

紫外线处理对新疆哈密瓜贮藏中几种酶活性的影响

王静, 张正红, 李红敏, 雷用东* (新疆农垦科学院, 农业部食品质量监督检验测试中心, 新疆石河子 832000)

摘要 [目的]分析紫外线处理对新疆哈密瓜贮藏中几种酶活性的影响。[方法]利用紫外线处理哈密瓜,测定贮藏期间哈密瓜的过氧化物酶(POD)、多酚氧化酶(PPO)、脂氧合酶(LOX)、苯丙氨酸解氨酶(PAL)和超氧化物歧化酶(SOD)等指标,得出最佳的紫外线处理条件。[结果]哈密瓜紫外线处理及处理后贮藏过程中色泽、风味、营养成分变化与 POD、PPO、LOX、PAL 及 SOD 5 种关键酶活密切相关。[结论]紫外线处理哈密瓜 50 min,对延缓果实成熟衰老效果最为明显,可为哈密瓜的贮藏保鲜提供新的科学依据。

关键词 哈密瓜;紫外线;酶活性;贮藏效果

中图分类号 TS 201.3 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2018)25-0156-03

The Influence of Ultraviolet Treatment on the Enzyme Activity of Hami Melon from Xinjiang during Storage

WANG Jing, ZHANG Zheng-hong, LI Hong-min et al (Supervision and Testing Center for Food Quality Ministry of Agriculture, Xinjiang Academy of Agricultural and Reclamation Science, Shihezi, Xinjiang 832000)

Abstract [Objective] To analyze the influence of ultraviolet treatment on the enzyme activity of Hami melon during storage. [Method] The activity of peroxidase (POD), polyphenol oxidase (PPO), lipoxygenase (LOX), phenylalanine ammonia-lyase (PAL) and superoxide dismutase (SOD) of Hami melon were determined during the storage by treatment with ultraviolet. And the best ultraviolet treatment condition was obtained. [Result] The changes of color, flavor and nutrient components of Hami melon are closely related to the activities of POD, PPO, LOX, PAL and SOD after ultraviolet treatment. [Conclusion] The effect of delaying ripe and senescence of Hami melon fruit was most obvious after 50 min treatment. The study was provided a new basis processing for the preservation of Hami melon.

Key words Hami melon; Ultraviolet radiations; Enzyme activity; Store effect

哈密瓜属一个甜瓜品种,为新疆的名优特产^[1],富含人体所需的多种物质,香甜多汁,风味独特,受到人们的青睐^[2]。哈密瓜多以鲜食为主,在其贮藏、加工和运输过程中常面临酶促褐变、变味等问题^[3-5],加之哈密瓜水分含量高、糖度大,不宜长期贮藏^[6]。在贮藏过程中,哈密瓜的变质主要由微生物和酶作用引起,因此,杀菌是哈密瓜贮藏保鲜的重要手段之一^[7]。紫外线杀菌技术为非热杀菌技术,将其应用于哈密瓜保鲜,就必须系统地研究其对哈密瓜内源酶及其品质的影响,但目前关于紫外线杀菌对哈密瓜酶活的影响还鲜见报道。因此,笔者探讨了紫外线处理对新疆哈密瓜贮藏过程中几种酶活的影响,以期对哈密瓜的贮藏保鲜提供科学依据。

1 材料与方

1.1 材料

1.1.1 原料与试剂。哈密瓜为新疆“8501”品种,八成熟,采摘后预冷,去除田间热后运回实验室。主要试剂:脂肪氧化酶,美国 Fluka 公司;亚油酸,美国 sigma 公司;L-苯丙氨酸,天津化学试剂公司;其他试验药品与试剂均为分析纯;分析用水均为去离子水。

1.1.2 主要仪器及设备。冷冻离心机(15R),力康发展有限公司;超声波清洗器(KQ-250B),舒美仪器有限公司;紫外可见分光光度计(UV-1240),日本岛津公司;电子天平(DL203),上海精密科学仪器有限公司;恒温水槽(DK8B),上海精密试验设备有限公司;恒温数显水箱(HH42),国华电器有限公司;恒温水浴锅(XMT-DA),亚星仪器仪表有限公司;制冰机(KC55),KATSUNO;冷柜(SCD218),科龙电器。

作者简介 王静(1966—),女,新疆石河子人,实验师,从事食品质量及安全研究。*通讯作者,实验师,硕士,从事农产品加工与保鲜研究。

收稿日期 2018-06-28

1.2 方法

1.2.1 哈密瓜预处理及贮藏。选取完好哈密瓜 120 个,洗净晾干,分成 4 组,每组 30 个。其中 3 组利用紫外线分别处理 30、50、70 min,设置 1 组为对照。处理完置于冷藏库内,温度 6~8 °C,相对湿度 80%~90%,每隔 7 d 取样测定各项指标。

1.2.2 酶活性测定方法。

1.2.2.1 过氧化物酶(POD)活性测定。①提取缓冲液的配制^[8]:称取 340 mg PEG 6000、4 g 聚乙烯吡咯烷酮(PVPP),1 mL Triton X-100,用 100 mmol/L、pH 5.5 醋酸缓冲液溶解、稀释至 100 mL。②酶液的制备:取 5.00 g 哈密瓜样品、5.00 mL 提取缓冲液,冰浴条件下研磨成浆,在 12 000 r/min、4 °C 条件下离心 30 min,收集上清液,冷藏备用。③酶活性测定:取 3.00 mL 25 mmol/L 愈创木酚溶液和 0.50 mL 酶提取液,混匀再加入 200 μL 0.5 mol/L H₂O₂ 溶液,迅速混匀并计时。测定波长 470 nm 处的吸光值,以反应 15 s 时记为初始值,随后每隔 1 min 测定 1 次,重复 3 遍,以蒸馏水作为参比,下同。酶活计算公式如下:

$$\text{POD 活性}(U) = \frac{\Delta OD_{470} \times V}{\Delta t \times V_s \times W}$$

式中,ΔOD₄₇₀ 为吸光度变化值;Δt 为酶促反应时间(min);V 为样品提取液总体积(mL);V_s 为所取样品提取液体积(mL);W 为样品重量(g)。

1.2.2.2 多酚氧化酶(PPO)活性测定。①提取缓冲液的配制:同“1.2.2.1①”所述步骤。②酶液的制备:取 0.50 g 哈密瓜样品于研钵中,加入 5.00 mL 磷酸缓冲液(0.05 mol/L、pH 6.8),冰浴条件下研磨成浆,在 12 000 r/min、2 °C 条件下离心 30 min,收集上清液,冷藏备用。③酶活性测定:试管中加入 4.00 mL 的醋酸缓冲液(50 mmol/L、pH 5.5)和 1.00 mL

50 mmol/L 邻苯二酚溶液,随后加入 100 μ L 的酶提取液,开始计时。测定波长 420 nm 处吸光值,以反应 15 s 时记为初始值,随后每隔 1 min 测定 1 次,重复 3 遍。酶活计算公式同“1.2.2.1③”,取 ΔOD_{420} 进行计算。

1.2.2.3 脂氧合酶(LOX)活性测定。① LOX 抽提缓冲液的配制:取 1.00 mL Triton X-100 和 4.00 g PVPP,加入到 100 mL 100 mmol/L、pH 6.8 磷酸钠缓冲液中,摇匀,置于 4 $^{\circ}$ C 冰箱预冷。② 酶液的制备:取 3.00 g 哈密瓜样品、3.00 mL LOX 抽提缓冲液,混匀,在冰浴条件下研磨成浆,在 12 000 r/min、4 $^{\circ}$ C 条件下离心 30 min,收集上清液,冷藏备用。③ 酶活性测定:取 2.75 mL 100 mmol/L、pH 5.5 醋酸缓冲液,加入 50 μ L 100 mmol/L 亚油酸钠,30 $^{\circ}$ C 保温 10 min,加入 200 μ L 粗酶液,混匀。测定 234 nm 处吸光值,以反应 15 s 时记为初始值,然后每隔 30 s 测定 1 次,共测定 3 min,重复 3 遍。酶活计算公式如下:

$$\text{LOX 活性(U)} = \frac{\Delta OD_{234} \times V}{0.01 \times \Delta t \times V_s \times W}$$

式中, ΔOD_{234} 为测定液的吸光度变化值; Δt 为酶促反应时间(min); V 为样品提取液总体积(mL); V_s 为所取样品提取液体积(mL); W 为样品重量(g)。

1.2.2.4 苯丙氨酸解氨酶(PAL)的活性测定。① 提取缓冲液的配制:取 4.00 g PVP、58 mg EDTA、35 μ L β -巯基乙醇,加 100 mmol/L、pH 8.8 硼酸缓冲液溶解、定容至 100 mL,低温(4 $^{\circ}$ C)保存备用。② 酶液的制备:取 5.00 g 哈密瓜样品、5.00 mL 提取缓冲液,混匀,并在冰浴条件下研磨成浆。随后在 12 000 r/min、4 $^{\circ}$ C 条件下离心 30 min,收集上清液,冷藏备用。③ 酶活性测定:反应管中加入 3.00 mL 硼酸缓冲液(50 mmol/L、pH 8.8)和 0.5 mL 20 mmol/L L-苯丙氨酸,37 $^{\circ}$ C 作用 10 min 后,加入 0.5 mL 酶提取液,混匀后测定波长 290 nm 处吸光值(OD_0)。然后将反应管在 37 $^{\circ}$ C 下保温 60 min,随即混匀并测定波长 290 nm 处的吸光值(OD_1),重复 3 遍。酶活计算公式如下:

$$\text{PAL 活性(U)} = \frac{(OD_1 - OD_0) \times V}{0.01 \times V_s \times t \times W}$$

式中, OD_1 为保温前反应液的初始值; OD_0 为保温后反应液的终止值; V 为样品提取液总体积(mL); V_s 为所取样品提取液体积(mL); t 为酶促反应时间(h); W 为样品重量(g)。

1.2.2.5 超氧化物歧化酶(SOD)的活性测定。① 提取缓冲液的配制:称取 77 mg DTT、5.00 g PVP,加入 100 mmol/L、pH 7.8 磷酸缓冲液,定容至 100 mL,混匀,低温贮藏备用。② 酶液的制备:取 5.00 g 哈密瓜样品、5.00 mL 提取缓冲液,混匀后在冰浴条件下研磨成浆。在 12 000 r/min、4 $^{\circ}$ C 条件下离心 30 min,收集上清液,冷藏备用。③ 酶活性测定:向指形玻璃管中加入表 1 所列溶液,混合均匀,再加入核黄素溶液。将 4 支反应管置于 4 000 lx 日光灯下,反应 15 min,随后置于暗处以终止反应,设置 1 支对照管置于暗处作对比。以对照管为参比,测定各管在波长 560 nm 处的吸光值。酶活计算公式如下:

$$\text{SOD 活性(U)} = \frac{(OD_c - OD_s) \times V}{0.5 \times OD_c \times V_s \times t \times W}$$

式中, OD_s 为光照对照管的吸光度值; OD_c 为样品管的吸光度值; V 为样品提取液总体积(mL); V_s 为所取样品提取液体积(mL); t 为光照反应时间(min); W 为样品重量(g)。

1.3 统计分析 试验数据分析采用方差分析(analysis of variance, ANOVA);使用 Excel 软件分析,采用 0.05 水平;所有试验均重复 3 次。

表 1 测定 SOD 活性各试剂加入量

| 编号 No. | 试剂(酶) Reagent (enzyme) | 用量 Consumption mL | 终浓度(比色时) Final concentration (colorimetric time) |
|------------------|---------------------------------|-------------------|--|
| 1 | 50 mmol/L 磷酸缓冲液 | 1.7 | — |
| 2 | 130 mmol/L MET 溶液 | 0.3 | 13 mmol/L |
| 3 | 750 μ mol/L NBT 溶液 | 0.3 | 75 μ mol/L |
| 4 | 100 μ mol/L EDTA- Na_2 溶液 | 0.3 | 10 μ mol/L |
| 5 | 20 μ mol/L 核黄素溶液 | 0.3 | 2.0 μ mol/L |
| 6 | 酶液 | 0.1 | 对照管用缓冲液替代 |
| 总体积 Total volume | | 3.0 | — |

2 结果与分析

2.1 不同紫外线处理对 POD 活性变化的影响 POD 为有机体内重要的自由基清除剂,随着 POD 活性的增加,有机体的自我防御能力加强^[9]。POD 活性随着贮藏时间的延长而增加,随后逐渐下降并趋于平衡,如图 1 所示。低温贮藏条件下,紫外线各处理组在贮藏第 28 天时 POD 活性受到抑制,对照组在第 21 天受到抑制。紫外线处理时间越长,POD 活性越大。

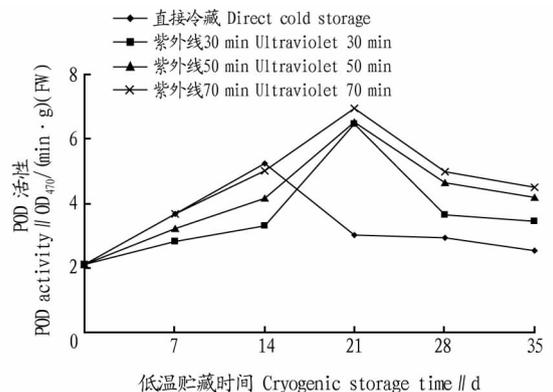


图 1 哈密瓜在紫外线处理不同时间后 POD 活性的变化曲线
Fig. 1 Effect of different time ultraviolet treatment on the POD activity of Hami melon

2.2 不同紫外线处理对 PPO 活性变化的影响 哈密瓜在后熟和加工过程中,PPO 能催化多种酚类物质氧化形成醌类化合物,并进一步聚合形成褐色或黑色聚合物,也就是常出现的褐变现象^[10]。如图 2 所示,哈密瓜 PPO 活性随贮藏时间延长而逐渐增大,紫外线处理组第 14 天时 PPO 活性达到最大,第 21 天后受到抑制,酶活下降,贮藏后期下降幅度缓慢。紫外线处理 50 min 组的 PPO 活性波动范围不大,且低

于对照组和其他处理组。进一步增大紫外线处理时间(70 min),PPO 活性升高。

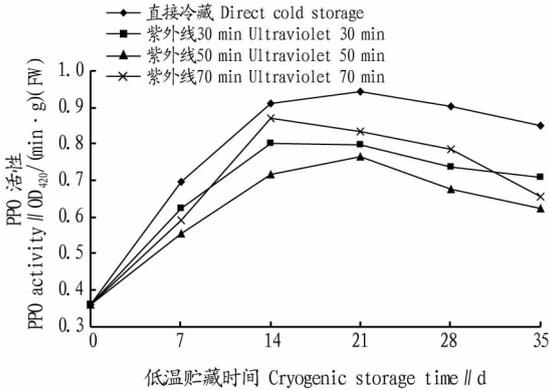


图2 哈密瓜在紫外线处理不同时间后 PPO 活性的变化曲线
Fig.2 Effect of different time ultraviolet treatment on the PPO activity of Hami melon

2.3 不同紫外线处理对 LOX 活性变化的影响 LOX 是引起哈密瓜后熟衰老的重要酶之一,它与后熟衰老过程的启动、细胞脂质过氧化等密切相关^[11-12]。如图3所示,哈密瓜的 LOX 活性呈现上升趋势,并在第14天达到峰值,随后 LOX 活性开始下降并趋于平衡。相对于对照组和其他处理组,紫外线处理50 min时,LOX 活性最低。结果表明,经紫外线处理后,LOX 的蛋白结构可能被破坏,而起到对 LOX 活性的钝化作用。

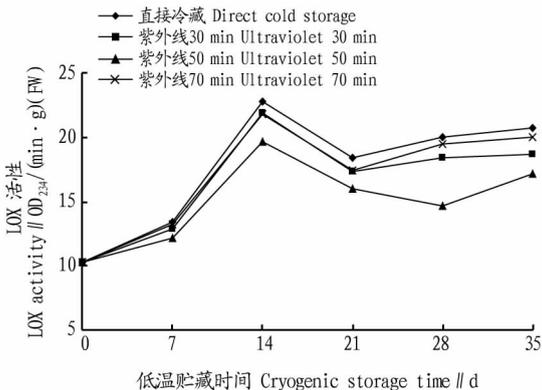


图3 哈密瓜在紫外线处理不同时间后 LOX 活性的变化曲线
Fig.3 Effect of different time ultraviolet treatment on the LOX activity of Hami melon

2.4 不同紫外线处理对 PAL 活性变化的影响 植物在感病或受到诱导剂诱导后,体内的 PAL 活性是升高的^[11]。哈密瓜在冷藏过程中,PAL 活性逐渐升高,14 d 后趋于平衡,如图4所示。各处理组的 PAL 活性均在第7天时达到最大,随着贮藏时间延长,PAL 活性受到抑制,后又缓慢上升。其中经紫外线处理的 PAL 活性均高于对照组,结果表明,紫外线处理可明显提高 PAL 活性,这将有利于哈密瓜的贮运与加工。

2.5 不同紫外线处理对 SOD 活性变化的影响 SOD 可通过与过氧化氢酶(CAT)和 POD 等酶类的协同作用,清除机体内的自由基,以防止活性氧对膜系统的伤害,从而使机体免受自由基的毒害^[12]。随着冷藏时间的延长,哈密瓜 SOD

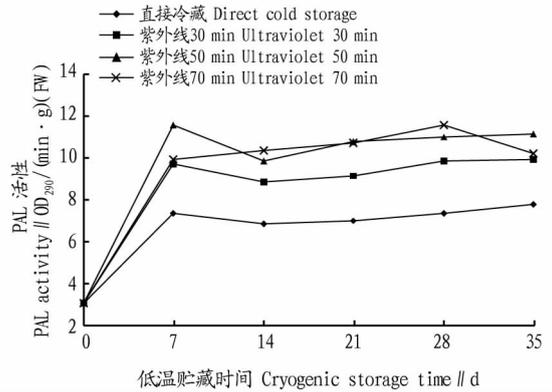


图4 哈密瓜在紫外线处理不同时间后 PAL 活性的变化曲线
Fig.4 Effect of different time ultraviolet treatment on the PAL activity of Hami melon

活性逐渐增大,后趋于平衡。从图5可看出,经紫外线处理后,哈密瓜的 SOD 活性高于对照组,其中处理50 min时的 SOD 活性最高。试验结果表明,经过紫外线处理的哈密瓜 SOD 活性上升,可减少自由基对哈密瓜的毒害作用,有利于哈密瓜的长期保存。

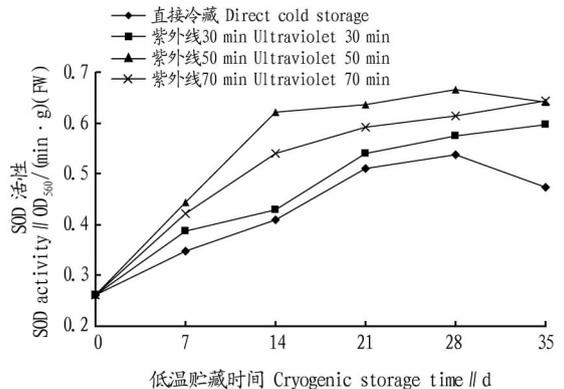


图5 哈密瓜在紫外线处理不同时间后 SOD 活性的变化曲线
Fig.5 Effect of different time ultraviolet treatment on the SOD activity of Hami melon

3 结论

该研究得出,经紫外线杀菌处理后,哈密瓜的 POD 和 SOD 活性被激活,PPO 和 LOX 活性被钝化;同时,果实内的 PAL 活性明显提高。经对比分析,以紫外线处理50 min对延缓新疆哈密瓜果实成熟衰老的效果最佳。

参考文献

- [1] 杜娟.新疆哈密瓜贮藏质量安全影响因素与对策研究[D].乌鲁木齐:新疆农业大学,2014.
- [2] 郑霞,肖红伟,王丽红,等.红外联合气体射流冲击方法缩短哈密瓜片的干燥时间[J].农业工程学报,2014,30(1):262-269.
- [3] 白友强,许建,姚军,等.预冷方式对哈密瓜货架期品质及抗氧化酶活性的影响[J].食品科技,2016(4):56-60.
- [4] 中国农业科学院郑州果树研究所.中国西瓜甜瓜[M].北京:中国农业出版社,2000:336-337.
- [5] 周研,谢晶,周然.哈密瓜保鲜技术研究进展[J].广东农业科学,2014,41(4):43-47.
- [6] 彭子模.果蔬贮藏原理与实用技术[M].乌鲁木齐:新疆科技卫生出版社,1994:58-82.
- [7] 秦宗权.哈密瓜采后表面杀菌处理对其贮藏效果及品质影响的研究[D].石河子:石河子大学,2011.

逐渐饱和,使得对污染物的去除率逐渐趋于平缓^[6]。图4显示,该研究人工湿地系统运行短期内(240 h)对 NH_4^+-N 、TP与COD的去除率总体呈现前期上升、后期逐渐趋于平缓的趋势,符合一般规律。

人工湿地建成运行1年后(2016年1—6月),系统对 NH_4^+-N 、TP与COD的去除率总体表现较为稳定(图6),且系统对各污染物的去除率均高于系统建成短期内(240 h)同比水平,表明人工湿地内水生植物、微生物在生长至成熟水平后与基质共同组成了有机系统并发挥着稳定的去污功能。此外,在该时间段内系统对 NH_4^+-N 、TP与COD的去除率虽均有所波动,但其后均再次趋于稳定,反映了稳定阶段的人工湿地系统具备了一定的抗干扰与恢复能力。

科学合理的植物配置是影响人工湿地污水处理效果的重要因素之一。刘颖等^[7]研究了包括梭鱼草、鸢尾及菖蒲在内的10种水生植物对生活污水的净化效果,发现各植物的年平均污染物去除率处于40%~70%,其中梭鱼草对 NH_4^+-N 与COD有较高的去除率,菖蒲与鸢尾对TP均具有较高的去除率,此外鸢尾对TN的去除率达到最高。由于人工湿地对 NH_4^+-N 的去除主要通过植物吸收与根系微生物的硝化与反硝化作用实现^[8],梭鱼草以其丰富的根际微生物活性及较大的总根系面积使其成为去除 NH_4^+-N 的首选^[9],同时也有研究指出梭鱼草具有较佳的重金属去除效果^[10]。人工湿地对磷的去除主要通过植物吸收、基质吸附与微生物转化共同完成,生长旺盛的菖蒲与鸢尾一方面可吸收无机磷酸盐,同时可通过光合作用与呼吸作用促进微生物对磷的过量积累,提高净化率^[9]。人工湿地对COD的去除主要依靠基质吸附与微生物的降解等作用^[6,11],代谢旺盛的梭鱼草等可为根际微生物较理想的生存环境,进而促进对COD的降解与去除。该研究选取梭鱼草、菖蒲与鸢尾作为人工湿地植物配置,对各污染物的去除率总体处于50%~70%,一方面高效地去除了污染物,另一方面也可提高农村的生态与景观效益^[7]。

运营过程中人工湿地的堵塞问题是影响人工湿地系统长期有效工作的关键问题之一^[4,12],同时技术水平相对较低的农村施工队伍难以满足人工湿地的持续高质量维护,使得堵塞后的维护问题成为了阻碍人工湿地技术推广的障碍^[4]。该研究采用基于粒料砌块的人工湿地处理农村生活污水,变相增大的孔隙尺寸一定程度上可缓解系统表层有机质堵塞问题^[5],模块化的粒料砌块降低了更换表层基质的难度与技术要求,同时其在长期运营时保持了稳定、较高的 NH_4^+-N 、TP与COD去除率,使该技术工艺有利于保持人工湿地系统的长期高质量运作,进而也有利于将人工湿地技术进一步推广。

采用粒料砌块的防堵塞人工湿地技术展现了较广阔的

应用前景,在未来应进一步制定粒料砌块等模块化基质工艺统一的制备标准;同时不同模块化工艺对农村生活污水的净化效果仍有待更深入的比较研究,为进一步提高该工艺与人工湿地的广泛适用性提供依据。此外,将粒料砌块技术与其他技术手段相结合也是有前景的发展方向,如间歇运行与轮休可有效减少不可滤有机物的积累速度^[13-14],适量添加HCl、NaOH等化学物质可在一定程度上恢复基质的有效孔隙空间^[15],投入蚯蚓等动物可发挥疏通基质、清除基质表面有机沉淀的作用等^[16],可降低基质的堵塞率并提高系统的水力传导性能,从而达到维持人工湿地长期高质量运营的效果。

4 结论

综合分析,运用粒料砌块的人工湿地在运行短期与长期内均发挥了较好的 NH_4^+-N 、TP与COD去除能力,运用粒料砌块防堵塞的技术是人工湿地长期有效运行的重要保证。该研究的结果为探索解决人工湿地普遍存在的堵塞问题提供了依据,同时也为进一步将该技术结合其他人工湿地管理、维护工艺奠定了基础。

参考文献

- [1] 陈明利,吴晓芙,胡日利.人工湿地去污机理研究进展[J].中南林业科技大学学报,2006,26(3):123-127.
- [2] 赵昕悦,杨基春,邱珊,等.人工湿地系统研究技术展望[J].东北师大学报(自然科学版),2013,45(2):128-133.
- [3] 冯培勇,陈兆平,靖元孝.人工湿地及其去污机理研究进展[J].生态科学,2002,21(3):264-268.
- [4] 刘振东,汪健.模块化人工湿地在农村生活污水中的应用[J].绿色科技,2016(2):45-47.
- [5] 尧平凡.人工湿地基质模块化工艺研究[D].上海:同济大学,2008.
- [6] 郭杏妹,王代容,曾春山,等.3种挺水植物对农村生活污水的净化效果比较[J].安徽农业科学,2017,45(20):70-72.
- [7] 刘颖,刘磊,袁平成,等.几种水培植物对生活污水的净化效果比较[J].江西农业大学学报,2014,36(4):881-886.
- [8] 张涛,刘长娥,陈桂发,等.人工湿地处理农村地区污水研究进展[J].上海农业学报,2015(3):141-146.
- [9] 刘颖,刘磊,袁平成,等.人工湿地植物3种指标属性与其净化功能的关系评价[J].江西农业大学学报,2014,36(2):448-453.
- [10] 韦菊阳,陈章和.梭鱼草和芦苇人工湿地对重金属和营养的去除率比较[J].应用与环境生物学报,2013,19(1):179-183.
- [11] 李龙山,倪细炉,李志刚,等.5种湿地植物生理生长特性变化及其对污水净化效果的研究[J].农业环境科学学报,2013,32(8):1625-1632.
- [12] 王振,张彬彬,向衡,等.垂直潜流人工湿地堵塞及其运行效果影响研究[J].中国环境科学,2015,35(8):2494-2502.
- [13] 张淑兰,郭宝,胡渭平,等.不同运行方式对垂直潜流人工湿地堵塞进程的影响[J].西安科技大学学报,2016,36(4):514-521.
- [14] 唐平,项泽顺,于博海,等.轮休对垂直流人工湿地堵塞恢复的影响及其动力学特性[J].农业工程学报,2017,33(20):234-240.
- [15] HUA G F, ZHU W, ZHANG Y H. A conceptual approach based on suspended solids to estimate clogging time in constructed wetlands[J]. Journal of environmental science and health, 2010, 45(12): 1519-1525.
- [16] LI H Z, WANG S, YE J F, et al. A practical method for the restoration of clogged rural vertical subsurface flow constructed wetlands for domestic wastewater treatment using earthworm[J]. Water science & technology, 2011, 63(2):283-290.

(上接第158页)

- [8] 曹建康,姜微波,赵玉梅.果蔬采后生理生化实验指导[M].北京:中国农业出版社,2007.
- [9] 钟葵,孙志健,廖小军,等.高压脉冲电场对辣椒过氧化酶活性及构象的影响效果[J].中国食品学报,2005,5(1):31-36.

- [10] 毛晓英,吴庆智,李宝坤,等.热处理对新疆哈密瓜采后贮藏特性的影响[J].食品科学,2007,28(12):491-494.
- [11] 赵荣乐.黄瓜花叶病毒感染引起甜瓜植株苯丙氨酸解氨酶和叶绿素的变化[J].吉首大学学报(自然科学版),2006,27(3):78-81.
- [12] 马永昆,刘威,胡小松.超高压处理对哈密瓜汁品质酶和微生物的影响[J].食品科学,2005,26(12):144-146.