

植物的呼吸作用

W. O. 傑姆斯著

科学出版社

植物的呼吸作用

W.O.傑姆斯 著

李明启 譯

科学出版社

1959

W. O. JAMES
PLANT RESPIRATION
Oxford, Clarendon Press, 1953

內 容 簡 介

本書从現代科学的水平，总结了植物呼吸作用的生理和生化方面的知識。在生理方面，作者充分地論述了呼吸作用的速率以及各器官的呼吸速率随時間而变化的趋势，而对呼吸速率的計算單位問題討論得尤为精辟。此外在呼吸商，呼吸材料及氧效应各章中均对这些問題作了詳細的闡述。在生化方面，包括糖酵解作用，氧化机制，氧化阶段等各章。末章討論植物呼吸作用与其他生理过程如合成、光合作用、鹽的吸收等的关系，并以呼吸作用的意义作为全書的总结，使讀者了解呼吸作用在整个植物生命活动过程中所起的作用。本書可供植物生理、植物生态、生化工作者以及农業科学工作者参考。

植物的呼吸作用

[英] W. O. 傑姆斯 著

李 明 启 譯

科学出版社出版 (北京朝陽門大街117号)
北京市书刊出版業營業許可證出字第061号

中国科学院印刷厂印刷 新华書店总經售

1959年8月第 一 版
1959年8月第一次印刷
(京)C001-4,000

书号: 1842 字数: 265,000
开本: 850×1168 1/32
印张: 10 1/4

定价: 1.50 元

中文版序言

呼吸作用是生物的一个重要功能。在植物生理学中过去对这个现象曾有许多的研究。但是在本世纪 40 年代以前绝大部分工作只限于呼吸作用的总过程，即气体交换和某些末端氧化酶的活动。在这方面俄国的一些杰出的植物生理学家如 Бах, Костычев, Палладин 等曾作出了出色的贡献。虽然过去在理论方面有一些了解，在应用上，特别是在果实贮藏工作上，也起了不少作用，但由于对这个现象认识不够全面、不够深入，将呼吸作用这个探讨植物生活活动的有利工具的作用局限于作为生活活动指标这方面。

由于生物化学、细胞生理学和动物生理学中有关呼吸作用和生理氧化过程的研究的发展，植物呼吸作用的研究在最近二十年来也有迅速的进展。开始了呼吸途径、中间代谢和与这些步骤有关的详细酶系统及能量关系的深入研究。正如俄文版序言中指出的，呼吸作用就和代谢作用建立了联系。呼吸作用不止是一个单独的过程，也是一般代谢中的一部分。这样，不但对植物呼吸作用有了更全面和更深入的認識，并可进一步运用这些成果作为研究植物生活活动过程中各个功能间的共同线索：物质转化和能量关系，以及内因和外因对这些关系所起的作用。

James 这本“植物呼吸作用”综述了 1953 年以前关于植物呼吸作用的工作。由于它首次系统的总结了并分析了关于这方面的新发展，不论在文献的参考方面，在进一步进行研究工作或在教学上，它都是非常有用的一本书。这本书的中译本的出版是很需要的，对我国植物生理学教学、专门化课的讲授，特别是对准备进行呼吸及代谢作用研究工作的同志们的帮助应当是大的。

我愿在此提出，本书俄文版序言本身是一篇重要论文，应看作全书的一部分。它弥补了本书的一个基本理论性的缺点：以辩证唯物主义为基础的代谢观点，整体性、动态和多样性的观点。这篇

序言不但把全書的內容放置在正确的理論基础上，同时也“活化”了本書的內容。我們同意俄文版序言的觀點，同时也同意其中所提出的具体意見。只在这里补充一句：由于1953年到現在这六年中的迅速发展，在某些內容上這本書已显出落后于現况，特别是在整体植物中呼吸作用的适应性方面。

湯 佩 松

中国科学院北京植物生理研究室

北京大学植物生理教研室

1959年6月。

俄文版序言

呼吸作用是生命的一个最特出的和最重要的条件和表现,很自然地在过去和现在都有大量的研究呼吸的工作。同时,关于呼吸过程的本身的内容,其领域及与一般新陈代谢的相互关系,及其与基本生理功能和有机体状况的关系的概念也发生变化。

有一个时期,呼吸作用被认为是一个特殊的过程,它的基本任务是供给能(这能是由特殊的含能量的物质氧化而获得的)以满足全部生命过程及维持活的结构在活动状态中的需要。但是进一步揭露出了许多各种各样的有机体所固有的氧化还原反应,以及这些反应的催化剂。确定了,由于存在有这些反应的结果而形成了许多的各种各样的中间产物、副产物及最终产物,而且,这些反应本身的成分,其催化剂和所形成的中间产物和副产物、以及这些物质之间的相对量,均视有机体类型的不同和同一种有机体而不同年龄和不同的生理状态而有相当大的变化。这些反应的许多产物以后都供作一般新陈代谢中的各种合成作用的材料。

由于得到了这些知识,便很难在呼吸作用和一般新陈代谢之间划出相当明显的界线,而且,直至三十年代还没有研究过在放热的(氧化的)与吸热的(合成的)过程之间的能量联系的系统和机制。这便引起对于在原则上是否可能有特殊的放热过程,就是生命过程的能的供给者存在的问题表示怀疑。在此可以一述有趣的但却没有充分根据的观点(B. O. Taycon)、就是认为所有的生物合成都是放热的,并没有需要假设在生活的有机体内存在有特殊的、保证供给能与生活功能的过程,就是具有呼吸作用所有的特征的过程这样的观点。

但是随着关于生物的放热及吸热反应的热力学上的联系的机制以及借着磷酸的转移和高能键的形成而传递能量的机制的揭露和研究,呼吸作用过程之作为保证基本的生命过程能量的来源便

被“恢复”过来,同时,积累的事实材料也并没有给人这样的权利来认为有机体的呼吸作用的内容、范围、和生理功能只如上述的那么有限和那么简单。

在目前,最正确的恐怕是确定呼吸是一个复杂的、而又是很很好地互相协调的许多自发进行的放热氧化还原反应的总和和顺次发生的链,这些反应是象生命这样不稳定的状态的特征和必然的现象,其最后结果是导致某部分的能的释放,以及导致碳和氢的完全或不完全氧化产物的形成。

这个复杂的链只在某些环节上是受条件所限制的,就是说在某种程度上可以发生把能转移至合成的和构成的吸热过程而使之实现。从这观点看来,另一些环节便可能是没有生产效能的。在不同条件和情况下释放出的能的总量和其被应用于合成的部分之间的比例可能变化甚大。此外,在呼吸作用循环中也形成了一系列的产物,这些产物是被吸收进一般新陈代谢中去的。

这样一来,呼吸作用的物质转化循环便应该看为不只是独立的“平行”于一般新陈代谢过程而供给它们以能量的过程,而且也是一般新陈代谢的一方面。呼吸作用既与新陈代谢的状态有密切关系(例如,与用于呼吸作用的最初产物的成分有关),呼吸作用本身又在内容上和强度上起变化,那便无疑地在很大程度上影响合成和构成过程的进行,而且不只是在量的方面,也在质方面,供给它们以不同的产物,也可能改变能的传递的途径与方式。下面的事实可以作为上述的证据,就是:不同植物或在不同状态中植物的不同呼吸系统的相对活动度有很大的变化,由它们也引起呼吸类型的改变。

通过呼吸作用过程,或在其参与下,便使得由外界环境所同化的或是由于自养合成(例如光合作用)而制造的营养物得以利用并引入代谢循环中去。同时在不良条件下这些营养物质本身(例如,光合作用的产物)以及贮存在其中的能可能差不多全部都浪费于非生产性的呼吸过程中;而在良好的条件下在呼吸过程的参与和作用下,这些物质便可能以很高的效率而利用于合成过程和产

物的形成。

呼吸过程对于正在成熟中的或在貯藏中的果实、块莖、块根、谷粒等里面的最初貯藏物以及能的利用和保存，也許会起同样重要的作用。这些貯藏物在最坏的场合中，可能很快地和枉然地浪费于非生产性的呼吸过程，而在最好的场合中則借助于正常的呼吸过程而可能有效地利用于成熟过程的实现，維持在这些条件下的正常生命活动，并維持一般的生命抵抗力（жизнестойкость）以及对寄生物和功能紊乱的抵抗力。

現代关于呼吸过程的概念是把它比較过去看为复杂得多，意义也重大得多，而呼吸过程又远未研究得够，这便迫使我們对这个过程給予最大的注意。必須指出，在这方面关于植物呼吸的研究决不能看为是在科学中被委屈了的一个部門：也有許多实验工作和專刊是为它而作的（如 С. П. Костычев, Д. М. Михлин, С. Д. Львов, Стайлс, 和 Лич 等），在植物生理学和生物化学的許多教科書以及教学手册中也有專章加以討論。

在这些工作中 W. James (傑姆斯)的“植物呼吸作用”一書佔特殊的地位；在这本書中对植物呼吸作用的問題从許多方面和在現代知識水平上来加以闡述。例如，大部分的文字是用以闡明主要是生化方面的过程（呼吸材料，化学反应和酶）。在 James 的書中，在敘述本身的生物反应和酶部分（第六、八、九章），和在生理学的材料部分一样，把問題闡述得广泛得多，如在第二、三、四和七章对計算的單位，及关于在分离的叶片和根，萌发中的种子，枝梢和成熟及貯藏中的果实的呼吸随時間而变化的过程（从質和量的观点）等方面的材料均加以广泛的及批判的論述。在第七章中对植物器官的氧的供应随其形态、結構及大小而異提供了物理化学的基础。这些材料对于在选种过程中增加具有經濟价值的植物器官（块根、块莖、果实）的大小的可能性和途徑的估計都可能有很大的用处。

在第六、八和九章中，James 論述及呼吸作用的生化方面，搜集了大量材料并加以很好的系統化，而尤其重要的是对所有的認

为在高等植物中存在有某一系統或反应的論点,均加以詳尽的評述。

这样看来, W. James 的全本書便是植物生理生化的一个重要部分的最完全的总结,而且在 James 書中很好地和完全地加以闡述的某些部分,在別的書中則几乎全未論及。

在閱讀這本書时,應該注意到下述几点。書中收集包括至 1953 年为止的文献。在这期間在呼吸系統的研究上极其急激地累积了許多事实材料,而在評定关于在高等植物內存在有三羧酸循环或醣的糖分解作用的一系列步驟的問題时,便立刻缺乏理由地出現象 James 在評述及这些問題时那样的严謹。

此外,还要注意, James 引用俄文文献极其不够,尤其是 A. H. Бах 的工作——他是呼吸学說的創立人,假設氧由于形成过氧化物而活化, Л. А. Иванов 的工作,他是第一个确定醣代謝与磷代謝之間的关系的人, В. А. Энгельгардт 的工作,以及 С. Д. Львов, А. Л. Курсанов, Д. М. Михлин, Н. М. Сисакян, П. А. Колесников 以及 В. О. Таусон 等人,他們对高等植物呼吸机制的知識都有很有价值的貢獻。也沒有引用 С. В. Солдатенков, Ю. В. Ракитин, Б. А. Рубин, И. М. Толмачев, А. С. Оканенко 等人的工作,他們曾对果实和块莖成熟和貯藏过程中的呼吸作用的特性与植物年齡及其他生理状态的关系曾作过研究。

也需要指出在这本書中沒有关于呼吸作用与光合作用过程之間的关系的材料,无论是从它們的机制的关联的观点来看,或是从对收获物的累积过程有影响的这两个过程之間的关系的观点来看,都是缺如的。这在創立获得高产量的学說上是一个极端重要的問題,因为非生产性的呼吸,尤其是在干旱、吹干风、植物营养不足或是不正常时期,常常对收获物的形成过程給与很重的負担,不只使生長延緩,甚至使已制成的也被消耗。書的作者在这个問題上可以原諒的地方可能只是,在这方面的材料太少,以致不能給予广泛的和明确的概括,而关于植物呼吸作用的最高生产性問題,則仍有待于研究者們以必須有的認真态度来着手加以研究。

但是,虽然有如上所述的缺点, James 的书无疑地起着很好的作用,在植物生理学的这个重要部分,无论是从化学机制的观点来看,或是从生态和生理过程的观点来看,都是引人注意的。

内容虽然并不是详尽无遗的,但却都是很有益的材料,这本书对于植物生理学家和生态学家、生物化学家、育种家、农产品工艺学的专家,都是很有用的,对农学家也是有用的,因为现代的农学家应该建立在对植物生理学有深刻认识的基础上,尤其是对植物呼吸作用这样的—个重要的生理生化过程,更应有深刻的认识。

关于酸的名称需要说几句话*。在 James 的书采用两种名称(例如:琥珀酸 сукцинат и янтарная кислота, 丙酮酸 пируват и пировиноградная кислота 等)。最好是合理地统一名称和采用俄文的酸的名称。但是由于下述的理由,我们毕竟还是保留了两种名称:它们在我国的和国外的文献中均广泛的被应用;“琥珀酸(сукцинат)”“延胡索酸(фумарат)”等术语所表示着的不只是游离的酸,也包括其盐类和离子,这便正确地反映出参与新陈代谢的酸的形式。此外,这些术语的标记是较简明的**。同时这也是必需的,为要使上述的术语与俄文名称联系起来,便使我们应用两种的名称,虽然它在原则上是有缺点的。

А. А. 尼基波羅維奇 (Ничипорович) 1956

* 指俄文譯文——中譯者。

** 原文为 *лакапичны*, 疑为 *законичны* 之誤——中譯者。

目 录

中文版序言	湯佩松	i
俄文版序言	A. A. 尼启波羅維奇	iii
第一章 呼吸系統		1
第二章 呼吸作用的速率		18
一、进行呼吸的材料單位		19
二、呼吸速率的範圍		24
三、溫度		26
第三章 呼吸趋势		46
一、分离的叶子		46
二、分离的根		69
三、萌发中的幼苗		70
四、果实		78
五、幼嫩的和成長的枝梢		86
第四章 呼吸商		91
一、呼吸商及其变化		91
二、呼吸商的趋势		98
三、二氧化碳的固定		107
第五章 呼吸材料		110
一、飼养試驗		110
二、糖的分析		114
三、各种糖之間的互相轉化		122
第六章 糖酵解作用		131
一、酒精和二氧化碳的比率		133
二、己糖和酒精加二氧化碳的比率		137
三、糖酵解作用的阶段——酵母菌-肌肉路綫		140
四、高等植物內的糖酵解作用		147

五、自然界中的厌氧生活	153
第七章 氧效应	158
一、氧进入体积碩大的組織	158
二、氧的濃度和氧的吸入之間的关系	163
三、氧濃度与二氧化碳的生成	169
四、Blackman 的假說	180
五、巴斯德(Pasteur)效应	185
六、共同途徑學說	187
第八章 氧化机制	197
一、氧化-还原作用	198
二、植物脫氢酶类	202
三、植物氧化酶类	207
四、多元酚氧化酶	208
五、細胞色素系統	220
六、抗坏血酸系統	228
七、黄素蛋白	236
第九章 呼吸作用中的氧化阶段	240
一、植物組織的末端氧化酶	240
二、糖酵解作用与氧化作用之間的联系	255
第十章 呼吸作用与其他过程的联系	269
一、热的生成与功	269
二、合成作用	270
三、蛋白質水平	273
四、光合作用	275
五、鹽的吸收	277
六、結論：呼吸作用的意义	285
参考文献	288
索引	306

第一章 呼吸系統

呼吸作用 (Respiration) 一詞, 至少在 15 世紀之初, 即已成为英語的一部分。它是从西薩罗拉丁文 (Ciceronian Latin) 借用来的, 但在長期应用中, 它的含义自然是已經起了变化和发展。它是一个变化无常的術語, 在生物学的各門不同科学的背景中, 它的面貌一直是在变化着。虽然有些含义已被廢棄了, 也还有許多含义仍在应用, 而且在生物学著作中也很容易見到。因此需要对这些含义稍为討論一下, 也确定我們自己对它的用法。

呼吸作用一詞的最初含义就是呼吸 (breathing) 的动作, 吸入和呼出气体混合物, 一般就是空气。这就是这个詞在一般字典中的定义, 也是日常的用法。这就是 Pepys 在他的“日記”¹⁾ 中用这詞的意思, 而且也仍然常为人体及动物生理学的作者們所应用。它意味着借机械作用而引起的气体集体运动 (mass movement), 而由于气体本身的扩散作用而产生的單純气体交換則并未注意及。因此就这詞的最初含义來說, 植物是不会呼吸的; 在早期便認為是这样的。Dutrochet 在 1837 年把植物的呼吸作用下定义为氧进入植物空隙中及其以后的同化。他指出与昆虫呼吸有相类似之处, 并謂植物的綠色部分有一个好处, 因为能够在日間在其空隙内放出氧。

随着呼吸作用研究的进展, 便了解到, 显然可見的气体交換只是呼吸作用的最表面的現象。人們認識到, 氧的吸入只不过是組織內的更重要的内部变化的前奏。在最初用以研究的复杂的动物中, 呼吸器官的功能認為是使空气与血液密切相接触。至少在一段时期內, 認為这就是这个过程的焦点。Huxley (1888) 写道, 在肺毛細管中“在血液与空气之間很容易便发生交換; 后者获得湿气

1) 1665-1666 年 1 月 22 日。

和碳酸气，却失去氧气。这就是呼吸作用的主要步骤”。虽然强调了这一点，这个词仍不能应用于植物，因为在植物内的气体交换是直接发生于空气和活细胞之间，而不是在空气和一种携带氧的液体之间。即使是生长在沼泽中的植物根部，在它里面氧要走一段相当长的距离，但这也不过是通过细胞间隙的扩散作用，而不是由机械作用促进的集体运动。一直等到呼吸作用一词的应用扩大到包括在活细胞内所发生的过程，它才适切地应用于最低等的动物类型和一般的植物。

呼吸作用一词的次生的用处，就是关于细胞化学和氧之间的关系，这也就是现代生化学者们所最常用的含义。尤其是对于以动物材料为研究对象的生化学者更是如此，他们也佔极大多数。Meldrum 謂他所著的“细胞呼吸”一书的主题是“被氧化的分子在细胞内燃烧的机构”。另一本著名的教科書¹⁾所說的差不多完全一样：“呼吸作用一词是用以指氧被利用于燃烧食物分子的过程”。也許 Szent-Györgyi (1938) 对呼吸作用所下的定义是从来最准确和最严谨的了。“如果有氧存在的话，琥珀酸便会被氧化成延胡索酸，苹果酸氧化成草酰乙酸，丙酮的二个氢原子便会传递至这后一种物质，它又把氢原子传给华勃-凯林系统 (Warburg-Keilin system)，一直传递至氧。这个过程便叫做呼吸作用”。这个定义与上面所引述的有共同之处，就是都认为细胞氧化作用和呼吸作用是同义語²⁾。这个呼吸作用的次生含义有时也叫做内部呼吸作用，或组织呼吸作用，而其最初的含义，就是呼出和吸入气体，叫做外部呼吸作用³⁾。但前面的形容词常是省掉的；例如上面引述的定义便是如此，所以要看上下文才可以看出到底所讨论的是那一种的呼吸作用。

呼吸作用的次生含义是可以应用于植物的，事实上，Sachs 用它时就是指的这个含义，他认为呼吸作用就是“一个十分强烈的氧

1) Fearon, 1940.

2) 可参阅 Loeb, 13 頁, 1906.

3) Bayliss, 600 頁, 1920, 及許多現代的教科書。

化过程”¹⁾。但是 Pfeffer 指出, 由于有厌氧性細菌和真菌的存在, 所以这样的定义又发生了困难²⁾。“这些有机体的存在, 和那陈旧的教条說‘没有无呼吸的生命’是很难調和的, 除非我們假設, 如同这里所說的, 呼吸作用包括了所有的放能的代謝过程。”他便把所有在有氧存在时的呼吸作用叫做有氧呼吸, 而把无氧存在时的呼吸作用叫做缺氧呼吸。

这样便产生了呼吸作用的三次生的含义, 而以“能的释放”来代替氧的参与作为标准。許多植物学者都采用这个含义, 而其他的生物学者則較少采用。动物生理学者和生化学者常喜欢把缺氧时的变化叫做缺氧代謝 (anaerobic metabolism) 或醣酵解作用 (glycolysis)³⁾; 而微生物学者則叫做发酵作用 (fermentation)⁴⁾。Stevenson 决定要按最广的含义来用呼吸作用一詞, 并在她的專刊“細菌代謝”中說: “从实际的目的來說, 它可以用来表示任何有氧的或缺氧的化学反应, 細胞借这反应而放出能来”。但是她也認為缺氧呼吸是一个几乎是自相矛盾的詞語⁵⁾。她把缺氧呼吸和发酵作用看做实际上的同义語。

对于高等植物, “缺氧呼吸”一詞的应用是已經根深蒂固地确定了, 大多数的植物生理学者当他們講到呼吸作用之时, 都是指的第三个含义說的。对他們來說, 呼吸作用实在就是“用以包括所有的異化作用現象, 其特征是把复杂的物質分解为簡單的物質, 同时放出能⁶⁾”。

因为这样的強調了这个过程的能的关系, 便有人建議, 呼吸作用一詞應該只限于它的最初含义, 而用“放能作用” (energesis) 一詞来代替它的三次生的含义⁷⁾。这个建議提出后, 到現在已經很

1) 403 頁, 1887。

2) 卷 1, 518 頁, 1890。

3) 看 Baldwin, 1948; Bell, 1952。

4) Gale, 1947。

5) 第 3 版, 12, 44 頁。

6) Stiles and Leach, 1 頁, 1952; 參看 Wohl and James, 1942。

7) Barnes, 1905。

久了,但却还没有得到人們的贊同,这总算是幸运的。因为正如 Meyerhof¹⁾所指出的,很容易太过片面的單純从能的观点来看呼吸作用的过程。对于植物來說,这种危險性尤其大,近年的学者們也倾向于強調这一点²⁾。植物所利用的能不全都是从呼吸作用得来的;反之,成長植物呼吸时轉化成的能,可以說很少是具有重要的功能的(看 270 頁)。就算是化学能的供給,也并不是只有呼吸作用才可以做得到,除非我們把化能合成时的氧化作用也包括在呼吸作用的范围之内。Stevenson 提出的三次生的定义并没有提及那一类的基質,所以是容許把化能合成也包括在内的;但是在植物学中最常用的定义却并不如此。这其间只是毫厘之差,它所依据的是假設化能合成作用中的能是由类似光合作用的过程而固定在醣之内;但是这个假設在目前全然未經証实。实际上,化能合成作用一詞一般只用于指外界来源的簡單的无机基質的氧化作用。化能合成时能的轉化是与一般的合成有关的,这与呼吸作用(就其三次生的含义來說)是没有分別的,因为植物呼吸能的最主要而显見的用途,是在于促进生長时的合成作用。

虽然多少是人为地把化能合成作用和呼吸作用划分开,近代关于植物呼吸作用的概念,仍是一个极其广泛的、概括的,甚至是不斷变动的概念。只不过是因为从来不曾有过一个标准的呼吸,所以便很难具有更狹的含义。呼吸作用和植物的其他屬性一样,是发展的,它的变化和不确定性的界限是使人难于作精确的分类和給予准确的名稱的。因为分类和名称都終不免和进化发展有关联。我們并不打算否定能的轉化和氧的利用的重要性,也不打算过分強調它們,而拟把植物呼吸作用一詞包括一切由复杂的細胞物質进行的物質变化,这些細胞物質本身是初次合成的产物。这些变化的总的結果是引致自由能的减少,而这自由能,因为它一定是与活跃的生命同时存在的,故显見得是很重要的;但是由此而产生的无数种的中間产物,就其作为生物体内的合成作用的起点来

1) 86 頁, 1924。

2) Wohl and James, 1942; Briggs, 1943。

說,也是同等重要的。这样說来,植物呼吸作用的含义便比分解代謝 (catabolism) 更为广泛,因为它也包括一些不可分割的組成代謝的合成作用 (anabolic syntheses)。它也比生化学者的(次生的)呼吸作用含义更广,因为它也包括非氧化作用的以及可以在完全缺氧情况下进行的阶段。它不包括发酵作用,这不过是因为在习惯上发酵作用一詞是用以指微生物的各种厌氧性異化作用。并没有什么很好的理由不把高等植物的缺氧呼吸看为就是一种这一羣植物特别能进行的发酵作用。如果基于微生物发酵用的是外物质而高等植物在缺氧呼吸时用的是細胞內的貯藏物这一事实,而把二者区分开,那么細菌的呼吸作用便也需要另給它一个名詞,因为这也是用由細胞外而来的物质的。虽然如此,但是如果用发酵作用一詞来代替缺氧呼吸,对高等植物來說,却非上乘之策,这因为第一,这二类的分别是很方便的,其次,发酵作用一詞也早已用于植物的过程,例如“茶叶发酵”,这显然是一个有氧的自体分解作用。

“沒有无呼吸的生命”

一般都同意認為呼吸作用是生活物質的一个始終不变的最不可少的屬性。在对呼吸作用的真正本質才只有一个模糊的認識以前很久,便已确認為是这样。Crooke¹⁾ 在1615年論及人体时写道:“沒有呼吸作用,生命便不能維持”。50年后, Hooke²⁾ 在皇家学会 (Royal society) 的一次早期的集会中証明,把空气吹入一只沒有肋骨的狗的肺部,便可以使它仍然活着。把这原理应用于低等动物和植物則是更近代的事,因为对这些有机体进行严格的生理学的研究发展較晚。虽然如此,早在1679年, Malpighi³⁾ 即已观察到,种子需要供給空气才能萌发,它与呼吸作用的关系便很明显了——至少在現在是这样看法。Sachs 是站在近代植物生理学

1) 牛津英文字典。

2) Hooke, 1667。

3) 看 Stiles and Leach, 2 頁, 1952。