

不同生育期遮荫条件下番茄矿质氮的分配效应

刘贤赵¹, 康绍忠², 李庆志¹, 毛爱华¹

(1. 烟台师范学院; 2 西北农林科技大学)

摘 要: 光合有效辐射是影响作物生长发育、产量构成以及营养状况的重要因子。由于遮荫造成的光照强度的降低经常引起干物质积累的减少和营养状况的下降。然而, 在夏季晴天中午遮荫并不总是导致营养状况的降低。该文以番茄为材料, 观测了不同生长阶段(开花早期, 盛花期和开花后期)夏季午间遮荫(0 遮荫, 40% 遮荫和 75% 遮荫)对矿质氮在番茄各器官中的含量及其分配的影响, 发现不同时期影响不同。遮荫不影响开花早期和盛花期叶片氮的含量及其分配。但开花后期, 40% 遮荫使叶氮含量增加, 叶、茎、茬中氮的分配指数高于开花早期和盛花期, 并且产量增加。这些结果表明, 在某些时期中度遮荫可以克服夏天辐射过强、气温过高对番茄的不良影响, 有利于改善番茄氮素营养状况和提高经济产量, 在生产中有一定意义。

关键词: 遮荫; 氮素分配; 番茄; 生育期

中图分类号: S363

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2003)02-0199-04

1 引 言

光照强度是影响作物光合作用、生长发育和产量构成的重要因素。作物的矿质营养状况与作物对养分的吸收和利用有关, 而后者又取决于作物生长状况所确定的对养分的需要及其吸收能力。在适宜的光照范围内, 作物的光合能力随光照的增加而增强, 因对养分的需要量也随之增加。然而在炎热的夏季晴天中午, 强烈的太阳辐射有可能使棚室内温度超过 40℃, 影响作物的生长, 并出现产量下降等问题^[1]。为避免夏季晴天午间强光对棚室作物产生烧叶而采取的人工遮荫将降低室内光照强度和温度。光照强度的改变有可能影响作物体内矿质营养含量, 并在一定程度上影响作物的需肥比例和所采取的相应的施肥措施。一些研究表明, 作物体内碳的新陈代谢和矿质营养对变化的光照环境十分敏感, 当光照与水分竞争激烈或者水分、矿质营养供应充足时, 遮荫往往抑制植物的生长、降低辐射利用效率(RUE)和植物器官中氮的含量^[2, 3]。另一种观点则认为光照强度的减弱(如人工遮荫)可以促进植株的生长, 提高 RUE 并增加植物器官中氮的含量, 这种影响在水分不足和氮素有效性较低的情况下表现更加明显^[4~7]。很显然, 对于对某些营养元素需要较多的作物来说, 适当遮荫可能增加氮素的含量, 进而提高作物产量^[8, 9]。

遮荫对番茄产量的影响研究已有报道^[10, 11], 但不同阶段遮荫对番茄产量的影响涉及较少, 至于不同生长阶段遮荫对番茄植株矿质营养状况的影响研究则更少。本文分析不同生长阶段遮荫对番茄植株氮的分配及其产量效应, 为设施栽培制定相应的管理措施提供科学依

据。

2 材料与方法

2.1 作物种植

试验在西北农林科技大学节水灌溉站进行。番茄品种‘毛粉 802’号(Lycopersicon esculentum Mill cv. Maofen No. 802)在温室中常规育苗。当幼苗长到 4 叶时, 选取生长一致的健壮幼苗移置室外开阔地带的 PVC 管中(PVC 管内径 12 cm、深 50 cm), 每管 1 株。PVC 管底部开有一小孔, 用直径 12 cm 的镀锌铁片封底, 以防漏土。管内所装土壤为容重 1.25 g/cm³、田间持水量 24.3% (占干土质量的%)的中壤土。为保证试验正常运转, 装土前将土样按每千克土中加入硝酸铵 0.5 g 和磷酸二氢钾 0.2 g, 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足够。

2.2 试验设计

在番茄的开花早期、盛花期和开花后期分别进行遮荫处理。各生育期均遮荫 8 d (阴雨天除外), 以自然光为基础, 设对照(0 遮荫)、40% 遮荫和 75% 3 个水平, 通过覆盖在距离作物冠层上方 2 m 高处的遮阳网达到处理光强。试验采用完全设计, 随机排列, 共 9 个处理, 每处理 15 株(其中 12 株用于测定遮荫过程中叶氮含量的动态变化, 另 3 株用于测产和最后收获期采样测各器官中氮的含量)。试验期间, 对照、40% 和 75% 遮荫处理的植株冠层上方的光合有效辐射(PAR)分别为 1 100~1 300 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 600 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 和 300 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 左右。当植株长到 60 cm 高度时, 用支架支撑植株以免倒伏。为保证观测和取样时各处理植株土壤含水量基本一致, 在测定和取样前 1 d 用称重法测定土壤含水量, 视其需要进行充分灌水。

2.3 试验测定与分析方法

在开花早期, 分别在遮荫后的第 2、4、6、8 d 的晴天中午(11:30~14:30), 选取不同光照水平下植株上部的

收稿日期: 2002-05-22 修订日期: 2002-10-30

基金项目: 国家自然科学基金青年基金(40101005); 山东省教育厅项目(J02L01)

作者简介: 刘贤赵, 男, 博士, 教授, 主要从事土壤水分、农业生态等方面的研究工作。烟台市芝罘区世学路 184 号 烟台师范学院地理与旅游系, 264025

功能叶(每处理选 3 株, 每株取 4~ 5 叶, 取过样的植株, 下次取样不再选用), 迅速将叶片剪下, 放入 105 ℃ 烘箱中杀青 15 min, 调温至 60 ℃ 烘干至恒重, 称重、研磨, 过 0.2 mm 筛, 用凯氏定氮法测定遮荫过程中叶氮含量的动态变化。在收获期按 2 次/周测定果实产量, 并在最后收获期进行毁灭性采样, 记录各处理植株根、茎、叶、萼的干质量, 分析其中氮的含量。另外, 用系数法测定叶面积。

植物氮的分配效应用氮分配指数 (NAI) 公式进行计算^[12]

$$NAI = (N_i/N_w)/(W_i/W) = (N/W)/(W/N_w)$$
式中 N_i ——植株某一组织中氮的数量, 由实测的氮含量和干物质量计算; W_i ——某一组织的干质量; W ——整个植株的干质量; N_w ——整个植株中氮的总量。

用 SAS 软件(8.0, USA, 1999)中的 ANOVA 对不同处理所测定数据进行方差分析并做显著性检验。

3 结果与分析

3.1 不同生育期遮荫对番茄叶 N 含量的影响

图 1 是番茄各生育期遮荫后 2、4、6、8 d 四次测定的叶氮含量的平均值。图 1 显示, 不同生长阶段, 遮荫对叶 N 含量的影响有一定的差异性。在开花早期和盛花期, 遮荫不明显影响叶片中 N 的含量, 三者之间不存在显著差异。表明在开花早期和盛花期遮荫不改变番茄叶片中氮与碳流通量的比例。但在开花后期, 40% 遮荫处理的叶片氮含量比对照增加了 20.5%, 表明在番茄生长的开花后期适度遮荫可以改善其营养状况, 提高叶片氮的含量。

为进一步探讨不同阶段遮荫对番茄叶片 N 含量影

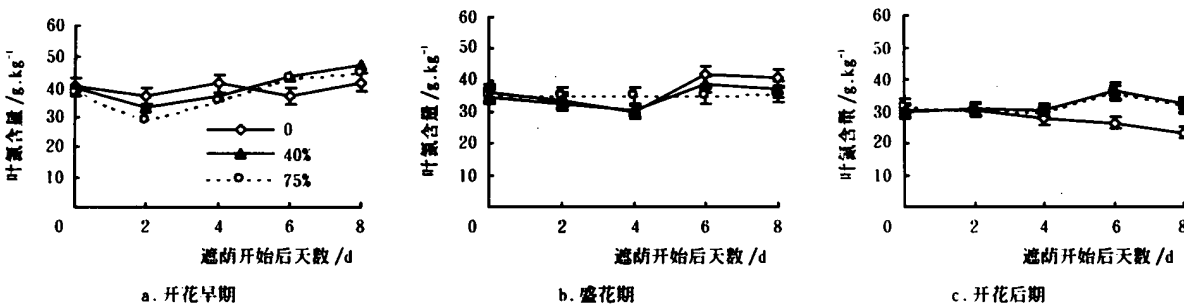


图 2 不同生育期 8 d 遮荫番茄叶片氮含量的动态变化
Fig. 2 Dynamic changes in total leaf N concentrations of tomato plants during an 8-day period shading at the three growth stages

3.2 不同生育期遮荫番茄植株各部分氮的分配效应

不同生长阶段 3 种光照处理下氮向番茄植株根、茎、叶、萼的分配如图 3。由图 3 可以看出, 不同光照强度下番茄植株各组织中氮的分配具有较大的差异性。在试验处理条件下, 叶片 NAI 值在 3 个生育阶段均大于 1, 表明氮是优先分配给叶组织的。在开花后期, 40% 遮荫处理的叶片 NAI 值明显大于对照(图 3a)。这与 Dale 等^[12]报道的不同遮荫条件下全光照处理的婆婆纳 (Veronica) 植物叶片具有较高的 NAI 结论不一致。

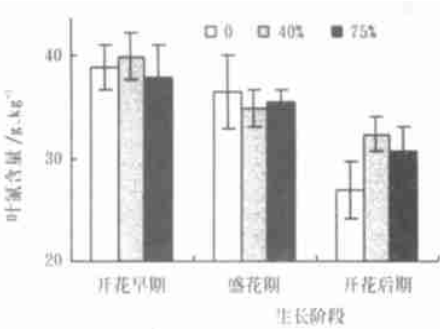


图 1 不同生育期遮荫对番茄叶氮含量的影响
Fig. 1 Effects of shading on leaf N concentrations of tomato plants at the different growth stages

响的动态变化, 将 3 个阶段 8 d 遮荫期间叶片氮含量随时间的变化绘成图 2。从图 2 可知, 在开花早期, 3 种光照水平下叶片氮含量随遮荫时间的变化似乎无明显规律, 三者之间差异不明显。在盛花期, 40% 遮荫处理的叶片氮含量与对照(0 遮荫)的变化一致, 而 75% 遮荫处理的叶片氮含量在 8 d 遮荫期间变化微小, 其值趋近于一个常数。然而, 在开花后期, 叶片氮含量的变化与前两个阶段存在较大的差异, 随着遮荫时间的增加, 40% 和 75% 遮荫处理的叶片氮含量从遮荫开始后的第 4 d 大幅度快速上升, 分别在第 6 d 和第 8 d 达到显著水平, 而对照的叶片氮含量则随着遮荫时间的增加逐渐降低, 由第 2 d 的 $30.1 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 下降到第 8 d 的 $23.2 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 平均每天下降约 $0.85 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。这说明在开花后期实施一定程度的午间遮荫有利于提高番茄吸收土壤中氮的能力, 继而增加叶片氮的含量。

前人的研究已表明, 生长在遮荫条件下的植物通过 2 种机制可以补偿减少的光照强度。一是遮荫处理的植物通常具有一个比对照处理相对较高的比叶面积 (SLA), 增加的比叶面积有利于提高捕光能力, 以弥补减少的光照强度所导致的光合速率的降低。二是遮荫植株通过增加叶片氮含量来补偿因遮荫造成的光照不足而提高光合作用^[13], 这种影响在番茄开花后期遮荫得到了证实。即在开花后期, 40% 遮荫通过增加叶片氮的含量加速 CO_2 的净同化速率(40% 遮荫植株的净同化

速率平均比对照增加 22.0%), 并显著提高总的干物质质量(干物质质量比对照增加 24.8%)^[14], 进一步证实了 Evans(1996)得出的结论^[15]。

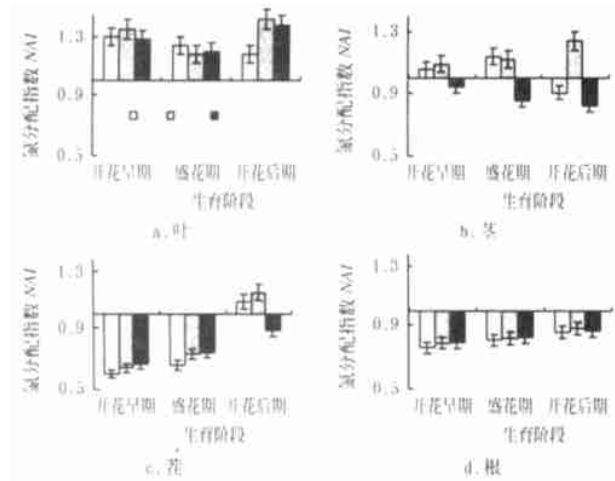


图 3 不同生育期遮荫番茄植株各器官中氮的分配指数
Fig 3 NAI in the tomato plant components at different growth stages under shaded conditions

遮荫对番茄茎组织氮分配的影响表明(图 3b), 在番茄不同生长阶段, 光照强度对茎 NAI 变化的影响也有一定差异。在番茄遮荫处理的 3 个阶段, 40% 遮荫的茎 NAI 均大于 1, 表明氮在茎中发生了储存, 而且这种变化在开花后期变得越来越明显。但对生长在 75% 遮荫下的番茄来说, 茎组织 NAI 值在 3 个生长阶段均小于 1。这意味着重度遮荫会导致氮向茎分配的比例减少, 而适宜的遮荫有利于氮在茎中的分配。

不同生育期遮荫对氮分配给番茄果的影响亦不同(图 3c)。在开花早期和盛花期, 所有遮荫处理的番茄果的 NAI 值均小于 1, 不同的是在这两个生育期内 75% 遮荫的果 NAI 值较 40% 遮荫与对照处理的要大。而在开花后期, 果 NAI 值与开花早期和盛花期相比均显著增加, 其中 40% 遮荫和对照处理的果 NAI 值均大于 1, 特别是 40% 遮荫处理的果 NAI 值明显比对照要高, 表明在开花后期适度遮荫有利于氮在番茄果中的积累。同样, 对生长在开花后期 75% 遮荫处理下的番茄来说, 果的 NAI 值小于 0.9, 表明重度遮荫同样会减少氮在果中的存留, 不利于番茄的生长。

遮荫对氮分配给番茄根的影响表明(图 3d), 在 3 个生育期和所有光照处理下, 根 NAI 值始终小于 1。这说明氮在番茄植株各部分的分配中, 根不是一个被优先分配的对象。不同生育期比较, NAI 的大小依次为开花早期 < 盛花期 < 开花后期。而在同一个生育期内, 根 NAI 的变化受遮荫程度的影响很小。

4 讨论

本研究表明, 在土壤水分和供肥充足的条件下, 遮荫对番茄植株氮素营养元素含量有一定的影响。一般情况下, 当矿质营养元素的可用量没有发生改变时, 植物体中 N 的相对含量受光合产物增多冲淡作用的影响, 光合作用减弱时, 其百分含量会相对地提高; 反之, 会降

低。在开花早期的第 6 d、8 d 以及盛花期的第 6 d、第 8 d, 40% 遮荫的叶 N 相对含量与光合速率的变化基本符合这一规律^[16]。在开花后期, 40% 遮荫显著增加叶片中氮的含量, 并在遮荫解除后叶、茎、荑各部分的氮分配指数也明显比对照高。这是番茄发育阶段与遮荫交互作用的结果。其一, 生长在开花后期的番茄, 同其它 C₃ 植物一样, 中度遮荫有可能增加 N 向叶组织的分配^[15], 使 N 的供应量超过植株新陈代谢的需要量^[4]; 其二, 开花后期番茄的叶龄较开花早期和盛花期的老, 老叶遮荫后, 叶中 N 的再吸收效率相对于碳的同化速率要慢得多, 造成碳同化与氮供应的不平衡^[17, 20], 使 N 在叶中累积, 提高叶中 N 含量^[18]。

至于开花后期, 75% 遮荫的叶氮含量和 NAI 的提高不是吸氮量的增加, 而是重度遮荫条件下显著降低的净光合速率(比对照下降 48.3%)^[14]和氮活性下降的结果^[19]。本研究表明, 开花后期 75% 遮荫处理的干物质累积量较对照减少 18%, 叶干质量和吸氮量分别比对照(叶干质量 7.28 g, 吸氮量 195.6 mg)减少 25.4% 和 11.7%^[14], 表明叶干质量减少的程度大于氮吸收量减少的程度。这种开花后期重度遮荫下叶干质量受到的影响大于叶吸氮量受到的影响, 正是叶片氮含量和 NAI 值相对上升的重要原因。尽管有人把植物叶片中氮含量的增加归因于遮荫下有利的土壤温度和湿度提高了土壤中氮的矿化速率和有效性^[3], 但从植物生理的角度考虑, 当氮的有效性不受限制时, 植物对氮的吸收一般受控于碳的同化。至于遮荫条件下氮在向番茄根、茎、叶、荑的分配过程中, 氮优先分配给了叶组织的, 这可能与遮荫后氮在番茄植株地上、地下部分的分配特性有关。

遮荫条件下, 对于生长的新叶来说, 其氮源主要来自于植物根、荑内生的氮^[20]。本试验表明, 在同一阶段内遮荫几乎不影响氮向番茄根组织的分配, 但在开花后期重度遮荫减少氮向荑、茎组织的分配, 加上降低的净光合速率^[14], 抑制了番茄的生长, 导致了产量的下降; 而开花后期 40% 遮荫由于改善了植株生长的营养状况, 从而使经济产量增加(表 1)。因此, 在设施园艺中, 如何在夏季晴天中午对作物实施合理的人工遮荫或通

表 1 不同生长阶段遮荫对番茄产量的影响

Table 1 Effect of shading at different growth stages on tomato fruit yield

生长阶段	遮荫程度 /%	总产量 /g · plant ⁻¹	有效产量 /g · plant ⁻¹
EF	0	535 ± 10.2a	464 ± 9.8a
	40	530 ± 8.9a	454 ± 10.3a
	75	519 ± 11.0a	446 ± 9.5a
PF	0	560 ± 10.0a	483 ± 10.5a
	40	565 ± 10.4a	491 ± 11.0a
	75	506 ± 9.7b	427 ± 11.7b
LF	0	547 ± 13.3b	457 ± 11.3b
	40	606 ± 7.0a	538 ± 8.5a
	75	513 ± 13.0c	452 ± 11.4b

过定期的修剪来获得适合的光照强度, 对改善作物的营养状况和获得较高的产量有重要意义。

[参 考 文 献]

- [1] 李 强 现代化农业温室的夏季降温研究及其发展[J] 环境科学进展, 1999, 7(1): 41~ 44
- [2] Robinson J B. The growth of *Chloris gayana* within and adjacent to a plantation of *Eucalyptus grandis*[J] Tropical Grasslands, 1991, 25(3): 287~ 290
- [3] Norton B W, Wilson J R, Shelton H M, et al The effect of shade on forage quality[J] Aciar Proceedings, 1991, 32(1): 78~ 82
- [4] Wild D M, Wilson J R, Shelton H M. Shading increase yield of nitrogen-limited tropical species[J] Proc of XV II Int Grassland Cong, 1993, 20(1): 60~ 61
- [5] Cruz P, Munier-Jolain N M, Tournebize R, et al Growth and mineral nutrition in a *Dichanthium aristatum* sward shaded by trees[J] Proc of XV II Int, 1993, 20(1): 56~ 57
- [6] Kazuo Y, Nobutoshi S Effect of temperature and light intensity on the growth and flowering of *Odontoglossum* intergeneric hybrids[J] Journal Japan Soc Hort Sci, 1998, 67(6): 619~ 625
- [7] Zhao D, Oosterhuis D M. Influence of shade on mineral nutrient status of field-grown cotton [J] Journal Plant Nutrient, 1998, 21(7): 1681~ 1695
- [8] Marschner H. Mineral nutrition of higher plants[M] 2nd ed Cambridge: Academic Press, 1995, 277~ 285
- [9] Sumi A, Oka M, Hakoyama S Analysis of plant characteristics determining ear weight increase during the ripening process in rice (*Oryza sativa* L.): I Plant Characteristics determining the sink capacity of spikelets[J] Japn Journal Crop Sci, 1996, 65(1): 63~ 70
- [10] Egli D B. Weed biology and the yield of grain crops[M] CAB Inti, UK: Wallingford, 1998, 44~ 56
- [11] Russo V M. Shading of tomato plants inconsistently affects fruit yield[J] Hort Science, 1993, 28: 1133
- [12] 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
- [13] Dale M P, Causton D R. The ecophysiology of *Veronica chamaedrys*, *V. montana* and *V. officinalis* IV. Effects of shading on nutrient allocation—a field experiment[J] Journal of Ecology, 1992, 80: 517~ 526
- [14] 刘贤赵, 康绍忠 不同生长阶段遮荫对番茄光合作用、干物质分配与叶 N、P、K 的影响[J] 生态学报, 2002, 22(12): 2264~ 2271
- [15] Evans J R. Photosynthesis and nitrogen relationships in leaves of C_3 plants[J] Oecologia, 1989, 78(1): 9~ 19
- [16] 刘贤赵, 康绍忠 番茄不同生育阶段遮荫对光合作用与产量的影响[J] 园艺学报, 2002, 29(5): 427~ 432
- [17] May J D, Killingbeck K T. Effects of preventing nutrient resorption on plant fitness and foliar nutrient dynamics[J] Ecology, 1992, 73(5): 1868~ 1878
- [18] Hikosaka K, Terashima I A model of the acclimation of photosynthesis in the leaves of C_3 plants to sun and shade with respect to nitrogen use[J] Plant, Cell, Environ, 1995, 18: 605~ 618
- [19] Takahashi H, Shennan C, Huffaker R C. Effect of zinc deficiency and shade level on nitrate reductase activity in corn plants[J] J Agric Sci (Tokyo), 1993, 38(2): 117~ 123
- [20] Cruz P. Effect of shade on the carbon and nitrogen allocation in a perennial tropical grass, *Dichanthium aristatum* [J] Journal of Exp Bot, 1997, 48: 15~ 24

Allocation effects of mineral nitrogen in tomato plants under shading conditions at different growth stages

Liu Xianzhao¹, Kang Shaozhong², Li Qingzhi¹, Mao Aihua¹

(1. Yantai Normal University, Yantai 264025, China; 2. Key Laboratory of Education Ministry, Northwest Science and Technology University of Agriculture and Forestry, Yangling 712100, China)

Abstract PAR (photosynthetic active radiation) is an important factor affecting crop growth, yield and nutrition status. The decrease in light density caused by shading often reduces dry-matter mass and nutrition status. But shading at the summer midday may not always cause decrease in nutrition status. The effects of three levels of shading (0, 40% and 75% shading) ratio on the nitrogen allocation in tomato plants were investigated at three growth stages [early flowering (EF), peak flowering (PF) and late flowering (LF) stages]. Different effects caused by shading at different growth stages were found: Shading had no effect on the leaf N contents and N allocation index (NAI) at the EF and PF stages, while the leaf N contents and the NAI of leaf, stem and stubble tissues at the LF stage were higher than those at the EF and PF stages under 40%-shaded conditions, and higher yield was gained. The results suggested that the adverse influences caused by high irradiation and high temperatures could be overcome and a good nutrition status, higher yield also could be obtained if some moderate shading was applied at the LF stage during the summer midday time.

Key words: shading; nitrogen allocation; tomato; growth stages