



Intense sweeteners

高效甜味剂

郑建仙 主编



中国轻工业出版社

Intense sweeteners

食品添加剂丛书
国家自然科学基金资助项目

高效甜味剂

Intense Sweeteners

郑建仙 主编



中国轻工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

高效甜味剂/郑建仙主编. —北京: 中国轻工业出版社,
2009. 1

ISBN 978-7-5019-6511-3

I. 高… II. 郑… III. 甜味剂 IV. TS264.9

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 095784 号

责任编辑: 李亦兵 责任终审: 张乃柬 封面设计: 灵思舞意·刘微
版式设计: 王超男 责任校对: 李靖 责任监印: 胡兵 张可

出版发行: 中国轻工业出版社 (北京东长安街 6 号, 邮编: 100740)

印刷: 三河市世纪兴源印刷有限公司

经销: 各地新华书店

版次: 2009 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

开本: 720 × 1000 1/16 印张: 25.5

字数: 495 千字

书号: ISBN 978-7-5019-6511-3/TS · 3798 定价: 52.00 元

读者服务部邮购热线电话: 010-65241695 85111729 传真: 85111730

发行电话: 010-85119845 65128898 传真: 85113293

网址: <http://www.chlip.com.cn>

Email: club@chlip.com.cn

如发现图书残缺请直接与我社读者服务部联系调换

70396K1X101ZBW

《高效甜味剂》编委会

主 编：郑建仙

编 委：郑建仙 耿立萍 谢拥葵 谢 玲 林 羨 高绍川 黄寿恩
姜 土 曹 中 林 飞 朱海霞 贾呈祥（排名不分先后）

编著分工：

郑建仙 第1~6章大部分内容

耿立萍 第3章第1~2节，第6章第1~4节

谢拥葵 第6章第1~4节

谢 玲 第6章第1~4节

林 羨 第5章第2~6节，第6章第1~3节生产部分，第1章中甜蛋白的作用机理

高绍川 第4章第1~2节

黄寿恩 第3章第1~2节

姜 土 第2章第2节有关纽甜的毒理学分析

曹 中 第2章第2~3节有关纽甜、阿力甜的生产技术

林 飞 第2章第2节大部分

朱海霞 第5章第1~4节有关高效甜蛋白的基因工程法生产技术

贾呈祥 第3章第2节有关蔗糖衍生物的分子识别

全书由郑建仙统稿审定

前 言

蔗糖是甜味之王，为食品工业的大宗原料之一，除提供纯正怡人的甜味刺激及 16.7kJ/g 的高能量外，还给食品配料系统提供适宜的黏度、质构和体积，并有一定的防腐抗菌特性。然而，蔗糖摄入量过多被认为是一个重要的不健康因子。不管是发达国家还是发展中国家，在其提出的“国民健康指南”中，无一例外地劝告国民限制对蔗糖的摄入。现代消费者对食品中的蔗糖含量甚为敏感，但又向往那愉快的、纯正的甜味刺激，无法适应单纯的减糖或无糖食品。蔗糖，可谓让人感到“口欲、健康难两全”。不少人因此望糖生畏，避而远之。高效甜味剂，正是这对矛盾的调和者。

除此之外，目前国内外已发展的不少高效甜味剂，由于单位甜度成本大大低于蔗糖，出于降低生产成本的需要，在现代食品工业中也有重要的地位。

高效甜味剂 (Intense sweeteners) 的单位质量相对甜度一般都在蔗糖的几十倍以上，很多都是几百倍，有的能达到几千倍、几万倍以上。其基本特征是单位甜度成本低，低能量或无能量，非龋齿或抗龋齿，可供特殊营养群（如肥胖症、糖尿病患者）食用。近年来，随着我国经济的迅速发展和人民生活水平的不断提高，对高效甜味剂的需求量日益增加，市场前景十分广阔，只是对它进行认真的科学研究还为数不多，为时不久。

高效甜味剂的优点，集中体现在：

① 化学性质稳定，耐热、酸和碱，不易出现分解失效现象，故使用范围比较广泛。

② 不参与机体代谢。多数高效甜味剂经口摄入后原原本本地排出体外，不提供能量，适合糖尿病人、肥胖症人和老年人等特殊营养消费群使用。

③ 甜度较高，一般都在蔗糖甜度的 50 倍以上。

④ 价格便宜，等甜度条件下的价格均低于蔗糖。

⑤ 不是口腔微生物的合适作用底物，不会引起牙齿龋变。

高效甜味剂的缺点，集中体现在：

① 甜味不够纯正，带有苦后味或金属异味，甜味特性与蔗糖还有一定的差距。

② 人工合成的高效甜味剂不是食物的天然成分，或多或少存在着食用安全性方面的疑问，让人无法放心大胆地使用，即使是经严格毒理实验证实安全无毒的产品，终究会因是人工合成品而给人一种“不安全”的感觉。

开发高效甜味剂任重道远，前途光明，近些年来备受关注，发展迅速。人们

寄希望于它在促进人体自身健康、促进传统食品工业的高新技术改造、促进廉价农副产品的高附加值转化等方面,发挥重要的作用。为系统总结本领域的最新科技成果,主编邀请了11位科技工作者加盟,经过一年多的辛勤努力,共同编著了这部新著。

由于本领域的发展日新月异,为了尽可能反映当今国际的研究全貌和技术水准,作者利用国际互联网技术广泛参考了国外同行最新的研究文献。本书所描述的科学原理、所列举的研究数据和图表、所概括的科学结论,来自全世界的研究工作。作者谨向所有为本书积累原始素材的学者们,致以崇高的敬意!

在过去的十年时间内,我们开展了多项有关高效甜味剂的科研项目,并得到了国家自然科学基金委员会(项目编号:29906003和20576044)、广州市科学技术局(项目编号:98-K-008-01)的鼎力资助,在此表示诚挚的谢意!对联合进行科技攻关与技术开发的合作公司,表示真诚的感谢!对中国轻工业出版社和李亦兵先生长期以来的鼎力支持,表示衷心的感谢!对参加编著的各位作者,表示由衷的感谢!

不妥之处,敬请致电86-20-87112278或E-mail: fejsxzhen@scut.edu.cn,批评指正。

郑建仙 主编

2008年3月28日

于华南理工大学

目 录

第一章 甜味与甜味剂理论	(1)
一、甜味味觉的生理学基础	(1)
二、AH、B、X 甜味理论	(2)
三、多点结合甜味理论	(16)
四、甜受体	(21)
五、甜分子与甜受体之间的相互作用	(23)
六、甜蛋白的作用机理	(26)
七、基本味之间的相互作用	(35)
八、甜味强度的定量测定	(36)
九、复合甜味剂及其协同增效作用	(38)
第二章 高效甜味肽	(41)
第一节 阿斯巴甜	(42)
一、阿斯巴甜的物化特性	(42)
二、阿斯巴甜的甜味特性	(48)
三、阿斯巴甜的化学合成技术	(51)
四、阿斯巴甜的酶法合成技术	(54)
五、利用固定化酶法合成阿斯巴甜	(60)
六、利用基因工程法合成阿斯巴甜	(68)
七、阿斯巴甜的安全毒理学分析	(70)
八、阿斯巴甜的应用	(78)
第二节 纽甜	(81)
一、纽甜的化学结构	(83)
二、纽甜的物化性质	(84)
三、纽甜的甜味特性	(89)
四、纽甜的生产技术	(94)
五、纽甜的安全毒理学分析	(99)
六、纽甜的应用	(110)
第三节 阿力甜	(112)
一、阿力甜的化学结构与甜味特性	(112)
二、阿力甜的物理性质和化学性质	(113)
三、阿力甜的化学合成技术	(116)

四、阿力甜的安全毒理学分析	(122)
五、阿力甜的应用	(124)
第四节 高效甜味肽的进展	(124)
一、二肽甜味剂的基础研究	(125)
二、新型二肽同型物	(133)
三、甜二肽的分子模型	(147)
四、甜二肽分子结构的可变性	(153)
五、高效甜味肽的分子基础与构效关系	(154)
第三章 蔗糖衍生物	(158)
第一节 三氯蔗糖	(158)
一、三氯蔗糖的物化性质	(158)
二、三氯蔗糖的甜味特性和非致龋齿特性	(163)
三、三氯蔗糖的生产技术	(165)
四、利用全基团保护法生产三氯蔗糖	(168)
五、利用单基团保护法制备三氯蔗糖	(178)
六、利用双酶-化学联合法生产三氯蔗糖	(185)
七、利用棉籽糖水解法酶法生产三氯蔗糖	(189)
八、三氯蔗糖的安全毒理学分析	(194)
九、三氯蔗糖的应用	(194)
第二节 蔗糖衍生物的进展	(197)
一、蔗糖的甜味理论	(197)
二、蔗糖的酯化、醚化和脱氧化衍生物	(199)
三、蔗糖的氯代衍生物	(200)
四、三氯蔗糖的甜味分子识别	(207)
五、蔗糖衍生物的甜味机理	(213)
六、蔗糖衍生物构效关系的研究	(217)
第四章 高效糖苷	(222)
第一节 甜菊苷	(223)
一、甜叶菊的甜味成分	(223)
二、甜菊苷的物化性质和甜味特性	(224)
三、甜菊苷的生产技术	(227)
四、利用环糊精葡萄糖基转移酶改性甜菊苷	(231)
五、甜菊苷的安全毒理学分析	(237)
六、甜菊苷的应用	(241)
第二节 甜菊双糖苷	(242)
一、甜菊双糖苷的甜味特性与物化性质	(242)

二、甜菊双糖苷的生产技术	(244)
三、利用 β -呋喃果糖苷酶改性甜菊双糖苷	(246)
四、甜菊双糖苷的安全毒理学分析	(254)
五、甜菊双糖苷的应用	(254)
第三节 二氢查耳酮	(254)
一、二氢查耳酮的种类、来源与结构	(255)
二、二氢查耳酮的甜味特性与物化性质	(258)
三、二氢查耳酮的生产技术	(260)
四、二氢查耳酮的安全毒理学分析	(262)
五、二氢查耳酮的应用	(264)
第四节 甘草甜素	(265)
一、甘草甜素的化学结构	(265)
二、甘草甜素的安全毒理学分析	(267)
三、甘草甜素的药用价值	(268)
四、甘草甜素对口腔细菌和龋齿的影响	(271)
第五节 其他高效糖苷	(273)
一、甜叶悬钩子苷	(273)
二、罗汉果苷	(278)
三、甘茶甜素	(279)
四、白云参苷	(280)
五、甾族化合物皂角苷	(280)
六、二氢黄酮醇	(281)
七、倍半萜烯化合物	(282)
第五章 高效甜蛋白	(284)
第一节 嗦吗甜	(285)
一、嗦吗甜的化学结构	(285)
二、嗦吗甜的物化性质	(287)
三、嗦吗甜的甜味特性	(289)
四、嗦吗甜的风味增强特性	(292)
五、嗦吗甜的生产技术	(294)
六、利用啤酒酵母基因工程法生产嗦吗甜	(296)
七、利用泡盛曲霉基因工程法生产嗦吗甜	(301)
八、嗦吗甜的安全毒理学分析	(305)
九、嗦吗甜的应用	(307)
第二节 莫奈林	(309)
一、莫奈林的化学结构	(310)

二、莫奈林的物化性质	(313)
三、利用产脲假丝酵母生产莫奈林	(314)
四、其他基因工程法生产莫奈林	(324)
五、莫奈林的研究价值	(326)
第三节 奇异果素	(327)
一、奇异果素的化学结构	(327)
二、奇异果素的甜味及变味特性	(330)
三、奇异果素的作用机理	(331)
四、奇异果素的生产技术	(333)
五、奇异果素的商业化开发进程	(335)
第四节 Brazzein	(336)
一、Brazzein 的化学结构	(336)
二、Brazzein 的物化性质与甜味特性	(338)
三、利用生物技术法生产 Brazzein	(338)
四、Brazzein 的应用	(341)
第五节 仙茅蛋白和 Neoculin	(342)
一、仙茅蛋白的化学结构	(343)
二、仙茅蛋白的甜味与变味特性	(344)
三、Neoculin 的化学结构与晶体结构	(345)
四、Neoculin 的甜味与变味机理	(349)
五、Neoculin 的基因表达	(350)
第六节 马槟榔及其他	(351)
一、马槟榔	(351)
二、Pentadin	(353)
三、鸡蛋清溶菌酶	(353)
第六章 人工合成甜味剂	(354)
第一节 糖精	(355)
一、糖精的物化性质与甜味特性	(355)
二、糖精的生产技术	(360)
三、糖精的安全毒理学分析	(364)
四、糖精的应用	(368)
第二节 甜蜜素	(369)
一、甜蜜素的物化性质和甜味特性	(370)
二、甜蜜素的生产技术	(372)
三、甜蜜素的安全毒理学分析	(374)
四、甜蜜素的应用	(377)

第三节 安赛蜜	(378)
一、安赛蜜的物化性质与甜味特性	(380)
二、安赛蜜的生产技术	(384)
三、安赛蜜的安全毒理学分析	(387)
四、安赛蜜的应用	(388)
第四节 其他高效甜味剂	(389)
一、脘	(389)
二、脲衍生物	(390)
三、色氨酸衍生物	(390)
四、三卤代苯甲酰胺	(391)
五、苯胍基乙酸衍生物	(391)
参考文献	(392)

第一章 甜味与甜味剂理论

甜味是人类最喜爱的味觉刺激之一，是甜味化合物（甜味剂）与甜受体之间以一种特殊方式相互作用的结果。甜味与甜味剂理论主要包括甜味剂的化学本质与呈味机理、甜受体的化学本质与生理基础、甜味剂与甜受体的相互作用机理等内容。对这些基本原理的研究，有助于人们加深对甜味剂及甜味刺激内在本质的认识，最终达到自主地、有选择地人工设计或改良甜味化合物的目的。

一、甜味觉的生理学基础

在生物进化过程中，从原虫开始的化趋性至腔肠动物的化学感，再到鱼类、鸟类和哺乳动物，则分化为味觉、嗅觉和其他化学感，味觉遂成为动物择食的重要手段。对于绝大多数生物来说，味觉成了它们觅取食物的天性之一，也成了它们对外界分子识别的一种本领。诸如酸、苦味食物往往会遭到婴儿的拒绝，而甜香食物则受欢迎。生物之所以能延续 10 亿年而未灭绝，实与这种天赋的分子识别有关。当然，生物以味作为生存的自卫手段，是极有局限性的。作为高度文明的人类，不但早已摆脱了这种局限，而且还能有意识地加以利用。例如，现有糖精之类的人工甜味剂，就是能给予人们甜的味觉而被选择为蔗糖甜味的替代品。

人类的味觉主要是由舌头来感知的。人类舌面上长有众多的突起物，称之为乳头，乳头按其形状可分为四种，除丝状乳头外，其他三种乳头的名称与分布如图 1-1 所示。舌的不同部位对味的敏感性不同。一般舌头对甜味最敏感，当然这不是绝对的。舌头不同部位对味觉敏感性及五味归经区见图 1-1。

舌面上约有 50 万个香蕉形味细胞，每 40~60 个味细胞组成一个味蕾，味细胞顶端有微绒毛。一般成年人的味蕾数约有 9000 个，而婴儿的味蕾数可能要超过 1 万个。人的味受体即位于舌表面味蕾尖端的小孔道内，由手指形的微绒毛（ $0.2\mu\text{m} \times 2.0\mu\text{m}$ ）组成。味细胞的其余表面全为扁平而不与外界通透的沟状细胞包裹，故受体的微绒毛只有通过味蕾尖端小孔道才能与口中唾液接触。因此味刺激分子必须具有一定的水溶性，才能随唾液流入味蕾孔穴中，吸附于受体膜表面上而产生味觉。

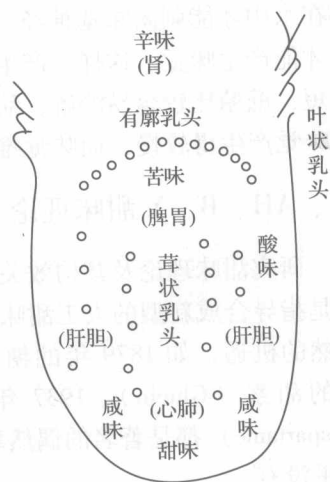


图 1-1 各种味觉在舌上最敏感的部位

正因为如此,唾液对味觉的引起关系甚大,如把一块十分干燥的糖块放在用滤纸擦干的舌表面是感觉不到任何甜味的。唾液是食物的天然溶剂,它是由三对大唾液腺(腮腺、颌下腺和舌下腺)和无数小唾液腺注入口腔中的。大唾液腺在分泌唾液中起着主要的作用。巴甫洛夫的实验证明,唾液分泌腺的活动在很大程度上与食物的种类相适应。唾液不仅能湿润和溶解食物,而且还有洗涤口腔的作用。洗涤口腔可使味蕾不再受其他物质的干扰,以达到更精确地辨认某种味觉。

人类味蕾在舌黏膜皱褶中的乳头侧面上分布最为稠密,因此当人们用舌头向硬腭上研磨食物时,味受体最易被兴奋起来。味细胞膜的主要成分是脂质、蛋白质、无机盐和少量的核酸,在模型膜不同的磷脂区上各有不同的“味觉”感应,但人们对此的了解还很不深入。甜受体的物质基础是蛋白质,苦受体可能与蛋白质也有关联。

实验证明,味觉从刺激味受体开始感觉到味,仅需 1.5 ~ 4.0ms,较视觉(13 ~ 45ms)快一个数量级,接近于直接由神经传导。其中,咸味的感觉最快,苦味的感觉最慢,甜味的感觉居中。对麻醉剂的麻醉反应是苦味消失最快,恢复最慢,酸味消失很慢,恢复最快,而甜味的反应仍居中。4% ~ 24% 酒精能增强甜味,用乙酰胆碱酶抑制剂处理舌头能增强酸味和咸味,但对甜味和苦味的影响不大。各种味觉同时存在时,彼此间会相互削弱。用硫醇或青霉素解除金属中毒时会降低或丧失味觉,而用铜、锌或镍盐却能增强或恢复味觉。

温度对味觉有影响,最能刺激味觉的温度在 10 ~ 40℃ 之间,其中以 30℃ 最为敏感。低于或高于此温度,各种味觉都会减弱,如甜味在 50℃ 以上时,其感觉显著迟钝。

味的强度还与水溶性有关。完全不溶于水的物质实际上是没有味的,只有溶解在水中才能刺激味觉神经。因此,甜味物质与舌表面接触时,需在舌表面溶解后才能产生味觉。这样,产生味觉的时间就有快有慢,而且味觉持续时间也有长有短,蔗糖比较容易溶解,甜味觉的产生较快,消失也较快;糖精较难溶解,因此味觉产生得较慢,而味觉维持时间却较长。

二、AH、B、X 甜味理论

研究甜味理论及其构效关系的目,不仅在于阐明甜味的呈味机理,更重要的是指导合成新型的人工甜味剂。近百年来,几种重要人工甜味剂的发现均出自偶然的机遇,如 1879 年的糖精(Saccharine)、1883 年的甘素(Dulcin)、1893 年的甜素(Glucin)、1937 年的甜蜜素(Cyclamate)和 1965 年的阿斯巴甜(Aspartame)都是著名的偶然事件,而通过精心设计而成功发现的人工甜味剂则几乎没有。

但是,这并不等于人们只能坐等这些机遇的到来。相反,在对甜味化合物的大量研究中发现,几乎每一种甜味分子的有机结构中都有可以被修饰而改善其性能

或指标的甜味分子结构。从这个意义上说,甜味剂分子是可以经过设计和修饰进而合成新型人工甜味剂的。然而,这项工作只有依赖于完善而明确的理论体系才能成功实现,这也正是 AH、B、X 甜味三角理论在食品工业中的现实意义所在。

此外, AH、B、X 甜味理论的应用也有助于人们对“相对甜味值”的更好理解。“相对甜味值”的突出优点是,它将所有甜味物质的全部甜味特性和一种标准甜味物质(通常是蔗糖)联系起来,并用一个具体的数值来表示,从而大大简化了对各种甜味剂的联系和比较。但值得注意的是,由于一个甜味剂的所有味觉属性被简单地组合成一个单独的“相对甜味值”来表示,也造成了其甜味本质与“相对甜味值”之间存在一定的差异。

(一) 历史回顾

早期,人们观察到 1, 2 - 亚乙基甘醇和甘油之类的无环多元醇具有甜味。这些简单的分子中包含与糖一致的结构特点,人们因此就很自然地推想到糖的甜度与分子内的羟基总数目有关。然而人们很快就认识到,含有相同羟基数目的葡萄糖和半乳糖所具备的甜度相差甚大,而含有 5 个羟基的木糖醇却比含有 6 个羟基的山梨糖醇要甜得多。很显然,这种根据羟基数目推测糖分子甜度的假说是错误的。

之后, Oertly 等人根据 Cohn 提出的“生味基团”(sapophoric groups)这一概念,认为可用有味官能团“助甜团”(auxoglucs)和“生甜团”(glueophores)来对甜味进行很好的解释。他们认为这种助甜团与生甜团类似于有色物质的助色团和发色团,并列出了这两种官能团的各种组合形式,同时还假定任何没有同时具备“助甜团”与“生甜团”的物质就不具备甜味。但是, Oertly 并没有进一步解释人工甜味剂(如糖精)或蛋白质甜味剂的甜味情况,也没考虑这两种官能团在单一分子中可能的作用方式。Oertly 的有味官能团假说还是没有超越甜味剂的分子结构特征。那种认为可根据分子结构推知其甜度的假说在 20 世纪初并没被人们所接受。

有人曾用酶法和化学法合成过蔗糖,也用类似的方法合成过自然界不存在的 L - 蔗糖(图 1-2)。然而令人惊奇的是, L - 蔗糖与自然界天然存在的 D - 蔗糖一样甜。L - 蔗糖与 D - 蔗糖在立体化学上呈镜像关系,是由 L - 果糖和 L - 葡萄糖缩合而成。重要的是, L - 果糖和 L - 葡萄糖一样也是甜的。由于 L - 糖不参与人体代谢,因此令人很感兴趣,只要经济上合算,就可作为新型功能性甜味剂加以开发。

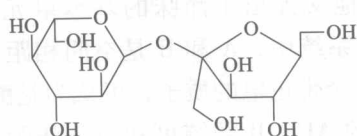


图 1-2 L - 蔗糖的化学结构(与天然 D - 蔗糖呈镜像关系)

D-蔗糖和L-蔗糖的甜味特性正好可与D-氨基酸和L-氨基酸相比较。在许多情况下，D-氨基酸是甜的，而L-氨基酸却没有甜味。例如D-色氨酸比蔗糖甜35倍，而L-色氨酸是苦的；D-苯氨酸比蔗糖甜7倍，而其L-异构体是苦的。有人因此推断认为味蕾受体是不对称的或具有手征性，所以镜像化物的味觉感受不一样。然而着眼于D-蔗糖和L-蔗糖都具有相同的甜味特性，可知这个推论还有很大的局限性。

20世纪30年代，建立了糖分子的环状结构理论。之后，弄清了甜味剂非对映异构体之间的差异是由于两者分子中一个碳原子的构型不同引起的（图1-3）。而且，环状多羟基分子（如糖分子）明显能与相邻分子形成分子间氢键，还有可能形成分子内氢键。Verkade曾对几种有机化合物的甜、苦味归纳出一个很有价值的观点，但仍缺乏一个完整系统的理论学说来解释所报道的结果。因Verkade所讨论的许多化合物都能形成氢键，而且因为糖分子这一简单而又普遍存在的氢键是其所有主要特性的基础，于是出现了甜味剂的氢键理论学说，这是20世纪60年代的事了。

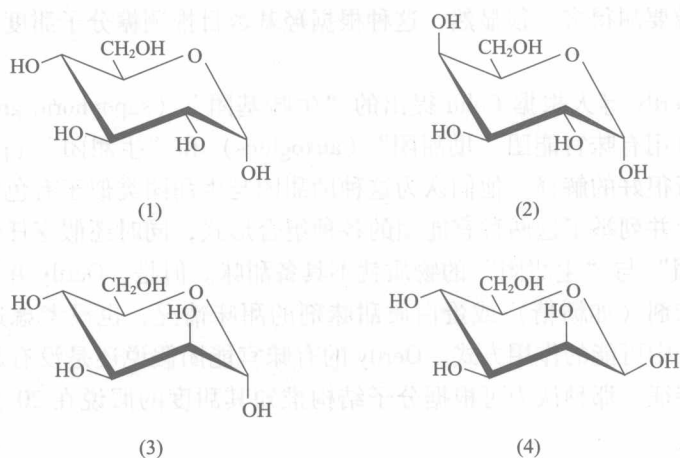


图1-3 甜味化合物分子构型的变化对甜味的影响

(1) α -D-吡喃葡萄糖（甜） (2) α -D-吡喃半乳糖（较不甜）

(3) α -D-吡喃甘露糖（甜） (4) β -D-吡喃甘露糖（苦）

(二) 维持甜味分子的AH、B、X理论

1963年，R. S. Shallenberge提出可根据糖分子内羟基间的氢键结合来对其甜味进行最好的解释，之后他又提出了甜味的基本单元——AH、B系统，或称AH、B识别位。在AH、B系统中，A和B是空间相距0.25~0.40nm、带相反电荷的两个原子。A含有一个带正电的质子，可认为是酸，B为质子受体，可认为是碱。一个甜味分子中的AH、B系统可和位于味蕾蛋白受体上另一合适的AH、B系统进行氢键结合，形成双氢键复合结构而产生甜味刺激（图1-4），

而两者间的复合强度决定了甜味刺激强度，即甜度。糖的 AH、B 系统为 α -乙二醇基团，部分典型甜味化合物中 AH、B 单元的分子识别如图 1-5 所示。这样，人类第一次拥有了一种简单的基础理论来解释各种甜味分子产生甜味的原因。

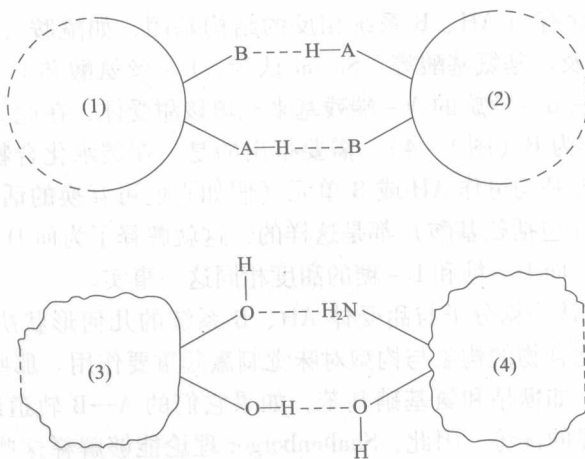


图 1-4 甜味化合物 AH、B 单元与甜受体之间的氢键结合

(1) 甜味化合物 (2) 甜受体 (3) 甜味碳水化合物 (4) 味蕾蛋白质的羟基氨基酸

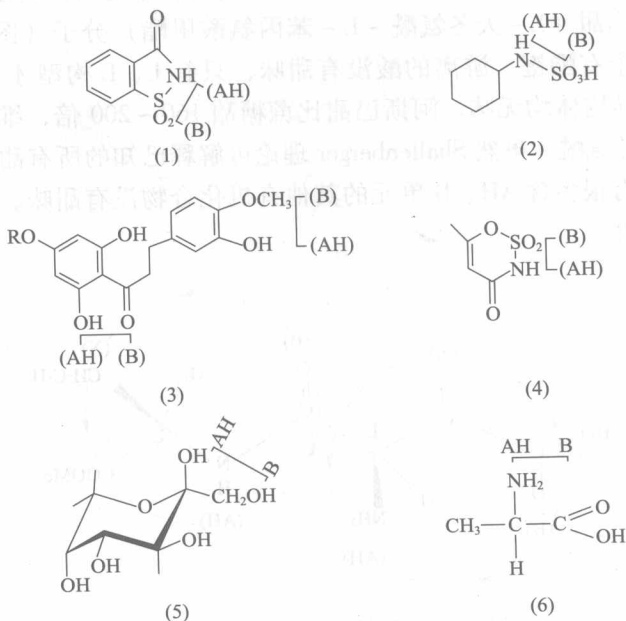


图 1-5 部分甜味化合物中 AH、B 单元的分子识别

(1) 糖精 (2) 甜蜜素 (3) 新橙皮苷二氢查耳酮 (4) 安赛蜜
(5) β -D-吡喃果糖 (6) 丙氨酸

乙烯乙二醇（乙烷-1,2-二醇）具有甜味而乙醇没有甜味，因此，醇基团被认为是维持甜味分子的最低要求。对于碳水化合物来说，相邻碳原子上的的一对羟基（即一个乙二醇基团）被确认是 AH、B 单元，其中一个羟基作为 AH，而另一个羟基上的氧原子作为 B（图 1-4）。甜受体结合位是以氢键与甜分子相结合的，因为它含有与 AH、B 系统相反的结构基团，如酰胺（N—H）和羰基（C=O）结构以及羟基氨基酸等。Suami 认为，L-丝氨酸和 L-苏氨酸单元均可作为甜受体蛋白 α -螺旋的 N-端残基来充填该甜受体，在此 NH_2 基作为 AH，OH 上的氧原子作为 B（图 1-4）。需要指出的是，在碳水化合物结构中所有乙二醇单元的任一羟基均可作 AH 或 B 单元（假如它们可互换的话），但并不是所有的甜味化合物（包括氨基酸）都是这样的，这就解释了为何 D-型和 L-型氨基酸的甜度不同，而 D-糖和 L-糖的甜度相同这一事实。

Shallenberger 认为糖分子与甜受体 AH、B 系统的几何形状决定了两者间的复合强度，甜味化合物的构象与构型对味觉刺激起重要作用。那些含有芳香残基的刚性分子结构，如糖精和氨基硝基苯，如果它们的 A—B 轨道间距合适的话，在这方面具有明显的优势。因此，Shallenberger 理论能够解释这些人工合成甜味剂比蔗糖甜几百倍的事实。糖的甜味感觉只能持续数秒钟，说明其结合力较弱。如果说甜味分子的立体化学结构对甜受体的配合程度决定其甜度大小的话，那么甜味分子与甜受体相互作用的速率或许要比复合结构本身的持续性更为关键。

对于阿斯巴甜（L-天冬氨酰-L-苯丙氨酸甲酯）分子（图 1-6），它的甜味分子必须带有酯键。游离的酸没有甜味，只有 L、L 构型才有甜味，D、D 型和 L、D 型异构体均无味。阿斯巴甜比蔗糖甜 160~200 倍，维持分子的主要单元是 L-天冬氨酰。虽然 Shallenberger 理论可解释已知的所有甜味化合物的甜味特性，但仍有很多含 AH、B 单元的其他有机化合物没有甜味。所以，肯定还有其他附加条件。

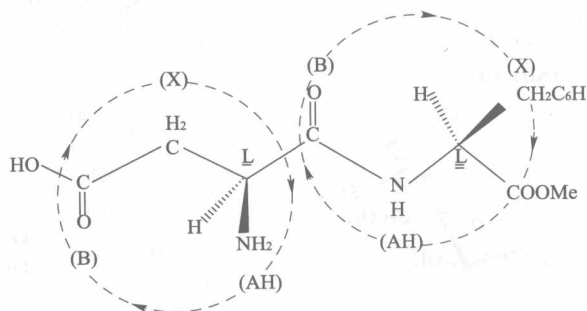


图 1-6 阿斯巴甜分子中的生甜团

尽管 AH、B 甜味理论能够很好地解释已知的所有甜味化合物的甜味特性，但这种理论仍然遇到了诸多挑战：