

## 不同茬口日光温室番茄干物质生产与分配

朱晋宇, 温祥珍, 刘美琴, 李亚灵\*

(山西农业大学园艺学院, 山西太谷 030801)

**摘要:** 以番茄的果穗和果穗下的3片叶及其相应的茎作为一个源库生长单位, 对不同茬口日光温室番茄的干物质生产与分配规律进行了研究。结果表明: 植株在前7穗果同时存在的情况下, 从下到上不同源库生长单位内果实所分配到的比例在42.6%~98.6%之间, 即随着果穗数从下而上的不断增加, 每产生一穗果实, 各源库生长单位果实的干物质分配率下降约6%。不同茬口日光温室番茄受外界环境影响显著, 干物质生产表现出明显的季节性差异, 果实干物质分配率在越冬茬、早春茬和春夏茬分别为72%、62%和59%, 春夏茬果实干物质分配率最低, 这与其生长后期遭遇高温, 坐果率降低有关; 越冬茬生长前期100 d的干物质积累量只有后100 d的1/3, 与其生长期低温弱光有关。

**关键词:** 番茄; 日光温室; 茬口; 干物质生产; 干物质分配; 源库生长单位

**中图分类号:** S 641.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 0513-353X (2007) 06-1437-06

## Tomato Dry Matter Production and Distribution on Different Crops in Solar Greenhouse

ZHU Jin-yu, WEN Xiang-zhen, LIU Mei-qin, and LI Ya-ling\*

(College of Horticulture, Shanxi Agricultural University, Taigu, Shanxi 030801, China)

**Abstract:** In this study, a source-sink growth unit, which composed of a fruit truss, three pieces of leaves just below this truss and the corresponding stem, was adopted for understanding the dry matter production of tomato crop in three different planting time: over-winter cultivation planted in Oct. 26 (OW); early-spring cultivation in Feb. 17 (ES) and spring-summer cultivation in Mar. 29 (SS), respectively. The results showed that within a source-sink growth unit, fruit dry matter distribution was between 42.6% and 98.6%. Fruit dry matter distribution decreased by 6% with the increasing of the fruit truss number (the lowest fruit truss is the first truss), supposing the seven fruit trusses simultaneously existed in the same plant. When ripe fruits were picked, the distribution of immature fruit dry matter was increased due to the increase of the fruit sink strength. Dry matter production in different cultivation varied a lot due to the obviously different greenhouse climate. The ratio of fruit dry matter to shoot dry production were 72%, 62% and 59% for OW, ES and SS cultivation, respectively. Fruit dry matter distribution of SS cultivation was lower than the other two treatments due to the lower rate of fruit-set, when facing high temperature in summer season. The accumulated dry mass in first 100 days after planting was only 1/3 of that in the later growing 100 days in OW cultivation, which was related to low temperature and low light intensity.

**Key words:** Tomato; Solar greenhouse; Crops; Dry matter production; Dry matter distribution; Source-sink growth unit

作物同化物的积累与分配是作物生长发育与产量形成的基础, 同化物在各器官之间的积累和分配主要受各器官自身的库强调节。Tanaka 和 Fujita (1974) 定义了番茄同化物生产的源库生长单位, 即

收稿日期: 2007-04-25; 修回日期: 2007-09-08

基金项目: 农业部“948”项目(2003-Z64); 国家留学基金项目(教外司留[2001]498)

\* 通讯作者 Author for correspondence (E-mail: yalingli1988@yahoo.com)

某一果穗与其果穗下 3 片叶及其茎组成一个生长单位, 整个植株根据果穗数的多少包含若干个源库生长单位。Shishido 和 Hori (1977) 通过 $^{14}\text{C}$  跟踪研究番茄果穗之间源库供应关系发现, 果穗上下的叶片都为果穗同化物的提供源, 而果穗下的 3 片叶是主要的提供源。

我国北方地区温室番茄的种植茬口较多, 不同生长季节的环境差异较大, 产量差异也较大。本研究利用引进的丹麦气象站系统, 比较详尽的记录试验温室温光条件的变化, 基于不同茬口日光温室温光条件因子, 采用源库生长单位的研究方法, 研究干物质生产和果穗之间的物质分配关系, 以期科学安排温室生产茬次提供一定的理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试验设计

试验在山西农业大学设施农业工程中心日光温室中进行。供试品种为当地主栽品种‘粉冠’。试验分为越冬茬、早春茬、春夏茬。越冬茬 2003 年 9 月 6 日播种, 10 月 26 日定植; 早春茬 2003 年 12 月 7 日播种, 2004 年 2 月 17 日定植; 春夏茬 2005 年 1 月 29 日播种, 3 月 29 日定植。定植前  $667\text{ m}^2$  的温室施  $15\text{ m}^3$  腐熟鸡粪, 并混入一定量的磷酸二铵 ( $0.15\text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ )、尿素 ( $0.15\text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ )、过磷酸钙 ( $0.07\text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ )、硫酸亚铁 ( $0.07\text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ ), 土壤 pH 7.0。各茬试验情况详见表 1。试验中各茬总株数均为 500 株, 种植密度为  $3\text{ 株} \cdot \text{m}^{-2}$ , 采用单干整枝方法, 从第 1 果穗开花始, 用“番茄灵”喷花, 其他同常规生产管理。

表 1 不同茬口的基本情况

Table 1 Basic situation for the experiments

茬次 Crops	播种日期 Sowing date	苗龄 Seedling age (d)	定植日期 Planting date	试验结束日期 Trail ending	生长天数 Growth days (d)
越冬茬 Over-winter cultivation	2003 - 09 - 06	50	2003 - 10 - 26	2004 - 05 - 16	203
早春茬 Early-spring cultivation	2003 - 12 - 07	70	2004 - 02 - 17	2004 - 07 - 20	154
春夏茬 Spring-summer cultivation	2005 - 01 - 29	60	2005 - 03 - 29	2005 - 08 - 09	133

### 1.2 测定方法

1.2.1 定株测定 随机选取 6 株并进行定株观测。越冬茬、早春茬和春夏茬分别每 20 d、7 d 和 10 d 测定 1 次。详细记录每单株收获的果实个数、质量以及摘除的老叶数和质量。

1.2.2 取样测定 越冬茬每 20 d 取样 1 次, 早春茬和春夏茬分别为 15 d 和 10 d。每次取样随机选取 6 株。分别测量每一源库生长单位 (即某一果穗与其果穗下 3 片叶及其茎组成 1 个生长单位) 的茎、叶、果的鲜质量和干质量, 同时测定根系的质量。采用通风干燥箱, 根、茎、叶  $105^\circ\text{C}$  杀青 20 min,  $80^\circ\text{C}$  烘干至恒重; 果实按照八分法切开, 选取每一果实的 3/8 进行测定,  $105^\circ\text{C}$  杀青 20 min,  $60^\circ\text{C}$  烘干至恒重。

1.2.3 气象数据测定 温室内外温光环境数据采集是利用进口的丹麦 Vomatic 公司 (MS900 + WT09) 气象站系统, 每 1 min 记录 1 次。

### 1.3 数据处理

生长速率  $R\text{ (g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}) = (C_2 - C_1) / (t_2 - t_1)$ , 其中  $C_1$ 、 $C_2$  分别为某器官第 1 次和第 2 次取样的生物量 ( $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ ),  $t_1$  和  $t_2$  分别为两次取样的时间 (d)。

积累干质量 = 植株当前的干质量 + 已摘除的叶片干质量 + 已收获的果实干质量。

气象数据取生长期间温度日平均值和辐射日平均值。积累干质量均是 6 株 (重复) 的平均值。

## 2 结果与分析

### 2.1 外界太阳辐射和温室内温度的变化

越冬茬、早春茬和春夏茬在生长期间的日均总辐射分别为  $(9.6 \pm 3.0)$ 、 $(15.6 \pm 2.6)$  和  $(18.9 \pm 2.3)$   $\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ 。越冬茬定植后外界太阳辐射急剧下降,12 月和 1 月的外界太阳辐射较低,平均为  $6 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$  左右,2 月以后逐渐升高;而早春茬、春夏茬定植后外界辐射逐渐增加(图 1)。

番茄的生长适温为  $20 \sim 25^\circ\text{C}$ 。由图 2 可以看出:越冬茬定植后温室内日均温逐渐降低,1 月为最低,  $15^\circ\text{C}$  左右,3 月以后均保持在  $20^\circ\text{C}$  以上;早春茬 5 月 29 日日均温达到  $25^\circ\text{C}$ ,之后到试验结束日均温为  $(26.4 \pm 1.2)^\circ\text{C}$ ;春夏茬 4 月 27 日其日均温达到  $25^\circ\text{C}$ ,之后到试验结束日均温为  $(26.9 \pm 1.4)^\circ\text{C}$ 。越冬茬生长期为 7 个月,达到生长适温  $20^\circ\text{C}$  以上的时期只有生长后期的两个半月;早春茬的生长基本都处在生长适温范围内;春夏茬则更多的时间在  $25^\circ\text{C}$  以上的温度条件下。

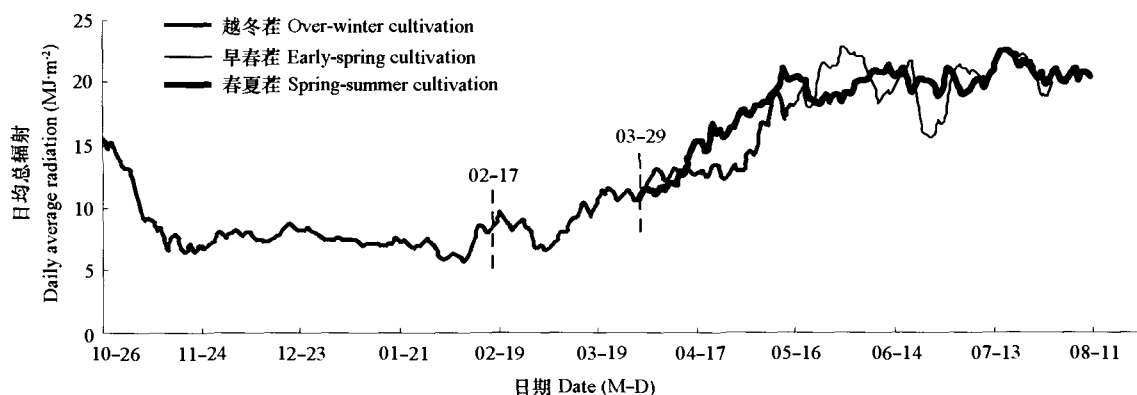


图 1 生长期间外界日均总辐射变化

Fig. 1 Time course of the daily global radiation outside the greenhouse

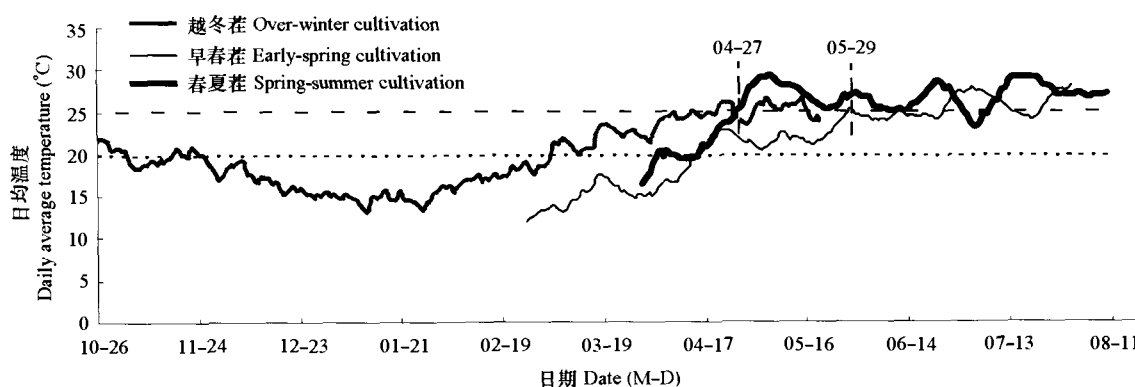


图 2 生长期间温室内日均温度变化

Fig. 2 Time course of the daily average temperature in the greenhouse

### 2.2 番茄植株的干质量积累

由图 3 可以看出,越冬茬、早春茬和春夏茬,表现出明显的季节性差异。越冬茬积累干质量可以明显的划分为缓慢阶段和快速阶段,缓慢阶段为定植后的最初 3 个月,随着外界太阳辐射和温室内温度的逐渐下降,积累干质量仅为  $0.4 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ ,之后随温光环境的改善,生长速率逐渐增加,最大达

到  $17.6 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$  (第 123 天), 此阶段共积累干质量  $1.2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ , 为前 100 d 的 3 倍。春夏茬前期为快速生长阶段, 定植后生长速率迅速增大, 最大为  $42.6 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$  (第 82 天), 在前 3 个月内积累干质量达到  $1.2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ , 之后温室内温度上升到  $28^\circ\text{C}$  以上, 植株生长受高温影响, 这期间 (40 d 内) 植株积累干质量仅为  $0.1 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ 。在定植后的 100 d 内, 由于温光环境的差异, 春夏茬的积累干质量是越冬茬的 3 倍。早春茬介于越冬茬和春夏茬之间。

### 2.3 番茄整株果实干质量的积累

由图 4 可以看出, 在整个试验过程中, 越冬茬、早春茬和春夏茬果实积累干质量均呈逐渐上升趋势。春夏茬的果实积累干质量能力最高, 第 82 天生长速率达到最大 ( $32.1 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ ); 早春茬次之; 越冬茬的果实积累干质量能力最差, 第 123 天生长速率达到最大 ( $11.6 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ )。由此可知, 番茄整株果实积累干质量与植株的积累干质量的变化较为一致。

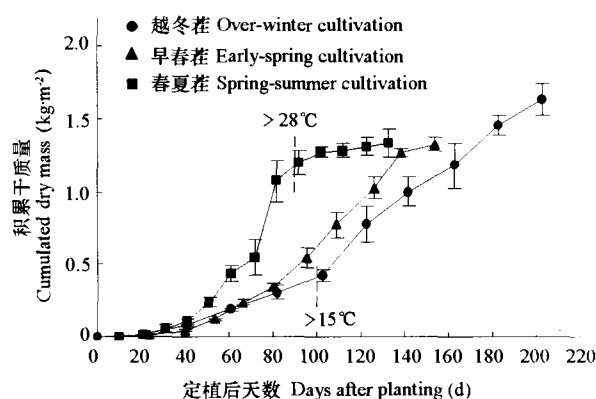


图 3 番茄植株积累干质量随时间的变化

正负差为标准差 ( $n=6$ )。

Fig. 3 Time course of cumulative shoot dry mass

Vertical bars represent standard error ( $n=6$ ).

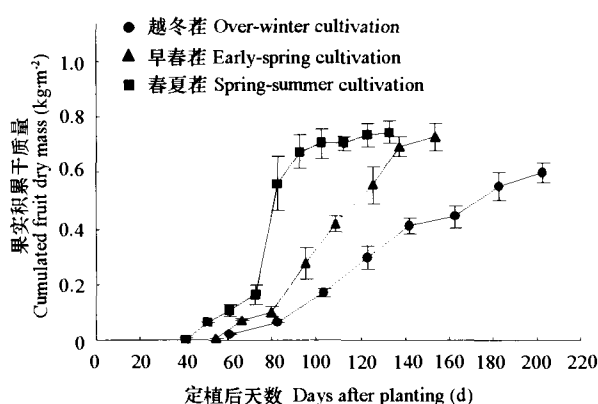


图 4 番茄整株果实积累干质量随时间的变化

正负差为标准差 ( $n=6$ )。

Fig. 4 Time course of cumulative fruit dry mass

Vertical bars represent standard error ( $n=6$ ).

### 2.4 果实干物质积累与植株干物质积累的关系

以整株果实积累干质量 ( $Y$ ) 和植株积累干质量 ( $X$ ) 作线性回归 (图 5)。

结果表明, 整株果实积累干质量与植株积累干质量均呈线性相关 ( $R^2$  均在 0.99 以上), 回归方程分别为:

$$\text{越冬茬 } Y = 0.7247X - 117.49;$$

$$\text{早春茬 } Y = 0.6249X - 70.54;$$

$$\text{春夏茬 } Y = 0.591X - 111.56.$$

斜率反映了地上部干物质分配到果实的比例, 越冬茬、早春茬和春夏茬分别为 72%、62%、59%, 春夏茬果实的干物质分配率最低, 与其生长后期的高温有关 (Peet et al., 1997)。

### 2.5 源库生长单位内果实的干物质生产

从表 2 可以看出, 各源库生长单位线性方程均呈显著正相关 ( $R^2$  在 0.86 以上), 即源库生长单位内干质量增加会使果实干质量增加。

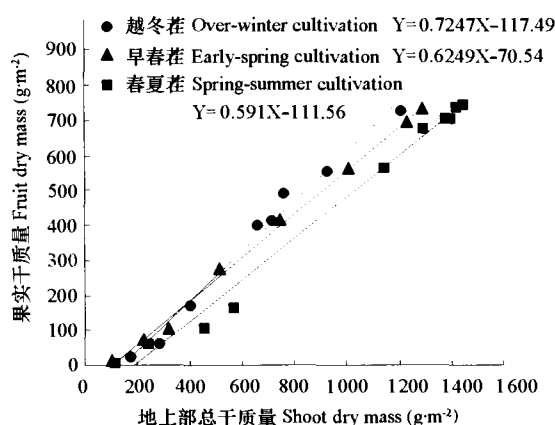


图 5 番茄植株果实干质量与地上部干质量的线性回归

Fig. 5 Relationship between fruit dry mass

and shoot dry mass

回归方程的斜率反映了源库生长单位内果实干物质分配的比例。就同一茬来看,从第1到第7生长单位的回归方程中的斜率均有明显下降趋势,不同库源生长单位内果实干物质分配率在42.6%~98.6%之间。

表2 源库生长单位内果实干质量与其总干质量回归方程

Table 2 Correlative equation between fruit dry mass (Y) and dry mass for whole growth unit (X)

源库生长单位 Source-sink growth unit	越冬茬 Over-winter cultivation	早春茬 Early-spring cultivation	春夏茬 Spring-summer cultivation
1	$Y_1 = 0.986X_1 - 15.293, R^2 = 0.99$	$Y_1 = 0.841X_1 - 3.188, R^2 = 0.99$	$Y_1 = 0.806X_1 - 9.168, R^2 = 0.98$
2	$Y_2 = 0.866X_2 - 14.615, R^2 = 0.97$	$Y_2 = 0.823X_2 - 7.565, R^2 = 0.99$	$Y_2 = 0.772X_2 - 8.810, R^2 = 0.99$
3	$Y_3 = 0.820X_3 - 9.407, R^2 = 0.95$	$Y_3 = 0.746X_3 - 7.254, R^2 = 0.99$	$Y_3 = 0.726X_3 - 11.251, R^2 = 0.98$
4	$Y_4 = 0.854X_4 - 8.190, R^2 = 0.98$	$Y_4 = 0.665X_4 - 6.081, R^2 = 0.99$	$Y_4 = 0.679X_4 - 11.315, R^2 = 0.97$
5	$Y_5 = 0.764X_5 - 3.811, R^2 = 0.95$	$Y_5 = 0.718X_5 - 5.999, R^2 = 0.99$	$Y_5 = 0.599X_5 - 8.675, R^2 = 0.96$
6	$Y_6 = 0.767X_6 - 2.162, R^2 = 0.98$	$Y_6 = 0.672X_6 - 3.703, R^2 = 0.97$	$Y_6 = 0.483X_6 - 5.398, R^2 = 0.97$
7	$Y_7 = 0.476X_7 - 0.023, R^2 = 0.95$	$Y_7 = 0.477X_7 - 1.427, R^2 = 0.94$	$Y_7 = 0.426X_7 - 3.945, R^2 = 0.86$

以不同源库生长单位的回归方程中的斜率为纵坐标(Y),果穗数为横坐标(X),作线性回归(图6)。

可以看出,从第1穗果开始,植株上的果穗每上升一穗,各源库生长单位内果实的干物质分配率均呈下降趋势,为6%左右。这可能与源库生长单位内果实获得同化物的能力有一定的关系,第1源库生长单位中果实最先发育,其获得同化物的能力比后发育的其它果穗强,能够吸引更多的同化物,因为果实获得同化物的能力完全由库强大小决定。

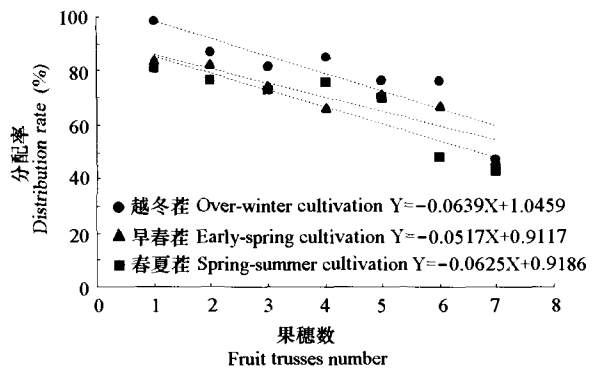


图6 每果穗对果实的干物质分配率与果穗数的关系

Fig. 6 Relationship between dry matter distribution rate and fruit truss number

### 3 讨论

#### 3.1 不同茬口番茄干物质生产和分配

本研究中,在整个生长发育阶段,番茄整株果实积累干质量与植株积累干质量的变化吻合,春夏茬的果实积累干质量能力与植株的积累干质量最高,早春茬次之,越冬茬的积累能力最差。

Peet等(1997)研究认为,日均温超过25℃就会降低番茄的坐果率。番茄果实的干物质分配主要由植株上的果实数和坐果率决定(Marcelis, 1996; Heuvelink, 1997)。温度过高或过低都会对番茄的生长与坐果率产生不良影响。De Koning(1996)的研究表明,温度高于30℃,植株干物质增长速率缓慢。长期35℃的昼间高温,缩短了植株生育期,果实提早发育,因此导致平均单果质量变小,果实产量降低(张洁等, 2005)。本试验中春夏茬、早春茬和越冬茬的地上部果实干物质分配率不同,分别为59%、62%、72%。春夏茬和早春茬的地上部果实干物质分配率低,是由于其出现日均温25℃以上的时间较长,生长后期高温降低了植株的坐果率(如6、7月份频繁出现35℃以上的高温),使植株果实数量减少,果实的干物质分配比例降低。

同时也可以看出,不同茬口日光温室番茄生产方式表现出明显的季节性差异。越冬茬定植后前100 d的干物质积累量只有后100 d的1/3(图4),这与其前期的低温弱光减缓了干质量积累速率等有关。春夏茬前期生长环境适宜,生长90 d的干质量积累占总积累干质量的90%以上,生产效率明

显提高,然而后期不可避免的高温导致了这种生产优势的消失。由此看来,茬口的优化安排应根据当地的气候环境决定。如荷兰冬季温和,夏季凉爽,这样的气候环境比较适合温室番茄一年一大茬的长季节生产(陈殿伟和刘伟,2004)。西班牙夏季较炎热,温室番茄的生产通常是7月份定植,到来年5月底拉秧,也避开了夏季的高温环境。根据本研究结果,建议华北地区日光温室内进行一年两大茬的生产安排,即12~翌年1月定植,7~8月拉秧;7~8月间作定植或前茬拉秧后定植,到12月拉秧。这样可以充分利用春夏季节和夏秋季节的优势光照资源和良好的温度资源,避开夏季的高温危害和冬季的低温弱光,增加温室设施的利用效率。

### 3.2 以源库生长单位探讨番茄植株果实生产

Wardlaw (1990)、Farrar 和 Gordon (1992) 研究认为:源到库路径的运输阻力并不影响同化物的分配,植株具有共同的同化产物池,同化物的分配主要由库器官的相对库强决定。番茄属于无限生长型的作物,果实的生长和植株上物质的分配处于动态变化中,特别是在果实发育过程中,库强发生改变,其所在的源库生长单位,果实所分配到的干物质量也在发生变化。

本研究发现,三茬栽培中均反映出果实的干质量与其对应的生长单位干质量呈线性正相关(表2)。当植株的7穗果同时存在时,果穗位置从下向上增加,生长单位往果实的干物质分配率下降(图6),这可能是由于先发育的果穗库强大,同化物优先分配到这些果穗中。

随着中下部果实成熟、陆续地被收获,植株上部果实的库强逐渐增加,光合同化物会供给上部果实。因此,通过加强水肥管理来提高植株的生长势,加强环境控制,保证上部果穗果实库强增大。及时提早收获成(绿)熟果实,保证未成熟果实的充分发育,得到更多的同化物分配,从而使得各生长单位内果穗都得到较高的干物质分配。

## References

- Cheng Dian-kui, Liu Wei. 2004. Thoughts about China industry agriculture from Holland horticulture industry. *China Vegetables*, (6): 42 - 43. (in Chinese)
- 陈殿奎, 刘 伟. 2004. 从荷兰温室园艺的发展反思我国工厂化农业. *中国蔬菜*, (6): 42 - 43.
- De Koning A N M. Quantifying the responses to temperature of plant processes involved in growth and development of glasshouse tomato. *Acta Horticulture*, 1996, 406: 99 - 104.
- Farrar J F, Gordon A J. 1992. Carbon partitioning within and between organisms. Oxford: Bios Scientific Publishers: 163 - 179.
- Heuvelink E. 1996. Dry matter partitioning in tomato: validation of a dynamic simulation model. *Annals of Botany*, 77: 71 - 80.
- Marcelis L F M. 1996. Sink strength as a determinant of dry matter partitioning in the whole plant. *Journal of Experimental Botany*, 47: 1281 - 1291.
- Peet M, Willit D, Gardner R. 1997. Response of ovule development and post-pollen production processes in male-sterile tomato to chronic sub-acute high temperature stress. *Journal of Experimental Botany*, 48 (306): 101 - 111.
- Shishido Y, Hori Y. 1977. Studies on translocation and distribution of photosynthetic assimilates in tomato plants II. Distribution pattern as affected by phyllotaxis. *Tohoku Journal Agricultural Research*, 25: 82 - 95.
- Tanaka A, Fujita K. 1974. Nutrio-physiological studies on the tomato plant IV. Source-sink relationship and structure of the source-sink unit. *Soil Science Plant Nutrition*, 20: 57 - 68.
- Wardlaw I F. 1990. The control of carbon partitioning in plants. *New Phytologist*, 116 (33): 341 - 381.
- Zhang Jie, Li Tian-lai, Xu Jing. 2005. Effect of daytime sub-high temperature on photosynthesis and dry matter accumulation of tomato in greenhouse. *Acta Horticulturae Sinica*, 32 (2): 228 - 233. (in Chinese)
- 张 洁, 李天来, 徐 晶. 昼间亚高温对日光温室番茄光合作用及物质积累的影响. *园艺学报*, 2005, 32 (2): 228 - 233.