

# 不同整枝方式对黄瓜生长、光合特性、产量和品质的影响

杨树盛, 赵海棠

(平定县现代农业发展服务中心 山西平定 045200)

**摘要:**为探究不同整枝方式对黄瓜生长发育、光合特性、产量及果实品质的影响,明确适宜的整枝模式,为黄瓜高效栽培提供理论支撑与实践参考,以博杰 118 黄瓜品种为试材,设置单蔓整枝(A1)、双蔓整枝(A2)、三蔓整枝(A3)和不整枝(CK)4个处理,采用随机区组设计,系统测定了生育期内黄瓜的生长、光合、产量及品质指标。结果表明,A2处理综合表现最优,株高与茎粗协调增长,单株侧枝数量稳定在8~11条,盛果期净光合速率达 $18.93 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ,较CK显著提高31.2%;产量达 $6\ 862.99 \text{ kg}\cdot\text{667 m}^{-2}$ ,较CK显著提高28.5%。A1处理的果实品质最优,盛果期可溶性蛋白和可溶性糖含量较结果早期分别提高56.3%和80.8%。A3处理和CK因侧枝过度生长导致群体郁闭,叶面积指数过高,光合效率与养分分配失衡,产量和品质指标显著低于A1、A2处理。相关性分析显示,维生素C、可溶性蛋白、可溶性糖和可溶性固形物含量间均呈极显著正相关。综上,双蔓整枝可通过优化群体结构,提升光合效率,平衡养分分配,实现黄瓜产量与生长协调性的统一,是本试验条件下黄瓜的最优整枝方式。本研究结果可为黄瓜优质高效栽培提供实践参考。

**关键词:** 黄瓜; 整枝方式; 光合特性; 品质; 产量

中图分类号: S642.2

文献标志码: A

文章编号: 1673-2871(2026)04-104-08

## Effects of different pruning methods on growth, photosynthetic characteristics, yield and quality of cucumber

YANG Shusheng, ZHAO Haitang

(Pingding County Modern Agricultural Development Service Center, Pingding 045200, Shanxi, China)

**Abstract:** To investigate the effects of different pruning methods on the growth and development, photosynthetic characteristics, yield, and fruit quality of cucumber, and identify the suitable pruning pattern for providing theoretical support and practical reference for high-efficiency cucumber cultivation. Bojie 118 cucumber was used as the test material, and four treatments were set up: Single-vine pruning (A1), double-vine pruning (A2), triple-vine pruning (A3), and control (CK). A randomized block design was adopted, and the growth, photosynthetic, yield, and quality indices of cucumber were systematically determined during the growth period. The results showed that the comprehensive performance of the A2 treatment was the best, the plant height and stem thickness increased coordinately, and the number of lateral branches per plant was stable at 8-11. The net photosynthetic rate during the full fruiting period reached  $18.93 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , which was significantly increased by 31.2% than that of CK. The yield reached  $6\ 862.99 \text{ kg}\cdot\text{667 m}^{-2}$ , which was significantly increased by 28.5% compared with CK. The fruit quality of A1 treatment was the best. Compared with the early fruiting stage, the content of soluble protein and soluble sugar during the full fruiting stage increased by 56.3% and 80.8%, respectively. The yield and quality indices of A3 and CK treatments were significantly lower than those of A1 and A2 treatments due to overgrowth of side branches, high leaf area index, and imbalance between photosynthetic efficiency and nutrient distribution. Correlation analysis showed extremely significant positive correlations among vitamin C, soluble protein, soluble sugar, and soluble solid content. In conclusion, double-vine pruning can optimize the population structure, improve photosynthetic efficiency, balance nutrient distribution, and unify cucumber yield and growth coordination, which is the optimal pruning method for cucumber under the experimental conditions. The results can provide practical references for high-quality and high-efficiency cucumber cultivation.

**Key words:** Cucumber; Pruning method; Photosynthetic property; Quality; Yield

收稿日期: 2025-08-21; 修回日期: 2025-12-23

基金项目: 山西省现代农业产业技术体系建设项目(CYJSTX08)

作者简介: 杨树盛, 男, 农艺师, 主要从事农作物栽培和技术推广工作。E-mail: fynys@126.com

黄瓜(*Cucumis sativus* L.)为葫芦科黄瓜属,是全球广泛栽培的蔓生蔬菜。因其风味独特,质地脆嫩,含水量高,富含维生素、矿物质、蛋白质等营养成分,具有清热解毒、利水消肿等功效,深受消费者喜爱<sup>[1-3]</sup>。在自然生长状态下,黄瓜侧蔓萌发能力强,容易导致群体郁闭,养分竞争加剧,显著抑制光合速率与果实发育,因此整枝对协调营养生长与生殖生长的关系尤为关键,并伴随整个生长季<sup>[4]</sup>。整枝方式直接影响作物的产量与品质,通过干预冠层结构,从而调控作物的生长发育<sup>[5]</sup>。

整枝提高产量与品质的理论基础为源库学说,“源”关系到光合性能,“库”关系到产量构成因素<sup>[6]</sup>。“源-库-流”关系是影响作物生长发育的重要因素之一,只有在适宜光合源基础上,提高单位源的生产能力才能获得高产,合理的留叶果数可以提高源库比,促进果实中的碳水化合物积累,进而提高产量<sup>[7]</sup>;而群体结构作为“源-库-流”协同运转的基础载体,其合理性直接决定光能与养分的利用效率,因此,株型调控成为高产优质栽培的核心技术<sup>[8]</sup>。目前在西瓜、甜瓜、百香果、辣椒以及番茄等作物上已有研究报道,通过适当整枝留果,优化功能叶(源)的光合面积与果实(库)的养分分配比例,实现营养生长与生殖生长的平衡,有助于增产提质<sup>[9-14]</sup>。然而,相较于这些作物,黄瓜栽培中不同整枝方式的研究较少,尤其缺乏多整枝模式下源库协同机制的系统解析。

不同整枝方式对作物生长会产生不同影响。研究表明,单蔓整枝的果型最大,双蔓整枝效果最佳,三蔓整枝的产量最高<sup>[15-17]</sup>。不合理的整枝方式易导致结果位不足,增加冗余枝条对养分的消耗,破坏植株源库关系,最终影响产量与品质<sup>[18-19]</sup>。为进一步研究整枝对黄瓜生长的影响,笔者以博杰

118为材料,设置单蔓、双蔓、三蔓及不整枝对照,系统测定其生长指标、光合参数、产量及品质特性,旨在揭示不同整枝方式的综合效应,明确最优整枝模式及其生理机制,以为黄瓜高产优质栽培的精细化管理提供理论支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

供试黄瓜品种为博杰118,由天津德瑞特有限公司选育,属中早熟主蔓结瓜型,长势中等,瓜长25~35 cm,单瓜质量200~300 g,抗病性强,适合露地及大棚栽培。

### 1.2 试验设计

试验于2024年4—9月在山西省阳泉市平定县南后峪村富硒蔬菜生产基地进行。采用随机区组设计,3次重复,每小区面积15 m<sup>2</sup>(3 m×5 m),共12个小区,每个小区定植60株,株行距40 cm×60 cm,小区间设置1 m宽隔离行。

4月10日穴盘育苗,穴盘规格为50孔,营养钵大小为10 cm×10 cm;5月15日当幼苗长至3叶1心时定植,9月5日前后结束采收。整个生育期采用膜下滴灌,基肥为腐熟有机肥+复合肥,在初花期、盛果初期施复合肥,其他管理同常规露地栽培。4个处理方式详见表1。

### 1.3 测定指标与方法

1.3.1 生长动态监测 定植10 d后测定植株长势,每个小区随机选10株测定株高、茎粗,计算平均值。株高为茎基部至生长点距离,茎粗为子叶节上2 cm处直径。

在结果早期(S1,第1朵雌花开放后10 d)、结果中期(S2,第1朵雌花开放后20 d)、盛果期(S3,第1朵雌花开放后30 d)、结果末期(S4,第1朵雌

表1 整枝处理试验设计

Table 1 Experimental design of pruning treatments

| 编号<br>Number | 处理<br>Treatment                | 操作步骤<br>Operating steps  |
|--------------|--------------------------------|--|
| A1           | 单蔓整枝<br>Single-vine pruning    | 保留主蔓,摘除所有侧枝、卷须,主蔓长至1.8 m时摘心(约25节)<br>Keep the main vine, remove all lateral branches and tendrils, and pinch the tip of the main vine when it grows to 1.8 m (about 25 nodes)  |
| A2           | 双蔓整枝<br>Double-vine pruning    | 主蔓5叶期摘心,选留第3、4节位2条健壮侧蔓,摘除其余侧枝,侧蔓长至1.5 m时摘心<br>Pinch the main vine at the 5-leaf stage, select and retain 2 robust lateral vines at the 3rd and 4th nodes, remove the remaining lateral branches, and pinch the lateral vines when they grow to 1.5 m in length |
| A3           | 三蔓整枝<br>Triple-vine pruning    | 主蔓4叶期摘心,选留第2、3、4节位3条侧蔓,其余侧枝去除,侧蔓长至1.2 m时摘心<br>Pinch the main vine at the 4-leaf stage, select and retain 3 lateral vines at the 2nd, 3rd, and 4th nodes, remove the remaining lateral branches, and pinch the lateral vines when they grow to 1.2 m in length  |
| CK           | 对照(不整枝)<br>Control(no pruning) | 植株自然生长,不进行打杈、摘心处理<br>The plants grow naturally without pinching or topping treatments  |

花开放后 40 d)随机选取 5 株,采用 LA-S 型叶面积仪测定植株功能叶(第 6~8 片真叶)的单叶面积,重复 3 次,统计单株总叶片数,计算叶面积指数(LAI),叶面积指数=总叶面积/土地面积。

1.3.2 光合参数测定 成熟期,于晴天 09:00—11:00 采用 Li-6400 光合仪测定功能叶(第 6~8 片真叶)的净光合速率( $P_n$ )、气孔导度( $G_s$ )、胞间  $CO_2$  浓度( $C_i$ )、蒸腾速率( $T_r$ ),光强设定为  $1200 \mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ ,气流速率  $200 mL \cdot min^{-1}$ ,温度控制为  $25 \text{ }^\circ C$ ;测定重复数为每小区选取 3 株,每株测定 3 片功能叶,每叶片重复记录 3 次数据。

1.3.3 产量指标测定 结果中期后,每处理选取 10 株,每株选 3 个商品瓜(长度 $\geq 25$  cm,无畸形),测定黄瓜单果质量;每小区选取 50 株,分批采收,每隔 7 d 采收 1 次,统计总果实数量,计算小区产量并折算  $667 m^2$  产量,折算公式为:产量/( $kg \cdot 667 m^2$ )=小区产量 $\times 667 m^2$ /小区面积。

1.3.4 果实品质测定 按照 1.3.1 中 4 个时期取样,分别在结果早期、结果中期、盛果期和结果末期取商品瓜,采用考马斯亮蓝 G-250 法测定可溶性蛋白含量<sup>[20]</sup>,采用 2,6-二氯酚酚滴定法测定维生素 C 含量<sup>[21]</sup>,采用蒽酮比色法测定可溶性糖含量<sup>[21]</sup>,采用手持糖度计 TD-45 测定可溶性固形物含量。

1.4 数据分析

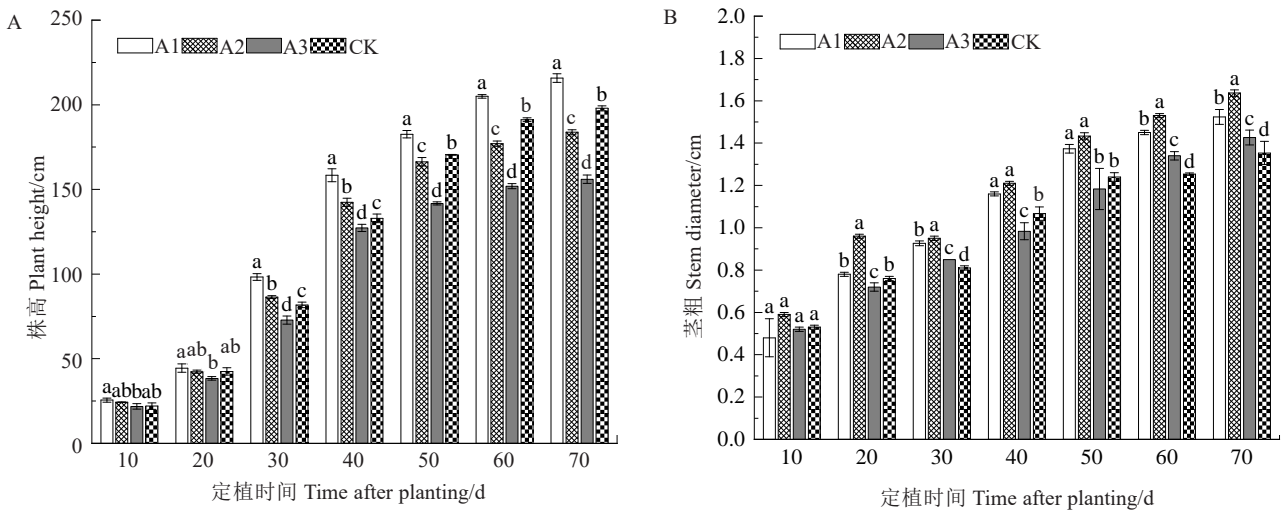
采用 Microsoft Excel 2020 整理原始数据,采用 SPSS 26.0 进行单因素方差分析(ANOVA),采用 Duncan 新复极差法进行差异显著性检验( $P < 0.05$ ),采用 Origin 2021 绘制图表。

2 结果与分析

2.1 不同整枝方式对黄瓜生长发育的影响

2.1.1 株高和茎粗的动态变化 由图 1-A 可知,各处理株高均随生育期呈“S”形增长,同一处理各时期存在显著差异。定植后 10 d,各处理株高差异较小(21.8~25.6 cm),单蔓整枝(25.6 cm)略高;定植 20~30 d,A1 处理开始与其他处理形成显著差异,表现为快速增长;定植后 40 d 为株高转折点,4 个处理对株高增长量影响不同,分别较定植后 10 d 增长了 132.80、118.13、105.47 和 110.90 cm,其中 A1 处理的株高显著高于其他处理,为 158.37 cm,较 CK (132.93 cm)显著提高 19.14%,而 A3 处理较 CK 显著下降了 4.24%;定植 40 d 后各处理均缓慢增长,A1 处理持续领先;定植 70 d 达 215.83 cm,A2 处理为 183.80 cm,CK 为 197.90 cm,A3 处理最低(156.03 cm)。各处理株高总增量大小顺序为:A1>A2>CK>A3。由此可见,去除侧蔓有利于黄瓜株高的增长,单蔓整枝通过减少侧枝消耗,明显促进主蔓伸长生长,而多蔓整枝因早期摘心抑制了株高增长。

由图 1-B 可知,茎粗的增长趋势与株高相似但差异更平缓,各处理的茎粗增长量不同,A2 处理的茎粗在各时期略占优势。其中定植后 10~20 d,各处理茎粗范围在 0.48~0.96 cm,A2 处理较粗,在定植后 20 d 显著高于其他处理;定植后 30~50 d,各处理均增长迅速,A2 和 A1 处理始终显著高于 A3 处理和 CK;定植 50 d 后开始缓慢增长,A2 和 A1 处



注:不同小写字母表示同一时间的不同处理在 0.05 水平差异显著。下同。

Note: Different small letters indicate significant difference among different treatments of the same time at 0.05 level. The same below.

图 1 不同整枝方式下株高和茎粗的动态变化

Fig. 1 Dynamic changes of plant height and stem diameter under different pruning methods

理仍显著高于 A3 处理和 CK;定植 70 d 后,各处理均达到峰值,此时 A2 处理较 CK 显著增加 21.48%, A1 处理次之,显著增加 12.59%;A3 处理仅显著增加了 5.92%,各处理茎粗的总增长量分别为 1.04、1.05、0.91 和 0.82 cm。

2.1.2 开花期后分枝特性的动态变化 由表 2 可知,整枝处理(A1、A2、A3)的单株侧枝数量均显著低于 CK。CK 的侧枝数呈现持续疯长态势,最大增加到 41 枝;单蔓整枝因持续清除侧芽,各时期侧枝数均维持 1~2 条,仅为 CK 的 2.94%~15.38%,通过完全去除侧枝,避免养分向无效侧枝分配,确保主蔓生长优先获得营养。双蔓(A2)和三蔓(A3)整枝侧枝数基本稳定,分别稳定在 6~10 条、7~14 条,较 CK 减少 46.15%~75.61%,通过精准选留侧蔓,减少冗余分枝的养分消耗。

表 2 不同整枝方式下单株侧枝数  
Table 2 Number of lateral branches per plant under different pruning methods

| 处理<br>Treatment | 时期 Period |           |           |           |
|-----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                 | S1        | S2        | S3        | S4        |
| A1              | 2±1.15 c  | 2±0.58 c  | 2±0.58 d  | 1±0.58 d  |
| A2              | 6±1.15 b  | 8±1.00 b  | 10±1.00 c | 10±1.15 c |
| A3              | 7±1.53 b  | 11±1.53 b | 14±1.53 b | 14±1.15 b |
| CK              | 13±1.53 a | 25±3.51 a | 41±2.00 a | 34±3.06 a |

注:同列不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。下同。

Note: Different small letters in the same column indicate significant difference at 0.05 level. The same below.

从表 3 可以看出,开花期后,不同整枝方式对黄瓜最长侧枝长度的影响差异显著。CK 的最长侧枝持续伸长,第一朵雌花开放 10 d 时为 69.57 cm, 40 d 达到 138.83 cm,增长 99.55%,且枝条细弱易倒伏;双蔓整枝(A2)的最长侧枝 10 d 为 36.30 cm,随生育期伸长至 61.17 cm;三蔓整枝(A3)的最长侧枝 10 d 为 38.40 cm,30 d 达 81.40 cm,后期继续增长;单蔓整枝因持续去除侧枝,最长侧枝长度始终在 17 cm 以下。由此可见,整枝方式通过摘心和去除侧枝有效调控侧枝生长,单蔓整枝抑制作用最强,

表 3 不同整枝方式下最长侧枝长度  
Table 3 Length of the longest lateral branch under different pruning methods cm

| 处理<br>Treatment | 时期 Period    |               |               |               |
|-----------------|--------------|---------------|---------------|---------------|
|                 | S1           | S2            | S3            | S4            |
| A1              | 7.57±2.23 c  | 10.47±3.84 d  | 15.60±2.98 d  | 16.17±3.15 d  |
| A2              | 36.30±6.82 b | 54.47±5.52 bc | 52.30±3.56 c  | 61.17±3.00 c  |
| A3              | 38.40±8.79 b | 72.30±6.46 cb | 81.40±6.41 b  | 89.83±9.22 b  |
| CK              | 69.57±6.58 a | 93.10±5.41 a  | 118.73±8.52 a | 138.83±8.56 a |

CK 则自然徒长,双蔓和三蔓整枝通过精准摘心使侧枝长度维持在合理范围。

2.1.3 叶面积指数与光合参数 不同生育期叶面积指数变化见表 4。A2、A3 和 CK 处理的 LAI 随生育期呈先上升后下降的趋势,而 A1 则表现为先下降后上升再下降的趋势,峰值均出现在盛果期 S3,明显高于其他时期,CK 增长最快,其次是 A2、A3、A1 处理,分别较 S1 增加了 28.12%、26.79%、26.09%和 17.39%,说明盛果期是作物叶面积最旺盛的关键阶段。同一时期的 LAI 大小与整枝强度密切相关,整体表现为 CK>A3>A2>A1,即留蔓数量越少,叶面积指数越低。

表 4 不同整枝方式对黄瓜叶面积指数的影响  
Table 4 Effects of different pruning methods on cucumber leaf area index

| 处理<br>Treatment | 时期 Period   |             |             |             |
|-----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                 | S1          | S2          | S3          | S4          |
| A1              | 0.23±0.02 d | 0.21±0.01 d | 0.27±0.01 d | 0.25±0.01 d |
| A2              | 0.56±0.01 c | 0.60±0.02 c | 0.71±0.01 c | 0.63±0.02 c |
| A3              | 0.92±0.02 b | 1.03±0.02 b | 1.16±0.05 a | 0.99±0.01 b |
| CK              | 0.96±0.02 a | 1.17±0.04 a | 1.23±0.04 a | 1.03±0.02 b |

盛果期光合参数测定(表 5)表明,各处理的叶片胞间 CO<sub>2</sub> 浓度(C<sub>i</sub>)相较于 CK 均下降,而叶片气孔导度(G<sub>s</sub>)、净光合速率(P<sub>n</sub>)及蒸腾作用(T<sub>r</sub>)则呈现出相反趋势,较 CK 均有所提升。与 CK 相比, A2 处理的 P<sub>n</sub> 最高(18.93 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>),较 CK (14.42 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>)显著提高 31.28%,说明双蔓整枝通过优化叶面积与通风条件,提高了净光合效率;其次为 A1 (16.84 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>)和 A3 处理(14.56 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>)。A1 处理的叶片 G<sub>s</sub> 最高, A2 处理次之,较 CK 分别显著提高 38.71%和 25.81%, A3 处理则与 CK 无显著差异;T<sub>r</sub> 与 G<sub>s</sub> 的趋势一致,表现为 A1>A2>A3>CK,这与单蔓整枝通风性好、双蔓整枝群体结构合理有关,而三蔓整枝和 CK 因叶片密集导致气孔关闭,蒸腾作用减弱。C<sub>i</sub> 则与 P<sub>n</sub> 相反,CK 最高(318.52 μmol·mol<sup>-1</sup>), A2 处理最低

表 5 盛果期不同整枝方式对黄瓜叶片光合参数的影响  
Table 5 Effects of different pruning methods on cucumber leaf photosynthetic parameters at full fruit stage

| 处理<br>Treatment | P <sub>n</sub> /                         | G <sub>s</sub> /                        | C <sub>i</sub> /          | T <sub>r</sub> /                         |
|-----------------|--|---|---------------------------|--|
|                 | (μmol·m <sup>-2</sup> ·s <sup>-1</sup> ) | (mol·m <sup>-2</sup> ·s <sup>-1</sup> ) | (μmol·mol <sup>-1</sup> ) | (mmol·m <sup>-2</sup> ·s <sup>-1</sup> ) |
| A1              | 16.84±0.50 b                             | 0.43±0.01 a                             | 298.05±8.10 bc            | 5.28±0.06 a                              |
| A2              | 18.93±0.49 a                             | 0.39±0.01 b                             | 286.36±5.00 c             | 4.84±0.18 b                              |
| A3              | 14.56±0.24 c                             | 0.32±0.01 c                             | 312.36±7.45 ab            | 4.32±0.10 c                              |
| CK              | 14.42±0.15 c                             | 0.31±0.01 c                             | 318.52±7.74 a             | 4.09±0.26 c                              |

( $286.36 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ ),反映双蔓整枝  $\text{CO}_2$  消耗高效,而 CK 因光合作用较弱导致  $\text{CO}_2$  积累。综上,双蔓整枝的光合参数协同性表现最佳,三蔓整枝及 CK 则因遮阴抑制了光合作用。

### 2.2 不同整枝方式对黄瓜产量及构成的影响

单瓜质量与结果数量对黄瓜产量影响最大,一般作为高产育种的主要选择性状。由表 6 可知,不同整枝方式下的产量各不相同,存在显著差异。其中 A2 处理的商品瓜数量最多,为 806 根,显著高于包括对照在内的其他处理,较 CK 增加了 18.01%,A1 和 A3 处理的商品瓜数量相差不大,均多于 CK。单瓜质量以 A2 处理最大,显著多于 CK,大小顺序为  $\text{A2} > \text{A1} > \text{A3} > \text{CK}$ ;不同整枝处理的单株产量差异不显著,表现为  $\text{A2} > \text{A3} > \text{A1} > \text{CK}$ 。各处理的产量与商品瓜数量大小关系一致,A2 处理最高,达  $6\,862.99 \text{ kg} \cdot 667 \text{ m}^2$ ,显著高于其他处理;A1 和 A3 处理次之;A3 处理为  $5\,478.00 \text{ kg} \cdot 667 \text{ m}^2$ ,与 CK 差异不显著。综上,A2 处理的商品瓜数量、单瓜质量均较高,产量表现较好,说明通过适当改变侧枝数量,有利于提高产量。

表 6 不同整枝方式下黄瓜产量构成要素比较

Table 6 Comparison of cucumber yield components under different pruning methods

| 处理<br>Treatment | 商品瓜数量/<br>(根·小区 <sup>-1</sup> )<br>Number of<br>commercial<br>melon/<br>(No.·plot <sup>-1</sup> ) | 单瓜质量<br>Single<br>fruit<br>mass/g | 单株产量<br>Yield per<br>plant/kg | 产量<br>Yield/<br>(kg·667 m <sup>2</sup> ) |
|-----------------|---|-----------------------------------|-------------------------------|--|
| A1              | 727±38.76 b   | 217.92±1.98 a                     | 2.66±0.08 a                   | 6 297.07±323.31 b                        |
| A2              | 806±19.43 a   | 218.14±1.68 a                     | 2.84±0.19 a                   | 6 862.99±314.37 a                        |
| A3              | 717±15.62 b   | 207.53±0.69 b                     | 2.80±0.13 a                   | 5 478.00±248.91 c                        |
| CK              | 683±7.21 b  | 206.94±2.35 b                     | 2.61±0.13 a                   | 5 341.48±83.36 c                         |

### 2.3 不同整枝方式对黄瓜果实营养品质的影响

可溶性糖是影响黄瓜风味的核心指标,其积累量与光合产物转运效率直接相关。整枝通过调控植株养分分配与光合产物转运,影响黄瓜果实营养品质。不同整枝方式的黄瓜果实维生素 C、可溶性蛋白、可溶性糖和可溶性固形物含量均存在显著差异(图 2)。整体来看,A1 处理在全生育期表现为较高水平,可溶性蛋白和可溶性糖含量在盛果期时达到峰值,维生素 C 和可溶性固形物含量在结果末期

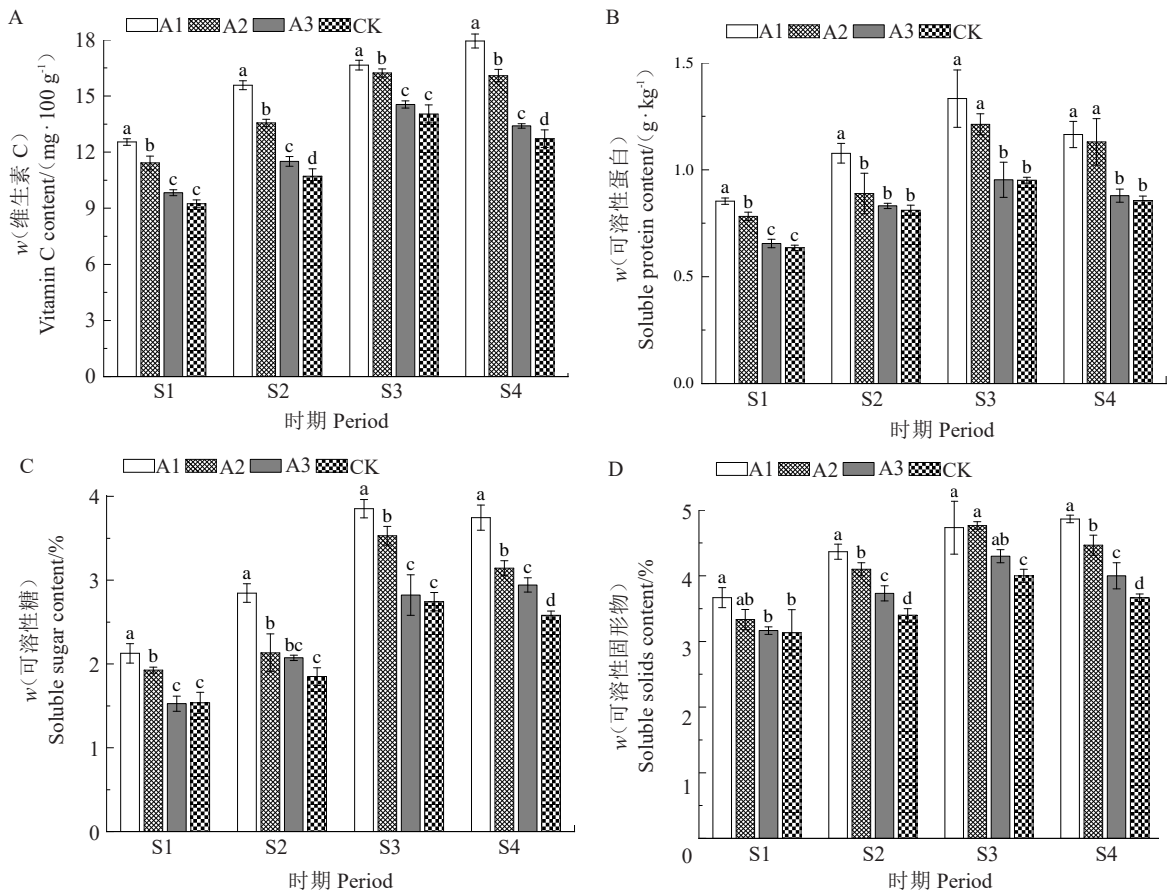


图 2 各时期不同整枝方式下黄瓜果实营养品质的动态变化

Fig. 2 Dynamic changes of cucumber fruit nutritional quality under different pruning methods at different stages

最高,较结果早期分别提高 56.3%、80.8%、44.3%和 28.9%;且在结果早期(A2 处理可溶性固形物含量除外)与结果中期各品质指标均显著高于 A2、A3 处理和 CK,表明单蔓整枝因通风透光性好,叶片光合速率高,可促进黄瓜果实各营养成分的合成与积累。

#### 2.4 相关性分析

为合理建立评价体系,对各项指标进行相关性分析,如表 7 所示。光合指标间协同调控,气孔导度与净光合速率呈极显著正相关;与胞间 CO<sub>2</sub> 浓度呈极显著负相关。蒸腾速率与净光合速率、气

孔导度均呈极显著正相关,与胞间 CO<sub>2</sub> 浓度呈极显著负相关。叶面积指数与净光合速率、气孔导度相关性较弱,且与单株产量和产量呈显著负相关。果实品质指标与净光合速率、气孔导度和蒸腾速率呈负相关,其中可溶性蛋白含量与净光合速率呈显著负相关。品质指标内部高度协同,维生素 C 含量、可溶性蛋白含量、可溶性糖含量和可溶性固形物含量间均呈极显著正相关,其中维生素 C 含量与可溶性蛋白含量、可溶性固形物含量相关性最强,说明黄瓜果实品质是多指标协同提升的结果。

表 7 黄瓜各指标间的相关性分析  
Table 7 Correlation analysis between cucumber indicators

| 指标<br>Indicator   | 叶面积<br>指数<br>Leaf area<br>index | 净光合速率<br>Net<br>photosynthetic<br>rate | 气孔导度<br>Stomatal<br>conductance | 胞间 CO <sub>2</sub> 浓度<br>Intercellular<br>CO <sub>2</sub><br>concentration | 蒸腾速率<br>Transpiration<br>rate | 维生素 C<br>含量<br>Vitamin<br>C content | 可溶性蛋<br>白含量<br>Soluble<br>protein<br>content | 可溶性糖<br>含量<br>Soluble<br>sugar<br>content | 可溶性固<br>形物含量<br>Soluble<br>solids<br>content | 单株<br>产量<br>Yield<br>per<br>plant |
|---|---------------------------------|--|---------------------------------|--|-------------------------------|-------------------------------------|--|---|--|-----------------------------------|
| 净光合速率<br>Net photosynthetic rate  | 0.316                           |  |                                 |  |                               |                                     |  |   |  |                                   |
| 气孔导度<br>Stomatal conductance  | 0.107                           | 0.902**                                |                                 |  |                               |                                     |  |   |  |                                   |
| 胞间 CO <sub>2</sub> 浓度<br>Intercellular CO <sub>2</sub><br>concentration | 0.191                           | -0.788**                               | -0.864**                        |  |                               |                                     |  |   |  |                                   |
| 蒸腾速率<br>Transpiration rate  | 0.119                           | 0.775**                                | 0.793**                         | -0.693**   |                               |                                     |  |   |  |                                   |
| 维生素 C 含量<br>Vitamin C content   | -0.390                          | -0.442                                 | -0.296                          | 0.379  | -0.111                        |                                     |  |   |  |                                   |
| 可溶性蛋白含量<br>Soluble protein content                                      | -0.343                          | -0.498*                                | -0.365                          | 0.432  | -0.199                        | 0.988**                             |  |   |  |                                   |
| 可溶性糖含量<br>Soluble sugar content   | -0.324                          | -0.430                                 | -0.343                          | 0.430  | -0.133                        | 0.959**                             | 0.956**                                      |   |  |                                   |
| 可溶性固形物含量<br>Soluble solids content                                      | -0.371                          | -0.386                                 | -0.224                          | 0.302  | -0.046                        | 0.979**                             | 0.973**                                      | 0.935**                                   |  |                                   |
| 单株产量<br>Yield per plant   | -0.543*                         | -0.323                                 | -0.163                          | -0.027   | -0.029                        | 0.600*                              | 0.629**                                      | 0.512*                                    | 0.669**                                      |                                   |
| 产量<br>Yield   | -0.527*                         | -0.165                                 | 0.015                           | -0.317   | 0.223                         | 0.271                               | 0.253  | 0.182                                     | 0.343  | 0.591*                            |

注:\*表示在 0.05 水平显著相关;\*\*表示在 0.01 水平极显著相关。

Note: \* represents significant correlation at 0.05 level; \*\* represents extremely significant correlation at 0.01 level.

### 3 讨论与结论

黄瓜作为典型的蔓生蔬菜,其产量和品质的形成高度依赖源库系统的动态平衡<sup>[22]</sup>。植株整枝后改善冠层结构,提高光能综合利用效率,利于植株的高产高效栽培<sup>[23]</sup>。研究指出,塑造合理的株型,能改善冠层结构,增强群体内的通风透光特性,增加有

效叶面积系数,保证充足的“源”(光合产物)供应,有利于实现高产<sup>[24]</sup>。因此,株型调控可以作为调控植株群体结构和源库关系的核心栽培手段,定向改变光合器官(源)和优化结果载体(库),直接影响干物质的生成与分配效率。不同整枝方式对树体、叶幕结构有重要影响,适宜的株型有利于果实品质和产量的提升<sup>[25-26]</sup>。

“源”是指制造并向其他器官提供光合产物的器官,主要指功能叶片。“库”则是指消耗或累积光合产物的器官。源库数量和机能的协调是作物高产的生理基础<sup>[27]</sup>。试验结果表明,单蔓整枝的株高、茎粗均高于CK,可能是由于持续去除侧枝,显著促进主蔓伸长,实现株高与茎粗的协调增长,与甜瓜<sup>[28]</sup>的研究结果一致。整枝处理通过去除多余侧枝,改善叶片空间分布,优化了群体结构。实际上,留蔓数的多少既影响群体的叶面积,也会影响到果实产量和果型大小<sup>[29]</sup>,也就是常说的“源”和“库”的比例。因此,无论是采用哪种整枝方式,实质上都是涉及源库关系调节的农艺措施,这些措施会改变作物固有的源库比例和协调性,最终影响其生长发育及产量和品质<sup>[30]</sup>。

LAI反映光合面积大小,研究证实其并非“越大越好”,单蔓整枝LAI过小(0.21~0.27),光合面积不足,干物质生成总量有限,而双蔓整枝因适宜的LAI和较高净光合速率的源强优势,小区商品瓜数量达806根、单株产量2.84 kg,均为各处理最高,说明适度留蔓减少冗余养分消耗,实现源库协同。相关性分析进一步证实,净光合速率源于气孔开放促进CO<sub>2</sub>供应,叶肉细胞高效利用CO<sub>2</sub>的协同机制,能快速生成更多光合产物,为果实发育提供充足物质。结果枝适中,群体结构通风透光性好(LAI=0.71),更多光合产物能高效输送给果实,实现产量的最大化,与Mourão等<sup>[31]</sup>的研究结果类似。而三蔓整枝与CK因群体郁闭导致气孔关闭,CO<sub>2</sub>供应不足,净光合速率降低,干物质生成量减少,直接制约产量提升,三蔓整枝的产量显著低于双蔓整枝。在番茄的研究中同样发现,双干整枝植株的株型结构和群体结构更合理,能显著提高坐果率<sup>[15-16]</sup>。王万蓉等<sup>[28]</sup>在厚皮甜瓜研究中发现,双蔓处理的蔓长、蔓粗、叶面积、叶片数居中,保障了源强,提高了坐果率,最终实现单瓜质量与产量的协同提升。相关性分析显示,LAI与净光合速率呈正相关,但与单株产量呈显著负相关,表明合理的叶面积指数即适当的侧蔓更有利于植株通风透光,提高光能截获效率,与陈书霞等<sup>[30]</sup>的研究结论一致,在适宜叶面积的基础上保证了光合产物向果实中的输送。单瓜质量的差异反映了植株对果实的养分供应能力,三蔓整枝与CK因侧枝过多,实际有效库容量低,增加了无效养分的消耗,果实无法获得足够干物质,使单瓜质量下降,产量与双蔓整枝呈显著差异;且品质最差,维生素C、可溶性蛋白、可溶性糖和可溶性固形物含量

在各时期均低于单蔓整枝和双蔓整枝,岳英男<sup>[32]</sup>和潘文博等<sup>[5]</sup>研究表明,单蔓整枝和双蔓整枝的品质最好,说明优化了源库关系,一定程度上可以提升产量,改善品质。通过改造树体结构,改善了通风透光条件,提高了光合作用能力,葡萄品质提升效果显著<sup>[33]</sup>。因此,整枝可以提升植株光能利用效率,对提高产量和品质具有重要影响<sup>[34-35]</sup>。

综上所述,不同整枝方式对黄瓜的调控效应,本质是通过群体结构优化冠层微环境,进而平衡源库关系。单蔓整枝植株最高、果实品质最优,但结果位少、产量受限;三蔓整枝因侧枝多导致群体郁闭,光合与产量表现不佳;CK侧枝无序疯长,养分浪费严重,产量与品质最差;双蔓整枝的株高和茎粗协调生长,优化侧枝分布,光合效率最高,商品瓜数量与单瓜质量协同提升,产量最高。因此,双蔓整枝是兼顾黄瓜产量、生长协调性及光合效率的最优方式,是本试验条件下中早熟主蔓结瓜型黄瓜的最优整枝方式,适宜在同类栽培环境中推广应用。

#### 参考文献

- [1] 佚名. 黄瓜的营养与保健功效[J]. 吉林蔬菜, 2016(增刊2):9.
- [2] 杨华, 杨宗辉, 刘一涵, 等. 黄瓜品质性状遗传育种研究进展[J]. 中国蔬菜, 2023(8):23-37.
- [3] 李亚航, 施艳娥, 丁卓, 等. 黄瓜主要农艺性状分子标记研究进展[J]. 中国瓜菜, 2023, 36(10):1-9.
- [4] 许洋. 侧枝摘除长度对番茄植株生长和产量的影响[D]. 山东泰安: 山东农业大学, 2021.
- [5] 潘文博, 周海蛟, 王艺菲, 等. 整枝措施对东西垄栽培番茄产量和品质的影响[J]. 中国蔬菜, 2025(3):66-77.
- [6] 董合忠, 牛曰华, 李维江, 等. 不同整枝方式对棉花源库关系的调节效应[J]. 应用生态学报, 2008, 19(4):819-824.
- [7] ASLANI L, GHOLAMI M, MOBLI M, et al. The influence of altered sink-source balance on the plant growth and yield of greenhouse tomato[J]. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 2020, 26(11):2109-2123.
- [8] 文俊丽, 郭元元, 宋焕忠, 等. 不同整枝方式对设施丝瓜产量的影响[J]. 长江蔬菜, 2025(2):55-59.
- [9] 王玲玲, 武竞骅, 杨红娟, 等. 不同整枝留果方式对‘黄晶’西瓜产量和品质的影响[J]. 上海农业科技, 2024(6):102-103.
- [10] 倪秀红, 陈灏岚, 张文献. 设施甜瓜不同整枝方式对产量与效益影响初报[J]. 上海农业科技, 2025(2):73-74.
- [11] 林桂玉, 梁增文, 胡永军, 等. 不同整枝方式对设施辣椒产量和性状的影响[J]. 中国果菜, 2020, 40(2):48-50.
- [12] 李嘉显, 张小英, 王叶, 等. 百香果不同种植密度和整枝方式对产量与效益的影响[J]. 农业与技术, 2024, 44(14):67-69.
- [13] 江雯静, 包卫红, 陈雯倩, 等. 整枝方式对厚皮甜瓜种瓜品质与制种产量的影响[J]. 上海农业科技, 2025(3):91-92.
- [14] 徐竞成, 陶雨佳, 漆慧娟, 等. 番茄整枝技术研究进展及生产应用[J]. 现代农业科技, 2024(16):199-203.

- [15] 代兴荣,张黎,潘文远,等.基于农艺措施的日光温室番茄生长发育动态研究[J].新疆农业科学,2015,52(12):2245-2249.
- [16] MBONIHANKUYEE C, KUSOLWA P, MSOGOYA T J. Assessment of the effect of pruning systems on plant developmental cycle- yield and quality of selected indeterminate tomato lines[J]. Acta Horticulturae, 2013(1007):535-542.
- [17] MABOKO M M, DU PLOOY C P. Effect of pruning on yield and quality of hydroponically grown cherry tomato (*Lycopersicon esculentum*) [J]. South African Journal of Plant and Soil, 2008, 25(3):178-181.
- [18] 陈胜萍,刘晓光,陈志,等.番茄大棚杂交制种技术研究[J].安徽农业科学,2016,44(17):53-55.
- [19] MONDAL M A M, RAZZAQUE A H M, PUTHE A. Debranching improves morpho-physiological characters, fruit quality and yield of tomato[J]. Pakistan Journal of Botany, 2016, 48(6):2249-2253.
- [20] FALODUN E J, OGEDEGBE S A. Effects of pruning location on growth and fruiting of three tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) varieties in rainforest zone of Nigeria[J]. Agro-Science, 2019, 18(3):1-4.
- [21] 张治安,陈展宇.植物生理学实验技术[M].长春:吉林大学出版社,2008.
- [22] 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.
- [23] 王慧茹,李建设,闫思华,等.整枝方式对樱桃番茄冠层截获和荧光特性的影响[J].浙江农业学报,2022,34(3):525-533.
- [24] 李明,李文雄.玉米产量形成与源库关系[J].玉米科学,2006(2):67-70.
- [25] 成果,陈立业,王军,等.2种整形方式对赤霞珠葡萄光合特性及果实品质的影响[J].果树学报,2015,32(2):215-224.
- [26] 张紫卿,韩守安,等.叶幕整形方式对新疆主要红色酿酒葡萄生长和果实品质的影响[J].中国农学通报,2022,38(28):58-67.
- [27] 卮兰春,王如英.西瓜果实发育期间源库关系的研究[J].中国西瓜甜瓜,1992,5(2):10-13.
- [28] 王万蓉,宋伟,魏俊梅,等.不同整枝留瓜方式对日光温室厚皮甜瓜生长发育影响的研究[J].农业科技通讯,2025(2):77-79.
- [29] 唐瑞永,陈年来,胡敏,等.源库关系对甜瓜果实特性的影响[J].甘肃农业大学学报,2007,42(5):49-52.
- [30] 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.
- [31] MOURÃO I, BROTO L M, MOURA L, et al. The effect of pruning systems on yield and fruit quality of grafted tomato[J]. Horticultura Brasileira, 2017, 35(2):247-251.
- [32] 岳英男.不同整枝方式对薄皮甜瓜植株生长、产量和品质的影响[J].中国瓜菜,2014,27(4):53-55.
- [33] 郝燕,张坤,何英霞,等.不同树形对贵人香葡萄生长和果实品质的影响[J].干旱地区农业研究,2018,36(5):76-81.
- [34] ANTONY P, PRASAD V M, SINGH D, et al. Effect of pruning methods on growth, yield and quality of cherry tomato (*Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*) cv-pusa cherry, roja red & nagamoti under polyhouse condition of prayagraj[J]. International Journal of Plant & Soil Science, 2022:232485.
- [35] 徐美红,渠艳秋.不同整枝方式对七宝黄金瓜生长、产量及品质的影响[J].现代园艺,2025,48(23):1-3.