

弱光条件下不同基因型辣椒幼苗光合与生长的差异

眭晓蕾¹, 张宝玺², 张振贤¹, 毛胜利², 王立浩²

(1. 中国农业大学农学与生物技术学院, 北京 100094; 2. 中国农业科学院蔬菜花卉研究所, 北京 100081)

摘要: 利用遮光方式, 使光照强度降低65%~70%, 以研究弱光对不同基因型辣椒幼苗光合、蒸腾以及生长形态指标的影
响。结果表明: 弱光环境下辣椒净光合速率、蒸腾速率和水分利用效率下降, 并且净光合速率的下降是非气孔限制的结果。
弱光下辣椒幼苗同化物合成与积累受到抑制, 表现为叶片数减少, 高粗比增加, 根冠比、比叶鲜样质量、比叶干样质量、全株
干样质量和壮苗指数下降。弱光使辣椒叶片叶绿素含量增加, 叶绿素a/b 比值下降, 叶片含水量上升。小果型辣椒的耐弱光
性普遍强于大果型甜椒, 并且弱光环境下相对壮苗指数较高, 以及净光合速率下降较少的辣椒或甜椒, 具有耐弱光的优势。

关键词: 辣椒; 弱光; 净光合速率; 相对壮苗指数

中图分类号: S626; S641.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2005)S-0041-04

眭晓蕾, 张宝玺, 张振贤, 等. 弱光条件下不同基因型辣椒幼苗光合与生长的差[J]. 农业工程学报, 2005, 21(S): 41- 44

Sui Xiaolei, Zhang Baoxi, Zhang Zhenxian, et al Differences of photosynthesis and growth in seedlings of different
peppers under weak light[J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(Supp): 41- 44 (in Chinese with English abstract)

0 引言

冬春季设施栽培中, 弱光环境是影响辣椒 (*Capsicum annuum* L.) 生产的主要障碍之一。已有研究表明, 不同光照强度对辣椒生长发育、产量形成及其光合特性有重要影响^[1-3]。并且弱光下辣椒不同基因型幼苗在光合作用对光和CO₂ 的响应以及暗呼吸速率、比叶重、Rubisco 羧化活性等生理参数上存在适应性差异^[3]。本试验通过保护设施内人工遮光模拟弱光逆境, 研究了弱光下不同基因型辣椒幼苗的光合、蒸腾、生长形态指标等的变化, 以期对辣椒耐弱光遗传资源的筛选与利用提供一定理论依据。

1 材料和方

1.1 试验材料

试验于2004年春季和2005年春季在中国农业科学院蔬菜花卉研究所进行, 2005年试验为上一年度的重复试验。试材选用农大40号(简称A)、77013(简称B)、20078(简称D)、20079(简称E)、2003-10-1(简称G)、2003-102-0(简称H)、2003-108-0(简称J)、2003-110-0(简称K)等8个不同基因型辣椒, 除农大40号为生产上早期推广的露地栽培品种外, 其余为自交系。其中前4个为大果型甜椒, 后4个为小果型辣椒。

1.2 试验设计

上述8个辣椒材料, 1月下旬日光温室播种, 营养钵常规育苗, 每钵一苗。3月中旬幼苗4~6片叶时在日光

温室内设对照和遮光(黑色遮阳网)两个处理。随即区组设计, 3次重复, 每重复25钵。处理期间晴天中午11:00~12:00时对照和遮光处理的光合有效辐射分别为610~930 μmol·m⁻²·s⁻¹和190~340 μmol·m⁻²·s⁻¹, 遮光率约为65%~70%。遮光30d后, 每个小区随机选取10株, 分别测定相关指标。

1.3 实验方法

(1)叶片数; (2)株高/茎粗比; (3)根冠比(干重); (4)壮苗指数, 按照公式[(茎粗/株高+根干物质质量/地上干物质质量)×全株干物质质量]计算; (5)分别计算以上(2)~(4)项指标的相对值(弱光/对照×100%), 即相对高粗比、相对根冠比、相对比叶重、相对壮苗指数; (6)比叶鲜样质量、比叶干样质量, 即单位叶面积鲜样与干样质量(一定面积叶片用打孔器打孔, 万分之一天平称取鲜样质量; 120℃下杀酶30min, 80℃烘干24h后称取干样质量); (7)叶片含水量, 按照公式[(比叶鲜样质量-比叶干样质量)/比叶鲜样质量×100%]计算; (8)叶绿素含量采用80%丙酮浸提法测定^[4]。称取0.15g叶片(去中脉)剪成细条状, 置于20mL 80%丙酮溶液中遮光浸泡, 直至叶片发白, 紫外分光光度计于665nm和646nm下比色; (9)选取植株上部第一片完全展开叶, 利用LI-6400光合仪(美国LI-COR公司生产)测定净光合速率(Pn)、气孔导度(Gs)、胞间CO₂浓度(Ci)、蒸腾速率(Tr)等。气孔限制值(Ls)按照公式Ls=1-Ci/Co(Co为叶外空气CO₂浓度)计算, 单叶水分利用效率(WUE)以Pn/Tr表示。测定时对照、遮光处理的叶室光合有效辐射(PAR)分别为800 μmol·m⁻²·s⁻¹和200 μmol·m⁻²·s⁻¹, CO₂浓度(400±10) μmol·mol⁻¹, 温度(20±1)℃, 相对湿度40%~50%。

以上所有指标均重复3~4次。2004与2005年的试验结果规律基本相似, 以下数据为两年试验的综合结果。

收稿日期: 2005-09-30

基金项目: 国家“863”计划项目(2002AA244011-1); 农业部蔬菜遗传与生理重点实验室资助项目

作者简介: 眭晓蕾(1972-), 女, 讲师, 主要从事蔬菜光合生理生态方面的研究。北京 中国农业大学与生物技术学院蔬菜系, 100094。

Email: suioffice@cau.edu.cn

通讯作者: 张宝玺, 北京 中国农业科学院蔬菜花卉研究所, 100081



2 结果与分析

2.1 弱光对辣椒幼苗光合作用和蒸腾作用的影响

由表1可知,弱光处理后辣椒幼苗 P_n 大幅度下降,其中甜椒的 P_n 下降幅度在75.1%~80.4%之间,试材B下降幅度最小,D下降幅度最大。辣椒 P_n 下降幅度较甜椒要小,如试材H在对照和弱光下的 P_n 分别为7.15和2.46 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,下降幅度为65.6%;G、J和K的下降幅度分别为71.0%、70.0%和75.4%。这说明辣椒较甜椒对弱光的适应性要强,而甜椒中B的耐弱光性较好,辣椒中K的弱光耐受性较差。

在弱光条件下,尽管辣椒幼苗叶片 G_s 随 P_n 降低,

但是 L_s 呈减小趋势, C_i 则表现为增加趋势(表1)。按照Farqhar和Sharkey的观点(6),当叶片 P_n 的降低伴随 C_i 的提高和 L_s 的降低时,可以判断出弱光下辣椒光合作用的主要限制因素是非气孔因素,即叶肉细胞光合活性的下降。

弱光下辣椒幼苗的 T_r 也明显下降(表1),下降幅度在30.6%~58.1%之间。由于弱光下 P_n 的下降幅度要大于 T_r ,因此弱光下辣椒植株的 WUE 显著下降。就不同基因型之间来看,弱光下甜椒的 WUE 在1.00~1.34 $\mu\text{mol}\cdot\text{mmol}^{-1}$ 之间,辣椒在1.43~1.96 $\mu\text{mol}\cdot\text{mmol}^{-1}$ 之间,说明辣椒的水分利用效率比甜椒要高。

表1 弱光下辣椒幼苗的光合作用参数

Table 1 Photosynthesis parameter in seedlings of pepper under weak light

材料	处理	净光合速率 $/\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	气孔导度 $/\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	胞间 CO_2 浓度 $/\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$	气孔限制值	蒸腾速率 $/\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	水分利用效率 $/\mu\text{mol}\cdot\text{mmol}^{-1}$
A	对照	9.37±0.37	135.9±13.0	249±10	0.3714±0.0167	2.25±0.31	4.16±0.38
	弱光	2.07±0.12	92.6±5.6	333±24	0.1122±0.0008	1.55±0.14	1.34±0.09
B	对照	6.90±0.23	198.2±10.5	236±17	0.1833±0.0033	2.78±0.18	2.48±0.23
	弱光	1.72±0.16	79.1±4.2	330±25	0.1205±0.0194	1.38±0.10	1.25±0.11
D	对照	8.28±0.30	215.5±15.6	238±18	0.1845±0.0050	3.08±0.26	2.69±0.24
	弱光	1.62±0.15	74.1±5.3	327±24	0.1261±0.0111	1.29±0.08	1.26±0.10
E	对照	9.26±0.38	178.6±16.3	277±19	0.2672±0.0250	2.54±0.24	3.65±0.25
	弱光	2.20±0.14	130.2±10.0	331±24	0.1133±0.0111	2.20±0.19	1.00±0.06
G	对照	9.64±0.38	125.4±8.6	240±15	0.3659±0.0250	2.42±0.20	3.98±0.42
	弱光	2.80±0.19	85.9±5.3	364±28	0.1567±0.0111	1.43±0.08	1.96±0.12
H	对照	7.15±0.40	188.1±16.3	284±23	0.3158±0.0250	2.48±0.19	2.88±0.23
	弱光	2.46±0.21	96.4±6.7	313±19	0.1604±0.0111	1.72±0.11	1.43±0.10
J	对照	7.06±0.29	159.4±14.6	218±15	0.2189±0.0250	2.35±0.16	3.00±0.21
	弱光	2.12±0.15	75.0±6.0	317±20	0.1526±0.0111	1.41±0.09	1.50±0.13
K	对照	9.07±0.36	122.5±9.7	242±14	0.3598±0.0198	2.20±0.13	4.12±0.21
	弱光	2.23±0.18	78.1±5.1	336±26	0.1088±0.0139	1.48±0.11	1.51±0.13

注:净光合速率测定时对照与弱光处理的光照分别为800和200 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$; CO_2 浓度为(400±10) $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$,温度(20±1)。表中数据为平均值±标准误。

2.2 弱光对辣椒幼苗叶绿素含量、比叶质量及叶片含水量的影响

弱光下各辣椒幼苗叶片的Chl a、Chl b和Chl (a+b)含量增加,与对照相比差异显著;Chl a/b比值有所下降,但差异不显著(表2)。4个甜椒材料的Chl (a+b)含量增加幅度在43.2%~55.1%,4个辣椒材料的增加幅度较大,为64.9%~74.9%。弱光下植株叶绿素(尤其是叶绿素b)含量的增加可能是植物的一种保护性反应,以利于植株在弱光下吸收较多的光能。

由表2可以看到,辣椒幼苗弱光下比叶鲜样质量和比叶干样质量都比对照有所降低。如4个甜椒材料比叶鲜样质量和比叶干样质量下降幅度分别在28.2%~33.0%与37.5%~42.2%,辣椒材料H、J和K二者的下降幅度分别在34.3%~46.8%和56.5%~71.7%。而且与鲜样质量相比,弱光下叶片干样质量下降幅度更大,即叶片含有更多的水分。由于弱光下辣椒材料的比叶干样质量下降幅度普遍高于甜椒材料,因此弱光下辣椒叶片较甜椒叶片含水量增加幅度要大。如甜椒D在对照与弱

光下的叶片含水量为85.6%、87.4%,增加幅度仅为2.1%;而辣椒J的叶片含水量则由77.6%上升到88.1%,增幅高达13.5%。

2.3 弱光对辣椒幼苗形态指标的影响

弱光处理辣椒幼苗后,植株叶片数减少,高粗比增加,全株干样质量和壮苗指数下降(表3),即弱光下植株茎变高,变细,叶片变薄,发生徒长,并且弱光阻碍了植株同化产物的合成与积累。弱光下幼苗根冠比下降,即植株生物产量分配较多流向茎叶,而向根的分配减少。这表明弱光环境下辣椒幼苗通过扩大光合器官面积,有利于其在弱光中利用有限的光能。

弱光对幼苗形态指标的影响在不同基因型之间有一定差异,甜椒材料A、B、D、E的相对高粗比(152.5%~172.4%)普遍高于辣椒材料G、H、J和K(128.2%~143.7%),而相对根冠比(50.0%~56.1%)普遍低于辣椒(57.4%~61.9%),这说明弱光下甜椒幼苗较辣椒幼苗更易发生徒长,耐弱光性较差。而甜椒试材中,B的相对壮苗指数较A、D、E要高;辣椒试材中,J、G、H的相对壮苗指数较K要高,表明弱光对甜椒B和辣椒J、G、H

幼苗营养生长的影响相对较小。

表2 弱光下辣椒幼苗的叶绿素含量、比叶质量及叶片含水率

Table 2 Chlorophyll content, specific leaf mass and leaf water content in seedlings of pepper under weak light

材料	处理	叶绿素a	叶绿素b	叶绿素(a+b)	叶绿素a/b	比叶鲜样质量	比叶干样质量	叶片含水率
		$/\text{mg} \cdot (\text{g} \cdot \text{FW})^{-1}$	$/\text{mg} \cdot (\text{g} \cdot \text{FW})^{-1}$	$/\text{mg} \cdot (\text{g} \cdot \text{FW})^{-1}$	$/\text{mg} \cdot (\text{g} \cdot \text{FW})^{-1}$	$/\text{mg} \cdot \text{cm}^{-2}$	$/\text{mg} \cdot \text{cm}^{-2}$	/%
A	对照	0 618 a	0 226 a	0 844 a	2 735 a	27.54 a	4 40 a	84.0 a
	弱光	0 953 b	0 355 a	1 309 b	2 680 a	19.77 b	2 54 b	87.2 b
B	对照	0 503 a	0 194 a	0 697 a	2 585 a	28.78 a	4 32 a	85.0 a
	弱光	0 736 a	0 296 b	1 032 b	2 484 a	20.32 b	2 54 b	87.5 a
D	对照	0 548 a	0 209 a	0 758 a	2 617 a	26.35 a	3 79 a	85.6 a
	弱光	0 791 a	0 329 b	1 119 b	2 407 a	18.75 b	2 37 b	87.4 a
E	对照	0 548 a	0 198 a	0 745 a	2 769 a	26.86 a	3 50 a	87.0 a
	弱光	0 764 b	0 303 b	1 067 b	2 515 b	18.02 b	2 14 b	88.1 a
G	对照	0 402 a	0 168 a	0 570 a	2 384 a	27.75 a	4 35 a	84.3 a
	弱光	0 449 a	0 199 b	0 971 b	2 260 a	24.89 a	2 75 b	88.9 a
H	对照	0 488 a	0 192 a	0 680 a	2 542 a	26.11 a	5 03 a	80.8 a
	弱光	0 827 b	0 362 b	1 189 b	2 285 b	17.14 b	2 19 b	87.3 b
J	对照	0 548 a	0 206 a	0 754 a	2 635 a	35.02 a	7 84 a	77.6 a
	弱光	0 901 b	0 346 b	1 247 b	2 599 b	18.63 b	2 22 b	88.1 b
K	对照	0 500 a	0 198 a	0 698 a	2 522 a	31.06 a	4 81 a	84.5 a
	弱光	0 819 b	0 332 b	1 151 b	2 465 a	17.40 b	1 92 b	88.9 b

注: 同一材料同一列内不同小写字母表示处理间差异达显著水平 ($p = 0.05$)。

表3 弱光对辣椒苗期植株形态指标的影响

Table 3 Effect of weak light on morphological indexes of pepper at seedling stage

材料	叶片数		株高/茎粗			根冠比			全株干样质量 $/\text{g} \cdot \text{plant}^{-1}$		壮苗指数		
	CK	W	CK	W	W/CK $\times 100\%$	CK	W	W/CK $\times 100\%$	CK	W	CK	W	W/CK $\times 100\%$
A	23	16	51.95	88.47	170.3	0.54	0.27	50.0	3.09	2.15	1.71	0.60	35.1
B	28	17	55.10	84.00	152.5	0.52	0.29	55.0	2.68	2.19	1.45	0.66	45.5
D	21	14	62.51	107.76	172.4	0.52	0.26	50.2	2.96	2.21	1.58	0.60	38.0
E	29	18	52.47	87.74	167.2	0.57	0.32	56.1	3.14	2.47	1.78	0.68	38.2
G	57	32	73.44	98.72	134.4	0.49	0.29	59.5	2.55	1.83	1.30	0.56	43.1
H	31	20	103.30	132.41	128.2	0.53	0.30	57.4	2.84	2.11	1.52	0.65	42.8
J	37	19	88.48	109.23	123.5	0.51	0.32	61.9	3.27	2.43	1.72	0.80	46.5
K	33	24	73.02	104.93	143.7	0.52	0.31	60.6	3.03	1.82	1.45	0.53	36.6

注: CK 表示对照, W 表示弱光处理, W/CK $\times 100\%$ 表示相对值。

3 讨论

本试验结果表明, 弱光下辣椒幼苗的净光合速率大幅度下降, 且不同基因型之间存在一定差异, 即弱光耐受性较好的材料在弱光下净光合速率下降较少。而净光合速率的下降主要是因为弱光下光能的供应受到较大限制, 从而加大了非气孔限制(如 RuBP 羧化限制和再生限制)或叶肉细胞光合活性限制的结果。这与以前的试验结果相一致³¹。

弱光下辣椒幼苗的蒸腾速率也明显下降。由于气孔开度对植株蒸腾有着直接影响⁷¹, 因此弱光下较低的气孔导度可能是辣椒幼苗蒸腾速率降低的主要原因。将对照和弱光下各辣椒试材的气孔导度与蒸腾速率进行相关分析, 表明二者呈显著正相关 ($r_{ck}^2 = 0.9211^*$, $r_w^2 = 0.9762^*$)。

辣椒植株比叶干样质量、比叶鲜样质量在弱光下减

少, 即叶片变薄, 与番茄⁸¹等作物上的研究结果一致。这可能是弱光下植株将有限的同化产物用于维持叶面积的正常大小, 以保证吸收足够的光能和进行正常的光合作用, 从而造成叶片厚度减小。弱光下辣椒植株叶片数目减少, 全株干重下降, 同化产物的合成与积累减少, 这与净光合速率的大幅度下降有直接关系。由于壮苗指数反映了弱光对幼苗株高、茎粗、地上部干物积累、根部干物积累等重要形态指标的影响程度, 去除材料本身遗传特性的影响, 本试验认为可以用相对壮苗指数这一指标来初步恒量辣椒材料的耐弱光性, 即弱光下壮苗指数下降较少, 相对壮苗指数较高的幼苗, 其在弱光下的徒长趋势不明显, 生物产量下降较少, 可能具有耐弱光的优势。因此, 本试验中小果型辣椒材料的耐弱光性要好于大果型甜椒材料, 并从甜椒中筛选出对弱光适应性较好的材料 77013(B), 从辣椒中筛选出对弱光适应性较差的材料 2003-110-0(K)。

[参 考 文 献]

- [1] 陈银华, 蒋健箴. 光照强度对辣椒光合特性与生长发育的影响[J]. 上海农业学报, 1998, 14(3): 46- 50
- [2] 眭晓蕾, 蒋健箴, 王志源, 等. 弱光对甜椒不同品种光合特性的影响[J]. 园艺学报, 1999, 26(5): 314- 318
- [3] 眭晓蕾, 张宝玺, 张振贤, 等. 不同品种辣椒幼苗光合作用及弱光耐受性的差异[J]. 园艺学报, 2005, 32(2): 222- 227.
- [4] 邹琦. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995: 72- 73
- [5] Berry J A, Downton W J S. Environmental regulation of photosynthesis In: Govindjee (ed). Photosynthesis Vol II [J]. New York: Academia Press, 1982: 263- 343
- [6] Farquhar G D, Sharkey T D. Stomatal conductance and photosynthesis [J]. Annual Review of Plant physiology, 1982, 33: 317- 345
- [7] 李合生. 现代植物生理学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2002: 164- 174
- [8] 侯兴亮, 李景富, 许向阳. 弱光处理对番茄不同生育期形态和生理指标的影响[J]. 园艺学报: 2002, 29(2): 123- 127.

Differences of photosynthesis and growth in seedlings of different peppers under weak light

Sui Xiaolei¹, Zhang Baoxi², Zhang Zhenxian¹, Mao Shengli², Wang Lihao²

(1. College of Agronomy and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100094, China;

2. Institute of Vegetables and Flowers, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract: This paper studied the effects of weak light (30% ~ 35% light intensity of the control light intensity) on photosynthesis, transpiration and growth morphological indexes in seedlings of different peppers. The result showed that under weak light environment, net photosynthetic rate, transpiration rate and water use efficiency decreased. The decrease of net photosynthetic rate was considered as a result of non-stomata restriction. The synthesis and accumulation of assimilate were significantly inhibited under weak light. It can be seen that weak light led to the decrease of leaf numbers, root/shoot ratio, vital leaf mass, specific leaf mass, total dry mass and healthy indexes and the increase of plant height/stem diameter ratio. Under weak light the chlorophyll a/b ratio declined but the chlorophyll contents and leaf water content increased. Weak light-tolerance of hot pepper was generally stronger than sweet pepper. Pepper may possess potential weak light-tolerance which grown under weak light with higher relative healthy index and less decreasing net photosynthetic rate.

Key words: pepper; weak light; net photosynthetic rate; relative healthy index