

DOI:10.11937/bfyy.201623011

臭氧水浇灌对土壤营养成分及草莓幼苗生理特性的影响

陆启环¹, 张 骏¹, 易晓华¹, 冯 涛², 董春海¹, 杨洪兵¹

(1. 青岛农业大学 生命科学院, 山东省高校植物生物技术重点实验室, 山东 青岛 266109;

2. 山东省高密市五龙河农场 农业科技有限公司, 山东 高密 261512)

摘 要:以草莓和土壤为试验材料和研究对象,采用 $1.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的臭氧水对土壤进行浇灌处理,通过测定土壤矿质元素含量、有机质含量和 pH 及草莓幼苗根系活力、叶片叶绿素含量和抗氧化酶活性等指标,研究了臭氧水浇灌对土壤营养成分及草莓幼苗生理特性的影响,以期为提高草莓产量和品质提供技术参考。结果表明:臭氧水浇灌可显著增加土壤中大量元素 N 和 P 及微量元素 Zn 的含量,显著增加草莓幼苗根系活力和叶片抗氧化酶活性,提高了草莓幼苗的抗逆性,对土壤 pH 及草莓幼苗叶片叶绿素含量影响较小,但使土壤有机质含量显著降低。

关键词:臭氧水;浇灌;土壤营养;草莓幼苗;生理特性

中图分类号:S 158.3;S 668.407⁺.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2016)23-0050-04

草莓(*Fragaria ananassa* Duch.)属蔷薇科(Rosaceae)草莓属(*Fragaria*)植物,近年来,随着草莓市场需求增加和种植技术的推广,草莓种植面积不断扩大,重茬率已达 43%~76%。草莓重茬种植使发病率大幅度上升,减产幅度达 30%以上,严重时甚至绝收^[1]。草莓重茬病主要是由镰刀菌属、丝核菌属和轮枝菌属真菌单独或复合

侵染造成,其中,草莓枯萎病和根腐病为 2 种常见病害,该病害已成为限制草莓种植业发展的重要因素^[2]。由于化学农药防控效果差、毒副作用大等原因,探索新的防治途径已成为草莓产业亟待解决的问题。臭氧是一种强氧化剂,具有高效广谱的杀菌效果^[3];臭氧在水中溶解度较高,臭氧一部分溶解在水中,一部分分解并与水分子结合生成氧化性更强的基团,因此,臭氧水具有更强的氧化性,并通过氧化反应杀灭细菌、真菌和病毒等微生物,具有快速、无耐药性的特点,臭氧水施用后 40 min 左右臭氧会分解为氧气和水,还具有安全无毒、无刺激性的优点^[4]。该试验通过臭氧水浇灌大棚中待种植草莓的土壤,分析土壤营养成分及草莓相关生理特性变化,旨在为草莓病虫害处理及提高草莓产量和品质

第一作者简介:陆启环(1990-),女,硕士研究生,研究方向为植物逆境生理。E-mail:549233128@qq.com.

责任作者:杨洪兵(1968-),男,博士,教授,现主要从事植物逆境生理等研究工作。E-mail:hbyang@qau.edu.cn.

基金项目:有机农业绿色防控新技术体系研发资助项目(20163702010371);山东省重点研发计划资助项目(2016GNC111013)。

收稿日期:2016-07-20

Abstract: In order to reduce the labor intensity of soil-burying *Punica granatum* and *Ficus carica* for overwintering, effect of double-coated black or white plastic film for overwintering on heat preservation of *Punica granatum* and *Ficus carica* was carried out in Turpan, Xinjiang, China in winters from 2011 to 2015. The results showed that the fruit trees could safely overwinter under an extreme minimum temperature of -25.2°C and a 26-day low temperature (below -17°C) duration including a 13-day low temperature (below -20°C) period if they were double-coated with black or white plastic film. The daily maximum temperature under plastic film could be regarded as the compensation temperature to resist low temperature at night, and the value of compensation temperature was much higher than that of deficient temperature of minimum temperature. Thus the growing period of the fruit trees prolonged, and the fruit quality increased. The heat preservation effect of white plastic film was better than that of black one. A complete set of techniques including the late winter irrigation, late side sealing of greenhouse, early spring irrigation and early side opening of greenhouse was put forward.

Keywords: *Punica granatum*; *Ficus carica*; overwintering; white plastic film; black plastic film; temperature; Turpan

的研究提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试大棚草莓“甜宝”由山东省高密市五龙河农场农业科技有限公司提供。

1.2 试验方法

草莓苗移栽前对大棚土壤采用 $1.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的臭氧水浇灌处理,以浇透为准,每个大棚面积 667 m^2 ,3 次重复,以浇灌自来水的地块为对照。大棚昼夜温度为 $22 \text{ }^{\circ}\text{C}/18 \text{ }^{\circ}\text{C}$,相对湿度为 55% 左右。草莓定植 1 个月,每个样本随机 3 处取样,测定土壤及草莓幼苗各项指标。分别以臭氧水浇灌和自来水浇灌的种植草莓的土壤为材料,测定大量元素(N、P、K、Ca、Mg、S)和微量元素(Fe、Mn、B、Zn、Cu)含量,有机质含量和 pH;测定草莓株系根系活力、叶片中叶绿素含量及相关抗氧化酶活性。

1.3 项目测定

参照董志刚^[5]的方法测定大量元素(P、K、Ca、Mg、S)和微量元素(Fe、Mn、B、Zn、Cu)含量;参照黎冬容等^[6]

的方法测定 N 元素含量;参照朱登胜等^[7]的方法测定有机质含量和 pH;采用 TTC 比色法测定根系活力^[8];参照汪希尧^[9]的方法测定叶绿素含量;超氧化物歧化酶活性采用 NBT 光还原法测定^[10];参照刘筱等^[11]的方法测定过氧化物酶活性;参照何冰等^[12]的方法测定过氧化氢酶活性。

1.4 数据分析

采用 Excel 和 SPSS 软件处理和分析数据,采用成组数据 *t* 检验方法进行数据差异显著性分析^[13]。

2 结果与分析

2.1 臭氧水浇灌对土壤大量元素含量的影响

P、K、Ca、Mg 等作为植物体内主要大量元素,对维持植物体正常生长发育不可缺少,也是维持人体健康的重要元素^[14]。由表 1 可知,与对照组相比,臭氧水浇灌后土壤中 K、Ca、Mg 和 S 含量无显著差异,而 N 和 P 显著增加,分别比对照增加了 88.44% 和 29.76%,这可能与臭氧水氧化土壤中的有机物有关。从而说明,臭氧水浇灌可以增加土壤中部分大量元素的含量。

表 1 臭氧水浇灌对土壤大量元素含量的影响

Table 1 Effects of ozone water irrigation on the major elements content of soil $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$

处理 Treatment	N	P	大量元素 Major element K	Ca	Mg	S
对照 Control	1.47 ± 0.12	0.84 ± 0.09	12.92 ± 0.98	3.63 ± 0.21	0.48 ± 0.05	0.47 ± 0.04
臭氧水 Ozone water	$2.77 \pm 0.18^{**}$	$1.09 \pm 0.11^{*}$	12.93 ± 1.05	3.62 ± 0.24	0.52 ± 0.06	0.52 ± 0.05

注: $n=3$, * 和 ** 分别表示臭氧水处理与对照相比在 0.05 和 0.01 水平上差异显著。下同。

Note: $n=3$, * and ** show significant difference between ozone water treatment and control at 0.05 and 0.01 level, respectively. The same as below.

2.2 臭氧水浇灌对土壤微量元素含量的影响

微量元素包括 Fe、Mn、B、Zn、Cu 等,通过与蛋白质及其它有机基团结合,形成酶、激素、维生素等生物大分子,发挥着重要生理生化功能。多种 RNA 聚合酶中含有 Zn,而核酸还原酶的作用依赖于 $\text{Fe}^{[15]}$ 。由表 2

可知,臭氧水浇灌后土壤微量元素都有不同程度的增加,其中 Fe、Zn 和 Cu 分别比对照增加了 5.00%、16.04% 和 6.45%,Zn 增加最为明显,可能是臭氧水加快了土壤微生物代谢速度,从而有利于一些微量元素的生成。

表 2 臭氧水浇灌对土壤微量元素含量的影响

Table 2 Effects of ozone water irrigation on the trace elements content of soil

处理 Treatment	Fe/ $(\text{mg} \cdot \text{g}^{-1})$	Mn/ $(\text{mg} \cdot \text{g}^{-1})$	微量元素 Trace element B/ $(\text{mg} \cdot \text{g}^{-1})$	Zn/ $(\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1})$	Cu/ $(\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1})$
对照 Control	39.38 ± 2.87	0.48 ± 0.05	11.48 ± 0.89	61.10 ± 4.06	26.36 ± 1.85
臭氧水 Ozone water	41.35 ± 3.02	0.55 ± 0.06	11.67 ± 0.03	$70.90 \pm 5.27^{*}$	28.06 ± 2.62

2.3 臭氧水浇灌对土壤有机质含量和 pH 的影响

土壤有机质是土壤肥力的重要指标,土壤有机质含有植物需要的多种养分,是营养元素存在的主要场所^[16]。土壤 pH 代表了土壤的酸碱度,pH 高低直接影响植物根系和地上部生长发育。由表 3 可知,臭氧水浇灌后土壤有机质含量极显著降低,比对照降低了 61.11%,土壤有机质含量的降低可能与臭氧水的强氧化作用有关。臭氧水可氧化有机质成为无机盐、 CO_2 和 H_2O 等,从而导致土壤中有机质含量降低。臭氧水浇灌后土壤 pH 略有增加,但与对照相比差异不显著,说明臭

表 3 臭氧水浇灌对土壤有机质含量和 pH 的影响

Table 3 Effects of ozone water irrigation on the organic matter content and pH of soil

处理 Treatment	有机质含量 Organic matter content/ $(\text{mg} \cdot \text{g}^{-1})$	pH
对照 Control	3.78 ± 0.24	7.05 ± 0.42
臭氧水 Ozone water	$1.47 \pm 0.11^{**}$	7.21 ± 0.53

臭水浇灌对土壤 pH 影响较小。

2.4 臭氧水浇灌对草莓幼苗根系活力和叶片叶绿素含量的影响

根系是植物体主要器官,根系生长、代谢和活力变

化直接影响地上部生长发育^[17]。由表 4 可知,臭氧水浇灌后草莓幼苗根系活力显著增加,比对照增加了 16.67%,说明臭氧水浇灌可增加根系的还原力,有利于根系生长发育。臭氧水浇灌后草莓幼苗叶片叶绿素含量略有降低,但与对照相比差异不显著,说明臭氧水浇灌对草莓幼苗叶片叶绿素含量影响不大。

表 4 臭氧水浇灌对草莓幼苗根系活力和叶片叶绿素含量的影响

Table 4 Effects of ozone water irrigation on the roots vigor and leaves chlorophyll content of strawberry seedlings

处理 Treatment	根系活力 Roots vigor/(U·g ⁻¹ FW)	叶绿素含量 Chlorophyll content/(mg·g ⁻¹ FW)
对照 Control	4.44±0.26	2.73±0.24
臭氧水 Ozone water	5.18±0.35*	2.50±0.21

2.5 臭氧水浇灌对草莓幼苗叶片抗氧化酶活性的影响

超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)和过氧化氢酶(CAT)是控制植物体内活性氧积累的主要抗氧化酶系,SOD是植物抗氧化的第一道防线,能清除细胞中多余的超氧阴离子;CAT和POD可以使H₂O₂歧化成无毒无害的水和氧分子^[18]。由表5可知,臭氧水浇灌后草莓幼苗叶片3种抗氧化酶活性均极显著增加,SOD活性比对照增加了156.67%,POD活性比对照增加了96.66%,CAT活性比对照增加了157.42%。臭氧水浇灌后,植株可能会产生抗氧化的自身应答,从而提高相关酶活性;抗氧化酶活性与植物的抗逆性密切相关,因此,臭氧水浇灌处理对提高草莓幼苗的抗逆性有很好的效果。

表 5 臭氧水浇灌对草莓幼苗叶片抗氧化酶活性的影响

Table 5 Effects of ozone water irrigation on the leaves antioxidant enzyme activities of strawberry seedlings

处理 Treatment	超氧化物歧化酶活性 SOD activity (U·g ⁻¹ FW)	过氧化物酶活性 POD activity (U·min ⁻¹ ·g ⁻¹ FW)	过氧化氢酶活性 CAT activity (U·min ⁻¹ ·g ⁻¹ FW)
对照 Control	80.71±5.28	23.92±2.37	18.86±2.12
臭氧水 Ozone water	207.16±9.81**	47.04±4.13**	48.55±3.95**

3 讨论与结论

大量元素中N、P、K是促进根系、茎叶和块茎生长的主要元素,对马铃薯产量形成起重要作用,马铃薯对N、P、K吸收量较多^[19];Mg是叶绿素结构的核心元素,是保持茎叶正常生长的重要营养,P对块茎合成淀粉作用很大,提高磷的供应有利于试管薯产量提高^[20];该试验中臭氧水浇灌处理后,土壤中大量元素N和P含量显著增加,对于促进草莓植株的根系和叶片生长具有重要作用。

微量元素Zn在植物体内具有重要生物学功能,含量过多或过少都将导致植物产生生理病害^[21]。Zn是植

物体中多种酶的组分和活化剂,小麦缺锌表现为麦苗叶片失绿,心叶白化,中后期植株矮小,干粒质量低^[22];缺锌条件下小麦当季补锌可增产3.57%~12.32%^[23];还有研究表明,缺锌土壤中施锌肥可提高小麦籽粒含氮量及17种氨基酸含量,从而提高了小麦品质^[24]。该试验中,臭氧水浇灌后土壤中大部分微量元素无显著变化,但对Zn含量的增加有显著效果。

土壤中有有机质和pH对果实矿质元素含量有重要影响,pH高低对土壤养分及有效钙影响较大,生产中选择适宜的土壤pH环境,可以有效避免果树营养元素缺乏症和毒害的发生^[25]。该试验中,臭氧水灌溉后土壤pH无显著变化,说明臭氧水灌溉处理不会对土壤的酸碱度造成大的影响,从而不会出现臭氧水浇灌后土壤盐渍化或酸化的现象。臭氧水浇灌后土壤中有机质含量降低,是因为臭氧的强氧化性,氧化土壤中的有机物,使有机质分解为无机盐,从而增加土壤中部分微量和大量元素的含量。

根系是植物体内细胞分裂素合成主要部位,合成的细胞分裂素通过蒸腾流上运至地上部,所以根系生理活性强弱会直接影响细胞分裂素合成量及上运量,细胞分裂素不仅影响叶片生理代谢,还可抑制其作用部位的ABA合成,具有抗组织衰老作用^[26]。臭氧水浇灌后草莓植株的根系活力显著增加,促进了根系的代谢,有利于草莓根系和地上部的生长发育。

SOD可清除植物体内活性氧基团,是植物活性氧代谢关键酶之一^[27],渗透胁迫下杨树叶片SOD活性明显升高;POD是一种含铁的金属蛋白,是植物体内常见的氧化还原酶,能催化H₂O与酚类反应,达到清除过氧化物的作用^[28];CAT能淬灭H₂O₂,直接分解H₂O₂产生H₂O和O₂,CAT活性变化对植物体氧化和抗氧化的平衡起着至关重要的作用^[29]。臭氧水浇灌后,草莓叶片中的抗氧化酶活性显著增加,其中SOD活性增加最为显著,说明臭氧水浇灌处理可以增加草莓植株的抗氧化能力,从而可提高其在逆境中的耐受力。

总之,臭氧水具有强氧化性,可以将土壤中有有机质氧化生成无机盐和一些气体;臭氧水浇灌可显著增加土壤中大量元素N和P及微量元素Zn的含量,使土壤有机质含量显著降低,并可显著增加草莓幼苗根系活力和叶片抗氧化酶活性,提高了草莓幼苗的抗逆性。

参考文献

- [1] 史宝胜,郭润芳,尹家凤,等.3种防治剂对重茬大棚草莓生长的影响[J].农业环境科学学报,2005,24(增刊):38-41.
- [2] 黄亚丽,甄文超,张丽萍,等.草莓重茬病菌的分离及其生物防治[J].生物技术,2005,15(6):74-76.
- [3] PARASKEVA P, GRAHAM N J. Ozonation of municipal wastewater effluents[J]. Water Environment Research, 2002, 74(6): 569-581.
- [4] 代淑艳,张可畏,王慧明,等.臭氧气体与臭氧水灭菌效果分析[J].中

- 国生物制品学杂志,2004,17(5):320-321.
- [5] 董志刚. 利用电感耦合等离子体质谱(ICP-MS)同时测定黄土地壤中多种元素的研究[J]. 安徽农业科学,2015,43(7):87-88.
- [6] 黎冬容,张世庆,甘世端,等. 全自动凯氏定氮仪测定土壤全氮含量[J]. 南方国土资源,2015(8):38-39.
- [7] 朱登胜,吴迪,宋海燕,等. 应用近红外光谱法测定土壤的有机质和pH[J]. 农业工程学报,2008,24(6):196-199.
- [8] 吴岳轩,吴振球. 杂交稻根系代谢活性与叶片衰老进程相关研究[J]. 杂交水稻,1992(6):36-39.
- [9] 汪希尧. 分光光度法测定叶绿素含量及其比值问题的探讨[J]. 中国农业信息,2014(3S):211-212.
- [10] 白宝璋,王景安,孙玉霞,等. 植物生理学测试技术[M]. 北京:中国科学技术出版社,1993.
- [11] 刘筱,易守理,高素萍. 铅胁迫对紫萼薯幼苗 SOD,POD 和 CAT 活性的影响[J]. 安徽农业科学,2011,39(14):8244-8246.
- [12] 何冰,叶海波,杨肖娥. 铅胁迫下不同生态型东南景天叶片抗氧化酶活性及叶绿素含量比较[J]. 农业环境科学学报,2003,22(3):274-278.
- [13] 王兴安,杨洪兵,邱念伟. 配对实验设计在植物生理学实验中的应用[J]. 植物生理学通讯,2010,46(2):161-164.
- [14] 邵华为,芮玉奎. 集约化农业生产中玉米籽粒大量元素含量分析[J]. 安徽农业科学,2013,41(22):9413-9417.
- [15] 陈国树. 微量元素学科研究进展[J]. 环境与开发,1995(4):1-3.
- [16] 中国科学院南京土壤研究所. 中国土壤[M]. 北京:科学出版社,1978.
- [17] 潘晓华,王永锐,傅家瑞. 水稻根系生长生理的研究进展[J]. 植物学通报,1996,13(2):13-20.
- [18] 郑荣梁. 生物学自由基[M]. 北京:高等教育出版社,1992.
- [19] 王谧,王西瑶,刘帆,等. 大量元素不同浓度组合对试管马铃薯结薯的影响[J]. 中国农学通报,2007,23(2):65-69.
- [20] 张志军. 马铃薯试管薯快繁及其调控机理研究[D]. 杭州:浙江大学,2004.
- [21] WHANGER P D. China, a country with both selenium deficiency and toxicity:some thoughts and impressions[J]. Journal of Nutrition, 1989, 119(9):1236-1239.
- [22] 李强. 锌对小麦生长发育及产量影响的研究[J]. 耕作与栽培,2003(3):52-53.
- [23] 鲁璐,吴瑜. 3 种微量元素对小麦生长发育及产量和品质的影响研究进展[J]. 应用与环境生物学报,2010,16(3):435-439.
- [24] 周伟. 不同施肥方法对小麦含锌量及产量影响的研究[J]. 中国生态农业学报,1995,10(1):34-38.
- [25] 罗盛旭,杜兵兵,高嵩,等. 土壤 pH、Eh 对土壤-苦丁茶树系统中铅分布的影响[J]. 环境科学与技术,2011,34(12):30-33.
- [26] 黄海. 6-苄氨基嘌呤对小麦叶片中脱落酸降解速率的影响[J]. 植物生理学报,1987,13(3):325-329.
- [27] 丁顺华,李艳艳,王宝山. 外源海藻糖对小麦幼苗耐盐性的影响[J]. 西北植物学报,2005,25(3):513-518.
- [28] 段云青,王艳,雷焕贵. 镉胁迫对小白菜 POD、PPO 和 SOD 活性的影响[J]. 河南农业科学,2006(7):88-91.
- [29] 施瀚筠,陈翠云. 外源一氧化氮供体 SNP 对 UV-B 辐射下红芸豆叶片中 SOD、CAT 和 POD 同工酶的影响[J]. 兰州大学学报(自然科学版),2009,45(4):78-82.

Effects of Ozone Water Irrigation on Soil Nutrients and Physiological Characteristics of Strawberry Seedlings

LU Qihuan¹, ZHANG Tao¹, YI Xiaohua¹, FENG Tao², DONG Chunhai¹, YANG Hongbing¹

(1. Key Laboratory of Plant Biotechnology in Universities of Shandong/College of Life Sciences, Qingdao Agricultural University, Qingdao, Shandong 266109; 2. Limited Company of Agricultural Science and Technology, Wulong River Farm, Gaomi, Shandong 261512)

Abstract: Greenhouse strawberry and soil were used as test materials and were irrigated with ozone water at $1.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$. The effects of ozone water irrigation on physiological characteristics of strawberry seedlings were studied by measuring physiological characteristics of the mineral elements content, organic matter content, pH of soil and roots vigor, leaves chlorophyll content, leaves antioxidant enzyme activities of strawberry seedlings. The results showed that ozone water irrigation could significantly increase the major elements of N and P and trace elements of Zn in soil, significantly increase the roots vigor and leaves antioxidant enzyme activities of strawberry seedlings, and could increase the stress resistance of strawberry seedlings. The ozone water irrigation had less effect on the pH of soil and leaves chlorophyll content of strawberry seedlings, while the organic matter content of soil significantly decreased.

Keywords: ozone water; irrigation; soil nutrients; strawberry seedlings; physiological characteristics