

~~204~~

物理化学条件(pH与rH.)在 微生物生命活动中的作用

И. Л. 拉鮑特諾娃 著

科学出版社

Q93.3

3492

物理化学条件 (pH 与 rH_2)
在微生物生命活动中的作用

И. Л. 拉鲍特諾娃 著

王子芳 翁穌穎 等譯

徐 浩 校

科 学 出 版 社

1963

И. Л. РАБОТНОВА
РОЛЬ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ
УСЛОВИЙ (pH и rH_2)
В ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ
МИКРООРГАНИЗМОВ

Изд. АН СССР, 1957

內 容 簡 介

本书在闡明 pH 与 rH_2 的一般原理之后,探讨了氧化还原电位与好气性和嫌气性微生物发育的关系,并詳細介绍了測定 pH 、氧化还原电位的方法和培养好气性、嫌气性微生物的操作技术。此外,对有关氧化还原电位和微生物物质代謝的文献作了綜述評論,并对这方面的实验研究进行了詳細介绍。

本书在最后校对时曾参照作者作过修改的德譯本(1963)作了一些修改。

本书可作为綜合性大学生物系及农学院有关专业的高年級学生,研究生及教师的参考书,并可供从事工业微生物的工作者及有关微生物学研究者閱讀。

物理化学条件 (pH 与 rH_2)
在微生物生命活动中的作用

И. Л. 拉鮑特諾娃 著

王子芳 翁蘇穎 等譯

徐 浩 校

*

科学出版社出版 (北京朝阳門大街 117 号)

北京市书刊出版业营业許可証出字第 061 号

中国科学院印刷厂印刷 新华书店总經售

*

1963 年 9 月第 一 版

书号: 2819 字数: 311,000

1963 年 9 月第一次印刷

开本: 850×1168 1/32

(京) 0001—2,500

印张: 11 3/4

定价: 1.90 元

目 次

緒言	1
第一章 氫离子浓度的測定	16
一、pH 的比色法測定	16
二、pH 的电位計測定法	24
第二章 微生物学中的氧化还原电位及其測定方法	32
一、問題的理論基础	32
二、微生物学中氧化还原电位的研究历史	38
三、測定氧化还原电位的方法	41
四、氧化还原电位值的表示法	59
第三章 生活細胞中的有效酸度和氧化还原条件	71
一、細胞內的 pH	71
二、細胞內的氧化还原电位	84
第四章 微生物的生命活动与培养基 pH 的关系	106
一、pH 对微生物繁殖的影响	106
二、pH 对新陳代謝的影响	117
三、微生物对培养基 pH 的影响	141
第五章 嫌气生物的发育与氧化还原电位	150
一、嫌气生活的理論	150
二、嫌气生物培养物中的迟緩期与氧化还原电位	167
三、嫌气生物发育时氧化还原电位的变化	173
嫌气生物培养法(附录)	181
第六章 好气生物的发育和氧化还原电位	196
一、好气性生活的概念	196
二、好气性微生物发育时产生的氧化还原条件的变化	209
三、好气生物的发育对培养基中 rH_2 的依赖性	221
四、严格好气性与兼性好气性微生物的区别	233

五、好气生物的培养方法	234
第七章 氧化还原电位与新陈代谢(文献综述)	248
一、代谢作用的性质对氧化还原电位的影响	248
二、氧化还原电位与酶	253
三、氧化还原条件变化的影响下新陈代谢的改变	262
第八章 新陈代谢对培养基的氧化还原条件的依赖性(试验研究)	281
一、反硝化作用和培养基的氧化还原条件	282
二、氧化还原电位与分子态氮的吸收的关系	289
三、氧化还原条件对小球藻(<i>Chlorella</i>) 自养和异养生活的影响	299
四、丙酮丁醇发酵与氧化还原条件的关系	301
五、丙酮乙醇发酵和发酵微生物的繁殖与培养基 rH_2 的关系	310
六、同质发酵乳酸细菌的繁殖和酸的形成与氧化还原条件的关系	316
七、异质发酵细菌的繁殖和发酵与氧化还原条件的关系	329
八、球孢放线菌(<i>Act. globisporus</i>) 形成拮抗性物质时对培养基 rH_2 的依赖性	332
九、结论	335
第九章 微生物与环境的相互关系。微生物按照本身需要主动地适应环境条件	343
一、有效酸度	343
二、氧化还原条件	348
人名索引	357
甲、俄文人名	357
乙、西文人名	359
内容索引	364
学名索引	368

緒 言

所有的微生物都能实现二种类型的物质代谢过程：一种是与构成体质有关的建造过程；另一种是为了合成以及为各种各样生命活动过程提供能量的能量过程。

最初,这二种代谢过程在颇大程度上被认为是独立无关的,即放出自由能的能量代谢过程为通常吸收能量的建造过程提供能量。然而,在1939年B. O. Tayson氏(1950)注意到能量代谢过程与建造代谢过程之间存在着颇为密切的联系。基质不充分氧化的产物的价值,对有机体来说不仅是在它们形成时能放出一定量的能量;而且它们对体质的形成,犹如“建筑用的砖块”,具有独特的意义。例如当糖分子分解的时候,就能形成按其自身结构而言极其接近于合成蛋白质的基本建造单位的氨基酸。所以并不需要使基质彻底氧化以利用其尽量多的能量。合成作用能够利用非彻底氧化的产物作为“半制品”,而对这些产物的充分利用,并不要求大量的能量。

此外,在B. O. Tayson氏的主要用霉菌所做的工作中发现合成过程的能量并非自外面进入。基质的分子可以被有机体改建为“建筑用砖块”,而一定数量的碳原子则被氧化到最后并产生二氧化碳。这样得到的能量,不仅仅能经常地满足实现物质分子剩余部分改建所需要的能量,而且甚至有多余。因此,实现合成作用不仅没有要求外来的能量,而且从代谢过程总的能量来看,甚至可能为放热反应。

建造代谢与能量代谢之间物质上相互联系的概念,是从积累的许多有关物质代谢的实验资料中推引出来的。象Clifton氏(1946, 1952)把生物合成看作为被利用的物质分子分解时所获得的中間产物所引导出的一组反应。当时他指出,分解过程作为同

化作用中物質的提供比作为能量的源泉具有更大的意义。Clifton 氏认为乙酰基是重要的“建筑用砖”之一。

根据 Clifton 氏的意见,有机体的分解与合成过程间的相互关系,不仅按照能量的平衡,而且也按照化学计量的关系。自由能也如同水和二氧化碳一样,仅是副产品而已。

И. Я. Веселов 氏和他的同事们(1954,1955)发展了 Таусон 和 Clifton 氏的观点,并在自己的工作中强调指出发酵过程乃是微生物形成体质提供建筑材料的过程。

然而远非如 Таусон 氏认为的进行合成作用经常不需要耗费能量。能量对合成作用的需要,特别明显的表现在自养生物上。谁也不能怀疑,还原 CO_2 到 CHOH 是必须消耗能量的。 CHOH 通常用以说明建造细菌体的碳所呈的状态(并不完全确切)¹⁾。光能自养生物具有为这一目的而利用光能的能力。而化能自养细菌是以氧化某些物质所获得的能量用作上述目的的能量来源。例如硝化细菌氧化氨,硫细菌氧化硫化氢等等。

В. Н. Шапошников 氏(1944,1955)注意到发酵微生物的体质——蛋白质,较之原始的基质——碳水化合物是更具有还原性的物质。由此可见,发酵微生物原则上和自养微生物一样,为了实现吸热还原反应应具备能量,以便使比较氧化的糖形成更为还原的蛋白质。

所以关于新陈代谢的二个方面的概念,即能量代谢过程与建造代谢过程,对异养生物和对在任何情况下能依靠碳水化合物和比碳水化合物更具氧化性的物质而生活的微生物而言,仍属有效。

除此以外,有机体为了合成蛋白质亦需要具备能量,在其维持本身生命过程中也需要有能量。生活物质是处于经常不断的更新状态的。单就这一点,就无疑地要求不间断的供应能量。

1) 不确切处在于符号 CHOH 代表碳水化合物。碳水化合物的每一个碳原子上的氢和氧的数量是保持着呈水的比例关系的。但是微生物体在很大程度上是由蛋白质组成的,而在蛋白质的碳原子上所包含的氢是较之碳水化合物中的每个碳原子上的氢来得多。

当高能磷酸键的存在被揭露后, 能量代謝与建造代謝之間的联系就变得更为明显了。可以确定在呼吸过程中或发酵过程中直接取得的能量, 首先是积累于三磷酸腺甙(ATP)内。該物质象能量的貯容器一样, 而微生物有机体从其中获得它所必需的能量(Энгельгардт, 1945)¹⁾。大概在所有能量代謝过程中(包括氧化过程, 所有发酵过程和甚至化能合成过程)所产生的能量, 都积累在該物质中(Vogler, Umbreit 等, 1941—1943, 参閱 Работнова, 1946)。

关于建造代謝与能量代謝之間的物质联系, 在 В. Н. Шапошников 院士有关发酵的研究工作中已阐明了。

В. Н. Шапошников 研究了在动态中的許多发酵通路, 也即在进行自接种起一直到基質被消耗完止細胞数量与发酵产物量的时候, 他发现二个有明显区别的阶段。在发酵的第一阶段内, 細胞进行着特別強烈的繁殖(对数生长时期, 也即細胞数量的增多, 在单位時間内是按对数比例增加着)。之后, 細胞数量的增长停止了, 但是发酵过程并没有結束, 基質的改建則在进一步繼續着。

在繁殖最強烈的时刻, 也即蛋白質合成的时刻, 糖被发酵并随之形成更具氧化性的发酵产物, 蛋白質是比糖更具还原性的物质。所以要从糖合成蛋白質时, 要消耗相当大量的氢, 显然那些較糖更具氧化性的物质, 是作为蛋白質合成的补偿而形成的。当繁殖迟緩时, 就相对地出现了相当多的还原性的产物。

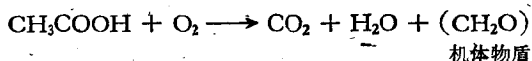
这种双重过程首先被 В. Н. Шапошников 氏在丙酮丁醇发酵中发现, 而后在多酶乳酸发酵、丙酸、丁酸、丙酮乙醇发酵中发现。由此看来, 这是所有发酵的通性。

-
- 1) ATP (三磷酸腺甙) 是核甙, 它广泛地分布于动物、植物以及微生物的細胞中。它是由二磷酸腺甙(ADP)借助于与后来的磷酸根相结合的方式而形成的。这一反应要求消耗大量的能量, 而这些能量是由伴随着能量的释放(发酵、氧化)进行的新陳代謝过程中获得的。由此可见, 所形成的 ATP 是能量的后备存放者。当 ATP 发酵水解时, 这能量(12000 卡/克分子)能够直接被有机体所利用, 例如在肌肉中, 即在肌肉收缩的时候。微生物 ATP 的形成是确实的。但是其高能键的利用机制, 則尚未研究过。

至今常常采用的以化学方程式并指出大卡数来表示释放一定能量的新陈代谢反应的方式已形陈旧。

新陈代谢反应应以能产生建造代谢和能量代谢之间实际的联系的方式表达出来。微生物学已经接近于这种联系的译解密码。有企图把个别的能量代谢与建造代谢过程作为一个统一的整体提出来。

关于好气微生物的能量代谢与建造代谢关系的概念,提出了关于氧化性同化作用的概念,这个术语首先被 Barker 氏(1936)在研究 *Prototheca* 的新陈代谢时引用的。定量测定被利用的糖或其他能够吸取氧以形成二氧化碳和细胞物质的基质,能够构成一个包括氧化(能量)活动和合成(建造)活动反应的方程式。例如以下列反应式来表示原醋酸的利用:



原醋酸乃是这类试验的最适宜的代表,因为它特别经济地形成机体物质,也就是在被利用的基质中(如乙醇,糖,酸类或甘油等中),有相当大的部分(50%到80%)用作建造机体。

此后 Clifton 氏(1952)也用其他种类的微生物如枯草杆菌(*Bac. subtilis*),大肠杆菌(*Bact. coli*),假单胞杆菌属(*Pseudomonas*)以及酵母菌和其他菌在各种不同的培养基上发现了类似的关系。

根据能量代谢的类型,可把所有微生物分为一定类群。B. H. Шапошников 氏(1944)首先提出了这种分类的原则;他确定了能量代谢过程的三种类型。

1. 物质的简单氧化,这种氧化并不伴随被利用物质的碳架的分解。

2. 嫌气性发酵,或嫌气的碳键分解。这时被利用物质的碳架被切割为几个部分。其中一部分被还原,其他部分则借此而被氧化。这就发生了氧化还原过程的联系。

3. 氧化解碳键作用。也即与被大气的氧氧化解碳键产物同时

发生的碳鏈分解。

微生物可以只实现这些过程中的一种,或則是属于混合类型。一些多种发酵的微生物应属于混合类型。这些微生物借助于培养条件,可使其由这一种轉变为另一种类型。而对于这一些微生物來說,这种轉变的容易性是很典型的。

单具有简单氧化能力的微生物是严格好气生物。例如能典型地氧化被利用的化合物的乙醇基与羰基为羧基的醋酸細菌类羣都属于这类微生物。

能氧化葡萄糖为葡萄糖酸的假单胞杆菌属 (*Pseudomonas*) 中的葡萄糖細菌乃是这种类型細菌的其他例子¹⁾。

自氧細菌应属于这一类羣,它們利用直接氧化各种无机物质 (NH_3 , Fe^{++} , H_2 , H_2S) 所产生的能量。这种能量使組成机体有机物质唯一来源的二氧化碳还原。

有人发现 (Vogler, 参閱 Работнова, 1946) 在无机物质的氧化过程中形成高能的磷酸化合物。它作为細胞全部需要的能量的来源,其中也包括当缺少被氧化物质存在时,供給維持生命所需要的能源。由此可見,自养微生物供其一切需要的唯一能源是无机物的氧化²⁾。

不过能同时进行氧化还原变化的微生物是比較少的。

-
- 1) 应该指出,假如对某一种有机体來說,一种类型的反应是典型的,但并不意味着在一定的条件下,在某种程度上不能实现另一种类型的反应。例如醋酸細菌在一定的条件下能引起解碳鏈作用,虽然醋酸細菌的特点是能使醇类氧化形成醋酸,但也可以不形成醋酸而直接形成二氧化碳与水。

因此,要把微生物列入这种或那种类型,我們不能对此作出絕對的定义,而只能注意到对該微生物的能量代謝过程最典型的特性。

- 2) 然而这不能被認為是全部被証实的。Bömeke (1939) 在典型的自养性硝化細菌中发现有异养的过程。在异养过程时,进行着自身物质的氧化(內呼吸)。可以設想,自养微生物在一定程度上与植物相类似。植物利用在光合作用过程中被还原的 CO_2 而得到营养,而在其他方面的能量的需要,則是靠呼吸作用来补偿,即靠氧化在光合作用过程中被貯藏在体内的碳水化合物而得到补偿。可能有些自养性微生物在化能合成过程中,在細胞內也貯藏了有机物质,这些物质在被氧化物质不足或是二氧化碳缺乏而使化能合成作用停止的时候,在异养性氧化过程中为維持其生命而被利用。

按 Elsdén 氏(1952)的意見,有机物質的氧化产物进一步成为受氙体仍是发酵的特点。由此可見,微生物的发酵过程本身得以維持并不要求外来的受氙体。

某些类型的严格嫌气性微生物是发酵微生物,一大类的丁酸細菌,其中包括丁酸細菌,丙酮丁醇細菌,果胶发酵細菌,纖維素細菌以及其他細菌等,它們都属于这个类型的細菌。所有这些細菌都能发酵碳水化合物。根据发酵类型,具有利用蛋白質特性的腐敗嫌气細菌都属之 (Stephenson, 1951)。

除了严格嫌气性細菌外,甚至兼性好气細菌也可能和氧沒有酶的連系。同質乳酸发酵細菌就属于这种細菌,它們虽然也能在空气存在的情况下生长发育,然而氧对它們來說只是一种惰性气体,它們的生命活动依靠发酵,不要任何氧的参与便能实现。

應該把固氮細菌归入能实现氧化解鏈碳作用的微生物,也即在利用大气的氧分解氧化产物的同时能够分解基質的微生物。这些微生物所能利用的物質范围很广,如糖类,醇类和酸类,同时物質氧化到最終为 CO_2 和 H_2O , 而几乎任何的中間产物都不积累于培养基內。这样一种物質代謝的类型,基本上与动植物的呼吸是相似的。氧化蛋白質物質的腐生好气性細菌与許多放綫菌都属之,而所有这些細菌却都是严格好气性細菌。

大多数异养性微生物都属于混合类型的。当空气存在时,它們进行氧化过程,而当空气不足时,能进行发酵过程。在这类微生物中也有这样的微生物,它們即使在发酵过程中,也局部地吸入氧气。

这种类型的微生物有非常多种多样的类羣,大腸-产气型 (*coli-aerogenes*) 細菌即属之。随着条件的不同,它們能够进行完全好气的过程(例如当它們在蛋白質基質中生长的时候),而同样的也能进行完全发酵的过程(如在糖存在的情况下)。真菌在有充足空气存在时具有完全氧化代謝的能力,然而在缺少空气的时候,它們能够轉变为发酵。这时其中的某些真菌能进行典型的嫌气发酵——酒精发酵(酵母和毛霉菌)。某些真菌随着氧的加入而能进行

糖的发酵,即氧化发酵,例如柠檬酸发酵。

反硝化细菌是属于混合类型的细菌,它兼具好气与嫌气生存的能力。它们的特点在于在嫌气生存的条件下,在相伴的氧化还原过程中,它们能利用有机物质和硝酸盐类。

实际上反硝化细菌亦能够更正确的列为氧化性微生物。它们不能进行发酵,因为它们要求外来的受氢体,但是这类微生物具有这样的特点,即它的受氢体可以不单是游离的氧,而且硝酸盐类的化合态氧也可以作为受氢体,随着条件的不同而决定它们究竟利用那一种受氢体。不仅是能够氧化有机物,而且还能氧化分子态氮的有机体——氮细菌对于受氢体更不严格。如 М. И. Беляева 氏 (1954) 所指出的,这些细菌随着它们所处的条件不同而能够利用 O_2 , NO_3 , S , CO 和 CO_2 等作为受氢体。

在微生物中常遇到利用 CO_2 作为氧化有机物的受氢体。例如所发现的以二氧化碳的氮来氧化有机酸的细菌类群 (Barker, 1949) 即属之。

当我们估计到微生物界全部多种多样的物质转变时,应该认为在基本上我们对每一物质转化都有了一个概念。有些过程研究得较为细致,例如酒精发酵。而某些过程还只是或多或少概括地提出,然而我们已经进入了能够从认识这些过程转到企图控制这些过程的时候。

晚近更企图改变许多过程的进程,来提供对过程本身机制的认识。引证 Neuberger 氏的工作 (参见第七章) 已经足够了。他选定干扰正常发酵过程作为研究发酵机制的原则,以便观察正常发酵过程的变化。

В. Л. Омелянский 氏在 1926 年就已经强调提出了控制代谢问题的迫切性。Омелянский 氏在引述了 Neuberger 氏用加入亚硫酸盐使酒精发酵改变为甘油发酵的路线后指出,发酵过程通路的类似的改变,在微生物学的发展中是十分有希望的方向。

В. Н. Шапошников 氏已经多年的坚持宣传了这一观念,然而这种观念还没有成为微生物学的主要问题。

微生物学过程的多样性，直到现在还是在多少偶然取得的环境中或在或多或少偶然的条件下表现出来。这样就不能得出微生物一定的过程(控制这一过程是困难的)与发育条件间的规律性联系的概念。

然而许多事实证明物质的转变过程，在外界条件影响下，很容易受到扰动。众所周知的改变酵母菌的培养条件，能够使生物学活性引向不同的方向。在提供丰富氧的条件下，我们就能得到大量酵母菌体(这方面是酵母工厂工作的基础)，而在氧不足而供给丰富的糖的情况下，则就积累酒精(犹如酒精工厂所进行的工作)。在增加了重亚硫酸盐的情况下，就能获得甘油的高产量(在第一次世界大战期间，在德国就以这一方法取得甘油)。

众所周知，丙酮丁醇细菌在酸性培养基内(细菌本身酸化培养基)，积累了中性产物，如乙醇，丁醇和丙酮等。而在用碳酸钙中和时，则有酸积累。还可以举出若干类似的例子。

这些事实证明了微生物是多么地易变，以及在实际中的重要过程，即发酵过程和土壤过程中，研究实现改变物质转化的可能性是很有希望的。

现在我们能够提出怎样的控制新陈代谢的方法呢？

改变外界环境条件，能够改变新陈代谢的过程。

外界环境因素是十分多种多样的，首先能源的数量与质量，营养条件(如碳水化合物，氮，维生素，微量元素)等等都具有决定性的意义，而这些条件对每一种微生物来说都有其独特性，应该个别地加以专门的研究。

另一方面，还存在着更加广泛的外界环境条件。例如培养基的化学性质与物理性质——酸性(pH)，氧化还原条件(rH_2)，温度，光照，渗透压力等等。这些因素影响着所有微生物的生命活动过程。

所以我们提出，假如要提出研究控制物质代谢过程的规律性的任务，那么正确地将从研究这些一般的因素开始。

应首先偏重哪些因素和从何开始研究呢？

对控制生化活性起作用的重要因素之一就是氧化还原反应的轉換。这些反应也是物质轉化的中心，所以在物质轉化上所起的作用最为深远。

假如我們从电子轉移的观点来提出物质的轉化，那么新陈代谢反应和氧化还原条件間的联系，就显得是明显的。

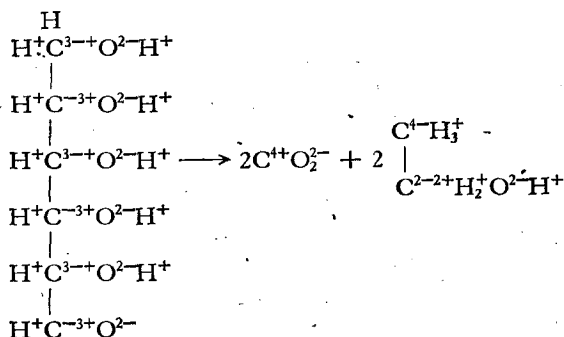
在 E. E. Успенский 的研究中¹⁾，电子的概念获得了值得注意的发展，他把电子的概念用到微生物的生化变化中去。

有机化学的中心物质——碳——能够以电子的方程式表示出来，二氧化碳在完全氧化的状态下，碳传递所有本身的价电子給氧，因而成为具有四个阳电荷的载体，而取得碳的电子的氧，則带有阴电荷。如 $C^{4+}O_2^{2-}$ 。

甲烷在完全被还原的情况下，碳本身不仅完全保持电子，而且还取得四个氢原子的电子，所以就成为带有四个阴电荷的载体。如 $C^{4-}H_4^{+}$ 。

在糖內部分碳原子处于較強的氧化状态，而部分碳原子則处于較弱的氧化状态。

有可能若干原子被彻底氧化，而这一过程伴随着引起另外一部分原子被完全还原和放出在发酵作用时被利用的一定量的能量。例如酒精发酵可以下列形式来表示：



同时电子的轉移引起了浸沉在溶液中的呆性电极产生电位

1) 国立莫斯科大学讲稿(未发表)，1933年。

势,这就是氧化还原电位。由此可见,在培养基中进行的氧化还原反应和培养基的氧化还原电位之间应存在着紧密的联系。

以改变氧化还原条件的过程来影响新陈代谢是很有前途的方法,因为用这样的方法能够影响基本的反应。但是为了研究任何一种因素的作用,就应善于表示出它的量来。我们能够通过 pH 来很好地和完全地表示出酸性或碱性的数量。至于氧化还原条件,则完全不明确。通常在微生物学中区别为好气的条件与嫌气的条件,然而这个术语是很不确切的。好气性的条件是指培养基与空气相接触的条件。但是假如在培养基中含有还原剂,那末甚至培养基在与空气接触时,条件也会成为十分非好气性。而在这种条件下,嫌气性微生物能够在其中生活。另一方面,假如在培养基内含有氧化剂——受氢体,那么在該培养基中虽然没有空气进入,而好气性微生物也能够生存。

氧化还原电位表示氧化还原条件的数量大小。在化学中它通常用伏特数表示和用浸在被试验的液体中的电极所发生的电压表示。它同样能够通过 rH_2 的指数来表示。说明氢氧平衡性质的这种数值,是完全类似于 pH 的氢指标。pH 是说明 H^+ 和 OH^- 之间的比例关系,而 rH_2 则是说明 H_2 和 O_2 之间的比例关系的。 H_2 和 O_2 之间存在着怎样的比例关系是与培养基中含有的氧化剂和还原剂有关联的。而 rH_2 说明了总的氧化还原情况——电子转移的强度。 rH_2 能提供出溶液的氧化还原的特性。在 rH_2 从 0 到 40 的范围内,用以表示培养基的氧化性和还原性的整个水平,即从培养基为氢所饱和一直到为氧所饱和都可以表示出来。

关于氧化还原电位的概念很早就存在于物理化学中。在二十年代中这一概念也出现于生物学中,在这些年代中,这一概念引起了生物学家很大的兴趣,随即进行了在小动物、植物和微生物有机体所定居的环境和细胞内的氧化还原条件的大量的研究。但是经过了十五年,看来学者们难于解释他们所获得的数字资料,因此,这种兴趣就渐渐消失了。

我们感到在解释这些数字的时候,应该考虑到表示通气程度

的 rH_2 乃是氧化还原状况的数量上的尺度。这样的尺度直到现在微生物学中并没有做到，其实关于好气性与嫌气性的概念暂且还只具有质的性质，而量的表示则尚欠缺。

糖具有能在环境氧化性和还原性极其多种多样的时候放出能量的特性。在强烈的氧化条件下，在有游离氧存在时，糖本身被氧化，并释放出含在糖内的最大量的能量。而在没有空气进入的还原条件下，糖能够作为在分子内部电子转移的时候获得能量的源泉。微生物有能够利用糖类和与糖类似的物质的这一特性，对微生物来讲，碳水化合物是微生物发育最适合的基质，随着氧的存在与否，糖的分解将带有一定的特性。而氧的存在与否可用 rH_2 值的大小定量地表示出来。

Wurmser 氏 (1926) 首先考虑到这个情况，他在各种不同的 rH_2 情况下，对葡萄糖燃烧的热量绘制了图表（见图 1）。

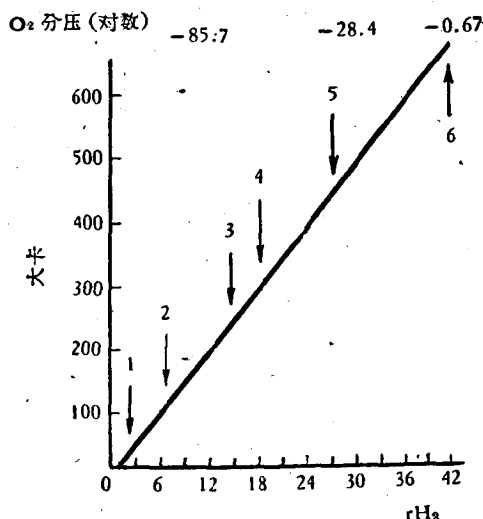


图 1 葡萄糖分解时所释放的能量与 rH_2 的关系 (引自 Wurmser)

1. 细菌悬浮液；2. 嫌气微生物细胞内条件；3. 植物细胞的细胞内条件；4. 动物细胞的细胞内条件；5. 水蒸汽；6. 大气压。

假如在空气自由进入而葡萄糖完全烧尽的时候放出 674 卡能

量,那末在 $rH_2 = 17$ (是指細胞內的 rH_2 值)时我們得到的已不是 674 卡,而是 240 卡。在这些条件下,对具有相应催化剂的微生物說来,不是氧化葡萄糖,而是以某种方式发酵葡萄糖更为經濟。

由此可看出随着 rH_2 的变化,某一些过程可以实现,而另一些过程則不可能进行。

由此可見, rH_2 乃是外界环境的重要条件之一,它决定了物质代謝过程进行的方向。无疑地,当我们改变了 rH_2 的大小,就可以影响新陈代谢的过程,并在某种程度上控制这一过程。

借助于 rH_2 来控制新陈代谢的思想首先为 E. E. Успенский 氏 (1936) 所发表。在他的领导下首先研究了在人工改变氧化还原条件时对某些微生物的新陈代谢发生怎样的变动 (Кузнецов, 1932, 参見第七章)。

其次,有效酸度 (pH) 是重要的因素,它对新陈代谢过程的变动,起着十分重要的扰动作用。酶的活力与 pH 有关,同样的新陈代谢中間产物的分解以及它进一步轉化的途径也与 pH 有关。

新陈代谢过程与 pH 的相对联系的观察已有所进行,将在下面进一步討論。

本书力图統一所有已有的有关闡述控制 pH 和氧化还原电位以有意識地改变代謝过程通路的可能性的材料,而 pH 和 rH_2 是最值得研究的环境因素。

其他的一般外界环境因素,如温度,光,渗透压以及其他因素研究得如此貧乏,以至于現在关于这些因素作用强度和特性,我們还无法构成概念。显然只有个别的例子証明了这些因子对微生物生化活性影响的研究的开拓性。

如 A. Я. Мантейфель 氏和 В. Я. Антышева 氏 (1935) 在丙酮丁醇发酵的例子中証明了改变培养基的温度能引起发酵产物間相互比例很大的变动。发酵温度愈低,則形成丁醇愈多。当温度在 20—25°C 时丁醇的产量为 12—13 克/升,而在 40°C 时,則为 7 克/升,在这时丁醇与丙酮等量形成。在研究这样的发酵时,我們亦观察到相似的现象,并且表明培养温度变化于 5—6°C 的范围