

# 《脱水蔬菜辐照杀菌工艺》编制说明

## （征求意见稿）

### 一、工作简况，包括任务来源、制定背景、起草过程等；

#### （一）任务来源

本标准由浙江省农业科学院提出修订，经国家标准化管理委员会批准，于2023年12月28日下达2023年国家标准复审修订计划的通知（国标委发[2023]64号），批准国家标准《脱水蔬菜辐照加工技术规程》（计划号：20233177-T-326）修订。因该标准名称与同期修订的其他辐照加工类国家标准名称不统一，为保持该系列名称一致性，更好地延续原标准，于2024年12月30日向农业农村部农产品加工标准化技术委员会申请修改标准名称为《脱水蔬菜辐照杀菌工艺》。

本标准由浙江省农业科学院、台州鸿博辐照科技有限公司、四川省原子能研究院、浙江韩情辐照技术有限公司、台州翼龙绿色农产品有限公司、浙江大学、兴化顶康食品科技有限公司共同起草。

主要起草人为：

#### （二）制定背景

蔬菜干制品是以新鲜蔬菜为原料，经晾晒、干燥等脱水工艺加工制成的，包括干制蔬菜粉。本标准所指脱水蔬菜对应于国家市场监督管理总局根据《食品生产许可管理办法》制定的食品生产许可分类管理目录中的蔬菜干制品（1602），包括自然干制蔬菜、热风干燥蔬菜、冷冻干燥蔬菜、蔬菜脆片、蔬菜粉及制品。也对应于GB 2760中的“食品分类系统”干制蔬菜（04.02.02.02）。目前，生产贸易量大的主要两大类，一是热风干燥蔬菜（AD蔬菜），使用烘干脱水机制作出的脱水蔬菜，包括清洗、漂烫、切割、烘干等过程；二是真空冷冻干燥蔬菜（FD蔬菜），使用冷冻脱水机制作出的脱水蔬菜，包括清洗、漂烫、切割、冷冻、真空干燥等过程。NY/T 1045规定了不同工艺脱水蔬菜的水分含量，冷冻干燥脱水蔬菜 $\leq 6.0$ ，热风干燥及其他工艺脱水蔬菜 $\leq 8.0$ ，干制蔬菜 $\leq 15.0$ 。

脱水蔬菜是蔬菜脱水后其水分含量降至4%~15%，水分活度降至0.7左右，使

微生物和酶处于不活动状态，与新鲜原料相比，质量减轻6~20倍，产品一般3~10min 内即可复鲜，复水比为1:3.5~10.5。脱水蔬菜作为蔬菜深加工产品的一种，具有质量轻、食用方便、贮存时间长、营养成分不流失等优点。随着脱水技术的进步，脱水蔬菜能够保留98%的营养成分，保存期通常在一年以上，如密封或真空包装结合低温贮藏可达2~3年，已成为食品加工业的重要原材料，也是一种适应现代人快节奏、高效率生活方式的流行食品。我国蔬菜资源丰富，质优价廉，劳动力成本远低于发达国家，脱水蔬菜在国际市场上有着很强的竞争优势，作为脱水蔬菜生产主要货源地，在国际市场占有很大的份额，出口量达10万吨以上，约占世界脱水蔬菜总产量的60%以上，且需求量逐年增加。

新鲜蔬菜在生长、采摘、加工、储运各阶段都会受到微生物污染和昆虫危害，目前使用的脱水加工技术如常压热风、真空冷冻、微波、远红外等难以杀灭所有病原微生物和昆虫。如果采用化学熏蒸会产生残留或环境污染问题，使用高温灭菌会影响产品的香味和色泽。辐照技术属于常温下的物理杀菌，不升高灭菌产品的温度且能耗很低、不拆包装、杀灭彻底，不会产生二次污染、化学残留。1979年国际食品法典委员会就发布了《食品辐照加工推荐性国际操作规范（CAC/RCP 19-1979, Rev. 2-2003）》，1983年国际食品辐照咨询组发布了《辐照食品国际通用标准（CODEX STAN 106-1983, Rev. 1-2003）》，目前，许多国家都采用辐照技术进行杀虫灭菌，提高卫生质量，控制食源性疾病。因此，利用辐照技术控制脱水蔬菜微生物是一种快捷彻底的绿色环保的加工方法。

脱水蔬菜辐照杀菌工艺是脱水蔬菜辐照技术推广和应用的重要基础，20多年来，《GB/T 18526.3-2001 脱水蔬菜辐照杀菌工艺》一直应用于脱水蔬菜辐照杀菌商业化加工，对保障脱水蔬菜产品的质量安全，提高市场竞争力，扩大出口贸易都发挥了积极意义。但随着脱水蔬菜产品类型的逐渐丰富和生产工艺的更新，GB/T 18526.3-2001标准已不能完全满足脱水蔬菜产品辐照加工的需求，标准中对脱水蔬菜产品要求的含水量 $<13\%$ ，而目前生产上AD蔬菜，除一些特殊品类的含水量在8~15%之间，其含水量要求应不超过8.0%；FD蔬菜的含水量要求应不超过6.0%；自然干制蔬菜要求应不超过15.0%。GB/T 18526.3-2001引用的标准GB 4789.2-1994、GB 4789.3-1994、GB 4789.4-1994、GB 4789.5-1994、GB 4789.6-1994、GB 4789.10-1994、GB 4789.11-1994、GB/T 18524-2001均已修订。另一方面脱水蔬菜相关行业标准对脱水蔬菜微生物检测要求也发生变化，《NY/T

959-2006 脱水蔬菜 根菜类》、《NY/T 960-2006 脱水蔬菜 叶菜类》只要求检测菌落数和大肠菌群、致病菌（系指肠道致病菌及致病性球菌），《NY/T 1393-2007 脱水蔬菜 茄果类》要求检测菌落数、大肠菌群、霉菌、致病菌（沙门氏菌、志贺氏菌、金黄色葡萄球菌、溶血性链球菌），《NY/T 3269-2018 脱水蔬菜 甘蓝类》要求检测菌落数、大肠菌群、沙门氏菌、金黄色葡萄球菌，《NY/T 1045-2014 绿色食品 脱水蔬菜》要求检测菌落数、大肠菌群、霉菌、致病菌（沙门氏菌、金黄色葡萄球菌、大肠埃希氏菌）。另外，随着电子加速器装置的迭代更新，《GB/T 40590 辐射加工用电子加速器装置运行维护管理通用规范》于2021年10月发布。

因此，为促进脱水蔬菜产业发展，降低脱水蔬菜微生物水平，延长脱水蔬菜货架期和减少食源性疾病，保证其食用安全性，同时也规范辐照技术在脱水蔬菜产品加工产业中的应用，开展脱水蔬菜辐照杀菌工艺的标准修订。这不仅可提升脱水蔬菜生产企业的产品质量，也为辐照加工单位生产应用提供技术依据，具有较好的社会经济效益。

### （三）起草过程

#### 1. 前期准备

本标准的主要内容是脱水蔬菜的辐照杀菌工艺剂量的确定。在编写标准之前，起草人员首先收集国内外相关方面的辐照加工资料，走访调研相关企业并取样进行初始微生物检测。此外，在标准制定过程中，结合多年来标准起草单位、协作单位以及其他相关辐照加工和脱水蔬菜生产企业根据 GB/T 18526.3-2001《脱水蔬菜辐照杀菌工艺》开展脱水蔬菜辐照加工产业化应用实践，针对产量较大的脱水蔬菜品类进行了辐照品质效应、辐照杀菌等关键参数的补充和验证。

此外，根据标准起草组在总结前期利用  $^{60}\text{Co}$ - $\gamma$  射线和电子束辐照加工脱水蔬菜产品的产业化应用实践，为此次修订 GB/T 18526.3 的脱水蔬菜辐照加工工艺供了较好的理论支撑和应用基础。在标准修订过程中，参考我国前期发布的 GB/T 18526.3-2001 等有关辐照加工方面的标准，并严格执行了有关标准编写的要求。

#### 2. 方法建立

首先在加工厂源头收集市场上产销量较大的几类脱水蔬菜；对不同品类脱水蔬菜进行辐照品质效应分析和辐照杀菌验证；结合近年来的国内外研究进展，最终建立规范性实用性的脱水蔬菜辐照杀菌工艺。

### 3. 文本起草和征求意见

标准编制过程按照 GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的要求，并参照 GB/T 20000.1-2014《标准化工作指南 第1部分：标准化和相关活动的通用术语》的规定要求进行制定。遵循全面、科学、合理和可行的原则，辐照杀菌工艺和辐照对脱水蔬菜品质的影响等关键性技术指标的确定以试验数据和实践为依据，力求做到规范、科学，关键技术参数的规定和相关技术条款符合辐照加工单位实际情况。

### 4. 标准文本的完善与送审

**二、国家标准编制原则、主要内容及其确定依据，修订国家标准时，还包括修订前后技术内容的对比；**

#### **（一）标准编制原则**

本标准的制定过程中遵循了以下几项原则：

##### **1. 科学性**

脱水蔬菜产品的卫生质量直接关系到消费者的健康安全和储藏安全，因此，辐照杀菌工艺的确定务必具科学性，在辐照最低剂量和最高耐受剂量的确定、辐照对产品质量影响的判断等方面首先确保科学，在标准适用范围规定的界限内力求完整，在标准文本编制过程中力求做到技术内容的表述科学准确、清晰易懂。

##### **2. 先进性**

对标准中有关内容的确定，严格遵守我国核安全法等法律法规及相关规章制度的要求，力求反映脱水蔬菜辐照杀菌研究领域的国内外先进技术及标准的发展现状与趋势，既体现目前稳定可靠的最新研究成果，又能为未来技术发展提供框架。

##### **3. 适用性**

在标准的工艺操作程序方面，始终把经济实用和可操作性作为重要的依据，确保标准的内容便于实施，并且易于被其他标准和文件引用。使标准中所规定的技术内容有利于提高脱水蔬菜产品卫生的安全性和辐照加工企业的实用性。

#### **（二）主要内容及其确定依据**

## 1.脱水蔬菜辐照杀菌的最低有效剂量

不同品类脱水蔬菜因生长环境、食用部位等客观条件差异，其初始微生物数量差异较大，试验中微生物检验采样和检样处理按照GB 4789.46执行。

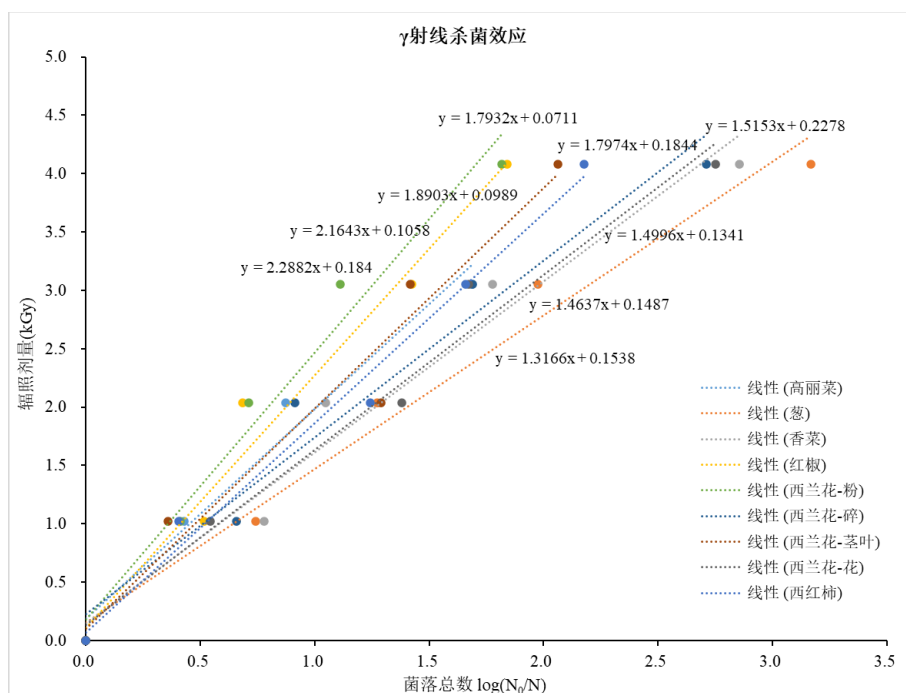


图1 脱水蔬菜γ辐照剂量与菌落总数对数关系

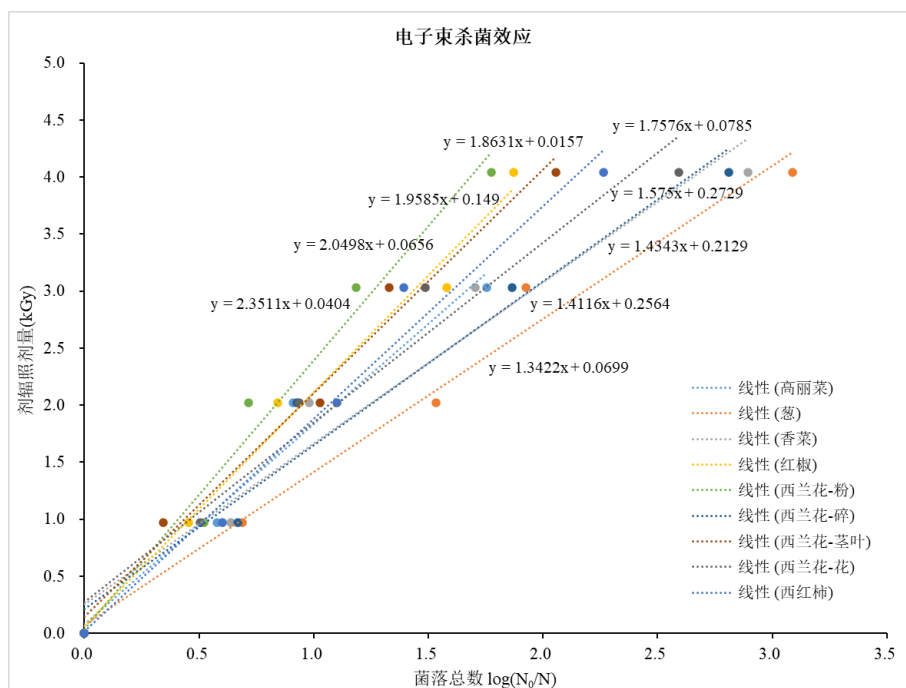


图2 脱水蔬菜电子束辐照剂量与菌落总数对数关系

供试的脱水蔬菜样品除高丽菜外，初始微生物数量均 $>10^4$ CFU/g。高丽菜因生产工艺中烘干温度较高，初始微生物数量较低，为 $5 \times 10^2$  CFU/g；西兰花-碎和

红椒初始微生物数量较高，分别为 $5.05 \times 10^5$ 、 $3.25 \times 10^5$  CFU/g，其他供试品类初始微生物数量均在 $1 \times 10^5 \sim 3 \times 10^5$  CFU/g之间。初始微生物数与辐照后存活数比值的对数与辐照剂量成线性关系，分析不同剂量的 $\gamma$ 射线处理高丽菜、西红柿、红椒、葱、香菜、西兰花-花、西兰花-茎叶、西兰花-碎、西兰花-粉的杀菌效应，菌落总数的 $D_{10}$ 值分别为：1.80、1.79、2.16、1.32、1.46、1.50、1.89、1.51、2.29 kGy（图1），电子束处理的杀菌效应，菌落总数的 $D_{10}$ 值分别为：1.76、1.86、2.05、1.34、1.41、1.58、1.96、1.43、2.35 kGy（图2）。从图1和图2脱水蔬菜的杀菌效应上看， $\gamma$ 射线处理与电子束处理基本一致。

检测结果表明，目前的生产工艺加工的脱水蔬菜，含水量较低，霉菌总数均较低，检测最高的为西兰花-粉  $6.64 \times 10^2$  CFU/g，其他品类均 $<500$  CFU/g。部分样品批次有大肠杆菌污染，菌数为  $10^3$  CFU/g。在辐照实践中，因大肠杆菌的  $D_{10}$  值远远低于上述各产品的菌落总数函数中的  $D_{10}$  值，金黄色葡萄球菌的  $D_{10}$  值也较低，一般不超过 0.5 kGy。因此在产品批量辐照灭菌时，可根据初始平均菌落总数和实际测出的  $D_{10}$  值，乘以产品辐照质量保障系数 1.1~1.4，供试产品中电子束辐照的西兰花-粉  $D_{10}$  值最高为 2.35 kGy，该产品也是抽样中初始菌落总数较高的样品之一；供试产品中西兰花-碎和红椒的初菌落总数最高分别为  $5.05 \times 10^5$ 、 $3.25 \times 10^5$ ， $D_{10}$  值分别为 1.51、2.16 kGy。1 个  $D_{10}$  值就可使微生物减少 1 个数量级，符合 NY/T 959《脱水蔬菜 根菜类》、NY/T 960《脱水蔬菜 叶菜类》、NY/T 1045《绿色食品 脱水蔬菜》、NY/T 1393《脱水蔬菜 茄果类》、NY/T 3269《脱水蔬菜 甘蓝类》相关脱水蔬菜标准中要求菌落总数 $<10^5$  CFU/g 的规定；4.0 kGy 剂量辐照后菌落总数 $<10^4$  CFU/g，符合 GB 7099-2015《食品安全国家标准 糕点、面包》、GB 7100-2015《食品安全国家标准 饼干》、GB 17400-2015《食品安全国家标准 方便面》等 5 次抽检中菌落总数在  $10^4 \sim 10^5$  CFU/g 间不能超过 2 次的规定，满足相关下游企业生产要求。

综上所述，建议脱水蔬菜辐照杀菌的最低有效剂量 4.0 kGy，与《GB/T 18526.3-2001 脱水蔬菜辐照杀菌工艺》的规定一致。

### 3.脱水蔬菜辐照的最高耐受剂量

#### （1）辐照对脱水蔬菜主要成分含量的影响

结合文献报道，开展产品辐照验证试验，检测经0、2、4、6、8、10 kGy辐照处理后的高丽菜、西红柿、红椒、葱、香菜、西兰花粉的蛋白质、 $\beta$ -胡萝卜素、Vc含量，检测委托第三方进行，检测方法分别按GB 5009.5-2016、GB 5009.83-2016、GB 5009.86-2016规定执行。

**表1 辐照对脱水蔬菜蛋白质含量的影响 (g/100g)**

| 处理剂量<br>(kGy) | 高丽菜  | 西兰花  | 葱    | 香菜   | 西红柿  | 红椒   |
|---------------|------|------|------|------|------|------|
| CK            | 5.01 | 23.7 | 11.2 | 12.5 | 14.0 | 10.8 |
| 2.0           | 4.90 | 23.6 | 11.2 | 12.6 | 13.5 | 10.8 |
| 4.0           | 4.93 | 23.7 | 10.9 | 12.5 | 13.5 | 10.9 |
| 6.0           | 4.99 | 24.0 | 11.0 | 12.4 | 13.6 | 10.9 |
| 8.0           | 4.88 | 24.0 | 10.9 | 12.6 | 13.4 | 10.7 |
| 10.0          | 4.97 | 24.0 | 11.0 | 12.5 | 13.9 | 10.5 |

注：委托浙江方圆检测集团股份有限公司检测。

**表2 辐照对脱水蔬菜VC含量的影响 (mg/100g)**

| 处理剂量<br>(kGy) | 高丽菜  | 西兰花  | 葱    | 香菜  | 西红柿  | 红椒  |
|---------------|------|------|------|-----|------|-----|
| CK            | 80.8 | 39.6 | 57.0 | 124 | 41.3 | 522 |
| 2.0           | 75.3 | 39.2 | 51.3 | 119 | 42.6 | 510 |
| 4.0           | 72.5 | 38.8 | 49.9 | 117 | 40.8 | 523 |
| 6.0           | 60.4 | 37.5 | 46.6 | 110 | 39.9 | 499 |
| 8.0           | 57.6 | 32.9 | 47.3 | 102 | 37.6 | 484 |
| 10.0          | 53.5 | 27.9 | 44.0 | 101 | 38.7 | 440 |

注：委托浙江方圆检测集团股份有限公司检测。

**表3 辐照对西红柿和红椒 $\beta$ -胡萝卜素含量的影响 ( $\mu\text{g}/100\text{g}$ )**

| 处理剂量 (kGy) | 西红柿                | 红椒                 |
|------------|--------------------|--------------------|
| CK         | $1.85 \times 10^3$ | $5.45 \times 10^3$ |
| 2.0        | $1.91 \times 10^3$ | $5.50 \times 10^3$ |
| 4.0        | $1.92 \times 10^3$ | $5.04 \times 10^3$ |
| 6.0        | $1.81 \times 10^3$ | $5.29 \times 10^3$ |
| 8.0        | $1.64 \times 10^3$ | $5.42 \times 10^3$ |
| 10.0       | $1.52 \times 10^3$ | $5.08 \times 10^3$ |

注：委托浙江方圆检测集团股份有限公司检测。

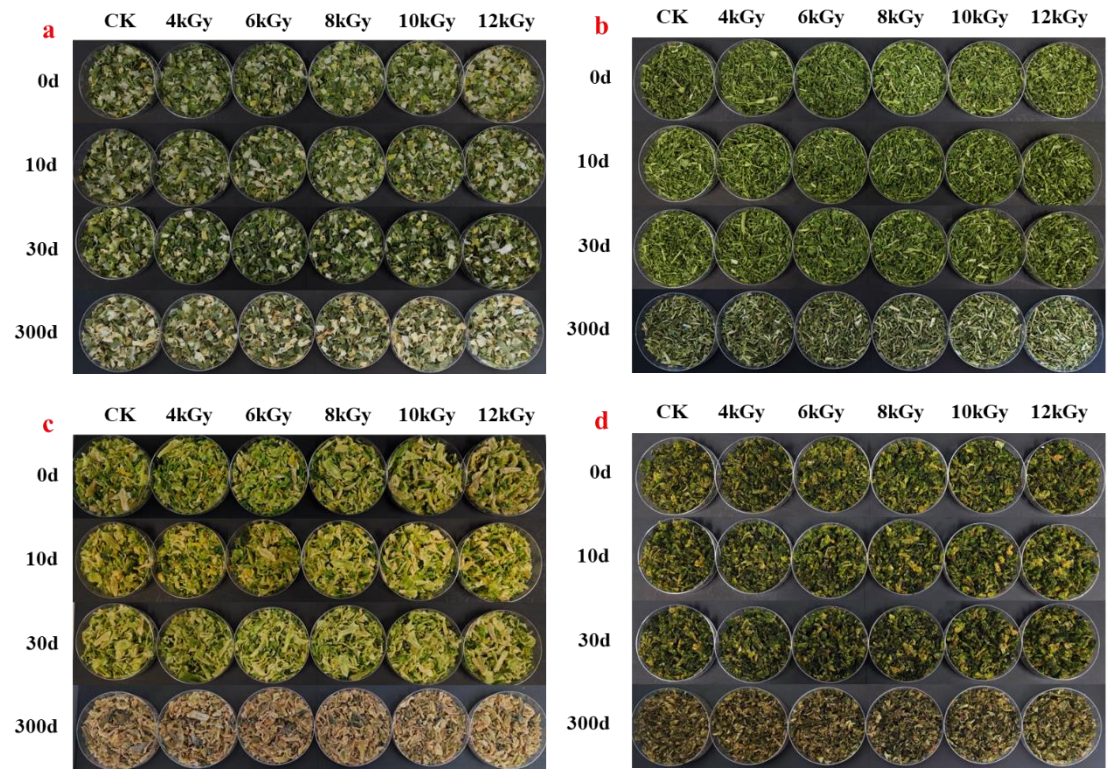
辐照处理对脱水蔬菜各理化品质影响的不同（表1-3），辐照处理对供试脱水蔬菜的蛋白质含量均无明显影响，较高剂量辐照对脱水蔬菜VC含量有较大的

影响，8.0 kGy辐照处理后的高丽菜、西兰花、葱、香菜、西红柿、红椒VC含量较CK分别下降了28.71%、16.92%、17.02%、17.74%、8.96%、7.28%，10.0 kGy辐照处理后较CK分别下降了33.79%、29.55%、22.81%、18.55%、6.3%、15.71%，辐照处理对西红柿VC含量影响较小。较高剂量处理对西红柿和红椒的 $\beta$ -胡萝卜素含量略有影响。综合分析结果，辐照不影响脱水蔬菜蛋白质含量，较高剂量辐照会降低VC含量但不影响 $\beta$ -胡萝卜素含量。由于VC在新鲜植物组织中其含量是可变的，且在有氧环境中本身损失也较大，辐照造成的损失不一定会比自然环境下保存的蔬菜损失大。

检测结果表明，10 kGy及其以下辐照对脱水蔬菜的蛋白质含量均无明显影响；VC含量随着辐照剂量的增加而下降，但不同产品下降幅度不一。

### (2) 辐照对脱水蔬菜外观品质的影响

试验剂量范围内，低剂量辐照对外观品质没有肉眼可见变化，较高剂量条件下，绿色、红色蔬菜均随着剂量的增加颜色略变浅，这种色泽的差异不及产品自然色泽差异，在感官上并不明显；在贮藏过程中外观品质变化也与CK间差异不明显（图3）。



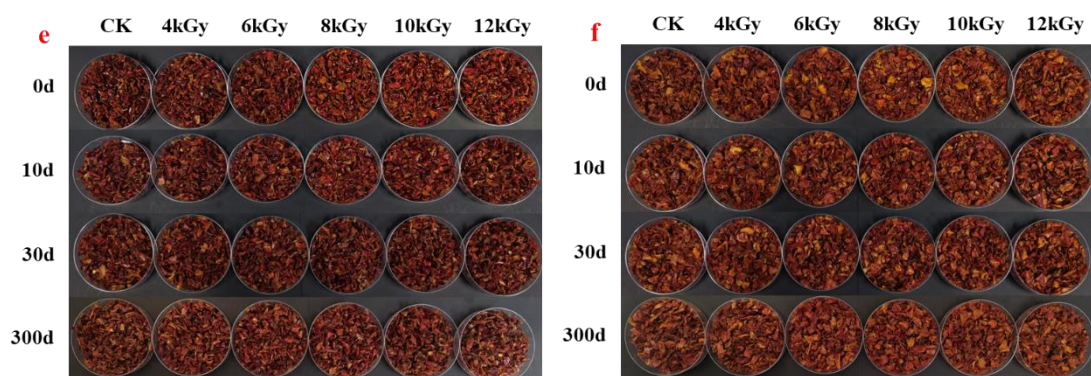


图 3 辐照对脱水蔬菜外观品质的影响

叶绿素是一种需要水分参与合成的色素，随着脱水过程中水分的减少，叶绿素的合成受到抑制在贮存过程中逐渐分解，而相对稳定、不需要水分参与的类胡萝卜素则保留下来；另一方面，环境中的光和氧也会导致绿色组织中的叶绿素不可逆地分解，产生单线态氧和羟基自由基等活性中间体，进一步破坏卟吩环，导致绿色褪去，黄色的类胡萝卜素显现出来。随着贮存时间的增加，绿色的脱水蔬菜颜色从绿色逐渐转为黄色（图3a、图3b、图3c、图3d）。红椒、西红柿等红色脱水蔬菜中的红色物质主要为类胡萝卜素和番茄红素，相对稳定，供试样品在试验的贮存期内变化不明显（图3e、图3f）。

### （3）辐照对脱水蔬菜复水比的影响

脱水蔬菜的复水性能直接影响其食用品质，复水比是指脱水蔬菜吸水后的重量与吸水前重量的比值。通常也用复水过程中的吸水能力来评估脱水蔬菜制品的品质。不同辐照剂量处理对葱、西红柿、香菜、红椒、高丽菜的复水比没有显著影响，但 $\geq 6$  kGy的剂量处理显著增加了西兰花-花的复水比， $\geq 10$  kGy的剂量处理显著增加了西兰花-茎叶的复水比。复水比增加表示脱水蔬菜吸收的水分越多，恢复程度越好，表明辐照不影响脱水蔬菜的复水性，高剂量辐照可能会增加脱水蔬菜的复水性能。

表4 不同辐照剂量处理对脱水蔬菜复水比的影响

| 品名     | CK          | 2 kGy        | 4 kGy        | 6 kGy        | 8 kGy        | 10 kGy      |
|--------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|
| 葱      | 4.59±0.19 a | 4.61±0.25 a  | 4.60±0.17 a  | 4.46±0.10 a  | 4.52±0.16 a  | 4.48±0.11 a |
| 西红柿    | 2.72±0.14 a | 2.65±0.12 a  | 2.80±0.20 a  | 2.69±0.13 a  | 2.80±0.12 a  | 2.81±0.09 a |
| 香菜     | 4.03±0.08 a | 3.88±0.14 a  | 4.02±0.01 a  | 3.97±0.08 a  | 3.89±0.03 a  | 3.98±0.14 a |
| 红椒     | 3.73±0.13 a | 3.66±0.13 a  | 3.71±0.15 a  | 3.59±0.20 a  | 3.67±0.19 a  | 3.63±0.07 a |
| 高丽菜    | 3.62±0.11 a | 3.53±0.09 a  | 3.48±0.12 a  | 3.54±0.03 a  | 3.53±0.09 a  | 3.60±0.06 a |
| 西兰花-花  | 4.26±0.09 b | 4.48±0.07 b  | 4.48±0.17 b  | 4.84±0.25 a  | 4.90±0.13 a  | 4.79±0.11 a |
| 西兰花-茎叶 | 4.24±0.21 b | 4.34±0.23 ab | 4.31±0.25 ab | 4.35±0.14 ab | 4.40±0.09 ab | 4.64±0.23 a |

品质与外观试验结果表明, 10.0 kGy及其以下辐照对脱水蔬菜的主要成分含量没有明显影响, 辐照不影响脱水蔬菜的复水性, 高剂量辐照可能会增加脱水蔬菜的复水性能, 12.0 kGy剂量辐照后色泽与对照没有明显差异, 建议脱水蔬菜的最高耐受剂量10.0 kGy, 与《GB/T 18526.3-2001 脱水蔬菜辐照杀菌工艺》的规定一致。

综上所述, 脱水蔬菜辐照杀菌的工艺剂量为: 最低有效剂量 4.0 kGy, 最高耐受剂量 10.0 kGy。具体可根据实际辐照目的和卫生质量确定。为更好地维持产品品质, 辐照时尽量采用该工艺所需的最低有效剂量, 剂量不均匀度应满足辐照工艺剂量要求。

### (三) 修订前后技术内容的对比

#### 1.增加了“工艺剂量”“剂量不均匀度”等术语和定义

见本标准第3章, 2001年版的第3章。

工艺剂量 (technological dose): 为达到预期辐照目的所设定的吸收剂量范围, 其下限值不低于最低有效剂量, 上限值不高于最高耐受剂量。

剂量不均匀度 (dose uniformity ratio): 加工负荷内最大吸收剂量和最小吸收剂量之比。

#### 2.更改了“辐照源”的要求

见本标准第4章, 2001年版的第5章。

食品辐照可用的电离辐射源为<sup>60</sup>Co或<sup>137</sup>Cs放射性核素产生的γ射线、电子加速器产生的能量不高于10 MeV的电子束以及电子加速器产生的能量不高于5 MeV的X射线。

#### 3.增加了“辐照工艺的确定”

见本标准第5章, 2001年版的第5章。

(1) 应根据脱水蔬菜种类、辐照目的和卫生质量要求确定辐照工艺剂量。按照所设定的辐照工艺剂量进行辐照, 应保证不影响产品的食用品质和功能特性。

(2) 脱水蔬菜杀菌工艺剂量范围一般应在4.0~10.0 kGy之间, 具体可根据实际辐照目的和卫生质量确定, 但最高不超过10.0 kGy。

(3) 应根据辐照加工产品的包装规格及辐照容器的形式确定装载模式, 不同的脱水蔬菜应单独建立装载模式。

(4) 应根据以上结果制定辐照工艺文件, 工艺文件应包括工艺剂量、装载模式、设备运行参数、监测剂量计的位置等内容。

#### **4.增加了“辐照过程”的要求**

见本标准第6章。

(1) 根据辐照工艺文件要求设定设备运行参数、装载模式及产品翻转形式组织加工, 并对加工装置、相关参数和在线产品流转过程实施监控和记录。

(2) 根据辐照工艺要求布放监测剂量计进行测量和记录, 剂量测量系统按GB/T 16640的规定选择, 并定期溯源至国家吸收剂量标准。

(3) 加工中断应评估对产品吸收剂量造成的影响, 应对后续处理过程进行记录。

#### **5.更改了辐照后的“贮存”**

见本标准第7章, 2001年版的第6章。

已辐照加工产品和未辐照加工产品应分区存放。贮藏环境符合脱水蔬菜的卫生要求。

#### **6.删除了“辐照后产品质量”**

见2001年版的第7章。

#### **7.增加了辐照后“工艺剂量确认”的要求**

见本标准第7章。

(1) 在确认辐照加工产品的监测剂量满足工艺剂量要求且加工过程无其它异常后方可放行。

(2) 当出现不符合工艺剂量要求或其他不合格情形时, 应按照不合格品管理程序要求进行处理。

#### **8.增加了“记录和文件管理”的要求**

见本标准第8章。

所有记录文件应妥善保管, 在食品的保质期内备查, 应至少保存2年。

#### **9.删除了“标识”**

见2001年版的第8章。

#### **10.删除了“重复辐照”**

见2001年版的第9章。

### 三、试验验证的分析、综述报告，技术经济论证，预期的经济效益、社会效益和生态效益

#### （一）脱水蔬菜辐照杀菌研究进展和试验验证的分析

1980年10月，FAO/WHO/IAEA组织的联合专家委员会宣布吸收剂量在10 kGy以下的任何辐照食品都是安全的，无需做毒理学试验，目前，已有60多个国家出台了法律或法规，允许对包括香料、谷物、水果、蔬菜和肉类在内的食品进行辐照。40多年来，辐照技术广泛地应用于脱水蔬菜的杀虫杀菌，在预防食源性疾病的发生与流行，防止产品腐变，延长货架期和储存期都发挥了积极作用，是一种可行的加工工艺。

国际食品辐照顾问组在1991年指出肠道杆菌对辐射十分敏感，在调味品中4~6 kGy即可把其杀灭；阻止昆虫卵和幼虫在香料和蔬菜调味料中进一步发育所需的吸收剂量低于1 kGy<sup>[1]</sup>，因此在杀菌的同时已将可能存在的害虫杀死。周其昌等（1996）对绿豆芽、甘兰菜进行0~10 kGy剂量的 $\gamma$ 辐照处理，结果表明短小芽孢杆菌的D<sub>10</sub>值为1.45 kGy，大肠杆菌的D<sub>10</sub>值为0.55 kGy；当辐照剂量为5 kGy时，甘兰菜的细菌总数、霉菌和大肠杆菌均未检出，而绿豆芽需辐照7 kGy，才达到灭菌目的，贮存一年后也均未检出<sup>[2]</sup>，该研究结果为编制GB/T 18526.3-2001提供了技术支撑。谢宗传等（1995）报道了江苏地区对每年生产的香葱、大蒜、胡萝卜、辣椒、芹菜、洋葱等10余个品种537吨，经 $\gamma$ 射线6~10 kGy辐照后均能达到产品标准<sup>[3]</sup>。刘伟等（1999）对脱水胡萝卜、青葱、青梗菜、蒜粉等以0~10 kGy剂量的 $\gamma$ 射线处理，脱水蔬菜经4~8 kGy剂量辐照后，常温保藏1 a，其微生物指标均符合企业产品质量卫生标准<sup>[4]</sup>。傅俊杰等（2000）对脱水胡萝卜、青梗菜、豆芽菜等以0~10 kGy剂量的 $\gamma$ 射线处理，确定胡萝卜辐照杀菌剂量为10 kGy，青梗菜和豆芽菜辐照杀菌剂量为6 kGy，可有效地杀灭产品中的病原微生物，达到食品卫生标准<sup>[5]</sup>。林音等（2001）报道了6 kGy辐照可以使调味品和脱水蔬菜中的大肠菌群最可能数（MPN）符合国家卫生标准的要求<sup>[6]</sup>。翟建青等（2004）对脱水高丽菜、胡萝卜粒、香葱等进行不同剂量的 $\gamma$ 射线处理，结果表明高丽菜的D<sub>10</sub>值为1.55 kGy，胡萝卜粒的D<sub>10</sub>值为2.04 kGy，香葱的D<sub>10</sub>值为1.28 kGy<sup>[7]</sup>。Pezzutti等（2005）以5~25 kGy剂量的 $\gamma$ 射线处理初始菌落数分别为 $1.4 \times 10^3 \sim 2.7 \times 10^5$  CFU/g、 $3.5 \times 10^4 \sim 4.6 \times 10^5$  CFU/g的脱水大蒜和洋葱，10 kGy的剂量就能将大

蒜中的微生物计数降低到几乎无法检测出的水平, 5 kGy剂量的应用足以将洋葱的微生物污染降低到不可检测的水平, 且该剂量可确保在任何发育阶段都能消灭干洋葱中意外出现的昆虫<sup>[8]</sup>。付立新等(2010)的研究表明脱水蘑菇、木耳、豆角丝、胡萝卜丝等经过6~8 kGy的剂量处理后, 可使储藏期达到1 a以上, 不生虫、不霉变<sup>[9]</sup>。Wei等(2014)以2.0 kGy剂量的电子束处理杏仁, 其霉菌酵母数立即减少约0.55个对数, 当处理剂量为3.0~5.0 kGy 时, 霉菌酵母数降低至检测限以下<sup>[10]</sup>。Jung 等人(2015)报道了用电子束处理红辣椒粉, 6 kGy的剂量可以使细菌降低2个对数值, 而10 kGy的处理可将微生物存活数降至检测线以下<sup>[11]</sup>。Yamaoki等人(2018)报道, 7 kGy的电子束处理姜黄粉, 可使需氧菌从 $10^7$  CFU/g减少到 $1 \times 10^3$  CFU/g<sup>[12]</sup>。Esmaeili 等(2018)利用 $\gamma$ 射线处理姜黄粉, 发现在处理中氧气的存在并未改变辐照杀菌的效率<sup>[13]</sup>。李淑荣(2018)研究结果表明番茄、胡萝卜、营养肉汤的大肠杆菌D<sub>10</sub>值分别为88、132、162 Gy, 番茄、胡萝卜、营养肉汤、芹菜花生、盒装豆腐、冷却肉、冷冻肉沙门氏菌D<sub>10</sub>值分别为243、334、315、284、240、410、535 Gy<sup>[14]</sup>。Mohammad 等(2019)报道了在电子束处理过程中, 当包装袋内存在氧气时, 杏仁表面的沙门氏菌灭活效率更高<sup>[15]</sup>。郭建(2021)研究发现胡萝卜粉经电子束(0~10 kGy)处理, 微生物数量随着辐照剂量的升高而线性降低, 在84 d 贮藏期间微生物数量(细菌和霉菌酵母数)没有发生显著变化<sup>[16]</sup>。王炳奎等(2023)以0~8 kGy的剂量辐照红薯干, 分析结果表明以常温90 d和360 d货架期为目标时的最低有效剂量分别为4和6 kGy<sup>[17]</sup>。

在辐照对脱水蔬菜产品品质影响方面, 周其昌等(1996)对绿豆芽、甘兰菜进行0~10 kGy不同剂量的辐照处理, 结果显示对粗蛋白和氨基酸含量基本上没有影响, 但VC有所下降<sup>[2]</sup>。傅俊杰(2000)对胡萝卜(0~15 kGy)、青梗菜(0~9 kGy)、豆芽菜(0~9 kGy)进行不同剂量的辐照处理, 结果显示仅15 kGy处理的胡萝卜的氨基酸总量下降了21%, 其他处理的粗蛋白、氨基酸、微量元素均无显著差异<sup>[5]</sup>。梁宏斌(2002)认为50 kGy以下辐照的食品蛋白质营养成分无明显变化, 氨基酸组成稳定; 饱和脂肪一般是稳定的, 不饱和脂肪易氧化, 氧化程度与辐照剂量成正比, 经40~50 kGy 的辐照后脂肪的同化作用和热能价值并不发生改变, 营养价值毫无变化; 20~50 kGy 的剂量不会使糖的品质发生变化; 维生素对辐射较为敏感, 维生素与食品中的其他成分复合存在将会降低对辐射的敏感程度, 20~25 kGy 剂量的辐照对维生素的破坏程度与加热相同<sup>[18]</sup>。Sebastião 等(2002)

的研究结果表明, 经10、20 kGy剂量 $\gamma$ 射线辐照, 对脱水欧芹的 $\beta$ -胡萝卜素和维生素A含量没有减少, 同时 $\beta$ -胡萝卜素的顺式异构体含量也没有增加<sup>[19]</sup>。Topuz等(2004)的研究结果表明, 脱水红辣椒粉经过剂量为10 kGy辐照处理后, 辣椒中的刺激性成分辣椒素、二氢辣椒素和同二氢辣椒碱的含量增加了约10%, 达到差异显著水平<sup>[20]</sup>。Wang等(2005)以10 kGy剂量 $\gamma$ 射线辐照马铃薯, 研究表明, 剂量越大, 维生素C含量越低, 复水率越低。低剂量辐照下马铃薯干品的L颜色值大于非辐照, 在>6 kGy时, 剂量越高, L值越低<sup>[21]</sup>。付立新等(2010)的研究表明辐照处理在6~8 kGy剂量范围内除对蘑菇的粗纤维含量有所下降外, 对粗蛋白、粗脂肪含量没有影响, 从食用的角度来看, 粗纤维含量下降更有利于人体的消化<sup>[9]</sup>。郭建(2021)以5、10 kGy电子束处理胡萝卜粉, 研究发现电子束处理可以显著提高胡萝卜粉的总类胡萝卜素提取率, 酚类物质提取率及甲醇/水提取的抗氧化能力, 电子束处理后水分含量和水分活度显著下降, 颜色参数呈现不规则变化, 感官质量无显著变化。处理后84 d检测, DPPH 抗氧化性和总酚含量较刚处理后显著升高, 不同储存温度及包装之间无显著差异, 总类胡萝卜素含量显著降低, 最高保留率约为66%<sup>[16]</sup>。Bhatnagar等(2022)报道了辐照对石榴、荔枝、苹果、香蕉、猕猴桃以及杏干等多种水果和葱、生菜、红甜菜根等蔬菜的营养、感官和理化性质有影响<sup>[22]</sup>。王炳奎等(2023)以0~16 kGy的剂量辐照红薯干, 分析结果表明 $\gamma$ 射线辐照处理后, 红薯干的可溶性固形物、类胡萝卜素含量和感官指标均未发生显著变化。相同剂量下, 剂量率越高对红薯干的外观影响越大, 电子束剂量率高, 辐照处理后的红薯干外观呈黄白色, 发生了显著变化<sup>[17]</sup>。Cano等(2024年)对干火龙果皮0~30 kGy剂量的 $\gamma$ 射线处理, X射线衍射图谱分析表明, XRD的结构除了存在非晶相外, 还存在纤维素、葡萄糖和其他有机和无机分子的结晶相。晶体和非晶结构不随伽马辐射剂量而变化<sup>[23]</sup>。张祺玲等(2024)分析了<sup>60</sup>Co- $\gamma$ 射线和电子束辐照对辣椒干制品颜色的影响, 结果表明, 0~16 kGy的<sup>60</sup>Co- $\gamma$ 射线辐照后0天, 不会引起干辣椒色差明显差异; 16 kGy<sup>60</sup>Co- $\gamma$ 射线辐照加速了干辣椒非酶褐变, 但降低了辣椒粉非酶褐变、减少了辣椒红色素且红色素降低速率高于黄色素; 电子束辐照对辣椒干制品颜色的影响明显低于<sup>60</sup>Co- $\gamma$ 射线辐照。贮藏30 d后, 辐照处理对干辣椒和辣椒粉的非酶褐变的影响都降低, 电子束辐照对辣椒粉中黄色素的影响大于<sup>60</sup>Co- $\gamma$ 射线辐照; 同剂量的电子束辐照对辣椒干制品颜色的影响明显低于<sup>60</sup>Co- $\gamma$ 射线辐照<sup>[24]</sup>。此外, Tang等

(2021)报道,辣椒、黄瓜、番茄在脱水干燥前经过0.5 kGy  $\gamma$  射线处理后,二嗪磷、毒死蜱和磷胺三种农药的残留减少40%~48%、35%~43%和30%~45%,经1.0 kGy  $\gamma$  射线处理后脱水辣椒、黄瓜、番茄的三种农药含量分别降低了85%~90%, 80%~91%和90%~95%<sup>[25]</sup>。梁宏斌(2002年)报道根据长期与短期动物饲养试验,结合观察临床症状、血液学、病理学、繁殖致畸等项目,未发现辐照食品产生毒性反应及致畸、致癌、致突变现象,用辐照饲料喂养家畜以及用辐照食品长期饲养有免疫缺陷的动物,均未发现任何病理变化<sup>[26]</sup>。

利用辐照破坏微生物和昆虫的细胞结构,抑制其生长和繁殖,控制食源性病原体,减少微生物污染和虫害,提高产品卫生质量。但电离辐照会使产品发生部分化学变化,剂量越高其变化越明显。蔬菜脱水后其含水率为4%~13%,水分活度在0.17左右,低含水率使微生物和酶处于不活动状态<sup>[27]</sup>,所以辐照后营养成份受到直接或间接作用损失较少。国内外研究结果表明,辐照处理在食品组成上所引起的变化对人体健康无害,不会导致食品中的营养成分大量损失。由于VC在新鲜植物组织中其含量是可变的,同时它在有氧环境中本身损失也较大,所以辐照时VC虽然有少量损失但没有直接影响营养,它并不比自然环境下保存的蔬菜损失大。

虽然微生物在受到辐射时所造成的损害,与其所处食品的化学成分、食品添加剂和防腐剂、水分活度等相关,综上所述,已有的国内外研究结果表明,在不超过10 kGy的合适辐照剂量足以达到脱水蔬菜灭菌效果。

本试验验证结果与前人的研究结果基本一致,与 GB/T 18526.3-2001 的工艺剂量一致,建议脱水蔬菜杀菌的最低有效剂量 4.0 kGy,最高耐受剂量 10.0 kGy。

## (二) 技术经济论证

辐照灭菌是一种利用  $\gamma$  射线或电子束辐射,对产品进行杀菌、灭菌和消毒的技术。据统计,截至 2023 年底,我国共有 105 家  $\gamma$  辐照企、事业单位,共有辐照装置 120 座,总设计装源量 1.9 亿 Ci,实际装源量 5500 万 Ci;安装运行的用于辐射加工的电子加速器装置 1153 台,总功率 83011.7kW<sup>[28]</sup>。《2023-2029 全球与中国医疗辐照灭菌服务市场现状及未来发展趋势》的报告数据,2019 年我国辐射灭菌设备市场规模已经超过 8 亿元。在国际上,欧美及日本等发达国家的辐照技术服务市场已经进入了一个相对成熟的发展阶段,国际知名的综合灭菌商如 Sterigenics、Steris 等拥有分布于世界各地的数十家消毒灭菌服务网点。

随着辐照装置设计能力和保有活度的提升，以及医疗保健产品、食品等行业的跨国企业在我国境内设立子公司或代工厂，对产品的微生物提出了更高的要求，以及政府对消毒灭菌标准的提高和监管趋严，辐照灭菌企业需在国家相关标准指导下不断优化工艺技术、加强质量控制，推动服务的专业化。

### （三）预期的经济效益、社会效益和生态效益

辐照灭菌具有显著的经济效益，与传统的加热和冷藏处理相比，可节约能耗70%~90%。辐照处理后的食品可采用普通包装贮藏，省去大量制罐、冷冻冷藏等材料及能量消耗，辐照灭菌快速高效，如电子束辐照灭菌后可直接运输，无需仓储成本。

食品安全需求推动行业增长。辐照灭菌行业发展前景分析显示随着人们对食品安全和品质的要求不断提高，食品辐照技术将会得到更广泛的应用。脱水蔬菜因产品应用广、产销量巨大，有大量杀菌需求，辐照技术具有独特优势，未来市场需求将会持续增长。

随着全民环保和节能意识增强，辐照灭菌技术相比传统消毒方法具有更高效、更节能、更环保的优势，避免了化学熏蒸产生残留或环境污染问题和高温灭菌对产品香味和色泽的影响，符合现代社会对绿色生产和可持续发展的需求，因此在环保意识增强的背景下，该技术的应用前景十分乐观。

## 四、与国际、国外同类标准技术内容的对比情况，或者与测试的国外样品、样机的有关数据对比情况

本标准对脱水蔬菜产品在辐照过程和工艺方面，包括辐照前、辐照过程、辐照后、记录和文件管理等全部辐照生产环节提出了具体的技术要求，这些技术要求与其他标准没有重复，标准相关内容与其他标准没有矛盾或不协调不配套的，与国家产业政策协调一致。

因此，本标准与我国的现行法律、法规和强制性国家标准没有冲突。

## 五、以国际标准为基础的起草情况，以及是否合规引用或者采用国际国外标准，并说明未采用国际标准的原因

本标准非等效采用ICGFI Doc. N o.5 1991《控制调料、香辛料和其他蔬菜类

调味品中病原菌和其他微生物的辐照工艺规范》，参考“阻止昆虫卵和幼虫在香料和蔬菜调味料中进一步发育所需的吸收剂量将低于1 kGy”。

## 六、与有关法律、行政法规及相关标准的关系

本标准作为推荐性标准，与现行相关法律、法规和强制性标准没有冲突。

编制过程中参考与引用标准包括：

GB/T 17568-2019 《 $\gamma$ 辐照装置设计建造和使用规范》

GB/T 40590-2021 《辐射加工用电子加速器装置运行维护管理通用规范》

NY/T 959 《脱水蔬菜 根菜类》

NY/T 960 《脱水蔬菜 叶菜类》

NY/T 1045 《绿色食品 脱水蔬菜》

NY/T 1393 《脱水蔬菜 茄果类》

NY/T 3269 《脱水蔬菜 甘蓝类》

本标准遵循“先进性、实用性、统一性、规范性”的原则，注重标准的通用性、适用性、可操作性，以国家有关法规和标准为主要参考，根据调研及国内外学者的研究结论，进行必要的试验及验证试验等程序，完成本标准的修订编制，使本标准具有充分的科学性。

## 七、重大分歧意见的处理经过和依据

本标准编制过程中未出现重大意见分歧。

## 八、涉及专利的有关说明

无。

## 九、实施国家标准的要求，以及组织措施、技术措施、过渡期和实施日期的建议等措施建议

采用辐照加工时，在工艺剂量范围内，具体可根据实际辐照目的和卫生质量确定，尽可能采用较低剂量，以减少辐照剂量增加引发的质量负面风险。

建议本标准作为推荐性标准发布。

## 十、其他应当说明的事项。

无。

## 参考文献:

- [1] ICGFIAO/IAEA/WHO. Code of good irradiation practice for the control of pathogens and other microflora in spices, herbs and other vegetable seasoning. ICGFI Document, 1991(5): Vienna
- [2] 周其昌, 金仁花, 尉建英, 等. 脱水蔬菜的辐射保藏与剂量控制[J]. 浙江农业学报, 1996, 8(4): 255-256
- [3] 谢宗传, 郭秉义, 张卫, 等. 江苏地区脱水蔬菜辐照灭菌商业化概况[J]. 核农学通报, 1995, 16(6): 291-293
- [4] 刘伟, 陈云堂, 罗继泉, 等.  $^{60}\text{Co}\gamma$  射线辐照脱水蔬菜杀菌保藏技术研究[J]. 郑州粮食学院学报, 1999, 20(4): 68-71
- [5] 傅俊杰. 脱水蔬菜辐照杀菌及贮藏保鲜效果的研究[J]. 农业工程学报, 2000, 16(5): 102-105
- [6] 林音, 李香玲. 辐照调味品和脱水蔬菜中大肠菌群杀灭效果的研究[J]. 核农学报, 2001, 15(6): 331-335
- [7] 翟建青, 包建忠, 曹宏, 等. 辐照脱水蔬菜的剂量与灭菌效果研究初报[J]. 核农学报, 2004, 18(2): 125-127
- [8] Pezzutti A, Marucci PL, Sica MG, et al. Gamma-ray sanitization of Argentinean dehydrated garlic (*Allium sativum* L.) and onion (*Allium cepa* L.) products[J]. Food Research International, 2005, 38: 797-802
- [9] 付立新, 孟丽芬, 许德春, 等. 绿色食品辐照保鲜技术研究[J]. 吉林农业大学学报, 2010, 32(6): 697-700
- [10] Wei M, Zhou LY, Song HB. Electron beam irradiation of sun-dried apricots for quality maintenance[J]. Radiation Physics and Chemistry, 2014, 97: 126-133
- [11] Jung KS, Kim BS, Min JM, et al. Effect of X-ray, gamma ray, and electron beam irradiation on the hygienic and physicochemical qualities of red pepper powder[J]. LWT - Food Science and Technology, 2015, 63(2): 846-851
- [12] Yamaoki R, Kimura S. Effectiveness of electron beam irradiation for microbial decontamination of turmeric powder (*Curcuma longa* Linne) and analysis of curcuminoid degradation[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2018, 42: e13334
- [13] Esmaeili S, Barzegar M, Sahari MA, et al. Effect of gamma irradiation under various atmospheres of packaging on the microbial and physicochemical properties of turmeric powder[J]. Radiation Physics and Chemistry, 2018, 148: 60-67
- [14] 李淑荣, 王丽, 冯利芳, 等. 食品中致病菌  $\gamma$  射线辐照杀菌效果影响因素研究[J]. 原子能科学技术, 2018, 52(1): 181-185
- [15] Mohammad ZH, Murano EA, Moreira RG, et al. Effect of air-and vacuum packaged atmospheres on the reduction of *Salmonella* on almonds by electron beam irradiation[J].

- LWT-Food Science and Technology, 2019, 116: 108389
- [16] 郭建. 红外辐射及电子束对胡萝卜粉品质的影响[D]. 北京:中国农业科学院, 2021, 22-48
- [17] 王炳奎, 张猛超, 刘超纲, 等. 辐照灭菌对红薯干品质和贮藏特性的影响[J]. 核农学报, 2023, 37(3): 513-521
- [18] 梁宏斌. 辐照技术在食品保藏中的应用[J]. 哈尔滨商业大学学报(自然科学版), 2002, 18(3): 346-349
- [19] Sebastiao KI, Almeida-Muradian LB, Romanelli MF, et al. Effect of gamma-irradiation on the levels of total and cis/trans isomers of beta-carotene in dehydrated parsley[J]. Food Research International, 2002, 63: 333-335
- [20] Topuz A, Ozdemir F. Influences of gamma irradiation and storage on the capsaicinoids of sun-dried and dehydrated paprika[J]. Food Chemistry, 2004, 86: 509-515
- [21] Wang J, Du YS. The effect of  $\gamma$ -ray irradiation on the drying characteristics and final quality of dried potato slices[J]. International Journal of Food Science and Technology. 2005, 40: 75-82
- [22] Bhatnagar P, Gururani P, Bisht B, et al. Impact of irradiation on physico-chemical and nutritional properties of fruits and vegetables: A mini review[J]. Heliyon. 2022, 8: e10918
- [23] Cano NF, Rondan-Flores LM, Gundu-Rao TK, et al. Effect of gamma radiation on freeze-dried red pitaya (*Hylocereus costaricensis*) skin powder: An EPR study to assess the original dose[J]. Spectrochimica Acta. 2024, 1-37
- [24] 张祺玲, 徐远芳, 周毅吉, 等.  $^{60}\text{Co}$ - $\gamma$ 射线和电子束辐照对辣椒干制品颜色的影响[J]. 辐射研究与辐射工艺学报, 2024, 42(4): 020402
- [25] Tang TT, Zhang M, Ju RH, et al. Novel drying and pretreatment methods for control of pesticide residues in fruits and vegetables: A review[J]. Drying Technology. 2023, 41(2): 151-171
- [26] 梁宏斌. 辐照技术在食品保藏中的应用[J]. 哈尔滨商业大学学报(自然科学版), 2002, 18(3): 346-349
- [27] 赵肖肖, 王丹, 马越, 等. 脱水蔬菜研究进展[J]. 农产品加工(学刊), 2013(12): 39-41
- [28] 中国同位素与辐射行业协会. 中国核技术应用产业年鉴(2024 年卷)[M]. 北京: 中国质量标准出版传媒有限公司, 2024