

# 微生物的能量利用率

徐文玉

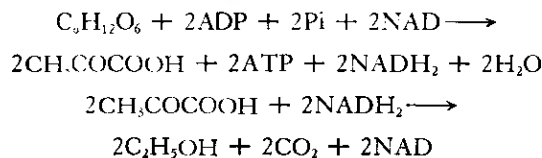
(华侨大学化工系, 福建泉州)

微生物吸收的营养物质, 既可供微生物合成细胞组分或代谢产物, 又可提供生命过程所需的能量。营养物质经细胞分解之后放出能量, 满足生长发育的需要。不过, 营养物质所含能量, 在分解时, 或者全部放出, 或者部分放出, 或者根本不放出。在前两种情况下, 细胞都不可能百分之百地利用所放出的能量, 在后一种情况下, 细胞根本没有获得能量。因此, 微生物学上将细胞利用营养物质所放出能量的百分数称为能量利用率。能量利用率是微生物呼吸理论中的重要问题之一。

物质的放能作用因氧化程度不同而异。发酵对基质不可能实现完全氧化, 故只放出部分能量, 其余能量保留在发酵产物中。有氧呼吸的完全氧化可将基质彻底氧化为二氧化碳和水, 故完全放能; 有氧呼吸的不完全氧化只部分地氧化基质, 故只部分地放能。

## 一、发酵作用的效率

以酒精发酵为例说明。酒精发酵的反应式可简化如下:



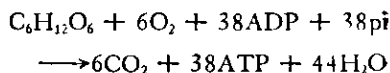
葡萄糖经酒精发酵后, 每克分子放出 56.5 千卡的能量, 净产生 2 克分子 ATP, 所以能量的利用率为:

$$\frac{2 \times 7.3}{56.5} \times 100\% = 26\%$$

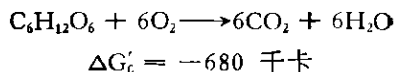
其余的 41.9 千卡呈热形式放出。

## 二、有氧呼吸完全氧化的效率

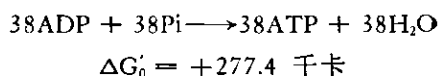
以葡萄糖完全氧化为例说明。葡萄糖完全氧化的总反应式为:



这个总反应式实际上分为放能反应:



和吸能反应:



因此, ATP 固定能量的效率为:

$$\frac{277.4}{680} \times 100\% = 40\%$$

其余的 402.6 千卡以热形式释出。

## 三、有氧呼吸不完全氧化的效率

以柠檬酸发酵为例说明<sup>[1]</sup>。黑曲霉 (*Aspergillus niger*) 在糖蜜和其它含糖培养液中深层或浅层发酵时, 柠檬酸的产量可达所利用糖的 60—70%, 细胞所利用的糖只占 30—40%。另外, 在极端情况下, 在不完全氧化时, 被氧化的基质完全不转化为细胞物质, 这种氧化作用是对细胞毫无用处的酶促反应, 能量利用率为零。

在自然界中, 微生物的能量利用率虽然不是最高的, 但也算比较高的。世界上利用能量最高的装置是光电池, 效率几乎达 100%<sup>[2]</sup>。最精良的内燃机的能量利用率为 40%。其它过程的能量利用率都不如微生物的高。例如, 日光灯的为 20%, 蒸汽机的为 8%, 普通灯泡的为 5%。微生物的能量利用率较高是在长期进化过程中获得的。在微生物中, 能量利用率高高低因呼吸类型不同而异。一般说来, 有氧呼吸的能量利用率高于无氧呼吸。

研究微生物的能量利用率有着重要的实践和理论意义。

由于发酵作用可把部分基质的能量转化为

发酵产品的能量,在发酵液中积累有价值的终产物,所以为发酵工业奠定了可靠的物质基础。例如<sup>[3]</sup>,在丙酮丁醇发酵中,葡萄糖的能量有97%转化为丙酮丁醇的能量,细胞所利用的能量和发酵产生的热低于5%。酵母进行酒精发酵时,可将葡萄糖中92%的能量转化为乙醇的能量,细胞利用2%的能量,热散失6%。再如<sup>[4]</sup>,运动发酵单胞菌(*Zymomonas mobilis*)在含10—20%葡萄糖的培养液中进行酒精发酵时,可由1.0克分子葡萄糖生成1.9克分子乙醇,为理论值的96%,比酵母高。又如<sup>[2]</sup>,甲烷发酵时将基质90%的能量转化为甲烷的能量,细胞只利用10%的能量。据报道<sup>[1]</sup>,戴氏乳杆菌(*Lactobacillus delbrüllus*)在糖蜜、淀粉水解液中无氧深层发酵7—10天,可由被发酵的糖合成85—90%的乳酸。正是发酵作用积累大量的发酵产物,才有近代庞大的发酵工业。

由于不完全氧化的能量利用率,或者不高,或者为零,因此也同发酵一样,可积累大量的被氧化终产物。据报道,绝大多数不完全氧化的产物得率达90—100%。这种氧化作用的实例很多,在发酵工业上占有相当重要的地位。最熟知最古老的不完全氧化是由弱氧化葡萄糖杆菌(*Gluconobacter suboxydans*)实现的将乙醇氧化成醋酸,得率达100%。此外<sup>[5]</sup>,黑曲霉将L-酪氨酸氧化成L-多巴、*Pseudomonas mildenbergii*将葡萄糖氧化成2-酮葡萄糖酸,产率也都为100%。弱氧化葡萄糖杆菌将山梨醇氧化成山梨糖的产率为98%。黑根霉(*Rhizopus nigricans*)将黄体酮转化成11 $\alpha$ -羟基黄体酮,弱氧化葡萄糖杆菌将葡萄糖氧化成5-酮葡萄糖酸,产率为90%。在工业上,人们利用不完全氧化作用来高效率地生产某些珍贵的产品。这种工艺也叫做生物转化作用。

需氧菌比厌氧菌能量利用率高,说明前者比后者更为进化,更具有生存优势。

从生物进化的进程说,厌氧生物先诞生,需

氧生物后出现。大约在30—40亿年前,由于大气层中几乎没有氧气,所以地球上最初出现的生物一定是不需氧的异养菌,通过发酵取得生长所需的能量。这可由1977年10月美国学者在南非34亿年前古老堆积岩中发现了沿着有机质丰富面分布的200多个古细胞化石中得到证实。大约在15亿年以前,由于大气层中已积累了一定浓度的氧气,所以才出现了需氧性的细菌,借助有氧呼吸取得生长所需的能量。随着大气层中氧气浓度的不断增加,地球上才先后产生各种进行有氧呼吸的多细胞生物。

从生物代谢的特征看,不需氧生物是低等的,需氧生物是高等的。生物种类不同,所要求的能源各异。光合细菌和绿色植物生长所需的能量来自太阳光的量子能,化能自养菌生长所需的能量来自无机物的氧化,化能异养菌和动物生长所需的能量来自有机物的氧化。多数生物细胞通过氧化有机物取得能量。在不需氧生物中,有机物氧化不彻底,获得的能量少;在需氧生物中,有机物氧化彻底,获得的能量多。如上所述,不需氧生物氧化1克分子葡萄糖时,只能获得14.6千卡能量,而需氧生物氧化1克分子葡萄糖时,则可获得277.4千卡能量。总之,在氧化等量的葡萄糖时,需氧生物利用化学能的本领比不需氧生物高约20倍,表现出显著的生存优势。

## 参 考 文 献

- [1] Л. С. Губницкий и др.: *Прикладная Биохимия и Микробиология*, 17 (6): 797, 1981.
- [2] Higgins, J. et al.: *Microbial. Technology, Current State, Future Prospects*, Cambridge University Press, p. 359—377, 1979.
- [3] Lenz, T. G. et al.: *Ind. Eng. Chem. Prod. Dev.*, 19: 478—483, 1980.
- [4] 陈驹声: *化学通报*, 12: 1—6, 1983.
- [5] Demain, A. L.: *Essays in Applied Microbiology* (Eds. J. R. Norris et al.), John Wiley and Sons, p. 1/1—1/31, 1981.