

熱帶作物生態生理學

(巴西) PAULO DE T. ALVIM

原著

(美) T. T. KOZLOWSKI

譯

編

必

芳



五洲出版社 印行

564651

1-2

熱帶作物生態生理學

(巴西) PAULO DE T. ALVIM

(美) T. T. KOZLOWSKI

原著

劉

必

芳

譯



A0052674

五洲出版社 印行

出版登記證局版台業字第〇九三九號
中華民國七十五年五月出版

特價：新台幣五四〇元

熱帶生物生態生理學

原著者：阿爾維姆 科茲洛斯基

譯者：劉必芳

發行人：丁廼庶

發行所：五洲出版社

地址：台北市重慶南路一段八十六號
郵政劃撥帳號：〇〇〇二五三八一七
電話：3319630・3813990・3512521

台北經銷處：恒生圖書公司

地址：台北市重慶南路一段五十五號
電話：3711341・3711343・3711345

海外總經銷：東亞圖書公司

地址：香港干諾道西一二一號二樓

所有權
必究
翻印

編輯的話

我國歷史悠久，「以農立國」大約起於公元前兩千餘年的夏代。其時夏代的文化，已經進入「銅器時代」，我們從夏禹的「治水」、「興農」、「朝萬國」、「定傳子」之局，建「貢賦之制」，劃「九州」，鑄「九鼎」，說明他從披荊斬棘的奮鬥工作，到完成建立一個泱泱大國，這是我們中華民族的歷史上真正以農業建國的開端；從那時起，我們有一個版圖，我們的祖先才免於猛獸洪水之患，安定的生活下來，才能建立一個全面的農業社會。

我國歷代政府的農業，大多採「重農抑商」政策，帝王后妃親自鼓勵農民耕種，如「勸農詔」、「文帝議佐百姓詔」；一般士大夫知識份子，也以「耕讀傳家」、「半耕半讀」自許，如諸葛亮：「……臣本布衣，躬耕於南陽，苟全性命於亂世……」、陶淵明：「歸去來兮！田園將蕪胡不歸？既自以心為形役……」；歷代的軍國大計，都是悠關於農業政策的「土地問題」、「田賦政策」、「兵農制度」、「移民實邊」等等都與農業有密切的關係；而農民在完糧納稅之外，其在社會的地位在工、商、兵之上，過著山高皇帝遠，帝王於我何有哉的逍遙生活，所以農業的進步，與日俱增，自不待言。因之我國農業的進步，比公元前兩千餘年的歐洲羅馬的農業，尚在萌芽時代，自不能同日而語了。

我國歷代農事活動的文字資料，早期的可見於殷墟卜辭。農學和農業文獻在春秋戰國期間，特別是戰國，在私家講學、私人著述風行一時之際，出現「重農之聲」和「為神農之言」的「農學家」一如許行等，其著作如《神農書》、《野老書》等，雖是一鱗半爪，而致散失；其後雖嬴秦暴政，而焚書抗儒，然「所不去者，醫藥、卜筮、種樹之書」，仍傳於後世。

在農業文獻中，現在保留下來，較完整的有以下各書，茲簡介如下：

一、《呂氏春秋》中《上農》等四篇一

一般認為是秦相呂不韋的門下客，在呂氏的領導下，集體撰寫和編纂而成的。書成於秦王政八年（公元前二三九年）。第一篇《上農》是農業政策文字；其他三篇為「任地」、「辨土」、「審時」是談論農業科學技術。

二、《齊民要術》一

作者賈思勰—這部書的成書年代大約在六世紀三十至四十年代（公元五三三—五四四）之間，研究我國古代農業，中外農業科學技術史工作者沒有不知道這一部農學巨著—《齊民要術》的。

《齊民要術》全書正文計分十卷，九十二篇，將近十二萬字。

其中卷四，計十四篇，專述果樹，內容以：圓籬、栽樹、種棗（諸法附出）、種桃奈、種李、種梅杏（杏李麩附出）、種梨、種栗、奈林擒、種柿、安石榴、種木瓜、種椒、種菜菔等十四篇。

本書內容豐富，資料多，記述詳細正確，在農業方面提供大量知識，有許多項目，比世界各國的記載，要早三、四百年，甚至一千年；它的取材與布局，也為後世許多農書作者所借鑒。

三、《陳敷》農書一

收編在清代著名的《四庫全書》中，推算作者的出生是在宋熙寧九年（公元一〇七六年）全書只不過一萬多字，分上、中、下三卷。

此書寫成於南宋初（公元一一四九年），和在它以前的一些農學名著，如《汜勝之書》、《四民月令》、《齊民要術》、《四時纂要》等相比，它顯然是「別開生面，體出新裁」，而全書在《四庫全書》的《總目提要》的評語是：「事實多而虛論少」。其中，有符合一定科學道理的技術原理，原則，有切實可行的具體技術措施，還有比較切合實際而周詳的土地利用「規劃」，讀起如嚼橄欖，越嚼越甘。

四、《農政全書》作者是傑出的近代科學先驅者徐光啓（公元一五六二—一六三三）一

《農政全書》是徐氏農業科學著述的一部，但也是他一生中最主要的一部代表作。全書六十卷，七十多萬字，所採文獻共二百二十九種，計分為十二大部份，其中以第六部份—「樹藝」，第九部份—「種植」與果樹有關。

第六部份「樹藝」內：計列有「內穀部（上、下一穀名考暨二十種作物）、窳部（種爪法暨十八種作物）、蔬部（二十八種作物）、果部（上、下一計三十九種果樹）」，共六卷。

第九部「種植」：計列有：「內種法、木部（二十八種樹木）、雜種（上、下一計二十二種植物）」，共四卷。

《農政全書》在作者幾十年之中，不斷地搜集資料，整理研究，除了注意歷史文獻資料之外，也重視調查訪問，生產實務和試驗研究工作，本書在我國，是一份極為珍貴的農學遺產，不僅對我國農業科學技術的發展作出了貢獻，甚至對日本、東南亞等國家也有很大的影響。

五、其它如《甘薯疏》、《吉貝疏》（徐光啓）、《務本新書》（宋·作者不詳）、《王禎農書》（元·王禎）、《知本提綱》（楊岫）、《授時通考》（清·包世臣）、《農言著實》（清·楊秀沅）等，難以一一列舉。

所以我國在將近四千年的有文字可考的歷史，是世界上著名農業古國，對世界文明作了不少貢獻，歷代有關農業生產知識的書籍，大大小小數以千計，留下了相當豐富的農業遺產。

縱觀我國農業中的果樹，在夏、商、周三朝早已有栽種的文子記錄，歷經春秋、戰國、秦、漢時代，農業的著作，更如雨後春筍，司馬遷謂：「安邑千樹棗，淮北潁南河濟之間千樹梨，燕秦千樹栗，蜀漢江陵千樹橘，其人皆與千戶侯等。」關於果樹栽培的專著，如《橘錄》（宋·韓彥直）、《荔枝譜》（宋·蔡襄）、《本草綱目》中的奈（明·李時珍），唐、宋時代的果園，其大者有萬株以上的荔枝園，這一切的一切都可證明我國的農業歷史，比西方早兩千餘年，直到清末民初近百年來，以國事蠲蟻，民不聊生，技術滯固不進，我們卻反證乎其後了。

本社有鑒於此，特編譯各種果樹系列叢書，以為發展「精緻農業」的號召，有所助益；台灣雖處於低緯度的地區，但有完整緯度氣候條件的高山，所以我們今日台灣，由於有寒帶、溫帶的高山、丘陵，也有熱帶、副熱帶的平原、盆地，因此，苟能「地盡其利，發展農業

生產中的果樹，前途實未可限量。

本書譯者劉必芳教授，為旅美國藝專家，對熱帶果樹有深入的研究；本書根據一九七七年美國出版的「*Ecophysiology of Tropical Crops*」譯出。

作物生態生理學是近來迅速興起的一門學科。作為熱帶作物生態生理的專書，本書到目前為止所看到的內容最為廣泛，並且有深度的唯一專書，本書除了在理論上有一些新見解之外，還密切配合田邊實驗，提出了近來熱帶作物生態生理學發展的某些新動向。同時，譯者對本書第十五章柑桔與十二章茶樹，兩章還增加了一些所缺少的新資料，而對本書益見充實，生色不小。

本書作物種類比較多，但大部多為果材；有些重要作物，如水稻、柑桔、薯類等，其栽培區早已大大起過了熱帶地區界限，因此有關章節的內容也不僅僅限於熱帶。

本書承譯者說：「……由於全書內容比較廣泛，使用一些新的術語，有些物種是國內所沒有的，因此在某些有術語和新物種後面附上直接採用原名。書中插圖（包括地圖），均照原書引用。書末附有大量參考文獻，這是頗有價值資料，本書予以保留……」。

由於校者水準有限，錯誤和缺失之處在所難免，尚希高明先進，不吝教正，是幸！

本社編輯室謹識

原序

在人口正以驚人的速度增長的時候，迫在眉睫的糧食短缺所造成的威脅，強調說明熱帶作物對於發展中的熱帶國家以及其他地區人民的健康和經濟具有重要意義。要持續不斷地提高熱帶作物的生產潛力，取決於加深了解熱帶的氣候、土壤以及環境和栽培因子如何通過生理過程來影響植物的生長。這些考慮和日益擴大的科研成果，促使我們把當前有關主要熱帶作物生態生理學方面的知識和見解彙編成冊。

本書第一章評述植物發育數量描述方面的基本概念，並討論氣候因子（如溫度、光照和水分）對植物生理過程的影響。

第二章綜述熱帶土壤的理化特性。其他各章則分別論述主要作物、特別是那些適於潮濕熱帶地區生長的作物的生態生理學，這些作物包括：稻、甘蔗、菠蘿、牧草、塊根作物、甘薯、咖啡、可可、橡膠、香蕉、茶、油棕、椰子、柑桔、腰果和芒果。

本書既是權威性的，又是多學科的。學生、研究人員以及與熱帶作物生產有關的人們讀了必有裨益。對於植物生態學家、植物生理學家、生物化學家、園藝學家、農藝學家、氣象學家、土壤學家、食品工藝學家以及植物育種學家，本書的題材也是有重要意義的。

本書主要是以1975年5月在巴西瑪瑙斯召開的國際熱帶作物生態生理學討論會收到的論文為基礎編輯而成的。這些論文是邀請從事研究熱帶作物生長和生態條件的主要研究人員撰寫的。他們的論文反映了在非洲、東南亞、拉丁美洲和加勒比海諸島從事熱帶作物研究的多年經驗。

我們感謝巴西下述單位對於討論會給予了慷慨的經費支持和各種便利：全國科學技術發展委員會、瑪瑙斯自由區管理局、可可生產計劃執行委員會以及泛美農業科學研究所。

我們還要感謝各位作者在出書過程中惠予撰稿，並表現了堅韌、合作精神。高級編輯對於協助組織瑪瑙斯討論會的下列人士深致謝意：可可生產計劃執行委員會的Luiz Carlos Crus和W. Martin Aitken，全國科學技術發展委員會的Antonio Dantes Machado和瑪瑙斯自由區管理局的Marcilio Junqueira。T. L. Noland先生和R. J. Noby先生幫助編製了本書的主題索引。

Paulo de T. Alvim

T. T. Kozlowski

目 錄

序

第一章 氣候·····J . L. Monteith	1
第一節 引言·····	1
第二節 發育的規範·····	1
第三節 溫度·····	2
第四節 光照·····	7
第五節 水·····	13
第六節 結論·····	20
第二章 土壤·····Jakob Bennema	25
第一節 引言·····	25
第二節 潮濕熱帶的紅壤和黃壤·····	25
第三節 物理性質·····	29
第四節 化學性質·····	32
第五節 養分的關係·····	43
第六節 有機質·····	47
第三章 稻·····Shouichi Yoshida	51
第一節 引言·····	51
第二節 對環境的適應性·····	52
第三節 影響生長和產量的氣候因子·····	60
第四節 溫帶和熱帶地區的年產量·····	71
第五節 生長模式和生長期·····	72
第六節 高產技術·····	74
第四章 甘蔗·····Louis G. Nickell	77
第一節 引言·····	77
第二節 環境對生長的影響·····	77
第三節 發芽·····	88
第四節 分蘖·····	91
第五節 成熟·····	95

第五章 菠蘿..... D. P. Bartholomew和S. B. Kadzimin	97
第一節 種植環境.....	97
第二節 解剖學和形態學.....	100
第三節 碳素同化作用.....	105
第四節 水分關係.....	111
第五節 作物生態學.....	115
第六節 開花生理學.....	124
第七節 環境對生長週期、果實產量和果實質量的影響.....	127
第八節 病蟲害.....	129
第六章 牧草..... G. O. Mott和H. L. Popenoe	133
第一節 引言.....	133
第二節 天然牧場的植物區系.....	133
第三節 熱帶環境和牧場.....	137
第四節 土壤環境.....	145
第五節 作為一個環境因子的火災.....	156
第六節 討論.....	158
第七章 塊根作物..... L. A. Wilson	160
第一節 引言.....	160
第二節 比較宏觀生態生理學.....	160
第三節 比較微觀生態生理學.....	177
第四節 物種依存生態生理學.....	197
第八章 甘薯..... S. K. Hahn	206
第一節 引言.....	206
第二節 環境對甘薯乾物質產量的影響.....	206
第三節 源—庫的關係.....	212
第四節 光合效率.....	213
第五節 抗旱性.....	214
第六節 基因型與環境的相互作用.....	215
第九章 咖啡..... Moacyr Maestri和Raimundo Santos Barros	217
第一節 引言.....	217
第二節 影響咖啡分布的氣候因素.....	217
第三節 光合作用和生產率.....	220
第四節 營養生長.....	226

第五節	生殖生長	238
第六節	結論	242
第十章	可可	Paulo de T. Alvim 243
第一節	引言	243
第二節	起源和分布	243
第三節	氣候	244
第四節	土壤	252
第五節	決定產量的生理因素	255
第六節	環境對生長和開花的影響	262
第十一章	巴西橡膠	Vicente H. F. Moraes 274
第一節	引言	274
第二節	土壤條件和根系生長	275
第三節	氣候條件	277
第四節	地上部分的生長	279
第五節	開花	283
第六節	排膠	283
第七節	產量	286
第十二章	茶	R. Fordham 288
第一節	引言	288
第二節	植物學	288
第三節	植物水分狀況	289
第四節	氣孔活動	292
第五節	光合作用	293
第六節	茶樹營養生理	295
第七節	茶樹繁殖生理特點	239
第八節	新梢生長	364
第九節	風味	367
第十節	採茶量	368
第十一節	結語	369
第十三章	油棕	Jan-Dirk Ferwerda 371
第一節	引言	371
第二節	地理學	375
第三節	氣象和氣候	376

第四節	土壤·····	388
第五節	生物因子·····	395
第六節	摘要·····	397
第十四章	椰子·····D. B. Murray	398
第一節	引言·····	398
第二節	氣候要求·····	398
第三節	土壤·····	406
第四節	生長生理·····	408
第五節	礦質營養·····	413
第六節	生態生理病害·····	417
第十五章	柑桔·····Walter Reuther	420
第一節	引言·····	420
第二節	起源和自然生境·····	422
第三節	氣候·····	423
第四節	生長和繁殖·····	429
第五節	生長和結果與氣候的關係·····	432
第六節	柑桔土壤生理·····	443
第七節	柑桔營養生理·····	453
第八節	灌溉·····	474
第九節	品種·····	475
第十節	柑桔豐產生理·····	477
第十一節	研究工作·····	487
第十六章	香蕉·····Egbert A. Tai	489
第一節	引言·····	489
第二節	世界產量和貿易·····	490
第三節	植物學分類·····	490
第四節	地理分布·····	493
第五節	對環境條件的要求·····	494
第六節	生長與發育·····	499
第七節	生態生理·····	502
第八節	病蟲害·····	508
第九節	管理措施·····	511
第十七章	腰果·····M. C. Nambiar	513

第一節	引言.....	513
第二節	生物學特性.....	515
第三節	生長與生態因子的關係.....	516
第四節	生殖生長.....	519
第五節	品種改良.....	526
第十八章	芒果..... L. B. Singh	528
第一節	引言.....	528
第二節	生長特性.....	529
第三節	環境對生長和產量的影響.....	530
第四節	植物生理.....	532
第五節	生態要求.....	533
第六節	用激素控制生長.....	534
參考文獻		536

第一章 氣候

J. L. Monteith

第一節 引言

一些作物能否繁榮生長，為什麼取決於一個區域的氣候？作物的產量在多大程度上取決於月復一月、年復一年的天氣歷史順序？這些都是難以解答的問題，但確是農業氣象學的主要問題。人們對這些問題已從許多方面加以探討，但至今大部分問題尚未得到解決。

我們進行熱帶作物環境生理學的研究時，必須討論氣候對於特殊生理過程的影響。因此，本章第二節討論了有關植物發育在數量性狀方面的基本和簡單特點。以後幾節討論了溫度、光照和供水對植物的生長和產量的影響。

採用這種論述的方法時，我們竭力避免陷入傳統作物生態學的三個主要陷阱，即：

(1)作物與氣候關係的統計處理，這種處理並不具有普遍性，而且往往掩飾了對機理的無知。

(2)以淨同化率和相對生長率作依據的常規生長分析，這對於單株或孤立的植物是有效的，但對於發生葉子競爭陽光現象的植物群體就不適用了。

(3)複雜的作物生長動態模式，這種模式非常煩瑣而又不便應用，可能避免不了被淘汰的下場。

第二節 發育的規範

用數學的術語說，植物是由各種分立的、各自具有像數目、大小和重量之類可量性狀的單位所組成的。如果一株植物的發育定義為分化和生長過程的結果（Wareing 和 Phillips, 1970），那末，分化速率就可用原基數量的增長來表示，而一種器官的生長則可用它的大小或重量的增長來表示和予以測定。

細胞的分裂和擴大是可表示數量和大小之間差別的一個基本例子，但這個例子也適用於較高級的組織，如葉原基或小花的數量、莖長度、葉面積或

塊根重量等。

分化的物理度量是單位時間 (T^{-1}) 的數量，而一個器官或一株植物的生長速率則為 $L^{\circ}T^{-1}$ (式中 $n=1, 2$ 或 3 ，分別代表長度、面積或體積) 或 MT^{-1} (重量)。

根據一定的大田面積的測定結果來表示一種作物的生長速率，比根據一株植物的測定結果更為合理；在後者的情況下，葉面積成為無度量單位的葉面積指數 ($LL^{-1}=L^{\circ}$)，而葉擴展的大小則成為 $L^{\circ}T^{-1}$ 。

一般來說，天氣實際上是各種環境因子，它能夠決定一個特定發育過程開始的時間、其後的發育速率以及這個過程終止的時間。與年曆有關的發育時間的研究，即所謂物候學的研究，在被忽視多年之後，現在又時興起來了 (Lieth, 1974)。

過去三十年中，作物生態學家着重測定各種速率，特別是與蒸騰和光合作用有關的單位時間的重量變化 (參閱 Monteith 的編著, 1975 a, 1976)。通常測定各個時期中單位時間內大小 (如葉面積) 的變化，但這些時期過長，不能顯出擴展速率對於溫度變化或缺水的敏感性。

如果研製出象紅外氣相分析儀那樣快速測定的生長計可資利用的話，那末，現在的作物生態學可能更為充實了。

作物與天氣關係的研究，必須更密切地結合物候學和生理學進行綜合研究才能取得進展。

我們不僅要了解「多快」，而且要了解「在何時」。通過作物發育的研究可得到這兩個問題的答案。在這項研究中要測定隨時間和各種環境變異因子而變化的各種植物組織的數量、大小和重量。

第三節 溫度

一、【物理方面的問題】

根據熱帶大多數氣象站的紀錄，在接近海平面的地區，一年中各月的月平均氣溫在 $20-30^{\circ}C$ 之間。

在海拔 1,500 米的高度內，每增高 100 米，氣溫降低約 $0.6^{\circ}C$ (Lockwood, 1974)。在靠近赤道的一些濕、熱地區，月氣溫的年較差僅 $\pm 1^{\circ}C$ ，即使在稀樹乾草原地區，「冷」月份和「熱」月份平均氣溫的差異也罕有超過 $7^{\circ}C$ 的。

逐日紀錄的平均溫度，反應天氣圖型的變化中在月平均溫度的上下波動

，但這些波動的頻率和幅度都比溫帶小。

就植物生長來說，許多熱帶氣象站日溫度變程比正常的季節變程或隨機的天氣影響更為重要。

例如，巴西瑪瑙斯 (Manaus) 的溫度日較差在四月份為 $\pm 3.2^{\circ}\text{C}$ ，在九月份為 $\pm 4.7^{\circ}\text{C}$ ，但月平均溫度的年較差僅 $\pm 1.2^{\circ}\text{C}$ (Lamb, 1972)。

不管原因如何，在幾天期間、甚至在幾個小時中發生的極端溫度，可能嚴重地抑制一年生作物的生長；在偶爾降霜地區，甚至可摧毀種植的咖啡之類的多年生作物。

就植物的各個生長過程來說，小氣候的影響甚至更為重要。據 Lal (1974) 報導，地表溫度超過 35°C 時，玉米幼株的生長就要受到抑制，在土壤表面乾燥時尤其如此，這樣的地表溫度在熱帶是常見的。

Alvim 發現咖啡葉子的溫度有時超過氣溫 20°C (第九章)；另據 Franco 報導，在巴西，咖啡幼樹曾遭遇 50°C 以上的害土溫 (第九章)。

菠蘿的果實和葉子的溫度也可能超過 50°C (第五章)。當植物組織的溫度可能超過任何代謝過程要求的最適值時，不僅要考慮百葉箱高度的溫度，還須考慮植被的小氣候。

原則上，暴露於日光的器官的溫度，可根據它的完全的熱量平衡加以估計 (參考 Monteith, 1975b; Gates 和 Papian, 1971)，但實際上水分蒸發引起的熱量損失的速率是很難演繹地推算的，最多只可能計算特定環境下的葉子溫度怎樣取決於氣孔的擴散阻力。

但是，即使在這種單純的情況下，關於適當的熱傳導係數的選擇，仍然是很不可靠的。

二、【生理方面的問題】

極冷和極熱的溫度都可造成植物組織可逆的或不可逆的損害，在這兩種極端溫度之間，絕大部分植物過程顯然都有賴於 $20 - 25^{\circ}\text{C}$ 範圍內的溫度。

據許多植物生理學教科書的論述，分化速率和生長速率都會符合 Arrhenius 的關係式，即隨溫度的升高呈對數的增長。在與這種預期一致的分析式中，一種速率與溫度的依存關係通常用 Q_{10} ，即溫度升高 10°C 的增長速率來表示。就植物的許多過程來說，當試驗的平均溫度範圍在 $15 - 25^{\circ}\text{C}$ 之間的時候， Q_{10} 似乎在 $2 - 3$ 之間。

但是，對大量試驗材料進行周密考察的結果表明， Q_{10} 差不多總是隨溫度的升高而降低 (James, 1953)，而且發育速率與溫度的關係往往是直線

關係而不是對數關係。

在最適溫度下測得的發育速率的最大值低於 20 % 時，有時就觀測到顯著背離直線關係的現象；溫度超過最適值時，發育速率即隨溫度的升高而急劇降低。

Blacklow 對玉米的測定結果（圖 1）顯示了許多其他植物種和生長過程所具有的溫度效應特徵。

看來，萌芽速率和土溫的關係尤其是直線的關係（Hegenty, 1973; Bierhuizen 和 Wagenvoort, 1974）。在本書中可發現其他幾個綫性溫度關係的例子，如水稻苗的生長（第三章）和油棕葉子的伸長（第十三章）。

就溫帶和熱帶的植物種的許多過程來說，在可察覺到發育速率時的最低溫度與達到最大發育速率時的溫度之差在 20—25 °C 之間。

但是，大部分溫帶植物都在 5—30 °C 之間生長，而熱帶植物則常在 10—35 °C 或 15—40 °C 的範圍內生長。

在以後論述禾本科與豆科植物、水稻、甘蔗、菠蘿、甘薯的各章中都可發現這種例子。

取決於細胞分裂或擴展的分化速率，通常是一種簡單的綫性關係，但是代謝速率對於溫度的關係却往往複雜得多。

特別是許多 C₃ 植物的光合速率在 20—30 °C 之間達到最高值，而幾乎不依賴 15—20 °C 之間的溫度。C₄ 植物的光合速率則隨葉溫的升高而迅速增高，在 30—40 °C 間達到最高值，其後則隨溫度的繼續升高而急劇下降（圖 2）

碳化酶的習性提供了產生這種差異的一個綫索（Treharne 和 Cooper, 1969），但這可能也與溫度對氣孔開放的影響有關。

一般認為氣孔與溫度的依存關係還與其他幾個因素的作用有關（參看第五、九和十二章）。Bjorkman（1975）強調指出，光合速率與溫度之間的關係很複雜，並要求人們注意細胞膜的機能在這方面可能起的重要作用

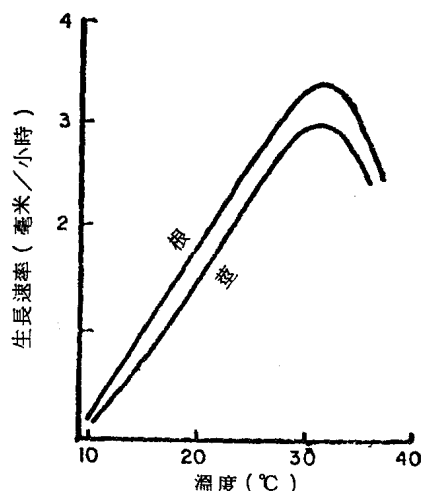


圖 1 隨室溫升高而變化的玉米幼苗的根、莖生長速率（據 Blacklow, 1972）