



第二章：碳水化合物

食品化学
江苏大学
曲文娟



美拉德反应

Maillard reaction



- **非酶褐变(Non-enzymatic browning)**
 - **美拉德反应**是指羰基(C=O)与氨基(NH₂)经缩合、聚合反应生成类黑色素和某些风味物质的反应。
- **反应结果:**
 - 产生大量产物，它们可以**改善食物的风味和颜色**。

美拉德反应

Maillard reaction



□ 美拉德反应步骤:

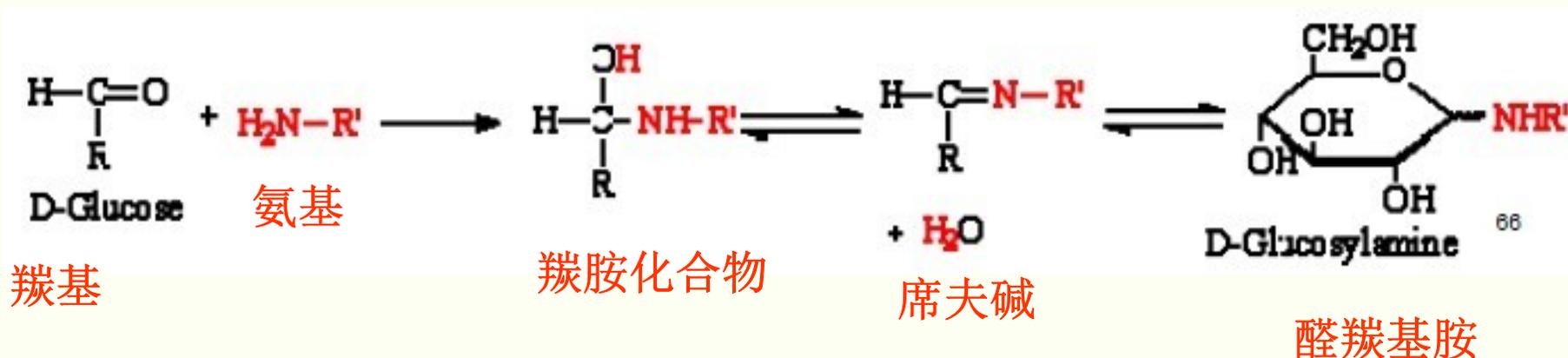
- 缩合(Condensation) - 羰氨缩合
- 重排(Rearrangement)-烯醇化反应(Enolization)
生成氨基醛糖或氨基酮糖
- 斯特克勒尔降解(Strecker degradation)-产生风味物质, 如吡嗪(肉香味)
- 破碎(Fragmentation)
- 聚合(Polymerization)-产生类黑精(褐黑色)

初始阶段

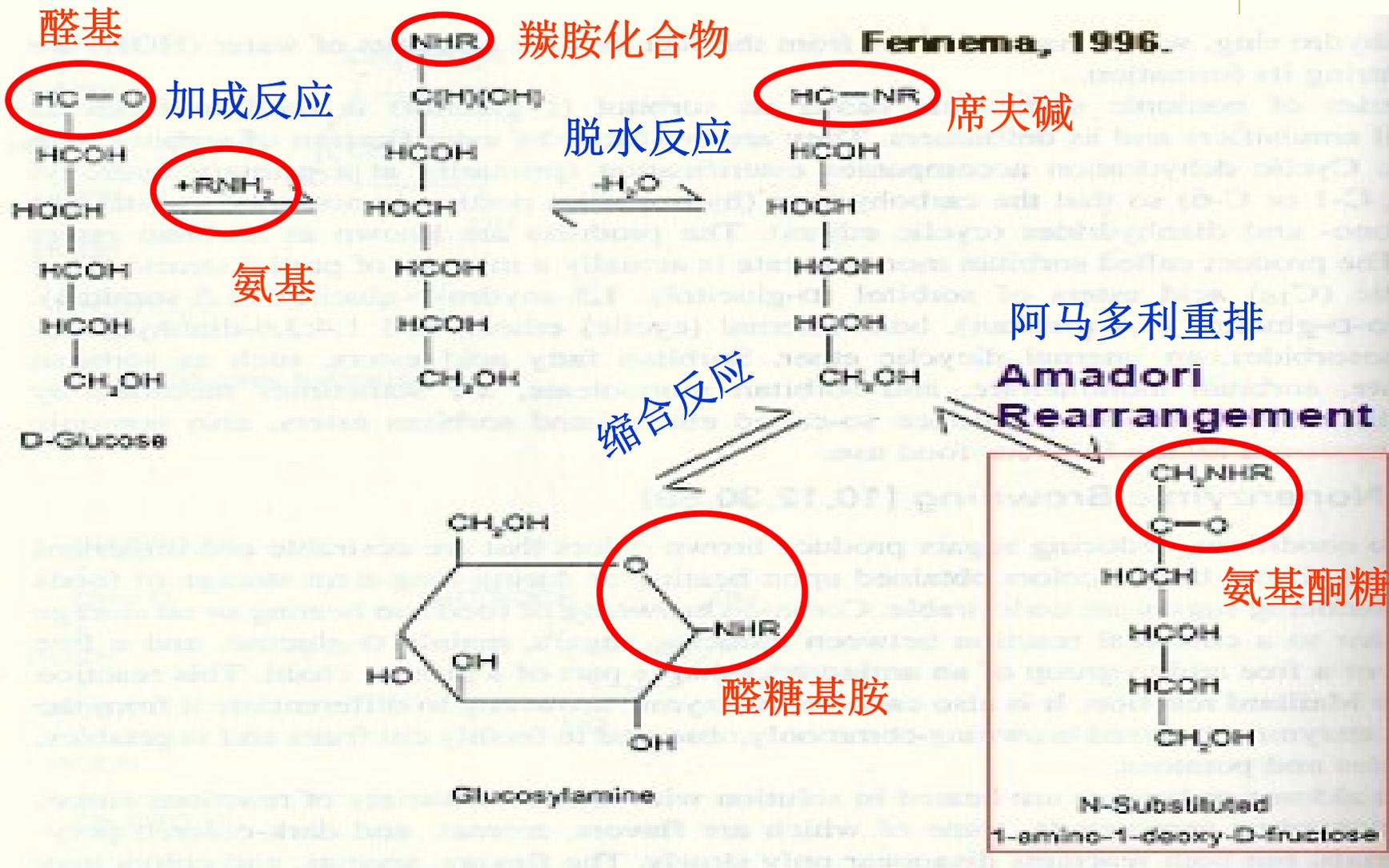
Initial stage



- 还原性**羰基**和**氨基**首先发生加成反应，生成**羰胺化合物**，然后相邻的羟基和氨基之间脱去一份子水生成**席夫碱(Schiff)**，由于席夫碱的**C=N双键**是一个极性不饱和共价键，遇到分子内的其他位置合适的羟基则反应形成**醛糖基胺或酮糖基胺**，最后这些含有羟基的糖基胺分别经过分子重排生成**氨基酮糖或氨基醛糖**。
- 一般情况下，醛糖生成的是氨基酮糖，酮糖则生成氨基醛糖。



初始阶段 Initial stage



斯特克勒尔反应

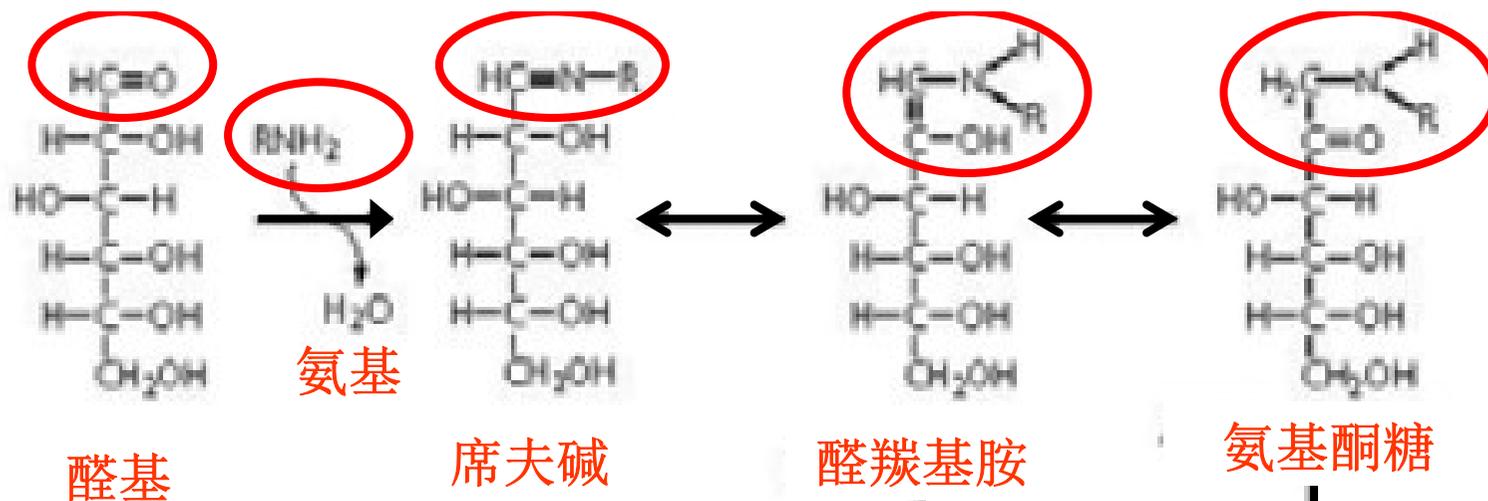
Strecker degradation



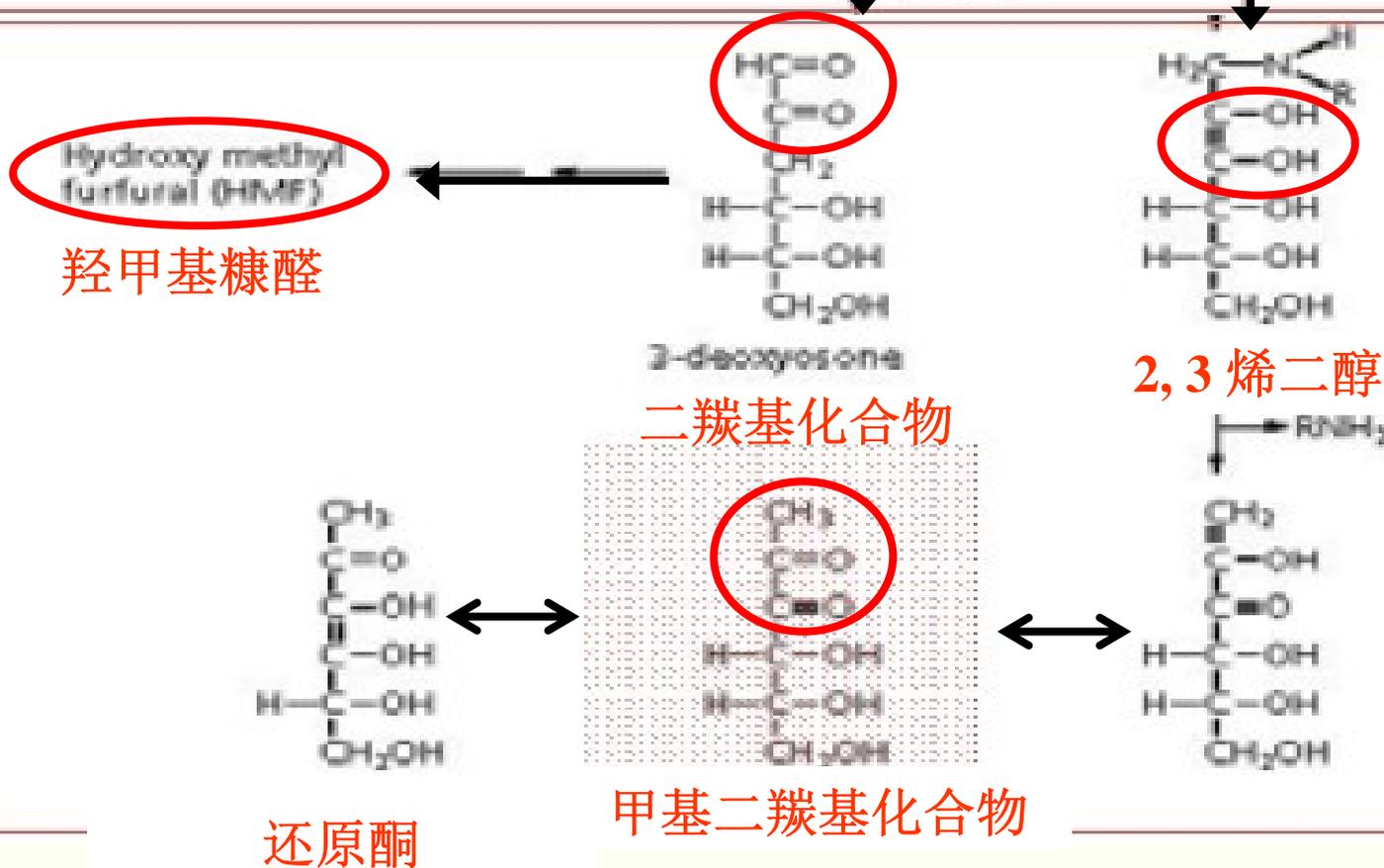
- 氨基酮糖或氨基醛糖进一步发生反应，生成许多的羰基或羰基衍生物如羟甲基糠醛和还原酮。
 - 羟甲基糠醛的积累与褐变速度关系密切，还原酮的性质活泼，能与氨基酸反应，生成新的羰基化合物，这种反应称为斯特克勒尔反应。
- α -氨基酸与 α -二羰基化合物反应时， α -氨基酸氧化脱羧生成比原来氨基酸少一个碳原子的醛，氨基与二羰基化合物结合并缩合成吡嗪。



初始阶段



中间阶段



最后阶段

Intermediate stage



- 多羰基不饱和衍生物，一方面进行裂解反应，产生**挥发性化合物**；另一方面又进行聚合反应，产生褐黑色的**类黑精**，从而完成整个美拉德反应。
- 特点:产生焦糖色和烤肉的**香味**(caramel-like and roasted aromas develop); 产生胶质、水不溶的**褐黑色类黑精**(colloidal and insoluble melanoidins); 产生**荧光性**(fluorescence); 生成具有**还原性**(reducing power)的还原酮(reductone)。

美拉德反应结果

Maillard reaction results



- 有益的(Desirable):
 - 面包外壳、糖浆(syrup)、肉(meat)上色
 - 风味: 咖啡(coffee), 可可(cocoa), 肉(meats)
 - 抗氧化(Antioxidants)
- 不利的(Undesirable):
 - 加工或是贮藏过程中变色
 - 加工或是贮藏过程中变味
 - 导致营养损失如:必需氨基酸 (尤其赖氨酸)、维生素 Vc
 - 降低食品的可消化性(digestibility)
 - 产生毒性(Toxicity)或突变性(mutation)

影响美拉德反应的因素

Effect factors of Maillard reactions



□ 反应物

■ 还原糖

□ 戊糖(Pentose)>己糖(hexoses)>二糖(disaccharides)

□ 戊糖:

■ 核糖(Ribose)>阿拉伯糖(Arabinose)>木糖(Xylose)

□ 己糖:

■ 半乳糖(D-galactose)>甘露糖(D-mannose)>葡萄糖(D-glucose)

□ 醛糖(Aldoses) > 酮糖(ketoses)

■ 氨基化合物

□ 氨基酸

■ 酸性氨基酸>碱性氨基酸

□ 蛋白质(Protein) > 氨基酸(Amino acids)

非酶褐变

Non-enzyme browning



□ 非酶褐变:

- 是指由于各种非酶原因引起的化学反应而造成的褐变，非酶褐变反应的机制一般可分成4种类型：**焦糖化反应、美拉德反应、抗坏血酸氧化分解反应、多元酚氧化缩合反应。**

□ 焦糖化反应:

- 是指在水（或浓溶液）条件下加热糖或糖浆，用酸或铵盐作催化剂，糖发生脱水与降解，生成深色物质的过程。

抑制非酶褐变的方法

Inhibition method



- ① **隔氧法**。阻止由于与氧接触发生氧化而引起的褐变，如选用隔氧的包装材料、采用吸氧剂、充氮等方法。
- ② **低温冷藏法**。阻止由高温加热引起的热褐变，温度每升高 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，褐变速度增加3-5倍，可以通过低温冷藏来抑制。
- ③ **降低水分活度法**。水分活度 >0.6 时，很容易引起褐变。
- ④ **降低pH值法**。在 $\text{pH}>3.0$ 时，随着pH值的升高，非酶褐变加快，易褐变，因此调节pH值 <3.0 为宜。
- ⑤ **添加添加剂法**。常用的添加剂有亚硫酸及其钠盐、硫醇化合物等，可与褐变中间体羰基化合物相结合，从而阻止其发生聚合反应，最终抑制食品的非酶褐变。



碳水化合物与食品的品质

- ① 淀粉玻璃化转变对食品品质的影响
 - 淀粉的性质和结构是随着食品加工和贮藏条件的不同而呈现出多样性，所以淀粉的玻璃化转变对以淀粉为主的原料的质构和货架寿命都有显著的影响。例如**面包的老化、小吃食品的松脆性、微胶囊包埋**等都与淀粉的玻璃化转变有关。
- ② 淀粉磷酸酯对食品品质的影响
 - 淀粉磷酸单酯的分散液具有透明、黏度高、抗老化、稳定性好、保水性和冻融性强的性能，在食品中可以起到增黏和保型的作用。例如淀粉磷酸酯在食品工业中可以用作**增稠剂、稳定剂及乳化剂**等。





碳水化合物与食品的品质

□ ③ 氧化玉米淀粉磷酸酯对食品品质的影响

- 食品中添加适量的氧化玉米淀粉磷酸酯后，能使面糊的析水率降低、冻融稳定性增强。同时，氧化玉米淀粉磷酸酯可以防止制品炸制时水分蒸发，口感变硬。添加适量的氧化玉米淀粉磷酸酯还可以有效地改善食品的弹性、韧性和硬度。

□ ④ 麦芽糊精对食品品质的影响

- 麦芽糊精广泛应用于糖果、麦乳精、果茶、奶粉、冰淇淋、饮料、罐头及其他食品中。麦芽糊精可以用作填充料和增稠剂，具有改善风味，提高溶解性能，增强稠度，降低甜度的作用，同时还可以预防龋齿、肥胖病、高血压、糖尿病等。



碳水化合物与食品的品质

□ ⑤ 醋酸木薯淀粉对食品品质的影响

- 醋酸木薯变性淀粉具有糊化温度低、糊丝长、透明度高、膜柔软光亮等特性。将其用于方便面制作过程中可赋予面条光洁平滑的外表、爽滑的口感并可提高面身的筋斗性，且不浑汤，不断条。

□ ⑥ 抗性淀粉对食品品质的影响

- 抗性淀粉是指不能被人体消化吸收的淀粉类物质，在食品中的作用类似于食用纤维。将抗性淀粉添加到饼干制品中，可以增加产品的疏松度，改善产品的口感、风味和品质；在软糖中添加抗性淀粉可以延长产品的储存期；采用低度氧化淀粉包裹在油炸食品的表面，可以增加调料的附着性，改善食品的口感。



总结(Summary)

- 非酶褐变、美拉德反应、焦糖化反应
- 美拉德反应的步骤和机理？
- 褐变对食品品质的影响有哪些方面？
- 抑制食品非酶褐变的方法有哪些？