



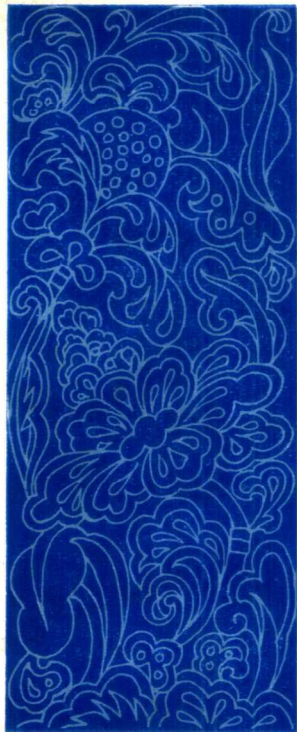
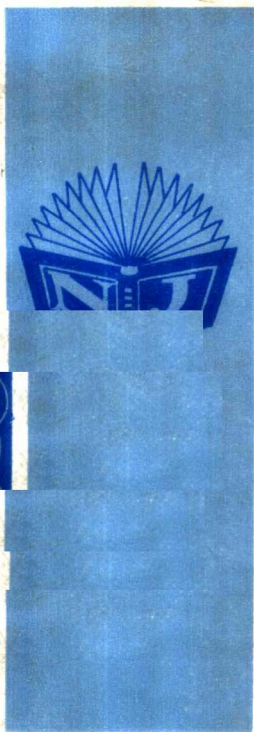
中华人民共和国农牧渔业部



农业生产技术基本知识

农田小气候

翁笃鸣 沈觉成编著



农业出版社

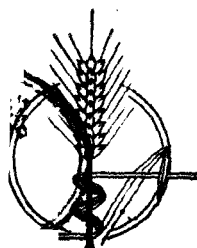


中华人民共和国农牧渔业部主编

农业生产技术基本知识

农田小气候

翁笃鸣 沈觉成 编著



农业出版社

中华人民共和国农牧渔业部主编

农业生产技术基本知识

农田小气候

翁笃鸣 沈觉成 编著

农业出版社出版 (北京朝内大街130号)

新华书店北京发行所发行 农业出版社印刷厂印刷

787×1092 毫米 32 开本 3.5 印张 67 千字

1984 年 1 月第 1 版 1984 年 1 月北京第 1 次印刷

印数 1—12,000 册

统一书号 16144·2739 定价 0.39 元

出版说明

近年来，我国广大农村干部、社员，为了加快发展农业生产，建设起发达、富庶的农村，逐步地实现农业现代化，学习农业科学技术知识的热情空前高涨，广大农村出现了爱科学、学科学、用科学的新气象。为了适应广大读者学习上的迫切需要，这一套《农业生产技术基本知识》，经过重新增补修订，体现了知识更新，反映了农业科技发展的新水平，现在以其崭新的风貌和读者见面了。

《农业生产技术基本知识》原是在五十年代组织编写的。自初版问世以来，经三次增补修订，由最初的二十三分册发展为三十三分册，再版四次，深受农村干部和群众欢迎，对发展农业生产起到一定的积极作用。这次重新修订编写，为便于读者按专业阅读，在原来三十三分册的基础上发展为一百多分册，力求每个学科既突出重点，又有系统性。丛书内容注重理论联系实际，以阐明科学知识为主，兼顾技术上的应用，文字力求通俗易懂，深入浅出，是一套适于广大农村干部和群众自学的农业科普读物。

为使这套涉及农林牧副渔多学科的书保证质量，我们邀请了有关方面的专家、学者组成了本书的编审委员会。值此丛书重新出版之际，谨向本书编著者及各位编审委员致以

衷心的感谢。

农业科技人员的勤恳工作和广大农业生产者的创造性劳动，推动着我国的农业科学技术蓬勃发展，科技成果层出不穷，由于我们掌握的资料有限，未能充分地反映到这套丛书中来，不足之处，热诚希望读者提出宝贵意见，以便今后在修订中逐步补充完善。

目 录

引言	1
第一节 形成小气候的基本规律	3
一、太阳辐射条件对小气候形成的作用	3
二、地表面与近地层以及土层的热量交换过程——地表热量 平衡	10
三、平坦地面上的小气候特点	17
第二节 农田小气候的一般特征	25
一、农田中的太阳辐射和光能分布	25
二、农田中的热量平衡	32
三、农田中的温、湿度分布特点	33
四、农田中的风状况	38
第三节 人工措施对农田小气候的影响	43
一、密植的农田小气候效应	43
二、套作农田的小气候效应	46
三、灌溉对农田小气候的影响	54
四、农田防护林的小气候效应	57
五、防霜冻	61
六、塑料薄膜覆盖的增温效应	65
第四节 农田小气候观测方法	67
一、农田小气候观测的一般原则	68

二、农田光照强度的观测	72
三、辐射观测	74
四、农田温、湿度的观测	80
五、农田中风速的观测	90
六、农田土壤水分状况的观测	95

引 言

人类在地球大气中生存，随时随地都受到大气环境的影响，同时，人类活动又自觉不自觉地反作用于大气环境，引起大气环境的某些改变。但是，人类最直接最经常地所受的大气环境影响，却是小气候的影响。这些影响在工农业生产和日常生活中是很常见的，如果不注意观察、分析，往往认为是想当然的事而把它放过。譬如：为什么农田实行间套作能使农业增产？为什么塑料薄膜覆盖能保温？为什么熏烟能够防霜？为什么防护林带能保护农田？为什么过分密植的农田反而不能增产？等等。这些都是什么样的现象呢？我们说，这些都是发生在农田里的小气候现象。要解释它还得从什么是小气候说起。所谓小气候，顾名思义就是指小范围的气候，一般理解主要是发生在最贴近地面气层的气候，高度也就是几米、几十米，特别是指地面上方2米以内的一层。另外，它所指的水平范围也很有限，通常也不过几米至几公里。不同地段上的小气候现象都是通过一些气象要素或大气现象表现出来的。如吸收太阳辐射能的多少，温、湿度的高低，风向、风速的变化，以及雾、露、霜的发生频率等。由于这些现象的差异总是发生在同样的地理条件下，所以，可以肯定，

它们主要是与地面特征有关^①。发生在水稻田上方的气象现象自然与旱地上方不同，农田植被内的小气候状况也必然与农田外面露地上的有区别。可以这么说，有什么样的地面条件，就有什么样的小气候。于是，在小气候学里就有许多分支，如农田小气候、水体小气候、山地小气候、森林小气候、城市小气候等。就是在农田小气候里面还可以细分水稻田小气候、旱地小气候、人工措施的各种小气候等。但归纳起来，它们的规律性基本上是共同的。

农作物生长在贴地气层和土壤上层内，作物所受的气候完全不同于气象站观测到的大范围气候。例如在山的阴坡和阳坡；在开旷的高地和低洼地；在水浇地和旱地，由于小气候条件不同，农作物的生长发育状况相差悬殊。而且即使在同一田块，由于耕作方式、播种密度、作物种类、生育期等的差异，都可造成较大的小气候差别。因此，了解和研究农田小气候形成的规律性，对于充分利用有利的小气候资源，避免和克服不利的小气候条件，合理布置农业生产和多种经营，提高农作物单位面积产量都有重大的实践意义。如我国华南地区属亚热带气候，一般不能生长热带作物，但在某些局部地区，如山的背风的阳坡，却能成功地种植橡胶和咖啡等热带作物。又如华北地区一般一年只一熟或两年三熟，采用套、间作后可增至一年两熟或更多，提高了土地和气候资源的利用率。

此外，在改造农田小气候条件方面，人类也是大有作为

① 这里的地面是泛指地球表面或更确切地说是指下垫面，即垫在大气层下的表面，它可以是水面，也可以是裸露地面、植被表面、冰雪表面等等。

的。我国历史上早在一千多年前就开始利用熏烟进行防霜了。解放以来在新疆、内蒙古等地大规模营造防风林，结果在一定程度上防止了风砂对农田的侵袭，保证了农业丰收。北方群众利用高粱、玉米秆建造防风屏障，北方城市郊区建造大面积塑料薄膜大棚等都属于改良和调节农田小气候的有力措施。

所以，小气候现象随时随地都存在。我们从事农业生产，无时不在进行影响农田小气候的工作。可以这么说，在锄头、铁锹底下都有小气候的学问。如果我们了解了农田当中小气候的基本规律，就会知道如何正确地对它施加影响，使之有利于生产，可以做到少花钱或不花钱就能提高作物的产量。

本书就想为读者介绍农田小气候的基本知识和某些简单实用的观测方法，大家将会从本书介绍中了解到，发生在农田作物中的小气候现象是很有趣的。研究农田小气候问题并非高不可攀，有些事情马上就可以做到并可在农业生产上见效。

第一节 形成小气候的基本规律

一、太阳辐射条件对小气候形成的作用

平坦地面上的小气候的形成，主要决定于地面对太阳辐

射热量的吸收、近地气层中的乱流运动和土壤中的热量交换。实际上这里包括两个能量交换过程的收支账，通常用两个方程式表示。一个是地面接收太阳辐射能量的收支账——辐射平衡方程；另一个是地面吸收到太阳辐射能以后转化为热量传到大气和土壤层中的热量平衡方程。先说辐射平衡方程（图1）。

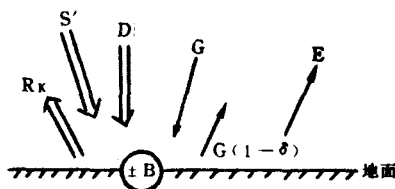


图1 地表辐射平衡各分量示意图

有
$$B = S' + D - R_K + G - (1 - \delta)G - E \quad (1)$$
 这里 B 是地表面的辐射平衡，表示地面净吸收或放出的辐射能量； S' 表示到达地平面的太阳直接辐射，是指直接由太阳表面投射到地面的那一部分辐射； D 为太阳散射辐射，表示太阳光线在投射过程中由于受空气中的分子以及微粒和云中水滴等的散射后，从天空不同方向投射到地面的辐射； R_K 为地面对入射的太阳直接辐射 S' 和散射辐射 D 的反射部分； E 为地面辐射，根据物理定律，任何物体只要它的温度高于绝对零度（ -273°C ），都具有向外放射热辐射的能力，其强度则与其绝对温度（摄氏温度度数加上273）的四次方成正比； G 则为大气（包括云）本身向下放射的热辐射； δ 称为地面相对辐射系数，它表示地面对大气向下辐射的吸收能力，对陆地表面一般常取0.95（在物理学中绝对黑体的辐射系数为1）。这就是说地面只能吸收约95%的大气向下辐射，还有5%左右被地面反射出去。

在图1上，箭头向下的是地面获得的辐射项，取正号；

向上的是支出项，取负号；圆圈内 $\pm B$ 表示最终的辐射平衡，可正可负。 B 为正，表示地面吸收辐射热量，可以使地面以及空气和地中的温度增高， B 为负，表示地面损失热量，只得靠降低地面、地中和空气温度来补偿。

通常把太阳辐射称为短波辐射（用空心箭头表示）只有日间才有，而地球辐射则称长波辐射（用实心箭头表示），它全天都存在着。一般日间辐射平衡为正，夜间为负。根据上面的定义，还把直接辐射 S' 和散射辐射 D 的总和称为总辐射，用 Q 表示，有

$$Q = S' + D$$

另外，还定义反射辐射 R_k 与到达地面总辐射的比值为地表反射率 A （用小数或百分数表示），有

$$A = \frac{R_k}{Q}$$

最后还把

$$E + (1 - \delta)G - G = E - \delta G = F$$

称之为有效辐射 F ，表示地面与大气层进行热辐射交换过程中的净损失部分，通常由于地面温度要比整个大气层的平均温度高，所以地面总是放出热量。因此，地表面的辐射平衡方程还可以写成另外的形式

$$B = Q(1 - A) - F \quad (2)$$

这种写法在专业书中最为常见。

辐射平衡方程中各个分量的单位常用卡/厘米²·分表示，意思是在单位面积表面上，在单位时间内所得到（或失去）的热量。现在国外有的已使用能量单位瓦/厘米²，它们之间可

以互相换算。

$$1 \text{ 卡/厘米}^2 \cdot \text{分} = 0.0697 \text{ 瓦/厘米}^2$$

从辐射平衡方程 (2) 可以看出, 只要公式左边 Q 、 A 、 F 三项中有一项或一项以上发生改变, 就可以造成地面辐射能量收支状况的改变, 因而也就可以改变小范围气候。下面我们具体的进行讨论。

(一) 总辐射 Q 的分布 在互相紧靠的两块平地上, 获得的太阳总辐射不会有差别。但是, 对于斜面 (如山坡), 情况就大不一样。这一点群众都知道, 在北方利用阳坡种植喜暖的作物, 就是因为阳坡在冬季得到的总辐射要比平地多的缘故。总辐射在斜面上分布的差异主要是由太阳直接辐射投射角不同造成的。理论上可以用精确的公式来计算各种斜面上的直接辐射差异。表 1 列出南京各季中午时不同斜坡地上太阳直接辐射与水平面上太阳直接辐射的比值。可以看出, 冬季在南坡获得的太阳直接辐射最多, 其次是东南、西南坡, 最少是北坡。在夏季这种差别要小得多。表中坡度 10° 、 20° 在农业上是可以利用的, 90° 则代表各种朝向的墙。我们还可利用如下形象化的对比说明斜坡与平地的差异, 公式表明, 某日中午时北京坡度为 8° 的南坡所获得的太阳直接辐射, 正好与南京平地上得到的一样多。南京至北京相差约 8 个纬度 (直线距离接近 900 公里)。两地的直接辐射差异, 竟在一个 8° 的南坡和邻近的水平地面上造成, 可见小范围的地形差异对于太阳辐射能分布的影响是很大的。

斜面对辐射平衡其他各分量都有一定影响, 但都不如对直接辐射影响大。

太阳辐射在森林内部或农作物中传播, 由于植物枝、茎、叶等对太阳光的反射、透射、吸收, 也使得分布不均匀, 从而可明显地影响到森林或作物的生长。

(二) 反射率的差异 到达地面的太阳总辐射并不全被地面吸收, 其中有一部分由于它的反射作用而返回大气。所谓反射率就是指各种表面对太阳辐射的反射能力。局地之间反射率的差异往往是造成小气候差异的重要原因。譬如水稻田与旱地之间的反射率差异就很明显。

各种表面的反射率差异, 主要取决于它的颜色、湿度和粗糙度等物理性质。当然太阳光线投射角不同, 同一地面的反射率也有变化。根据大量的实测资料, 各种常见的地表面反射率可见表 2。

由表 2 可以想见, 在农业生产中如适当改变地面颜色就可使地表面反射率发生明显改变, 从

表 2 地表面反射率与太阳高度角、坡向、坡度的关系

太阳高度角	坡向	水平面		南		坡		东		坡		西		坡		东		坡		北		坡		北		坡	
		0°		10°	20°	30°	90°	10°	20°	30°	90°	10°	20°	30°	90°	10°	20°	30°	90°	10°	20°	30°	90°	10°	20°	30°	90°
35° 接近冬至		1.00		1.23	1.43	1.43		1.16	1.28	1.01		0.99	0.94	0.00		0.81	0.59	0.00		0.74	0.45	0.00					
55° 接近春秋分		1.00		1.10	1.18	0.70		1.07	1.10	0.50		0.93	0.94	0.00		0.90	0.77	0.00		0.86	0.70	0.00					
80° 接近夏至		1.00		1.04	1.00	0.18		1.00	0.98	0.13		0.99	0.94	0.00		0.96	0.90	0.00		0.91	0.88	0.00					

表 2 各种地表面的反射率

表 面 特 征	反射率(%)	表 面 特 征	反射率(%)
黑钙土, 新翻, 潮湿	5	水 稻 田	12—22
黑钙土, 平坦, 干燥	12	棉 花	20—22
黄 砂	35	黄 熟 作 物	25—28
白 砂	34—40	新 雪	90
冬 小 麦	16—23	旧 雪	70

而达到增加或减少地面吸收太阳辐射的效果。如水稻秧床落谷之前施谷糠灰,使反射率减少,以增加对太阳辐射的吸收,从而可提高床面温度,这对秧苗生长是有利的。又如人们冬天穿深色衣服,夏天穿淡色衣服,也是为了调节对太阳辐射的反射,以适应人体对热量的需求。

一般说水的反射率是小的,大致在 5—10%之间。只有当太阳高度角很小时,水面反射率才可以很大。所以,潮湿地表面的反射率一般总要小于干燥地面。新翻土地的反射率又要比平坦地面小。

(三) 有效辐射的差异 有效辐射是地表向外辐射与吸收的大气向下辐射之差,所以在比较两相邻地段的有效辐射差异时,要从这两方面考虑。有云、雾或烟幕时,大气向下辐射就会增加,有效辐射减小。根据这个原理,在农业生产中可采取某些技术措施减小有效辐射失热,以防止低温和霜冻的危害。譬如,熏烟、覆盖就符合这个道理。此外,若两地段天空都无遮盖,吸收的大气向下辐射一样,那么它们之间的有效辐射差异主要取决于各自表面的温度,温度高的地

段有效辐射就大。

(四) 辐射平衡的差异 辐射平衡表示地表面在辐射交换过程中的净收支情况。所以,凡是影响到各个辐射分量的因素,都要最终地影响辐射平衡。对于相邻两个地段,其辐射平衡差异,可由各自的辐射平衡方程的差来表示,

$$B_1 = Q_1(1 - A_1) - F_1$$

$$B_2 = Q_2(1 - A_2) - F_2$$

所以, $B_2 - B_1 = Q_2(1 - A_2) -$

$$Q_1(1 - A_1) - (F_2 - F_1) \quad (3)$$

式中注脚号 1、2 分别代表两种地段。如果这两地段都是平坦地面,那么总辐射 Q_1 、 Q_2 是一样的 (都是 Q), 于是其辐射平衡差为

$$B_2 - B_1 = Q(A_1 - A_2) + (F_1 - F_2) \quad (4)$$

由此可见,相邻两平坦地段的辐射平衡差,决定于两地的反射率差和有效辐射差。若 A_1 大于 A_2 , F_1 大于 F_2 , 则 $B_2 - B_1$ 为正,反之为负。这个公式很重要,它可用来估价某些农业技术措施的小气候效应大小。

由于地球自转的结果,辐射平衡各分量都有明显的日变化,典型曲线如图 2 所示。从图上可以看出,在晴天条件下辐射平衡各个分量基本上都以中午时为最大,在夜间总辐射 Q 、直接辐射 S' 、散射辐射 D 以及反射辐射 R_k 都为零。有效辐射全天都存在,因为是辐射损失项,同反射辐射一样都是向下画的。辐射平衡的日变化大致是日间为正,最大值出现时间比之总辐射等略有提前,夜间为负,其大小与有效辐射相等(在图 2 上这两条线在夜间重叠在一起)。大致在日出之后

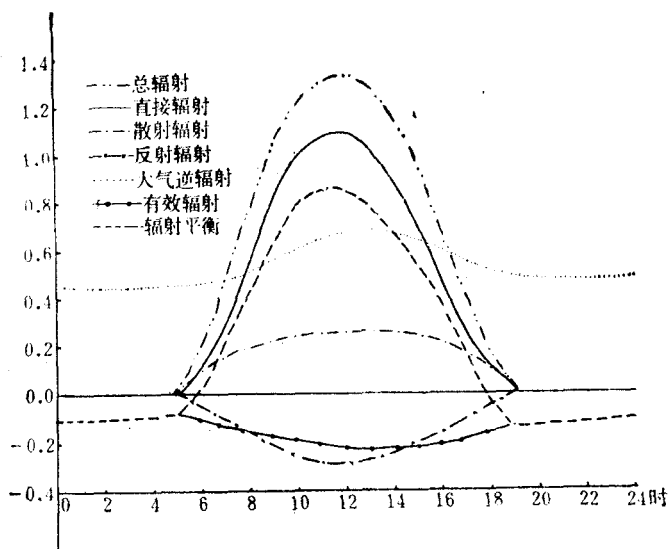


图 2 晴天地表辐射平衡及其分量的日变化

南京气象学院 1979年5月28、31日平均

40—60分钟和日落之前60—90分钟通过零值。在阴天情况下，这些曲线可能因云的影响而发生某些改变，但总趋势一致。

地表辐射平衡的日变化形式也就大致上决定了地面温度和气温等的日变化。

二、地表面与近地层以及土层的热量交换过程——地表热量平衡

前面我们讨论的是地表辐射平衡情况。在地表面得到（或失去）辐射热量的同时，还有一个热量交换过程，它可