

二氧化硫对大豆结实影响的研究

张耀民 吴丽英 傅克文 张洪生

(农牧渔业部环境保护科研监测所)

摘 要

本文报道在不同生长发育时期,采用开顶式熏气装置研究低浓度 SO_2 对大豆结实影响的结果。试验结果表明,长期熏气处理对结实影响较大,使单株豆荚数和单株豆粒数明显减少,对单荚豆粒数无明显影响。花期熏气处理影响较小,仅使单荚豆粒数稍有减少。苗期熏气处理对结实无影响。长期熏气处理和花期熏气处理对花粉在柱头上的萌发和花粉管的延长有一定程度的抑制作用,并使相当数量的花粉粒在授粉前退化解体。试验结果还表明,不同生长发育时期熏气处理对大豆结实产生的不同影响与所采用的 SO_2 剂量无直接关系,其主要原因是各生长发育时期对 SO_2 伤害反应敏感性的差异。两个供试品种的结实对 SO_2 伤害反应的敏感性不同。这与供试品种的遗传特性直接有关。

供试品种的有性繁殖过程与叶片对 SO_2 的伤害反应不同。叶片伤害程度与供试品种的籽粒产量无直接关系。

SO_2 对农作物产量的影响国外已有大量的研究报道。但是70年代以前,由于熏气条件与田间自然条件的差异和浓度测试手段的限制,使研究结果之间缺乏明显的可比性,难以应用已有的研究结果比较准确地评价大气污染物对田间作物的影响。70年代末,国外普遍采用了田间开顶式熏气装置,使大气污染物对田间作物影响的研究在方法上有较大的进展。从而使大气污染物与作物产量之间的剂量-反应关系的研究广泛深入地开展起来。

在我国, SO_2 对作物产量影响的研究报道很少,而且多为高浓度急性伤害的试验结果。目前,我国一些科研单位开始采用开顶式熏气装置研究大气污染物的植物生态效应,以及低浓度长期暴露对作物的影响。这方面的研究工作在农业生产上具有重要意义。它是评价大气污染物对农业的影响和估价农业经济损失费用的基础。它还可以为环境立法和农业环境监测提供可靠的科学依据。

有关 SO_2 对大豆产量的影响也有不少报道。美国马里兰州Beltsville农业研究中心的植物病理学家Howard E. Heggested指出(李仲贤,1984),受到 O_3 和 SO_2 污染的空气,至少会使大豆的产量减少15%。他们的试验结果表明,当空气中含有0.03ppm时还不致影响大豆的产量。但是当植株每天在含有0.1ppm SO_2 中暴露4小时,收获量减少15%。Peter等人(1984)用品种“Hark”所做的试验结果证明,大豆植株在含有0.06ppm和0.11ppm SO_2 中,每天暴露5小时,共16天,使籽粒的干物质重量减少4—7%,0.11ppm SO_2 还使单株产量和每公顷产量降低7—12%,但与对照相比未达到显著差异的程度。Allen等人(1974)用品种“Dare”所做的试验证明,出苗后14天的大豆植株暴露在0.1ppm SO_2 中,每天熏气6小时,分别暴露43、92、133天, SO_2 对供试大豆植株没有产生明显的叶片伤害,对生长和产量也没有产生明显的影响。从上述的研究结果可以看出,低浓度 SO_2 对大豆产量的影响与供

试品种的遗传特性密切相关。

我们于1983年和1984年分别研究了SO₂对大豆品种“石系378”和“密荚黄”结实的影响。并通过SO₂对“密荚黄”花粉在柱头上萌发的影响和对花粉粒伤害作用的观察,进一步探讨SO₂影响大豆结实的原因。

一、材 料 和 方 法

该试验在本所试验场地进行。

供试大豆品种: 1983年为“石系378”。种子由天津市作物研究所提供。1984年为“密荚黄”。种子由天津市静海县种子公司提供。两个供试品种均为夏播品种。

栽培条件: 盆栽。种子播种在土量相等的盆中。试验用土为4份农田土壤和1份蚯蚓粪充分混匀。一般管理条件。

熏气设备: 采用田间开顶式熏气装置。进入熏气罩内的空气经活性炭过滤。按所需浓度加一定量SO₂。SO₂由液化钢瓶减压供气。流量调节阀控制。SO₂浓度用KZL-SO₂监测仪测定。

熏气处理: 两年的试验均分为长期熏气处理, 即由第一片复叶完全展开到终花期结束, 苗期熏气处理, 即由第一片复叶完全展开到始花期; 花期熏气处理, 由始花期到终花期结束。各处理的SO₂浓度、剂量和熏气时数如下:

1983年供试品种“石系378”

处 理	浓 度 (ppm)	熏气持续时间	剂 量 (ppm·小时)	处理 盆数
对照长	0	每天3小时, 共23天	0	7
I 长	0.25	每天3小时, 共23天	17.25	7
II 长	0.35	每天3小时, 共23天	24.15	7
对照苗	0	每天3小时, 共15天	0	6
I 苗	0.25	每天3小时, 共15天	11.25	6
II 苗	0.35	每天3小时, 共15天	15.75	6
对照花	0	每天3小时, 共10天	0	10
I 花	0.35	每天3小时, 共10天	10.5	10
II 花	1.0	每天3小时, 共10天	30.0	10
III 花	1.5	每天3小时, 共10天	45.0	10

1984年供试品种“密荚黄”

处 理	浓 度 (ppm)	熏气持续时间	剂 量 (ppm·小时)	处理 盆数
对照	0	每天3小时, 共31天	0	10
I 长	0.16	每天3小时, 共31天	14.88	10
I 苗	0.36	每天3小时, 共19天	20.52	10
II 苗	0.61	每天3小时, 共19天	34.77	10
I 花	0.36	每天3小时, 共13天	14.04	10
II 花	0.61	每天3小时, 共13天	23.79	10

二、结 果 和 讨 论

1. SO₂熏气处理对大豆结实的影响

大豆结实过程是一个复杂的有性繁殖过程。它包括花芽及花器的分化、性细胞的分化、授粉、结荚和籽粒形成等。每一个过程对环境条件都有特殊的要求。一些不利的环境因素都会影响有性繁殖过程, 进而影响籽粒产量。SO₂熏气处理, 一方面可以对作物的生长发育和结实产生一定的毒害作用; 另一方面SO₂中的S元素又是作物生长发育所必需的大量元素之

一。从某种意义上讲,通过叶片吸收 SO_2 对结实所产生的影响,可以被看作是 SO_2 的有害作用和有益作用相互平衡的结果。

SO_2 对大豆“石系378”和“密荚黄”结实影响的试验结果列在表1、2和图1中。

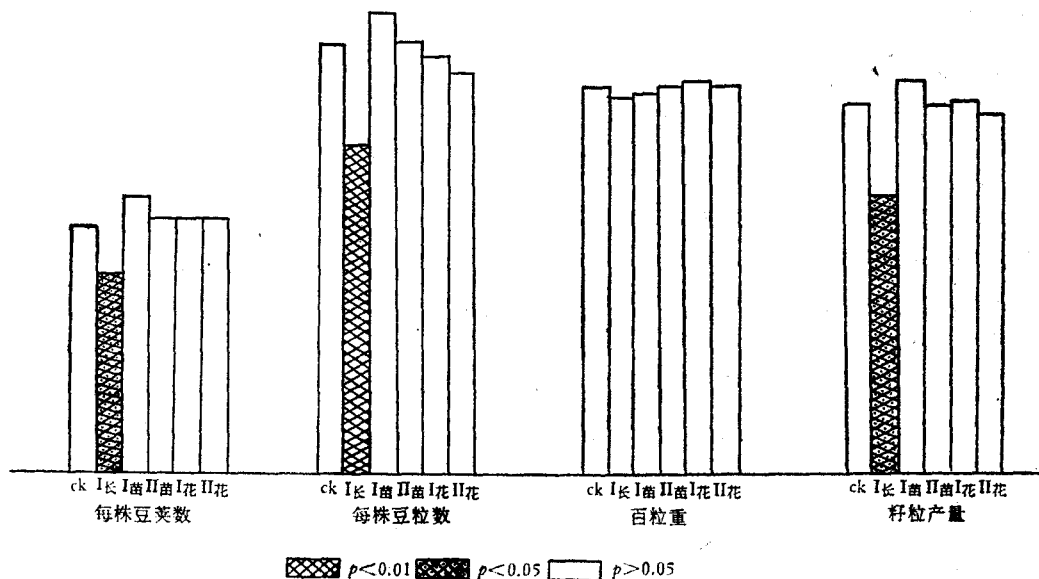


图1 各熏气处理对“密荚黄”各产量因子的影响

fig.1 effects of SO_2 fumigation treatments on “mijiahuang” yield elements

1) 不同生长发育阶段熏气处理对结实的影响 从表1、2和图1中可以清楚地看出,长期熏气处理、苗期熏气处理和花期熏气处理对供试品种结实的影响是不同的。长期熏气处理对结实和籽粒产量影响较大。较高浓度的花期熏气处理对结实和籽粒产量稍有影响,与对

表1 SO_2 对“石系378”结实的影响

table 1 effect of SO_2 on “shixi378” bearing

处 理	豆 荚 数		籽 粒 数			百粒重	籽粒重量
	总数/处理	荚数/株	总数/处理	粒数/株	粒数/荚	(克)	(克)
ck长	209	4.98	349	8.31	1.67	6.33	22.1
I 长	192	4.80	333	8.33	1.73	6.85	22.8
II 长	196	4.17 ¹⁾	293	6.23	1.50	6.25	18.3
ck苗	210	5.68	321	8.68	1.53	6.17	19.8
I 苗	199	5.53	294	8.17	1.48	8.20	24.1
II 苗	186	5.31	304	8.69	1.63	8.33	25.3
ck花	388	6.06	660	10.31	1.70	6.00	39.6
I 花	380	6.33	688	11.47	1.81	6.61	45.5
II 花	361	6.02	584	9.73	1.62	6.37	37.0
III 花	375	6.36	581	9.85	1.55	5.54	32.3

1) 与对照相比, $p < 0.01$

表2 SO₂对“密荚黄”结实的影响
table 2. effect of SO₂ on “mijiahuang” bearing

处 理	豆 荚 数		籽 粒 数			百 粒 重 (克)	籽 粒 重 量 (克)
	总数/处理	荚数/株	总数/处理	粒数/株	粒数/荚		
ck	577	9.61	1004	16.3	1.74	14.7	141.3
I 长	442	7.62 ¹⁾	759	12.7 ²⁾	1.72	14.0	106.5 ¹⁾
I 苗	625	10.60	1051	17.8	1.74	14.3	149.9
II 苗	565	9.74	959	16.5	1.70	14.6	140.6
I 花	579	9.65	957	16.0	1.65	14.8	147.5
II 花	596	9.77	954	15.6	1.60	14.5	138.2

1) 与对照相比, $p < 0.05$; 2) 与对照相比, $p < 0.01$

照相比未达到显著差异的程度。苗期熏气处理对结实和籽粒产量均未产生不良影响。长期熏气处理使单株豆荚数和单株豆粒数减少, 而对单荚豆粒数没有产生明显的影响。说明长期熏气处理影响籽粒产量的主要原因是由于豆荚数减少造成的。花期熏气处理使单株豆粒数和单荚豆粒数减少, 对单株豆荚数没有明显影响。说明单株豆籽数减少是由单荚豆粒数减少造成的。这与SO₂影响受精过程直接有关。在该试验中, 除了“石系378”花期熏气处理Ⅲ花使百粒重, 即籽粒干物质重量有所减少外, 其他各处理对籽粒干物质重量没有明显影响。Peter等(1984)的试验结果表明, 在豆荚数、籽粒数和籽粒干物质重量诸产量因子中, SO₂对籽粒干物质重量的影响最明显。但他们没有明确指出熏气时供试植株所处的生长发育时期, 仅指出在播种后两个半月进行熏气处理。我们估计此时供试植株已处于生长发育的后期。Allen等(1974)的试验结果表明, SO₂熏气处理对豆荚数、籽粒数和籽粒干物质重量均未产生明显的影响。我们的试验结果尚不能说明SO₂对籽粒干物质重量产生什么样的影响, 因为我们没有进行大豆籽粒形成过程(鼓粒)时的熏气处理。

当比较表1、2时, 可以看出, 供试品种“石系378”和“密荚黄”的结实对SO₂伤害反应的敏感性不同。前者长期熏气处理的SO₂剂量大于后者, 但前者籽粒产量降低的幅度却小于后者。这说明供试品种的遗传特性使其对SO₂伤害反应的敏感性产生明显的差异。我们认为, Peter等与Allen等得出不同的试验结果与供试品种的遗传特性直接有关。因此, 在评价大气污染物对田间作物的危害时, 不仅要考虑作物的种类, 而且要考虑作物的品种。

当比较各熏气处理的SO₂剂量时, 可以进一步说明在该试验中不同生长发育时期熏气处理对供试品种的结实与籽粒产量的不同影响, 与所采用的SO₂剂量关系不大, 而是各生长发育阶段对SO₂伤害反应敏感性的差异造成。现以“密荚黄”为例加以说明。各熏气处理SO₂剂量(浓度×时数)如下:

$$\text{I 长} \quad d = c \cdot t = 14.88 \text{ppm} \cdot \text{小时}$$

$$\text{I 苗} \quad d = c \cdot t = 20.52 \text{ppm} \cdot \text{小时}$$

$$\text{II 苗} \quad d = c \cdot t = 34.77 \text{ppm} \cdot \text{小时}$$

$$\text{I 花} \quad d = c \cdot t = 14.04 \text{ppm} \cdot \text{小时}$$

$$\text{II 花} \quad d = c \cdot t = 23.79 \text{ppm} \cdot \text{小时}$$

从剂量的比较可以看出, 苗期熏气处理的剂量明显地大于长期熏气处理和花期熏气处理, II 花的剂量大于 I 长。但从对结实的影响来看(表 2), 则恰恰相反。长期熏气处理的危害程度大于花期熏气处理, 而苗期熏气处理则没有产生有害的影响。试验结果充分说明, 就 SO_2 对供试品种结实的影响而言, 植株不同的生长发育阶段对 SO_2 的伤害反应存在很大的差异。苗期对 SO_2 的抗性明显地大于花期。从第一片复叶展开到终花期结束的长期熏气处理, 尽管 SO_2 的剂量较小, 而损伤毒性则较大。这一试验结果无论在农业生产上, 或是在评价大气污染物对田间作物的影响上都具有一定的意义。我们不仅要了解作物的敏感时期, 在敏感期尽量控制 SO_2 的排放量, 以降低其环境浓度, 减轻对田间作物的危害。更重要的是在污染区要特别重视低浓度长期暴露给农业生产和农业生态系统带来的危害。

2) 不同发育时期对 SO_2 敏感性差异原因的探讨 为什么不同生长发育时期的熏气处理会对供试品种的结实产生不同的影响呢? 深入探讨各生长发育时期对 SO_2 敏感性的原因, 将有助于进一步寻求有益的防治对策, 减轻 SO_2 对作物的危害。

在该试验中, 长期熏气处理由于 SO_2 剂量低, 所产生的叶片伤害症状的严重程度和伤害面积不及其他处理。因而该处理对结实的影响不能用叶片光合面积的减少和光合强度的减弱来解释。根据我们以前用小麦所做的试验结果(张耀民, 1982a、b), 我们认为, 长期熏气处理的毒害作用是由于对花芽分化、性细胞分化、授粉和受精过程连续影响的结果。苗期熏气处理对结实未表现出毒害作用, 是由于该熏气处理在始花期已结束, 雌雄性细胞分化、授粉和受精过程没有受到 SO_2 的直接伤害。花期熏气处理仅影响到授粉和受精过程, 未影响花芽分化和性细胞分化。在该处理中尽管花期熏气处理的 SO_2 剂量大于长期熏气处理, 但它仅使每个豆荚中的籽粒数稍有减少, 说明对受精过程只产生了轻微的影响。说明成熟的性细胞对 SO_2 的毒害作用具有一定的忍受能力。

为了更清楚地说明不同生长发育时期熏气处理, 对大豆结实产生不同影响的原因, 图 2 表示了各熏气处理与大豆的花芽分化、性细胞分化和授粉、受精过程相对应的时期。

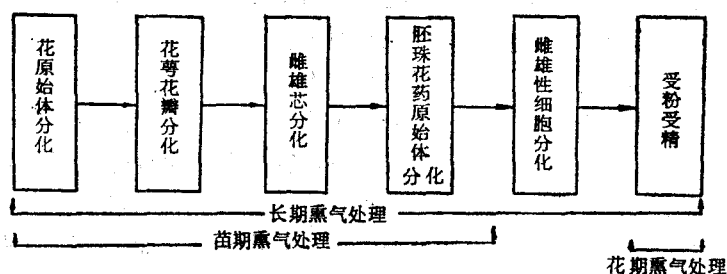


图 2 各熏气处理与大豆花芽、性细胞分化和授粉、受精过程相对应的时期
fig. 2 Corresponding periods between fumigation treatments and sexual organs and cells differentiation

我们采用石蜡切片, 铁矾-苏木精染色观察成熟花粉粒的退化情况。采用酚品红染色观察花粉粒在柱头上的萌发情况。观察结果为我们上述看法提供了证据。表 3 表示了各熏气处理对花粉粒在柱头上萌发的影响和对花粉粒的伤害作用。

所谓退化花粉粒包括两种伤害类型。一种类型是铁矾-苏木精染色着色很淡, 有的花粉粒细胞质呈疏松的颗粒状, 或处于退化解体状态。另一种类型是花粉粒明显皱缩, 细胞质固

表3 SO₂对“密荚黄”花粉的伤害作用
table 3 injury of SO₂ to “mijiahuang” pollen grains

处 理	花 粉 粒 在 柱 头 上 萌 发 情 况	退化花粉粒(%)
ck	花粉粒形态正常, 萌发正常	8.2
I 长	花粉粒形态大小不一致, 一定数量花粉粒体积增大, 萌发受到抑制	32.2
I 苗	花粉粒形态基本正常, 萌发正常	9.0
II 苗	花粉粒形态基本正常, 萌发正常	12.9
I 花	花粉粒形态大小不一致, 有的花粉粒增大, 有的破裂, 萌发受到抑制	29.8
II 花	花粉粒形态大小不一致, 部分花粉粒明显皱缩, 萌发受到抑制	48.0

缩呈团块状。前者可被看作是慢性伤害的特点; 后者为急性伤害的特点。长期熏气处理主要表现为慢性伤害。退化花粉粒的数目明显地高于对照。该熏气处理还使部分花粉粒解体, 仅留下难以计数的残留部分。实际上该熏气处理退化花粉粒的比例要高于32.2%。花期熏气处理主要表现为急性伤害。苗期熏气处理未表现出明显的伤害效应。

这一试验结果与我们已报道的试验结果相一致(张耀民, 1982a,b)。我们用小麦做的试验结果表明, 低浓度SO₂长期熏气处理对小麦雌雄性细胞的分化和受精过程均有明显的伤害作用。它使相当数量的花粉粒退化解体, 使一些卵细胞和极核明显受害, 丧失了正常的受精能力。在小麦雌雄性细胞的分化过程中, 有两个时期对低浓度SO₂异常敏感。一是花粉粒发育至单核靠后期, 一是卵器出现时期。这两个时期都是生殖细胞将要形成或刚刚形成的时期。说明年幼的性细胞对SO₂的伤害非常敏感。低浓度SO₂对大豆性细胞分化和受精过程的影响, 有待进一步深入研究。

2. 有性繁殖过程和叶片对SO₂伤害反应的差异

试验结果表明, 除“密荚黄”长期熏气处理外, 其他各熏气处理对两个供试品种的籽粒产量均未产生明显的影响。说明供试品种的有性繁殖过程对低浓度SO₂并不十分敏感。但是在试验过程中发现, 供试植株的叶片对相同剂量的SO₂的伤害反应却比较敏感。各熏气处理均使供试植株产生明显的叶片伤害症状(表4)。

从表4中可以看出, SO₂熏气处理对籽粒产量的影响与叶片伤害症状之间没有直接的相关关系。叶片对SO₂的伤害反应比有性繁殖过程敏感。I 长明显地降低了籽粒产量, 而叶片伤害程度最轻。II 苗、II 花的叶片伤害程度最重, 而籽粒产量却未受到影响。这充分说明, 叶片伤害程度不能作为SO₂对作物产量影响的评价

表4 各熏气处理对“密荚黄”籽粒产量的影响和叶片伤害程度
table 4 effects of SO₂ fumigation treatments on “mijiahuang” bearing and injurious extent of leaf

处 理	籽粒产量(克)	叶片伤害特征	叶片伤害程度(目测)
ck	141.3	无伤害症状	0
I 长	106.5	慢性伤害症状	+
I 苗	149.9	急性伤害症状	++
II 苗	140.6	急性伤害症状	+++
I 花	147.5	急性伤害症状	++
II 花	138.2	急性伤害症状	+++

* + 叶片伤害面积 < 10%; ** < 20%; *** > 20%

指标。我们以前的试验结果已经证明(张耀民, 1982a、b), SO_2 的剂量在不引起小麦叶片伤害的情况下, 对性细胞分化和受精过程已产生明显的伤害作用。这说明不同作物的有性繁殖过程和叶片对 SO_2 伤害反应的敏感性是不同的。有的作物叶片伤害阈值大于减产阈值, 有的作物则呈现出相反的情况。

关于叶片伤害症状和产量损失之间的关系, 在大气污染对作物影响的早期研究中, 存在着两种截然不同的看法。Stoklasa, Julius提倡不可见伤害论(谷山铁郎等, 1971), 认为即使在不引起作物叶、茎、果实等产生可见伤害症状的 SO_2 浓度下, 也会对作物的光合作用等生理过程产生不良的影响, 进而影响作物的生长发育和产量。Thomas和Hill等主张可见伤害论, 认为只有在茎、叶上发生了 SO_2 特有的伤害症状, 作物的生长发育和产量才有可能受到影响。在可见伤害论的影响下, 不少学者以叶片伤害症状作为作物受害程度的判断指标。近年来的研究结果(Neumann, 1982)充分证明, 不可见伤害是存在的。叶片伤害症状不是一个可靠的评价指标, 它与产量之间不一定有直接的相关关系, 即产生可见的叶片伤害症状产量不一定降低, 反之, 不产生可见的叶片伤害症状也可能减产。小麦按叶片伤害症状划分是抗氟化氢的, 但其有性繁殖过程对氟化氢却很敏感。深入开展这方面的研究工作, 将为评价大气污染物对田间作物和农业生态系统的影响, 估价农业经济损失及污染区的作物区划提供可靠的科学依据。

三、小 结

1. 不同生长发育时期的熏气处理对供试大豆品种的结实表现出不同的影响效果。从第一片复叶完全展开到终花期结束的长期熏气处理对结实影响明显, 使籽粒重量减少。花期熏气处理仅使单荚豆粒数减少, 籽粒重量无明显变化。苗期熏气处理对大豆结实未产生任何不良影响。两个供试品种的结实对 SO_2 的伤害反应不同。这与供试品种的遗传特性有关。

2. 不同生长发育时期熏气处理对大豆结实影响的差异, 与 SO_2 剂量无直接关系。其主要原因是各生长发育时期对 SO_2 伤害反应敏感性的不同。

3. 长期熏气处理和花期熏气处理明显地抑制花粉粒在柱头上的萌发, 并使一定数量的花粉粒退化解体。

4. 供试大豆品种的结实和叶片对 SO_2 的伤害反应不同。叶片伤害程度与籽粒产量无直接关系。因此, 叶片伤害症状不能作为评价大气污染物对田间作物产量影响的可靠指标。

参 考 文 献

- 李仲贤 1984 空气污染会影响大豆收成. 农业环境保护(5):28.
张耀民等 1982a 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 I. 农业环境保护(1):13—18.
—— 1982b 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 II. 农业环境保护(3):6—10.
Heagle, A. S. et al. 1974 Injury and yield responses of soybean to chronic doses of ozone and sulfur dioxide in the field. *Phytopathology* 64(1):132—136.
Neumann, H. H. 1982 Recent developments in research on air pollution and plant injury. *Agricultural Meteorology CAGM Report* 9:5—6.
Reich, P. B. and Amundson, R. G. 1984 Low level O_3 and/or SO_2 exposure causes a linear decline in soybean yield. *Environmental Pollution (series A)* 34 (4):345—356.
谷山铁郎、有门博树 1971 SO_2 长期接触对水稻干物质生产的影响. 植物生态学译丛. 第二集, 第67页. 科学出版社.

THE RESEARCH ON EFFECTS OF SULFUR DIOXIDE ON SOYBEANS BEARING

Zhang Yaomin Wu Liying Fu Kewen Zhang Hongsheng

(Institute of Agro-Environmental Protection, Ministry of Agriculture, Animal Husbandry, and Fishery, Tianjin)

This paper reports the research results of effects of low concentration SO_2 on soybeans bearing. The experimental plants at different vegetation periods were exposed in the open-top chamber. The results indicated that the long-term fumigation had a greater effect on soybeans bearing. It significantly decreased number of pod/per plant and number of seed/per plant, but did not decrease number of seed/per pod. This indicates that less number of pod/per plant results in less number of seed/per plant. The fumigation at blooming period had a less effect. It slightly decreased number of seed/per pod. The fumigation at seedling period had not any adverse effect on bearing. The long-term fumigation and the fumigation at blooming period appeared inhibition to germination of pollen grain on stigma and to prolongation of pollen tube. It also caused degeneration and crinkle of pollen grains before pollination. The different effects of three fumigation treatments on soybeans bearing did not directly relate to SO_2 dosage. The main cause induced the different effects is the difference of sensitivity of vegetation periods to SO_2 injury. The sensitivity of bearing of two experimental cultivars was different to SO_2 injury. This directly relates to genetic characteristics of the cultivars.

The reaction of sexual reproduction and leaf of the experimental cultivars to SO_2 injury is different. The threshold of leaf injury is significantly smaller than the threshold of the reducing yield.