

# 水的味道



白宇轩 程则瑞 付华钰 朱羿州

# 第 1 部分

## 研究历史

# 01 研究历史

水的味道与之前接受刺激的物质有关  
纯水的（苦涩或平淡的）味道与打破唾液适应有关



## 研究历程



3<sup>rd</sup> B.C. Aristotle

纯水的本质  
上没有味道



1930s - 40s Hahn

持续暴露导致  
味觉感知下降



唾液对味觉的缓冲与干扰



1959 Zotterman  
& Diamant

水会使  
神经反应减弱

1971 McBurney  
& Shick

水被感知到的  
味道与上一个  
味觉刺激有关

第 2 部分

泉水的味道

## 02 泉水的味道



“实事求是地  
说，十分钟后我  
舌底生津，不愧  
是天下第一泉。”

——付华钰在趵突泉

### 三个假设

假设1.

微量有机物引起味觉体验。

01

假设2.

不同离子特有味道的叠加。

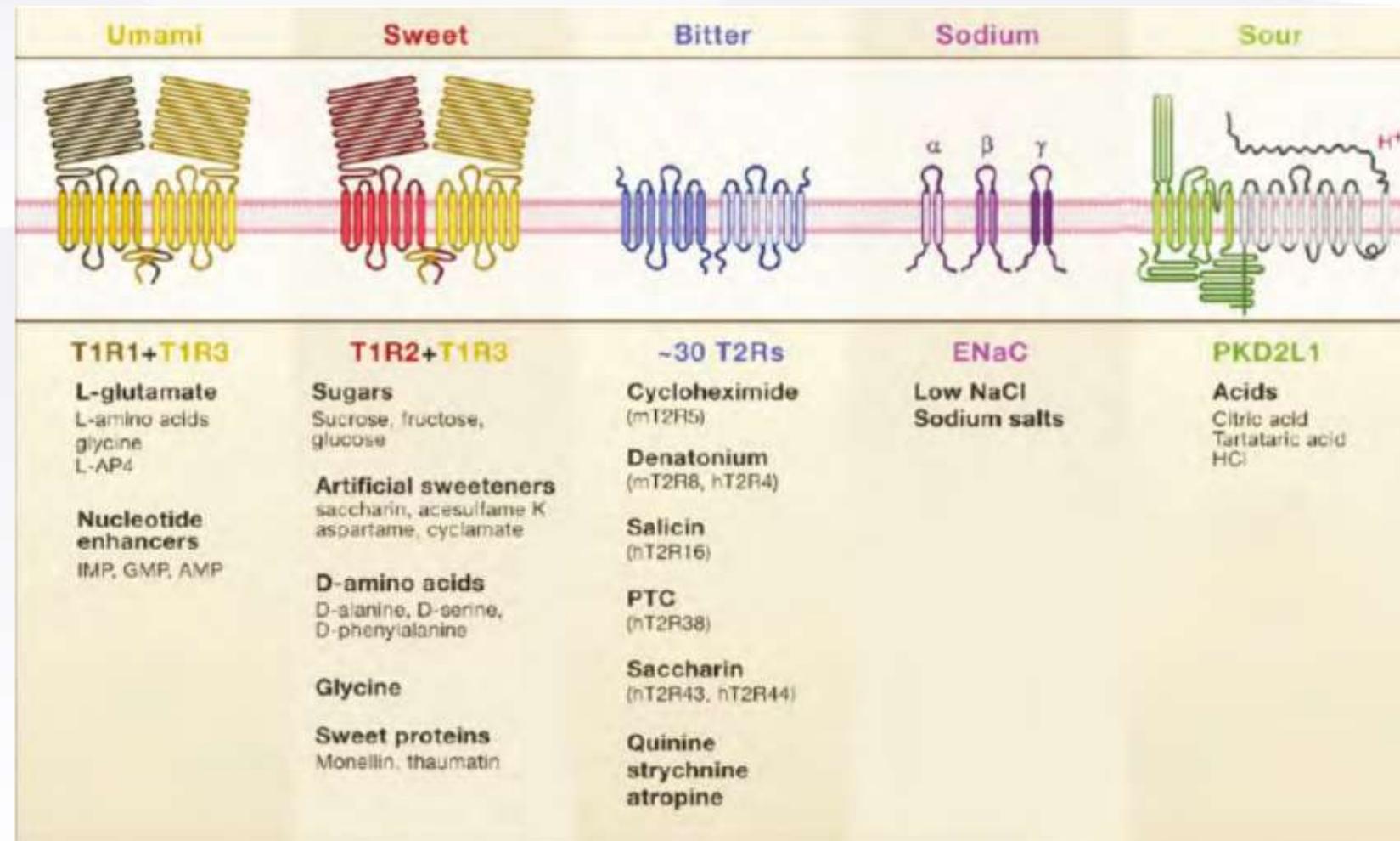
02

假设3.

上一个味道对当下的影响。

03

## 02 泉水的味道 有机物



现代五大味觉：  
酸甜苦咸鲜

图3 五种基本味觉的受体结构和其相应的配体( Yarmolinsky *et al.*, 2009)

Fig. 3 Receptors structure and corresponding ligands of five basic taste ( Yarmolinsky *et al.*, 2009)

## 02 泉水的味道 有机物

I型细胞：鲜，T1R1+T1R3，核苷酸、*L*-谷氨酸

II型细胞：甜，T1R2+T1R3，蔗糖、果糖、甘油、应乐果甜蛋白.....

III型细胞：苦，~30 T2Rs，苯甲地那铵、水杨昔.....

IV型细胞：咸，ENaC，钠盐

V型细胞：酸，PKD2L1，HCl、柠檬酸、酒石酸.....

## 02 泉水的味道 离子

泉水中富含大量的离子，起初，我们试图找到离子与对应味道的映射关系

表 1 济南泉域微量元素统计特征表

然而，并不存在简单的映射关系

微量 元素	原始数据						剔除离群值						检出限/	
	$\rho_B / (\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1})$				变异系数	样本数	$\rho_B / (\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1})$				变异系数	样本数	$(\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1})$	
	极小值	极大值	均值	标准离差			极小值	极大值	均值	标准离差			极小值	极大值
Sr	159.8	968.7	341.2	163.1	0.48	82	159.8	706.9	325.6	131.1	0.4	80	5	5
Ti	0.5	3.47	1.75	0.51	0.29	82	0.5	2.87	1.68	0.41	0.24	79	0.1	0.1
V	1.71	7.74	3.33	0.84	0.25	82	1.71	5.45	3.27	0.69	0.21	81	0.1	0.1
Cr	5.15	49.61	11.64	7.45	0.64	82	5.15	32.84	10.52	4.65	0.44	79	0.1	0.1
Co	0.13	0.70	0.27	0.11	0.42	82	0.13	0.61	0.27	0.10	0.39	81	0.1	0.1
Ni	1.44	5.6	2.55	0.87	0.34	82	1.44	4.01	2.4	0.62	0.26	78	0.1	0.1
Cu	0.18	4.90	0.61	0.66	1.08	82	0.18	2.29	0.52	0.35	0.66	80	0.1	0.1
Se	0.24	5.83	0.90	0.81	0.90	82	0.24	3.51	0.84	0.60	0.72	81	0.1	0.1
Rb	0.23	6.89	0.82	0.91	1.11	82	0.23	3.29	0.74	0.6	0.81	81	0.1	0.1
Mo	0.17	1.36	0.48	0.27	0.55	82	0.17	1.03	0.47	0.25	0.53	81	0.01	0.01
Ba	15.7	152.4	54.06	25.36	0.47	82	15.68	122.7	52.84	22.99	0.44	81	0.01	0.01
U	0.33	6.96	1.46	1.08	0.74	82	0.33	6.96	1.42	1.02	0.72	81	0.05	0.05

注：微量元素数据由青岛海洋地质研究所测定，采用大型 ICP-MS、ICP-AES，精度为 0.000 001~0.1，2012 年。

## 02 泉水的味道 离子

### 1, 同种离子会和多种味觉细胞作用:

$H^+$ 离子可以通过钠通道进入细胞，从而抑制咸味觉，同时 $H^+$ 和酸敏感离子通道作用，产生“酸”的味觉

$K^+$ 和钾通道作用产生“酸”的感觉，同时也会和IV型细胞上的 $Na^+$ 通道作用产生“咸”

### 2, 离子间接产生味道:

$Fe^{2+}$ 与体液中的脂肪酸作用，产生醛酮类挥发性物质（1-辛烯-3-酮），这种物质有“铁锈味”

### 3, 离子的味道与化学环境相关:

III型细胞通过 $Ca^{2+}$ 电压门控通道来传递兴奋，因此 $Ca^{2+}$ 浓度高的水中III型细胞较为兴奋，会有苦味

$Sr^{2+}$ 可以和 $Ca^{2+}$ 和 $Mg^{2+}$ 形成络合物，降低水的硬度，使口感更加“柔和”

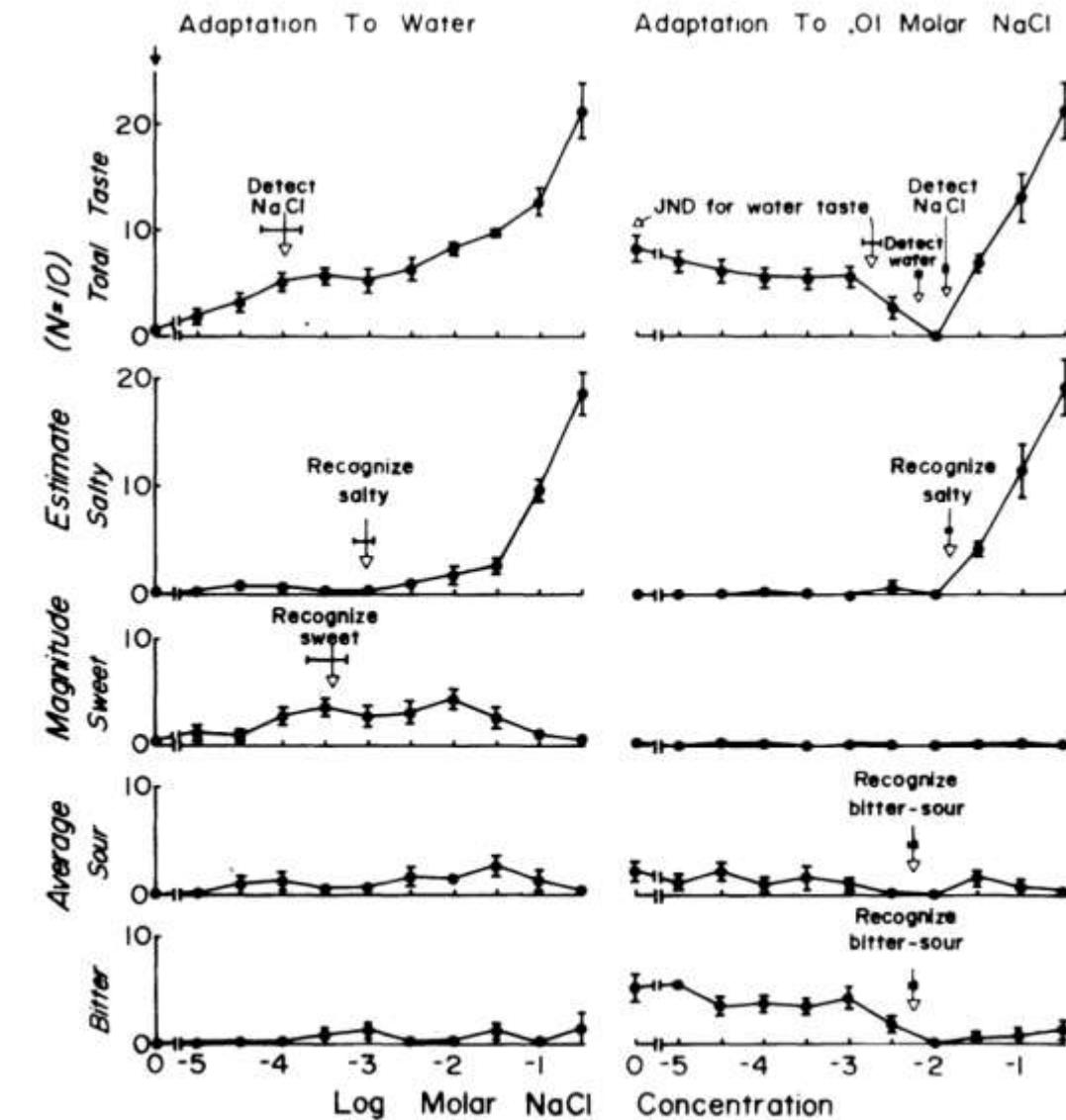
## 02 泉水的味道 品尝历史

Hahn, 1949

持续恒定浓度的NaCl溶液刺激，味觉强度会逐渐减弱直至消失，并且之后的味觉体验都会以这个浓度为能感知到的起点

McBurney & Pfaffmann, 1963

Hahn实验中的NaCl溶液也可以替换为唾液，蒸馏水漱口去除唾液后，口腔对NaCl感知的下限阈值降低约30倍



## 02 泉水的味道 品尝历史

McBurney & Shick, 1971

对更多物质进行了实验，结论显示味觉与品尝历史有关是一个普遍的结果

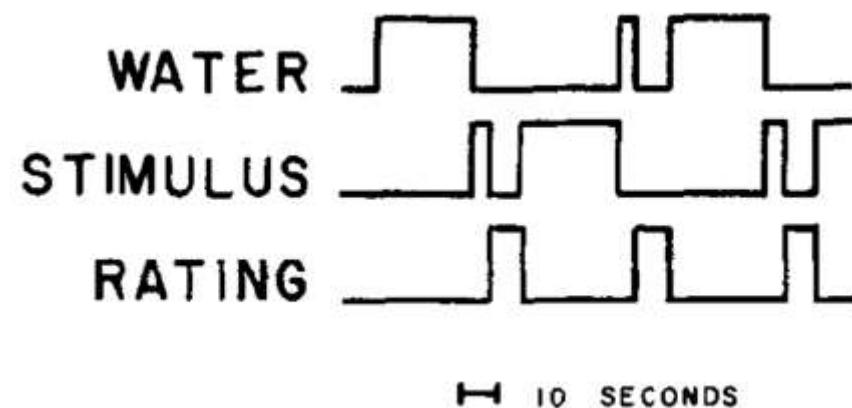


Table 2

Stimulus	Taste of the Stimulus				Taste of Water After Stimulus			
	Salty	Sour	Sweet	Bitter	Salty	Sour	Sweet	Bitter
NaCl	20	6			4			5
KCl	16			8	4			3
NaNO <sub>3</sub>	10	9		8	3		12	
CaCl <sub>2</sub>		8	7		2		3	
KBr	16			7	4		3	
NH <sub>4</sub> Cl	13			13	4		4	
NH <sub>4</sub> Br	15			12	5		5	
CaBr <sub>2</sub>	9			12	3		6	
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	13			11			12	3
KNO <sub>3</sub>	6			16	6		10	
MgSO <sub>4</sub>		6		18	2		14	
HCl	7	18			4		3	
Acetic	8	14					5	2
Citric		17		10	3		6	
Tannic		6		22			2	2
Lactic	7	18			2		5	
Tartaric	7	16					4	3
Sucrose		4	18		2			3
Fructose	2		21		2			2
Saccharin	1		27		5			4
Urea		6		23	5		5	
QHCl		2		30	3		5	
QSO <sub>4</sub>			2	23			5	2
SOA		3		25		2		3
Caffeine		2		30	2			11
PTC		2		14	2			4

## 02 泉水的味道 品尝历史

### 平淡的味道

清水稀释唾液后，味觉感知阈值随唾液稀释下降，但阈值始终与口腔内唾液浓度相等，感受到“平淡的”味道。

### 微苦的回味

水微苦味道的感知部位似乎以舌下后侧为主（结论源于本人亲身体验，不一定可靠），往往出现于水在口腔中存留一段时间或喝下之后。考虑到下颌下腺是唾液主要分泌部位，或许可以解释成稀释后的口腔中生成了新的高浓度唾液，此时唾液浓度高于感知阈值，被感知到。

即微苦是唾液的味道，而非水自身的味道。

第 3 部分

H<sub>2</sub>O的味道

## 03 纯水的甜味

### AH, B理论对甜味的解释

- 1963 年, R. S. Shallenberger 提出甜味的 AH, B 系统理论, 人类拥有了用来解释各种甜味产生的简单基础理论。
- 在 Shallenberger 提出的 AH,B 系统中, A 和 B 是空间相距  $0.25 \sim 0.40\text{nm}$  的带负电荷的两个原子, 其中 A 与带正电的质子结合成为 AH, AH 在整体上可认为是酸, B 为质子受体, 可认为是碱。
- 一个甜味分子中的 AH,B 系统可和位于甜味蛋白受体上另一个合适的 AH,B 系统 (如氨基酸残基上的  $\text{NH}_3^+$  和 CO 或  $\text{NH}_3^+$  和 OH 基团) 进行氢键结合, 形成双氢键复合结构。
- 通过结合, 产生一个神经冲动。结合越强, 甜味越强。
- 若是 (1) 为一个疏水基团, 则会有效加强结合程度, 增加甜度。

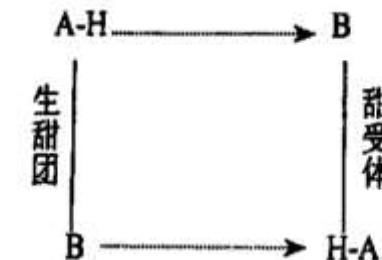


图 1 甜味分子与甜受体间双氢键复合结构

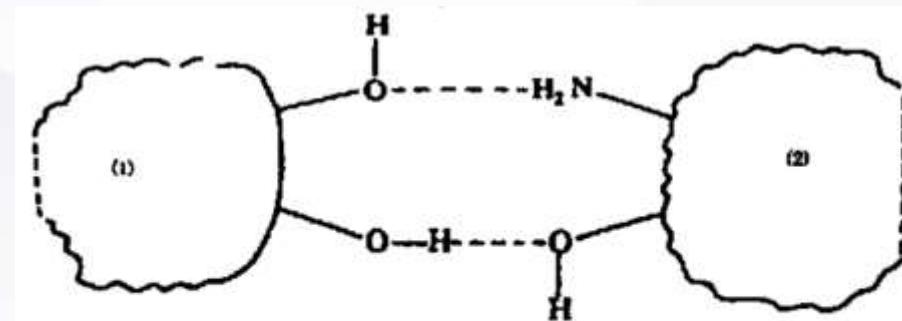
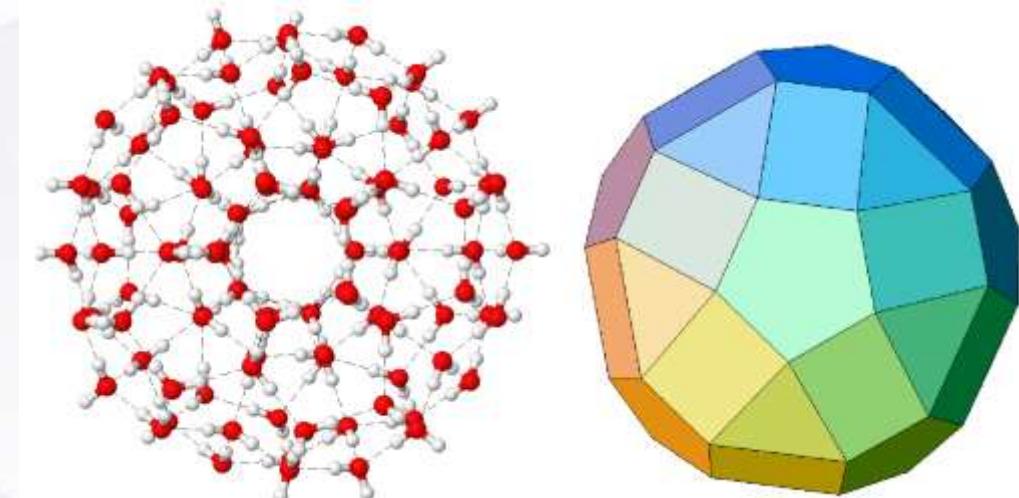


图 2 糖分子 AH,B 单元与甜受体之间的氢键结合

## 03 纯水的甜味

### 水分子团簇

- 在 $\text{H}_2\text{O}$ （水）中存在多种作用力，其中包括静电作用力、氢键、范德华力和离子作用力。这些作用力共同影响了水分子的结构和性质。
- **氢键：**氢键是水分子中最重要的作用力之一。氧原子的负电荷吸引周围水分子的氢原子，形成一个氢键网络。
- **分子团簇：** 水分子间的氢键作用使得其很容易形成分子团簇。而分子团簇可能具有与甜味物质相似的结构（AH<sub>n</sub>B理论为“相似性”提供标准）。那么，在水的纯净度较高时，这种效应导致的甜味会变得明显。

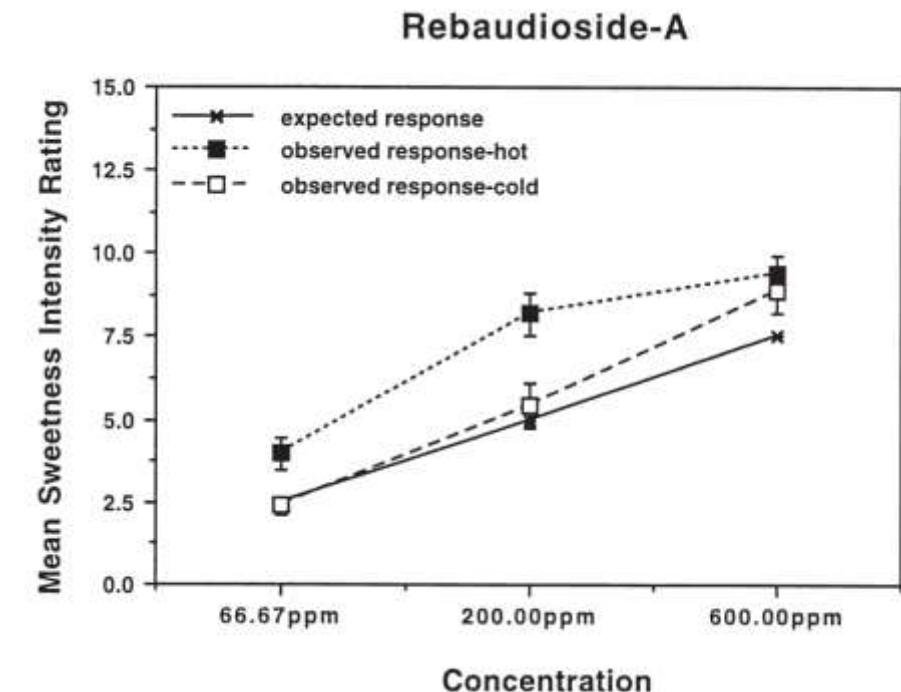


图：假想的 $(\text{H}_2\text{O})_{100}$ 二十面体水分子簇和基本结构

## 03 纯水的甜味

### 温度

- 在日常生活中，我们有着甜味受到温度影响的经验。
- 研究表明，甜味剂的甜度不显著但确实会受到温度的影响。
- 可以联想到，温度的降低会导致分子团簇的形成更加容易，而这也导致纯水的甜味被更加容易的察觉。



## 03 纯水的甜味

### D<sub>2</sub>O的甜味

- 自从 1931 年 Urey 发现氘以来，重水 (D<sub>2</sub>O) 一直吸引着研究人员的兴趣。
- Urey and Failla 在1935年对重水有甜味的问题进行了研究，并断言地得出结论：“我们两人无法察觉到普通蒸馏水和纯重水之间的任何细微差别。”这很大程度上抑制了重水的人体实验。
- 不过，2021 年的一篇文献通过更加严谨的实验与分子建模证实了重水可以导致人类甜味受体 TAS1R2 / TAS1R3 的激活。高纯度的重水有着更明显的甜味。
- 原因：D<sub>2</sub>O分子间更强的氢键（氘键）

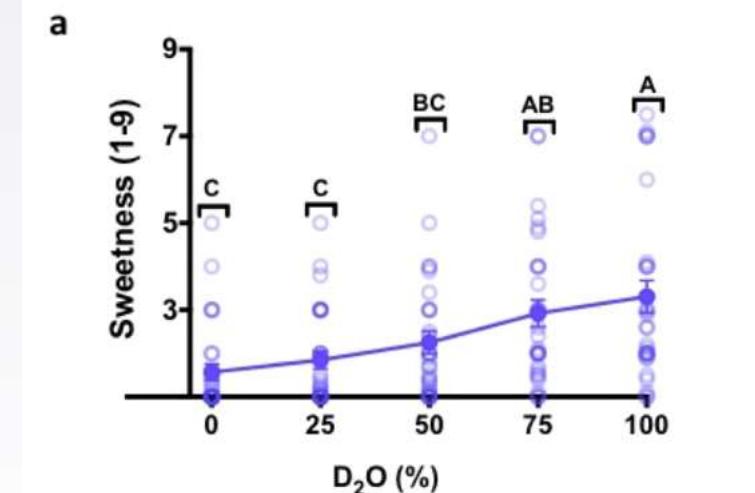
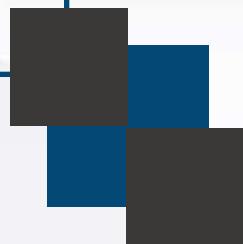
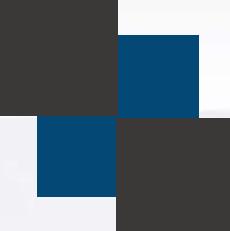


图 a : D<sub>2</sub>O 与 H<sub>2</sub>O 混合的甜度随比例增加的情况。不同字母表示处理结果显著不同

氘原子的质量较大，它的零点能（分子在最低能级的振动能量）较低，这使得氘-氘键相对于氢-氢键具有更低的振动能量。这种低振动能量使氘-氘键更加稳定，氘-氘键的长度也会增加。

## 参考资料

- Aristotle's de Anima[M]. Macmillan, 1902.
- Drinking behavior: oral stimulation, reinforcement, and preference[M]. Springer Science & Business Media, 2012.
- Hahn H. Beiträge zur Reizphysiologie[J]. 1949.
- McBurney D H, Pfaffmann C. Gustatory adaptation to saliva and sodium chloride[J]. Journal of Experimental Psychology, 1963, 65(6): 523.
- McBurney D H, Shick T R. Taste and water taste of twenty-six compounds for man[J]. Perception & Psychophysics, 1971, 10(4): 249-252.
- Shallenberger R S. Hydrogen Bonding and the Varying Sweetness of the Sugars a[J]. Journal of Food Science, 1963, 28(5): 584-589.
- Urey H C, Brickwedde F G, Murphy G M. A hydrogen isotope of mass 2[J]. Physical Review, 1932, 39(1): 164.
- Urey H C, Failla G. Concerning the taste of heavy water[J]. Science, 1935, 81(2098): 273-273.
- Zotterman Y, DIAMANT H. Has water a specific taste?[J]. Nature, 1959, 183(4655): 191-192.
- 王兴亚, 庞广昌. 哺乳动物味觉感受机制研究进展[J]. 四川动物, 2014 (5): 785-791.
- 杨丽芝, 刘春华, 祁晓凡. 济南泉水水化学特征变异研究[J]. 水资源与水工程学报, 2016, 27(1): 59-64.
- 郑建仙, 高宪枫, 袁尔东. AH, B, X 的甜味分子识别及其理论扩展[J]. 中国食品添加剂, 2001 (5): 32-36.



谢谢



白宇轩 程则瑞 付华钰 朱羿州