

第一章 水分(water)

第一节 概述(Outline)

一、水分: 物体内所含有的水

二、水在生物体内的功能

1. 稳定生物大分子的构象, 使之表现出特异的生物活性
2. 体内化学作用的介质
3. 体内物质运输的载体
4. 维持体温的载体
5. 体内摩擦的润滑剂

三、各种食品的含水量 (表 2-1)

四、水的重要性

影响食品的色泽、风味、食品营养素的消化、吸收与利用
为维生物的生长繁殖, 促进食品腐败变质的反应创造适宜环境

五、人体对水的需要与平衡

每人每日需要量 2~2.7 L (表 2-2)

第二节 水的物理性质 (physical properties of water)

一、水的三态 (图 2-1)

1. 潜热: 只使水的相态发生变化, 没有温度升高的热量, 包括熔化潜热和汽化潜热
2. 显热: 无相变时, 使冰、水、水蒸汽等温度升高的热量 比热容

二、水的物理性质

1. 与在周期表中与氧邻近的各元素的氢化物相比, 水的许多物理常数如熔点、沸点、比热容、熔化热、蒸发热、表面张力和介电常数等都明显偏高 (表 2-3、表 2-4)
2. 冰的导热系数 0℃时为水的 4 倍 (表 2-3)
冰的热扩散系数约为水的 8 倍
水的密度比冰大, 在质量相同的条件, 冰的体积比水大
水结冰后体积膨大, 对食品组织结构造成机械损伤
3. 水高介电常数, 良好的极性溶剂

第三节 水的结构(Structure of water)

一、水分子的结构 (图 2-2)

外层电子结构



二、水分子的缔合

理论上讲, 每一个水分子可与相邻的 4 个水分子同时形成 4 个氢键
众多的水分子便可通过氢键缔合形成三维取向的立体结构 (图 2-3)

三、冰的结构

1. 冰的晶胞——构成冰晶的最小单位 (图 2-4)
冰的晶体: 分子晶体 1 个晶胞含 4 个水分子
2. 冰的基本平面 (图 2-5)
晶胞上下、前后、左右逐个连接起来, 构成三维结构的冰的晶体 (图 2-6)
结构比较开阔、水分子间有较大的空隙

四、液态水的结构

水分子簇：有数量不等的水分子(约 90 个左右)通过氢键缔合生成具有与冰晶类似的结构，但有些氢键已经断裂，有些扭曲
随着温度升高，出现越来越多单个水分子，可进入水分子簇内空隙中

第四节 食品中水的类型 (Types of water in foods)

|单分子层水

|束缚水|多分子层水 氢键结合力

固态食品中的水 |毛细管水 |自由水(Freeing water) 液态食品: 自由水

|截留水 | 毛细管力

一、束缚水(Bound water): 又称结合水

(一)、定义: 是食品中可与各非水组分通过氢键结合的水，是食品中与非水组分结合得最为牢固的水

(二)、束缚水与自由水两者之间很难有明确的界线

特点: (1) 束缚水食品内部不能作为溶剂，在-40℃以上不能结冰

(2) 自由水在食品中可作溶剂，在-40℃以上可以结冰

(三)、根据与食品中非水组分氢键结合强弱，分为

1. 单分子层水(Monolayer water)

与非水组分中强极性基团(羧基、氨基)直接以氢键结合的第一个水分子层中的水，与非水组分结合的最为牢固，蒸发的能力很弱，又称 Langmuir 水，不能被微生物利用，不能用作介质进行生物化学反应

2. 多分子层水(Multilayer water)

强极性基团单分子层外的几个水分子层中所包含的水，以及与非水组分中弱极性基团以氢键相结合的水，向外蒸发的能力也较弱

干燥的食品吸收了这部分水后，非水组分开始膨胀

二、毛细管水

食品中毛细管保留的水，是存在于细胞间隙中的一部分水

管内的水向外蒸发的能力随着毛细管直径的减小而减弱 (表 2-5)

容易蒸发，可在毛细管内流动，但不能流出体外，可用加压的方法将半径 1 μm 以上的毛细管水压出体外 (表 2-6)

微生物可生长繁殖、各种化学反应都可进行，是发生食品腐败变质的适宜环境

三、截留水

食品中被生物膜或凝胶内大分子交联成的网络所截留的水

主要存在于富水的细胞中或凝胶块内，在被截留的区域内可以流动，能使食品变质的反应及微生物活动在其中进行，单个水分子可透过生物膜或大分子网络向外蒸发，留下干瘪的原料或干燥的凝胶

第五节 水分活度与食品腐败

(Water activity and food spoilage)

一、Aw

1. 定义: 食品的蒸汽压与同温下纯水的蒸汽压的比值

$A_w = P/P_0$ (食品上空水蒸气的分压力)

P: 随食品中易被蒸发的自由水含量的增多而加大

平衡相对湿度 (Equilibrium Relation Humidity, ERH)

$A_w = P/P_0 = ERH/100$

物料既不吸湿也不散湿时的大气相对湿度

2. 特点

(1). A_w 是食品内在的性质，与食品的组成结构有关

(2). ERH 与食品平衡时大气的性质有关

二、水分活度与温度的关系：水分活度是温度的函数

Clausius—Clapeyron 方程式：

$$\ln A_w = -\Delta H/RT + C$$

R =气体常数

ΔH =在 T 度时食品的吸湿热

T =绝对温度

C =常数

1. 温度升高， A_w 加大（图 2-7）

2. $A_w = P(\text{纯水})/P_0(\text{过冷水})$ 样品冻结后（表 2-7）

3. 冻结前， A_w 是食品组成和温度的函数，并以组成为主。冻结后，由于水的存在， A_w 只与 T 有关，不能用 A_w 大小进行预测

三、水分活度与食品的稳定性

(一). 微生物的活动与 A_w 的关系

细菌 $A_w > 0.9$ |

酵母菌 $A_w > 0.87$ | 生长繁殖（表 2-8）

大多数霉菌 $A_w > 0.8$ |

$A_w < 0.50$ 任何微生物都不能生长

(二). 酶促反应与 A_w 的关系

绝大多数酶 $A_w > 0.85$ ，如果 $A_w < 0.85$ 催化活性明显减弱

例外：酯酶 $A_w > 0.3$ 甚至 0.1 还有活性（图 2-8）

(三). 非酶反应与 A_w 的关系

Maillard 反应 A_w : 0.6~0.7 反应最大值（图 2-9）

脂肪非酶氧化反应：较为复杂（图 2-10）

(四). 实践意义

1. 低温保藏

2. 干制

3. 加糖或盐腌制

第六节 吸湿等温线（Moisture sorption isotherm）

一. 吸湿等温线的绘制

1. 定义：在温度不变的条件下，以食品中的水分含量为纵坐标，以 A_w 为横坐标作图，所得曲线

2. 特点

(1) 食品间组成结构不同，不同的食品，吸湿等温线的形状互不相同

(2) 等温线中，较平坦的部分是对水不敏感的，食品的吸湿性很差；较陡的部分吸湿性很强，相对湿度轻微改变，食品吸进大量的水（图 2-11）

(3) 吸湿等温线为“S”形，吸湿与解吸等温线存在滞后现象，并不完全重合，任何食品在同一 A_w 时，所对应的水分含量都是解吸>吸湿（图 2-12）

(4) 随温度的升高，吸湿等温线形状近似不变，位置顺序向右下方移动（图 2-13）

二. 吸湿等温线分区：分成三个区段（图 2-14）

区段 I：开始时稍陡的一段， A_w 0~0.25 之间，单分子层水、水合离子的内层水、直径小于 $0.1\mu\text{m}$ 毛细管中凝结的水

不能作溶剂， -40°C 以上不结冰，与食品腐败无关，0~0.07 g 水/g 干物质

区段 II：较为平坦的一段，对水不太敏感，多分子层水，直径小于 $1\mu\text{m}$ 的毛细管水 A_w 0.25~0.8，不能作溶剂， -40°C 前不结冰， <0.45 g 水/g 干物质（I + II）

区段 III：最陡的一段，吸湿性最强烈，自由水中直径大于 $1\mu\text{m}$ 的毛细管水和被生物膜或生物大分子凝结成的网状结构截留的水，最多 20 g 水/g 干物质，可以作溶剂，可以结冰，是微生物繁殖，进行化学反应的适宜环境

以上三个区段的划分不是绝对的（图 2—15）

三．吸湿等温线与食品包装

1. 吸湿性的食品，吸湿等温线较陡，未达大气相对湿度前，已达 A_w 限定值，必须封装在不能让水分透过的容器中
2. 正常贮存条件下，无吸湿性和不利化学反应发生，包装在一般材料中
3. 食品有些 A_w 大于周围空气相对湿度，包装材料保护食品避免失去水分
4. 混成的食品，数种性质不同的成分包装在一起，出现影响质量的问题（图 2—16）

第七节 食品的冻结保藏

（Freezing preservation of foods）

一．水结冰的过程

（一）结冰：当纯水的温度降低到 0°C 后，继续冷却，液态的水便转变成固态的冰

（二）结冰过程：

1. 晶核形成过程：一部分水分子结合成小的冰的晶核
2. 冰晶生长过程：众多水分子按冰的晶体结构的要求顺序地结合到晶核上，成长为大的晶体

（三）特点：

1. 晶核一般在 0°C 以下的过冷水中形成，晶核生成的温度与水质的纯度、冷却的速度、有无搅拌等因素有关，一般在 $0\sim-5^\circ\text{C}$ 之间
2. 晶核形成与晶体生长的速度都与温度有关（图 2—17）
3. 快速冷冻，单位时间内向外排放出的热量多，生成大量的细小的冰的晶体，缓慢冷冻时，单位时间内向外排放出的热量少，生成数量少但体积大的冰的晶体。
4. 温度的波动会改变冰体内部的结构，细小冰晶消失，较大冰晶生长，温度上升时，细小冰晶融化，再冷却时，大的冰晶生长
5. 溶液中水结冰的温度都在 0°C 以下，下降的幅度与溶液的浓度成正比

二．食品的冻结

（一）、食品中可以结冰的水主要是自由水，结冰的温度 $0\sim-3.8^\circ\text{C}$ 之间

（二）、冻结最好是快速进行，生成众多细小冰晶，均匀分布在细胞内外，动植物组织结构基本上无破坏，解冻后，可恢复到冻前的生鲜状态

（三）、缓冻细胞间隙中生成较大冰晶，体积膨胀，对材料的组织结构造成机械损伤，解冻后不能完全恢复到冻前状态，严重时，组织软化，汁液流出，风味退减（图 2—18）

（四）、冻结后食品存放中竭力避免温度的波动

三．冻结法保藏食品的机理

（一）、冻结对微生物活动的影响

- i. 任何微生物生长繁殖最适温度一般 $>0^\circ\text{C}$ ，食品冻结温度 -18°C ，微生物活动受到极大抑制，有些甚至死亡。

- ii. 可被微生物利用的液态水大量减少，溶液浓度急剧增大，渗透压随之变大，抑制微生物活动。

(二)、冻结对生物化学反应的影响

1. 常温下出现引起食品腐败的生物化学反应，随着酶活性或反应速度常数的降低，受到极大的抑制。
2. 食品冻结后，也有不利的反应发生
 - (1)。原来分散在自由水中的溶质被浓缩，PH 值，离子浓度，氧化还原电位及某些胶体性质等发生变化，加速一些化学反应
 - (2)。自由水结冰后体积膨胀，食品组织结构遭受机械损伤，导致酶、底物、激活剂在细胞内位置发生变化，产生“错位”，引起某些酶促反应进行