

# 秸秆生物反应堆对秋冬茬温室番茄 生长特性的影响研究

马世林, 李 波, 王铁良

(沈阳农业大学水利学院, 辽宁 沈阳 110866)

**摘要:** 通过温室内小区试验的方法, 研究秸秆生物反应堆对秋冬茬温室番茄生长特性的影响, 包括对植株形态、光合特性、品质、产量进行分析。结果表明: 秸秆生物反应堆能够有效促进温室番茄植株生长, 提高品质。应用秸秆生物反应堆的试验区, 番茄的株高和茎粗较对照区平均分别提高 8% 和 10%; 番茄果实的蛋白质、可溶性糖、Vc、有机酸含量平均分别提高 11%、17%、14%、12%; 当土壤水分大于田间持水量的 60% ~ 70% 时, 有利于植株的净光合速率及有机质的形成; 应用秸秆生物反应堆的小区, 在滴灌条件下, 若秋冬茬番茄土壤水分下限控制范围为苗期田间持水量 60% ~ 70%  $\theta_f$ , 开花着果期 70% ~ 80%  $\theta_f$ , 结果期 70% ~ 80%  $\theta_f$ , 能够达到高产、优质、高效的目的。

**关键词:** 秸秆生物反应堆; 温室番茄; 生长特性; 光合作用

中图分类号: S141.4 文献标志码: A 文章编号: 1000-7601(2014)05-0132-05

## Effect of straw bioreactor on the growth characteristics of greenhouse tomato growing in autumn and winter

MA Shi-lin, LI Bo, WANG Tie-liang

(Shenyang Agricultural University, Shenyang, Liaoning 110866, China)

**Abstract:** The objective of this work is to elucidate the influence of straw bioreactor on the growth characteristics of greenhouse tomato in autumn and winter, such as plant morphology, photosynthesis, fruit quality, and yield. Results showed the application of straw bioreactor effectively promoted the growth of tomato plants, and increased plant height and stem thickness by 8% and 10%, and improved the contents of protein, soluble sugar, Vc, and organic acid by 11%, 17%, 14%, and 12%, as compared with control area. It was suitable for the photosynthesis of the plant and the accumulation of dry matters as soil moisture was maintained at 60% ~ 70% of  $\theta_f$ . It is suggested that the minimum limit of soil moisture is at 60% ~ 70% of  $\theta_f$  at seedling stage, at 70% ~ 80% at flowering and fruit-setting stage, and at 70% ~ 80% at fruiting stage of tomato growing in winter under drip irrigation. In addition, application of straw bioreactor should be of value for improving yield, quality, and economic benefit of tomato production.

**Keywords:** straw bioreactor; greenhouse tomato; growth characteristics; photosynthesis

随着秸秆生物反应堆技术在温室生产中的普遍应用, 关于秸秆生物反应堆技术的理论研究逐渐成为研究热点。目前主要研究该技术对于温室生境和土壤理化性质改变的定性研究上。郝永乐, 邹志荣等<sup>[1]</sup>研究了温室秸秆生物反应堆技术对早春温室黄瓜应用效果; 曹永新, 兰永富<sup>[2]</sup>研究了秸秆生物反应堆技术对土壤的改良作用和对微生物分解作用的影响。由于土壤理化特性、作物的生境发生变化, 作物

生长特性也会发生改变, 然而基于秸秆生物反应堆技术条件下对温室番茄生长特性的研究成果还存在不足。研究温室内秸秆生物反应堆技术条件下的微灌番茄生长特性相关规律, 对秸秆生物反应堆技术和微灌技术的推广使用具有很重要的意义。基于此, 本研究探索秸秆生物反应堆技术条件下秋冬茬温室番茄生长特性, 为秸秆生物反应堆技术在温室蔬菜生产中推广应用提供理论基础。

收稿日期: 2013-12-02

基金项目: 辽宁省科技厅一般项目(L2012239)

作者简介: 马世林(1984—), 男, 吉林吉林市人, 博士研究生, 从事设施农业节水灌溉理论和技术研究。E-mail: mashilin@163.com。

通信作者: 李 波(1969—), 女, 辽宁大连人, 博士, 副教授, 主要从事设施农业节水灌溉理论和技术研究。E-mail: liboluck@126.com。

# 1 材料与方法

## 1.1 试验概况

试验在沈阳农业大学能源综合试验基地日光温室内进行。试验区位于北纬 41°44', 东经 123°27', 年

平均最高气温 29℃, 年平均最低气温 -20℃, 平均气温 7.0℃ ~ 8.1℃, 年平均降水量 574.4 ~ 684.8 mm。温室内土壤为棕壤, 田间持水量为 39%, 土壤的 pH 值为 6.5, 土壤的养分状况见表 1。

表 1 土壤的养分状况

Table 1 Soil nutrient status

pH	有机质 Organic matter /(g·kg <sup>-1</sup> )	全氮 Total nitrogen /(g·kg <sup>-1</sup> )	碱解氮 Alkaline hydrolysis nitrogen /(mg·kg <sup>-1</sup> )	全磷 Total phosphorus /(g·kg <sup>-1</sup> )	速效磷 Available phosphorus /(mg·kg <sup>-1</sup> )	全钾 Total potassium /(g·kg <sup>-1</sup> )	速效钾 Available potassium /(mg·kg <sup>-1</sup> )
6.5	17.5	1.053	34.604	0.763	407.789	40.376	171.835

## 1.2 试验设计

试验在同一温室内进行, 分为两个试验小区, 其中试验区 A 采用秸秆生物反应堆技术, 试验区 B 为对照区, 不采用秸秆反应堆技术。采用重力滴灌方式灌水, 出水孔间距为 30 cm。供试作物为番茄, 品种为荷兰达尔文。行距为 50 cm, 株距 30 cm。两个小区各设有 4 个处理, 每个处理 3 次重复。每垄定植 8 株苗。以土壤水分含水量为灌水控制指标。当土壤含水量处于土壤水分控制下限范围内时开始灌水, 灌水上限是田间持水量。灌水量按公式(1)进行计算<sup>[3]</sup>。

$$M = (\theta_{\max} - \theta_{\min}) \times S \times H \times p \quad (1)$$

式中,  $M$  为灌水量(m<sup>3</sup>);  $\theta_{\max}$ 、 $\theta_{\min}$  分别为土壤水分控制上、下限(体积含水率);  $S$  为试验小区面积(m<sup>2</sup>);  $H$  为计划湿润层(m);  $p$  为湿润比, 滴灌时取  $p = 0.9$ 。土壤水分下限控制范围见表 2<sup>[4]</sup>。

表 2 土壤水分下限控制范围/% $\theta_f$

Table 2 The lower limit of soil moisture before irrigation

处理 Treatment	苗期 Seedling stage	开花坐果期 Flowering and fruit-setting stage	结果期 Fruiting stage
A1 或 B1(A1 or B1)	60 ~ 70	80 ~ 85	70 ~ 80
A2 或 B2(A2 or B2)	60 ~ 70	50 ~ 60	70 ~ 80
A3 或 B3(A3 or B3)	60 ~ 70	60 ~ 70	70 ~ 80
A4 或 B4(A4 or B4)	60 ~ 70	70 ~ 80	70 ~ 80
计划湿润层/cm Plan wetting layer	20	40	40

注: A 代表放置秸秆的试验区; B 代表无秸秆的试验对照区。灌水下限以田间持水量( $\theta_f$ )的%计, 灌水上限为田间持水量。

Note: A, the straw area; B, the control area. The lower limit of soil moisture is the percentage of field capacity  $\theta_f$ . The upper limit of soil moisture is field capacity  $\theta_f$ .

## 1.3 观测指标和测试方法

采用 Trime - T3 + FM3 型时域反射仪 3 ~ 5 d·

次<sup>-1</sup>测量土壤含水率, 每个处理在垄沟和垄台上分别设置 1 个 TDR 管, 分别测定地表以下 10、20、30、40 cm 深处的土壤含水率, 灌水前后加测。温室内地温采用模组式温度联合采集系统监测, 对每个处理的 5、15、25、35 cm 土层温度进行全天 24 h 连续监测。植株定植后, 每个处理选取 12 株植株, 使用卷尺、钢尺和游标卡尺定期(每 7 d)测定作物株高、径粗、叶面积。利用 PB0402 光合速率仪测定植株的光合速率。对各不同处理每次采收的果实产量进行累计, 得到各处理产量。各处理灌水量由安装在滴灌系统上的水表进行计量, 各次灌水量之和为全生育期总灌水量。测定品质指标为: 可溶性糖、维生素 C (Vc)、可溶性蛋白质、有机酸含量。

## 1.4 秸秆生物反应堆建造参数

建造生物反应堆的沟尺寸为深度 50 ~ 60 cm, 宽度 60 ~ 80 cm。然后填埋秸秆, 试验区用菌种量按照每 90 kg·hm<sup>-2</sup>进行配备。使用方法是将菌种、麦麸和水拌匀(菌种: 麦麸: 水 = 1: 20: 25), 拌后第 4 天即使用。作物定植前在种植垄下开沟, 沟深 20 cm, 沟长与垄长相等。接着填加首层玉米秸秆段(5 ~ 10 cm 长, 含水率 30% ~ 40%), 放于沟底层<sup>[5]</sup>。把粉碎的秸秆撒入沟内, 当深度达到 30 cm 时再均匀撒入处理好的菌种。该层菌种需要整个沟用量的 30%。上面盖上一层土并再次施入发酵好的鸡肥, 有机肥用量为 22 500 kg·hm<sup>-2</sup>。然后撒上相同数量的秸秆, 将所剩余 2/3 菌种均匀地撒在第二层秸秆上, 再覆土 25 cm, 充分的浇透水。在垄台上打气孔, 一般直径可以是 3 cm, 深度要碰到下面的秸秆, 两空间距为 40 cm。

## 1.5 数据分析方法

试验数据应用 EXCEL、SPSS 软件进行分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 秸秆生物反应堆对番茄植株形态的影响分析

2.1.1 对番茄株高的影响分析 秸秆试验区与对照试验区不同水分处理株高变化规律如图 1 所示,可知:番茄株高随生育期的延长而增加,前期生长较快,后期增长趋势缓慢;且不同土壤水分处理下番茄株高的生长趋势基本相似,呈“S”型。尽管在苗期两个试验区的作物株高长势很接近,但到了开花坐果期和结果期秸秆试验区株高长势明显高于对照试验区的株高长势。可见应用秸秆生物反应堆后的植株在相同的灌水条件下,长势好于对照试验区,说明应用该技术后可以进有效促进作物的生长。在生长初期各处理的株高相差不大且生长较快,是因为各处理在移栽后浇灌了等量的定植水且苗期的水分控制条件基本一致;随着植株生长进行,各处理植株生长产生显著差异,且各处理均出现后期植株增长趋势平缓的现象,原因是结果期生殖生长占主导地位,果实膨大需要摄取的水分较营养生长所需水分多。

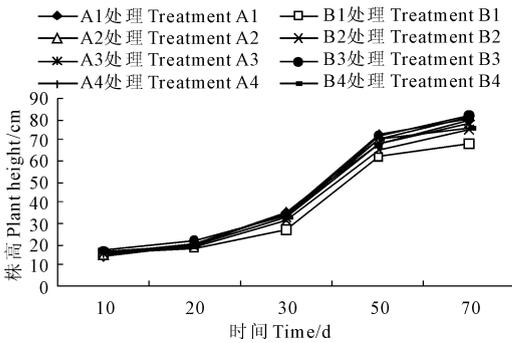


图 1 番茄株高变化对比图

Fig. 1 Comparison of plant height among treatments

针对不同水分处理在相同生长天数的株高方差分析,表明番茄在第 10 天和第 20 天两个生长时间点上,无论是秸秆试验区还是对照试验区差异均不显著。然而,番茄植株在 30 天、50 天和 70 天生长时间点的株高方差分析则表明差异显著。10 天和 20 天生长时间节点由于在定制后处于缓苗期,加上植株叶片较小,光合作用较弱。而 30 天、50 天和 70 天则处在番茄开花坐果期和结果期,植株营养生长和生殖生长对水分的需求较大,植株对水分的相应较响应较敏感。方差分析见表 3 与表 4。

2.1.2 对番茄植株茎粗的影响分析 秸秆试验区与对照试验区不同处理茎粗变化规律(如图 2 所示)表明:番茄的径粗长势在苗期比较平缓,开花坐果期

和结果期长势较快。同时,秸秆试验区的径粗长势优于对照试验区的径粗长势。可见应用秸秆生物反应堆后植株在相同的灌水条件下,秸秆试验区的长势好于对照试验区,应用该技术可以有效促进植株的生长。

表 3 秸秆试验区番茄株高方差分析

生长点/d Days after seedling emergence	组间平方和 Sum of squares between groups	组内平方和 Sum of squares in the group	统计量值 Statistical quantity	显著性 Significance
10	0.363	2.487	0.390	0.764
20	0.163	1.300	0.333	0.802
30	13.983	6.327	5.894	0.020
50	9.443	4.427	5.688	0.022
70	22.602	5.027	11.991	0.002

表 4 对照试验区株高方差分析表

生长点/d Days after seedling emergence	组间平方和 Sum of squares between groups	组内平方和 Sum of squares in the group	统计量值 Statistical quantity	显著性 Significance
10	0.842	1.547	1.453	0.298
20	0.609	2.680	0.606	0.629
30	82.840	7.167	30.824	0.000
50	10.283	6.107	4.490	0.040
70	104.909	18.840	14.849	0.001

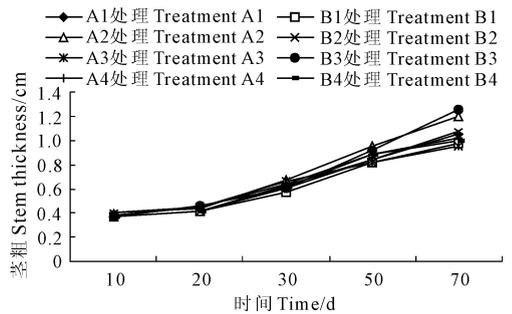


图 2 番茄茎粗变化对比图

Fig. 2 Comparison of tomato stem thickness among different treatments

针对不同水分处理在相同生长天数的茎粗方差分析,呈现出与株高相同的规律,即生长时间点为 10 天和 20 天时番茄植株的茎粗,无论秸秆生物反应堆试验区还是对照试验区均无差异。然而生长时间点为 30 天、50 天和 70 天时番茄秸秆茎粗差异显著。说明开花坐果期和结果期植株的茎粗放大需要水分的及时补给,不同的水分亏缺对植株茎粗放大影响显著。方差分析表见表 5、表 6。

表 5 秸秆试验区番茄茎粗方差分析表

Table 5 Analysis of variance of tomato stem thickness in straw area

生长点/d Days after seedling emergence	组间平方和 Sum of squares between groups	组内平方和 Sum of squares in the group	统计量值 Statistical quantity	显著性 Significance
10	0.000	0.001	1.061	0.418
20	0.000	0.001	0.952	0.460
30	0.005	0.001	12.056	0.002
50	0.005	0.001	9.733	0.005
70	0.738	0.065	30.502	0.000

表 6 对照试验区番茄茎粗方差分析表

Table 6 Analysis of variance of tomato stem thickness in control area

生长点/d Days after seedling emergence	组间平方和 Sum of squares between groups	组内平方和 Sum of squares in the group	统计量值 Statistical quantity	显著性 Significance
10	0.000	0.002	0.389	0.764
20	0.001	0.001	3.563	0.067
30	0.003	0.002	4.607	0.037
50	0.024	0.004	17.309	0.001
70	0.096	0.038	6.839	0.013

### 2.2 对番茄光合特性的影响分析

叶片作为影响光合作用的重要因素,水分的多少直接影响光合作用的能力。土壤水分含量直接影响作物根系吸水,最终对光合作用产生间接影响。图 3 为不同水分处理间在开花坐果期的净光合速率、蒸腾速率及气孔导度的比较。从图中可以看出, A2 处理和 B2 处理的净光合速率、蒸腾速率及气孔导度值与其他处理相比最小,这是由于 A2 处理在开花坐果期的土壤水分下限控制在田间持水量的 50% ~ 60%,水分亏缺程度较严重。其它处理在开花坐果期的土壤水分下限占田间持水量的比重大于 60% ~ 70%,因此各光合参数值的差异不大。

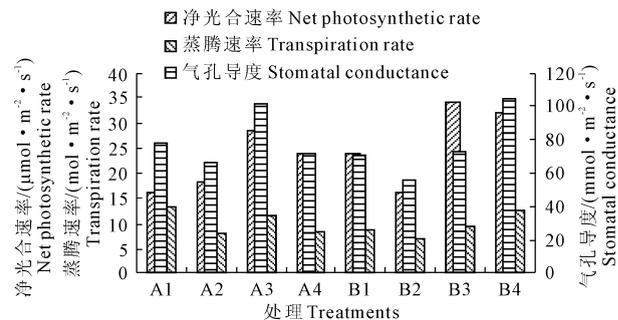


图 3 不同处理间植株光合速率、蒸腾速率、气孔导度的比较  
Fig.3 Comparison of photosynthetic rate, transpiration rate, and stomatal conductance of tomato among different treatments

为探索生殖生长初期秸秆生物反应堆对植株光合作用的影响程度和显著性,本研究对开花坐果期

的番茄光合参数进行方差分析。

通过对开花坐果期番茄的光合参数作方差分析表明:对于净光合速率,不同处理间净光合速率差异达到 5% 显著水平;对于气孔导度,不同处理间气孔导度差异达到 5% 显著水平和 1% 极显著水平;对于蒸腾速率,不同处理间蒸腾速率差异达到 5% 显著水平和 1% 极显著水平。对其光合参数的均值进行多重比较(见表 7)可知, A2 处理和 B2 处理的净光合速率、气孔导度、蒸腾速率显著小于其他处理。净光合速率随土壤水分控制下限的降低而减小。蒸腾速率亦随土壤水分控制下限的降低而减小。由分析结果得出,无论是秸秆试验区还是对照试验区的作物,当开花坐果期的土壤水分控制下限大于田间持水量的 60% ~ 70% 时,有利于植株的净光合速率及有机质的形成。

表 7 不同处理番茄开花坐果期光合速率、蒸腾速率、气孔导度的多重比较分析

Table 7 Multiple comparison analysis of photosynthetic rate, transpiration rate, and stomatal conductance during the flowering and fruit-setting stage of tomato among different treatments

处理 Treatment	净光合速率 Net photosynthetic rate $/(µmol·m^{-2}·s^{-1})$	气孔导度 Stomatal conductance $(mmol·m^{-2}·s^{-1})$	蒸腾速率 Transpiration rate $/(mol·m^{-2}·s^{-1})$
A1	16.0Bb	134.4Aa	13.33Aa
A2	18.25Bb	67.8ab	7.9Bb
A3	28.48ABab	101ABab	11.5ABab
A4	22.75ABb	71.3Bb	8.45ABb
B1	23.88ABb	70.1Bb	8.8ABb
B2	18.2Bb	58.6Bb	7.0Bb
B3	39.73Aa	72.7Bb	9.3ABb
B4	31.85ABab	104.7ABab	12.7ABab

注:大写字母表示 0.01 极显著水平;小写字母表示 0.05 显著水平;同栏相同字母表示差异不显著。

Note: Capital letters indicate  $P < 0.01$  significant level, and lowercase letters  $P < 0.05$  significant level. The same letter in the same column indicates no significant difference.

### 2.3 对作物果实品质的影响分析

图 4 是番茄品质的主要指标含量的比较,从图 4 中可以直观地看到秸秆生物反应堆条件下番茄的蛋白质、可溶性糖、Vc、有机酸含量上好于对照试验区,对作物蛋白质含量和 Vc 含量进行方差分析,得到番茄不同水分处理蛋白质含量和 Vc 含量达 5% 显著水平和 1% 极显著水平。进行多重比较,由表 8 至表 9 可知, A1 ~ A4 处理的蛋白质、可溶性糖、Vc、有机酸含量水平优于 B1 ~ B4 处理。可见,秸秆生物反应堆对改善番茄品质有明显的积极作用<sup>[5]</sup>。

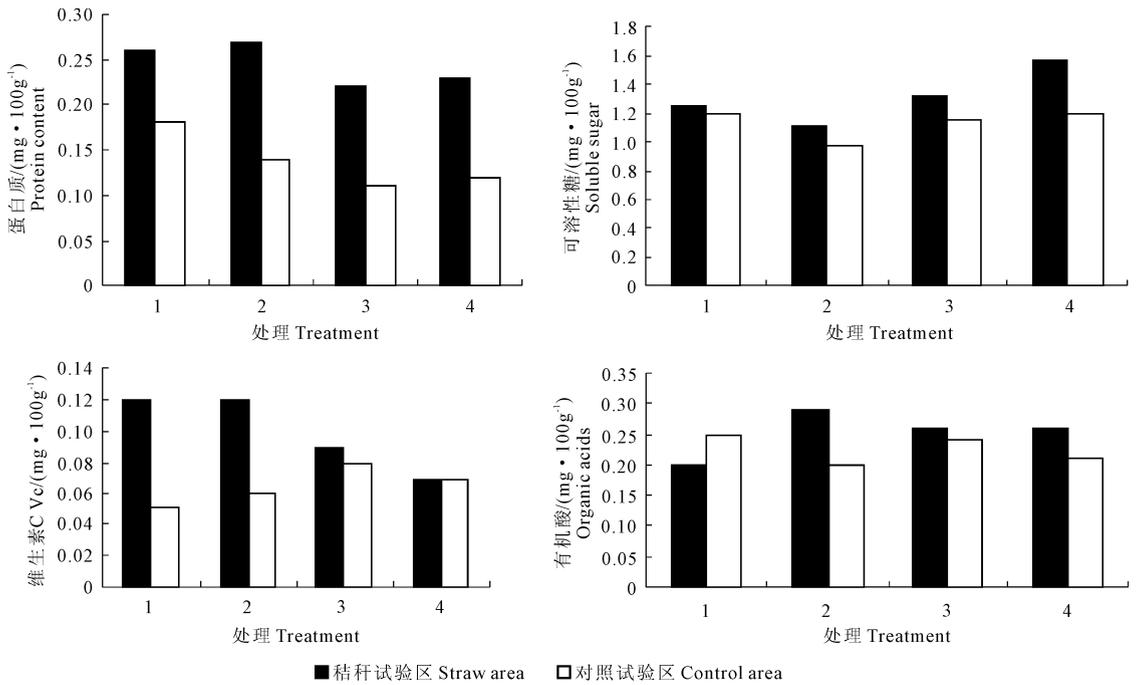


图 4 不同水分处理番茄品质的比较

Fig.4 Comparison of tomato fruit quality among different treatments

表 8 不同水分处理番茄蛋白质含量的多重比较

Table 8 Multiple comparison of protein content in tomato among different treatments

处理 Treatment	蛋白质/(mg·100g <sup>-1</sup> ) Protein content	显著水平 Significant level	
		5%	1%
A1	0.26	ab	AB
A2	0.27	a	A
A3	0.22	ab	AB
A4	0.23	ab	AB
B1	0.18	b	B
B2	0.14	bc	BC
B3	0.11	c	C
B4	0.12	c	C

表 9 不同水分处理番茄 Vc 含量的多重比较

Table 9 Multiple comparison of Vc content in tomato among different treatments

处理 Treatment	维生素 C/(mg·100g <sup>-1</sup> ) Vc content	显著水平 Significant level	
		5%	1%
A1	0.12	a	A
A2	0.12	a	A
A3	0.09	ab	AB
A4	0.07	bc	BC
B1	0.05	c	C
B2	0.06	bc	BC
B3	0.08	b	B
B4	0.07	bc	BC

### 2.4 对作物产量的影响分析

产量是评价秸秆生物反应堆效益、衡量灌溉水分调控效果的一项重要指标,以每垄产量作为水分处理内的一个重复,对处理间番茄总产量差异进行方差分析,结果达到 5% 显著性水平,说明产量在不同处理下有显著差异。对比相同水分控制水平条件下的产量数据,秸秆试验区明显高于对照试验区,说明秸秆生物反应堆对作物产量具有明显促进作用<sup>[3]</sup>。在秸秆生物反应堆条件下的 A4 处理的作物产量最大,A1 处理的作物产量次之,而对照试验区条件下的 B3 处理产量最大。可见在秸秆生物反应堆条件下灌水下限控制在 70% ~ 80% θ<sub>f</sub> 更利于该技术的发挥积极作用,对提高作物的产量有明显促进作用。

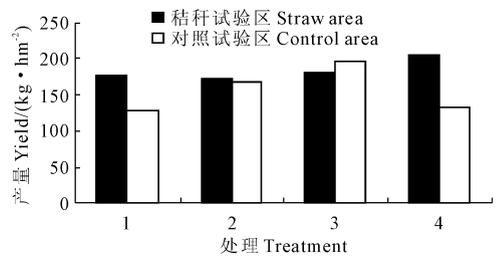


图 5 不同处理番茄产量

Fig.5 Yield of tomato of different treatments

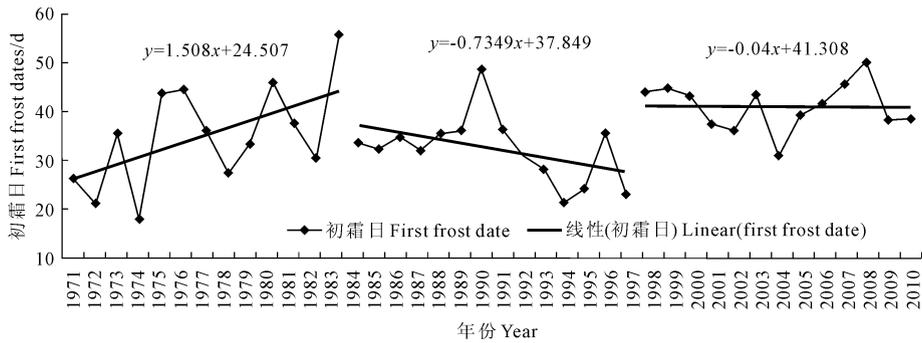


图 5 1971—2010 年初霜日的三个阶段变化特征

Fig.5 Three stages change characteristics of first frost dates during 1971 to 2010

2) 春季平均气温以  $0.25^{\circ}\text{C}\cdot 10\text{a}^{-1}$  的速率递增, 在春季气候增暖的前提下, 终霜冻日期的年际变化呈现出偏晚期、偏早期、正负震荡期、偏早期四个主要变化时期。总体趋势的提前速率为  $4\text{d}\cdot 10\text{a}^{-1}$ 。尤其 1997 年以来, 春季的明显增暖与终霜日的偏早期明显相对应。

3) 秋季平均气温的上升速率为  $0.2^{\circ}\text{C}\cdot 10\text{a}^{-1}$ , 随着秋季气候的渐暖, 山西东南部的初霜日期渐续推后, 其变化趋势为正负震荡推后期、偏早期和平稳推后期, 总体趋势推后速率为  $2\text{d}\cdot 10\text{a}^{-1}$ 。山西东南部初霜日期的推后趋势形成于秋季增暖的前提下。

4) 初终霜冻日期的时域分布与特殊的地理环境条件关系密切。虽然在较强冷空气的影响下, 晴朗无风、温度较低是霜冻发生的气象条件, 但特殊的地理环境也是霜冻时域分布差异的主要原因。霜冻易发生在地势低、地形闭塞、冷空气容易沉积、风小冷空气不易混合的地区。

5) 无霜期对农业来讲是个很重要的热量指标, 与农作物生长关系密切, 无霜期长, 作物生长期相对就长, 无霜期的延长对农作物的生长提供足够的热量资源。终霜冻的提前有利于适时春播保障作物苗期的安全生长。初霜时间的推迟, 则有利于中晚熟农作物的安全成熟。

#### 参考文献:

- [1] 李国强, 狄小英, 贾海燕, 等. 2009 年临汾市初霜冻成因分析 [J]. 山西师范大学学报, 2010, 24(3): 94-96.
- [2] 王锡稳, 孙兰东, 张新荣, 等. 甘肃春季一场罕见强霜冻、冻害天气的分析 [J]. 干旱气象, 2005, 23(4): 7-11.
- [3] 张旭晖, 谢小萍, 霍金兰, 等. 江苏初霜冻期发生时空变化特征 [J]. 江苏农业科学, 2012, 40(4): 324-327.
- [4] 马柱国. 中国北方地区霜冻日的变化与区域增暖相互关系 [J]. 地理学报, 2003, 58(增): 31-37.
- [5] 林培松, 素森, 李保生. 近 50 年来海南岛西部气候变化初步研究 [J]. 气象, 2005, 31(2): 5154.
- [6] 林学春, 于淑秋. 近 40 年我国气候趋势 [J]. 气象, 1990, 16(10): 1621.

(上接第 136 页)

## 3 结论

在日光温室中以番茄为供试作物, 以土壤水分为控制灌水指标, 研究秸秆生物反应堆和滴灌条件下番茄生长特性的变化规律, 主要得出以下的结论:

① 应用秸秆生物反应堆技术的番茄植株株高和茎粗好于对照试验区, 说明秸秆生物反应堆技术有利于作物营养生长。② 无论是秸秆试验区还是对照试验区, 当作物土壤含水量在  $60\% \sim 80\% \theta_f$  时植株光合效率更高, 更有利于干物质积累。③ 应用秸秆生物反应堆技术的试验区番茄的蛋白质、可溶性糖、Vc、有机酸含量优于对照区, 说明秸秆生物反应堆对改善作物的品质具有积极作用。④ 应用秸秆生

物反应堆技术的秸秆试验区番茄产量明显高于对照试验区的番茄产量, 说明秸秆生物反应堆对提高番茄产量具有积极促进作用。

#### 参考文献:

- [1] 郝永乐, 邹志荣. 早春温室黄瓜生产中秸秆生物反应堆应用效果的研究 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2009.
- [2] 曹永新, 兰永富. 秸秆生物反应堆技术在日光温室中的应用 [J]. 吉林农业, 2010, (9): 143.
- [3] 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): 95-98.
- [4] 马世林, 王铁良, 张玉龙, 等. 日光温室青椒滴灌最佳灌水下限组合试验研究 [J]. 中国农村水利水电, 2011, (2): 62-68.
- [5] 李波, 赵莹, 王铁良, 等. 小管出流条件下土壤水分对树莓果实品质的影响 [J]. 北方园艺, 2011, (14): 5-8.