

气调技术在食用农产品保鲜中的应用研究进展

田甲春¹, 葛霞¹, 田世龙¹, 李守强¹, 李梅¹, 程建新¹, 王青²

(1. 甘肃省农业科学院农产品贮藏加工研究所, 甘肃 兰州 730070; 2. 甘肃省农业科学院
畜牧与绿色农业研究所, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 气调技术作为一种高效绿色的物理保鲜手段, 通过精准调控贮藏环境中的温度、湿度以及 O₂、CO₂、N₂ 等气体比例, 可显著抑制食用农产品的呼吸代谢、酶促反应及病虫害滋生, 减少营养流失并延长贮藏期, 且具有解除气调环境后仍能维持新鲜度的后效作用。气调技术分为主动气调(人为调节气体组分)和被动气调(依托农产品自身呼吸调节气体比例)两类。本文在梳理国内外气调技术相关研究文献的基础上, 介绍了气调技术的原理及其特点, 综述了近年来气调技术在果品蔬菜保鲜、肉品保鲜及粮食贮藏中的应用研究, 详细阐述了不同品类食用农产品适用的气体配比、协同保鲜技术(如与臭氧、生物保鲜剂联用)及保鲜效果。同时, 对气调技术在食用农产品推广应用中存在的问题和今后的发展进行了阐述, 以期气调技术在食用农产品上的应用提供一定的理论参考。

关键词: 气调技术; 果品; 蔬菜; 肉品; 粮食; 研究进展

中图分类号: TS205

文献标志码: A

文章编号: 2097-2172(2025)11-0981-06

doi:10.3969/j.issn.2097-2172.2025.11.001

Research Progress on the Application of Controlled Atmosphere Technology in Edible Agricultural Products Preservation

TIAN Jiachun¹, GE Xia¹, TIAN Shilong¹, LI Shouqiang¹, LI Mei¹, CHENG Jianxin¹, WANG Qing²

(1. Agricultural Products Storage and Processing Research Institute, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou Gansu 730070, China; 2. Institute of Animal Husbandry, Pasture and Green Agriculture, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou Gansu 730070, China)

Abstract: Controlled atmosphere technology is an efficient and green preservation technology that precisely regulating the temperature, humidity, and the proportions of gases such as O₂, CO₂, and N₂ in the storage environment, which can significantly inhibit the respiratory metabolism, enzymatic reactions, and the propagation of diseases and pests in edible agricultural products, reduce nutrient loss, prolong the storage period, and has a post-effect of maintaining freshness even after the removal of controlled atmosphere environment. Controlled atmosphere technology is divided into active controlled atmosphere (artificially adjusting gas components) and passive controlled atmosphere (relying on the respiration of agricultural products themselves to regulate gas proportions). Based on a review of domestic and international literature, this paper introduces the principles and characteristics of controlled atmosphere technology, summarizes its recent applications in the storage of fruits, vegetables, meat, and grains, it also elaborates on the suitable gas ratios for different agricultural products, synergistic preservation technologies (such as combined use with ozone and biological preservatives), and preservation effects. Meanwhile, it discusses the issues existed in the popularization and application of controlled atmosphere preservation technology in agricultural products, so as to provide some theoretical reference for the application of controlled atmosphere preservation technology in agricultural products.

Key words: Controlled atmosphere preservation; Fruit; Vegetable; Meat product; Grain; Research progress

食用农产品的保鲜是根据农产品的品质特点 采用物理、化学和生物方法进行处理, 起到抑制
和腐败变质机理, 在其生产、贮运和销售环节, 或延缓农产品腐败变质的作用。随着我国农产品

收稿日期: 2025-06-09; 修订日期: 2025-08-23

基金项目: 国家自然科学基金(32160596); 财政部和农业农村部国家现代农业产业技术体系(CARS-09-P26)。

作者简介: 田甲春(1984—), 女, 甘肃民勤人, 副研究员, 博士, 研究方向为马铃薯贮藏保鲜。Email: tianjiachunlz@126.com。

通信作者: 田世龙(1965—), 男, 甘肃靖远人, 研究员, 主要从事马铃薯贮藏保鲜研究工作。Email: 723619635@qq.com。

产销量的大规模增长,食用农产品的贮藏保鲜在农业生产中起到重要的作用。保鲜技术的应用可有效延缓农产品的贮藏期,农产品保鲜技术主要有物理技术、化学技术和生物技术,而气调技术作为一项关键的物理保鲜技术常与冷藏技术、辐照技术及保鲜剂联用于农产品的保鲜^[1-3]。现主要对近年来气调技术在果蔬保鲜、肉制品及粮食储藏中的应用进行综述,为食用农产品的保鲜提供一定参考。

1 气调技术的原理及其特点

气调技术是在冷藏保鲜的基础上发展起来的一种高效的保鲜方法,主要通过动态调控贮藏环境中的 O_2 、 CO_2 、 N_2 等气体组分,利用不同气体的物理化学特性与食用农产品生理代谢的相互作用,构建抑制劣变的微环境,在一定程度上可减少营养物质的损失,保留农产品的风味。 O_2 的浓度直接影响呼吸强度,在气调环境中,通过降低 O_2 浓度可显著抑制有氧呼吸,减少糖类、有机酸等营养物质的消耗,但 O_2 浓度过低则会引发无氧呼吸,产生乙醇、乙醛等有害物质,导致农产品腐烂。 CO_2 是气调保鲜的关键调控因子,可起到抑制微生物活性、延缓叶绿素分解的作用。 N_2 作为惰性气体,在气调中主要起填充和隔绝作用,可防止包装材料塌陷,其化学性质稳定,不参与农产品的代谢反应,但可通过改变气体分压影响水分蒸发,间接减少失重率。气调贮藏的农产品会有后效作用,解除气调环境后仍能够较长时间地保持新鲜度。气调保鲜可分为主动气调保鲜和被动气调保鲜两类。主动气调保鲜是人为调节贮藏环境中的气体组分,而被动气调保鲜是农产品通过自身的呼吸代谢消耗 O_2 和产生 CO_2 ,从而调节贮藏环境中的气体比例达到延长贮藏时间的效果^[4-5]。

2 气调技术在果品蔬菜保鲜中的应用

2.1 果品保鲜中的应用

20 世纪 70 年代以来,气调技术已被商业化应用,气调包装已开始应用于苹果、猕猴桃、荔枝、柑橘等水果的保鲜^[6]。李洋等^[7]以蓝丰蓝莓为对象,明确在贮藏温度 $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 CO_2 浓度 10%~12%、 O_2 浓度 6%~9% 的条件下,能够使蓝莓保持较好的果实硬度、内聚性、可滴定酸及花青素含量,并且能减缓丙二醛含量的上升速度。李金金等^[8]

研究发现, O_2 含量为 18.4%~19.0%、 CO_2 含量为 0.9%~2.3% 的微环境气调环境可有效降低阳光玫瑰葡萄采后贮藏期间的腐烂率、落粒率和失重率,延缓葡萄品质的下降。经预冷后的黑加仑在 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、5% O_2 +15% CO_2 +80% N_2 的环境中进行贮藏,显著改善了感官品质、硬度、腐烂率及可滴定酸和可溶性固形物等指标^[9]。Lei 等^[10]研究发现,在 10 kPa O_2 +10 kPa CO_2 的环境下贮藏的草莓,贮藏末期总酚、花青素和总黄酮含量分别提高了 25%、13%和 29%,货架期延长了 6 d。Matar 等^[11]研究了气调包装对草莓整体环境效益及生命周期的影响。张佳楠等^[12]研究了不同的被动气调包装对樱桃的影响,结果表明不同的气调包装均能抑制抗坏血酸含量的下降。气调技术也被广泛应用于梨的贮藏保鲜,通过大量的试验研究发现,气调贮藏作为一种安全、简便的保鲜方法,可抑制果实表面病斑、果心褐变,减少维生素 C 的损失,减弱多酚氧化酶的活性,对降低梨的腐烂率有积极的影响^[13-15]。

为提高保鲜效果,气调技术也与其他技术联用于果品的保鲜。高压静电场结合自发气调用于石榴的保鲜,在商用冷库贮藏 85 d 后石榴表面仍能保持良好的色泽和营养价值^[16]。熊小迪等^[17]将等离子体技术和气调保鲜联合使用于杨梅的保鲜,经过处理的杨梅果实色泽无明显变化,能够显著延缓可溶性固形物含量的下降,抑制 SOD 活性的下降,延缓果实的氧化损伤和品质劣变。王霞伟^[18]采用 2% $CaCl_2$ +100 mmol/L 水杨酸雾化熏蒸结合 8% O_2 +92% N_2 气调包装技术处理新疆冬枣,处理后明显抑制了冬枣硬度、原果胶及纤维素含量的下降,延缓了腐烂率、失重率、细胞渗透性、可溶性果胶、纤维素酶等的上升。鲜食枸杞的保鲜主要集中在气调保鲜方面,何宇光^[19]利用微环境气调技术结合 1-MCP 对鲜食枸杞进行保鲜,研究表明,微环境气调结合 1-MCP 处理可降低鲜食枸杞的腐烂率、呼吸强度,延长贮藏期。微环境气调技术也被用于柿子、蟠桃和兰州百合的保鲜^[20-21]。

2.2 蔬菜保鲜中的应用

蔬菜的呼吸速率和乙烯释放的速率对其新鲜度具有直接的影响。气调技术通过减缓蔬菜的呼吸速率以及降低乙烯的浓度,达到延长保质期的

效果, 早在 1978 年英国就出现了超低氧气调技术, 研究表明, 超低氧气调可降低园艺产品在贮藏期间受到低温伤害, 近年来气调技术结合物理保鲜技术及保鲜剂保鲜已广泛运用于蔬菜保鲜^[22]。

Frans 等^[23]研究发现, 气调包装甜椒可减轻其内部乳酸镰刀菌引起的腐烂。高帅平等^[24]研究发现, 聚乳酸袋自发气调包装和高氧盒式气调包装均可不同程度地提高平菇的采后贮藏品质, 但两者相比聚乳酸自发气调包装保鲜效果更好。微孔气调包装生菜减弱了生菜的呼吸作用、蒸腾作用和细菌生长的速度, 从而延缓了营养物质的分解, 保持了原有的色泽和质地^[25]。张夕佳^[26]针对小青菜采后黄花、褐变、萎蔫等现象, 探索了红白 LED 照射与高压静电场联合气调包装对船用小青菜品质的影响, 研究发现高压静电场协同 LED 照射和气调包装处理, 3 种保鲜方式能够发挥各自优势联用处理可保持小青菜的色泽、质构、气味和营养成分。硅窗气调技术可控制香菇贮藏期间总酚含量及抗坏血酸含量的下降, 有效抑制香菇的褐变, 具有良好的保鲜效果^[27]。陈皖豫^[28]研究了贮藏温度 (20±1) °C 硅窗面积为 0.25 cm² 气调包装可有效延缓娃娃菜根部的褐变速率, 保持良好的外观品质, 维持组织内较高的总酚、抗坏血酸气调包装技术对娃娃菜采后品质的影响。魏丽娟等^[29]通过筛选研究发现, 将西兰花用 60 mg/L 的二氧化氯溶液进行浸泡清洗, 并结合硅窗面积为 8 cm² 的气调包装袋进行包装, 在 25 d 贮藏期内营养指标均优于其他处理。李雪^[30]研究了不同保鲜剂结合微环境气调对黄花菜的保鲜效果, 气调保鲜被证实可减轻真菌引起的腐败变质。

气调贮藏也被运用于马铃薯的贮藏保鲜中, 适当增加贮藏环境中的 CO₂ 浓度对抑制块茎的还原糖含量上升有积极的影响, 研究发现, 5% O₂ + 2% CO₂ 的贮藏环境可延缓马铃薯低温糖化, 并且保持良好的薯皮色度及抑制膜脂过氧化反应, 保护膜系统的相对完整性, 从而延缓马铃薯块茎的衰老^[31-32]。Herman 等^[33-34]研究了 2.5 kPa 和 21.0 kPa 两种低氧环境下马铃薯的贮藏效果, 发现其作用效果与 O₂ 浓度、处理时间及马铃薯品种有很大关系, 2.5 kPa 的低氧环境贮藏条件可降低块茎内转化酶的活性, 减缓“低温糖化”现象。此外, 张

敏欢等^[35]将气调包装结合静电场用于马铃薯的保鲜, 研究表明, 静电场 - 气调 (CO₂ 4.2%~8.0%+O₂ 7.7%~12.3%) 环境贮藏马铃薯其营养成分损失较慢, 贮藏 150 d 时仍具有食用价值。

3 气调技术在肉品保鲜中的应用

3.1 气调技术在畜禽产品中的应用

气调技术被广泛运用于肉制品的保鲜, 因为 CO₂ 易溶于肉中的脂肪, 可与肉中的水形成弱酸环境降低其 pH, 从而起到抑制酶的作用, 而 O₂ 在气调保鲜中主要起到维持肉色的作用, 可保持良好的肉色^[36-37]。周立^[38]对比了普通真空包装和气调包装对黑山羊肉的保鲜效果, 研究发现两种包装对黑山羊肉均能起到不同程度的保鲜效果, 贮藏至 14 d 时 0.4% CO + 69.6% N₂ + 30.0% CO₂ 试验组有明显的抑菌效果, 且降低了羊肉的蛋白和脂肪氧化, 肌肉具有较好的持水性并保持鲜红的肉色。杨江等^[39]将气调技术用于恩施黑猪肉的保鲜, 研究表明, 35% O₂+65% CO₂ 试验组和 35% O₂+35% CO₂+30% N₂ 试验组均能够显著延长黑猪肉的货架期, 35% O₂+65% CO₂ 试验组的持水力、离心损失和蒸煮损失优于其他组, 而 35% O₂+35% CO₂+30% N₂ 试验组的色泽优于其他。茶含颖^[40]以 42 日龄的白羽鸡为研究对象, 研究发现 0.12% 乳酸/0.09% 溶菌酶/0.09% Nisin+30% CO₂+70% N₂ 的保鲜剂结合气调保鲜方式可将鸡肉的货架期延长至 24 d 以上, 有效地保持了鸡肉的品质, 并且抑制贮藏期间腐败菌的生长繁殖。李鸣等^[41]通过菌落总数及感官评价结果对比发现, 30% CO₂+70% N₂ 气调包装的白切鸡在 4 °C 条件下可使白切鸡的货架期延长至 7 d。林菊^[42]通过筛选不同 O₂ 和 CO₂ 气调包装对鲜猪肉保鲜效果, 最终确定 50% O₂+40% CO₂ 以及 0.06 MPa 真空度可有效抑制鲜猪肉的腐败变质, 减少了挥发性盐基氮 (TVB-N) 的生成。Mor-eira 等^[43]研究发现, 不同贮藏温度下气调包装烤猪腰肉的保鲜效果, 8 °C 贮藏气调包装猪肉的 TVB-N 含量比 3 °C 贮藏的高。陈东杰^[44]研究发现, 80% O₂+20% CO₂ 的高氧气调包装可使冷却猪肉的货架期延长至 6 d, 而 35% O₂+65% CO₂ 的低氧气调包装的冷却猪肉货架期可延长至 9 d。

3.2 气调技术在水产品中的应用

CO₂ 是水产品气调保鲜的主要抑菌因子, 能降

低水产品表面的 pH 从而起到抑菌的作用。而 O_2 也是气调包装中的关键组分, 在促进需氧菌的同时可抑制大多数厌氧菌的生长。 N_2 是一种无色无味的惰性气体, 被作为气调包装中的填充气体。 CO 可与肌红蛋白结合产生一氧化碳结合肌红蛋白, 可使肉品呈鲜红色, 同时还具有抑菌和抗氧化作用。

Kuuliala 等^[45]研究对比了 4、8 °C 气调包装后的大西洋鲑鱼的贮藏效果, 结果表明, 气调包装的大西洋鲑鱼贮藏在 4 °C 环境下更有利于其品质的保持。高海^[46]研究了不同气调包装对草鱼和三文鱼的保鲜效果, 结果表明, 10% O_2 +60% CO_2 +30% N_2 组和 10% O_2 +80% CO_2 +10% N_2 组保鲜效果更明显。气调包装结合臭氧技术处理的鲟鱼片货架期可达到 27~29 d, 气调包装结合紫外线处理鲟鱼片, 可抑制 TVB-N 和 pH 的升高, 但对感官有一定的负面影响^[47]。

4 气调技术在粮食贮藏中的应用

粮谷类农产品中含有大量的油脂, 易发生氧化反应, 而气调技术通过减少环境中的 O_2 浓度可显著降低氧化速度, 在降低 O_2 浓度的同时增加环境中的 CO_2 浓度可抑制虫害的滋生, 因此气调技术在粮食领域的应用对于保障粮食安全具有重要作用^[5]。

氮气具有成本低廉无污染等优势也被作为绿色贮粮技术^[48], 氮气气调贮藏可延缓优质稻的黄变, 并且可抑制优质稻脂肪酸的生成和整精米率的下降^[49-50]。充氮气调对抑制大豆发芽率下降, 大豆油脂酸值、油脂过氧化值升高有一定的影响^[51]。李伶俐等^[52]研究发现, N_2 体积为 98% 和 88% 的环境下贮藏大豆, 可在一定程度上延缓大豆热损失率, 大豆抽提油酸价的增加及大豆抽提油维生素 E 损失。98% N_2 气调和 40% CO_2 气调可以减少油茶籽的水分损失, 抑制脂肪酶和脂氧合酶活性, 延缓油茶籽贮藏过程中酸值和过氧化值的增加^[53]。郭轩宇等^[54]研究发现, 浅圆仓采用下充上排式 CO_2 气调工艺使仓内 CO_2 浓度维持 35% 以上时间超过 15 d 时, 仓内的杀虫率可达到 100%, 且贮存的大豆蛋白质溶解比率、脂肪酸、水分变化较小。朱庆贺等^[55]研究发现, 真空气调贮存芝麻能够延缓其种子的劣变, 可使芝麻种子保持较好的发芽

率。有研究表明, 真空贮粮技术可使粮食储藏时间延长 1~2 a。真空贮粮已应用于大米、小米、杂粮等, 但由于成本较高大规模贮存原粮的粮仓尚难以应用。田茜等^[56]研究了氩气贮藏玉米对其种子寿命的影响, 结果表明氩气贮藏能在一定程度上延缓玉米种子的老化进程。

5 结语

气调技术是保鲜行业的一种绿色高效的保鲜方式, 它能够替换传统不安全的保鲜方式, 不仅应用在果蔬、肉品的保鲜和粮食贮藏中, 还可以用于茶叶、花卉等的保鲜。传统气调技术还有许多不完善的地方, 还需与臭氧技术、超高压处理技术、生物保鲜剂等联用以提高农产品的保鲜效果, 但其协同保鲜机理研究还不深入, 不同的农产品气调保鲜的气体成分、包装材料、贮藏温度等都存在差异, 甚至同一物种不同品种间也存在差异, 因此为实现更精准的气调技术, 需要加强基础性的研究, 建立大数据库, 研究解析气调技术与保鲜剂协同互作机制, 并进行相应的设备研发, 以确定最佳的保鲜效果及最大的经济效益。未来, 气调技术将与数字农业、智慧农业深度融合, 向精准化、智能化迈进, 气调技术将推动我国农产品保鲜行业从“单一技术应用”向“多技术融合”转变, 大幅度降低农产品的损耗, 成为打通农产品供应链“最后一公里”的关键技术支撑, 为农产品提质增效提供有力保障。

参考文献:

- [1] 何伟. 果蔬气调保鲜技术及其在冷链物流中的应用研究进展[J]. 食品与机械, 2020, 36(227): 228-232.
- [2] 贾丽丽, 颜敏华, 吴小华, 等. 天麻品质及贮藏保鲜研究进展[J]. 寒旱农业科学, 2025, 4(1): 20-27.
- [3] 陈思宇, 金建, 赵世琳. 物理技术在果蔬保鲜中的应用研究进展[J]. 食品研究与开发, 2023, 44(21): 167-172.
- [4] 王璐瑶, 帕孜丽亚·托乎提, 戴煌. 气调保鲜技术在梨贮藏保鲜中的研究进展[J]. 中国果菜, 2021, 41(7): 15-19.
- [5] 孙磊, 寇润蕾, 孙少振, 等. 气调保鲜技术在粮食储藏中的应用[J]. 粮食加工, 2023, 48(6): 93-96.
- [6] 李小丽, 赵紫. 气调包装技术在鲜切果蔬中的应用及研究进展[J]. 现代食品, 2020(18): 145-147.
- [7] 李洋, 唐蓉蓉, 李庆鹏, 等. 微环境波动对冰温气

- 调贮藏蓝莓品质的影响[J]. 中国食品学报, 2024, 24(1): 220-231.
- [8] 李金金, 李春媛, 谷佰宇, 等. 微环境气调保鲜箱对葡萄采后贮藏品质的影响[J]. 食品科技, 2023, 48(4): 47-54.
- [9] 孙家明. 黑加仑气调保鲜理论与实验研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨商业大学, 2022.
- [10] LEI T T, QIAN J, YIN C. Equilibrium modified atmosphere packaging on postharvest quality and antioxidant activity of strawberry[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2022, 57(11): 7125-7134.
- [11] MATAR C, SALOU T, HELIAS A, et al. Benefit of modified atmosphere packaging on the overall environmental impact of packed strawberries[J]. Postharvest Biology and Technology, 2021, 177: 111521.
- [12] 张佳楠, 董成虎, 王志伟, 等. 被动气调包装对采后甜樱桃活性氧清除的影响[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(18): 181-186.
- [13] WRIGHT A H, PRANGE R K. The effect of aminoethoxy-vinylglycine and dynamic controlled atmosphere on the storage of 'Bartlett' pear[J]. Erwerbs-Obstbau, 2023, 65(5): 1303-1313.
- [14] 刘佰霖, 贾晓辉, 王 阳, 等. 自发气调包装对“新梨 7 号”果实品质及耐贮性的影响[J]. 果树学报, 2020, 37(5): 743-753.
- [15] 尚海涛, 朱 麟, 俞静芬, 等. 自发气调贮藏对采后翠冠梨糖心和品质的影响[J]. 保鲜与加工, 2019, 19(5): 19-23.
- [16] 樊爱萍, 曾丽萍, 孟金明, 等. 高压静电场结合自发气调对低温冷藏下蒙自石榴的保鲜效果研究[J]. 食品研究与开发, 2021, 4(42): 56-61.
- [17] 熊小迪, 刘 群, 李 丽, 等. 冷等离子体结合气调包装对杨梅贮藏品质的影响[J]. 保鲜与加工, 2023, 23(12): 10-17.
- [18] 王霞伟. 雾化熏蒸结合气调包装技术在冬枣采后贮运保鲜中的应用[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2021.
- [19] 何宇光. 微环境气调结合防腐保鲜在鲜食枸杞中的应用[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2022.
- [20] 张 鹏, 李天元, 李江阔, 等. 微环境气体调控对精准相温贮藏期间柿果保鲜效果的影响[J]. 中国食品学报, 2018, 18(3): 179-187.
- [21] 魏宝东, 康丹丹, 张 鹏, 等. 微环境气调结合相温贮藏对兰州百合采后品质的影响[J]. 中国食品学报, 2021, 21(9): 1-9.
- [22] 陈 菊, 孙小静, 苏 丹, 等. 自发气调包装对不同品种青椒贮藏品质的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2023, 14(23): 99-106.
- [23] FRANS M, AERTS R, CEUSTERS N, et al. Possibilities of modified atmosphere packaging to prevent the occurrence of internal fruit rot in bell pepper fruit (*Cap-sicum annuum*) caused by *Fusarium* spp[J]. Postharvest Biology and Technology, 2021, 178(1): 111545.
- [24] 高帅平, 田广瑞, 李顺峰, 等. 不同气调保鲜对平菇贮藏品质和理化性质的影响[J]. 中国瓜菜, 2024, 37(4): 79-86.
- [25] FIROUZ M S, ALIMARDANI R, MOBLI H, et al. Effect of modified atmosphere packaging on the mechanical properties of lettuce during shelf life in cold storage[J]. Information processing in Agriculture, 2021, 8(4): 485-493.
- [26] 张夕佳. 基于高压静电场/LED 光照与气调包装联合处理的船用小青菜保鲜期延长研究[D]. 无锡: 江南大学, 2023.
- [27] 黄赫雁. 香菇复合保鲜技术的研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨商业大学, 2017.
- [28] 陈皖豫. 气调包装技术及 1-MCP 处理对娃娃菜采后贮藏品质的影响[D]. 扬州: 扬州大学, 2020.
- [29] 魏丽娟, 冯毓琴, 李长亮, 等. 保鲜剂结合不同硅窗面积气调包装对西兰花贮藏品质的影响[J]. 寒旱农业科学, 2024, 3(7): 650-654.
- [30] 李 雪. 微环境气调保鲜技术在黄花菜和西梅中的应用[D]. 沈阳: 辽宁大学, 2021.
- [31] 田甲春, 田世龙, 李守强, 等. 低 O₂ 高 CO₂ 贮藏环境对马铃薯块茎淀粉-糖代谢的影响[J]. 核农学报, 2021, 35(8): 1832-1840.
- [32] 田甲春, 田世龙, 李守强, 等. 低氧高二氧化碳贮藏环境对马铃薯品质的影响[J]. 食品科学, 2020, 41(15): 275-281.
- [33] HERMAN D J, KNOWLES L O, KNOWLES N R. Heat stress affects carbohydrate metabolism during cold-induced sweetening of potato (*Solanum tuberosum* L.)[J]. Planta, 2017, 245(3): 563-582.
- [34] HERMAN D J, KNOWLES L O, KNOWLES N R. Low oxygen storage modulates invertase activity to attenuate cold-induced sweetening and loss of process quality in potato (*Solanum tuberosum* L.)[J]. Postharvest Biology and Technology, 2016, 121: 106-117.
- [35] 张敏欢, 王莉梅, 王治洲, 等. 静电场结合自发气调包装对马铃薯贮藏期间的保鲜效果[J]. 食品科学, 2019, 40(9): 269-275.

- [36] 李 智, 余远江. 气调保鲜技术在肉制品中的应用进展[J]. 轻工科技, 2016(6): 10-13.
- [37] 刘承灏, 董佳佳, 罗 玲, 等. 电磁场辅助低温处理对肉品质影响的研究进展[J]. 食品研究与开发, 2023, 44(13): 219-224.
- [38] 周 立. 羊肉低温气调包装保鲜技术及腐败机制研究[D]. 成都: 成都大学, 2023.
- [39] 杨 江, 曾钰冷, 熊哲民, 等. 恩施黑猪生鲜肉气调保鲜技术及其贮藏品质的研究[J]. 肉类工业, 2021(9): 18-23.
- [40] 茶含颖. 复合保鲜技术对鸡肉的理化特性及细菌群落的影响[D]. 昆明: 云南农业大学, 2023.
- [41] 李 鸣, 王虎虎, 徐幸莲, 等. 贮藏温度对气调包装白切鸡保鲜效果的影响[J]. 食品工业科技, 2018, 39(20): 261-267.
- [42] 林 菊. 鲜猪肉气调贮藏保鲜技术研究[D]. 南昌: 江西农业大学, 2013.
- [43] MOREIRA M J, OLIVEIRA I, SILVA J A, et al. Safety and quality assessment of roasted pork loin obtained by cook-chill system and packed in modified atmosphere [J]. LWT-Food Science & Technology, 2019, 101: 711-722.
- [44] 陈东杰. 气调包装对冷却猪肉菌相影响与货架期预测模型[D]. 泰安: 山东农业大学, 2017.
- [45] KUULIALA L, HAGE Y A, IOANNIDIS A G, et al. Micro-biological, chemical and sensory spoilage analysis of raw Atlantic cod (*Gadus morhua*) stored under modified atmospheres[J]. Food Microbiology, 2018, 70: 232-244.
- [46] 高 海. 红肉鱼与白肉鱼鱼肉的气调包装冷藏保鲜的比较研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2017.
- [47] 刘 扬. 鲟鱼片气调保鲜技术研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2008.
- [48] 曾 勇, 黄 信, 李星星, 等. 华南地区浅圆仓气调控温应用试验[J]. 粮食与经济, 2023, 48(6): 91-93.
- [49] 元世昌, 黄亚伟, 王若兰, 等. 充氮气调对优质稻黄变及品质的影响研究[J]. 粮油食品科技, 2019, 27(4): 57-61.
- [50] 王 贺, 孙晟源, 鲁玉杰, 等. 充氮气调储藏对普通晚粳大米品质的影响[J]. 湖南农业科学, 2022, 23(4): 6-14.
- [51] 张崇霞, 严晓平, 叶真洪, 等. 氮气气调对不同含水量大豆保鲜效果研究[J]. 中国粮油学报, 2016, 31(1): 80-84.
- [52] 李伶俐, 滕金玲, 姜建国, 等. 氮气气调对大豆及大豆抽提油脂品质变化研究[J/OL]. 中国油脂, 1-8 (2024-01-12)[2025-05-13]. <https://doi.org/10.19902/j.cnki.zgyz.1003-7969.230490>.
- [53] 朱广飞, 李 卫, 张永立, 等. 气调条件下油茶籽贮藏品质变化动力学研究[J]. 包装与食品机械, 2023, 41(6): 46-52.
- [54] 郭轩宇, 谢 军, 张学娣, 等. 二氧化碳气调技术对浅圆仓大豆储藏效果的影响[J]. 中国油脂, 2023, 48(10): 148-152.
- [55] 朱庆贺, 张来林, 王书礼, 等. 气调储藏对芝麻生理品质影响的研究[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2015, 36(1): 67-71, 84.
- [56] 田 茜, 段乃彬, 张文兰, 等. 氩气贮藏对玉米种子老化过程中活力及生理特性的影响[J]. 山东农业科学, 2020, 52(6): 119-123.