

高等学校教材

铁路冷藏运输

北方交通大学	孙桂初	编
	刘东岭	
长沙铁道学院	陈善道	主审

中国铁道出版社

1994年·北京

芹、铁科院运输所刘焕森、杨浦站邹琼、丰台保温段王太昌，以及武昌车辆工厂李佩瑜、石楚标、向家林提供过重要的图表资料，为本书的完善作出了宝贵的贡献，在此谨向他们一并表示谢忱。

在本教材问世之际，谨希广大读者多多赐教，指出书中存在的缺点，以便今后修改，使之更臻完善。

编 者

1992 年 12 月于北京

(京) 新登字 063 号

内 容 简 介

本书以冷藏链为指导思想,比较详细地阐述了易腐货物及冷藏原理,制冷原理及制冷机,铁路冷藏车和加冰所,以及易腐货物的运输组织等方面的基本理论和基本知识。此外,对国外冷藏运输的新理论、新技术及发展趋势也作了介绍。

本书可作为铁路高等学校“铁路冷藏运输”课程的教材,亦可供冷藏运输的科研人员和现场工程技术人员学习参考。

高等学校教材

铁路冷藏运输

孙桂初 编
北方交通大学 刘东岭

*

中国铁道出版社出版、发行

(北京市东单三条 14 号)

责任编辑 张雨才 封面设计 翟达

北京燕山联营印刷厂印

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 11.75 字数: 290 千

1994 年 2 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数: 1—1500 册

ISBN7-113-01629-4/U·489 定价: 5.85 元

前 言

《铁路冷藏运输》(高等学校试用教材)自1982年出版以来,经过十年的教学使用,反映较好,选材符合当时的教学需要。但是近十年来,随着制冷技术的发展,国内外冷藏运输发生了极大的变化。这些变化主要表现在:主要车型发生了更替,原来作为重点的B₁₁、B₁₉型车或已淘汰,或已退居次要地位;制冷机已有了新型的系列产品;CFCs制冷剂受到了国际协议的严格限制;国内已出现了冷板车、液氮车和冷藏集装箱;冷藏运输规章已进行了再次修改;我国铁路已开始使用管状冰并正在引进国外新的快速制冰设备;由于社会主义市场经济体制的建立,易腐货物托运人已不单纯是国营企业,因而对车辆组成和运输管理提出了新的要求;国家已正式规定使用国际单位制;国际学术交流带来了一系列冷藏运输的新理论、新观念和新技术,包括TTT理论、空气分配和温度分布、包装—托盘—车厢尺寸的标准化、模数化、新型温湿度测量仪、铁路—公路活动车体等等。同时,我们在教学过程中也发现,1982年版教材中有些部分过深过细或内容不够稳定,应予删节,如双级压缩计算、天然冰掩蔽计算、冷藏车自控电路原理、快速测定K值的方法等。我们认为,这些内容删节后,既不损害教材的科学性和完整性,同时又贯彻了“教材要少而精”的精神。因此,对《铁路冷藏运输》1982年版进行修订,是十分必要的。

这次修订,改动面占50%以上,除必要的增删外,还把全书计量单位改用国家法定计量单位,一律采用符号表示,并在附录中增加“单位换算表”,在每章之后增加习题和实验,使之更切合教学的需要。

这次修订的特点是删繁就简、除旧布新,紧密联系国内实际,充分反映国外冷藏运输的新理论、新技术和新趋势。

这次修订,由北方交通大学孙桂初主编、长沙铁道学院陈善道主审,除第二章由北方交通大学刘东岭执笔外,其余均由孙桂初执笔,陈善道提供了很多习题,王跃英负责绘图。在修订过程中,西南交大赵敏、上海铁道学院刘寿兰、兰州铁道学院肖星、长沙铁道学院谢如鹤对书稿提出了宝贵的意见,铁道部运输局张淑

目 录

绪 论	(1)
第一章 易腐货物及冷藏原理	(5)
第一节 易腐货物的化学成分及物理性质	(5)
第二节 易腐货物腐败的原因及过程	(9)
第三节 易腐货物的冷藏原理	(15)
第四节 易腐货物的冷藏条件及检测仪表	(17)
第五节 保藏易腐货物的新方法	(24)
第二章 制冷原理和制冷机	(26)
第一节 冰盐制冷的原理	(26)
第二节 压缩式制冷机的工作原理	(29)
第三节 制冷剂和载冷剂	(30)
第四节 压缩式制冷机的主要部件	(35)
第五节 制冷机的热工学基础	(51)
第六节 制冷机的制冷循环	(58)
第七节 压缩式制冷机的选择计算	(63)
第八节 双级压缩制冷机制冷循环及中间压力的确定	(69)
第九节 制冷机的操作和维修	(71)
第三章 冰冷藏车和机械冷藏车	(74)
第一节 冷藏车的特点和基本性能	(74)
第二节 冰冷藏车	(75)
第三节 机械冷藏车	(79)
第四节 冷藏车的热计算	(96)
第五节 冷藏车隔热性能的试验方法	(100)
第六节 冷藏车的运用管理	(101)
第七节 冷藏车和其他冷藏运输工具的发展动向	(102)
第四章 铁路加冰所	(105)
第一节 加冰所的分类及任务	(105)

第二节	机器制冰及贮冰设备	(106)
第三节	天然冻冰及贮冰设备	(117)
第四节	加冰加盐机械设备	(119)
第五节	加冰所设备的平面布置	(125)
第六节	加冰所设置位置的选择	(126)
第七节	加冰所工作组织	(130)
第五章 易腐货物运输组织		(135)
第一节	易腐货物运输组织的基础知识	(135)
第二节	易腐货物的承运	(140)
第三节	装运易腐货物车辆的选用、检查和预冷	(142)
第四节	易腐货物装车前的预冷	(143)
第五节	易腐货物的装车	(146)
第六节	装运易腐货物车辆的运行组织与服务	(151)
第七节	易腐货物的到达作业	(156)
第八节	易腐货物的保温运输	(157)
第九节	易腐货物的防寒和加温运输	(159)
第十节	主要易腐货物的运送条件	(160)
附 录		(164)
1.	水果蔬菜的呼吸热	(164)
2.	空气的饱和绝对湿度和水汽分压	(165)
3.	R_{717} 饱和蒸气表及 $p-h$ 图	(166)
4.	R_{12} 饱和蒸气表及 $p-h$ 图	(170)
5.	R_{22} 饱和蒸气表及 $p-h$ 图	(174)
6.	加冰工作日志	(178)
7.	机械冷藏车装车通知单	(178)
8.	冷藏车作业单	(179)
9.	冷藏运输实用参数的单位换算	(180)
主要参考文献		(180)

绪 论

《铁路冷藏运输》是一门技术管理学科，是研究易腐货物在铁路上运输的技术设备、技术措施和组织管理的科学。具体地说，它是研究如何运用各项技术设备，运用冷藏、保温、防寒、加温、通风等方法，在铁路上快速、优质地运输易腐货物，以便更好地为满足人民日益增长的生活需要服务，为国家经济建设服务。

一、铁路冷藏运输在国民经济中的地位

现代社会离不开冷藏事业。冷藏事业，包括冷藏运输的水平已成为一个国家发达程度和文明程度的标志之一。现代冷藏运输所掌握的技术和手段已有能力在一夜之间把产地的新鲜鱼虾或娇嫩水果输送到千里之外，保持产品质量宛如刚刚收获时一般美好。现代冷藏运输已能使人们冲破地域和季节观念，几乎无时无地不能享用鲜美食品，苏东坡“日啖荔枝三百颗，来生愿作岭南人”的兴叹，在今天已显得不合时宜了。

铁路冷藏运输在我国社会主义建设中具有重大的意义，这些意义表现在：

第一，冷藏运输将大量的易腐货物从生产地运往消费地，满足人民的生活需要，提高人民的健康水平；

第二，冷藏运输的发展，还会推动易腐食品生产的进一步增长；

第三，冷藏运输为外贸出口易腐食品提供支持，为国家创汇作出重要贡献。

因此，铁路冷藏运输是关系国计民生和社会安定的大事，它在国民经济中占有毋庸置疑的重要地位。在我国，随着社会主义市场经济体制的建立和人民生活水平的迅速提高，冷藏运输的重要地位已得到愈来愈多的有识之士的承认。

二、国内外冷藏运输发展概况

在远古时代，人类就发现了利用冷可以保藏食品的秘密。我国唐代就已有用土窖贮藏鲜果的记载，明代则有“五月鲥鱼已至燕，炎天冰雪护江船”（明：何景明）的诗句，这说明在五百年前我国已出现了雏形的水运冷藏运输。但现代的铁路冷藏运输还只有一百多年的历史。就世界范围来说，美国铁路冷藏运输发展最早，1851年造出了第一辆用锯末隔热、用冰冷却的冷藏车，从奥格登斯堡（Ogdensburg）至波士顿（Boston）成功地运送了一车黄油，以后，俄国等其他国家也先后制造了铁路冰冷藏车。总的说，在19世纪发展的速度还较慢。进入20世纪后，冷藏运输以空前的规模迅速发展，美国1953年的冰冷藏车总数曾达到过103000辆，加冰量1300万t，至1960年又略有增加。原苏联在1959年冰冷藏车的峰值曾达到60000辆，用冰450万t以上。第二次世界大战后，随着制冷机的日趋完善，又出现了机械制冷的冷藏车。美国和原苏联从60年代开始，实行了以机械冷藏车取代冰冷藏车的过程，并先后于七八十年

代完成了这一进程，西欧则至今仍坚持以冰冷藏车为主，1990 年仍占 86%。

资本主义国家的铁路冷藏运输受到了公路冷藏汽车、冷藏挂车和冷藏集装箱的激烈竞争，从 60 年代开始，铁路冷藏车数量逐渐减少，而冷藏集装箱数量则急剧膨胀。例如，美国 60 年代初拥有铁路冰冷藏车和机械冷藏车 11.5 万辆，1974 年减为 10.1 万辆，1984 年又减为 5 万辆。欧洲国际铁路冷藏运输公司（Interfrigo）由欧洲 23 个成员国组成，业务范围涉及欧洲全境及地中海沿岸，它在 1978 年共管理冷藏车和隔热车 25400 辆，至 1988 年减为 16774 辆，1990 年又减为 14388 辆。而 1988 年西方国家的大型标准冷藏集装箱总数已发展到约 20 万只。分析其原因，主要是由于铁路冷藏车不能实行“门到门”运输，速度相对较慢，两头要用汽车接续，换装比较麻烦且影响货物温度，因此在竞争中铁路处于劣势，形成节节败退的局面。

但是，现在发达国家的铁路冷藏运输已达到了很高的技术水平和组织水平，主要表现在：易腐货物全部采用控温运输；运输的货物基本上没有腐烂变质事故；运输速度达 1200km/d；装卸一车的时间约半小时；成组机械冷藏车年装货 30—40 次；单节机械冷藏车在途中如发生技术故障，可在 6h 内得到修理；冷藏车隔热结构、制冷机组及内部设备布置日益改进，空气分配、温度分布更加合理；干冰成功地用作辅助冷源；液体氮、液体二氧化碳等新冷源的试用；活动车体的开发；冷藏运输面对公路激烈的排挤和竞争仍能赢利并进行设备更新。

我国 1876 年才开始出现营业铁路，从 1902 年在胶济铁路首次出现 3 辆鲜鱼冷藏车算起，经过了半个世纪，至 1949 年解放时止，总共全路才只有 89 辆破烂的杂型冷藏车和一些隔热车，制冰和加冰设备则一无所有。新中国成立以后，在中国共产党的领导下，铁路从 1953 年就开办了冷藏运输，以后易腐货物运量年年增长，冷藏运输设备逐年增多，但也经过了一些曲折。1978 年改革开放以来，冷藏运输发展速度明显加快。到 1991 年，冷藏车总数已有 5000 多辆，制冰厂、加冰所和机械冷藏车辆段正在扩大能力、协配成网，冷藏运输的管理水平也正在改进提高。目前，我国铁路冷藏运输事业已经初具规模，正在向着更高的目标前进。

诚然，我国铁路冷藏运输目前还存在着一系列严重困难，如 1990 年冷藏运输率仅为 13%，蔬菜运输的腐损率有的达到 30% 甚至更多，运输速度约 300km/d，装卸一车的时间长达数小时，冷藏车的年装货次数只有 9~15 次，缺乏开展冷藏集装箱运输的基本条件等等。目前，铁路冷藏运输仍承担着长途易腐货物运量的绝大部分，但公路冷藏运输的竞争和挤压已初见端倪。我国铁路冷藏运输与发达国家相比尚有很大的差距，正面对着严峻的挑战，但改革开放的大环境也给予了史无前例的大发展的机遇。

三、我国发展冷藏运输的优势及特点

我国土地辽阔，地形复杂，海岸线长一万多公里，各地气候差别很大，兼有寒、温、亚热带三带。因而易腐食品资源丰富，品种繁多。例如，我国鱼产就有二千余种，水果有三百多种，蔬菜品种则以千计，其他如家畜、家禽、鲜蛋等产品也极为丰富。其中有很多产品，例如潮州柑桔、烟台苹果、金华火腿、北京鸭、渤海沿岸的对虾等都是驰名中外的特产。

我国易腐货物的大生产区和消费区之间已逐渐形成了比较稳定的运输流向。例如猪肉主要是由南向北，由华东、中南地区流向京、津、沪三大城市和东北、西北一些大城市；鲜蛋的流向与猪肉基本上一致；鱼的流向由东向西，由东部沿海地区流向北京、天津、东北及全国各地。水果流向十分分散，以几种大宗水果来说，苹果由山东、辽宁向南、向西流向全国；

柑桔由四川、浙江、福建流向北方和西部各大城市。蔬菜的流向与季节关系极大，1~5 月主要是由广东、广西、四川等地运往东北、西北、华北和内蒙等地，而 11~12 月主要是由山东、河北等地向北向西调运大白菜。

在对外贸易方面，活猪、鲜蛋、鱼、水果、蔬菜主要是由各产地经由京广、浙赣线向南运往港澳或转销海外，部分冻肉、冻鱼由上海、青岛、天津、连云港转运海外，另有部分冻肉、苹果、柑桔等易腐货物运往俄罗斯、蒙古等国。

我国的冷藏运输工作，由于地理环境、气候条件和国家政策的影响，具有若干特点，这些特点主要是：

1. 易腐货物品种多。如前所述，我国易腐货物共有几千种，很多品种是我国的特产，没有国外经验可资借鉴，它们的保管条件和运输方法，只有依靠我国科技人员自己摸索试验。
2. 运输组织工作复杂。我国气候的特点之一是，夏季南北各地普遍高温，冬季则各地气温相差悬殊，总的趋势是从南向北、从沿海向内陆温度逐渐降低，最大平均温差（海拉尔与海口）达 47℃。因此不但同一地区在不同季节需有不同的运送条件，而且在同一季节当车辆行经不同地区时也要变换运送条件，在一次运程中可能兼有冷藏、保温和加温三种运送方法，这就不能不使运输组织工作大大复杂化。
3. 冷藏运输成本较高。我国地处北温带，南方则属亚热带，因此平均气温较高，运输中损失的冷量较大，耗冰或耗油较多；同时，由于冬季大部分地区不能冻结天然冰，必须利用人造冰，而人造冰的成本较高，这些都使得冷藏运输的成本增高。
4. 平均运程长。我国国土广大，易腐货物运输距离自然也长。据统计，平均运程为 1800km 左右，最长的可达 3000~4000km，因此对车辆和制冷工艺的要求也更高。
5. 组织管理工作具有突出的意义。目前，我国冷藏车和制冰加冰设备都不能满足需要，这些设备需要较大的投资和较长的时间才能充实、提高起来，而易腐货物的运输任务日益加大，运输要求日益提高。因此，首先在现有设备的基础上加强管理，挖掘潜力，完成运输任务，就有了突出的意义。我国开行三趟快运列车 30 年的经验，充分说明了加强组织管理工作所具有的作用。

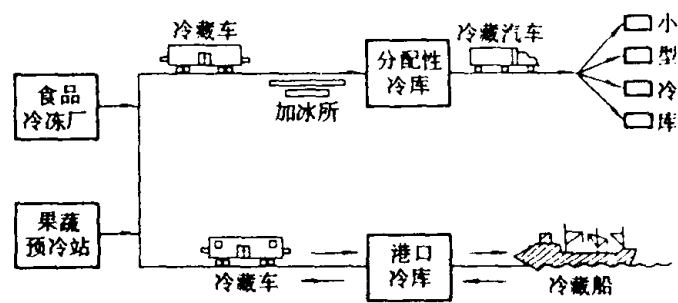
上述特点对冷藏运输的实践有着极密切的关系，自觉地掌握了这些特点，就能更有效地发展我国的冷藏运输事业，走出一条具有中国特色的发展道路来。

四、冷藏运输与冷藏链

易腐货物的性质要求从生产采摘起到销售消费止，都不间断地保持在一定的温度、湿度、通风和卫生条件下，同时以最快的速度运输。只有这样，才能保持货物的质量。如从生产到销售的整个过程中有一个环节、一个阶段不能保证这一定的条件，或运输速度太慢，货物就不可避免地要降低质量，甚至完全变质腐烂。因此，易腐货物的生产采购部门、运输部门和销售部门必须在设备的数量上互相协调，设备的质量上标准一致，设备的规格上模数配合，同时必须在运输组织工作上充分协作，紧密配合，作到环环紧扣，形成一个完整的“冷藏链”。

图绪—1 为冷藏链的示意图。由各种食品冷冻厂生产或加工出来的易腐食品，或由设在产区的预冷站预冷加工的水果蔬菜，经由铁路的冷藏车运到大城市的分配性冷库或港口冷库暂时贮存。接着，由短途运输的冷藏汽车从分配性冷库运到各销售点的小型冷库或冷柜，由水路的冷藏船运往其他地区，或由冷藏船运来在港口冷库暂存，然后，再由铁路冷藏车运往其

他地区，整个过程都能使易腐货物始终处在同一标准的冷藏条件下。



图绪 -1 冷藏链示意图

产运销各部门在设备的数量上协调，是指产销部门的预冷站、各种冷库，铁路的冷藏车和制加冰设备、冷藏车辆段，公路的冷藏汽车，水路的冷藏船，都要按照易腐货物货源货流的客观需要，互相协调地发展，不能一个部门的设备发展特别快，而另一部门的设备发展特别慢；在设备的质量上标准一致，是指不能冷库的标准高而运输设备的标准低，或者相反；在设备的规格上模数配合，是指易腐货物的包装和托盘的规格要与铁路冷藏车、冷藏汽车和冷藏船的装载面积和容积之间实行模数协调，能充分发挥各项设备的综合利用效率；在运输组织工作上紧密配合，是指生产部门的货源准备，铁路的车辆准备和加冰装车作业，短途运输汽车的准备，铁路的途中运行组织，销售部门的库容准备和分配安排，以及和冷藏船的衔接等等，都要按照运输过程的客观要求，互相密切联系，充分协作，紧密配合地进行，作到环环紧扣，以加速易腐货物运输，保证易腐货物的质量，完成共同的任务。

在运输部门各运输业之间，应从整个国民经济利益出发，进行合理的分工和运量分配。冷藏运输是冷藏链中的重要环节，在冷库与冷藏运输衔接的作业中，最容易使货物暴露在高温环境而发生质量损失。目前阶段，我国冷藏链中的运输环节比较薄弱，冷藏运输设备无论在数量上或是质量上都比地面冷藏设备差，作为果蔬冷藏运输的先导环节的预冷站建设尚未起步。

铁路冷藏运输在我国担负着易腐货物运输的主要部分，在冷藏链中负有特别重大的责任，但目前仍是比较落后的一环，亟需加快发展步伐，使我国冷藏链逐渐形成并完善起来。

第一章 易腐货物及冷藏原理

冷藏运输所运的货物是所谓的“易腐货物”，亦即易于腐败的货物，主要是指肉鱼蛋奶菜果等生鲜食品。因此，冷藏运输工作者必须对易腐货物的性质、腐败原因和冷藏原理具有深入的了解，对冷藏条件及其检测仪器具有扎实的知识。本章将结合铁路运输的需要分节对这些问题进行阐发。本章的易腐货物性质和第二章的制冷原理是冷藏运输学科的两项基础知识。

第一节 易腐货物的化学成分及物理性质

所谓易腐货物，系指若按一般条件保管和运输极易受到外界气候的影响而损害其品质的货物。在铁路上运送的易腐货物有：肉及某些肉制品、鱼及某些鱼制品、奶及某些奶制品、蛋及某些蛋制品、油脂、水果和蔬菜、酵母、冰、鲜活植物、部分罐头食品、活鱼等。

一、易腐食品的化学成分

食品是由有机物、矿物质和水所组成。各种食品中组成成分的重量比和分布特性差异甚大，因而不同食品的性质也差异甚大。

食品是各种物质以各种不同的分散度综合而成的复合体，它具有胶体和真溶液所固有的复合体性质。例如鱼的肉是一种复杂的结构，而主要是蛋白质的水凝胶和水溶胶，并有无机盐类和某些糖类存在；乳汁是脂肪小球悬浮在水中所呈的乳浊液，每个脂肪球均有蛋白质膜保护，糖和无机盐则溶于水中。各种乳制品实质上都是蛋白质或蛋白质和脂肪类型的溶胶或凝胶；水果和蔬菜的肉质部分是由细胞组成的类似海绵的结构，其中散布有各种糖类的水溶液，有形成胶体的体系、高分子体系和以真溶液形式存在的细分散体系。

食品成分中的有机物可分为蛋白质、脂肪、糖类、维生素及酶、有机酸等，兹分述如下：

1. 蛋白质

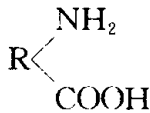
蛋白质是食品中最复杂的组成部分，食品的品质和物理性状，在颇大程度上视蛋白质所发生的变化而定。蛋白质在食品中的存在形式，有液态的，半液态的，其组成成分有：碳——50.6%~54.5%；氢——6.5%~7.3%；氧——21.5%~23.5%；氮——15.0%~17.6%；硫——0.3%~2.5%；磷——0%~4%。

蛋白质是一切生命的基础，是组成和补充肌体组织的材料。蛋白质在动物体内不能用其他材料合成，必须从外界摄取，长期不摄取蛋白质不可避免地将趋于死亡。

蛋白质的分子量极大，从1.3万至十万乃至百万，其成分中包含有千百个彼此以主要原子价相结合的原子。蛋白质中的各高分子，常由其不稳固的缔合键互相联结而形成一个巨大的聚合体，这种聚合体在化学或物理作用影响下能重行分解为各个高分子。与高分子相毗邻的一层水，称为结合水，它不易挥发，约在-40℃时冻结。蛋白质内部联系的破坏，能导致

变性，失去亲水性，呈沉淀析出。

蛋白质有白蛋白、球蛋白、卵蛋白、色蛋白等许多种，总的可分为简单蛋白质和复杂蛋白质两大类，但在所有蛋白质的分子内总含有若干游离的羧基（COOH）和氨基（NH₂），因此蛋白质分子结构的普遍式可写成如下形式：



蛋白质同时具有酸性和碱性，在酸过量时它呈现碱性，而在碱类存在时，它就成为酸性物质。

蛋白质在动物性食品中含量较多，例如牛肉含 20.1%，猪肉含 16.9%，鸡蛋含 14.8%，鲤鱼含 18.1%；而在植物性食品中含量则较少，如苹果含 0.2%，番茄含 0.6%。

2. 脂肪和类脂肪

食品中所含的脂肪和类脂肪（拟脂），有的以原生质脂肪的形态存在，也有以沉积于脂肪组织中的后备脂肪的形态存在。在细胞原生质中的脂肪和类脂肪，多数是以与蛋白质结合成为不稳定的复杂化合物的形式存在，这些化合物称为脂蛋白。

食用油脂对人类的作用极大。脂肪在机体内氧化时能产生大量的能（38.94kJ/g），同时也是某些维生素和其他必要物质的溶剂。脂肪中的饱和脂肪酸为实现正常新陈代谢所必需，某些不饱和脂肪酸在营养上是不可代替的，缺乏这些营养将引起一系列病理现象并最终导致死亡。

脂肪是甘油—C₃H₅（OH）₃ 和各种脂肪酸的化合物。在动物性脂肪的结构中，最常见的脂肪酸有硬脂酸—CH₃（CH₂）₁₆COOH，软脂酸—CH₃（CH₂）₁₄COOH 和油酸—CH₃（CH₂）₇CH=CH（CH₂）₇COOH。前二种称为饱和脂肪酸，而油酸结构中含有双键，属于不饱和脂肪酸，这种双键极易和其他物质相化合，因此含油酸的脂肪易于引起化学变化。脂肪的熔点视脂肪中所含脂肪酸的种类而定。植物油中含有大量不饱和脂肪酸（油酸、亚油酸、亚麻酸等），因此在常温下为液态；而动物性脂肪中主要含有饱和脂肪酸（硬脂酸、软脂酸、丁酸、己酸等），因此在常温下呈固态。

脂肪在动物性食品中和植物种子内含量较多，如肥猪肉含 29.2%，鸡蛋含 11.6%，牛奶含 3.5%，花生仁含 39.2%，而在一般水果蔬菜中含量较少。

3. 糖 类

糖类在生物化学上称为醣，是多羟基醛或多羟基酮和它们的缩合物以及某些衍生物的总称。醣由碳、氢、氧三种元素组成，而且氢氧的比例为 2：1，故旧称“碳水化合物”，但由于醋酸（C₂H₄O₂）、乳酸（C₃H₆O₃）等的氢氧比例也是 2：1，而它们与醣毫无共同之处，与此同时，有些醣（如鼠李戊糖—C₅H₁₂O₅）的氢氧比例却不是 2：1，因此不再用“碳水化合物”这个名词来称呼醣。

醣是自然界中分布最广的有机物质，是人体供热的主要来源（16.75kJ/g）。在植物界，醣主要为构成支柱组织的成分或作为营养物质（淀粉）储存。根据分子结构的繁简，醣可分为单糖、二糖和多糖。动物与植物组织中的主要糖类有：

- 多糖—（C₆H₁₀O₅）_x，包括纤维素、淀粉、糖元（存于动物肝脏中）；
- 二糖—C₁₂H₂₂O₁₁，包括蔗糖、麦芽糖、乳糖，都存在于植物性食品中；
- 单糖（己糖）—C₆H₁₂O₆，包括葡萄糖、果糖、半乳糖、核糖、脱氧核糖，在动物所有组

织与器官中差不多都含有少量葡萄糖，在果实中含有葡萄糖与果糖。

二糖在水解时能生成两分子的单糖，多糖在水解时能生成多分子的单糖。

糖在植物性食品中含量较多，如香蕉含 16.18%，马铃薯含 14.25%，葡萄含 15.43%，苹果含 11.01%，而动物性食品中含量很少，如奶油含 0.49%，鸡蛋含 0.43%，牛奶含 4.41%。

4. 维生素

维生素（亦称维他命）为低分子的有机化合物，它是生物生长和代谢不可缺少的成分。任何动物都不能专靠蛋白质、脂肪、糖类、无机盐和水来维持生命。维生素在食品中的含量甚少，而其作用甚大，只要微量即可满足动物的需要，但若缺少维生素就会罹患各种疾病。维生素（除维生素 D 外）都不能由动物体合成，必须从食物中摄取，人体需要的维生素主要由植物性食品中取得。

维生素 A 在动物性食品中的含量以鱼肝油中为最多，肝脏和奶油次之。植物性食品中含有能在人体中转变为维生素 A 的胡萝卜素。缺乏维生素 A 能引起夜盲症。维生素 A 易被氧化，易被紫外线破坏。

维生素 C 在植物性食品如柑桔、绿葱、番茄、白菜、菠菜中含量都很多，牛羊肝内也不少。维生素 C 极不耐热，最易破坏。人体缺乏维生素 C，就会患坏血病。

维生素 D 在鱼肝油、奶油、卵黄及各种动物肝内含量不少。缺乏维生素 D，就会使人体不易吸收钙和磷，小儿会患佝偻病，成人则骨质脆弱。

维生素除上述几种外，还有 B₁、B₂、E、K 等多种，而且新的维生素还在不断被发现，它们都在人体机能上起着各自的重要作用。在食品保管和运送中，应设法使维生素免受损失。适当的低温对保持各种维生素不受破坏具有重要的意义。

5. 酶

酶（旧称酵素）是一种特殊的蛋白质，它由活细胞产生，存在于有机体的细胞和组织中，起着生物化学催化剂的作用。很少的酶就能加速大量被催化物的生物化学变化过程，而本身不发生变化。

每种酶只对一种物质或有限的几种物质起作用，这种性质称为酶的特异性。例如脂肪酶只能分解脂肪，蛋白酶只能分解蛋白质，氧化酶只能使物质氧化等。

酶在食品中含量不多，但食品成分中的各种物质能在酶的影响下发生化学变化。在保藏食品时，必须控制酶对食品的作用。酶对高温极为敏感，在 40~50℃ 时活性最强，在低于 0℃ 或高于 70℃ 时，酶的催化作用即变得缓慢或完全丧失其活性。

6. 有机酸

在果实和蔬菜内有苹果酸、葡萄酸、草酸、柠檬酸等；在动物性食品中则有乳酸。有机酸的普遍式为 RCOOH。

因为食品中含有各种有机酸，因而有酸味。但酸含量的多少，并不能表示酸味的强弱。酸味的强弱决定于食品中的氢离子数。氢离子愈多，食品就愈酸。氢离子浓度用 pH 表示。pH 是氢离子浓度的负对数。pH 值等于 7 时为中性，大于 7 时为碱性，小于 7 时为酸性。以肉来说，最好的 pH 值为 6.6，如 pH 值大于 6.6，就表示肉已开始腐败了。

7. 水

水是一切食品的主要组成成分之一。各种食品中的含水量是不同的，根据北方交通大学的实验测定，各种主要食品的含水量如表 1—1。

主要食品的含水量

表 1—1

品 名	含水量 (%)	品 名	含水量 (%)	品 名	含水量 (%)
莴 笋	95%	甘 兰	94%	荔 枝	73.5%
香 蕉	82%	鸡 蛋	64%	葱 头	90%
粉 蕉	70.5%	番 茄	95%	猪 肉*	62%
黄 瓜	96.9%	豆 角	93%	牛 肉*	64.1%
枇 杷	77%	茄 子	95.7%	羊 肉*	54.4%

注：有 * 记号者，非北方交通大学测定。

8. 矿物质

在各种食品中都含有少量的矿物质，一般总含量占食品总重的 1% 左右。

矿物质是构成人体组织的重要成分，并对人体的新陈代谢起着重要的作用。矿物质包括钙、磷、铁、镁、钠、碘等。

食品中的矿物质，大都是以有机化合物和可溶性盐类的形式存在的。

二、易腐食品的物理性质

易腐食品的物理性质，主要是指易腐食品的比热、热传导、冻结温度和比重。这些性质对易腐食品的加工、贮存和运输都发生重要的影响。

一公斤物体温度变化 1℃ 所吸收或放出的热量 kJ 数，称为该物体的比热。比热的大小直接与易腐食品冷却或冻结时消耗的冷量有关。在其他条件相同下，比热愈大，冷却或冻结时所消耗的冷量就愈多。

同一物体的比热随着温度的降低而减小，尤其是在液态转为固态时，变化特别显著。例如，水在 4℃ 时比热为 4.187kJ/kg·K，但冰的比热则为 2.094kJ/kg·K。同样，没有冻结的食品的比热要比冻结食品的比热大得多，例如冷却肉的比热为 3.18 kJ/kg·K，而冻肉的比热则为 1.51kJ/kg·K。

由于易腐食品的比热与其含水量关系最大，因之可用下列公式计算出各种易腐食品比热的近似值。

、高于冻结温度时，易腐食品的比热：

$$C = \varphi + C'(1 - \varphi) \quad (\text{kJ/kg} \cdot \text{K}) \tag{1-1}$$

式中 φ ——食品中的含水量，以 kg/kg 计；

C' ——食品中干燥成分的比热，取 1.34~1.47kJ/kg·K。

、冻结食品的比热：

$$C_0 = 2.09\varphi w + C'(1 - \varphi) + C''\varphi(1 - w) \quad (\text{kJ/kg} \cdot \text{K}) \tag{1-2}$$

式中 w ——冻结水量占食品中全部水量的百分数；

C'' ——食品中未冻结的水的比热，取 3.77kJ/kg·K；

C' ——食品干燥成分的比热，取 1.34~1.47kJ/kg·K。

导热系数对易腐食品的冷却速度有很大的影响，在其他条件相同时，导热系数愈大，冷却和冻结的过程就进行得愈快；反之就慢。导热系数是 1m 厚的块状物体，两面温度差为 1K 时，在一秒钟内垂直传过 1m² 面积的热量 J 数。冷却食品的导热系数可用下式求其近似值。

$$\lambda = 0.605\varphi + 0.256(1 - \varphi) \quad (\text{W/m} \cdot \text{K}) \tag{1-3}$$

式中 φ ——食品含水量 (kg/kg)；

- 0.605——水的导热系数；
- 0.256——干燥物质的导热系数。

冻结食品的导热系数依据温度的不同，在水和冰的导热系数之间变动（0.605~2.33）。冻鱼和冻肉的导热系数约为 1.4W/m·K。

食品的冻结温度与食品液汁中盐的浓度有关。在一定限度内，盐的浓度愈大，则冻结温度也愈低。食品的冻结温度是指使食品中的水开始冻出冰晶的温度。要使食品中的水全部冻结，要达到很低的“共晶温度”才能实现。食品终温与冻出水量的关系如表 1—2：

易腐食品在一定温度下冻出的水量 表 1—2

食品终温（C）	-5	-10	-15	-20	-25
冻出水量（%）	70~75	75~80	80~85	85~90	90~92

食品的比重取决于它的化学成分，特别是水的含量。一般是含水愈多，食品比重愈大。易腐食品的比重约在 0.9~1.1 之间。但易腐食品在包装运输时，由于不能紧密挤压，所以大多是体轻货物，这时的单位体积重量要远小于比重值。

易腐食品的主要物理性质见表 1—3。

易腐食品的主要物理性质表 表 1—3

食品名称	比 重 (g/cm³)	导热系数 (W/m·K)	冻结温度（C）		比热（kJ/kg·K）	
			由	到	高于冻结温度	低于冻结温度
瘦 肉	0.97~0.99	0.556	-0.6	-1.2	3.18	1.76
肥 肉	0.96~0.98	—	-0.6	-1.2	2.51	—
猪 肉	0.94~0.96	—	-0.6	-1.2	2.18	1.51
瘦 鱼	1.01~1.02	0.45	-0.6	-2.0	3.35	1.34
肥 鱼	0.97~0.99	—	-0.6	-2.0	2.85	1.80
蛋	1.0~1.09	0.29	-0.5	-0.6	3.18	1.67
奶 油	0.92~0.95	0.15	—	—	2.68	1.67
牛 奶	1.03~1.08	0.64	-0.53	-0.55	3.94	1.67
凝 乳	0.94~1.02	—	-0.53	-0.55	3.52	2.51
水 果	1.03~1.07	—	-1.0	-2.5	3.35~3.77	2.09
蔬 菜	1.06~1.10	—	-1.0	-2.5	3.35~3.77	1.67~2.09

第二节 易腐货物腐败的原因及过程

一、腐败的原因

易腐货物在保管或运输过程中，由于某些原因使其成分发生分解变化，失去食用价值，称为腐败。引起易腐货物腐败的原因主要有三种：微生物的作用，呼吸作用和化学作用。所谓微生物的作用系指微生物在食品内滋生繁殖，使食品腐败；呼吸作用系指由于水果、蔬菜的呼吸，逐渐消耗体内的养分使食品腐败；化学作用系指由于食品碰伤擦伤后发生氧化，而使

食品变色、变味、腐败。虽然这三种原因各有特点，但它们不是孤立的，而是相互影响的，并且有时是同时进行的。例如水果碰伤后，伤口迅即氧化、变色，呼吸强度也就加大，同时天然的免疫能力开始减弱以至丧失，微生物乘机侵入繁殖，使水果腐败。所以，要防止易腐货物腐败就必须对这三种腐败的实质联系起来研究。

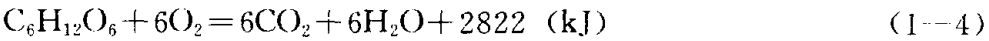
1. 微生物的作用

微生物对食品的破坏，主要是微生物分泌出有毒的物质（主要是水解酶），破坏细胞壁，侵入细胞内部，将细胞中复杂的有机物水解，供微生物利用。例如，蛋白质由于微生物的作用会分解产生硫化氢、氨等各种难闻气体和有毒物质，而致不堪食用；脂肪由于微生物的作用分解为甘油和脂肪酸，脂肪酸再被氧化分解为醛类、酮类和酸类，发出令人不愉快的气味，失去食用价值。

2. 呼吸作用

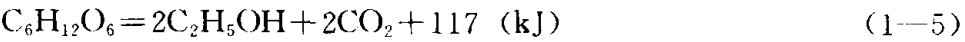
水果、蔬菜呼吸的本质，是在酶的参加下进行的一种缓慢的氧化过程。在这个过程中，复杂的有机物质被分解成比较简单的物质，并放出能量。

呼吸有两种，氧气充足时为有氧呼吸；当氧气减少到 6% 以下，二氧化碳浓度达 15% 以上时，为缺氧呼吸。有氧呼吸的化学变化可用下列方程式表示：



反应时放出的能量并不是全部被细胞所利用，其中绝大部分在果蔬贮藏期间，以热的形式散发出来，放出来的热称为呼吸热。

缺氧呼吸可用下列方程式表示：



上列两个方程式，并不能反映呼吸过程的复杂性。实际上，整个呼吸过程要通过一系列的中间反应，产生许多中间产物，才能得到以上最终产物。

呼吸作用有消耗果蔬体内养分的一面，但也有抵抗病菌侵入的一面。呼吸过程中的氧化作用，能够把微生物分泌的水解酶氧化，变成无害物质，使果蔬的细胞不受毒害，从而阻止微生物的侵入。同时，氧化作用还能使受到机械损伤和已被微生物侵入的组织形成木栓层，从而保护内层的健康组织。因此，呼吸作用是一分为二的，既有积极方面又有消极方面，保藏果蔬的任务就是要保护呼吸作用的积极方面，而限制它的消极方面，也就是说，只能降低它的呼吸作用，而不能停止它的呼吸作用。

从上述两种不同的呼吸过程可知，进行缺氧呼吸所产生的能量，要比正常的有氧呼吸少 24 倍之多。在这种情况下，果蔬要获得维持生命活动所需的足够能量，就必须分解更多的有机质。同时，缺氧呼吸的中间产物乙醛和最终产物酒精在果蔬组织中过多的积累，还能引起细胞中毒，影响保管和运输期限。

水果蔬菜的呼吸作用产生大量的热，是贮藏和运输中一项可观的热源因素。

呼吸热可用化学方法测定。最简易的试验方法是用干燥器盛装被测水果蔬菜的样品后加以密封，底部用一定浓度的 NaOH 溶液来吸收呼吸时放出的 CO₂，同时用内装钠石灰的 U 形管向干燥器供气，以保证输入的空气内不含 CO₂（见图 1-1）。试验过程中应测定干燥器内的温度，过一定时间后，取出吸收了 CO₂ 的 NaOH 溶液，加入饱和 BaCl₂

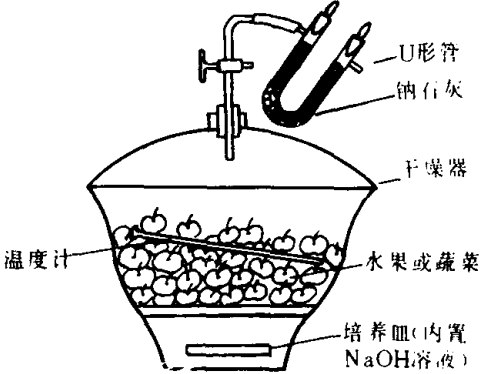
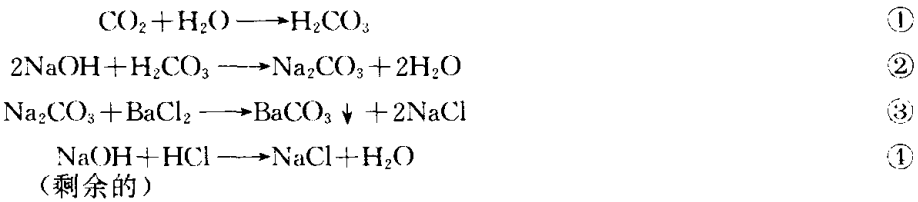


图 1-1 呼吸热测定组装

溶液，使不稳定的碳酸盐化合为稳定的白色沉淀 BaCO_3 。然后，加入少量酚酞使剩余的 NaOH 溶液呈粉红色，再用已知当量浓度的稀盐酸或草酸进行滴定。根据滴定所用酸的体积，即可算出未与 CO_2 起作用的 NaOH 溶液的体积，进一步推知与 CO_2 作用的体积，从而求出被测水果蔬菜的呼吸强度和呼吸热。

测定过程的化学反应式如下：



反应式①表示样品析出的 CO_2 首先被水吸收成为碳酸。

反应式②表示碳酸与氢氧化钠化合而生成不稳定的碳酸钠。

反应式③表示为防止生成的碳酸钠在滴定时遇盐酸而分解出 CO_2 外逸，故先用足量的饱和氯化钡溶液使其全部化合为稳定的碳酸钡沉淀。

反应式④表示未吸收 CO_2 (即未与 H_2CO_3 作用) 的那一部分 NaOH 溶液用盐酸滴定的反应。当 NaOH 完全被盐酸中和时，酚酞的红色消失，滴定立即中止。

设 N 为溶液的当量浓度， V 为溶液的体积 (C. C.)，则 NV 即为该溶液的毫克当量数。当两种溶液发生中和作用时，两者参加反应的毫克当量数是相等的，即 $N_1V_1 = N_2V_2$ 。

在反应式④中，已知 NaOH 的当量浓度为 N_1 ， HCl 的当量浓度为 N_2 ，滴定时用去的 HCl 体积为 V_2 ，则很容易求出剩余的 (即未与 H_2CO_3 作用的) NaOH 的体积 V ， $V = \frac{N_2V_2}{N_1}$ 。设试验开始时放入干燥器的 NaOH 的总体积为 V_0 ，则与 H_2CO_3 起作用的 NaOH 的体积 V_1 即为： $V_1 = V_0 - V$ 。

在反应式②中， H_2CO_3 的毫克当量数应与 NaOH 的毫克当量数相等，即等于 N_1V_1 ，则 H_2CO_3 的重量 (毫克数) x_1 为 N_1V_1 与其当量的乘积，即 $x_1 = N_1V_1 \times 31$ (H_2CO_3 的当量为 $\frac{62}{2} = 31$)。

由反应式①可知，1 克分子量的 CO_2 产生 1 克分子量的 H_2CO_3 ，其质量比例为 $\frac{44}{62}$ ，因此样品所析出的 CO_2 的质量 (毫克数) 即为 $x = N_1V_1 \times 31 \times \frac{44}{62}$ ，即 $x = 22N_1V_1$ (mg)。设试样质量为 $G\text{kg}$ ，试验时间为 Z 小时，则 $\frac{22N_1V_1}{G \cdot Z}$ 即称为呼吸强度 (mg/kg · h)。

样品测试的呼吸强度 $R_{\#} = \frac{22N_1V_1}{G \cdot Z}$ 可用 N_2V_2 表示：

$$\frac{22N_1V_1}{G \cdot Z} = \frac{22N_1(V_0 - V)}{G \cdot Z} = \frac{22N_1(V_0 - \frac{N_2V_2}{N_1})}{G \cdot Z} = \frac{22(N_1V_0 - N_2V_2)}{G \cdot Z} \quad (\text{mg/kg} \cdot \text{h})$$

在测定果蔬呼吸强度时，为克服干燥器中空气原有 CO_2 所带来的误差，还要做一份空白试验以进行校正。在空白试验的干燥器内，应在培养皿中放入与样品试验同样多的 NaOH 。

设空白滴定时酸的用量为 V'_2 ，则空白的“呼吸强度”为

$$R_{\text{空}} = \frac{22(N_1V_0 - N_2V'_2)}{G \cdot Z}$$

则果蔬的净呼吸强度为

$$R = R_{\#} - R_{\text{空}} = \frac{22(N_1V_0 - N_2V_2 - N_1V_0 + N_2V'_2)}{G \cdot Z} = \frac{22N_2(V'_2 - V_2)}{G \cdot Z}$$

如 Z 以分钟计，则

$$R = \frac{1320N_2(V'_2 - V_2)}{G \cdot Z} \quad (\text{mg/kg} \cdot \text{h}) \tag{1-6}$$

也就是说，当使用空白的干燥器作为对照测试时，我们在计算呼吸强度时，就不需要知道 NaOH 的用量和当量浓度，只要知道滴定用酸的用量和当量浓度即可。

呼吸热的计算原理如下：由呼吸的反应方程式 (1-4) 可知，每产生 6 个克分子量 ($6 \times 44 = 264\text{g}$) 的 CO_2 ，