

# 《干果类辐照工艺》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年国家标准的复审修订计划的通知（国标委发[2023]64号），批准国家标准《干果类辐照工艺》（计划号：20232964-T-326）修订。由浙江省农业科学院、四川省原子能研究院、宁夏农产品质量标准与检测技术研究所、台州鸿博辐照科技有限公司、中广核辐照技术有限公司、浙江韩情辐照技术有限公司、宁夏农林科学院、浙江大学共同起草。

本标准主要起草人为：

#### （二）制定背景

水果干制处理是减少果品产后损耗和延长产业链的一种重要产后加工方式之一，工业化加工主要有自然晾晒法、真空冷冻法、热风干燥法和微波加工法等。红枣、枸杞、葡萄等干果作为传统的干制产品，在我国有着悠久历史，是鲜果加工、贮藏和运销方式之一，其中红枣、枸杞在中国传统医学里具有健脾、养胃、补血等多种良好的养生保健功能，市场快速扩容，生产量和出口量均列世界之首。2023年全国红枣产量450万吨，约占全球总产量的90%；2023年全国枸杞干产量为42万吨，约占全球总产量的60%；2023年全国葡萄干产量为40万吨，约占全球总产量的29%。2019年，国家食品安全风险评估中心闫琳等对全国采集市售水果干制品2917份进行菌落总数、大肠菌群、霉菌、酵母、沙门菌和单核细胞增生李斯特菌等检测，结果发现2917份样品中有5.01%的样品菌落总数 $>10^4$  CFU/g，2.98%的样品大肠菌群 $>10^2$  CFU/g，34.42%的样品霉菌 $>50$  CFU/g，9.46%的样品酵母 $>50$  CFU/g。沙门菌和单核细胞增生李斯特菌检出率分别为0.14%和0.03%。表明国内当时水果干制品的卫生状况总体较差，其中枸杞干和榴莲干的总体卫生状况最差<sup>[1]</sup>。王洁茹（2019）对阿拉尔市枸杞干果的污染微生物进行调查和分析，

结果表明枸杞干果普遍污染了微生物，散装比袋装的更严重，散装的霉菌数为 $1.1 \times 10^5$  CFU/g，细菌总数为 $3.5 \times 10^5$  CFU/g，大肠菌群的最可能数（MPN 值）为1100；而袋装的霉菌数为230 CFU/g，细菌总数为 $1.1 \times 10^4$  CFU/g，大肠菌群的MPN 值为150；主要污染霉菌为黑曲霉和青霉属<sup>[2]</sup>。2022年，王亚平等对网售和市售的各种类型即食葡萄进行检测，104份样本中，101份有霉菌生长，霉菌检出率为97%，98份霉菌数超过50 CFU/g，占94%；有94份霉菌数超过150 CFU/g，占90%；有81份霉菌数超过500 CFU/g，占78%；有60份霉菌数超过1000 CFU/g，占58%。检出的霉菌均值为5800 CFU/g，且网购的葡萄干霉菌均值高于实体店的葡萄干，葡萄干的霉菌污染严重<sup>[3]</sup>。

这些产销量巨大的干果原料大部分来自山区或边远地区，干果生产加工销售是巩固脱贫攻坚成果的重要支撑，来自大自然的鲜果在生长过程中不可避免受到虫害与微生物污染，加上采收和贮藏条件所限，干制加工不能杀灭所有微生物，甚至在商业化的贮藏、运输、内销外贸过程中再遭微生物污染霉变和虫害，造成贮藏损耗，甚至丧失商品价值。而杀虫和灭菌最常用的工艺是化学熏蒸、高温杀虫杀菌和辐照杀虫杀菌。化学熏蒸法会产生残留、环境污染以及灭菌效果差而被弃用；高温法因热加工直接导致果实温度升高，使红枣、枸杞、葡萄等果实中含有的大量糖类发生美拉德反应，造成糖类损失并影响产品的香味和色泽，适用性差；辐照技术属于常温下的物理消杀，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杀菌，提高产品卫生质量，控制食源性疾病<sup>[4-5]</sup>。因此，利用辐照技术控制脱水蔬菜微生物是一种快捷、安全、彻底的绿色环保加工方法。

红枣、枸杞干、葡萄干生产参照的国家和行业标准，以规范产品规格和品质为主，如：GB/T 5835-2009 《干制红枣》、GB/T 23401-2009 《地理标志产品 延川红枣》、GB/T 18672-2014 《枸杞》、GB/T 19742-2008 《地理标志产品 宁夏枸杞》、NY/T 1051-2014 《绿色食品 枸杞》、NY/T 705-2003 《葡萄干》、GB/T 19586-2008 《地理标志产品 吐鲁番葡萄干》以及GB 16325-2005 《干果食品卫生标准》、NY/T 1041-2018 《绿色食品 干果》，这些国标与行标中除了要求无

霉变外，均没有对菌落总数、霉菌数等做出限量，GB/T 26150-2010《免洗红枣》也仅对菌落总数和大肠菌群作了规定。

随着经济社会的发展，红枣、枸杞干、葡萄干等干果类产品已从单品消费更多地转向食品行业配料消费，用于产品加工的干果对其微生物的要求已不同于单品，需参照相关产品的配料要求；休闲冷加工糕点、混合坚果、混合即食食品等产品中红枣、枸杞干、葡萄干的微生物指标需按相关的预包装即食食品的规定。而GB/T 18525.3-2001《红枣辐照杀虫工艺》、GB/T 18525.4-2001《枸杞干、葡萄干辐照杀虫工艺》仅规定了辐照杀虫工艺和要求，需增加干果辐照灭菌工艺和要求；另一方面，引用的标准GB/T 5835-1986、GB/T 18524-2001均已修订。此外，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，从干果类产业发展的实际需求出发，降低干果微生物水平保证其食用安全性，规范辐照技术在干果类产品加工产业中的应用，提高干果类辐照加工工艺水平，延长干果贮藏期和减少食源性疾病，应在原标准的辐照杀虫工艺基础上增加辐照杀菌工艺，结合相关新修订的引用标准，对《红枣辐照杀虫工艺》《枸杞干、葡萄干辐照杀虫工艺》整合修订，形成《干果类辐照工艺》。这不仅可提升干果类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，具有广泛的社会经济效益。

### （三）起草过程

#### 1. 前期准备

本标准的主要内容是红枣、枸杞干、葡萄干的辐照工艺剂量确定。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干果生产企业根据 GB/T 18525.3-2001《红枣辐照杀虫工艺》、GB/T 18525.4-2001《枸杞干、葡萄干辐照杀虫工艺》开展红枣、枸杞干、葡萄干辐照杀虫的产业化应用实践，针对目前红枣、枸杞干、葡萄干等干果类产品应用中对微生物限量的要求，开展辐照杀菌及其品质效应等研究和验证。

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干果产品的产业化应用实践，为此次修订 GB/T 18525.3、GB/T 18525.4 的红枣、枸杞

干、葡萄干等干果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 18525.3-2001、GB/T 18525.4-2001 等辐照加工方面的标准，并严格执行标准编写的要求。

## 2. 方法建立

首先在加工企业和市场收集红枣、枸杞干、葡萄干等产品；对红枣、枸杞干、葡萄干进行辐照杀虫杀菌验证试验；辐照品质效应研究；结合国内外研究进展，最终建立规范性实用性的干果类辐照工艺。

## 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干果类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

干果类产品的卫生质量直接关系到消费者的健康安全和贮藏安全，因此，辐照杀虫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，力求反映干果类辐照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干果产品卫生的安全性、贮藏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. 干果辐照杀虫的最低有效剂量

虫卵是许多农产品中最为顽固的害虫存在形式之一，普通常用处理方式常常难以彻底消灭虫卵，影响了农产品的市场销售和消费者健康。辐照具有杀虫效果好、处理时间短等优点。干果普遍存在虫害问题，虽然红枣、葡萄干、枸杞干因目前种植中采用抗病品种和病虫害防治，以及产后加工工艺的精进，干果虫害的受损率下降，如经水洗烘干后的红枣，初始微生物数量已很低，虫及虫卵试验中无检出，但直接采用晾晒工艺的果干，如葡萄干的虫害相对较重。存在虫卵的干果贮藏过程中，如温度适合可使害虫繁殖生长，蛀食危害使产品失去商品价值而造成损失。调研发现目前干果中危害最为普遍的害虫是鳞翅目斑螟科谷斑螟属的印度谷螟，受其危害的干果出现孔洞、缺刻，幼虫吐丝连干果碎屑及排泄物结网封闭其表面，呈现干果结块变质。

不同害虫的辐照敏感性不同，其中鳞翅目相对不敏感。试验以干果类危害较为普遍的辐照敏感性相对较弱的鳞翅目斑螟科谷斑螟属的印度谷螟为处理对象，开展干果辐照杀虫试验的验证试验；以鳞翅目蜡螟科米螟属的米蛾卵为样本评估辐照处理对卵孵化的影响。

#### （1）不同产地干果贮藏害虫的同源性分析

收集不同产区和来源的干果害虫（1. 网络平台；2. 杭州市场；3.阿克苏产区；4.吐鲁番产区；5. 乌鲁木齐产区），在成虫阶段进行取样，提取DNA并对物种条形码基因COI片段进行扩增和序列测定，序列比较分析结果表明，不同来源干果害虫1、2、3、4、5与印度谷螟之间存在5个碱基差异位点（图1），但这5个差异位点均为同义突变，编码的氨基酸未发生改变，且与印度谷螟（*Plodia interpunctella*）完全一致（图2）。

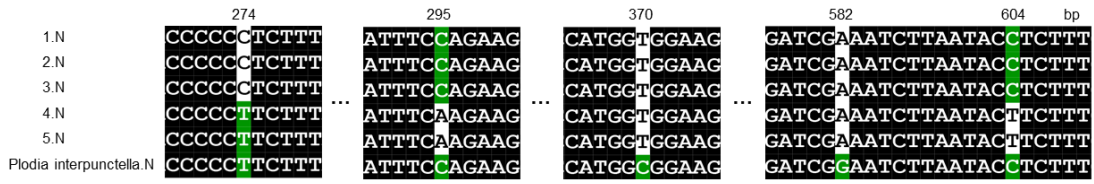
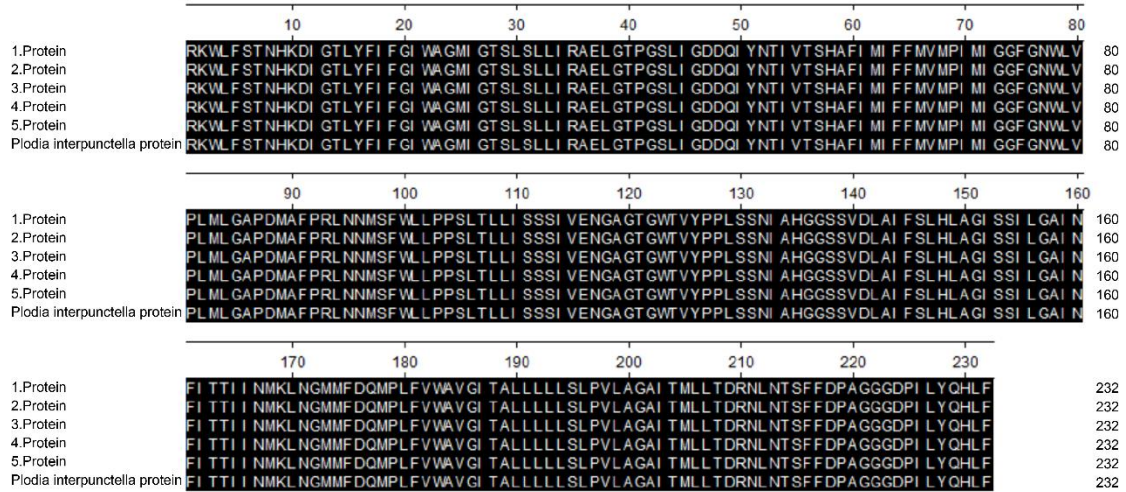


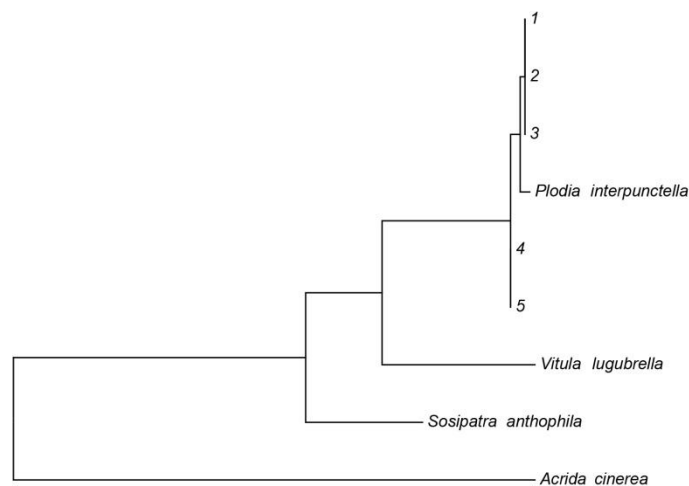
图1 不同来源干果害虫碱基差异分析



1. 网络平台, 2. 杭州市场, 3.阿克苏, 4.吐鲁番, 5. 乌鲁木齐

图2 不同来源害虫蛋白序列差异分析

进一步采用最大似然法借助MEGA X软件对不同产区和来源的害虫COI蛋白系列进行聚类分析。结果显示, 以中华蚱蜢 (*Acrida cinerea*) 为外类群, 其余来源的COI基因均与印度谷螟聚在同一分支上, 而COI基因已被证实是物种重要的条形码, 由此表明这5个不同产区和来源的害虫均为印度谷螟 (图3)。



1. 网络平台, 2. 杭州市场, 3.阿克苏, 4.吐鲁番, 5. 乌鲁木齐

图3 进化树分析

## (2) 辐照处理对幼虫死亡率的影响

不同剂量辐照处理鳞翅目斑螟科谷斑螟属印度谷螟幼虫危害的葡萄干、红枣（图4，图5），试验中，0.5 kGy辐照处理后的葡萄干检出1羽成虫，其他剂量辐照处理均无出现羽化的成虫。结果表明，3.0 kGy剂量可使幼虫直接致死；2.5 kGy的剂量可使幼虫在2天内全部死亡；1.5~2.0 kGy处理可使幼虫活动明显减弱，期间基本丧失蛀食能力，在3~4周后全部死亡；0.75~1.0 kGy处理后，前期存在蛀食现象，随天数增加蛀食和爬行能力逐渐减弱变缓，幼虫1~2个月后全部死亡；0.3 kGy辐照后幼虫蛀食和爬行能力均正常，但抑制了正常发育，减少了蛹化率以及蛹化后的羽化率，至少2个月左右才全部死亡； $\leq 0.5$  kGy存在羽化成虫的可能；葡萄干和红枣中印度谷螟幼虫的死亡率趋势基本一致。

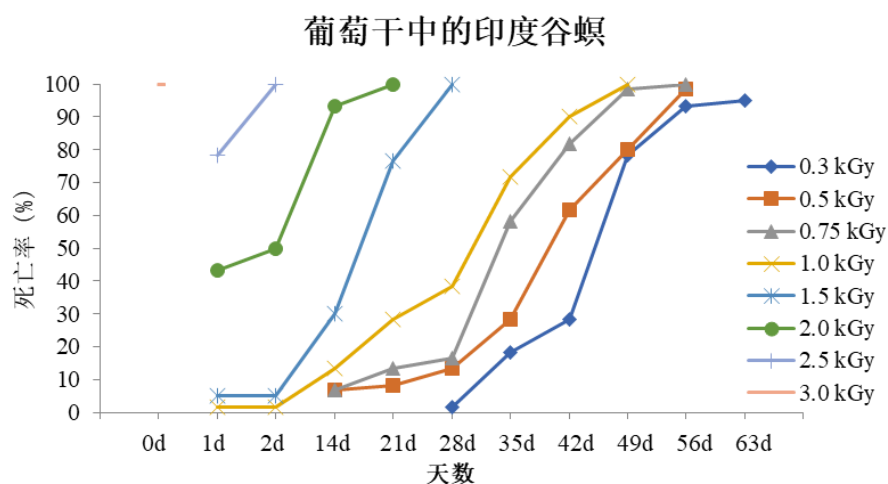


图4 不同剂量辐照处理的葡萄干中印度谷螟的死亡率

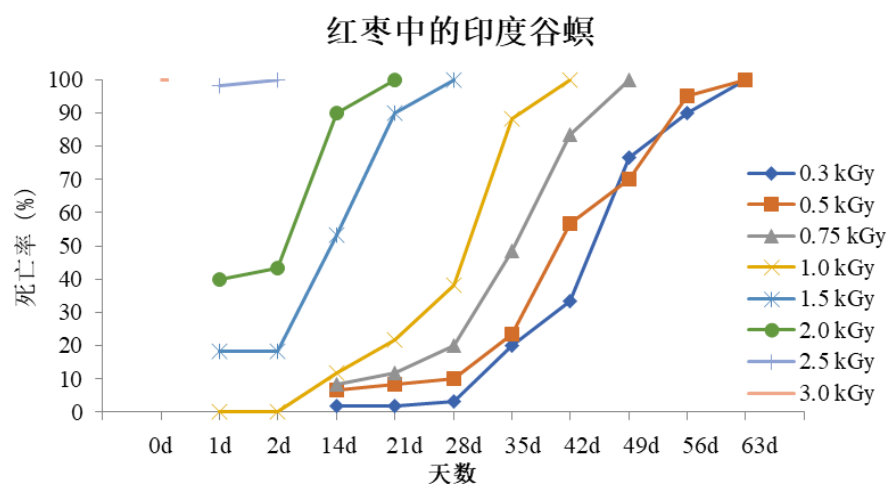


图5 不同剂量辐照处理的红枣中印度谷螟的死亡率

### (3) 辐照处理对卵孵化的影响

以0、50、100、150、200、250、300 Gy不同剂量辐照处理鳞翅目蜡螟科米螟属的米蛾卵（卵龄为<3天），结果显示，大于250 Gy辐照后未见孵化幼虫，200 Gy辐照后孵化率为11.00%，较对照下降了85.96%（表1）。观察辐照后0~7天卵的孵化情况，发现辐照严重影响米蛾卵的孵化，辐照后的卵颜色大部分与正常发育卵相似，随着天数增加逐渐出现红棕色的小点，大于200 Gy剂量辐照后部分卵停止发育呈现0~3天卵龄的外观；50~200 Gy剂量辐照后卵出现发育延迟和不会孵化的现象，且随着辐照剂量增加，不会孵化的卵数量增加，300 Gy剂量处理后卵的孵化率为0。

表1 不同剂量处理对米蛾卵孵化的影响

辐照剂量 (Gy)	CK	50	100	150	200	250	300
孵化率 (%)	78.33±2.08	76.33±4.16	62.00±3.61	19.33±3.06	11.00±1.73	0.67±0.58	0

注：“ND”表示未检出（下同）

辐照杀虫试验结果表明，杀死虫卵的最低有效剂量 0.3 kGy，杀死幼虫的最低有效剂量 0.3 kGy，但害虫至少 2 个月后才全部死亡；3.0 kGy 可直接杀死幼虫的，2.5 kGy 可使害虫在 2 天内全部死亡。表明杀死虫卵的最低有效剂量与杀死幼虫的相同，杀死幼虫的同时可以将虫卵一并灭杀。害虫同源分析结果表明不同产区和来源的害虫均为印度谷螟，且是目前干果仓贮的主要害虫。这与原 GB/T 18525.3-2001《红枣辐照杀虫工艺》中红枣杀虫最低有效剂量 0.3 kGy 是一致的，与 GB/T 18525.4-2001《枸杞干、葡萄干辐照杀虫工艺》枸杞干、葡萄干辐照杀虫最低有效剂量 0.75kGy 存在差异，这可能与观察幼虫死亡的时间有关。

结合目前干果贮藏的主要害虫，建议杀虫的最低有效剂量可根据产品生产需求分为：杀死虫卵的最低有效剂量为 0.3 kGy。2 个月后幼虫全部死亡的最低有效剂量为 0.3 kGy，但期间存在幼虫继续取食现象；幼虫在 1~2 个月后全部死亡的最低有效剂量为 0.75~1.0 kGy，存活前期存在取食现象；幼虫在 3~4 周后死亡的最低有效剂量为 1.5~2.0 kGy，期间基本丧失蛀食能力；幼虫在 2 天后全部死亡的最低有效剂量为 2.5 kGy；直接杀死幼虫的最低有效剂量为 3.0 kGy。

## 2.干果辐照杀菌最低有效剂量

不同品类的干果因生长环境、干燥工艺等差异，其初始微生物数量差异较大，直接凉干或晒干而未经清洗的葡萄干、枸杞干等干果微生物数量较高，菌落总数



高达 $>10^5$  CFU/g；而清洗后的葡萄干微生物较低，菌落总数一般 $<10^5$  CFU/g。红枣因枣皮光滑，经清洗烘干后微生物数量较少，红枣粉作为原料在食品加工中用途广泛且用量较大，并较多地应用于即食食品和冷加工产品中，这些产品对微生物要求较高。试验中微生物检验采样和检样处理按照GB 4789.46执行。

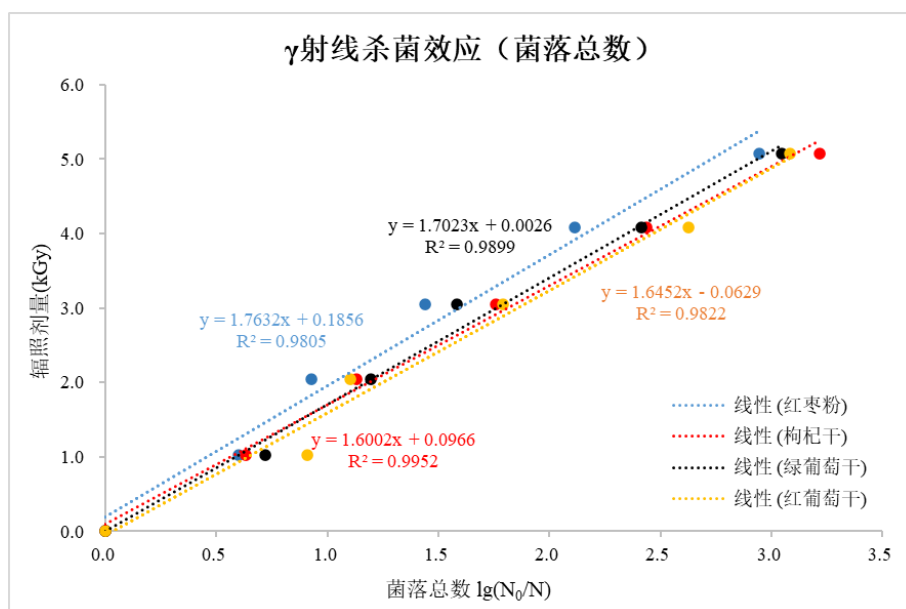


图6 干果中微生物的γ辐照效应

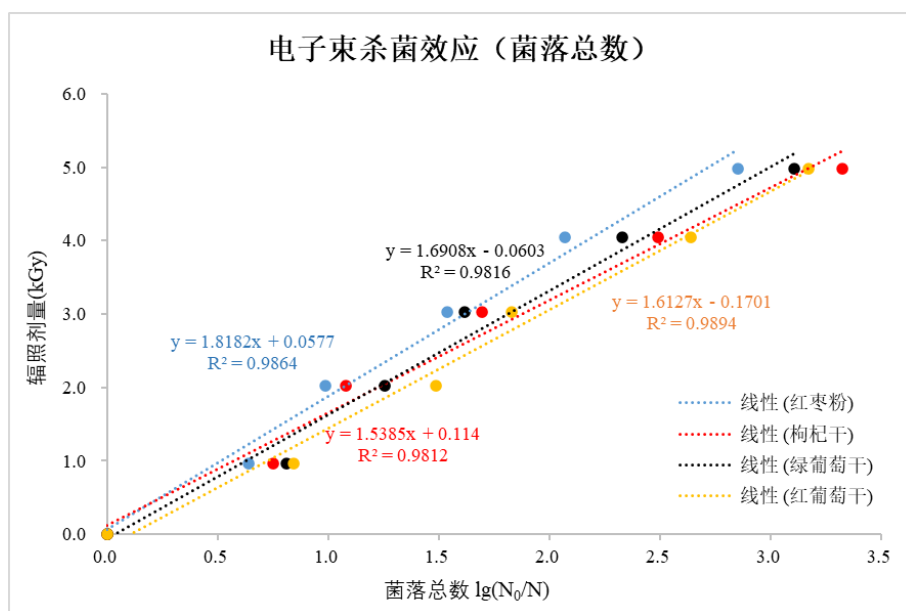


图7 干果中微生物的电子束辐照效应

试验选择初始微生物含量相对较高的未经清洗的葡萄干、枸杞干，以及红枣粉作为供试样品，红枣粉、枸杞干、绿葡萄干和红葡萄干的初始微生物数量分别

为 $1.8 \times 10^4$ 、 $1.2 \times 10^5$ 、 $1.4 \times 10^5$ 、 $2.7 \times 10^5$  CFU/g，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（也即随着辐照剂量的增加存活菌落数下降，呈直线负相关），分析不同剂量 $\gamma$ 射线和电子束处理红枣粉、枸杞干、绿葡萄干和红葡萄干的杀菌效应， $\gamma$ 射线处理的菌落总数 $D_{10}$ 值分别为：1.76、1.60、1.70、1.65 kGy（图6），电子束处理的菌落总数 $D_{10}$ 值分别为：1.82、1.54、1.69、1.61 kGy（图7），结果表明 $\gamma$ 射线与电子束辐照的杀菌效应是一致的。经3.0 kGy处理后菌落总数均 $<10^4$  CFU/g，符合GB 7099-2015《食品安全国家标准 糕点、面包》要求5次抽检中菌落总数在 $10^4 \sim 10^5$  CFU/g间不能超过2次，以及相关果蔬干制品的卫生质量规定；经4.0 kGy处理后菌落总数 $<10^3$  CFU/g，符合GB 14884-2016《食品安全国家标准 蜜饯》要求5次抽检中菌落总数在 $10^3 \sim 10^4$  CFU/g间不能超过2次的规定，供试样品经4.0 kGy辐照后菌落总数低于750 CFU/g，也符合GB14891.3-1997《辐照干果果脯类卫生标准》中菌落总数 $\leq 750$  CFU/g的要求。结果表明，最低有效剂量4.0 kGy可满足干果的杀菌需求。

霉菌在不同食品中的限量标准不同，GB7100-2015《食品安全国家标准 饼干》、GB 14884-2016《食品安全国家标准 蜜饯》要求 $\leq 50$  CFU/g，GB 7099-2015《食品安全国家标准 糕点、面包》要求 $\leq 150$  CFU/g，GB 31637-2016《食品安全国家标准 食用淀粉》要求 $\leq 1000$  CFU/g；对于其他致病菌，GB 31607-2021《食品安全国家标准 散装即食食品中致病菌限量》要求沙门氏菌 0/25g、金黄色葡萄球菌 $\leq 1000$ CFU/g，GB 16325-2005《干果食品卫生标准》要求致病菌不得检出。

表 2  $\gamma$  辐照对于干果中霉菌和酵母总数的影响

辐照剂量(kGy)	红枣粉	枸杞干	绿葡萄干	红葡萄干
CK	2.18	3.48	3.90	3.79
1.02	1.81	2.96	3.34	3.46
2.04	1.18	2.53	2.87	2.83
3.05	ND	1.81	2.29	2.18
4.08	ND	1.30	1.40	1.54

注：“ND”表示未检出（下同）

表 3 电子束辐照对于干果中霉菌和酵母总数的影响

辐照剂量(kGy)	红枣粉	枸杞干	绿葡萄干	红葡萄干
CK	2.18	3.48	3.90	3.79
0.97	1.70	2.82	3.34	3.29
2.02	ND	2.26	2.94	2.76
3.03	ND	1.88	2.28	2.23
4.04	ND	1.18	1.48	1.40

注：“ND”表示未检出（下同）

经检测，红枣粉的初始霉菌和酵母总数为 150 CFU/g，葡萄干、枸杞干的初始霉菌和酵母总数较高均在  $10^3$  CFU/g 以上，这主要是因为红枣粉来源于清洗后的红枣，而葡萄干、枸杞干为直接凉晒干制的。以 2.0~4.0 kGy 辐照后的红枣粉、葡萄干、枸杞干，霉菌和酵母总数均在 50 CFU/g 以下（表 2、表 3）。部分枸杞样品批次有严重的大肠杆菌污染，达  $10^4$  CFU/g，葡萄干等其他样品大肠杆菌均未检出；金黄色葡萄球菌仅在红枣粉中检出，为 15 CFU/g。因大肠杆菌和金黄色葡萄球菌的  $D_{10}$  值远远低于菌落总数的  $D_{10}$  值，一般不超过 0.5 kGy，因此在进行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，可达杀灭效果。

辐照杀菌试验结果表明，经 4.0 kGy 处理后菌落总数均  $<10^3$  CFU/g，可满足干果的一般杀菌需求。建议干果辐照杀菌的最低有效剂量为 4.0 kGy。

### 3.干果辐照的最高耐受剂量

#### (1) 辐照对干果主要成分含量的影响

结合文献报道，开展干果产品质量的辐照验证试验，检测经 0、2.0、4.0、6.0、8.0、10.0 kGy 辐照处理后的红葡萄干、绿葡萄干、红枣、枸杞干的总糖、总酸含量，检测委托第三方进行，葡萄干、红枣、枸杞干的总糖含量检测分别按 NY/T 705-2023、GB/T 10782-2021、GB/T 18672-2014 中的方法执行；葡萄干的总酸以酒石酸计，红枣和枸杞干的总酸以柠檬酸计，检测按 GB 12456-2021 中的相关方法执行。

表4 不同剂量辐照对干果总糖含量的影响 (g/100g)

剂量 (kGy)	红枣	枸杞干	绿葡萄干	红葡萄干
CK	82.3	47.6	72.4	75.9
2.0	83.5	46.6	73.2	73.4
4.0	83.7	44.4	72.3	74.2
6.0	81.4	46.2	73.4	74.5
8.0	81.5	46.7	73.4	72.8
10.0	82.5	45.7	72.6	74.1

注：委托浙江方圆检测集团股份有限公司检测。

辐照对葡萄干、红枣、枸杞干的总糖和总酸含量的没有明显影响（表4、表5），对枸杞干还原糖、脂肪、蛋白质、维生素、 $\beta$ -胡萝卜素、 $\alpha$ -生育酚、 $\gamma$ -生育酚没有明显影响，但枸杞多糖随辐照剂量的增加而增加，10 kGy 处理的枸杞多糖

是CK的2.5倍（表6）。枸杞多糖是枸杞果肉的最有效成份之一，是枸杞的精华所在，易吸收，枸杞多糖的增加可提高枸杞产品的生物功效性。

表5 不同剂量辐照对干果总酸含量的影响 (g/kg)

剂量 (kGy)	红枣	枸杞干	绿葡萄干	红葡萄干
CK	4.86	17.60	17.34	17.01
2.0	5.10	17.88	17.56	16.98
4.0	5.48	18.79	17.40	17.06
6.0	5.80	18.88	17.44	16.96
8.0	5.98	20.08	17.60	16.81
10.0	5.68	20.04	17.29	17.96

表6 不同剂量辐照对枸杞干理化品质的影响

剂量 (kGy)	还原糖 (g/100g)	枸杞多糖 (g/100g)	脂肪 (g/100g)	蛋白质 (g/100g)	VE (mg/100g)	$\beta$ -胡萝卜素 ( $\mu\text{g}/100\text{g}$ )	$\alpha$ -生育酚 ( $\mu\text{g}/100\text{g}$ )	$\gamma$ -生育酚 ( $\mu\text{g}/100\text{g}$ )
CK	18.5	6.51	2.9	13.7	5.43	$1.15 \times 10^3$	$5.35 \times 10^3$	769
2.0	18.6	7.32	2.4	14.1	5.35	954	$5.26 \times 10^3$	899
4.0	17.3	9.08	2.6	13.4	5.21	951	$5.13 \times 10^3$	795
6.0	17.7	10.6	2.4	13.5	5.29	951	$5.21 \times 10^3$	772
8.0	17.8	11.40	2.0	13.6	5.62	945	$5.53 \times 10^3$	850
10.0	16.9	16.52	2.2	13.1	5.03	954	$4.95 \times 10^3$	798

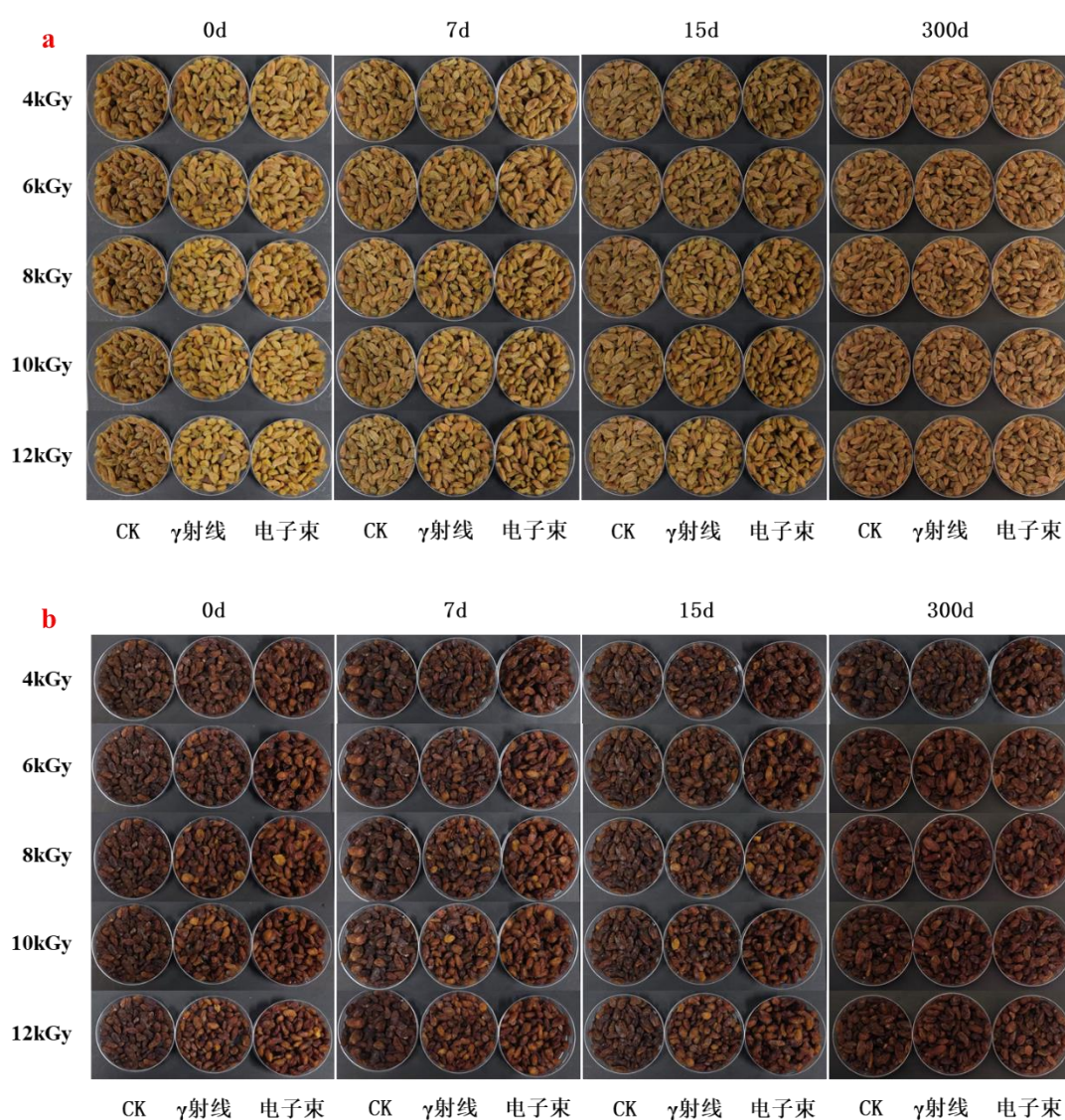
检测结果表明，10 kGy及其以下辐照对葡萄干、红枣、枸杞干的主要成分含量没有明显影响；枸杞干辐照后在试验剂量范围内，枸杞多糖的含量与辐照剂量呈正相关。

## (2) 辐照对干果外观品质的影响

低剂量辐照对枸杞、红枣干等外观品质没有明显影响，随着辐照剂量的增加，对不同干果的外观品质影响程度不一（图8、图9）。不管是电子束还是 $\gamma$ 射线，葡萄干经 $\leq 4$  kGy辐照后，外观虽略有变化，存放1~2天后与对照间无明显差异；6 kGy较高剂量辐照后绿葡萄干外观逐渐变黄，红葡萄干变红，果肉透明度下降，且随辐照剂量增加外观变化越明显，回色时间也越长，随着辐照后贮存时间的增加外观颜色逐渐与对照趋于一致； $\gamma$ 辐照对外观的影响略小于电子束，比较两种方式处理的葡萄干外观，8 kGy以上剂量辐照后需储存7天左右，而电子束至少需10天，两种处理方式的外观颜色趋于一致，12 kGy剂量辐照后需储存15天左右，而电子束至少需20天，两种处理方式的外观颜色趋于一致， $\gamma$ 射线回色要比电子

束快，剂量越高，两种处理方式的外观颜色趋于一致的时间差越大；10 kGy以上剂量辐照后的枸杞干外观变红，12 kGy剂量辐照后的红枣干外观略变红， $\gamma$ 射线和电子加速器辐照枸杞干和红枣干外观颜色变化没有明显差别，之后在贮藏过程中外观品质变化与CK间不明显。

品质与外观试验结果表明，10.0 kGy及其以下辐照对葡萄干、红枣、枸杞干的主要成分含量没有明显影响，但高剂量辐照后色泽受到不同的影响，葡萄干电子加速器辐照对外观的影响大于 $\gamma$ 辐照，建议红枣干、枸杞干、绿葡萄干和红葡萄干的最高耐受剂量分别是8.0、10.0、4.0和4.0 kGy，葡萄干辐照优选 $\gamma$ 射线。



a: 绿葡萄干, b: 红葡萄干

图8 电子束和 $\gamma$ 辐照对葡萄干外观品质的影响

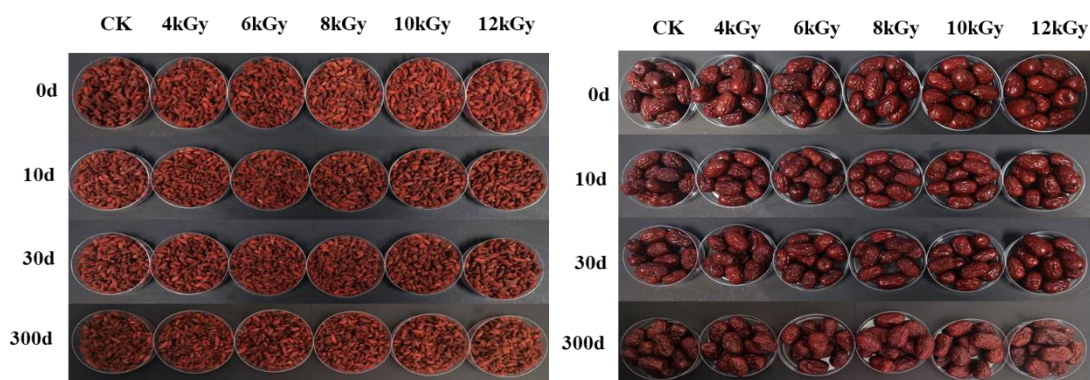


图9 辐照对枸杞、红枣干果外观品质的影响

综上所述，根据产品生产需求，推荐干果杀虫的最低有效剂量为：2个月后幼虫全部死亡的最低有效剂量为0.3 kGy，但期间存在幼虫继续取食现象；幼虫在1~2个月后全部死亡的最低有效剂量为0.75~1.0 kGy，存活前期存在取食现象；幼虫在3~4周后死亡的最低有效剂量为1.5~2.0 kGy，期间基本丧失蛀食能力；幼虫在2天后全部死亡的最低有效剂量为2.5 kGy；直接杀死幼虫的最低有效剂量为3.0 kGy。干果杀菌的最低有效剂量为4.0 kGy。最高耐受剂量：红枣干、枸杞干、葡萄干分别为10.0、8.0、4.0 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，葡萄干辐照优选 $\gamma$ 射线，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.更改了标准名称

将GB/T 18525.3-2001《红枣辐照杀虫工艺》、GB/T 18525.4-2001《枸杞干、葡萄干辐照杀虫工艺》合并修订为《干果类辐照工艺》。

#### 2.增加了范围

见本标准第1章，2001年版的第1章。

本标准规定了干果类辐照杀虫和灭菌的工艺参数和技术要求。本标准适用于干果类制品的辐照杀虫和灭菌。

#### 3.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。

#### **4.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。

#### **5.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）应根据干果制品种类、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）干果制品杀虫的最低有效剂量为0.3 kGy，直接杀死的最低有效剂量为3.0 kGy；干果杀菌的最低有效剂量为4.0 kGy；最高耐受剂量葡萄干为4.0 kGy，枸杞干为8.0 kGy，红枣干为10.0 kGy。具体可根据实际辐照目的和卫生质量确定。

（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，不同的干果制品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。

#### **6.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。

#### **7.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。贮藏环境符合干果制品的卫生要求。

## **8.删除了“辐照后产品质量”**

见2001年版的第7章。

## **9.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。

## **10.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。

## **11.删除了“标识”**

见2001年版的第8章。

## **12.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) 干果辐照加工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，40多年来，辐照保藏技术广泛地应用于干果的杀虫灭菌，在预防贮藏损失、食源性疾病的发生与流行，防止产品腐变，延长货架期和贮存期都发挥了积极作用。特别是辐照农产品检疫处理已得到国际上许多组织的认可<sup>[6-9]</sup>。

#### **1.干果辐照杀虫研究进展和试验验证的分析**

干果优势贮藏害虫为印度谷螟，印度谷螟一年可发生2~3代<sup>[10-11]</sup>。干果产品在开放环境条件下长期贮藏极易被贮藏害虫蛀食危害，失去商品价值而造成损失，一般可达5%~10%，损失最严重时可达100%。王玮等（2023）调查显示乌鲁木齐市干果贮藏物害虫主要种类有印度谷螟、花斑皮蠹、锯谷盗，受危害比较严重



的干果有红枣、葡萄干、核桃，干果贮存期在3~6个月时最容易受害虫危害<sup>[10]</sup>。

辐照杀虫不仅能降低化学农药的使用，而且环境友好、杀虫效果显著。干果辐照杀虫处理能使害虫在一定时间内死亡、丧失孵化和繁殖能力，达到减少损失、保证产品质量和与安全的目的。不同害虫的辐照敏感性不同，鞘翅目>蜚蠊目>鳞翅目，不同虫态的辐照敏感性顺序为卵、幼虫>蛹>成虫<sup>[11]</sup>。刘昭等（1987）报道，<sup>60</sup>Co- $\gamma$ 射线0.4-0.6 kGy辐照印度谷螟幼虫后取食量减少，抑制发育并减少其化蛹率和羽化率，不能繁殖后代；0.8-1.0 kGy辐照后15天100%死亡；酱曲露尾甲和脊胸露尾虫的幼虫辐照敏感性较强，1 kGy辐照后6天全部死亡，脊胸露尾虫对辐照较敏感，0.1 kGy辐照后6天全部死亡；0.6-0.8 kGy辐照赤拟谷盗的蛹，22天后100%死亡；印度谷螟的蛹辐照后羽化率降低，羽化的成虫形态异常，生活能力减弱，0.8-1.0 kGy辐照后6天100%死亡；<sup>60</sup>Co- $\gamma$ 射线1 kGy辐照可有效地杀灭危害红枣、黄花菜的鳞翅目和鞘翅目的多种仓库害虫<sup>[12]</sup>。王吉德等（1990）报道，经1.0 kGy辐照后，12天时葡萄干中的幼虫死亡率为45.0%，54天后全部死亡；2.0 kGy辐照后，3天内幼虫死亡率即达53.9%，18天后全部死亡；3.0 kGy辐照后幼虫即全部死亡；建议杀死葡萄干内已孵化幼虫的有效剂量为3.0 kGy，经辐照处理过的无核绿葡萄干，在常温下可保藏8个月以上，达到在新疆地区安全保藏越夏的目的<sup>[13]</sup>。王瑛等（1992）报道平均吸收剂量1.0 kGy可有效地杀灭危害干果类的主要仓虫——印度谷螟，且辐照前后杏仁样品的理化、营养学指标均无显著差异，1.0 kGy处理的好果率比对照组的提高20%左右；印度谷螟幼虫经0.61 kGy的 $\gamma$ 射线辐照，15天后死亡率仍接近零，这期间体态活动仍正常；辐射主要抑制发育，减少其化蛹率和羽化率。受到1.0-2.0 kGy辐照后，其活动能力明显减弱，发育到化蛹前多数逐渐死亡<sup>[14]</sup>。王吉德等（1994）报道了印度谷螟幼虫经<sup>60</sup>Co- $\gamma$ 射线100-500 Gy辐射后蛀食能力与爬行力均正常；1000 Gy辐射后在第9天时幼虫蛀食能力与爬行力开始减弱变缓；1400~1600 Gy辐射后在8-12天时活动明显减弱，虫体形态弯曲，只能存活23天。除3000 Gy外，2000~2900 Gy辐射后的幼虫已完全丧失蛀食能力与爬行力，干果完好无损，幼虫表现为虫体缩短卷缩，处于假死状态，只能触动，且只能存活15天，随剂量的增加，则此现象越明显；建议辐射杀死葡萄干中幼虫的最低有效致死剂量（缓期致死剂量）2 kGy左右，立即杀死幼虫的有效致死剂量为3 kGy<sup>[15]</sup>。王吉德等（1995）以0、1.0、2.0、3.0 kGy的剂量处理枸杞干中的印度谷螟幼虫，结果表明，经1.0 kGy剂量辐照，枸杞干中的幼虫在不同时间的死

亡率均低于50%，存活幼虫生活力正常；2.0 kGy剂量辐照，3天时幼虫死亡率即高于50%，9天时死亡率即达57.1%~88.9%，存活幼虫处于假死状态，无生活力，随后逐渐死亡；3.0 kGy辐照3天时幼虫即100%死亡；建议杀死小包装枸杞干中幼虫的适宜剂量为2.0~3.0 kGy<sup>[16]</sup>。Follett（2018）的研究结果表明，对咖啡干果进行150 Gy的辐照处理足以导致咖啡甲虫丧失产卵能力，同时他收集了不同机构和研究人员关于辐照诱致15种甲虫丧失繁殖能力的剂量范围为50~165 Gy<sup>[7]</sup>。程竹林等（2023）研究结果表明，辐照剂量为2.0 kGy 试验结束时生虫率为0.57%，显著低于未经辐照干枸杞的0.97%，建议干枸杞的电子束辐照剂量应在4~8 kGy范围内，该剂量范围内能有效抑制干枸杞生虫，且能最大程度保持干枸杞原有的食用品质<sup>[17]</sup>。在国际上，如印度颁布的关于辐照控制干蔬菜、调味料、香料、调味品、干草药及其制品、茶、咖啡、可可和其他相应植物干品防治生虫的工艺剂量为0.3~1.0 kGy<sup>[18]</sup>。Shobha等（2024）的研究结果表明对小米粉进行1.5 kGy的剂量辐照足以实现室温下90天内杀虫和灭菌的效果，并对小米粉的口味、外观、含水量、过氧化值、酒精酸度和游离脂肪酸含量等指标没有显著影响<sup>[4]</sup>。

前人的研究结果与本试验验证结果基本一致，杀死虫卵的最低有效剂量 0.3 kGy；2 个月后幼虫全部死亡的最低有效剂量 0.3 kGy，但期间存在幼虫继续取食现象；幼虫在 1~2 个月后全部死亡的最低有效剂量 0.75~1.0 kGy，存活前期存在取食现象；幼虫在 3~4 周后死亡的最低有效剂量 1.5~2.0 kGy，期间基本丧失蛀食能力；幼虫在 2 天后全部死亡的最低有效剂量 2.5 kGy；直接杀死幼虫的最低有效剂量 3.0 kGy。

## 2.干果辐照杀菌研究进展和试验验证的分析

王吉德等（1990）报道，辐照无核绿葡萄干不产生不良变化的临界剂量为5.0 kGy，2.0~4.0 kGy辐照葡萄干，其主要营养成分未发生明显的变化；应用1.8~60.0 kGy剂量辐照后的葡萄干，未发现有感生放射性核素及放射性污染<sup>[13]</sup>。王吉德等（1995）研究表明，3.5 kGy剂量辐照后枸杞干微生物含量可减少74.47%，其主要营养成分无明显变化<sup>[16]</sup>。程竹林等（2023）研究认为，当辐照剂量 $\geq 8$  kGy 时还原糖、枸杞多糖含量显著上升，干枸杞干的类胡萝卜素、黄酮含量明显下降，并产生色差，建议枸杞干的电子束辐照剂量在4~8 kGy 范围内<sup>[17]</sup>。林音等（2001）对常见高含油量坚果辐照后感官品质研究，确定了松子、核桃、花生、开心果的最高耐受剂量为6 kGy，杏仁、腰果为8 kGy<sup>[19]</sup>。梁宏斌（2002）报道经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；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>[20]</sup>。朱佳廷等（2006）报道，红枣经3 kGy辐照后的微生物数量均达到国家标准，VC含量比对照降低了20.5%；5 kGy辐照后红枣的总糖、蛋白质、矿物质及VA、VE、VB1、VB2含量和感官品质无显著影响，VC含量随辐照剂量的增加显著下降<sup>[21]</sup>。邱建辉等（2018）报道，当辐照剂量为3.98 kGy 时，枸杞干中细菌总数降至 $4.3 \times 10^2$  CFU/g，霉菌数小于10 CFU/g，大肠菌群未检出，符合企业枸杞干卫生标准；计算得到枸杞干中细菌D<sub>10</sub>为1.61 kGy；当辐照剂量低于8.11 kGy时，枸杞干的比重、色泽、气味、滋味和口感以及可接受性与对照相比无明显变化；辐照对枸杞干的蛋白质、脂肪、水分含量无明显影响，对VE含量有影响；建议枸杞干辐照灭菌的工艺剂量为4~8 kGy<sup>[22]</sup>。古明亮等（2020）报道，经2 kGy辐照的无核葡萄干感官评价结果与对照组无明显差异；经4、6、8、10 kGy辐照的无核葡萄干感官评价结果低于对照组；无核葡萄干经6 kGy辐照，可杀灭100%的霉菌<sup>[23]</sup>。李乐等（2023）利用电子束辐照处理葡萄干，结果表明，6 kGy以下剂量的电子束辐照对红、绿葡萄干的总糖、总酸和Vc含量等理化指标，以及外观、口感和风味等感官指标的影响不显著，对红、绿葡萄干的色泽均有显著影响，辐照后绿葡萄干变黄、红葡萄干变红，红、绿葡萄干的最高耐受剂量均为4 kGy<sup>[24]</sup>。赵志雅等（2023）利用电子束辐照对4种新疆干果品质的影响进行分析，结果表明，10 kGy 以内的辐照处理对红枣干的品质无不良影响；8 kGy 辐照处理后枸杞干口感稍淡，质地较柔软，仍可接受；确定枸杞干、红枣干、无花果干和小白杏干的最高耐受剂量分别是8、10、6和6 kGy<sup>[25]</sup>。王炳奎等（2023）的研究结果表明，红薯干经 $\gamma$ 射线辐照处理后，其可溶性固形物、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>[26]</sup>。Rondán-Flores等(2025)的研究结果表明，在500 Gy~30 kGy的剂量范围内辐照火龙干果皮干粉，对其果皮粉末中的结晶纤维素和葡萄糖的形态变化没有显著影响<sup>[27]</sup>。

本试验验证结果与前人的研究结果基本一致，干果杀菌的最低有效剂量 4.0

kGy，最高耐受剂量：红枣干、枸杞干、葡萄干分别为 10.0、8.0、4.0kGy。葡萄干辐照优选  $\gamma$  射线。

## （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。大众类的干果因产销量巨大，有大量的杀虫杀菌需求，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，尤其是葡萄干等高糖分的干果类产品不适合传统高温杀菌方法，辐照技术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

本标准对于果类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. No.20 1995《干果及坚果辐照杀虫工艺规范》。

#### 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 7099-2015 《食品安全国家标准 糕点、面包》

GB 14884-2016 《食品安全国家标准 蜜饯》

GB 14891.3-1997 《辐照干果果脯类卫生标准》

GB 16325-2005 《干果食品卫生标准》

GB 31607-2021 《食品安全国家标准 散装即食食品中致病菌限量》

GB 31637-2016 《食品安全国家标准 食用淀粉》

GB/T 5835-2009 《干制红枣》

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

GB/T 18672-2014 《枸杞》

GB/T 19586-2008 《地理标志产品 吐鲁番葡萄干》

GB/T 19742-2008 《地理标志产品 宁夏枸杞》

GB/T 23401-2009 《地理标志产品 延川红枣》

GB/T 26150-2010 《免洗红枣》

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 705-2003 《葡萄干》

NY/T 1041-2018 《绿色食品 干果》

NY/T 1051-2014 《绿色食品 枸杞》

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

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] 闫琳, 裴晓燕, 彭子欣, 等. 2019 年中国市售水果干制品中微生物污染状况[J]. 卫生研究, 2022, 51(1): 63-67
- [2] 王洁茹, 喻文丽, 李颖, 等. 阿拉尔市枸杞干果的污染菌相调查与防控措施[J]. 包装工程, 2019, 40(13): 41-45
- [3] 王亚平, 王均华, 张从党, 等. 葡萄干中霉菌污染调查研究分析[J]. 现代食品, 2022, 28(6): 217-220
- [4] Shobha D., Badigannavar A. Effect of gamma ray irradiation and packaging on the storage quality of kodo millet (*Paspalum scrobiculatum* L.) flour[J], Radiation Physics and Chemistry, 2024, 223: 112003
- [5] Gracheva A.Y., Zavyalov M.A., Ilyukhina N.V. et al. Enhancement of efficiency of storage and processing of food raw materials using radiation technologies[J]. Physics of Atomic Nuclei, 2016, 79(14): 1682-1687
- [6] Gomes I.V., Sobreira A.C.F.P., Aguilar J.S., et al. Phytosanitary irradiation as an effective treatment for *Drosophila suzukii*[J]. Scientific Reports, 2024, (14): 22225
- [7] Follett A.P. Irradiation for quarantine control of coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) in coffee and a proposed generic dose for snout beetles (Coleoptera: Curculionoidea)[J]. Journal of Economic Entomology, 2018, 111(4): 1633-1637
- [8] Lizarazo-Peña P., Darghan E., Herrera A. Effects of gamma radiation on the quality of Hass avocado fruits (*Persea americana* Mill.)[J]. Radiation Physics and Chemistry, 2022, 190: 109817
- [9] Antonio A.L., Carocho M., Bento A., et al. Effects of gamma radiation on the biological, physico-chemical, nutritional and antioxidant parameters of chestnuts – A review[J]. Food and Chemical Toxicology, 2012, 50: 3234-3242
- [10] 王玮, 陈韵, 杨沅鑫, 等. 乌鲁木齐市干果储藏物害虫种类调查研究[J]. 智慧农业导刊, 2023, (12): 33-35, 39
- [11] 刘春泉, 朱佳廷, 冯敏, 等. 农产品辐照加工与标准化[M]. 南京: 江苏凤凰科学技术出版社, 2019
- [12] 刘昭, 王应昌, 王桂芝, 等. 红枣、黄花菜的辐照贮藏[J]. 原子能农业应用, 1987, (2): 13-17
- [13] 王吉德. 辐照保藏无核绿葡萄干的研究[J]. 核农学报, 1990, 4(3): 145-150
- [14] 王瑛. 杏仁辐射杀虫卫生标准研究[J]. 辐射研究与辐射工艺学报, 1992, 10(4): 243~245
- [15] 王吉德. 印度谷蛾幼虫辐射致死研究初报[J]. 辐射研究与辐射工艺学报, 1994, 12(2): 127-128
- [16] 王吉德, 张星魁, 王成, 等. 枸杞干商业化辐照杀虫研究[J]. 核农学通报, 1995, 16(6): 266-268

- [17] 程竹林, 王晓雨, 任贵平, 等. 电子束辐照对干枸杞生虫及品质的影响[J]. 现代食品科技, 2023, 39(2): 221-228
- [18] Pillai S.D., Shayanfar S. Electron beam technology and other irradiation technology applications in the food industry[J]. Topics in Current Chemistry(Z), 2017, 375: 6
- [19] 林音. 辐照对常见坚果感官特性的影响[J]. 核农学报, 2001, 15(4): 254-256
- [20] 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
- [21] 朱佳廷, 刘春泉, 余刚, 等. 辐照杀菌对红枣品质的影响[J]. 江苏农业学报, 2006, 22(2): 164-167
- [22] 邱建辉, 陈玉霞, 谷峰, 等. 枸杞干辐射杀菌工艺剂量研究[J]. 安徽农业科学, 2018, 46(18): 134-137
- [23] 古明亮, 张朝林, 陈鹏月, 等. 电子束辐照对无核葡萄干的杀灭霉菌效果及感官品质的影响[J]. 江苏调味副食品, 2020, (1): 41-44
- [24] 李乐, 范林霞, 赵志雅, 等. 电子束辐照处理葡萄干的最高耐受剂量的确定[J]. 核农学报, 2023, 37(8): 1571-1577
- [25] 赵志雅, 左都文, 李乐, 等. 电子束辐照对新疆干果品质的影响及其最高耐受剂量的确定[J]. 食品安全质量检测学报, 2023, 14(10): 270-277
- [26] 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
- [27] Rondán-Flores L.M., GunduRao T.K., Villavicencio A.L.C.H., 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 Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy, 2025, 325: 125144
- [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