

绪 论

随着社会的发展，人们生活水平的不断提高和生活内容的日渐丰富，食品的安全、卫生与人类健康问题显得越来越重要。由于政府监督管理部门、食品企业和学术界的共同努力，食品卫生与健康问题在近二十年内得到了飞速的发展，从而在保障消费者的健康、促进国际食品贸易，以及发展国民经济等方面发挥了重要的作用。

一、概况

在漫长的岁月里，人类对食品卫生与自身健康关系的认识不断地积累并加以深化。远在三千多年前的周朝，我国不仅能控制一定卫生条件而制造出酒、醋、酱等发酵食品，而且已经设置了“凌人”，专司食品冷藏防腐。《唐律》中早已规定了处理腐败食品的法律准则，如“脯肉有毒曾经病人，有余者速焚之，违者杖九十；若故与人食，并出卖令人病者徒一年；以故致死者，绞。”

国外也有类似食品卫生要求管理的记述。中世纪罗马设置的专管食品卫生的“市吏”，16世纪俄国古典文学著作的《治家训》，都是这一类例证。

直到19世纪初自然科学长足进步，才给现代食品卫生学奠定了自然科学基础。

1803~1873年，Liebig建立了食品成分分析法。

1837年Schwann与1863年Paster关于食品腐败是微生物作用过程的论述以及随后巴斯德消毒法的提出。

1885~1888年，Salmon与Gaertner对沙门菌的发现，都是现代食品卫生学早期发展的里程碑，并由此结束了长达一百年的食物中毒受美毒（ptomaine）学说。

1851年后，资本主义先驱各国相继开始立法，由于这一时期随着商品经济的发展，各商家为牟取暴利食品掺假伪造相当猖獗，

为控制食品掺假伪造，保持商品信誉，提高竞争能力，达到巩固资本主义商品经济的目的，也使消费者受益，1851年法国颁布《取缔食品的伪造法》、1860年英国颁布《防止饮食掺假法》以及1906年美国颁布《食品、药品、化妆品法》等。就世界范围来看，直到第二次世界大战结束，食品卫生学的基本内容都不外乎包括细菌污染与腐败变质、食品中毒、掺假伪造以及对这些问题的调查、检验、研究和不同形式的食品卫生监督管理等方面。

20世纪中期科学技术带动了工农业生产，一方面由于生产盲目发展，环境污染一度失控，公害泛滥导致食品的严重污染，人们为了保证食品安全而不得不竭尽全力进行诸如食品污染因素种类来源的调查，性质危害的研究，含量水平的检测以及采取各种监督管理措施等方面的研究工作。此外，在人类生活实践迫切需要的这段历史时期内，基础学科与关联学科蓬勃发展，赋予了食品卫生问题更多、更新的内容，并大大改进了研究方法和手段，加强了监督管理，从而将食品卫生污染与人类健康问题提到重要地位。

在这一时期，人们新发现了来源不同、种类各异的食物污染因素，如黄曲霉毒素、单端孢霉烯族化合物等百余种霉菌毒素；副溶血性弧菌、酵米面黄杆菌等几种食物中毒病原；同时发现了更多种类的人畜共患疾病病原、寄生虫、肠道病毒等。然而，食品污染因素中发展最快、最具特征的是各种化学性物质和食品添加剂。化学农药广泛应用所造成的污染、残留和环境中的积累；化工、冶炼、石油、开矿等多种工业部门排放的“三废”，有的在国外已经引起“水俣病”、“骨病痛”等典型的食源性疾病；多环芳烃化合物、N-亚硝基化物等多种污染食品的诱变物和致癌物；通过食品工具、容器等可能转入食品中的污染物和塑料、橡胶、涂料等高分子物质的单体及其加工所用助剂。人们应用了数百种食品添加剂，在收到了显著的社会效益与经济效益的同时，也陆续发现一些毒理可疑及有害禁用的品种，毒鱼、毒贝、毒蕈等动植物存在天然有毒成分和酶抑制剂、凝集素等至少十二类抗营养因素，据报道，接触食品的化学物目前仍以每年近千种的速度增加。化学性污染物中相当一部分

可以通过食物链生物富集作用，使得环境轻微污染造成食品严重污染，这是这类食品污染因素的一个突出的特点。食品的放射性污染因素是 20 世纪 50 年代中期纳入食品卫生学中的新内容，以其特有的来源、危害性质、检测手段和控制措施，而构成另一类食品污染因素。

研究食品污染因素的性质和作用以及其在食品中的含量水平的检测方法的建立，标志食品卫生的方法学取得重大进展。一方面由于食品毒理学理论与方法的应用，不仅建立起一系列常规毒性、遗传毒性、诱变性与致癌性等的检测方法，而且用以制订人体每日容许摄入量、人群可接受危险水平（acceptable risk level）、食品安全性毒理学评价程序和食品卫生标准等一系列食品卫生技术规范；另一方面借助基础和关联科学进展，研究了各种精确分析方法，如各种光谱法、分光光度法、气质联仪法、核磁共振法、放射免疫法、酶化学法以及同位素标记法等，用于鉴定污染物的种类、化学结构的定量测定，以致化学分析所能取得的超微量数据，远远超过食品毒理学所能解释的毒理意义范围。

20 世纪末期，随着科学的进步和生活条件的进一步改善，食品污染对人类健康的威胁与不少学者的设想相反，非但未降低其危害性，而且是越来越多地威胁着消费者的健康。

二、食品安全存在的主要污染因素

（一）生物性污染因素

由致病微生物引起食品污染，并不像一些主要的人类传染病那样逐步被消灭，而是以更严重的作用存在着并威胁着人类健康。一个明显事例是在日本发生了近万例 O₁₅₇: H₇ 大肠杆菌引起的食物中毒以及苏格兰报告的数百人因食用 O₁₅₇: H₇ 大肠杆菌污染的碎牛肉而发生中毒，甚至造成部分死亡。由动物性食品传播的沙门菌食物中毒的病例数逐年增长甚至在发达国家也是如此。与过去传统的一家一户或一个集团单位所发生食物中毒相比，现代工业化食品生产固然有成本低廉和方便消费者的优点，但其潜在的食品安全风险性也明显增加。另一个事例是单核细胞增多性李斯特菌（*Liste-*

ria monocytogenes)。与 O₁₅₇: H₇ 大肠杆菌引起广泛的食物中毒暴发相比，它引起食物中毒较少，但中毒症状严重，甚至造成死亡。除了常见的呕吐、腹泻等胃肠道表现外，还可累及中枢神经系统（脑膜炎），或出现类似流感的不典型症状。此菌的特性是能在低温条件下生长和繁殖，奶制品是主要的中毒食品。这可能是为什么在冰箱使用十分普遍的地方反而李斯特菌食物中毒暴发较多的原因之一。食品生产模式及饮食方式的改变，消费者中对食源性病原菌易感人群的增加，食品流通的广泛性，发展中国家对肉、禽的需求量增加，致病菌菌株的突变等因素是导致食源性疾病发病率升高的原因。

关于寄生虫对食品污染，最近不断有由于能耐受一般消毒剂的寄生虫污染饮水和食品而引发胃肠道疾病暴发的报告。其中有两种寄生虫所引起的人类疾病受到最广泛的关注。一种是由隐孢子虫 (*cryptosporidium*) 污染生水、未消毒牛奶、生菜和凉菜引起胃肠道疾病；另一种是由圆孢子虫 (*cyclosporidium*) 污染生水、水果等引起疾病。两者相加、共引起的腹泻病例报告在北美每年近万人。这些寄生虫的虫卵和幼虫不能被一般的肥皂、洗涤剂 and 消毒药剂所杀死，因此很容易通过病人的粪便、甚至尿污染水和食品。这些事实清楚地表明在现代社会中，食品的生物性危害将在很长一段时间内仍然是主要的公共卫生问题。这类新涌现的致病菌 (*emerging pathogen*) 是对当今食品卫生科学的主要挑战，是食品的大规模和机械化生产以及不断大量使用化学药品而引起的新课题。

(二) 化学性污染因素

重金属、农药等污染物是一类随着生产的发展、人们生活方式的改变，以及对这些污染物的不断认识，在老问题基本解决后又出现了的新问题。如由于发现长期低剂量的铅暴露对神经系统功能的影响，而促使铅的 ADI 值不断降低。然而，更重要的是又出现和认识了一些新的污染物。其中最突出的例子是工业生产和垃圾焚烧中产生的二噁英 (*dioxins*)，被称为当今世界对人体健康最具潜在危害的一类环境污染物。其代表性化合物 2,3,7,8-TCDD 对豚鼠的

口服 LD_{50} 低于 $1 \mu\text{g}/\text{kg}$ (体重), 远强于黄曲霉毒素。二噁英化合物不仅毒性强, 而且具有致癌性、免疫毒性和生殖毒性。其进入食物的可能来源包括包装材料(纸盒)、垃圾焚烧及含氯化合物的使用。尽管目前对通过食物链进入人体少量的二噁英健康效应尚无定论, 但对食品污染已受到各国政府和国际机构的严重关注。世界卫生组织 1998 年将二噁英的暂定每日允许摄入量 (TDI) 降低到 $1\sim 4 \text{ pg}/\text{kg}$ (体重)。

杂环胺 (heterocyclic amines) 是一类在食物烹调中由于蛋白质和氨基酸热解而产生的化合物。目前, 在烤鱼、烤肉、炸肉和加热大豆蛋白等食物中已发现近 20 种具有明显致突变作用的杂环胺化合物。其中有些化合物 (如 IQ、MeIQ) 在 Ames 试验中显示的致突变性为黄曲霉毒素 B_1 的 70~110 倍。杂环胺对包括猴在内的多种试验动物的致癌性已得到确证。一般认为消费者通过食物所摄入的杂环胺总量与动物试验中得出的致癌剂量在同一个数量级。由禾谷镰刀菌 (*Fusarium moniliforme*) 产生的代谢产物伏马菌素 B (Fumonisin B) 是最近受到发达国家极大关注的一种霉菌毒素。其主要原因是此类毒素不仅可引起马的脑白质软化症、猪和猴的肝毒性、猪的肺水肿, 而且可引起实验动物的肝癌。人们怀疑南非和中国某些地区的食道癌高发与吃被伏马菌素 B 污染的玉米有关, 尽管这方面的证据还很不充分。使人们担心的是伏马菌素 B 的广泛污染玉米和玉米制品。在美国华盛顿地区超级市场抽样的玉米制品中至少有半数检出伏马菌素 B, 含量达 mg/kg 级。

上述这些污染物的潜在健康危害已通过大量科学研究而得到了进一步认识。然而, 现有的研究结果还难以确切地评估在实际的人类生活环境中这些污染物对人类健康造成的可能危害。当前, 科学家们的共识是必须加强以反映这些污染物的生物学作用 (如致癌、神经毒性等) 或机体结构和功能受损的生物学标志物 (biomarker) 作为中间终点 (intermediate end-point) 的流行病学研究, 才能加深对这些污染物危害的认识, 如汞、镉、砷、铅等金属污染食品进入人体后, 可通过金属元素的内暴露标志物, 来判断人体内金属暴

露水平。以效应生物标志（DNA 损伤效应、染色体的损伤效应）及易感性生物标志物的利用，有助于准确判别人类对于某些污染物的实际接触水平，进而制定出科学依据的限量标准和控制措施。

（三）其他

应该承认目前还有一些不完全由食品污染引起的食品卫生问题，例如，食物过敏是近年来国外十分关注的一个重要食品卫生问题，其特点是发病率高和致敏食品品种多。食物过敏的表现：轻者多为腹痛、腹泻、口唇或脸面肿胀、皮疹、重则可造成过敏性休克；而且临床表现的严重程度往往与致敏食物的摄入量无关。文献中曾有因食两粒花生米而休克致死的报道。也有因食入 45 mg 花生蛋白质而造成严重的全身性过敏反应的报告。最常见的致敏食品包括大豆、花生、奶制品、蛋类、水产品等。FAO/WHO 曾召开专家咨询会议讨论在包装食品的标签中标明有可能致敏的食物原料成分的问题。尽管，食物过敏在我国的发生不如西方国家普遍，但从发展趋势来看，也应该引起政府、学术界和企业界的注意，及早开始研究这一问题。

又如，用生物工程技术生产的转基因食品的安全性及评价方法。尽管一些国际机构已制定了一些安全性评价原则，而且目前也提出了一些对遗传修饰的微生物（GMO）的检测方法，但是还不能适应企业界和学术界在转基因食品研究和开发中不断取得的进展。再有，在乳牛中使用牛生长激素（BST）来增加牛奶产量对消费者的安全问题，不但各国政府是否允许使用 BST 方面态度不同，而且也存在着一些尚未有定论的学术问题。最近在 JECFA 第 57 次会议中对酱油中氯丙醇（主要为 3-氯-1,2 丙二醇即 3-MCDP）的毒性进行危险性评估，重新审议此问题认为它是遗传毒性致癌物，各国学者从不同角度都正在研究中。食品添加剂和污染物法典委员会（CCFAC）认为氯丙醇污染是一个影响全球的食品卫生问题，有必要制定统一的措施控制污染。CCFAC 及各国对氯丙醇研究工作趋势主要围绕下面几个方面：氯丙醇原料食品及在其中的含量水平；

它的膳食暴露量；氯丙醇的来源及形成机理；毒理学资料及降低污染的生产方法。

同时，还应该指出食品卫生作为一门实用性很强的自然科学，在研究食品污染与人类健康中，由于与多学科和多部门的合作，在解决重大食品卫生问题中起到重要作用。例如化学的发展使现代分析技术的检出限可达到 10^{-12} 的水平，而这正是研究二噁英类化合物的先决条件。分子生物学技术在毒理学中的应用使科学家能在动物和人体的 DNA 和 RNA 水平研究致癌作用。在化学预防剂中人们越来越多的发现食物中那些非营养素生物活性成分，如茶中的茶多酚，大豆中异黄酮、大豆皂甙，大蒜中的硫化物，蔬菜中的异硫氰酸盐等，及存在于动物脂肪中的一类脂肪酸——共轭型亚油酸，它们的生理作用已影响着人类的健康。

三、食品安全研究迫切性

随着国际食品贸易往来的日益频繁，尤其是我国加入世界贸易组织后，食品安全性和卫生问题已成为世界贸易组织的重要文件 SPS（卫生与植物卫生措施）协定的主要内容，并纳入了另一个世界贸易组织的主要文件 TBT（贸易的技术壁垒）协定。相应的，国际食品法典委员会（CAC）所制定的标准、准则和技术规范已被世界贸易组织指定为处理国际食品贸易纠纷的仲裁标准，从而得到了世界上越来越多国家认同和采用。

我国的实际情况与 SPS 和 TBT 协定以及 CAC 标准在食品卫生质量与安全方面的要求尚有一定差距。因此如何加快食品安全战略的措施、减少食品中的生物性及有害化学物的污染，降低食源性疾病的发病率等问题亟待解决，只有这样才能接受全球食品安全领域的新挑战，为此，各国学者均在以下几个问题给以特别关注：①加强食源性疾病预防体系；②增强、改进危险性评价方法；③创建评价新技术食品安全性的方法；④如何使本国的标准与国际标准接轨；⑤加强对危险因素的宣传和宣传；⑥增进国际、国内协作；⑦加强发展中国家食品安全职能部门的建设等。

综上所述，摆在我们面前的任务非常艰巨，但我们坚信通过政

府、学术界、企业和消费者的共同努力，我国能尽快在食品管理、科研、生产和贸易方面与国际接轨，在研究与解决我国食品污染与健康，保证食品卫生质量与安全方面得到新的发展。

(陈炳卿、孙长颢)

第一章 食品的细菌污染与腐败变质

第一节 食品的细菌污染

食品细菌中非致病菌种类很多，它们对温度、pH值、氧气、渗透压等要求也不相同。就温度而言，非致病菌可分为嗜冷性菌、嗜温性菌和嗜热性菌三种。嗜冷菌生长在0℃或0℃以下，多见于海水及冰水中。鱼体容易腐败与鱼体存在嗜冷性腐败菌有关。嗜温菌生长在15~45℃，最适温度为37℃，多数腐败菌为嗜温菌。嗜热性菌生长在45~75℃，其特点是在一般细菌不能发育或杀灭的温度下仍能生长。能引起非酸性罐头食品腐败变质的嗜热脂肪芽胞杆菌（*B. stearothermophilus*）以及嗜热解糖梭状芽胞杆菌（*C. thermosaccharolyticum*）均为嗜热性菌。

由于非致病菌中多数为腐败菌，从影响食品卫生质量的角度，就要特别注意以下几属常见的食品细菌。

一、常见的食品细菌

（一）假单胞菌属（*Pseudomonas*）

本属为革兰阴性无芽胞杆菌，需氧，嗜冷，pH值5.0~5.2下发育，是典型的腐败细菌，在肉和鱼上易繁殖，多见于冷冻食品。

（二）微球菌属（*Micrococcus*）和葡萄球菌属（*Staphylococcus*）

本菌属为革兰阳性细菌，嗜中温，营养要求较低。在肉、水产食品、蛋品上常见，有的能使食品变色。

（三）芽胞杆菌属（*Bacillus*）与芽胞梭菌属（*Clostridium*）

分布较广泛，尤其多见于肉和鱼。前者需氧或兼性厌氧，后者厌氧。属中温菌者多，间或嗜热菌，是罐头食品中常见的腐败菌。

（四）肠杆菌科（*Enterobacteriaceae*）各属

除志贺菌属及沙门菌属外，皆为常见的食品腐败菌。革兰阴

性，需氧及兼性厌氧，嗜中温杆菌。多见于水产品、肉及蛋。沙雷菌属尤其与鱼、牛肉腐败有关，且可使表面变红或变粘。

(五) 弧菌属 (*Vibrio*) 与黄杆菌属 (*Flavobacterium*)

均为革兰阴性兼性厌氧菌。主要来自海水或淡水，在低温和 5% 食盐中均可生长，故在鱼类等水产食品中多见。黄杆菌属还能产生色素。

(六) 嗜盐杆菌属 (*Halobacterium*) 与嗜盐球菌属 (*Halococcus*)

革兰阴性需氧菌，嗜盐，在 12% 食盐甚至更高浓度的食盐中仍能生长，多见于咸鱼类，且可产生橙红色素。其中嗜低盐菌的致病性值得重视。

(七) 乳杆菌属 (*Lactobacillus*)

革兰阳性杆菌，厌氧或微需氧，在乳品中多见，能使乳品变酸。

二、评价食品卫生质量的细菌污染指标与食品卫生意义

反映食品卫生质量的细菌污染指标，可分为两方面：一是菌落总数；二是大肠菌群。

(一) 菌落总数

是指在被检样品的单位质量 (g)、容积 (ml) 或表面积 (cm^2) 内，所含能在严格规定的条件下 (培养基及其 pH 值、培养温度与时间、计数方法等) 培养所生成的细菌菌落总数。以菌落形成单位 (colony forming unit, cfu) 表示。

在许多国家的食品卫生标准中，都采用这一项指标，规定了各类食品菌落总数的最高允许限量。我国现已在许多食品中规定了菌落总数的容许限量。食品中细菌污染数量，虽然不一定代表食品对人体健康的危害程度，但它却反映食品的卫生质量，以及食品在产、储、销过程中的卫生措施和管理情况。所以食品菌落总数一方面意义是食品清洁状态的标志，利用它监督食品的清洁状态。食品中细菌在繁殖过程中可分解食品中成分，因而食品细菌数量越多越能加速食品腐败变质。如 $10^5/\text{cm}^2$ 的牛肉在 $0\text{ }^\circ\text{C}$ 时可保存 7 天，而当菌数为 $10^3/\text{cm}^2$ 时，在同样条件下可保存 18 天。利用菌落总数

预测食品的耐保藏性是食品菌落总数的另一方面意义。但由于食品性质、细菌种类以及所处环境条件较复杂，从生态学上分析，细菌存在着相互制约与菌丛平衡的现象，当细菌数量少时，有时菌丛平衡被破坏，某种腐败菌反而出现优势，因此关于食品细菌菌落总数与食品腐败程度之间对应关系的研究仍待进一步探讨。

（二）大肠菌群 coliform group)

包括肠杆菌科 (*Enterobacteriaceae*) 的埃氏菌属 (*Escherichia*)、柠檬酸杆菌属 (*Citrobacter*)、肠杆菌属 (*Enterobacter*) 和克雷伯菌属 (*Klebsiella*)。这些菌属中的细菌，均系来自人和温血动物的肠道，需氧与兼性厌氧，不形成芽胞，在 35~37℃ 下能发酵乳糖产酸产气的革兰阴性杆菌。仅极个别菌种例外，大肠菌群已被许多国家用作食品生产上质量鉴定的指标。我国目前对很多种食品如冷饮食品、熟肉制品、冰蛋、蛋粉、牛奶及奶制品等已规定了大肠菌群的数量，是采用相当于 100 g 或 100 ml 食品中的可能数来表示，简称大肠菌群最近似数 (maximum probable number, MPN)，这是按一定方案检验的结果，根据 Mccrady 及 Hopkins 等按概率论所求出的统计数值。MPN 是表示样品中活菌密度的估测。在我国是采用样品三个稀释度各三管的乳糖发酵三步法。根据各种可能检验结果，编制相应的 MPN 检索表。

大肠菌群一般都是直接或间接来自人与温血动物粪便。当粪便排出体外后，初期以典型大肠杆菌占优势，而两周后典型大肠杆菌在外界环境的影响下产生生理特性的变异。食品中检出大肠菌群其卫生意义之一即表示食品曾受到人与温血动物粪便污染。其中典型大肠杆菌说明粪便近期污染，其他菌属可能为粪便的陈旧污染。大肠菌群在粪便中存在数量较大，食品中的粪便污染含量只要达到 0.001 mg/kg 即可检出大肠菌群，因此检验方法不仅简易而且敏感。

鉴于大肠菌群与肠道致病菌来源相同，而且在一般条件下大肠菌群在外界生存的时间与主要肠道致病菌也是一致的，故大肠菌群另一重要食品卫生意义是作为肠道致病菌污染食品的指示菌。

近些年来，有研究提出将肠球菌也列为反映粪便污染指示菌。因为大肠菌群是嗜中温菌，在 5℃ 以下的温度，基本不能生长，因此不适于低温占优势的水产食品，尤其是冷冻食品。而用肠球菌，则可克服以上的不足点。肠球菌是链球菌科，链球菌属的一些细菌，革兰阳性，对外界抵抗力较强，其自然宿主是在人和其他动物的肠道。在人的肠道内，粪链球菌尤其多见，因此肠球菌的污染是以粪链球菌作为代表的。

第二节 食品腐败变质

食品腐败变质（food spoilage），一般是指食品在一定环境的因素影响下，由微生物作用而发生的食品成分与感官性状的各种变化。

食品被微生物污染后，是否会导致食品变质，与食品本身的性质、微生物的种类和数量、当时所处的环境因素等有着密切的关系。由它们三者之间的作用结果来决定食品是否发生变质和变质的程度。

一、微生物的代谢活动

食品变质主要是微生物的一系列代谢作用，能引起食品发生变质的微生物很多，主要属于细菌、酵母和霉菌。在一般情况下细菌常比酵母与霉菌占优势。它们中间有病原菌和非病原菌，有芽胞和无芽胞的，有嗜热性、嗜温性或嗜冷性的，有好气或厌气的，有分解蛋白质能力强的，有分解糖类能力强的。所以，由微生物引起的食品变质情况，与微生物的特性关系很大。

（一）分解蛋白质主要的微生物

一般能分泌胞外蛋白酶的细菌有摩根菌属（*Morganella*）和梭菌属（*Clostridium*）。分解力特别强的有芽胞杆菌属（*Bacillus*）、假单胞菌属（*Pseudomonas*）。分解力弱的有小球菌属（*Micrococcus*）、葡萄球菌属（*Staphylococcus*）、八叠球菌属（*Sarcina*）、无色杆菌属（*Achromobacter*）、产碱杆菌属（*Alcaligenes*）、黄杆菌属（*Flavobacterium*）、短杆菌属（*Brevibacterium*）、沙雷菌属（*Ser-*

ratia)、气杆菌属 (*Aerobacter*)、埃希杆菌属 (*Escherichia*) 等。蛋白分解菌在以蛋白质为主体的食品上能良好生长，即使无糖存在，也能生长。

许多霉菌都具有分解蛋白质的能力并且比酵母菌强，如青霉属 (*Penicillium*)、曲霉属 (*Aspergillus*)、根霉属 (*Rhizopus*)、毛霉属 (*Mucor*) 和复端孢霉属 (*Cephalothecium*) 中的许多种，尤其是沙门柏干酪青霉 (*P.camemberti*) 和洋葱曲霉 (*A.alliaceus*) 能迅速分解蛋白质。

能分解蛋白质的酵母菌较少，分解力较弱，如红棕色拿逊氏酵母 (*Nadsonia fulvescens*)、白色拟内胞霉 (*Endomycopsis albicans*)、巴氏酵母 (*Sacch.pasterium*)、活跃酵母 (*Sacch.festians*)、啤酒酵母 (*Sacch.cerevisiae*) 等。

(二) 能分解淀粉的微生物

其中大多数的霉菌都有利用简单碳水化合物的能力，如毛壳霉属 (*Cheatomium*)、灰色土霉 (*Humicola grisea*)、曲霉属中的黑曲霉 (*A.niger*)、土曲霉 (*A.terreus*)、烟曲霉 (*A.fumigatus*)、青霉属中的黄青霉 (*P.citrinum*)、淡黄青霉 (*P.luteum*)。纤维素分解力特别强的为绿色木霉 (*Trichoderma viride*) 和黑曲霉。分解果胶质的霉菌中，以黑曲霉、米曲霉 (*A.oryzae*)、灰绿青霉 (*P.glaucus*) 最强。

细菌对淀粉的分解较强者仅是少数，主要是芽胞杆菌属中的枯草芽胞杆菌 (*B.subtilis*)、马铃薯芽胞杆菌 (*B.mesentericus*)、丁酸梭菌 (*Cl.butyracuri*)。能分解纤维素和半纤维的细菌较少，主要是芽胞杆菌属、八叠球菌属和梭状芽胞杆菌属中的一些菌种。

能分解果胶的细菌有欧氏植病杆菌属 (*Erwinia*)，如胡萝卜软腐病欧文氏菌 (*Erwinia-carotovora*)、软腐病欧氏杆菌等；芽胞杆菌属中的环状芽胞杆菌 (*B.circulans*)、多粘芽胞杆菌 (*B.polymyxa*)；梭状芽胞杆菌属中的费地浸麻梭状芽胞杆菌 (*Clostridium-felsineum*) 等。

酵母通常不能使淀粉分解，但少数特殊的酵母，如彭身裂殖酵

母 (*Schizosaccharomyce spombe*) 和拟内胞霉属中某些酵母能分解多糖。胞壁酵母 (*Saccharmyces fragilis*) 能使乳糖发酵。球拟酵母属 (*Torulopsis*) 和假丝酵母属中有些酵母能分解蔗糖，这常是使果汁饮料、含糖酸性饮料变质的原因。

(三) 分解脂肪有关的微生物

能分解脂肪的微生物主要是霉菌；其次是细菌和酵母。分解蛋白质能力强的需氧性细菌中的大多数菌种都能分解脂肪。假单胞菌属中荧光假单胞菌 (*Ps. fluoresscens*) 分解脂肪能力很强。其他如黄杆菌属、无色杆菌属、产碱杆菌属、沙雷菌属、小球菌属、葡萄球菌属和芽胞杆菌属等中的一些菌株，能分解脂肪的酵母不多，主要是解脂假丝酵母 (*Candida lipolytica*) 和娄沙假丝酵母 (*C. rugosa*)，这两种酵母都能产生脂酶。其中解脂假丝酵母对糖类不发酵，但分解脂肪和蛋白质能力都很强。因此，它也能引起乳制品与肉类食品的腐败变质。霉菌能分解脂肪的菌种较多，在食品中较为多见的有以下几种：黄曲霉 (*A. flavus*)、黑曲霉 (*A. niger*)、烟曲霉 (*A. fumigatus*)、灰绿青霉 (*P. glaucum*)、娄地青霉 (*P. roqueferti*)、伏氏根霉 (*R. delemar*)、无根根霉 (*R. arrhizus*)、解脂毛霉 (*M. lipolyticus*)、爪哇毛霉 (*M. javanicus*) 亚麻镰胞霉 (*Fusarium Lini*)、白地霉 (*Geotrichum candidum*) 和芽枝霉属 (*Cladosporium*) 等。从而说明细菌、酵母、霉菌三大类微生物对不同营养物质的分解作用均显示出一定的选择性。因此，根据食品成分组成的特点，就可以推测可能引起某些食品变质的主要微生物类群或属甚至种。

二、食品的特性

许多食品本身就是动植物组织的一部分，在宰杀或收获后的一定时间内，其所含酶类继续进行某些生化过程，如肉、鱼类的后熟、粮食水果的呼吸等，引起食品组成成分分解，加速腐败变质。食品营养成分、水分多少、pH 值高低和渗透压大小等，对食品中微生物增殖速度、菌相组成和优势菌种有重要影响，从而决定食品的耐藏与易腐败变质的进程和特征。

(一) pH值

各种食品都存在一定的 pH 值， $pH = \lg 1 / (H^+)$ 或 $pH = -\lg [H^+]$ ，一般微生物在食品的 pH 值接近中性时，都能适应生长。在过于偏向酸性或碱性食品中，不同类群的微生物可显示出一定的特殊性。同时，由于微生物的生长可以使食品 pH 值发生改变，使微生物类群也会改变。

1. 微生物生长的 pH 值范围

大多数酵母、霉菌适于酸性环境 pH3~6 (范围 pH1.5~11.0)，大多数细菌及放线菌以 pH6.5~7.5 合适 (范围 pH4~10)。酵母和霉菌耐受的 pH 值范围大于细菌。微生物生长的 pH 值范围见表 1-1。

表 1-1 某些微生物生长的 pH 值范围及其适宜值

微生物	适宜 pH 值	pH 值范围
产气肠杆菌	6.0	4.4~9.0
大肠埃希菌	6.0~7.0	4.3~9.5
枯草芽胞杆菌	6.0~7.5	4.5~8.5
生孢梭菌	6.5~7.5	5.0~9.0
胡萝卜软腐欧文氏菌	6.0~7.0	4.6~9.3
水生黄杆菌	7.2~7.4	6.5~7.8
嗜冷微球菌	6.8~7.2	5.5~9.5
普通变形杆菌	6.5	4.4~9.2
铜绿假单胞菌	6.6~7.0	4.4~8.8
伤寒沙门菌	6.8~7.2	4.0~9.6
副伤寒沙门菌	6.2~7.2	4.0~9.6
痢疾志贺菌	7.0	4.5~9.6
霉菌	3.8~6.0	1.5~11.0
酵母	4.0~5.8	8.0~8.5

注：引自 Breed 及 Thiamin。

2. 微生物引起食品 pH 值的改变

某些微生物能否在某种食品中生长，除了微生物生长有一定 pH 值要求以外，还应了解食品的 pH 值。植物性食品，如水果为 pH3~5，水果中柠檬酸 pH 值低至 1.8~2.0，蔬菜 pH4~6。动物

性食品则近于中性，如鱼为 pH6.6~6.8，牛奶为 pH6.3~6.5。当微生物在食品中繁殖时，不断利用分解食品中成分，产生一系列代谢产物，pH 值就会发生变化。蔬菜中含碳水化合物多，故易变酸。肉类食品中蛋白质丰富，分解后易产碱等。在制备腌菜时，初期由于乳酸菌利用菜中糖分而产酸，pH 值下降，直至有大量的酸积累时，乳酸菌生长被抑制。耐酸真菌生长，pH 值逐渐上升。当 pH 值接近中性时，可出现一些腐败细菌生长繁殖，最后 pH 值是趋向碱性。

(二) 水分

水分是微生物生存不可缺少的。食品中水分以结合水和游离水两种状态存在，结合水存在于食品的组织本身，它是活组织的一部分，是细胞所有生理过程所必需的。微生物能利用的水分是游离水，微生物必须在有游离水存在的状况下，才能进行一系列代谢活动。所以脱水是一种保藏食品的重要方法，游离水对微生物生理关系重大，而结合水对微生物影响很少。

由此，从影响微生物生长来看，食品中含水量并不能真正反映出与微生物生长的利弊，为了更确切研究二者关系，用水分活性 (water activity) a_w 表示。

水分活性 a_w 引用 Raout 定律，溶液中溶剂的蒸气压的降低与溶质的摩尔分数有关。

$$a_w = \frac{p}{p_0} = \frac{n_1}{n_1 + n_2}$$

式中的 n_1 和 n_2 各为溶剂和溶质的摩尔数， p 和 p_0 各为溶液的蒸气压和纯溶剂的蒸气压。当食品中可溶性溶质多时，水分被结合的多，游离水就会减少，细菌能利用的水也减少。

Scott 提出 a_w 定义是蒸气压比率，蒸气压也要用相对湿度表示，因为食品水分与容器空间中相对湿度最后要达到平衡状态，即平衡相对湿度 (equilibrium relative humidity, ERH)。 $a_w = \text{ERH}/100$ 。纯水的水分活性为 1.0，相当于相对湿度 100%。Reid 于 1976 年指出， a_w 是用于衡量在一定温度下水溶液中逸出与纯水中

逸出之间的关系。

纯水的 a_w 理论值等于 1，而没有水分的食品 a_w 为 0，故 a_w 的最大值为 1，最小值为 0。当 a_w 值越小时，细菌能利用水少，食品不易变坏。不同类群微生物生长的最低 a_w 值是不一致的，见表 1-2。

表 1-2 食品中重要微生物类群生长的最低 a_w

类 群	最低 a_w	类 群	最低 a_w
大多数使食品腐败的细菌	0.94	嗜盐性细菌	0.75
大多数使食品腐败的酵母	0.88	耐渗透压酵母菌	0.60
大多数使食品腐败的霉菌	0.73	干性霉菌	0.55

各种微生物生长对水要求不同，细菌对水要求最高，酵母菌次之，霉菌最低。在同一类微生物中不同菌对 a_w 要求又有差异。

(三) 渗透压

渗透压可影响微生物生长，它是指能引起扩散和渗透现象的不平衡压力。细菌细胞内与其生长的外界环境之间保持着平衡，等渗 (isotonic) 状态时，细菌细胞内容物浓度与周围培养基或食物相同，这时在环境中细菌生长最为有利。细菌细胞中水分与细胞内外的电解质密度有关，如果菌细胞处于高渗 (hypertonic) 环境中，水从细胞溢出，胞浆和胞膜分离即出现质壁分离 (plasmolysis) 现象。用糖或盐保存食品就是利用这个原理。如果细菌周围培养基或食品的电解质密度比细胞内低，水分从低密度转移到高密度环境，菌细胞吸收水分细胞膨胀破裂，使胞浆压出，称为胞质溢出 (plasmolysis)。

渗透压依赖于溶液中分子大小及数量。蔗糖分子大的化合物渗透压相对低，而盐分子相对较小，和糖相比有较大渗透压的作用。

1. 引起食品变质的嗜盐、耐盐和耐糖细菌

各种细菌因耐受食盐和糖的程度不一样，有以下的区分。

(1) 高嗜盐细菌 (最适宜在 20% ~ 30% NaCl 浓度的食品中生长) 在杆菌类中，盐杆菌属 (*Halobacterium*) 中的一些菌种和小