

不同保温被外覆盖对日光温室保温及黄瓜生育的影响

陈之群^{1,2}, 彭杏敏¹, 杨明宇³, 肖长涛³, 高丽红¹

(1. 中国农业大学 农学与生物技术学院, 北京 100193; 2. 临沂师范学院 生命科学学院, 山东 临沂 276005;

3. 北京市密云县农业技术推广站 北京 101512)

摘要: 试验以对温度要求敏感的黄瓜为材料, 研究了 3 种不同保温被外覆盖下日光温室内气温和地温的变化以及越冬茬黄瓜的生长状况。结果表明: 温室夜间旬平均温度、最低温度以及夜间温度的降低幅度, 都表现为加厚保温被的保温效果最好, 其次是普通保温被+牛皮纸被, 普通保温被的保温效果最差; 加厚保温被覆盖的温室内, 黄瓜株高、茎粗等生长指标及产量都明显优于其它 2 个处理。

关键词: 日光温室; 保温被; 温度; 黄瓜

中图分类号: S 642.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0009(2010)15-0089-05

日光温室具有造价低、保温性好、效益高等优点^[1]。在全球倡导低碳经济的今天, 研究和发 展日光温室产业, 是有效提高我国国民生活水平、保持农业可持续发展的必然途径。日光温室之所以能够在不加温或少加温的条件下, 于严冬季节安全越冬生产, 与温室前屋面的夜间覆盖保温是分不开的^[2]。外覆盖材料是构成日光温室的主要部件, 影响温室的温度环境变化规律^[3]。目前生产上温室的外覆盖材料主要使用草苫、蒲席、保温被、纸被等。草苫可使温室夜间耗热减少 60%, 保温能力一般为 5~6℃^[4], 但草苫质量不均、卷放费工费力、防水性差、污染薄膜而降低室内采光性能等缺点, 新型替代保温材料的研发和推广成为生产中急需解决的问题^[5-9]。

近几年, 我国各地区陆续开发应用了一些日光温室新型保温材料, 如复合型保温被、针刺毡保温被、泡沫保温被等。其中, 保温棉毯+防水布造价低, 保温效果较好^[4], 在生产中推广应用广泛。前人对外覆盖材料进行的保温试验研究, 多停留在实验室对材料保温性能的静态测试分析上^[5-8], 对不同覆盖材料在实际生产中的保温效果及其对蔬菜生育的影响鲜有报道。2009~2010 年冬季, 北京地区出现了罕见的低温和持续降雪天气, 日光温室蔬菜受灾严重。研究极端气候条件下温室外

覆盖材料的保温效果及其对蔬菜生长发育的影响, 保证高纬度地区蔬菜生产的安全性, 对满足北方冬季蔬菜市场供应具有重要意义。

1 材料与方法

试验于 2009 年 10 月至 2010 年 5 月在北京市密云县农业推广示范基地进行。选取结构完全相同、地理位置及土壤性状一致的 22 号、39 号和 40 号 3 个温室进行试验。温室结构参数分别为: 脊高 3.6 m, 后墙高度 2.8 m, 后墙厚度 0.6 m (50 cm 砖墙外加 5 cm 的聚苯板和 5 cm 的石灰板), 跨度 7.5 m, 后坡投影 1.6 m, 长度 65 m, 在温室内侧前沿埋入 5 cm 宽、50 cm 深的聚苯板作为隔热防寒材料。

温室外覆盖材料选用普通针刺棉保温被、8 层牛皮纸被和加厚的针刺棉保温被。普通保温被材质组成从内到外依次是棉布、针刺棉和防水布, 厚度 6 cm; 加厚保温内外表层与普通保温被相同, 中间增加填充材料(针刺棉), 厚度 8 cm; 单片宽 4 m, 人工缝合。试验设置及覆盖材料参数见表 1。

3 个温室的中心位置各安放带有 8 通道的温度采集仪(型号: AV-10T, 厂家: 美国 AVALON 公司)1 台。在每个温室的中间部位和距离东西山墙各 22 m 处分别设置 3 组温度感应器 气温感应器高于地面 1.5 m, 地温感应器置于种植行栽培垄地表以下 15 cm 处。仪器每 10 min 记录 1 次数据, 数据采集期从 2009 年 12 月 1 日至 2010 年 3 月 1 日, 气温和地温分别取 3 个测试点的平均值。气温感应器探头均用防辐射罩遮挡。

黄瓜(*Cucumis sativus* L.)品种选用中荷 8 号, 以黑籽南瓜作砧木, 2009 年 11 月 7 日进行靠接, 11 月 24 日定植, 采用大小行栽植, 大行行距 80 cm, 小行行距 50 cm, 株距 33 cm。12 月 10 日进行地膜覆盖, 定量灌水

第一作者简介: 陈之群(1970-), 男, 副教授, 临沂师范学院生命科学学院, 中国农业大学访问学者, 现主要从事设施蔬菜栽培及土壤环境修复研究。E-mail: zhiqunchen703@163.com。
通讯作者: 高丽红(1967-), 女, 内蒙赤峰人, 教授, 博士生导师, 现主要从事温室土壤生物修复技术及机理研究和温室黄瓜水肥高效利用研究。E-mail: gaolh@cau.edu.cn。
基金项目: 果类蔬菜产业技术体系北京市创新团队资助项目。
收稿日期: 2010-05-25

带膜下暗灌。黄瓜小区面积 25.35 m², 每个处理 3 次重复, 各温室农事管理一致。试验站耕层土壤为沙壤土, 其基本理化性状见表 2。

植株生长指标的测定从 12 月 14 日开始, 每隔 7 d 测量 1 次, 测定株高、茎粗, 每处理随机选取 12 株, 取其平均值。

表 1 试验处理及材料参数

处理	对应温室	保温被	单位面积质量	传热系数 K
Treatment	Greenhouse No.	Heat preservation quilt	Quality/sqm/kg °cm ⁻²	/ W °m ⁻² ° °C ⁻¹
CK	22	普通保温被	1.590	2.058
T1	39	加厚保温被	2.943	1.502
T2	40	普通保温被+8 层牛皮纸被	2.288	1.574

表 2 供试点耕层土壤基础理化性状

有机质	全氮	碱解氮	有效磷	速效钾	容重	田间持水量
Organic matter/%	Total N/g °kg ⁻¹	Alkali N/mg °kg ⁻¹	Available P/mg °kg ⁻¹	Available K/mg °kg ⁻¹	Volume weight/g °cm ⁻³	Field capacity/%
1.63	1.35	154	126.45	22.5	1.26	30.6

注: 表中各种营养物质的含量的测定参考鲍士旦等^[9]的方法。
Note: List of the content of nutrients was in the determination of BAO Shi-dan.

2 结果与分析

2.1 不同保温被外覆盖对日光温室保温性能的影响
2.1.1 典型天气气温和地温的日变化 图 1 所示为晴天(2010 年 1 月 11 日)日光温室内气温和地位的日变化。当天外界气温为-15.8~-5.1 °C, 光照度最高 697.75 μmol °m⁻² °s⁻¹。由图 1 可见, 晴天气温日变化呈典型的单峰曲线, 全天最低温出现在上午 8:10 时, 9:30 时揭开保温被后, 随着外界光照度的增加, 气温迅速上升; 12 时开始气温升高缓慢; 13:50 时达到最大值, 14 时后气温下降速度加快。11:30~12:00 时各温室进行短暂的通风换气, 下午 16:30 时盖保温被后, 温度逐渐降低, 至次日揭保温被前降到最低点。各处理 CK、T1、T2 的夜间平均气温依次是 8.1、9.7、9.0 °C, 表现为 T1>T2>CK; T1 的最低气温分别比 T2、CK 高 1.0、1.9 °C。温室内地温的日变化相对气温变化缓和的多。地温从 12 时开始缓慢上升, 较气温升高滞后 2~3 h, 最高地温出现在 22 时, 之后缓慢下降至次日中午时分; 全天地温变化范围在 12.3~15.5 °C 之间, 温差 3.2 °C。各处理 CK、T1、T2 的日平均地温分别为 13.3、14.1 和 13.7 °C, T1 比 CK、T2 高 0.8 和 0.4 °C; 最低地温分别为 12.3、13.2 和 12.6 °C。图 2 所示为阴天(2010 年 1 月 10 日)日光温室内气温和地温的日变化, 当天外界气温-15.9~-5.6 °C, 光照度最高 207.9 μmol °m⁻² °s⁻¹, 全天不放风。由图 2 可看出, 阴天气温变化整体趋势与晴天相似, 但幅度较小, 温度范围在 5.8~12.6 °C 之间, 3 个温室的平均日较差 5.8 °C; 上午 9:30 揭开保温被, 气温开始缓慢上升, 至 14:40 达到全天最高气温值, 后快速下降; 16 时盖上保温被后, 气温缓慢下降到次日最低点。上午, T1 温室的气温明显高于 T2 和 CK; 中午至盖保温被前, 3 个处理气温基本相同; 覆盖保温被后至次日温度最低点, 各处理 CK、T1、T2 的夜间平均气温依次是 7.1、

8.4、7.9 °C, 最低气温 T1 分别比 T2、CK 高 0.6、1.5 °C。阴天温室内地温均高于气温值, 全天呈单边缓慢下降趋势, 地温范围在 13.3~15.4 °C 之间, 日地温差 2.1 °C。CK、T1、T2 平均地温分别为 13.8、14.6、14.1 °C, T1 比 T2、CK 高 0.5 和 0.8 °C; 最低地温分别为 13.3、14.1、13.6 °C。

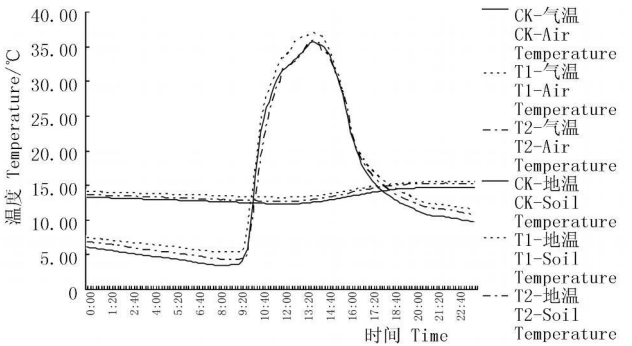


图 1 晴天温室内气温和地温的日变化

Fig. 1 Air and soil temperature variation in sunny day

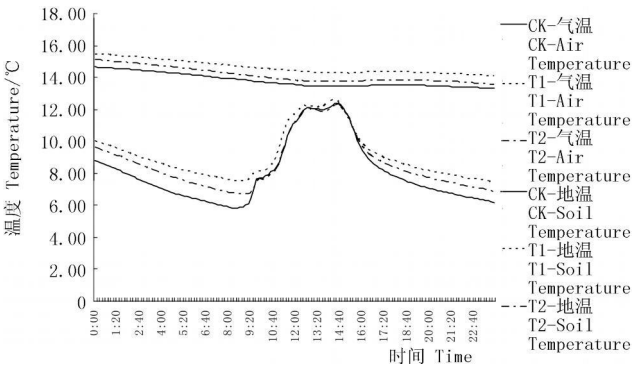


图 2 阴天温室内气温和地温的日变化

Fig. 2 Air and soil temperature variation in cloudy day

2.1.2 温室内夜间气温和地温的旬变化 研究冬季夜间气温和地温的旬变化,有助于从宏观上安排栽培茬次、选择覆盖材料。由表 3 可知,测定期内,温室内旬平均气温在 8.5~14.7℃之间,最低平均气温出现在 2010 年 1 月上旬;与 CK 相比,T1 处理的旬平均气温提高 0.2~1.5℃,在外界气温最低的 1 月上旬和中旬,气温提高 1.2~1.5℃;T2 处理较对照提高 0.1~0.8℃,增温效果略逊于 T1。旬最低气温出现在 1 月中旬,CK 出现了

3.5℃的低温,T2 的最低温也低于 5℃,而 T1 最低温为 5.4℃,处于喜温性蔬菜低温临界限(5℃)之上;除 2 月上旬和下旬外,其它时段 T1 最低气温比 CK 高 1~2℃,比 T2 高 0.5~1.4℃。地温的旬变化与气温变化基本相似,但相对比较平缓。旬平均地温在 14.6~18.7℃之间,T1、T2 与 CK 相比,地温增幅分别为 0.4~1.4 和 0.1~1.5℃。旬最低地温也出现在 1 月中旬,其变化趋势与最低气温的变化相一致。

表 3 不同保温被对温室夜间温度变化的影响

Table 3		Changes of temperature in nights under different heat preservation quilts										℃	
		平均气温 Average soil temperature			最低气温 The lowest soil temperature			平均地温 Average air temperature			最低地温 The lowest air temperature		
		CK	T1	T2	CK	T1	T2	CK	T1	T2	CK	T1	T2
2009/ 12	上旬	13.7	14.3	13.8	9.5	10.9	10.2	17.0	18.3	17.7	15.0	16.4	15.7
	中旬	13.5	14.2	14.1	9.0	9.9	9.7	17.2	18.6	18.7	14.6	16.0	15.6
	下旬	11.9	12.3	12.3	6.9	8.1	8.3	16.4	16.8	16.8	14.7	15.1	14.8
2010/ 01	上旬	8.5	9.7	9.4	4.2	6.3	5.3	14.6	15.4	14.9	13.2	14.2	13.4
	中旬	10.2	11.7	10.9	3.5	5.4	4.4	15.2	16.0	15.6	12.7	13.5	13.2
	下旬	13.5	14.6	14.2	4.9	6.5	5.4	17.5	18.2	18.2	13.3	14.1	13.8
2010/ 02	上旬	13.0	13.2	13.2	9.7	9.8	9.8	17.3	18.0	17.5	15.4	16.3	15.4
	中旬	13.1	13.8	13.9	7.3	8.9	8.6	17.2	17.8	17.4	15.0	15.2	15.2
	下旬	14.4	14.7	14.5	10.4	10.9	10.6	17.9	18.4	18.3	15.3	16.2	16.0

2.1.3 日光温室夜间最低气温和地温 夜间最低气温如图 3 所示。黄瓜属于典型的喜温性蔬菜,耐低温能力差,温度低于 10~12℃常导致生理活动失调,5~10℃就有寒害发生的可能;经过苗期低温锻炼的黄瓜,可以忍受短期 3℃左右的低温;黄瓜长期处于 5℃左右的低温下,对植物器官的分化、形成和生长发育产生严重影响,并发生一系列生理障碍^[9]。所以在生产上,冬季温室内最低气温应尽可能控制在 5℃以上。图 3 表示的是 2009 年 12 月 2 日至 2010 年 2 月 28 日各处理夜间最低温度分布情况。可看出,不同处理间差异明显。T1 夜间最低气温都在 5℃以上,高于 8℃的有 79 d,占 87.8%;T2 处理有 1 d 低于 5℃,高于 8℃的天数占 85.6%;CK 有 6 d 最低气温低于 5℃,5~8℃之间有 18 d 高于 8℃的天数仅占 73.3%。黄瓜对地温的要求严格,反映敏感。根系生长发育的最适地温为 25℃,根毛发生的最低温度是 12~14℃,当地温降至 8℃以下时根系不能伸长,12℃以下生理活动受阻,会引起下部叶片变黄。图 4 所示,为测定期内各处理夜间最低地温分布情况。从图 4 可看出,T1 最低地温都高于 13℃,15℃以上日数为 74 d,占总测定日数的 81.2%;T2 有 4 d 最低地温在 12~13℃之间,15℃以上日数为 64 d,占总测定日数的 73.3%;CK 有 3 d 低于 13℃,13~15℃间的日数达 28 d,15℃以上日数占总测定日数的 67.7%。

2.1.4 温室内夜间气温和地温降低幅度 日光温室热量损失的 70%~80%是由覆盖材料散失的^[11]。在温室的建筑结构、地理方位和土壤性状等因素一致的情况下,不同处理间保温效果的差异主要受前屋面外覆盖材

料的影响。温室外覆盖材料保温性能的优劣,可以通过夜间温度下降幅度的大小进行比较,相同外界条件下,温度降低越多,说明外覆盖材料的保温性越差。取 2010 年 1 月 1~10 日 3 个温室内夜间气温和地温的数据进行分析(表 4)。从表 4 可看出,阴晴天气对室内气温的影响很大:晴天(即 5~7、9 日)气温的降幅在 4.9~10.5℃之间,阴天气温的降幅在 1.1~6.5℃之间;1 月 3 日下大雪,全天未揭保温被,气温降低幅度最小;1 月 7 日光照度最大,夜间气温降低值也最大,最高达到 10.5℃。各处理间气温降低值表现为 CK>T2>T1。温室内夜间地温的变化明显低于气温的变化,地温降低幅度在 0.2~1.2℃之间,各处理间降低值的变化趋势与气温相同,也表现为 CK>T2>T1。说明从保温效果看,T1 优于 T2,T2 又优于 CK。

2.2 不同保温被外覆盖对黄瓜生育的影响

2.2.1 对黄瓜株高、茎粗的影响 由图 5 可看出,不同保温被覆盖下的黄瓜株高生长速度有明显差异,整个测定时期 T1 的株高显著高于其它 2 个处理($P<0.05$),与 CK 相比,差异达极显著水平($P<0.01$);T2 处理的黄瓜株高前期略低于 T1 处理,后期随着外界气温的进一步降低,T2 处理的黄瓜株高增长缓慢,而 T1 处理仍保持着较快的生长速度,最后一次测定时,T2 的株高极显著低于 T1 的株高。植株茎粗是反映其生长状况的一个重要指标。图 6 显示,不同保温被覆盖下黄瓜植株在前期茎粗差异较小,后期差异逐渐变大,整个测定期内 T1 的茎粗都要高于其它 2 个处理,T2 又高于 CK。

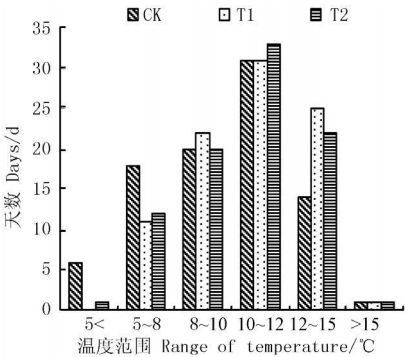


图3 不同保温被对温室夜间最低气温的影响
Fig.3 Effects of different heat preservation quilts on the lowest air temperature in night

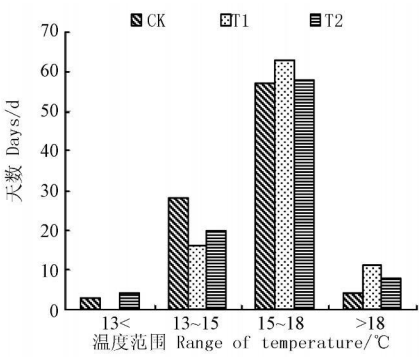


图4 不同保温被对温室夜间最低地温的影响
Fig.4 Effects of different heat preservation quilts on the lowest soil temperature in night

表 4 不同保温被外覆盖条件下温室内夜间气温和地温降低幅度

Table 4 Lowering air and soil temperature during nights under different heat preservation quilts

日期	T1-气温	T1-气温	T2-气温	CK-地温	T1-地温	T2-地温	外界气温差
Date	CK-Air temperature	T1-Air temperature	T2-Air temperature	CK-Soil temperature	T1-Soil temperature	T2-Soil temperature	Range of outside temperature
1-1	6.5	5.6	5.4	0.6	0.3	0.4	7.5
1-2	3.0	2.9	2.9	0.9	0.7	0.8	2.8
1-3	1.2	1.1	1.4	0.9	0.8	0.8	5.2
1-4	7.2	5.8	6.7	0.8	0.5	0.6	4.7
1-5	9.8	7.9	7.6	0.8	0.2	0.3	5.3
1-6	8.4	7.2	7.5	0.9	0.5	0.6	4.5
1-7	10.5	9.0	9.2	0.5	0.2	0.2	4.2
1-8	5.8	4.9	5.5	1.2	0.8	0.9	3.4
1-9	9.7	8.0	8.5	0.2	0.2	0.2	11.2
1-10	4.8	3.7	4.4	0.9	0.9	0.9	6.4
平均值	6.7	5.6	5.9	0.7	0.5	0.6	5.5

注:表中数据为每天覆盖保温被后温室内的气温、地温与次日最低气温、地温的差值,外界气温差为每天下午17时与次日早上8时的温度差,5、6、7、9日为晴天,其它为阴天或雪天。

Note: Data in tables were the difference of air temperature and soil temperature in greenhouse which covered with preservation quilt every between nest day. Range of outside temperature were the value of about 17hour and the temperature of next morning at 8 o'clock the; 5 or 6, 7, 9 for the fine day, the other day for the cloudy or the snow.

2.2.2 对黄瓜产量的影响 从表5可看出,不同处理间产量差异明显。基于黄瓜生长期和市场价格考虑,简单地将黄瓜采收期分为前、中、后3个时期,T1前期产量最高,占到总产量的28.0%,T2和CK分别占整个生育期

产量的24.7%、15.7%;后期产量表现为CK最高,T2次之,T1最低。从总产量看,T1显著高于其它2个处理,较CK增产10.9%,较T2增产9.1%;T2与CK差异不明显。

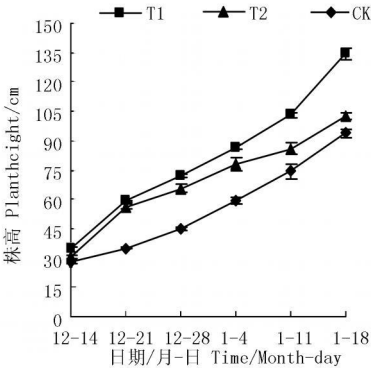


图5 不同保温被对黄瓜株高的影响

Fig.5 Effects of different heat preservation quilts on plant height

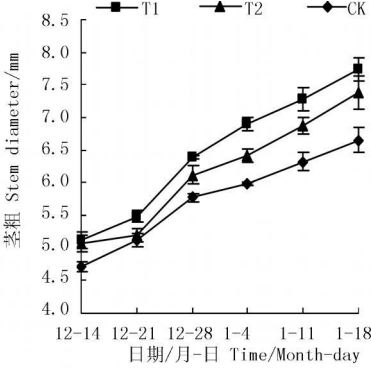


图6 不同保温被对黄瓜茎粗的影响

Fig.6 Effects of different heat preservation quilts on stem diameter

表 5 不同保温被外覆盖对黄瓜产量的影响

Table 5 Effect of different heat preservation quilts on cucumber yield

处理 Treatment	计产面积 Caculated area/ m ²	计产区产量 Yield of caculated area/ kg				增产幅度 Increased/ %
		前期 Early stage	中期 Middle stage	后期 Later stage	总计 Total	
CK	25. 35	35. 5	79. 4	111. 3	226. 2	—
T1	25. 35	70. 2	107. 9	72. 7	250. 8	10. 90
T2	25. 35	56. 8	91. 9	81. 1	229. 8	1. 60

注 前期计产区产量为 2010 年 2 月 14 日以前采收的产量 中期为 2 月 14~4 月 15 日的产量 后期为 4 月 15 日以后的产量。
Note: The yield of early stage calculation was before February 14th, 2010, the yield of middle stage was between February 14th to April 15th, the yield of later stage was April 15th.

3 结论与讨论

日光温室保温性能的好坏 主要取决于设施的围护结构材料, 而前屋面是主要的散热面, 良好的外覆盖材料对于阻止温室热量散失, 维持设施内适宜的温度条件至关重要。试验结果显示, 加厚保温被覆盖的温室内冬季最低气温都高于 5℃, 黄瓜生长发育良好, 较其它 2 个处理产量增加明显, 且前期产量高, 说明良好的保温效果有利于黄瓜正常生长和提高早期产量; 普通保温被覆盖的温室冬季最低气温 3. 5℃, 从株高、茎粗等生长指标看, 在冬季低温季节, 植株生长缓慢, 前期产量低, 随着外界气温的回升, 设施保温效果的影响降低, 后期产量明显增高。

从实验室测定的 3 种覆盖材料的传热系数看, 普通保温被最高, 普通保温被+牛皮纸被次之, 加厚保温被最低。理论上讲, 传热系数越高, 保温效果越差, 这与该试验的分析相一致。但加厚保温被室内测定的保温系数仅比普通保温被+纸被低 4. 6%, 而从保温效果分析来看, 加厚保温被的保温效果明显好于普通保温被+纸被。这是因为普通保温被与纸被之间的间隙中充满空气, 实验室内温度、湿度环境非常稳定, 空气流动较小, 保温被与纸被之间的空气对流作用弱, 相当于固定了一层“静止”的空气, 空气导热系数小, 所以保温能力得到充分发挥^[3]; 但在实际生产中, 室外夜间风大, 2 层保温被之间的空气容易出现流动, 空气的对流传热作用增强, 与在室内环境下相比, 其实际的保温性有所下降。

在暖冬气候条件下, 温室前屋面采用试验中的普通保温被作为外覆盖材料, 基本能保证喜温性蔬菜越冬栽培, 但在极端气候条件下, 往往会造成低温伤害, 降低蔬菜产量和品质, 甚至造成绝产。从该试验的研究结果看, 在京郊地区进行喜温性蔬菜的越冬生产, 即使遇到极端低温及连阴雪天气, 加厚的保温被也能满足蔬菜正常生长所需的温度条件, 可以作为进行安全越冬生产推广使用的外覆盖保温被材料。

参考文献

[1] 周长吉, 杨振声. 准确统一“日光温室”定义的商榷[J]. 农业工程学报, 2002, 18(6): 200-202.
[2] 乔正卫. 4 种日光温室保温被室内的实验性能测试[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2008, 36(6): 153-158.
[3] 陈青云. 日光温室的实践与理论[J]. 上海交通大学学报(农业科学版), 2008, 26(5): 343-350.
[4] 周新群, 董仁杰. 日光温室外保温蜂窝结构覆盖材料的研究[J]. 农业工程学报, 1998, 14(4): 159-162.
[5] 董仁杰. 生态温室系统环境研究[D]. 北京: 中国农业大学, 1997.
[6] 任艳芳. 温室保温覆盖材料研究现状及进展[J]. 山西农业大学学报, 2005, 25(2): 183-185.
[7] 陈端生. 几种日光温室外保温覆盖材料的保温性能[J]. 农业工程学报, 1996, 12(增刊): 108-115.
[8] 邱中华, 宋明军. 一种复合保温覆盖材料研制和应用初报[J]. 农业工程学报, 1995, 11(4): 117-120.
[9] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 1999: 352-359.
[10] 张振贤. 蔬菜栽培学[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2003: 142-143.
[11] 张福漫. 设施园艺学[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2001.

Effect of Different Heat Preservation Quilts on Temperature and Cucumber Growth in Solar Greenhouse

CHEN Zhi-qun^{1,2}, PENG Xing-min¹, YANG Ming-yu³, XIAO Chang-tao³, GAO Li-hong¹

(1. College of Agro-Bio Technology of China Agricultural University, Beijing 100193; 2. College of Life Science, Linyi Normal University, 276005; 3. Miyun Extending Station for Agricultural Technology, Beijing 101512)

Abstract: To better understand the effect of different heat preservation quilts on cucumber growth, air and soil temperature in solar greenhouse during winter. We designed three heat preservation quilts: traditional cover materials (CK), thicken cover materials (T₁), traditional cover materials plus kraft paper (T₂). The results showed that the average temperature, lowest temperature and temperature difference during night in the solar greenhouse under T₁ were best for the growth of cucumber. In addition, its plant height, stem diameter, yield were all better than CK and T₂.

Key words: solar greenhouse; heat preservation quilt; temperature; cucumber