

第三章 食品保藏过程中的品质变化

[教学目标] 本章使学生了解冷害发生的机理及其影响因素,熟悉罐头食品常见的变质现象及防止措施,掌握食品发生干耗的原因及其控制措施,汁液流失和蛋白冻结变性的机理及其影响因素,食品干制过程中的品质变化及其控制。

第一节 食品在低温保藏中的品质变化

一、水分蒸发(干耗)

- 食品在低温保藏(包括冷藏和冻藏)过程中,其水分会不断向环境空气蒸发而逐渐减少,导致重量减轻。这种现象就是水分蒸发,俗称干耗

(一) 干耗的机理

- 干耗是由食品表面与其周围空气之间的水蒸气压差来决定的,压差越大,则单位时间内的干耗也越大
- 单有水蒸气压差的存在,干耗还不会产生。只有供给足够的热量才能使水蒸发或使冰晶升华。热量的来源有库外导入的热量、库内照明热、操作人员散发的热量等。其中,库外导入的热量是最主要的热源,干耗将随库外导入的热量而成正比地增大
- 干耗的过程如下:当食品吸收了蒸发潜热或升华潜热之后,水分即蒸发或者冰晶即升华形成水蒸气,并且在水蒸气压差的作用下向空气转移,吸收了水分的空气由于密度变轻而上升,与蒸发器接触,水蒸气即被凝结成霜。脱湿后的空气由于密度变大而下沉,再与食品接触,重复上述过程。如此循环往复,使食品的水分不断丧失,重量不断降低

(二) 干耗的方式

- 自由干耗是指无包装的食品直接与空气接触时产生的干耗。在此种情况下,由于始终存在 $P_f > P_m$ 的关系,故食品的干耗将持续不断地进行下去
- 包装中的干耗是指包装中存在空气而引起的干耗。由于包装与食品的间隙一般都比较小,其中的空气吸湿能力有限,且作为冷却面的包装材料的除湿能力也不如冷却设备。因此,包装中的干耗要比自由干耗小得多。包装中的空隙越小,则干耗越少。如果采用气密性包装,即可大大地减少干耗

(三) 影响干耗的因素

- 库外导入的热量
- 堆垛密度
- 装载量
- 冷藏或冻藏条件
- 空气流速
- 冷库的建筑结构
- 冷库内所使用的冷却设备

（四）干耗对食品品质的影响

- 干耗不仅会造成食品的重量损失，而且还会引起明显的外观变化，如冷藏果蔬的萎蔫及变色、冷藏肉类的变色等。更为严重的是当冻结食品发生干耗后，由于冰晶升华后在食品中留下大量缝隙，大大增加了食品与空气接触面积，并且随着干耗的进行，空气将逐渐深入到食品内部，引起严重的氧化作用，从而导致褐变的出现及味道和质地的严重劣化。这种现象也被称为冻结烧(Freeze burn)。食品出现冻结烧后，即已失去食用价值和商品价值

（五）减少干耗的方法

- 良好的包装
- 冷库温度低且稳定
- 提高冷库的相对湿度
- 修建夹套式冷库

二、汁液的流失

（一）概念

- 冻结食品在冻结时或解冻后，会渐渐流出一些液体来，这就是流失液(drip)。流失液是由于冻结食品解冻时，冰晶融解产生的水分没有完全被组织吸收重新回到冻前状态，其中有一部分水分就从食品内部分离出来成为流失液。此种现象就称为汁液流失

（二）汁液流失的原因

- 蛋白质、淀粉等大分子在冻结及冻藏过程中发生变性，使其持水力下降，因而融冰水不能完全被这些大分子吸回，恢复到冻前状态
- 水变成冰晶使食品的组织结构受到机械性损伤，在组织的结合面上留下许多缝隙，那些未被吸回的水分，连同其他水溶性成分一起，由缝隙流出体外，成为自由流失液。当组织所受损伤极为轻微时，由于毛细作用的影响，流失液被滞留在组织内部，成为挤压流失液

（三）影响因素

- 流失液的多少以及自由流失液与挤压流失液之比受到许多因素的影响，主要有原料的种类、冻结前处理、冻结时原料的新鲜度、冻结速度、冻藏时间、冻藏期间对温度的管理及解冻方法等
- 不同种类的冻结食品的流失液有明显差异。一般地，含水量多及组织脆嫩者流失液多。比如冻结蔬菜中，叶菜类的流失液比豆类的多，而冻鱼与冻肉相比，前者的流失液多
- 原料鲜度越低则流失液越多。通过对冻结狭鳕鱼的研究发现，狭鳕鱼死后开始冻结的时间越迟，则蛋白质变性越严重，解冻之后的汁液流失也越多
- 冻藏温度越低或冻藏时间越短则汁液流失少
- 原料冻结前处理对汁液流失也有较大的影响。添加甘油、糖类及硅、磷酸盐时流失液将

减少，而原料分割得越细小，则流失液越多

（四）防止汁液流失的方法

- 使用新鲜原料
- 快速冻结
- 降低冻藏温度并防止其波动
- 添加磷酸盐、糖类等抗冻剂

三、冷害

- 冷害是由水果和蔬菜组织冰点以上的不适低温造成的伤害

（一）冷害的机理

- Lyons 认为，在低温条件下，生物膜的相转移是冷害的首要原因。冷害温度首先影响细胞膜，细胞膜主要是蛋白质和脂肪构成的，脂肪在正常状态下呈液态，受冷害后，变成固态，使细胞膜发生相变。这种低温下细胞膜由液相变为液晶相的反应称作冷害的第一反应。膜发生相变以后，随着产品在冷害温度下时间的延长，有一系列的变化发生，如脂质凝固粘度增大，原生质流动减缓或停止。膜的相变引起膜吸附酶活化能增加，加重代谢中的能负荷，造成细胞的能量短缺。与此同时，膜透过性增大，导致了溶质渗漏及离子平衡的破坏，导致代谢失调。总之，膜的相变使正常的代谢受阻，刺激乙烯合成并使呼吸强度增高。如果组织短暂受冷后升温，仍可以恢复正常代谢而不造成损伤，如果受冷的时间很长，组织崩溃，细胞解体，就会导致冷害症状出现

（二）影响冷害的因素

- 种类及品种
- 成熟度
- 果实大小
- 冷藏温度
- 冷藏时间
- 不饱和脂肪酸含量

（三）冷害的防止方法

- 适温下贮藏
- 温度调节和温度锻炼
- 间歇升温
- 变温处理
- 调节贮藏环境中的气体成分
- 化学处理

四、寒冷收缩

- 这是牛、羊及仔鸡等肉类在冷却过程中常遇到的生化变质现象。如果牛、羊和仔鸡肉等

在 pH 值尚未降到 5.9~6.2 之前，即在僵直之前，就将其温度降到 10℃ 以下，肌肉会发生强烈收缩变硬的现象，这就是寒冷收缩。寒冷收缩与死后僵直等肌肉收缩有显著的区别，属于异常收缩。它不但更为强烈，而且不可逆。寒冷收缩后的肉类，即使经过专门的成熟和烹煮，也仍然十分老韧

（一）寒冷收缩的机理

- 关于肌肉寒冷收缩的机理，仍有一些未明之处。但现在一般认为是离子平衡被破坏的结果。Ca²⁺从肌质网体(线粒体)中游离出来后使肌浆中的 Ca²⁺浓度大大增加，而此时肌质网体吸收和贮存 Ca²⁺的能力已遭到破坏，从而使肌质网体与肌浆之间的 Ca²⁺平衡被打破，导致肌肉发生异常收缩

（二）防止寒冷收缩的方法

- 增加冷却前的 ATP 和糖原的分解。可采用的具体措施有：a. 将肉类在 15℃ 下存放几个小时；b. 电刺激，适当的电刺激可以强迫肌肉痉挛，加快肌肉中的生化反应，迅速形成乳酸使 pH 值下降。比如在 35℃ 下用 200V，12.5Hz 的交流电刺激肌肉中的生化反应，迅速形成乳酸使 pH 值在 3~4h 内降到 6.2 以下。电刺激的效果与电压、频率、电刺激的时间、电刺激的迟早及刺激的部位等因素有关
- 阻止肌肉纤维的收缩。采取的具体措施有：a. 用特殊方法悬挂胴体；b. 机械拉伸等。目前尽管采用①a. 方法处理肉类正在稳步增加，但电刺激仍然是一种方便、快速、有效地防止寒冷收缩的方法
- 缓慢降温。在实际冷却操作中，为了防止肉类的寒冷收缩，Bendal 建议，牛和羊胴体表面肌肉组织下 30 毫米处的温度，至少在死后 14 小时内不应降到 10℃。Buchter 则认为，对小牛、青年公牛等牛肉应在死后 24 小时以后，才降至 10℃

五、蛋白质冻结变性

- 含蛋白质的食品如动物肉类、鱼贝类等，在冻结贮藏后，其所含蛋白质的 ATPase 活性减小，肌动球蛋白的溶解性下降，此即所谓的蛋白质冻结变性

（一）蛋白质冻结变性的机理

- 冻结使肌肉中的水溶液的盐浓度升高，离子强度和 pH 值发生变化，使蛋白质因盐析作用而变性
- 蛋白质中的部分结合水被冻结，破坏了其胶体体系，使蛋白质大分子在冰晶的挤压作用下互相靠拢并聚集起来而变性

（二）影响蛋白质冻结变性的因素

- 冻结及冻藏温度影响
- 盐类、糖类和磷酸盐类的影响
- 脂肪的影响
- 食品冻结前的鲜度也是影响蛋白质冻结变性的重要因素

（三）防止蛋白质冻结变性的方法

- 快速冻结、低温贮藏均可有效地防止蛋白质变性
- 在冻结前添加糖类，磷酸盐类，山梨醇，氨酸、天冬氨酸等氨基酸，柠檬酸等有机酸，氧化三甲胺等物质，均可防止或减轻蛋白质的冻结变性
- 各种糖类防止蛋白质变性的效果除与其浓度有关外，还与糖的-OH基数量有关。一般地，-OH基较多的糖类，防止蛋白质变性的效果也较好

六、脂肪的酸败

（一）脂肪酸败分类

- 水解酸败是由于酶类等因素的作用而引起的，它在冷藏和冻藏食品中缓慢的进行，使脂肪逐渐被分解成游离脂肪酸。而游离脂肪酸可作为催化剂，促进脂肪氧化酸败
- 氧化酸败通常是指脂肪自动氧化，此外它还包括酶引起的氧化、风味逆转及乳脂和乳制品的氧化气味等不同形式。自动氧化是常见于各种含脂食品加工与贮藏过程中的变质现象

（二）影响自动氧化的因素

- 脂肪酸的不饱和度
- 食品与光和空气接触面的大小
- 温度
- 铜、铁、钴等金属
- 肌红蛋白及血红蛋白
- 食盐及水分活度等
- 脂肪酸的不饱和程度提高，温度的上升，铜、铁、钴等金属离子和食盐及肌肉色素的存在，紫外线照射及食品与空气接触面增加等，都会促进脂肪的自动氧化

（三）低温下的食品酸败

- 低温可以推迟酸败，但是不能防止酸败。这是由于脂酶、脂肪氧化酶等在低温下仍具有一定的活性，因此会引起脂肪缓慢水解，产生游离脂肪酸
- 与水解酸败相比，氧化酸败对冻结食品质量的损害更为严重。发生在冻结食品中的自动氧化，很可能在冻结前的准备阶段就已开始。因此，在冻藏过程中，只要有氧化存在，即使没有紫外线的照射，也会继续进行，导致食品变质
- 油烧。当含脂较多的鱼类在长期冻藏过程中，如果没有适当的防护措施，则会在腹部等处出现黄色甚至橙红色，这种现象称做油烧(Rusting)。油烧的原因与酸败一样都是脂肪的自动氧化。两者的区别在于酸败仅有风味异变而无变色现象，而油烧则在引起风味劣化的同时，伴有变色现象
- 在脂肪氧化酸败进行到一定程度后，如果有氨、胺类、血红素、碱金属氧化物及碱等二次因子中的任何一种参与作用时，都会导致油烧。

- 油烧中的变色机理已初步阐明，已知着色物的母体是脂肪氧化酸败时生成的羰基化合物，但着色物的化学结构尚未确定

七、蛋黄的凝胶化

- Moran 发现贮藏于 -6°C 下的冷冻蛋黄在解冻后，其粘度远大于未冻结的鲜蛋黄。蛋黄这种流动性的不可逆变化即所谓的凝胶化。凝胶化将会损害蛋黄的功能性质，比如用凝胶化蛋黄制作的蛋糕的体积小得多

(一) 凝胶化机理

- 机理：由于冻结和解冻，低密度脂蛋白颗粒失去其赖以稳定的表面组分，并诱导低密度脂蛋白的结构重排和凝聚，从而导致了网状凝胶结构的形成

(二) 影响凝胶化的因素

- 蛋黄凝胶化的速度和程度主要取决于冷冻速度、冻藏温度和冻藏时间及解冻速度等因素。一般地，快速冻结和快速解冻能有效地减轻凝胶化。用 -196°C 的液态 N_2 冻结的蛋黄，只要迅速解冻其流动性要好于 -20°C 下冻结的蛋黄，几乎具有与未冻结蛋黄相同的流动性。但是当冻藏温度由 -6°C 下降到 -50°C 时蛋黄凝胶化速度加快。Powrie 发现，在 -10°C 和 -14°C 下冻藏的蛋黄，其凝胶化作用在冻藏的前一段时间内十分明显，但随后凝胶化速度将慢下来

(三) 防止凝胶化的方法

- 添加化学保护剂。蛋黄在冻结之前添加 10%的蔗糖、半乳糖、葡萄糖及阿拉伯糖等糖类，或添加 5%的甘油，既不会使未冷冻蛋黄的粘度发生明显的改变，又可有效地防止凝胶化。加入 5%~10%的 NaCl 虽然会使未冻结蛋黄的粘度增加，但能防止凝胶化
- 加入某些酶类。添加番木瓜酶或胰蛋白酶等蛋白酶类对蛋黄进行冻前处理，能非常有效地防止凝胶化。但是，由于酶处理后的蛋黄乳化作用下降，因而妨碍了此法在工业上的使用。
- 均质作用和胶体磨。这两种处理均可减轻凝胶化而不能防止凝胶化

八、冰晶生长和重结晶

- 在冻藏过程中，未冻结的水分及微小冰晶会有所移动而接近大冰晶与之结合。或者互相聚合而成大冰晶。但这个过程很缓慢，若冻藏库温度波动则会促进这样的移动，尤其细胞间隙中大冰晶成长即加快。这就是重结晶现象

九、冷冻食品的变色

(一) 冷冻果蔬的变色

- 苹果、梨、桃及香蕉等水果在冷冻、冷藏及解冻过程中，其切割面将发生褐变。褐变的原因是果实中的单宁物质受多酚氧化酶的作用而生成褐色物质所致。褐变的发生必须要有多酚氧化酶、单宁等酚类物质及 O_2 共同存在，缺一不可。 O_2 可来自空气，也可自过氧化物的分解。

- 通过烫漂、盐水、糖溶液、亚硫酸盐水溶液等处理来破坏酶的活性，或真空包装以隔绝空气可减轻褐变
- 蔬菜在冷冻、冷藏及解冻过程中的变色主要是由叶绿素、类胡萝卜素等色素的变化而引起的，其中尤以绿色蔬菜的黄变更为常见。变色的速度与贮藏温度有密切的关系，比如菜花的变色在-18℃下贮藏时要经过2个月后才可观察到，而在-12℃下贮藏时，变色速度将快3.6倍，而在-7℃下时则快10.7倍
- 采用烫漂、真空包装、调节pH值及添加护色剂等方法可以防止或减轻蔬菜的变色

(二) 禽类在冻藏中的变色

- 放血不彻底，使表皮变红
- 表皮破损后，渗出的淋巴液使禽体表皮呈现褐色斑点
- 表层形成大冰晶，使入射光线穿透皮肤，从而呈现出暗红色的肌肉色素
- 受冻结的破坏，骨骼细胞释放出血红蛋白，氧化后变成褐色
- 发生冻结烧而使禽体表面出现灰黄斑点
- 防止冻禽变色的方法有：快速冻结，采用低且稳定的温度和尽可能高的相对湿度进行冻藏，用不透气的材料紧缩包装或真空包装等

(三) 肉类的变色

- 肉类在冻藏过程中，其色泽会发生从紫红色→亮红色→褐色的变化。这是由于肌蛋白和血红蛋白被氧化，生成了变性肌红蛋白和变性血红蛋白所致
- 变性肌红蛋白的形成速度与环境中氧的分压有密切的关系。当氧的分压降低时，变性肌红蛋白的形成速度逐渐增加，在氧的分压为 $2.67 \times 10^3 \text{N} / \text{m}^2$ 时达到最大值。此后当氧的分压继续降低时，变性肌红蛋白的形成速度将快速下降
- 当肉类受到微生物的破坏时，其产物可与肌红蛋白化合，或者使肌红蛋白分解，产生绿色、黄色等颜色

(四) 鱼贝类在冻藏中的变色

- 红肉鱼的褐变
- 白肉鱼的褐变
- 旗鱼的绿变
- 红色鱼的褪色和冷冻贝类的红变
- 虾类的黑变
- 脂肪参与的变色

第二节 食品在罐藏中的品质变化

一、罐内食品的变质

(一) 变色

- 褐变
- 蟹肉的青变
- 长鳍金枪鱼的绿变
- 牡蛎罐头的黄变
- 黑变

(二) 蛋白质的热变性

- 肌原纤维蛋白质的热变性。肌原纤维蛋白质在加热时，肽链即作热运动，结合能量较低的氢键、疏水键等断开，成为所谓的展开状态。此时，蛋白质表面电荷状态改变，使其溶解度下降。同时，切下的侧链一部分在分子内再结合，一部分与其它分子的侧链结合而引起分子的凝聚，从而使蛋白质的粘度、保水性、流动双折射、沉降系数及浊度发生变化
- 蛋白质的热变性与食品和加热温度有密切的关系
- 肌肉蛋白质的热变性速度与其是否经历过冻结和冻藏有关，Yumiko 等人指出，鲤鱼肌肉在加热前经过冻结和冻藏后，其肌原纤维蛋白质的热变性速度将加快，且冻藏时间越长，热变性速度越快。他们还认为，肌球蛋白分子的杆部比头部更难发生热变性
- 肌肉蛋白质的热变性速度还与 pH 值有关。肌原纤维蛋白在中性条件下的热变性速度比在酸性或碱性条件下慢得多。但是不同种类动物蛋白质，其热变性受 pH 值的影响是不同的。比如鳕和金枪鱼等的肌原纤维蛋白质在酸性条件下的热变性速度很小，而狭鳕的肌原纤维蛋白质即使在中性条件下，其热变性速度也很快

(三) 玻璃状结晶的出现

1. 产生原因

- 许多水产罐头如清蒸鱼类虾、蟹类、乌贼类罐头等在贮藏过程中常出现无色透明玻璃状结晶，严重影响罐头的商品价值。这种结晶实际上是磷酸镁铵 $MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$ ，俗称鸟粪石。它是由来源于原料和海水中的镁与原料产生的磷酸及 NH_3 化合而产生的，在冷却和贮藏过程中慢慢析出，并逐渐长大，大者可达数毫米。结晶成长的适宜温度为 $30\sim 40^\circ C$ 。该结晶在 pH6.3 以下溶解度较大，而难溶于中性及碱性的水溶液中。该结晶可溶于胃酸，因而对人体并无损害

2. 防治方法

- 采用新鲜原料。原料越新鲜，则因蛋白质分解而产生氨的数量越少，结晶形成的速度也越慢
- 控制 pH 值。由于结晶溶解于酸性溶液中，因此，在生产某些水产罐头时，可采用

浸酸处理以调节 pH。但要控制好浸酸时间及酸的浓度，以免影响罐头的风味

- 禁止使用粗盐及海水处理原料。粗盐及海水在含有较高浓度的镁，能促使结晶的形成和析出
- 杀菌后迅速冷却。实践表明，冷却迅速时，形成的结晶较细微，而冷却缓慢时，则易形成大型结晶。因此，杀菌后，应尽快冷却到 30℃ 以下，以免长时间停留在 30~40℃ 的大型结晶形成区
- 添加增稠剂。添加明胶、羧甲基纤维素及琼脂等增稠剂，能提高罐内溶液黏度，降低结晶析出的速度
- 添加螯合剂。添加 0.05% EDTA 或酸性焦磷酸钠或 0.05% 的植酸，可使镁离子形成稳定的螯合物，从而防止结晶的析出

(四) 罐头食品营养价值的变化

(五) 其他变质现象

- 凝乳肉。凝乳状肉 (curd) 是指液汁上漂浮或粘着在鱼肉表面的如豆腐状的凝固物，也被称做血蛋白。它被认为是来源于水溶性蛋白质，因加热凝固而产生的。一般鲑、鳟、鲱、沙丁鱼等罐头采用生鲜装罐工艺进行生产时及加热杀菌时温度上升缓慢的情况下易形成凝乳肉。为了减少和防止凝乳肉的产生，应采用新鲜原料，充分洗涤，去尽血污，并在加热时迅速升温，使热凝性蛋白在渗出鱼肉表面前，即在鱼肉组织内部凝固。
- 粘着肉是指鱼肉或鱼皮粘着在罐盖或罐内壁上的现象。在鲑、鳟、大鲈等清蒸罐头中常发生，产生此现象的原因是鱼肉与罐盖或壁接触处受热凝固，同时鱼皮中的胶原蛋白热水解变成明胶，极易粘附于罐壁。在罐盖上涂抹植物油，或在罐内衬以硫酸纸，可防止此现象发生。鱼块装罐前稍烘干表面水分，或以稀醋酸溶液浸渍 (只适用茄汁鱼类罐头)，可减少此现象
- 罐内油的变红。油浸鱼类罐头经长时间的贮存后，罐内油会变成红褐色。其原因是由于植物油中含有色素或呈色物质，它们在生产 and 贮藏过程中受热和光线等的影响而变成红褐色。当植物油中混有胶体物质及三甲胺时，油脂易变红。油脂中的呈色物质易吸附于各种吸附剂，煮熟的新鲜的鱼肉组织就具有很强的吸附力。为防止罐内油的变红，应采用新鲜原料，去净内脏；避免光线，特别是紫外线的照射；注入的油量应适当；工艺过程越快越好
- 虾肉的软化。虾罐头在贮藏一段时间后，肉质往往软化而失去弹性，用指端掀压有如触糊状物之感，使食用价值大大降低。这种现象就称为虾肉的软化或虾肉液化。松井氏研究此现象后认为，虾肉软化时，肉质严重分解，蛋白氮和不溶性氮减少，而可溶性氮增加

二、罐头容器的变质

(一) 罐内壁的腐蚀现象

- 酸性均匀腐蚀
- 集中腐蚀
- 氧化圈
- 异常脱锡腐蚀

(二) 影响罐内壁腐蚀的因素

- 氧
- 有机酸
- 亚锡离子
- 食盐
- 硫及硫化物
- 硝酸盐
- 花青素
- 铜离子
- 除了上述因素外，氧化三甲胺、低甲氧基果胶、镀锡薄板的质量、罐头生产工艺及贮藏条件等因素都会对罐内壁腐蚀产生一定的影响

第三节 食品在干制保藏中的品质变化

一、干缩

- 食品在干燥时，因水分被除去而导致体积缩小，肌肉组织细胞的弹性部分或全部丧失的现象称作干缩
- 干缩的程度与食品的种类、干燥方法及条件等因素有关。一般情况下，含水量多、组织脆嫩者干缩程度大，而含水量少、纤维质食品的干缩程度较轻。与常规干燥制品相比，冷冻干燥制品几乎不发生干缩。在热风干燥时，高温干燥比低温干燥所引起的干缩更严重；缓慢干燥比快速干燥引起的干缩更严重
- 干缩有两种情形，即均匀干缩和非均匀干缩。有充分弹性的细胞组织在均匀而缓慢地失水时，就产生了均匀干缩，否则就会发生非均匀干缩。干缩之后细胞组织的弹性都会或多或少地丧失掉，非均匀干缩还容易使干制品变得奇形怪状，影响其外观
- 干缩之后有可能产生所谓的多孔性结构。当快速干燥时，由于食品表面的干燥速度比内部水分迁移速度快得多，因而迅速干燥硬化。在内部继续干燥收缩时，内部应力将使组织与表层脱开，干制品中就会出现大量的裂缝和孔隙，形成所谓的多孔性结构
- 多孔性结构的形成有利于干制品的复水和减小干制品的松密度。松密度是指单位体积的制品中所含干物质的量。但是，多孔性结构的形成使氧化速度加快，不利于干制品的贮

藏

二、表面硬化

- 表面硬化是指食品表面呈现干燥而内部仍软湿的现象。表面硬化不会阻碍干燥过程中热量向食品内部的传递和水分向表面迁移，从而使干燥速率下降，而且长期贮藏过程中，会使干制品内部水分缓慢渗出到干制品表面，引起干制品霉变
- 引起表面硬化的原因有二种，其一，食品在干燥时，其溶质借助水分的迁移不断在食品表层形成结晶，导致表面硬化；其二，由于食品表面干燥过于强烈，水分蒸发很快，而内部水分又不能及时扩散到表面，因此表层就会迅速干燥而形成一层硬膜。前者常见或盐类较多的食品干燥中。比如干制初期某些水果表面上有含糖的粘质渗出物可控面硬化现象的表现。后者与干燥条件有关，如温度太高，或风速太快。是人为可控的现象，可通过提高干燥初期食品的温度及干燥介质的相对湿度来控制食品表层湿度的变化，从而消除表面硬化的现象

三、溶质迁移现象

- 食品在干燥过程中，其内部除了水分会向表层迁移外，溶解在水中的溶质也会迁移
- 溶质的迁移有两种趋势：一种是由于食品干燥时表层收缩使内层受到压缩，导致组织中的溶液穿过孔穴、裂缝和毛细管向外流动。迁移到表层的溶液蒸发后，浓度将逐渐增大；另一种是在表层与内层溶液浓度差的作用下出现的溶质由表层向内层迁移。上述两种方向相反的溶质迁移的结果是不同的，前者使食品内部的溶质分布不均匀，后者则使溶质分布均匀化。干制品内部溶质的分布是否均匀，最终取决于干燥速度，也即取决于干燥的工艺条件。只要采用适当的干制工艺条件，就可以使干制品内部溶质的分布基本均匀化

四、蛋白质脱水变性

- 含蛋白质的食品(主要是动物性食品)在脱水后，再吸水还原时，其外观、水分含量及硬度等均不能恢复到原来状态。其原因是蛋白质因脱水而变性
- 蛋白质的脱水变性受食品的含水量、干燥方法及干燥条件等因素的影响。含水量越高，则食品中的蛋白质越易因脱水而变性，而在绝对干燥状态下，蛋白质很难变性。干燥方法对蛋白质的变性有明显的影响。与普通干燥法相比，冷冻干燥法引起的蛋白质变性程度要轻微得多。Cole 研究了冷冻干燥牛肉的蛋白质变化情况，指出肌球蛋白溶解度、ATPase 活性、蛋白质沉降图及电泳图等，在冷冻干燥前后均无显著的变化
- Tsuyosi 等人研究了干燥温度对蛋白质变性的影响。盐渍绿鳕鱼肉的蛋白质变性与干燥温度的实验结果如图 3.23 所示。从图中可以看出，在 30℃ 下干燥时，肌原纤维蛋白质 Ca-ATPase 的活性的下降遵从一级反应，且随盐浓度增大，活性下降速度增加。在 40℃ 以上的温度下干燥时，在开始干燥的一段时间(1.5~2h)后，肌原纤维蛋白质 Ca-ATPase 的活性将急剧下降。这主要是因加热使蛋白质凝集而变性所致。盐类可促进此过程

- 此外，脂质氧化也会促进蛋白质的脱水变性。丰水等人对冻干竹荚鱼的脂质氧化与蛋白质变性之间的关系进行了研究，含脂量多的冻干竹荚鱼在冻干过程及在 37℃ 下贮藏过程中，蛋白质变性速度明显快于未添加者。当加入抗氧化剂 BHA 后，冻干竹荚鱼在贮藏中的蛋白质变性受到了抑制。上述实验结果说明，蛋白质在干燥过程及贮藏初期的变性主要是受温度及脱水等因子的作用所致，而在贮藏后期，脂肪的氧化将成为影响蛋白质变性的主要因子

五、脂质氧化

- 尽管脱水使食品的水分活度降低，抑制了脂酶及脂氧化酶等酶的活性，却使脂质自动氧化变得更为容易和更为快速，特别是无包装的含脂冻干食品，脂质氧化往往是导致其变质的最主要原因
- 干制品在贮藏过程中脂质的氧化速度还与其种类、水分活度等因素有密切的关系。通常含脂多的干制水产品极易发生脂质氧化酸败，特别是盐干和冻干品，不仅易发生酸败，如保藏措施不当，还易出现油烧
- 为了防止干制品的脂质氧化酸败，可以采用下述措施：真空包装和使用脂溶性抗氧化剂处理

六、褐变

- 食品的干制会引起许多变色反应，比如类胡萝卜素、花青素、肌红素及时绿素等色素均会因脱水和受热而变化，引起制品的颜色改变。但是干制品最严重的变色应是褐变
- 褐变的原因有两种，其一是多酚类物质如鞣质、酪氨酸等在组织内酚氧化酶的作用下生成褐色的化合物一类黑素而引起的褐变，其二是梅拉德反应所引起的褐变。但与普通梅拉德反应有所不同，在水产干制品的褐变反应中，根据小泉氏等的研究结果，油脂自动氧化所产生的羧基化合物与氨基酸的反应起着相当重要的作用。不过，也有研究认为油脂自动氧化与褐变之间存在相互抑制的关系