

# 内置空气-卵石槽对日光温室横向地温的影响

刘名旺<sup>1</sup>, 李子栋<sup>1</sup>, 邹志荣<sup>1,2</sup>, 李建明<sup>1,2</sup>, 曹晏飞<sup>1,2</sup>

(1. 西北农林科技大学 园艺学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 农业部西北设施园艺工程重点实验室, 陕西 杨凌 712100)

**摘要:**空气-卵石槽包括卵石槽、通风管道和风机,它的工作原理通过风机将室内富余热空气传送到卵石槽内部进行蓄放热。为详细了解该卵石槽内部温度变化以及其对日光温室土壤温度的影响,在陕西杨凌日光温室中测试了南墙内侧内置空气-卵石槽的试验隔间和无空气-卵石槽的对照隔间的土壤温度变化规律。结果表明:空气-卵石槽是一个有效地蓄放热体,与对照隔间相比,试验隔间内置空气-卵石槽可使土壤温度提高 $1.0\sim 2.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,土壤边际界面南移距离在温室跨度的 $7.5\%$ 以上,有效地扩大了日光温室冬季种植的土壤温度稳定区域。

**关键词:**日光温室;卵石;土壤温度;边际效应

地温是北方地区日光温室冬季生产的关键因素之一。温室土壤在白天蓄积太阳辐射热量,夜间当室内空气温度下降至一定水平时,土壤释放热量用于空气加热<sup>[1]</sup>,尤其是对以土壤栽培方式为主的冬季越冬茬栽培作物来说,根区土壤温度过低对作物根系生长、水分和养分的吸收、土壤微生物的生存等均有不利影响,从而影响作物地上部分的生长发育<sup>[2-3]</sup>,因此,提高土壤温度对于保证温室内作物产量、品质具有十分重要的意义。

日光温室土壤温度环境存在明显的边际效应<sup>[4]</sup>,佟国红等<sup>[5]</sup>采用数值模拟方法分析了温室土壤温度边际区域的详细分布,同时孙丽等<sup>[6]</sup>还分析了日光温室边际区域对茄子光合速率等参数的影响。为了弱化日光温室土壤温度环境的边际效应,研究人员提出了日光温室种植面土壤下沉<sup>[7]</sup>、外置防寒沟<sup>[8]</sup>、南墙内侧内置泡沫板<sup>[9]</sup>、内置半拱棚<sup>[10]</sup>等措施,这些方法对于推动减少日光温室土壤横向传热技术的发展做出了贡献,只是这些措施只能被动地吸收太阳辐射热量,致使土壤保温效果有限。

鉴于此,本课题组开展了日光温室南侧墙体内侧内置空气-卵石槽的方案,白天通过风机主动将室内富余热空气传送到卵石槽中进行蓄热,夜间

卵石槽自然放热以进行保温。为进一步研究空气-卵石槽对日光温室土壤温度的保温效果,本文将对南墙内侧内置空气-卵石槽、无空气-卵石槽的2个温室隔间进行较为严格的对比试验,从跨度方向土壤温度分布特征及变化规律、土壤边际效应区域等角度进行讨论分析,评价温室南墙内置空气-卵石槽对横向土壤温度的保温效果。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试温室及空气-卵石槽

1.1.1 供试温室 试验安排在陕西省杨陵示范区西北农林科技大学北校区园艺场内进行,选取I号日光温室进行数据监测。该温室为砖砌后墙钢骨架结构,棚膜为无滴膜,外覆盖保温被,通常08:00-09:00揭帘,15:00-16:30盖帘。温室长50 m,跨度8.0 m,脊高3.5 m,后墙宽1.0 m,高2.2 m,沿长度方向分为5个隔间,试验选取第三隔间为试验区域,选取第五隔间为对照区域,隔间长度为8.0 m。

1.1.2 空气-卵石槽 在温室试验隔间的南侧下挖长6 m,宽0.5 m,深0.5 m的沟槽,槽底部和南侧铺设有利于隔热的毛毡,槽内填埋直径1~10 cm的卵石,中部铺设直径为90 mm的PVC管道通风,沿管道长度方向每隔30 cm钻直径为2 cm的小孔用于排风。进风口位于卵石槽西侧,距离室内地面高度1.0 m处垂直放置风机。

风机功率为22 W,转速 $1\ 600\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ ,风量 $127\text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ 。9:00-16:00期间,当室内空气温度 $>25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时开启风机。

### 1.2 测点布置及监测方法

1.2.1 测点布置 土壤中温度测点设置(图1):

收稿日期:2018-05-30

基金项目:宁夏自治区重点研发计划重大资助项目(2016BZ0901);现代农业产业技术体系建设专项资助项目(CARS-23-C05);博士科研启动基金资助项目(2452015274)。

第一作者简介:刘名旺(1996-),男,在读学士,从事设施园艺研究。E-mail:18821714581@163.com。

通讯作者:曹晏飞(1986-),男,博士,讲师,从事设施农业结构与环境的研究。E-mail:caoyanfei@nwsuaf.edu.cn。

A-1 至 A-7 表示试验区域距地表面 20 cm 处的土壤温度,均布置于试验温室隔间东西方向的中央位置,A-1 距离温室南侧基础 700 mm 处,A-1 至 A-6 各个点之间距离 200 mm,A-7 布置于温室中

央;对照隔间土壤温度测点与试验隔间测点位置相同,对应标号分别为 T-1 到 T-7,其位置与 A-1 到 A-7 相同。

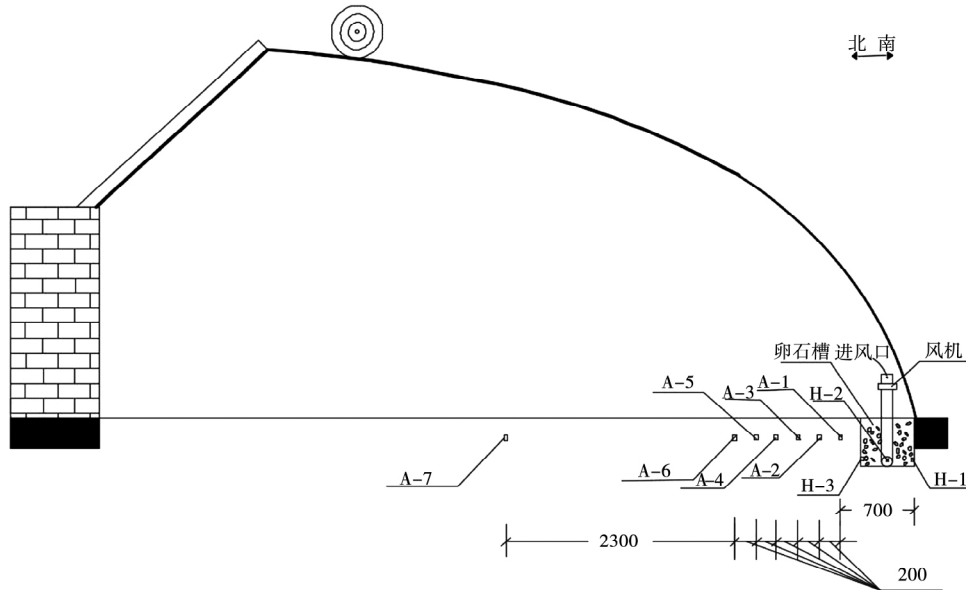


图 1 试验温度测点布置

Fig. 1 Test temperature measuring point layout

卵石槽中温度测点的设置(图 1):H-1 至 H-3 表示试验温室南侧空气-卵石槽内距离地表面 40 cm 处的温度测点,布置于试验温室隔间东西方向的中央位置,其中 H-1 为卵石槽靠近温室南侧墙体的槽壁温度测点,H-2 为管道内温度测点,H-3 为卵石槽靠近温室内北侧土壤的槽壁温度测点。

1.2.2 数据监测 H-1 至 H-3 温度测点采用 HOBO UX120-014M 四通道热电偶温度记录仪(测量范围:  $-20 \sim 70^{\circ}\text{C}$ , 精度:  $\pm 0.21^{\circ}\text{C}$ ) 监测, A-1 至 A-7 和 T-1 至 T-7 温度测点采用 T 型热电偶测量,采用安捷伦 34970A 数据采集器进行数据记录。温室外侧设有小型气象站,采集距地表面 20 cm 处的土壤温度数据。数据采集时间为 2017 年 1 月,数据采集间隔为 10 min。

### 1.3 温室边际效应界点确定方法

本试验主要考虑温室南侧卵石槽对土壤温度变化的影响,故忽略其他因素影响。假设同一深度土壤温度受温室内温度影响均匀,且温室中部土壤温度不受室外变化影响。研究表明,根区地温变化  $1^{\circ}\text{C}$  就能引起植物生长的明显变化<sup>[3]</sup>。若温室边际土壤温度与中部土壤温度的平均差值大于  $1^{\circ}\text{C}$  时,该部分的土壤温度会影响作物的生长

发育。为此,选用  $1^{\circ}\text{C}$  作为确定温室边际效应界点的阈值,参考孙治强等<sup>[4]</sup>温室土壤边际区域确定方法。

## 2 结果与分析

### 2.1 温室南墙内置空气-卵石槽的温度变化

由图 2 可知,H-1、H-3 测点温度变化趋势相同,H-3 测点的平均温度为  $14.3^{\circ}\text{C}$ ,比 H-1 测点的平均温度高  $3^{\circ}\text{C}$ ;H-2 测点温度波动幅度较大,这是由于白天室内热空气通过风机进入卵石槽内部通风管道,可有效地提高空气管道与卵石槽的热交换效率。

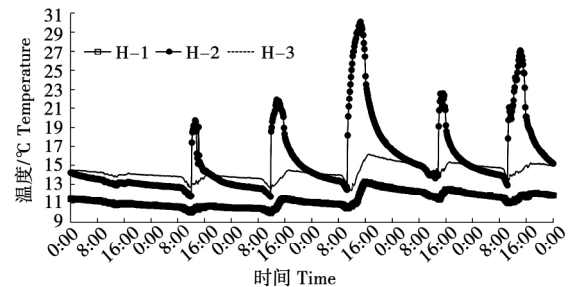


图 2 空气-卵石槽内不同测点的温度变化

(2017-01-16 至 01-21)

Fig. 2 Temperature variation at different measuring points in air-pebble grooves (from 2017-01-16 to 2017-01-21)

为进一步分析不同天气状况下卵石槽内温度变化规律,选择 2017-01-19(晴天)和 2017-01-16(雾霾天)的数据进行分析。由图 3 可知,晴天条件下,当风机开启后,H-2 测点温度有一个明显的上升,最大温度可达 30.1℃,明显大于 H-1 和 H-3 测点温度,其中温度上升幅度为 17.6℃;受通风管道内热空气的影响,H-1、H-3 测点温度也缓慢上升,上升幅度分别为 2.8、3.8℃,说明晴天白天热空气可通过风机进入了卵石槽中进行蓄热,可有效地提高蓄热槽内部温度。而在雾霾天(图 4),H-1、H-2、H-3 测点温度呈缓慢下降趋势,其中 H-3 测点温度最大(14.1℃),H-2 测点温度次之,H-1 测点温度最小(11.1℃),说明热量由温室卵石槽内侧向外侧传递。

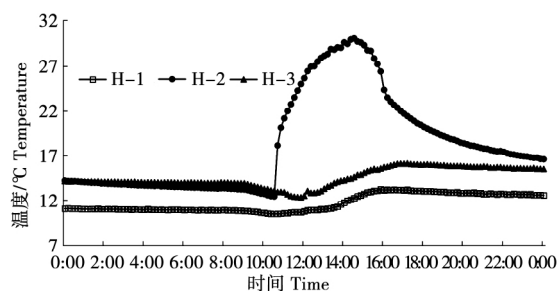


图 3 晴天条件下空气-卵石槽内不同测点的温度变化  
Fig. 3 Temperature variation in different measuring points in air-eggstone trough under sunny day

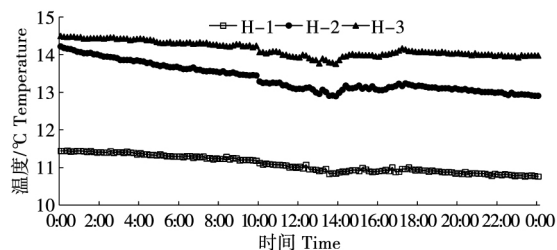


图 4 雾霾天气空气-卵石槽内不同测点的温度变化  
Fig. 4 Temperature variation in different measuring points in air-eggstone trough under haze day

## 2.2 温室内外土壤温度变化分析

由图 5 可知,温室试验隔间土壤温度与对照隔间土壤温度变化趋势基本相同,温度波动幅度较小,其中室外距地表 20cm 处的土壤温度基本维持在 4℃左右,试验隔间平均土壤温度比对照隔间平均土壤温度高 1.8℃。

为了进一步比较分析土壤温度测点在典型天气条件下的变化差异,选用试验隔间和对照隔间中距离南侧墙体最近测点(A-1/T-1)和最远测点(A-7/T-7)在 2017 年 1 月 21 日(晴天)和 2017

年 1 月 16 日(雾霾天)的土壤温度数据进行分析。由图 6 可知,在晴天条件下,试验隔间与对照隔间的土壤温度变化趋势相似,不同测点温度波动幅度相差不大。与对照隔间土壤温度相比,试验隔间中相同位置的土壤温度均有所提高,土壤温度平均提高 1.0~2.4℃。试验隔间与对照隔间距离南侧墙体最远测点的土壤温度均要高于最近测点的土壤温度,其中试验隔间 A-7 与 A-1 测点的平均温差仅为 0.8℃,而对照隔间 T-7 与 T-1 测点的平均温差为 2.2℃,说明对照隔间土壤存在明显的边际效应区域。

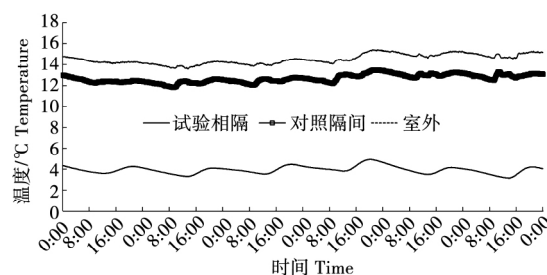


图 5 日光温室内外土壤温度变化(2017-01-16 至 01-21)  
Fig. 5 Soil temperature variation inside and outside of solar greenhouse (from 2017-01-16 to 2017-01-21)

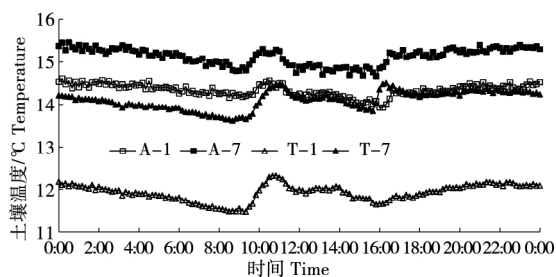


图 6 晴天条件下不同温室隔间土壤温度变化  
Fig. 6 Soil temperature variation in different greenhouse compartments under sunny day

由图 7 可知,在雾霾天条件下,试验隔间与对照隔间的土壤温度均呈现缓慢下降的变化趋势,变化幅度均在 1.0℃以内。试验隔间土壤温度高于对照隔间中相同位置的土壤温度,平均相差 1.1~2.0℃。同时试验隔间与对照隔间距离南侧墙体最远测点的土壤温度均要高于最近测点的土壤温度,其中试验隔间 A-7 与 A-1 测点的平均温差为 0.8℃,对照隔间 T-7 与 T-1 测点的平均温差为 1.8℃。说明在晴天、雾霾天条件下试验隔间南墙内侧内置卵石槽有助于减少了外界土壤环境对室内土壤温度的影响,弱化土壤边际效应。

## 2.3 温室土壤边际效应界点变化

由表 1 可知,无论白天还是夜晚,与对照隔间

土壤温度相比,试验隔间中相同位置的各点土壤温度均有所提高。在白天,A-1 比 T-1 平均高 2.1℃,A-2 比 T-2 平均高 2.0℃,A-3 比 T-3 平均高 1.9℃,A-4 比 T-4 平均高 1.9℃,A-5 比 T-5 平均高 1.8℃,A-6 比 T-6 平均高 1.9℃,A-7 比 T-7 平均高 0.9℃;在夜晚,A-1 比 T-1 平均高 2.1℃,A-2 比 T-2 平均高 2.1℃,A-3 比 T-3 平均高 2.1℃,A-4 比 T-4 平均高 2.0℃,A-5 比 T-5 平均高 2.0℃,A-6 比 T-6 平均高 2.0℃,A-7 比 T-7 平均高 1.1℃,说明距离温室南侧越近,试验隔间与对照隔间土壤温度相差越大。

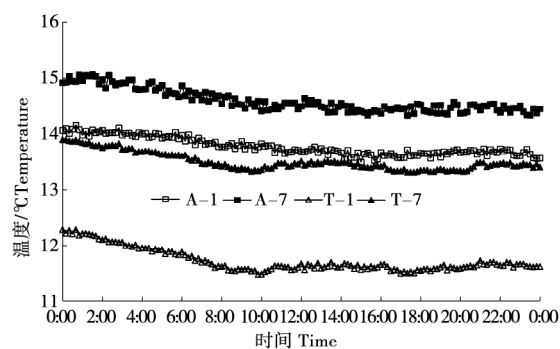


图 7 雾霾天条件下不同温室隔间土壤温度变化  
Fig. 7 Soil temperature variation in different greenhouse compartments under haze day

表 1 温室内不同测点平均土壤温度(2017-01-16 至 01-21)

Table 1 Average soil temperature variation of different points inside solar greenhouse (from 2017-01-16 to 01-21)

处理区域 Processing area	标号 Label	01-16		01-17		01-18		01-19		01-20		01-21	
		白天	夜晚	白天	夜晚	白天	夜晚	白天	夜晚	白天	夜晚	白天	夜晚
		Day	Night	Day	Night	Day	Night	Day	Night	Day	Night	Day	Night
试验隔间 Test compartment	A-1	13.7	13.8	13.3	13.5	13.4	13.5	13.6	13.9	14.2	14.4	14.2	14.4
	A-2	14.1	14.2	13.6	13.9	13.8	14.0	14.1	14.5	14.6	14.9	14.5	14.8
	A-3	14.1	14.3	13.7	14.0	13.9	14.2	14.3	14.8	14.7	15.1	14.6	15.0
	A-4	14.3	14.5	13.8	14.2	14.1	14.4	14.5	15.0	15.0	15.4	14.8	15.2
	A-5	14.4	14.6	13.9	14.3	14.3	14.6	14.7	15.2	15.1	15.5	15.0	15.4
	A-6	14.6	14.8	14.1	14.5	14.5	14.8	14.9	15.4	15.3	15.7	15.1	15.5
	A-7	14.5	14.7	14.0	14.3	14.3	14.5	14.7	15.1	15.2	15.4	15.0	15.3
对照隔间 Control compartment	T-1	11.6	11.8	11.3	11.5	11.5	11.6	11.8	12.0	12.0	12.2	11.8	12.0
	T-2	11.9	12.2	11.7	11.9	11.9	12.1	12.3	12.6	12.4	12.7	12.3	12.5
	T-3	12.1	12.4	11.9	12.2	12.1	12.3	12.5	12.8	12.7	13.0	12.6	12.7
	T-4	12.3	12.5	12.1	12.3	12.3	12.5	12.8	13.0	13.0	13.2	12.9	13.0
	T-5	12.4	12.7	12.3	12.5	12.5	12.7	12.9	13.1	13.2	13.4	13.1	13.2
	T-6	12.6	12.8	12.5	12.7	12.7	12.9	13.1	13.3	13.3	13.5	13.3	13.4
	T-7	13.4	13.6	13.2	13.4	13.5	13.6	13.7	13.9	14.0	14.2	14.0	14.2

为进一步分析试验隔间与对照隔间的土壤边际效应区域差异,选用 2017 年 1 月 21 日(晴天)和 1 月 16 日(雾霾天)的土壤温度数据进行分析。参考孙治强等<sup>[4]</sup>的时间段划分方法,将一天内的土壤温度数据根据变化情况分成 4 时段,分别为 0:00-6:00、6:00-12:00、12:00-18:00 和 18:00-24:00,计算出每一段时间内试验隔间与对照隔间中不同土壤温度测点与中部土壤温度测点的平均绝对差值。

根据上述 1.3 节所提出的边际效应界点确定方法,以 1℃作为确定温室边际效应界点的阈值。

由表 2、表 3 可知,晴天试验隔间 A-1 测点与隔间中部 A-7 测点的平均绝对差值低于 1℃,说明试验隔间南侧土壤边际效应界点在距温室南墙 70 cm 之内,而对照隔间 T-4 测点与隔间中部 T-7 测点的平均绝对差值在 1℃左右,说明对照隔间南侧土壤边际效应界点在距温室南墙 130~150 cm;阴天下试验隔间和对照隔间的土壤边际效应界点分布与晴天相似,试验隔间内与中部 A-7 测点的平均绝对差值等于 1℃的界点在 A-1 南侧,而对照隔间中与隔间中部 T-7 测点的平均绝对差值为 1℃的界点在 T-4 和 T-5 之间,说明

对照隔间南侧土壤边际效应界点在距温室南墙 130~150 cm。综上可知,无论晴天还是阴天,温室试验隔间中南端空气-卵石蓄热系统的使用一定程度上改变了温室内的土壤边际效应界点,使

边际界点南移,土壤边际效应界点南移距离大于 60 cm,至少增大了温室跨度 7.5%的土地利用率。

表 2 晴天条件下不同土壤温度测点与中部土壤温度测点的平均绝对差值

Table 2 Average absolute difference between temperatures at different soil temperatures and middle soil temperatures under sunny day

时间 Time	试验隔间 Test compartment						对照隔间 Control compartment					
	A-1	A-2	A-3	A-4	A-5	A-6	T-1	T-2	T-3	T-4	T-5	T-6
0:00-6:00	0.8	0.5	0.3	0.1	0.1	0	2.1	1.6	1.3	1.0	0.8	0.7
6:00-12:00	0.7	0.4	0.4	0.2	0.1	0	2.2	1.8	1.4	1.1	0.9	0.7
12:00-18:00	0.8	0.4	0.3	0.3	0.1	0.1	2.3	1.8	1.6	1.2	1.1	0.9
18:00-24:00	0.9	0.4	0.4	0.2	0.2	0	2.2	1.7	1.5	1.2	1.0	0.8

表 3 雾霾天条件下不同土壤温度测点与中部土壤温度测点的平均绝对差值

Table 3 Average absolute difference of measuring points between different soil temperatures and central soil temperatures under haze day

时间 Time	试验隔间 Test compartment						对照隔间 Control compartment					
	A-1	A-2	A-3	A-4	A-5	A-6	T-1	T-2	T-3	T-4	T-5	T-6
0:00-6:00	0.9	0.5	0.4	0.2	0.1	0.1	1.7	1.4	1.2	1.0	0.9	0.8
6:00-12:00	0.8	0.5	0.4	0.2	0.1	0.0	1.8	1.6	1.3	1.1	1.0	0.9
12:00-18:00	0.8	0.5	0.4	0.2	0.1	0.1	1.8	1.5	1.3	1.1	1.0	0.8
18:00-24:00	0.8	0.4	0.3	0.2	0.1	0.1	1.8	1.4	1.2	1.0	0.9	0.7

3 结论与讨论

日光温室南墙内置的空气-卵石槽是一个有效的蓄放热体,白天可蓄积热量提高卵石槽内部温度,夜间或阴天放热进行保温。与利用防寒沟等保温方式相比,进行温室南墙内置空气-卵石槽可以减少土壤横向传热,具有良好的蓄热保温性,平均提高室内土壤温度 1.0~2.4℃。日光温室南墙内置空气-卵石槽促使土壤边际界点至少南移 60 cm,扩大了日光温室冬季种植的土壤温度稳定区域。

研究发现<sup>[4,7]</sup>日光温室在1月份的土壤边际效应点距南墙 160~270 cm,而本研究中对照隔间的土壤边际效应点距南墙 130~150 cm,这可能是由土壤边际效应界点确定方法不同造成的,文献[4]、[7]中是指土壤温度与温室中部土壤温度相同的土壤测点即为土壤边际效应界点,而本研究中是指土壤温度与温室中部土壤温度相差 1℃的土壤测点即为土壤边际效应界点。另外,张海鑫等<sup>[10]</sup>研究发现设置内拱棚的日光温室在1月份的土壤边际效应点比不含内拱棚的小 60 cm左右,本研究发现内置空气-卵石槽日光温

室的土壤边际效应点比不设置空气-卵石槽的小 60 cm以上,说明两种方法的保温效果接近。

参考文献:

[1] 何芬,马承伟,周长吉,等.基于有限差分法的日光温室地温二维模拟[J].农业机械学报,2013,44(4):228-232.

[2] 傅国海,杨其长,刘文科.LED补光和根区加温对日光温室起垄内嵌式基质栽培甜椒生长及产量的影响[J].中国生态农业学报,2017,25(2):230-238.

[3] 韩亚平,李安平,李亚灵,等.不同根温处理对番茄叶片显微结构的影响[J].山西农业科学,2016,44(2):169-171.

[4] 孙治强,孙丽,王谦,等.日光温室土壤温度环境边际效应[J].农业工程学报,2009,25(5):150-155.

[5] 佟国红,王铁良,白义奎,等.日光温室土壤温度分布边际效应的数值模拟[J].北方园艺,2010(15):65-68.

[6] 孙丽,陈景玲,王谦,等.日光温室边际区温度变化及其对茄子光合特性的影响[J].河南农业大学学报,2010,44(6):639-643.

[7] 王思倩,张志录,侯伟娜,等.下沉式日光温室南侧边际区域土壤温度变化特征[J].农业工程学报,2012,28(8):235-240.

[8] 白义奎,刘文合,柴宇,等.防寒沟对日光温室横向地温的影响[J].沈阳农业大学学报,2004,35(z1):595-597.

[9] 刘旭,侯伟娜,张涛,等.日光温室南墙内置泡沫板的保温效果[J].中国农业气象,2014,35(1):26-32.

[10] 张海鑫,塔娜,康宏源.日光温室边际土壤温度试验及模拟研究[J].北方园艺,2017(5):41-48.

# 马铃薯全粉、玉米粉和小麦粉复合馒头制作工艺研究

刘 丽,徐洪岩

(黑龙江省农业科学院 克山分院,黑龙江 克山 161606)

**摘要:**为改善馒头营养结构及口感,解决马铃薯成本升高问题并提高玉米的附加值,将马铃薯全粉和玉米粉加入到小麦粉中制成混合粉馒头,研究了不同比例和制作方法对馒头品质的影响。结果表明:面粉占比 70%、马铃薯粉占比 10%、玉米粉占比 20%,或面粉占比 70%、马铃薯粉占比 20%、玉米粉占比 10%时,感官评价分数较高。当酵母添加量为 0.6%,首次发酵时间 4 h,二次发酵时间 30~40 min,3 种混合粉馒头的感官品质最佳。

**关键词:**马铃薯全粉;玉米粉;高筋面粉;馒头

人体每天所需消耗的热量,有 50%以上通过主食摄入体内。同时,主食还为人提供所需的大部分宏量营养素<sup>[1]</sup>。随着居民收入和生活水平的提高,人们对主食的追求不再是简单的充饥,而是对健康和营养的主食产品更为关注。传统的主食包括谷物和面食两大类,馒头作为中国特色传统主食已存在几千年,拥有无可复制的地位。

马铃薯,俗名洋芋、土豆,作为世界四大主要粮食作物之一,马铃薯在中国栽培种植已经有 400 年之久。马铃薯营养丰富,素有“地下苹果”的美誉<sup>[2]</sup>,其蛋白质、淀粉、维生素 B 族以及人体必需矿物元素含量高,易吸收,且脂肪含量低,是典型的低脂肪保健食品,同时,马铃薯中富含膳食纤维<sup>[3]</sup>,在补充必要营养的同时增加人体的饱腹感,可谓是减肥人士的首选。近年来,随着我国马铃薯的需求量和消耗量逐渐增大,马铃薯的栽培种植面积逐步扩大,产量不断增加<sup>[4]</sup>。马铃薯主食产品和副食产品种类日益繁多。

收稿日期:2018-04-17

第一作者简介:刘丽(1989-),女,硕士,研究实习员,从事马铃薯食品加工研究。E-mail:shipin201510@163.com。

## Influence of Inside Air-pebble Groove on Lateral Soil Temperature in Solar Greenhouse

LIU Ming-wang<sup>1</sup>, LI Zi-dong<sup>1</sup>, ZOU Zhi-rong<sup>1,2</sup>, LI Jian-ming<sup>1,2</sup>, CAO Yan-fei<sup>1,2</sup>

(1. Department of Horticulture, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling 712100, China;  
2. Key Laboratory of Protected Horticultural Engineering in Northwest China, Ministry of Agriculture, Yangling 712100, China)

**Abstract:** The air-pebble trough includes pebble tank, ventilation duct and fan. Its working principle is to transfer indoor excess hot air into the interior of the pebble tank for heat storage by the fan. In order to understand the internal temperature variation of the pebble tank and its effect on soil temperature in solar greenhouse, experiments were conducted in a test compartment (with an air-pebble groove inside south wall) and a control compartment (without air-pebble groove) in a solar greenhouse in Yangling, Shaanxi Province. The results showed that the air-pebble trough is an effective heat storage body. Compared with the control compartment, the air-pebble trough inside the test compartment could increase soil temperature by 1.0 to 2.4 °C. The marginal boundary point of the soil was moved southwards more than 7.5% of the greenhouse span, which effectively expands the soil temperature stability area of the greenhouse in winter.

**Keywords:** solar greenhouse; pebble; soil temperature; edge effect