紫外技术在食品工业中的应用

北京锦坤科技有限公司 www.jonkon.com.cn

【摘要】概括地介绍了紫外技术在食品工业中的应用，即紫外杀菌的原理及其在表面杀菌、空气杀菌和液、固体物料杀菌上的应用，并简要介绍了其在果蔬保鲜和改善食品加工性能等方面的应用。

【关键词】紫外技术；杀菌；消毒；保鲜

中图分类号: TS20519　　文献标识码: A

文章编号: 1009- 1807 (2001) 09- 0009- 03

人们很早就发现紫外光有杀菌作用，但近几十年才真正对其进行利用。随着对紫外光研究的不断深入，其应用范围也逐渐扩大，在食品工业中的应用也日渐增多，在对食品物料、加工环境的杀菌中，因紫外杀菌有操作简单、污染小等优点而得到广泛应用。

1　紫外光基本知识

波长在 200～400nm 的电磁辐射称为紫外(UV)辐射或紫外线。从实际应用的角度可分为 3 个区域:

短波紫外光(UVC)：波长 200～280nm;

中波紫外光(UVB)：波长 280～320nm;

长波紫外光(UVA)：波长 320～400nm。

太阳辐射的紫外光通过地球大气层时，UVC 完全被臭氧层吸收，UVB 也有很大的衰减，UVA 几乎不受影响，所以环境中的紫外线波长在 290～400nm。

工业中应用的紫外线都是由汞蒸气灯发出的，根据不同的要求有长波紫外灯、中波紫外灯和短波紫外灯。紫外辐射强度以辐照度或辐射通量密度（W/ m2）来表示，而辐照剂量以辐射暴露(J/ m2) 来表示，是辐射强度和暴露时间的函数。

2　紫外光对活细胞的影响

2.1　短波紫外光(UVC) 对活细胞的影响

UVC 对大多数微生物(包括细菌、病毒、原虫、丝状真菌、酵母和藻类等) 都有杀灭作用。波长和杀菌效果的关系成峰形曲线，波长在 254 nm 时具有最佳杀菌效果，而在 320nm 时几乎没有杀菌作用。所以短波紫外灯波长大部分在 25317nm。UVC 引起的细胞损伤可能针对特异的目标分子,015～20J/ m2 的剂量就会使 DNA 形成二聚体，直接改变 DNA 使其不能够解链、复制执行正常的生理功能，从而导致细胞的死亡。受紫外辐射的 DNA 的光化产品主要是环丁基型二聚体(嘧啶二聚体)，嘧啶加成物和 DNA- 蛋白质交联物。嘌呤和嘧啶对光化学反应的敏感性不同，嘌呤碱基对光化学反应的抗性比嘧啶高 10 倍，因此，可以认为嘌呤的光化学反应在生物学上是不重要的。如果发生了显著的嘌呤损伤,则细胞已经因嘧啶损伤而失活了。紫外光对细菌芽孢也有明显的作用，因为芽孢缺乏对 DNA 起保护作用的小分子的酸溶性化合物，所以 DNA 更容易受损伤。

2.2　长波紫外光(UVA) 对活细胞的影响

相对于 UVC 而言，UVA 很少被活细胞吸收，所以对其生物致死效应研究也不多。但用日光浴治疗牛皮癣类皮肤病已经有许多年的历史了，说明 UVA 确实对微生物细胞有杀伤作用，只是研究表明远远弱于 UVC。例如，用 UVA 达到微生物半数致死率所需能量是 5J/ m2，而 UVC 却只需要 10- 5J/ m2 的能量。但研究发现在细胞内有一些光敏性物质可以对 UVA 的杀菌作用起到促进作用，符合这个特性的是三环的呋喃香豆素(由呋喃环和一分子香豆素聚合而成) 这类化合物。

3　紫外杀菌技术在食品工业中的应用

在食品工业中，紫外线杀菌主要用于三个领域:表面杀菌、空气杀菌和液体杀菌。

3.1　表面杀菌

紫外常用于包装材料(容器、包装纸或瓶盖) 的消毒: 在包装材料运输通道上用适宜的紫外灯照射可起到杀菌作用。紫外消毒要求材料表面干净无垢，否则这些脏物会吸收紫外线而对微生物起到保护作用。例如，在UHT 乳生产中，用 25317nm 的 UVC 灯，辐射强度 100～200mW/ cm2，对 HDPE 瓶的铝箔盖和纸板箱进行消毒处理，用紫外灭菌容器包装的果味酸奶，货架期可延长到约 2 周。在食品加工中工作台面的消毒也是很重要的，可用紫外照射消毒，但要求台面必须清洁，否则异物的存在会保护微生物。

短波紫外光(UVC) 还可以被用于处理食品表面，控制腐败微生物的生长。如存在于白糖表面的热解糖芽孢杆菌和肉表面的假单孢菌都可以用 UVC 来杀灭。但是，肉类直接被 UV 照射会产生氧化味，乳类食品受紫外照射也有同样的问题。这些异味的产生是由于食品吸收了紫外产生的臭氧和氮氧化物而使肉和乳中的脂肪发生了光化学反应所致，虽然到目前为止还没有证据表明这些产物对人体有害，但给风味带来的影响是该技术在肉、乳中应用的一大障碍。研究认为，这种光化学反应可通过滤去较短波长的紫外光或照射前在产品上覆盖一层惰性气体来防止。

新鲜鱼是另一种表面带假单孢菌的产品, Huang 和 Toledo 证明了用 UVC 辐射可以明显减少表面菌落数，鱼的储藏期也得以延长。Kuo 等研究表明 UVC

辐射在减少鸡蛋表面总需氧菌和霉菌数是很有效的,但这个操作对鸡蛋来说实用性不大，因为鸡蛋带有更重要的病原菌———沙门氏菌———是在鸡蛋内部的，受到蛋壳的保护。在焙烤工业中，霉菌孢子在新鲜产品中的污染是一个问题，但据报道，面包在出炉后先进行紫外照射可明显延长其货架期。

3.2　空气杀菌

在食品加工中处理易被微生物污染的物料时，建议对工作场所的空气进行处理: 层流空气通过过滤器除去>011μm 的粒子，然后用 UV 辐射杀灭残存的活的微生物。在果蔬的去皮操作中，若紫外处理过的空气逆流流过去皮单元时，产品的微生物学质量会显著提高。冷藏室空气的微生物学质量也可以通过空气杀菌装置来提高。同样的技术也已经被用于孵化室的空气净化中。

3.3　液体杀菌

用 UVC 处理是杀灭水中大部分微生物和减少环境污染的有效方法之一。已被用于饮用水、污水和游泳池水的消毒处理, UV 和臭氧联合使用有非常强的氧化作用可将水中有机物含量降到极低的水平。由于 UVC 消毒不改变饮用水的色泽、味道和 pH 值，它是保证饮用水微生物学安全性的有效手段，对

紫外杀菌有效性常用的评价标准是在 1min 内微生物减少 991999%。影响 UVC 照射有效性的原因是:①穿透率低。在蒸馏水中, 254nm 的紫外光强度在离液面 40cm 处有 30%的损失，而在海水中约 10cm 就有这么大的损失, 10%蔗糖溶液或铁含量高的泉水在 5cm 内就会有同样大的损失。

②在天然供水系统中，任何悬浮粒子在处理前必须被滤去，否则会对微生物细胞起到保护作用。有时候菌胶团的存在也会产生类似的问题，即胶团外层的细胞保护内部的细胞。随着小型水过滤单元效率的提高, UVC 系统产生安全饮用水的能力也得到了增强。在日本, UVC 辐射已经被用于对天然矿泉水的消毒,该方法不影响水中矿物质含量，也无异味产生。

在酿造工业中，对各项工序的最基本要求就是不改变终产品的口感和质量，许多酿造者已经开始使用 UV 消毒系统对原水进行杀菌处理。在酿造水处理中要求的剂量必须足够高，达到 300～600J/ m2，以保证在酿造工序早期就不存在任何污染问题，而在饮用水处理中只要有 200～300J/ m2 的剂量就够了。

在含有机物的液体中，由于UVC的穿透率低而限制了其应用，有人建议在Mozzarella干酪的盐水中消毒后使用该技术，这样就可以将盐水重复使用。盐水在处理前必须过滤除去所有干酪残留物。用UVC处理不透明液体明显是个问题，Lodi 等人在处理山羊奶时，总菌落数减少了50%～60%,尤其是大肠菌群减少了80%～90%。尽管这样的处理可以防止高细菌总数的奶在农场就发生腐败，但原大肠菌群数的10%残留水平仍不能够提供消费者食用。但也有报道将牛乳经10min的UV照射(奶层厚度8mm，照射距离20mm) 后，牛奶的微生物学指标符合消毒奶，说明紫外消毒完全可以代替传统热处理杀菌工艺。这个处理是不是足以代替巴氏杀菌仍是一个未解决的问题，但有研究表明用UV处理的乳,VD含量有明显提高，例如照射10min后，VD由原来的1180IU/ 100mL提高到50170IU/ 100mL。

最近，有报道说FDA正在考虑允许UVC用于杀灭果汁中的病原菌，因为目前常用的巴氏杀菌在杀菌的同时对食品营养成分和风味的影响也很大。加里福尼亚州的Day- Fresh Foods在其新鲜果汁和蔬菜汁的生产中使用紫外杀菌系统，初步实验表明使用该系统后可将产品的货架期延长1倍。在这个系统运行中要保证果汁以湍流而不是以层流的形式流过紫外光区域，保持温度在5℃以下，并采用严格的HACCP程序。这种用较少加工工序的果汁保留了原来的维生素A、B、C和E，也很好地保持了果蔬汁原有的风味。

3.4　固体物料的杀菌

在粉状物料的杀菌中也有用UV系统的报道。Oya等人发明了处理粉状物料如草药、香料的设备,物料由压缩空气传送并通过UV杀菌灯，然后在旋风分离器中回收。

3.5　UVA/ 呋喃香豆素杀菌系统的应用前景呋喃香豆素在医药上的应用已广为人知，成功的例子如8- 甲氧基补骨脂素和太阳光/ UVA辐射联合使用在控制牛皮癣方面。天然呋喃香豆素已经从5种植物中分离得到，分别是伞形科(旱芹、欧芹和欧洲防风草)，芸香科(香柠檬和柠檬)、桑科(如无花果)、豆科和兰科。有人考虑用这些天然植物作为呋喃香豆素的来源，将其应用于食品杀菌防腐，但在实际操作中，毒性是个很大的问题。研究者已经注意到了旱芹处理者容易患光敏性皮炎，就是由于发生了UVA/呋喃香豆素反应，特别是发现了天然呋喃香豆素的摄取与皮肤癌的发病率有关系，因此，仅这个风险就妨碍了它们在食品中的应用。如果光学毒性可以被消除,UVA/ 呋喃香豆素系统就值得进一步评价。鼠的动物实验证明一些合成的呋喃香豆素有同8- 甲氧基补骨脂素同样的治疗作用，但不会产生毒性反应和致癌作用。目前，因这些物质的价格太高，限制了其作为食品防腐剂的应用。

4　UV技术在果蔬保鲜中的应用

随着对有机食品需求量的增加,UVC作为防腐剂的一种替代方法有很大的潜在市场。目前，将UV辐射用于果蔬保鲜的研究也比较多。例如控制蔬菜(如萝卜) 采后病害，用UVC对萝卜进行储藏前处理会导致植物抗毒素6- 甲氧基蜂蜜曲毒素的积聚,这个变化增加了组织对霉菌的抵抗能力。用UVC处理新鲜草莓可延长货架期4～5天，除了紫外光可杀灭草莓表面微生物的原因外，研究还发现UV处理的果实的呼吸作用减低，可滴定酸度增高，从而使草莓的保鲜期延长，经处理的果实的硬度也比未处理的果实要高。将番茄用UVC处理后，发现其中细胞壁降解酶(聚半乳糖酶、果胶甲酯酶、纤维素酶、木聚糖酶和蛋白酶等) 的活性明显低于对照组，故试验组的硬度明显要高于对照组，番茄的呼吸峰和产乙烯时间也推后7～9天。所以UV处理可减慢番茄的熟化和腐烂进程，从而达到保鲜的目的。

5　利用UV改善食品加工性能

UV辐射对食品成分也会有影响。用UVC照射蘑菇2h后，VD含量从2120μg/ mL提高到7130μg/mL，用UVB辐射甚至可提高到12148μg/ mL。说明紫外照射在蘑菇内引起了光化学和光电化学过程，使VD原7-脱氢胆固醇转化为 VD，提高了蘑菇的营养价值。牛乳经紫外照射也有类似的反应发生。Rhim等研究了紫

外对蛋白膜的影响。将小麦谷蛋白、玉米蛋白、鸡蛋清蛋白和酪蛋白形成的蛋白膜用 UV 光照射(辐射强度 5117J/ m2，时间 24h) 后,玉米蛋白、谷蛋白和清蛋白的拉伸强度增加，这可能是 UV 辐射引起了膜内一些键的交联, UV 对酪蛋白膜的拉伸强度无影响但减少了其总可溶性物质，清蛋白膜的水蒸气透过性受 UV 辐射后降低。所以, UV 照射可改善蛋白膜的功能性质，可将其用于蛋白膜的制造以获得优良的产品。

用 UV 处理鲭鱼肉糜时，也发现 UV 可使蛋白质之间发生交联反应，凝胶强度可提高 25%，显著改善了产品的感官质量。

参考文献

1　石中玉 1 紫外光源及其应用〔M〕1 北京: 中国轻工业出版社, 19841

2　顾瑞霞，徐艳萍等. 紫外技术在乳品加工中的应用〔J〕. 食品与发酵工业, 1993, (1) : 37～411

3　Sharma G. Ultraviolet radiation, in Encyclopediaof FoodMicrobiology- 3. Robinson RK, Batt Cand Patel P〔M〕. London: AcademicPress, 19991

4　Warrimer K, Rysstad G. Inactivation of Bacillus substilis spores onpackagingsurfaces byUVexcimer laser irradiation. Journal of Applied Microbiology, 2000, 88 (4) : 678～6851

5　Charles E. FDARegs spur non- thermal R&D. Food Engineering,2000, (4) : 61～681

6　BakaM, MercierJ. et al. Photochemical treatment toimprovestorabil2ityof fresh strawberries. Journal of Food Science, 1999, 64 (6) :1068～10721

7　Barka EA, Kalantari S. et al. Impact of UVCirradiationon the cellwall - degradingenzymes duringripeningof tomato (Lycopersiconescu2lentumL.) fruit. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2000,48 (3) : 667～6711

8　Maharaj R. Effect of photochemical treatment in the preservation offreshtomato (Lycopersiconesculentumcv. Capello) bydelayingsenes2cence. Postharvest Biologyand Technology, 1999, 15 (1) : 13～231

9　RhimJW, Gennadios A. et al. Properties of ultraviolet irradiatedpro2teinfilms. Lebensmittel - wissenschaft and - technologie, 1999, 32(3) : 129～1331

(广东省自然科学基金资助项目，项目编号 980542)

收稿日期: 2001- 05- 04

作者简介: 郭新竹(1972-)，女，山西省人，华南理工大学
食品与生物工程学院博士研究生，主要研究方向为食品化学。
通讯地址: (510641) 广州华南理工大学研五 512 室

北京锦坤科技有限公司 www.jonkon.com.cn