

DOI:10.11937/bfyy.201707011

# 内置式秸秆反应堆技术对越冬茬番茄生长及温室环境的影响

陈立新, 王娟, 邹春娇, 刘力勇, 刘吉业, 李楠楠

(黑龙江省农业科学院 园艺分院, 黑龙江 哈尔滨 150069)

**摘要:**以番茄为试材,采用行下内置式秸秆反应堆技术,设置3个处理:秸秆生物反应堆菌剂(A菌剂)+667 m<sup>2</sup>施4 500 kg玉米秸秆、秸秆生物降解专用菌种(B菌剂)+667 m<sup>2</sup>施4 500 kg玉米秸秆、秸秆生物反应堆菌剂(A菌剂)+667 m<sup>2</sup>施6 000 kg玉米秸秆处理,以不添加菌剂和秸秆温室为对照(CK),研究不同微生物菌剂和秸秆添加量对越冬番茄长势、产量和温室环境的影响。结果表明:与CK相比,3个处理均能显著增加番茄茎粗,增大叶面积,提高叶绿素a/b;A菌剂+667 m<sup>2</sup>施4 500 kg玉米秸秆处理和B菌剂+667 m<sup>2</sup>施4 500 kg玉米秸秆处理下番茄株高、产量显著高于CK,而A菌剂+667 m<sup>2</sup>施6 000 kg玉米秸秆处理显著降低了番茄的株高和产量。在10、11月A菌剂+667 m<sup>2</sup>施6 000 kg玉米秸秆处理显著地提高了15 cm土层的温度,该处理10月10日的平均地温为17.35℃,比对照平均地温高出1.05℃。12月B菌剂+667 m<sup>2</sup>施4 500 kg玉米秸秆处理对15 cm土层温度的提升效果最明显,其中12月25日平均地温为10.30℃,比CK高0.77℃。处理温室内CO<sub>2</sub>平均浓度显著高于对照温室。10月1日处理温室CO<sub>2</sub>浓度最高,为1 597.0 mg·m<sup>-3</sup>,比CK高614.8 mg·m<sup>-3</sup>;12月30日CO<sub>2</sub>浓度最低,为1 015.0 mg·m<sup>-3</sup>,比CK高393.0 mg·m<sup>-3</sup>。

**关键词:**越冬番茄;微生物菌剂;温室环境;秸秆反应堆技术

**中图分类号:**S 141.4 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2017)07-0048-05

番茄(*Lycopersicon esculentum* Mill.)起源于南美洲亚热带地区,属喜温作物。因其营养丰富,经济效益好,又可周年生产,已成为全球重要栽培蔬菜作物之一<sup>[1]</sup>。在设施生产中,棚体密闭、冬季温度低和CO<sub>2</sub>体积分数低等是制约番茄优质高产的主要因素<sup>[2]</sup>。研究表明在温室内应用秸秆反应堆技术能够有效解决冬季温室内低温冷害、CO<sub>2</sub>亏缺、连作重茬障碍等限制设施瓜菜生产的突出问题<sup>[3]</sup>。

秸秆反应堆技术是一种以农作物秸秆作为原材料,通过添加微生物发酵菌剂使秸秆发酵,将作物秸秆定向转化成作物生长所需的CO<sub>2</sub>、热量、抗病孢

子、有机和无机养料等,改善设施内土壤理化性状、促进作物生产、减少化肥农药施用量,从而获得高产、优质、早熟农产品的农业生产技术<sup>[4]</sup>。温室内应用秸秆反应堆技术均能提高温室内土壤温度和CO<sub>2</sub>体积分数<sup>[5-7]</sup>,促进樱桃番茄生长,提高产量,降低晚疫病的发病率<sup>[5]</sup>,可增强茄子耐低温性能<sup>[6]</sup>,并且番茄株高、茎粗和开花节位均优于对照<sup>[7]</sup>。

土壤温度是影响土壤肥力的重要因素<sup>[8]</sup>,较高的地温能够保证植物的正常生长<sup>[9]</sup>。反季节生产中温室内外温差大,通风量减小,作物光合作用消耗,使CO<sub>2</sub>水平明显低于室外,致使植物光合作用受阻<sup>[10]</sup>。哈尔滨地区冬季外界温度低,日光温室土壤温度及CO<sub>2</sub>浓度一直处于较低水平,严重影响了越冬番茄生产。秸秆反应堆技术能够有效提升土壤温度和CO<sub>2</sub>浓度<sup>[11]</sup>。因此,该试验以番茄为试材,研究内置式秸秆反应堆技术对番茄越冬生产中植株长

**第一作者简介:**陈立新(1963-),男,研究员,博士生导师,现主要从事园艺设施设计及栽培等研究工作。E-mail:cbc03@126.com.

**基金项目:**黑龙江省科技厅资助项目(GA15B104)。

**收稿日期:**2017-02-25

势、产量及 15 cm 土层温度的影响,以期为秸秆反应堆技术在哈尔滨地区番茄安全越冬生产技术推广提供参考基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试秸秆生物反应堆菌剂(A 菌剂)及营养土由北京启高生物科技有限公司提供;秸秆生物降解专用菌种(B 菌剂)及菌种活化剂由辽宁宏阳生物有限公司提供。供试番茄品种“瑞丽”由西安金田种业有限公司提供。供试秸秆选用哈尔滨市双城区前一年干燥的玉米秸秆。供试日光温室龙园 LY-I 型,温室跨度 7.5 m,脊高 3.5 m。供试仪器手持便携式环境监测仪(型号 TNHY-4,浙江托普仪器有限公司生产);土壤温度记录仪(型号 TPJ-21D,浙江托普仪器有限公司生产)

### 1.2 试验方法

试验于 2016 年 8 月 11 日至 2017 年 1 月 30 日在黑龙江省农业科学院园艺分院进行。

1.2.1 内置式秸秆生物反应堆技术 菌剂溶液处理方法:每沟用量为营养土:A 菌剂:水=15 g:76 g:4 kg;活化剂:B 菌种:水=15 g:364 g:6 kg。8 月 11 日在种植畦下开宽 60 cm、深 25 cm 的秸秆反应沟。秸秆铺设方法:秸秆分 3 层铺设,每层铺设 10 cm 厚秸秆,第一层秸秆铺设完后喷洒配制好的菌剂溶液 1 L 后踩实,第二层秸秆铺设时在沟两端均露出 10 cm 作为预留通气孔,铺设完后再喷洒菌剂溶液 1 L 后踩实,第三层秸秆铺设完毕后喷洒菌剂溶液 2 L 后踩实。各处理秸秆铺设完后覆土 20 cm 形成种植垄、灌水。按行距 30 cm,孔距 20 cm,用 12# 钢筋打排气孔,孔深以穿透秸秆层为准。

1.2.2 试验设计 根据张清梅等<sup>[6]</sup>的研究结果,每 667 m<sup>2</sup>施入 4 500、6 500 kg 秸秆用量在北方冬季温室应用效果较好,该试验设置处理 I(A 菌剂+667 m<sup>2</sup>施 4 500 kg 玉米秸秆)、处理 II(B 菌剂+667 m<sup>2</sup>施

4 500 kg 玉米秸秆)、处理 III(A 菌剂+667 m<sup>2</sup>施 6 000 kg 玉米秸秆),每处理种植 3 畦,随机区组排列,3 次重复,以未进行秸秆处理温室为对照(CK)。2016 年 8 月 5 日进行番茄育苗,4 叶 1 心期进行定植,株行距均为 40 cm,定植后进行越冬茬番茄常规管理。10—12 月监测温室内环境指标;12 月 6 日测定番茄地上部生长指标;1 月 3 日测定各处理番茄平均单株产量。

### 1.3 项目测定

1.3.1 15 cm 土层温度的测定 采用土壤温度记录仪测定 15 cm 土层温度,每隔 1 h 采集 1 次数据,取每 5 d 数据的平均值。

1.3.2 温室内 CO<sub>2</sub> 浓度的测定 采用手持便携式环境监测仪测定 10:00 温室内 CO<sub>2</sub> 浓度,取每 5 d 数据的平均值。

1.3.3 番茄生长指标的测定 采用米尺直接测量植株的株高;采用游标卡尺测量茎粗;采用便携式叶绿素测定仪测定叶绿素 a/b 值。采用称重法测定番茄产量。

### 1.4 数据分析

采用 Excel 2007 和 SPSS 22 软件对试验数据进行处理及分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同秸秆反应堆处理对番茄生长的影响

由表 1 可知,处理 I、II 株高均显著高于 CK;处理 I 株高高于处理 II,但差异不显著;处理 III 株高最低,显著低于处理 I、II,低于 CK,但未到达显著水平;各处理均能够使植株茎粗增粗,其中处理 III 作用最明显,显著高于处理 I、II 和 CK;处理 I 比 CK 增粗了 1.0 mm,处理 II 比 CK 增粗了 0.4 mm;各处理叶面积变化规律与茎粗相似;各处理均能够使植株叶绿素 a/b 值提高,但均未达到显著水平;处理 I、II、III 与 CK 番茄叶片数相同,均为 19 片;各处理对番茄产量差异较大,其中处理 I 显著高于其它处理和 CK,处理 II 高于 CK 但差异不显著,处理 III 番茄产量显著低于 CK。

表 1 不同处理对番茄植株长势及产量的影响

Table 1 Effects of different treatments on growth and yields of tomato

处理	株高	茎粗	叶面积	叶绿素 a/b	叶片数	平均单株产量
Treatment	Height/cm	Stem diameter/mm	Leaf area/cm <sup>2</sup>	Chlorophyll a/b	No. of leaves/片	Average yield per plant/kg
I	154.7±4.04a	13.3±0.40b	121.5±1.12b	45.2±2.21a	19±0.0a	0.84±0.043a
II	151.5±2.50a	12.7±0.23bc	112.8±3.40c	43.9±3.80a	19±0.0a	0.48±0.045b
III	143.3±0.58b	14.8±0.57a	136.0±5.18a	43.1±0.80a	19±0.0a	0.38±0.058c
CK	146.0±0.00b	12.3±0.53c	104.1±0.52d	41.6±0.17a	19±0.0a	0.47±0.030b

注:同列不同小写字母表示处理间差异达 5% 水平显著。

Note: Different lowercase letters in same column indicate significant difference at 5% level.

## 2.2 不同秸秆反应堆处理对 15 cm 土层温度的影响

由图 1 可知,采用内置式秸秆反应堆技术的各处理 15 cm 土层温度均高于 CK。处理 I、II 随着室外气温的降低,对 15 cm 土层温度的提升作用逐渐减弱,处理 III 随着外界气温的降低,对 15 cm 土层温度提升作用有所增加。其中在 10、11 月,处理 III 对 15 cm 土层温度的提升达到效果最显著,其中 10 月 10 日和 11 月 1 日平均地温分别可达 17.5、10.14 °C,对气温提升的幅度最大,分别比对照提高 1.05、0.91 °C;处理 I 次之,在 10 月 10 日和 11 月 1 日平均地温可分别达 17.35、10.80 °C,分别比 CK 可提高 0.94、0.61 °C;处理 II 作用效果最弱,在 10 月 10 日和 11 月 1 日平均地温分别为 16.90、10.80 °C,分别比 CK 高 0.45、0.58 °C。在进入 12 月之后,处理 II 对日光温室 15 cm 土层日平均温度提升作用最明显,12 月 25 日平均地温达到 10.30 °C,比 CK 提高 0.77 °C;处理 I 次之,在 12 月 25 日地温达到 10 °C,比 CK 提高了 0.52 °C;处理 III 在 12 月 25 日平均地温为 9.70 °C,仅比 CK 提高 0.21 °C。

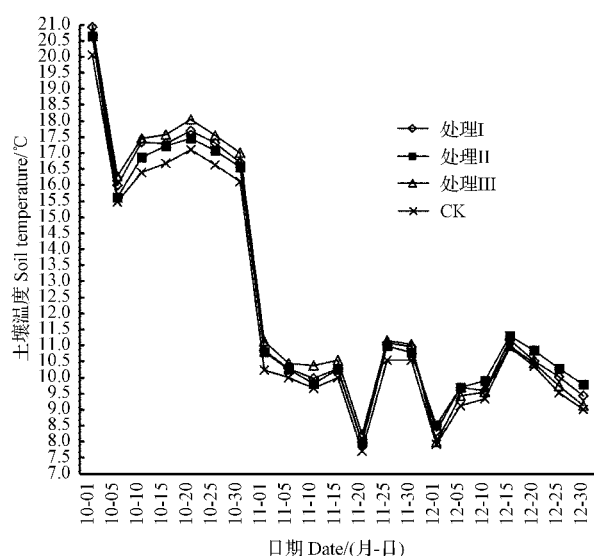


图 1 不同处理 15 cm 土层日平均温度变化

Fig. 1 Change of daily average soil temperature with different processing

## 2.3 秸秆反应堆技术对温室内 CO<sub>2</sub> 浓度的影响

由图 2 可知,10 月 1 日至 12 月 30 日处理温室内 CO<sub>2</sub> 浓度明显高于对照温室,随着反应堆进行的时间延长,提升作用有所降低。在 10、11 月采用秸秆反应堆技术温室内 CO<sub>2</sub> 浓度保持在 1 312.0~

1 597.0 mg · m<sup>-3</sup>,其中 10 月 1 日处理温室内 CO<sub>2</sub> 浓度最高为 1 597.0 mg · m<sup>-3</sup>,比 CK 提高了 614.8.0 mg · m<sup>-3</sup>;在 12 月对 CO<sub>2</sub> 浓度增加的作用有所下降,但仍然高于 CK,在 12 月 30 日最低点 CO<sub>2</sub> 浓度为 1 015.0 mg · m<sup>-3</sup>,比 CK 高 393.0 mg · m<sup>-3</sup>。

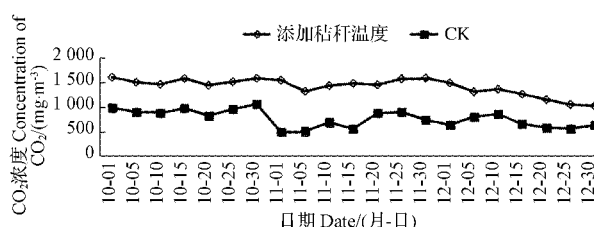


图 2 秸秆反应堆技术对温室内 CO<sub>2</sub> 浓度的影响

Fig. 2 Effect of straw reactor technology on CO<sub>2</sub> concentration in greenhouse

## 3 讨论

试验结果表明,添加 2 种菌剂和加大秸秆量均能提高 15 cm 土层地温,与卞中华等<sup>[12]</sup>研究结论相一致。采用秸秆生物反应堆菌剂(A 菌剂)+667 m<sup>2</sup> 施入 4 500 kg 玉米秸秆处理在 10、11 月对 15 cm 土层地温的提升效果强于秸秆生物降解专用菌种(B 菌剂)+667 m<sup>2</sup> 施入 4 500 kg 玉米秸秆处理,但在 12 月其对 15 cm 土层温度提升效果下降幅度较采用秸秆生物降解专用菌种(B 菌剂)+667 m<sup>2</sup> 施入 4 500 kg 玉米秸秆处理大。说明 A 菌剂在外界温度高的环境下能够快速分解秸秆放出热量,随着外界温度的下降 A 菌剂的作用骤降,而 B 菌剂在 12 月温度低的情况下比 A 菌剂分解秸秆释放热量提升地温作用大。采用 A 菌剂+667 m<sup>2</sup> 施入 6 000 kg 玉米秸秆处理 10、11 月对 15 cm 土层地温的提升效果强于 A 菌剂+667 m<sup>2</sup> 施入 4 500 kg 玉米秸秆处理,说明加大秸秆施入量有助于微生物菌剂快速分解秸秆放热,该结论与张清梅等<sup>[6]</sup>研究相似;但进入 12 月后,采用 A 菌剂+667 m<sup>2</sup> 施入 6 000 kg 玉米秸秆处理 10、11 月对 15 cm 土层地温的提升效果低于 A 菌剂+667 m<sup>2</sup> 施入 4 500 kg 玉米秸秆处理,这可能是由于秸秆属于高炭物质,加大秸秆量加大了反应物中的 C/N,在微生物进行秸秆分解过程中,缺少可利用的氮素,致使微生物菌剂对秸秆的分解作用减慢。该试验中各处理对 15 cm 土层温度的提升幅度比闫凤辉<sup>[13]</sup>所得结论低 1.55 °C,这可能是受到了试验所选取的地理位置影响,哈尔滨市 12 月最低气温较沈阳市低 7 °C 左右,外界气温对温室内温度有直接的

影响,外界气温越低温室内温度越低<sup>[14]</sup>,但该项技术在提高地温的作用上对番茄越冬生产具有重要意义。采用 A 菌剂、B 菌剂+667 m<sup>2</sup> 施入 4 500 kg 秸秆量均能显著提高番茄植株株高、茎粗、叶面积、叶绿素及产量,且 A 菌剂+667 m<sup>2</sup> 施入 4 500 kg 秸秆量对单株平均产量的提高作用更大;而 A 菌剂+667 m<sup>2</sup> 施入 6 000 kg 秸秆量降低了产量,此结果可能与该处理 12 月以后对土壤低温提升能力降低,使土壤温度低于其它处理,根区温度低会抑制根呼吸并最终导致养分吸收和根系生长受到影响<sup>[16]</sup>,进而导致产量降低。

该试验以不采用秸秆反应堆技术温室为对照,初步探究了秸秆反应堆技术对温室内 CO<sub>2</sub> 浓度的影响。结果表明,采用秸秆反应堆技术温室中 CO<sub>2</sub> 浓度在 3 个月的数据采集期均显著高于对照温室,说明秸秆反应堆技术可以增加温室内 CO<sub>2</sub> 浓度<sup>[7,16]</sup>。还需采用区域隔离方式,研究不同秸秆反应堆处理对温室内 CO<sub>2</sub> 浓度的影响。

#### 参考文献

- [1] 徐鹤林,李景富. 中国番茄[M]. 北京:中国农业出版社,2007.
- [2] 张振贤,程智慧. 高级蔬菜生理学[M]. 北京:中国农业大学出版社,2008:56-57.
- [3] 袁冬贞,廖允成,赵建兴,等. 不同菌种秸秆生物反应堆对温室黄瓜生长及产量的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2014(5):171-176.

- [4] 宋述尧. 玉米秸秆还田对蔬菜大棚蔬菜连作土壤改良效果研究[J]. 农业工程学报,1997,13(1):135-139.
- [5] 叶林,李建设,张光弟,等. 不同作物秸秆生物反应堆对日光温室樱桃番茄生长、生育环境及其产量的影响[J]. 西北农业学报,2015(7):63-68.
- [6] 张清梅,胡云,李明,等. 秸秆反应堆对温室环境及嫁接茄子耐冷生理的影响[J]. 北方园艺,2016(24):15-18.
- [7] 田福发,陈立昶,姜若永,等. 内置式秸秆反应堆对日光温室番茄和黄瓜生长的影响[J]. 江苏农业科学,2013(9):143-145.
- [8] STEENWERTH H, BELINA K M. Cover crops enhance soil organic matter, carbon dynamics and microbiological function in vineyard agroecosystem[J]. Applied Soil Ecology, 2008, 40:359-369.
- [9] 张福堉. 设施园艺学[M]. 北京:中国农业大学出版社,2001.
- [10] AINSWORTH E A, ROGERS A. The response of photosynthesis and stomatal conductance to rising CO<sub>2</sub>: Mechanisms and environmental interactions[J]. Plant, Cell and environment, 2007(30):258-270.
- [11] 李波,王斌,王铁良,等. 秸秆生物反应堆技术对温室秋冬茬番茄生长环境影响研究[J]. 灌溉排水学报,2011,30(5):95-98.
- [12] 卞中华,王玉,胡晓辉,等. 外置式与内置式秸秆生物反应堆对番茄生长及光合性能的影响[J]. 应用生态学报,2013(3):753-758.
- [13] 闫凤辉. 不同秸秆用量对秸秆反应堆技术的效能影响[J]. 中国园艺文摘,2012(1):19-20.
- [14] 佟国红,DAVID M C. 日光温室围护结构材料及气候条件对室内温度环境影响的研究[J]. 武汉:中国科协年会,2007.
- [15] MARTINEZ F, LAZO Y O, FERNANDEZ-GALIANO J M, et al. Root respiration and associated costs in evergreen species of Quercus[J]. Plant Cell Environ, 2002(25):1271-1278.
- [16] 孙梦红,许越华. 内置式秸秆反应堆技术在设施蔬菜中的应用分析[J]. 现代农村科技,2013(5):20-21.

## Effects of Built-in Straw Bio-reactor on Greenhouse Environment and Growth of Winter Cropping Tomato

CHEN Lixin, WANG Juan, ZOU Chunjiao, LIU Liyong, LIU Jiye, LI Nannan

(Horticultural Sub-academy, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin, Heilongjiang 150069)

**Abstract:** In order to study the effects of microbial strains and corn stalk application, which composted using built-in straw bioreactor, on the growth and yield of winter cropping tomato and the environment of solar greenhouse, three treatments were conducted. Straw bioreactor (A microbial agent) with 4 500 kg · (667m<sup>2</sup>)<sup>-1</sup> corn stalk, straw bio-reactor degradation of special microbial strain (B microbial agent) with 4 500 kg · (667m<sup>2</sup>)<sup>-1</sup> corn stalk and straw bioreactor (A microbial agent) with 6 000 kg · (667m<sup>2</sup>)<sup>-1</sup> corn stalk. No microbial strain and no corn stalk addition greenhouse was set up as control (CK). The results indicated that compared to CK, all the treatments significantly increased the stem diameter, leaf area and chlorophyll a/b of tomato plant; plant height and yield were significantly higher under A microbial agent with 4 500 kg · (667m<sup>2</sup>)<sup>-1</sup> corn stalk and B microbial agent with 4 500 kg · (667m<sup>2</sup>)<sup>-1</sup> corn stalk than CK, while they were significantly lower under A microbial agent

DOI:10.11937/bfyy.201707012

# 不同生育期黄瓜叶片湿度变化特征及其影响因子

崔海<sup>1</sup>, 郭文忠<sup>2</sup>

(1. 银川能源学院 生物工程系, 宁夏 永宁 750105; 2. 国家农业智能装备工程技术研究中心, 北京 100097)

**摘 要:**以黄瓜为试材,在生长季连续观测土壤相对含水量 50%~60%(SW1)、75%~90%(SW2)处理下日光温室黄瓜植株叶片湿度及环境因子,以揭示日光温室作物叶片湿度变化特征及影响因子。结果表明:不同生育期黄瓜叶片湿度差异显著,表现为生长中期>生长初期>生长末期,SW2>SW1;不同生育期 SW1 和 SW2 处理下的黄瓜叶片湿度变化趋势一致,在生长初中期叶片湿度为夜间(00:00—08:00)增加,白天(08:00—20:00)骤降,傍晚(20:00—00:00)回升的趋势,在生长末期处于一个较低水平状态。通过主成分回归分析得出,第 1 主成分 F<sub>1</sub> 光照、温度、饱和水汽压和第 2 主成分 F<sub>2</sub> 土壤水热条件的累计贡献率大于 65%,综合 F<sub>1</sub> 和 F<sub>2</sub> 得出不同生育期黄瓜植株叶片湿度主要受温室内光照、温度、湿度及土壤水热条件影响。

**关键词:**叶片湿度;生育期;黄瓜;日光温室

**中图分类号:**S 642.201 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2017)07-0052-04

中国设施园艺面积已成为世界最大的国家<sup>[1]</sup>,日光温室是中国特色的设施园艺,是一个白天蓄热高温,夜间放热高湿的密闭环境,又被称为节能温室<sup>[2]</sup>。高湿环境对园艺作物的生长发育和病害发生<sup>[3-5]</sup>、生理生化过程<sup>[6]</sup>都会产生一定的影响。目前有关设施园艺水分方面的研究主要集中灌溉<sup>[7-8]</sup>、水肥耦合<sup>[9]</sup>、作物需水量<sup>[10]</sup>、水分对产量和品质的影响<sup>[8,11]</sup>等方面,对于园艺作物的湿度研究相对较少。作物植株湿度的变化特征及其影响因子的研究,进

而拓展日光温室及设施园艺作物水分研究的深度,可以为植株湿度特征及其影响因子提供参考依据,以期设施病害发生预警提供数据支持。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试黄瓜品种“博耐-13 号”由天津德瑞特种业有限公司培育。供试温室东西长 60 m,跨度 12 m,脊高 5 m,为钢架结构,覆盖材料为 PE 膜,保温材料为保温被。

### 1.2 试验方法

试验于 2014 年在宁夏试验在宁夏吴忠国家农业科技园区种植业核心区的日光温室进行。设计 2 个水分处理,SW1 为土壤相对含水量 50%~60%;

**第一作者简介:**崔海(1980-),女,硕士,讲师,现主要从事设施栽培及环境调控等研究工作。E-mail:cuihai54321@163.com.

**基金项目:**银川能源学院校级科研资助项目(2013-KY-Z-08)。

**收稿日期:**2016-12-07

with 6 000 kg · (667m<sup>2</sup>)<sup>-1</sup> corn stalk treatment. The treatment of A microbial agent with 6 000 kg · (667m<sup>2</sup>)<sup>-1</sup> corn stalk significantly increased soil temperature of 0—15 cm layer on October and November, with the soil temperature 17.35 °C, appeared on 10th October, which was 1.05 °C higher than CK. However, the highest effect of soil temperature improving was found under B microbial agent and 4 500 kg · (667m<sup>2</sup>)<sup>-1</sup> corn stalk treatment in December, the soil temperature was 10.30 °C and 0.77 °C higher than that of CK, appeared on 25th December. The concentrations of CO<sub>2</sub> were significantly higher under all the treatments than CK. The biggest concentrations of CO<sub>2</sub>, 1 597.0 mg · m<sup>-3</sup>, was observed in 1th October, which was 614.8 mg · m<sup>-3</sup> higher than that of CK, while the lowest, 1 015.0 mg · m<sup>-3</sup>, was observed in 30th December, which was 393.0 mg · m<sup>-3</sup> higher than that of CK.

**Keywords:** wintering tomato; microbial agent; the environment of greenhouse; straw reactor technology