

土壤含水量对日光温室内土壤主要物理特性和小白菜生长的影响

李 勇 于锡宏* 蒋欣梅* 燕 冲

(东北农业大学园艺学院, 黑龙江哈尔滨 150030)

摘 要: 以小白菜品种四月慢为试材, 研究了 3 种土壤水分含量对冬季日光温室内土壤主要物理特性和小白菜生长的影响。结果表明: 随着土壤含水量的增加, 对土壤三相比产生显著影响; 土壤热容量显著增大; 土壤导热率和土壤导温率先显著增大, 后显著减小。表层 5 cm、10 cm 和 15 cm 的地温日变化结果显示: 土壤含水量为 55 % ~ 70 % 的处理地温高于土壤含水量为 70 % ~ 85 %、土壤含水量为 85 % ~ 100 % 的处理; 表层 15 cm 地温日变化中土壤含水量为 70 % ~ 85 % 的处理日较差最小; 当土壤含水量为 70 % ~ 85 % 时, 显著提高了小白菜单株产量、叶绿素和 VC 含量。

关键词: 土壤含水量; 日光温室; 土壤温度; 小白菜; 生长; 产量; 品质

中图分类号: S634.3 文献标识码: A 文章编号: 1000-6346 (2011) 14-0052-05

Effects of Soil Moisture Content on Soil Major Physical Traits and Pakchoi Growth in Solar Greenhouse

LI Yong, YU Xi-hong*, JIANG Xin-mei*, YAN Chong

(College of Horticulture, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, Heilongjiang, China)

Abstract: In this paper, taking pakchoi (*Brassica rapa* L.chinensis Group.) variety 'Siyueman' as experiment material, we studied the effect of 3 different soil moisture contents (with W1, W2, W3 said) on major soil physical trait and pakchoi growth in greenhouse in winter. The results indicated that along with the increase of soil moisture the 3 phases of soil were significantly affected, the soil thermal capacity was also remarkably augmented. The soil thermal conductivity and the rate of soil thermal conductivity were firstly increased then significantly decreased. The result of daily soil temperature changes in 5 cm, 10 cm and 15 cm soil depth showed that the soil temperature of soil moisture between 55 %-70 % treatment was higher than soil moisture between 70 %-85 % and 85 %-100 % treatments. In the 15 cm soil depth, the daily range of soil temperature with soil moisture contents between 70 %-85 % was the minimum. When the soil moisture was between 70 %-85 %, pakchoi single plant yield was greatly improved, and the contents of chlorophyll and VC were also increased.

Key words: Soil moisture content; Solar greenhouse; Soil temperature; Pakchoi; Growth; Yield; Quality

收稿日期: 2010-12-22; 接受日期: 2011-05-23

基金项目: 黑龙江省教育厅项目 (11531019)

作者简介: 李勇, 硕士研究生, 专业方向: 园艺设施与生理生态, E-mail: liyong301@126.com

* 通讯作者 (Corresponding authors): 于锡宏, 教授, 博士生导师, 专业方向: 蔬菜栽培与生理, E-mail: yxh100@sohu.com

蒋欣梅, 副研究员, 专业方向: 蔬菜栽培与生理, E-mail: jxm0917@163.com

土壤温度是制约日光温室冬季蔬菜生产的重要环境因素, 是引起温室病虫害发生的客观因素之一。土壤水分含量影响土壤的升温 and 保温, 不同的灌水定额致使土壤温度高低不同 (依艳丽 等, 2006); 相同土壤含水量, 覆膜处理和不覆膜处理对地温产生了明显的影响 (陈丽娟 等, 2008); 土壤含水量的增加导致土壤热容量变大, 从而引起土壤温度变化幅度变小 (李慧星 等, 2007); 在梭梭柴林地, 30、40、80、160 cm 土层温度与其土壤湿度均呈抛物线关系 (傅玮东 等, 1997)。但关于土壤含水量对冬季日光温室地温影响的研究鲜见报道。土壤是由固相、液相、气相组成的物质, 土壤三相组成对地温影响很大。在土壤的组成部分中, 固体部分的数量一般变化不大, 而空气和水的含量经常变化。根据土壤组份比热的研究, 石英在土壤成分中比热最低, 水的比热最高, 铝硅酸盐高岭土的比热比石英略高。由于大多数土壤的主要成分是石英、铝硅酸盐、水和腐殖质, 故水分将大大影响土壤的热容量 (贝弗尔 等, 1983)。而热容量是衡量地温变化的一个重要指标。

小白菜 (*Brassica rapa* L. *chinensis* Group.) 是冬季消费量很大的叶菜类蔬菜之一, 营养丰富, VC 含量比大白菜高一倍多。关于土壤含水量对蔬菜作物的影响, 多数研究集中在根系分布较深的果菜类 (王绍辉和张福漫, 2000; 陈修斌 等, 2009), 而对于根系分布较浅的叶菜类缺乏相应的研究。国内外学者做了大量关于温室地温的研究 (Roberts et al., 1981; 李国师 等, 1996; 白增森 等, 1998), 但土壤含水量与日光温室地温的关系鲜有报道。本试验以不同土壤含水量为处理, 以小白菜为试材, 通过测定土壤三相比、土壤热特性及小白菜生长和生理指标, 研究了不同土壤水分含量对冬季日光温室地温和小白菜生长及产量、品质的影响, 以期对日光温室地温的进一步研究和土壤含水量对冬季温室浅根类蔬菜作物生长的影响提供理论依据。

1 材料与方法

供试小白菜品种为四月慢, 由东北农业大学园艺学院提供。

2009~2010年在东北农业大学寒地蔬菜生物学重点实验室、蔬菜生产设施工程与环境实验室和东北农业大学设施工程中心节能日光温室室内进行两年重复试验。5月埋设苯板, 分隔小区, 至10月期间, 小区进行正常的浇水、除草, 不种植蔬菜。

试验设土壤含水量分别为田间最大持水量的 55%~70%、70%~85%、85%~100% 3 个处理, 分别用 W1、W2、W3 表示。3 次重复, 随机区组排列, 小区面积为 1 m²。土壤有机质含量 2.15%, 全氮 2.39 g·kg⁻¹, 全磷 2.01 g·kg⁻¹, 全钾 3.23 g·kg⁻¹, 碱解氮 243 mg·kg⁻¹, 速效磷 110 mg·kg⁻¹, 速效钾 118 mg·kg⁻¹, pH 值为 6.07。小区之间用 5 cm 厚的苯板做为间隔, 以阻止小区之间以及小区和周边土壤之间的热量交换。6 月起, 各小区进行统一的管理; 10 月 15 日, 小白菜直播于各小区, 统一管理, 培育壮苗, 当幼苗 2 片真叶时按株距 10 cm、行距 20 cm 间苗, 每小区定苗 50 株; 11 月 1 日开始控制土壤含水量, 各小区土壤含水量低于水分下限 (55%、70%、85%) 时即按水分上限进行补灌。

$$M(\text{kg}) = (B \times \theta - S) \times l \times h \times r \times 10^3$$

式中: M 为小区灌水量; B 为灌水上限; θ 为田间最大持水量; S 为土壤含水量; l 为小区面积; h 为灌水计划湿润层; r 为土壤容重。

在小白菜的生长过程中 (11 月 15 日), 随机选取 3 株测定叶绿素、蛋白质、可溶性糖、VC 含量, 3 次重复; 在小白菜开始采收时 (11 月 30 日), 随机选取 20 株测定单株产量、叶面积和叶片数。其中叶面积采用方格纸法 (蒋欣梅, 2007) 测定, 叶绿素含量采用无水乙醇法 (郝建军, 2007) 测定, 蛋白质含量采用考马斯亮蓝 G-250 法 (史之文, 1993) 测定, 可溶性糖含量采用蒽酮法 (张宪政 等, 1989) 测定, VC 含量采用 2, 6-二氯酚靛酚法 (张宪政 等, 1989)

测定。

土壤热特性及地温的测定在11月1日~12月31日进行,选取10 d晴朗天气的测定数据,计算平均值。地温感应器置于小区中部,表层5、10、15 cm感应器东西方向排列,间距为25 cm。

土壤三相比由总孔隙度和土壤容积含水量来计算(中国科学院南京土壤研究所土壤物理研究室,1978),土壤热容量由土壤三相比计算得来(土壤物理性测定委员会,1979);土壤地温、导温率、土壤含水量采用TRM-WS温室环境测试系统(锦州阳光气象科技有限公司)测定;土壤导热率由导温率和热容量计算得出(姚贤良和程云生,1986)。

试验数据采用Excel和DPS软件进行统计分析,差异显著性采用Duncan新复极差法进行分析。

2 结果与分析

2.1 不同土壤含水量对冬季节能日光温室内土壤三相比的影响

单位体积原状土壤中,土粒、水分和空气体积间的比即土壤的三相比。从图1可以看出,3个处理的固相率基本一致;W1的液相率显著小于W2、W3,W2的液相率显著小于W3;W1的气相率显著大于W2、W3,W2的液相率显著大于W3。说明不同水分处理显著改变了土壤液相率和气相率,对固相率影响不显著。

2.2 不同土壤含水量对冬季节能日光温室内土壤热特性的影响

从表1可以看出,不同土壤含水量处理对冬季节能日光温室内土壤热特性产生了显著的影响。随着土壤含水量的增加,土壤热容量显著增大,W1的热容量显著小于W2、W3,W2的热容量显著小于W3;随着土壤含水量的增加,土壤导热率先增大,后减小,W1的导热率显著小于W2、W3,W2的导热率显著大于W3;随着土壤含水量的增加,土壤导温率先增大,后减小,W2的导温率显著大于W1、W3,W1和W3之间差异不显著。

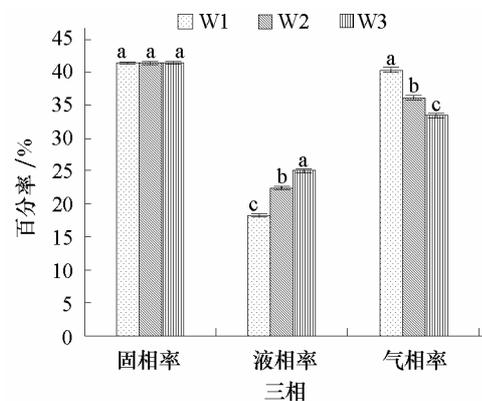


图1 不同土壤含水量对土壤三相比的影响
图柱上不同小写字母表示差异显著($\alpha=0.05$)。

表1 不同土壤含水量对土壤热特性的影响

处理	土壤热容量/ $J \cdot cm^{-3} \cdot ^\circ C^{-1}$	土壤导热率/ $J \cdot cm^{-3} \cdot s^{-1} \cdot ^\circ C^{-1}$	土壤导温率/ $cm^2 \cdot s^{-1}$
W1	1.947 ± 0.017 c	$(0.523 \pm 0.042) \times 10^{-3}$ c	$(0.260 \pm 0.021) \times 10^{-3}$ b
W2	2.152 ± 0.021 b	$(1.038 \pm 0.029) \times 10^{-3}$ a	$(0.496 \pm 0.014) \times 10^{-3}$ a
W3	2.370 ± 0.021 a	$(0.703 \pm 0.021) \times 10^{-3}$ b	$(0.290 \pm 0.009) \times 10^{-3}$ b

注:表中同列数据后不同小写字母表示差异显著($\alpha=0.05$),下表同。

2.3 不同土壤含水量对冬季节能日光温室内地温的影响

从图2、3、4可以看出,节能日光温室内表层地温的日变化呈单峰曲线。W1的地温高于W2、W3,W2的地温高于W3;表层15 cm地温日变化中,在降温阶段,W2的地温高于W1、W3。W1的5 cm地温日较差为7.0 $^\circ C$,10 cm地温日较差为3.4 $^\circ C$,15 cm地温日较差为1.6 $^\circ C$,W2、W3不同土壤深度地温日较差变化趋势与W1相同,说明随着土壤深度的增加,地温日变化幅度减小;且随着土壤含水量的增加,冬季节能日光温室内表层地温逐渐降低。

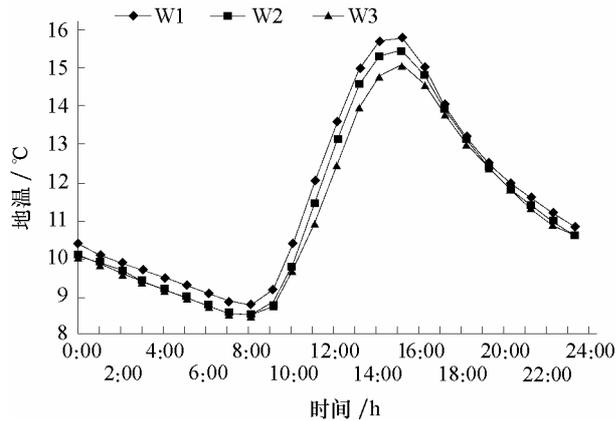


图2 不同土壤含水量对5 cm地温的影响

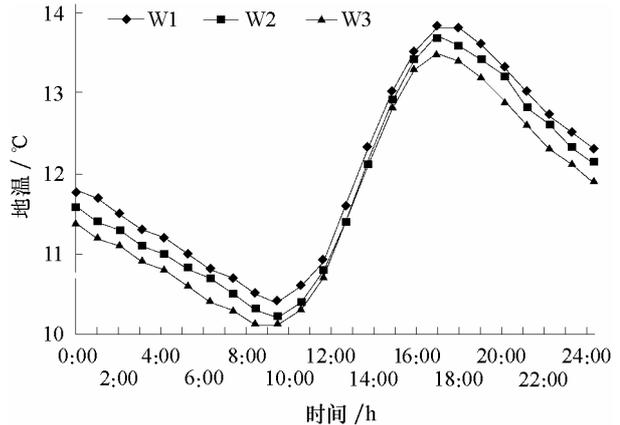


图3 不同土壤含水量对10 cm地温的影响

2.4 不同土壤含水量对冬季节能日光温室内小白菜生长及生理指标的影响

2.4.1 不同土壤含水量对小白菜生长指标的影响
从表2可以看出,不同土壤含水量对冬季节能日光温室小白菜的生长有显著影响。3个处理的叶片数差异不明显;W2的单株鲜质量显著高于W1、W3,W1和W3之间差异不显著;W2的叶面积显著高于W1。说明冬季节能日光温室中,土壤含水量为70%~85%的处理能显著提高小白菜的产量。

2.4.2 不同土壤含水量对小白菜生理指标的影响
从表3可以看出,不同土壤含水量对冬季节能日光温室小白菜的生理指标影响显著。W2的叶绿素a含量显著高于W1;W2、W3的叶绿素b含量显著高于W1,W2和W3之间差异不显著;总叶绿素、类胡萝卜素含量的变化趋势和叶绿素b相同;W2的VC含量显著高于W1;W1和W3的可溶性糖含量显著高于W2,W1和W3之间差异不显著;3个处理的可溶性蛋白含量差异不显著。

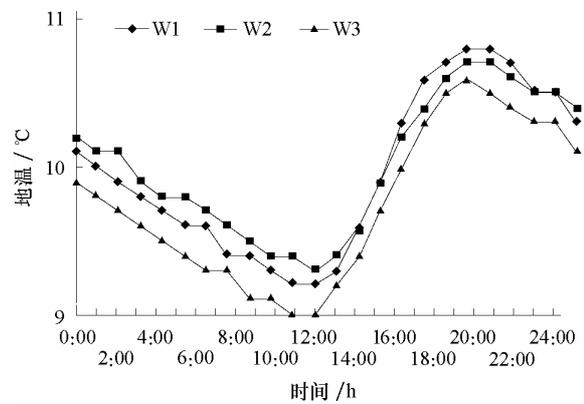


图4 不同土壤含水量对15 cm地温指标的影响

表2 不同土壤含水量对小白菜生长指标的影响

处理	叶片数/张	单株鲜质量/g	叶面积/cm ²
W1	11.67 ± 0.33 a	23.44 ± 1.27 b	43.38 ± 2.87 b
W2	12.00 ± 0.24 a	28.59 ± 1.48 a	49.66 ± 3.18 a
W3	12.58 ± 0.50 a	24.37 ± 1.09 b	45.36 ± 1.25 ab

表3 不同土壤含水量对小白菜生理指标的影响

处理	叶绿素a mg · g ⁻¹	叶绿素b mg · g ⁻¹	总叶绿素 mg · g ⁻¹	类胡萝卜素 mg · g ⁻¹	VC mg · g ⁻¹	可溶性糖 %	可溶性蛋白 mg · g ⁻¹
W1	0.134 ± 0.007 b	0.131 ± 0.003 b	0.265 ± 0.003 b	0.322 ± 0.008 b	0.415 ± 0.021 b	0.447 ± 0.042 a	1.226 ± 0.045 a
W2	0.166 ± 0.005 a	0.184 ± 0.006 a	0.350 ± 0.012 a	0.375 ± 0.014 a	0.502 ± 0.019 a	0.398 ± 0.017 b	1.190 ± 0.068 a
W3	0.145 ± 0.012 ab	0.187 ± 0.004 a	0.332 ± 0.009 a	0.384 ± 0.021 a	0.473 ± 0.023 ab	0.480 ± 0.014 a	1.247 ± 0.023 a

3 结论与讨论

温室是一个四周密闭、缺乏雨水淋溶的人造环境,室内环境受到周围设施的影响,与外界相比有着独特的变化规律。自然土壤是一个复杂的多分散系,其固、液、气三相物质的热容量各不相同,土壤空气对土壤容积热容量影响很小,可以略去,容积热容量与土壤液相率和固相率

有关(姚贤良和程云生, 1986)。本试验结果表明, 随着土壤含水量的增加, 温室土壤液相率显著增高, 而固相率基本不变, 致使土壤热容量显著增大。土壤导温率先显著增大, 达到一定程度后(土壤含水量占田间最大持水量的70%~85%时)开始减小, 这与van Rooyen等(1959)研究大地土壤导温率的结果一致, 说明日光温室土壤导温率与大地土壤导温率变化规律一致。土壤导热率先显著增加, 达到一定程度后, 开始显著减小, 这与姚贤良和程云生(1986)研究的土壤导热率变化规律不一致, 此规律可能是温室土壤导热率变化的特征。

随着土壤含水量的增加, 表层5、10、15 cm的地温日变化结果显示, 一天中, 3个处理的最高地温的大小顺序为W1>W2>W3。这是因为W1的热容量最小, 接受同样的热量而升温较快, W3的热容量较大, 接受同样的热量升温较慢。表层5 cm地温最低值出现在8:00, 最高值出现在15:00; 表层10 cm地温最低值出现在9:00, 最高值出现在16:00; 表层15 cm地温最低值出现在11:00, 最高值出现在18:00。每个深度中, 3个处理的地温最低值和最高值出现的时间为同一时间。表层5 cm地温日变化结果显示, 8:00时W1与W3的温差为0.3℃, 15:00时为0.7℃; 表层10 cm地温日变化结果显示, 9:00时W1与W3的温差为0.3℃, 16:00时为0.3℃; 表层15 cm地温日变化结果显示, 11:00时W1与W3的温差为0.2℃, 18:00时为0.2℃。说明随着土壤深度的增加, 地温极值出现的时间逐渐滞后, 这与前人研究(李国师等, 1996)的结果一致; W1与W3地温极值的差值有减小的趋势, 说明随着土壤深度的增加, 土壤含水量对地温的影响逐渐减小。

本试验结果表明, 土壤含水量为70%~85%时, 小白菜叶面积最大、产量和VC含量最高; 当含水量大于85%时, 这些生理指标开始下降, 说明在日光温室小白菜冬季生产中, 土壤含水量太大, 致使地温下降幅度增大, 会影响其产量和品质。所以土壤含水量为70%~85%是日光温室小白菜冬季生产较适宜的含水量, 这个土壤含水量低于温室黄瓜(王绍辉和张福墁, 2000)和茄子(陈修斌等, 2009)的适宜含水量, 与结果期温室辣椒(彭强等, 2010)所需适宜含水量相同。将此试验结果用于指导节能型日光温室小白菜冬季生产, 既可减少因过量浇水而造成的水资源浪费和减产, 又能提高小白菜的产量和品质。

参考文献

- 白增森, 郭秀芳, 丁玉川, 张敬忠. 1998. 日光温室严冬季节气温与地温的变化特征. 中国蔬菜, (3): 31-32.
- 贝弗尔LD, 加德纳WH, 加德纳WR. 1983. 土壤物理学. 周传槐译. 北京: 农业出版社: 268-270.
- 陈丽娟, 张新民, 王小军, 成自勇, 单鱼洋. 2008. 不同土壤水分处理对膜上灌春小麦土壤温度的影响. 农业工程学报, 24(4): 9-12.
- 陈修斌, 杨彬, 闫芳, 鄂利锋, 许耀照. 2009. 不同土壤含水量对日光温室茄子生长及生理特性影响. 土壤通报, 40(2): 231-234.
- 傅玮东, 刘绍民, 李银芳. 1997. 梭梭柴林地温变化规律及与土壤湿度关系的探讨. 干旱区研究, 14(1): 54-58.
- 郝建军, 康宗利, 于洋. 2007. 植物生理学实验技术. 北京: 化学工业出版社: 68-72.
- 蒋欣梅. 2007. 蔬菜栽培学实验指导. 哈尔滨: 东北农业大学出版社: 12-13.
- 李国师, 谢士估, 王海东. 1996. 日光温室地温变化规律与调控. 中国农业气象, 17(3): 38-40.
- 李慧星, 夏自强, 马广慧. 2007. 含水量变化对土壤温度和水分交换的影响研究. 河海大学学报, 35(2): 172-175.
- 彭强, 梁银丽, 陈晨, 朱娟娟, 韦泽秀, 贾文燕, 吴燕. 2010. 土壤含水量对结果期温室辣椒生长及果实品质的影响. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 38(1): 154-159.
- 史芝文. 1993. 植物生理生化实验技术指导. 哈尔滨: 东北农业大学出版社: 126-129.
- 土壤物理性测定委员会(日本). 1978. 土壤物理性测定法. 翁德衡译. 重庆: 科学技术文献出版社重庆分社: 425-427.
- 王绍辉, 张福墁. 2000. 不同土壤含水量对日光温室黄瓜生理特性的影响. 中国蔬菜, (s): 26-29.
- 姚贤良, 程云生. 1986. 土壤物理学. 北京: 农业出版社: 474-479.
- 依艳丽, 梁运江, 张大庚. 2006. 不同水肥处理对辣椒保护地土壤温度和CO₂含量的影响. 土壤通报, 37(5): 875-880.
- 张宪政, 谭桂茹, 黄元极, 宋玉华. 1989. 植物生理学实验技术. 辽宁: 辽宁科学技术出版社: 264-267, 268-271.
- 中国科学院南京土壤研究所土壤物理研究室. 1979. 土壤物理性质测定法. 北京: 科学出版社: 70-71.
- Roberts W J, Mears D R, James M F. 1981. Floor heating of greenhouse. Acta Hort (ISHS), 115: 259-268.
- van Rooyen, Martinus, Winterkorn H F. 1959. Structural and textural influences on thermal conductivity of soils. Highway Res Bd Proc, 38: 576-621.