

惠爱斌,蒋欣梅,王琛,等. 棉被不同揭盖方式对装配式日光温室内环境及番茄生长的影响[J]. 江苏农业科学,2020,48(9):246-252.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.09.047

棉被不同揭盖方式对装配式日光温室内环境及番茄生长的影响

惠爱斌, 蒋欣梅, 王琛, 刘汉兵, 邵琪锋, 张福, 高照亮, 于锡宏

(东北农业大学农业农村部东北地区园艺作物生物学与种质创制重点实验室, 黑龙江哈尔滨 150030)

摘要:选取 3 栋结构一样的内保温型装配式节能日光温室作为试验温室,在温室其他管理条件一致的前提下,设置 MB-1(08:30 揭被、15:00 盖被)、MB-2(08:45 揭被、14:45 盖被)、MB-3(09:00 揭被、14:30 盖被)3 种棉被不同揭盖方式处理,对比日光温室内环境差异,分析不同处理对番茄生长指标及其产量的影响。结果表明,在一定揭盖时间范围内,MB-1 处理的效果总体显著优于 MB-3 处理,但与 MB-2 处理差异不显著,且 MB-1 处理温室内气温、地温、相对湿度均优于 MB-2、MB-3 处理;在不同处理时期内,MB-1 处理下番茄株高生长量、茎粗增长量、叶生长量、叶绿素含量、根系活力、产量等总体优于 MB-2、MB-3 处理。总的来说,冬季日光温室在 08:30 揭被、15:00 盖被的揭盖方式下温室内环境最优,番茄生长最好。

关键词:棉被揭盖方式;装配式日光温室;温室环境;番茄;生长指标;根系活力;产量

中图分类号: S626.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2020)09-0246-07

日光温室是我国完全拥有自主知识产权的设施结构,发展至今为实现我国北方冬季蔬菜的供应

作出了伟大贡献。以黑龙江为例,很多地方“精准扶贫”项目都在推广节能日光温室,由此可见,其发展潜力巨大。但当日光温室投入生产后发现,冬季温室保温性能不足是制约其大面积推广的最大难题。棉被揭盖方式是日光温室冬季生产中非常关键的管理技术手段之一。研究表明,保温被的揭盖时间对温室的保温性能及温室内蔬菜作物的生长均具有很大影响,显著影响着冬季温室生产^[1]。在我国北方,冬季外界气温环境恶劣,白天太阳光照射时间较短,且辐射较弱,进入温室内的光照度远

收稿日期:2019-04-24

基金项目:国家大宗蔬菜产业技术体系专项(编号:CARS-25-C-08);黑龙江省应用技术与开发计划重大项目(编号:GA15B104-2)。

作者简介:惠爱斌(1996—),男,内蒙古乌兰察布人,硕士研究生,研究方向为园艺设施环境、蔬菜栽培与生理。E-mail:790868740@qq.com。

通信作者:于锡宏,博士,教授,博士生导师,研究方向为园艺设施设计及建造、蔬菜栽培与生理。E-mail:yxh100@sohu.com。

密度,土体含水率、固结压力对黏土的导热系数影响相当。

参考文献:

- [1] 张婷,杨平. 不同因素对浅表土导热系数影响的试验研究[J]. 地下空间与工程学报,2012,8(6):1233-1238.
- [2] 皇甫红旺,晋华. 含水率对工程常用土导热系数影响的试验研究[J]. 水电能源科学,2015,33(12):122-124.
- [3] 王铁行,刘自成,卢靖. 黄土导热系数和比热容的实验研究[J]. 岩土力学,2007,28(4):655-658.
- [4] 王海波,杨平,何忠意. 孔隙率与饱和度对粉土导热特性的影响[J]. 南京林业大学学报(自然科学版),2012,36(2):42-46.
- [5] 杜宜臻,李韧,吴通华,等. 土壤热导率的研究现状及其进展[J]. 冰川冻土,2015,37(4):1067-1074.

- [6] 李雪转,樊贵盛. 土壤有机质含量对土壤入渗能力及参数影响的试验研究[J]. 农业工程学报,2006,22(3):188-190.
- [7] 邓聚龙. 灰预测与灰决策[M]. 武汉:华中科技大学出版社,2002.
- [8] 侯云亮. 西安地区黄土地基剪切波速与工程特性相关性的研究[D]. 西安:长安大学,2007.
- [9] 赵艳林,梅占馨. 模糊灰关联模式识别方法及其应用[J]. 系统工程理论与实践,1999(6):68-70,79.
- [10] 谭学瑞,邓聚龙. 灰色关联分析:多因素统计分析新方法[J]. 统计研究,1995(3):46-48.
- [11] 张远芳,慈军,肖俊. 灰色关联优势分析在冻土中的应用[J]. 水利与建筑工程学报,2006,4(1):12-14.
- [12] 肖琳,李晓昭,赵晓豹,等. 含水量与孔隙率对土体热导率影响的室内实验[J]. 解放军理工大学学报(自然科学版),2008,9(3):241-247.

低于室外,导致室内环境无法满足作物生长需求,通过人为调控措施如揭盖棉被、通风和补光等可以显著调节温室内环境,使其满足作物生长需求^[2]。研究表明,白天应尽早揭开棉被,有利于作物充分利用有限光照,生长旺盛,提高产量,但过早揭开棉被又会导致室内气温下降,影响作物生长^[3]。众所周知,冬季“抢机会”“抢光照”是保障保护地蔬菜高产稳产的一项重要措施,不及时揭除覆盖物,不仅会推迟生产时间,还会使蔬菜产量和品质下降^[4]。佟国红等研究表明,晴天将棉被卷至屋顶有利于温室增温和蓄热^[5]。刘璿瑛等研究表明,晴天晚覆盖保温帘 45 min,相当于给室内作物增加了 45 min 的光照时间,对作物生长意义重大,且推迟保温帘覆盖时间有利于提高第 2 天温室内温度^[1]。由于不同天气条件下温室管理遵循的原则不同,即晴天以增温为主、阴天以保温为主,同时考虑试验设置和研究目的,因此本试验不对阴天、连阴天或雪天等典型天气条件下的温室棉被揭盖方式展开研究。截至目前,前人分别对日光温室环境条件^[6]、内热量收支^[7]、热环境^[8]、光环境^[9]、连阴天危害^[10]等进行了大量模拟动态分析及推演,并确定了揭盖覆盖物时间的准确计算公式,但是有关棉被不同揭盖方式对温室内环境及作物生长影响的研究鲜见报道。本试验从管理角度出发,在温室其他管理条件一致的前提下,设置棉被不同揭盖时间处理,以番茄为供试作物,研究棉被不同揭盖方式对温室内环境和番茄生长的影响,旨在为优化温室管理技术提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验温室为 3 栋内保温型装配式日光温室,编号分别为 WS-1、WS-2、WS-3,建造结构及围护材料完全一致,均朝南坐北、东西走向,长 40 m,跨度 8 m,后墙高 3 m,脊高 5.2 m,墙体保温围护结构材料由室内到室外分别为石灰板、聚苯乙烯泡沫(EPS)模块、混凝土浇筑、EPS 模块、石灰板,总厚度 0.274 m,保温被材料为 5 层毡+1 层棉。

供试作物为番茄品种光辉 101,种子由东北农业大学蔬菜生产设施工程与环境实验室提供。2017 年 7 月 15 日将供试种子播种于 50 孔穴盘中进行育苗,苗期进行常规管理,10 月 8 日定植,株行距为 30 cm×100 cm,定植密度为 3.4 株/m²。采取高畦单行栽培及单干整枝方式,4 穗果摘心,2018 年 1 月中旬始收,3 月末拉秧。

1.2 试验方法

1.2.1 试验设计 本试验于 2017 年 7 月至 2018 年 3 月在黑龙江省哈尔滨市光明屯试验基地进行,供试番茄分别被定植于温室 WS-1、WS-2、WS-3 中,在各温室内分别随机选取 6 株番茄进行挂牌并对其形态指标(株高、茎粗、叶长)及生理指标(叶绿素含量)进行调查测定。在温室其他管理条件一致的前提下,分别设置棉被不同揭盖方式处理,分别为见光周期 6.5、6.0、5.5 h 处理,具体见表 1。温室无加温设施,依实际情况采取临时加温措施。

表 1 棉被不同揭盖方式设计方案

温室编号	处理编号	揭棉被时间	盖棉被时间	见光周期(h)
WS-1	MB-1	08:30	15:00	6.5
WS-2	MB-2	08:45	14:45	6.0
WS-3	MB-3	09:00	14:30	5.5

1.2.2 测定项目 温室环境数据的测定时间为 2018 年 1 月,采用锦州阳光气象科技有限公司生产的 TRM-WS 型温室环境自动记录仪记录温湿度数据,该仪器的温度、相对湿度(RH)测量范围分别为-40~80℃、0~100%,气温、地温、RH 等测定精度分别为±0.1℃、±0.2℃、±2%,每隔 30 min 记录 1 次,且其日变化数据均为 1 月的平均值。室内气温、相对湿度的测定:使用 PTS-3 型环境温湿度传感器(均作防辐射处理),在 1/2 长度截面分别距前

沿 1/4、2/4、3/4 跨度处布设 3 个点,在距前沿 1/4、2/4、3/4 跨度,东西走向分别距东西山墙 2 m 处布设 2 个点,即同一跨度布设 3 个点,共 9 个点,测定高度距离畦表面 1.5 m。室内地温的测定:在气温布点正下方,距离畦表面 10 cm 土层处,布设 9 个点,测定地温。

2018 年 1 月初进行番茄形态指标(株高、茎粗、叶长)基础值的测定,每隔 10 d 测定 1 次,同时测定叶绿素含量(以 SPAD 值计),共测定 3 次。试验末

期对各处理温室内番茄进行随机破坏性取样 1 次,每个处理取 3 株,共计 9 株,测定其根系活力^[11]。1 月中旬果实成熟时,根据果实实际成熟情况依次进行采收并称质量,依据累积产量折合计算单位面积产量。

1.3 数据处理方法

采用 Excel 对数据进行初步整理,利用 SPSS 19.0 数据处理软件进行数据分析,采用 Duncan's 新复极差法进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 棉被不同揭盖方式对温室内气温的影响

2.1.1 棉被不同揭盖方式对温室内气温日变化的影响 如图 1 所示,在晴天典型天气条件下,棉被不同揭盖方式处理下温室内气温变化趋势基本一致,均呈先降低再升高后降低的单峰曲线变化趋势。在 MB-1、MB-2、MB-3 处理下温室内气温均在

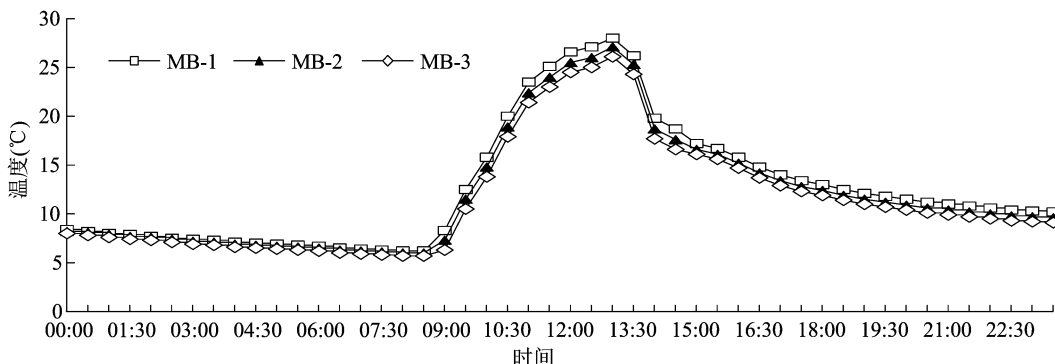


图1 棉被不同揭盖方式对温室内气温日变化的影响

2.1.2 棉被不同揭盖方式对温室内日平均气温的影响 由图 2 可知,棉被不同揭盖方式处理下温室内日平均气温表现为 MB-1 处理 > MB-2 处理 > MB-3 处理,平均值分别 12.2、11.7、11.1 °C,其中 MB-1 处理较 MB-2、MB-3 处理分别高 0.5、1.1 °C,MB-2 处理较 MB-3 处理高 0.6 °C。总的

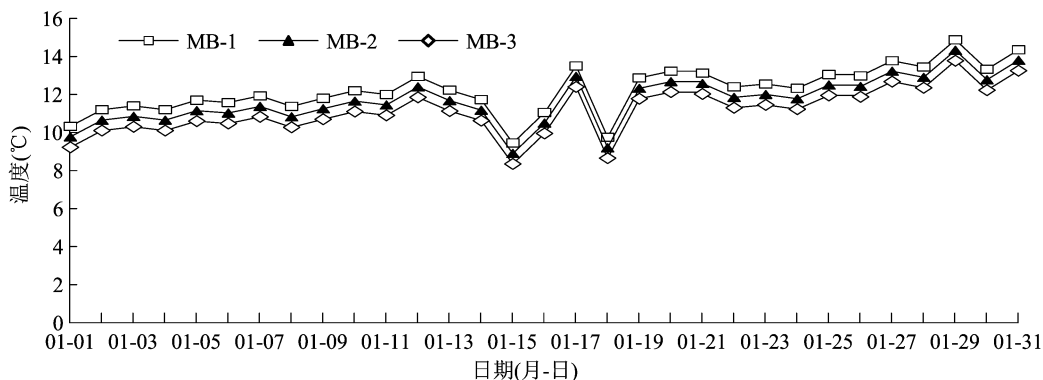


图2 棉被不同揭盖方式对温室内日平均气温的影响

08:30 达到最低值,分别为 6.2、6.0、5.7 °C;之后各温室随着棉被的揭开,室内气温开始升高,并均于 13:00 达到最高值,分别为 28.0、27.1、26.1 °C,升温速度分别为 4.8、4.7、4.5 °C/h。13:00 至次日 08:30 各温室气温呈下降趋势,其中 13:00—15:00 气温下降较为迅速,降温速率分别为 5.4、5.3、5.2 °C/h;15:00 次日至 08:30 气温下降趋势较为平缓,降温速率均为 0.6 °C/h。说明冬季温室棉被不同揭盖方式对白天气温升温速率和降温速率有明显的影响,对夜间降温速率影响不大。

由图 1 还可知,MB-1 处理的温室内气温变化表现最优,MB-2 次之,MB-3 最差。MB-1 处理的温室内气温较 MB-2、MB-3 处理分别平均高 0.6、1.1 °C,MB-2 处理的温室内气温较 MB-3 处理平均高 0.5 °C。

来说,MB-1 处理下温室内气温环境最好。

2.2 棉被不同揭盖方式对温室内地温的影响

2.2.1 棉被不同揭盖方式对温室内地温日变化的影响 如图 3 所示,温室内地温日变化均呈先降低再升高后降低的典型趋势。MB-1、MB-2、MB-3 处理下温室内地温均在 08:30 达到最低值,分别为

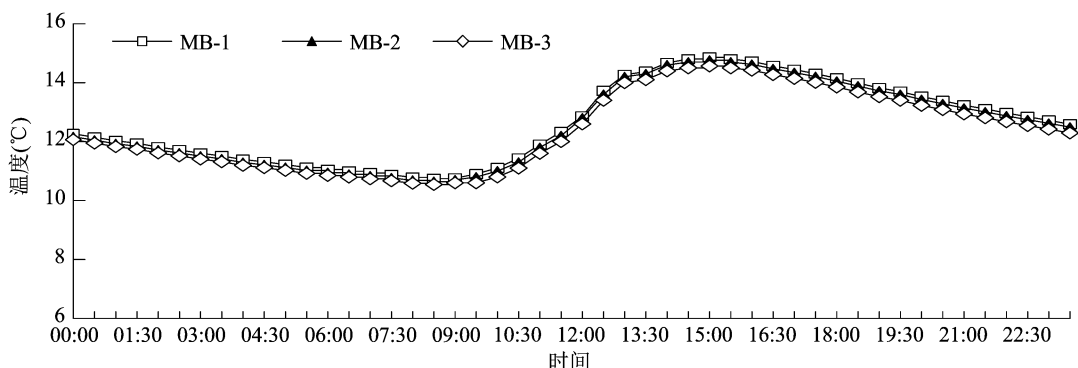


图3 棉被不同揭盖方式对温室内地温日变化的影响

10.7、10.6、10.5 °C；随着棉被的揭开，阳光照射到地面，各温室地温开始回升，并均于 15:00 达到最高值，分别为 14.9、14.8、14.6 °C，增温速率均为 0.6 °C/h。15:00 至次日 09:00 地温缓慢下降，降温速率均为 0.2 °C/h。说明晴天揭被后随着进入温室的光能不断被转化成热能，温室内地温逐渐升高，而盖棉被后，为维持室内温度，地温逐渐下降；冬季温室棉被不同揭盖方式对地温变化影响不大。

由图 3 还可知，不同处理温室地温表现为 MB-1 处理 > MB-2 处理 > MB-3 处理，平均地温

分别为 12.6、12.5、12.4 °C。由此可以看出，MB-1 处理较 MB-2 高 0.1 °C，较 MB-3 处理高 0.2 °C，MB-2 处理较 MB-3 处理高 0.1 °C。

2.2.2 棉被不同揭盖方式对温室内日平均地温变化的影响 由图 4 可知，不同处理温室日平均地温表现为 MB-1 处理 > MB-2 处理 > MB-3 处理，三者平均值分别为 12.4、12.2、12.0 °C。由此可以看出，MB-1 处理较 MB-2、MB-3 处理分别高 0.2、0.4 °C，MB-2 处理较 MB-3 处理高 0.2 °C。相对来说，MB-1 处理下温室内地温偏高。

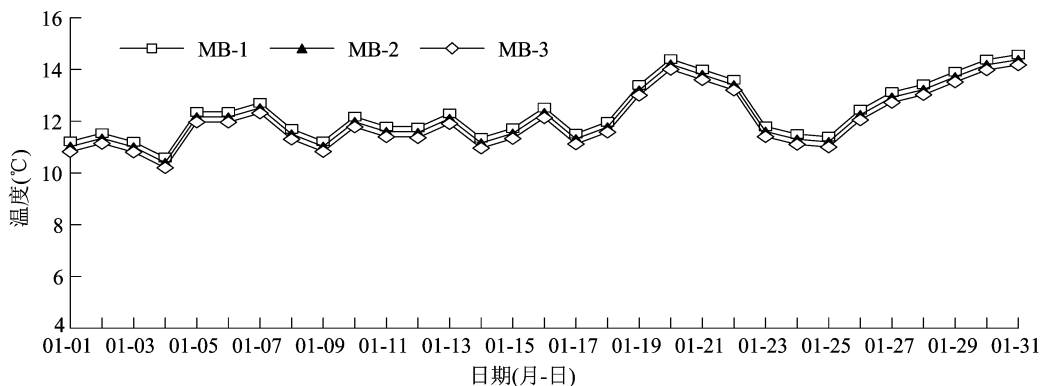


图4 棉被不同揭盖方式对温室内日平均地温的影响

2.3 棉被不同揭盖方式对温室内相对湿度日变化的影响

如图 5 所示，MB-1、MB-2、MB-3 等 3 种棉被不同揭盖方式处理下温室内相对湿度变化趋势基本一致，均总体表现为先降低后升高。三者均在 08:30 达到最大值，分别为 91.4%、91.2%、91.6%，之后随着室内气温的升高逐渐下降，并于 13:00 达到最低值，分别为 62.4%、63.9%、66.0%。13:00 至次日 08:30 相对湿度逐渐升高，这是因为下午太阳辐射减弱，室内温度降低，其中在 13:00—15:30 时间段内相对湿度变化较快，15:30 之后变化趋于平缓。

由图 5 还可知，MB-1、MB-2、MB-3 处理的温室内平均相对湿度分别为 85.5%、85.9%、86.8%。由此可以看出，在 MB-1 处理下温室内平均相对湿度最低，较 MB-2、MB-3 处理低 0.4、1.3 百分点，MB-2 处理较 MB-3 处理低 0.9 百分点。

2.4 棉被不同揭盖方式对温室内番茄生长的影响

2.4.1 棉被不同揭盖方式对番茄植株性状的影响

如图 6 所示，棉被不同揭盖方式对温室内番茄株高相对生长量有显著影响。在整个测定时期内，MB-1、MB-2 处理的番茄株高相对生长量高于 MB-3 处理，MB-1、MB-2 处理间差异不显著。在测定前期和后期，MB-1 处理与 MB-3 处理差异

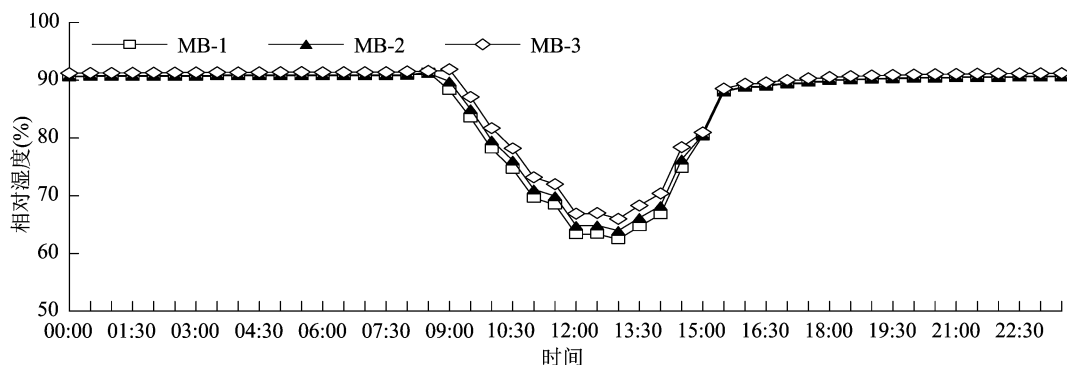
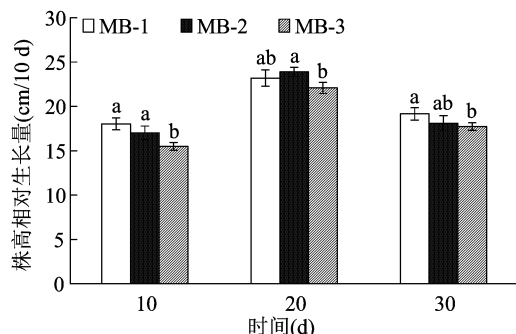


图5 棉被不同揭盖方式对温室内相对湿度日变化的影响

柱上不同小写字母表示处理间在 0.05 水平上差异显著。下图同
图6 棉被不同揭盖方式对温室内番茄株高的影响

显著, MB-2 处理与 MB-3 处理在测定前期差异显著,但在测定后期差异不显著;在测定中期, MB-1 处理与 MB-2、MB-3 处理差异均不显著,但 MB-2 处理与 MB-3 处理差异显著。总的来说,在冬季日光温室生产中棉被早揭晚盖有利于番茄株高生长。

由图 7 可看出,棉被不同揭盖方式对温室内番茄茎粗生长有较大影响。在整个测定时期内, MB-1 处理番茄的茎粗相对增长量高于 MB-2、MB-3 处理,且 MB-1 处理与 MB-3 处理之间差异显著, MB-2 处理与 MB-3 处理之间无显著性差异。在测定前期和后期,棉被不同揭盖方式对温室内番茄茎粗生长有显著影响,在处理中期影响较小。说明在冬季日光温室生产中棉被早揭晚盖有利于番茄茎粗生长。

如图 8 所示,棉被不同揭盖方式对温室内番茄叶长生长影响较大。在整个测定时期内,温室内番茄叶长生长量均表现为 MB-1 处理 > MB-2 处理 > MB-3 处理。在测定前期, MB-1、MB-2、MB-3 处理间无显著性差异;在测定中后期, MB-1、MB-2 处理间无显著性差异,但 MB-1、MB-3 处理间具有显著性差异。总的来说,在冬季日光温室生产中棉被早揭晚盖有利于温室内番茄的叶长生长。

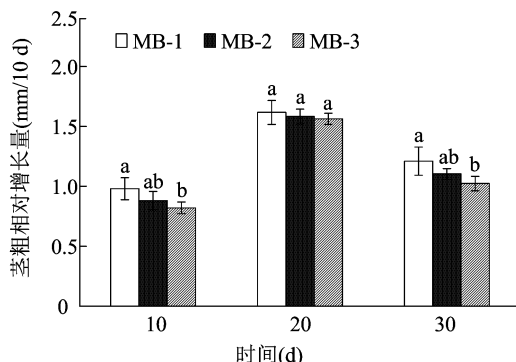


图7 棉被不同揭盖方式对温室内番茄茎粗的影响

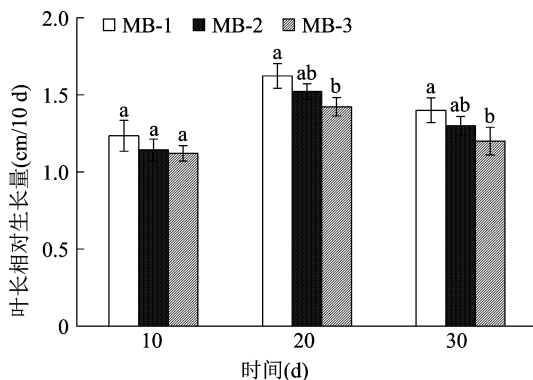


图8 棉被不同揭盖方式对温室内番茄叶长的影响

由图 9 可知,棉被不同揭盖方式对温室内番茄叶片叶绿素含量有显著影响。在整个测定时期内,温室内番茄叶片叶绿素含量均表现为 MB-1 处理 > MB-2 处理 > MB-3 处理。在测定前期和中期, MB-1、MB-2 处理间无显著性差异, MB-1、MB-3 处理间具有显著性差异;在处理后期, MB-1 处理与 MB-2、MB-3 处理间差异显著。说明在冬季日光温室生产中,棉被早揭晚盖有利于叶片叶绿素积累。

如图 10 所示,棉被不同揭盖方式对温室内番茄根系活力有较大影响。冬季外界气温较低,土壤逐渐进入冻土期,温室内地温下降,番茄根系活力较

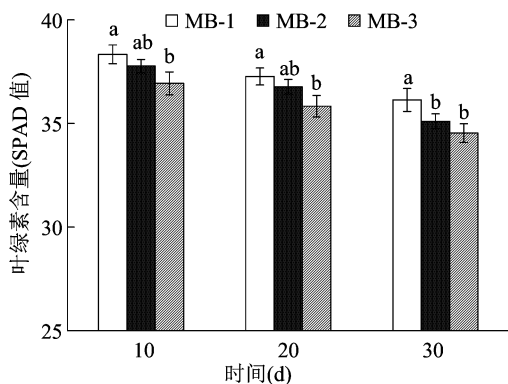


图9 棉被不同揭盖方式对温室内番茄叶绿素含量的影响

弱。在测定时期,番茄根系活力表现为 MB-1 处理 > MB-2 处理 > MB-3 处理,且 MB-1、MB-2 处理间无显著性差异,但均与 MB-3 处理差异显著。说明在冬季外界气温较低的情况下,棉被早揭晚盖可以提高日光温室内番茄根系活力。

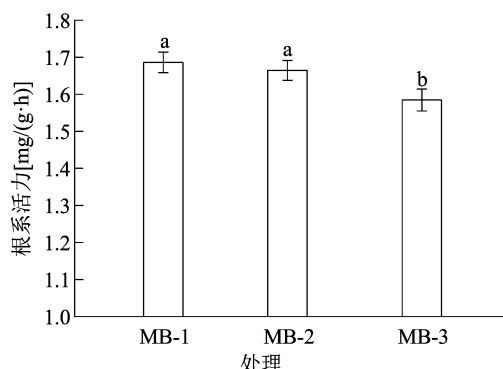


图10 棉被不同揭盖方式对室内番茄根系活力的影响

2.4.2 棉被不同揭盖方式对番茄产量的影响 如图 11 所示,棉被不同揭盖方式对装配式日光温室内番茄产量存在显著影响,其中 MB-1 处理显著高于 MB-3 处理,但与 MB-2 处理差异不显著,较 MB-2、MB-3 处理分别增产 12.7%、20.5%, MB-2 处理较 MB-3 处理增产 6.9%,但二者之间差异不显著。说明在冬季日光温室生产中,棉被早揭晚盖可以有效提高日光温室内番茄产量。

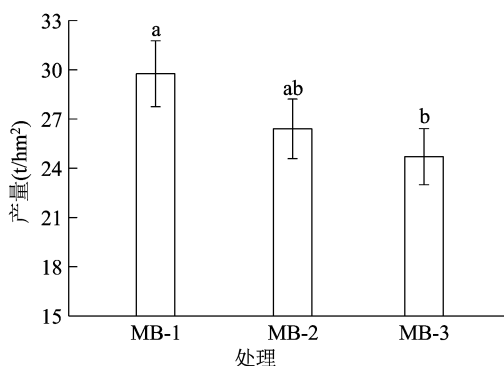


图11 棉被不同揭盖方式对室内番茄产量的影响

3 讨论

早期研究提出,太阳辐射是高效节能日光温室的唯一光源,它是决定日光温室内环境条件的主导因素^[12]。光不仅是一种能源,促使植物进行光合作用,还有一种触发植物生长的重要信号,对植株形态建成、光合特性形成、生理代谢以及干物质形成具有重要作用^[13]。在冬季,北方光照度弱且光照时间短,寡日照是其非常鲜明的特点,特别是在冬至前后,光照不足会对蔬菜产量产生很大的影响,而日光温室光照的人为调控(早晨揭被时间晚,下午盖被时间早)势必会加重寡日照程度。王纯枝等研究表明,寡日照会导致作物叶片光合作用强度减弱,营养物质合成不足,生长受到抑制^[14]。另外,低温弱光还会导致番茄生长停滞、叶绿素含量下降^[15],茎、叶等的生长速度减缓^[16]。本试验发现,不同棉被揭盖方式对于温室内气温、地温、相对湿度以及番茄叶绿素含量、根系活力、产量、茎粗、叶长、株高等均具有较大影响,这和人关于改善室内环境条件有利于促进作物生长并提高其产量的结论^[17-19]基本一致。

日光温室的采光屋面角度、构件材料和保温覆盖物会对进入温室内的光照产生影响。为了保温,早晨揭被的时间要比日出时间晚,下午盖被的时间要比日落时间早,因此日光温室在人为控制下的光周期实际不足 7 h。在这不足 7 h 的光周期里,为最大限度地维持作物生长所需的生育适温以及满足作物的光合作用需求,本试验依据哈尔滨实际地理状况设计不同见光周期 6.5、6.0、5.5 h 处理,以期对日光温室的科学管理提供借鉴,结果表明,在晴天条件下,见光周期为 6.5 h 的 MB-1 处理显著优于见光周期为 5.5 h 的 MB-3 处理,但与见光周期为 6.0 h 的 MB-2 处理差异不显著,说明冬季晴天时温室棉被宜早揭开并适时晚盖上,这与于巨等的研究结果^[20-21]基本一致,但棉被宜适时晚盖的结论与蒋国振等的研究结果^[22]并不一致,这可能是由于两者研究的温室结构不同,导致温室的保温、蓄热性能不同。温室棉被“早揭晚盖”并不代表冬季温室管理棉被越早揭开和越晚盖上越好,本试验在结合日常温室管理经验以及哈尔滨日出日落时间的基础上,在可能的范围内给出冬季日光温室棉被管理的一种方式供大家参考。在本试验过程中还发现,在早晨棉被揭开一段时间后通过“回被”会对提

高外保温膜表面附着冰晶的融化速度产生显著效果,这可能与“回被”后在外保温膜和保温被之间存在着气温瞬时差异有关,但具体影响还须要作进一步的研究。

4 结论

冬季日光温室棉被揭开时间晚于日出时间,盖上时间早于日落时间,在此基础上,MB-1 处理(08:30 揭被、15:00 盖被)的效果总体显著优于 MB-3 处理(09:00 揭被、14:30 盖被),但与 MB-2 处理(08:45 揭被、14:45 盖被)差异不显著。MB-1 处理的温室内气温、地温、相对湿度均优于 MB-2、MB-3 处理,且在不同处理时期内,MB-1 处理下的番茄株高相对生长量、茎粗相对增长量、叶长相对生长量、叶绿素含量、根系活力、产量等总体优于 MB-2、MB-3 处理。总的来说,冬季日光温室在 08:30 揭被、15:00 盖被的揭盖方式下环境最优,温室内番茄生长最好。

参考文献:

- [1] 刘璿瑛,丁为民,张剑锋. 日光温室保温帘揭盖时间的确定[J]. 农业工程学报,2004,20(4):230-233.
- [2] 何梅善,保善平. 适合高寒地区的设施农业技术[J]. 现代农业,2012(2):66-67.
- [3] 孙智辉,曹雪梅,刘志超,等. 日光温室揭帘时间农业天气预报指数的确定[J]. 中国农学通报,2013,29(8):129-134.
- [4] 吴志行. 蔬菜设施栽培新技术[M]. 上海:上海科学技术出版社,2000.
- [5] 佟国红,Christopher D M,李天来,等. 日光温室保温被卷放位置对温度环境的影响[J]. 农业工程学报,2010,26(10):253-258.
- [6] 王桂英,康国斌. 日光温室环境条件分析及其回归预测[J]. 北京农学院学报,1994,9(2):75-84.
- [7] 塔依尔,王祯丽,吕国华,等. 日光温室内热量收支的解析和数值模拟[J]. 石河子大学学报(自然科学版),1999,3(4):303-307.
- [8] 陈青云,汪政富. 节能型日光温室热环境的动态模拟[J]. 中国农业大学学报,1996,1(1):67-72.
- [9] 宋希强,彭春生,黄士昆. 新型节能日光温室光环境动态模拟及其数值实验[J]. 海南师范学院学报(自然科学版),2001,14(2):48-50.
- [10] 陈景玲,杨晓光,王 谦. 日光温室连阴天危害游程模拟分析[J]. 中国农业大学学报,1998,3(3):48-52.
- [11] 王学奎. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 2 版. 北京:高等教育出版社,2006.
- [12] 郭洪恩,宋景华,张 勇,等. 不同结构日光温室温湿度变化规律研究[J]. 山东农业科学,2009(8):43-45,48.
- [13] 刘 庆,连海峰,刘世琦,等. 不同光质 LED 光源对草莓光合特性、产量及品质的影响[J]. 应用生态学报,2016,26(6):1743-1750.
- [14] 王纯枝,钱 拴,谭方颖,等. 2015/2016 年冬季气候对农业生产的影响[J]. 中国农业气象,2016,37(2):255-257.
- [15] 胡文海,喻景权. 低温弱光对番茄叶片光合作用和叶绿素荧光参数的影响[J]. 园艺学报,2001,28(1):41-46.
- [16] 黄 伟,任华中,张福漫. 低温弱光对番茄苗期生长和光合作用的影响[J]. 中国蔬菜,2002(4):15-17.
- [17] John R, Teasdale J R, Abdul - Baki A A . Soil temperature and tomato growth associated with black polyethylene and hairy vetch mulches[J]. American Society for Horticultural Science,1995,120(5):848-853.
- [18] 刘明池,徐刚毅. 陶瓷管负压控温栽培系统在番茄日光温室冬季生产中的应用效果[J]. 农业工程学报,2005,21(9):186-188.
- [19] 王国良,吴竹华,汤庚国,等. 根际加温对无土栽培非洲菊冬季产花的影响[J]. 园艺学报,2001,28(2):144-148.
- [20] 于 巨,张 琦,林莎莎,等. 不同管理措施对日光温室环境因子的影响[J]. 江西农业学报,2018,30(2):80-86.
- [21] 侯修胜,董光勇. 油桃日光温室栽培光照调控技术[J]. 江苏林业科技,2004,31(1):32,34.
- [22] 蒋国振,胡耀华,刘玉凤,等. 基于 CFD 的下沉式日光温室保温性能分析[J]. 农业工程学报,2011,27(12):275-281.