

三种有机蔬菜结果期光合及荧光特性研究

张金梦¹, 江洪^{1,2}, 吴丹娜¹, 刘玉莉¹, 孙文文¹, 马锦丽¹

(1. 浙江农林大学 国际空间生态与生态系统生态研究中心, 浙江 杭州 311300; 2. 南京大学 国际地球系统科学研究所, 江苏 南京 210093)

摘 要:有机种植是在生态学理论指导下的一种重要的种植体系,但是缺乏对其深入的机理研究。该试验以结果时期的黄瓜、豇豆和番茄为研究对象,测定其在有机种植条件下叶片的光合特性、叶绿素荧光参数和叶绿素相对含量等指标,研究三者叶片光合特性的特点与差异。结果表明:3种有机蔬菜叶片的叶绿素含量大小为豇豆>黄瓜>番茄;3种有机蔬菜的净光合速率 P_n 、蒸腾速率 T_r 和气孔导度 G_s 对光强的响应为:豇豆>黄瓜>番茄,拟合的最大净光合速率 $P_{n_{max}}$ 和光饱和点 LSP 的大小为:黄瓜>豇豆>番茄,表观量子效率 AQE 、光补偿点 LCP 和暗呼吸速率 R_d 的大小为豇豆>黄瓜>番茄;PSII光化学效率 (F_v/F_m) 和 PSII潜在活性 (F_v/F_o) 大小均为黄瓜>豇豆>番茄。综合以上结果得出,有机黄瓜和豇豆的叶片的光合固碳能力较强,番茄弱之。

关键词:有机种植;黄瓜;番茄;豇豆;光合特性;叶绿素荧光;叶绿素相对含量

中图分类号:S 642.2;S 641.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2015)12-0010-05

有机农业(Organic Farming)是指在动植物生产过程中不使用化学合成的农药、化肥、生产调节剂、饲料添加剂等物质,以及基因工程生物及其产物。而是遵循自然规律和生态学原理,采取一系列可持续发展的农业技术,协调种植业和养殖业的平衡,维持农业生态系统持续稳定的一种农业生产方式^[1]。与常规农业(Conventional

Agriculture)相比,其核心特点是保持和提高土壤肥力,培育健康的土壤,生产高品质和安全的产品^[2]。作为一种环境友好型的农业方式,有机农业禁止使用化学合成的肥料投入,在一定程度上可以减少温室气体(CO_2 、 N_2O 、 CH_4)的排放^[3]。近年来,对于黄瓜、番茄光合特征与环境因子影响关系的报道较多^[4-11]。也有研究表明有机肥可以促进植株的生长发育,提高蔬菜的产量,对植株的茎粗、开花数等指标有较好的影响^[12-13]。但从有机种植条件下作物的生理生态特点方面入手的研究尚少。研究有机种植条件下作物的生理生态特点,对于探讨有机农业减排固碳的机理机制有重要的意义。黄瓜、豇豆和番茄进入结果期时植株生长盛期,对水肥需求量显著增加,保持最适的叶面积指数,群体达到最高程度的干物质产量,光合作用是植物重要的生理指标之一,是判断植物生产能力的重要生理过程。叶绿素荧光是研究植物光合能力的良好探针,可直接或间接了解植物的光

第一作者简介:张金梦(1988-),女,硕士研究生,研究方向为植物生理生态以及生态模型与模拟。E-mail:beike0922@163.com.

责任作者:江洪(1955-),男,博士,教授,博士生导师,现主要从事生态系统生态学与环境遥感和生态模型与模拟等研究工作。

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61190114,41171324);国家“973”重点基础研究发展规划资助项目(2011CB302705);上海市科学委员会资助项目(12231205101);上海市战略性新兴产业重大资助项目(重大 2013-14 号);上海市农委资助项目(沪农科政字(2012)第 2-2 号)。

收稿日期:2015-01-26

with the increase of irrigation, but as for glutamate synthase activity, there was no significant difference existed between I2 (0.8 Ep) and I3 (1.0 Ep) irrigation treatment. The contents of nitrate nitrogen and soluble protein in leaves of cucumber decreased with increase of irrigation water in fruiting stage, whereas there was no significant difference between I2 and I3 treatments. Under I2 and I3 irrigation level, the activities of nitrate reductase, glutamine synthetase and glutamate dehydrogenase in N2 (600 kg/hm²) treatment were significantly higher than those in N3 (750 kg/hm²) treatment, while there were no significant difference on the glutamate synthase activity and the contents of nitrate nitrogen and soluble protein between N2 and N3 treatments. According to enzyme activities related to nitrogen metabolism, the optimum irrigation level and nitrogen fertilizer application level for cucumber under subsurface drip irrigation were 0.8 Ep and 600 kg/hm², respectively.

Keywords: cucumber; subsurface drip irrigation; water and nitrogen fertilizer coupling; nitrogen metabolism

合作用过程,是一种对植物无损伤,测定迅速、准确的研究方法^[14]。该试验综合分析黄瓜、豇豆和番茄在有机种植条件下其叶片的光合特性和叶绿素荧光特性,对于研究有机农业减排固碳的机理机制和有机种植技术提高生产力有一定的意义。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

观测地点为上海多利农业发展有限公司浦东大团基地,地理位置北纬 30°58',东经 121°46',属亚热带季风季候,春秋较短,冬夏较长。1月最冷,7、8月最热,年均气温 17.3℃,极端高温 40.8℃,极端低温 -12.1℃,年均降雨量 1 428.2 mm,年无霜期 300 d 左右,历年平均日照 1 420 h,雨热同期,日照充分,雨量充沛。

1.2 试验材料

供试材料为基地内长势良好的番茄(“粉利亚 3 号”)、黄瓜(“碧玉”)和豇豆。

1.3 试验方法

3 种蔬菜同时播种育苗、定植在紧邻的塑料大棚内,均以机种植方式进行田间管理。基肥均使用充分腐熟的自制有机肥,菇渣:鸡粪:蔬菜废弃物=1:4:2,3 000 kg/667 m²。黄瓜每畦栽 2 行,中间留 60 cm 的通风行,株距 30 cm,每 667 m² 定植 2 500 株左右;番茄每畦栽 2 行,中间留 80 cm 的通风行,株距 35~40 cm。豇豆每垄间隔 70 cm 左右,每垄 2 行,穴距 30 cm,每穴 2~3 株。除结合追肥进行浇水外,三者的田间水分管理视苗情而定,每次浇水至土表以下 15 cm 潮湿,水量一致。并在追肥灌水后及时通风换气,以降低棚内空气湿度。

测定时 3 种蔬菜无病虫害发生,三者均处在结果期,果实陆续采摘。选取长势良好植株的中上部(约 110~130 cm 处)深绿色完整的叶片。因此,该研究中 3 种蔬菜的叶绿素含量、气体交换参数、叶绿素荧光参数等具有较高的可比性。

$$A = \frac{\phi \cdot Q + A_{\text{amx}} - \sqrt{(\phi \cdot Q + A_{\text{amx}})^2 - 4\phi \cdot Q \cdot K \cdot Q \cdot A_{\text{amx}}}}{2K} - R_{\text{day}},$$

式中, A 为净光合速率; Q 为光照强度; ϕ 为表观量子效率; K 为光合曲线的曲率,大小介于 0~1。

所有数据都在 Excel 中进行整理,用 SPSS 13.0 软件对试验数据进行处理和分析。在数据分析前,对所有数据进行正态性与齐性检验。利用 Sigma Plot 10.0 软件作图。

2 结果与分析

2.1 叶绿素相对含量分析

叶绿素作为光合色素中重要的色素分子,参与光合作用中光能的吸收、传递和转化,在光合作用中占有重要地位。已有研究发现 SPAD 值与叶绿素的含量有正相关关系^[15],可以用 SPAD 值推断黄瓜、番茄和豇豆叶

1.4 项目测定

于 2013 年 7 月上旬(结果盛期)选择天气晴朗的上午(7:30—10:00)用 Li-6400(LI-COR, USA)开路系统对有机蔬菜进行光响应曲线的测定,每隔 5 d 测定 1 次,共测定 3 次取平均值。每次选择植株中上部成熟的 5~6 片,每个叶片记录 1 条 Pn - PAR 曲线。测定时气体流速设置为 $500 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,红蓝光源做内置光源。光合有效辐射(PAR)设置 12 个梯度,为 2 000、1 800、1 500、1 000、800、500、200、100、80、50、20、0 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,测定时由高光强向低光强进行自动打点,测定指标包括净光合速率 Pn ($\text{CO}_2 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)、气孔导度 G_s ($\text{H}_2\text{O mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)、胞间 CO_2 浓度 C_i ($\text{CO}_2 \mu\text{mol/mol}$)、蒸腾速率 Tr ($\text{H}_2\text{O mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)等,计算水分利用效率 WUE ($\text{CO}_2 \mu\text{mol}/\text{mmol H}_2\text{O}$),其中水分利用效率 $WUE = \text{净光合速率}(Pn) / \text{蒸腾速率}(Tr)$ 。

同一时间用便携式调制叶绿素荧光仪(PAM2500, Walz, Germany)进行叶绿素荧光的测定。经 15 min 以上的暗适应后测定,荧光测定的主要参数有 PSII 光化学效率(F_v/F_m)、PSII 潜在活性(F_v/F_o)和 PSII 的实际光合量子产量 $Y(II)$ 等。用便携式叶绿素含量测定仪(SPAD-502, Japanese),每个叶片中脉两侧均匀选取 5 个点读取 SPAD 值,求平均值作为该叶片的 SPAD 值。

1.5 数据分析

利用 Photosyn Assistant 软件对 Pn - PAR 光响应曲线进行拟合,得到最大净光合速率(A_{max} , $\text{CO}_2 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)、暗呼吸速率(R_d , $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)、光饱和点(LSP , $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)、光补偿点(LCP , $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)、表观量子效率(AQE , $\text{CO}_2 \text{ mol/mol photon}$)。

Photosyn Assistant 软件中进行光响应曲线拟合的方程为:

片的叶绿素含量是否有显著性差异。该研究结果表明,三者叶绿素含量之间存在极显著性差异($P < 0.01$)。如图 1 所示,3 种有机蔬菜叶片的叶绿素相对含量大小为豇豆>黄瓜>番茄。现有研究表明叶片叶绿素含量越高,发挥的光合潜能越高^[16]。

2.2 气体交换参数特性分析

从图 2 中可以看出,有机黄瓜、番茄和豇豆叶片的各气体交换参数随光强的变化趋势一致,但各参数的数值间存在差异。各参数中, Pn 和 WUE 的变化趋势最相似,当 PAR 为 0~200 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,3 种蔬菜叶片的 Pn 和 WUE 无明显差异,随着 PAR 的增加, Pn 几乎

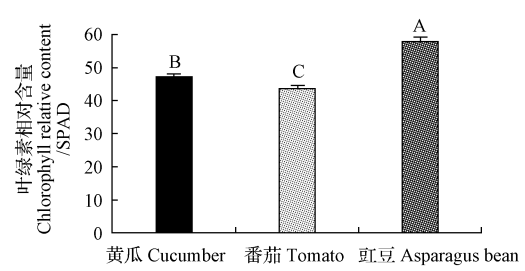
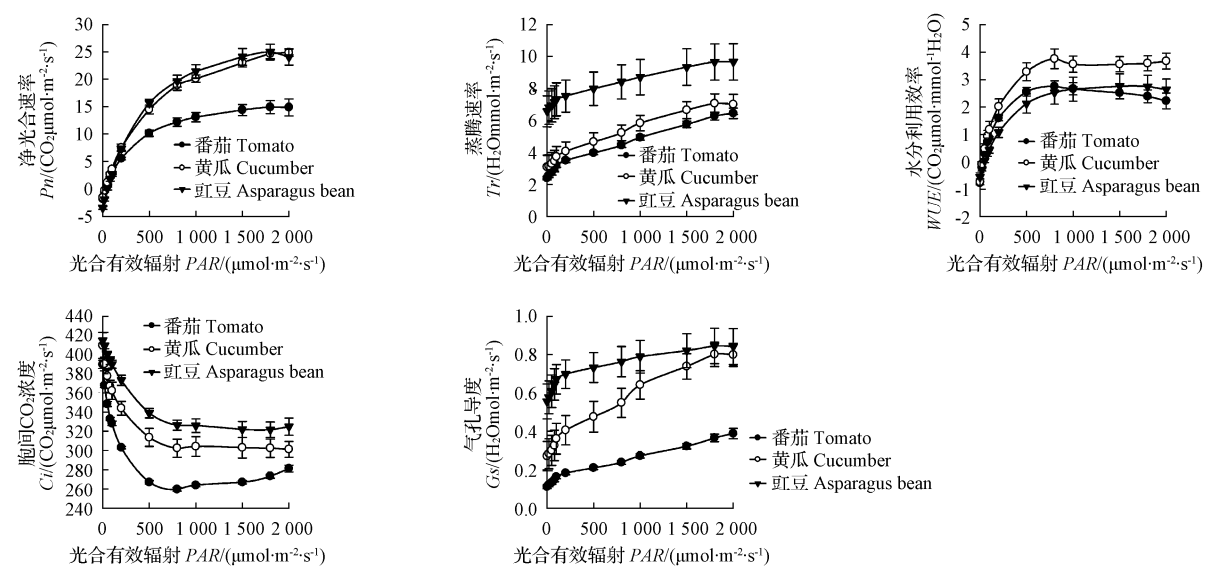


图 1 有机蔬菜叶片 SPAD 值对比
Fig. 1 SPAD value comparison of organic vegetables in the fruiting period

呈线性增加;当 PAR 高于 $200 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 时, P_n 和 WUE 增长趋势变缓直到达到最高值时稳定,黄瓜和豇豆叶片的 P_n 和 WUE 间没有明显差异,但是二者均明显高于番茄。

气体交换参数中, C_i 独自表现为下降的趋势,随着 PAR 增加,叶片的 C_i 快速下降,在 $800 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 左右时最低,且番茄<黄瓜<豇豆。随着 PAR 的增加,3 种蔬菜的叶片的气孔导度 G_s 和蒸腾速率 T_r 的变化规律基本一致,且均为豇豆>黄瓜>番茄,随着气孔的打开,蒸腾增加,气孔对叶片蒸腾有着很强的调节作用^[17]。



注:图中数据为平均数±标准误(显著性水平 $P=0.05$);下同。
Note: Each value in the figure represents mean±standard error ($P=0.05$); the same as below.

图 2 有机蔬菜光响应曲线对比
Fig. 2 Light response curve's comparison of organic vegetables in the fruiting period

2.3 光响应曲线拟合参数的分析
从表 1 可以看出,3 种蔬菜成熟叶片的最大净光合速率均值为黄瓜最大,豇豆次之,番茄最小。且黄瓜与豇豆的 $P_{n_{max}}$ 显著大于番茄,说明黄瓜与豇豆叶片的光合能力比同期的番茄叶片强;黄瓜的光饱和点最高,显著高于番茄和豇豆的,说明黄瓜叶片对强光的需求显著高于番茄与豇豆,不易出现光抑制。豇豆叶片的 LCP

和 R_d 均显著高于黄瓜与番茄的,说明豇豆对光照利用范围较黄瓜的窄,且叶片自身的呼吸消耗量较大,这样不利于自身的能量积累。但是豇豆的 AQE 显著高于黄瓜与番茄,黄瓜与番茄之间 LCP 、 R_d 和 AQE 间没有显著差异,表明 2 种蔬菜对弱光的利用范围、利用效率以及自身叶片的呼吸消耗量基本相等。

表 1 有机蔬菜光响应曲线部分拟合参数对比

蔬菜 Vegetable	最大净光合速率 $P_{n_{max}}$ /($\text{CO}_2 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	表观量子效率 AQE /($\text{CO}_2 \text{mol} \cdot \text{mol}^{-1} \text{photon}$)	光补偿点 LCP /($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	光饱和点 LSP /($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	暗呼吸速率 R_d /($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)
黄瓜 Cucumber	36.32±2.22a	0.053±0.004b	25.06±3.01b	739.0±95.411a	-1.748±0.186b
番茄 Tomato	20.13±2.06b	0.053±0.003b	31.97±1.73b	410.0±21.28b	-1.687±0.077b
豇豆 Asparagus bean	34.25±1.60a	0.067±0.001a	52.30±2.82a	564.5±18.68ab	-2.365±0.283a

2.4 叶绿素荧光参数分析

在众多的荧光参数中, F_v/F_m 、 F_v/F_o 和 $Y(II)$ 是最常见的研究因子,高的 F_v/F_m 、 F_v/F_o 和 $Y(II)$,被认为是植物叶片光合效率的重要依据。在低光强条件下,光化学效率的高低直接决定叶片光合效率的高低。由表 2 叶绿素荧光值结果可知,黄瓜、番茄豇豆叶片的最大荧光产量 F_m 值无显著差异性, F_m 反映中心处于完全关闭时的荧光产量。而番茄叶片的最小荧光产量 F_o 略高

于黄瓜和豇豆(在 95% 置信区间上),说明番茄不参与 PSII 光化学反应的光能辐射部分较高。3 种蔬菜间的最大可变荧光强度没有显著差异。 F_v/F_m 和 F_v/F_o 分别表示植物叶片光系统 II 原初光能转换效率和光系统 II 的潜在活性^[18],黄瓜叶片的光系统 II 原初光能转换效率和光系统 II 的潜在活性明显高于番茄和豇豆。 F_v/F_m 常用来检测植物的光抑制, F_v/F_m 越低,证明其发生光抑制的程度越高^[19]。

表 2

有机蔬菜叶片叶绿素荧光参数比较

Table 2

Comparison of leaf chlorophyll fluorescence parameters of organic vegetables

蔬菜 Vegetable	光化学速率 Photochemical reaction speed					
	最小荧光产量 F_o	最大荧光产量 F_m	最大可变荧光强度 F_v	PSII 光能转化效率 F_v/F_m	PSII 的潜在活性 F_v/F_o	ETR_o
黄瓜 Cucumber	0.435±0.010b	2.320±0.052a	1.886±0.044a	0.813±0.002a	4.341±0.053a	17.2±0.25a
番茄 Tomato	0.459±0.008a	2.325±0.036a	1.865±0.033a	0.802±0.004b	4.076±0.084b	17.3±0.27a
豇豆 Asparagus bean	0.434±0.004b	2.282±0.031a	1.848±0.033a	0.809±0.004ab	4.265±0.099ab	17.6±0.16a

3 结论与讨论

该试验结果表明,3 种有机蔬菜叶片叶绿素含量的大小为豇豆>黄瓜>番茄,得出豇豆可以发挥的光合潜能最大,黄瓜次之,番茄最小。由光响应曲线结果看出,3 种有机蔬菜的 P_n 、 T_r 和 G_s 对光强的相应大小为豇豆>黄瓜>番茄,最大拟合的 $P_{n_{max}}$ 和 LSP 的大小为黄

瓜>豇豆>番茄, AQE 、 LCP 和 R_d 的大小为豇豆>黄瓜>番茄。从 3 种蔬菜叶片的 F_v/F_m 和 F_v/F_o 均为黄瓜>豇豆>番茄,说明黄瓜叶片受到强光的抑制程度最小,番茄最大。综合以上结果得出,有机黄瓜和豇豆叶片的光合固碳能力较强,番茄弱之。

表 3

有机种植与常规种植主要光合参数对比

Table 3

Comparison of photosynthetic parameters of vegetables plants between organic farming and conventional farming

对比指标 Contrast ratio	种植模式 Planting pattern	黄瓜 Cucumber	番茄 Tomato	豇豆 Asparagus bean
叶绿素相对含量/SPAD	有机种植	43.9~52.8/49.4~50.3 ^[21]	39.0~49.4	54.4~62.0
	常规种植	49.43~56.72 ^[22]	43.88~49.73 ^[22]	—
最大净光合速率 $P_{n_{max}}$ /($\text{CO}_2 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	有机种植	26.6~40.7	17.2~24.1	30.2~37.8
	常规种植	19.45~24.12 ^[22]	18.21~32 ^[22-23]	15.53~24.5 ^[27-28]
光补偿点 LCP /($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	有机种植	24.3~37.9	28.5~33.8	48.5~59.4
	常规种植	30~52 ^[25]	51~75 ^[23]	—
光饱和点 LSP /($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	有机种植	564~1 022	312~452	511~593
	常规种植	678~1 187 ^[25-26]	1 000~1 200 ^[23]	—

目前国内在有机农业减排固碳方面的研究较少,通过对比有机种植与常规种植条件下黄瓜的光合特征的差异,探讨有机种植是否可以提高蔬菜的光合能力。如表 3 所示,有机种植和常规种植条件下,黄瓜、豇豆和番茄的 SPAD、 $P_{n_{max}}$ 、 LCP 和 LSP 等指标间没有一致的差异性规律。原因是蔬菜叶片的光合特性因叶位不同、叶下有无结果、品种不同、水肥条件不同,叶片的光合特性有着明显不同^[20]。但是也有研究表明,有机肥料对于蔬菜叶片光合作用有一定的影响。李吉进等^[13]、曹丹等^[21]的研究表明,施用有机肥可以明显提高黄瓜和番茄叶片的叶绿素含量,但是不同施用量之间没有明显差异。韦泽秀^[22]的研究表明,黄瓜结果期叶片的叶绿素含

量高于番茄同期,且同时提高水肥条件可以提高叶片的光合能力,延长植株的衰老,延长结果期保证高产量。王磊等^[16]研究表明,在土壤水分含量较低的种植条件下,施加有机肥料后番茄的光合速率有所提高,这表明施加有机肥料有助于维持干旱条件下,作物的正常生长。适当补充土壤含水量可以提高植物的光饱和点(LSP)和光补偿点(LCP)^[23-24]。

参考文献

- [1] Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), World Health Organization (WHO). Guidelines for the production, processing, labeling and marketing of organically produced foods (GL32-1999/2001)[S]. Codex Alimentations, 2001; 5-11. ftp://ftp.fao.org/codex/standard/organic/gl99_32e.pdf.

- [2] 马世铭, Sauerborn J. 世界有机农业发展的历史回顾与发展动态[J]. 中国农业科学, 2004, 37(10): 1510-1516.
- [3] 刘月仙, 吴文良, 蔡新颜. 有机农业发展的低碳机理分析[J]. 中国生态农业学报, 2011, 19(2): 441-446.
- [4] 张福漫, 马国成. 日光温室不同季节的生态环境对黄瓜光合作用的影响[J]. 华北农学报, 1995, 10(1): 70-75.
- [5] 马德华, 庞金安, 霍振荣, 等. 环境因素对黄瓜幼苗光合特性的影响[J]. 华北农学报, 1997, 12(4): 97-100.
- [6] 徐克章, 史跃林, 许贵民, 等. 保护地黄瓜叶片光合作用温度特性的研究[J]. 园艺学报, 1993, 20(1): 51-55.
- [7] 罗新兰, 李天来, 姚运生, 等. 日光温室气象要素及番茄单叶光合速率日变化模拟的研究[J]. 园艺学报, 2004, 3(5): 607-612.
- [8] 郭泳, 李天来, 黄广学, 等. 环境因素对番茄单叶净光合速率的影响[J]. 沈阳农业大学学报, 1998, 29(2): 127-131.
- [9] 罗新兰, 李天来, 李国春, 等. 日光温室番茄叶片净光合速率与气象因子的关系[J]. 江苏农业科学, 2007(4): 89-92.
- [10] 史为民, 陈青云, 乔晓军. 日光温室黄瓜叶片光合速率模型及其参数确定的初步研究[J]. 农业工程学报, 2005, 21(5): 113-118.
- [11] 丁兆堂, 卢育华, 徐坤. 环境因子对番茄光合特性的影响[J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 2004, 34(3): 356-360.
- [12] 王立河, 孙新征, 赵嘉茹, 等. 有机肥与氮肥配施对日光温室黄瓜产量和品质的影响[J]. 中国农学通报, 2006, 22(11): 237-242.
- [13] 李吉进, 宋东涛, 邹国元, 等. 不同有机肥料对番茄生长及品质的影响[J]. 中国农学通报, 2008, 24(10): 300-305.
- [14] 赵会杰, 邹琦, 于振文. 叶绿素荧光分析技术及其在植物光合机理研究中的应用[J]. 河南农业大学学报, 2000, 34(3): 248-251.
- [15] 艾天成, 李方敏, 周治安, 等. 作物叶片叶绿素含量与 SPAD 值相关性研究[J]. 湖北农学院学报, 2000, 20(1): 6-8.
- [16] 王磊, 任树梅, 毕勇刚, 等. 土壤水分及有机肥料对番茄叶片光合特性及叶绿素含量影响的实验研究[J]. 灌溉排水学报, 2004, 23(2): 66-68.
- [17] 傅家瑞, 宋松泉, 黄上志, 等. 植物生理学[M]. 广州: 中山大学出版社, 1998.
- [18] 刘悦秋, 孙向阳, 王勇, 等. 遮荫对异株荨麻光合特性和荧光参数的影响[J]. 生态学报, 2007, 27(8): 3457-3464.
- [19] Krause G H, Weis E. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: The basics. Annu. Rev. Plant Physiol. [J]. Plant Mol Biol, 1991, 43: 313-349.
- [20] 卢育华, 申玉梅, 陈莉平. 黄瓜单个叶片光合特性研究[J]. 园艺学报, 1994, 21(1): 54-58.
- [21] 曹丹, 宗良纲, 肖峻, 等. 生物肥对有机黄瓜生长及土壤学特性的影响[J]. 应用生态学报, 2010, 21(10): 2587-2592.
- [22] 韦泽秀. 水肥对大棚黄瓜和番茄生理特性及土壤环境的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2009.
- [23] 朱延妹, 樊金娟, 冯辉. 弱光胁迫对不同生育期番茄光合特性的影响[J]. 应用生态学报, 2010, 21(12): 3141-3146.
- [24] 陈凯利, 李建明, 贺会强, 等. 水分对番茄不同叶龄叶片光合作用的影响[J]. 生态学报, 2013, 33(16): 4919-4929.
- [25] 艾希珍, 马兴庄, 玉立明, 等. 日光温室黄瓜叶片展开过程中光合特性的变化[J]. 中国农业学报, 2005, 38(3): 558-564.
- [26] 艾希珍, 张振贤, 何启伟, 等. 日光温室黄瓜不同叶位叶片光合作用研究[J]. 中国农业科学, 2002, 35(12): 1519-1524.
- [27] 胡志辉, 陈禅友. 豇豆光合特性研究[J]. 江汉大学学报(自然科学版), 2005, 33(3): 76-78.
- [28] 林碧英, 张瑜, 林义章. 不同光质对豇豆幼苗光合特性和若干生理生化指标的影响[J]. 热带作物学报, 2011, 32(2): 235-239.

Study on Photosynthetic and Chlorophyll Fluorescence Characteristics of Three Kinds of Organic Vegetables

ZHANG Jin-meng¹, JIANG Hong^{1,2}, WU Dan-na¹, LIU Yu-li¹, SUN Wen-wen¹, MA Jin-li¹

(1. International Ecological Research Center, Zhejiang Agricultural and Forestry University, Hangzhou, Zhejiang 311300; 2. International Earth System Scientific Institute, Nanjing University, Nanjing, Jiangsu 210093)

Abstract: Organic farming is an important kind of cultivation under the guidance of ecology theory. Nonetheless there is lack of the further research about its mechanism. The photosynthetic capability of cucumber, asparagus bean and tomato in the fruiting period were studied, as they were grown in normative organic horticulture. Photosynthetic characteristics, chlorophyll fluorescence and the relative chlorophyll content were compared between cucumber, asparagus bean and tomato under same organic growing conditions. The results showed that the value of the relative chlorophyll content of the three vegetables' leaves was asparagus bean > cucumber > tomato. The corresponding of $Pn/Tr/Gs$ of the three organic vegetables to light intensity was asparagus bean > cucumber > tomato. The value of fit Pn_{max} and LSP was cucumber > asparagus bean > tomato. The value of AQE , LCP and Rd was asparagus bean > cucumber > tomato. The value of Fv/Fm and Fv/Fo was cucumber > asparagus bean > tomato. Based on the above results, it showed that the photosynthetic capability of the organic cucumber and asparagus were stronger than tomato's.

Keywords: organic farming; cucumber; tomato; asparagus bean; photosynthetic characteristics; chlorophyll fluorescence; the relative chlorophyll content