

doi:10.3969/j.issn.2095-6002.2017.03.013

文章编号:2095-6002(2017)03-0083-06

引用格式:刘玉德,吴刚,张浩,等.微纳米气泡的特性及其在果蔬中的应用[J].食品科学技术学报,2017,35(3):83-88.



LIU Yude, WU Gang, ZHANG Hao, et al. Characteristics of micro-nano-bubble and its application in fruits and vegetables [J]. Journal of Food Science and Technology, 2017, 35(3): 83-88.

微纳米气泡的特性及其在果蔬中的应用

刘玉德, 吴刚, 张浩, 王硕, 宋贝贝

(北京工商大学材料与机械工程学院, 北京 100048)

摘要: 气泡广泛存在于自然界中, 其在生产实际应用中具有重要的作用。按照气泡直径不同可分为大气泡、微米气泡、微纳米气泡、纳米气泡。通过对微纳米气泡特性进行深入分析研究, 针对微纳米气泡具有粒径小, 在水中存在时间长等不同于普通气泡的特点, 详细论述了微纳米气泡的特殊性质在果蔬食品方面的应用现状及发展前景, 并对其在其他领域的应用进行了展望, 以期为微纳米气泡在更多领域中的应用提供参考。

关键词: 微纳米气泡; 果蔬食品; 应用

中图分类号: TS201.6; X506

文献标志码: A

液体及固液^[1]接触面之间普遍存在大小不同的气泡, 根据气泡直径级别^[2]不同, 可分为大气泡(直径大于数百微米)、微米气泡(直径介于数十到数百微米)、微纳米气泡(直径小于数十微米)以及纳米气泡(直径小于0.1 μm)。本文主要针对直径小于数十微米级别的微纳米气泡的性质及其在食品加工以及果蔬类食品的清洗杀菌方面的应用进行研究。根据其特有的存在时间长、气液传质率高、表面电位高、气浮效果好等性质^[3], 微纳米气泡在食品加工、果蔬清洗、环保、水产、农业等多个领域均有重要应用前景^[4-7]。

1 微纳米气泡的特性

1.1 在水中存在时间长

根据浮力式(1) $f_{\text{浮}} = \rho g v$ (ρ 为液体密度, kg/m³; g 为重力加速度, m/s²; v 为气泡体积, m³) 可知, 在液体中, 气泡的体积越小, 受到的浮力越小; 直径越大, 浮力越大, 在水中上升速度越快。由于微纳米气泡直径仅为几微米, 体积较小, 因此在液体中受到的浮力小上升速度缓慢。此外, 水分子一直处于流动

状态, 微纳米气泡在水中上升的同时, 还受到水分子运动的影响而左右运动, 呈现曲线上升状态, 其上升过程如图1。根据斯托克斯法则, 式(2) $V = 1/18 \times g d^2 / a$ (其中 V 为气泡的上升速度, m/s; g 为重力加速度, m/s²; d 为气泡直径, m; a 为水中动态黏性系数, m²/s), 可得出气泡理论上升速度与实际测量值之间的关系(以23℃蒸馏水为例, 如图2)。由图2知微纳米气泡每秒钟上升的垂直高度小于1 mm。因此, 相对于大气泡, 微纳米气泡在水中存在时间更长。

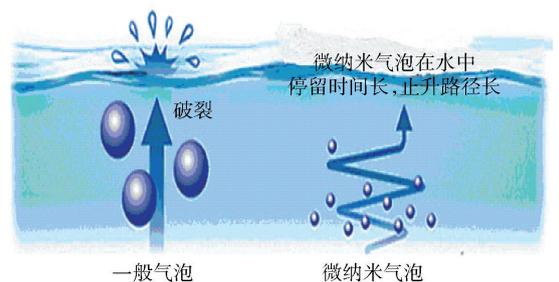


图1 微纳米气泡与普通气泡在水中上升状态
Fig. 1 Different rising states between micro-nano-bubbles and ordinary bubbles

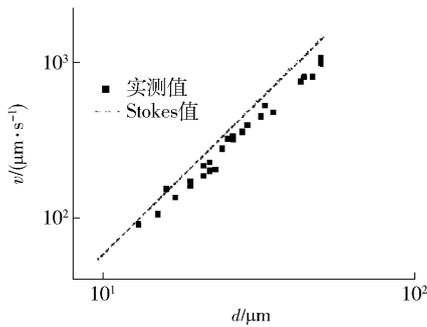


图2 微纳米气泡直径与上升速度之间的关系

Fig. 2 Correlation between diameters and rising speed of micro-nano-bubbles

1.2 气液传质率高

液体中气体的体积及其直径的大小决定了气液的比表面积,以式(3) $\alpha = 6H_0/d_B$ (其中 H_0 为气体在水中的存留率, d_B 为气泡的直径) 表示。气液的比表面积决定了气体的传质速率,气体在水中存留率 H_0 越长,直径越小,气液比表面积值 α 越大,气泡在液体中的传质速率越大。同时,根据气液界面的表面张力理论,气泡的直径越小,表面张力对气泡的影响越明显。由于微纳米气泡直径非常小,其表面受到表面张力的影响而不断的收缩,使其直径进一步缩小,从而使气泡内部压力增大,当收缩过程达到某个极限值时,微纳米气泡内部气压将趋于无限大,最终导致微纳米气泡溶于水或在水面破裂消失。在此过程中,即使水体中气体溶解率达到过饱和状态,微纳米气泡在水中具有较大的比表面积,因此仍可实现气液传质,具有较高的传质效率。

1.3 气泡表面电位高

微纳米气泡的带电性与气液界面水分子群的结构有关,在气液界面纯水是由水分子以及电离生成的少量 H^+ 和 OH^- 组成,微纳米气泡在水中形成的气液界面具有容易接受 H^+ 和 OH^- 的特点,通常阳离子比阴离子更容易离开气液界面使界面带有负电荷。已经带上电荷的表面倾向于吸附介质中的反离子(特别是高价的反离子),从而形成稳定的双电层。微纳米气泡的表面电荷产生的电势差常利用 ε 电位来表征, ε 电位是决定气泡界面吸附性能的重要因素。当微纳米气泡在水中收缩时,电荷离子在气泡的界面上迅速浓缩富集,使 ε 电位显著增加,到微纳米气泡破裂前在界面处形成非常高的 ε 电位值。研究发现,以氧气为基底的微纳米气泡的 ε 电位一般在 $-45 \sim -30$ mV,而空气微纳米气泡的 ε 电位在 $-20 \sim -17$ mV。

1.4 气浮效果好

气体的气浮功能是指将气泡通入混有其他相的液体中,利用气泡具有的吸附性使其吸附在其他相表面,从而增大其他相在液体中的浮力,使其浮在液体表面,实现与液体分离的目的。因此气泡的吸附性能越好,则气浮效果越好,而气泡的吸附性能取决于其直径的大小。气泡的直径越小则其表面的电位越高,因此更容易吸附于液体中其他相的表面,使其与液体分离。当向液体中通入直径微小、密度大、均匀性好的微纳米气泡时,该种气泡可与水中的其他相物质充分黏附,令其他相上浮到水面,实现固液或液液分离。影响微纳米气泡与液体中其他相黏附的因素体现在两个方面,一方面是悬浮颗粒的大小,当颗粒的体积大但重量较轻时,气泡容易与颗粒黏附,如果水中颗粒很细小,通常采用絮凝等方法,使其絮凝到一定程度后与微纳米气泡黏附;另一方面,气浮效果体现在微纳米气泡的大小与气泡在水中的密度方面,气泡越小、个数越密集,黏附的絮粒也会越小,分离的效果越好。其中后者起决定性作用,因此通常将微纳米气泡的数量和体积大小作为气浮效果的一个衡量标准,即气泡体积越小,密度越大,与悬浮颗粒的接触机会就会增大,从而增加与颗粒的黏附概率,提高气浮效果。

2 微纳米气泡的发生方法

目前,微纳米气泡发生装置的生产已经在中美日韩等国相继展开。我国生产微纳米气泡发生装置的公司主要有北京本洲科技有限公司、云南夏之春环保科技有限公司等。其中云南夏之春环保公司的 XZCP-K-0.75 型装置原理是使水与气体高度相溶混合,超声波空化弥散释放出高密度且均匀的超微米气泡,形成云一样“乳白色”的气液混合体。

由于微纳米气泡发生装置在形成气泡的浓度、尺寸均匀性以及装置能耗等方面与传统气泡发生装置相比都有较大的优势,其制备方法得到了多数学者的广泛关注,当前研究微纳米气泡的发生方法有分散空气法、电解法、醇水替换法、超声空化法、化学反应法、微管道法等^[8-9]。

3 微纳米气泡在果蔬的生长过程及清理农残中的应用

随着人们对食物需求的增加,如何在保证果蔬

类食物质量前提下缩短其生长时间,成为科技人员研究的课题。在作物栽培领域研究表明,利用具有微纳米气泡的气液混合液培植果蔬类作物,根茎叶的生长时间明显缩短,农作物质量也有所提升,这表明,微纳米气泡可以有效促进果蔬类作物的生长。

此外,在农业生产种植过程中,往往会多次使用大量农药进行除虫,而当前施用于农作物的农药,大部分留在植物茎叶表面,另一部则分散落在土壤、大气等环境中,农药随着雨水进入地下水。当利用未被处理的地下水灌溉时,水中以及残留在土壤中的少量农药又会被植物吸收。农药进入粮食、蔬菜、水果、鱼、虾、肉、蛋、奶中,造成食物污染,危害人的健康。长期食用农药残留超标的农副产品,虽然不会导致急性中毒,但可能在人体内积累,引起人和动物的慢性中毒,导致疾病的发生,甚至影响到下一代。因此,如何对农残进行处理是重要的研究课题。根据微纳米气泡在水中存在时间长、传质效率高等的特点,可用于去除农残。另外,微纳米气泡在水处理方面也有较好的作用。

3.1 在处理灌溉水源中的应用

目前,由于水体的富营养化导致了江河湖以及地下水等水域的污染越来越严重,而水体富营养化是因为多种微生物在分解水中的有机物时消耗掉水中大量的氧气,导致水体供氧不足,水质变差,最终对水体造成严重污染,生态系统遭到严重破坏^[10-18]。其中地下水作为农作物灌溉的主要水源,保证地下水资源的清洁对于农作物的生长具有重要意义。针对地下水污染的治理,由于条件的限制,传统的污水处理方法很难起到作用,利用微纳米气泡技术可以大范围高效率地处理受到污染的地下水,利用其较强的吸附性能可以吸附在微小杂质的表面,从而将水中微小的杂质除掉;同时通入以氧气为基底的微纳米气泡,当其溶于水后,气泡内的氧气也会溶于水,可以有效增加水体中的含氧量,改善受到污染的水体,保证灌溉水源的清洁。以庞志研等^[19]研究的白云湖水利工程为例,该工程主要包括4.7 km的引水渠道和1.05 km²的湖面,湖区占地总面积为2.07 km²。前期调查显示,由于采取了人工曝气方式,利用微气泡发生技术提高了水体的溶解氧含量。因此,将微纳米气泡增氧技术运用于改善地下水的水况,效果显著,亦能保证灌溉水源的清洁。

3.2 在果蔬生长过程中的应用

微纳米气泡在果蔬生长过程中的应用主要在于促进生物活性方面。微纳米气泡在果蔬类植物生长过程中可提高叶片光合作用的能力,延缓植物根茎以及叶片的衰老现象,使果实更加饱满结实;同时,微纳米气泡在促进根系的发育以及对养分的吸收等方面也有促进作用,能使植物茎叶繁茂,增加干物质的积累^[20-24]。该研究主要应用于微纳米气泡增氧灌溉方面,在通入以氧气为基底的微纳米气泡混合液情况下,可使土壤中的氧气含量增加。微纳米气泡可以促进微生物的活性使种子提前萌发,缩短植物叶菜的发芽周期。才硕^[25]在微纳米气泡技术对双季节水稻的需水量以及产量的研究发现,利用以氧气为基底的微纳米气泡溶液培植双季节水稻与通过普通方法培植的双季节水稻相比,其有效麦穗数以及结实率有明显的提高,对水稻的产量起到明显的促进作用。Park等^[26]研究结果也证明相同溶解氧条件下,微纳米气泡溶液培养的蔬菜比不含微纳米气泡溶液的蔬菜生长速度快,所以微纳米气泡可在细胞生理活动中发挥促进作用。

3.3 在果蔬清洗中的应用

果蔬表面的农药残留一般为农药原体、有毒代谢物、降解物和杂质等,臭氧虽无法将有机物彻底分解^[27],但以臭氧为基底的微纳米气泡在破裂的瞬间可激发产生大量的羟基自由基,增强臭氧对污染物的分解效果。同时,微纳米气泡在水中缓慢上升保证了其余农作物的接触时间,而微纳米气泡产生的量大且比表面大,使其在微生物分解有机物方面有积极的促进作用,可有效降解残留的农药^[28-33]。因此臭氧作为一种强氧化剂,当微纳米气泡在水中消失时,产生大量的羟基自由基,臭氧在羟基自由基的作用下,其氧化性质会被加强,可在果蔬清洗农残过程中有更加明显的效果。绳以健等^[34]通过单一变量法,分别用以臭氧为基底的微纳米气泡溶液和普通水对果蔬进行清洗,结果表明,普通水洗对农残的去除率为44.7%,而利用以臭氧为基底的微纳米气泡对果蔬进行清洗后,农残去除率为90.7%。因此,利用微纳米气泡技术对果蔬进行清洗可以在很大程度上减少农残的残余量。

4 展 望

当前微纳米气泡在种植及食品加工领域的应用

尚处于起步阶段,本课题中微纳米气泡对污染过的地下水的修复仅仅是其初步应用,将来可以利用微纳米气泡增氧灌溉的方式种植水稻,相关研究已经表明这样有利于水稻的生长并提高水稻产量。随着人们对微纳米气泡研究的深入,其应用必将越来越广泛。另外,由于微纳米气泡具有不同于普通气泡的性质,其应用领域也会越来越广阔。

在液体食品冷冻方面,超声冷冻的目的是为了保证冷冻产品在解冻后最大限度地保证产品原来的口味^[35]。其特点可以使冷冻产品的冰晶数目变多,粒径变小,并且分布更加均匀,而冰晶的密度及其粒径的大小与食品解冻后的口味有密切关系。粒径越小,解冻后保留原有的口味程度越好,当液体食品内部有微纳米级气泡时,可以在超声波的作用下激发冰晶成核,缩短结晶时间,增加冰晶数量,最大限度地保持产品原有的形态和品质,达到迅速冷藏目的。

此外,还可以利用微纳米气泡技术提高供氧效率从而提高饲料的发酵效率;在医学方面,利用氧气微纳米气泡可以在给机体供氧的同时将药物直接送达病变部位,从而实现病变部位直接治疗,减少手术的次数,使机体快速康复;微纳米气泡的快速增氧技术还可以应用于渔业,有助于实现工业化水产养殖。随着科技的发展,微纳米气泡制备技术水平也将会越来越高,制备成本会随之下降。

参考文献:

[1] 李大勇,王伟杰,赵学增. 固液界面纳米气泡研究[J]. 化学进展,2012(8):1447-1455.
LI Dayong, WANG Weijie, ZHAO Xuezheng. Nanobubbles on the immersed substrates[J]. Progress in Chemistry,2012(8):1447-1455.

[2] 张学发,杨昆,马骏,等. 微/纳米气泡技术在金属表面脱脂处理中的应用研究[J]. 清洗世界,2011,10:29-33.
ZHANG Xuefa, YANG Kun, MA Jun, et al. Study on micro-nano bubble technology using in metal surface processing with degreasing[J]. Cleaning World,2011,10:29-33.

[3] ANUP G, OLLI D, KAJ J. The fundamental phenomena of nanobubbles and their behavior in wastewater treatment technologies[J]. Geosystem Engineering, 2016,19(3):1-10.

[4] MARUI T. An introduction to micro/nano-bubbles and their applications [J]. Journal of Systemics Council,

2013;11(4):68-73.

- [5] 杨丽,廖传华,朱跃钊,等. 微纳米气泡特性及在环境污染控制中的应用[J]. 化工进展,2012(6):1333-1337.
YANG Li, LIAO Chuanhua, ZHU Yuezha, et al. Characteristics of micro-bubble and nano-bubble and their application in environmental pollution control[J]. Chemical Industry and Engineering progress, 2012(6):1333-1337.
- [6] 邓超,杨丽,陈海军,等. 微纳米气泡发生装置及其应用的研究进展[J]. 石油化工,2014,10:1206-1213.
DENG Chao, YANG Li, CHEN Haijun, et al. Progresses in research and application of micro-nano bubble generating device[J]. Petrochemical Technology,2014,10:1206-1213.
- [7] 张雪花,胡钧. 固液界面纳米气泡的研究进展[J]. 化学进展,2004(5):673-681.
ZHANG Xuehua, HU Jun. Nanobubbles at the solid water interface [J]. Progress in Chemistry, 2004(5):673-681.
- [8] MIAO Zhaohua, GUO Caixin, LI Zhenglin et al. Fabrication of a multimodal microbubble platform for magnetic resonance, ultrasound and fluorescence imaging application [J]. Journal of Nanoscience and Nanotechnology, 2016,16(3):2301-2306.
- [9] BAI Xiaodan, LIU Jing. Bubble based micro/nano fabrication method [C]. New York: American Society of Mechanical Engineers,2007:71-81.
- [10] 李恒震,胡黎明,辛鸿博. 微纳米气泡技术应用于污染地下水原位修复研究[J]. 岩土工程学报,2015,37(2):116-117.
LI Hengzhen, HU Liming, XIN Hongbo. Application of micro-nano bubble technology in remediation of polluted groundwater[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering,2015,37(2):116-117.
- [11] 杨强,沈旭,唐伟,等. 微纳米气泡改善杭州城市河道水生态环境的工程应用研究[J]. 环境科学与管理,2014(9):76-79.
YANG Qiang, SHEN Xu, TANG Wei, et al. Study on improving water ecological environment of Hangzhou urban river with micro-nano bubble technology [J]. Environmental Science And Management,2014(9):76-79.
- [12] 靳明伟,丁建宁,凌智勇,等. 超微细气泡水体修复技术[J]. 功能材料与器件学报,2008,14(1):19-22.
JIN Mingwei, DING Jianning, LING Zhiyong et al. River system repair technology of super-microbubble [J]. Journal of Functional Mater Ialsand Devices, 2008, 14

- (1):19-22.
- [13] 江浩,吴涛. 微纳米曝气技术在水环境治理方面的应用[J]. 海河水利,2011(1):24-26.
JIANG Hao, WU Tao. The application of micro-nano-aeration technology in water environment treatment[J]. Haihe Water Resources,2011(1):24-26.
- [14] 徐彬,郑之奇,张珂. 微纳米气泡改善太湖入湖河道水质的工程实例研究:以苏州南北华翔河水质改善工程为例[J]. 环境监控与预警,2013(1):15-16.
XU Bing, ZHANG Zhiqi, ZHANG Ke. The study of engineering case of improving the water quality of inflowing rivers of Taihu lake with micro-nano bubbles-water quality improvement project of the north-south Huaxiang river in Suzhou[J]. Environmental Monitoring and Forewarning,2013(1):15-16.
- [15] 张敏,宋昭峥,孙珊珊,等. 微纳米气浮技术用于炼化污水的深度处理[J]. 环境工程学报,2016,10(2):599-603.
ZHANG Min, SONG Zhaozheng, SUN Shanshan, et al. Advanced treatment of refining sewage with a new micro/nano-bubble flotation technology[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering,2016,10(2):599-603.
- [16] SEONG M K, SANG W K, YONG K O, et al. A study on pond purification capacity evaluation using micro bubble clarifier[J]. Desalination and Water Treatment, 2015, 54(13):3502-3510.
- [17] 夏志然,胡黎明,赵清源. 地下水原位修复的臭氧微纳米气泡技术研究[J]. 地下空间与工程学报,2014(s2):2006-2011.
XIA Zhiran, HU Liming, ZHAO Qingyuan. Ozone micro-nano bubble technology in in-situ groundwater remediation[J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering,2014(s2):2006-2011.
- [18] 洪涛,叶春,李春华,等. 微米气泡曝气技术处理黑臭河水的效果研究[J]. 环境工程技术学报,2011(1):20-25.
HONG Tao, YE Chun, LI Chunhua, et al. Treatment effect of micro bubble aeration technology on black-odor river water[J]. Journal of Environmental Engineering Technology,2011(1):20-25.
- [19] 庞志研,高强,余安仁,等. 白云湖水利工程微纳米气泡发生装置曝气效果应用研究[J]. 人民珠江,2015(2):75-78.
PANG Zhiyan, GAO Qiang, YU Anren, et al. Study on the aeration effect of micro-and nano-bubble generator in Baiyun Lake water conservancy project[J]. People's Pearl River,2015(2):75-78.
- [20] 张淑敏,陈蓓蓓,侯伟晔. 臭氧-生物活性炭技术在高藻原水处理中的应用研究进展[J]. 净水技术,2016(1):21-25.
ZHANG Shumin, CHEN Beibei, HOU Weiyi. Research progress in application of algae-laden raw water treatment with ozone-biological activated carbon process[J]. Water Purification Technology,2016(1):21-25.
- [21] 蒋程瑶,赵淑梅,程燕飞,等. 微/纳米气泡水中的氧环境对叶菜种子发芽的影响[J]. 北方园艺,2013(2):28-30.
JIANG Chengyao, ZHAO Shumei, CHENG Yanfei, et al. Effects of oxygen environments in micro/nano bubble water on seed germination of leaf[J]. Northern Horticulture,2013(2):28-30.
- [22] 鲍旭腾,陈庆余,徐志强,等. 微纳米气泡技术在渔业水产行业的研究进展及应用综述[J]. 净水技术,2016(4):16-22.
BAO Xuteng, CHEN Qingyu, XU Zhiqiang, et al. Overview of research advances and application of micro-nano bubbles technology in fishery and aquaculture sector[J]. Water Purification Technology,2016(4):16-22.
- [23] 周云鹏,徐飞鹏,刘秀娟,等. 微纳米气泡加氧灌溉对水培蔬菜生长与品质的影响[J]. 灌溉排水学报,2016(8):98-100.
ZHOU Yunpeng, XU Feipeng, LIU Xiujuan, et al. Effects of micro-nano bubble irrigation on growth and quality of hydroponics vegetables[J]. Journal of Irrigation and Drainage,2016(8):98-100.
- [24] 崔建华,高亮,张西洲,等. 富氧水对高原人体耐缺氧抗疲劳作用机制的探讨[J]. 临床军医杂志,2007(4):495-497.
CUI Jianhua, GAO Liang, ZHANG Xizhou et al. Effect of oxygen-enriched water on anti-hypoxia and anti-fatigue of human body in plateau[J]. Clin Journal of Medical Office,2007(4):495-497.
- [25] 才硕. 微纳米气泡增氧灌溉技术在水稻灌区节水减排中的应用研究[J]. 节水灌溉,2016(9):117-120.
CAI Shuo. Application research of micro-nano bubble aerated irrigation technique in water conservation and wastewater discharge from rice irrigation area[J]. Water-Saving Irrigation,2016(9):117-120.
- [26] PARK Y J, KIM H, KIM J, et al. Measurement of liquid-vapor phase distribution on nano- and microstructured boiling surfaces[J]. International Journal of Multiphase Flow, 2016,81:67-76.
- [27] 初里冰,邢新会,于安峰,等. 微米气泡强化臭氧氧化的作用机理研究[J]. 环境化学,2007(5):622-625.

- CHU Libing, XING Xinhui, YU Anfeng, et al. Study on mechanism of micro - bubble enhanced ozone oxidation[J]. Environmental Chemistry, 2007(5):622 - 625.
- [28] 刘春,张磊,杨景亮,等. 微气泡曝气中氧传质特性研究[J]. 环境工程学报, 2010(3):585 - 589.
- LIU Chun, ZHANG Lei, YANG Jingliang, et al. Characteristics of oxygen transfer in micro bubble aeration [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2010(3):585 - 589.
- [29] TAKAHASHI M, CHIBA K, LI P. Free-radical generation from collapsing microbubbles in the absence of a dynamic stimulus [J]. Journal of Physical Chemistry B, 2007, 111(6): 1343 - 1347.
- [30] HE Huaming, ZHENG Liang, LI Yafei, et al. Research on the feasibility of spraying micro/nano bubble ozonated water for airborne disease prevention [J]. Science and Engineering, 2015, 37(1): 78 - 84.
- [31] 潘习习,徐建平. 微纳米气泡基本特性及溶解氧的研究[J]. 安徽工程大学学报, 2015(2):12 - 16.
- PAN Xixi, XU Jianping. Study on the basic characteristics and dissolved oxygen of micro-nano [J]. Journal of Anhui Polytechnic University, 2015(2):12 - 16.
- [32] 安星辰,宋卫堂,何华名,等. 微/纳米气泡臭氧水对尖孢镰刀菌的杀灭效果研究[J]. 沈阳农业大学学报, 2014, 45(6):679 - 684.
- AN Xingchen, SONG Weitang, HE Huaming, et al. Disinfection efficacy of micro/nano bubbles ozone water on *f. oxysporum f. sp. lycopersici* [J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2014, 45(6):679 - 684.
- [33] 吕梦华,翟黄胜,王楠,等. 充氧微/纳米气泡水在白萝卜栽培中的应用效果研究[J]. 新疆农业科学, 2014(6):1090 - 1096.
- LÜ Menghua, ZHAI Huangsheng, WANG Nan, et al. Effect of oxygenated micro /nano-bubble water on white radish cultivation [J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2014(6):1090 - 1096.
- [34] 绳以健,沈灿铨,耿占辉,等. 新型果蔬深度清洁处理技术研究[J]. 食品科学技术学报, 2015, 33(1):75 - 78.
- SHENG Yijian, SHEN Canduo, GENG Zhanhui, et al. Study of new deep cleaning processing technology of fruits and vegetables [J]. Journal of Food Science and Technology, 2015, 33(1):75 - 78.
- [35] 胡芬. 气泡对超声波辅助浸渍法冷冻液体食品的影响[D]. 广州:华南理工大学, 2014.

Characteristics of Micro-Nano-Bubble and Its Application in Fruits and Vegetables

LIU Yude, WU Gang, ZHANG Hao, WANG Shuo, SONG Beibei

(School of Materials Science and Mechanical Engineering, Beijing Technology and Business University, Beijing 100048, China)

Abstract: Bubbles are widely existed in nature with its irreplaceable roles in the practical application and a large number of experimental researches have been conducted. Depending on the different diameters of bubbles, bubbles were divided into large bubbles, micro-bubbles, micro-nano-bubbles, nano-bubbles. In this study, the properties of micro-nano-bubbles were introduced base on the characteristics of small volume and longer residence time in water. The application and development prospects of the micro-nano-bubbles in fruits and vegetables were discussed and their applications in other fields were also suggested.

Keywords: micro-nano-bubbles; fruit and vegetable food; application

(责任编辑:檀彩莲)