



天津商业大学
TIANJIN UNIVERSITY OF COMMERCE

天津市制冷技术重点实验室
Tianjin Key Lab of Refrigeration Technology



ICFET

工程热物理基础及工程国际联合研究中心
International Centre in Fundamental and Engineering Thermophysics

冰点调控在保鲜中的应用项目

汇报人：刘斌

2024年4月8日

TIANJIN UNIVERSITY
OF COMMERCE

笃学 弘毅 明德 济世
DUXUE HONGYI MINGDE JISHI



天津商业大学
TIANJIN UNIVERSITY OF COMMERCE

天津市制冷技术重点实验室
Tianjin Key Lab of Refrigeration Technology



ICFET

工程热物理基础及工程国际联合研究中心
International Centre in Fundamental and Engineering Thermophysics

目录

CONTENTS

一、冰点的概念

二、呼吸作用和微生物在冰点处的作用

三、现有的冰点调温工艺

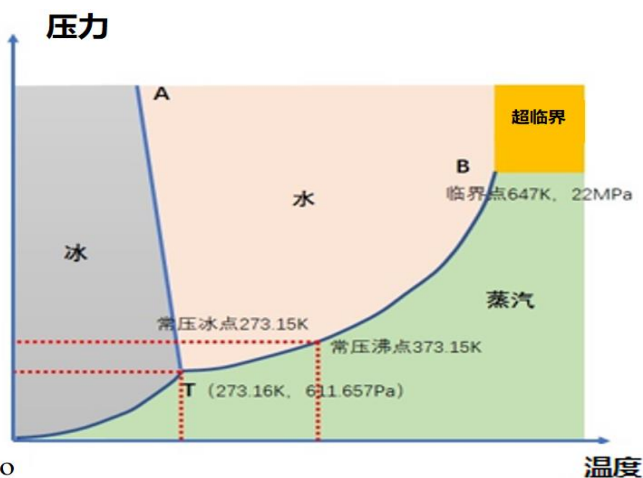
四、结论

TIANJIN UNIVERSITY
OF COMMERCE

笃学 弘毅 明德 济世
DUXUE HONGYI MINGDE JISHI

一、冰點的概念

➤ 冰點的定義



冰點：是指水的凝固點（冰的凝固點），即水由液態變為固態的溫度。在標準大氣壓下溫度是 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，**標準溫度和水的雜質有關係。**

➤ 冰點在冷凍冷藏中的實際應用

冰溫貯藏技術主要依靠非凍結保鮮，通過調節食品冰點提高冰溫貯藏技術的應用範圍。目前，冰溫貯藏技術相關研究主要應用於**果蔬製品**、**水產品**及**肉製品**等方面，通過調節食品的冰點溫度實現對食品進行**長期貯藏保鮮**的目的，且結果比較理想。



一、冰点的概念

➤ 影响食品冰点的主要因素



冷却工艺中前期预处理主要指预冷技术，预冷技术的加入可以延长物料的贮存运期

抗冻蛋白的加入能够有效抑制冰晶的生成，更好的保持物料组织结构，减少营养物质流失，降低冰点

磁场的加入可以有效降低冰点温度、结核温度，同时可缩短相变阶段时间和冻结阶段时间

外加电场通过影响食品的弛豫时间等因素改变食品的自由水含量，进而达到降低冰点的目的

通过一系列研究数据表明高压静电场的加入对冰点的变化并无显著影响



一、冰點的概念

➤ 不同生鮮食品的冰點溫度

食品	冰點溫度 (°C)	食品	冰點溫度 (°C)	食品	冰點溫度 (°C)
豬頭肉	-1.27±0.06	羊後腿肉	-1.9	梨棗	-2.83±0.59
豬五花	-1.37±0.06	羊前腿肉	-2.2	早脆王棗	-4.62±0.15
豬後腿	-1.53±0.06	雪花梨	-1.96±0.24	玫瑰香葡萄	-4.39±0.16
豬後肘	-1.20±0.06	巨峰葡萄	-2.75±0.07	柑橘	-1.81±0.11
豬大排	-1.27±0.06	馬奶葡萄	-3.37±0.35	鴨梨	-1.83±0.26
豬前腿	-1.33±0.06	冬棗	-4.43±0.26	黃瓜	-2.27
豬蹄	-1.60±0.06	紅星葡萄	-2.2±0.38	青提	-3.59



天津商业大学
TIANJIN UNIVERSITY OF COMMERCE

天津市制冷技术重点实验室
Tianjin Key Lab of Refrigeration Technology



ICFET

工程热物理基础及工程国际联合研究中心
International Centre in Fundamental and Engineering Thermophysics

目录

CONTENTS

一、冰点的概念

二、呼吸作用和微生物在冰点处的作用

三、现有的冰点调温工艺

四、结论

TIANJIN UNIVERSITY
OF COMMERCE

笃学 弘毅 明德 济世
DUXUE HONGYI MINGDE JISHI

二、呼吸作用和微生物在冰点处的变化

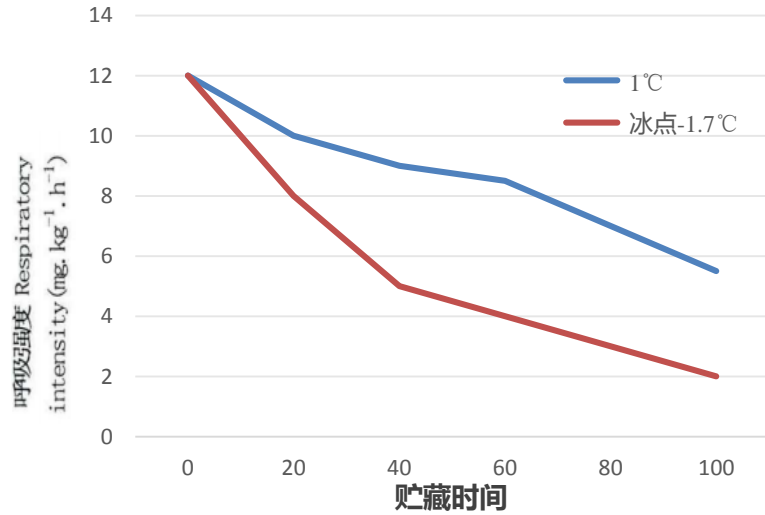
➤ 冰点对生鲜食物呼吸作用的影响效果



以**红富士苹果**为例，对其进行冰温贮藏和1℃条件下贮藏，观测红富士苹果的呼吸强度。

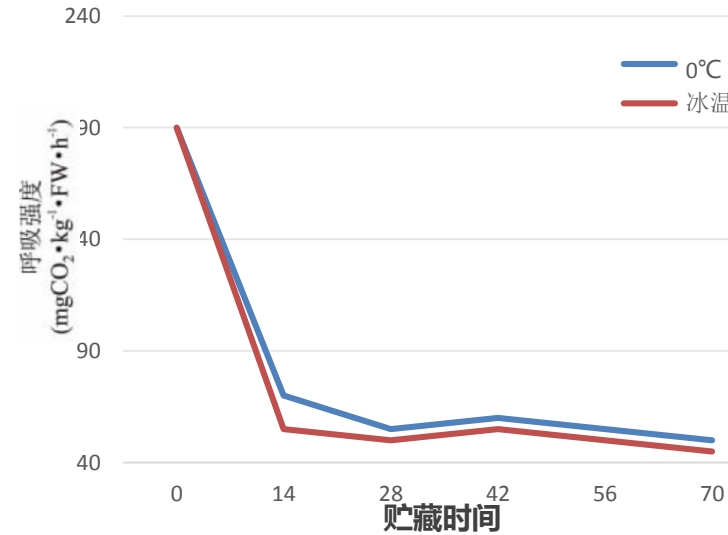


以**西蓝花**为例，对其进行冰温贮藏和1℃条件下贮藏，观测西蓝花的呼吸强度。



冰点贮藏对红富士苹果果实呼吸强度的影响

从图中可以看出，冰点温度贮藏的红富士苹果呼吸强度**远远低于**对照（1℃），整个贮藏期间，冰点温度条件下果实呼吸强度仅为普通冷藏（1℃）的**1/3左右**



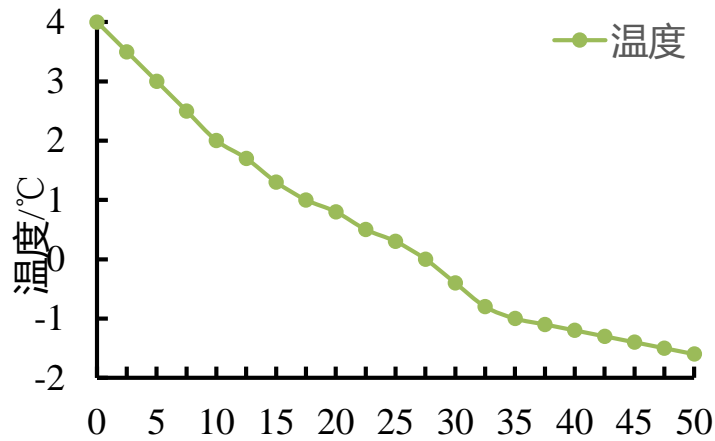
冰点贮藏对西蓝花呼吸强度的影响

从图中可以看出，冰温冷藏维持了**较低**的呼吸强度，而0℃冷藏的西蓝花呼吸**较冰温冷藏旺盛**，并且冰温冷藏降低了**呼吸高峰峰值**，但并没有推迟呼吸高峰出现的时间。

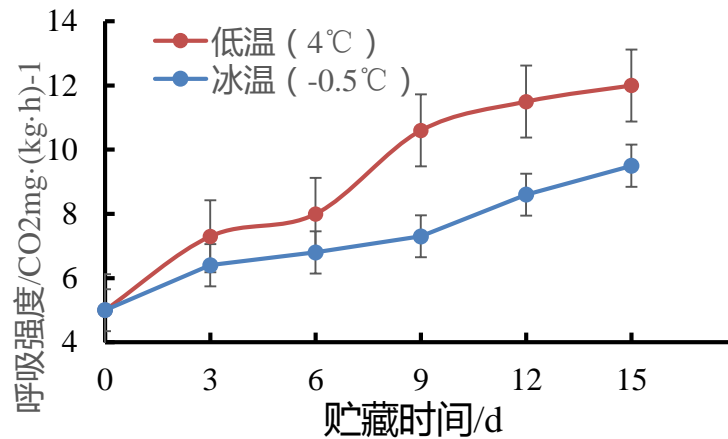
二、呼吸作用和微生物在冰點處的变化

➤ 冰點抑制生鮮食物表面微生物的呼吸作用

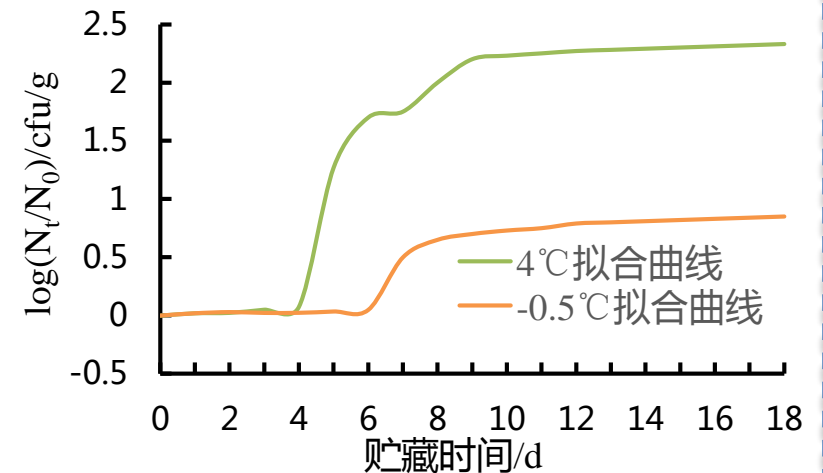
- **冰點的存在，抑制了微生物的呼吸作用。**例如，蔬菜種類繁多，不同種類蔬菜冰點不同，大部分蔬菜的冰點在-0.5°C到-2°C之間，所以**冰溫和低溫的貯藏環境**對蔬菜的新鮮度也有很大影響。



蔬菜漿的冻结曲线



低温/冰温贮藏对蔬菜呼吸速率的影响



冰温/低温贮藏环境下蔬菜的细菌总数生长模型

- 如图所示，**冰温**环境下，蔬菜的**呼吸速率较弱**，能够**抑制微生物生长**，更有利于蔬菜的贮藏，所以冰点的存在能够抑制生鮮食物表面微生物的呼吸作用。



天津商业大学
TIANJIN UNIVERSITY OF COMMERCE

天津市制冷技术重点实验室
Tianjin Key Lab of Refrigeration Technology



ICFET

工程热物理基础及工程国际联合研究中心
International Centre in Fundamental and Engineering Thermophysics

目录

CONTENTS

一、冰点的概念

二、呼吸作用和微生物在冰点处的作用

三、现有的冰点调温工艺

四、结论

TIANJIN UNIVERSITY
OF COMMERCE

笃学 弘毅 明德 济世
DUXUE HONGYI MINGDE JISHI

三、冰点调温工艺

➤ 冷却工艺前期处理

冷却工艺**前期预处理**，即**预冷**，指利用专门设备和工艺将食品从初始温度（**30℃左右**）迅速冷却至适宜运输或储藏的温度（**0~15℃**）的过程，最大限度保持其硬度和鲜度等品质指标，**延长贮运期**。



生鲜农产品产地



包装预冷



冷库贮藏



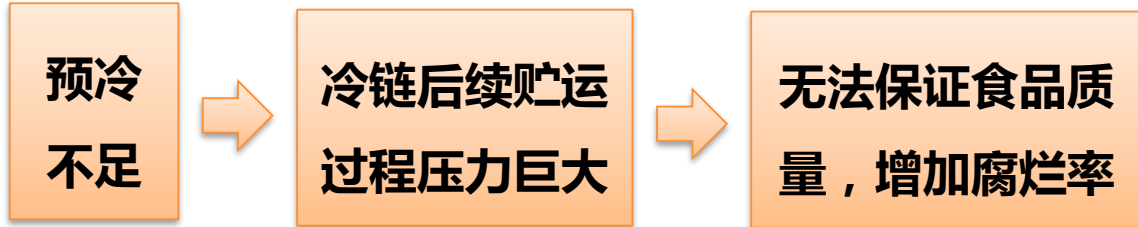
冷藏车运输



批发市场



门店零售



- 整个冷链中**预冷**是食物**温度变化最大**的环节。若预冷过程中产生**温度波动**，会导致**大冰晶**的产生，从而**破坏食品细胞组织**。
- 针对产品特性选择**合适的预冷技术**对保证食品**质量至关重要**。

三、冰点调温工艺

➤ 常见预冷技术



三、冰点调温工艺

➤ 预冷对果蔬的影响



以**西兰花**为例，对西兰花**压差预冷**与**不预冷**的表型变化进行观测。



以**芒果**为例，对芒果不同温度**冷水预冷**，观测芒果品质的变化。

预冷+低温

不预冷+低温

预常温组

不预冷+常温

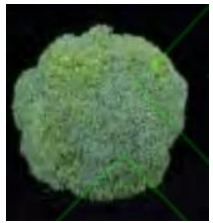
0d



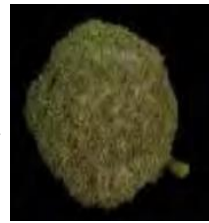
0d



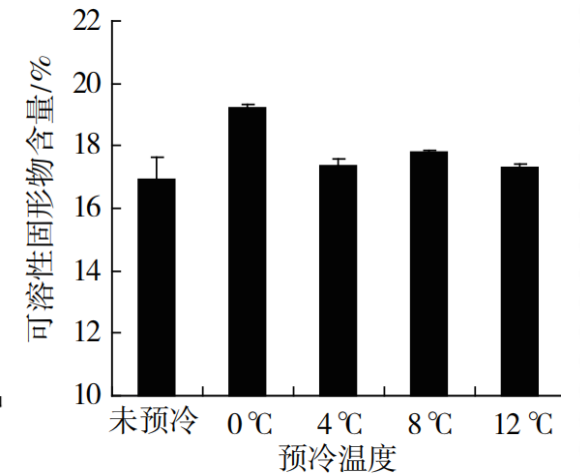
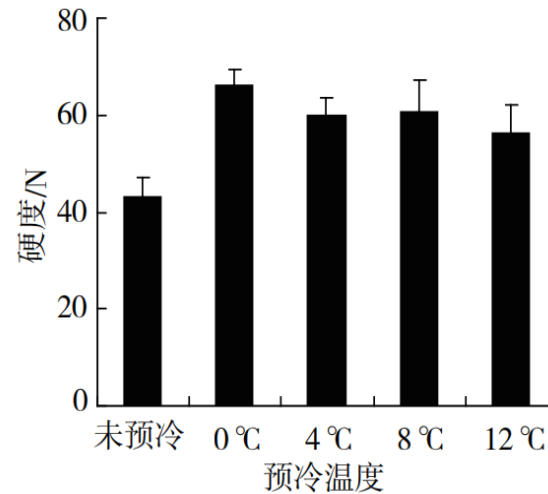
5d



5d



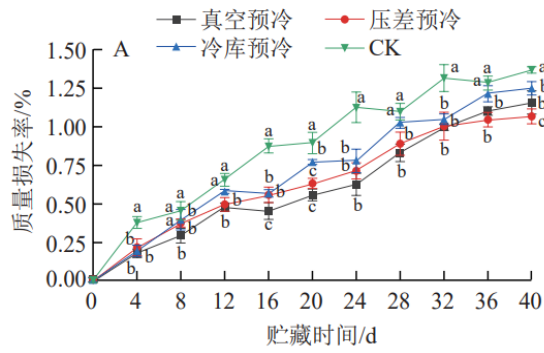
- 两种环境下，**预冷**均能够有效**抑制**西兰花的**黄化**



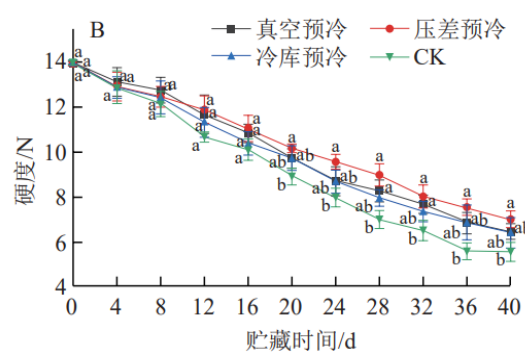
- 预冷后果实的**硬度**、**可溶性固形物含量**均高于未经预冷的果实；**转黄率**低于未预冷果实。

三、冰点调温工艺

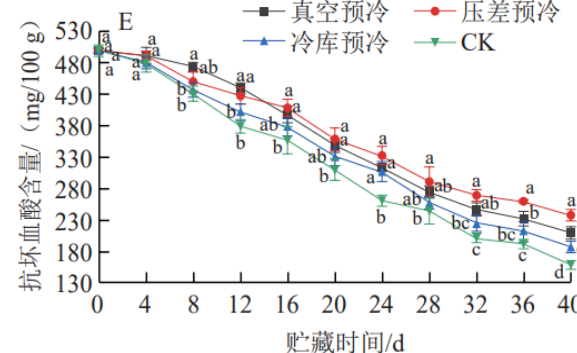
➤ 不同预冷方式对长枣的影响



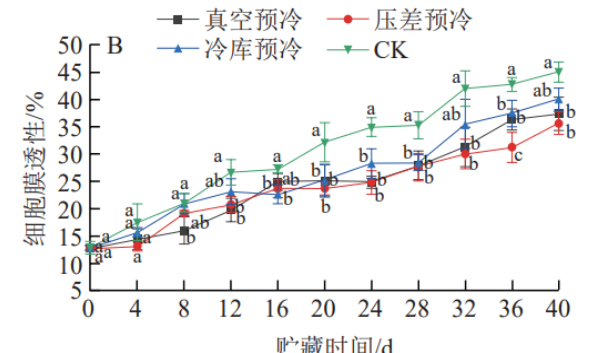
不同预冷处理对质量损失率的影响



不同预冷处理对硬度的影响



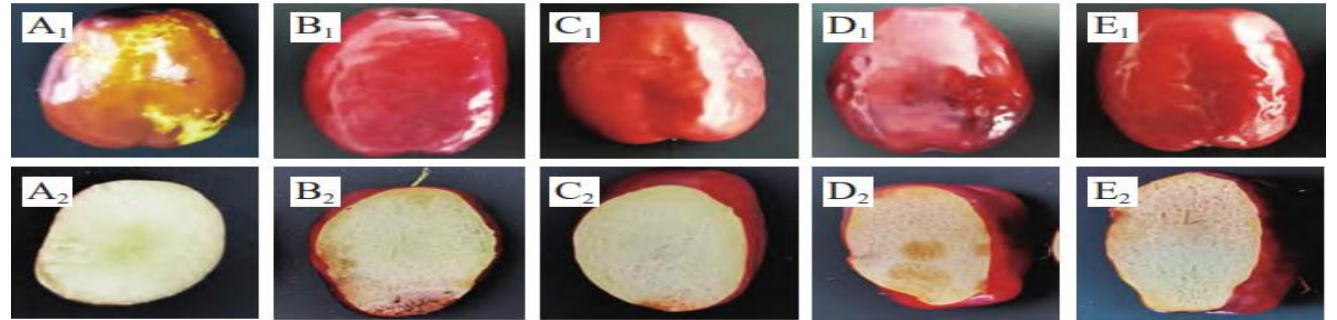
不同预冷处理对抗坏血酸含量的影响



不同预冷处理对细胞膜透性的影响



以长枣为例，几种预冷处理均能够抑制长枣**软化**；抑制长枣的**呼吸作用**和**蒸腾作用**；降低**生理代谢速率**，抑制**成熟与衰老**；有效维持果蔬的**贮藏品质**。



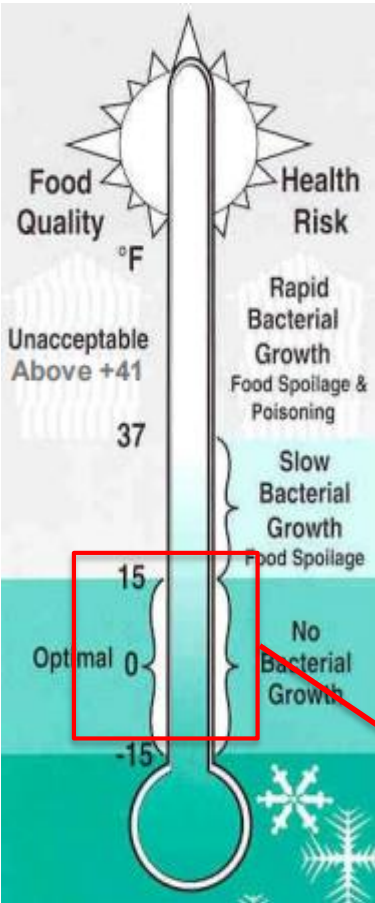
预冷方式对长枣感官品质的影响

A 0d 新鲜样品；B 40d 真空预冷组；C 40d 压差预冷组；D 40d 冷库预冷组；E 40d CK组

三、冰点调温工艺

➤ 预冷对肉类的的影响

- 通常肉类可分为**冷鲜肉**、**热鲜肉**和**冷冻肉**三类。



热鲜肉



- 屠宰后直接上市的肉。自然状态的僵直过程会**升温至40-42℃**，使各种**腐败菌和致病菌**繁殖。

冷鲜肉



- 经过**排酸**，使肉温冷却达到**0-4℃**。酶和微生物的活力降到**最低**，抑制微生物生长繁殖，同时达到**肉成熟**。

冷冻肉

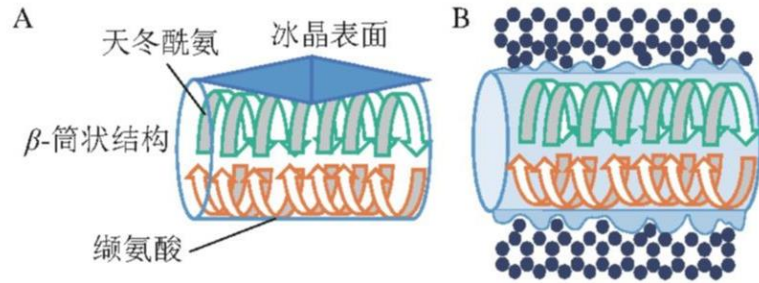


- 18℃** 低温环境冷冻的肉。抑制了有害微生物增长，但肉**有害成份难以释放**，**营养、颜色和液体流失严重**。

- 冷鲜肉**克服了**热鲜肉**、**冷冻肉**在品质上存在的不足和缺陷，由于具备**冷链**保证，微生物的繁殖受到抑制，同时经历了**排酸**过程，使得**冷鲜肉**具有别样的风味特点。

三、冰点调温工艺

➤ 抗冻蛋白的概念及种类

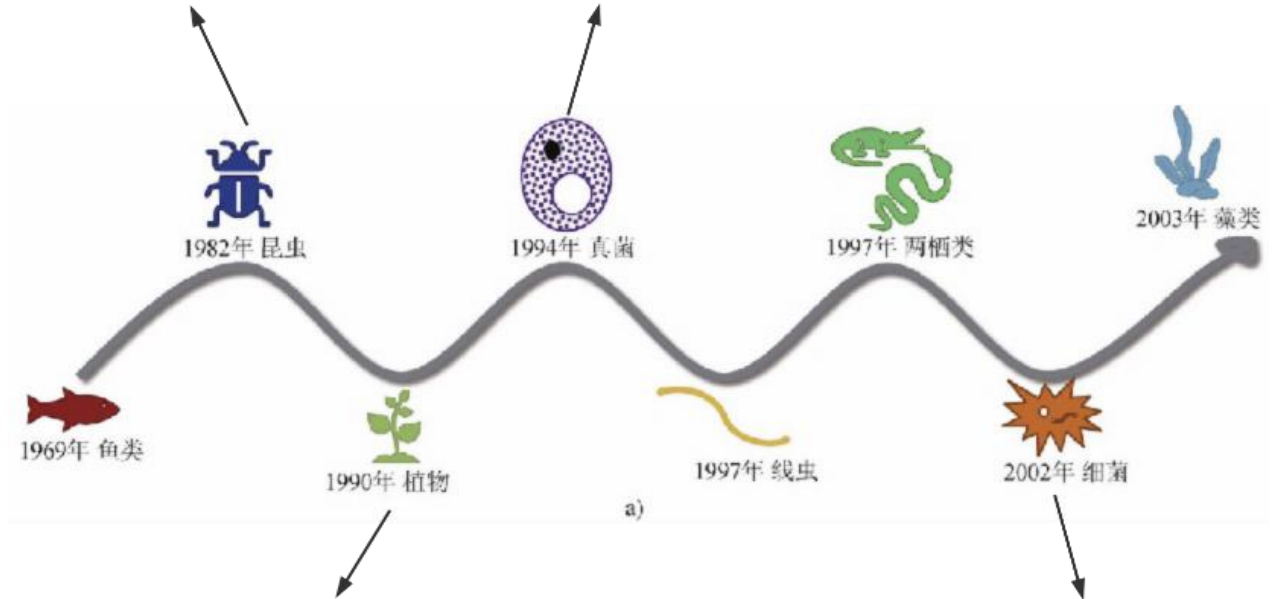


抗冻蛋白与冰晶结合示意图

抗冻蛋白 (Antifreeze proteins, AFPs), 亦称冰结合蛋白 (Ice binding proteins, IBPs) 或冰结构蛋白 (Ice structuring proteins, ISPs), 是一类可以降低体系的冰点, 改变冰晶形态, 并抑制冰晶生长的特殊蛋白质。抗冻蛋白目前已发现五种, 包括抗冻糖蛋白、抗冻蛋白 I、抗冻蛋白 II、抗冻蛋白 III、抗冻蛋白 IV。

北极巨尾虫：胰蛋白酶原

南极洲嗜冷菌：昆虫 AFPs

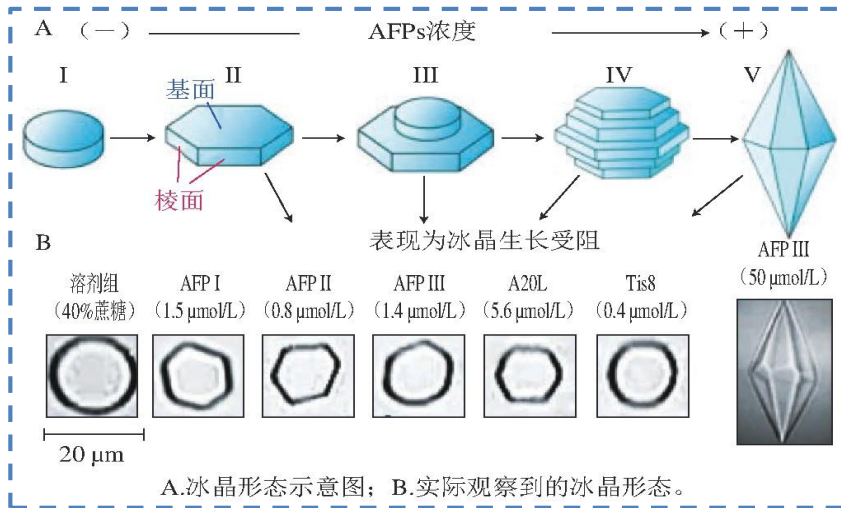


沙棘：几丁质酶

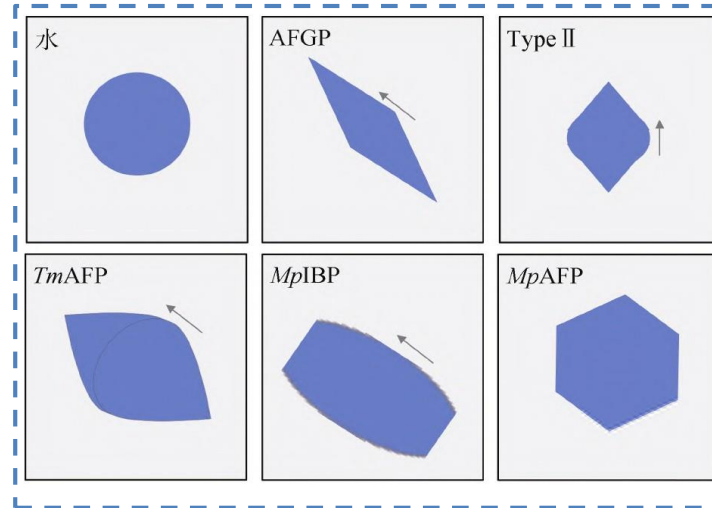
南极细菌：脂蛋白

三、冰点调温工艺

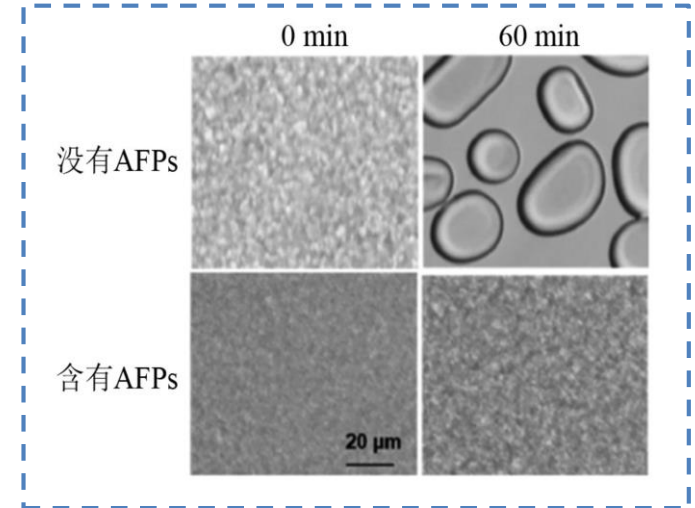
➤ 加入抗冻蛋白冰晶形态变化



A.冰晶形态示意图; B.实际观察到的冰晶形态。
AFP_s对冰晶生长作用示意图

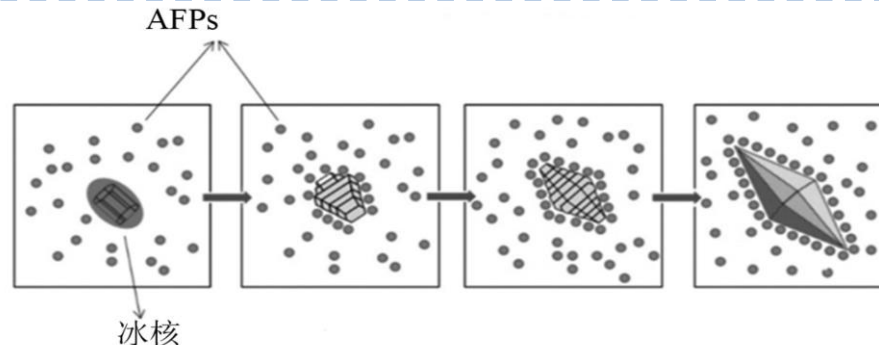


冰晶修饰形态活性



加入AFP_s冰晶变化

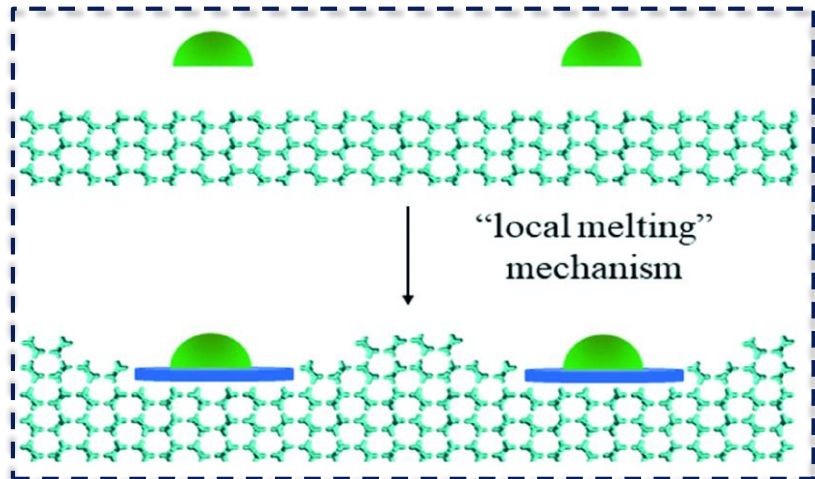
AFP_s会使冰晶体的各个棱向生长速度不同而致使晶体截面发生变化趋向于变为六边形冰晶。



随着抗冻蛋白浓度增加和作用时间的延长,冰晶形态逐渐趋近于针状。高度活性抗冻蛋白多结合在基面和柱面,形成柠檬状、六角形等形貌的冰晶。

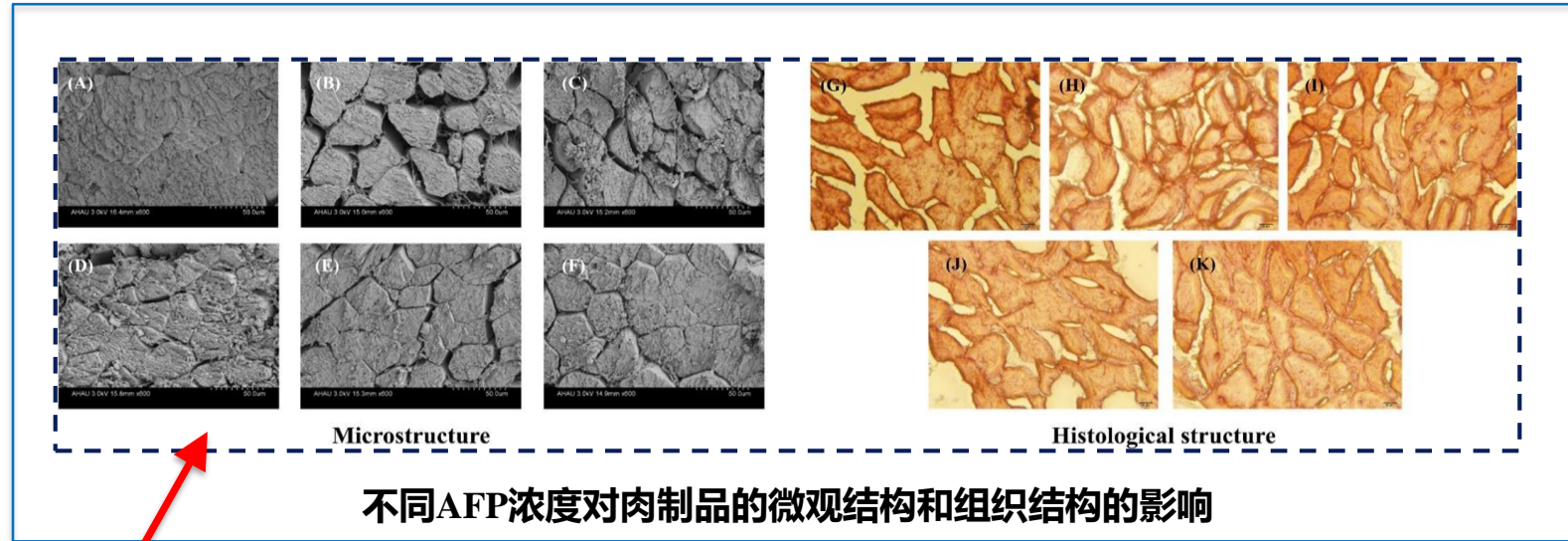
三、冰点调温工艺

➤ 加入抗冻蛋白冰晶的变化



加入AFPs后冰晶局部融化示意图

抗冻蛋白通过识别，在冰表面引起了冰局部融化形成过冷水。过冷水通过收缩过程与相邻密度更大的液态水结合，使得抗冻蛋白停留在原来的位置通过吉布斯-汤姆逊效应导致冰点下降。



不同AFP浓度对肉制品的微观结构和组织结构的影响

- (A) 新鲜鸡肉
- (B) 对照组
- (C) 含有0.10%AFP的样品
- (D) 含有0.15%AFP的样本
- (E) 含有0.20%AFP的样本
- (F) 0.25%AFP的样本
- (G) - (K) 组织学结构

AFPs可抑制冰晶生长，保护肌肉微结构，抑制蛋白质和脂质氧化。在肉制品的冷冻、冷藏过程中，加入AFPs可以有效地减少渗水和抑制冰晶的形成，保持原来的组织结构，减少营养流失，从而降低冰点提高肉品质量。

➤ 食物添加抗凍蛋白後的變化



以**牛奶**為例，在常溫和常溫下解凍2小時後，加入抗凍蛋白後觀察牛奶的變化

未添加抗凍蛋白



添加抗凍蛋白



常溫下觀察，添加抗凍蛋白的冰凍牛奶冰晶**細小**且均勻，未添加的其冰晶大且不均勻。

未添加抗凍蛋白



添加抗凍蛋白



常溫解凍2小時觀察，添加抗凍蛋白的冰凍牛奶**冰晶大且緊實**，未添加的其冰晶小且質地鬆散。



以**冷凍魚肉**為例，室溫解凍後觀察，加入抗凍蛋白後魚肉的變化



未添加抗凍蛋白



添加抗凍蛋白



魚肉出水多且顏色深

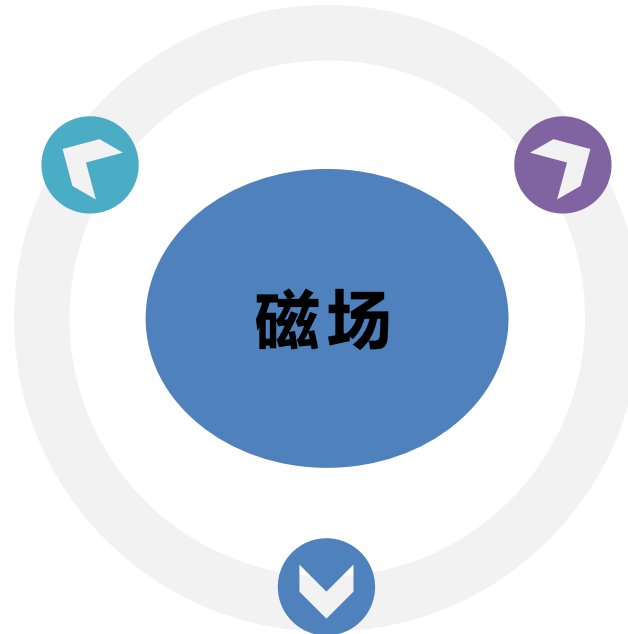


魚肉出水少且顏色淺

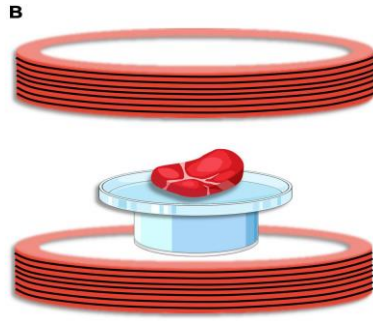
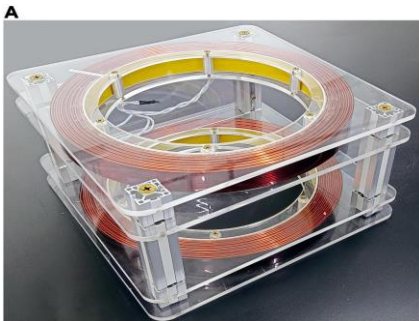
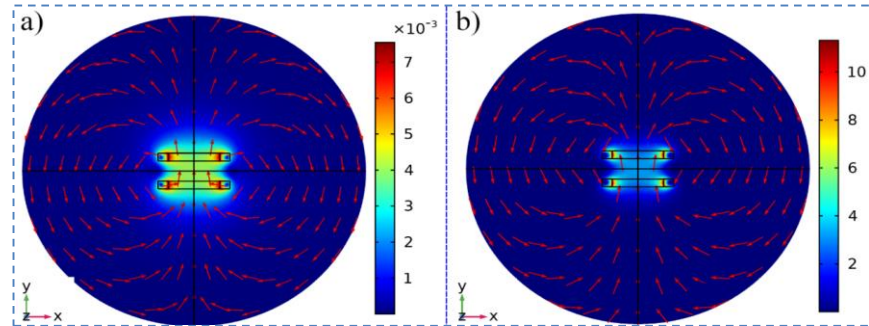
三、冰点调温工艺

➤ 磁场对冰点的影响

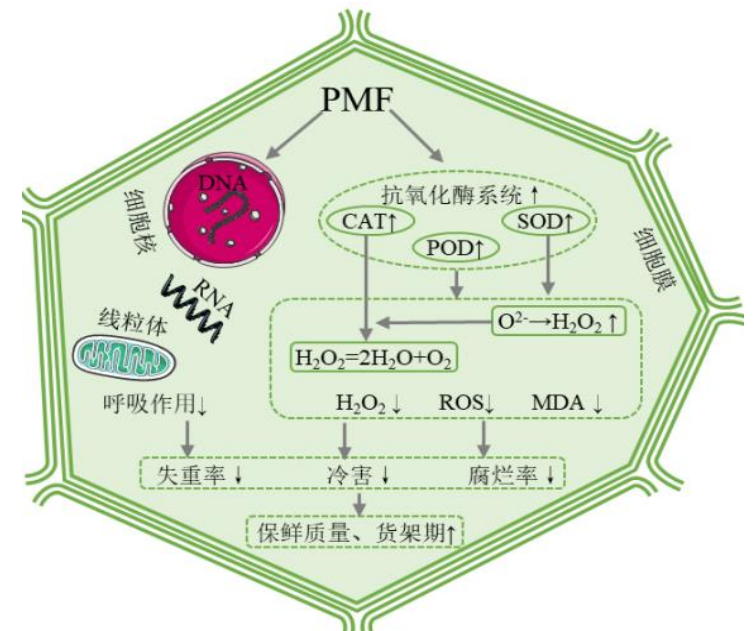
静磁场：施加静磁场时，水分子改变了无规则的排列分散状态，在磁场的反方向产生了磁矩，如图a、b所示。



脉冲磁场：在一定磁通密度范围内，脉冲磁场(PMF)处理显著降低了初始成核温度、冰点温度和冷冻终点温度，如下图所示。



交变磁场：交变磁场(PMF)能够抑制在冷冻过程中生成冰晶的大小和数量，如图A、B。



三、冰点调温工艺

➤ 磁场对果蔬冰点的影响

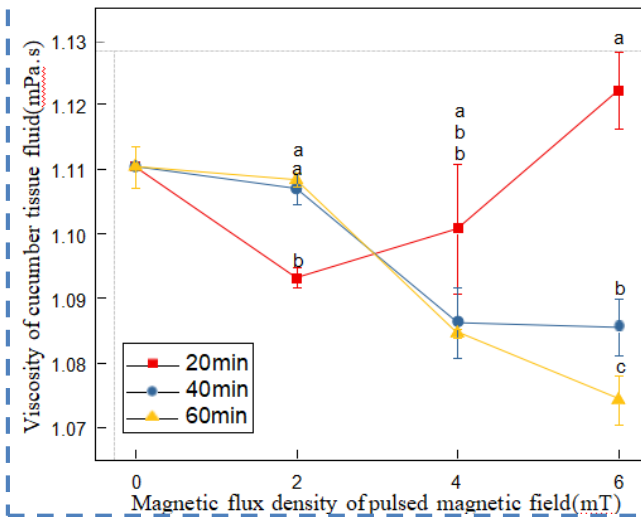


Magnetic flux density (mT)

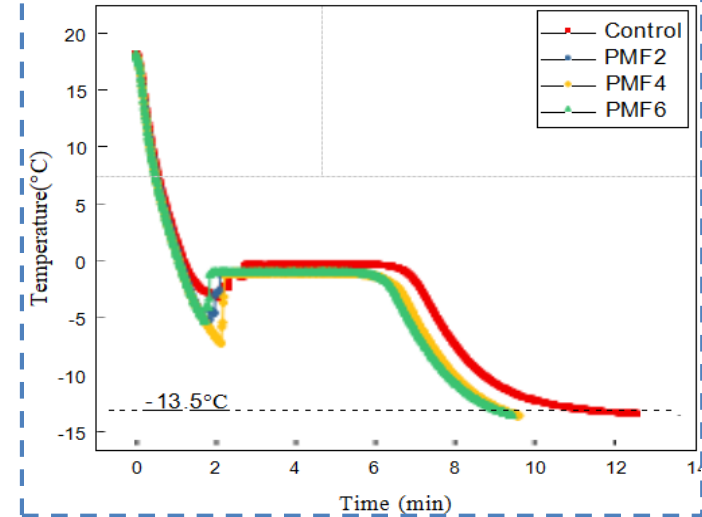
	0 (control) 2		4	6
T_{nuc}	-3.68 ± 0.16^a	-6.40 ± 0.42^c	-7.41 ± 0.16^d	-5.63 ± 0.16^b
t_{nuc}	145.7 ± 13.6^a	127.0 ± 14.4^{ab}	134.33 ± 2.1^a	112.0 ± 3.0^b
T_{ice}	-0.28 ± 0.00^a	-1.01 ± 0.02^b	-1.02 ± 0.01^b	-1.02 ± 0.01^b
t_{ep}	434.7 ± 12.5^a	415.3 ± 12.7^b	415.0 ± 1.7^b	404.7 ± 2.5^b
T_{ep}	-2.68 ± 0.11^a	-3.75 ± 0.22^b	-3.79 ± 0.16^b	-4.00 ± 0.06^b

不同磁感应强度下黄瓜组织液冻结参数

在一定的磁感应强度范围内，脉冲磁场处理显著降低了水和黄瓜组织液的初始成核温度、冰点温度、冻结终点温度，同时缩短了相变时间和冻结时间。



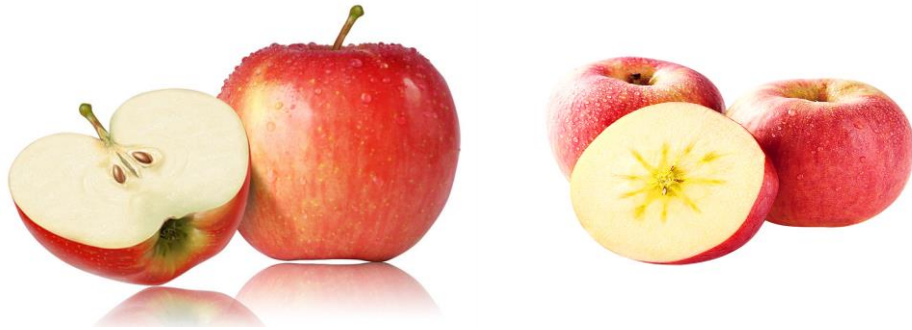
不同磁感应强度和处理时间下黄瓜组织液粘度的变化



不同磁感应强度下黄瓜组织液样品中心平均温度随着时间的变化

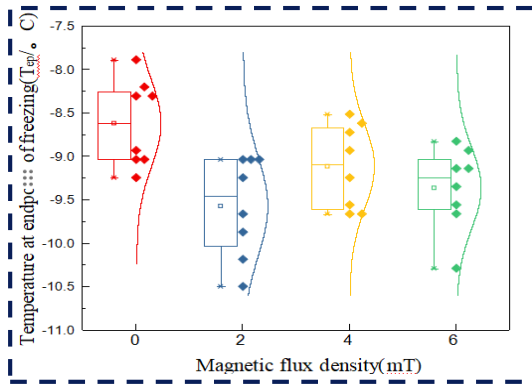
三、冰点调温工艺

➤ 磁场对果蔬冰点的影响

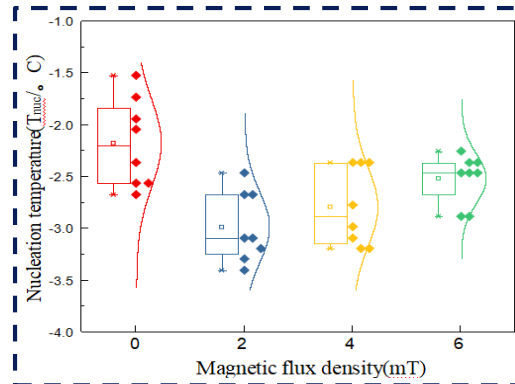


	Magnetic flux density (mT)		
	0 (control)	4	6
T_{nuc}	-2.18 ± 0.43^a -2.99 ± 0.34^c	-2.80 ± 0.38^{bc}	-2.52 ± 0.24^{ab}
t_{nuc}	128.13 ± 13.38^b 128.88 ± 10.86^b	139.63 ± 6.65^a	142.13 ± 5.74^a
T_{ice}	-1.82 ± 0.42^a -2.51 ± 0.33^b	-2.25 ± 0.35^b	-2.14 ± 0.27^{ab}
t_{ice}	147.00 ± 15.00^b 145.75 ± 11.80^b	161.00 ± 9.29^a	160.63 ± 7.44^a
T_{ep}	-8.62 ± 0.50^a -9.58 ± 0.57^b	-9.12 ± 0.48^{ab}	-9.37 ± 0.47^b

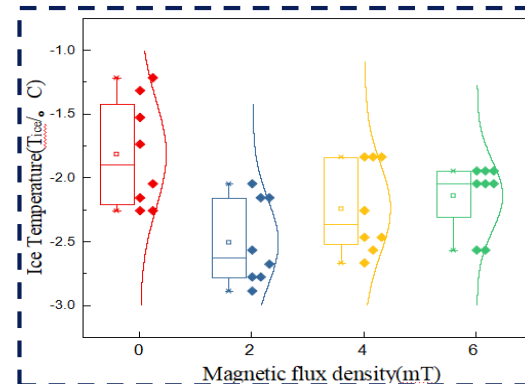
不同磁感应强度下苹果冻结参数



不同磁感应强度对苹果组织冷冻过程中冻结终点温度的影响



不同磁感应强度对苹果组织冷冻过程中成核温度的影响



不同磁感应强度对苹果组织冷冻过程中冰点温度的影响

➤ 以**苹果**为例
不同磁感应强度的脉冲磁场辅助冷冻苹果组织的冰点温度 T_{ice} 的变化。

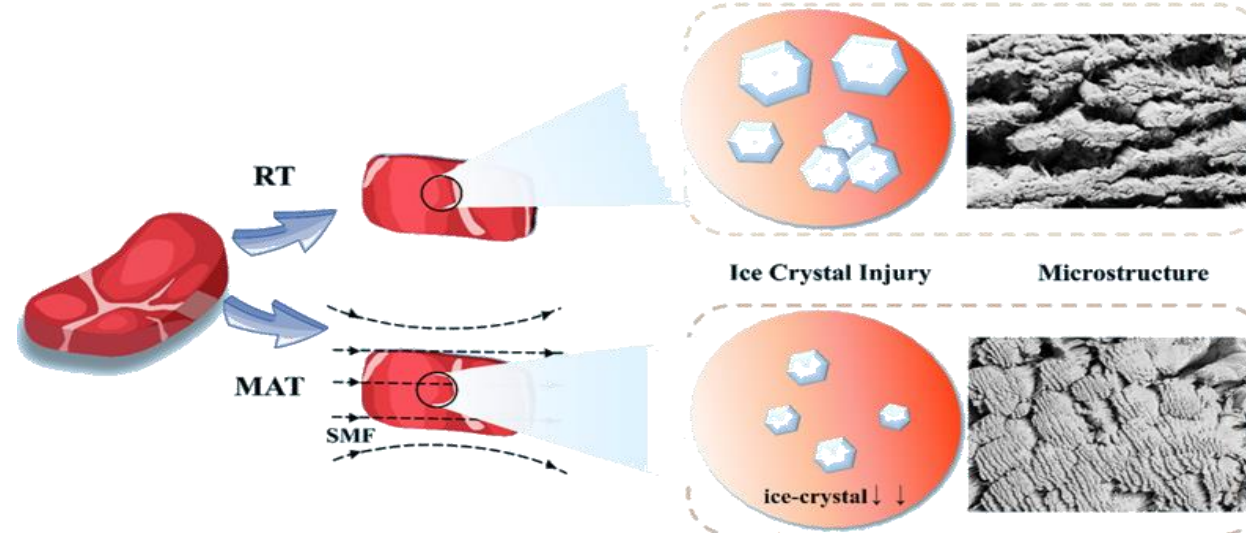
类似于脉冲磁场对初始成核温度的影响规律，**脉冲磁场处理均降低了冰点温度**。随着磁感应强度增强，各磁感应强度组冰点温度的平均值逐渐上升。

三、冰点调温工艺

➤ 磁场对肉类冰点的影响

➤ 以猪肉、牛肉为例

1.1 mT 静磁场和 1 mT 交变磁场处理后的猪肉和牛肉冰点均下降，相变时间和整体冻结时间明显缩短，且 1 mT 交变磁场组相变时间分别比冰箱组缩短了 66.67% (猪肉) 和 65.00% (牛肉)，整体冻结时间分别缩短了 95 min (猪肉) 和 90 min (牛肉)。

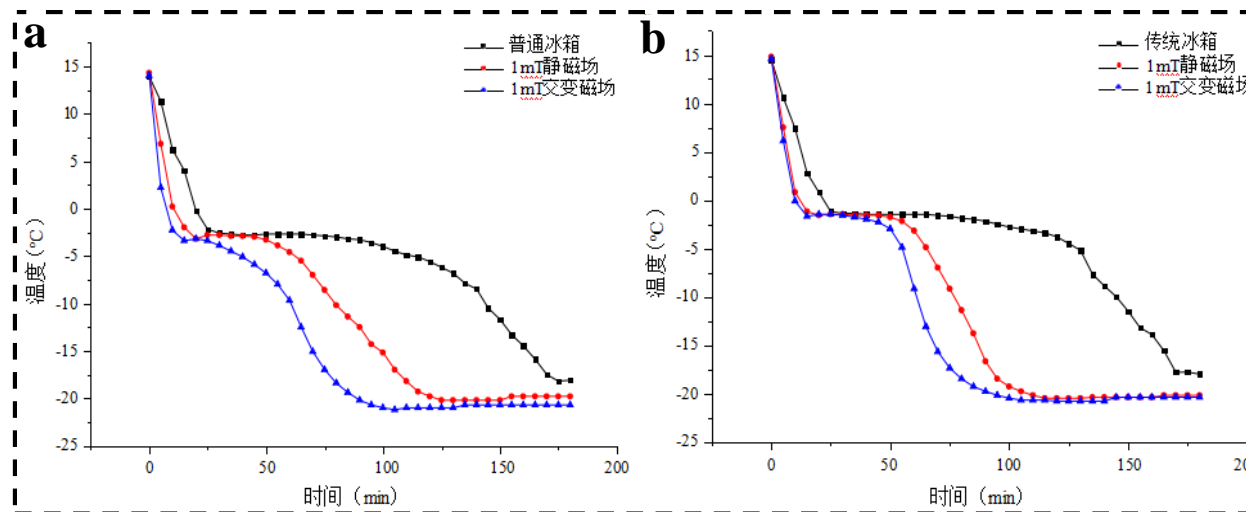


参数	普通冰箱	1mT 静磁场	1mT 交变磁场
冰点 (°C)	-2.6±0.2	-3.2±0.1	-3.5±0.3
最大冰晶生成带 (°C)	-2.6±0.2~-5.6±0.3	-3.2±0.1~-5.5±0.1	-3.5±0.3~-5.9±0.3
相变时间 (min)	90±2	45±3	30±2
整体冻结时间 (min)	175±4	110±2	80±2

普通冰箱和不同磁场冷冻猪肉的冷冻参数

参数	普通冰箱	1mT 静磁场	1mT 交变磁场
冰点 (°C)	-1.2±0.1	-1.6±0.2	-1.7±0.1
最大冰晶生成带 (°C)	-1.2±0.1~-4.5±0.3	-1.6±0.2~-3.2±0.3	-1.7±0.1~-3±0.3
相变时间 (min)	100±2	40±4	35±2
整体冻结时间 (min)	170±2	95±3	80±3

普通冰箱和不同磁场冷冻牛肉的冷冻参数



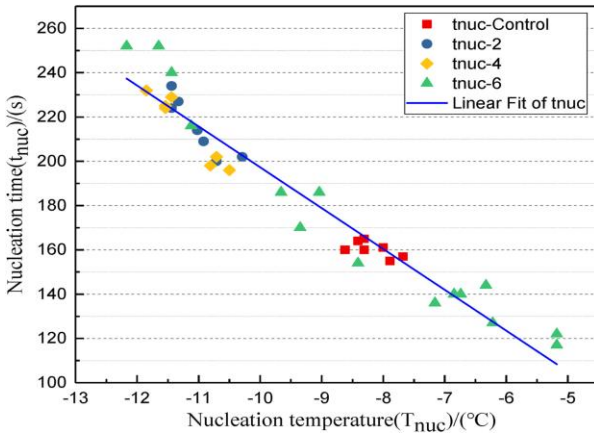
普通冰箱和不同磁场 (a) 冷冻猪肉和 (b) 牛肉的冷冻曲线

三、冰点调温工艺

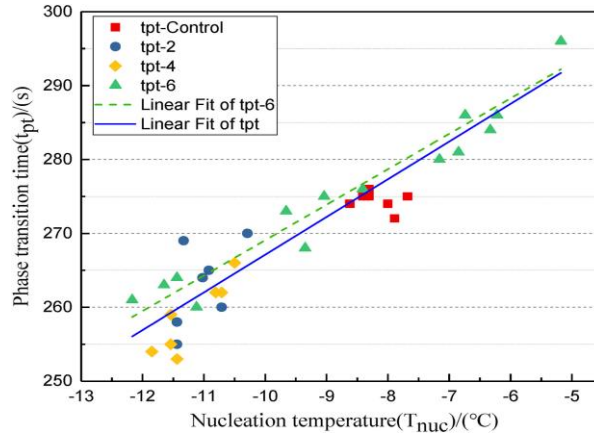
➤ 磁场对冰点的影响以纯水为例



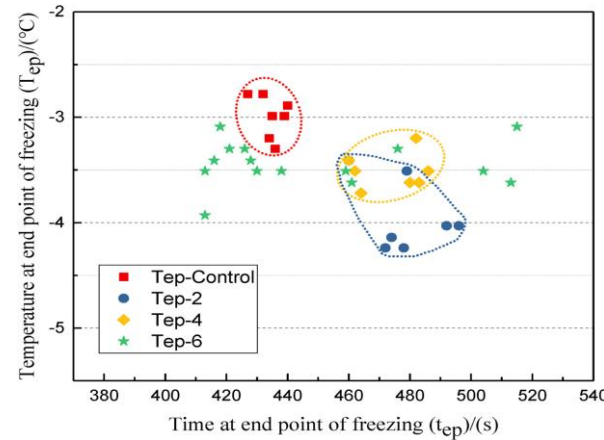
脉冲磁场对水结冰的影响对冻结处理组的所有冻结曲线进行分析，以考察脉冲磁场对水结冰动力学的影响。PMF的应用并没有改变温度廓线的形状和外观。冻结过程清晰地呈现出**预冷、相变和缓苏**3个典型阶段。



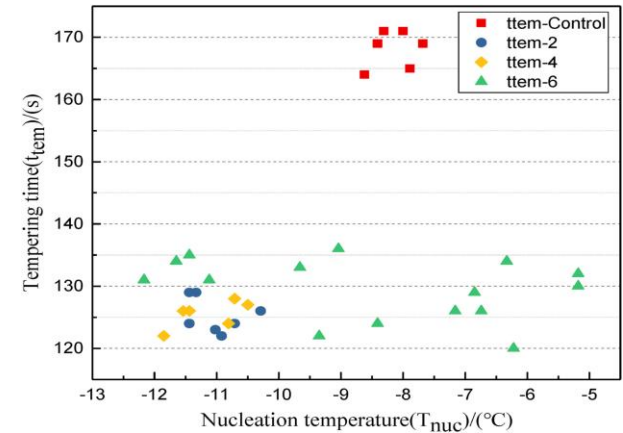
纯水不同磁通密度下的成核温度与成核时间的关系



纯水不同磁感应强度下相变时间与形核温度的关系



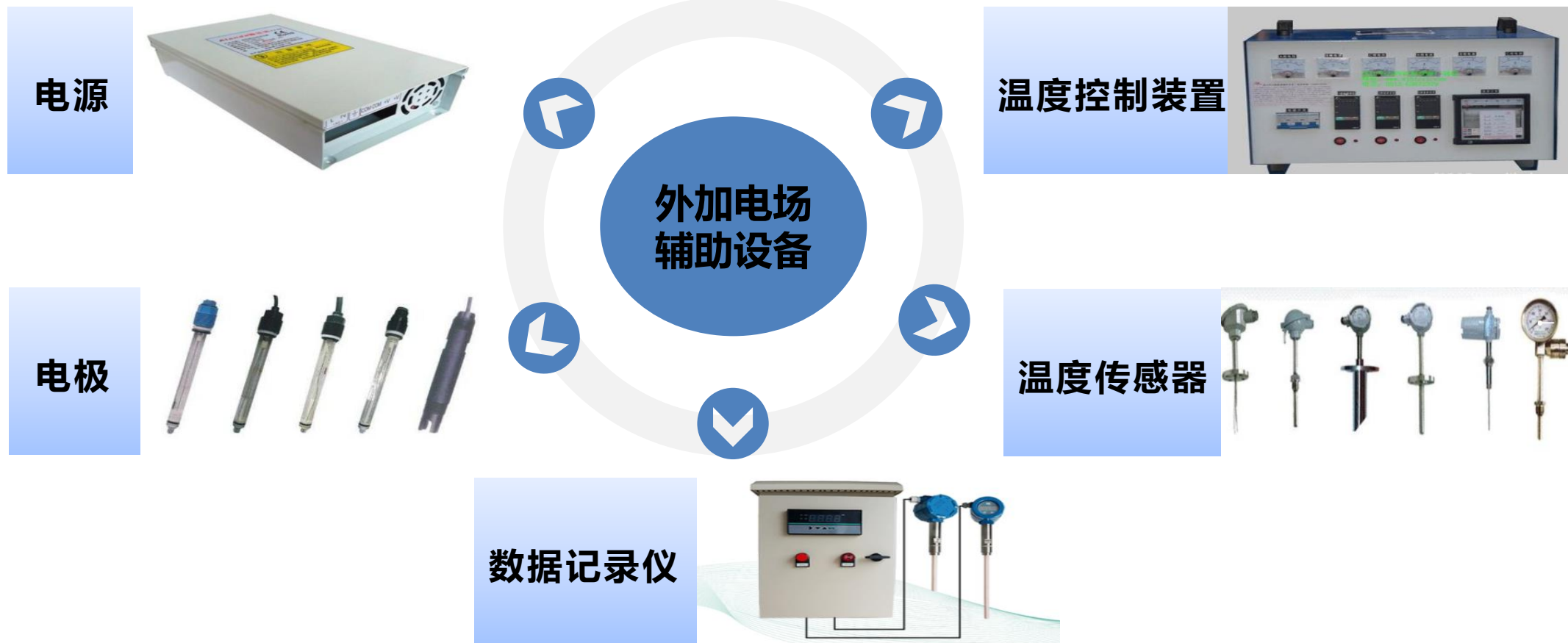
纯水不同磁通密度下的冷冻终点温度与成核温度的关系



纯水不同磁感应强度下缓苏时间与形核温度的关系

三、冰点调温工艺

➤ 外加电场辅助冰温贮藏的主要设备



三、冰点调温工艺

➤ 外加电场对食品冰点的影响机理

外加电场通过影响食品的蒸煮损失、 T_2 弛豫时间等，进而改变食品的自由水含量。而**自由水含量是影响食物冰点、过冷点温度的主要原因**。以猪肉为例，不同水分含量的猪肉冰点、过冷点及 T_2 弛豫时间之间的关系如下表所示：

表1：不同水分含量的猪肉冰点、过冷点及 T_2 弛豫时间之间的关系

组别	水分含量 (%)	冰点 (°C)	过冷点 (°C)	T_{2b}	T_{21}	T_{22}	P_{2b}	P_{21}	P_{22}
1	76.32±0.73 ^a	-1.06±0.13 ^a	-2.56±0.25 ^a	3.38±0.82 ^a	46.40±3.25 ^a	273.88±61.01 ^b	4.75±1.03 ^a	94.33±0.65 ^a	0.93±0.32 ^a
2	74.24±0.26 ^b	-1.34±0.05 ^b	-3.32±0.84 ^{ab}	3.03±0.94 ^a	44.67±3.57 ^a	329.26±65.81 ^{ab}	4.69±0.93 ^a	94.60±1.07 ^a	0.60±0.11 ^{ab}
3	72.83±0.77 ^c	-1.54±0.11 ^c	-4.10±0.75 ^b	2.78±0.85 ^a	42.24±3.35 ^a	362.32±13.85 ^a	4.01±1.08 ^a	95.68±1.09 ^a	0.31±0.04 ^b

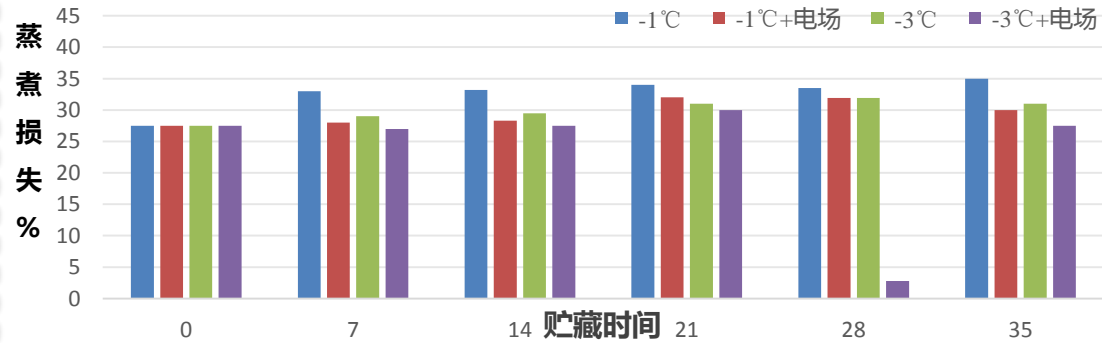
- 由表1中数据可知，猪肉冰点、过冷点与自由水含量呈**相关**，自由水含量越高，冰点、过冷点越低。

三、冰点调温工艺

➤ 电场对食物冰点的影响效果



交变电场辅助冰温/超冰温贮藏对生鲜肉蒸煮损失的影响。



交变电场辅助冰温/超冰温贮藏对生鲜肉蒸煮损失的影响

从图中可以看出，同一贮藏温度下，贮藏第7、14和35d，-1°C+电场组蒸煮损失均低于-1°C组；贮藏第28和35d，-3°C+电场组蒸煮损失均低于-3摄氏度组。说明加电场可以达到稳定肉持水力的目的。



交变电场辅助冰温/超冰温贮藏对生鲜肉T₂弛豫时间的影响。

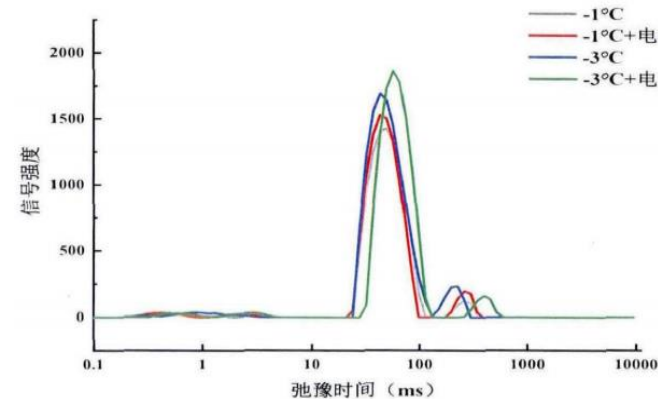


图 3-7 交变电场辅助冰温/超冰温贮藏对生鲜肉 T₂ 弛豫时间的影响

从图中可以知道，不同处理组之间不宜流动水峰面积差异显著。

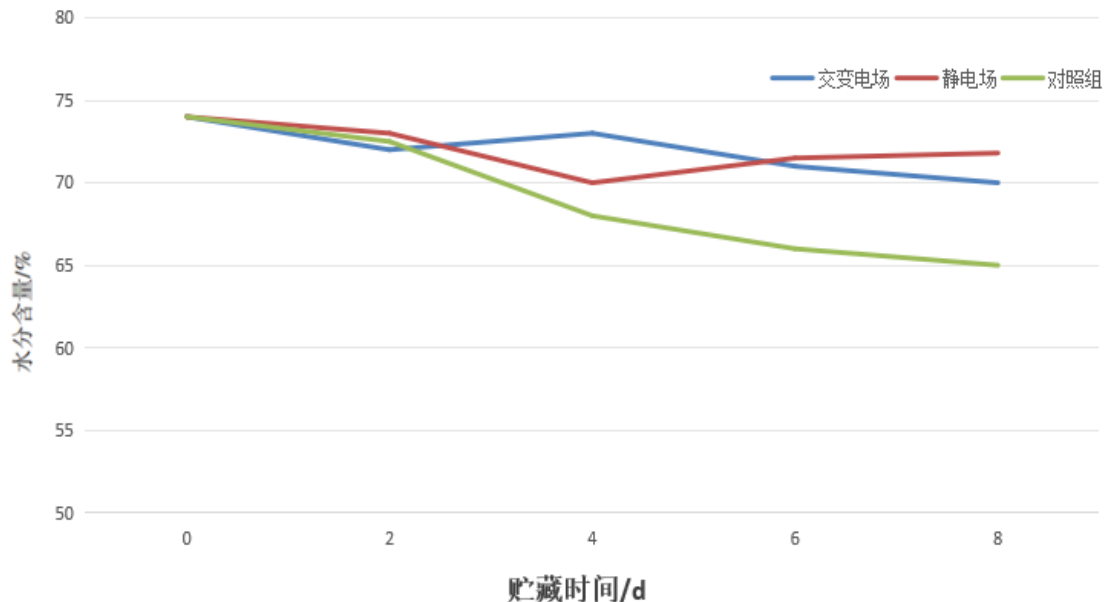
-1°C+电场组大于-1°C，-3°C+电场组大于-3°C组说明交变电场辅助冰温超冰温贮藏比对照组的宜流动水含量更高。

三、冰点调温工艺

➤ 电场对食物冰点的影响效果



交变电场辅助冰温/超冰温贮藏对生鲜肉蒸煮损失的影响。



不同类型电场辅助冰温贮藏对生鲜猪肉水份含量的影响

从图中可以看出，贮藏初期，生鲜猪肉的水份含量为73%，交变电场和静电场处理组贮藏8d分别为69%和70%，对照组降至65%。随着贮藏时间的延长，3个处理组水分含量呈下降趋势。对照组水份含量显著低于交变电场和静电场处理组，但交变电场和静电场处理组之间无显著差异，上述结果表明**电场辅助冰温贮藏可在一定程度上减少猪肉水分含量的损失，进而影响生鲜猪肉的冰点。**

三、冰點調溫工藝

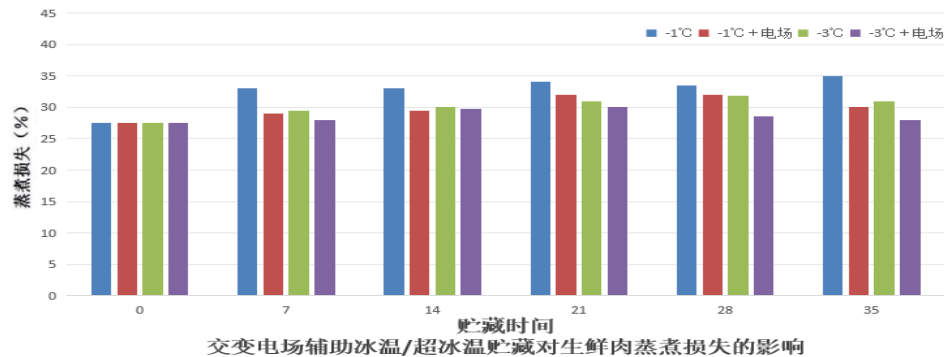
➤ 電場對食物冰點的影響效果



交變電場輔助冰溫/超冰溫貯藏對生鮮肉蒸煮損失的影響。



交變電場輔助冰溫/超冰溫貯藏對生T₂弛豫時間的影響為。



從圖中可以看出，同一貯藏溫度下，貯藏第7、14和35d，-1°C+電場組蒸煮損失均低於-1°C組；貯藏第28和35d，-3°C+電場組蒸煮損失均低於-3攝氏度組。說明加電場可以達到穩定肉持水力的目的。

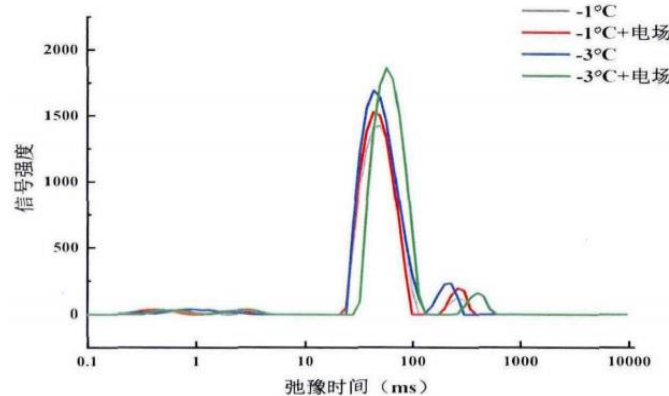
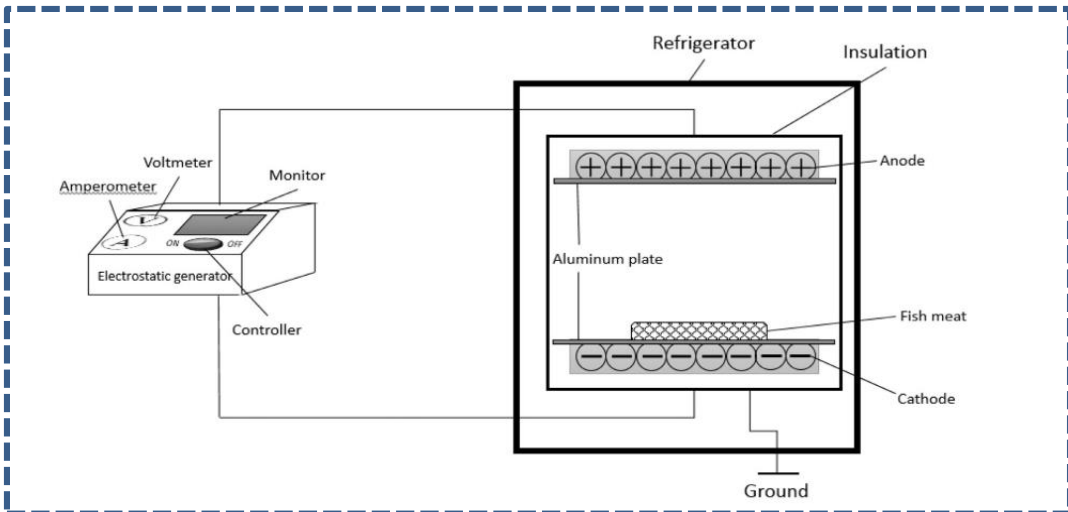


圖 3-7 交變電場輔助冰溫/超冰溫貯藏對生鮮肉 T₂ 弛豫時間的影響

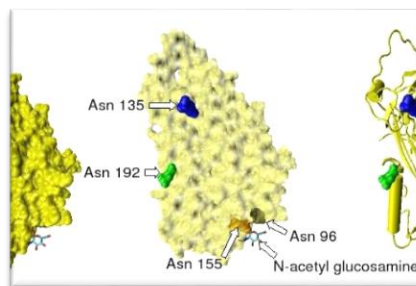
從圖中可以知道，不同處理組之間不流動水峰面積差異顯著，-1°C+電場組大於-1°C，-3°C+電場組大於-3°C組，說明交變電場輔助冰溫與超冰溫貯藏相比不流動水含量更高。

三、冰点调温工艺

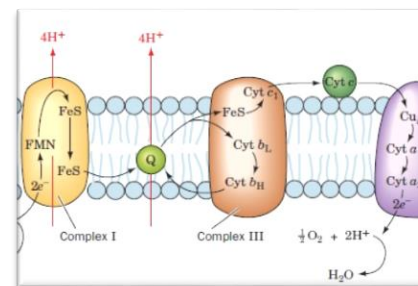
➤ 高压静电场对冷冻冷藏的影响



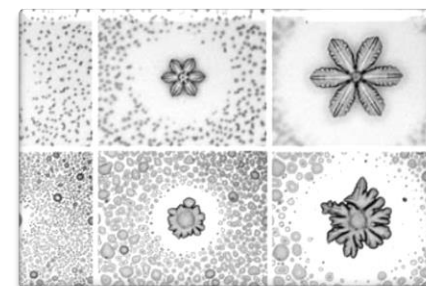
高压静电场 (HVEF) 是一种人工综合效应场，属于物理场。HVEF 最常用的设备主要由三个核心器件组成，即**电源、高压发生器和处理室**。目前研究的高压静电场的应用形式主要分为**平板式、针状式和线板式**三种。



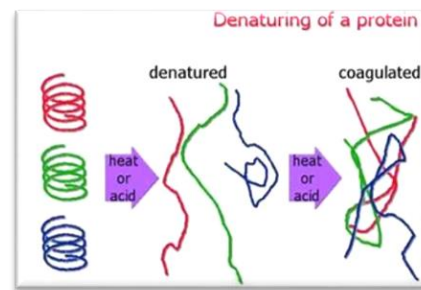
改变酶的活性



改变细胞膜的通透性



抑制冰晶的形成



抑制蛋白变性及水分流失



产生臭氧

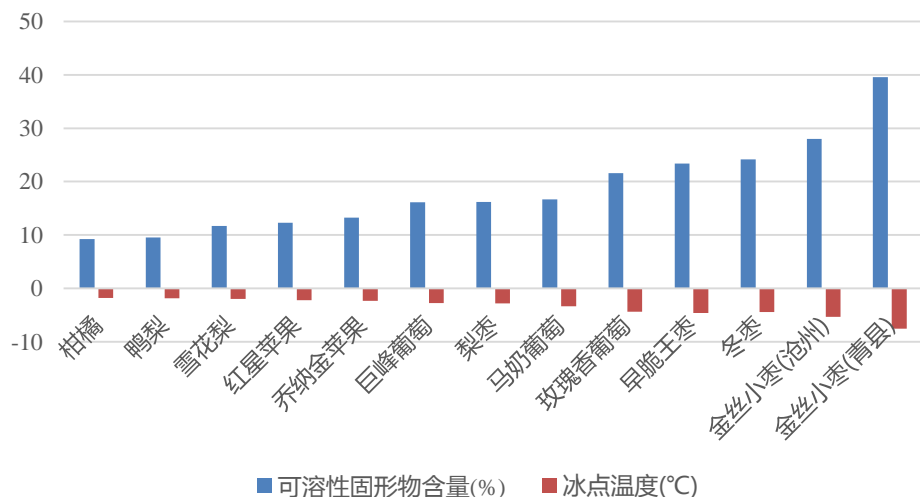
高压静电场作用机理

三、冰點調溫工藝

➤ 高壓靜電場對果蔬和肉類冰點溫度的影響

部分果實的可溶性固形物含量和冰點溫度

種類品種	可溶性固形物含量(%)	冰點溫度(°C)	種類品種	可溶性固形物含量(%)	冰點溫度(°C)
柑橘	9.25±0.11	-1.81±0.11	马奶葡萄	16.70±0.30	-3.37±0.35
鸭梨	9.55±0.18	-1.83±0.26	玫瑰香葡萄	21.56±0.13	-4.39±0.16
雪花梨	11.67±0.15	-1.96±0.24	早脆王枣	23.37±0.24	-4.62±0.15
红星苹果	12.28±0.16	-2.2±0.38	冬枣	24.15±0.20	-4.43±0.26
乔纳金苹果	13.23±0.14	-2.32±0.14	金丝小枣(沧州)	28.00±0.20	-5.32±0.40
巨峰葡萄	16.14±0.24	-2.75±0.07	金丝小枣(青县)	39.56±0.44	-7.52±0.30
梨枣	16.20±0.29	-2.83±0.59			



随着可溶性固形物含量的增高，呈明显的冰点温度下降趋势。



冰点温度测定装置



三、冰点调温工艺

➤ 高压静电场对果蔬冰点温度的影响

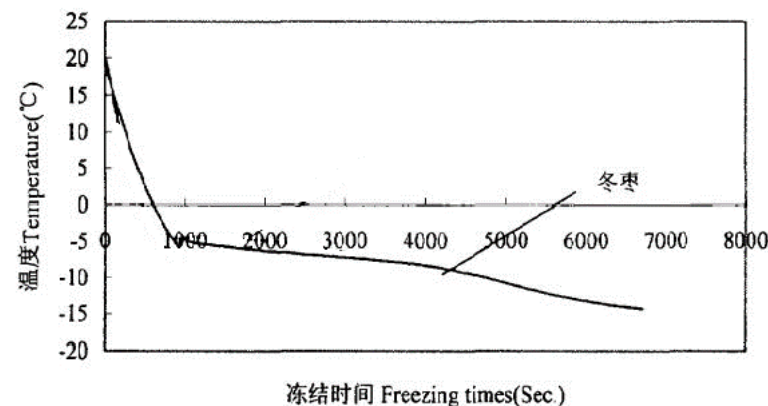
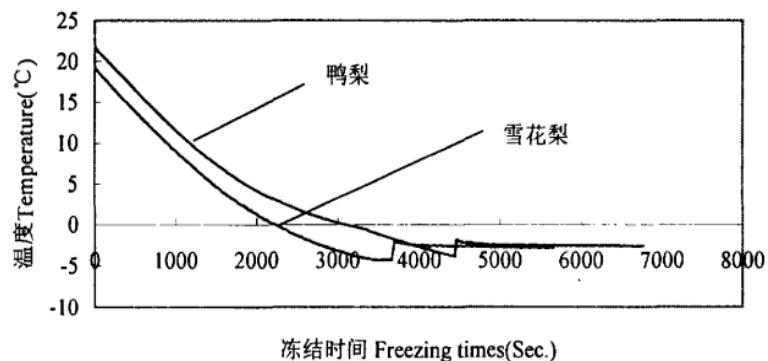


将鸭梨、雪花梨和冬枣每天用-100kV/m 高压静电场处理，在0℃条件下贮藏 2d，4d，6d，8d和10d 时测定冰点温度。结果如下表。



品种	初始 (℃)	2d (℃)	4d (℃)	6d (℃)	8d (℃)	10d (℃)
鸭梨	-1.83+0.26	-1.83+0.21	-1.84±0.27	-1.86+0.23	-1.88+0.28	-1.89+0.29
雪花梨	-1.96+0.24	-1.96+0.2	-1.98+0.29	-1.99+0.26	-2.03+0.24	-1.99+0.27
冬枣	-4.43+0.26	-4.45+0.36	-4.47+0.27	-4.51+0.31	-4.5+0.28	-4.52±0.34

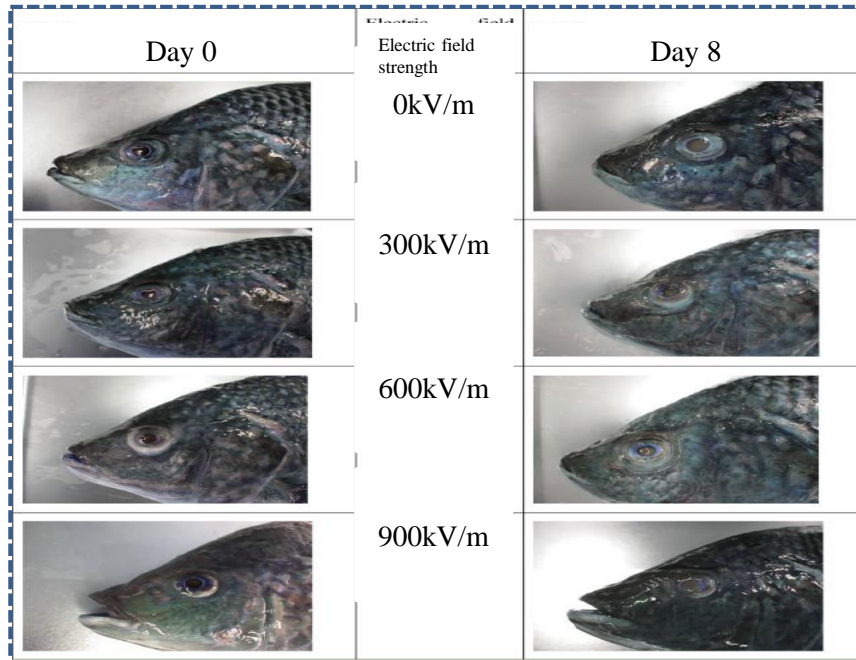
与之前测试比较，可以得出，**短期的高压静电处理**对上述三种蔬菜果实的冰点温度**有一定影响**。



鸭梨、雪花梨、冬枣的冰点曲线

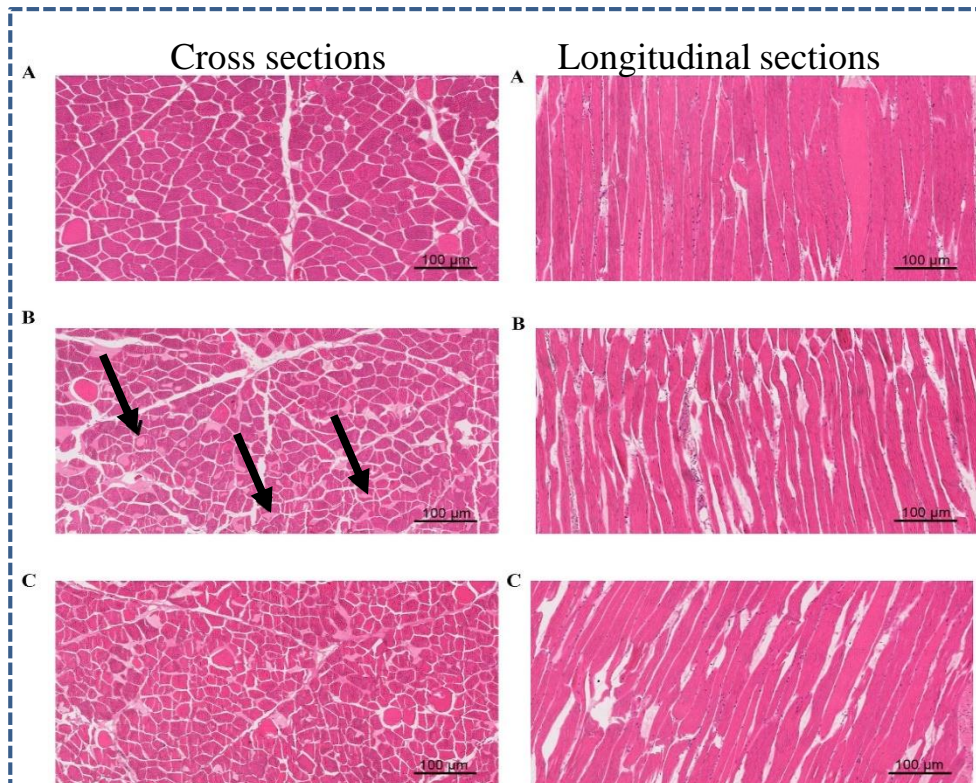
三、冰点调温工艺

➤ 高压静电场对肉类冰点温度的影响



4℃贮藏条件下HVEF对罗非鱼眼睛外观的影响

从整体上看，对照组眼睛的混浊程度显著高于高压静电场处理组，表明HVEF对罗非鱼的新鲜度的显著作用。



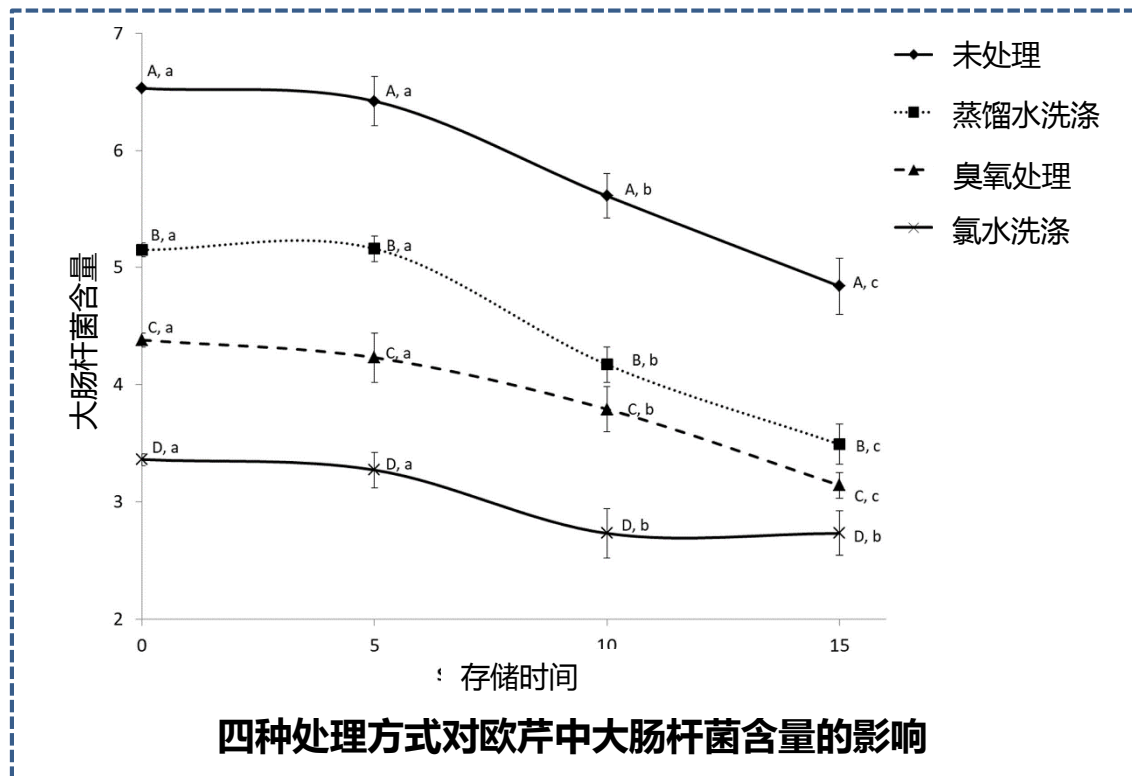
猪里脊肉横切面和纵切面的光镜观察
A：新鲜猪肉；B：冻猪肉；C：10 kV高压静电场处理冷冻猪肉。箭头表示由冰晶引起的细胞内的空洞。

在所有测试下，猪里脊肉的冰点均为 $-0.84 \pm 0.06^{\circ}\text{C}$ 。这些结果表明，由于施加静电场对冰点的进一步变化有一定影响。



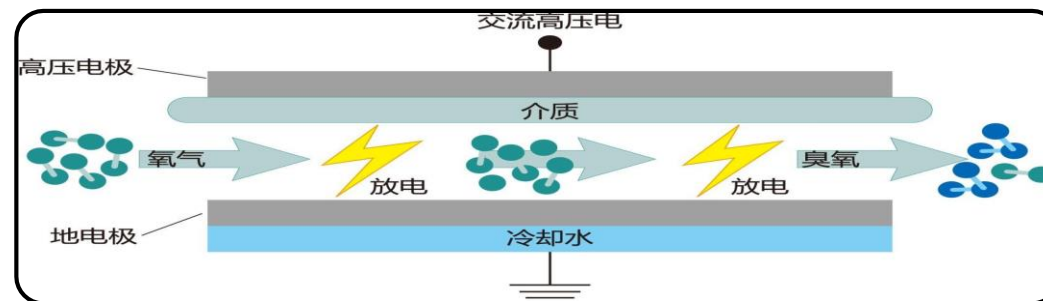
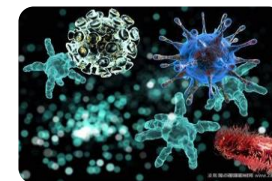
三、冰点调温工艺

➤ 高压静电场对果蔬微生物的影响



- 可以看出，臭氧处理对微生物的抑制作用仅次于氯水洗涤。

- 果蔬容易被大肠杆菌、沙门氏菌、霉菌、酵母菌等种类的细菌、病菌和有害微生物污染。
- 新鲜果蔬水活性值一般在0.98~0.99，适合多数微生物的生长，很容易发生腐败变质。



氧气经过高压静电场放电产生臭氧，抑制微生物生长示意图



天津商业大学
TIANJIN UNIVERSITY OF COMMERCE

天津市制冷技术重点实验室
Tianjin Key Lab of Refrigeration Technology



ICFET

工程热物理基础及工程国际联合研究中心
International Centre in Fundamental and Engineering Thermophysics

目录

CONTENTS

一、冰点的概念

二、呼吸作用和微生物在冰点处的作用

三、现有的冰点调温工艺

四、结论

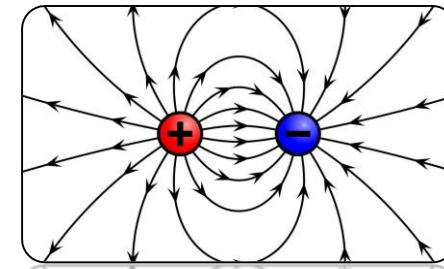
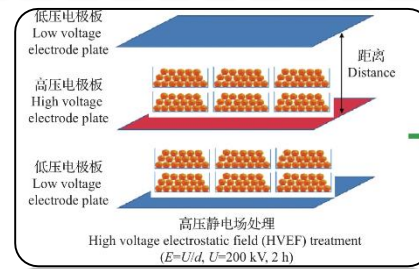
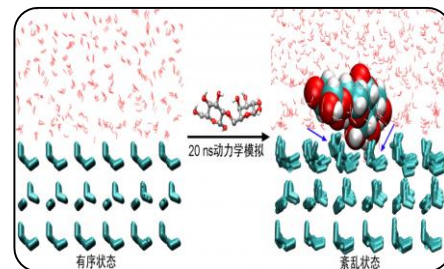
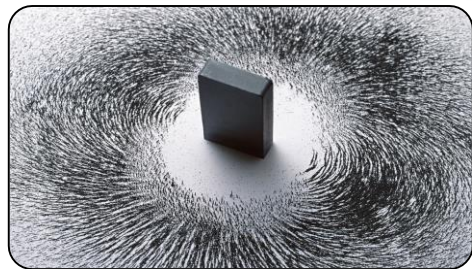
TIANJIN UNIVERSITY
OF COMMERCE

笃学 弘毅 明德 济世
DUXUE HONGYI MINGDE JISHI

四、小结

在冷藏和冷冻过程中，辅助以磁场、抗冻蛋白、高压静电场，电场等，都会对食品的冰点、表面微生物等产生影响，针对不同食品特性和储存时间，选择以下合适的方式，将有利于延长食品的保存或者保留食品本身的口感。

- **冷却工艺**：中前期预处理主要指预冷技术，从初始温度（30℃左右）迅速冷却至适宜运输或储藏的温度（0~15℃）延长物料的贮存运期。
- **抗冻蛋白（ AFPs ）**：加入AFP_s，通过减少渗水和抑制冰晶的形成，从而提高肉品质量，使冰点降低。
- **磁场**：影响组织液的冷冻动力学和物理性质，显著降低了水、黄瓜、猪肉和牛肉的冰点温度，苹果的冰点温度升高。
- **电场**：通过影响食品的蒸煮损失、弛豫时间等，改变食品的自由水含量，进而改变食品冰点。
- **高压静电场（ HVEF ）**：高压静电冷藏对梨、枣、罗非鱼和猪肉的冰点均没有影响，但降低微生物含量。





天津商业大学
TIANJIN UNIVERSITY OF COMMERCE

天津市制冷技术重点实验室
Tianjin Key Lab of Refrigeration Technology



ICFET

工程热物理基础及工程国际联合研究中心
International Centre in Fundamental and Engineering Thermophysics

谢谢，请各位多提意见！！

合作共赢 · 共创未来



TIANJIN UNIVERSITY
OF COMMERCE

笃学 弘毅 明德 济世
DUXUE HONGYI MINGDE JISHI