

香稻不同生育时期叶片 SOD · POD 酶活性及 MDA 含量对播期的响应

杨晓娟^{1,2,3},唐湘如^{1,2*},闻祥成^{1,2} (1. 华南农业大学农学院,广东广州 510642;2. 农业部华南地区作物栽培科学观测实验站,广东广州 510642;3. 云浮市云城区植物检疫站,广东云浮 527300)

摘要 [目的] 探讨香稻抗氧化酶的作用机制及播期调控。[方法] 以香稻桂香占和农香 18 为试验材料,研究不同播种期对香稻 SOD 活性、POD 活性和 MDA 含量的影响。[结果] 播期对香稻 SOD 活性的影响存在品种差异。早、晚季香稻的 POD 活性均呈先下降、后上升的趋势。早、晚季香稻的 MDA 含量均呈上升趋势。香稻在孕穗期主要是 SOD 在发挥抗氧化作用,在齐穗期和成熟期由 SOD 和 POD 协同起作用。[结论] 在生产实践中可通过调整播期使香稻抗氧化酶活性维持在较高水平,以延缓叶片生理功能衰退。
关键词 香稻;SOD 活性;POD 活性;MDA 含量;播期
中图分类号 S511 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2015)19-048-04

Responses to SOD Activity, POD Activity and MDA Content in the Leaves of Aromatic Rice in Different Growth Stages to Sowing Date
YANG Xiao-juan^{1,2,3}, TANG Xiang-ru^{1,2}, WEN Xiang-cheng^{1,2} (1. College of Agriculture, South China Agricultural University, Guangzhou, Guangdong 510642; 2. Scientific Observing and Experimental Station of Crop Cultivation in South China, Ministry of Agriculture, Guangzhou, Guangdong 510642; 3. Plant Quarantine Station in Yuncheng District of Yunfu City, Guangdong Province, Yunfu, Guangdong 527300)
Abstract [Objective] The research aimed to discuss the mechanism of antioxidant enzymes and regulation of sowing date of aromatic rice. [Method] Taking aromatic rice variety Guixiangzhan and Nongxiang 18 as test materials, the effects of different sowing date on SOD activity, POD activity and MDA content of aromatic rice were studied. [Result] The effects of different sowing date on SOD activity of aromatic rice had variety difference. POD activities of both Guixiangzhan and Nongxiang 18 in early season and late season showed first descending and then rising trends. MDA content in aromatic rice in early season and late season all showed the rising trends. SOD mainly played an antioxidant effect at booting stage, and SOD and POD worked together at full heading stage and maturity stage. [Conclusion] In the practical production, the activities of antioxidant enzymes could be kept at higher levels by adjusting sowing date, in order to delay leaf physiological function declining.
Key words Aromatic rice; SOD activity; POD activity; MDA content; Sowing date

水稻的衰老是一个复杂的生理生化过程,是叶片发育的最后阶段。伴随着衰老的过程,水稻叶片的超氧化物歧化酶(SOD)和过氧化物酶(POD)活性降低,自由基和活性氧含量增加,膜质过氧化,细胞通透性增加^[1-3]。较高的 SOD 和 POD 活性有利于清除活性氧,控制脂质的氧化,减轻超氧自由基和过氧化氢对植物细胞的危害,延缓水稻叶片衰老,维持叶片较高的光合功能^[4]。MDA 是膜脂过氧化作用的主要产物之一,其含量是反映细胞膜过氧化作用强弱和质膜破坏程度的重要指标^[5]。大量研究表明,高温或低温都会造成 SOD 和 POD 活性的增加^[6-8],清除植物体内过多的自由基和过氧化氢。随着胁迫时间的延迟,SOD 和 POD 的活性都呈下降趋势,即植物体内的酶防御系统受到了损害,而 MDA 含量则随着酶防御系统的破坏而增加。孙圆圆等^[9]研究表明能通过调整播种期来调节水稻这些指标。笔者试验中也发现不同播种期的香稻由于生育进程不同,对温光资源利用发生改变,因而可以通过调整播种期使香稻获得高产和优质^[10-11]。然而,香稻不同生育期的 SOD、POD 活性和 MDA 含量的变化及其对播期的响应尚未见报道。为此,笔者以香稻桂香占和农香 18 为试验材料,通过分期播种的方法检测不同播种期对香稻 SOD、POD 活性和 MDA 含量的变化,旨在

探讨香稻抗氧化酶的作用机制及播期调控。
1 材料与方法
1.1 供试材料与条件 供试水稻品种为常规香稻桂香占和农香 18。
试验于 2012 年晚季和 2013 年早季在广州华南农业大学农学院试验基地进行。不同播期下香稻各生育期内的平均气温见表 1。

表 1 不同播期下香稻各生育期内的平均气温 ℃						
品种	播期	播种 - 分蘖	分蘖 - 孕穗	孕穗 - 齐穗	齐穗 - 成熟	
早季	桂香占	03 - 05	20.35	26.70	27.59	27.47
		03 - 10	20.73	26.89	26.66	28.04
		03 - 15	21.31	27.17	25.77	28.49
		03 - 20	21.83	27.49	25.58	28.58
		03 - 25	22.04	27.29	27.42	28.08
	农香 18	03 - 05	20.35	26.70	27.36	27.54
		03 - 10	20.73	26.89	26.66	28.04
		03 - 15	21.31	26.99	27.13	28.39
		03 - 20	21.83	26.91	28.84	28.50
		03 - 25	22.04	27.01	28.30	28.28
晚季	桂香占	07 - 15	27.89	26.69	26.39	23.38
		07 - 20	27.79	26.16	23.24	19.23
		07 - 25	27.60	25.40	24.26	22.14
		07 - 30	27.42	24.54	23.04	18.40
		08 - 04	27.23	24.54	23.00	18.19
	农香 18	07 - 15	27.89	26.75	25.88	23.01
		07 - 20	27.79	26.16	23.59	18.46
		07 - 25	27.60	25.40	24.00	21.95
		07 - 30	27.42	24.54	23.00	18.19
		08 - 04	27.23	24.54	22.28	18.24

注:气候数据由广东省气候中心提供。

基金项目 国家自然科学基金项目(31271646);广东省自然科学基金项目(8151064201000017);广东省农业攻关项目(2011AO2-0202001);广东省农业标准化项目(4100F1-0003)。
作者简介 杨晓娟(1988-),女,广东郁南人,硕士,从事农业科技推广。*通讯作者,教授,博士,博士生导师,从事作物生理生化研究。
收稿日期 2015-05-13

1.2 试验设计 试验采用完全随机区组设计,晚季设置 7 月 15 日、7 月 20 日、7 月 25 日、7 月 30 日和 8 月 4 日 5 个播期,早季设置 3 月 5 日、3 月 10 日、3 月 15 日、3 月 20 日和 3 月 25 日 5 个播期。株行距 20 cm × 20 cm,每穴 2 苗移栽。小区面积 20 m²,每个播期 3 个重复。田间肥料管理为纯氮 180 kg/hm²,P₂O₅ 90 kg/hm²,K₂O 120 kg/hm²,基肥比例 6:4。其他栽培管理措施保持一致,并同常规水平。

1.3 测定指标与方法

1.3.1 SOD 和 POD 活性的测定。参考王兰^[12]的方法测定香稻功能叶 SOD 和 POD 的活性。

1.3.2 MDA 含量的测定。参考邓化冰^[13]的方法测定香稻功能叶内 MDA 含量。

1.3.3 数据处理。使用 SPSS 17.0 统计软件对试验数据进行数据统计与分析,使用 Excel 2007 软件进行作图和相关分析。

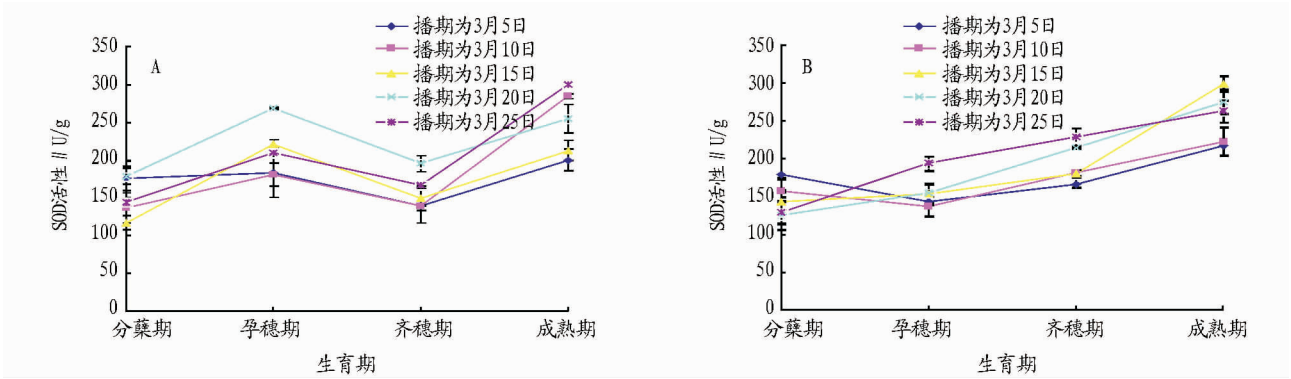
2 结果与分析

2.1 香稻功能叶 SOD 活性的变化 从图 1 可以看出,就早季而言,桂香占最上叶的 SOD 活性随着生育期的推移呈先上升后下降再上升的趋势。播期 3 月 20 日香稻的最上叶 SOD 活性在分蘖期、孕穗期和齐穗期高于其他处理,而成熟期最上叶的 SOD 活性以播期 3 月 25 日处理最高,SOD 在成

熟期的活性大小表现为 3 月 25 日播期处理 > 3 月 10 日播期处理 > 3 月 20 日播期处理 > 3 月 15 日播期处理 > 3 月 5 日播期处理。农香 18 的最上叶的 SOD 活性随着生育期的推移呈上升趋势。3 月 25 日播期处理在孕穗期和齐穗期的 SOD 活性高于其他处理,而成熟期最上叶的 SOD 活性以 3 月 15 日播种处理最高,SOD 活性在成熟期活性大小表现为 3 月 15 日播期处理 > 3 月 20 日播期处理 > 3 月 25 日播期处理 > 3 月 10 日播期处理 > 3 月 5 日播期处理。

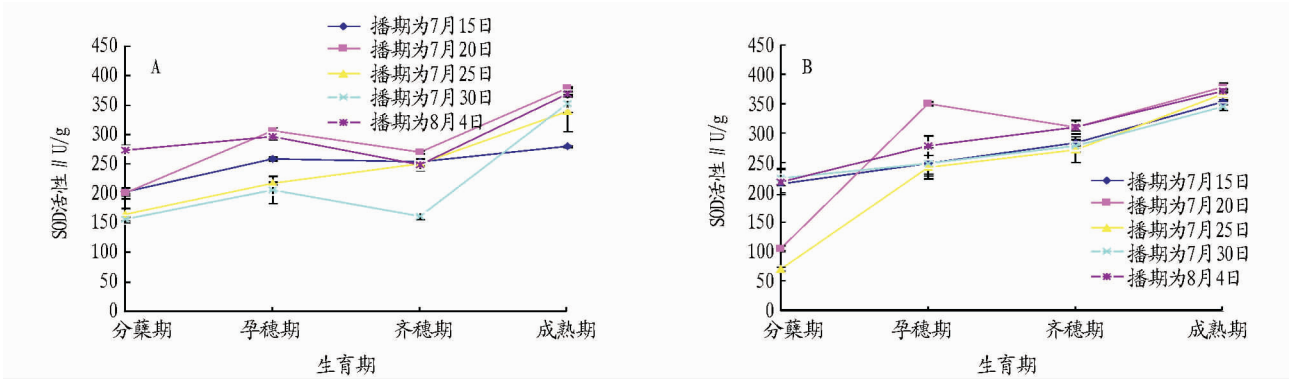
从图 2 可以看出,就晚季而言,桂香占的最上叶的 SOD 活性随着生育期的推移呈先上升后下降再上升的趋势。7 月 20 日播期处理的最上叶 SOD 活性在孕穗期、齐穗期和成熟期高于其他处理,SOD 在成熟期的活性大小表现为 7 月 20 日播期处理 > 8 月 4 日播期处理 > 7 月 30 日播期处理 > 7 月 15 日播期处理 > 7 月 25 日播期处理。农香 18 的最上叶的 SOD 活性随着生育期的推移呈上升趋势。7 月 20 日播期处理的最上叶 SOD 活性在孕穗期、齐穗期和成熟期高于其他处理,SOD 在成熟期的活性大小表现为 7 月 20 日播期处理 > 8 月 4 日播期处理 > 7 月 25 日播期处理 > 7 月 15 日播期处理 > 7 月 30 日播期处理。

总体而言,香稻生育后期的 SOD 活性比生育前期高,可能与香稻后期叶片衰老有关。



注:A. 桂香占;B. 农香 18。

图 1 不同播期对早季香稻最上叶 SOD 活性的影响



注:A. 桂香占;B. 农香 18。

图 2 不同播期对晚季香稻最上叶 SOD 活性的影响

2.2 香稻功能叶 POD 酶活性的变化 从图 3 可以看出,就早季而言,桂香占最上叶的 POD 活性随着生育期的推移呈

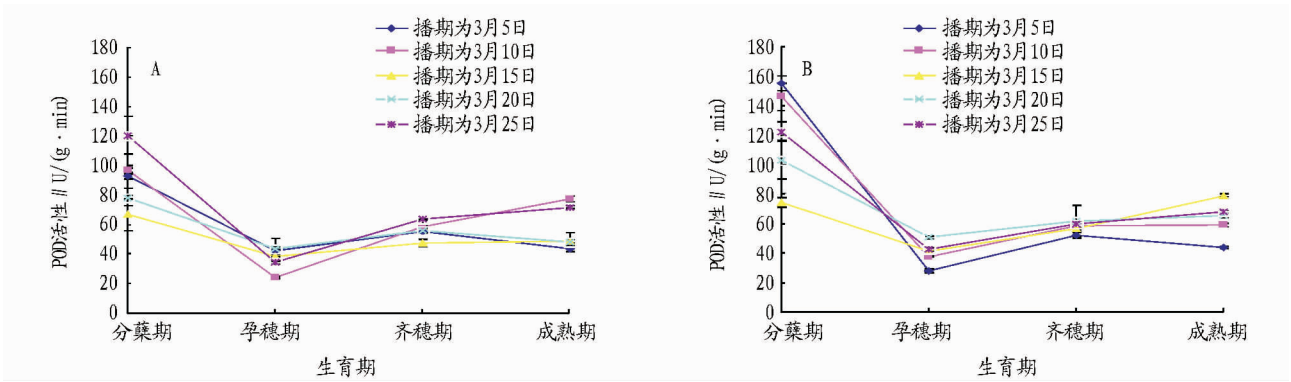
先下降后上升的趋势,各处理在分蘖期、孕穗期、齐穗期和成熟期的 POD 活性均差异不显著。农香 18 最上叶的 POD 活

性随着生育期的推移呈先下降后上升的趋势,各处理在分蘖期、孕穗期、齐穗期和成熟期的 POD 活性差异均不显著。

从图 4 可以看出,就晚季而言,桂香占最上叶的 POD 活性呈先下降后上升的趋势,POD 在成熟期的活性大小表现为 8 月 4 日播期处理 > 7 月 15 日播期处理 > 7 月 30 日播期处理 > 7 月 20 日播期处理 > 7 月 25 日播期处理。农香 18 最上

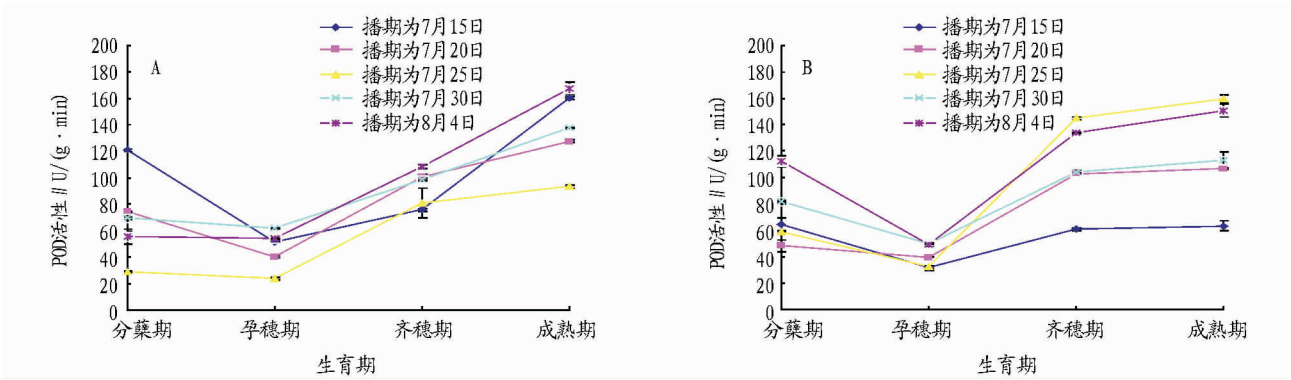
叶的 POD 活性呈先下降后上升的趋势,POD 在成熟期的活性大小表现为 7 月 25 日播期处理 > 8 月 4 日播期处理 > 7 月 30 日播期处理 > 7 月 20 日播期处理 > 7 月 15 日播期处理。

总体而言,香稻早季生育前期 POD 活性较高,而晚季香稻则后期 POD 活性较前期高,可能与早晚季温度的差异有关。



注:A. 桂香占;B. 农香 18。

图 3 不同播期对早季香稻最上叶 POD 活性的影响

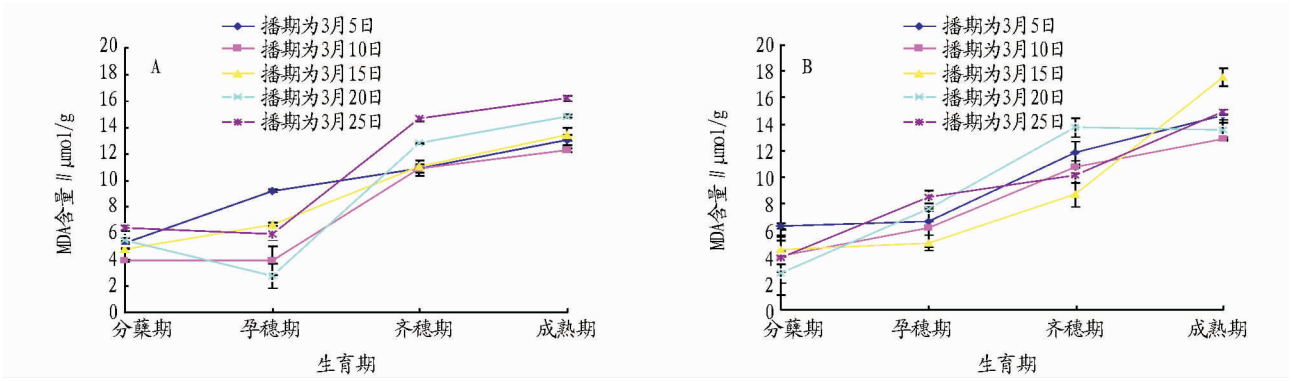


注:A. 桂香占;B. 农香 18。

图 4 不同播期对晚季香稻最上叶 POD 活性的影响

2.3 香稻功能叶 MDA 含量的变化 从图 5 可以看出,就早季而言,桂香占最上叶的 MDA 含量随着生育期的推移呈先上升后下降的趋势,并在齐穗期达到最大值。桂香占成熟期的最上叶 MDA 含量随着播期的推迟而上升,其含量大小表现为 3 月 25 日播期处理 > 3 月 20 日播期处理 > 3 月 15 日播

期处理 > 3 月 10 日播期处理 > 3 月 5 日播期处理。农香 18 最上叶的 MDA 含量随着生育期的推移呈上升趋势,其含量大小表现为 3 月 15 日播期处理 > 3 月 25 日播期处理 > 3 月 5 日播期处理 > 3 月 20 日播期处理 > 3 月 10 日播期处理。



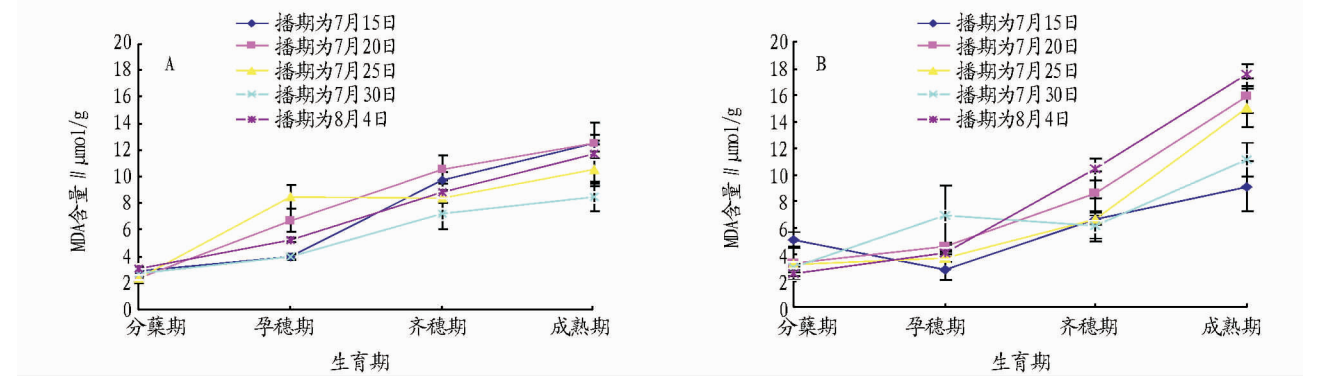
注:A. 桂香占;B. 农香 18。

图 5 不同播期对早季香稻最上叶 MDA 含量的影响

从图 6 可以看出,就晚季而言,桂香占最上叶的 MDA 含量随着生育期的推移呈上升趋势,其在成熟期的含量大小表现为 7 月 15 日播期处理>7 月 20 日播期处理>8 月 4 日播期处理>7 月 25 日播期处理>7 月 30 日播期处理。农香 18 最上叶的 MDA 含量随着生育期的推移呈上升趋势,其在成

熟期的含量大小表现为 8 月 4 日播期处理>7 月 20 日播期处理>7 月 25 日播期处理>7 月 30 日播期处理>7 月 15 日播期处理。

总体而言,香稻叶片的 MDA 含量随着生育期的推移呈上升趋势。



注:A. 桂香占;B. 农香 18。

图 6 不同播期对晚季香稻最上叶 MDA 含量的影响

2.4 香稻 SOD 活性、POD 活性和 MDA 含量与生育期内平均温度的相关关系 由表 2 可知,香稻早季最上叶 SOD 活性与生育期内的平均温度呈正相关关系,晚季 SOD 活性与生育期内的平均温度呈负相关关系。其中,桂香占 7 月 25 日播期处理、农香 18 7 月 15 日播期处理、7 月 30 日播期处理和 8 月 4 日播期处理达极显著负相关,农香 18 7 月 25 日播期处理显著负相关。香稻最上叶 POD 活性与生育期内

平均温度呈负相关关系,其中桂香占 3 月 20 日播期处理,农香 18 3 月 5 日播期处理呈显著负相关。香稻早季最上叶 MDA 含量与生育期内的平均温度呈正相关关系,晚季 MDA 含量与生育期内的平均温度呈负相关关系。其中,农香 18 7 月 20 日播期处理达极显著负相关,桂香占 8 月 4 日播期处理、农香 18 7 月 30 日播期处理和 8 月 4 日播期处理达显著相关。

表 2 香稻 SOD 活性、POD 活性和 MDA 含量与生育期内平均温度的相关系数

播期	生育期内平均温度与 SOD 活性的相关系数		生育期内平均温度与 POD 活性的相关系数		生育期内平均温度与 MDA 含量的相关系数	
	桂香占	农香 18	桂香占	农香 18	桂香占	农香 18
03-05	0.068 2	0.024 7	-0.941 4	-0.963 8 *	0.913 1	0.659 7
03-10	0.622 8	0.435 1	-0.609 4	-0.947 8	0.640 1	0.793 2
03-15	0.905 1	0.636 6	-0.849 8	-0.268 6	0.743 1	0.648 9
03-20	0.887 6	0.795 3	-0.961 0 *	-0.858 5	0.366 9	0.951 0 *
03-25	0.674 1	0.937 1	-0.842 7	-0.871 3	0.613 9	0.866 0
07-15	-0.845 7	-0.994 7 **	-0.585 3	-0.259 0	-0.883 5	-0.819 5
07-20	-0.847 9	-0.707 3	-0.836 8	-0.842 5	-0.943 4	-0.997 4 **
07-25	-0.999 7 **	-0.976 0 *	-0.854 9	-0.806 6	-0.924 9	-0.901 2
07-30	-0.879 7	-0.992 4 **	-0.915 5	-0.636 8	-0.931 0	-0.965 7 *
08-04	-0.756 4	-0.994 1 **	-0.948 3	-0.579 0	-0.968 0 *	-0.980 6 *

注: * 表示相关性达到显著水平($P<0.05$); ** 表示相关性达到极显著水平($P<0.01$)。

3 结论与讨论

水稻是我国主要的粮食作物,属于喜温作物,对温度变化很敏感。在不同的生育期,温度的变化可对其生长发育造成影响^[14]。研究表明,高温或低温胁迫都会造成水稻剑叶 SOD 和 POD 活性升高,以清除体内过多的自由基,减少自由基对细胞的伤害^[6-8]。但是,随着胁迫时间的延迟,SOD 和 POD 的活性都呈下降趋势,即植物体内的酶防御系统受到了损害。MDA 含量则随着酶防御系统的破坏而增加^[15-18]。也有研究表明,高温胁迫使 SOD 活性大幅度下降,MDA 含量大幅上升^[19-20]。Zhu X 等研究表明在高温胁迫下 POD 的活性呈先下降后上升再下降的趋势,而 MDA 含量的变化则正好

相反,呈先上升后下降再上升的趋势^[21]。朱珊等研究表明在低温条件下 SOD 与 POD 相比参与防御反应时间更早,也更敏感,但时效也较短。当低温胁迫使植株出现代谢紊乱时,SOD 活性迅速上升,催化超氧自由基产生大量的过氧化氢。POD 的活性则有一个上升的过程,相对滞后于 SOD 的活性变化^[22]。不同播期下的水稻,其各生育期内经历的温光条件不一致,尤其是温度的差异会造成水稻剑叶的 SOD 活性和 POD 活性水平不一致。孙圆圆等研究表明在同一弱光胁迫处理下不同播期的水稻剑叶的 SOD 和 POD 表现不一,适当推迟播期能促进抽穗期剑叶 POD 活性的提高^[9]。

该试验中播期对香稻SOD的活性的影响呈品种差异。

(下转第 65 页)

着温室种植年限的延长,表现出积累特性。这主要是因为耕层土壤受人为因素的影响较多;20~40 cm 亚表层土壤全铅含量低于表层土壤中铅的含量,也表现出随种植年限延长而增加的趋势;40~60 cm 土层土壤全铅量最低,含量随种植年限延长表现出降低趋势,主要是因为该层受到的人为活动较少。

(2)0~20 cm 土壤表层中各形态铅含量均随种植年限延长表现出积累特性;亚表层土壤中残渣态含量随种植年限延长总体表现出升高的趋势;40~60 cm 土层土壤中可还原态铅表现出随种植年限延长而含量降低的趋势。表层土壤中生物有效态含量占全铅含量的百分比均超过 60%,而这部分铅可以被作物吸收利用,判断表层土壤重金属铅的危害较大。3 个土壤层次中各形态铅含量表现为可还原态 > 残渣态 > 可氧化态 > 弱酸态,优势形态是可还原态。

(3)有效态铅是植物能直接吸收利用的。在 3 个土壤层次中,表层土壤有效态铅含量最高,推测有效态含量与耕作复杂程度有关。

(4)在种植年限为 5~12 年的温室土壤,生物有效性系数呈现出减小的趋势。

(5)参照土壤环境质量标准,研究区土壤铅元素含量仍处于一个较低范围。但是,采样区内生物有效态铅占全铅含量的比例值均已超过 60%,表明采样区内土壤重金属铅的潜

在生态危害较大。

参考文献

- [1] 赵正武,李仕贵,黄文章. 水稻不同低温敏感期的耐冷性研究进展及前景[J]. 西南农业学报,2006,19(2):330-335.
 - [2] 胡宁静,李泽琴,黄朋,等. 我国部分市郊农田的重金属污染与防治途径[J]. 矿物岩石地球化学通报,2003,22(3):251-254.
 - [3] 吴大付,吴艳兵,任秀娟,等. 我国重金属污染土壤的利用研究[J]. 资源开发与市场,2010,26(1):63-65.
 - [4] RAURET G, LOPEZ-SANCHEZ J F, SAHUQUILLO A, et al. Application of a modified BCR sequential extraction (three-step) procedure for the determination of extractable trace metal contents in a sewage sludge amended soil reference material (CRM483), complemented by a three year stability study of acetic acid and EDTA extractable metal content [J]. Journal of Environmental Monitoring, 2000, 2: 228-233.
 - [5] 钟晓兰,周生路,李江涛. 土壤有效态 Cd、Cu、Pb 的分布特征及影响因素研究[J]. 地理科学,2010,30(2):254-260.
 - [6] 国家环境保护局南京环境科学研究所. GB/T15618-1995, 土壤环境质量标准[S]. 北京:中国标准出版社,2006.
 - [7] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3 版. 北京:中国农业大学出版社,2002:25-99.
 - [8] 仲维科,樊耀波,王敏健. 我国农作物的重金属污染及其防止对策[J]. 农业环境保护,2001,20(4):270-272.
 - [9] 徐明飞,郑纪慈,阮美颖,等. 不同类型蔬菜重金属(Pb, As, Cd, Hg)积累量的比较[J]. 浙江农业学报,2008,20(1):29-34.
 - [10] 于瑞莲,胡恭任. 泉州湾沉积物重金属形态特征及生态风险[J]. 华侨大学学报,2008,29(3):419-423.
 - [11] HSU J H, LO S L. Characterization and extractability of copper, manganese, and Zinc in swine manure composts[J]. Environ Qual, 2000, 29: 447-453.
 - [12] 张凤英,阎百兴,朱立禄. 松花江沉积物重金属形态赋存特征研究[J]. 农业环境科学学报,2010,29(1):163-167.
- 的影响[J]. 作物学报,2006,32(4):568-572.
- [8] LIU Y, ZHAO Z, SI J, et al. Brassinosteroids alleviate chilling-induced oxidative damage by enhancing antioxidant defense system in suspension cultured cells of *Chorispora bungeana* [J]. Plant Growth Regulation, 2009, 59(3):207-214.
 - [9] 孙园园,孙永健,陈林,等. 不同播期和抽穗期弱光胁迫对杂交稻生理性状及产量的影响[J]. 应用生态学报,2012,23(10):2737-2744.
 - [10] 杨晓娟,唐湘如,闻祥成,等. 播种期对晚季香稻香气 2-乙酰-1-吡咯啉含量和产量的影响[J]. 生态学报,2014,34(5):1156-1164.
 - [11] 杨晓娟,唐湘如,闻祥成,等. 播种期对早季香稻香气形成和品质及产量的影响[J]. 华北农学报,2014,29(3):128-135.
 - [12] 王兰,蔡千蕙. 低温胁迫对水稻苗期 SOD、POD 活性的影响[J]. 湖南农业科学,2011(11):56-58,62.
 - [13] 邓化冰,王天顺,肖应辉,等. 低温对开花期水稻颖花保护酶活性和过氧化物积累的影响[J]. 华北农学报,2010,25(S2):62-67.
 - [14] 刘涛,何霞红,李成云,等. 不同低温处理对元阳梯田传统水稻品种孕穗期保护酶活性的影响[J]. 分子植物育种,2014,12(3):525-529.
 - [15] 冯世座,刘合芹. 极端温度对籼梗稻苗期光合特性及生理生化特性的影响[J]. 浙江师范大学学报:自然科学版,2012,35(3):330-337.
 - [16] 李萍萍,程高峰,张佳华,等. 高温对水稻抽穗扬花期生理特性的影响[J]. 江苏大学学报:自然科学版,2010,31(2):125-130.
 - [17] 汤日圣,郑建初,陈留根,等. 高温对杂交水稻籽粒灌浆和剑叶某些生理特性的影响[J]. 植物生理与分子生物学报,2005,31(6):657-662.
 - [18] 祝涛,杨美英. 低温处理对不同品种水稻苗期保护酶活性的影响[J]. 吉林农业,2010(7):89.
 - [19] 王志刚,王磊,林海,等. 水稻高温热害及耐热性研究进展[J]. 中国稻米,2013,19(1):27-31.
 - [20] XIE X J, LI B B, SHEN S H. Impact of high temperature stress on photosynthetic characteristic and yield of rice (*Oryza sativa*) at heading [J]. Indian Journal of Agricultural Science, 2012, 82(6):516-522.
 - [21] ZHU X, DENG Q, LONG S, et al. Comparison of tolerance of two super hybrid rice combinations under high temperature stress [J]. Journal of Plant Resources and Environment, 2009, 18(2):28-33.
 - [22] 朱珊,熊宏亮,黄仁良,等. 低温胁迫对水稻生理指标的影响[J]. 江西农业学报,2013,25(7):10-12.

(上接第 51 页)

桂香占早晚季的 SOD 活性呈先上升后下降再上升的趋势,而农香 18 早、晚季的 SOD 活性则随着生育期的推移呈上升趋势。从 POD 活性来看,桂香占和农香 18 早晚季的 POD 活性均呈先下降后上升的趋势。桂香占早季的 MDA 含量在齐穗期呈上升趋势,而齐穗后则稍有下降。桂香占晚季和农香 18 早晚季的 MDA 含量则呈上升趋势。这说明桂香占和农香 18 在孕穗期主要是依靠 SOD 来清除体内的自由基,在齐穗期和成熟期则由 SOD 和 POD 协同清除多余的活性氧和过氧化氢。但是,二者的共同作用不足以抵消植株体内的过氧化作用,MDA 成熟期的含量较之前的时期有所提高。另外,香稻晚季的 SOD 和 POD 活性均与生育期内的平均温度呈负相关关系。在生产实践中,可以通过调整播种期使得香稻抗氧化酶活性维持在较高水平,延缓叶片生理功能衰退,进而获得高产和优质。

参考文献

- [1] 翟蓉蓉,冯跃,曹立勇,等. 水稻叶片衰老研究进展[J]. 中国稻米,2011,17(1):7-12.
- [2] 王碧茜,范晓荣,徐国华,等. 不同氮效率水稻品种旗叶的衰老特征[J]. 南京农业大学学报,2010,33(2):8-12.
- [3] 张文学,彭春瑞,胡水秀,等. 激素复配剂对延缓杂交早稻生育后期叶片衰老的影响[J]. 江西农业大学学报,2007,29(3):331-335,346.
- [4] 李木英,郑伟,石庆华,等. 不同杂交稻灌浆期叶片衰老特性及其对水分亏缺的响应[J]. 中国农学通报,2011,27(3):44-55.
- [5] 李敏,马均,王贺正,等. 水稻开花期高温胁迫条件下生理生化特性的变化及其与品种耐热性的关系[J]. 杂交水稻,2007,22(6):62-66.
- [6] 曹云英,赵华. 高温胁迫下油菜素内酯对水稻幼苗的保护作用[J]. 中国水稻科学,2007,21(5):525-529.
- [7] 王萍,张成军,陈国祥,等. 低温对水稻剑叶膜脂过氧化和脂肪酸组分的