

科學圖書大庫

生物環境小氣候學

編著者 沈 鵬

徐氏基金會出版

科學圖書出版

生物環境小氣候學

羅澤南 主 編

陳氏基金會出版

科學圖書大庫

生物環境小氣候學

編著者 沈 鵬

徐氏基金會出版

徐氏基金會科學圖書編譯委員會
監修人 徐銘信 發行人 王洪鎧

科學圖書大庫

版權所有



不許翻印

中華民國六十八年二月十四日初版

生物環境小氣候學

基本定價 3.40

編著者 沈 鵬

本書如發現裝訂錯誤或缺頁情形時，敬請「刷掛」寄回調換。謝謝惠顧。

(67)局版臺業字第1810號

出版者 財團法人 臺北市徐氏基金會 臺北市郵政信箱53-2號 電話 7813686號
發行者 財團法人 臺北市徐氏基金會 郵政劃撥賬戶第 15795號
承印者 大原彩色印製企業有限公司 台北市西園路2段396巷19號
電話：3611986・3813998

本書之撰寫是在默默的寂寞中
完成，願藉此機會以平生所學
獻給我雙親父母、未來賢內人
及兒女們作為永遠之紀念。

序 言

生物環境氣候學 (Microclimate the Biological Environment) 是一門新的科學，告訴人類對環境活動的範圍與條件，特別是對學生們在學習中，有很多知識可供研討，在將來事業上就生態學方面獲得更切實際的成功，本書有很多材料譯著敘述地球環境一切保護的措施，以增加農產品，并對實際工作科學工程學者們最佳參考資料，能使各項工作推行順利，而且可了解真正事態，洞悉自然環境各種切實問題，以保護作物實質上的茂盛，而不至衰落退化。

在統一規劃制度發展之下，負責繼續生產供應食物的機構，必須有完整的體系，在自然生態系統中確實需有生物，生理，物理，和化學的原理來作基礎，本書的目的肯在介紹有關必須的資料，以深入討論小範圍內氣候的演變及影響，是靠近地面的小氣候，也可說是地球上生命存在的氣候。

小氣候學的特性是在空間支配下，每天，每月，每季或每年的極端狀況，其加至於動植物生命史上生長過程而言，本書的內容申述頗為詳細，特別是小區域範圍內氣候變化有利的各種條件尤為注意，希望能依此而能明瞭其原理的出處，以及其改進方法，借助於將從事於科學或工程人員進一步地發展合理的系統以供環境所需，加以品質管制，保持農場產生的不斷成長。

科學家們從努力探求追溯到物理內在之涵意，是從事工作人員的愛好與研究，小氣候學的發展在工作上已有許多氣象學家，土壤學家，農業學家，園藝學家，森林學家，以及動植物學家，多能對小氣候學的生物在新興的環境科學中，已有無上的收穫。

在文獻方面生物氣象的實驗已有諾大的擴充，每月有新的重要文獻

發展，使人類對環境觀念上更為認識清楚，特別是在環境與生活過程中關係相互作用，顯示在科學雜誌上，經廣泛蒐集充實內容，並將資料的來源列表說明，使為稿收集整理及早完成，主要的發展重點是在農業學上、氣候學上、和氣象學上三方面加以闡述以水汽蒸發輸送及植物提高供水效能的改進，并增添兩篇一併編入，對防風林及土壤改良方面也加添一些資料，可對生物氣象之新演進趨向方向，提供一些棉力，尚有很多的述着撰寫尚待充實，作為改進參考建議之用，此種改進是比較有價值的，承蒙台灣大學同學多人參與，使此書早日脫稿問世，但其中難免或有疏漏的地方，還重各位先進學者同仁不吝多多指教，不勝感激，特此致最深的謝忱！

沈鵬 謹識

概 述

熱量的研究，除少量熱從地球內部中心向外射出外，大部份的熱能為地球表面所吸收，均來自源出於太陽，直接受於太陽輻射，而被反射折回太空而消失，部分地球輻射，其輻射能量，在地表面上是可以獲得的，乃是淨輻射量，亦即是目前處理能量過程中最重要的部分。

$$R_n = S + A + LE + P + M$$

此處 R_n 是地表面現有的淨輻射能量，是一切內外合流輻射的能量，均已考慮在其中矣。 S 是熱流量，從土壤中的流入量或流出量； A 是感應熱流量，位於地面及空氣之間； LE 是潛熱自地面經水汽蒸發或凝結所產生的熱量； P 是植物在光合作用時所固定的熱量；以及 M 是各種其他程序處理中所含有的熱能量，如植物葉叢內熱量的呼吸與存儲，等等皆是。

上式的應用，若以田埂墾地間一棵植物或作物，用來說明能量如何供應熱量給於土壤和作物，以及蒸發蒸散的水分，若應用於全球性的規模，則顯得不足而無效果，因熱量尚有大量能的熱源與水汽，來自陸地與海洋，或可從大氣中間接獲得之。

本書內各章節所述的全部是屬於有關能量的探求，以各分力計算之，在所有程序中，處理的，考慮到的，間接求得的，或是偶然發生的，均來自地球表面層，由於此一特殊區域原因，是屬一種特別的氣候形態，其區域範圍頗小，故稱之謂小氣候。

小氣候是在動植物生長期中區域範圍內的氣候，與大範圍洲際性的大氣候，或中範圍內地區性之中氣候是有區別的。均位於大氣環流的境界圈內，水界、陸界、生物界都是全球性的，隨着每天瞬間，每月平均，每季變化，和每年大致相同的，運行不息地在有規律週期變化中遷移

，循環不已。

小氣候學僅發生在近地或離地數米距離的氣候，因為離地或近地高度處，其強度變化有時頗為劇烈，而經常隨時間空間而異，很難捉摸。地面的有無作物成長，或是否直接曝露在特變天氣的日變化中，其溫度、風速，在各層中相差確大。靠近地面數厘米處的變化，是空氣抑或土壤，其額外的變化更大，濕度隨高度的改變近地處特大，巨量的熱能在地空相對交換而發生蒸發與凝結的程序時，風的變化亦隨地表地貌的形態及作物之有無而相行變更。故對近地區域，氣候生物數米內環境的影響，有很大的出入；因之定名謂小氣候學，以示與一般所言的氣氣候學情況相比，其變化比較更為適應與穩定。

科學的研究必須借重儀器，需有很高的靈敏度，在質與量的份上，當實驗測定時，以求其相關；土壤，空氣，溫度，熱流，風速，濕度，蒸發，光合作用，等等均是敘述物理的原因，分別在各章節中予以闡明，其目的旨在獲得比較深切的了解小氣候區域範圍內自然的現象，主要的是考慮測量原理上決定的各種程序，預計在小氣候控制區範圍內，增加物產，以安適人類居住。

目錄

序 言

概 述

第一章 輻射平衡

1. 輻射平衡…………… 1
2. 地球表面接收太陽能的數量效應…………… 6
3. 地球表面接收太陽能的性質效應…………… 20
4. 天空輻射(擴散或漫射)…………… 24
5. 短波反射(反射率)… 24
6. 熱力輻射與長波交換… 30
7. 淨輻射…………… 31
8. 太陽輻射與淨輻射的關係…………… 35
9. 地球輻射平衡…………… 37
10. 陽光在植物葉叢與水池中的滲透現象…………… 40
11. 儀 器…………… 43

第二章 土壤熱流量及土壤溫度

1. 引 述…………… 62
2. 熱導定律和土壤溫度性質…………… 62

3. 地面熱量的滲透…………… 66
4. 每日每季土壤溫度型式…………… 66
5. 土壤溫度剖面…………… 68
6. 土壤對熱流量溫度的結構影響…………… 69
7. 土壤中熱流量及水的關係…………… 70
8. 土壤熱量與土壤吸收作用…………… 71
9. 儀 器…………… 74

第三章 感應熱流量和地溫氣溫

1. 引 述…………… 78
2. 自由對流和強迫對流… 78
3. 平滑流體表面薄層… 78
4. 地對空的熱量輸送… 79
5. 感應熱在平滑流體上的輸送…………… 80
6. 物體和植物葉片的熱量輸送…………… 81
7. 溫度剖面曲線(理論部份)…………… 85
8. 熱力的穩定概念…………… 86
9. 濕絕熱遞減率…………… 87

10. 地表面上的溫度剖面···	88
11. 植物葉叢內的溫度影響 ·····	90
12. 每年每天的溫度波·····	92
13. 氣溫型式的高度影響···	94
14. 氣溫測量儀器·····	94
15. 地面溫度測量儀器·····	97

第四章 風和亂流的輸送

1. 一般邊界層·····	102
2. 內外部分的邊界層·····	102
3. 對數風速剖面·····	104
4. $z_0 - d$ 參數剖面·····	106
5. 大氣穩定和力嘉孫數值 ·····	108
6. 雷諾司類比·····	109
7. 非中性穩定流量剖面關 係·····	111
8. 風力剖面參數測量·····	114
9. 植物葉叢內的風速·····	115
10. 廣寬水面上的風速·····	116
11. 每天風速型式·····	117
12. 每季風向風速型式·····	119
13. 風向風速儀·····	120

第五章 大氣濕度

1. 引 述·····	132
2. 物理學複習·····	132
3. 飽和概念·····	135
4. 根據濕度測量飽和·····	136

5. 空氣濕度結構·····	136
6. 水汽壓剖面曲線·····	139
7. 水汽輸送自地面向空中 蒸發·····	140
8. 露 水·····	141
9. 濕度露點測量儀器·····	144
10. 露點儀器·····	148

第六章 土壤溫度區域改良

1. 引 述·····	150
2. 山坡四周地形·····	150
3. 作物保護·····	155
4. 人工土壤加熱法·····	160
5. 溫水或冷水灌溉·····	161

第七章 水汽蒸發蒸散作用

1. 引 述·····	165
2. 以水利方法估計蒸散輸 送作用·····	167
3. 以氣象方法估計蒸散輸 送作用·····	168
4. 潛在發散輸送作用的概 念·····	177
5. 感應熱平流的概念·····	185
6. 實驗綜合方法估計發散 輸送作用·····	194
7. 土壤水份平衡管理·····	200
8. 發散輸送測量儀器·····	201

第八章 光合作用

1. 引 述.....	214
2. 二氧化碳的淨同化作用	214
3. 環境因素控制光合作用	217
4. 阻力概念應用於光合作用 用.....	220
5. 光能轉變和光合作用效 率.....	222
6. 光合作用和水份使用效 率.....	224
7. 室外光合作用的測量.....	224

第九章 二氧化碳的平衡

1. 引 述.....	232
2. 二氧化碳集中型式.....	233
3. 成長中作物二氧化碳的 平衡.....	242

第十章 防風林與防風帶的 效應

1. 引 述.....	247
2. 防風帶內水汽保護與植 物成長的關係.....	249
3. 防風帶內的風力和亂流	252
4. 防風帶內的小氣候.....	255
5. 防風帶內植物生理的反 應.....	260
6. 保護區內潛在用水和實	

際用水.....	264
----------	-----

7. 防風林效應對蒸發輸送 作用模式的預測.....	268
8. 防風帶內光合作用的效 應.....	269
9. 防風林效應對水利效率 的影響.....	271

第十一章 霜與霜害的管理

1. 引 述.....	275
2. 霜的種類.....	275
3. 典型的輻射霜.....	279
4. 氣候上發生的霜害.....	280
5. 霜害預防法.....	281

第十二章 改進用水效能的 新法

1. 引 述.....	292
2. 抗蒸散作用.....	292
3. 反射率因素.....	295
4. 二氧化碳的分佈情形.....	300
5. 改良植物提高用水效率	302

附錄 概念上一般應用計算 單位

名詞索引.....	322
-----------	-----

第一章 輻射平衡

1. 輻射物理學

(1) 基本公式

電磁輻射的波長 λ 等於

$$\lambda = \frac{c}{\nu} \quad (1-1)$$

式中 λ 為波長，是一波段位於兩個相似點位置間最短距離； ν 為頻率，是每秒振動的次數或週／秒； c 為光速，是一常數約等於 3×10^{10} 公分／秒； τ 為週期（振動一次所需時間，等於 $1/\nu$ ，而 ν 為波數，等於波長的倒數 $1/\lambda$ ）。

在真空中所有之波都以光速等速傳播，進入介質後，各波傳播的波速並非全以光速前進，其波速隨頻率而異。此種波速所以隨頻率而異的現象稱為擴散。譬如，在三稜鏡中可見光被擴散而分裂成不同光譜的彩色，由於在玻璃中藍色光線之傳播比紅色光線速度為慢，因此經過三稜鏡後藍色光線遭受到較大的折射現象。

表 1-1 電磁波光譜（根據賴安兩氏 Lapp and Andrews, 1954）

輻射種類	頻率範圍（週／秒）	波長範圍（公分）
電波	$0 \sim 10^4$	$\infty \sim 3 \times 10^8$
無線電波	$10^4 \sim 10^{11}$	$3 \times 10^8 \sim 0.3$
紅外光線	$10^{11} \sim 4 \times 10^{14}$	$0.3 \sim 7.6 \times 10^{-5}$
可見光線	$4 \times 10^{14} \sim 7.5 \times 10^{14}$	$7.6 \times 10^{-5} \sim 4 \times 10^{-5}$
紫外光線	$7.5 \times 10^{14} \sim 3 \times 10^{18}$	$4 \times 10^{-5} \sim 10^{-8}$
X 光射線	$3 \times 10^{18} \sim 3 \times 10^{22}$	$10^{-8} \sim 10^{-12}$
γ 射線	$3 \times 10^{22} \sim 3 \times 10^{24}$	$10^{-12} \sim 10^{-14}$

電磁波頻率範圍很廣，如表 1-1 與圖 1-1 所示。可見光線在光譜上所佔是非常小的一部份，可見光線的範圍有明確的規定，在紅外光線與紫外光線兩端之間，除了可見光線以外；無法觀察到其他輻射能，但却能以其他方式來感應其存在。

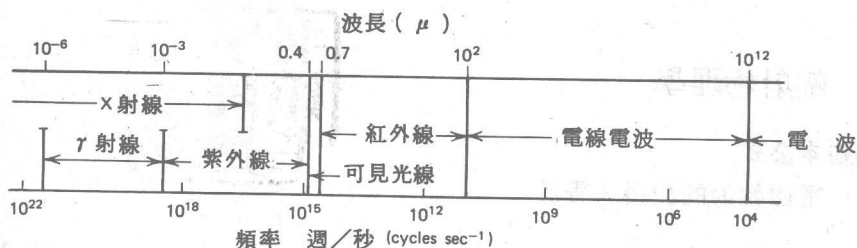


圖 1-1 電磁光譜波長與頻率所用對數的刻度，採自賴安兩氏 (Lapp and Andrews, 1954)

(2) 定義：

輻射流量密度——輻射流量密度* 為單位時間內單位面積上所吸收的輻射能量。在氣象學上通常用卡/平方公分，分 ($\text{cal cm}^{-2} \text{min}^{-1}$) 或蘭恩萊/分 (langley/min) 作為輻射流量密度的單位。〔1 蘭恩萊 = 1 卡/平方公分〕，單位互換公式如下：

$$\begin{aligned} 1 \text{ 蘭恩萊/分} &= 4.19 \times 10^7 \text{ 耳格/分 平方公分} \\ &= 6.97 \times 10^{-2} \text{ 瓦/平方公分} \\ &= 3.687 \text{ 英熱單位/分 平方呎} \end{aligned}$$

黑體輻射——凡物體在每一波長內皆能放射最大可能的輻射強度稱為“黑體”。此種物體能完全吸收所有內射的輻射能。黑體是物理學上一種理想物體，是屬於完全放射體，也是完全吸收體。

放射率的定義是謂在某一定波長內，在已知面積上所放射的能量，為理想黑體在同一波長及溫度下，其放射能量與放射溫度之比。因此黑

* 註：氣象學家通常用“強度”代替流量密度，但是前者並不適恰。因為強度通常表示從光源所發出的每單位立體角度內所測量得的輻射流量。

體的放射率 ϵ 是等於 1。

物質吸收率的定義是謂物質吸收輻射的能量與全部入射輻射的能量比。因此黑體的吸收率 a 也是等於 1。對一個黑體而言 $\epsilon = a = 1$ ，而對一個“白體”而言， $\epsilon = a = 0$ 。

自然界的物體極少有屬於完全吸收體或是完全放射體。若以整體而言，地球本性像一個“灰體”，但在某些輻射波長內可以有效地認為是個“黑體”。譬如，波長為 $8 \sim 14 \mu$ 的暗色、濕土和植物的波段內，其放射率約為 $0.97 \sim 0.99$ 。石英砂的放射率約為 0.90 。爲了要實驗黑體的最佳近似值，必須有一個黑色內部的匣子，內壁塗以黑色，匣上僅僅有一個非常小的洞孔，由此孔內可以看到黑黝黝的內部。

(3) 輻射定律：

潑蘭克 (planck) 介紹了“質子觀念”，亦即將電磁波輻射的組成是爲一連串質子或量子的連續流動，每個量子具有能量 E

$$E = h\nu \quad (1-2)$$

式中 h 是潑蘭克常數 (plank constant)，其數值為 6.625×10^{-27} 耳格秒，頻率愈高 (波長愈短) 量子的能量亦愈大。譬如，紫外線量子的能量比紅光線量子的能量要大得很多。

凡涉及到輻射能量的獲取和變換的現象時，質子量的理論觀念是特別有用。光合作用便是這種程序的一個好例子。

同時論到電磁輻射的反射、折射、透射和干擾等現象時，質子觀念便不適用，而必須以“波動觀念”來解釋才行。

克巧夫定律 (Kirchoffs Law) ——任何一個“灰體”受到輻射時，分別吸收、反射和透射一部分的能量。設 a , r , t 分別代表在某一特定波長時物體的吸收率、反射率和透射率。吸收率的定義已經確定；反射率定義是謂任一物體表面上反射能量與入射能量之比。透射率定義是謂介質內透射的輻射能量與總入射能量之比。因此由能量平衡可知

$$a(\lambda) + r(\lambda) + t(\lambda) = 1 \quad (1-3)$$

其中吸收率、反射率和透射率分別小於 1。

克巧夫定律說明在一定波長內任一物體的吸收率與放射率完全相等

$$a(\lambda) = \epsilon(\lambda) \quad (1-4)$$

實際上， t 和 τ 是由測量而得， a 和 ϵ 則為計算而得。

史帝芬司定律 (Stefan's Law) —— 某一黑體的絕對溫度為 T_1 時，放入另一黑體的絕對溫度 T_2 在封閉存器內，其黑體所獲得或損失的能量在一定時間內的變化為：

$$\Delta E = \sigma (T_1^4 - T_2^4) \quad (1-5)$$

其中 σ 是史帝芬司常數，其值為 5.67×10^{-8} 耳格/平方公分 秒 $^\circ\text{K}^4$ 物體輻射強度的流量 I 是絕對溫度函數四次方成正比：

$$I = \sigma T^4 \quad (1-5a)$$

因為這是四次方的函數，因此地球本體雖然由於一天或數天內的影響產生很有限的溫度變化，而地球對外的放射強度會因此而變動得很多。譬如，輻射流量強度，地溫度 303°K 時為 52%，比在 273°K 時為大，但所增加的絕對溫度僅是 11%。

文斯位移定律 (Wien's Displacement Law) 輻射物體放射最大能量時的波長 λ_{max} 與其絕對溫度 T 成反比

$$\lambda_{max} = \frac{\text{常數}}{T(^\circ\text{K})} \quad (1-6)$$

其中常數為 2.898×10^{-1} 公分 $^\circ\text{K}$ 。

由前述的原理中很明顯地可知，輻射的強度與最大放射能量的波長，兩者均是輻射物體溫度的函數。如果此物體是一個完全放射體，或“黑體”時，其輻射光波的強度便可以計算出來。圖 1-2 說明物體的溫度從 500°K 到 $20,000^\circ\text{K}$ 時輻射光波變化的情形，由圖示可知，當溫度增加時，輻射強度隨着增加，而 λ_{max} 却隨之降低。

圖 1-3 根據蓋氏 (Gates, 1962) 代表潑蘭克定律，說明太陽在 $6,000^\circ\text{K}$ 時，其輻射光譜的分佈與地球大氣層外圈實際測得的強度情形，並說明由大氣層吸收散射之後的地面光譜分佈。吸收太陽輻射的大氣組成成分都表示在圖上。其過濾效應將在以下第三節中再加詳細討論。

若將太陽認為是黑體，其表面溫度為 6000°K ，由文斯定律 (Wien's Law) 可知

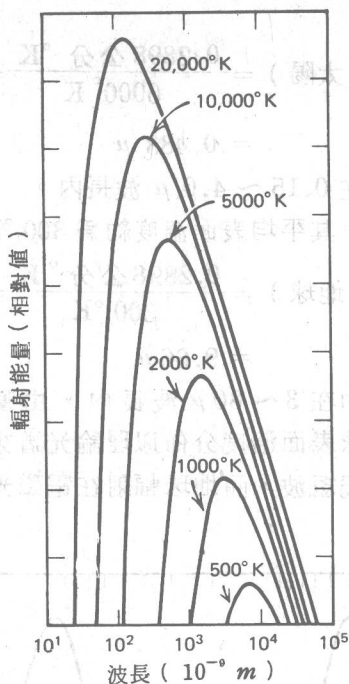


圖 1-2 黑體放射的能量與波長的關係，採自雷安兩氏 (Lapp and Andrews, 1954)

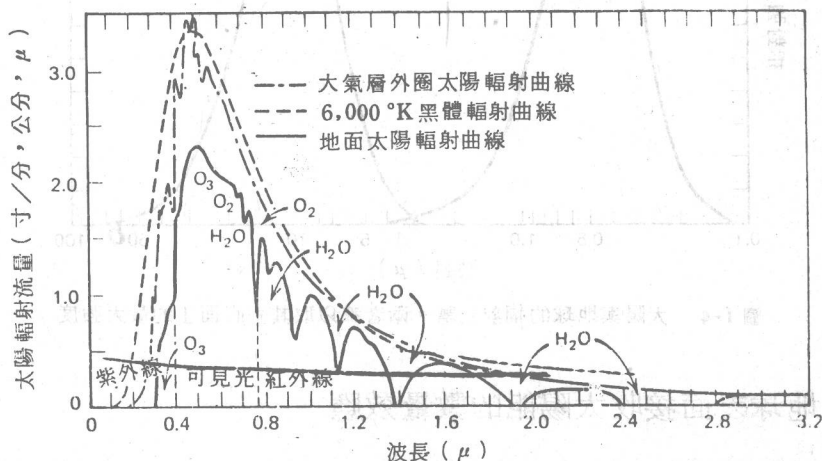


圖 1-3 為大氣層外圈太陽輻射理論與實際的光譜，和地表實測的光譜，採自蓋氏 (Gates, 1962)