

# 弱光处理对番茄不同生育期形态和生理指标的影响

侯兴亮 李景富 许向阳

(东北农业大学园艺学院, 哈尔滨 150030)

**摘要:** 研究表明: 番茄不同生育阶段耐弱光性不同, 弱光下番茄苗期表现为徒长趋势, 叶干样质量/叶面积与叶面积/全株干样质量上升, 叶绿素含量、叶绿素  $b/a$  值和坐果率增加, 可溶性糖和可溶性蛋白含量下降; 与苗期相比, 开花坐果期 POD 酶活性和可溶性蛋白含量增加, 坐果率下降。

**关键词:** 番茄; 弱光; 生长时期; 形态; 生理指标

**中图分类号:** S 641. 2; Q 945 **文献标识码:** A **文章编号:** 0513-353X (2002) 020123-05

国外对番茄弱光生理的研究较早<sup>11~32</sup>, Smeets 等<sup>14</sup>通过对弱光条件下番茄不同基因型在植物学和生理学差异上的研究, 初步筛选出综合衡量番茄耐弱光性的几个指标。此外, 对于弱光下番茄生殖生长、光合作用、矿质营养等方面也都有一定程度的研究<sup>15~82</sup>。我国近年来在此方面也取得了一定的进展<sup>19~122</sup>, 初步探讨了弱光下番茄植株的生理变化规律。结合育种工作, 本试验较系统地研究了弱光下番茄植株形态和生理指标的变化, 希望为鉴定番茄材料的耐弱光性提供可行方法和理论依据。

## 1 材料与方法

苗期处理选用东北农业大学园艺系番茄组提供的中杂 9 号 (杂种一代, 无限生长型), 齐研矮粉 (粉红甜肉与黑园 2 号杂交选育而成, 有限生长型), Caruso 后代 (荷兰品种 Caruso 自交分离选育而成的稳定品系, 无限生长型), P118 (黄苗, mamapal 与强力米寿杂交选育而成的稳定品系, 无限生长型), 利生一号 (美国品种, 杂种一代, 有限生长型) 等 5 个品种。开花坐果期处理选用中杂 9 号, 东农 704 (杂种一代, 父本齐研矮粉, 母本 P3, 有限生长型), 齐研矮粉, 利生一号等 4 个品种。

试验采取随机区组设计, 设 3 个处理。W 处理为白色遮阳网覆盖, 55% 自然光; B 处理为黑色遮阳网覆盖, 25% 自然光; CK 处理为不遮网, 100% 自然光。栽培管理、温度、水肥条件等保持一致。分别于苗期和开花坐果期 (苗期正常光照) 遮荫, 处理 15 d, 3 次重复, 每小区 20 株苗。苗期遮光处理: 1999 年 4 月播种在营养钵中, 5 片真叶时 (5 月 15 日) 放到苗床中遮光, 期间自然平均光通量密度 (PFD) 约  $950 \text{ LE}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (上午 10~ 11 时), 平均温度  $18/10 \text{ e}$ , 处理后定植于田间。开花坐果期遮光处理: 于 4 月播种, 6 月初田间定植缓苗后 (8 片真叶) 遮光, 期间自然平均 PFD 约  $2\,000 \text{ LE}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (上午 10~ 11 时), 平均温度  $24/15 \text{ e}$  (昼/夜)。试验在东北农业大学园艺站进行。

测定指标: 每处理随机抽取 3 棵苗, 测取平均值。(1) 株高为子叶到生长点的长度, 茎粗为靠子叶上方平行子叶方向的粗度。(2) 将植株叶片全部摘下, 叠放在一起, 用直径为 1 cm 的打孔器打孔, 将所得圆片与剩余叶片分别称重, 即得到单位鲜样质量叶面积和总叶面积, 然后烘干叶片及剩余部分植株, 算出比叶干样质量 (SLM, 叶干样质量/叶面积)、比叶鲜样质量 (VLM, 叶鲜样质量/叶面积) 和叶面积比 (LAR, 叶面积/全株干样质量)。(3) 每一处理皆取下数第 5 片真叶 (完全展开的具代表性的健康叶片), 用丙酮法<sup>1132</sup>测定叶绿素含量与  $b/a$  值, 重复 3 次。(4) 叶片可溶性糖含量与过氧化物酶 (POD) 活性分别以蒽酮法与愈创木酚法测定<sup>1142</sup>。(5) 叶片可溶性蛋白质含量测定用考马斯亮蓝 G250 法<sup>1142</sup>。(6) 番茄坐果之后, 田间调查各处理坐果率, 并对前两穗果实进行测产。

收稿日期: 2000- 11- 01; 修回日期: 2001- 04- 16

基金项目: 国家 / 九五 0 攻关项目资助 (9600204)

2 结果与分析

2.1 番茄苗期遮光处理形态及生理指标的变化

2.1.1 形态指标 不同遮光处理幼苗形态上有显著差异, 但不同品种间变化趋势基本一致。与对照相比, 55% 自然光处理各品种株高/ 茎粗均有不同程度增加, LAR 也有所增加, 中杂九号增幅为 50.8%, 利生一号为 3.1%, 差异显著。25% 自然光处理各品种变化趋势与上述类似。从株高/ 茎粗来看, Caruso 后代变化最小 (表 1)。

2.1.2 叶片生理指标 如表 2 所示, 两种遮光处理苗期叶绿素含量都比对照有不同程度增加, 叶绿素 b/a 值也比对照增大, 但 25% 自然光处理相对于 55% 自然光处理有下降趋势。品种之间存在着差异, 其中不同光照度下, P118 叶绿素含量变化幅度最小, 而对于叶绿素 b/a 值, Caruso 后代变化平稳, 反映了它的弱光适应性。

不同处理可溶性蛋白质含量与对照相比有下降趋势, 但弱光条件下各品种 POD 酶活性变化并不一致。对其进行显著性测验表明, 各品种不同处理之间的 POD 酶活性变化不显著。

对于 55% 自然光处理下各品种可溶性糖含量变化进行显著性测验, 发现除 Caruso 后代外, 其余品种变化都不显著。在 25% 自然光处理下, 各品种可溶性糖含量都有下降趋势, 其中中杂 9 号、P118 变化不显著, 而齐研矮粉与利生一号变化达极显著水平, 下降幅度分别为 45.6% 与 51.7%。

表 1 弱光对番茄苗期植株形态指标的影响

Table 1 Effect of low light intensity on morphological indexes of tomato at seedling stage

品 种	处 理	株高/ 茎粗	叶面	比叶鲜	比叶干
Varieties	Treatment	Plant height/ stem diameter	积比 LAR	样质量 VLM	样质量 SLM
中杂 9 号	CK	0	0	0	0
Zhongza 9	W	0.118	0.508	- 0.073	- 0.197
	B	0.289	1.337	- 0.224	- 0.488
齐研矮粉	CK	0	0	0	0
Qiyanaifen	W	0.372	0.160	- 0.098	- 0.033
	B	0.297	0.300	- 0.280	- 0.231
Caruso 后代	CK	0	0	0	0
Caruso progeny	W	0.084	0.626	- 0.125	- 0.116
	B	0.047	1.004	- 0.250	- 0.409
利生一号	CK	0	0	0	0
Lisheng 1	W	0.053	0.031	- 0.140	0.049
	B	0.215	0.368	- 0.311	- 0.373
P118	CK	0	0	0	0
	W	0.127	0.643	- 0.217	- 0.396
	B	0.432	0.444	- 0.188	- 0.483

注: CK, 不遮光 (100% 自然光); W, 白色遮阳网覆盖 (55% 自然光); B, 黑色遮阳网覆盖 (25% 自然光); 下同。表中数值= (处理- CK)/CK。

Note: CK, no net (100% natural light); W, the treatment shadowed with white net (55% natural light); B, the treatment shadowed with black net (25% natural light). Followings are the same. The relative value in the table= (Treatment- CK)/CK.

表 2 弱光对番茄苗期生理指标的影响

Table 2 Effect of low light intensity on physiological indexes of tomato at seedling stage

品 种	叶绿素含量			叶绿素 b/a 值			可溶性蛋白质含量			POD 酶活性			可溶性糖含量		
	Chlorophyll content			Chl. b/a value			Soluble protein content			POD activity			Soluble sugar content		
Varieties	CK	W	B	CK	W	B	CK	W	B	CK	W	B	CK	W	B
中杂 9 号 Zhongza 9	0	0.180	0.295	0	0.328	0.206	0	- 0.046	- 0.077	0	0.147	0.304	0	- 0.150	- 0.260
齐研矮粉 Qiyanaifen	0	0.360	0.452	0	0.215	0.174	0	- 0.357	- 0.378	0	0.095	- 0.084	0	0	- 0.456
Caruso 后代 Caruso progeny	0	0.096	0.415	0	0.013	- 0.010	0	- 0.200	- 0.177	0	- 0.073	0.092	0	- 0.312	- 0.295
利生一号 Lisheng 1	0	0.039	0.463	0	0.161	0.251	0	- 0.126	- 0.137	0	- 0.152	0.168	0	0.162	- 0.517
P118	0	0.089	0.089	0	0.166	0.041	0	- 0.085	- 0.159	0	- 0.058	0.023	0	0.155	- 0.337

注: 表中数值= (处理- CK) / CK。

Note: The relative value in the table= (Treatment- CK) / CK.

2.2 番茄开花坐果期遮光处理形态及生理指标的变化

2.2.1 形态指标 弱光对番茄开花坐果期的形态指标影响很大, 各处理与对照相比差异显著。各品种株高茎粗比随着光照的减弱而逐步增加 (表 3)。各处理比叶干样质量与比叶鲜样质量都比对照有所降低, 而且除了齐研矮粉 25% 自然光处理比 55% 自然光处理略微上升外, 其他品种都随光强的减弱而降低。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。

2.2.2 叶片叶绿素含量及 b/a 值的变化 由表 4 可以看出, 在不同遮荫情况下, 各品种的叶绿素含

量与叶绿素 b/ a 值都较对照有所增加, 但 25% 自然光处理与 55% 自然光处理相比各品种变化较小, 品种之间变化差异不大。

各品种遮光处理与对照相比可溶性蛋白质含量和 POD 酶活性均有一定程度的上升。其中, 可溶性蛋白质含量除中杂 9 号 25% 自然光处理略有减少外, 都呈增加趋势, 利生一号变化达极显著水平。各品种 POD 酶活性均有升高, 其中利生一号两处理变化皆达极显著水平, 分别为 81% 和 38. 4%。值得注意的是, 各品种 55% 自然光处理与对照相比上升幅度均较 25% 自然光处理大。

各品种可溶性糖含量随着遮光程度的加重呈下降趋势。除利生一号 55% 自然光处理变化不显著以外, 皆达显著和极显著水平。

表 3 弱光对番茄开花坐果期植株形态指标的影响

Table 3 Effect of low light intensity on morphological indexes of tomato at blooming and fruit setting stage

品 种	处 理	株高/ 茎粗	比叶鲜样	比叶干样
Varieties	Treatment	Plant height/ stem diameter	质量 VLM	质量 SIM
齐研矮粉	CK	0	0	0
Qiyanaifen	W	0.489	- 0.329	- 0.475
	B	0.646	- 0.246	- 0.414
中杂 9 号	CK	0	0	0
Zhongza 9	W	0.389	- 0.218	- 0.357
	B	0.567	- 0.348	- 0.447
东农 704	CK	0	0	0
Dongnong 704	W	0.338	- 0.136	- 0.222
	B	0.623	- 0.249	- 0.404
利生一号	CK	0	0	0
Lisheng 1	W	0.391	- 0.174	- 0.216
	B	0.665	- 0.396	- 0.486

注: 表中数值= (处理- CK) / CK。  
Note: The relative value in the table= (Treatment- CK) / CK.

表 4 弱光对番茄开花坐果期植株生理指标的影响

Table 4 Effect of low light intensity on physiological indexes of tomato at blooming and fruit setting stage

品 种	叶绿素含量			叶绿素 b/ a 值			可溶性蛋白质含量			POD 酶活性			可溶性糖含量		
	Chl. content			Chl. b/ a value			Soluble protein content			POD activity			Soluble sugar content		
Varieties	CK	W	B	CK	W	B	CK	W	B	CK	W	B	CK	W	B
齐研矮粉 Qiyanaifen	0	0.007	0.058	0	0.043	0.071	0	0.123	0.267	0	0.471	0.453	0	- 0.311	- 0.548
中杂 9 号 Zhongza 9	0	0.224	0.436	0	0.126	0.109	0	0.239	- 0.004	0	0.340	0.200	0	- 0.359	- 0.491
东农 704 Dongnong 704	0	0.563	0.485	0	0.164	0.157	0	0.191	0.096	0	0.549	0.032	0	- 0.451	- 0.557
利生一号 Lisheng 1	0	0.205	0.293	0	0.066	0.098	0	0.590	0.422	0	0.810	0.387	0	- 0.297	- 0.502

注: 表中数值= (处理- CK) / CK。  
Note: The relative value in the table= (Treatment- CK) / CK.

2.3 番茄不同生长时期坐果率和产量的变化及相关性分析

分析相对坐果率和相对产量 (表 5、6), 显示了不同品种不同生长期产量与坐果率的差异。苗期弱光条件下各品种产量均较对照有所下降。其中除 Caruso 后代外, 各品种变化值均达显著水平。不同处理坐果率与对照相比变化则与产量相反, 呈上升趋势。除 Caruso 后代外, 各品种均随遮荫程度的加重而变化幅度加大。对相对单株产量和相对坐果率的相关性进行分析, 发现 5 个品种中二者皆呈负相关, 其中中杂 9 号和利生一号相关系数分别为- 0.934 和- 0.999, 达显著水平。

开花坐果期各品种随遮光程度的加重产量递减, 其中中杂 9 号两处理变化都较小。与苗期不同的是, 坐果率在弱光条件下降低。对相对单株产量与相对坐果率的相关性进行分析, 4 个品种中二者皆为显著正相关, 其中中杂 9 号和利生一号达极显著水平, 相关系数分别为 0.997、0.998。

2.4 番茄不同生长时期耐弱光性鉴定的一致性问题

对齐研矮粉、东农 704、利生一号苗期与开花坐果期遮光处理的相对单株产量进行相关分析, 其相关系数仅为 0.0426, 而且从前面的比较分析可知各品种在不同生长时期遮光的表现也是不同的, 说明番茄苗期与开花坐果期的耐弱光性并不一致, 开花坐果期耐弱光的品种不一定苗期也耐弱光。

表 5 番茄苗期不同遮光处理产量和坐果率的变化					
Table 5 The yield and percent of setting of tomato in different shading treatment at seedling stage					
品 种	处 理	单株产量	相对单株产量	坐果率	相对坐果率
Varieties	Treatment	Yield per plant (kg)	Relative yield per plant	Percent of setting	Relative percent of setting
中杂 9 号	CK	0.830		0.756	
Zhongza 9	W	0.590	- 0.289	0.800	0.058
	B	0.540	- 0.349	0.844	0.117
齐研矮粉	CK	0.725		0.790	
Qiyanaifen	W	0.470	- 0.352	0.885	0.120
	B	0.490	- 0.328	0.912	0.155
Caruso 后代	CK	0.520		0.690	
Caruso	W	0.510	- 0.019	0.738	0.070
progeny	B	0.515	- 0.010	0.559	- 0.190
利生一号	CK	0.970		0.761	
Lisheng 1	W	0.930	- 0.041	0.765	0.005
	B	0.690	- 0.289	0.782	0.027
P118	CK	0.360		0.690	
	W	0.305	- 0.156	0.787	0.140
	B	0.270	- 0.250	0.835	0.210

表 6 番茄开花坐果期不同遮光处理产量与坐果率的变化					
Table 6 The yield and percent of setting of tomato in different shading treatment at blooming and setting stage					
品 种	处 理	单株产量	相对单株产量	坐果率	相 对 坐果率
Varieties	Treatment	Yield per plant (kg)	Relative yield per plant	Percent of setting	Relative percent of setting
齐研矮粉	CK	0.610		0.917	
Qianaifen	W	0.415	- 0.321	0.854	- 0.069
	B	0.425	- 0.303	0.806	- 0.122
中杂 9 号	CK	0.680		0.963	
Zhongza 9	W	0.610	- 0.105	0.897	- 0.069
	B	0.567	- 0.166	0.855	- 0.112
东农 704	CK	0.706		0.927	
Dongnong	W	0.582	- 0.173	0.911	- 0.017
704	B	0.535	- 0.242	0.916	- 0.011
利生一号	CK	0.930		0.961	
Lisheng 1	W	0.720	- 0.226	0.875	- 0.089
	B	0.557	- 0.401	0.811	- 0.156

3 讨 论

3.1 番茄苗期弱光下植株形态生理指标的变化趋势

株高/茎粗的值可作为壮苗的标准<sup>1152</sup>。弱光条件下番茄苗有徒长趋势，较耐弱光的品种，如 Caruso 后代一般在弱光下有较强的适应能力，表现为与正常光下相似的高粗比。在一定范围内，叶片厚度与光合速率呈正相关<sup>116, 172</sup>。番茄植株比干样质量、比叶鲜样质量在弱光下减少，即叶片变薄，这与辣椒、大豆等作物<sup>118~ 202</sup>一致，其原因可能是弱光下为保证正常的光合作用，植株将有限的同化产物维持叶面积的正常大小，以保证吸收足够的光能，而造成叶片厚度的减少。叶面积比在弱光下明显升高，与 Cockshull 的研究结果<sup>152</sup>相同。

研究表明，随着遮光程度的加重，番茄植株叶片的叶绿素含量和叶绿素 b/a 值都有一定的上升趋势<sup>1212</sup>，本试验也得出同样的结论，这与大豆、辣椒<sup>118, 192</sup>等作物一致。通常认为叶绿素的作用是吸收光能，高含量对于光合作用有利。但这也不是绝对的，处于弱光环境中，叶绿素含量增加（主要是叶绿素 b 的上升）可能是植物的一种保护性反应，也有可能是低光密度造成植株某些合成过程的紊乱，一些与光合有关产物合成的失调。

苗期弱光使番茄叶片可溶性糖和可溶性蛋白质含量显著下降。光照不足必然会影响植株光合作用，导致光合速率下降<sup>122, 232</sup>，光合产物降低，糖和蛋白质含量降低<sup>111, 242</sup>。由于植物光合作用关键酶 RuBP 羧化酶占蛋白质的主要部分，它的减少也会限制光合速率，可能造成光合产物的下降。

3.2 番茄开花坐果期弱光下植株形态生理指标的变化趋势

与苗期不同的是，番茄开花坐果期弱光照下叶片 POD 酶活性呈上升趋势，这是植株通过自身的某些抗逆生理代谢途径对弱光逆境的应激性作用的结果。此外，开花坐果期在弱光下叶片可溶性蛋白质含量有显著增加，具体原因尚有待进一步的研究。

番茄各品种在不同生长时期遭受弱光逆境都会使产量不同程度的下降<sup>1252</sup>，一般说来对产量影响不大的品种耐弱光性较强。番茄幼苗 3 片叶左右即开始花芽分化，苗期弱光、营养不良，致使花数减少，而开花结果期光照正常，光合产物供应充足，花数量相对较少，从而坐果率升高。

根据试验结果对供试品种进行评估，可知苗期耐弱光品种是 Caruso 后代，而开花坐果期较耐弱光

的是中杂 9 号, 它们与各个指标的关系尚需进一步探讨。与郑勤<sup>12</sup>等的研究结果不同, 本试验研究表明番茄苗期与开花坐果期的耐弱光性并不一致, 我们认为不同品种各生长时期的逆境适应能力不同, 这是由品种特性决定的。在筛选番茄耐弱光种质资源时应重视适当生长期的选择。

## 参考文献:

- 1 斋藤 隆, 片岡節男. 番茄生理基础. 王海廷译. 上海: 科学技术出版社, 1981. 62
- 2 Kinet J M. Effect of defoliation and growth substances on the development of inflorescence of tomato under low energy conditions. *Scientia Hort.*, 1977, 6: 27~ 35
- 3 Hogenboom N G. Research in relation to adaptation of tomato to poor energy conditions. Proc. Meeting Eucarpia Tomato Working Group, Leningrad, USSR, 1978. 135~ 139
- 4 Smeets L, Hogenboom N G. Introduction to an investigation into the possibilities of using growth and physiological characters in breeding tomato for low energy conditions. *Euphytica*, 1985, 34: 705~ 707
- 5 Cockshull K E, Graves C J, Cave C R J. The influence of shading on yield of glasshouse tomatoes. *J. Hort. Sci.*, 1992, 67: 11~ 24
- 6 Br ggemann W. Long term chilling of young tomato plants under low light. *Plant Cell Physiol.*, 1995, 36 (4): 733~ 736
- 7 Hetherington S E, Smillie R M, Davies W J. Photosynthetic activities of vegetative and fruiting tissues of tomato. *Journal of Experimental Botany*, 1998, 49: 1173~ 1181
- 8 Borowski E. Response of tomato plants to nitrogen forms in conditions of full and reduced light intensity. *Annales Universitat Mariae Curie Skłodowska section III Horticultura*, 1994, (2): 1~ 12
- 9 朱龙英, 徐梯惟, 康高强, 等. 番茄耐低温和耐弱光性能鉴定方法初探. *上海农业学报*, 1998, 14 (1): 45~ 50
- 10 李天来, 须 晖, 郭 泳, 等. 苗期光照度对番茄畸形果发生的影响. *辽宁农业科学*, 1997, (2): 22~ 25
- 11 孙晓勇, 王 斌, 张金英. 光照强度对番茄坐果前生长发育的影响. *山东农业科学*, 1998, (2): 17~ 19
- 12 郑 勤, 李 霞. 番茄苗期耐弱光特性及若干形态生理指标测定. *江苏农业科学*, 1998, (6): 51~ 52
- 13 张宪政主编. 植物生理学实验技术. 沈阳: 辽宁科技出版社, 1989. 105~ 106
- 14 沈秀丽. 植物生理生化实验技术. 哈尔滨: 东北农学院, 1991. 16~ 17
- 15 曹寿椿主编. 蔬菜. 合肥: 安徽科学技术出版社, 1986. 52~ 53
- 16 张振贤, 郑国生, 赵德婉. 大白菜光合作用特性的研究. *园艺学报*, 1993, 20 (1): 38~ 44
- 17 M A 霍尔著. 植物结构、功能和适应. 姚璧君译. 北京: 科学出版社, 1987. 216~ 217
- 18 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. *上海农业学报*, 1998, 14 (3): 46~ 50
- 19 梁镇林, 梁慕勤, 潘世元, 等. 大豆耐阴性研究. *贵州农学院学报*, 1992, 11 (2): 16~ 22
- 20 李长缨, 朱其杰. 光强对黄瓜光合特性及亚温下生长的影响. *园艺学报*, 1997, 24 (1): 97~ 99
- 21 Webb M R, Melis A. Chloroplast response in *Dunaliella salina* to irradiance stress: effect on thylakoid membrane protein assembly and function. *Plant Physiol.*, 1995, 107 (3): 885~ 893
- 22 郭 泳, 李天来, 黄广学, 等. 环境因素对番茄单叶净光合速率的影响. *沈阳农业大学学报*, 1998, 29 (2): 127~ 131
- 23 马德华, 庞金安, 霍振荣, 等. 弱光对黄瓜幼苗某些生理特性影响. *河南农业大学学报*, 1997, 31 (3): 248~ 250
- 24 Gent M P N. Carbohydrate level and growth of tomato plants. *Plant Physiology*, 1986, 81 (4): 1075~ 1079
- 25 Bævre O A. Effects of light on flowering and fruiting in the tomato. *Norwegian Journal of Agricultural Sciences*, 1990, 4 (3): 225~ 232

# Effects of Low Light on Morphological and Physiological Indexes of Tomato at Different Growth Stages

Hou Xingliang, Li Jingfu, and Xu Xiangyang

(College of Horticulture, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

**Abstract:** In the experiment, the morphological and physiological changes of tomato at different growth stages under low light were studied. The results showed that the tomato seedlings had a tendency of overgrowing under low light. Low light at seedling stage led to the increase of SLW, LAR, Chlorophyll Content, Chlorophyll b/a value and percentage of fruit setting and the decrease of soluble sugar and protein content. While the low light at blooming and setting stage led to the increase of POD activity and soluble sugar content and the decrease of the percentage of fruit settings, comparing with that at seedling stage.

**Key words:** Tomato; Low light; Growth stages; Morphological; Physiological index