

设计参考资料汇编

第一辑

水果冷库

商业部设计院技术情报室编

一九八四·三

编 者 的 话

为了配合我院设计工作的需要，我室搜集了一些与设计任务有关的国外技术资料，并组织有关人员翻译，汇编成专辑，提供设计人员参考。定名为《设计参考资料汇编》。资料的来源主要摘自中国科学院情报研究所提供的国外期刊和个别的国际上知名的手册如美国ASHRAE手册等。内容侧重于设计方法，技术数据，以及新技术和新设备。

《设计参考资料汇编》第一辑，为水果冷库，其中也包括食品贮藏的基本条件和要求。本辑资料内容涉及专业面较广，一些学术名词和用语，恐与生产情况和习惯用语有所出入，加之由于译编时间仓促，水平所限，难免有错误和不妥之处，敬请读者批评指正。

商业部设计院技术情报室

一九八四年三月

目 录

一、食品的热特性.....	(1)
商品制冷负荷资料.....	(1)
焓、比热和扩散系数.....	(5)
导热性.....	(30)
二、产品储藏要求.....	(42)
冷藏.....	(43)
冷藏设备的使用.....	(64)
冻结食品的贮存.....	(66)
特殊产品.....	(66)
产品贮藏密度.....	(69)
三、落叶树与藤本植物的果实.....	(75)
果品的一般考虑因素.....	(75)
水果的贮藏与处理.....	(76)
苹果.....	(76)
梨.....	(81)
葡萄.....	(84)
李子.....	(88)
甜樱桃.....	(89)
桃子与油桃.....	(90)
杏.....	(91)
浆果.....	(92)
草莓.....	(92)
无花果.....	(93)
四、柑桔类水果、香蕉与亚热带水果.....	(94)
柑桔类水果.....	(94)
香蕉.....	(101)
亚热带水果.....	(107)
五、对冷藏的辅助处置.....	(110)
抗氧化剂.....	(110)
抑芽剂和生长调节剂.....	(111)
调节气体.....	(111)
紫外线.....	(114)
熏.....	(114)
防腐冲洗.....	(114)

硫磺粉.....	(115)
辐射.....	(115)
保护包装.....	(115)
选择性销售.....	(116)
六、强制空气环流冷却器和除霜.....	(117)
冷却器类型.....	(117)
(1) 干盘管表面.....	(117)
(1) 喷淋盘管.....	(118)
(2) 回风与吹风设计.....	(118)
(02) 翅片间距.....	(119)
(81) 空气分配与流动.....	(119)
(81) 产冷量额定方法.....	(120)
(10) 操作与维护.....	(122)
七、水果库.....	(124)
(80) 300, 500 和800 吨容量水果库.....	(124)
(80) 850 吨容量水果和葡萄冷库.....	(126)
(87) 5000吨容量水果冷库.....	(127)
(87) 农区水果库的供冷系统.....	(128)
(87) 摩洛哥柑桔冷藏库.....	(131)
(87) 水果冷库风帘冷却系统.....	(133)
(18) 果菜冷库耗冷量的计算.....	(137)
(18) 桔子冷库的设计及其管理.....	(138)
八、轻型结构果菜专用冷库设计.....	(144)
九、多层水果冷库冷藏间的工艺试验.....	(147)
十、用聚乙烯帐蓬贮存水果.....	(151)
十一、变换和程序控制条件下的果蔬贮存.....	(154)
(82)	果菜
(82)	蔬菜
(82)	果蔬类
(10)	果木带热亚温贮藏, 果木类蔬菜, 四
(10)	果木类蔬菜
(101)	蔬菜
(101)	果木带热亚温
(011)	置热亚温贮藏, 五
(011)	蔬菜类
(111)	蔬菜类, 蔬菜类蔬菜
(111)	蔬菜类蔬菜
(111)	蔬菜类
(111)	蔬菜类
(111)	蔬菜类

一、食品的热特性

本篇将为食品和食品材料的热处理法（加热，冷却，冻结，及融化）的计算提供资料 and 情况。材料是为在工业，教学和研究工作中对食品应用这些处理方法的工程师和设计者而选择和准备的。由于选择的资料都是可能获得的最好的，因此对误差，准确性，以及获得资料的方法等，讨论很少。对于希望了解更多情况的读者，本书尽可能提供了参考项目。为了潜在的用途，对资料的选择需要另一种标准。由于在这个限度内也力求全面，在每个领域里都提出了可能获得的全部资料。

组成和结构的变动性是食品材料的一个主要特点，在考虑其热特性时，必须注意，例如，食品通常是不一致的，在产品或产品样本内部和其相互之间，组成和结构都是不同的。此外，其化学和物理（因而也使热的）特性均可能随着时间、温度和其他外部条件而变化。假若食品是一新鲜商品，如储存的水果或蔬菜，它将会产生热力，使用环境中的氧气，放出二氧化碳、水蒸气，以及其他气体，这些都会使其外部环境、质量和储存寿命受到影响。

关于肉的导热性，不同牲畜之间，其肉的组成和结构（脂肪，瘦肉，骨头，水份，肌肉和骨头的大小与形状，纤维方向等）随其品种，年龄，饲养，屠宰，和屠后条件而不同，同一牲畜，也随考虑的特定肌肉或肌肉部份而不同。在冻结（点）以上，温度的变化可能引起由于脂肪变化而造成的导热性的变化；在冻结（点以下），直到水显著冻结以前，导热性迅速变化。融化和再冻结，或是经过一段冻结（点）以上的储存以后，由于失掉水分和其他变化，导热性可能发生变化。有些变化可能不重要，但其他一些是重要的。在测量和预计，以及使用导热性和其他热特性时，必须给予注意。

除用其他公制单位更适合的地方，本篇都使用 SI 单位。一些经常需要的换算因素，随图、表提供。

商品制冷负荷资料

冷却，冻结，或储存食品系统的设计，需要不同产品热特性的可靠的值。本节阐述的食品特性为比热，熔化的潜热和呼吸热。相关的特性为冻结点和含水量。这些资料见表1到表3。

含水量 虽然不是一个热特性，但含水量显著影响所有的热特性。比热和熔化的潜热值（表1），都是从含水量直接计算的。

含水量百分比值应被看做是商品的平均概念。水果和蔬菜的含水量，随收获时的发展或成熟程度，生长条件，和收获后失掉水份的数量而不同。提供的值通常适用于刚收获后完全成熟的产品。对于鲜肉，含水量值适用于宰杀时或通常老化阶段以后。对于加工产品，含水量取决于特定的加工方法或产品。

有些食品有吸水性，在储存期间吸收水份，但多数是失掉水份，并得不到复原，表1提供的比热和熔化的潜热的值仅适用于一定的相关的含水量。

冻结点 表1的冻结点值的基础是在冻结前使产品缓慢冷却的试验。显热指示器，如热电偶，装在产品的里面；结冰造成的温度突然上升，表明冻结开始。对于蔬菜和水果，样品冻结的最高温度已在表1中列出，因为冻结会使其受到严重损害。对于其他食品，表明了平均冻结温度，主要是由于缺乏开始冻结温度，食品的冻结点随其组成而不同。例如，一批苹果中，所有的苹果并不是在同样的温度下冻结。

当食物产品冻结时，形成冰结晶体，并使未冻结部分浓缩，同时还使冻结温度降低。装入高度浓缩浆或含糖量高的食品，如干果，可能不会全部冻结，即使在冻结食品储存温度的情况下也是这样。通常含水量少的食品，如干豆，在这类温度下也不冻结。

比热 同以计算表列冻结（点）以上或以下的比热值的塞柏尔（Siebel）公式为：

$$C_p = 0.0335a + 0.84 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C} \quad (1)$$

$$C_p = 0.0126a + 0.84 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C} \quad (2)$$

C_p 是每公斤千焦耳 $^\circ\text{C}$ ； a 是含水量百分比；0.84是任意基数，假设其代表固体成份的比热。

比热是温度的函数。塞柏尔的公式是以分别在4.19和2.1 kJ/kg $^\circ\text{C}$ 0 $^\circ\text{C}$ 情况下的水和冰的比热为基础的。表1为0 $^\circ\text{C}$ 的比热值。对于非冻结食品，当温度从0上升至20 $^\circ\text{C}$ ，比热稍有下降。对于冻结食品，温度减少时，比热变化很大。例如，冻牛肉，在-40 $^\circ\text{C}$ 时，比热为2.05 kJ/kg $^\circ\text{C}$ ，而在-79 $^\circ\text{C}$ 时，比热为1.47 kJ/kg $^\circ\text{C}$ 。如前所述，组成的变动性是食品材料的主要特点；对于那些影响比热的组织成份，特别是含水量，情况尤其是这样。

在计算冻结食品的比热时，假定所有的水份都已冻结成冰；所涉及的比热为冰的比热。这一假定不全部正确。如表明的那样，多数食品的冻结是一个渐进的过程，在一个大的温度范围内进行。比热值是有错误的；由于冻结可能不完全，样品可能没有冻结成冰，而是一个冻结和未冻结成分的混合物。

熔化的潜热 熔化的潜热，在确定冻结一个产品需要多少制冷量时，是有用的。与比热的情况一样，表列的值也会有错误的，原因是没有考虑除含水量以外的其他化学组成。它们仅仅是水的熔化热（334 kJ/kg）的产物，同时，含水量系以十进位的形式表示。它们只限于在实际应用中使用，并根据产品组成的不同，会出现一些差异。

下例说明，在计算食品熔化热中出现的错误并不很大：

例1：假使一个食品的含水量为75%，开始时处于0 $^\circ\text{C}$ 到-20 $^\circ\text{C}$ 的情况；水的熔化潜热，334 kJ/kg；冰的比热，2.10 kJ/kg $^\circ\text{C}$ ；水的比热，4.23 kJ/kg $^\circ\text{C}$ ；25%非水成分的比热（式2），0.84 kJ/kg $^\circ\text{C}$ 。假设水的成份中占有90%冻结，很多食品的情况都是这样。则：

(a) 冻结的潜热：

$$334 \times 0.75 \times 0.9 = 225.45 \text{ kJ/kg}$$

(b) 冷却冰的显热：

$$(0.75 \times 0.9 \times 2.10) \times 20 = 28.35 \text{ kJ/kg}$$

(c) 冷却未冻水的显热：

$$(0.75 \times 0.1 \times 4.23) \times 20 = 6.34 \text{ kJ/kg}$$

(d) 冷却非水原料的显热：

$$(0.25 \times 0.84) \times 20 = 4.20 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{合计} = 264.34 \text{ kJ/kg}$$

只从水的冻结中计算， $(0.75 \times 334 = 250.50 \text{ kJ/kg})$ ，其误差为 $[(264.34 - 250.50) / 264.34] \times 100 = 5.23\%$ 。

例2: 假定一食品的含水量为50%。计算如下:

(a) 150.42kJ/kg

(b) 18.86kJ/kg

(c) 4.19kJ/kg

(d) 8.38kJ/kg

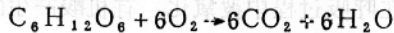
合计 181.85kJ/kg

使用水的熔化热, 仅得167kJ/kg, 误差为8.1%。注意, 在有些含水量低的食物, 很少水份在-20℃冻结。因此, 假如要求的假定是“90%冻结”的话, 这就会造成很大误差。

为了计算冻结食品的冷却或冻结负荷, 冻结(点)以下的比热和熔化潜热量相互依赖的, 因此必须一起使用。对于很多食物产品来说, 冻结原料的冻结和温度变化是同时发生的。发生经历一个温度范围, 固体成份少的食品, 这个温度范围窄, 固体成份多的食品, 范围宽。(见以下焓, 比热, 及热扩散系数。)

对于含水量太少, 以至其中的水不会冻结的产品, 表1没有列冻结(点)以下的熔化潜热值或比热值。

制冷热 所有活食物产品都呼吸。在呼吸中, 糖份, 通常是葡萄糖, 经过一个包含酶的逐步过程, 与氧结合。这一过程的简化公式为:



+ 能(热和ATP能)

最终产品为CO₂, H₂, 用热的形式表现的能, 以及三磷酸腺苷(ATP), 细胞可利用这些, 促进其成长和发展。在多数储存的植物产品中, 很少细胞发展, 更大部分的呼吸能是以热的形式表现, 这是必须在冷却和储存这些活产品时予以对付的。

如同在所有的化学反应一样, 温度在呼吸速率中起重要作用。在大约0°到30℃的范围内, 温度每增加10℃, 一般使呼吸速率增至两倍或三倍。

水果, 蔬菜, 花卉, 球根, 绿树和苗木都是有显著呼吸热的储存商品。干植物产品, 如籽与核, 呼吸速率很低。嫩的, 正处生长活跃期的植物, 如芦笋, 硬花球花椰菜, 菠菜和扁豆, 呼吸速率高; 未成熟的籽如青豆, 甜玉米, 也是这样。迅速发展的水果如草莓, 木莓和黑莓, 呼吸速率比那些发展缓慢的水果如苹果, 梨, 葡萄和柑桔等, 要高得多。

表2中几乎所有商品都有在每一温度情况下的高和低的呼吸热的值。若没有温度范围, 其值为比热的平均值, 并可能是很多天呼吸速率的平均数。

除根菜以外的多数蔬菜, 收获后的最初一两天, 开始的速率高。几天之内, 迅速降低至所谓的平衡率。芦笋是一个好例子。第一天, 呼吸热在0℃时为20531kJ/Mg·天。三天之内, 降至10098, 16天降至7165(表3)。巨湖生菜, 第一天0℃, 速率为4358kJ/Mg·天, 五天内降至2304。洋葱, 第一天0℃时呼吸速率为11522kJ/Mg·天, 经过16天, 产生的热只有3855kJ/Mg·天。带壳甜玉米, 0℃时, 第一天产热13157kJ/Mg·天, 四天内降至7877kJ/Mg·天。洋葱是例外。由于其鳞茎失去休眠状态, 呼吸随着时间增加。大蒜也是这样(表3)。

水果的情况与多数蔬菜有些不同。那些在储存中不成熟的, 如柑桔类和葡萄, 呼吸速率相当稳定。那些在储存中成熟的(如苹果, 梨, 桃, 李, 芒果和鳄梨), 呼吸速率增加。若一种水果能在0℃保存, 如多数苹果那样, 呼吸很少增加, 原因是没有出现成熟状况。但

是,若在较高的温度(10° 或 15°C)条件下保存,呼吸增加,随后又减少(见苹果,表3)。软水果如蓝莓,无花果和草莓, 0°C 时,呼吸随着时间减少。但若受到感染,呼吸增加。

应用表2时,估计处于储存平衡状态的呼吸热,选择较低的值;若是计算头一两天的热负荷,选择较高的值,如同预冷和短距离运输那样。储存温度若为 0° 或 5°C ,由于成熟活动,蔬菜呼吸的增加是少的。那些必须在 10°C 或更高的温度下保存的水果,如芒果,鳄梨,或香蕉,出现成熟活动,必须用较高的速率。那些在储存中失去休眠状态的蔬菜,如洋葱,大蒜和白菜,经过长期储存以后,产热量可能增加。

不是所有呼吸热的变动都是由于呼吸速率随着时间变动。有很多花头的硬花球花椰菜,呼吸速率比主要是带梗的要快。未成熟的水果和蔬菜,呼吸速率一般比更成熟的快(见土豆,表2)。在通常情况下,早期、生长迅速的水果和蔬菜的培育品种,呼吸速率比后期,发展较慢的要快。

为了求得表2和3中的值。假定呼吸热来自反应中的葡萄糖的氧化作用。一克分子的葡萄糖(180g)被6克分子的氧气氧化,生产6克分子的 CO_2 (264g)。葡萄糖氧化作用产生 2820kJ 和 1gCO_2 ,因此,代表 $(2820/264) = 10.68\text{kJ}$ 。在 $\text{mgCO}_2/\text{kg}\cdot\text{h} \times 10.68\text{J} \times 24$ 中的呼吸速率=在24h内产生的热/kg。这相当于每天 kJ/mg 。

把呼吸热从每天 kJ/Mg 换算成 $\text{Btu}/\text{ton}\cdot 24\text{h}$,乘以0.86即可。

假若是葡萄糖以外的其他物质在呼吸过程中被氧化,有机酸产生的热量较少,脂肪产生的热量要多得多。

水果和蔬菜的蒸发

新鲜水果和蔬菜水份的蒸发,是水蒸气从商品表面大量转移自周围空气的过程。水是水果和蔬菜中的最丰富的成份,作为这些产品内的连续液相而存在。

在讨论蒸发之前,必须弄清一些普通术语的定义。一些常用术语的定义如下:

蔬菜或水果的蒸发系数是,每单位时间每单位环境水蒸气压力亏损下的,每单位商品体积蒸发的水份。在有些情况下,蒸发系数是用商品的单位表面面积表示,而不是用单位体积。

蔬菜或水果的蒸发率是,每单位时间每单位商品体积蒸发的水份。蒸发率有时也以商品的单位表面面积表示,自然,商品的蒸发率将随环境条件和其他因素的变化而不同。

水果和蔬菜中的蒸发率是影响产品质量的主要因素之一。在一定水蒸气压力亏损的条件下,水份不断从搬运和储存的水果和蔬菜中蒸发。有些水份损失是不可避免的,在一定程度上影响也不大。在很多情况下,水份损失可能很大,以至造成商品枯萎,香味受损,销售的质量下降。水份损失的结果不仅影响外表,内在组织和香味,而且还使可供销售的量减少。

在同一条件下,所有水果和蔬菜失掉水份的情况并不一样。然而,关于在一个既定环境下的特定水果或蔬菜的蒸发率的具体情况,是有限的。更好地了解水份从水果或蔬菜转移至外部空气的作用过程,有助于发展处理,运输和储存这些产品的新系统;并改进现有的系统,减少新鲜产品的水份损失,使收获时的原始质量能够保持较长的时期。掌握储存产品蒸发率的知识,对于合理分析冷藏新鲜水果和蔬菜的理想环境条件,是至关重要的。对于储存的水果和蔬菜,有很多因素影响其蒸发率和蒸发活动。同时也有很多现象与蒸发有关,图1用图表的形式表明一些因素和相关的现象。

际热量；（2）用潜热去计算冻结期间去掉的热量；和（3）用冻结以下的比热去计算从冻结点到最后冻结储存温度，冷却期间去掉的实际热量。这种程序假定，熔化的潜热是在常温（冻结点）的情况下被除掉。

然而，食品不在常温冻结。牛肉大约是在 -1°C 开始冻结，但是仍有25%的潜热须在 -4°C 时被除去。在黑线鳕的肌肉内，有些水肯定有蛋白质，在 -40°C 时不冻结。新鲜牛肉在 -62°C 时不全部冻结，桔子汁在 -95°C 时不全部冻结。

参考 H. E. Staph 及 W. R. Woolrich: Specific and latent heats of foods in the freezing zone 介绍食品冻结的过程如下。当食品开始冻结时，未冰结的水中，食品固体的浓缩增加，因而为增加的相变造成了较低的冻结点。随着冻结增加，发生了冻结点逐步下降的过程，直到所有能够冻结的水都被冻结为止。由于这个原因，一般承认的潜热标准（常温下的相变），不能被精确地运用于冻结食品的过程。比热和热扩散系数的概念都不能运用，原因在食品冻结过程中，还没有办法把比热成份从潜热分开。

运用表 1 去计算制冷负荷，能够产生误差，但这误差总是属于保守性的（即计算制冷负荷总是比实际需要的要大一些）。对于较低的冻结储存温度，误差减少。相反，假若产品在仅仅稍低于开始冻结温度的条件下被冷却，运用表 1 能导至显著的误差，原因是只有一小部分潜热真正从产品除掉。从表 1 产品的结果假定所有的潜热都被除掉。

当产品将于仅仅稍低于开始冻结温度的情况下被冷却，或是对于任何最后冻结储存温度，希望能获得较大的准确性，在冻结食品的计算中应用的物质质量即总的含热量，或焓。这种方法增加的优点是，能获得未冻结的百分比的估计数。

当焓表列为温度的函数时，必须确定一个基本温度。焓在基本温度的条件下被任意地确定为 0。在本篇内，在 -40°C 的条件下，焓为 0。

表 1 食品 and 食品原料的热及其相关特性

食品或食品原料	含水量 % (物质质量) ^a	最高冻结点 $^{\circ}\text{C}$ ^b	比 热 ^c		熔化的潜热 kJ/kg
			冻结以上 $\text{kJ/kg}\cdot^{\circ}\text{C}$	冻结以下 $\text{kJ/kg}\cdot^{\circ}\text{C}$	
蔬 菜					
朝 鲜 蓟	84	-1.2	3.65	1.90	281
菊 芋	80	-2.5	3.52	1.85	267
芦 笋	93	-0.6	3.96	2.01	311
Snap 豆	89	-0.7	3.82	1.96	297
利 马 豆	67	-0.6	3.08	1.68	224
干 豆	11	—	1.21	0.98	37
甜 菜 根	88	-1.1	3.79	1.95	294
嫩茎花椰菜	90	-0.6	3.86	1.97	301
抱子甘兰	85	-0.8	3.69	1.91	284
卷 心 菜	92	-0.9	3.92	2.00	307
胡萝卜根	88	-1.4	3.79	1.95	294
菜 花	92	-0.8	3.92	2.00	307
块 根 芹	88	-0.9	3.79	1.95	294
芹 菜	94	-0.5	3.99	2.02	314

续上表

食品 and 食品原料	含水量 %(质量) ^a	最高冻结点 ℃ ^b	比 热 ^c		熔化的潜热 kJ/kg
			冻结以上 kJ/kg·℃	冻结以下 kJ/kg·℃	
粗叶羽衣甘兰	87	-0.8	3.75	1.94	291
甜 玉 米	74	-0.6	3.32	1.77	247
黄 瓜	96	-0.5	4.06	2.05	321
茄 子	93	-0.8	3.96	2.01	311
菊 苣 苣	93	-0.1	3.96	2.01	311
大 蒜	61	-0.8	2.88	1.61	204
姜	87	—	3.75	1.94	291
辣 根	75	-1.8	3.35	1.79	251
无头干兰	87	-0.5	3.75	1.94	291
球茎甘兰	90	-1.0	3.86	1.97	301
韭 葱	85	-0.7	3.69	1.91	284
生 菜	95	-0.2	4.02	2.04	317
蘑 菇	91	-0.9	3.89	1.99	304
秋 葵	90	-1.8	3.86	1.97	301
新鲜洋葱	89	-0.9	3.82	1.96	297
干 洋 葱	88	-0.8	3.79	1.95	294
欧 芹	85	-1.1	3.69	1.91	284
防 风 草	79	-0.9	3.49	1.84	264
鲜 豌 豆	74	-0.6	3.32	1.77	247
干 豌 豆	12	—	1.24	0.99	40
干 胡 椒	12	—	1.24	0.99	40
甜 胡 椒	92	-0.7	3.92	2.00	307
早期土豆	81	-0.6	3.55	1.86	271
主产期土豆	78	-0.6	3.45	1.82	260
甘 薯	69	-1.3	3.15	1.71	230
山 药	74	—	3.32	1.77	247
南 瓜	91	-0.8	3.89	1.99	304
萝 卜	95	-0.7	4.02	2.04	317
大 黄	95	-0.9	4.02	2.04	317
芜菁甘兰	89	-1.1	3.82	1.96	297
婆罗门参	79	-1.1	3.49	1.84	364
菠 菜	93	-0.3	3.96	2.01	311
矮生西葫芦	94	-0.5	3.99	2.02	314
笋 瓜	85	-0.8	3.69	1.91	284
青西红柿	93	-0.6	3.96	2.01	311

续上表

食品或食品原料	含水量 %(质量) ^a	最新冻结点 ℃ ^b	比 热 ^c		熔化的潜热 kJ/kg
			冻结以上 kJ/kg·℃	冻结以下 kJ/kg·℃	
熟 番 茄	94	-0.5	3.99	2.02	314
青 芜 菁	90	-0.2	3.86	1.97	301
芜 菁	92	-1.1	3.92	2.00	307
水 蕹 菜	93	-0.3	3.96	2.01	311
水 果		1.0 -			
鲜 苹 果	84	-1.1	3.65	1.90	281
干 苹 果	24	—	1.64	1.14	80
杏	85	-1.1	3.69	1.91	284
鳄 梨	65	-0.3	3.02	1.66	217
香 蕉	75	-0.8	3.35	1.79	251
欧洲黑莓	85	-0.8	3.69	1.91	284
越 桔	82	-1.6	3.59	1.87	274
硬皮甜瓜	92	-1.2	3.92	2.00	307
酸 樱 桃	84	-1.7	3.65	1.90	281
甜 樱 桃	80	-1.8	3.52	1.85	267
蔓 越 桔	87	-0.9	3.75	1.94	291
无核葡萄干	85	-1.0	3.69	1.91	284
枣 椰	20	-15.7	1.51	1.09	67
鲜无花果	78	-2.4	3.45	1.82	260
干无花果	23	—	1.61	1.13	77
醋 栗	89	-1.1	3.82	1.96	297
葡 萄 柚	89	-1.1	3.82	1.96	297
葡萄(美国)	82	-1.6	3.59	1.87	274
葡萄(Vinifera)	82	-2.1	3.59	1.87	274
柠 檬	89	-1.4	3.82	1.96	297
菜姆酸橙	86	-1.6	3.72	1.92	287
芒 果	81	-0.9	3.55	1.86	271
甜瓜(Casaba)	93	-1.1	3.96	2.01	311
甜瓜(Crenshaw)	93	-1.1	3.96	2.01	311
甜瓜(Honeydew)	93	-0.9	3.96	2.01	311
甜瓜(Persian)	93	-0.8	3.96	2.01	311
甜瓜(西瓜)	93	-0.4	3.96	2.01	311
油 桃	82	-0.9	3.59	1.87	274
橄 榄	75	-1.4	3.35	1.79	251
橙	87	-0.8	3.75	1.94	291

续上表

食品或食品原料	含水量 %(物质质量) ^a	最高冻结点 ℃ ^b	比 热 ^c		熔化的潜热 kJ/kg
			冻结以上 kJ/kg·℃	冻结以下 kJ/kg·℃	
鲜 桃	89	-0.9	3.82	1.96	297
干 桃	25	—	1.68	1.16	84
梨	83	-1.6	3.62	1.89	277
柿 子	78	-2.2	3.45	1.82	260
菠 萝	85	-1.0	3.69	1.91	284
李 子	86	-0.8	3.72	1.92	287
石 榴	82	-3.0	3.59	1.87	274
梅 子	28	—	1.78	1.19	94
榲 桲	85	-2.0	3.69	1.91	284
葡 萄 干	18	—	1.44	1.07	60
复 盆 子	81	-0.6	3.55	1.86	271
草 莓	90	-0.8	3.86	1.97	301
红 桔	87	-1.1	3.75	1.94	291
整 鱼					
黑丝鲈—鳕	78	-2.2	3.45	1.82	260
大比目鱼	75	-2.2	3.35	1.79	251
盐腌青鱼	70	-2.2	3.19	1.72	234
烟薰青鱼	64	-2.2	2.98	1.65	214
大 鲱 鱼	62	-2.2	2.92	1.62	207
大麻哈鱼	64	-2.2	2.98	1.65	214
金 鲱 鱼	70	-2.2	3.19	1.72	234
净肉或肉片					
黑丝鲈—鳕—鲈	80	-2.2	3.52	1.85	267
鳕—鳕类	82	-2.2	3.59	1.87	277
青 鳕	79	-2.2	3.49	1.84	264
青 花 鱼	57	-2.2	2.75	1.56	190
带 壳 鱼					
海 扇 肉	80	-2.2	3.52	1.85	267
小 虾	83	-2.2	3.62	1.89	277
美国大红虾	79	-2.2	3.49	1.84	264
螯—蛤(肉及液)	87	-2.2	3.75	1.94	291
带 壳 螯	80	-2.8	3.52	1.85	267
牛 肉					
鲜肉体(60%瘦肉)	49	-1.7	2.48	1.46	164
鲜肉体(54%瘦肉)	45	-2.2	2.35	1.41	150

续上表

食品或食品原料	含水量 % (物质质量)	最高冷冻点 ℃	比 热 ^c		熔化的潜热 kJ/kg
			冻结以上 kJ/kg·℃	冻结以下 kJ/kg·℃	
腰上部分割肉	56	—	2.72	1.55	187
牛腿肉, 零售分割	67	—	3.08	1.68	224
干牛肉, 削片	48	—	2.45	1.44	160
牛 肝	70	-1.7	3.19	1.72	234
小牛肉, 鲜肉体 (81%瘦肉)	66	—	3.05	1.67	220
猪 肉					
腌 肉	19	—	1.48	1.08	63
火腿(淡腌)	57	—	2.75	1.56	190
火腿(农村腌)	42	—	2.25	1.37	140
鲜肉体(47%瘦肉)	37	—	2.08	1.31	124
肚子肉(33%瘦肉)	30	—	1.85	1.22	100
背部脂肪(100%脂肪)	8	—	1.11	0.94	267
肩肉(67%瘦肉)	49	-2.2	2.48	1.46	164
火腿(74%瘦肉)	56	-1.7	2.72	1.55	187
香肠(长串或散装)	38	—	2.11	1.32	127
香肠(烟薰农村味)	50	-3.9	2.52	1.47	267
香肠(法兰克福式)	56	-1.7	2.72	1.55	187
香肠(波兰式)	54	—	2.65	1.52	180
羊 肉					
分割肉 (67%瘦肉)	61	-1.9	2.88	1.61	204
腿肉(83%瘦肉)	65	—	3.02	1.66	217
奶 制 品					
黄 油	16	—	1.38	1.04	53
干酪(Camebert)	52	—	2.58	1.50	174
干酪(英国干酪)	37	-12.9	2.08	1.31	124
干酪(村舍式, 无奶油)	79	-1.2	3.49	1.84	264
干酪(奶油)	51	—	2.55	1.48	170
干酪(Limborger)	45	-7.4	2.35	1.41	150
干酪(Roquefort)	40	-16.3	2.18	1.34	134
干酪(瑞士)	39	-10.0	2.15	1.33	130
干酪(美国式)	40	-6.9	2.18	1.34	134
奶油(一半一半)	80	—	3.52	1.85	267
奶油(餐用)	72	-2.2	3.25	1.75	247
奶油(重搅拌)	57	—	2.75	1.56	190

续上表

食品或食品原料	含水量 %(质量)	最高冷冻点 ℃	比 热 ^c		熔化的潜热
			冻结以上 kJ/kg·℃	冻结以下 kJ/kg·℃	
冰淇淋(10%脂肪)	63	-5.6	2.95	1.63	210
牛奶(听装浓缩,加甜)	27	-15.0	1.74	1.18	90
牛奶(炼乳,未加甜)	74	-1.4	3.32	1.77	247
牛奶(干,全脂)	2	—	0.91	0.87	63
牛奶(干,脱脂)	3	—	0.94	0.88	100
牛奶(液状,3.7%脱脂)	87	-0.6	3.75	1.94	291
牛奶(液状,脱脂)	91	—	3.89	1.99	304
干乳浆	5	—	1.01	0.90	167
家禽产品					
蛋,整个(鲜)	74	-0.6	3.32	1.77	247
蛋,蛋白	88	-0.6	3.79	1.95	294
蛋,蛋黄	51	-0.6	2.55	1.48	170
蛋,蛋黄(加糖)	51	-3.9	2.55	1.48	170
蛋,蛋黄(加盐)	50	-17.2	2.52	1.47	167
蛋,干(整个)	4	—	0.97	0.89	134
蛋,干(蛋白)	9	—	1.14	0.95	301
鸡	74	-2.8	3.32	1.77	247
火 鸡	64	—	2.98	1.65	214
鸭	69	—	3.15	1.71	230
其 他					
蜂 蜜	17	—	1.41	1.68	57
枫 糖 浆	33	—	1.95	1.26	110
玉米花,未爆裂	10	—	1.18	0.97	33
发酵紧压饼	71	—	3.22	1.73	237
糖 果					
牛奶巧克力	1	—	0.87	0.85	33
花生脆糖	2	—	0.91	0.87	67
香草软糖	10	—	1.18	0.97	33
棉 花 糖	17	—	1.41	1.05	57
果核,去壳					
花生(带皮)	6	—	1.04	0.92	200
花生(带皮烤)	2	—	0.91	0.87	67
薄壳山核桃	3	—	0.94	0.88	100
洋 杏 仁	5	—	1.01	0.90	167
核桃(英国的)	4	—	0.97	0.89	134
榛 子	6	—	1.04	0.92	200

〔a〕水果和蔬菜的含水量，除菊芋，干豆，干豌豆，马铃薯，干苹果，无花果，桃，梅子和葡萄干来自参考1963年美国手册外，其余均来自参考1968年美国手册。肉、奶制品，家禽产品，其他糖果和果核也来自参考1963年美国手册。蛋(蛋黄，加盐)的含水量均来自参考1978年ASHRAE手册。鱼的含水量均来自参考1974年ASHRAE手册和参考1972年ASHRAE手册。

〔b〕水果和蔬菜的冻结点来自参考1957年美国市场研究报导，其他食品 and 食品原料的平均冻结点来自参考1978，1974年ASHRAE手册。

〔c〕比热根据赛柏尔公式计算。

〔d〕熔化的潜热系由以十进位表示的含水量乘334(水的熔化热kJ/kg)求得。

表 2 不同温度下鲜水果和蔬菜的呼吸热

呼吸热 kJ/Mg (每天)							
商 品	0℃	5℃	10℃	15℃	20℃	25℃	参考
苹果(Y, Transparent)	1760	3100	—	9176	14414	—	13
苹果(香甜的)	880	1299	—	—	—	—	6
苹果(金色香甜的)	922	1383	—	—	—	—	6
苹果(Jonathan)	1006	1508	—	—	—	—	6
苹果(McIntosh)	922	1383	—	—	—	—	6
苹果(早期培育品种)	838/ 1592	1341/ 2724	3562/ 5238	4609/ 7961	5028/ 10475	—	14
苹果(晚期培育品种)	461/ 922	1173/ 1802	1760/ 2682	2388/ 5028	3771/ 6285	—	14
苹果(很多培育品种的平均)	587/ 1048	1299/ 1844	—	3478/ 7919	4316/ 8967	—	6
杏	1341/ 1467	1634/ 2305	2849/ 4819	5447/ 8799	7542/ 13408	—	6
朝 鲜 蒟	5824/ 11523	8171/ 15377	1399/ 25182	1982/ 37165	3494/ 59791	—	5.15
芦 笋	6992/ 20531	13995/ 34945	27486/ 78102	40811/ 83926	69931/ 128214	—	5.16
鳄 梨	* ^b	* ^b	—	15838/ 40224	18897/ 88912	—	6.17
香蕉, 青	* ^b	* ^b	□ ^b	5154/ 11313	7542/ 13408	—	14
香蕉, 成熟	* ^b	* ^b	□ ^b	7543/ 14246	8380/ 20950	—	14
豆, 利马, 未去壳	2682/ 7710	5028/ 9218	—	25643/ 31928	34023/ 45922	—	6.18
豆, 利马, 去壳	4525/ 8967	7458/ 15629	—	—	54177/ 69219	—	6.18
豆, Snap	* ^b	8757/ 8967	13995/ 14916	21788/ 23883	30294/ 33352	—	5.19
红色甜菜根	1383/ 1844	2346/ 2430	3017/ 3478	4316/ 5950	—	—	5.20

呼吸热, kJ/Mg (每天)

商 品	0℃	5℃	10℃	15℃	20℃	25℃	参考
欧洲黑莓	4022/ 5866	7333/ 11732	13408/ 24302	18017/ 37291	33520/ 50280	— —	14
越 桔	587/ 2682	2346/ 3143	— —	8757/ 15838	13282/ 22375	— —	6
蔓 越 桔	* ^b	1048/ 1173	— —	— —	2807/ 4651	— —	6.21
醋 栗	1760/ 2221	3143/ 3478	— —	5573/ 8254	— —	— —	6.22
复 盆 子	4525/ 6411	7919/ 9888	7123/ 14246	21076/ 25978	29330/ 62850	— —	6.14 23
草 莓	3143/ 4525	4190/ 8506	12570/ 24302	8185/ 23632	26188/ 50196	43325/ 54051	6.14 24
嫩茎花椰菜芽	4777/ 5489	8841/ 41020	— —	44498/ 87116	71272/ 87362	99806/ 143508	6.25 26
抱子甘兰	3939/ 6159	8254/ 12444	16173/ 21662	24470/ 27361	23087/ 48730	— —	5.20
卷心菜, Penn州 ^e	1006	2430/ 2598	— —	5740/ 8128	— —	— —	27
卷心菜, 白, 冬季	1257/ 2095	1886/ 3562	3143/ 4609	5028/ 6914	9218/ 10475	— —	14
卷心菜, 白, 春季	2430/ 3478	4525/ 5489	7458/ 8506	13743 14666	— —	— —	5.20
卷心菜, 白, 早期	1969/ 2514	3981/ 4400	6076/ 71230	9428/ 10894	14246/ 14665	— —	14
卷心菜, Savoy	3980/ 5447	6495/ 7542	13408/ 15713	22417/ 25350	33520/ 37710	— —	14
胡萝卜根(Imperator, Texas)	3939	5028	8045	10140	18059	—	26
胡萝卜根(主期产, 英国)	880/ 1760	1508/ 3101	2514/ 3981	7500/ (18℃)	—	—	20
胡萝卜(Nantes, Can. ^d)	796	1718	—	5531/ 7249	—	—	27
菜花(Texas)	4567	5238	8673	11816	20573	—	26
菜花(英国)	1969/ 6159	5028/ 6997	10475/ 12486	17263/ 20992	— —	— —	20
芹菜(纽约, 白)	1844	2807	—	95553	16551	—	6
芹菜(英国)	1299/ 1844	2346/ 3268	5028/ 6997	10014/ (18℃) 10726	— —	— —	20
芹菜(Utah, Can. ^e)	1299	2705	—	7626	—	—	27
櫻桃(酸)	1508/ 3394	3268/ 3394	—	6997/ 12821	10014/ 12821	13618/ 18185	6.28