

二氧化硫对水稻产量构成因子的影响

张金恒¹, 李曰鹏^{2,1}, 韩 超¹

(1.青岛科技大学环境与安全工程学院,生态环境与农业信息化研究所, 山东 青岛 266042; 2.青岛农业大学 资源与环境学院, 山东 青岛 266109)

摘 要:通过田间小区 SO₂ 熏气试验,研究了不同生育期正常生长的水稻在 SO₂ 急性伤害条件下产量构成因子变化。结果表明,与正常条件下生长的水稻比较分析表明,SO₂ 急性伤害对水稻产量构成因子的影响在品种和生育期之间表现出差异性,在分蘖期进行 SO₂ 熏气处理穗重、千粒重和每穗总粒数随熏气浓度的增加都有降低趋势;在拔节期进行 SO₂ 熏气处理后单株穗重与千粒重与对照试验相比也表现出一定的差异;在抽穗期进行 SO₂ 熏气处理后千粒重随 SO₂ 浓度增大表现出下降的趋势;在灌浆期进行 SO₂ 熏气处理对产量构成因子的影响规律性不明显。分蘖期进行熏气处理导致临稻 10、圣稻 13 和阳光 200 3 个品种水稻平均减产分别为:18.5%、32.3%、29.3%,拔节期:18.4%、24.1%、11.4%,抽穗期:18.5%、21.4%、16.0%,灌浆期:18.7%、14.6%、12.1%。在分蘖期进行 SO₂ 急性伤害处理,圣稻 13 和阳光 200 两个品种的平均减产最大,分别为 32.3%和 29.3%,然而不论在哪个生育期进行熏气处理临稻 10 平均减产量相对稳定(18.4%和 18.5%)。因此本研究表明 SO₂ 熏气处理对产量构成因子均有影响,总的规律是在水稻生长前期进行 SO₂ 熏气处理对产量主要构成因子的影响比生长后期进行 SO₂ 熏气处理的影响要大。

关键词:二氧化硫;水稻;产量

中图分类号:X503.231 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-2043(2008)05-1890-05

Effects of Sulphur Dioxide on the Yield Components of Rice

ZHANG Jin-heng¹, LI Yue-peng^{2,1}, HAN Chao¹

(1.College of Environment and Safety Engineering, Institute of Envir. Ecology & Agriculture Information, Qingdao University of Science and Technology, Qingdao 266042, China; 2.College of Resources and Environment, Qingdao University of Agriculture, Qingdao 266109, China)

Abstract: In an open-top field exposure system for the controlled release of air pollutants, three genotypes of rice (Lin Dao10, Sheng Dao13 and Yang Guang200) were exposed to elevated SO₂ concentrations in five growing seasons to study the effects of SO₂ on rice yield components under field conditions. The treated plots were exposed to concentrations of C1 (13.09 mg·m⁻³), C2 (26.18 mg·m⁻³), C3 (39.26 mg·m⁻³), C4 (52.35 mg·m⁻³) and the background concentration (CK) respectively. Compared with the normal growth rice, the difference of SO₂ impacting on yield components depended on genotypes and growth stages of rice. Exposed to SO₂, yield components of rice ear weight, thousand grain weight and grain number per ear reduced at tiller stage, and thousand grain weight reduced at heading stage according to the elevated SO₂ concentrations. The difference of ear weight and thousand grain weight existed between rice exposed to SO₂ and CK at jointing stage. The reduction of average yield of 18.5%, 32.3% and 29.3% at tiller stage, 18.5%, 21.4% and 16.0% at jointing stage, 8.7%, 14.6% and 12.1% at heading stage, 18.4%, 24.1% and 11.4% at grain filling stage for Lin Dao10, Sheng Dao13 and Yang Guang200 respectively. The ratio of average yield reduction of Lin Dao10 near by 18%, but the ratios of average yield reduction of Sheng Dao13 and Yang Guang200 were 32.3% and 29.3% respectively. This investigation showed that the effects of sulphur dioxide on the yield components of rice exposed to SO₂ at early growth stages more than at later growth stages.

Keywords: sulphur dioxide; rice; yield

二氧化硫是最常见的大气污染物之一,对农作物

的生长、发育和产量都有明显的危害^[1]。不同植物受到 SO₂ 污染表现出不同的伤害症状,尤其在短间接接触高浓度 SO₂ 引起的症状表现更为明显,因此研究 SO₂ 对作物的急性伤害特点在农业生产上具有重要意义。大气污染物对植物影响的研究是从 20 世纪 70 年代开始的,最早主要是对植物症状学的研究,后来

收稿日期:2007-12-02

基金项目:国家自然科学基金项目(40601062);863 计划课题(2007AA10Z205)

作者简介:张金恒(1973—),男,博士,硕士生导师,副教授。

E-mail: zhangjinheng@qust.edu.cn

陆续开始采用熏气装置研究大气污染物的植物生态效应^[2]。许多学者认为 SO₂ 对植物的伤害程度与 SO₂ 浓度和暴露时间两因素直接相关^[3],除此之外也与植物生长阶段、接触次数等因素有关^[4]。另外在 SO₂ 对植物伤害机理、对生理生化指标的影响、对植物组织结构影响等方面开展了较多的研究^[5-9]。但以往针对农作物的试验研究对象大部分为盆栽作物,难以反映大田群体作物的实际状况。本项研究通过田间小区设计试验,采用开顶式熏气装置,在模拟 SO₂ 环境污染条件下,研究高浓度 SO₂ 的急性伤害对不同品种水稻的产量构成因子的影响,为 SO₂ 污染区水稻高产和抗性品种的选择提供理论依据,在农业生产上具有现实意义。

1 材料与方法

2007 年在青岛市新技术农业研究基地进行田间试验。试验区土壤为棕壤土,土壤有机质含量 4.1 g·kg⁻¹、全氮 1.0 g·kg⁻¹、碱解氮 47.2 mg·kg⁻¹、速效磷 23.1 mg·kg⁻¹、速效钾 130.8 mg·kg⁻¹、有效硫 18.4 mg·kg⁻¹、全硫 181.7 mg·kg⁻¹。小区面积:15.18 m²,共设 3 个重复,采用拉丁方设计小区。试验选用“临稻 10 号”、“圣稻 13”、“阳光 200”3 个水稻品种,株行距为 0.15 m×0.22 m,按大田管理方式进行田间管理,统一施肥。于 4 月 20 播种,5 月 30 日移栽,9 月 28 日收获。利用开顶式熏气装置模拟进行 SO₂ 急性伤害处理^[10],设置 4 个 SO₂ 浓度梯度 C1(13.09 mg·m⁻³)、C2

(26.18 mg·m⁻³)、C3(39.26 mg·m⁻³)、C4(52.35 mg·m⁻³)和对照 CK(未经熏气处理),3 次重复。分别在分蘖期(6 月 29 日)、拔节期(7 月 14 日)、抽穗期(8 月 24 日)和灌浆期(9 月 7 日)对正常生长的水稻进行 1 小时熏气处理。于水稻成熟期(9 月 28 日)在各试验区对角线选 10 株水稻测定株高,同时收获该样点水稻穗,待晒干后进行室内考种。主要项目有单株穗重、穗长、每穗粒数、每穗空瘪粒数、千粒重、单株穗粒重,最后测定小区产量。用 DPS 处理系统软件对测量的数据进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 SO₂ 急性伤害对水稻产量构成因子的影响

分析分蘖期熏气处理对水稻产量构成因子的影响表明(见表 1),临稻 10 号和圣稻 13 各处理单株穗重与对照相比差异显著,两个水稻品种各处理平均单株穗重比对照降低 16.0%和 25.1%;两个水稻品种处理 C4 浓度下穗重与其他 3 个处理有明显差异,与对照相比分别降低 23.3%和 40.4%;阳光 200 各处理穗重除 C1 浓度外,其他 3 个浓度与对照相比差异显著。3 个水稻品种各处理之间的千粒重和总粒重与对照相比有明显差异,各处理之间也表现出一定差异性。随熏气浓度的增大,各处理穗重、千粒重和单穗总粒重在 3 个水稻品种之间表现出一致的规律性,即随熏气浓度的增加穗重、千粒重和单穗总粒重都有降低趋势,而其他产量因子规律表现不明显。

表 1 水稻分蘖期二氧化硫熏气处理对产量构成因子的影响
Table1 SO₂ effected on yield components at tillering stage

项目	处理	株高/cm	穗重/g	穗长/cm	穗粒数/粒	瘪粒数/个	千粒重/g	总粒重/g
临稻 10 号	CK	96.33a	4.21a	16.14a	199a	48a	1.35a	4.10a
	C1	88.67bc	3.66b	16.57a	172ab	39ab	1.12b	3.40b
	C2	92.00ab	3.69b	15.31a	174ab	17ab	1.08bc	3.59ab
	C3	84.33c	3.56bc	15.13a	135c	7b	1.02c	3.54ab
	C4	93.67ab	3.23c	17.47a	160bc	33ab	0.97d	3.46b
圣稻 13	CK	92.33a	5.81a	16.91a	247a	41a	1.30a	5.46a
	C1	87.67a	5.02b	16.95a	163d	12c	1.17ab	4.02c
	C2	92.33a	4.67bc	18.15a	215b	31b	1.21ab	4.84b
	C3	78.00b	4.16c	15.50b	139e	13c	1.17ab	4.48b
	C4	85.67a	3.46d	18.18a	185c	15c	1.13b	3.30d
阳光 200	CK	92.67ab	4.39a	18.43a	172a	94a	1.43a	4.31a
	C1	88.00b	4.35a	14.88b	77b	11b	1.35a	4.16a
	C2	88.00b	3.54b	15.30b	167a	32b	1.14bc	3.42b
	C3	89.33ab	3.37b	17.44a	151a	7b	1.22b	3.32b
	C4	96.00a	3.33b	15.37b	142a	15b	1.09c	3.17b

注:通过 Duncan 多重比较检验(Duncan Analysis),具有相同字母的处理没达到显著差异,不含相同字母表示差异显著;小写字母表示在 0.05 水平上差异达到显著。下表同。

表 2 水稻拔节期二氧化硫熏气处理对产量构成因子的影响
Table 2 SO₂ effected on yield components of three varities rice at jointing stage

项目	处理	株高/cm	穗重/g	穗长/cm	穗粒数/粒	瘪粒数/个	千粒重/g	总粒重/g
临稻 10 号	CK	96.33bc	3.56a	16.14a	160ab	48ab	20.4a	3.46a
	C1	97.67abc	2.52bc	16.23a	175a	62a	15.6c	2.55b
	C2	105.67a	2.42c	15.53a	139ab	58ab	16.8bc	2.27b
	C3	102.67ab	3.05ab	16.10a	170a	49ab	18.8ab	3.28a
	C4	93.67c	2.10c	15.94a	129b	22b	18.0abc	2.27b
圣稻 13	CK	92.33a	5.02a	16.91a	215a	41a	22.6b	4.48a
	C1	94.33a	3.50b	16.93a	173bc	35ab	20.4c	3.72ab
	C2	96.33a	4.86a	17.58a	192ab	17bc	24.4a	4.65a
	C3	92.67a	4.08b	16.63a	159cd	8c	24.8a	4.41ab
	C4	92.00a	3.34b	16.58a	145d	10c	23.6ab	3.22b
阳光 200	CK	92.67b	4.35a	18.43a	172b	94a	24.4a	4.25a
	C1	106.67a	3.66bc	18.00a	178b	36ab	22.4bc	4.16a
	C2	109.33a	3.65bc	17.00ab	190a	61ab	20.8c	3.68a
	C3	101.00a	3.97ab	15.21c	175b	19b	24.6a	3.93a
	C4	103.67a	3.30c	16.18bc	136c	16b	23.0ab	3.64a

表 3 水稻抽穗期二氧化硫熏气处理对产量构成因子的影响
Table 3 SO₂ effected on yield components at heading stage

项目	处理	株高/cm	穗重/g	穗长/cm	穗粒数/粒	瘪粒数/个	千粒重/g	总粒重/g
临稻 10 号	CK	96.33ab	3.87a	16.14a	160b	48bc	20.4a	3.67a
	C1	84.67b	3.56a	16.26a	176b	28c	21.6a	3.46a
	C2	99.67a	3.61a	18.07a	237a	94a	15.6c	3.48a
	C3	95.33ab	2.60b	17.95a	167b	61abc	18.2b	2.54b
	C4	87.67ab	2.63b	16.53a	180b	63ab	13.4d	2.42b
圣稻 13	CK	92.33ab	5.02a	16.91a	215a	41c	24.0a	4.48a
	C1	87.68b	4.45b	17.61a	217a	30c	20.4a	4.27b
	C2	87.68b	3.16c	17.84a	208a	112a	22.6a	2.91c
	C3	91.33ab	4.23b	16.81a	173b	18d	12.4b	4.10b
	C4	94.68a	2.88d	16.63a	196a	68b	12.8b	2.70c
阳光 200	CK	92.67b	4.35a	18.43ab	172b	94a	26.8a	4.45a
	C1	104.33a	3.86c	18.95a	162b	24b	25.6a	3.76b
	C2	96.00ab	4.11b	17.91bc	161b	22b	24.4a	4.16ab
	C3	103.33a	3.13d	17.23c	194a	72ab	15.8b	3.02c
	C4	100.00ab	1.74e	17.09c	165b	90a	12.2b	1.66d

表 2 表明,拔节期 3 个水稻品种熏气处理后单株穗重与对照相比差异显著,千粒重与对照相比也表现出一定的差异。拔节期临稻 10 号和圣稻 13 两品种产量构成因素 C4 处理后除株高和穗长和对照相比没有显著差异外,其他产量构成因子与对照比较差异显著。阳光 200 各处理单株总粒重与对照相比没有明显差异。

对抽穗期正常生长的水稻进行不同浓度的 SO₂ 熏气处理,圣稻 13 和阳光 200 两品种各熏气浓度处理单株穗重和单株总粒重与对照相比差异显著(见表 3)。2 个水稻品种各处理平均单株穗重比对照降低

26.7%和 26.2%;临稻 10 号经 C3、C4 两个浓度处理后单株穗重和总粒重与对照相比表现出明显差异;3 个水稻品种各处理千粒重在 SO₂ 浓度增大时表现出下降的趋势。

在灌浆期熏气处理,临稻 10 品种 C4 浓度熏气处理的单株穗重和单株总粒重与对照相比差异显著;圣稻 13 品种各熏气处理千粒重与对照相比均有明显差异,各处理平均千粒重比对照降低 19.1%;阳光 200 品种 C3、C4 熏气处理的单株穗重、穗长、千粒重及单株总粒重与对照相比差异显著(见表 4)。

2.2 不同生育期熏气处理对水稻产量的影响

表 4 水稻灌浆期二氧化硫熏气处理对产量构成因子的影响
Table4 SO₂ effected on yield components of three varities rice at grain filling stage

项目	处理	株高/cm	穗重/g	穗长/cm	穗粒数/粒	瘪粒数/个	千粒重/g	总粒重/g
临稻 10 号	CK	96.33a	3.56a	16.14a	160a	48a	20.1a	3.52a
	C1	87.00b	3.39a	24.44a	177a	37a	19.6a	3.29ab
	C2	98.33a	3.24a	16.24a	211a	62a	20.4a	3.46ab
	C3	101.33a	3.09a	14.35a	153a	39a	14.8a	3.01ab
	C4	95.33a	2.39b	15.93a	162a	74a	15.8a	2.52b
圣稻 13	CK	92.33a	5.02a	16.91b	215a	41b	27.2a	4.84a
	C1	93.33a	4.20bc	18.53a	232a	92a	22.6b	4.35a
	C2	89.33a	4.57ab	16.77b	218a	36b	21.8b	4.20a
	C3	92.00a	3.90c	17.08ab	136b	10b	20.6b	4.13a
	C4	91.33a	4.29bc	17.21ab	221a	49ab	21.6b	3.96a
阳光 200	CK	92.68c	4.35a	18.43a	172a	94a	25.6a	4.16a
	C1	107.00a	3.34b	16.71a	185a	60b	24.4a	3.59ab
	C2	98.33b	3.99a	16.87a	164a	29b	24.0a	3.80ab
	C3	95.33bc	3.56b	17.31a	151a	31ab	23.6b	3.33b
	C4	87.00d	2.52c	14.53b	107b	15b	19.2b	2.44c

在分蘖期对 3 个品种水稻进行 4 个浓度二氧化硫熏气处理,试验结果表明,经过 C3、C4 两个浓度处理的临稻 10 品种产量与对照(CK)相比差异显著;经过 C1、C3 两个浓度处理的圣稻 13 产量与对照相比差异显著, 经过 C2、C3 两个浓度处理的阳光 200 产量与对照相比有明显差异(见表 5)。3 个水稻品种的产量随分蘖期二氧化硫熏气浓度的增加呈减少的趋势,其中 3 个品种的水稻各处理与对照相比平均减产 18.5%、32.3%、29.3%。拔节期对正常生长的水稻进行不同浓度的 SO₂ 熏气处理表明, 临稻 10 品种 C2、C4 熏气浓度处理和圣稻 13 品种 C4 浓度处理的产量与对照 CK 之间差异显著,其中熏气处理后 3 个品种的水稻与对照 CK 相比平均减产 18.4%、24.1%、11.4%。抽穗期对 3 个水稻品种熏气处理,各处理产量与对照相比平均减产 18.5%、21.4%、16.0%。灌浆期对 3 个水稻品种熏气处理,临稻 10 品种 C3、C4 两个熏气浓度处理、圣稻 13 品种 C4 熏气浓度处理以及阳光 200 品种 C4 熏气浓度处理的产量与对照相比均达到显著差异,3 品种水稻各熏气处理产量与对照相比平均减产 18.7%、14.6%、12.1%。

通过各熏气浓度处理后的产量与对照相比(见表 5),不同生育期熏气对临稻 10 品种的平均减产均接近 18.7%,表明该品种在不同生育期受 SO₂ 胁迫导致产量减少量趋于一致;在分蘖期熏气对圣稻 13 和阳光 200 两品种的平均减产分别达到了 32.3%和 29.3%,拔节期、抽穗期和灌浆期熏气处理和对照比较平均减产量有减小的趋势,在灌浆期熏气对这两个水

稻品种的平均减产分别为 14.6%和 12.1%,因此圣稻 13 和阳光 200 两个品种受 SO₂ 胁迫发生在越早的生育期将导致更大的减产。

3 结论与讨论

3.1 结论

通过田间小区试验,在水稻分蘖期、拔节期、抽穗期、灌浆期分别对正常生长的临稻 10、圣稻 13、阳光 200 3 个品种进行 SO₂ 熏气处理,结果表明:

(1)单株穗重、千粒重及单株总粒重均有影响,且随 SO₂ 浓度的增大,主要产量因子有逐渐减小的趋势。在分蘖期进行 SO₂ 熏气处理后,穗重、千粒重和单穗总粒重在 3 个水稻品种之间表现出一致的规律性,即随熏气浓度的增加,穗重、千粒重和单穗总粒重都有降低趋势;拔节期 3 个水稻品种熏气处理后单株穗重和千粒重与对照相比也表现出一定的差异;抽穗期 3 个水稻品种各处理千粒重在 SO₂ 浓度增大表现出下降的趋势;灌浆期 3 个水稻品种各熏气处理对产量构成因子的影响一致性的规律不明显。

(2)不同生育期 SO₂ 熏气对水稻产量均有影响,且不同品种对 SO₂ 的影响表现出的减产趋势有差别:临稻 10 品种在不同生育期受 SO₂ 胁迫导致产量减少量趋于一致。圣稻 13 和阳光 200 两个品种受 SO₂ 胁迫发生在越早的生育期将导致更大的减产。

3.2 讨论

和对照相比,SO₂ 熏气处理对产量构成因子均有影响,并且这些影响在熏气生育期和品种之间存在差

表 5 不同生育时期熏气处理对水稻产量的影响

Table5 SO₂ effected on yields at different growth stages

项目	产量/kg·m ⁻²			
	分蘖期	拔节期	抽穗期	灌浆期
临稻 10 号	1.74a	1.74a	1.74a	1.74a
	1.56ab	1.61a	1.55ab	1.62ab
	1.64ab	1.31b	1.36ab	1.51ab
	1.24b	1.49ab	1.58ab	1.38bc
	1.23b	1.27b	1.18b	1.15c
平均减产/%	18.5	18.4	18.5	18.7
圣稻 13	1.75a	1.75a	1.75a	1.75a
	1.08bc	1.57a	1.61ab	1.62a
	1.38abc	1.32ab	1.38bc	1.67a
	0.81c	1.43a	1.35bc	1.48a
	1.47ab	0.99b	1.16c	1.21b
平均减产/%	32.3	24.1	21.4	14.6
阳光 200	1.69a	1.69a	1.69a	1.69a
	1.13ab	1.70a	1.63a	1.83a
	1.28b	1.40a	1.34ab	1.45a
	0.98b	1.40a	1.51ab	1.65a
	1.39ab	1.49a	1.20b	1.01b
平均减产/%	29.3	11.4	16.0	12.1

异,总的规律是在水稻生长前期进行 SO₂ 熏气处理对产量主要构成因子的影响比生长后期进行 SO₂ 熏气处理的影响要大。这主要是由于 SO₂ 经气孔进入叶肉,逐渐扩散到海绵组织和栅栏组织,溶于浸润细胞壁的水分中,形成亚硫酸,亚硫酸离解成 HSO₃⁻和 H⁺。重亚硫酸离子再进一步离解生成 SO₃²⁻和 H⁺,导致叶绿素破坏,细胞膜受损^[11,12]。如果在生殖生长期(包括分蘖期和拔节期)水稻受到 SO₂ 急性伤害,影响到营养生长阶段水稻的生长发育,因此在越早的生育期对水稻进行 SO₂ 熏气将导致更大的减产。由此可见,SO₂ 对水稻的产量有明显的危害,可能造成大面积大幅度减产,对农业生产带来的危害是严重的。

参考文献:

[1] 张耀民,张洪生,吴丽英. 二氧化硫对小麦分蘖及生长锥分化的影响[J]. 中国环境科学, 1986, 6 (1): 36-39.
ZHANG Yao-min, ZHANG Hong-sheng, WU Li-ying. Effects of sulphur dioxide on wheat tillers survival and emergence at tillering stage [J]. *Journal of Chinese Society For Environmental Sciences*, 1986, 6 (1): 36-39.

[2] 刘燕云,曹洪法,舒俭民,等. 几种作物对二氧化硫的剂量反应及其急性伤害阈值[J]. 中国环境科学, 1988, 4:25-31.
LIU Yan-yun, CAO Hong-fa, SHU Jian-min, et al. A Study on the dose and the threshold of several crops injured by sulfur dioxide[J]. *Journal*

of Chinese Society For Environmental Sciences, 1988, 4:25-31.

[3] 张耀民,付克文,吴丽英. 二氧化硫对小麦性细胞分化及受精过程影响的细胞学研究[J]. 农业环境保护, 1981, 1: 13-18.
ZHANG Yao-min, FU Ke-wen, WU Li-ying. A cytological study on the effects of sulfur dioxide on the sex cell differentiation and fertilization of wheat [J]. *Journal of Agricultural Environment Protection*, 1981, 1:13-18.

[4] Heagle A S. Injury and yield responses of soybean to chonic doses of o-zone and sulfur dioxide in the field[J]. *Phytopathology*, 1974, 64(1): 132-136.

[5] 陈小勇,成海霞. 二氧化硫对蚕豆叶片伤害类型的研究[J]. 植物资源与环境, 1994, 3(3):49-53.
CHEN Xiao-yong, CHENG Hai-xia. A study on the of *Viciafaba* L. leaves injury types by sulfur dioxide[J]. *Journal of Plant Resources and Environment*, 1994, 3(3):49-53.

[6] 邹晓燕,刘厚田,柳若安. 植物对二氧化硫的敏感性 with 超氧化物歧化酶活性的关系[J]. 中国环境科学, 1989, 9(6):427-432.
ZOU Xiao-yan, LIU Hou-tian, LIU Ruo-an. The relationship between sensitivity and superoxide dismutase of plants effected by suphur dioxide[J]. *Journal of Chinese Society For Environmental Sciences*, 1989, 9 (6):427-432.

[7] 李维典,颜培辉. 二氧化硫污染对植物体酶活性的影响[J]. 生态科学, 1996, 1: 117-119.
LI Wei-dian, YAN Pei-hui. Effects of fumigation with sulphur dioxide on the activity of enzymes in plants[J]. *Ecologic Science*, 1996, 1:117-119.

[8] 葛毅强,谭敦炎,张维一. SO₂ 对鲜葡萄采后熏蒸处理的组织解剖研究[J]. 西北植物学报, 1997, 17(4):516-521.
GE Yi-qiang, TAN Dun-yan, ZHANG Wei-yi. Study of histological anatomy on postharvest table grape after fumlgation of sulfur dioxide[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 1997, 17(4), 516-521.

[9] 秦慧贞,吴竹君,汪嘉熙. 二氧化硫、氟化氢等有害气体对植物叶片组织的影响[J]. 植物学报, 1980, 22(3):232-234.
QIN Hui-zhen, WU Zhu-jun, WANG Jia-xi. Effects of sulfur dioxide and hydrogen fluoride on the leaf tissue of plants[J]. 1980, 22(3): 232-234.

[10] 李曰鹏,张金恒,韩超,等.水稻田间开顶式 SO₂ 熏气装置[J].农业环境科学学报, 2008, 27(4): 1649-1652.
LI Yue-peng, ZHANG Jin-heng, HAN Cao, et al. Open-top SO₂ fumigation device designed for rice field experimentation[J]. *Journal of agro-environment science.*, 2008, 27(4): 1649-1652.

[11] 金艳萨. SO₂ 对水稻的影响[J]. 江苏环境科技, 1997, 4:43-44.
JIN Yan-sa. Effects of sulfur dioxide on rice[J]. *Jiangsu Environmental Science and Technology*, 1997, 4:43-44.

[12] 易秀,张洪生,郑泽群. 二氧化硫对小麦玉米的急慢性伤害研究[J]. 西北农业大学学报, 1997, 25(4):45-50.
YI Xiu, ZHANG Hong-sheng, ZHENG Ze-qun. Studies on chronic and acute injury of SO₂ to weat and corn[J]. *Journal of Northwest Sci-tech University of Agriculture and Forestry(Natural Science Edition)*, 1997, 25(4):45-50.