

# 不同种子大小籽瓜品种叶片光合能力对源库调节的响应

李雨<sup>1</sup>,陈丽婷<sup>1</sup>,陈年来<sup>2</sup>

(1.甘肃农业大学园艺学院,甘肃兰州730070;2.甘肃农业大学资源与环境学院,甘肃兰州730070)

**摘要:**为了探讨籽瓜叶片光合能力对源库调节的响应,以种子大小显著不同的3个籽瓜品种为材料,于开花坐果期通过整枝、摘叶、疏果将叶果比分别调整为10、20、30、40、50,并分别于幼果期、果实膨大期、果实成熟期测定叶片叶绿素含量及气体交换速率,收获后测定果实产量。结果表明,籽瓜功能叶叶绿素含量(SPAD值)、净光合速率( $P_n$ )、气孔导度( $G_s$ )和蒸腾速率( $T_r$ )随果实生育期演进逐渐降低,胞间 $CO_2$ 浓度( $C_i$ )逐渐增大。3个供试品种间SPAD、 $P_n$ 、 $G_s$ 、 $T_r$ 和 $C_i$ 差异显著,大种子品种H26的气体交换参数( $P_n$ 、 $G_s$ 、 $C_i$ 、 $T_i$ )显著低于中等种子品种H14,H14显著低于小种子品种H3,但SPAD和 $C_i$ 变化规律相反。叶片SPAD、 $P_n$ 、 $G_s$ 、 $T_r$ 均值及其果实生育期降幅均随叶果比增大而显著降低(叶果比50除外),但叶片SPAD值和气体交换参数变化幅度无显著的品种间差异,说明一定范围内降低叶果比能提高叶片光合能力,但摘叶处理或叶果比过高均会加速叶绿素降解,诱发叶片衰老。3个品种单株果实产量随叶果比增大而提高,50(1.18 kg)>40(1.17 kg)和30(1.17 kg)>20(1.16 kg)>10(0.87 kg),H3单株果实产量(0.88 kg)显著低于H26(1.20 kg)和H14(1.25 kg)。以上结果表明,适宜范围的源库比能够提高籽瓜叶片光合能力,延缓叶片衰老,有利于籽瓜果实高产。

**关键词:**籽瓜;光合性能;源库调节;产量;种子大小;叶果比

**中图分类号:**S651;S604 **文献标志码:**A

## The response of photosynthetic capacity of seed watermelon leaves of different seed sizes to the regulation of source-sink

LI Yu<sup>1</sup>, CHEN Liting<sup>1</sup>, CHEN Nianlai<sup>2</sup>

(1. College of Horticulture, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China;

2. College of Resources and Environment, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China)

**Abstract:** In order to explore the response of the photosynthetic capacity of source-sink adjustment with significantly different seed sizes, 3 seed watermelon varieties as material, through the pruning and leaf and fruit thinning in flowering fruit period to adjust leaf-fruit ratio to 10, 20, 30, 40, and 50, in young fruit period, expanding period, and mature period, the chlorophyll content, gas exchange rate, and post-harvest fruit production were determined. The results showed that the chlorophyll content (SPAD value), net photosynthetic rate ( $P_n$ ), stomatal conductance ( $G_s$ ), and transpiration rate ( $T_r$ ) of functional leaves of seed watermelon gradually decreased with the evolution of fruit growth period while intercellular  $CO_2$  ( $C_i$ ) gradually increased. SPAD value,  $P_n$ ,  $G_s$ ,  $T_r$ , and  $C_i$  were significantly different among the three tested varieties. The gas exchange parameters of large seed variety H26 were significantly lower than that of medium seed variety H14 while H14 was significantly lower than that of small seed variety H3, but SPAD and  $C_i$  were opposite. The mean of leaf SPAD,  $P_n$ ,  $G_s$ , and  $T_r$  in the fruit growth period drop with leaf-fruit ratio increases significantly reduced (except leaf-fruit ratio 50), but the leaf SPAD and gas exchange parameters change had no significant difference between varieties, showed a certain range to reduce leaf-fruit ratio than improved photosynthetic ability, but thinning leaf process or high leaf-fruit ratio accelerated chloro-

phyll degradation, induced leaf senescence. Fruit yield per plant of the three varieties increased with the increase in leaf to fruit ratio, 50 (1.18 kg) > 40 and 30 (1.17 kg) > 20 (1.16 kg) > 10 (0.87 kg), fruit yield per plant of H3 (0.88 kg) was significantly lower than that of H26 (1.20 kg) and H14 (1.25 kg). The above results showed that the source/sink ratio in the appropriate range could improve the photosynthetic capacity of seed watermelon leaves, delay the senescence of leaves, and be beneficial to the high yield of seed watermelon.

**Keywords:** seed watermelon; chlorophyll content; source-sink relationship; yield; seed size; leaf-fruit ratio

源和库是作物经济产量形成的两个重要方面,通常用源和库的发展、协调、平衡等探讨作物的高产途径<sup>[1]</sup>。源库学说认为,作物产量的形成必须具备两个条件:一是要有足够强的源器官生产光合产物,二是要有充足的库器官接纳光合产物<sup>[2]</sup>。源、库单位的可塑性是园艺作物生产中实施摘叶整枝、疏花疏果等栽培技术的生理基础<sup>[3]</sup>。通过农艺措施改变作物固有的源库比例和协调性,可使植株在最佳光能利用与合理的营养分配状态下生长,既达到高产、高效的目的,又能提高产品品质<sup>[4-7]</sup>。

源、库器官之间具有功能互馈调节作用,源、库协调高效是作物高产的基本途径。库需求量过大,源器官负担重,易导致叶片衰老,此时减库或增源能够提高产量。疏花疏果可以提高叶片叶绿素含量和净光合速率,延缓叶片衰老,而减源则会进一步增加源器官负担,促进叶片衰老,导致光合能力降低<sup>[8]</sup>。源库比过大,大部分叶片因功能冗余或相互遮阴难以充分发挥光合潜力,此时减源或增库有利于产量提高。研究发现,在生长发育前期去叶处理使小麦、玉米、油茶叶绿素含量与净光合速率增加<sup>[9-11]</sup>。摘除叶片后,同化物供应源减少,所留叶片的光合产物不能满足库的需求,加重源器官负荷,致使叶绿素加速降解,叶片衰老加快<sup>[1,12]</sup>。甜瓜单蔓整枝和留瓜数较多的处理,果实发育后期植株早衰较为严重<sup>[7,13]</sup>。同时,源库比较小的群体叶面积指数一般较小,易造成漏光损失,不利于光能截获和产量形成;而源库比过高的群体叶片密度太大,易造成田间郁闭,冠层通风透光性能差,叶片光合效能不高,亦不利于高产<sup>[14]</sup>。

籽瓜是以种子为主要产品的作物,其库器官既包括果实也包括种子,即果实数目和大小、单个果实内的种子数目和大小均可能对叶片光合能力具有调节作用。目前关于籽瓜源库关系的研究较少,对于不同源库比条件下籽瓜源活力的研究未见报道。本试验以种子大小具有显著差异的3个籽瓜品种为材料,通过调节叶果比控制果实发育期间源库数目比,探讨源库比对籽瓜叶片光合能力的影响,为籽瓜优质高产生产中种植密度的确定提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试籽瓜材料为种子大小显著不同的3个品种,H3为小种子品种,千粒重 $120\pm 5$  g,单果重0.88 kg,全生育期115 d;H14为中等种子品种,千粒重 $240\pm 20$  g,单果重1.25 kg,生育期130 d;H26为大种子品种,千粒重 $400\pm 50$  g,单果重1.2 kg,生育期135 d。3个品种果皮色泽均为绿底色核桃纹,种子色泽为黑边白心。种子均为2018年采集,由甘肃农业大学瓜类研究所提供。

### 1.2 试验方法

试验于2019年5—9月在甘肃省民勤县进行,垄沟种植,行株距为 $1.1\text{ m}\times 0.3\text{ m}$ 。当地土壤为砂质土,有机质 $8.25\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,全氮、全磷、全钾含量分别为0.48、0.66、 $21.86\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。生育期内平均降雨量19.38 mm,平均太阳辐射强度 $14.64\text{ kJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{min}^{-1}$ ,日均温度 $21.15^\circ\text{C}$ ,大气相对湿度46.61%。3个籽瓜品种均于开花坐果初期通过整枝疏果将单株叶果数目比调节为10(单蔓整枝,10片叶时摘心),20、30(双蔓整枝,在10或15片叶时摘心)和40、50(三蔓整枝,在13~17片叶时摘心),之后随时摘除其他新发生侧蔓,每株留1个果实(其他果实坐在坐后摘除)。每个处理3次重复,每个重复种植25株,共45小区。试验田其他管理与生产田相同。

### 1.3 测定指标及方法

叶绿素的测定:于幼果期、果实膨大期、果实成熟期,每小区选择10株植株,用手持式叶绿素仪(SPAD-502型)测定其坐果节位叶片的叶绿素浓度,每个叶片记录3~5个稳定数值。

气体交换参数的测定:于幼果期、果实膨大期、果实成熟期,每小区选择1株植株,用CIRAS-2型便携式光合测定系统(PP Systems, UK)测定晴日上午8:00—11:00坐果节位及其前后各1片叶片的 $P_n$ 、 $G_s$ 、 $C_i$ 、 $T_r$ ,每个叶片记录3~5个稳定数值。

果实产量:采收后每个小区取果实15个,称量其重量。

## 1.4 数据分析

用 Excel 2010 软件对数据进行处理及作图,采用 SPSS 23.0 软件进行数据分析。

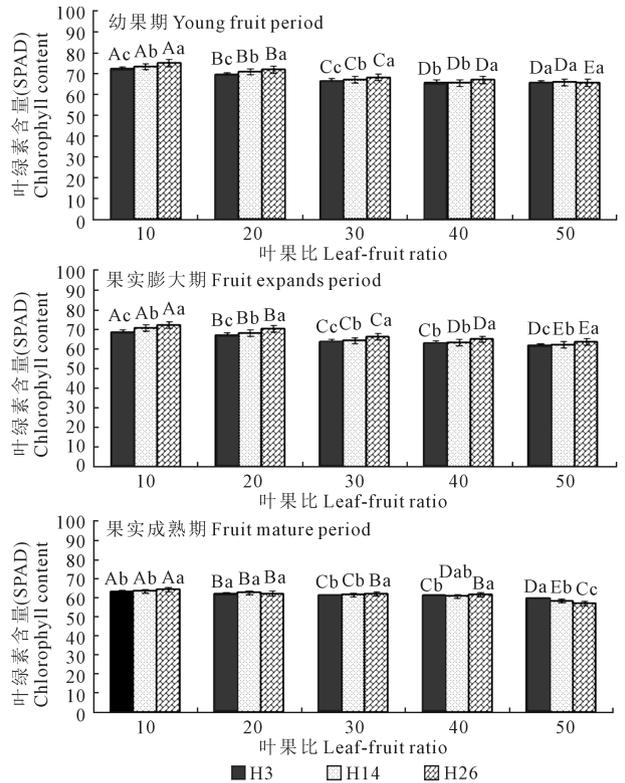
## 2 结果与分析

### 2.1 籽瓜叶片叶绿素含量对叶果比的响应

利用光谱吸收原理测定的 SPAD 值与叶绿素含量呈正相关,能够反映作物叶片的叶绿素相对浓度。3 个籽瓜叶片 SPAD 值均随果实生育期演进逐渐降低,幼果期叶片 SPAD 均值略高于果实膨大期,膨大期 SPAD 值显著高于果实成熟期(图 1)。幼果期至果实膨大期,SPAD 均值降幅较小(3.7%),果实膨大期至成熟期降幅较大(6.9%),表明果实生育后期叶绿素含量下降更快。3 个籽瓜品种间幼果期和果实膨大期叶片 SPAD 值差异显著,大种子品种 H26 叶片平均 SPAD 值(66.2)显著大于中等种子品种 H14(65.2),H14 的 SPAD 值显著大于小种子品种 H3(64.6);果实成熟期品种间差异消失或改变。3 个品种果实生育期叶片 SPAD 生育期平均值降幅略有差异,H26 降幅(11.6%)大于 H14(10.4%),H14 大于 H3(9.3%)。各时期 3 个籽瓜品种功能叶 SPAD 均值随叶果比增大而显著降低,但叶果比 40 与 50 间差异不显著,生育期平均 SPAD 值降幅也随叶果比增大而减小(叶果比 50 除外)。叶果比 10(13.4%)>20(11.8%)>50(11.1%)>30(8.3%)>40(7.2%),说明一定范围内摘叶能增加叶片叶绿素含量,但摘叶处理或留叶数过多均易造成叶绿素加速降解。

### 2.2 籽瓜叶片气体交换特性对叶果比的响应

**2.2.1 净光合速率对叶果比的响应** 3 个籽瓜品种叶片净光合速率( $P_n$ )随果实生育期演进逐渐降低,幼果期叶片  $P_n$  显著高于果实膨大期,膨大期  $P_n$  显著高于果实成熟期(图 2)。幼果期至果实膨大期  $P_n$  平均降幅(28.8%)与果实膨大期至成熟期平均降幅(29.7%)相仿。3 个品种在 3 个发育时期叶片  $P_n$  差异显著,小种子品种 H3( $21.3 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )叶片平均  $P_n$  显著大于中等种子品种 H14( $20.2 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ),H14 的平均  $P_n$  显著大于大种子品种 H26( $19.2 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )。3 个品种果实生育期叶片  $P_n$  平均降幅 H26(51.38%)>H14(49.6%)>H3(48.16%)。3 个品种功能叶  $P_n$  均值随叶果比增大而显著降低,3 个生育期的平均  $P_n$  降幅也随叶果比增大而显著降低(叶果比 50 除外)。叶果比 10(58.27%)>20(52.13%)>30(49.67%)>50(46.23%)>40(42.27%),说明一定范围内摘叶能增加叶片净光



注:不同大写字母表示相同品种不同叶果比处理间差异显著( $P<0.05$ ),不同小写字母表示相同叶果比处理不同品种间差异显著( $P<0.05$ ),下同。

Note: Different uppercase letters indicate the significant difference between different leaf and fruit ratio treatments of the same variety ( $P<0.05$ ), and different lowercase letters indicates the difference between different leaf and fruit ratio treatments of the same variety ( $P<0.05$ ), the same below.

图 1 不同叶果比处理籽瓜的叶片叶绿素含量

Fig.1 Chlorophyll content in seed watermelon leaves treated with different leaf-fruit ratios

合速率,但摘叶或留叶数过多均易造成叶片光合性能下降,净光合速率降低。

**2.2.2 气孔导度对叶果比的响应** 籽瓜叶片气孔导度( $G_s$ )随生育期演进而降低,幼果期叶片  $G_s$  均值( $0.71 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )显著高于果实膨大期( $0.44 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ),果实膨大期叶片  $G_s$  均值略高于果实成熟期( $0.36 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )(图 3)。幼果期至膨大期叶片气孔导度平均降幅为 38.3%,大于膨大期至果实成熟期的气孔导度平均降幅(18.3%),说明在果实生育前期气孔导度下降速率更快。3 个品种叶片生育期平均  $G_s$  大小为 H3( $0.55 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )>H14( $0.50 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )>H26( $0.46 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ),叶片  $G_s$  在果实各生育期的平均降幅为 H3(48.9%)<H14(49.4%)<H26(50.5%)。3 个品种功能叶  $G_s$  均值随叶果比增大而显著降低,从幼果期至果实成熟期 3 个品种的

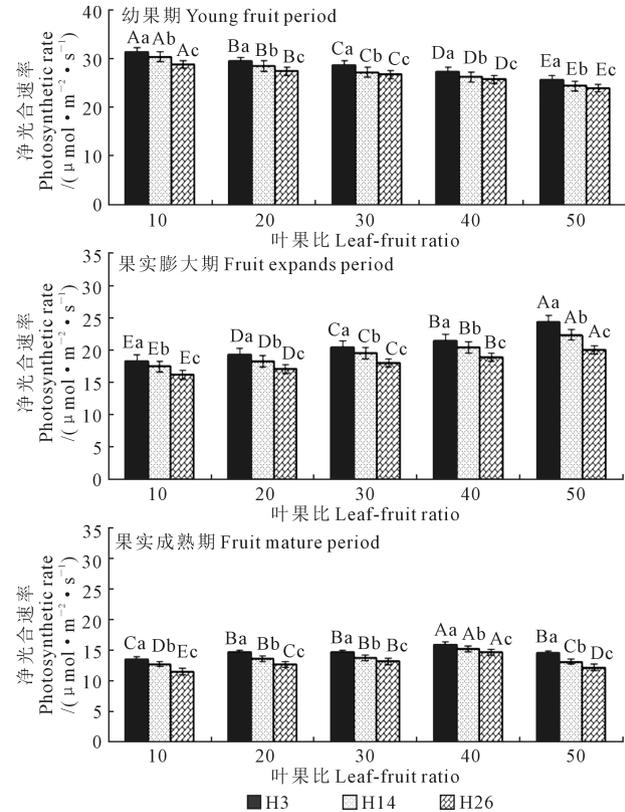


图2 不同叶果比处理的籽瓜叶片净光合速率

Fig.2 Net photosynthetic rates of seed watermelon leaves treated with different leaf-fruit ratios

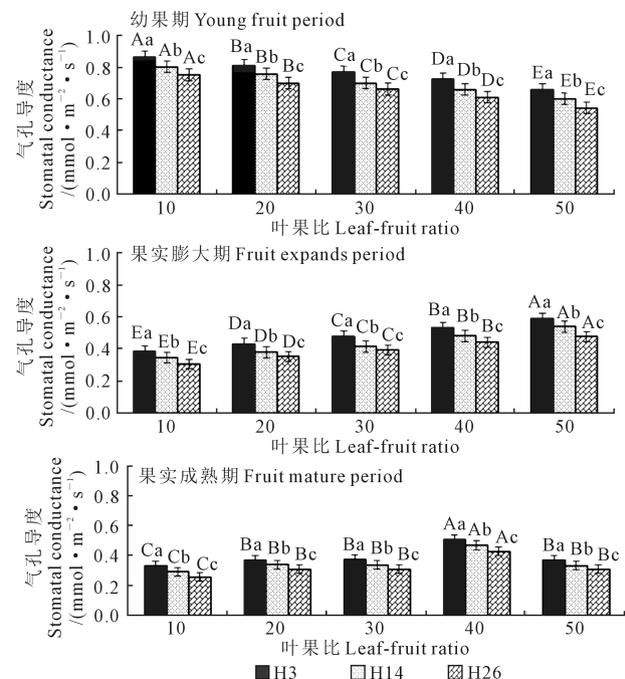


图3 不同叶果比处理的籽瓜叶片气孔导度

Fig.3 Stomatal conductance of seed watermelon leaves treated with different leaf-fruit ratios

平均  $G_s$  降幅也随叶果比增大而显著减小(叶果比 50 除外), 叶果比 10 (63.5%) > 20 (55.1%) > 30 (52.0%) > 50 (43.6%) > 40 (29.2%), 说明一定范围内剪叶可增加功能叶的气孔导度, 但减叶过多或过少均导致叶片加速衰老。

**2.2.3 蒸腾速率对叶果比的响应** 随着生育期演进, 3 个籽瓜品种叶片的蒸腾速率 ( $T_r$ ) 逐渐降低, 幼果期叶片  $T_r$  均值显著高于果实膨大期, 膨大期  $T_r$  均值显著高于果实成熟期(图 4)。幼果期至膨大期叶片  $T_r$  的平均降幅(31.0%) 略大于膨大期至成熟期(28.3%), 表明相邻两个时期蒸腾速率下降速率相似。3 个品种间小种子品种 H3 的叶片平均  $T_r$  (10.4  $\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) 略大于中等种子品种 H14 (9.8  $\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ), H14 的叶片平均  $T_r$  略大于大种子品种 H26 (9.1  $\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ), 叶片  $T_r$  在整个果实生育期的降幅 H3 (48.9%) < H14 (49.8%) < H26 (53.1%)。3 个品种功能叶  $T_r$  均值随叶果比的增大显著降低, 叶片  $T_r$  生育期平均降幅随叶果比的变化同叶片  $P_n$ 、 $G_s$  基本一致, 即随叶果比的增大而显著减小, 叶果比 10 (61.4%) > 20 (52.6%) > 30 (50.4%) > 50 (46.3%) > 40 (40.0%)。说明一定范围内摘叶能增加叶片蒸腾速率, 但摘叶处理或留叶数过多均易造成叶片衰老加速, 蒸腾速率降低。

**2.2.4 胞间  $\text{CO}_2$  对叶果比的响应** 从幼果期至果实膨大期, 3 个籽瓜品种叶片胞间  $\text{CO}_2$  浓度 ( $C_i$ ) 随着生育时期演进而显著升高, 果实成熟期叶片平均  $C_i$  显著高于果实膨大期, 膨大期叶片平均  $C_i$  显著高于幼果期(图 5)。叶片  $C_i$  平均增幅幼果期至膨大期(10.3%) < 膨大期至果实成熟期(14.1%), 即在果实生育后期叶片  $C_i$  升高更快。3 个品种间 3 个发育时期叶片平均  $C_i$  差异显著, H3 (255.6  $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ ) < H14 (263.8  $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ ) < H26 (269.1  $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ )。小种子品种 H3 的叶片  $C_i$  平均增幅(23.6%) 与中等种子大小品种 H14 叶片  $C_i$  平均增幅(23.6%) 无显著差异, 但大于大种子品种 H26 叶片  $C_i$  平均增幅(21.8%)。3 个品种功能叶  $C_i$  均值随叶果比增大而显著升高, 叶片  $C_i$  生育期平均增幅随叶果比增大而显著增高(叶果比 50 除外), 10 (33.4%) > 20 (27.1%) > 30 (24%) > 50 (15.6%) > 40 (13.6%), 说明摘叶过多或留叶过多均会导致叶片衰老加速。

### 2.3 籽瓜果实产量对叶果比的响应

籽瓜果实产量随叶果比的增大依次增大(图 6), 不同叶果比的果实产量表现为: 叶果比 10

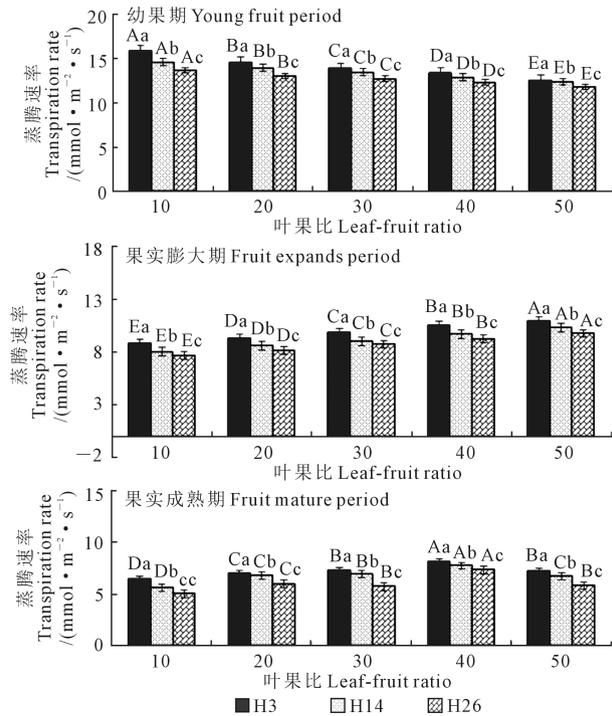


图 4 不同叶果比处理的籽瓜叶片蒸腾速率

Fig.4 Transpiration rate of seed watermelon leaves treated with different leaf-fruit ratios

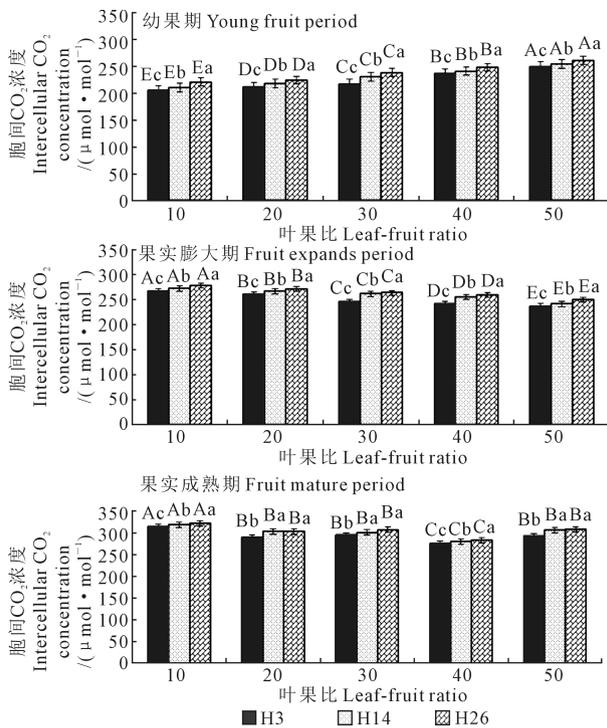
图 5 不同叶果比处理的籽瓜叶片胞间  $\text{CO}_2$  浓度

Fig.5 Intercellular  $\text{CO}_2$  concentration of seed watermelon leaves treated with different leaf-fruit ratios

(0.867 kg) < 20 (1.163 kg) < 30 (1.170 kg) < 40 (1.172 kg) < 50 (1.177 kg), 方差分析表明,果实产量在叶果比 10 时最小,在 20~50 的叶果比间差异不大。3 个

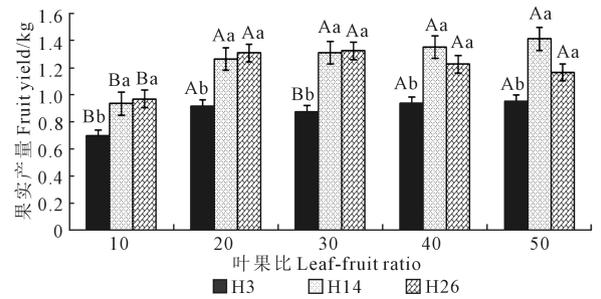


图 6 不同叶果比处理的籽瓜果实产量

Fig.6 Fruit yield of seed watermelon treated with different leaf-fruit ratios

品种的果实产量 H3 (0.88 kg) < H26 (1.20 kg) < H14 (1.25 kg), 即小种子品种果实产量最小,而中等种子大小的品种果实产量最高。在 10、20、30 的叶果比处理下,果实产量表现为 H3 < H14 < H26,而在叶果比 40、50 处理下,果实产量表现为 H14 > H26 > H3。

### 3 讨论

在瓜类作物生产中,对整个叶系统年龄结构调整主要是通过整枝来实现的,整枝就是通过减少无效或低效叶的发生,调节有机养分的流向与流量,从而间接影响整个叶系统的光合能力与寿命<sup>[15]</sup>。因此,在生产中采取修剪、摘叶、疏花疏果等措施改变光合同化产物在库与源间的均衡分配,从而对产量和果实品质产生重要影响<sup>[16]</sup>。

#### 3.1 籽瓜叶片光合能力对源库调节的响应

植株叶片是光合作用的主要器官,光合作用是作物产量形成的基础,叶片光合速率与作物产量呈正相关<sup>[17]</sup>。库与源的关系改变影响果树光合作用及光合同化产物在库、源器官间的运输与分配,进而影响果树的经济产量<sup>[18]</sup>。在一定范围内,叶面积越大,叶片光合产物越多。叶面积取决于叶片数目与叶片大小,其中叶片大小对于同期植株来说差异较小,而叶片数的多少变化较大<sup>[19]</sup>。对于紧凑型作物植株来说,适当减少源叶片,避免叶片冗余,使得作物群体透光性能增强,有利于光合作用加强;但源的过度减少会使叶片群体光合势及光合生产率下降,反而降低产量<sup>[20]</sup>。另外也有研究证实,低库强下叶片中积累的光合同化物是造成净光合速率下降的原因<sup>[21-22]</sup>。唐瑞永<sup>[23]</sup>在甜瓜作物上的研究发现,在幼果期随着叶果比的增加,叶片的净光合速率和叶绿素浓度均降低。本研究结果与此一致,并且籽瓜叶片  $G_n$ 、 $T_r$  在幼果期均随着源库比的增大而降低,而  $C_i$  随着源库比的增大而升高。在果实发育后期,叶果比 50 的处理叶绿素含量最低,主要是

由于叶片较多,互相遮阴,造成叶绿素降低;叶片的净光合速率、气孔导度、蒸腾速率在叶果比10时最低,在叶果比40时最高,说明摘叶过多使叶片在果实发育后期光合能力下降最大;而胞间CO<sub>2</sub>浓度与此相反,在叶果比10时最高,叶果比40时最小。对果实产量的研究发现,叶果比10的果实产量最低,其余叶果比之间产量无明显差异,说明减源过度造成叶片光合能力下降,从而导致减产。本研究还发现小种子的果实产量显著小于中等种子大小和大种子的产量。

### 3.2 籽瓜叶片衰老对源库调节的响应

衰老是生物个体或器官生理机能随年龄增长而减弱的现象,研究发现源库比是影响作物叶片衰老的重要因素之一<sup>[24]</sup>。在作物生长过程中,不利因素往往能够引起叶片早衰,从而导致作物早熟、减产<sup>[25]</sup>。叶片衰老过程中积累的超氧阴离子能直接引发叶绿素的破坏及特异性地破坏叶绿素a,导致叶绿素分解破坏和叶绿素a/b值下降<sup>[26]</sup>。叶绿素分解被认为是叶片衰老的原发过程及衰老的真正标志,并且随着叶片衰老、叶绿素含量的下降,叶片光合能力也随之下降<sup>[27]</sup>。 $P_n$ 、 $G_s$ 、 $T_r$ 、 $C_i$ 、Chl均能反映叶片的光合能力。 $P_n$ 是反映光合能力的直接指标,也是综合结果;Chl与光能截获与转化相关; $G_s$ 指示叶片获取CO<sub>2</sub>的水平; $C_i$ 则反映叶肉的光合活性, $C_i$ 较高说明叶肉将CO<sub>2</sub>转化为碳水化合物的能力下降。对作物的源、库研究发现,源库比例较低可加速植株的衰老,源库比例过大,叶片合成的光合产物原位积累对光合速率产生反馈抑制,同样会加速叶片衰老<sup>[28]</sup>。对花生和葡萄的研究均表明,摘除叶片后,光合作用源减少,源器官负荷加重,叶片衰老加快,且源库比越低,叶片衰老越快<sup>[1,29]</sup>。本研究结果与此一致,叶果比10~40的处理下,叶果比低的处理衰老速率大于叶果比高的处理,主要是由于叶片氮素转出、叶绿素降解,光合产物不足,叶肉细胞能量短缺,根系同化物供应不足等,造成水分、养分吸收能力和细胞分裂素等生长类激素合成能力下降,导致叶片衰老加速。另外,本研究中叶果比50的处理下光合产物在叶片积累导致了反馈抑制,叶面积指数过大导致冠层通风透光变差,引起中下层叶片同化物生产不足而长期处于“饥饿”状态,致使叶片加速衰老。植物光合能力的变化基本是由气孔因素引起的,可分为气孔限制型与非气孔限制型。气孔限制型是指叶片关闭气孔,使CO<sub>2</sub>通过气孔向叶肉细胞间隙扩散减慢,导致同化位点CO<sub>2</sub>供应不足、 $C_i$ 下降,因而对光合能力产生限制,

使 $P_n$ 降低。非气孔限制型是指叶绿素含量及相关酶的活性降低,原初反应及碳同化作用受阻,叶肉细胞活性下降,叶肉利用CO<sub>2</sub>的能力不足,导致叶片 $P_n$ 降低,同时叶片 $C_i$ 增加<sup>[30-31]</sup>。本研究中随着叶片衰老,叶片 $P_n$ 降低,叶片 $C_i$ 升高,表明籽瓜叶片光合能力的降低主要属于非气孔限制型。

## 4 结 论

本研究发现,随着生育期的演进,籽瓜叶片叶绿素含量、净光合速率、气孔导度、蒸腾速率降低,胞间CO<sub>2</sub>浓度增加。随着籽瓜叶果比减少,果实生育前期叶片叶绿素含量、净光合速率、气孔导度、蒸腾速率增加,胞间CO<sub>2</sub>浓度降低。在叶果比10~40的处理下,叶果比越小,叶片衰老速率越快,叶果比50的处理由于叶片数量多、叶面积较大,叶片衰老加快。3个供试籽瓜品种在不同生育期的衰老速率无明显差异。叶果比10处理的果实产量最低,其余叶果比处理果实产量无明显差异,且小种子的果实产量显著小于中等种子和大种子的果实产量。因此,通过对籽瓜叶片进行叶果比处理,调整叶片密度,可以改善叶绿素含量及气体交换效率,延缓叶片衰老,为籽瓜高产栽培提供理论技术支撑。

### 参 考 文 献:

- [1] 权宝全,白冬梅,田跃霞,等.不同源库关系对花生光合特性及产量的影响[J].作物杂志,2018,(4):102-105.
- [2] 刘铁宁.减源对密植夏玉米光合性能和产量的影响及其生理机制研究[D].泰安:山东农业大学,2015.
- [3] 王忠.植物生理学[M].北京:中国农业出版社,2001:245-247.
- [4] 刘守伟,蒋欣梅,于锡宏,等.不同方法整枝后的南瓜果实成熟过程中果胶、戊糖和铬(Cr<sup>3+</sup>)含量的变化[J].植物生理学通讯,2007,43(1):98-100.
- [5] 孔祥义,李劲松,许如意,等.不同整枝留果方式对甜瓜产量与品质的影响[J].中国瓜菜,2008,21(1):10-12.
- [6] 孙艳,周艳丽,高红春,等.整枝方式对小果型西瓜生长和产量的影响[J].中国西瓜甜瓜,2003,(4):15-16.
- [7] 陈书霞,高晶霞,王生伟,等.不同整枝留瓜方式对大棚厚皮甜瓜源库关系的调节效应[J].西北农业学报,2012,21(3):142-147.
- [8] 王丽丽,李向东,周录英,等.改变源库比对花生叶片和根系衰老的影响[J].花生学报,2005,34(3):1-5.
- [9] 邵庆勤,李文阳,牟筱玲,等.去叶处理对小麦叶绿素含量及产量的影响[J].中国农学通报,2014,30(18):214-219.
- [10] 袁军,石斌,吴泽龙,等.不同库源关系对油茶光合作用及果实品质的影响[J].植物生理学报,2015,51(8):1287-1292.
- [11] 郝梦波,王空军,董树亭,等.高产玉米叶片冗余及其对产量和光合特性的影响[J].应用生态学报,2010,21(2):344-350.
- [12] 石明权,段莹,崔向华,等.改变源库比对芝麻光合特性及产量的影响[J].农业科技通讯,2009,(4):70-72.
- [13] 杨英,户金鸽,孙玉萍,等.不同整枝留果方式对盆栽厚皮甜瓜主要

- 性状的影响[J].中国瓜菜,2015,28(6):51-53.
- [14] 林明,李承业,潘竞海,等.种植密度对籽瓜生长发育及产量的影响[J].新疆农业科学,2012,49(3):448-453.
- [15] 陈年来,王刚,陶永红.甜瓜叶系统发育动态研究[J].西北植物学报,2003,23(4):615-621.
- [16] 朱振家,姜成英,史艳虎,等.库源比改变对油橄榄产量及源叶光合作用的调节[J].中国农业科学,2015,48(3):546-554.
- [17] 杨涛,段志平,石岩松,等.新疆枣棉间作下棉花光合特性及产量变化[J].干旱地区农业研究,2019,37(1):89-94.
- [18] 彭丽丽,姜卫兵,韩建.源库关系变化对果树产量及果实品质的影响[J].经济林研究,2012,30(3):134-140.
- [19] 朱余清.西瓜不同整枝方式及坐果数对产量的影响[J].江苏农业科学,1999,(2):54-55
- [20] 郝满,陶攀,郝琳,等.减源缩库对玉米子粒产量及相关性状的影响[J].吉林农业科学,2012,37(1):9-11.
- [21] Nebauer S G, Renau-morata B, Guardiola J L, et al. Photosynthesis down-regulation precedes carbohydrate accumulation under sink limitation in citrus[J]. Tree Physiology, 2011,31(2):169-177.
- [22] 任金虎,谢军红,李玲玲,等.种植模式对旱地玉米光合特性和产量的影响[J].干旱地区农业研究,2017,35(5):8-13.
- [23] 唐瑞永.叶果比对甜瓜生长发育及叶片衰老的影响[D].兰州:甘肃农业大学,2007.
- [24] Hashemi A M, Herbert S J, Putnam D H. Yield response of corn to crowding stress[J]. Agronomy Journal,2005,97(3):839-846.
- [25] 杨树勋.植物叶片衰老机理及在烟叶生产上的应用[J].作物研究,2018,32(1):90-96.
- [26] Biswas A K, Choudhuro M A. Mcheir inhibitors in plants[J]. Ann Rev Plant Physiol,2003,24:173-196.
- [27] 杨霞,李毅博,白月梅,等.干旱条件下叶片非顺序衰老小麦顶二叶叶绿素荧光特性[J].干旱地区农业研究,2016,34(1):173-179.
- [28] 王彬.小麦花后糖积累水平对叶片衰老顺序的影响[D].陕西杨凌:西北农林科技大学,2017.
- [29] 商佳胤,李凯,王超霞,等.叶果比对巨峰葡萄修剪效率及叶片生理特性的影响[J].浙江农业学报,2019,31(11):1855-1862.
- [30] 宋丰萍,蒙祖庆.干旱胁迫下作物光合参数研究进展[J].高原农业,2018,2(2):138-144,212.
- [31] 兰波,罗思源,刘捷.8个油橄榄品种光合特性研究[J].现代农业科技,2019,(19):28-30,32.

(上接第 67 页)

- [10] Chen J, Wang W H, Wu F H, et al. Hydrogen sulfide enhances salt tolerance through nitric oxide-mediated maintenance of ion homeostasis in barley seedling roots[J]. Scientific Reports, 2015, 5(1):12516.
- [11] Zhang H, Dou W, Jiang C X, et al. Hydrogen sulfide stimulates  $\beta$ -amylase activity during early stages of wheat grain germination[J]. Plant Signaling & Behavior, 2010, 5(8):1031-1033.
- [12] 刘晶,张鹤婷,殷悦,等.外源硫化氢对干旱胁迫下萌发水稻种子抗氧化代谢的影响[J].南方农业学报,2017,48(1):31-37.
- [13] Wang Y, Li L, Cui W, et al. Hydrogen sulfide enhances alfalfa (*Medicago sativa*) tolerance against salinity during seed germination by nitric oxide pathway[J]. Plant and Soil, 2012, 351(1-2):107-119.
- [14] 郑州元,林海荣,崔辉梅.外源硫化氢对加工番茄种子耐盐性及抗氧化酶的影响[J].干旱地区农业研究,2017,35(5):236-241.
- [15] Zhou Z H, Wang Y, Ye X Y, et al. Signaling molecule hydrogen sulfide improves seed germination and seedling growth of maize (*Zea mays* L.) under high temperature by inducing antioxidant system and osmolyte biosynthesis[J]. Frontiers in Plant Science, 2018, 9:1288-1302. doi: 10.3389/fpls.2018.01288
- [16] Li Z G, He Q Q. Hydrogen peroxide might be a downstream signal molecule of hydrogen sulfide in seed germination of mung bean (*Vigna radiata*)[J]. Biologia, 2015, 70(6):753-759.
- [17] Zhang H, Hu L Y, Hu K D, et al. Hydrogen sulfide promotes wheat seed germination and alleviates oxidative damage against copper stress[J]. Journal of Integrative Plant Biology, 2008, 50(12):1518-1529.
- [18] Michel B E, Kaufmann M R. The osmotic potential of polyethylene glycol 6000[J]. Plant Physiology, 1973, 51(5):914-916.
- [19] 陈文荣,曾玮玮,李云霞,等.高丛蓝莓对干旱胁迫的生理响应及其抗旱性综合评价[J].园艺学报,2012,39(4):637-646.
- [20] Bewley J D, Bradford K J, Hilhorst H W M, et al. Seeds physiology of development, germination and dormancy (Third edition) [M]. New York; Springer Press, 2013:113-151.
- [21] 徐恒恒,黎妮,刘树君,等.种子萌发及其调控的研究进展[J].作物学报,2014,40(7):1141-1156.
- [22] Weibrecht K, Muller K, Leubner-Metzger G. First of the mark: early seed germination[J]. Journal of Experimental Botany, 2011, 62(10):3289-3309.
- [23] 魏波,李丹丹,侯凯,等.PEG模拟干旱条件下红花种子萌发特性的比较研究[J].植物生理学报,2018,54(6):1137-1143.
- [24] 金宁,吕剑,郁继华,等.外源硅对PEG渗透胁迫下黄瓜种子萌发及相关基因表达的影响[J].园艺学报,2020,47(1):41-52.
- [25] 贾秀峰,李波,李红,等.不同剂量<sup>60</sup>Co- $\gamma$ 射线对谷稗种子萌发及幼苗生长特性的影响[J].干旱地区农业研究,2019,37(3):66-71.
- [26] Voigt E L, Almeida T D, Chagas R M, et al. Source-sink regulation of cotyledonary reserve mobilization during cashew (*Anacardium occidentale*) seedling establishment under NaCl salinity[J]. Journal of Plant Physiology, 2009, 166(1):80-89.
- [27] 邓平,吴敏,赵英,等.干旱胁迫下外源钙对桂西北喀斯特地区青冈栎种子萌发的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2020,48(2):1-11.
- [28] Shen J J, Xing T J, Yuan H H, et al. Hydrogen sulfide improves drought tolerance in *Arabidopsis thaliana* by microRNA expressions[J]. PLoS One, 2013, 8(10). doi: 10.1371/journal.pone.0077047
- [29] Zhang H, Wang M J, Hu L Y, et al. Hydrogen sulfide promotes wheat seed germination under osmotic stress[J]. Russian Journal of Plant Physiology, 2010, 57(4):532-539.
- [30] 李永生,方永丰,李玥,等.外源硫化氢对PEG模拟干旱胁迫下玉米种子萌发及幼苗生长的影响[J].核农学报,2016,30(4):813-821.