

# 不同秸秆发酵菌种对日光温室环境及越夏番茄生长发育的影响

王 鹏, 刘社平, 王 净, 李卫欣, 王激清, 张俊平

(河北北方学院, 河北 张家口 075131)

**摘 要:**以越夏栽培番茄为试材,研究了不同秸秆生物发酵菌种对日光温室土壤温度、CO<sub>2</sub>浓度及越夏番茄生长发育的影响。结果表明:应用不同秸秆生物发酵菌种处理的内置式秸秆生物反应堆,均可显著提高土壤温度和 CO<sub>2</sub> 浓度;对株高有极显著的促进作用,可显著提高番茄产量(3.6%~17.5%)。综合比较 3 种秸秆生物发酵菌种,正农菌种表现优于广宇菌种和圃园菌种。

**关键词:**秸秆生物反应堆;秸秆发酵菌种;越夏栽培;番茄;日光温室环境

**中图分类号:**S 141.4 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2015)21-0047-06

农作物秸秆的资源化利用是近年来广大科技工作者的重点研究内容之一,这不仅有利于改善农村生态环境,而且有利于实现农业的可持续发展<sup>[1]</sup>。秸秆生物反应堆技术是利用各种农作物秸秆,在特定微生物菌群的作用下,定向产生作物生产所需要的 CO<sub>2</sub>、热量、抗病孢子以及有机和无机肥料<sup>[2]</sup>,从而实现作物的优质高产,并且可减少化肥使用量和农药喷施次数,避免土壤连作危害和土传病害的发生,实现生态改良、环境保护和农业的可持续发展。张家口地区因其夏季凉爽、昼夜温差较大的气候特点,适合“百利”等硬果型番茄的越夏栽培,栽培面积日益扩大,但常年连作导致病虫害日益加重,影响了产品的质量、产量及经济效益。近年来,秸秆生物反应堆技术的应用研究基本集中在秋冬茬、越冬茬或春茬等低温季节<sup>[3-7]</sup>,目前甚少见有秸秆生物反应堆技术应用于越夏栽培的文献报道。为此,现开展了秸秆生物反应堆技术对设施环境和越夏番茄生长发育的影响研究,以为秸秆生物反应堆技术在张家口地区的推广应用提供合理化建议。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试番茄品种为“百利”(Beril Rz)(荷兰瑞克斯旺公

司供种),内置式秸秆生物反应堆菌种分别为正农菌种(北京正农农业科技有限公司生产,有效活菌数 $\geq 2.0 \times 10^9$  cfu/g)、圃园菌种(北京市京圃园生物工程有限公司生产,有效活菌数 $\geq 1.5 \times 10^9$  cfu/g)、广宇菌种(安徽广宇生物技术有限公司生产,有效活菌数 $\geq 20.0 \times 10^9$  cfu/g),玉米秸秆等。

### 1.2 试验方法

**1.2.1 试验地点** 试验于 2014 年 3—10 月在河北北方学院实验基地日光温室进行,日光温室长 40 m,跨度 7 m,脊高 3 m。试验田连续 2 年栽培作物均为番茄。

**1.2.2 试验设计** 该试验设 4 个处理,处理 1:正大菌种;处理 2:圃园菌种;处理 3:广宇菌种;对照(CK):以常规栽培为对照。设置重复 3 次,12 个小区,小区面积 12 m<sup>2</sup>,高畦双行栽培,畦高 15 cm,株行距 30 cm×50 cm。2014 年 3 月 5 日播种育苗,4 月 28 日定植,10 月 10 日拉秧。试验采用行下内置式秸秆生物反应堆技术,定植前 15 d,在番茄栽培畦下挖宽 60 cm、深 30 cm 的沟,沟内顺沟铺设玉米秸秆 40 cm,用量 4 000 kg/667 m<sup>2</sup>,撒施菌种 8 kg/667 m<sup>2</sup> 及尿素 12~15 kg/667 m<sup>2</sup> 后踩实,畦两端露出 15 cm 长的玉米秸秆以利透气,然后在秸秆上覆土 15 cm,覆盖地膜。大水浇透沟内秸秆,4~5 d 后顺畦向用直径 14 mm 钢筋隔 20 cm 均匀打孔,深度达到穿透秸秆层为宜。

### 1.3 项目测定

**1.3.1 土壤温度** 采用直角地温计(武强县天正仪器仪

**第一作者简介:**王鹏(1972-),男,硕士,副教授,研究方向为设施环境及栽培技术。E-mail:18931318609@163.com

**基金项目:**河北省科技支撑计划资助项目(13226915D)。

**收稿日期:**2015-05-19

表厂)测定土壤 15 cm 土层的土温,定时 2:00、8:00、14:00、20:00 时测量,重复 3 次,取平均值作为日平均土壤温度。地温计设置于栽培畦中央番茄行间。

1.3.2 CO<sub>2</sub> 浓度 采用台湾先驰(SENTRY)CO<sub>2</sub> 记录仪测定室内外 CO<sub>2</sub> 浓度,室外选择开阔地,距地高度 100 cm 处测定;设施内在番茄栽培畦内中央位置距畦面 100 cm 高处测定,每隔 7 d 于 8:00—20:00 每隔 1 h 测量 1 次,重复 3 次,取平均值作为日平均 CO<sub>2</sub> 浓度。

1.3.3 番茄生长状况及产量 从 2014 年 5 月 8 日起间隔 7 d 定时、定株对“百利”番茄的株高和茎粗进行测量,株高使用卷尺测量,测量植株自然生长状态下,地面至植株最高点的垂直距离。茎粗使用游标卡尺测定,测量植株自然生长状态下,第 4 片真叶处直径。按小区统计产量,并换算为 667 m<sup>2</sup> 的产量。

#### 1.4 数据分析

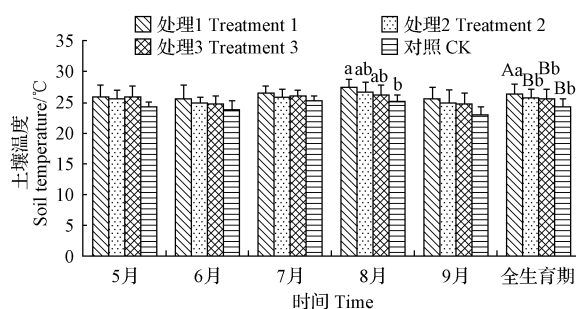
试验数据采用 Excel 2003 软件处理,用 SPSS 21.0 软件进行差异显著性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤温度的变化规律

#### 2.1.1 不同月份 15 cm 土层土壤平均温度的变化

2014 年 5—9 月对 4 个处理的 15 cm 土层土壤平均温度进行了统计。从图 1 可以看出,5—9 月 5 个统计时段,除了处理 1 在 8 月的 15 cm 土壤平均温度显著高于对照外,其余时段 3 个秸秆反应堆处理的 15 cm 土壤平均温度与对照不存在显著差异。在全生育期内,处理 1 与其它处理的土壤平均温度存在极显著差异,处理 2、3 与 CK 间无显著差异;处理 1、2、3 的 15 cm 土壤平均温度分别为 26.33、25.71、25.60℃,与对照比较,分别提



注:图中未标注字母的表明无显著差异,不同小写字母代表在 5% 水平差异显著( $P < 0.05$ ),不同大写字母代表在 1% 水平差异显著( $P < 0.01$ ),下同。

Note: No letter show no difference. Different lowercase letters in the same column mean significant difference among treatments at 0.05 level ( $P < 0.05$ ). Different capital letters in the same column mean significant difference among treatments at 0.01 level ( $P < 0.01$ ). The same below.

图 1 不同处理土壤平均温度

Fig. 1 The average soil temperature of different treatments

高了 1.97、1.35、1.24℃。

2.1.2 土壤温度的日逐时变化 对 2014 年 6 月 12 日 8:00—20:00 时不同处理 15 cm 土壤温度的逐时变化进行了统计,从表 1 可以看出,不同处理 15 cm 土壤温度变化趋势基本一致,8:00 时处于土壤温度最低点,9:00 时开始缓慢回升,到 17:00 时达到最高点后,土壤温度开始缓慢降低。秸秆反应堆 3 个处理在不同时间段的土壤温度均明显高于对照,其 15 cm 土壤温度日变化幅度分别为 6.5、7.5、7.0℃,均小于对照 8℃ 的日变化幅度。方差分析表明,处理 1 的平均土壤温度显著高于对照,其它处理间无显著差异。

表 1

不同处理 15 cm 土壤温度逐时变化

Table 1

The change of 15 cm soil temperature of different treatment in different hours

℃

处理	时刻	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	平均土壤温度
Treatment															The average soil temperature
处理 1 Treatment 1		20.0	20.0	21.0	22.5	23.0	24.0	25.5	26.0	26.0	26.5	26.0	25.5	25.0	23.9±2.38 a
处理 2 Treatment 2		18.5	18.8	20.0	21.5	22.0	24.0	25.0	25.5	25.5	26.0	25.5	24.0	23.5	23.1±2.65 ab
处理 3 Treatment 3		19.0	19.0	19.0	21.5	22.0	24.5	25.0	25.5	26.0	26.0	25.5	24.5	24.0	23.2±2.75 ab
对照 CK		16.5	16.5	17.5	20.0	20.5	21.0	22.0	23.0	23.5	24.5	23.5	22.0	21.0	20.9±2.65 b

注:测定日期为 2014 年 6 月 12 日。

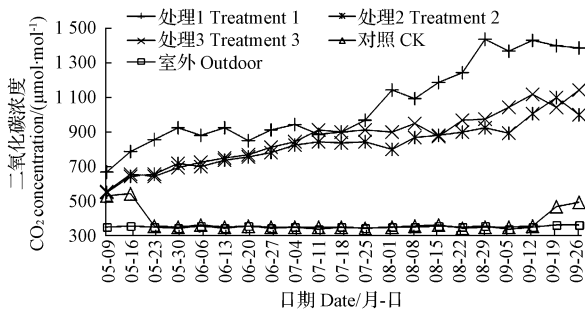
Note: Determination date is June 12th, 2014.

### 2.2 CO<sub>2</sub> 浓度的变化规律

2.2.1 全生育期内 CO<sub>2</sub> 浓度的变化 图 2 显示了在全生育期内不同处理 CO<sub>2</sub> 浓度的动态变化,可以看出,室外 CO<sub>2</sub> 浓度基本保持在 347 μmol/mol 左右波动;5 月 20 日撤除棚膜前,对照的 CO<sub>2</sub> 浓度保持在 540 μmol/mol 左右,撤膜之后则维持在室外 CO<sub>2</sub> 浓度水平附近波动,9

月 14 日覆膜后 CO<sub>2</sub> 浓度又回升到 500 μmol/mol 左右;5 月 9 日秸秆反应堆处理的 CO<sub>2</sub> 浓度分别为 669、547、556 μmol/mol,撤除棚膜,并没有影响到设施内 CO<sub>2</sub> 浓度的升高,随着时间的推移,CO<sub>2</sub> 浓度逐渐升高。处理 1 于 8 月 30 日达到最高值 1 440 μmol/mol,处理 2 于 9 月 20 日、处理 3 于 9 月 27 日分别达到最高值 1 100、

1 141  $\mu\text{mol/mol}$ ,与5月9日  $\text{CO}_2$  浓度初始值比较,分别提高了771、553、585  $\mu\text{mol/mol}$ 。图3对不同时段  $\text{CO}_2$  浓度的变化进行了统计,结果表明,秸秆生物反应堆处理在不同统计时段的  $\text{CO}_2$  浓度均极显著高于对照。在5—9月测量统计期内,秸秆生物反应堆不同菌种处理的  $\text{CO}_2$  平均浓度分别为1 056、820、865  $\mu\text{mol/mol}$ ,分别比对照高出676、441、485  $\mu\text{mol/mol}$ 。处理1在6月、8月、9月及全生育期4个时段,  $\text{CO}_2$  浓度显著或极显著高于处理2和处理3,在5、7月2个时段  $\text{CO}_2$  浓度高于处理2和处理3,但无显著差异;处理2和处理3在不同的时段均无显著差异。因此,日光温室尽管夏天撤除棚膜,处于非密闭环境下,但因其北、东、西面均有砖墙,覆有遮阳网,且番茄植株群体高大郁闭,在一定的小范围内仍可维持1个高  $\text{CO}_2$  浓度的环境,这有利于促进同化产物的合成,从而表现出番茄产量的显著增加。



注:日光温室5月20日撤除棚膜,6月10日全覆盖遮阳网,9月14日盖膜。

Note: Removal of films in May 20<sup>th</sup>, covering the sunshading net in June 10<sup>th</sup>, covering film in September 14<sup>th</sup>.

图2 不同处理  $\text{CO}_2$  浓度的变化

Fig. 2 The change of  $\text{CO}_2$  concentration of different treatments

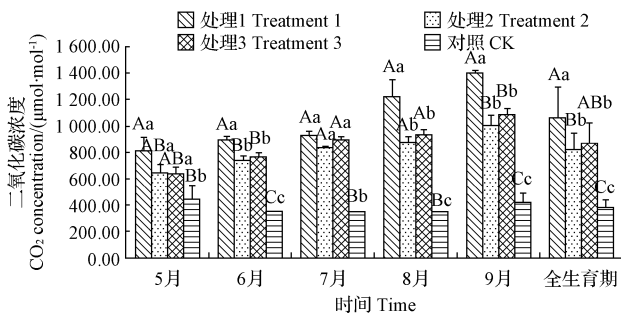
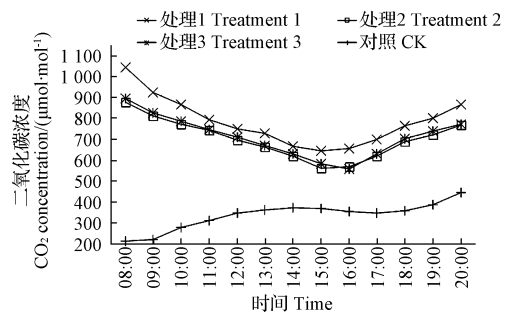


图3 不同月份各处理  $\text{CO}_2$  浓度的变化

Fig. 3 The change of  $\text{CO}_2$  concentration of different treatment in different months

2.2.2  $\text{CO}_2$  浓度的日逐时变化 图4对2014年5月16日8:00—20:00  $\text{CO}_2$  浓度的逐时变化进行了统计。对照的  $\text{CO}_2$  浓度在通风前低于220  $\mu\text{mol/mol}$ ,随着通风,  $\text{CO}_2$  浓度逐渐升高并维持在360~370  $\mu\text{mol/mol}$  波动。关闭风口后,  $\text{CO}_2$  浓度先缓慢下降,然后缓慢上升,呈现类似于“N”型变化曲线。3个不同菌种处理  $\text{CO}_2$  浓度变化曲线相类似,8:00时,  $\text{CO}_2$  浓度处于最高值,分别为1 046、878、897  $\mu\text{mol/mol}$ ,随着番茄植株同化  $\text{CO}_2$  速度加快及通风的影响,  $\text{CO}_2$  浓度缓慢下降,在15:00—16:00时  $\text{CO}_2$  浓度处于“谷底”,分别为647、564、559  $\mu\text{mol/mol}$ ,关闭通风口后,  $\text{CO}_2$  浓度开始逐渐回升,呈现类似“U”型变化曲线。日光温室相对密闭的环境容易造成  $\text{CO}_2$  亏缺的现象,一般在通风前0.5~3.0 h到通风后0.5~2.5 h阶段  $\text{CO}_2$  浓度小于330  $\mu\text{mol/mol}$ ,日光温室内作物处于  $\text{CO}_2$  饥饿状态,对作物的生育会有严重的影响<sup>[8]</sup>。图4显示对照在8:00—11:00时段  $\text{CO}_2$  浓度均小于330  $\mu\text{mol/mol}$ ,处于  $\text{CO}_2$  的亏缺状态,而秸秆反应堆3个处理由于秸秆生物反应堆持续的释放  $\text{CO}_2$ ,最低  $\text{CO}_2$  浓度分别为647、564、559  $\mu\text{mol/mol}$ ,远远高于330  $\mu\text{mol/mol}$ ,不会造成  $\text{CO}_2$  的亏缺。在5月16日8:00—20:00统计时段内,秸秆反应堆3个处理的  $\text{CO}_2$  平均浓度分别为786.31、701.62、713.08  $\mu\text{mol/mol}$ ,处理1明显高于处理2和处理3,但彼此不存在显著差异;而对照的  $\text{CO}_2$  平均浓度为336.62  $\mu\text{mol/mol}$ ,极显著低于3个菌种处理的  $\text{CO}_2$  平均浓度。



注:测定日期为2014-5-16,日光温室9:00通风,16:00闭棚。

Note: Determination date is May 16<sup>th</sup>, 2014. Ventilation at 9:00, closed shed at 16:00.

图4 不同处理  $\text{CO}_2$  浓度日变化

Fig. 4 The change of  $\text{CO}_2$  concentration of different treatments in different hours

## 2.3 不同处理对百利番茄生长发育的影响

2.3.1 对株高和茎粗的影响 由图5可知,5月9日“百利”番茄结束缓苗后,各处理的平均株高无显著差异;5月16日,处理1的株高显著高于其它处理,处理2、

3 及对照的株高彼此间无显著差异;其后随着菌种发酵降解玉米秸秆速度的加快,秸秆反应堆处理的番茄植株株高迅速增加,直到 6 月 27 日统计结束,各处理的平均株高分别达到了 172.27、160.33、163.67、146.73 cm,秸秆反应堆 3 个处理的番茄株高均极显著高于对照,处理 1 株高极显著高于处理 2 和处理 3,处理 2 和处理 3 无显著差异。从图 6 可以看出,在测量统计期间,不同处理间番茄茎粗无显著差异。

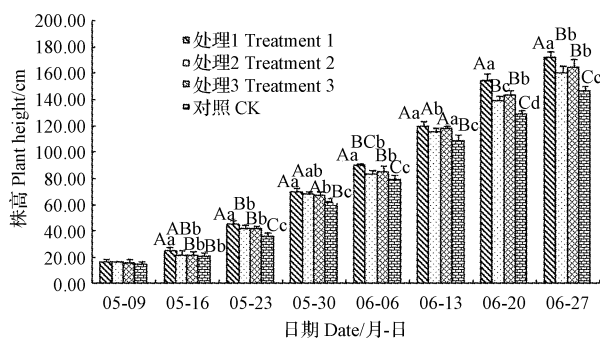


图 5 不同处理对“百利”番茄株高的影响

Fig. 5 Effect of different treatments on plant height of 'Baili' tomato

表 2

不同处理对百利番茄 667 m<sup>2</sup> 产量及产值的影响

Table 2

Effect of different treatment on yield and out put value of 'Baili' tomato

处理	12 m <sup>2</sup> 小区产量	折合产量	对比 CK	产值	增加产值
Treatment	12 m <sup>2</sup> yield/kg	Equivalent yield/kg	Compare CK/(±%)	Output value/元	Increase output/元
处理 1 Treatment 1	167.2 Aa	9 293.5 Aa	17.5	14 869.6	2 214.4
处理 2 Treatment 2	156.8 Bb	8 715.5 Bb	10.2	13 944.8	1 289.6
处理 3 Treatment 3	147.4 Cc	8 193.0 Cc	3.6	13 108.8	453.6
对照 CK	142.3 Cd	7 909.5 Dd	—	12 655.2	—

### 3 讨论与结论

研究表明<sup>[3,5,7,9-13]</sup>,低温季节应用秸秆生物反应堆对土壤温度及设施内 CO<sub>2</sub> 浓度有着明显的促进作用,并进而影响到设施作物的生长发育和产量。有研究认为 CO<sub>2</sub> 浓度的升高对植株株高有促进作用<sup>[14-15]</sup>,也有研究认为对株高、茎粗等生长都有促进作用<sup>[6,9,16-18]</sup>,而 MADSEN<sup>[19]</sup> 和 PRITCHARD 等<sup>[20]</sup> 则认为对番茄生长的影响很小或没有影响。植物对根区温度比地上部温度更敏感<sup>[21]</sup>,果菜类蔬菜作物所需要的最适地温多在 15~25℃,地温低于 15℃或高于 25℃,生长发育会受到不同程度的影响。地温提高 1℃,相当于气温提高 2~3℃的效果<sup>[22]</sup>。赵丽丽<sup>[23]</sup> 研究发现地膜覆盖处理明显提高了土壤温度,可以显著增加番茄的株高,但番茄茎粗明显比对照细,其分析可能是因为较高的土壤温度导致番茄植株出现了徒长现象。易建华等<sup>[24]</sup> 也指出烟草幼苗生长初期 22 d 内总土壤积温超过 400℃,虽可使株高增加和根长加长,但综合生长生理性状不佳,干物质

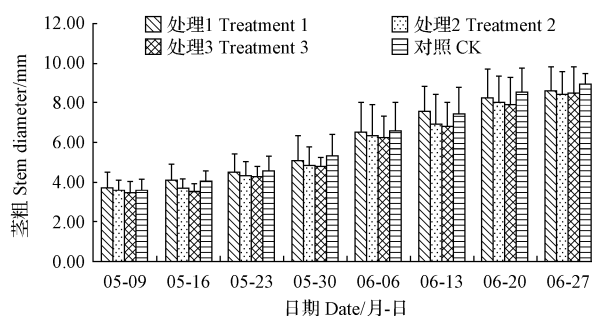


图 6 不同处理对“百利”番茄茎粗的影响

Fig. 6 Effect of different treatments on stem diameter of 'Baili' tomato

2.3.2 不同处理对番茄产量的影响 从表 2 可以看出,各菌种处理的小区产量均显著高于对照,分别高出 17.5%、10.2%和 3.6%;处理 1 总产量最高,比处理 2 高出 6.6%,极显著高于其它处理,处理 3 与对照无显著差异。按照 2014 年张家口地区合同收购价格 1.6 元/kg 计算,相比对照,处理 1、2、3 可分别增加产值 2 214.4、1 289.6、453.6 元/667m<sup>2</sup>。

积累少,表现为徒长状态。该研究发现秸秆生物反应堆处理对越夏番茄植株株高的增高有极显著的促进作用,但对番茄植株茎粗则没有显著影响,在大部分统计时段内秸秆生物反应堆处理茎粗甚至比对照还要细。番茄全生育期内,秸秆生物反应堆 3 个处理的 15 cm 土壤平均温度分别为 26.33、25.71、25.60℃,而对照(常规栽培)则为 24.36℃,这说明较高的土壤温度可能也导致了番茄植株徒长。

因此,秸秆生物反应堆技术应用于设施蔬菜越夏栽培,需要注意将土壤温度控制在适宜的范围内,这可以通过控制秸秆反应堆的发酵程度、采用外置式秸秆反应堆技术以及遮阳网遮荫等措施来实现,对于张家口这类夏季凉爽、日温较差大的地区也更容易实现这个目的。

该试验以越夏栽培“百利”番茄为材料,采用内置式秸秆生物反应堆栽培技术,研究了 3 种秸秆生物发酵菌种对日光温室土壤温度、CO<sub>2</sub> 浓度环境及百利番茄生长及产量的影响。通过秸秆生物发酵菌种对玉米秸秆的



降解放热,内置式秸秆生物反应堆可以明显的提高 15 cm 土层的土壤温度,维持土壤温度的相对恒定。与对照(常规栽培)比较,正农菌种、圃园菌曲和广宇菌种处理,15 cm 土层土壤温度分别提高了 1.97、1.35、1.24℃,土壤温度日波动幅度分别减小了 2、1、1.5℃。在整个统计时段内,与其它处理比较,正农菌种处理对 15 cm 土层土壤温度提高有极显著的作用。

秸秆生物反应堆接种菌种后,随着菌种分解、转化玉米秸秆速度的加快,可释放出更多的 CO<sub>2</sub>,对补充、提高设施内 CO<sub>2</sub> 浓度具有极显著的作用,不会存在“CO<sub>2</sub> 亏缺”现象。在 2014 年 5—9 月整个统计期间,正农菌种、圃园菌曲和广宇菌种处理的 CO<sub>2</sub> 平均浓度分别为 1 056、820、865 μmol/mol,分别比对照(常规栽培)高出 676、441、485 μmol/mol。正农菌种分解、转化玉米秸秆的效率及稳定性明显强于广宇菌种和圃园菌曲,提升 CO<sub>2</sub> 浓度的能力也更强,有助于番茄的生长及产量的提高。与对照(常规栽培)比较,正农菌种、圃园菌曲和广宇菌种处理对番茄植株株高的增长均有极显著的促进作用,但对番茄植株茎粗则没有显著影响。正农菌种对番茄株高的促进作用明显强于圃园菌曲和广宇菌种,这可能与正农菌种提高土壤温度及释放 CO<sub>2</sub> 能力更强有密切关系。与对照比较,秸秆生物反应堆处理可显著提高番茄产量(3.6%~17.5%),其中,正农菌种处理小区产量 167.2 kg 最高,显著高于圃园菌曲和广宇菌种。与对照(常规栽培)比较,正农菌种、圃园菌曲和广宇菌种处理可分别增加产值 2 214.4、1 289.6、453.6 元/667m<sup>2</sup>。综合以上结论可知,采用正农菌种作为秸秆生物反应堆发酵菌种,其提高土壤温度、增加设施内 CO<sub>2</sub> 浓度,促进番茄植株生长及产量提高的能力最强,其次是圃园菌曲,广宇菌种最差。针对连作障碍,张家口地区采用秸秆生物反应堆技术进行越夏番茄栽培是一条可行的途径。

(该文作者还有郭郁频,单位同第一作者。)

#### 参考文献

- [1] 杜艳艳,赵蕴华.农业废弃物资源化利用技术研究进展与发展趋势[J].广东农业科学,2012(2):192-196.
- [2] 王振庄,郝东翔,宋建新,等.河北省蔬菜秸秆生物反应堆技术应用现状及效果分析[J].河北农业科学,2008,12(2):41-42.
- [3] 彭杏敏,陈之群,陈青云,等.内置秸秆反应堆和菌剂对日光温室土壤温度及越冬番茄生长的影响[J].中国蔬菜,2011(22/24):63-67.
- [4] 郭敬华,石琳琪,董灵迪,等.秸秆生物反应堆对日光温室黄瓜生育环境及产量的影响[J].河北农业科学,2009,13(5):17-19.
- [5] 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,2013,24(3):753-758.
- [6] 何志刚,王秀娟,董环,等.秸秆反应堆和功能菌对日光温室番茄生长发育及土壤微生态环境的影响[J].北方园艺,2013(22):184-187.
- [7] 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.
- [8] 魏珉,邢禹贤,王秀峰,等.日光温室 CO<sub>2</sub> 浓度变化规律研究[J].应用生态学报,2003,14(3):354-358.
- [9] 张国芹,刘凤军,顾俊荣,等.生物反应堆技术对番茄产量及品质的影响[J].江苏农业科学,2013,41(3):116-117.
- [10] 徐全辉,赵强.秸秆生物反应堆技术的应用对温室生态环境因子的影响[J].安徽农业科学,2010,38(24):12999-13000.
- [11] 冯连杰.秸秆直填槽式栽培环境效应及其对甜椒、番茄生长的影响[D].泰安:山东农业大学,2010.
- [12] 田福发,陈立丧,姜若勇,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,2013,41(9):143-145.
- [13] 杨秋莲,徐全辉.秸秆生物反应堆对温室气温和二氧化碳浓度的影响[J].安徽农业科学,2011,39(10):5971-5972.
- [14] FORDHAM M, BAMES J D, BETTARINI I, et al. The impact of elevated CO<sub>2</sub> on growth and photosynthesis in *agrostis Canina* L. ssp. *Montelucii* adapted to contrastion atmospheric CO<sub>2</sub> concentrations [J]. *Oecologia*, 1997, 110(4):169-178.
- [15] MARSHALL R. CO<sub>2</sub> does not help tomato propagation [J]. *Grower*, 1964, 61(3):812-815.
- [16] 魏珉,邢禹贤,马红,等.果菜苗期 CO<sub>2</sub> 施肥壮苗效果研究[J].山东农业大学学报(自然科学版),2000,31(2):196-200.
- [17] 石冰,王开运,邹春静,等.大气 CO<sub>2</sub> 浓度和温度升高对草本植物生长的影响[J].现代农业科技,2008(15):15-16.
- [18] 李娟,周健民,段增强,等.CO<sub>2</sub> 与养分交互作用对番茄幼苗形态的影响[J].江苏农业科学,2006(1):76-78.
- [19] MADSEN E. Effect of CO<sub>2</sub> concentration on growth and fruit production of tomato plants [J]. *Acta Agric Scand*, 1974, 24:242-246.
- [20] PRITCHARD S G, ROGERS H H, PRIOR S A, et al. Elevated CO<sub>2</sub> and plant structure: a review [J]. *Global Change Biol*, 1999(5):807-837.
- [21] 任志雨,王秀峰,魏珉.不同根区温度对黄瓜幼苗矿质元素含量及根系吸收功能的影响[J].山东农业大学学报,2003,34(3):351-355.
- [22] 张乃明,常晓冰,秦太峰.设施农业土壤特性与改良[M].北京:化学工业出版社,2008:10-12.
- [23] 赵丽丽.覆盖方式对温室土壤温度及番茄生长发育的影响[D].北京:中国农业科学院,2012.
- [24] 易建华,贾志红,孙在军.不同根系土壤温度对烤烟生理生态的影响[J].中国生态农业学报,2008,16(1):62-66.

## Effect of Different Straw Bio-fermentation Strains on Solar Greenhouse Environment and the Growth and Development of Over-Summer Tomato Cultivation

WANG Peng, LIU Sheping, WANG Jing, LI Weixin, WANG Jiqing, ZHANG Junping, GUO Yupin  
(Hebei North University, Zhangjiakou, Hebei 075131)

# 基于二维传热过程的戈壁日光温室 热环境模拟及验证

宋 羽<sup>1</sup>, 吴乐天<sup>2</sup>, 艾合买提·阿不拉<sup>3</sup>, 邹 平<sup>2</sup>, 张彩虹<sup>2</sup>, 马彩雯<sup>2</sup>

(1. 新疆农业科学院 农作物品种资源研究所, 新疆 乌鲁木齐 830091; 2. 新疆农业科学院 农业机械化研究所, 新疆 乌鲁木齐 830091; 3. 新疆阿图什市农业技术推广中心, 新疆 阿图什 845350)

**摘 要:**构建南疆戈壁石砌筑日光温室热环境动态变化数值模型,更好地分析和评价戈壁日光温室蓄热保温性能,为优化温室设计与建造提供重要依据。结合工程热物理和温室环境工程等理论,构建戈壁石日光温室墙体和土壤二维传热的动态数值模型,并通过在南疆克孜勒苏柯尔克孜自治州戈壁石砌筑日光温室的室内、墙体以及土壤进行多点、连续温度采集,与模拟结果进行比较,验证模型的准确性。实测数据与模拟结果相关性分析显示,连续5 d模拟得到的室内空气、墙体表面以及土壤表面温度与实测数据呈现相同的变化规律,相关系数均在0.9以上,且模拟值与实测值之间的平均绝对误差在1.2~2.3℃范围内。表明所建的二维传热模型能较准确地模拟和预测戈壁石砌筑的日光温室内空气温度、墙面和土壤表面温度的变化规律,可以为该种类型温室的热环境及保温性能评估提供有效地参考依据。

**关键词:**戈壁日光温室;热环境;二维传热;数值模型;验证

**中图分类号:**S 626.5 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2015)21-0052-04

日光温室因其节能、高效、低成本等特点,在我国北方被广泛使用。但由于日光温室的设计和建造主要依据有限的经验,普遍存在设计水平不高<sup>[1]</sup>、环境性能较差<sup>[2]</sup>等问题。近年来随着全疆设施蔬菜产业的迅速发展,南疆三地州的设施面积也在迅速扩大。目前南疆日光温室的建设主要采用就地取材,以戈壁碎石砌筑为主,温室热性能也大大有别于研究成果较多的土墙及砖

墙温室,因此有必要针对性地阐明戈壁石日光温室内热环境规律,并通过构建精准的数值模型,预测、分析、优化构造方案,提高温室的热环境及经济性能。国内不少研究者都针对日光温室热环境模型<sup>[3-13]</sup>进行了研究,但现有日光温室热环境理论中关于温室墙体方面的研究,分析方法大多以一维传热为假定基础<sup>[6-9]</sup>,并不适用于目前南疆大多数高度小于5倍厚度的戈壁石温室墙体;同时,对于土壤热交换的计算,大部分研究将其作为半无限大域的一维传热问题处理<sup>[10-12]</sup>,而日光温室内土壤由于跨度相对较小、易受边界影响,这种计算方法会产生较大的误差,不能比较真实地反映实际情况。该研究在前人模型研究的基础上,采用二维模型描述戈壁石温室的墙体、后屋面和土壤中产生的传热过程,建立了温

**第一作者简介:**宋羽(1980-),男,硕士,助理研究员,研究方向为设施园艺。E-mail:18999119338@163.com.

**责任作者:**马彩雯(1965-),女,硕士,研究员,现主要从事设施农业环境工程等研究工作。E-mail:xjmcw2010@sina.com.

**基金项目:**新疆自治区“十二五”重大专项资助项目(201130104)。

**收稿日期:**2015-05-21

**Abstract:** A experiment was conducted to study the effect of different straw bio-fermentation strains on soil temperature, CO<sub>2</sub> concentration of solar greenhouse and the growth and development of over-summer tomato cultivationt(*Lycopersicon esculentum* Mill.). The results showed that the built-in straw biological reactor technology treated by different straw bio-fermentation strains, could significantly improve soil temperature, CO<sub>2</sub> concentration, plant height and yield(3.6%—17.5%). On the basis of comprehensive compare of three kinds of straw bio-fermentation strains, the effect of ‘Zheng-Nong’ was the best than ‘Guang-Yu’ and ‘Pu-Yuan’.

**Keywords:** straw biological reactor; straw bio-fermentation strains; over-summer cultivationt; tomato; solar greenhouse environment