

不同作物秸秆还田对设施黄瓜生长 及光合特性的影响

高青海, 陆晓民, 贾双双

(安徽科技学院 应用微生物研究所, 安徽蚌埠 233100)

摘 要:以黄瓜品种‘津优4号’和经过1年腐熟的花生秸秆、玉米秸秆和稻壳为试验材料,研究不同作物秸秆还田对黄瓜生长、营养吸收及光合特性的影响。结果显示:(1)与对照相比,不同作物秸秆还田不仅显著增加了黄瓜植株的根系活力和叶片硝酸还原酶活性,而且提高了黄瓜叶片的叶绿素含量、PSⅡ最大光化学效率(F_v/F_m)和实际光化学效率($\Phi_{PSⅡ}$)及光合速率,使得黄瓜叶片对光能的利用效率增加,净光合速率显著增强。(2)不同秸秆还田还促进了黄瓜的株高、茎粗、地上部和根系的干鲜重增加,显著提高了黄瓜产量。(3)玉米秸秆还田效果最好,其黄瓜产量($5\,765.74\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$)较对照显著提高了43.8%,其次为花生秸秆还田,稻壳还田效果稍差。研究表明,秸秆还田促进了黄瓜植株根系吸收能力,显著增强了叶片的氮代谢、光能利用效率、净光合速率,从而促进了黄瓜植株的生长发育,提高了产量,并以玉米秸秆还田效果最佳。

关键词: 秸秆还田; 黄瓜; 生长发育; 光合速率

中图分类号: Q945.79

文献标志码: A

Effects of Different Crop Straw Returnings on Growth and Photosynthesis Characteristic of Cucumber

GAO Qinghai, LU Xiaomin, JIA Shuangshuang

(Institute for Applied Microbiology, Anhui Science and Technology University, Bengbu, Anhui 233100, China)

Abstract: With cucumber varieties ‘Jinyou No. 4’ and peanut vine straw, corn straw and rice husk of after 1 year rotten as test materials, the effects of different crops straw returning on growth and photosynthesis characteristic of cucumber were investigated in protected cultivation. The results showed that: (1) Crop straw returning not only could significantly increase root activity and leaf nitrate reductase activity of cucumber, but also could improve leaf chlorophyll content, F_v/F_m , $\Phi_{PSⅡ}$ and photosynthetic rate of cucumber leaves, compared with the control. So light use efficiency of cucumber leaves was increased, net photosynthetic rate significantly enhanced, thereby promoting growth and development of cucumber. (2) The plant height and stem increased, the fresh and dry weight of cucumber increased, and significantly improved the yield of cucumber. (3) One of the best straw returning is maize straw returning, its yield reached $5\,765.74\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$, the treatment yields 43.8% higher than compared with the control; followed by peanut vine straw returning, rice husk straw returning less effective. We concluded that straw returning promoted root absorption capacity, significantly improved leaf nitrogen metabolism, light energy use efficiency, net photosynthetic rate of cucumber, so as to promote the growth of the cucumber plant, improve the production, and the effect of corn straw returning was the best.

收稿日期: 2013-07-06; 修改稿收到日期: 2013-09-09

基金项目: 安徽省自然科学基金(1208085QC55); 安徽科技学院引进人才基金(ZRC2009250)

作者简介: 高青海(1977—), 男, 博士, 副教授, 主要从事蔬菜高产栽培生理的研究。E-mail: gaoqh1977@163.com

Key words: straw returning; cucumber; growth and development; photosynthesis rate

由于在日光温室内连作及大量使用氮肥,常引起设施土壤化学性质变化,包括氮肥利用率降低及土壤氮肥含量增加^[1],导致土壤的次生盐渍化和酸化。加之土壤中的病原微生物的富集,引起了设施土壤连作障碍的频发^[2],已成为限制设施农业可持续发展的瓶颈^[3]。

近年来,秸秆还田对土壤改良作用及其对作物影响已成为国内外研究的热点。研究表明,秸秆还田可以改善土壤的理化性质,提高土壤微生物的含量^[4],增加土壤有机质含量和矿质养分含量^[5],而且还能显著提高作物水分利用效率^[6]、光合速率^[7]等,从而提高作物产量和改善品质^[8],为农业可持续发展奠定了基础。目前,作物秸秆还田在大田中的应用比较广泛,所采用的作物秸秆多为玉米、小麦等秸秆^[8-9]。鉴此,本试验通过设置不同类型作物秸秆还田,研究秸秆还田对设施黄瓜生长发育的影响,旨在探明不同作物秸秆还田对设施黄瓜光合特性的影响机理,为丰富和完善秸秆还田设施栽培提供参考。

1 材料和方法

1.1 试验材料

黄瓜材料品种为‘津优4号’,种子购于合肥丰乐种业股份有限公司。花生、玉米秸秆和稻壳来源于凤阳县农户,预先进行1年的腐熟处理。

1.2 试验设计

试验于2011年11月~2012年8月在安徽科技学院生命科学学院园艺实习基地内进行。供试温室土壤为黄褐土,肥力中等,前2茬种植的作物及肥水管理一致。土地平整,0~30 cm土壤理化性质中的机质含量为 $15.56 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,全氮、全磷、全钾含量分别为 0.84 、 1.02 和 $9.35 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,而碱解氮、速效磷、速效钾含量分别为 10.22 、 36.32 、 $115.76 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,pH为 7.15 。2011年11月将经过1年腐熟的不同作物秸秆进行粉碎(稻壳不用),长度在5~10 cm,12月在日光温室内土壤开深30 cm、宽40 cm的沟,将等量的粉碎作物秸秆平铺于其中,施入量均 $10\,000 \text{ kg/hm}^2$;每 667 m^2 基肥施入量为磷酸二铵 80 kg +硫酸钾 30 kg ,按照秸秆矿物质含量,对照处理每 667 m^2 多施入复合肥 10 kg 。随后进行消毒处理,最后用土覆盖起垄,垄的宽高分别为 $50 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$,大水浇透,踏实备用。黄瓜于2012年2月5日播种,待长至四叶一心时,选择大小一致的黄

瓜幼苗于3月20日定植做好的垄上,按照常规进行田间管理,后期追肥量一致。试验共设4个处理,分别为CK(不加秸秆)、 T_1 (花生秸秆还田)、 T_2 (玉米秸秆还田)和 T_3 (稻壳还田)。每个处理设3次重复,随机区组排列,小区面积为 24 m^2 。分别在黄瓜定植20和40 d时进行生理指标的测定,图标中数据均3次重复的平均值。

1.3 指标测定

1.3.1 株高和茎粗 每个处理随机取10株标记,每隔7 d测定1次株高、茎粗,分别记录数据。首次测定时间为3月25日,株高测定工具为精度为毫米的直尺,茎粗采用游标卡尺进行测定。

1.3.2 植株干鲜重 在定植60 d时分别取植株地上、地下部分,用电子天平称量鲜重并记录数据。然后把植株地上部和根系分放入托盘中,放入 80°C 恒温箱2 d,最后取出称量干重并记录数据。

1.3.3 叶绿素及光合参数 叶绿素含量采用分光光度法进行测定^[10],光合参数采用美国Li-COR公司生产的Li-6400便携式光合作用测定系统进行测定。分别在定植20和40 d时每个小区选6株有代表性、长势一致的植株,选择上数第2片功能叶进行光合参数测定,测定时间为9:30~10:30,光量子通量密度为 $(820 \pm 10) \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,温度为 $(28.0 \pm 2.0)^\circ\text{C}$ 。

1.3.4 荧光参数 F_0 、 F_m 、 F_m' 、 F_s 等荧光参数用FMS-2脉冲调制式荧光仪测定。分别在定植20和40 d时选取黄瓜植株上数第3片叶进行测定,将叶片暗适应30 min后,测定 F_0 、 F_m 、 F_s 及PSⅡ最大光化学效率 F_v/F_m ,然后在光下测定 F_0' 、 F_m' 、 F_s' 等参数;实际光化学效率 Φ_{PSII} 按公式 $(F_m' - F_s')/F_m'$ 计算,光适应下荧光参数的测定参见文献^[11]。

1.3.5 根系活力和硝酸还原酶活性 黄瓜叶片硝酸还原酶(NR)活性测定采用活体法,根系活力测定采用TTC法,具体参照李合生^[10]的方法。测定时间在定植20和40 d。

1.4 数据处理

以上测定每个处理均为3次重复,采用Excel 2007和SPSS 13.0软件对数据进行分析。

2 结果与分析

2.1 不同作物秸秆还田对黄瓜幼苗生长的影响

2.1.1 株高和茎粗 由图1可知,作物秸秆还田对

黄瓜的株高和茎粗均有不同程度的影响,促进了其株高和茎粗的生长。在黄瓜生长前期,不同秸秆还田处理对黄瓜的株高影响差异不大,但在后期影响差异加大,并以 T₂ 处理的株高最大(172.5 cm),比对照处理高出 13.3%。茎粗也有类似的变化趋势,其中 T₂ 处理的茎粗(0.65 cm)比对照高 16.1%。由此说明,不同类型的秸秆还田均有利于设施黄瓜的生长,并以玉米秸秆还田促进黄瓜生长的效果最为显著。

2.1.2 鲜重和干重 由表 1 可以看出,各秸秆还田处理的黄瓜植株地上部和根部的生物量比相应对照都有不同程度增加,且大多达到显著水平;不同的秸秆还田处理的促进效果有所差异,均表现为 T₂ 处理最高,T₁ 次之,T₃ 最低。其中,T₂ 处理黄瓜植株地上部鲜重、干重和根系鲜重和干重分别比对照提高了 65.60%、74.57%和 59.21%、44.13%;各生物量指标中,地上部鲜重对处理的反应最敏感,各处理间及其与对照间均达到显著差异水平($P<0.05$),而以地上部干重反应最不敏感,除 T₂ 处理外,对照间均差异不显著($P>0.05$)。可见,采用不同秸秆

还田能够促进黄瓜的生长,增加地上部分和根部生物量累积,并以处理 T₂(玉米秸秆还田)效果最佳。

2.2 不同作物秸秆还田对黄瓜根系活力和叶片硝酸还原酶活性的影响

由图 2 可知,不同作物秸秆还田还可以有效地提高设施黄瓜的根系活力,促进了黄瓜叶片的氮代谢,提高了黄瓜叶片的硝酸还原酶活性,但不同的秸秆还田效果有所差异,且各时期处理表现出 T₂>T₁>T₃>CK 的相似趋势。其中,T₂ 处理根系活力在定植 20 d 时比对照显著提高了 32.5%,并显著高于其余处理,T₃ 处理与对照差异不显著;在定植 40 d 时,T₂ 秸秆还田效果依然显著,但 T₁、T₃ 与对照均无显著差异。T₂ 处理的黄瓜叶片硝酸还原酶活性在定植 20 d 时比对照显著提高了 32.6%,T₁、T₃ 也显著高于对照;在定植 40 d 时,T₁ 和 T₂ 秸秆还田处理的叶片硝酸还原酶活性依然显著高于对照,但 T₃ 与对照已无显著差异。由此说明,不同秸秆还田处理均不同程度地提高了黄瓜的根系活力和叶片硝酸还原酶活性,尤其是 T₂ 处理效果最显著。

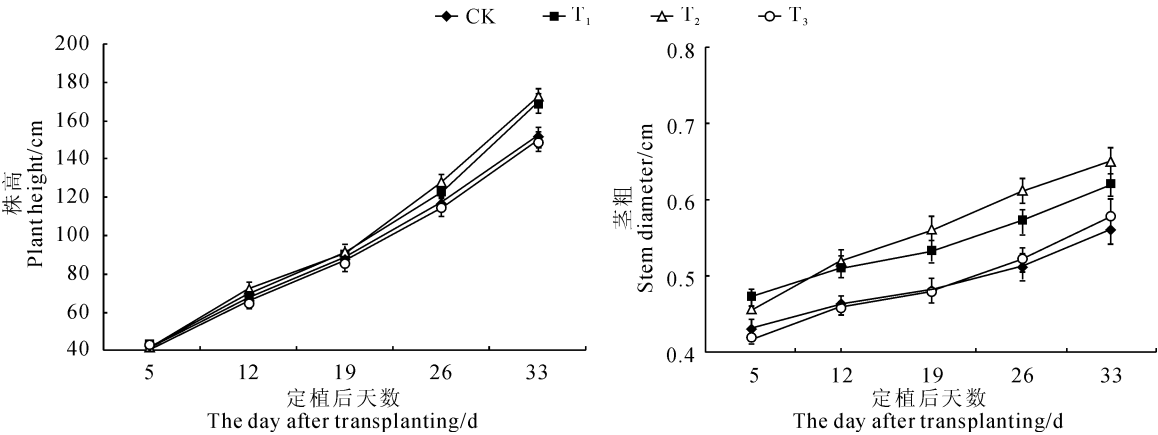


图 1 不同秸秆处理对黄瓜株高和茎粗的影响
Fig.1 Effects of different straw returning treatments on plant height and stem diameter in cucumber

表 1 不同作物秸秆还田处理对黄瓜生物量的影响

Table 1 Effects of different straw returning treatments on plant biomass in cucumber/(g · plant⁻¹)

处理 Treatment	地上部鲜重 Shoot fresh weight	地上部干重 Shoot dry weight	根系鲜重 Root fresh weight	根系干重 Root dry weight
CK	625.44±12.32d	38.46±1.36b	20.42±0.83c	3.83±0.13d
T ₁	960.72±9.43b	56.35±3.42b	29.64±1.24a	5.16±0.18b
T ₂	1 035.71±19.15a	67.14±3.67a	32.51±1.61a	5.52±0.24a
T ₃	652.32±8.21c	42.92±2.14b	25.86±1.15b	4.24±0.19c

注:同列数据后不同字母表示差异显著($P<0.05$);下同。
Note:Different letters following the data in the same column meant significant difference at 0.05 levels;The same as below.

2.3 不同作物秸秆还田对黄瓜叶绿素含量和光合速率的影响

由图 3 可知,与对照相比,秸秆还田提高了黄瓜叶片叶绿素含量和光合速率,不同秸秆还田对其影响有所差异,且各时期处理表现出 $T_2 > T_1 > T_3 > CK$ 的相似趋势。其中,在定植 20 d 时, T_2 处理黄瓜的叶片叶绿素含量和光合速率最高,分别比对照提高了 12.0% 和 30.9%,叶绿素含量与 T_1 处理差异不显著,光合速率对照与 T_3 处理差异不大。在定植 40 d 时, T_1 和 T_2 秸秆还田处理的叶片叶绿素和光合速率依然显著高于对照,但 T_3 与对照无显著差异。由此说明,不同秸秆还田处理均不同程度地提高了黄瓜的叶绿素含量和光合速率,尤其是 T_2 处理效果最显著。

2.4 不同作物秸秆还田对黄瓜叶片荧光参数的影响

F_v/F_m 为暗适应下 PSII 最大光化学效率,反映了光合机构对光能吸收转化的状态。由图 4 可知,

与对照相比,不同秸秆还田处理均不同程度地提高了黄瓜叶片光化学效率,增强了光合机构对光能的吸收转化能力;不同秸秆还田对叶片光化学效率影响有所差异,均表现为 $T_2 > T_1 > T_3 > CK$ 。其中,在处理 20 和 40 d 时,各秸秆还田处理($T_1 \sim T_3$)黄瓜叶片的光化学效率(F_v/F_m)均显著高于对照, T_2 和 T_1 处理的 Φ_{PSII} 值也均显著高于对照,说明秸秆还田能够显著地提高黄瓜叶片光合机构对光能的利用效率。

2.5 不同作物秸秆还田对黄瓜坐果率、单果重及产量的影响

黄瓜的产量也是反映其生长发育状况的重要指标。由表 2 可以看出,与对照相比秸秆还田不仅提高了黄瓜的坐果率和单果重,而且还提高了产量。不同的秸秆还田效果有所差异,其中 T_2 处理的黄瓜产量为 $5\,765.74\text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$,比对照增产 43.8%,其次为 T_1 处理的黄瓜产量为 $5\,506.52\text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$, T_3 处理的

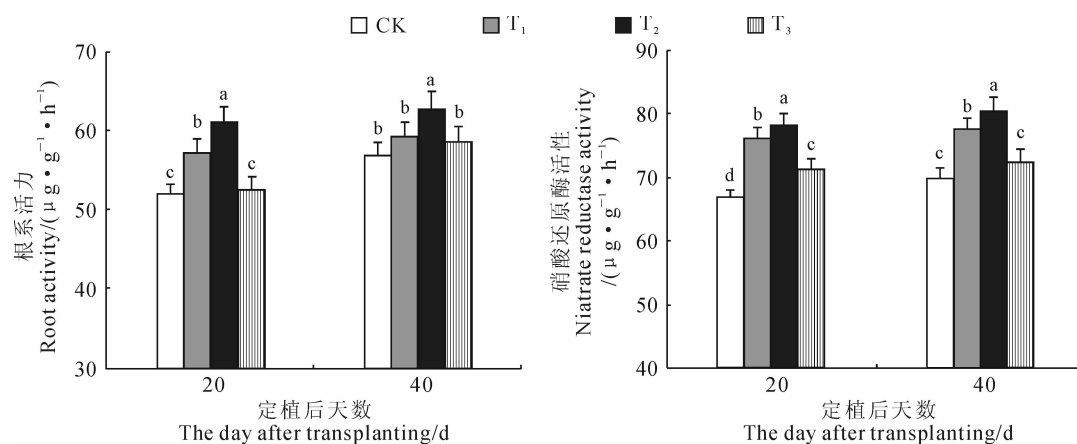


图 2 不同秸秆处理对黄瓜根系活力和叶片硝酸还原酶活性的影响

Fig. 2 Effects of different straw returning treatments on root activity and leaf nitrate reductase activity in cucumber

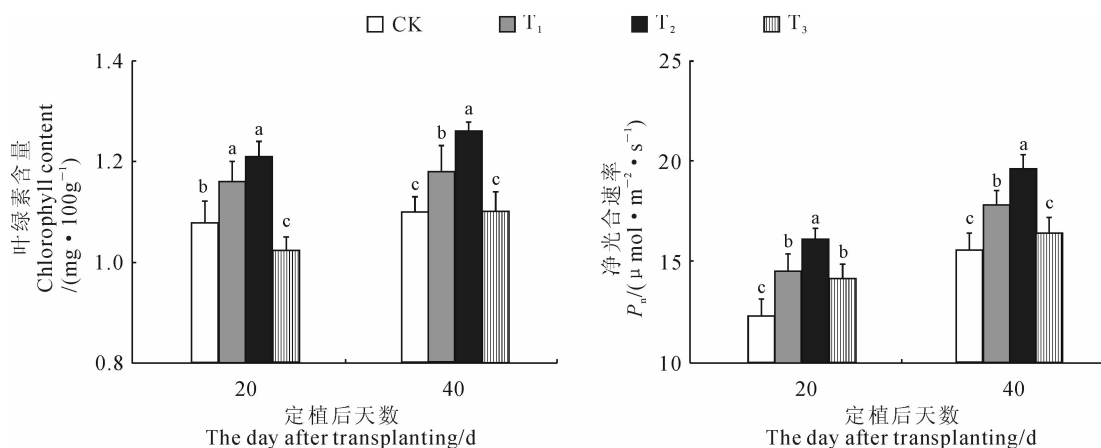


图 3 不同秸秆处理对黄瓜叶片叶绿素含量和光合速率的影响

Fig. 3 Effects of different straw returning treatments on chlorophyll content and photosynthetic rate in cucumber

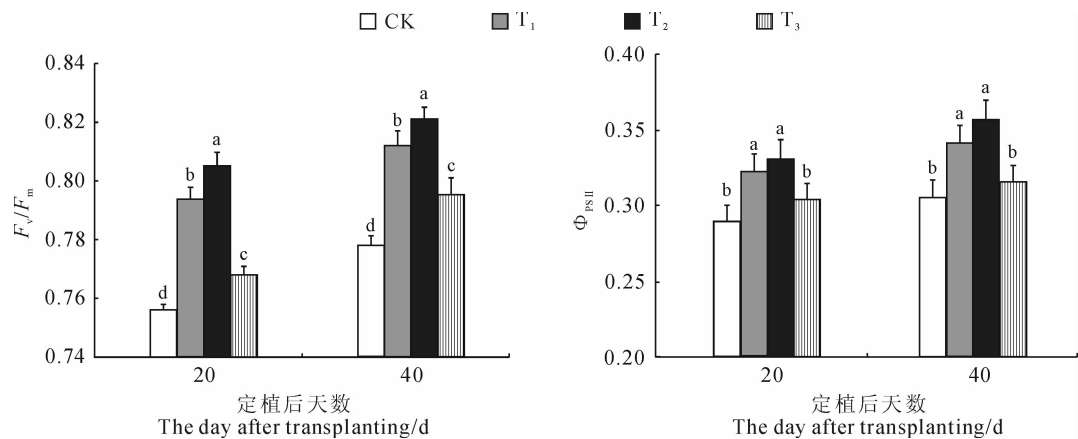


图 4 不同秸秆还田处理对黄瓜叶片最大光化学效率与实际光化学效率的影响

Fig. 4 Effects of different straw returning treatments on F_v/F_m and Φ_{PSII} in cucumber

表 2 不同作物秸秆还田处理对黄瓜坐果率、单果重及产量的影响

Table 2 Effects of different crop straw returning treatments on fruit-bearing rate, weight of single fruit and yield of cucumber

处理 Treatment	坐果率 Fruit-bearing rate/%	单果重 Weight of single fruit/g	产量 Yield/(g·m ⁻²)
CK	62.42±2.81c	254.81±8.83b	4 010.41±34.12d
T ₁	80.34±3.42a	265.17±7.69a	5 506.52±40.27b
T ₂	82.46±3.79a	279.12±9.49a	5 765.74±42.45a
T ₃	74.62±3.23b	256.83±6.51b	4 902.68±32.78c

黄瓜产量为 4 902.68 g·m⁻²,仅比对照增产 22.2%。T₂ 处理的黄瓜坐果率显著高于对照,为对照的 1.32 倍。在对黄瓜坐果率和单果重的影响方面,T₁ 处理与 T₂ 处理之间差异不大。由此说明,采用不同作物秸秆还田均可以使黄瓜产量增加,其中 T₂ 处理效果最好。

3 讨 论

本研究结果表明,与对照相比,作物秸秆还田显著促进黄瓜的生长发育,尤其是玉米秸秆还田不仅能显著提高黄瓜的植株的干鲜重,而且还显著提高了黄瓜的坐果率、单果重及产量。其中以玉米秸秆还田效果最好,其次为花生秸秆还田,稻壳还田效果稍差。这主要是由于秸秆还田后明显改良土壤的结构,提高土壤有机质含量,增强了土壤微生物和土壤酶活性,增加土壤肥力^[12-14],从而改善了根系生长的土壤环境;不仅提高了作物的根系活力,增强了作物对矿质元素的吸收,而且提高了作物的氮代谢水平和对光能的利用效率,进而提高了作物产量^[15-16]。周怀平在玉米上研究也有类似的结果^[17]。

秸秆还田改善了土壤结构和环境条件^[14],有利于作物根系分布,提高根系活力,从而提高作物对水分、矿质营养的吸收^[18]和氮代谢水平。本研究结果表明,不同秸秆还田后提高了黄瓜硝酸还原酶活性,其中玉米秸秆还田效果最好,其次是花生秸秆。这可能是由于根系代谢活动的提高有效促进了地上部代谢活动,熊瑶在烟草上也有类似报道^[19]。

叶绿素荧光与光合作用效率密切相关^[20],环境因子对光合作用的影响都可以通过叶绿素荧光反映出来。 F_v/F_m 表示 PS II 最大光化学量子产量,反映 PS II 反应中心光能转换效率或最大 PS II 的光能转换效率^[21]。本实验结果显示,与对照相比,秸秆还田提高了黄瓜叶片叶绿素含量、光合速率、 F_v/F_m 及 Φ_{PSII} ,表明秸秆还田提高了黄瓜对光能的利用效率和光合效率。作物的碳氮代谢是关系密切、相互调控的整体^[22],秸秆还田提高了黄瓜氮代谢水平,因此也有效地促进了黄瓜地上部碳代谢, Φ_{PSII} 的升高表明植物同化力的增强,从而使作物对碳的固定和同化速率加快^[23]。类似的结果在小麦上也有报道^[24-25]。至于秸秆还田后改善了黄瓜根系生长环境,根系的生长和地上部碳氮代谢如何进行相互调控还需进一步研究。

总之,秸秆还田通过改善土壤结构和肥力,提高了黄瓜根系活力、叶片硝酸还原酶活性、叶绿素含量及光合速率,增强了黄瓜叶片对光能利用效率,进而有利于黄瓜光合产物的积累,促进了黄瓜的生长发育,表现在坐果率、单果重及产量显著提高。不同的作物秸秆还田对黄瓜生长发育影响有所差异,其中玉米秸秆还田效果较好,其次为花生秸秆,稻壳还田稍差。

参考文献:

- [1] MA N N(马宁宁), LI T L(李天来), *et al.* Effects of long-term fertilization on soil enzyme activities and soil physicochemical properties of facility vegetable field[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*(应用生态学报), 2010, **21**(7): 1 766—1 771(in Chinese).
- [2] WITT C, CASSMAN K G, OLK D C, *et al.* Crop rotation and residue management effects on carbon sequestration, nitrogen cycling and productivity of irrigated rice systems[J]. *Plant and Soil*, 2000, **225**(1): 263—278.
- [3] SUN L M, LI C J, HE P, *et al.* Long-term application of K fertilizer and straw returning improve crop yield, absorptive capacity of K, and soil nutrient natural supplying capacity in North China[J]. *Frontiers of Agriculture in China*, 2011, **5**(4): 563—569.
- [4] HUANG W R, BAI Z H, HOEFEL D, *et al.* Effects of cotton straw amendment on soil fertility and microbial communities[J]. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, 2012, **6**(3): 336—349.
- [5] CAI Z C, QIN S W. Dynamics of crop yields and soil organic carbon in a long-term fertilization experiment in the Huang-Huai-Hai Plain of China[J]. *Geoderma*, 2006, **136**: 708—715.
- [6] XIE W Y(解文艳), FAN G SH(樊贵盛), *et al.* Effect of straw-incorporation on corn yield and water use efficiency in arid farming areas[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*(农业机械学报), 2011, **42**(11): 60—67(in Chinese).
- [7] CAI T Y(蔡太义), ZHANG H B(张合兵), HUANG H J(黄会娟), *et al.* Effects of cropping systems using straw mulching on photosynthetic physiology of spring maize (*Zea mays* L.) during different rates[J]. *Journal of Agro-Environment Science*(农业环境科学学报), 2012, **31**(11): 2 128—2 135(in Chinese).
- [8] GE L L(葛立立), MA Y H(马义虎), BIAN J L(卞金龙), *et al.* Effects of returning maize straw to field and site-specific nitrogen management on grain yield and quality in rice[J]. *Chinese Journal of Rice Science*(中国水稻科学), 2013, **27**(2): 153—160(in Chinese).
- [9] WANG R F(王如芳), ZHANG J W(张吉旺), DONG SH T(董树亭), *et al.* Present situation of maize straw resource utilization and its effect in main maize production regions of China[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*(应用生态学报), 2011, **22**(6): 1 504—1 510(in Chinese).
- [10] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [11] DEMMING ADAMS B, ADAMS W W. Photoprotection and other responses of plant to high light stress[J]. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 1992, **43**: 599—626.
- [12] SHANG ZH Q(尚志强). Effects of straw return and mulch on the properties of soil and the yield and quality of flue-cured tobacco[J]. *Chinese Journal of Soil Science*(土壤通报), 2008, **39**(3): 706—708(in Chinese).
- [13] WANG J W(王建武), FENG Y J(冯远娇), LUO SH M(骆世明). Effects of Bt corn straw decomposition on soil enzyme activities and soil fertility[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*(应用生态学报), 2005, **16**(3): 524—528(in Chinese).
- [14] BAKHT J, SHAFI M, JAN MT, *et al.* Influence of crop residue management, cropping system and N fertilizer on soil N and C dynamics and sustainable wheat (*Triticum aestivum* L.) production[J]. *Soil and Tillage Research*, 2009, **104**(2): 233—240.
- [15] ZHU H H, WU J S, HUANG D Y, *et al.* Improving fertility and productivity of a highly-weathered upland soil in subtropical China by incorporating rice straw[J]. *Plant and Soil*, 2010, **331**: 427—437.
- [16] GAO F(高 飞), JIA ZH K(贾志宽), LU W T(路文涛), *et al.* Effects of different straw returning treatments on soil water, maize growth and photosynthetic characteristics in the semi-arid area of Southern Ningxia[J]. *Acta Ecologica Sinica*(生态学报), 2011, **31**(3): 777—783(in Chinese).
- [17] ZHOU H P(周怀平), XIE W Y(解文艳), *et al.* Effects of long-term straw-returning on corn yield, economic benefit and water use in arid farming areas[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*(植物营养与肥料学报), 2013, **19**(2): 321—330(in Chinese).
- [18] PATHAK H, SINGH R, BHATIA A, *et al.* Recycling of rice straw to improve wheat yield and soil fertility and reduce atmospheric pollution[J]. *Paddy and Water Environment*, 2006, **4**(2): 111—117.
- [19] XIONG Y(熊 瑶), CHEN J J(陈建军), WANG W(王 维), *et al.* Effects of straw-returning on root activity and physiological characteristics of carbon-nitrogen metabolism of flue-cured tobacco[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*(中国农学通报), 2012, **28**(30): 65—70(in Chinese).
- [20] XU X L(徐兴利), JIN Z X(金则新), HE W M(何维明), *et al.* Effects of different day/night warming on the photosynthetic characteristics and chlorophyll fluorescence parameters of *Sinocalycanthus chinensis* seedlings[J]. *Acta Ecologica Sinica*(生态学报), 2012, **32**(20): 6 343—6 353(in Chinese).
- [21] YANG F J(杨凤娟), WANG X F(王秀峰), WEI M(魏 珉), *et al.* Effects of NO_3^- stress and recovery on chlorophyll fluorescence parameters and ATPase activities of cucumber seedling leaves[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*(应用生态学报), 2006, **17**(3): 403—407(in Chinese).
- [22] CAMERON D D, LEAKE J R, READ D J. Mutualistic mycorrhiza in orchids: evidence from plant fungus carbon and nitrogen transfers in the green-leaved terrestrial orchid *Goodyera repens*[J]. *New Phytologist*, 2006, **171**: 405—416.
- [23] RANJBAR A, SAMSON R, VANDAMME P. Chlorophyll fluorescence performance of sweet almond [*Prunus dulcis* (Miller) D. Webb] in response to salinity stress induced by NaCl[J]. *Photosynthetic*, 2006, **44**: 513—522.
- [24] LI Q Q(李全起), CHEN Y H(陈雨海), WU W(吴 巍), *et al.* Effects of straw mulching and irrigation on solar energy utilization efficiency of winter wheat farmland[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*(应用生态学报), 2006, **17**(2): 243—246(in Chinese).
- [25] DANG J Y(党建友), PEI X X(裴雪霞), ZHANG J(张 晶), *et al.* Effects of irrigation mode on winter wheat yield and water-and nutrient use efficiencies under maize straw returning to field[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*(应用生态学报), 2011, **22**(10): 2 511—2 516(in Chinese).