

臭氧和臭氧水在农业害虫防治领域的应用

齐素敏^{1,2}, 张思聪¹, 庄乾营¹, 翟一凡¹, 于毅¹, 周仙红^{1*}, 刘永杰^{2*}

(1.山东省农业科学院植物保护研究所, 山东省植物病毒学重点实验室, 山东 济南 250100; 2.山东农业大学植物保护学院, 山东 泰安 271000)

摘要: 臭氧(O₃)作为一种高效的杀虫灭菌剂已应用于农业害虫的防治, 具有安全、高效、环保等优点。概述了臭氧和臭氧水的性质, 臭氧杀虫机理及其应用发展史; 综述了臭氧和臭氧水在农业害虫防治方面的研究, 分析了臭氧和臭氧水杀虫的优缺点并提出了使用建议。最后, 对臭氧和臭氧水在农业害虫防治中的应用进行了展望。

关键词: 臭氧(O₃); 臭氧水; 农业害虫防治

中图分类号: S477+.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1008-1631 (2015) 05-0036-05

Applications of Ozone and Ozone Water in Controlling Agricultural Pests

QI Su-min^{1,2}, ZHANG Si-cong¹, ZHUANG Qian-ying¹, ZHAI Yi-fan¹, YU Yi¹, ZHOU Xian-hong^{1*}, LIU Yong-jie^{2*}

(1.Institute of Plant Protection of Shandong Academy of Agricultural Sciences, Shandong Key Laboratory of Plant Virology, Ji'nan 250100, China; 2.College of Plant Protection, Shandong Agricultural University, Tai'an 271000, China)

Abstract: Ozone (O₃) as a kind of effective insecticidal sterilization agent has the advantages of safety, high efficiency, environmental protection which has been applied in controlling agricultural pests. The properties of ozone and ozone water, insecticidal mechanism of ozone and its history of applications were summarized, the paper reviewed the study of effects of ozone and ozone water in agricultural pests control, analyzing advantages and disadvantages of using ozone and ozone water controlling pests, furthermore, suggestions of using ozone and ozone water were proposed. Lastly, applications of ozone and ozone water in controlling agricultural pest were discussed.

Key words: Ozone (O₃); Ozone water; Agricultural pest control

臭氧是(O₃)一种公认的广谱、高效、环保杀虫灭菌剂, 目前已应用于水溶液消毒、空气净化、粮食储藏^[1]、果蔬保鲜^[2]、畜禽养殖^[3]、医疗卫生^[4-6]和设施农业等多个行业与领域。

1 臭氧

臭氧是一种不稳定的具刺激性气味的无色气体。

收稿日期: 2014-12-31

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(201303027); 济南市农业科技创新计划项目; 济南市高校院所自主创新项目

作者简介: 齐素敏(1989-), 女, 山东淄博人, 硕士, 主要从事昆虫毒理学研究。E-mail: qsm20095089@126.com。

通讯作者: 周仙红(1982-), 女, 山东威海人, 副研究员, 博士, 主要从事害虫综合治理研究。E-mail: zhouxianhong82@163.com。

通讯作者: 刘永杰(1963-), 男, 山东临沂人, 教授, 主要从事昆虫毒理学研究。E-mail: lyj@sdau.edu.cn。

自然界中的臭氧是由地球大气层受到闪电或高能紫外辐射作用而产生, 暴风雨后空气中特有的清新气味即为臭氧发出的。同时, 臭氧还是各种光化学氧化反应过程中的副产物^[7]。

1.1 臭氧的性质

臭氧是氧的同素异形体, 分子量为48。在常温常压下, 较低浓度的臭氧是无色气体, 当浓度达到15%时呈淡蓝色。臭氧可溶于水, 常温常压下水中的溶解度较氧气高约13倍、较空气高25倍。在1个标准大气压下, 臭氧0℃时的密度为2.14 g/L, 沸点为-111℃, 熔点为-192℃。臭氧中第3个O与其他O之间的化学键键能较低, 因此臭氧性质不稳定, 可发生伪一级反应(pseudo first-order reaction)而持续降解。受空气温度和湿度的影响, 臭氧的半衰期通常为4~12 h^[8,9]。臭氧的氧化能力很强, 其氧化还原电位为2.07 eV, 是仅次于氟的强氧化剂。臭氧是安全无毒气

体, 谈到其毒性主要是指其强氧化能力。过高浓度的臭氧气体会刺激人的呼吸系统, 严重时会造成伤害。

1.2 臭氧水的性质

臭氧部分溶于水形成臭氧水。臭氧在水中的溶解度与温度呈反比, 还与臭氧流速和压力、水的纯度以及与水接触的时间有关^[8]。臭氧分子结构不稳定, 其在水中比在空气中更容易自行分解, 因此水中的臭氧浓度总是处于不断降低状态^[10,11]。臭氧水的稳定性受水中所含杂质影响较大, 特别是水中含有金属离子时, 臭氧可迅速分解为氧气, 但臭氧在纯水中分解较慢。在 4、10、20 和 30 °C 下, 臭氧水的半衰期分别为 132、128、27 和 6 min^[12]。臭氧在水中能发生强烈的氧化还原反应, 产生极活泼、具有强氧化作用的单原子氧、羟基等, 它们不仅可以分解水中的各种微生物, 还可以破坏虫体的细胞壁, 从而使臭氧水具有广谱、高效的杀虫灭菌作用。

1.3 臭氧杀虫的机理

臭氧对农业害虫具有一定的杀伤作用。一方面是臭氧直接作用于害虫有机体, 通过气门或体壁进入有机体内后氧化虫体细胞壁中的不饱和脂肪酸, 破坏其双重结合部, 进一步破坏卵磷脂, 使虫体的体液流失, 最终导致害虫死亡; 另一方面是在产生臭氧的同时, 势必会在一定程度上降低限定空间内的氧气浓度, 促使害虫延长气门开启的时间, 失水与窒息共同作用而引起害虫死亡; 还可以是臭氧作用、低氧窒息与低湿失水的联合作用。但是, 臭氧具体的杀虫机理以及 3 个方面作用的主次顺序, 还有待于进一步深入探讨。

1.4 臭氧应用的发展史

国外对臭氧研究进行得较早, 欧洲科学家率先对臭氧特性及其应用进行了研究, 并开展产学研相结合模式, 将其应用于实际的工业生产中。随着含氯消毒剂可产生致癌物的发现以及人们对臭氧关注度的提升, 一些发达国家又开始将臭氧技术应用到食品、医院、养殖业和污水处理等领域^[13]。到 20 世纪 90 年代, 该技术在现代食品工业中得到了广泛应用, 即: 将臭氧通入水中, 用制得的新鲜臭氧水替代对环境和人体有潜在危害的传统化学消毒剂。与其他消毒剂相比, 臭氧杀菌速度快且效果明显, 无二次污染, 这已被世界多国专家学者所认可。随着我国经济全球化趋势的不断加快以及加入 WTO 后外贸发展的要求, 臭氧技术在食品工业及相关领域将有广阔的应用发展前景^[14]。

2 利用臭氧和臭氧水防治农业害虫

2.1 利用臭氧防治仓储害虫

粮食在储藏过程中往往发生虫害, 而利用臭氧可以杀死储粮害虫。Erdman^[15]报导, 在 30 °C 时, 浓度为 450 mL/m³ 的臭氧 7 h 能全部杀死各种虫期的赤拟谷盗。阎永生等^[16]采用间歇式充入臭氧的方法, 研究了臭氧对玉米象、杂拟谷盗、赤拟谷盗、锯谷盗、长角扁谷盗和米虱等的杀虫效果, 结果显示, 玉米象、杂拟谷盗、长角扁谷盗和米虱在 9~14 d 内均全部死亡。Mason 等^[17]对臭氧杀灭储粮害虫的效果进行了研究, 结果表明, 体积分数为 50 mL/m³ 的臭氧能全部杀死试验害虫, 100% 杀死杂拟谷盗、赤拟谷盗、玉米象所需的时间分别为 3、6 和 3 d。范盛良等^[18]利用臭氧进行了实仓局部杀虫效果试验, 结果表明, 体积分数 > 11 mL/m³ 的臭氧均能 100% 杀死试虫 (玉米象、赤拟谷盗和谷蠹成虫), 其中臭氧浓度为 32 mL/m³ 时, 只需 3 d 就能全部杀死玉米象, 全部杀死赤拟谷盗和谷蠹成虫需要 6 d。陈渠玲等^[19]在模拟仓中使用 30 mL/m³ 的臭氧处理粮堆 1 个月后发现, 粮堆的虫口密度由 241 头/kg 降至 5 头/kg, 而对照仓的虫口密度由 241 头/kg 增加到 1 100 头/kg 以上。施国伟等^[20]在通有臭氧的楼房仓中放置锈赤扁谷盗虫笼发现, 当臭氧浓度达到 42 mL/m³ 时, 虫笼内的锈赤扁谷盗全部被杀死。吴峡等^[21]用浓度为 100~120 mL/m³ 的臭氧对在房式仓中储藏的稻谷进行墙角局部 (约 2 m²) 杀虫试验, 结果显示, 玉米象、谷蠹和赤拟谷盗全部被杀死, 所需时间分别为 3、6 和 10 d。

2.2 利用臭氧防治蔬菜叶部害虫

利用臭氧防治蔬菜病虫害在国外早有研究, 近几年国内陆续也有相关报道^[22-24]。李毅等^[25]将烟粉虱和斑潜蝇成虫分别置于 5 000 mL 的广口瓶内, 每次释放臭氧 30 s, 间隔时间分别为 10、20、30、40、50、60 和 90 min, 连续释放 10 次, 死亡虫数调查结果显示, 间隔时间为 50~90 min 时, 烟粉虱、南美斑潜蝇成虫校正死亡率分别为 33.6%~52.8% 和 27.0%~68.2%; 当间隔时间缩短至 30 min 时, 杀灭效果分别为 92.4% 和 93.2%; 间隔时间为 10 min 时, 杀灭效果均达到 100%。杨震等^[26]在温度 23~27 °C、相对湿度 64%~87% 的温室中释放臭氧发现, 当臭氧浓度为 0.4 mg/kg 时, 其对温室粉虱、南美斑潜蝇、瓜蚜的防治效果分别为 29.9%、44.7%、60.9%; 当臭氧浓度为 2.5 mg/kg 时, 其防治效果依次为 73.1%、71.9%、83.8%。可以看出, 臭氧能够良好地防治温室粉虱、南美斑潜蝇等蔬菜叶部害虫。然而, 有研究却发现, 臭氧对白粉虱、红蜘蛛和斑潜蝇无明显防效。将臭氧浓度提高至 1.2×10^{-6} mg/kg 并作用 30 min, 白粉虱和红蜘蛛会失

活,而斑潜蝇需作用 120 min 才会失活,但这样的臭氧浓度会在几分钟内破坏植物叶片的光合系统,因此,在实际生产中,臭氧只能用于植物病害的防治,而不能用于虫害的防治^[27]。

2.3 利用臭氧水防治地下害虫

臭氧水具有极强的氧化性,起到杀虫灭菌的作用。目前,已有用臭氧水防治地下害虫的报道。张瑞华等^[28]分别用浓度 0 (CK)、1.0、1.5、2.0 mg/L 的臭氧水,在生姜、西瓜、番茄不同生长期进行连续灌溉,结果表明,与 CK 相比,1.0~1.5 mg/L 浓度处理的生姜、西瓜、番茄根结数量分别降低 59.1%~93.3%、66.9%~91.1%、70.0%~93.8%,根际土壤线虫数量分别降低 57.8%~88.3%、60.9%~89.1%、73.6%~92.2%。任培华^[29]用不同浓度的臭氧水处理根结线虫后发现,不同浓度的臭氧水对根结线虫均有防治效果,但当灌溉水中臭氧浓度为 6 mg/kg 时对根结线虫防效较好,生姜根结线虫数量较清水灌溉减少 93.3%,而根际土壤中根结线虫数仅为清水灌溉的 11.7%。郭培强等^[30]利用臭氧水处理南方根结线虫 2 龄幼虫以及游离卵和卵囊,结果显示,各浓度臭氧水处理对 2 龄幼虫均具有致死作用,其中,0.60 mg/kg 浓度处理对 2 龄幼虫的校正致死率达到 95.25%;当浓度 >0.50 mg/kg 时,臭氧水对线虫卵孵化表现出抑制作用。臭氧水不仅可以有效杀灭土壤中的线虫,而且对韭蛆也有良好的防治效果。任培华^[31]用浓度 6 mg/kg 的臭氧水灌溉韭菜,对照组浇灌清水,采用 5 点取样法分别于药后 3、6、10 和 14 d 调查被害株数和活韭蛆数,结果显示,处理组的防治效果分别为 57.40%、64.19%、71.40%和 79.01%。研究还发现,当灌溉臭氧水浓度为 6 mg/kg 时,药后 14 d 的防治效果分别较 25%灭幼脲悬浮剂和 48%毒死蜱乳油的防治效果高 31.22%和 41.20%。在山东潍坊进行了 1.8%阿维菌素乳油 15 kg/hm²+47%加瑞农可湿性粉剂 15 kg/hm² 对水 2 250~3 000 kg/hm² 与臭氧水的大姜线虫病防治效果对比试验,结果发现,臭氧水的防效为 91.02%,好于阿维菌素乳油+加瑞农可湿性粉剂的防效^[32]。由此可见,臭氧水能有效杀灭地下害虫,可替代化学农药,降低化学农药的使用量。

3 利用臭氧和臭氧水杀虫的优缺点及建议

3.1 利用臭氧和臭氧水杀虫的优点

3.1.1 使用方便、安全 与喷施农药相比,释放臭氧杀虫更为方便。臭氧和臭氧水不稳定,释放一段时间即可分解,故对人体和环境安全。此外,利用臭氧和

臭氧水防治害虫可减少农药的使用量,避免菜农施用高毒、高残留农药。

3.1.2 效率高、作用广 利用臭氧和臭氧水杀虫效果良好,试验证明,臭氧水对地下害虫的防效明显优于农药防治^[31,32]。臭氧是一种广谱的杀虫灭菌剂,除了能够防治农业害虫外,还具有其他的良好作用,如,在储粮中,不仅能够有效防霉^[36]、除霉^[33],还能够降解储粮表面残留的农药^[34];在温室中,可以防治温室黄瓜、青椒、茄子等果菜类作物的所有气传病害和大部分土传病害^[35]。

3.1.3 产品无公害 臭氧在干燥的空气中不稳定,可很快分解还原为氧气,因此在植株内及果实中无污染、无残留。不仅如此,蔬菜早期发生虫害使用农药后,利用臭氧水可以将蔬菜表面的残留农药降解掉^[36]。

3.1.4 提质增产 低浓度的臭氧有利于作物生长和产量形成。Anton 等^[37]将生长在温室里的大豆分别间歇性地长期暴露在浓度为 20、46、70 和 97 η L/L 的臭氧中,结果显示,46 η L/L 的臭氧能够刺激大豆生长发育,并改善产量参数。温室番茄使用臭氧后,畸形果明显减少,产量提高 20%左右,且果实个大、着色好、口感好^[38]。

3.2 利用臭氧和臭氧水杀虫的缺点

3.2.1 需使用臭氧发生器 臭氧易分解且无法储存,需现场制取,所以凡是能用到臭氧的场所均需使用臭氧发生器。而臭氧发生器本身就存在一些问题,如,(1)目前国内生产的臭氧发生器质量差距大,不能保证产生高品质的臭氧或臭氧水;(2)多数臭氧发生器对电力配套设施及工作环境等适应性较差,无法大范围推广使用;(3)臭氧发生器价格偏高。此外,臭氧发生器的推广人员缺乏相关知识以及臭氧防治技术宣传力度不够,致使用户在使用过程中存在不少错误,甚至给用户造成较大损失。

3.2.2 臭氧在自然条件下易分解 尤其在有光的高温、高湿环境中,臭氧会与水汽作用迅速还原为氧气,失去其效力而不能达到良好的杀虫效果。

3.2.3 过高浓度的臭氧和臭氧水对作物有害 王超铁等^[39]在温室内对 14 种蔬菜释放臭氧,结果发现,不同蔬菜对臭氧的忍耐力不同,臭氧浓度过高时容易灼伤蔬菜叶片。然而,臭氧和臭氧水浓度过低对害虫起不到良好的防效。臭氧和臭氧水处理浓度和处理时间不易掌握。

3.2.4 臭氧属于有害气体,浓度过高会损害人体健康 研究显示,长期暴露在臭氧超标的空气中,臭氧可损害人体肺部表皮细胞,而引起肺部功能的减退^[40]。

3.3 使用臭氧和臭氧水杀虫的建议

3.3.1 用户在选择臭氧发生器时,应选择正规厂家的产品。尽量选择高介电材料制造、标准配置、高频驱动、高臭氧浓度输出、低电耗、低气源消耗的臭氧发生器。且按照使用说明书,正确操作臭氧发生器。

3.3.2 温度、湿度和光照控制 利用臭氧和臭氧水杀虫时,外界温度应保持在30℃以下,同时控制好环境湿度。根据植物的光合作用特性和呼吸作用特性,在夜间使用臭氧更适合植株的生理活动需求^[41]。

3.3.3 合理确定臭氧和臭氧水的使用浓度及作用时间 用于温室植物病虫害防治且又不为害植物生长的臭氧质量分数为0.12 mg/m³,使用时间应少于20 min^[25]。同时,利用臭氧发生器在粮仓空间产生3~30 mg/L的臭氧,辅以短时间吸出式机械通风,可有效控制粮堆内害虫种群的发展^[42]。只要浓度合适,在不伤害人体和作物的情况下长期使用臭氧可以起到较好的杀虫效果。

3.3.4 注意通风 利用臭氧熏蒸储粮害虫时,应将仓房门窗很好地密闭。熏蒸完成后,至少通风3 h,方可入仓作业^[42]。

3.3.5 在实际应用中,使用人员应做好安全措施 设施工作环境的臭氧浓度<0.1 mg/m³时对人体安全。当释放浓度>0.1 mg/m³时,应避免操作人员长时间与臭氧接触。

3.3.6 与其他农业防治技术相结合 将臭氧和臭氧水防治害虫的措施融入到农业病虫害综合防治技术体系之中,如与地膜覆盖技术、防虫网应用、化学药剂防治等措施协调统一,可起到更好的防治效果。

4 利用臭氧和臭氧水杀虫的前景展望

臭氧为强氧化剂,一定浓度的臭氧和臭氧水对农业害虫有明显的灭杀效果。臭氧可在常温下很快分解转变为氧气,故利用臭氧和臭氧水防治农业害虫不会污染环境,能有效解决化学药剂防治对生态环境污染的难题。而且,与化学农药治虫相比,利用臭氧和臭氧水治虫具有方便、高效、作用广等优点。因此,臭氧和臭氧水在农业害虫防治领域具有广阔的应用前景。然而,有些人对用臭氧和臭氧水防治农业害虫的做法提出了质疑,他们认为地面臭氧是伤害作物的重要空气污染物,外界环境条件可控性差,臭氧易对作物产生伤害。对于生长期的作物,释放臭氧气体防治害虫的做法缺少依据和试验佐证^[43]。

目前利用臭氧和臭氧水防治害虫的研究和成果仅是初步的,还需对该技术进行系统试验。(1)探究臭氧和臭氧水防治害虫的完整机理。(2)尽可能多

地扩大试验样本的数量。(3)有计划地进行大面积试验,探索不同作物或同一作物不同生长时期杀虫的最佳使用浓度。(4)研究臭氧和臭氧水对作物品质的影响等。

希望通过我们大家的努力,将臭氧和臭氧水有效运用到农业害虫防治中,发挥其巨大的社会效益和经济价值,进而使这一新技术造福于社会和人民。

参考文献:

- [1] 何学超,张蓉建,王德谦,覃章贵,肖学彬,杨军,严晓平,邓刚,杨卫民.臭氧熏蒸对储粮品质的影响[J].粮食储藏,2002,31(6):38-41.
- [2] 苏玲,王安建,朱广成,魏书信.臭氧在果蔬贮藏保鲜中的应用[J].保鲜与加工,2002,(5):33.
- [3] 邸伟.O₃灭菌试验及在舍饲养殖中的应用[J].农业科技与装备,2011,(4):75-77.
- [4] 程江,杨卓如,梅慈云.臭氧在水中的吸收和自分解[J].华南理工大学学报:自然科学版,1997,25(5):77-81.
- [5] 魏兰芬,林军明,张峰,许激.臭氧水溶液杀菌效果实验室观察[J].中国公共卫生,2000,16(1):67.
- [6] 王芳.臭氧消毒研究进展[J].中国消毒学杂志,1998,15(2):95-101.
- [7] Graham D. Use of ozone for food processing [J]. Food Technol, 1997, 51 (6): 72-73.
- [8] Khadre M A, Yousef A E, Kim J G. Microbiological aspects of ozone applications in food: a review [J]. J Food Sci, 2001, 66 (9): 1242-1252.
- [9] Hiroshi Tomiyasu, Hiroshi Fukutomi, Gilbert Gordon. Kinetics and mechanism of ozone decomposition in basic aqueous solution [J]. Inor-ganic Chem, 1985, 24 (19): 2962-2966.
- [10] 靳俊伟,林衍,李东.臭氧消毒现状与发展[J].四川环境,2004,(1):6.
- [11] 李怀.臭氧毒性研究概况[J].消毒与灭菌,1987,(4):2.
- [12] 王芳,刘育京.臭氧水稳定性及杀菌性能的试验观察[J].中国消毒学杂志,1999,16(2):69-72.
- [13] 白希务,张芝涛,白敏莉,沈丽.臭氧发生方法及其应用[J].自然杂志,2002,22(6):347-349.
- [14] 张新智.臭氧处理技术的应用与发展[J].检验检疫科学,2006,16(1):79-80.
- [15] Erdman H E. Ecological aspects of control of stored product insect by ozonation [J]. Proc Int Work Conf Stored Prod Entomol, 1979, (2): 75-90.
- [16] 阎永生,赵文平,王秀华.臭氧离子防霉杀虫效果初探[J].粮食储藏,1995,(1):9-14.
- [17] Mason L J, Strait C A, Woloshuk C P. Controlling stored grain insects with ozone fumigation [C]//Merkel

- Broder J, Arab Alireza. Proceedings of the 7th International Working Conference on Stored-Protection. Chengdu: Sichuan Publishing House of Science & Technology, 1998: 536-547.
- [18] 范盛良, 梁永生, 冉启权, 杨天明. 臭氧在粮食储藏中的应用研究现状 [J]. 粮油仓储科技通讯, 2007, (5): 31-34.
- [19] 陈渠玲, 邓树华, 周剑宇, 单建刚, 夏舜良. 臭氧防霉, 杀虫和去毒效果的探讨 [J]. 粮食储藏, 2001, (2): 16-19.
- [20] 施国伟, 谢昌其, 黄志宏. 臭氧储粮灭菌杀虫技术研究 [J]. 粮食储藏, 2004, (4): 20-22.
- [21] 吴 峡, 严晓平, 覃章贵, 罗建伟, 黎万武, 邓 刚, 李荣涛, 刘作伟, 李宗良, 余吉庆, 王迎平, 毛义文. 臭氧杀虫除霉实仓试验 [J]. 粮食储藏, 2003, (5): 11-14.
- [22] 王日东. 臭氧杀菌效果的试验分析 [J]. 中国食用菌, 1996, 15 (6): 36.
- [23] 刘滨疆, 仲兆清. 温室病害臭氧防治技术及应用 [J]. 北京农业, 2001, (12): 13.
- [24] 喻景权, 驹田旦. 臭氧对培养液中两种植物病原菌的杀菌效果 [J]. 园艺学报, 1998, 25 (1): 96-98.
- [25] 李 毅, 李英梅, 张淑莲, 洪 波, 张 锋, 陈志杰. 臭氧对设施蔬菜病虫害的应用效果 [J]. 农业工程, 2012, 6 (S1): 31-34.
- [26] 杨 震, 李明振, 党凯峰, 张鹏霞. 臭氧在设施蔬菜中的应用 [J]. 现代农业科技, 2012, (18): 198-199.
- [27] 杨秀兰, 李 滨, 曲万波, 郭贵洋. 臭氧在温室蔬菜生产中的应用 [J]. 农业科技与装备, 2009, (4): 99-100.
- [28] 张瑞华, 陈优明, 王承香, 田洪霞. 不同浓度臭氧水防治根结线虫效果的研究 [J]. 中国农学通报, 2012, 28 (25): 243-247.
- [29] 任培华. 臭氧水防治韭蛆的效果 [J]. 植物医生, 2012, 25 (6): 38-39.
- [30] 郭培强, 赵洪海, 丁建法, 陈优明, 李世祥. 臭氧水对南方根结线虫卵和幼虫的抑制效果研究 [J]. 青岛农业大学学报: 自然科学版, 2012, 29 (2): 94-97.
- [31] 任培华. 臭氧水对生姜根结线虫的防治及产量与品质的影响 [J]. 安徽农业科学, 2012, 40 (32): 15706-15707, 15754.
- [32] 丁 杰, 陈优明, 丁 源. 臭氧水设备防治病虫害试验情况及建议 [J]. 山东农机化, 2014, (3): 29.
- [33] 罗建伟, 李荣涛, 陈 兰, 吴军里, 谢 刚. 臭氧去除粮食中黄曲霉毒素 B1 的方法研究 [J]. 粮食储藏, 2003, 32 (4): 29-33.
- [34] 覃章贵, 严晓平, 吴 峡. 臭氧降解粮食中农药残留的试验 [J]. 粮食储藏, 2003, (3): 10-13.
- [35] 杨宇红, 冯兰香, 谢丙炎, 杨翠荣, 龚惠芝. 臭氧对蔬菜病害的防治效果 [J]. 中国蔬菜, 2004, (4): 41-42.
- [36] 张 馨, 郑文刚, 张云鹤, 王超铁. 再谈臭氧在设施农业、畜牧业中的应用 [J]. 蔬菜, 2010, (12): 44-47.
- [37] Anton G, Endress, Claus Grunwald. Impact of chronic ozone on soybean growth and biomass partitioning [J]. Studies in Environmental Science, 1986, 30 (2): 53-63.
- [38] 高 敏, 李 兰, 韩 瑞. 臭氧防治设施蔬菜病虫害效果好 [J]. 西北园艺: 蔬菜专刊, 2007, (2): 34.
- [39] 王超铁, 石宝才, 宫亚军, 李兴红, 严 红. 臭氧在棚室蔬菜的释放浓度试验 [J]. 农业新技术, 2003, (6): 26-27.
- [40] Mudway I S, Kelly F J. Ozone and the lung: a sensitive issue [J]. Molecular Aspects of Medicine, 2000, 21 (1): 1-48.
- [41] 刘长虹. 臭氧在蔬菜设施栽培中的应用 [J]. 天津农林科技, 2008, (1): 12-14.
- [42] 李国长, 李超军, 董 才, 陈 健. 利用臭氧杀虫储粮技术研究初探 [J]. 中国粮油学报, 1995, (3): 1-5.
- [43] 刘迪林, 蔡 杰. 对臭氧在温室蔬菜生产上应用的质疑 [J]. 农业工程学报, 2005, 21 (S1): 221-224.