

# 第一章 概 述

## 第一节 食品的脱水与干燥

脱水是指在人工控制条件下，保证食品品质变化最小，促使食品水分蒸发的工艺过程。因此，脱水就是指人工干燥。脱水食品不仅应达到耐久贮藏的要求，而且要求复水（即重新吸水）后基本上能恢复原状。干燥是在自然条件或人工控制条件下促使食品中水分蒸发的工艺过程。一般来说，干燥包括自然干燥如晒干、风干等和人工干燥如烘房烘干、热空气干燥、真空干燥等。但是，为了与脱水（即人工干燥）有所区别，习惯上常将干燥单纯地理解为自然干燥的代名词。食品干藏就是脱水干制品在它的水分降低到足以防止腐败变质的水平后，始终保持低水分进行长期贮藏的过程。适宜于干藏的干制品的水分含量是随着食品种类而异，水分含量最低可达1%~5%，如乳粉、蛋粉、速溶咖啡等在此水分含量下可在室温中贮藏一年以上。

食品脱水加工，原本是为了能在室温条件下长期保藏食品，以使延长食品的供应季节，平衡产销高峰，交流各地特产，贮备供救急、救灾和战备用的物资。随着脱水加工技术的不断改进，不仅提高了脱水制品的品质，而且改善了脱水制品的耐藏性和复水性。脱水既是食品保藏的手段，也成为食品加工的重要手段。因此，脱水加工技术不仅用于食品保藏，而且已发展成为食品加工的重要方法。此外，脱水加工技术在一般食品加工过程中也常用于改善加工质量。例如生产油氽花生米时，脱水干制有助于脱去花生米

外衣，并可缩短油炸时间，以保证产品色泽达到淡黄色的要求。

食品脱水加工的目的是为了除去食品中所含的水分，有些食品自然干制后经过“复水”后基本上能“恢复”至脱水前的状态。有些食品经过自然干制后虽然不能“恢复”至脱水前的状态。但整个过程仍然是脱水过程，故在写作本书过程中将自然干制食品也作为脱水食品，并介绍了部分自然干制技术，请读者在阅读时注意理解。此外，有些经过人工干制加工后的食品不能“复水”，但整个工艺过程仍然是一个脱水加工过程，作者认为此类食品也应当属于脱水食品。目前，对脱水食品尚无统一概念，对脱水食品也无统一的标准，故作者在本书写作过程中，为了方便读者在实际生产中的应用，把“生产过程中利用除去食品中水分的加工方法”加工的食品均归类为脱水食品，有不妥之处敬请专家和同行指正。

自然干制为我国长期广泛采用的干制法。不少著名土特产如红枣、柿饼、葡萄干、香蕈、金针菜、玉兰片(笋片)、萝卜干和梅菜(菜干)都是晒干制成。风肉、火腿和广东香肠则经风干或阴干后再行保存。自然干制仍是常见的干燥方法。它的特点是方法和设备简单、管理粗放、生产费用低、能在产地就地进行，还能促使尚未完全成熟的原料进一步成熟。但自然干制法有难以克服的缺点，更有不少难以控制的因素。首先是干燥缓慢，难以制成品质优良的产品。其次是会受到气候条件的限制，食品常会因阴雨季节无法晒干而腐败变质。同时还需要有大面积晒场和大量劳动力，劳动生产率极低。此外，还容易遭受灰尘、杂质、昆虫等污染和鸟类、啮齿动物等的侵袭，既不卫生，又有损耗。

为了在异常的气候条件下仍能及时脱水干制，人们在不断实践中终于摸索出使用人工加热的脱水干制方法。我国民间长期以来采用的烘、焙、炒等脱水干制方法正是这样逐渐形成的。不过由于每批处理量并不大，不利于大规模生产。适宜于大批量生产的脱水干制方法于1875年才出现。最初是将片状蔬菜堆放在室内

通入 40℃左右热空气进行脱水干制，这就是早期热空气干燥脱水方法。其后，随着生产技术的不断发展，逐渐发展为工业生产的规模。

人工脱水干制在室内进行，不再受气候条件限制，操作易于控制，脱水时间显著缩短，产品质量显著提高，产品得率也有所提高，这是因为脱水干制能及时阻止生化变化，以致如糖分一类物质损耗量得以减少。正由于此，脱水食品才得到了迅速发展。由于食品的脱水，既要求食品品质的变化最小，又能达到耐藏的水分极限，两者在技术上颇难兼顾，为此，人工干制技术仍在继续发展。现在不仅采用热空气干制法，还发展了红外线、远红外线、微波及升华干燥等新技术。但是，质量虽有改善，由于存在成本较高等问题，仍需研究改进。

食品脱水后，重量减轻，容积缩小。如橙汁的固形物含量为 12%，干制后其水分几乎全部蒸发掉，残留物重量仅为原重的八分之一左右，即 200 克橙汁制成粉末，重量仅达 25 克左右，食用时如加 175 克水即可复原。虽然干制后容积缩减的程度没有重量缩减的程度大，但是粉末容积总是比原汁容积小。表 1-1 表明了各种脱水干制品的容积全低于新鲜的、罐藏的冷冻食品的容积。容积缩小和重量减轻可以显著地节省包装、贮藏和运输费用，并且还便于携带，供应方便。实际上，并不是所有脱水干制品都是这样，有些干制技术对原有食品的大小和形状不受影响，如升华干燥后的猪排容积仍和原来的一样。为此，运输费用的下降仅决定于重量的减轻，并不决定于容积，因而升华干燥牛排的包装和运输费用并不比新鲜的低。

表 1-1 各种新鲜食品和保藏食品的容积 (米<sup>3</sup>/1000 千克新鲜食品)

食品种类	新鲜食品	脱水干制食品	罐藏或冻制食品
水果	0.42~1.56	0.85~0.20	0.416~1.699
蔬菜	0.42~2.41	0.142~0.708	0.416~2.407
肉类	0.42~2.41	0.425~0.566	0.416~1.699
蛋类	2.41~2.55	0.283~0.425	0.991~1.133
鱼类	1.42~2.12	0.566~1.133	0.850~2.124

经过脱水的食品,一般所含水分很少,常在 8% 以下,有些仅为 1%~5%。如奶粉、蛋粉、速溶咖啡等,水分的活度处于很低的状态。

食品脱水后,除可保持不易腐败外,还由于体积和重量的减少而便于运输携带。在目前载人航天事业中,由于水分循环处理方法得到解决,所携带的食品都可经脱水处理而大大减少航天器的载重量。

食品干燥过程并不是食品中微生物全部杀灭的过程,而是随着水分活度的下降,微生物慢慢进入休眠状态的过程。换言之,干制品并非无菌,当在一定环境中吸收水分后,微生物仍能恢复生长,食品仍会腐败变质。食品干燥不能代替食品的消毒杀菌处理。

食品腐败变质的原因还有酶的因素,酶属于生化反应的催化剂。生化反应的速率与酶的活性有关,而酶的活性与水分的活度有关。当食品中的水分降到 1% 以下时,酶的活性可以完全消失。但是食品干燥过程也不能代替酶的钝化或失活处理。因此,为了抑制干制品中酶的活动,有些食品在干燥前需要进行酶钝化处理。例如部分果蔬的脱水制品,需要在干燥前先行杀青(灭酶)。

## 第二节 脱水食品加工的基本原理

### 一、对湿热转移有影响的重要因素

不论采用哪一种脱水方法，将热量传递给食品并促使食品组织中水分向外转移是食品脱水的基本过程。但是对热量传递和水分上逸的要求常常并不一定能由同一操作来完成。例如，将食品由两块加热板夹住加热时，虽然能达到热量由顶部和底部向食品内部传递的目的，但是在两块加热板紧密接触下，食品内的水分却很难向外逸出。只有在食品底部用加热板加热，允许食品内部水分移向食品表面而后外逸，水分才有蒸发掉的可能。因此，食品干制过程中既有热的传递也有质（即水分）的外移。为此，湿热的转移就是食品脱水加工基本原理的核心问题。

#### 1. 食品表面积

为了加速湿热交换，食品常在被分割成薄片或小片后，再行脱水加工。物料切制成薄片或小颗粒后，缩短了热量向食品中心传递和水分从食品中心外移的距离，增加了食品和加热介质相互接触的表面积，为食品内水分外逸提供了更多的途径，从而加速了水分蒸发。食品表面积愈大，脱水效果愈好。

#### 2. 温度

传热介质和食品间温差愈大，热量向食品传递的速率也愈大，水分外逸速度加快。若以空气为加热介质，则温度降为次要因素。原因是食品内水分以水蒸气状态从它表面外逸时，将在其周围形成饱和水蒸气层，若不及时排除掉，将阻碍食品内水分进一步外逸，从而降低了水分的蒸发速度，故温度的影响也将因此有所下降。不过空气温度愈高，它在饱和前所能容纳的蒸汽量则愈多，显然提高食品附近空气温度将有利于容纳较多的水分蒸发量。同时

接触的空气质量愈大 吸取水分蒸发量 也就愈多。

### 3. 空气流量

提高空气流速，不仅因热空气所能容纳的水蒸气量将高于冷空气而吸收较多的蒸发水分，还能及时将聚积在食品表面附近的饱和湿空气带走 以免阻止食品内水分进一步蒸发 同时还因和食品表面接触的空气质量增加，而显著地加速食品中水分的蒸发。因此 空气流速愈快 脱水也愈迅速。

### 4. 空气湿度

脱水时 如用空气作干燥介质 则空气愈干燥 脱水速度也愈快，近于饱和的湿空气进一步吸收蒸发水分的能力远比干燥空气差。饱和的湿空气不能进一步吸收来自食品的蒸发水分。

脱水加工时，食品的水分下降过程也是由空气湿度所决定。干燥的食品极易吸水。食品的水分始终要和其周围空气的湿度处于平衡状态。食品水分不同，其表面附近蒸汽压随之而异。食品的水分愈低 则其蒸汽压相应下降 脱水加工后 低水分表面上的蒸汽压也随之而下降。此时，如果物料表面上的和其水分相应的蒸汽压低于空气的蒸汽压，则空气中的水蒸气不断向物料表面附近扩散 物料则从它的表面附近空气中吸收水蒸气而增加水分 直至表面附近蒸汽压和空气蒸汽压相互平衡，物料不再吸收水分。因蒸汽压随温度而异，故在不同温度时各种食品水分有它自己相应的平衡相对湿度。平衡相对湿度就是在一定温度中食品既不从空气中吸取水分，也不向空气蒸发水分时的空气湿度。如低于空气湿度则食品将进一步脱水 反之 则食品不再脱水 而从空气中吸取水分。与平衡相对湿度相应的食品水分则称为平衡水分。

### 5. 大气压力和真空

大气压为 760 毫米汞柱时，水的沸点为  $100^{\circ}$ 。如大气压下降 水的沸点也就相应下降。气压愈低 沸点也愈低 温度不变 气压降低 则沸腾加速。因而 在真空室内加热进行脱水加工 就可

以在较低的温度条件下进行。如仍用和大气压力下脱水时相同的加热温度，则将加速食品内水分的蒸发，还能使脱水制品具有疏松的结构。麦乳精就是在真空室内用较高加热温度脱水加工而成的质地疏松的成品。热敏食品脱水加工时，低温加热和缩短脱水时间对保证制品品质极为重要。

## 6. 蒸发和温度

水分从食品表面蒸发时，它的表面就会冷却，即温度下降，这是水分由液态转化成蒸汽时吸收相变热所造成的结果。蒸发水分所需相变热也可用热空气或加热板作为热源。然而热量需要有一定温度差才能传递 因此 如用热空气加热 只要有水分蒸发 块片状或悬滴状食品的温度总是比热空气低。

块片状或颗粒状固态食品以及悬滴状液态食品只要它含有自由水分或游离水分（即未结合水分），就会像湿球温度计那样进行水分蒸发。因而食品脱水加工时常会出现下列各种重要现象：

干燥空气或加热板的温度不论多高，只要有水分迅速蒸发，物料温度一般不会高于湿球温度。例如，进入喷雾干燥设备内的热空气温度为  $204^{\circ}\text{C}$  而外逸空气的温度可能为  $121^{\circ}\text{C}$  颗粒食品在此干燥过程中一般不会超过  $71^{\circ}\text{C}$ 。

颗粒食品水分下降而蒸发速度减慢时，食品温度则随之而上升。待自由水分全消失掉，上述喷雾干燥例子中的颗粒食品的温度就会上升到和热空气温度相同的水平，即  $204^{\circ}\text{C}$  而且若干燥室无其他热量损失，出口处空气温度也将接近  $204^{\circ}\text{C}$ 。

食品受高温后易损伤，一般应在它们上升到一定温度前，及时从高温干燥室内取出，或者应设计一种使食品能快速通过高温阶段的设备。

除非事先经预热处理，从干燥室内取出的脱水食品并非无菌。一般通过脱水加工（干燥作用）能将食品所污染的大多数微生物杀死，却不能将一些细菌芽孢破坏掉。这种情况在低温脱水时

更明显。例如冷冻脱水，它杀死的微生物数目尤其少。实际上长期以来冷冻作为一种保存细菌菌种活力的有效方法。因此，食品中某些固有酶的活力同样也会在脱水时保存下来。

## 7. 时间与温度

食品一般较易受到热的损害，但是事实上所有重要食品都需用加热的方法进行脱水。因此，脱水干制时既要求能保持食品品质又要尽可能提高干燥率两者必须合理加以统一。在专门设计的高温干燥设备中经4小时干制所得的块状蔬菜干的品质就比用太阳晒干所得的高。现在已有不少方法可在几分钟或短时间内使分割极小的食品达到脱水加工的要求。

## 二、食品物料与水分的形态

用于脱水加工食品物料的形态种类非常多，大体上可分为：  
①块状（如切块胡萝卜、马铃薯、面包等）；②条状（如薯条、刀豆、香肠）；③片状（如叶菜、肉片、蒜片、饼干）；④晶体（如砂糖、葡萄糖、柠檬酸盐）；⑤散粒状（如谷物、油料种子）；⑥粉末状（如淀粉）；⑦膏糊状（如果浆、麦乳精浆料、冰淇淋混合料）；⑧液体（如牛奶、果汁、各种浸出溶液）。

由于各种湿物料的组织结构非常复杂，特别是因食品常处于生物组织体状态（肉类、蔬果类）其组织结构又是各相异性的固态多相系统，因此内部水分存在的状态异常复杂。

食品中绝大多数为毛细管多孔性胶体物质，部分为液体或胶体物质的如乳品、山楂糕等。因此在一般食品内常存在有化学结合水分、物理化学结合水分（如吸附结合水分、渗透和结构结合水分），以及机械结合水分或游离水分，如毛细管水分和湿润水分等。

### 1. 化学结合水分

按照定量比牢固地和物质结合的水分就是化合水分。包括晶体中的结晶水和碳水化合物中的结合水。晶体中的结晶水，如含

水葡萄糖中的结晶水，通常在加热到一定温度时就汽化逸出，而物质的化学本性不改变，在一定条件下可以恢复原来的结合水状态。碳水化合物中的化学结合水，它们的结合最稳定，只有化学反应才能将它们分开，脱水加工不易将它除去，不能采用干燥的方法，一旦在高温下脱水，化学性质和物理性质就会完全改变，并且不能复水恢复原状。

## 2. 物理化学结合水分

不按照正确量比和物质结合的水分就是物理化学结合水分。包括细胞结构结合水、吸附结合水以及渗透结合水等，常常处于胶体状态。这部分水分所受到的结构与溶质的束缚力越强，其蒸汽压就越低，水分由物料内部向外部扩散就越困难。当要用干燥脱水的方法除去这部分水分时，需要提供的热量除水分汽化潜热以外，还需要有相当大的脱吸所需要的吸附热。在一般条件下，脱去这种水分，常常会改变物料的物理性质。

吸附结合水分：吸住在物料微粒内外表面力场范围的水分就是吸附结合水分。与胶体微粒结合的第一层水分子吸附得最牢固。其后，随着水分子层增加，吸附力逐渐减弱。干制过程中需要消耗大量的热量才有可能将它们除掉。

渗透和结构结合水分：胶体溶液凝结成凝胶体时，以胶体物质为骨干所形成物体内保留的水分，如山楂糕内的水分就属结构水分。多孔体内溶液的浓度较它外表面周围高时，在渗透作用下所保持的水分则称为渗透结合水分。实际上，胶体也常借渗透压保持水分，故通常将两种结合水分总称为渗透结合水分。它与物质结合能力较小，故属于物体内的游离水分。如物体内水分愈少，吸水的渗透压愈大。在食品内，渗透结合水分远多于吸附水分。

## 3. 机械结合水分或游离水分（或称非结合水）

包括覆盖在食品外表面的润湿水分和食品内部毛细管以及孔隙中的水分，有时是以溶液状态存在，其蒸汽压为定值，与水的蒸

汽压相差无几，这种水分在脱水过程中首先被汽化除去。在一定条件下复水，常常较易恢复到原有的形态。充满在食品内毛细管中的和附着在食品外表面上的水分称为机械结合水分。

毛细管水分 充满在毛细管内的水分 有的是微毛细管内液面表面张力下吸入的凝结水分，有的是粗毛细管和水直接接触时充满的水分。

湿润水分：物料外表面上在湿润力即表面张力作用下所附着的水分。

食品脱水干制时蒸发掉的水分主要为机械结合水分和部分渗透结合水分。

### 三、脱水过程中食品水分状态的变化

食品平衡水分因食品种类、空气温度和相对湿度而异。脱水食品常会吸湿，而所增加的水分只能达到它与空气状态相适应的平衡水分为止。空气湿度达到饱和状态时，食品能从空气中吸取的水分将达到最高值 此时的平衡水分称为吸湿水分 也即食品表面上蒸汽压  $p_{\text{食}}$  等于空气中水蒸气压  $P_{\text{空}}$  或空气饱和水蒸气压 ( $P_{\text{饱}}$  时的平衡水分 即  $P_{\text{食}} = P_{\text{空}} = P_{\text{饱}} = \text{常数}$ )。空气饱和水蒸气压在不同温度时各不相同 而且固定不变 故食品吸湿水分也随空气温度而异，此时食品从空气中吸湿后所含水分也不会超过与各空气温度相应的吸湿水分。

只有食品直接和水接触时 它的水分才会超过吸湿水分 呈潮湿状态 此时食品表面上就有水分附着 形成自由水分层。这种超过吸湿水分时的食品水分称为湿润水分，食品称为潮湿食品。在自由水分层上形成的水蒸气压必然与它所处空气温度下饱和水蒸气压相等，而饱和水蒸气压与它所处空气中水蒸气压间的差值则成为决定空气吸湿能力和脱水干制速度的关键性因素。脱水干制过程中从湿润水分降低到与空气中水蒸气压相应的平衡水分时所

失去的水分为蒸发水分，它所处的范围则为脱水干制区。而从吸湿水分降低至平衡水分所处的范围则为去湿或脱湿区，脱水干制食品吸湿时从它的水分增至平衡水分所处的范围则为吸湿区。

潮湿食品内存在有各种结合水分。一般凡低于吸湿水分的食品水分称为结合水分，超过吸湿水分的食品水分称为非结合水分，这就是自由水分或游离水分，亦即盖满食品表面上的湿润水分。脱水干制过程中这部分水分是在食品表面进行蒸发。

食品水分低于吸湿水分时，物料表面一般不再存在有湿润水分，蒸发的水分来自食品内部。食品水分处在与空气相对湿度相应的平均水分时所蒸发的水分主要为毛细管水分。只有食品水分降低到与空气相对湿度 10% 相应的平衡水分时所蒸发的水分才为吸附水分。至于渗透和结构水分，只有在其他结合水分蒸发时，在外界渗透压力增加的影响下才会从细胞内外逸，并在整个脱水干制过程中和湿润水分、毛细管水分一起蒸发。

#### 四、选用合理的脱水工艺条件

食品脱水加工工艺条件主要由脱水加工过程中控制脱水速率、物料临界水分和脱水食品品质的主要参数组成。用热空气脱水时，它的温度、相对湿度和流速等主要参数和食品温度是它的主要工艺条件。食品温度是脱水过程中控制食品品质的重要因素，决定于空气温度、相对湿度和流速等主要参数。

1. 食品脱水加工过程中所选用的工艺条件必须使食品表面水分蒸发速度尽可能等于食品内部水分扩散速率，同时力求避免在食品内部建立起和湿度梯度方向相反的温度梯度，以免降低食品内部水分扩散速率。在导热性较小的食品中，如果食品表面水分蒸发速度远比它内部水分扩散速率快，水分蒸发就会从表面向内层深处转移，外层则迅速干燥，它也就迅速加热到和周围介质相同的温度。表面上热量的聚积不但会建立起温度差，不利于内部

水分向外扩散 而且表面层受热过度会形成不可溶性的干硬膜 甚至还出现表面焦化和干裂现象。一般来说, 这种食品的品质就会恶化, 成为脱水时必须注意的重要问题。如降低空气温度和流速, 提高空气相对湿度, 就能对表面水分的蒸发进行有效的控制。提高空气相对湿度还有利于增加食品导湿性, 必要时可以防止干裂, 而降低空气温度还有利于减少食品内部的温度梯度。

2. 在恒率脱水阶段中, 物料表面温度不会高于湿球温度。此时空气向物料提供的热量全部用于蒸发水分, 因而物料内部就不会建立起温度梯度。在这阶段内为了加速蒸发, 在保证食品表面水分蒸发不超过物料内部导湿性能提供的扩散水分的原则下, 允许尽可能提高空气温度。多数食品在初期脱水阶段都可以采用较高的空气温度 而淀粉、果胶和其他胶黏物质含量较多的食品则不能 因为这种食品表面层过干时极易形成不透水薄层干膜 阻止物料内部水分蒸发, 因此只能选用不会形成干膜的较低温度进行脱水。

3. 脱水过程中食品表面水分蒸发接近结束时, 应设法降低食品表面水分蒸发速率, 使它能和逐步降低了的内部水分扩散速率一致 以免食品表面层受热过度 导致不良后果。为此可降低空气温度和流速 提高空气相对湿度 (如加入新鲜空气) 此时还要注意降低食品的干燥介质温度, 务使食品温度上升到干球温度时不致超出导致品质变化的极限温度 (一般为  $90^{\circ}\text{C}$ ) 它是常导致糖分焦化的极限温度。

4. 脱水末期干燥介质的湿度应根据预期脱水制品的水分加以选用。如脱水制品水分低于当时介质温度和相对湿度条件相适应的平衡水分时 就要求降低空气相对湿度 才能达到最后脱水制品水分的要求。

## 第三节 脱水食品加工过程中的主要变化

### 一、脱水加工时食品的物理变化

食品脱水加工时出现的物理变化有干缩、干裂、变形、溶质迁移、表面硬化和多孔性形成以及热塑性的出现等。

#### 1. 干缩、干裂和变形

当细胞中水分逐渐失去时，细胞发生萎缩现象，整个形体会变小。细胞失去活力后，它仍能不同程度地保持原有的弹性。但受力过大 超过弹性极限 即使外力消失 它再也难以恢复原来状态。干缩正是物料失去弹性时出现的一种变化，这也是不论有无细胞结构的食品脱水加工时最常见的、最显著的变化之一。

弹性完好并呈饱满状态的物料全面均匀地失水时，物料将随着水分消失均衡地进行线性收缩 即物体大小(长度、面积和容积)均匀地按比例缩小。实际上物料的弹性并非是绝对的，脱水加工时食品块片内的水分也难以均匀地排除，故物料干燥时均匀干缩极为少见。为此，食品物料不同，脱水加工过程中它们的干缩也各有差异。脱水加工时，蔬菜丁初期表面呈干缩形态，蔬菜丁的边和角渐变圆滑，成圆角形态。继续脱水时水分排除愈向深层发展，最后至中心处，干缩也不断向物料中心进展，遂形成同面状的蔬菜丁。

全脱水胡萝卜丁的剖面就是极度干缩情况的表现。高温快速干燥时食品块片表面层远在物料中心干燥前已干硬。其后中心干燥和收缩时就会脱离干硬膜而出现内裂、孔隙和蜂窝状结构。快速干制的马铃薯丁具有轻度内凹的干硬表面，为数较多的内裂纹和气孔，而缓慢干制的马铃薯丁则有深度内凹的表面层和较高的疏密度，两者干制品重量虽然相同，可是前者容重则为后者之半。

上述两种脱水制品各有优缺点。疏密度低 即质地疏松 的脱水制品容易吸水 复原迅速 和物料原状相似 但它的包装材料和贮运费用较大 内部多孔易于氧化 以致贮期较短。这类脱水制品现在颇受消费者欢迎。高密度脱水制品复水缓慢，但包装材料和贮运费用较为节省，一般宜为食品加工厂作配料用。

快速的脱水加工又常常使物料各部分脱水速度不均匀，致使物料产生不均匀的内应力收缩而导致奇形怪状的翘曲变形，例如烤麸、冻豆腐等的脱水 这种变形在物料复水时可以有一定程度的恢复。

物料脱水加工时发生的变形还反映在内部组织结构上。当脱水加工过程进行得慢性 内外部的水分含量梯度小 物料内部应力很小，脱水收缩时可相对保持原有的形状，而组织结构相对致密。如果脱水快，则表面最先因脱水而定型，内部进一步脱水收缩时，形成较大的应力而使结构中形成裂缝和孔隙，例如马铃薯丁或胡萝卜丁在快速热风脱水时就有此现象。

## 2. 溶质的迁移

在食品物料所含的水分中，一般都有溶解于真空中的溶质 如糖、盐、有机酸、可溶性含氮物等 当水分在脱水过程中由物料内部向表面迁移时，可溶性物质也随之向表面迁移。当溶液到达表面后 水分汽化逸出 溶质的浓度增加。当脱水速度较快时 脱水的溶质有可能堆积在物料表面结晶析出，或成为干胶状而使表面形成干硬膜，甚至堵塞毛细孔而降低脱水速度。如果脱水速度较慢，则当靠近表层的溶质浓度逐渐升高时，溶质借浓度差的推动力又可重新向中心层扩散 使溶质在物料内部重新趋于均布。显然 可溶性物质在干燥物料中的均匀分布程度与脱水工艺条件有关。

## 3. 表面硬化

表面硬化实际上是食品物料表面收缩和封闭的一种特殊现象。如物料表面温度很高，就会因为内部水分未能及时转移至物

料表面使表面迅速形成一层干燥薄膜或干硬膜。它的渗透性极低，以致将大部分残留水分保留在食品内，同时还使脱水速率急剧下降。

在某些食品中，尤其是一些含有高浓度糖分和可溶性物质的食品，最易出现表面硬化。这从脱水过程中水分从食品内部外逸时出现的各种情况中会得到一些启示。在有细胞构成的食品内，有些水分常以分子扩散方式流经细胞膜或细胞壁。食品内水分也可以因受热汽化而以蒸汽分子向外扩散，并让溶质残留下来。块片状和浆质态食品内还常存在有大小不一的气孔、裂缝和微孔，小的可细到和毛细管相同，故食品内的水分也会经微孔、裂缝或毛细管上升，其中有不少能上升到物料表面蒸发掉，以致它的溶质残留在表面上。脱水初期某些水果表面上积有含糖的黏质渗出物，其原因就在于此。这些物质会将脱水时正在收缩的微孔和裂缝封闭。在微孔收缩和被溶质堵塞的双重作用下就会出现表面硬化。此时若降低食品表面温度使物料缓慢干燥脱水，一般就能延缓表面硬化。

#### 4. 物料内多孔性的形成

快速脱水加工时物料表面硬化及其内部蒸汽压的迅速建立会促使物料成为多孔性制品。由于脱水过快，表面毛细孔收缩，形成透气性差的硬膜，致使脱水速度急剧下降，而在内部水分继续汽化时，形成内压力而导致膨松气泡或破裂。膨化马铃薯正是利用外逸的蒸汽促使它膨化。加有不会消失的发泡剂并经搅打发泡而形成稳定泡沫状的液体或浆质体食品干燥后，也能成为多孔性制品。真空脱水时的高度真空也会促使水蒸气迅速蒸发并向外扩散，从而制成多孔性的制品。

在冻结真空脱水过程中，完全没有干缩或变形的情况。湿物料在冻结时已呈完全定型状态。在真空条件下冻结升华而直接汽化，脱水完毕后，物料仍保持原冻结时的大小和形状，但内部组织

呈疏松状态。

现在，有不少脱水技术或脱水前预处理能促使物料能形成多孔性结构，以便有利于质的传递，加速物料的干燥。实际上多孔性海绵结构为最好的绝热体，会减慢热量的传递，因此并不一定能加速脱水。

### 5. 热塑性的出现

不少食品为热塑性物料，即加热时会软化的物料。糖分及其他物质含量高的果蔬汁就属于这类食品，因为它所含的物质在高温时就会软化或熔化。例如橙汁或糖浆在平锅或输送带上干燥时，水分虽已全部蒸发掉，残留固体物质却仍像保持水分那样仍然呈热塑性黏质状态，黏结在输送带上难以取下，然而冷却时它会硬化成晶体或无定形玻璃状而脆化，此时就便于取下。为此，大多数输送带式脱水设备内常设有冷却区。

## 二、脱水加工时食品的化学变化

食品脱水过程中，除物理变化外，同时还会有一系列化学变化发生，这些变化对脱水制品及其复水后的品质如色泽、风味、质地、黏度、复水率、营养价值和贮藏期会产生影响。这种变化因食品而异，有它自己的特点，但少数几种主要变化实际上在所有食品脱水过程中都会出现，不过变化的程度随食品成分和脱水方法而有差别。

### 1. 脱水对食品营养成分的影响

脱水后食品失去水分，故残留物中营养成分的含量反而增加。每单位重量脱水食品中蛋白质、脂肪和碳水化合物的含量大于新鲜食品(表 1-2)。食品营养成分一般属热敏性物质，在加湿干燥脱水过程中，营养成分会受到不同程度的损害。复水脱水制品与新鲜食品相比较，它的品质总是低于新鲜食品，且脱水制品会有损耗出现。

表 1-2 新鲜和脱水食品营养成分比较

营养成分	牛肉(%)		青豆(%)	
	新鲜	干制	新鲜	脱水后
水分	68	10	74	5
蛋白质	20	55	7	25
脂肪	10	30	1	3
碳水化合物	1	1	11	65
灰分	1	4	1	2

碳水化合物 水果含有较丰富的碳水化合物 而蛋白质和脂肪的含量极少。果糖和葡萄糖不很稳定 易于分解 高温长时间的脱水会导致糖分损耗(表 1-3)。加热时碳水化合物含量较高的食品极易焦化。缓慢晒干过程中初期的呼吸作用也会导致糖分分解。还原糖还会和有机酸反应而出现褐变,要用二氧化硫处理果蔬组织才能有效地加以控制。因此,碳水化合物的变化会引起果蔬变质和成分损耗。动物组织内碳水化合物含量低,除乳蛋制品外,碳水化合物的变化就不致于成为脱水过程中的主要问题。

表 1-3 脱水工艺条件对葡萄糖损耗的影响

热空气温度(℃)	不同脱水时间下的糖分损失率(%)		
	8 小时	16 小时	32 小时
60	0.6	0.8	1.0
85	8.7	12.2	14.9

油脂:脱水制品的油脂酸败是极严重的问题。一般来说,高温脱水比低温脱水严重得多,常压下脱水比真空脱水严重得多。油脂的酸败与氧气有关,因此在脱水前常常需要添加抗氧化剂。

当食品物料的水分含量较高时,水分阻碍了食品成分与空气的直接接触。在脱水时,当物料水分含量降低到一定程度,也就是