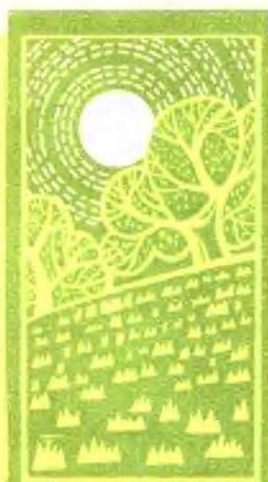


植被产量的辐射因子



HIBEI CHANLIANG DE FUSHE YINZI

〔苏〕H. A. 叶菲莫娃



气象出版社

植被产量的辐射因子

[苏] H. A. 叶菲莫娃

王炳忠 译

郑步忠 校

气象出版社

内 容 简 介

太阳辐射是决定植物产量的一个重要因素。本书对辐射平衡各分量, 光合有效辐射的计算方法, 农田辐射场的垂直结构和水平变化, 及其与植物群体结构的关系等, 均做了较细致的分析。在探讨植物辐射特征与生产力指标的关系的基础上, 确定和评定了各大洲的自然植被产量和各地植被的太阳能利用率。

本书可供农业气象、气候、地理、生物及农业等方面的科技人员和大专院校有关专业的师生参考。

Н. А. Ефимова

РАДИАЦИОННЫЕ ФАКТОРЫ ПРОДУКТИВНОСТИ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА

Гидрометеоиздат Ленинград 1977

植被产量的辐射因子

[苏] Н. А. 叶菲莫娃

王炳忠 译

郑步忠 校

气 象 出 版 社 出 版

(北京西郊白石桥路46号)

新华书店北京发行所发行 全国各地新华书店经售

北京印刷一厂印刷

开本: 787×1092 1/32 印张: 7.25 字数: 163 千字

1983年6月第一版 1983年6月第一次印刷

印数: 1—4,000 统一书号: 13194·0130

定价: 0.75元

译者的话

在植物产量形成的过程中，辐射因子起着重要的作用。首先，辐射是植物光合作用的能源，影响着光合作用过程中形成的产量和产品的质量。此外，光作为一种起调节作用的因子，还对植物形态的发生与发展、分蘖的特点和分蘖节的深度、叶子形状与大小，以及从营养生长到生殖生长的转变速度等起着显著的影响。因此，国际上普遍重视这一问题的研究。由于各国植物生理学家和农业气象学家的共同努力，特别是罗斯(Ю. К. Росс)教授领导下的拉脱维亚学派二十年代以来的工作，在农业气象学中已经形成了一个独立的新分枝——植物日射学。它的重要任务在于：寻找农田（或植被）净辐射（即辐射平衡）和光合有效辐射的间接计算方法，研究农田辐射场的垂直结构和水平变化，及其与植物群体结构的关系，探索植物辐射特征与其生产力指标的关系等，为植物高产理论的研究开辟了新的前景。本书对于这些问题，均做了较细致的分析和介绍。

目前我国有关部门正在广泛开展农业气候区划工作；辐射因子受到了普遍的重视。应当指出，就目前我国进行农业气候区划的具体情况而论，在间接计算方法方面做得工作较多，而在研究农田辐射场的特点，特别是在探求作物的辐射特征与其生产力指标的关系方面则做得不够，这是需要及时加以弥补的。当然，从事这方面研究的难度要大些，首先就有一个专门的仪器装备问题。另外，田间实验做起来也远比整理和分析气候资料复杂得多。但正因为如此尤其要提倡和鼓励去做，否则的话，只搞一些净辐射和光合有效辐射的计算是远远不够的。相信

本书的翻译出版，会对这方面的工作提供有价值的参考材料，并能引起各有关方面对农业气象实验工作的重视，以促进农业气象工作提高到一个新的水平。

书中有些文字或段落显得烦琐，我们已适当地进行了压缩或改写。宥于译者水平，译文难免失当，不妥之处恳请读者指正。

一九八一年元月二十日

目 录

引 论	(1)
第一章 地表辐射平衡各分量的计算方法	(5)
1.1 总辐射、反射率和吸收辐射的计算	(6)
1.2 有效辐射和辐射平衡值的计算	(11)
1.3 用计算方法得到的辐射平衡各分量的 气候学常年值与实测值之比较	(34)
第二章 各大陆表面的辐射平衡	(38)
2.1 各大陆辐射平衡和有效辐射的地理分布	(38)
2.2 苏联境内湿润表面的辐射平衡	(55)
2.3 辐射平衡及其各分量的变异性	(57)
第三章 光合有效辐射	(74)
3.1 光合有效辐射入射量的实验数据	(76)
3.2 光合有效辐射总量的计算	(84)
3.3 光合有效辐射在苏联境内和各大陆 的分布	(89)
第四章 农田辐射状况的特点	(102)
4.1 农作物植被的结构	(104)
4.2 谷类作物植被的反射率	(117)
4.3 农作物植被中太阳短波辐射的变化	(133)
4.4 谷类作物田间辐射平衡的基本特点	(143)
4.5 生长期间农田辐射平衡的变化	(148)
4.6 农作物植被中辐射平衡的变化	(152)
第五章 辐射因子对农作物和自然植被产量的影响	(157)
5.1 光合作用强度与植被中辐射分布的关系	(158)

5.2	充分湿润条件下辐射和温度对农作物 产量的影响	(163)
5.3	自然植被的产量与水热资源的关系	(169)
5.4	各洲自然植被产量的地理分布	(174)
5.5	自然植被对太阳能的利用	(196)
结束语		(201)
参考文献		(203)

引 论

随着保存和恢复高产植物群落以及提高农作物产量这类问题的迫切性日益增长,研究外界环境对于植物群落的生命活动和产量影响的规律性,具有越来越重要的意义。

太阳辐射是决定植物生命活动基本过程的主要因素之一。所以气象学的基本任务之一是研究太阳辐射状况,对于生物学来说,也具有重要的意义。

在解决许多生物学问题时,特别是在生态学和植物生理学领域内,都要应用有关太阳辐射状况的资料。制定农业气候指标、估计实际的和可能的植物产量,必须从自然植被和农作物利用辐射资源的可能性角度来评述这种气候资源。

虽然,太阳短波辐射和辐射平衡是直接作用于植物基本生理过程的因子,但是,迄今农业气候学中,当拟定农业气候指标时,对太阳辐射通常未予考虑。作用面的辐射平衡是植被蒸腾的能量基础。同时,作为作用面热量平衡组成部分的辐射平衡和蒸发即蒸腾耗热,决定着植物的热状况。

因此,作用面辐射平衡直接影响着植被的热量和水分状况,并且在研究环境对农作物和自然植被的生长、发育和生产力的影响以及在制定农业气候指标时都必须考虑它。此外,研究植物同周围环境的相互作用,可以查明辐射平衡各分量同植被性质的依赖关系,这是近地面层气象学的重要任务之一。探索农作物和自然植被的生产力与辐射因子之间的依赖关系就是本书的目的。在这种情况下,与植物生命活动过程关系最密切的作用面辐射平衡和光合有效辐射,被视为基本的辐射指标。

大陆作用面辐射平衡的气候学计算资料为本书奠定了基础。综合在苏联气候手册中的苏联日射站网的太阳短波辐射和辐射平衡的直接观测资料也予以利用了。除了这些常规资料外，还应用了地球物理现象总台所进行的专门的气象科学考察中观测得到的资料，其中包括 1963—1967 年间夏季月份在农田植被中所进行的热量平衡观测和辐射通量观测。

第一章叙述了地球物理现象总台所拟定的作用面辐射平衡的计算方法，并作为进行该要素气候学计算的基础。对于有效辐射的计算方法给予了特别的关注。第二章研究了植被辐射平衡的特点、自然下垫面辐射平衡和有效辐射等气候指标的时空分布规律性及其变异性。这些材料犹如一种背景特征，在此基础上，借助农田热量平衡的直接观测资料就可以阐明植物气候形成的规律性以及植被辐射状况的特点。

对于植物借以吸收大气中的二氧化碳和制造有机物的光合作用过程来说，波长限定在 0.37—0.71 微米波段的太阳辐射具有最重要的意义，并称之为光合有效辐射。不同气候带内光合有效辐射的年变程和日变程特征以及植被内光合有效辐射通量分布的规律性，对于研究植被的光合作用产量来说具有重大的意义。对于这一部分太阳短波辐射，尚未进行系统的观测。近年来，农田上间或性的测量资料，在一定的程度上可供阐明光合有效辐射状况的特征。利用按太阳总辐射的观测资料确定光合有效辐射的间接方法，可以找出该项特征量空间分布的基本规律性。

光合有效辐射的状况，将在第三章中进行研究。农作物的反射率、农作物植被中光合有效的直接辐射和总辐射通量的变化以及农田辐射平衡的特点等等将在第四章中分析。将考察的资料系统化和对已发表的资料进行分析，可供确定苏联欧洲部

分春播和秋播作物不同生长期间的反射率和辐射平衡的气候学平均值。

辐射平衡和光合有效辐射等特征量，是近年来在布德科(М. И. Будыко)等人所拟定的光合作用定量理论的基础上，用来确定农作物产量的基本计算参数的一部分。

在最适宜的湿润状况和自然水分资源的情况下，农作物产量值的计算结果可以做为确定新的农业气候指标的基础。这些问题将在第五章中研究。在这一章内，还提供了各大陆上自然植被产量的计算结果。在已有的各种类型植被生物体的年生长量的经验材料基础上，得出植被产量与辐射平衡年总量和辐射干燥指数的定量关系。借助这些特征量的气候学常年值，就可以确定各大陆的自然(被改造过的)植被产量值，绘制产量图和计算各个大陆以及陆地整体的植被生物体的年增长量值。这些材料以及现有关于光合有效辐射地理分布的材料，可供评价植被所利用的太阳能。

为确定植物产量而拟定和采用的气候学方法，可供绘制各大陆自然植被产量的新的地理分布图。这种方法是建立在格里戈里耶夫(А. А. Григорьев)和布德科关于自然地理过程强度与地表辐射平衡和辐射干燥指数相联系的概念基础上的。本书所得到的有关植被产量的资料，同生物学家在完全不同的基础上所综合概括的材料的相符程度尚能令人满意。

苏联科学院通讯院士布德科是本书的科学指导，作者谨向他表示深切的感谢。作者衷心地感谢奥霍季娜(О. Д. Охотина)工程师，在实验、计算和装潢等项工作中给予的帮助。

作者还感谢生物学博士罗金(Л. Е. Родин)、地理学副博士奥格涅娃(Т. А. Огнева)、物理学—数学博士罗斯(Ю. К. Росс)、地理学博士基丽洛娃(Т. В. Кирилова)、皮沃瓦罗娃

(З. И. Пивоварова)以及其他同志,感谢他们在阅读手稿过程中给予的宝贵指教。

第一章 地表辐射平衡各分量的计算方法

下垫面辐射平衡,即剩余辐射或地表的短波辐射能和长波辐射能的收支差额,是最重要的能量特征之一。在气候学中,通常用下列公式表示:

$$R = Q(1 - \alpha) - I \quad (1)$$

式中 R 为辐射平衡, Q 系由短波直接辐射和散射辐射构成的太阳总辐射, α 为反射率或下垫面的反射特性 ($\alpha = A_K/Q$, 这里 A_K 为短波反射辐射), I 为有效辐射(等于下垫面长波辐射与被其吸收的向下的大气辐射之差)。

直接辐射、散射辐射、反射辐射通量以及辐射平衡,是用不同的日射测定仪器来测量的。苏联及国外使用的测量辐射通量仪器,可参阅文献[26,131—133,230,269等]。日射观测的整理和审核方法,可参看有关的规范和手册。

利用短波辐射和辐射平衡通量的测量资料,根据公式(1)就可得到有效辐射值 $I = Q(1 - \alpha) - R$ 。夜间,有效辐射等于辐射平衡值,但符号相反。它可以用辐射平衡表来观测。白天则可用辐射仪来直接测定大气和地表的长波辐射通量。有不少作者^[57,64,253等]提出了不同的仪器型号。但是,由于这些仪器的制造、检定、测定和观测整理方法等存在一定的困难,目前辐射仪的一些样品主要用于专门的研究。

在俄国,开始研究太阳辐射状况是同赫沃利松(О. Д. ХВОЛЬСОН)和米赫利松(В. А. МИХЕЛЬСОН)的活动联系在一起的。他们在上世纪末和本世纪初就探讨了第一代日射仪器的理论和构造。1912年起,在帕弗洛夫观象台就开始了太阳直接

辐射的系统观测。二十年代到三十年代，在卡利金（Н. Н. Калигин）和萨维诺夫（С. И. Савинов）的主持下，日射测定学在帕弗洛夫观象台的日射研究室，后来在日射测定学和大气光学研究所开始迅速地发展起来。

1940年已拟就了为测量辐射平衡所有基本要素的仪器结构，而1941年苏联已有25个站进行系统的日射观测。这些观测因战争而中断。在战后的年代里，所有站用设备都是亚尼舍夫斯基（Ю. Д. Янишевский）设计的；在装备日射站方面，他也做了大量的工作。至1950年已为批量生产准备好了热电式仪器（日射表、天空辐射表、辐射平衡表、直接日射强度表）及与其配套的专用检流计的标准样机。自此，日射站网开始迅猛地开展起来，至1960年已有200多个站点。在这些站上，按照统一的方法，借助标准设备进行所有种类的太阳短波辐射通量和下垫面辐射平衡的直接观测。

苏联日射站的观测资料，以月报的形式系统地出版。地球物理现象总台定期地发表所收到的当前世界日射站网的数据。在准备苏联气候手册第一部分（太阳辐射、辐射平衡和日照）的过程中，完成了大量的有关苏联站网的日射观测资料的综合工作。在手册中给出了辐射平衡各月分量、年总量的气候学常年值。

1.1 总辐射、反射率和吸收辐射的计算

对下垫面辐射平衡作系统观测的站点，目前还为数不多。由于资料所限，无法提出足够完整的有关地球各大陆地表辐射平衡时空分布的概念。因此，为了研究大陆表面辐射平衡值的地理分布规律性，就采用了间接的气候学计算方法。首先简短地回顾一下，辐射平衡各分量计算方法的发展情况。

在晴空条件下总辐射的入射值与决定着太阳高度和白昼长

度的天文因子以及大气透明度和云量等条件之间的定量关系，在一系列的著作^[305,300,117,213,248,271等]中均有所研究。短波辐射计算方法的进一步研究和准确化，是加利佩琳(Б. М. Гальперин)^[59,60,295,2-4,277,65,26,226]等人先后完成的。

根据实验观测资料，建立在长波辐射与空气温度、湿度和云量的依赖关系基础上的确定长波辐射的方法，是埃斯屈朗(Angström A.)等人^[90,272,281]提出来的。而根据空气温度、湿度和云量计算不同的大气高度上长波辐射通量的理论方法，是德米特里耶夫(А. А. Дмитриев)等人^[84,261,287,288,311]拟定出来的。计算有效辐射的理论方法，是康德拉季耶夫(К. Я. Кондратьев)等人^[241,129]提出来的。

希弗林(К. С. Шифрин)^[262]在他的著作中，阐述了研究反射率的某些理论观点。基于在地面上和从飞机上直接测量反射辐射而得到的陆地和海上各类下垫面的反射率，刊载在许多文献里^[56,58,108,114,135,188,209,235,240,270,274等]。穆亨别尔格(В. В. Мухенберг)^[157,159]对这些研究结果和苏联日射站网上的反射率观测结果，进行了综合概括。

四十年代末，布德科等人在阐明辐射通量与气象要素之间物理联系的基础上，拟定出了确定所有辐射平衡分量的计算方法^[31,33,36等]。这种方法可供大陆(高山区除外)广泛使用，而又无需利用地区系数。根据这些计算资料，绘制了地球上所有各大陆和海洋的总辐射和下垫面辐射平衡图。这些图发表在热量平衡图集上^[12]。

应当指出，通过计算方法得到的辐射平衡值，表征着辐射状况的多年平均条件，因为在计算的过程中，利用的是基本气象要素指标的长期观测平均值。此外，这些辐射平衡值或多或少地表征着广阔的区域；而在个别点上的实际观测，由于小气候的变

异性很大,对于周围地区可能没有足够的代表性。

利用计算方法还确定了辐射平衡各分量,并弄清了陆地和海洋表面辐射状况特征的时空分布基本规律性。布德科^[36,47]、阿尔布雷希特^[271]、布莱克^[277]和其他人的工作,深入研究了辐射平衡和热量平衡各分量的形成和地理分布的规律,并利用这些指标来解决地理学、气象学和气候学中的许多问题。

别尔梁德^[23,26等]在研究地球上陆地区域的太阳总辐射状况时,除了使用日射观测资料外也广泛使用了计算的方法。在西弗科夫的著作中^[226],基本的注意力集中于短时期内短波辐射特征的计算方法。穆亨别尔格^[157-159]运用计算方法,绘制了下垫面反射率月值分布图以及苏联和全球各大陆的吸收辐射图。斯特罗金娜(Л. А. Строкина)^[231]借助于计算方法,获得了海洋辐射状况的特征。在研究北极的辐射状况时,加弗里洛娃(М. К. Гаврилова)在其著作中^[56],广泛地使用了辐射平衡各分量的计算方法。比柳科娃(Л. А. Бирюкова)^[27]为了确定苏联各气候地带辐射平衡日变程的特点也采用了计算方法。计算方法还被用来研究山区的辐射状况^[28,62等]。

本书作者在研究辐射平衡特征和陆地表面有效辐射特征时^[94,95],所用的初始资料也是借助于计算方法取得的。

应当指出,尽管太阳短波辐射通量的计算方法已经相当完善了,对于有效辐射的计算方法也应予以很大的注意。但是,由于存在着种种原因,致使有效辐射的研究及其计算方法更加复杂化。缺乏可靠的长波辐射通量的观测仪器,特别是在白天,以及由此而来的,缺少足够数量的高质量资料乃是根本的原因之一。同时与有效辐射有关的气象要素,要比与太阳总辐射有关的多得多,这就更增加了研究辐射平衡分量的难度。

下面将论及布德科等人所拟定的下垫面辐射平衡的计算方

法。

最初的方案,在文献[33,36]中曾有阐述,在此基础上计算了下垫面辐射平衡值,并首次绘制了全球范围的该要素分布图。随后的年代里,在更多的日射观测资料基础上,方法也随之改进得更准确了,这些材料刊载在文献[13,37,47,93]中。

下面将介绍更加精确的计算辐射平衡各分量的方法。为了确定作用面辐射平衡,利用公式(1):

$$R=Q(1-\alpha)-I$$

总辐射月平均值的计算是按下列公式进行的:

$$Q=Q_0(1-an-bn^2) \tag{2}$$

式中 Q_0 为晴天总辐射, n 是月平均总云量的成数, a 和 b 为系数。

这种形式的计算总辐射月总量的公式,是别尔梁德提出来的^[26]。曾有人指出,公式(2)所提供的总辐射与云量的关系同观测资料符合的情况,要比金布尔和沙维诺夫—埃斯屈朗的类似公式为好。大量日射观测资料表明,公式(2)中的系数 b 等于 0.38,系数 a 随纬度和季节而变化(其年平均值见表1)。按照乌克兰英采夫(В. Н. Украинцев)方法,确定了不同纬度的可能辐射值 Q_0 (见表2)^[26]。

为了进一步提高地表反射率平均值的准确性,整理了日射

表 1 系数 a 与纬度的关系

纬 度	0	5	10	15	20	25	30	35	40°N
a	0.38	0.40	0.40	0.39	0.37	0.35	0.36	0.38	0.38
纬 度	45	50	55	60	65	70	75	80	85°N
a	0.40	0.41	0.40	0.36	0.25	0.18	0.16	0.15	0.14

表 2 晴空总辐射Q₀[千卡/(厘米²·月)]

纬 度	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12 (月)
90°N	0	0	0.1	10.0	21.9	26.0	23.7	12.9	2.4	0	0	0
85	0	0	0.7	10.2	21.8	25.7	23.4	13.1	3.0	0	0	0
80	0	0	2.1	10.8	21.5	25.2	22.9	13.3	4.2	0.5	0	0
75	0	0.5	4.0	11.7	21.0	24.4	22.1	13.8	5.8	1.3	0	0
70	1	1.6	6.0	13.1	20.5	23.5	21.3	14.6	7.5	2.7	0.5	0
65	0.7	2.8	8.0	14.5	20.4	22.8	21.0	15.6	9.4	4.3	1.4	0.2
60	1.8	4.9	9.9	16.0	20.8	22.9	21.4	16.7	11.3	6.1	2.6	1.1
55	3.1	6.2	11.7	17.3	21.5	23.3	21.9	17.9	12.9	7.8	4.0	2.4
50	4.8	8.2	13.3	18.5	22.2	23.7	22.5	19.1	14.4	9.7	5.8	4.0
45	6.7	10.3	14.9	19.5	22.7	23.8	23.1	20.1	15.8	11.4	7.8	5.9
40	8.8	12.2	16.4	20.3	23.0	24.0	23.5	20.9	17.0	13.1	9.6	7.9
35	10.7	14.0	17.6	20.9	23.2	24.0	23.6	21.5	18.1	14.7	11.4	9.7
30	12.5	15.5	18.6	21.4	23.2	23.7	23.4	21.8	19.1	16.1	13.1	11.5
25	13.8	16.8	19.4	21.6	22.9	23.3	23.1	21.8	19.8	17.4	14.6	13.1
20	15.5	17.9	20.1	21.6	22.5	22.8	22.5	21.8	20.4	18.5	16.1	14.7
15	16.9	18.9	20.7	21.4	21.9	22.0	21.9	21.5	20.9	19.3	17.4	16.1
10	18.1	19.8	21.1	21.2	21.2	21.0	21.1	21.2	21.2	20.1	18.5	17.5
5	19.3	20.4	21.4	20.9	20.0	19.9	20.1	20.6	21.3	20.7	19.5	18.8
0	20.0	20.9	21.5	20.4	19.3	18.8	19.0	20.0	21.2	21.2	20.4	20.0
5° S	21.2	21.4	21.4	19.9	18.3	17.6	17.9	19.3	20.8	21.4	21.4	21.1
10	21.9	21.7	21.1	19.2	17.2	16.3	16.7	18.3	20.4	21.4	21.8	22.0
15	22.6	21.9	20.6	18.3	16.0	14.9	15.4	17.3	19.7	21.2	22.3	22.9
20	23.2	22.1	20.0	17.2	14.7	13.4	14.1	16.1	18.9	21.0	22.7	23.5
25	23.6	22.1	19.4	16.0	13.3	12.0	12.6	14.9	18.0	20.6	22.9	24.1
30	23.9	21.8	18.6	14.9	11.9	10.6	11.1	13.6	17.0	20.1	23.1	24.6
35	24.1	21.3	17.6	13.6	10.4	9.0	9.6	12.1	15.9	19.5	23.1	25.0
40	24.1	20.6	16.4	12.2	8.4	7.3	8.1	10.6	14.7	18.7	22.9	25.2
45	24.0	19.8	15.2	10.7	7.1	5.5	6.3	9.0	13.3	17.7	22.4	25.3
50	23.6	18.9	13.8	9.2	5.4	3.8	4.6	7.3	11.9	16.6	21.9	25.0
55	23.1	17.8	12.3	7.4	3.8	2.3	3.0	5.5	10.3	15.4	21.3	24.6
60	22.6	16.7	10.7	5.6	2.4	1.0	1.6	3.8	8.5	13.8	21.0	24.4
65	22.3	15.3	9.0	3.9	1.1	0.1	0.6	2.3	6.7	12.6	20.8	24.5
70	22.5	14.2	7.3	2.2	0.2	0	0	1.0	5.0	11.4	20.9	24.9
75	23.2	13.4	5.7	0.9	0	0	0	0.1	3.5	10.4	21.3	25.5
80	24.1	12.8	4.2	0	0	0	0	0	2.1	9.7	21.9	26.0
85	24.7	12.4	2.9	0	0	0	0	0	0.9	9.2	22.4	26.6
90	24.9	12.3	1.7	0	0	0	0	0	0	9.0	22.5	27.0