

农田小气候观测方法

中国农业科学院农业气象研究室编著

农业出版社

农田小气候观测方法

中国农业科学院农业气象研究室編著

农业出版社

内 容 提 要

农田小气候是作物重要的外界环境条件之一，它能直接影响作物的生育和产量。如何正确地在农业生产中貫徹“八字宪法”，是气象工作者研究的中心环节：深耕、灌溉所引起的农田小气候的变化；高肥密植后通风、透光問題；棉花蕾鈴脱落与农田小气候的关系；农田小气候对病虫害发生发展的影响；水稻保温育秧、防止烂秧等改善农田小气候促使农作物丰产的措施等，都要求对农田小气候进行仔細研究。通过农田小气候的研究，不但能了解各种农业措施对农田小气候的影响，从而加以合理利用和改善，并能改进农业技术措施提供科学依据。本書結合有关研究机关、气象(候)台、站以及各地群众經驗，并参考苏联先进經驗，加以系統地介紹与論述，可供农业气象工作者、农技干部及农业院校師生参考。

农 田 小 气 候 观 测 方 法

中国农业科学院农业气象研究室編著

农业出版社出版

(北京西总布胡同7号)

北京市書刊出版业营业許可證出字第106号

新华書店科技发行所发行 各地新华書店經售

外文印刷厂印刷

787×1092 毫米 1/32 · 1 7/8 印張 · 41,000 字

1960年4月第1版

1960年4月北京第1次印刷

印数：00,001—8,000 定价：(7) 0.17 元

統一書号：13144.44 60.3 京圖

編者的話

农业气象为农业生产服务是我們农业气象工作者坚定不移的方针。建国十年来，我国农业生产在党的领导下取得了辉煌的成就。1958年的大跃进，使我国农业更加飞跃的发展，新的形势向农业气象工作提出了很多的任务和要求，如何正确地在农业生产中貫徹土、肥、水、种、密、保、管、工农业“八字宪法”是我們研究的中心环节。深耕、灌溉所引起的农田小气候的变化；高肥密植后通风透光問題；棉花蕾鈴脱落与农田小气候的关系；农田小气候对病虫害发生发展的影响；水稻保温育秧、防止烂秧等等改善农田小气候促使农作物丰产的措施，都要求对农田小气候进行仔細的研究。通过农田小气候的研究，不但能够了解各种农业措施对农田小气候的影响（即气象效应），进而加以合理利用和改善，并能为改进农业技术措施提供科学依据。

目前，虽然对大范围天气、气候尚难加以控制和改造，但是对于小范围内的农田小气候，是可以控制和改造的，所以根据作物对气象条件的要求，控制和改善农田小气候，使之有利于农业生产、保証丰收，是我們向自然作斗争中重要的一方面。

农田小气候的观测是农田小气候研究中不可缺少的手段，观测方法正确与否就直接影响到研究結果的准确性和可靠性，有必要进行仔細的探討。

在农业生产大跃进的形势下，也促进了农业气象科学的发展。

展,各地农业气象站、哨如雨后春笋般地发展起来,针对当地生产问题作了很多观测和研究等工作,取得了不少经验,总结与交流这些经验对今后的工作会有很大帮助。

由于农田小气候是一门新的学科,目前我国还只是开始阶段,所以尚缺乏完整的规范,各地在观测方法、观测时间以及资料整理上还没有一致的看法,因而在观测资料的应用上,研究结果的比较上都存在着一定的困难。鉴于以上情况,现将有关研究机关、气象(候)台、站以及各地的群众经验,结合学习苏联先进经验中的一些心得写成这本小册子,供各地农业气象工作者和农业工作者工作中参考,也可以作为专业学习中的参考。

应当说明,这本小册子所述的观测方法只能作一般的农田小气候特性的研究,至于辐射平衡、热量平衡及水分平衡的观测方法都未涉及,这些方面尚缺乏成熟的经验,只能作为我们今后努力的方向。

中央气象局农业气象研究室几位同志也参加了编写,М.И. 谢尔班专家在南京大学的讲课对完成这本小册子有很大帮助,此外各地对初稿提供了不少宝贵意见,减少了错误并增添了新的内容,使这本小册子能和读者早日见面,但由于我们水平所限,错误之处仍难避免,希望读者指正。

中国农业科学院农业气象研究室

1959年10月1日

目 录

編者的話

一、农田小气候的一般概念和形成規律.....7

1. 农田小气候的一般概念.....7

2. 农田小气候形成的規律.....9

二、测点的选择.....14

1. 选择观测测点的一般原則.....14

2. 测点的具体选择.....15

(1) 基本测点.....15

(2) 輔助测点.....16

(3) 测点的最小地段.....18

(4) 观测测点的编号.....20

三、观测仪器的装置和梯度观测的进行.....22

四、观测的高度和時間.....34

1. 观测高度的确定.....35

(1) 确定观测高度的原則.....35

(2) 裸露农田的观测高度.....35

(3) 作物田观测的高度.....36

2. 观测時間的确定.....38

(1) 选择观测時間的一般原則.....38

(2) 各种观测時間的具体确定.....39

五、农田小气候观测资料的整理和分析	42
1. 整理与分析的原则	42
(1) 农田小气候观测的特殊性	42
(2) 资料的误差	43
(3) 农田小气候观测资料的订正	44
2. 整理和分析的一般方法	47
(1) 地平线遮蔽图的作法	49
(2) 要素分布图的绘制	53

一、农田小气候的一般概念和形成规律

1. 农田小气候的一般概念

小气候与大气候不同的地方,表现在它是由于下垫面* 不均匀性而引起的局部气候。所说的“局部”应当理解为小范围的区域及其距离地面几十米以内的这个层次,例如小山丘、坡地、林地、水池以及农田等等。每一个小的地区都有其自己的气候特点。根据下垫面的多样性,小气候可分为许多类型,农田小气候就是其中之一。

农田小气候仍是以大气候为基础的,其特性除了决定于地方的自然条件如地势、地形、方位、土壤性质等以外,还决定于所种的作物种类、生长状况和栽培管理方法。因为这些都可以影响下垫面的热量收入和支出,特别是在晴天,这种影响更为明显。

农田小气候的特点不仅表现在近地面空气层气象要素垂直分布的急剧变化上,而且也表现在各个气象要素在不同地段和不同时间内的较大差异上。例如:大气温度垂直梯度一般每升高100米约为 0.6°C ,而贴地气层中(例如距地面2米高度以内)的温度梯度,如折合100米来计算,可达几百度甚至几千度。由于下垫面不均匀性的影响,虽在相距数十米甚至数米范围内,不同地段上气象要素的水平分布也表现出极大的差异。即使是同一种作物的农田,地形的高低起伏、平作、壟作、壟沟、壟背、土壤

* 下垫面是指贴地空气层下界所接触到的表面,如土壤、植被、水面等等。

湿润程度以及植株的稀密情况等等，都会引起气象要素在水平方向上的显著不同。例如在地形低的地方容易积水，土壤湿度相应增大，不但改变了土壤中的水分状况和热状况，同时贴地气层中的热状况和水分状况也有了改变。除了在空间上表现出极大的差异性以外，随着时间的变化，气象要素的差异也表现得十分显著，这不仅表现在一日间气象要素的日变程方面，还表现在作物的不同发育阶段上，因为随着作物生长发育阶段的不同，活动面首先发生了改变，这就影响到小气候特性的改变。例如作物处在苗期，地面还未复盖时，活动面就在地面，随着植株的生长，地面被枝叶所复盖，活动面便转移到植株上部。又如在小麦的开花期作物需水较多，蒸腾必然增大，由于蒸腾耗热的结果，株间及近地气层的空气温度也将降低，相对湿度增大。到了小麦的成熟期植株开始干枯，蒸腾大大减小；由于植株的存在妨碍了热量向上传递，因而表现出株间温度比裸露地的温度还要高的现象。

除了上述的农田小气候特点以外，另一方面还要举一些农田小气候与大气候的差异的实际例子。在其他条件相同的情况下，农业技术措施能够显著地改变土壤和贴地气层中的气候状况，以致于可以把它看作是发展植物的地区气候形成的重要因子之一。由于人们的活动所引起的环境条件的改变常常会超出与邻近地区气候的自然差别。比如在贴地气层中，因为有植株的存在，风和乱流交换* 减弱；由于合理地利用了地形或采用了先进农业技术，在作物生长期內可以增加几百度有效积温。其次，合理地采用土壤耕作措施以及根据土壤状况配置植物，同样能

* 由于动力因素（比如地面的粗糙程度）和热力因素（地面受热不均）而引起的空气不规则的运动称为乱流。由于乱流的关系使贴地气层中的热量和水分与较高层空气发生的交换称为乱流交换。

够提高积温。这样就等于在贴地气层中作物的发育由北向南推进了几个纬度。

由于小气候有着以上所述的特点，所以其观测方法与大气气候不同。它需要更细致地选择测点和布置仪器。观测的高度要能够反映出农田小气候垂直分布的特点，一天中的观测时间要根据具体要求来确定，这些将在下面详细谈到。

2. 农田小气候形成的规律

种植作物的农田里，作物的表面能够接受太阳的辐射而加热，到了夜间又放热冷却，起了调节土壤和贴地气层中温度的作用，我们把这个表面叫作活动面，因为这个表面上热量的收入和支出是最显著的。以一般作物来说，这个表面大约在植株高度三分之二的地方，因为在这个高度枝叶分布最为密集。

活动面不仅对土壤和贴地气层中的温度变化起着重要作用，对于水分作用也很显著。正因为如此，所以在农田小气候的研究中特别重视活动面，活动面的热量源泉是太阳，但吸收热量的多少也与活动面的反射和其本身的放射有关。前者为热量收入，后者为支出。这样对于太阳辐射收入和支出的差称为辐射平衡*，也叫辐射差额。换句话说，就是活动面上的净余辐射。活动面接受了净余辐射能以后转变为热能，再把这些多余的热量主要用在三个方面：一部分热量随着乱流交换作用由活动面传向大气中（如活动面温度比大气温度低时，则作用相反）；另一部分热量用于植物的蒸腾和土壤的蒸发（如活动面水汽凝结，相反会获得热量），还有一部分是由活动面向下传递到土壤中（土壤下层温度高时相反向活动面传递）。为便于记忆起见，我们把

* 辐射平衡数值有正有负，正值表示收入的多放出的少，此时为正的辐射平衡，也为正的净余辐射；负值正好相反。

这三方面的热量消耗順次称为乱流热交换、蒸发耗热和土壤中热交换。其实除了用于这三方面以外，植物进行的光合作用……等还要消耗一些热量，不过和这三方面比較起来实在微不足道，所以忽略不計了。

以上三个方面形成了农田小气候特性的物理基础，了解这些基础知识無論对理解农田小气候的特点、分布，甚至是改善农田小气候方面都起着重要的作用。例如我們可以改变活动面的状况，使淨余的輻射能增多。加深土壤的颜色，减小土壤的反射，便是使淨余的輻射能增多的措施之一，因而提高了土壤温度。另一方面当接收的淨余輻射能一定时，我們还可以由活动面的状况作小气候特点的正确解释，从而为改善小气候特性提出有力根据。例如，在水稻田中由于水分充足，接受的淨余輻射能絕大部分用于蒸发和热量向土壤中的傳遞，使其向空气中傳遞的热量大大减少，甚至还要吸收空气中的热量补充消耗的不足，因此，虽然在天晴的白天也会表现出逆温* 状况。又如干旱的沙漠田中由于土壤水分的不足，蒸发耗热可視為零，因而它所获得的輻射热絕大部分是用于向空气中傳遞，因此在沙漠中感觉十分炎热，这是不难理解的。

正因为以上原因，虽然在这本观测方法中并不涉及热量平衡的观测，但是为了便于掌握小气候的特点，所以我們还将簡要介紹一下活动面上輻射能的收支(輻射平衡)以及热量平衡的各个分量——乱流热交换、蒸发耗热和土壤中热交换。这对于小气候观测方法特性的了解是有帮助的。

活动面輻射平衡(即淨余輻射)数值的大、小、正、負决定于下式中各个分量的数值。以晴天的白天为例写出下列方程式

* 逆温即貼地气層中、下層的空气温度比上層的 空气温度低。一般來說 晴天的夜晚常出現逆温。

(晴天白天由于太阳存在所以辐射平衡常为正值):

$$B = Q(1 - \alpha) + E_a - R_g - E_g \dots \dots \textcircled{1}$$

式中 B 为辐射平衡, Q 为太阳总辐射或称日射, α 为活动面的反射率, $1 - \alpha$ 为活动面的吸收率, E_a 为大气逆辐射, R_g 为长波反射辐射, E_g 为活动面的长波辐射。

太阳总辐射 Q 包括两个部分, 一部分是水平面上的太阳直接辐射 S' , 另一部分为太阳的散射辐射 D , 均可由仪器测得。活动面上接受的太阳总辐射 Q , 除了反射一部分以外, 实际的收入即为 $Q(1 - \alpha) = E_a$ 。活动面上收入的辐射除了短波辐射外, 还有大气长波逆辐射 E_a , 这是指天空物体(如水汽、尘粒等)本身放射的辐射指向活动面的那一部分*。

除了活动面的收入部分外, 还有支出部分 R_g 和 E_g , R_g 是指活动面对收入长波 E_a 的反射部分, E_g 则为活动面本身的长波辐射, 以上各分量的代数和便构成了辐射平衡数值 B 。为了简单起见, 常把式中长波部分以有效辐射 γ 来表示, 于是上式便简化为:

$$B = Q(1 - \alpha) + \gamma \dots \dots \textcircled{2}$$

γ 为有效辐射, 是指活动面与大气间长波辐射的差值, 该值一般为负值, 晴天无云负值更大, 也就是说活动面上支出的长波辐射比收入的多, 因此有效辐射常使活动面上损失热量。如在晴天夜晚 $Q = 0$, 上式变为 $B = \gamma$, 活动面渐渐冷却。

为了帮助我们了解辐射收支状况, 举出下列示意图来加以阐明:

综合图 1 情况: 无云白天由于 S' 最大, 使活动面的 B 处于正值; 有云白天 $S' = 0$, 短波辐射中的 D 值增大, 同时也增大了长波辐射 E_a ; 无云的夜间只剩下长波辐射, 由于收入的 E_a 远不能补

* 辐射分短波辐射和长波辐射, 太阳辐射为短波辐射; 植物、土壤、地面物体以及天空水汽、尘粒等的辐射统称为长波辐射。

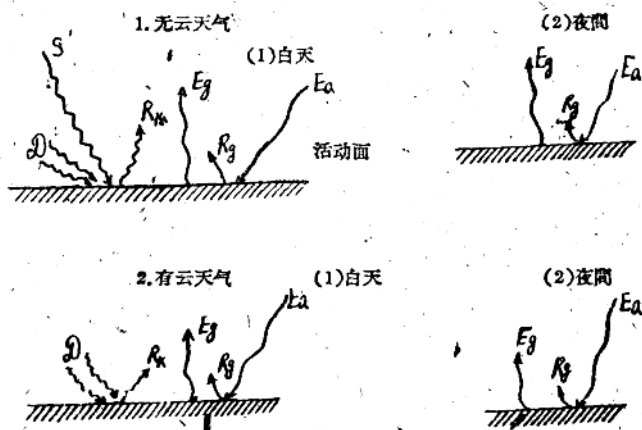


图 1 組成活动面辐射平衡的各个分量

偿损失的热量 E_a , 因之活动面变冷; 有云的夜间, 云滴增加使得 E_a 增大, 增加了活动面上的收入辐射, 因而活动面上的冷却大为减少。

由上得知, 辐射平衡各个分量的数值不仅决定于天气状况 (主要是太阳辐射), 还决定于活动面的特性, 也就是说决定于农田所在的位置、周围遮蔽情况以及植被反射率等等。由于这些综合结果决定了辐射平衡数值的正负和大小。

其次再来看一下活动面上以辐射平衡获得的热量, 用于三个主要方面的热量情况, 以下式表示:

$$B = P + LE + Q_n \dots\dots ③$$

式中 P 为乱流热交换, LE 为蒸发耗热 (或为凝結时增加热量, L 为蒸发潜热, 约为 600 卡/克, E 为蒸发强度), Q_n 为土壤中热交换。

③式表明，农田小气候的形成主要决定于辐射平衡和热量平衡，而农田中作物种类、生长情况、土壤质地以及农田水分状况等影响到热量平衡中各个分量的变化。单位面积上绿色体的全部重量、叶面的密集程度与形状、蒸腾系数等决定了植株间的阳光透过情况、乱流交换和蒸发的热量消耗。在同一种作物田中，由于栽培技术的不同就可以改变热量平衡的各个分量，综合表现于农田小气候的特性上。农田小气候特性观测的目的即在于了解这个情况，并为作物创造更为有利的条件。

二、測点的选择

1. 选择观测测点的一般原则

空气温度、湿度、风以及土壤温度、湿度等等气象要素数值，需要通过观测测点的仪器来取得。这些气象要素数值的正确性与观测测点选择的是否恰当有很大的关系，因为农田小气候的特性不但受地形、地势、周围环境、土壤性质、植物种类等的影响；也和植株高低、疏密程度、作物品种、农业技术措施等有关，因此在进行农田小气候观测工作以前，首要的任务就是选择观测的测点。在选择测点时应当注意以下几个原则：

首先谈一谈测点的代表性。测点的代表性应当根据当地的一般实际情况和研究的目的来确定。比如研究小麦田的小气候时，除了要求土壤性质、小麦品种、农业技术措施等条件符合于当地的一般情况外，要把测点装置在植株高低一致、生长均匀的地段；又如当研究深耕的农业气象效应时，除了一般深度的农田应有代表性以外，研究深耕的农田也要具有代表性。

其次关于比较性的问题。任何一种农田的气候特性以及不同农业技术措施的农业气象效应，都是通过若干地段的平行观测来进行的。比如了解植株小气候特性常以裸露农田（秋耕休耕地）作为对照；又如研究灌溉农田的气象效应时，应当和非灌溉农田进行比较。只有通过正确的对比，才能把它们之间的差异揭露出来，这样我们才能判断这一差异是由植株或是由灌溉所引起的。

当然,进行資料对比以前,首先应当了解两个测点間气象条件的原有差异,以便在具体对比时把这个差异消除,否則便会混淆了結果。仍以灌溉农田与非灌溉农田对比一例而言,需在灌溉以前先了解两测点的差异,这样灌溉以后再进行对比,問題就非常明显了。

为了得出可靠的对比,除了使用的仪器、安装和观测的方法严格注意一致外,各地段之間的距离不宜过远,各地段所处的周圍环境也应大体一致,如果限于条件,其中有的地段周圍环境有严重差异时,一定要在测点位置描述中詳細說明,作为分析資料时的参考。

农田小气候的观测資料一般比較短暫,为了某些研究的目的(如农业气候),需要把短时期的資料訂正为較长时期的資料。为了这个目的,选择测点时要考虑尽可能离附近气候台、站近一些。

除了上述情况外,还要注意邻近地区的环境条件,比如测点附近的水塘、大树以及房屋建筑等。当测点地段的土壤干旱时气流会把测点上的干空气带走,并且經常地把上风方水塘蒸发的水汽帶到测点来。所以要預先了解观测期內的当地盛行风向,使测点避开水塘的影响。离开建筑物的距离应当在建筑物高度的20倍距离以上,因为20倍距离以內是房屋建筑可能影响的范围;甚至一棵树木也要注意在一日中它的蔭影能否遮蔽测点,这些都能使小气候要素发生重大变化。

2. 测点的具体选择

农田观测的测点基本上分为基本测点和輔助测点。

(1)基本测点

基本测点是农田小气候观测的主要测点,是必不可少的和通常进行观测的测点。农田小气候的特征主要是通过基本测点

来取得，該測点裝置在最有代表性的地段上。观测要素的项目比較完备，一般有空气温度、空气湿度，土壤温度、土壤湿度，风速、风向，云状、云量，日光情况，地面状态等。基本测点的观测時間比較固定，要在每次观测時間的正点进行。除了每天按固定時間进行1—4次观测以外，为了了解气象要素的晝夜变程还結合作物的发育阶段、天气类型（如阴、曇、晴天等）进行晝夜观测。

当进行灌溉农田的小气候观测时，把基本测点裝置在非灌溉农田和灌溉农田所选的地段中央，图2中△点就是灌溉农田的基本测点。基本测点还可应用于农田小气候的野外考察。例如当研究不同地形条件下气象要素分布时，往往把基本测点設置在变化最显著坡地的坡頂、中部和山脚，例如图3南坡剖面的I、II和III点（見“哈薩克丘陵地北部的小气候及其对农作物的影响”一書，水文气象出版社，列宁格勒，1958年出版）。

(2) 輔助測点

設置輔助測点的目的是为了补充基本测点資料的不足，更加完善地了解基本测点气象要素的特性，达到研究的目的。輔助測点可以是流动的，也可以是固定的；观测的项目、次数和時間可以和基本测点相同，也可以和基本测点不同，可依照要求来确定。一般輔助測点使用的仪器数量和观测高度比基本测点要少，但是所留仪器裝置的高度应当和基本测点一致，才能进行比较。輔助測点的观测次数一般与基本测点的次数相同，有时也可少于基本测点，但是它們的观测時間最好取得一致。如因人力不足时可采取流动观测的方法来解决，先观测輔助測点，再观测基本测点，然后返回去再观测輔助測点。进行流动观测时要先計算一下观测每个测点需要的時間，使基本测点的观测正好在正点进行，輔助測点的两次观测時間分別处于正点時間的前后。

例如研究一定地段由于灌溉作用引起的空气温度、湿度的