-22)。全生育期低水(W_1)、中水(W_2)和高水(W_3)灌溉的灌水量分别为 126, 152 mm 和 177 mm。

1.4 观测项目及方法

每个试验区选取三株固定植株作为三个重复,在各个生育期内选取固定植株,采用 96% 乙醇浸提法:将代表叶片剪碎,剪成 0.2 cm 左右的细丝混匀后,称取 0.1 g,放入 25 ml 容量瓶中。加 10 ml 96% 的乙醇,封口,常温下黑暗处浸提过夜,其间摇晃 1~2 次,次日取出容量瓶,叶组织全部变白时,用 96% 的乙醇定容至 25 ml,摇匀,于 665 nm, 649 nm, 470 nm 下比色(以 96% 乙醇为空白对照)测定叶片中的叶绿素含量。并在黄瓜盛果期时,选择晴朗天气在各个试验小区用 LI-6400 型光合仪测定固定植株冠层叶片净光合速率。参考作物蒸发蒸腾量(ET_0)计算按照王健等修改后的日光温室 Penman-Monteith 公式计算:

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{1713(e_a - e_d)}{T + 273}}{\Delta + 1.64\gamma}$$

式中: ET_0 为参考作物蒸发蒸腾量($\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$); R_n 和 G 分别为地表净辐射和土壤热通量($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$); e_a 和 e_d 分别为饱和水汽压和实际水汽压(kPa); Δ 为饱和水汽压曲线斜率($\text{kPa} \cdot \text{C}^{-1}$); γ 为干湿表常数($\text{kPa} \cdot \text{C}^{-1}$); T 为 2 m 高度处平均气温(C)。

1.5 试验温室小气候环境状况

本试验中,在黄瓜全生育期内,使用位于温室内的气象站(HOBO system)连续监测温室的内部气温和相对湿度,每 10 min 记录一组数据,各气象因子的变化状况如图 1 所示,全生育期内的日平均气温为 $12\text{C} \sim 28\text{C}$,平均相对湿度在 59% 以上。

1.6 数据处理

采用 DPS v14.10 及 SPSS 18 统计分析软件处理试验数据,选取 LSD 多重比较进行方差分析,其中置信度为 95%,用 Origin8.5 软件绘图。

2 结果与分析

2.1 不同水氮供应水平对叶绿素含量的影响

由表 1 可知,在不同水氮处理条件下,黄瓜叶绿素 a、叶绿素 b 及叶绿素总含量均随着生育期的推进呈现先增加后降低的趋势,并在黄瓜盛果期其叶

绿素含量达到最大。其中,在苗期,不同处理条件下的叶绿素 b 含量之间差异不显著,而叶绿素 a 则在 W_1N_0 处理条件下取得最小值,为 $2.44 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,并与 W_2N_3 、 W_3N_2 、 W_3N_3 处理之间存在显著性差异。叶绿素总含量的变化范围为 $3.33 \sim 3.56 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,变化幅度较小,且变化趋势与叶绿素 a 含量变化基本保持一致,故在此不再做详细赘述。

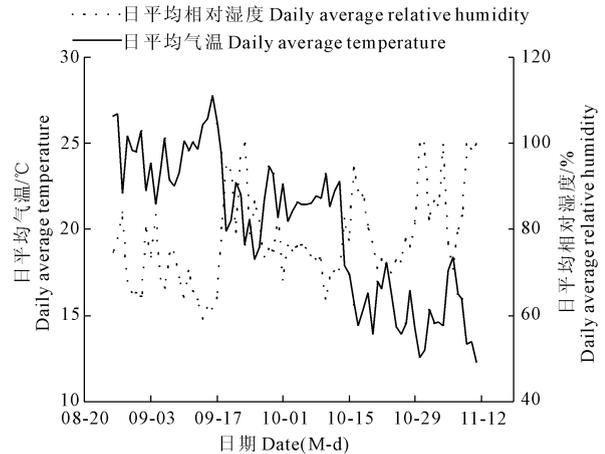


图 1 试验温室内部的小气候环境状况

Fig.1 Microclimate environment conditions inside the greenhouse

在开花坐果期,不同处理条件下的叶绿素 a、叶绿素 b 及叶绿素总含量之间差异显著。其中,叶绿素 a 与叶绿素总量在不同水分处理条件下,均在 N_2 处理下获得最大值,而叶绿素 b 则在 W_3 条件下其随着施氮量的提高而提高。对于同一施氮水平,增加灌水量对叶绿素含量的提高均起到了促进作用。但在 N_2 处理下,叶绿素 b 则在 W_2 条件取得最大值,并与 W_3 条件下的叶绿素 b 含量存在显著性差异。与苗期的叶绿素含量进行比较,其叶片中的叶绿素 a、叶绿素 b 及叶绿素总含量分别较之提高了 120%、116% 及 119%。

在盛果期,不同处理条件下的叶绿素 a、叶绿素 b 及叶绿素总含量之间也存在显著性差异。其中,叶绿素 a、叶绿素 b 及叶绿素总含量均在 W_1 处理及 W_2 处理条件下,其叶绿素含量随施氮量的提高均表现为先增加后降低的趋势,而在 W_3 处理条件下,叶绿素含量与施氮量呈正相关关系,但叶绿素 a 在 N_3 与 N_2 条件下无显著差异。对于同一施氮水平,增加灌水量对叶绿素含量的提高均起到了促进作用。而在 N_2 处理下,叶绿素 b 则在 W_2 条件下取得最大值,并与 W_3 条件下的叶绿素 b 含量存在显著性差异,叶绿素总含量也相应出现此类情况。这表明,在低水与中水条件下,适量施氮对提高叶片叶绿素含量有促进作用,过量施氮则会抑制叶绿素的合成。而

对于本试验中的高水处理,水氮之间的耦合作用利于叶绿素合成对水分及养分的需求,呈现正相关关系。与开花坐果期叶绿素含量进行比较,其叶片中的叶绿素 a、叶绿素 b 及叶绿素总含量分别较之提高了 44%、26% 及 39%。

在末果期,比较不同处理条件下的叶绿素 a、叶绿素 b 及叶绿素总含量的变化趋势,发现三者的变化趋势与盛果期略有不同,表现为在 W_1 与 W_3 条件下,叶绿素 a、叶绿素 b 及叶绿素总含量随着施氮量的提高呈现先增加后降低的趋势,并均在 N_1 处理下取得最大值。而在 W_2 条件下,则表现为正相关关

系,且最大叶绿素 a、叶绿素 b 及叶绿素总含量均在 W_2N_3 处理下取得。与盛果期的叶绿素含量进行比较,其叶片中的叶绿素 a、叶绿素 b 及叶绿素总含量分别较之降低了 41%、29% 及 38%。

综合分析可知,黄瓜叶绿素含量随着生育期的推进呈现先增加后降低的趋势,在盛果期取得最大值,而在开花坐果期增长幅度最明显。在苗期,水氮供应对叶绿素含量无显著影响,而在开花坐果期、盛果期及末果期,适量节水节肥不仅能满足叶绿素合成的需要,更能减少农业成本。

表 1 不同水氮供应对黄瓜叶片叶绿素含量的影响($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)

Table 1 Effects of different water and nitrogen supply of chlorophyll contents of cucumber leaves

处理 Treatment	苗期 Seedling			开花坐果期 Flowering and fruit setting			盛果期 Full bearing			末果期 Terminal fruit			
	Chla	Chlb	Chla + Chlb	Chla	Chlb	Chla + Chlb	Chla	Chlb	Chla + Chlb	Chla	Chlb	Chla + Chlb	
W_1	N_0	2.44b	0.90a	3.33c	4.41e	1.65e	6.06d	6.46f	1.85g	8.32h	3.35fg	1.25f	4.60g
	N_1	2.49ab	0.90a	3.39bc	5.26d	1.88cd	7.14c	7.13e	2.18ef	9.31fg	3.64f	1.83d	5.47ef
	N_2	2.54ab	0.92a	3.47abc	5.87abc	2.11ab	7.98ab	7.10e	2.10f	9.21g	3.60f	1.41e	5.01fg
	N_3	2.48ab	0.89a	3.37bc	5.32d	2.05bc	7.37c	6.41f	2.05f	8.46h	3.12g	1.41e	4.53g
W_2	N_0	2.49ab	0.89a	3.38bc	5.50cd	1.81de	7.3c	7.22e	2.30de	9.52f	5.13cd	1.99c	7.12c
	N_1	2.49ab	0.89a	3.38bc	5.60bcd	1.93bcd	7.53bc	8.36c	3.01a	11.37cd	5.82b	2.06c	7.88b
	N_2	2.53ab	0.95a	3.48ab	5.78abc	2.27a	8.06a	9.30a	3.01a	12.31a	6.04ab	2.29b	8.34b
	N_3	2.60a	0.94a	3.54a	5.24d	1.99bc	7.23c	8.86b	2.63c	11.48c	6.39a	3.23a	9.62a
W_3	N_0	2.50ab	0.89a	3.39bc	5.51cd	1.89cd	7.40c	7.76d	2.32d	10.08e	4.46e	1.25f	5.71de
	N_1	2.54ab	0.90a	3.44abc	6.02a	2.03bc	8.05a	8.52c	2.58c	11.10d	5.21c	1.83d	7.03c
	N_2	2.59a	0.95a	3.54a	6.10a	2.04bc	8.14a	9.11ab	2.84b	11.95b	4.73de	1.41e	6.14d
	N_3	2.61a	0.95a	3.56a	5.94ab	2.08b	8.02a	9.30a	3.02a	12.32a	4.65e	1.41e	6.05d

注:表中数值为平均值($n = 12$),同列不同字母表示显著性差异($P < 0.05$)。

Note: The data are mean values ($n = 12$), Different letters in the same column indicate significant difference ($P < 0.05$).

2.2 不同水氮供应水平对光合速率日变化的影响

2.2.1 不同氮肥供应对黄瓜叶片净光合速率日变化的影响

如图 2 所示,在各处理条件下,黄瓜叶片的净光合速率日变化均呈现单峰曲线。其中,从 8:00—14:00,净光合速率显著增加,又在 14:00—16:00 这个时间段急剧下降,而后在 16:00—18:00 这个时间段下降速度较缓慢,这是因为在此时间段光强变化缓和导致的。图 2a 表明,在 W_1 条件下, N_1 处理表现出较高的净光合速率。其中,在 8:00 时, N_1 处理较 N_0 、 N_2 、 N_3 处理分别提高了 21.8%、5.4% 及 19.1%。在 10:00 时,较之分别提高了 10.9%、1.3% 及 8.2%。在 12:00 时,较之分别提高了 15.9%、10.5% 及 23.7%。在 14:00 时,较之分别提高了 6.9%、12.7% 及 19.4%。在 16:00 时,提高了 40.3%、19.5% 及 77.9%。在 18:00 时,提高了

16.4%、20.1% 及 31.3%。这表明在低水条件下,在 8:00 及 10:00 时,不施氮肥对叶片净光合速率的不利影响最大,而之后则表现为高肥对其影响最大,这可能是早间温度低,植株对水分需求较少,但不施氮肥的植株体由于其株高、叶面积等生长指标上的不利条件而导致净光合速率小。随后伴随着温度升高,植株对水分的需求增大,而作物根区高浓度的氮肥影响了根系对土壤中水分的吸收,导致植株体内缺水,使得叶片气孔关闭,从而影响二氧化碳进入体内,使净光合速率下降。

图 2b 为在 W_2 条件下, N_2 处理表现出较高的净光合速率。其中,在 8:00 时, N_2 处理较 N_0 、 N_1 、 N_3 处理分别提高了 42.1%、3.2% 及 3.9%。在 10:00 时,较之分别提高了 33.6%、13.4% 及 11.8%。在 12:00 时,较之分别提高了 19.5%、2.9% 及 7.8%。在

14:00时,较之分别提高了35.4%、1.5%及2.3%,在16:00时,提高了81.9%、37.1%及55.1%。在18:00时,提高了30.4%、13.0%及22.5%。结果显示,在中水条件下,不施氮肥均对叶片净光合速率有极不利影响,其次为高肥、低肥。之所以与低水条件存在差异,很可能是低水条件下,作物生长受到不利影响,导致净光合速率小,而中水条件下,作物生长指标之间差异较小,氮肥供应量则成了影响净光合速率的重要因素,不施氮肥及过量施肥均对净光合速率产生不利影响,而中肥则是适合作物生长的适宜施氮量。在低水条件下,由于灌水量少,作物根系难以吸收较高浓度的养分,低氮处理下,更容易被作物

吸收。而在 W_3 条件下(图2c),除10:00时,其余时刻下 N_3 处理表现出较高的净光合速率,表现为在8:00时, N_3 处理较 N_0 、 N_1 、 N_2 处理分别提高了34.1%、11.5%及2.1%。在12:00时,较之分别提高了21.9%、6.6%及0.5%。在14:00时,较之分别提高了17.7%、2.3%及1.7%。在16:00时,提高了63%、34.3%及7.3%。在18:00时,提高了20.5%、15.9%及4.9%。表明,在水分充足条件下,作物净光合速率与施氮量呈正相关关系,且 N_2 与 N_3 处理之间差异较小,不施氮肥则会显著影响作物的净光合速率。

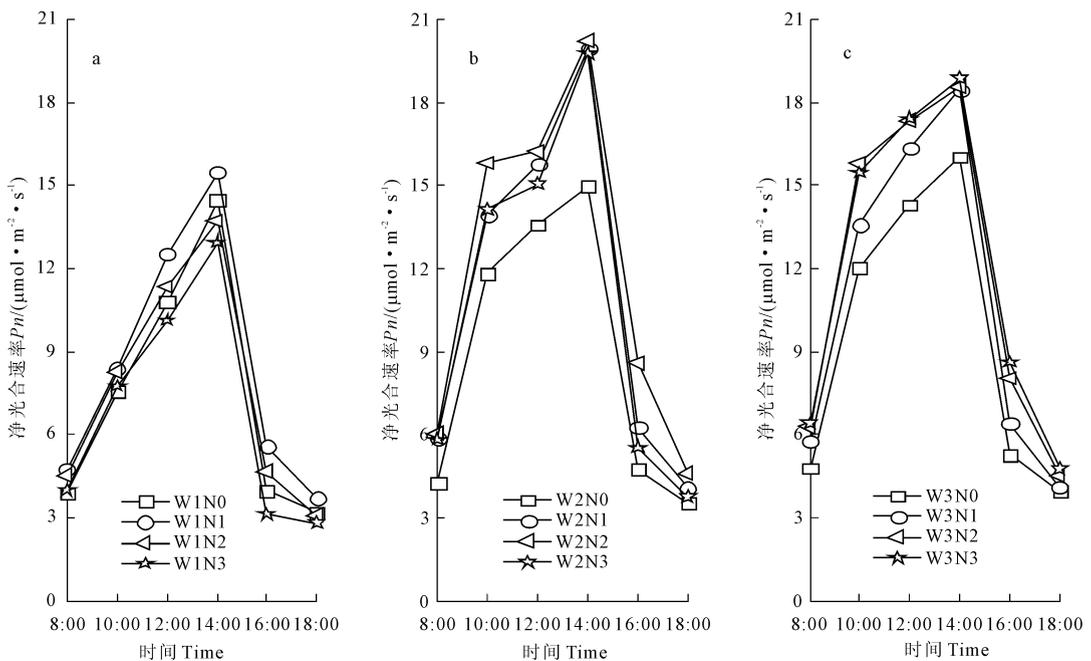


图 2 不同氮肥供应对黄瓜叶片净光合速率日变化的影响

Fig. 2 Effects of different nitrogen supply on the diurnal variation of Pn of cucumber

2.2.2 不同水分处理对黄瓜叶片净光合速率日变化的影响 图3为同一施氮量条件下,不同灌水量对黄瓜净光合速率日变化的影响。如图3所示,在四种氮肥供应条件下,相比于 W_2 、 W_3 处理, W_1 处理下的净光合速率最小。在 N_0 处理下,从8:00—18:00,净光合速率均表现为 $W_3 > W_2 > W_1$ (图3a)。而在 N_1 处理下,在不同时刻,净光合速率变化不一致,具体表现为在8:00、10:00及14:00时, $W_2 > W_3 > W_1$,但 W_2 与 W_3 处理之间的净光合速率差异很小, W_2 处理较 W_3 处理分别增加了1.7%、2.7%及8%。而在其余时刻,则表现为 $W_3 > W_2 > W_1$ (图3b)。在 N_2 处理下,在14:00时,净光合速率也表现为 $W_2 > W_3 > W_1$,而在其余时刻, W_3 与 W_2 处理之间差异较小(图3c)。在 N_3 处理下,类似的,在14:00

时,表现为 $W_2 > W_3 > W_1$,而在其余时刻,则表现为 $W_3 > W_2 > W_1$,且 W_3 与 W_2 处理之间差异较大(图3d)。这表明,在14:00时,光照较强较稳定的情况下, W_2 处理表现的较优越,在施氮条件下黄瓜叶片净光合速率达到最大值。

3 结论与讨论

本试验研究了不同水氮供应条件对黄瓜叶片叶绿素及光合速率的影响,结果表明黄瓜叶绿素含量随着生育期的推进呈现先增加后降低的趋势,在盛果期取得最大值,且在开花坐果期增长幅度最明显。在苗期,水氮供应对叶绿素含量无显著影响。而在开花坐果期、盛果期及末果期,则表现为在 W_1 与 W_2 灌水条件下,适量施氮对提高叶片叶绿素含量有

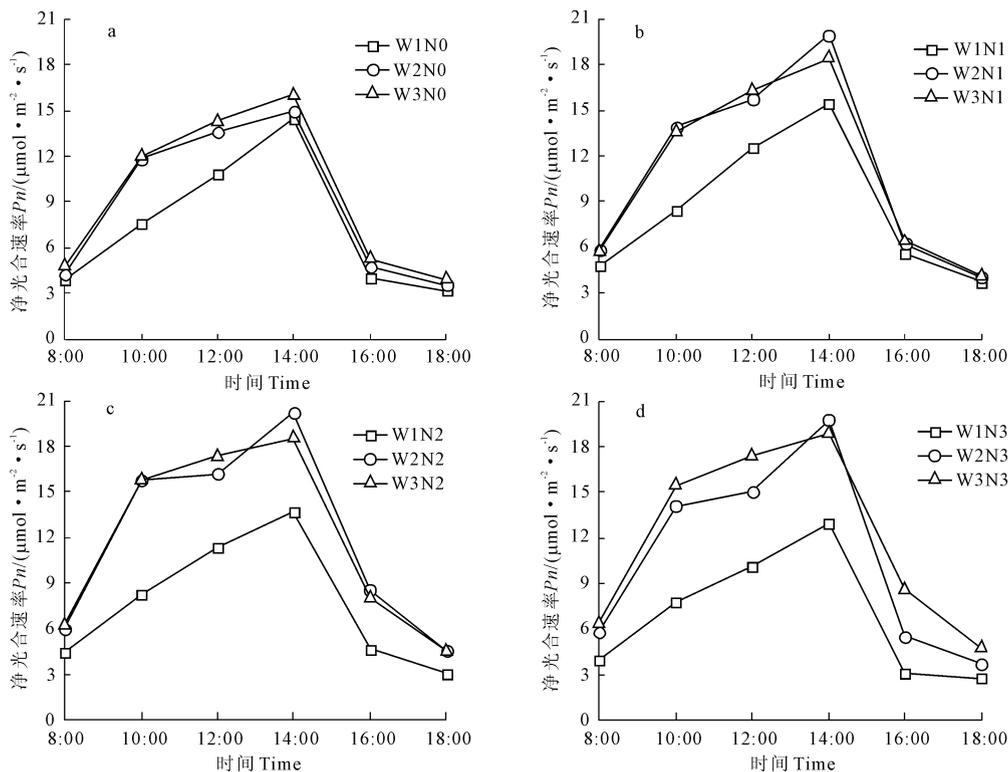


图3 不同水分处理对黄瓜叶片净光合速率日变化的影响

Fig.3 Effects of different water treatments on the diurnal variation of P_n of cucumber

促进作用,不施氮或过量施氮均会抑制叶绿素的合成。而在 W_3 处理下,水氮之间的耦合作用更有利于叶绿素合成对水分及养分的需求,呈现正相关关系。张仁和等^[18]通过采用盆栽控水试验进行研究,结果表明相对于正常供水,干旱胁迫会使玉米叶片叶绿素 a 及叶绿素 b 含量下降,且适量施氮可以显著抑制叶绿素含量的降低。在本试验中,开花坐果期及盛果期均表现出类似趋势,而在末果期, W_3 处理下的叶绿素 a 及叶绿素 b 含量明显低于 W_2 处理,这是因为适度的水分亏缺促进了初生根系的生长发育,增加了根系活力,有效抑制了后期根系的早衰,使其能够有效吸收土壤中的水分及养分^[19],也有研究表明,这是因为氮素能够增加水分胁迫条件下叶绿素的稳定性导致的^[20]。在本试验中,各水氮供应条件下,黄瓜叶片的净光合速率日变化呈现单峰曲线。其中,从 8:00—14:00,净光合速率显著增加,又在 14:00—16:00 这个时间段急剧下降,而后在 16:00—18:00 这个时间段下降速度较缓慢。

翟云龙等^[21]研究也发现棉花在盛铃期净光合速率日变化呈单峰趋势,且峰值出现在 13:00—15:00。众多研究表明水肥对作物的光合速率存在显著的交互作用,既相互促进,又相互制约,只有合理的水肥管理措施才会对光合速率起到正面效

应^[22-24]。本研究结果表明在三种水分处理条件下,光合速率随施氮量的增加表现出不同的变化趋势,其中不施氮肥显著影响作物的净光合速率。在 W_1 、 W_2 水分条件下,过量施氮对叶片净光合速率造成极大不利影响,而且在同一施氮水平条件下, W_1 处理对叶片光合速率的增长有明显抑制作用,而 W_2 、 W_3 处理之间差异不显著,并在光照较强较稳定的情况下, W_2 处理表现的较优越。张仁和等^[18]研究也表明在干旱胁迫下适量施氮 ($225 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$) 可有效促进光能的吸收及转化速率,提高玉米叶片的光合速率。梁运江等人^[25]研究也表明灌水、施肥量过多或过少均会对辣椒叶片净光合速率起到抑制作用。而适量施氮可以显著增强光合作用,加快光合速率,从而大大增加作物产量^[26]。

柴仲平等^[27]通过研究水氮耦合对枣树叶片叶绿素含量及光合特性的影响,结果表明在灌水量适度的条件下,叶绿素含量随着氮素施入量的增加先增后减,净光合速率峰值和最小值都随氮素施入量的增加而升高;在氮素施入量适度的条件下,叶绿素含量则随着灌水量的增加呈减小的趋势,且净光合速率峰值和最小值都随灌水量的增加而升高。在本试验中,不施氮肥或严重亏水均会显著影响作物的净光合速率,而适量的节水节肥不仅能节约农业成

本,且相比于充分灌水施肥,作物也能达到较好的净光合速率。从总体变化趋势看, W_2N_2 可认为是基于本试验条件下较适宜的水氮组合。

参 考 文 献:

- [1] 张艳玲,宋述尧,王 艳,等.氮素营养对黄瓜生长发育及产量的影响[J].吉林农业科学,2008,33(1):43-46.
- [2] 吕殿青,同延安,孙本华.氮肥施用对环境污染影响的研究[J].植物营养与肥料学报,1998,4(1):8-15.
- [3] 周长吉.现代温室工程[M].2版.北京:化学工业出版社,2010.
- [4] 韦泽秀.水肥对大棚黄瓜和番茄生理特性及土壤环境的影响[D].陕西杨凌:西北农林科技大学,2009.
- [5] 王学文,付秋实,王玉珏,等.水分胁迫对番茄生长及光合系统结构性能的影响[J].中国农业大学学报,2010,15(1):7-13.
- [6] 梁玉芹,严慧玲,刘 云,等.亏缺灌溉对日光温室番茄叶绿素荧光参数及产量的影响[J].河北农业科学,2011,15(12):16-18.
- [7] 吴 顺,张雪芹,蔡 燕.干旱胁迫对黄瓜幼苗叶绿素含量和光合特性的影响[J].中国农学通报,2014,30(1):133-137.
- [8] 张艳玲,宋述尧.氮素营养对番茄生长发育及产量的影响[J].北方园艺,2008,(2):25-26.
- [9] Kadam J R, Sahane J S. Quality parameters and growth characters of tomato as influences by NPK fertilizer briquette and irrigation methods [J]. Journal of Maharashtra Agricultural Universities, 2002,27(2):124-126.
- [10] Cechin I, Fumis T F. Effect of nitrogen supply on growth and photosynthesis of sunflower plants grown in the greenhouse[J]. Plant Science, 2004,166:1379-1385.
- [11] 朱金霞,张源沛,郑国保,等.不同灌水量对枸杞光合特性和产量的影响[J].节水灌溉,2012,(1):28-30.
- [12] 姚 磊,杨阿明.不同水分胁迫对番茄生长的影响[J].华北农学报,1997,12(2):100-106.
- [13] 张立新,李生秀.氮钾甜菜碱对水分胁迫下夏玉米叶片膜脂过氧化和保护酶活性的影响[J].作物学报,2007,33(2):482-490.
- [14] Pinheiro H A, DaMatta F M, Chaves A R M. Drought tolerance in relation to protection against oxidative stress in clones of Coffea canephora subjected to long term drought[J]. Plant Science, 2004,167(6):1307-1314.
- [15] 王 健,梁运江,许广波,等.水肥耦合效应对保护地辣椒叶片叶绿素含量的影响[J].延边大学农学报,2006,28(4):287-292,297.
- [16] 高 静,梁银丽,贺丽娜,等.水肥交互作用对黄土高原南瓜光合特性及其产量的影响[J].中国农学通报,2008,24(5):250-255.
- [17] 李建明,潘铜华,王玲慧,等.水肥耦合对番茄光合、产量及水分利用效率的影响[J].农业工程学报,2014,30(10):82-90.
- [18] 张仁和,郭东伟,张兴华,等.干旱胁迫下氮肥对玉米叶片生理特性的影响[J].玉米科学,2012,20(6):118-122.
- [19] 吕金印,山 仑,高俊凤.非充分灌溉及其生理基础[J].西北植物学报,2002,22(6):1512-1517.
- [20] 董 博,张绪成,张东伟,等.水氮互作对春小麦叶片叶绿素含量及光合速率的影响[J].干旱地区农业研究,2012,30(6):88-93.
- [21] 翟云龙,郑德明,宋 敏,等.水肥调控对滴灌棉花光合特性的影响[J].节水灌溉,2009,(10):25-33.
- [22] 袁宇霞,张富仓,张 燕,等.滴灌施肥灌溉水下限和施肥量对温室番茄生长、产量和生理特性的影响[J].干旱地区农业研究,2013,31(1):76-83.
- [23] 周振江,牛晓丽,李 瑞,等.番茄叶片光合作用对水肥耦合的响应[J].节水灌溉,2012,(2):28-32,37.
- [24] 高 静,梁银丽,贺丽娜,等.水肥交互作用对黄土高原南瓜光合特性及其产量的影响[J].中国农学通报,2008,24(5):250-255.
- [25] 梁运江,谢修鸿,许广波,等.水肥耦合对保护地辣椒叶片光合速率的影响[J].核农学报,2010,24(3):650-655.
- [26] 张艳玲,宋述尧,王 艳,等.氮素营养对黄瓜生长发育及产量的影响[J].吉林农业科学,2008,33(1):43-46.
- [27] 柴仲平,王雪梅,孙 霞,等.水氮耦合对红枣光合特性与水分利用效率的影响研究[J].西南农业学报,2010,23(5):1625-1630.