

# 嫁接对黄瓜光合特性及矿质元素吸收的影响

赵娟, 沈佳, 程春燕, 陈劲枫

(作物遗传与种质创新国家重点实验室·南京农业大学 南京 210095)

**摘要:** 分别以黑籽南瓜及酸黄瓜-黄瓜抗线虫渐渗系 10-1 为砧木, '南水 2 号' 黄瓜为接穗, 通过 LI-6400XT、微波消解 ICP-AES 对嫁接植株及自根苗的光合特性及矿质元素含量进行了对比分析。光合参数结果表明, 黄瓜嫁接材料与自根苗材料的气孔导度、净光合速率、蒸腾速率以及胞间 CO<sub>2</sub> 浓度均不存在显著性差异 ( $P \leq 0.05$ )。果实中 9 种矿质元素含量显示, 元素 Mn、Fe、P 和 K 的含量在 3 种材料之间没有明显差异; 而以黑籽南瓜为砧木的嫁接黄瓜果实相比自根苗果实 Cu、Se 元素含量升高, Mg 元素含量降低; 以抗线虫渐渗系 10-1 为砧木的黄瓜果实 B 元素含量升高, 其他元素含量与自根苗无异。上述研究显示盆栽条件下, 嫁接对黄瓜光合特性无显著影响。同时, 不同砧木嫁接黄瓜果实中的矿质元素含量存在差异, 证实砧木根系对土壤中矿质元素的选择性吸收影响了果实中的矿质元素含量。这为今后深入研究嫁接砧木根系影响黄瓜果实品质等相关机制奠定了基础。

**关键词:** 嫁接; 黄瓜; 矿质元素; 光合参数

## Effects Grafting on Photosynthetic Characteristics and Absorption of Mineral Elements of Cucumber

ZHAO Juan, SHEN Jia, CHENG Chun-yan, CHEN Jin-feng

(State Key Laboratory of Crop Genetics and Germplasm Enhancement · Nanjing Agricultural University, Nanjing, Jiangsu, 210095, China)

**Abstract:** The effects of grafting on cucumber photosynthesis and absorption of mineral elements were studied using black seed pumpkin (*Cucurbita ficifolia* Bouché) and an introgression line ILs-10-1, obtained from interspecific cross between cultivated cucumber and sour cucumber with resistance to the root-knot nematode, as rootstocks and a cucumber cultivar 'Nanshui No.2' as scion. Results showed that the net photosynthetic rate (Pn), the stomatal conductance (Gs), the intercellular CO<sub>2</sub> concentration (Ci) and the transpiration rate (Tr) of grafted plants and self-grafted seedlings were close to each other. Values of Cu and Se in fruits of grafted plants with black seed pumpkin rootstock were significantly higher than those of the self-rooted plants, but the value of Mg was lower than that of self-rooted ones. The grafted plants with ILs-10-1 rootstock had more B than self-rooted plants but the values of the other elements were close to the self-rooted ones. This research confirms that grafting cucumber had no significant effect on photosynthetic characteristics when seedlings grown in pots. The differences of minerals in the grafted and no grafted seedling may be due to the active absorption of rootstock roots.

**Key words:** Grafting; Cucumber; Mineral elements; Photosynthetic characteristics

黄瓜 (*Cucumis sativus* L.) 是设施栽培的主要蔬菜之一, 并且我国的生产面积和总产量均居世界首位。随着设施栽培的快速发展, 倒茬困难、连作障碍、土传病害日益严重, 已成为制约我国黄瓜高产优质的主要障碍。目前因药剂防治效果差且不利于环境保护、培育抗病品种周期长等方法的局限, 黄瓜嫁接换根技术已成为目前生产上一项行之有效的方法<sup>[1]</sup>。据 2011 年蔬菜嫁接国际会议交流资料显示, 我国黄瓜嫁接苗总面积超过 50 hm<sup>2</sup>, 嫁接栽培比例

占到了 30%<sup>[2]</sup>。生产实践证明, 在现有的砧木选择范围内, 黄瓜嫁接后抗性的提高和优良的果实品质特性往往不能兼具<sup>[3-4]</sup>, 而其具体原因并不明了。

同时, 矿质元素不仅是植株活性物质的组成成分, 而且分布到果实中被人体食用又构成人体组织和维持正常生理功能的重要物质, 对人体健康的意义重大, 使得矿质元素含量成为黄瓜果实营养品质特性中很重要的一部分。

微波消解配合电感耦合等离子体-原子发射光

收稿日期: 2014-05-20; 修回日期: 2014-06-15

基金项目: 国家支撑计划(2013BAD01B04-10); "863"计划专项(2010AA10A108; 2012AA100202); 江苏省科技支撑计划(农业)项目(BE2012323)

作者简介: 赵娟, 女, 在读硕士研究生, 研究方向为蔬菜遗传育种与生物技术。电子信箱: jzhao8981@gmail.com。

通信作者: 陈劲枫, 男, 教授, 博导, 研究方向为蔬菜遗传育种与生物技术。电话: 025-84396279; 电子信箱: jfchen@njau.edu.cn。

谱法(ICP-AES)是测定矿质元素含量的新型方法,因其相比传统方式操作简便、灵敏度高、数据准确等优点,已广泛应用于植物、玩具、药物、饮水中微量元素的测定<sup>[5-8]</sup>。本试验利用2种砧木品种进行黄瓜嫁接,测定嫁接苗的光合指标确定植株生长差异,并用微波消解 ICP-AES 技术测定嫁接果实中9种矿质元素的含量以分析选择不同砧木对嫁接果实矿质元素含量的影响,为探究嫁接植株根系对植株生长和果实品质的相关作用机制提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料及仪器设备

1.1.1 试验材料 以根系发达品种云南黑籽南瓜(*Cucurbita ficifolia* Bouché)<sup>[9]</sup>及抗性优良的酸黄瓜-黄瓜渐渗系10-1<sup>[10]</sup>(以下简称渐渗系10-1)为砧木,以具有强单性结实能力的水果型栽培黄瓜‘南水2号’<sup>[11]</sup>为接穗,并以接穗品种的自根植株为对照。本试验所用的种子均为本实验室保存种质。

1.1.2 主要仪器设备 LI-6400XT 光合-荧光测定系统;Milestone Ethos T 微波消解系统;Optimal 2100DV 电感耦合等离子体发射光谱仪(Pekin Elmer)。

### 1.2 试验处理

1.2.1 嫁接 试验于2012年7—11月在南京农业大学生科楼阳台日光温室进行。2012年7月25日对黑籽南瓜及渐渗系10-1两份砧木材料进行育苗,8月1日播种‘南水2号’。育苗均采用32孔穴盘,基质采用草炭:蛭石=2:1(v:v)混合。8月6日,黄瓜至子叶展平后,用插接法进行嫁接,并进行编号:以渐渗系10-1做砧木的嫁接苗编号为HG,以黑籽南瓜做砧木的嫁接苗编号为NG,自根苗用ZG表示。嫁接成活后将幼苗移栽到钵(250 mm×210 mm)中,每个编号12株,置于生科楼日光温室内,生育期间控制温室昼、夜平均温度分别为19.1~29.3℃、12.6~18.3℃,相对湿度为55%~90%。

1.2.2 光合作用指数测定 2012年9月23日,即黄瓜营养生长的盛期用LI-6400型光合仪(LI-COR,美国)测定植株叶片的净光合速率(Pn)、气孔

导度(Gs)、细胞间CO<sub>2</sub>浓度(Ci)、蒸腾效率(Tr)等光合指标。

1.2.3 含水量测定 取夹花之后12d的3种材料商品瓜,测定各个黄瓜鲜、干质量,按以下公式计算果实含水量。

$$\text{果实含水量}/\%=(\text{鲜质量}-\text{干质量})/\text{鲜质量}\times 100。$$

1.2.4 微波消解 ICP-AES 测定黄瓜果实中的矿质元素含量 电感耦合等离子体发射光谱仪测试条件设定射频发生器功率1300 W;蠕动泵提取样品量1.5 mL·min<sup>-1</sup>;辅助气流量0.2 L·min<sup>-1</sup>,雾化器气流量0.8 L·min<sup>-1</sup>;雾化器压力:186.17 kPa;轴向观测;读数重复3次。选定分析线(nm):Mn257.6、Fe239.562、Cu324.8、Zn213.9、Se196.026、B249.7、P178.284、K766.5、Mg279.553,各元素的标准储备液质量浓度均为1.0 g·L<sup>-1</sup>,然后配制成(0.5、1、2、4、8、16 μg·mL<sup>-1</sup>)的标准液,用于绘制校准曲线。玻璃仪器均用10%的优级纯HNO<sub>3</sub>浸泡过夜,然后用超纯水清洗。

取嫁接黄瓜和自根苗黄瓜成熟果实样品进行分析,先将样品置于105℃杀青30 min,然后70℃烘干至恒重,研磨成粉末。准确称取0.70 g粉末状样品置于聚四氟乙烯消解罐中,加浓HNO<sub>3</sub> 8 mL,按程序升温(表1)进行微波消解。消解完成后首先冷却至室温,然后用超纯水定容至25 mL。设置空白试剂对照,每个样品平行测定3次,最后用SAS8.1软件邓肯氏多重比较法进行数据统计和分析。

表1 微波消解程序

消解程序	功率 /W	升温时间 /min	控温压力 /kPa	温度 /℃	持续时间 /min
1	1 200	5	688	120	15
2	1 200	5	1 378	160	15
3	1 200	10	2 066	200	10

## 2 结果及分析

### 2.1 不同砧木黄瓜嫁接苗光合性能比较分析

表2所示为黄瓜嫁接苗营养生长盛期时的光合参数,黑籽南瓜为砧木材料的净光合速率、细胞间CO<sub>2</sub>浓度的均值较高,自根苗的气孔导度、蒸腾速率均值较高,黄瓜渐渗系10-1嫁接苗的4个参数的均值处于最低水平,但2种嫁接苗和自根苗的光合参数差异并不显著(P≤0.05)。

表2 不同砧木嫁接黄瓜植株的光合特性

嫁接组合	净光合速率(Pn) /(μmol·m <sup>-2</sup> ·s <sup>-1</sup> )	气孔导度(Gs) /(μmol·m <sup>-2</sup> ·s <sup>-1</sup> )	细胞间CO <sub>2</sub> 浓度(Ci) /(μmol·mol <sup>-1</sup> )	蒸腾速率(Tr) /(μmol·m <sup>-2</sup> ·s <sup>-1</sup> )
HG	6.249±0.648 a	0.109±0.016 a	261.867±12.756 a	4.420±0.536 a
NG	8.787±0.777 a	0.153±0.017 a	291.207±8.360 a	5.429±0.456 a
ZG	7.504±1.580 a	0.154±0.021 a	273.356±20.874 a	5.729±0.712 a

[注] 表中数据为平均值±标准误。同列不同字母表示差异达到显著水平(P≤0.05)。下同。

### 2.2 果实含水量

果实含水量结果如表 3 所示, 嫁接和自根苗果实的含水量均处于 93.8%~94.8% 之间, 3 者之间无显著性差异。嫁接后黄瓜果实的鲜质量和干质量也未发生显著性增加 ( $P \leq 0.05$ )。

表 3 果实含水量差异

嫁接组合	果实含水量	鲜质量	干质量
	/%	/g	/g
HG	0.948±0.000 a	45.557±6.363 a	2.500±0.448 a
NG	0.946±0.003 a	52.418±5.710 a	2.890±0.337 a
ZG	0.939±0.001 a	43.103±4.478 a	2.360±0.245 a

### 2.3 以不同材料做砧木的黄瓜嫁接苗成熟果实矿质元素含量的差别

用于微波消解 ICP-AES 矿质元素测定的各元素标准曲线的线性相关系数均在 0.999 7~0.999 9 之间(表 4)。据此对嫁接黄瓜成熟果实中的 9 种矿质元素含量进行测定(表 5), 分析显示相对标准偏差范围在 0.52%~11.70% 之间, 测定结果可靠。

对以不同品种做砧木的黄瓜嫁接苗和自根苗材料成熟果实中的 9 种矿质元素进行测定的结果显示, Mn、Fe、P、K 的含量在 3 种材料间不存在显著性差异 ( $P \leq 0.05$ )。以黑籽南瓜做砧木的嫁接黄瓜果实中元素 Cu、Se 的含量分别为 13.49、7.54  $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ , 约

为其他 2 个材料的 1.5 倍, 均达到差异显著水平 ( $P \leq 0.05$ )。‘南水 2 号’黄瓜自根苗果实干物质中的 Mg 元素含量是 3 568.85  $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ , 而以黑籽南瓜做砧木嫁接后 Mg 含量降至 2 879.86  $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ , 分析显示以黑籽南瓜做砧木嫁接后黄瓜果实中的 Mg 元素含量显著降低 ( $P \leq 0.05$ )。以渐渗系 10-1 为砧木的嫁接果实中 B 元素的平均含量为 305.14  $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$  是自根苗果实和以黑籽南瓜做砧木嫁接果实的 4 倍以上, 差异显著。综上所述, 以黑籽南瓜为砧木的黄瓜果实具有最高的 Cu 和 Se 元素含量, 而 Mg 元素含量相较自根苗果实降低; 以渐渗系 10-1 为砧木嫁接后果实 B 元素含量升高。嫁接黄瓜果实中的矿质元素含量在品种间存在差异, 很可能与砧木根系对土壤中矿质元素的选择性吸收相关。

表 4 9 种矿质元素的校准曲线回归方程

元素	回归方程	相关系数
Se	A=1 176C-34.1	0.999 8
Zn	A=19 620C+328.7	0.999 9
P	A=1 135C-794.7	0.999 9
Fe	A=45 680C+1 466.8	0.999 9
B	A=20 270C-10 600.0	0.999 7
Mn	A=368 100C-4 747.9	0.999 9
Mg	A=114 500C+239.0	0.999 8
Cu	A=90 930C-977.8	0.999 9
K	A=20 300C-4 417.9	0.999 7

表 5 嫁接黄瓜果实干物质中矿质元素含量

$\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$

嫁接组合	Se	Zn	P	Fe	B	Mn	Mg	Cu	K
HG	4.90±0.00 a	46.83±0.11 a	9 689.43±0.71 a	57.80±0.14 a	305.14±0.06 b	10.09±0.00 a	3 115.87±0.41 ab	8.92±0.03 a	49 779.15±4.28 a
NG	7.54±1.15 b	76.85±14.06 b	10 734.54±532.61 a	75.76±1.30 a	73.29±3.31 a	9.70±1.84 a	2 879.86±199.11 a	13.49±2.32 b	42 784.98±3 222.25 a
ZG	5.20±0.46 a	59.71±2.61 ab	10 903.56±712.05 a	64.78±5.13 a	63.75±0.23 a	7.83±1.35 a	3 568.85±204.22 b	9.96±1.40 a	48 931.07±3 975.03 a

## 3 讨论

以 2 种不同砧木对黄瓜进行嫁接后, 光合参数和果实含水量测定的结果显示黄瓜嫁接后的光合性能、果实含水量及果实鲜干质量均未发生显著变化, 这与朱进等<sup>[12]</sup>的研究结果一致, 有别于嫁接可提高黄瓜光合特性的结论<sup>[13]</sup>。推测其可能的原因是本试验中所有材料均生长于温室钵钵中, 受到钵钵体积的局限, 限制了嫁接换根后砧木根系的生长优势, 致使嫁接苗的光合性能与自根苗无显著差别。而前人关于提高黄瓜光合特性的结论一般都属于田间试验, 砧木根系较黄瓜自身根系发达, 在控制土传病害的同时增加了对水分的吸收, 加快了植株的生长代谢<sup>[13-14]</sup>。说明了黄瓜嫁接只有保证植株根系生长才能发挥其加速生长和提高产量的优势。

前人研究显示, 以黑籽南瓜做砧木的黄瓜嫁接苗矿质元素 K、Ca、Mg 等吸收增多,  $\text{K}^+/\text{Na}^+$  得到明显改善<sup>[15-16]</sup>。但是没有人对嫁接黄瓜果实中的多种矿质元素包括微量元素含量的变化进行系统研究。同时为避免授粉对黄瓜果实发育的影响, 本试验采用强单性结实材料‘南水 2 号’黄瓜为接穗, 开花前进行夹花处理。对以 2 种材料做砧木嫁接后的黄瓜植株及自根苗材料的未授粉果实干物质中的 9 种矿质元素含量进行了测定和比较分析, 结果显示有多种元素的含量在嫁接苗和自根苗之间差异显著 ( $P \leq 0.05$ )。以黑籽南瓜做砧木的黄瓜果实相比自根苗果实, Cu 和 Se 元素含量增加, Mg 元素含量减少, 这与南瓜中含有较多的 Cu 及 Se 元素的报道相一致<sup>[17-18]</sup>。Cu 元素在植物中可作为酶的活化剂<sup>[19]</sup>, Se 能影响植物叶绿素的合成代谢和呼吸作用中的电子传递, 从

而调控植物的光合和呼吸作用<sup>[20]</sup>。而 Mg 可为蛋白质合成所必需的核糖亚单位联合作用提供一个桥接元素,并参与蛋白质合成中氨基的活化过程,故能影响到植株蛋白质代谢过程<sup>[21]</sup>。以渐渗系 10-1 做砧木的黄瓜果实, B 元素含量显著增加,其他元素含量与自根苗无差异。而 B 元素在植物中可调节 IAA 氧化酶的活性和细胞壁中木质素的降解,在植物生长中表现有一定的抗病作用,充足的 B 元素可以提高细胞壁的稳定性并防止病原菌的入侵<sup>[22-23]</sup>。推测具有抗线虫特性的渐渗系 10-1 材料根系对 B 元素的吸收能力较强,以渐渗系 10-1 做砧木嫁接换根后改变了栽培黄瓜根系对 B 元素的吸收,从而影响了接穗黄瓜果实中的元素含量。

黄瓜嫁接后的砧木根系取代黄瓜根系,使得根系对土壤中矿质元素的选择性吸收发生变化,改变了根系供给地上部的微量元素的数量及合成内源激素种类,进而影响到果实品质。本试验结果为今后深入研究嫁接砧木根系影响果实品质的相关机制奠定了基础。

### 参考文献

- [1] Lee J-M, Kubota C, Tsao S, et al. Current status of vegetable grafting: diffusion, grafting techniques, automation[J]. *Scientia Horticulturae*, 2010, 127 (2): 93-105.
- [2] 曾齐卫, 刘淑梅, 王施慧, 等. 黄瓜嫁接苗的应用现状及改进方案[J]. *中国蔬菜*, 2013 (1): 16-21.
- [3] Lee J M. Cultivation of grafted vegetables I. Current status, grafting methods, and benefits[J]. *HortScience*, 1994, 29 (4): 235-239.
- [4] 陈利平, 宋增军, 马兴庄, 等. 嫁接对日光温室黄瓜产品品质的影响[J]. *西北农业学报*, 2004, 13 (2): 170-171.
- [5] 刘桂华, 谢建滨. 电感耦合等离子体光谱和质谱法用于饮水中多元素分析的研究[J]. *卫生研究*, 2000, 29 (6): 359-361.
- [6] 钟志光, 贺柏龄. 玩具中有害重金属元素的 ICP-AES 分析[J]. *光谱实验室*, 1998, 15 (2): 72-75.
- [7] 王继生, 王鹤群, 郑永军, 等. 微波消解 ICP-AES 法测定四种中药材中的微量元素[J]. *济南大学学报: 自然科学版*, 2008, 22 (1): 59-62.
- [8] 徐润生, 毛程鹏, 虞锐鹏, 等. 微波消解 ICP-AES 法测定不同生长年限白芍的微量元素[J]. *光谱学与光谱分析*, 2008, 28 (3): 671-674.
- [9] 易齐, 王蔚. 黑籽南瓜——嫁接防病的优良砧木[J]. *中国植保导刊*, 1993 (2): 30.
- [10] 叶德友, 钱春桃, 陈劲枫, 等. 抗南方根结线虫黄瓜—酸黄瓜渐渗系的筛选及鉴定[J]. *园艺学报*, 2011, 38 (12): 2281-2288.
- [11] 刘俐. 水果黄瓜新品种“南水 2 号”[J]. *蔬菜*, 2012 (11): 32-33.
- [12] 朱进, 别之龙, 徐容, 等. 不同砧木嫁接对黄瓜生长、产量和品质的影响[J]. *华中农业大学学报*, 2006, 25 (6): 668-671.
- [13] 张衍鹏, 于贤昌, 张振贤, 等. 日光温室嫁接黄瓜的光合特性和保护酶活性[J]. *园艺学报*, 2004, 31 (1): 94-96.
- [14] 樊勇, 陶承光, 刘爱群. 不同砧木嫁接黄瓜盛瓜期光合特性研究[J]. *西北农业学报*, 2009, 18 (5): 253-257.
- [15] Yang L-f, Zhu Y-l, Hu C-m, et al. Effects of NaCl stress on the contents of the substances regulating membrane lipid oxidation and osmosis and photosynthetic characteristics of grafted cucumber[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2006, 26 (6): 1195.
- [16] Zhu J, Bie Z, Huang Y, et al. Effect of grafting on the growth and ion concentrations of cucumber seedlings under NaCl stress[J]. *Soil science and plant nutrition*, 2008, 54 (6): 895-902.
- [17] Stibilj V, Kreft I, Smrkolj P, et al. Enhanced selenium content in buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) and pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) seeds by foliar fertilisation[J]. *European Food Research and Technology*, 2004, 219 (2): 142-144.
- [18] Yadav M, Jain S, Tomar R, et al. Medicinal and biological potential of pumpkin: an updated review[J]. *Nutrition research reviews*, 2010, 23 (2): 184.
- [19] Gökkuş, A, Parlak A, Parlak M. Change of mineral element content in the common shrubs of Mediterranean zone. II. Micronutrients[J]. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 2013, 50 (1): 109-118.
- [20] 王丽霞, 硒元素的植物生理作用及生理机制研究进展[J]. *安徽农业科学*, 2010, 38 (1): 31-32.
- [21] 马斯纳 H, 曹一平, 陆景陵, 等. 高等植物的矿质营养[M]. 北京: 北京农业大学出版社, 1991: 143-148.
- [22] Woods WG. An introduction to boron: history, sources, uses, and chemistry[J]. *Environmental Health Perspectives*, 1994, 102 (7): 5.
- [23] Singh D, Gupta G. Downy mildew control in pearl millet through nutrient application[J]. *Indian Phytopathology*, 2012, 48 (4): 439-443.

(上接第 9 页)

- a novel bacterial protein export system with homologues in plastids and mitochondria[J]. *Journal of Biological Chemistry*, 1998, 273 (29): 18003-18006.
- [7] de Buck E, Lebeau I, Maes L, et al. A putative twin-arginine translocation pathway in *Legionella pneumophila*[J]. *Biochem Biophys Res Commun*, 2004, 317: 654-661.
  - [8] Chen L, Hu B S, Qian G L, et al. Identification and molecular characterization of twin-arginine translocation system (Tat) in *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae* strain PXO99 [J]. *Archives of Microbiology*, 2009, 191: 163-170.
  - [9] 于洋洋, 刘倩倩, 徐恩丽, 等. 梨火疫病菌 (*Erwinia amylovora*) 双精氨酸运输系统基因 (tatC) 的功能分析[J]. *农业生物技术学报*, 2011, 19 (6): 1081-1088.
  - [10] González E T, Brown D G, Swanson J K, et al. Using the *Ralstonia solanacearum* Tat secretome to identify bacterial wilt virulence factors[J]. *Applied and Environmental Microbiology*, 2007, 73 (12): 3779-3786.
  - [11] 张静, 张明. 大肠杆菌 Tat 转运酶的研究进展[J]. *生物学杂志*, 2006, 23 (6): 1-3.