

Application and Influence of Irradiation in Edible Fungi Processing

Guangxian Liu, Shengping Xing, Huiwei Xiong, Tianfang Dai*, Guangyao Xu, Fufang Ma

Jiangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanchang Jiangxi
Email: *312691630@qq.com

Received: June 2nd, 2019; accepted: June 17th, 2019; published: June 24th, 2019

Abstract

China's edible mushroom production is huge, accounting for 72% of the world's total output. In recent years, with the industrialization of planting mode and the implementation of poverty alleviation policy of edible fungus industry, the output will be greatly increased. At the same time, with the continuous promotion of the healthy diet concept of "one meat, one vegetable and one mushroom", the consumption of edible fungi will show an upward trend, and the intensive processing of edible fungi will inevitably usher in new development opportunities. Irradiation is widely used in food industry as a processing technology, and it is also used in edible fungi processing. This paper summarizes the application status of irradiation technology in edible fungi processing at home and abroad and its influence on edible fungi components, and discusses its application prospect in edible fungi processing, which provides a reference for its further application in edible fungi processing.

Keywords

Edible Fungi, Irradiation, Food Components, Preservation

辐照在食用菌加工中的应用及其影响

刘光宪, 幸胜平, 熊慧薇, 戴天放*, 徐光耀, 麻福芳

江西省农业科学院, 江西 南昌
Email: *312691630@qq.com

收稿日期: 2019年6月2日; 录用日期: 2019年6月17日; 发布日期: 2019年6月24日

摘要

我国食用菌产量巨大, 占世界总产量的72%。近年来随着种植模式工厂化及食用菌产业扶贫政策的实施,

*通讯作者。

产量还将会有大幅度提升。与此同时,随着“一荤一素一菇”的居民健康饮食理念的不断推广,食用菌的消费将呈现上升趋势,食用菌精深加工势必迎来新的发展机遇。辐照作为一种加工技术在食品行业中应用较为广泛,其中在食用菌加工中也均有应用,本文综述了国内外辐照技术在食用菌加工中的应用现状及其对食用菌组分的影响,探讨了其在食用菌加工中的应用前景,为其在食用菌加工中的进一步应用提供了参考。

关键词

食用菌, 辐照, 食品组分, 保鲜

Copyright © 2019 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

食用菌被世界卫生组织定为功能性食品,是世界公认的“药食同源”健康品,富含蛋白质、维生素、矿物质、多糖等,具有较高的营养价值[1]。其蛋白质含量为干重的30%~45%,属于高消化率蛋白,含量居于肉和蔬菜之间,但脂肪含量少、不含胆固醇,因此,营养价值综合高于肉类,是人体必需氨基酸含量最全的食物;食用菌中维生素含量较高,特别是维生素B族、维生素D原含量较高,这些维生素在人体生长发育、疾病预防中发挥了关键作用;食用菌矿物质含量全,是很好的矿物质源,菌体中的钾、磷、硒等含量较高,对人体生理机能调控起到重要作用。食用菌除了营养价值较高外,还具有重要的药用价值,与其多糖含量高有关,具有抗肿瘤、降血压、降血脂、抗病毒、保护心血管及吸收有害物质或重金属等作用,因此,在临床上得到了一定应用。由此可见,食用菌营养和药用价值高,发展食用菌产品,符合人类健康饮食发展的需要[2] [3]。

近年来,随着国家供给侧结构调整及精准扶贫政策的落实,食用菌栽培具有不与粮争地、不与农争时以及投资小、周期短、见效快等特点,因此,食用菌产业获得了巨大的发展空间,在未来的几年,食用菌的产量会有较大幅度的提升。

我国食用菌以鲜销、内销为主,出口及精深加工较少,产量的不断增加,未来将会产生供大于求的现象,为了应对此状况,除了进一步倡导“一荤一素一菌”的健康饮食搭配,扩大内需,提高出口比例外,更重要的是加大食用菌精深加工力度,通过采用现代食品加工高新技术,开发多样性食用菌产品。目前,普遍采用的技术有:冷冻干燥、低温真空油炸技术、生物酶解技术、超声或微波技术、喷雾干燥技术、辐照技术等,其中辐照技术常用于产品消灭菌、防霉、防虫、杀虫、保鲜、延长保质期等,因此在食用菌加工业中应用广泛。

2. 辐照技术及其应用

通常用于食品加工中的辐照方式主要有: ^{60}Co 产生的 γ 射线、机械源产生的电子束、紫外线等,其作用机理在于与食品相互作用发生物理、化学、生物效应,该过程可以消除食品中的病原微生物及其它腐败细菌或抑制某些食品的生理活动,达到延长保质期的目的,可使食品组分发生降解、聚合、交联,达到改性的目的,也可通过辐照提高食品中活性物质的功能特性[4]。

食品辐照技术被誉为食品界继巴氏消毒之后的第二个突破[5],该技术已经成为食品加工领域的一项

高新技术, 具有安全、环保、节能等特点, 是对传统食品加工贮藏技术的重要补充和完善。目前, 辐照在食品中的主要应用有: 香料、谷物、肉类、果蔬、蛋类等的杀菌保鲜, 大蒜、马铃薯发芽的抑制等, 应用领域较广, 涉及食品种类较多[6]。成熟的辐照技术已进入商业化阶段, 全球已有 50 多个国家批准辐照食品 200 余种, 我国是世界上辐照食品产量最大的过国家, 约占全球的三分之一。

3. 辐照技术在食用菌加工中的应用

3.1. 辐照技术在食用菌加工的应用情况概况

食用菌辐照加工是国内外研究的热点之一, 研究集中于一是获得最佳的贮藏保鲜技术工艺, 延长货架期, 二是揭示辐照过程中组分变化情况, 国内外辐照加工的食用菌种类、辐照方式、辐照剂量如表 1。

Table 1. Irradiation method and dose of edible fungi at home and abroad

表 1. 国内外食用菌辐照的方式及处理剂量

种类	地区	形态	辐照方式	剂量	相关报道
双孢菇	加拿大	新鲜	γ -辐射	0.5、1.5、2.5 kGy	Benoit <i>et al.</i> , (2000)
	匈牙利	新鲜	γ -辐射	1、3、5 kGy	Sommer <i>et al.</i> , (2009,2010)
	印度	新鲜	γ -辐射	0.5、2 kGy	Wani <i>et al.</i> , (2009)
	中国	新鲜	电子束	1、4 kGy	Duan <i>et al.</i> (2010)
	美国	新鲜	电子束	0.5、1、3.1、5.2 kGy	Koorapti <i>et al.</i> (2004)
	丹麦	新鲜	UV-B	10、20、30 kJ/m ²	Ko <i>et al.</i> (2008)
	新加坡	新鲜	UV-C、UV-B、UV-A	23、35.3、25.2 kJ/m ²	Jasinghe and Perera (2006)
	荷兰	新鲜	UV-C UV-A	94.7、189.5、379.0 J/cm ²	Teichmnn <i>et al.</i> (2007)
	美国	新鲜	UV-C	0.225、0.45、0.90 kJ/cm ²	Guan <i>et al.</i> (2012)
	德国	新鲜	UV-C UV-A	94.7、189.5、379.0 J/cm ²	Anja Teichmann <i>et al.</i> (2007)
	德国	新鲜	UV-B	1.5J/cm ²	Nils NÖlle <i>et al.</i> (2017)
	美国	新鲜	γ -辐射	1、3、5 kGy	Isolde Sommer <i>et al.</i> (2010)
	加拿大	新鲜	γ -辐射	2 kGy	M. Beaulieu. (2000)
	波兰	新鲜	UVB	69、411 mJ/cm ²	Aneta Sławin'ska <i>et al.</i> (2016)
	中国	新鲜	UV-C	0.5、1.0、2.0 kJ/m ²	关文强 等. (2016)
	香菇	中国	新鲜/气调	γ -辐射	1.0、1.5、2.0 kGy
新加坡		新鲜	UV-C、UV-B、UV-A	23.0、25.2、35.3 kJ/m ²	Jasinghe and Perera (2006)
日本		新鲜	UV-B	25.5、50、75 kJ/m ²	Ko <i>et al.</i> (2008)
中国		新鲜/气调	UV-C	4 kJ/m ²	Jiang, Jahangir, <i>et al.</i> (2010)
平菇	韩国	干燥	γ -辐射	2、5、10 kGy	Kashif Akram <i>et al.</i> (2013)
	新加坡	新鲜	UV-C、UV-B、UV-A	23.0、25.2、35.3 kJ/m ²	Jasinghe and Perera (2006)
	中国	新鲜	γ -辐射	0.5、0.8、1.0、1.3、1.6、2.0 kGy	吴海霞 (2014)
鸡油菌	中国	新鲜	UV-C	230 μ W/cm ²	Qiong Wang <i>et al.</i> (2017)
	瑞典	冻干	UV-C、UV-A	94.7、189.5、379.0 J/cm ²	Teichmnn <i>et al.</i> , (2007)
真姬菇	中国	新鲜	γ -辐射	0.8、1.2、1.6、2.0 kGy	Xing <i>et al.</i> (2007)

Continued

白桦茸	韩国	浸膏	γ -辐射	3、5、7、10 kGy	Kim <i>et al.</i> (2009)
侧耳	新加坡	新鲜	UV-C、UV-B、UV-A	23.0、25.2、35.3 kJ/m ²	Jasinghe and Perera (2006)
白灵菇	中国	新鲜	γ -辐射	0.8、1.2、1.6、2.0 kGy	Xiong <i>et al.</i> (2009)
夏块菌	西班牙	风干/气体包装	电子束	1.5、2.5 kGy	Rivera <i>et al.</i> (2011)
草菇	中国	新鲜	γ -辐射	0.2、0.4、0.6、0.8、1.0 kGy	Lijuan Hou <i>et al.</i> (2018)
平菇、侧耳菇、金针菇、双孢菇	澳大利亚	新鲜	UV-A	25.2 kJ/m ²	Viraj J. Jasinghe <i>et al.</i> (2005)
雨伞菇、美味牛肚菌、大白菇、褐红盖牛肝菌	葡萄牙	新鲜	γ -辐射、电子束	1、2 kGy	Ângela Fernandes <i>et al.</i> (2014)
白玉菇	中国	新鲜	UV-C	0.5、1.0、2.0 kJ/m ²	钱书意 等(2018)

3.2. 食用菌辐照保鲜

采收后的食用菌仍进行生理生化活动，呼吸、蒸腾、化学作用相继发生，加之贮运过程中机械磨损和微生物侵入感染，品质发生变化，主要体现在褐变、失重、菌柄变长、菌柄变粗、开伞、皱缩、腐败等。这些变化对食用菌商用和食用价值产生了显著不利影响。因此，采收后需及时采取有效的保鲜措施。

辐照在食用菌加工中最主要的应用是保鲜，通过辐照产生的辐射能量杀灭微生物及虫害，并破坏酶活，抑制生命活动，延缓成熟，延长货架期。研究显示，与冻干、热风干燥相比， γ -辐照可以最大限度保持的新鲜伞菇的营养组分；与未辐照处理为对照，辐照后的蘑菇其生命活动被抑制，破膜、开伞、鲜重损失减慢，褐变、腐烂减少；草菇经电子束处理 1.0 kGy 至 2.5 kGy 后，在 16℃ 贮藏 6 天，生长被抑制，商品菇率保持在 92% 以上[7] [8]。

4. 辐照技术对食用菌品质及营养组分的影响

4.1. 感官品质及风味的影响

较低的辐照速率能较好的保持食用菌的外观色泽。研究显示辐射剂量为 2 kGy，辐射速率为 4.5 kGy/h 时，可以保持双孢菇较好的色泽和延长货架期 4 天，而当辐射速率为 32 kGy/h 时，色泽发生显著变化，货架期可延长 2 天[9]。

经过 0.2 kGy、0.4 kGy、0.6 kGy、1.0 kGy 辐照后，16℃，湿度为 55%~60% 的环境贮藏 7 天。0.8 kGy γ -辐照的草菇的感官色泽较好，草菇失重、呼吸作用较为缓慢，草菇软化较慢[10]；双孢菇经 0.5 kGy 的电子辐射剂量处理后，感官品质得到了提升，开伞和茎生长被抑制[11]；研究显示 1.0 kGy 的 γ -辐照更有利于保持杏鲍菇的色泽、失重及外观[12]。白玉菇经 30 W 的 UV-C 处理 20 分钟后，与未照射相比，其感官品质、硬度不变[13]。4.0 kJ/m² 的 UV-C 处理平菇后，色泽变化较小[14]。

以草菇为原料，采用 1.0 kGy、1.5 kGy、2.0 kGy、2.5 kGy 的电子束处理，其中 1.0 kGy 处理草菇的硬度减缓，利于保持其外观品质[8]。草菇经 0.4 kGy ⁶⁰Co- γ 射线辐照后，口感及风味基本未受影响，开伞被抑制[15]。

4.2. 营养组分影响

食用菌的营养组分包括：蛋白质、脂肪、维生素、矿物质、抗生素及核苷酸等。除了含有基本营养

素外,还含有生物活性多糖,这些成分在食用菌采收后,易受到贮运的影响,成分变化对产品品质和营养健康价值产生较大影响。低剂量的辐照对大多数食用菌的营养组分影响不大,如辐照后松乳菇经过 1 kGy 的 γ -辐照处理后,可以有效控制其化学组分[16]。

4.2.1. 蛋白质、脂肪

γ -辐照对牛肚菌、獐子菌中蛋白质的影响较大,经过 1.0 kGy、2.0 kGy 辐照后,牛肚菌的蛋白质由 23%减少到 15%、16%,獐子菌的蛋白质含量由 14.1%减少到 12.2%、8%,经过辐照后牛肚菌和獐子菌的脂肪含量略有增加[17];双孢菇经 1 kGy γ -辐照后,4℃贮藏,蛋白质减少较慢[17];真姬菇经 0.8 kGy 辐照处理后,可溶性蛋白减少缓慢;平菇经过 4.0 kJ/m² UV-C 辐照后可溶性蛋白含量基本不变[14]。大怀伞蘑菇、牛杆菌经过 γ -辐照后,2 kGy 辐照后,脂肪含量为发生改变。其中蛋白质、灰分增加。碳水化合物较少了[18]。

4.2.2. 碳水化合物、酚类

新鲜羊肚菌多糖的含量辐照后,未发生变化,而干菇的多糖含量辐照后略有增加;伽马辐照对牛肚菌、獐子菌中碳水化合物具有一定影响,经过 1.0 kGy、2.0 kGy 辐照后,碳水化合物的含量增加较多,牛肚菌的碳水化合物含量由 65%增加多 71.5%,獐子菌的碳水化合物含量由 72%增加到 77% [17];双孢菇经 1 kGy γ -辐照后,4℃贮藏,总糖含量高,酚类物质增加[19];白玉菇 UV-C 辐照后其可溶性总糖含量不变[13];经过 1 kGy 伽马辐照处理后,牛肚菌的单糖和二糖含量减少了分别是果糖、葡萄糖、甘露醇、海藻糖含量减少了,獐子菌的甘露醇、海藻糖含量减少了,总的生育酚含量经过 1.0 kGy、2.0 kGy 辐照处理后,先增加后减少,1 kGy 辐照后含量增加一倍以上,而 2 kGy 后减少一半[17]。自由糖中果糖牛肝菌增加,大怀伞蘑菇中果糖减少,牛肝菌、大怀伞蘑菇中甘露醇、海藻糖略有减少,牛杆菌中的 δ -生育酚减少了,大怀伞蘑菇中 α -生育酚减少了[18]。

4.2.3. 丙二醛、酶

双孢菇经 1 kGy γ -辐照后,4℃贮藏,丙二醛积累少[19];草菇经过 0.8 kGy 辐照后,丙二醛含量较未辐照相比减少,经 0.8 kGy、1.0 kGy 辐照贮藏 4、5 天的草菇的过氧化氢酶活性显著高于未辐照的草菇,辐照后超氧化物歧化酶活性较高,微生物减少较多,这些结果显示,0.8 kGy 的钴 60 伽马射线辐照可以较好的保持草菇的品质;1.0 kGy 的电子束辐照下,双孢菇的过氧化氢酶活性未发生明显变化,而过氧化氢酶可以为双孢菇的氧化起到了抑制效果[20];在 4.5 kGy/h 的速率下辐照剂量达到 2 kGy 时,双孢菇多酚类物质含量与未辐照相比增加了,苯丙氨酸氨裂解酶的活性辐照后,有所提升[9]。而该酶反应的活性越强表示,其在植物生长发育和抵御病菌侵害能力越强。

5. 结论

辐照作为一种食品加工技术,在食用菌贮藏保鲜中得到了一定应用,其对食用菌营养组分的影响,除了与食用菌种类、含水率、织构等有关外,还与辐射剂量和辐射速率有关。一般高水分食用菌,对辐照较为敏感。通过比较国内外相关研究报道,辐照对食用菌的组分会产生一定变化,同时在一定程度上也可提高食用菌部分生物活性。相比较来看,低剂量辐照对组分的变化产生的影响是可以接受的,考虑到辐照的优点大于缺点,该项技术具有一定的推广应用价值。

基金项目

江西省食用菌产业技术体系(JXARS-20)。

参考文献

- [1] Bercu, V., Negut, C.D. and Dului, O.G. (2010) EPR Investigation of Some Desiccated *Ascomycota* and *Basidiomycota* γ -Irradiated Mushrooms. *Radiation Physics & Chemistry*, **79**, 1275-1278. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2010.07.005>
- [2] Villares, A., Mateo-Vivaracho, L., García-Lafuente, A. and Guillaumon, E. (2014) Storage Temperature and UV-Irradiation Influence on the Ergosterol Content in Edible Mushrooms. *Food Chemistry*, **147**, 252-256. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.09.144>
- [3] Taofiq, O., González-Paramás, A.M., Martins, A., et al. (2016) Mushrooms Extracts and Compounds in Cosmetics, Cosmeceuticals and Nutricosmetics—A Review. *Industrial Crops & Products*, **90**, 38-48. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.06.012>
- [4] Song, H.Y., Kim, H.M., Kim, W.S., et al. (2018) Effect of γ Irradiation on the Anti-Oxidant and Anti-Melanogenic Activity of Black Ginseng Extract in B16F10 Melanoma Cells. *Radiation Physics & Chemistry*, **149**, 33-40. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2018.03.008>
- [5] Fernandes, Â., Antonio, A.L., Oliveira, M.B.P.P., Martins, A. and Ferreira, I.C.F.R. (2012) Effect of γ and Electron Beam Irradiation on the Physico-Chemical and Nutritional Properties of Mushrooms: A Review. *Food Chemistry*, **135**, 641-650. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.04.136>
- [6] Prakash, A. (2016) Particular Applications of Food Irradiation Fresh Produce. *Radiation Physics & Chemistry*, **129**, 50-52. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2016.07.017>
- [7] 叶蕙, 陈建勋. γ -辐照对草菇保鲜及其生理机制的研究[J]. 核农学报, 2000, 14(1): 24-28.
- [8] 逯连静. 草菇采后生理生化及保鲜方法的研究[D]: [硕士学位论文]. 南京: 南京农业大学, 2011.
- [9] Beaulieu, M., D'Aprano, G. and Lacroix, M. (2002) Effect of Dose Rate of Gamma Irradiation on Biochemical Quality and Browning of Mushrooms *Agaricus bisporus*. *Radiation Physics & Chemistry*, **63**, 311-315. [https://doi.org/10.1016/S0969-806X\(01\)00518-7](https://doi.org/10.1016/S0969-806X(01)00518-7)
- [10] Hou, L., Lin, J., Ma, L., et al. (2018) Effect of ^{60}Co - γ Irradiation on Postharvest Quality and Selected Enzyme Activities of *Volvariella volvacea*. *Scientia Horticulturae*, **235**, 382-390. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.02.074>
- [11] Koorapati, A., Foley, D., Pilling, R. and Prakash, A. (2010) Electron-Beam Irradiation Preserves the Quality of White Button Mushroom (*Agaricus bisporus*) Slices. *Journal of Food Science*, **69**, Q25-Q29. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2004.tb17882.x>
- [12] Akram, K., Ahn, J.J., Yoon, S.-R., Kim, G.-R. and Kwon, J.-H. (2012) Quality Attributes of *Pleurotus eryngii* Following Gamma Irradiation. *Postharvest Biology & Technology*, **66**, 42-47. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2011.12.001>
- [13] 周春梅, 王欣, 刘宝林, 等. 短波紫外线处理时间对白玉菇自发气调保鲜的影响[J]. 食品与发酵工业, 2011, 37(3): 230-234.
- [14] Wang, Q., Chu, L. and Kou, L. (2017) UV-C Treatment Maintains Quality and Delays Senescence of Oyster Mushroom (*Pleurotus ostreatus*). *Scientia Horticulturae*, **225**, 380-385. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.07.019>
- [15] 谢福泉, 谢宝贵, 林远崇, 等. ^{60}Co - γ 辐照对草菇生理生化指标及保鲜效果的影响[J]. 食用菌学报, 2005, 12(2): 43-48.
- [16] Fernandes, Â., Barros, L., Barreira, J.C.M., et al. (2013) Effects of Different Processing Technologies on Chemical and Antioxidant Parameters of *Macrolepiota procera* Wild Mushroom. *LWT: Food Science and Technology*, **54**, 493-499. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.06.027>
- [17] Fernandes, Â., Barreira, J.C.M., Antonio, A.L., et al. (2013) Study of Chemical Changes and Antioxidant Activity Variation Induced by Gamma-Irradiation on Wild Mushrooms: Comparative Study through Principal Component Analysis. *Food Research International*, **54**, 18-25. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.06.011>
- [18] Fernandes, Â., Barreira, J.C.M., Antonio, A.L., et al. (2016) Extended Use of Gamma Irradiation in Wild Mushrooms Conservation: Validation of 2 kGy Dose to Preserve Their Chemical Characteristics. *LWT: Food Science and Technology*, **67**, 99-105. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.11.038>
- [19] Jiang, T.-J., Luo, S.-S., Chen, Q.-P., Shen, L. and Ying, T.-J. (2010) Effect of Integrated Application of Gamma Irradiation and Modified Atmosphere Packaging on Physicochemical and Microbiological Properties of Shiitake Mushroom (*Lentinus edodes*). *Food Chemistry*, **122**, 761-767. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.03.050>
- [20] Duan, Z., Xing, Z., Yi, S. and Zhao, X.-Y. (2010) Effect of Electron Beam Irradiation on Postharvest Quality and Selected Enzyme Activities of the White Button Mushroom, *Agaricus bisporus*. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, **58**, 9617-9621. <https://doi.org/10.1021/jf101852e>

知网检索的两种方式：

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2164-5507，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：hjas@hanspub.org