

网络出版时间:2019-03-07 13:33 DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2019.09.011
网络出版地址:http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20190307.1332.022.html

臭氧处理对番茄和黄瓜种子萌发的影响

张治家^a,刘红艳^a,翟海翔^b,张丽娜^b,焦彩菊^b

(山西省农业科学院 a 植物保护研究所,b 农业科技信息研究所,山西 太原 030031)

【摘要】【目的】阐明臭氧处理对陈番茄和黄瓜种子萌发及种子活力的影响。【方法】以放置 1 年的陈番茄和黄瓜种子作为研究对象,用 80,120 和 160 mg/m³ 的臭氧分别处理番茄和黄瓜种子 30 min,研究不同臭氧处理对番茄和黄瓜种子表面微生物菌落数以及种子发芽势、发芽率和活力(SOD、POD 活性和 MDA 含量)的影响,并对各生理指标的相关性进行分析。【结果】用 160 mg/m³ 的臭氧处理 30 min,番茄和黄瓜种子表面微生物的抑制率均达到最大值,分别为 97.4%和 99.5%。用 80 mg/m³ 的臭氧处理 30 min,番茄种子的发芽势、发芽率、SOD 活性和 POD 活性均达到最大值,分别为 68.0%,94.5%,193.8 U/g 和 2 193.4 U/g,MDA 含量达到最小值,为 19.4 nmol/g。用 160 mg/m³ 的臭氧处理 30 min,黄瓜种子的发芽势、发芽率、SOD 活性和 POD 活性均达到最大值,分别为 96.5%,99.5%,160.3 U/g 和 2 300.4 U/g,MDA 含量达到最小值,为 10.8 nmol/g。臭氧处理后,番茄和黄瓜种子 SOD 和 POD 活性与发芽势和发芽率呈显著正相关,而 MDA 含量与发芽势和发芽率呈显著负相关。【结论】适宜浓度的臭氧处理后可以抑制种子表面微生物的生长,提高种子的发芽率和活力。

【关键词】 种子萌发;臭氧处理;番茄;黄瓜;种子活力

【中图分类号】 S604⁺.1

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2019)09-0098-05

Effect of ozone treatment on germination of tomato and cucumber seeds

ZHANG Zhijia^a,LIU Hongyan^a,ZHAI Haixiang^b,ZHANG Lina^b,JIAO Caiju^b

(a Institute of Plant Protection,b Agricultural Science and Technology Information Institute,Shanxi Academy of
Agricultural Sciences,Taiyuan,Shanxi 030031,China)

Abstract: 【Objective】The effects of ozone treatment on aged seed germination and seed vigor of tomato and cucumber were analyzed to provide theoretical basis for agricultural production practice. 【Method】The effects of different ozone treatments of 80,120 and 160 mg/m³ on surface microbial colony numbers, germination potential,germination rate and seed vigor(SOD,POD and MDA)of tomato and cucumber seeds were studied and the correlations of indexes were analyzed. 【Result】The inhibition rates of surface micro-organisms reached maximum values of 97.4% and 99.5% when tomato and cucumber seeds were treated by 160 mg/m³ ozone for 30 minutes. When tomato seeds were treated by 80 mg/m³ ozone for 30 minutes, the germination potential,germination rate and activities of SOD and POD also reached maximum values of 68.0%,94.5%,193.8 U/g and 2 193.4 U/g respectively. However,MDA content reached the minimum value of 19.4 nmol/g. When cucumber seeds were treated by 160 mg/m³ ozone for 30 minutes,the germination potential,germination rate and activities of SOD and POD reached maximum values of 96.5%,99.5%,160.3 U/g and 2 300.4 U/g,while MDA content reached the minimum value of 10.8 nmol/g. The activities

【收稿日期】 2018-07-27

【基金项目】 山西省重点研发计划项目“保护地非农药(臭氧)病虫害绿色防控设备及技术的研究”(201703D22111288)

【作者简介】 张治家(1974—),男,山西平定人,副研究员,主要从事植物病害研究。E-mail:zhang770504@126.com

【通信作者】 翟海翔(1972—),男,山西省翼城人,副研究员,硕士,主要从事农业信息研究。E-mail:zhxccc1002@126.com

of SOD and POD had positive correlation with germination potential and germination rate, while MDA had negative correlation with germination potential and germination rate after treatment. 【Conclusion】 Proper ozone treatment can inhibit the growth of microorganisms on seed surface and improve the germination rate and seed vigor.

Key words: seed germination; ozone treatment; tomato; cucumber; seed vigor

种子发芽率是衡量种子质量的重要指标之一,发芽率的高低决定了种子的品质、幼苗长势及其产量高低^[1-3]。种子在做发芽试验过程中极易被霉菌感染,且染菌霉变率较高,常常导致不正常幼苗及死种子的发生,使种子发芽率明显降低^[4-5]。此外,种子表面本身附着的细菌及病原性微生物也会导致种子的发芽率降低^[6-7]。对种子上附着的病菌进行处理,不仅可以有效防治种传、土传及一些气传病害,调控作物生长发育,提高产量和品质,而且有利于实现良种标准化、商品化,能打破种子休眠,促进发芽^[8-11]。

臭氧又名超氧,是氧气的同素异形体,在常温常压下稳定性较差,可分解为氧气。臭氧具有超强的氧化性,可作为强氧化剂,在适当浓度作用下可杀灭病原微生物,且对健康细胞无害^[12-14]。随着国内臭氧技术的逐渐成熟,臭氧目前主要应用于工业、医疗卫生和农业三大领域^[15-19]。其中,在工业方面臭氧主要应用于漂白方面^[20];在医疗卫生领域,臭氧可用于对医疗场所、器械、工具等进行消毒^[21],也可以用于治疗皮肤感染引起的皮肤病^[22-24]。近年来,臭氧在农业方面的应用也越来越广泛,主要用于果蔬的储藏保鲜^[25-26],控制温室蔬菜病原菌(辣椒疫霉病菌和黄瓜霜霉、白粉病菌等常见病菌)的繁殖^[27-28],处理陈种子以提高种子萌发率^[2,5,29]。本试验选取放置1年的陈番茄和黄瓜种子作为研究对象,利用不同浓度臭氧分别处理陈番茄和黄瓜种子,研究不同臭氧处理对黄瓜和番茄种子表面微生物及种子发芽率和活力的影响,为臭氧在农业生产实践中的应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

黄瓜“天天摘”和番茄“绚丽 F1”种子均购于当地市场,为放置1年陈种子且无包衣。

1.2 试验方法

1.2.1 抑菌试验 准确称取 1.00 g 黄瓜和番茄种子,分别用 80, 120 和 160 mg/m³ 臭氧气体处理 30 min,之后置于 9 mL 的无菌蒸馏水中,在摇床上振

荡(120 r/min)1 h 后,梯度稀释并涂板,27 ℃ 培养 24 h 后进行菌落计数^[30],以未用臭氧气体处理的种子作为对照(CK),并计算抑制率。

抑制率=(对照菌落数-处理菌落数)/对照菌落数×100%。

1.2.2 发芽试验 分别选取大小基本一致且颗粒饱满的黄瓜和番茄种子 100 粒,分别用 80, 120 和 160 mg/m³ 臭氧气体处理 30 min,之后放入直径 9 cm 的培养皿(皿内以双层滤纸为发芽床,使用自来水作为处理液),在常温下培养,每天加入 5 mL 自来水,保持滤纸湿润。每处理 3 次重复。以未用臭氧气体处理的种子作为 CK。培养 3, 7 d 后统计发芽种子数,计算发芽势和发芽率。

发芽势=3 d 内发芽种子数/供试种子数×100%,

发芽率=7 d 内发芽种子数/供试种子数×100%。

1.2.3 活力试验 准确称取 0.1 g 黄瓜和番茄种子,分别用 80, 120 和 160 mg/m³ 臭氧气体处理 30 min,采用试剂盒检测各处理黄瓜和番茄种子的超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)活性及丙二醛(MAD)含量^[31-33]。其中,SOD 活性测定采用 SOD 活性检测试剂盒,POD 活性测定采用 POD 活性检测试剂盒,MDA 含量测定采用 MAD 含量检测试剂盒。以上 3 种试剂盒均购自索莱宝生物科技有限公司。

1.3 统计学分析

以上试验均重复 3 次,试验数据用 SPSS 软件(版本 18.0)Duncan's 多重比较法进行多个均值间的两两比较^[34]。

2 结果与分析

2.1 臭氧处理对番茄和黄瓜种子表面微生物的影响

从表 1 可以看出,臭氧处理后番茄和黄瓜种子表面微生物的抑制率均显著提高($P<0.05$)。80, 120 和 160 mg/m³ 的臭氧处理 30 min 后,番茄种子表面微生物的抑制率分别达到 87.8%, 94.0% 和 97.4%,黄瓜种子表面微生物的抑制率分别达到 90.4%, 98.8% 和 99.5%。说明臭氧浓度越高,对

种子表面微生物菌落数的抑制作用越大。

表 1 臭氧处理对番茄和黄瓜种子微生物菌落数的影响

Table 1 Effect of ozone treatment on microbial colony number of cucumber and tomato

处理 Treatment	菌落数/(CFU·mL ⁻¹) Colony number		抑制率/% Inhibition rate	
	番茄 Tomato	黄瓜 Cucumber	番茄 Tomato	黄瓜 Cucumber
对照组 Control	2.8×10 ³ a	2.3×10 ⁴ a	—	—
1	3.4×10 ² b	2.2×10 ³ b	87.8 a	90.4 a
2	1.7×10 ² c	2.8×10 ² c	94.0 b	98.8 b
3	0.7×10 ² d	1.1×10 ² d	97.4 c	99.5 c

注:1.用 80 mg/m³ 臭氧处理 30 min;2.用 120 mg/m³ 臭氧处理 30 min;3.用 160 mg/m³ 臭氧处理 30 min。同列数据后标不同小写字母表示不同处理间差异显著($P<0.05$)。表 2 和 3 同。

Note:1.80 mg/m³ ozone treatment 30 min;2.120 mg/m³ ozone for 30 min;3.160 mg/m³ ozone for 30 min. Different lowercase letters in the same column indicate significant difference ($P<0.05$). The same below.

2.2 臭氧处理对番茄和黄瓜种子发芽的影响

从表 2 可以看出,臭氧处理后番茄和黄瓜种子的发芽势和发芽率有明显变化。80,120 和 160 mg/m³ 臭氧处理 30 min 后,番茄种子发芽势较对照提高,但差异不显著;80 mg/m³ 臭氧处理番茄种子的发芽率较对照显著提高,而 120 和 160 mg/m³ 臭

氧处理番茄种子的发芽率较对照显著降低。160 mg/m³ 臭氧处理黄瓜种子的发芽势最高,达到 96.5%,且与其他处理差异显著,而 80 和 120 mg/m³ 臭氧对黄瓜种子的发芽势影响不显著;80,120 和 160 mg/m³ 臭氧处理黄瓜种子的发芽率显著高于对照,最高可达到 99.5%。

表 2 臭氧处理对番茄和黄瓜种子发芽的影响

Table 2 Effect of ozone treatment on germination rate of cucumber and tomato seeds

%

处理 Treatment	番茄 Tomato		黄瓜 Cucumber	
	发芽势 Germination potential	发芽率 Germination rate	发芽势 Germination potential	发芽率 Germination rate
对照 Control	55.0±5.0 a	74.0±1.0 b	86.0±6.0 a	94.0±3.0 a
1	68.0±17.5 a	94.5±2.5 c	88.5±1.5 a	97.5±0.5 b
2	60.0±1.0 a	68.0±3.0 a	91.0±1.0 a	99.5±0.5 b
3	57.0±3.0 a	67.5±7.5 a	96.5±0.5 b	99.5±0.5 b

2.3 臭氧处理对番茄和黄瓜种子活力的影响

从表 3 可以看出,80 mg/m³ 臭氧处理 30 min 后,番茄种子 SOD 和 POD 活性达到最大值,分别为 193.8 和 2 193.4 U/g,较相应对照提高了 30.7%和 24.2%,MDA 含量最小,为 19.4 nmol/g,较对照减少了 54.0%。臭氧处理后,黄瓜种子 SOD 和 POD

活性随着臭氧浓度的升高而总体增强,而 MDA 含量随着臭氧浓度的升高而逐渐减少。160 mg/m³ 臭氧处理 30 min 后,黄瓜种子 SOD 和 POD 活性均达到最大值,分别为 160.3 和 2 300.4 U/g,较相应对照分别提高了 63.1%和 59.2%,MDA 含量最小,为 10.8 nmol/g,较对照减少了 65.5%。

表 3 臭氧处理对番茄和黄瓜种子活力的影响

Table 3 Effect of ozone treatment on seed vigor of cucumber and tomato seeds

处理 Treatment	SOD 活性/(U·g ⁻¹) SOD activity		POD 活性/(U·g ⁻¹) POD activity		MDA 含量/(nmol·g ⁻¹) MDA content	
	番茄 Tomato	黄瓜 Cucumber	番茄 Tomato	黄瓜 Cucumber	番茄 Tomato	黄瓜 Cucumber
对照 Control	148.3±0.9 c	98.3±0.3 a	1 765.4±160 b	1 444.4±160 a	42.2±2.4 c	31.3±0.7 c
1	193.8±0.3 d	153.7±0.9 c	2 193.4±53 c	1 711.9±35 b	19.4±1.7 a	24.6±1.7 b
2	94.5±0.4 a	150.3±1.1 b	1 444.4±53 a	2 246.9±106 c	35.3±0.8 b	23.0±0.7 b
3	136.9±0.2 b	160.3±1.1 d	1 390.9±10 a	2 300.4±160 c	34.6±0.6 b	10.8±2.7 a

2.4 臭氧处理后种子各生理指标的相关性

臭氧处理后,种子萌发程度及活力均发生了变化,为了更准确全面地判断这些变化以及各指标相互之间的复杂关系,对种子萌发及活力的 5 个指标进行相关分析,结果见表 4 和表 5。从表 4 和表 5 可

以看出,臭氧处理后,番茄种子发芽率与 SOD 和 POD 活性呈显著或极显著正相关,与 MDA 含量呈显著负相关;黄瓜种子发芽率与 SOD 和 POD 活性呈极显著正相关,与 MDA 含量呈显著负相关。

表 4 臭氧处理后番茄种子各生理指标的相关性

Table 4 Correlation of physiological indexes of tomato seeds after ozone treatments

指标 Index	发芽势 Germination potential	发芽率 Germination rate	SOD 活性 SOD activity	POD 活性 POD activity	MDA 含量 MDA content
发芽势 Germination potential	1.000				
发芽率 Germination rate	0.844 *	1.000			
SOD 活性 SOD activity	0.569	0.882 *	1.000		
POD 活性 POD activity	0.719 *	0.974 * *	0.878 *	1.000	
MDA 含量 MDA content	-0.968 * *	-0.826 *	-0.650	-0.676	1.000

注:“*”和“* *”分别表示 $P<0.05$ 和 $P<0.01$ 水平显著相关。下表同。
Note:“*”and “* *” indicate significant at $P<0.05$ and $P<0.01$, respectively. The same below.

表 5 臭氧处理后黄瓜种子各生理指标的相关性

Table 5 Correlation of physiological indexes of cucumber seeds after ozone treatments

指标 Index	发芽势 Germination potential	发芽率 Germination rate	SOD 活性 SOD activity	POD 活性 POD activity	MDA 含量 MDAcontent
发芽势 Germination potential	1.000				
发芽率 Germination rate	0.823 *	1.000			
SOD 活性 SOD activity	0.747 *	0.931 * *	1.000		
POD 活性 POD activity	0.891 *	0.949 * *	0.786 *	1.000	
MDA 含量 MDA content	-0.988 * *	-0.801 *	-0.781 *	-0.835 *	1.000

3 讨论与结论

本研究结果表明,臭氧处理后,番茄和黄瓜种子表面的微生物菌落数均随臭氧浓度的升高总体呈降低趋势,对种子表面微生物的抑制率逐渐提高。林爱红等^[35]研究了臭氧的杀菌效果,结果表明,在接触时间和相对湿度不变的情况下,臭氧浓度与杀菌效果呈正相关,与本试验结果一致,主要原因是臭氧具有强氧化性,且浓度越高氧化性越强。

在植物体衰老和遭遇逆境等胁迫时,细胞内会产生大量的超氧自由基破坏细胞器,使细胞内溶物外渗^[36]。SOD 和 POD 是一类清除超氧自由基的酶,其活性升高对维持细胞膜的稳定性非常重要。MDA 是膜脂过氧化的产物,可引起蛋白质的交联,对膜结构和蛋白的功能造成破坏。本研究结果表明,臭氧处理后,番茄和黄瓜种子的发芽势、发芽率及 SOD 和 POD 活性均有一定提高,SOD 和 POD 活性与发芽率呈显著或极显著正相关,而 MDA 含量降低,与发芽率呈极显著负相关。说明种子的 SOD 和 POD 活性增强有利于提高发芽率。本研究中,黄瓜和番茄种子对臭氧的敏感程度不同,这可能是由于臭氧对不同种子体内各类酶的作用不同所致^[37]。

[参考文献]

[1] 李 彧. 浅谈如何做好种子发芽试验 [J]. 种子科技,2007,25 (4):45-46.
Li Y. How to make a good seed germination test [J]. Seed

Technology,2007,25(4):45-46.
[2] 李平路,韩青霞,张 燕,等. 臭氧处理对玉米种子发芽的影响 [J]. 中国种业,2003(12):43.
Li P L, Han Q X, Zhang Y, et al. Effects of ozone treatment on maize seed germination [J]. Chinese Seed Industry,2003(12):43.
[3] 王海英. 玉米种子发芽率低的原因及对策 [J]. 中国种业,2013 (6):36-37.
Wang H Y. Causes and countermeasures of low germination rate of maize seeds [J]. Chinese Seed Industry,2013 (6):36-37.
[4] 蓝福生. 不同处理对海甘蓝种子发芽和幼苗生长的影响 [J]. 广西植物,1995(3):224-230.
Lan F S. Effects of different treatments on seed germination and seedling growth of sea kale [J]. Guangxi Plant,1995(3):224-230.
[5] 景亚杰. 臭氧处理对陈玉米种子发芽率的影响 [J]. 辽宁农业职业技术学院学报,2005,7(1):12-13.
Jing Y J. Effects of ozone treatment on germination rate of maize seeds [J]. Journal of Liaoning Vocational College of Agriculture,2005,7(1):12-13.
[6] 唐炎英. 干热处理对西瓜种子活力及细菌性果斑病灭菌效果影响的研究 [D]. 长沙:湖南农业大学,2014.
Tang Y Y. Effects of dry heat treatment on seed vigor and sterilization effect of bacterial fruit spot disease in watermelon [D]. Changsha: Agricultural University of Hunan,2014.
[7] 马振玲. 蔬菜种子防病处理的常用方法 [J]. 河南农业,2016 (22):37.
Ma Z L. Common methods for disease prevention and treatment of vegetable seeds [J]. Henan Agriculture,2016(22):37.
[8] 李健强,沈其益. 杀菌剂处理种子防治作物种苗病害研究进展 [J]. 中国农学通报,1994(6):16-19.
Li J Q, Shen Q Y. Research progress of fungicide treatment on seed disease prevention and control of crop seedlings [J]. China

- Agricultural Bulletin, 1994(6): 16-19.
- [9] 马文荷, 金绪为. 青椒与番茄等蔬菜种子发芽促进剂的研究和筛选 [J]. 天津农业科学, 1997(3): 5-10.
Ma W H, Jin X W. Research and selection of seed germination promoters for vegetables such as green pepper and tomato [J]. Tianjin Agricultural Science, 1997(3): 5-10.
- [10] 云兴福. 植物激素对黄瓜种子萌发的影响 [J]. 北方农业学报, 1991(4): 28-31.
Yun X F. Effects of plant hormones on seed germination of cucumber [J]. Journal of Northern Agriculture, 1991(4): 28-31.
- [11] 王凤宝, 黄云祥, 蔺建章, 等. 牵牛子浸提液对玉米、小麦、水稻、黄瓜幼苗生长的影响 [J]. 河北农业技术师范学院学报, 1994(3): 76-80.
Wang F B, Huang Y X, Lin J Z, et al. Effects of morning glory extract on the growth of maize, wheat, rice and cucumber seedlings [J]. Journal of Hebei Normal University of Agricultural Technology, 1994(3): 76-80.
- [12] Rip G. Handbook of ozone technology and applications [M]. [S. l.]: Ann Arbor Science, 1982.
- [13] González-Fernández I, Bass D, Muntiferi R, et al. Impacts of ozone pollution on productivity and forage quality of grass/clover swards [J]. Atmospheric Environment, 2008, 42(38): 8755-8769.
- [14] 王晓青, 曹金娟, 郑建秋, 等. 臭氧防治植物病害的研究进展 [J]. 中国植保导刊, 2011, 31(4): 17-19.
Wang X Q, Cao J J, Zheng J Q, et al. Research progress on controlling plant disease by ozone [J]. China Plant Protection, 2011, 31(4): 17-19.
- [15] 卢鹏伟, 宋丽丽, 范丙义. 臭氧技术在制药行业中的应用 [J]. 机电信息, 2013(35): 35-38.
Lu P W, Song L L, Fan B Y. Application of ozone technology in pharmaceutical industry [J]. Mechanical and Electronic Information, 2013(35): 35-38.
- [16] 沈如前. 臭氧消毒灭菌在制药工业企业中的应用 [J]. 中国药业, 2004, 13(7): 24.
Shen R Q. Application of ozone disinfection and sterilization in pharmaceutical industry [J]. China Pharmaceuticals, 2004, 13(7): 24.
- [17] Guzel-Seydim Z B, Greene A K, Seydim A C. Use of ozone in the food industry [J]. Food Science and Technology, 2004, 37(4): 453-460.
- [18] 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.
Liu C H. Application of ozone in cultivation of vegetable facilities [J]. Tianjin Agroforestry Technology, 2008(1): 12-14.
- [19] Miller F A, Silva C L M, Brandão T R S. A review on ozone-based treatments for fruit and vegetables preservation [J]. Food Engineering Reviews, 2013, 5(2): 77-106.
- [20] 陈惠娟. 净水剂在水处理中的应用研究与发展 [J]. 科技创新与应用, 2018(2): 179-180.
Chen H J. Application research and development of water purifiers in water treatment [J]. Scientific and Technological Innovation and Application, 2018(2): 179-180.
- [21] 陈 卓. 浅谈臭氧在口腔医学中的应用 [J]. 临床医药文献电子杂志, 2017(88): 17417.
Chen Z. A brief discussion on the application of ozone in stomatology [J]. Electronic Journal of Clinical Medicine Literature, 2017(88): 17417.
- [22] 王晓琦. 医用臭氧在皮肤疾病中的创新性应用 [J]. 中南大学学报(医学版), 2018, 43(2): 114-123.
Wang X Q. Innovative application of medical ozone in skin diseases [J]. Journal of Central South University (Medical Edition), 2018, 43(2): 114-123.
- [23] 范亚云, 郭书萍. 医用臭氧在皮肤科疾病治疗中的应用进展 [J]. 中国现代医药杂志, 2018(2): 102-105.
Fan Y Y, Guo S P. Advances in the application of medical ozone in the treatment of dermatological diseases [J]. Chinese Journal of Modern Medicine, 2018(2): 102-105.
- [24] 廖竹君, 陈江艳, 李 珊, 等. 医用臭氧水应用于皮肤炎伴皮肤破溃患者的效果 [J]. 临床与病理杂志, 2018(3): 558-563.
Liao Z J, Chen J Y, Li S, et al. Effects of medical ozone water on patients with dermatomyositis and skin rupture [J]. Journal of Clinical and Pathological Science, 2018(3): 558-563.
- [25] 汪 敏, 赵永富, 冯 敏, 等. 不同臭氧处理方式对青菜保鲜效果的影响 [J]. 现代农业科技, 2018(7): 254-256.
Wang M, Zhao Y F, Feng M, et al. Effects of fresh preservation of vegetables with different ozone treatment methods [J]. Modern Agricultural Sciences and Technology, 2018(7): 254-256.
- [26] 陆启环, 宋璘楠, 秦翠润, 等. 臭氧水处理对草莓果实营养成分的影响 [J]. 中国南方果树, 2018(1): 119-120.
Lu Q H, Song J N, Qin C R, et al. Effects of strawberry fruit nutrition with ozone water treatment [J]. China Southern Fruit Trees, 2018(1): 119-120.
- [27] 丁 明. 臭氧在温室黄瓜无公害生产上的应用研究 [D]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学, 2004.
Ding M. Application and research of ozone on greenhouse cucumber production without pollution [D]. Yangling, Shaanxi: Northwest A&F University, 2004.
- [28] 郭正红. 臭氧水对设施蔬菜病害的防治及其生理机制的研究 [D]. 上海: 上海师范大学, 2017.
Guo Z H. Effects of ozonated water on controlling of greenhouse vegetable disease and underlying physiological mechanism [D]. Shanghai: Shanghai Normal University, 2017.
- [29] 阎 立, 白希尧, 李晓玲, 等. 静电处理提高黄瓜番茄青椒种子活力的研究 [J]. 园艺学报, 1988(2): 115-119.
Yan L, Bai X Y, Li X L, et al. Effect of improvement seed vigor on cucumber, tomato and green pepper with static electricity [J]. Acta Horticulturae Sinica, 1988(2): 115-119.
- [30] 沈 萍, 陈向东. 微生物学实验 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2007: 28-34.
Shen P, Chen X D. Microbiological experiment [M]. Beijing: Higher Education Press, 2007: 28-34. (下转第 111 页)

[31] Poling E B, Oberly G H. Effects of rootstock on mineral composition of apple leaves [J]. Journal of the American Society for Horticultural Science, 1979, 104: 799-801.

[32] 常 聪. 五种不同基因型苹果砧木钾吸收利用效率差异研究 [D]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学, 2014.

Chang C. Differences in the efficiency of potassium (K) uptake and use in five apple rootstock genotypes [D]. Yangling, Shaanxi, Northwest A&F University, 2014.

[33] 季萌萌. 供磷水平对苹果砧木氮、磷吸收利用特性的研究 [D]. 山东泰安: 山东农业大学, 2015.

Ji M M. Characteristics of the nitrogen and phosphorus absorption and utilization in apple rootstocks on different phosphorus level [D]. Tai'an, Shandong: Shandong Agricultural University, 2015.

[34] 王海宁. 不同苹果砧木碳氮营养特性的研究 [D]. 山东泰安: 山东农业大学, 2012.

Wang H N. A study on characteristics of carbon and nitrogen nutrition for different apple rootstocks [D]. Tai'an, Shandong: Shandong Agricultural University, 2012.

[35] 王海宁, 葛顺峰, 姜远茂, 等. 苹果砧木生长及吸收利用硝态氮和铵态氮特性比较 [J]. 园艺学报, 2012, 39(2): 343-348.

Wang H N, Ge S F, Jiang Y M, et al. Growth characteristics and absorption, distribution and utilization of $^{15}\text{NO}_3^-$ -N and $^{15}\text{NH}_4^+$ -N application for five apple rootstocks [J]. Acta Horticulturae Sinica, 2012, 39(2): 343-348.

[36] 周开兵, 夏仁学, 王贵元, 等. 高接在不同基砧的锦橙上的华红脐橙的栽培表现及矿质营养含量年变化 [J]. 植物营养与肥料学报, 2004, 10(2): 182-187.

Zhou K B, Xia R X, Wang G Y, et al. Study on performance of Huahong navel orange grafted to Jincheng with two kinds of rootstock and annual changes of mineral elements content [J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizer, 2004, 10(2): 182-187.

[37] Zarrouk O, Gogorcena Y, Gómez-Aparisi J, et al. Influence of almond $\times$ peach hybrids rootstocks on flower and leaf mineral concentration, yield and vigour of two peach cultivars [J]. Scientia Horticulturae, 2005, 106(4): 502-514.

[38] 赵德英, 袁继存, 徐 锴, 等. 不同矮化中间砧嘎啦苹果幼树形态与不同径级根系养分累积分布特征 [J]. 华北农学报, 2016, 31(4): 184-191.

Zhao D Y, Yuan J C, Xu K, et al. Tree morphology, accumulation and distribution characteristics of mineral nutrient in root system of gala apple young tree with different dwarfing interstocks [J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2016, 31(4): 184-191.

(上接第 102 页)

[31] 于孝保, 朱继宏, 付德峰, 等. 4 种蔬菜中 SOD 活性测定研究 [J]. 现代农业科技, 2012(11): 82.

Yu X B, Zhu J H, Fu D F, et al. Effect of SOD activities determination in four vegetable [J]. Modern Agricultural Sciences and Technology, 2012(11): 82.

[32] 潘安中, 谢树莲, 秦雪梅. 不同年份柴胡种子 SOD、POD 活性与发芽率的测定 [J]. 天津中医药, 2008, 25(3): 243-245.

Pan A Z, Xie S L, Qin X M. A test to SOD, POD activities and germination percentage of seeds of bupleurum Chinense in different years [J]. Tianjin Journal of Traditional Chinese Medicine, 2008, 25(3): 243-245.

[33] 彭 艳, 李 洋, 杨广笑, 等. 铝胁迫对不同小麦 SOD、CAT、POD 活性和 MDA 含量的影响 [J]. 生物技术, 2006, 16(3): 38-42.

Peng Y, Li Y, Yang G X, et al. Effects of aluminum stress on the activities of SOD, CAT, POD and the contents of MDA in the seedlings of different wheat cultivars [J]. Biotechnology, 2006, 16(3): 38-42.

[34] Ray A A. SAS users guide: statistics [M]. Gary, NC: SAS Institute, 1985.

[35] 林爱红, 饶 健, 秦彦珉, 等. 臭氧杀菌效果的影响因素分析 [J]. 公共卫生与预防医学, 2002, 13(6): 7-8.

Lin A H, Rao J, Qin Y M, et al. Effects of ozone sterilization [J]. Public Health and Preventive Medicine, 2002, 13(6): 7-8.

[36] 阎世江, 刘 洁, 张继宁, 等. 低温对黄瓜若干生理指标的影响 [J]. 河北科技师范学院学报, 2013, 27(2): 12-17.

Yan S J, Liu J, Zhang J N, et al. Effects of low temperature on some physiological indexes of cucumber [J]. Journal of Hebei Normal University of Science and Technology, 2013, 27(2): 12-17.

[37] 丁 明, 邹志荣, 黄丹枫, 等. 臭氧在温室黄瓜生产上的应用研究 [J]. 华中农业大学学报, 2004(2): 119-124.

Ding M, Zou Z R, Huang D F, et al. Application and research of ozone on greenhouse cucumber production [J]. Journal of Central China Agricultural University, 2004(2): 119-124.