

田立立,郭斗斗,黄丹枫,等.不同灌溉处理下鸡毛菜冠层温度差异性及其分布特性研究[J].上海农业学报,2021,37(3):58-62.

不同灌溉处理下鸡毛菜冠层温度差异性及其分布特性研究

田立立,郭斗斗,黄丹枫,常丽英*

(上海交通大学农业与生物学院,上海 200240)

摘要:为深入了解鸡毛菜生长期冠层温度的差异性变化以及分布特性,通过不同灌溉处理下的鸡毛菜栽培试验,利用红外检测技术连续获取植株冠层温度的动态变化数据进行分析。结果表明:(1)三种水分处理下鸡毛菜(‘华王’)各生长时期植株冠层温度,均呈随着基质含水量的升高而降低趋势,即饱和灌溉处理<正常灌溉处理<缺水灌溉处理。(2)鸡毛菜(‘华王’)生长期冠层温度变化与环境大气温度变化显著相关,且冠层温度变化强度小于空气温度。(3)鸡毛菜(‘华王’)冠层温度日变化规律呈现先上升再降低的趋势,6:00开始逐渐上升,12:00—14:00达到峰值,之后逐渐降低。(4)鸡毛菜(‘华王’与‘抗热605’)冠层温度在植株空间分布趋势为:底部子叶温度最高,由最底部向上L1、L2、L3、L4、L5温度依次降低,顶部L5温度最低。研究结果可为基于冠层温度的快速检测,实现对鸡毛菜工厂化生产过程的精准灌溉管理提供理论依据。

关键词:鸡毛菜;冠层温度;灌溉处理;差异性;分布特性

中图分类号:S636 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3924(2021)03-058-05

Canopy temperature difference and distribution characteristics of non-heading Chinese cabbage under different irrigation treatments

TIAN Lili, GUO Doudou, HUANG Danfeng, CHANG Liying*

(School of Agriculture and Biology, Shanghai JiaoTong University, Shanghai 200240, China)

Abstract: In order to obtain the variations and distribution characteristics of canopy temperature during the growth period of seedling stage of non-heading Chinese cabbage, the dynamic change data of canopy temperature of seedling stage of non-heading Chinese cabbage were obtained continuously by using infrared detection technology through cultivation experiments under different irrigation treatments. The results showed that: (1) The canopy temperature of seedling stage of non-heading Chinese cabbage ‘Huawang’ under three water treatments decreased with the increase of substrate water content, saturated irrigation treatment < normal irrigation treatment < water shortage irrigation treatment. (2) There was a significant correlation between the variations of canopy temperature with the seedling stage of non-heading Chinese cabbage ‘Huawang’ and the change of air temperature and the change intensity of canopy temperature was less than that of air temperature. (3) Daily variation of canopy temperature of seedling stage of non-heading Chinese cabbage ‘Huawang’ showed that the canopy temperature firstly increased and then decreased, gradually increased from 6:00 a. m., and reached to the peak around 12:00—14:00, and then gradually decreased. (4) Spatial distribution characteristics of canopy temperature of seedling stage of non-heading Chinese cabbage showed the following law: the temperature of cotyledons at the bottom was the highest, L1, L2, L3, L4, L5 from the bottom to the top decrease in turn, and L5 at the top was the lowest. The results could provide a theoretical basis for the rapid detection of canopy temperature to realize the precise irrigation management of seedling stage of non-heading Chinese cabbage.

Key words: Non-heading Chinese cabbage; Canopy temperature; Irrigation treatment; Diversity; Distribution characteristics

收稿日期:2020-03-04

基金项目:上海市农业农村委员会项目(沪农科推字(2018)第3-1号)

作者简介:田立立(1989—),男,硕士,研究方向为从事蔬菜无土栽培生产。E-mail:774175654@qq.com

*通信作者, E-mail:changly@sytu.edu.cn

不结球白菜是我国南方地区广泛栽培的绿叶菜品种之一^[1],鸡毛菜作为其幼苗阶段的食用产品,深受我国消费者的喜爱。提升鸡毛菜生产过程中的水分管理,对于提高鸡毛菜的产量与品质有着重要意义^[2]。随着现代农业栽培技术以及装备技术的发展,鸡毛菜栽培过程中的水分供给方式已由传统粗放的漫灌等灌溉方式逐渐向现代精准的微灌等灌溉方式转变,同时通过农业物联网技术已可以实现根据鸡毛菜生长过程中所需水分定时定量供给。因此,研究鸡毛菜的生理指标,判断其体内水分状况,从而确定水分供给量已成为了现阶段十分必要且重要的研究目标。而冠层温度作为其中一个理想指标,研究其在鸡毛菜生长过程中的变化规律以及分布特征亦变得十分必要。

冠层温度指作物地上部分茎、叶表面温度的平均值,可以直接反映作物生理状态,也是衡量作物体内水分状况的重要指标之一^[3]。研究表明,作物冠层温度的变化是各种能量流动的集中表现^[4]。后续研究中更进一步阐述了能量流动和植物冠层温度之间的关系,生物与环境间能量交换运行的机理,其中的内容包含了传导、辐射、蒸腾、对流等交换方式,该能量流动理论为后来研究植物冠层温度奠定了基础^[5]。

植物的冠层温度作为诊断作物水分亏缺情况的指标之一^[6],可以快速、无损地了解作物自身生理状况,在国内外已经被广泛研究,作物冠层温度与水分相关性研究对于探讨水分对作物生理生化作用以及生长发育的影响,指导作物精准灌溉,提高水资源利用效率都有着重大意义^[7],用冠层温度变化作为作物自身生理状态指标来反映作物体内水分状况的研究是作物缺水研究的一个重要方向。随着冠层温度监测技术以及监测设备水平的逐渐提高,在国外已经形成了较为成熟的依靠监测作物冠层温度指导作物水分管理的灌溉技术。

已有研究表明,作物在不同生长发育阶段对水分的需求、水分利用率以及对水分缺失的响应有很大差异^[8]。为了明确鸡毛菜冠层温度在不同水分灌溉下的差异性以及冠层温度随叶位分布的空间分布特点,本研究对鸡毛菜在不同水分处理下的冠层温度进行分析,获得冠层温度在不同水分处理的差异性规律以及随不同叶位分布的空间分布特性,以为鸡毛菜工厂化生产的精准灌溉管理提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试鸡毛菜品种为:‘华王’和‘抗热 605’。‘华王’原产日本,植株整齐度高,株型优良,抗病性、耐热性、耐湿性强,栽培适应性广,生长期 25—30 d。‘抗热 605’品种株型直立,浅绿色,纤维少,较耐热,植株紧凑,抗病能力强、耐寒性好。试验品种由上海孙桥农业科技股份有限公司提供。

1.2 试验设计

试验于 2015 年 5 月 11—29 日在上海孙桥农业现代开发区内乾菲诺生物实验中心文洛型玻璃温室内进行,玻璃温室内部环境由 priva 温室环境控制系统根据实际生产环境设定自动调控。采用育苗移栽方式进行栽培种植,首先将种子直播于 128 孔育苗穴盘中,每盘填装商品有机基质,出苗后 2 片子叶展平时移栽到试验花盆(上口径×高度×容量:13 cm×13 cm×1 L)中,每盆种植 1 株,使用草炭、蛭石和珍珠岩混合基质,按 9:3:1 比例混合均匀。然后将花盆移至乾菲诺生物实验中心高通量植物表型平台上进行冠层温度检测。试验周期为 20 d,从试验品种长出第 1 片真叶开始至第 5 片真叶展开结束。试验设置 3 种不同基质含水量处理:缺水灌溉(基质含水量为基质最大含水量的 30%,S 表示)、正常灌溉(基质含水量为基质最大含水量的 60%,N 表示)和饱和灌溉(基质含水量为基质最大含水量的 90%,F 表示),5 个重复。

1.3 测定目标与测量方法

1.3.1 测定目标

测量‘华王’和‘抗热 605’品种在生长期内的各叶片温度;记录温室环境数据,包括温度、湿度、光照强度等。

1.3.2 测量方法

叶片温度使用 TA8204 手持红外测温仪对叶片上表面进行测量:每天 14:00 测量叶片温度,取叶片 3—5 个点的均值。特征天气(晴朗天气)使用 FLIA ONE RPO 手持红外热成像仪测量叶温及基质温度:6:00—18:00,每 2 h 测量 1 次。使用 WatchDog3900WS 无线综合气象站记录温室环境数据。

手持红外仪测量时,根据叶片大小在距离叶片 2—5 cm 距离处测量。手持红外热像仪拍照时,红外感应区正对叶片测量区,镜头距离植株约 40 cm,植株位于图像中间区域,通过调节焦距使轮廓清晰,禁止在热像仪校正时拍照。

1.4 数据分析

采用 SPSS 19.0 软件处理试验数据并进行差异显著性分析,采用 Excel 2016 软件进行相关性分析并进行数据整理,试验结果为 5 次重复的平均值。

2 结果与分析

2.1 鸡毛菜冠层温度对不同灌溉的差异性比较

在不同灌溉条件下,鸡毛菜植株内的水分状况会发生变化,进而改变植物体吸收水分、叶片蒸腾等一系列生理活动,使植物体与环境的能量交换产生差异,从而造成不同处理间冠层温度的差异。

由表 1—表 3 可见,不同灌溉处理下,HF(饱和灌溉)、HN(正常灌溉)和 HS(缺水灌溉),在 2 片真叶时期‘华王’的叶片温度平均值分别为 25.43 °C、25.85 °C、26.15 °C;3 片真叶时期分别为 26.4 °C、27.8 °C、29.05 °C;4 片真叶时期分别为 27.27 °C、28.54 °C、30.13 °C。对 3 组数据进行比较发现,‘华王’品种在不同叶龄期,冠层温度均表现为:缺水灌溉处理 > 正常灌溉处理 > 饱和灌溉处理;*t* 检验显示, HF 与 HN, HN 与 HS 叶片间温度差异显著。综上,鸡毛菜冠层温度在不同水分处理条件下表现为:HF < HN < HS,且差异显著。

表 1 不同灌溉处理下‘华王’品种 2 叶期冠层温度比较

Table 1 The comparison of canopy temperature of ‘Huawang’ under three different irrigation treatments at two leaf growth period °C

处理	LOL	LOR	L1	L2
HF	25.54 aA	25.43 aA	25.34 aA	25.32 aA
HN	26.20 b	26.08 b	25.70 b	25.43 b
HS	26.40 cB	26.20 cB	26.07 cB	25.96 cB

注:LOL 代表植株左边子叶,LOR 代表植株右边子叶,L1 代表第 1 片真叶,L2 代表第 2 片真叶,HS 代表‘华王’品种缺水灌溉,HN 代表‘华王’品种正常灌溉,HF 代表‘华王’品种饱和灌溉;同列中不同大写字母表示差异极显著($P < 0.01$),不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。下同。

表 2 不同灌溉处理下‘华王’品种 3 叶期冠层温度比较

Table 2 The comparison of canopy temperature of ‘Huawang’ under three different irrigation treatments at three leaf growth period °C

处理	LOL	LOR	L1	L2	L3
HF	26.81 A	27.15 A	25.58 A	26.50 A	25.99 A
HN	28.24 B	28.30 B	26.93 B	27.59 B	27.96 B
HS	29.28 C	29.20 C	28.38 C	28.83 C	29.56 C

注:L3 代表第 3 片真叶。

表 3 不同灌溉处理下‘华王’品种 4 叶期冠层温度比较

Table 3 The comparison of canopy temperature of ‘Huawang’ under different irrigation treatments at four leaf growth period °C

处理	LOL	LOR	L1	L2	L3	L4
HF	27.78 A	27.94 A	26.88 A	27.07 A	26.62 A	27.39 A
HN	29.51 B	29.02 B	28.74 B	28.41 B	28.00 B	27.51 B
HS	30.66 C	30.90 C	30.47 C	29.75 C	29.75 C	29.25 C

注:L4 代表第 4 片真叶。

2.2 鸡毛菜生长过程中冠层温度的动态变化特性及与大气温度的关系

由表 4 可见,L2 叶片温度与空气温度在相同时段达到高点与低点。空气温度最高点与最低点差值为 11.8 °C,L2 叶片温度最高点与最低点差值为 7.01 °C。由此分析,L2 叶片温度与空气温度在相同时间段达到高点与低点,说明叶片冠层温度变化与空气温度变化具有一定相关性,且冠层温度波动小于空气温度。利用 *t* 检验分析 L2 叶片温度与空气温度间数据差异性,同时利用 CORREL 函数对 L2 温度与空气温

表 4 正常灌溉条件下‘华王’品种在连续生长时间的 L2 叶片温度与空气温度值(5 月)

Table 4 Leaf temperature of L2 and air temperature at different growth periods under normal irrigation of ‘Huawang’ °C

项目	5月 11日	5月 12日	5月 13日	5月 14日	5月 15日	5月 16日	5月 17日	5月 18日	5月 19日	5月 20日	5月 21日	5月 22日	5月 23日	5月 24日	5月 25日	5月 26日	5月 27日	5月 28日	5月 29日
L2	25.43 a	29.50 a	30.29 a	28.82 a	25.36 a	26.59 a	25.30 a	24.33 a	30.87 a	29.45 a	28.41 a	27.60 a	23.86 a	27.46 a	30.74 a	29.74 a	26.14 a	24.48 a	25.43 a
空气温度	29.20 b	33.60 b	33.30 b	32.20 b	25.50 b	30.60 b	27.90 b	24.60 b	35.40 b	34.80 b	29.50 b	29.50 b	23.60 b	29.40 b	32.50 b	31.70 b	26.90 b	24.60 b	25.50 b

度进行相关性分析,得出鸡毛菜生长期冠层温度变化与空气温度变化显著相关,且冠层温度变化强度小于空气温度。

2.3 鸡毛菜冠层温度的日变化规律研究

冠层温度日变化作为植物对自身生理以及周围环境日变化反应的一个体现,其变化特点反映了植物一天中的生理活动特点,因此一天中某个特定时间点的冠层温度可直接被作为判断作物生理状态的优良指标。选取正常水分灌溉条件下‘华王’品种 L2 叶片在 5 月 13 日和 25 日 6:00—18:00 叶片温度数据来分析其冠层温度的日变化规律。

由表 5 可知,5 月 13 日和 25 日,L2 叶片温度 6:00—18:00 的变化规律为:从 6:00 开始随时间推移逐渐升高,在 12:00—14:00 达到日最高,随后逐渐降低。

表 5 正常水分灌溉条件下‘华王’品种 L2 叶片温度
Table 5 Temperature of L2 leaves of ‘Huawang’ on 13th and 25th day under normal irrigation condition °C

日期	6:00	8:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00
5 月 13 日	18.61 A	23.94 B	27.03 C	30.25 D	30.49 E	29.39 F	28.21 G
5 月 25 日	20.34 A	22.46 B	26.89 C	32.06 D	30.74 E	28.92 F	25.62 G

2.4 鸡毛菜冠层温度在不同叶位的空间分布特点研究

由于在空间上各叶位叶片生理活动以及受到的环境因子影响程度不同,造成各叶位叶片与周边环境能量流动强度形成一定差别,综合其他相关因素的影响,鸡毛菜冠层温度形成了随不同叶位分布的分布特点,这进一步细化了对于鸡毛菜冠层温度的研究。选取‘华王’和‘抗热 605’两个鸡毛菜品种 5 片真叶时期在 3 种灌溉处理下,从下到上由子叶开始依次到最顶端真叶的温度数据进行对比分析,形成鸡毛菜冠层温度在不同灌溉条件下的空间分布特点。

由表 6 和 7 可见,叶片平均温度 LOL、LOR > L1 > L2 > L3 > L4 > L5,由方差分析得,除 LOL 与 LOR 叶片间温度表现为差异不显著外,其余叶片间温度均表现差异显著。由以上分析结合鸡毛菜叶位空间可得,鸡毛菜冠层温度空间分布特征为:位于鸡毛菜最底部的子叶(LOL、LOR)温度最高,L1、L2、L3、L4、L5 随着位置向上温度逐渐降低,最顶部 L5 温度最低。

表 6 不同灌溉处理下‘华王’品种在 5 叶期叶片由下至上冠层温度分布
Table 6 The distribution of canopy temperature of ‘Huawang’ from the bottom to the top under different irrigation treatment at five leaf growth period °C

处理	LOL	LOR	L1	L2	L3	L4	L5
HF	25.98 a	26.11 a	25.88 b	25.80 cA	25.57 B	25.41 C	25.29 D
HN	26.07 a	26.01 a	26.17 b	26.14 cA	25.74 B	25.49 C	25.24 D
HS	27.12 a	27.10 a	26.83 b	26.75 cA	26.38 B	26.19 C	25.78 D
平均温度	26.39 a	26.40 a	26.29 b	26.23 cA	25.89 B	25.69 C	25.43 D

表 7 不同灌溉处理下‘抗热 605’品种在 5 叶期叶片由下至上冠层温度分布
Table 7 The distribution of canopy temperature of ‘Kangre 605’ from the bottom to the top under different irrigation treatment at five leaf growth period °C

处理	LOL	LOR	L1	L2	L3	L4	L5
KF	26.5 a	26.68 a	26.47 b	26.02 cA	25.86 B	25.79 C	25.28 D
KN	28.62 a	28.63 a	27.31 b	27.04 cA	26.89 B	26.67 C	26.32 D
KS	28.55 a	28.74 a	27.65 b	27.67 cA	27.38 B	27.10 C	26.59 D
平均温度	27.89 a	28.01 a	27.14 b	26.91 cA	26.71 B	26.52 C	26.06 D

3 结论与讨论

通过深入研究鸡毛菜在不同灌水条件下冠层温度的差异性以及在生长过程中冠层温度的变化规律和分布特征,得出以下结论:(1)鸡毛菜各生长期植株冠层温度在不同水分处理下,均呈现随着基质含水量的升高而降低趋势,即饱和灌溉处理 < 正常灌溉处理 < 缺水灌溉处理。(2)鸡毛菜生长期冠层温度变化与大气温度变化显著相关,且冠层温度变化强度小于空气温度。(3)鸡毛菜冠层温度日变化规律呈现先上升再降低的趋势,6:00 开始逐渐上升,12:00—14:00 达到峰值,之后逐渐降低。(4)鸡毛菜冠层温度在植株空间分布特征呈现底部子叶温度最高,由最底部向上 L1、L2、L3、L4、L5 温度依次降低,顶部 L5 温度最低的趋势。

综合冠层温度在其他作物上的研究,与本研究结果进行对比可得:(1)鸡毛菜冠层温度随着灌溉水量处理增加而下降,这与刘学著等^[9]在冬小麦冠层温度的研究结果相一致,前人研究表明,冠层温度变化是能量流动的一种体现形式,植物体与环境间以蒸腾、传导以及辐射等方式进行能量交换,改变植物的冠层温度^[10]。在一定范围内增加灌溉水量将提升鸡毛菜体内自由水比重,增加植物生理活动强度,蒸腾作用强度加大,随蒸腾作用释放更多能量,降低其冠层温度。本研究结果与此理论相互印证。同时鸡毛菜的冠层温度随灌溉水量变化而明显变化,说明将其作为诊断鸡毛菜水分状况监测指标从而确定灌溉水量具有可行性。(2)于明含^[11]研究了固沙植物冠层温度与气象因子的关系,发现在所有气象因子中,空气温度是对植物冠层温度影响最重大的气象因子之一。同时针对小麦冠层温度研究时也发现冠层温度与空气温度呈同步变化规律^[12]。鸡毛菜冠层温度反映了其体内水分状况,因此可根据整个生育期内与空气温度显著相关的冠层温度值制定鸡毛菜生育期内精准灌溉制度。(3)已有研究表明,植物一天中冠层温度达到最高时也是植物一天中水分胁迫强度最大的时期^[13],对于利用冠层温度指导灌溉有着重大意义,该时期可以作为作物利用冠层温度指导精准灌溉的有效采集点。在大部分冠层温度研究中都采用在 14:00 测定作物冠层温度的做法。此外同样可根据日冠层温度的变化规律制定鸡毛菜日灌溉制度。(4)前人研究表明,植物体冠层温度由于冠层组织的生长时间、有机物组成、生理反应等不同,冠层温度具有一定空间分布特征^[14],该分布特征更加准确剖析了鸡毛菜冠层温度的构成,为有效检测鸡毛菜冠层温度提供依据。本研究为利用红外热成像技术快速检测大面积鸡毛菜冠层温度提供了误差校准标准,且研究与吴晓磊^[15]研究利用红外热成像技术获取棉花冠层温度时得出的结论印证。

本研究仅对鸡毛菜冠层温度的差异性及其分布特性进行了研究,要实现鸡毛菜的精准灌溉,还需进一步对冠层温度和植株含水量以及生物量和品质指标等进行相关性研究,探究水分-冠层温度-产量与品质间的相互关系。后续研究将综合以上因素开展并形成有效的通过检测冠层温度实现对鸡毛菜精准灌溉的执行与反馈模型。

参 考 文 献

- [1] 董慧. 防虫网覆盖栽培对夏季不结球白菜生长的影响[D]. 南京:南京农业大学,2012.
- [2] 张彦锋. 不结球白菜同源异型突变雄性不育系 HGMS 的发现、选育及其研究[D]. 咸阳:西北农林科技大学,2005.
- [3] ZHANG Y, JEWETT T J, SHIPP J L. A dynamic model to estimate in canopy and leaf surface microclimate of greenhouse cucumber crops[J]. *Transactions of the ASAE*, 2002, 45(1):179-192.
- [4] 刘一佳. 花生冠层温度对施肥的响应及其在花生生产实践中的应用[D]. 南阳:南阳师范学院,2015.
- [5] 邓强辉,潘晓华,石庆华. 作物冠层温度的研究进展[J]. *生态学杂志*, 2009, 28(6):1162-1165.
- [6] 赵叶萌. 基于产量响应的冬小麦水分亏缺诊断指标及其阈值研究[D]. 北京:中国农业科学院,2016.
- [7] 徐银萍,宋尚有,樊廷录. 旱地冬小麦扬花至灌浆期冠层温度与产量和水分利用效率的关系[J]. *甘肃农业科技*, 2013(7):21-26.
- [8] GONZÁLEZ-DUGO M P, MORAN M S, MATEOS L, et al. Canopy temperature variability as an indicator of crop water stress severity[J]. *Irrigation Science*, 2006, 24(4):233-240.
- [9] 刘学著,张连根. 不同水分胁迫条件下冬小麦冠层温度日变化差异性研究[J]. *北京农业大学学报*, 1994(2):229-232.
- [10] 何莹莹,于明含,丁国栋,等. 基于冠层温度的典型沙生植物土壤水分状况诊断[J]. *中国水土保持科学*, 2018, 16(4):89-96.
- [11] 于明含. 典型固沙植物冠层温度和气孔导度特征及其对土壤水分的响应[D]. 北京:北京林业大学,2016.
- [12] 司南. 北京大兴区冬小麦冠层温度变化规律及相关影响因素研究[D]. 泰安:山东农业大学,2016.
- [13] 袁国富,唐登银,罗毅,等. 基于冠层温度的作物缺水研究进展[J]. *地球科学进展*, 2001, 16(1):49-54.
- [14] 王英师,胡建芳,陈建中,等. 定额灌溉对苹果树冠层温度变化的影响[J]. *江苏农业科学*, 2018, 46(11):108-111.
- [15] 吴晓磊. 基于红外热成像的棉花水分状况诊断研究[D]. 北京:中国农业科学院,2016.

(责任编辑:张睿)