

红茶菌的糖代谢

包启安

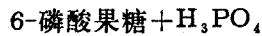
红茶菌又名海宝，最近其培养液已成为很多人所熟悉的清凉饮料。早在1951年我国微生物学家方心芳先生对海宝进行了检索和鉴定，在《黄海》12卷5期《海宝是什么》一文中指出海宝是胶醋酸菌（*Acetobacter xylinum*）和酵母的共生体，当时并分离出两种酵母，一种是接合酵母（*Zygosaccharomyces*），现已归入了 *Saccharomyces* 属，另一种可能是克氏酵母（*Kloeckera*），都能发酵蔗糖生成酒精。并指出：胶醋酸菌有微弱转化蔗糖的功能，具有可将葡萄糖氧化成葡萄糖酸、酮葡萄糖酸的特性，与酵母共生时生膜更为旺盛。

胶醋酸菌（*A. Xylinum*）为1886年 A. J. Brown 从啤酒分离出的一种醋酸菌而闻名于世。它可以氧化醋酸成 CO_2 和 H_2O ，因之，仍把它划入醋酸菌属（*Acetobacter*）。从形态上讲，它在液面上结成像皮膜样的厚膜，与其他醋酸菌很容易区别。另外有一个很重要的特性，能很好地把葡萄糖氧化成葡萄糖酸，2-酮葡萄糖酸、5-酮葡萄糖酸。因此，海宝培养液的酸味柔和而别具风格，与氧化乙醇生成的醋酸的风味截然不同。从这一性能来讲，它是很接近葡萄糖细菌属（*Gluconobacter*）的。其糖代谢能在无氧条件下利用葡萄糖或果糖进行厌氧发酵产生醋酸及乳酸。它的糖降解途径不同于醋酸菌属（*Acetobacter*），这类菌是在氧存在条件下氧化乙醇而生成醋酸的。目前我国固态或液态制醋工业就是利用这类醋酸菌进行制醋的。但是，我国东北辽宁、山东滨海地区广大农村就有用糖水和极少量酒培养胶醋酸菌制醋的习惯，他们的经验是“新鲜井水，封缸憋醋”，封缸两个月缸内就结成很厚的皮

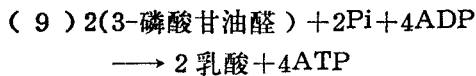
膜，成品气味芳香，滋味柔和，与一般好气性醋酸菌酿成食醋的风味大不相同。当地农民在夏季用来作清凉饮料，据说头疼脑热时饮后即可痊愈。目前有人曾把红茶菌在封闭不供给氧条件下进行培养试验，结果产酸的时间也并不慢，而且还能很好地增殖，发酵液滋味柔和，具有果香，风味良好。据此，从产膜、无氧发酵，能生成较多葡萄糖酸等特性来看是与方心芳先生的鉴定相吻合。

胶醋酸菌利用葡萄糖进行无氧发酵生成醋酸和乳酸是属于单磷酸己糖（HMP）途径的，其全部反应过程如下：

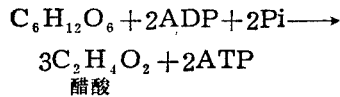
- (1) 葡萄糖 $\xrightarrow{\text{ATP}}$ 6-磷酸葡萄糖
 $\rightleftharpoons$ 6-磷酸果糖
- (2) 6-磷酸果糖 + $\text{H}_3\text{PO}_4 \longrightarrow$
 4-磷酸赤藓糖 + 乙酰磷酸 + H_2O
- (3) 4-磷酸赤藓糖 + 6-磷酸果糖 $\xrightarrow{\text{转醛酶}}$
 7-磷酸景天庚酮糖 + 3-磷酸甘油醛
- (4) 7-磷酸景天庚酮糖
 + 3-磷酸甘油醛 $\xrightarrow{\text{转酮酶}}$
 5-磷酸核糖 + 5-磷酸木酮糖
- (5) 5-磷酸核糖 $\longrightarrow$ 5-磷酸木酮糖
- (6) $2(5\text{-磷酸木酮糖}) + 2\text{H}_3\text{PO}_4 \longrightarrow$
 $2(3\text{-磷酸甘油醛}) + 2\text{乙酰磷酸} + 2\text{H}_2\text{O}$
- (7) $3\text{乙酰磷酸} + 3\text{ADP} \longrightarrow$
 $3\text{醋酸} + 3\text{ADP}$
- (8) $2(3\text{-磷酸甘油醛}) \longrightarrow$
 $1.6\text{-二磷酸果糖} \longrightarrow$



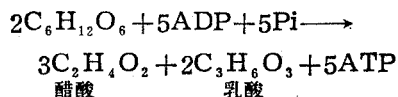
或



总反应式:



或



由上述反应可以看出: 胶醋酸菌进行醋酸发酵时, 一开始就是单磷酸己糖(6-磷酸葡萄糖)的2, 4位碳原子裂解, 生成2个碳原子的乙酰磷酸和4-磷酸赤藓糖的丁糖。由于没有6-磷酸葡萄糖脱氢酶, 而有转醛酶和转酮酶, 按反应式(3)(4)生成5-磷酸木酮糖。5-磷酸木酮糖在磷酸解酮酶的催化下, 进行2, 3位碳原子裂解生成乙酰磷酸及3-磷酸甘油醛。乙酰磷酸再生成乙酸(7); 3-磷酸甘油醛则按反应式(8)合成己糖或按反应(9)沿EMP通路的后部分转化为乳酸, 同时产生4ATP。

根据日本山田氏的研究, 胶醋酸菌的厚皮膜是类似纤维素的多糖物质, 经过x射线解析其胶膜, 与棉花的纤维素非常一致。在葡萄糖0.7%、2%酵母浸出液、0.1%KH₂PO₄, PH 6.0的培养基上接种胶醋酸菌(A.xylinum) ATCC 12733, 在30°C、表面积/容积=0.7, 培养20日, 得到对基质葡萄糖产量达40%的纤维素皮膜。培养基必须是糖类或多元醇, 如果是单一碳源的酒精则不能起作用, 添酒精于糖类基质, 可以促进增殖, 皮膜的收率也要提高。因此有人提出以经济的原料如废糖蜜或硫化纸浆废液, 进行静置培养以得到大量皮膜, 作牛饲料的设想。

根据方心芳先生的研究, 胶醋酸菌有微弱转化蔗糖的性能。因而用蔗糖培养红茶菌时, 蔗糖转化成葡萄糖及果糖主要是依靠酵母转化酶的作用, 而后胶醋酸菌就可以利用这些单糖

进行糖的代谢, 生成醋酸、乳酸以及葡萄糖酸等, 于是pH下降, 这样可以防止其它有害菌的繁殖, 同时也促进了酵母的繁殖。酵母除利用其本身所分解的一部分单糖作为能源外, 进行酒精发酵生成酒精。胶醋酸菌又可将其变成醋酸。酵母的许多代谢产物和菌体自溶产物又构成了胶醋酸菌生长、活动的营养物质。酵母的酒精发酵及胶醋酸菌的醋酸发酵均在无氧条件下圆滑地进行。胶醋酸菌所形成的纤维素膜就成为适合于其本身及酵母繁殖的良好界面。所以这种皮膜实际是纤维素加菌体, 它是胶醋酸菌和酵母生长、繁殖、代谢的场所。因此在培养红茶菌时, 首先要给予最优条件, 促使早日完成皮膜的形成、总括以上胶醋酸菌和酵母之间是一种互利共生关系。

酵母除进行酒精发酵外, 还有酯化反应产生乙酸或乳酸等的乙酯, 发酵好的培养液就常常具有果香气味。另外酵母还利用发酵液中的氨基酸或碳水化合物进行高级醇的合成, 构成了发酵液的香气成分, 这些香气成分是相当复杂的, 有时明显地有茶叶的香气, 所以红茶菌培养液的香气除了主要来自微生物的发酵产物外, 还有来自原料方面。

作者根据前人研究, 从理论上的论断, 结合一些初步摸索性试验, 提出了HMP通路是其主糖代谢途径, 这对红茶菌的工业培养以及用胶醋酸菌生产食醋的研究可能有些参考价值。

主要参考文献

- 方心芳:《海宝是什么》黄海、12、5、(1951)
- 俞大维:《微生物学》中国科学出版社 1965
- 柳田:日本醸造協会雑誌67、876、(1972)
- G.D.Brown, C.Rainbow, J.Gen.Microbiol, 15, 61(1956)
- G.D.Brown, et al, J.Gen. Microbiol, 9, 371(1953)
- 朝井勇直:日本農芸化学会誌, 11.674(1935)
- T.Asai, "Acetic Acid, Bacteria" Univ. Tokyo Press, 1968.
- J.Deley, J.Gen.Microbiol, 24, 31(1961).