

尿素和包膜尿素对大棚内有害气体浓度变化的影响^{*}

周细红¹ 曾清如^{1,2*} 毛小云³ 张利田² 廖柏寒¹ 铁柏清¹ 廖宗文³

(¹湖南农业大学资源环境学院, 长沙 410128; ²中国科学院生态环境研究中心, 北京 100085; ³华南农业大学资源环境学院, 广州 510642)

【摘要】 通过室内模拟和塑料大棚试验, 研究了普通尿素和矿物改性包膜尿素对土壤 pH 值及大棚内有害气体浓度变化的影响。结果表明, 在室内模拟试验条件下, 两种氮肥施用初期均导致土壤 pH 值上升, 并于 1 周后达到最大值, 上升幅度超过 50%, 随后开始下降, 至第 5 周回到初始水平。大棚内施用两种氮肥均使棚内 NH₃、NO₂ 和 O₃ 浓度增加, 其中施用普通尿素处理的 NH₃、NO₂ 日均挥发量均大于矿物改性包膜尿素; 施用普通尿素处理使大棚内土壤的 NH₃、棚内 NO₂ 和 O₃ 的最高浓度达到 42.36、41.95 和 86.00 μg·m⁻³·d⁻¹, 3 种气体浓度均达到了有害气体伤害植物的临界阈值; NH₃、NO₂ 挥发强度受棚温和光照强度的影响, O₃ 浓度随光照强度变化而改变。

关键词 尿素 包膜尿素 pH 值 有害气体浓度 大棚

文章编号 1001-9332(2006)09-1604-05 中图分类号 S143.1 文献标识码 A

Effects of urea and coated urea on harmful gases concentrations in plastic greenhouse ZHOU Xihong¹, ZENG Qingru^{1,2}, MAO Xiaoyun³, ZHANG Litian², LIAO Bohan¹, TIE Baiqing¹, LIAO Zongwen³ (¹College of Resource and Environment, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China; ²Research Center for Eco-Environment Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China; ³College of Resources and Environment, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China). -*Chin. J. Appl. Ecol.*, 2006 17(9): 1604~1608

With simulation test and plastic greenhouse experiment, this paper studied the effects of urea and minerals coated urea on the soil pH and harmful gases concentrations in plastic greenhouse. The results showed that under simulated condition, the application of these two N fertilizers led to an initial increase of soil pH, which reached the maximum (an increment of >50%) within the first week and dropped to the initial level by the end of the fifth week. In plastic greenhouse, applying urea and coated urea resulted in the increase of NH₃, NO₂ and O₃ concentrations. The daily volatilization amount of NH₃ and NO₂ was higher in urea treatment than in coated urea treatment, and the highest value in urea treatment was 42.36 μg·m⁻³·d⁻¹ for NH₃, 41.95 μg·m⁻³·d⁻¹ for NO₂ and 86.00 μg·m⁻³·d⁻¹ for O₃. The volatilization intensity of NH₃ and NO₂ was influenced by temperature and sunlight, while the O₃ concentration was influenced by sunlight.

Key words Urea, Coated urea, pH, Harmful gases concentration, Plastic greenhouse

1 引言

近年来,我国的大棚种植业得到了迅速的发展,已成为我国农业生产的一个重要方面。由于大棚是一个近乎封闭的生态系统,其环境条件如光照、温度、湿度、气体条件和土壤营养条件等有特殊的变化规律,且受人为因素的强烈干扰,因而产生了与露地生态系统不同的环境问题,而这些问题的产生与大棚内氮肥的施用密切相关。大棚内施用氮肥主要引起两方面的环境问题,一方面可在短时间内(2~5年)引起土壤的盐碱化^[13,22,28];另一方面,大棚中氮过剩可引起有害气体积累并导致植物生理危害。国内外学者已对有关大气污染物对露地植物的伤害问题开展了深入的研究^[14,2,17]。但有关设施内氮肥施用所引起的气体污染问题的研究报道较少^[25,29]。本文

通过室内模拟及大棚试验,研究了施用普通尿素和矿物改性包膜尿素两种氮肥对大棚内土壤 pH 值和 NH₃、NO₂、O₃ 等有害气体挥发的影响,为缓释肥的筛选和大棚生态环境的改善提供理论依据。

2 材料与方法

2.1 供试材料

大棚试验设在湖南长沙郊区湖南农业大学蔬菜基地,土壤类型为冲积菜园土;室内模拟试验的土壤取自大棚试验的蔬菜基地(前茬作物是莴苣)。土壤理化性状为 pH 5.78,有机质含量 24.30 g·kg⁻¹,阳离子交换量(CEC) 8.92 cmol·kg⁻¹,碱解氮为 112 mg·kg⁻¹,脲酶活性 45.92 mg·kg⁻¹。

*国家自然科学基金项目(40271110)和国家“863”计划资助项目(2001AA246023)。

**通讯联系人。E-mail: qizeng@163.com

2005-08-11 收稿,2006-07-05 接受。

h^{-1} . 测定方法参照《土壤农业化学分析方法》^[14]. 供试氮肥为普通尿素 A (含 N 46%) 和矿物改性包膜尿素 B (含 N 25.5%), 由华南农业大学新肥料研究所提供. 供试作物为辣椒 (*Capsicum annuum* L.) 湘研 1 号.

2.2 研究方法

2.2.1 氮肥对土壤 pH 变化和 NH_3 释放的影响 将从蔬菜基地采集的土壤样品风干, 过 2 mm 筛. 称取 300 g 风干土样于培养皿中 (15 cm), 分别加入相当于含尿素 20 mmol kg^{-1} 土的两种植物, 充分混匀, 然后加 30 ml 蒸馏水, 使其保持湿润. 放入干燥器 (18 cm) 中, 旁边放置 1 个内盛 10 ml 3% 硼酸的 100 ml 小烧杯, 用碱性甘油密封干燥器, 在室温下培养. 1 周取样 1 次, 以甲基橙-溴甲酚绿作指示剂, 用 0.02 mol \cdot L^{-1} H_2SO_4 标准溶液滴定, 测定 NH_3 的周挥发量, 连续测定 5 周. 同时取相当于风干土 5 g 的土样按水土比为 5:1 的比例测定其 pH 值, 3 次重复.

2.2.2 不同施肥处理下塑料大棚内 NH_3 , NO_2 和 O_3 动态变化 设置大棚外 (不施肥, I)、大棚内对照 (不施肥, II)、大棚内施矿物改性包膜尿素 (III)、大棚内施普通尿素 (IV) 4 个处理. 用聚乙烯膜建成 3 个规格为 6 m 长、3 m 宽、3 m 高的塑料大棚. 2003 年 11 月 22 日施入尿素, 施肥水平为 450 $\text{kg N} \cdot \text{hm}^{-2}$, 同时施入磷肥 (P_2O_5 , 360 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)、钾肥 (K_2O 360 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$), 与土壤混和均匀. 施肥当天定植已在育苗盘中长到两叶一心的辣椒苗, 第 2 日开始采样, 隔 1 d 采样 1 次, 采样 12 次后, 改为隔 4~7 d 采样 1 次, 试验持续 44 d 每次采样后揭膜通风, 定量浇水. 采用被动扩散式采样器^[4] (中国科学院生态环境研究中心研制) 采样, 将其用双面胶黏附于距地面 1.5 m 处的大棚内侧及外侧, 各种气体采样布点两个, 同时测定棚内与棚外的温度并记录天气变化.

NH_3 采用庞淑薇的方法测定^[16]; NO_2 采用盐酸萘乙二胺比色法测定^[3]; O_3 采用汤灿的方法测定^[21].

3 结果与分析

3.1 封闭条件下施用氮肥后土壤的 pH 值变化和 NH_3 释放特性

从图 1a 可以看出, 施肥 1 周后两种处理的土壤 pH 值均显著升高并达到最大值, A 处理的土壤 pH 由 5.7 上升到 8.84 B 处理的土壤 pH 由 5.7 上升到 8.75 上升幅度均超过 50%. 1 周后 pH 呈下降趋势, 下降的幅度和速度因尿素品种而异, B 处理 pH 比 A 处理下降速度快, 下降幅度大, 到第 5 周时 A 处理土壤的 pH 值高于 B 处理. 两种处理的土壤 pH 值在第 2~4 周下降速度较快, 4~5 周下降幅度趋缓, 这表明硝化作用主要集中在第 2~4 周.

从图 1b 可以看出, 普通尿素第 1 周 NH_3 挥发量最大, 约占试验周期 NH_3 挥发总量的 55.7%, 之后呈下降趋势, 与施尿素后土壤 pH 值的变化同步;

而矿物改性包膜尿素是第 2 周 NH_3 挥发量最大, 约占试验周期 NH_3 挥发总量的 54.4%, 第 1 周次之. 5 周内普通尿素的 NH_3 挥发总量显著大于矿物改性包膜尿素, 可见, 土壤 pH 值下降速度与 NH_3 挥发强度呈负相关. 施入矿物改性包膜尿素后, 土壤 pH 值保持在较低的水平, 且 NH_3 挥发总量小于普通尿素处理 (为普通尿素的 70%~80%), 在前 2 周内 NH_3 挥发较均衡, NH_3 周挥发量的峰值是普通尿素的 48%, 因此, 矿物改性包膜尿素比普通尿素产生急性氨害的可能性要小些.

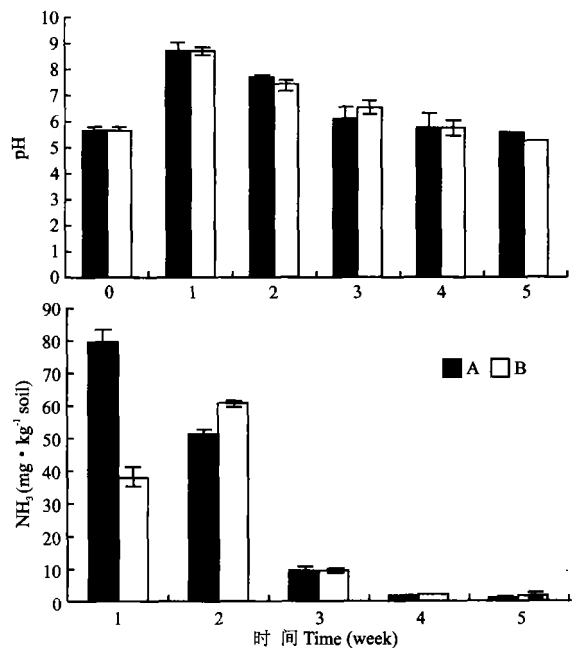


图 1 施入不同品种尿素后土壤 pH 及 NH_3 挥发的周变化
Fig 1 Changes of soils pH and volatilization of ammonia over weeks by applying different types of urea
A 普通尿素 Urea B 矿物改性包膜尿素 Mineral coated urea. 下同 The same below.

3.2 施用氮肥后大棚内土壤的 NH_3 浓度变化

从表 1 可知, NH_3 在大气中的本底值为日均 10.80 $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$, NH_3 浓度随气温的降低呈下降趋势, 最低值发生在气温最低的 12 月 7 日和有雨雪的 12 月 23 日, NH_3 挥发量为 6~7 $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$, 低于棚内不施肥处理. 大棚内不施肥处理的 NH_3 日均浓度及总量均高于大棚外, 这是由棚内气温高于棚外且大棚近乎封闭的特点造成的. 在大棚中, 施肥处理的 NH_3 浓度显著高于不施肥处理, 施用普通尿素后 NH_3 浓度明显上升, 第 1 天 (11 月 23 日) NH_3 浓度是大气本底值的 2 倍, 第 5 天 (11 月 27 日) 达到峰值, 接近大气本底值的 4 倍, 5 d 后开始下降, 但日挥发量始终高于其它处理, 到第 44 天 (1 月 5 日) 才接近其它处理. 施用矿物改性包膜尿素后, NH_3 浓度的

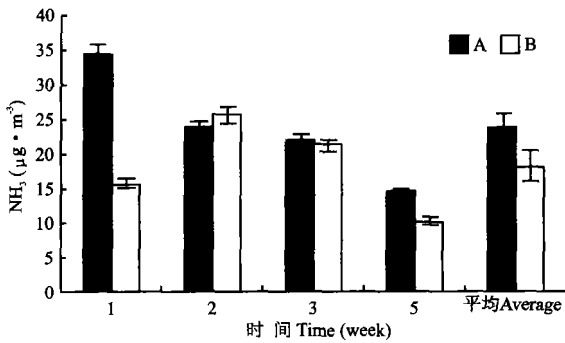


图 2 施用不同尿素品种后大棚内土壤 NH₃ 挥发的周变化

Fig 2 Concentration changes of soil ammonia over weeks after applying different types of urea in plastic house ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$).

变化趋势与普通尿素相同,但上升速度明显慢于普通尿素处理,直到第 13 天(12 月 5 日)才达到峰值,且只有大气本底值的 1 倍多,此过程中 NH₃ 浓度日挥发量高于大棚内不施肥处理,低于普通尿素处理,到第 31 天(12 月 23 日)与不施肥处理接近,但低于普通尿素处理.图 2 反映了大棚中施入尿素和矿物改性包膜尿素后 NH₃ 挥发的周变化状况.从图中可以看出,施入尿素和矿物改性包膜尿素的 NH₃ 挥发情况与室内模拟结果有着相同的变化趋势,即尿素施入后的第 1 周浓度最高,随后下降,而矿物改性包膜尿素施入后的第 2 周浓度最高,为尿素最高浓度的 74%. 5 周后矿物改性包膜尿素处理的 NH₃ 挥发浓度平均值为普通尿素的 76%.

3.3 施用氮肥后大棚内 NO₂ 浓度变化

从表 1 可知,大棚外 NO₂ 大气本底值的日均浓

表 1 大棚内 NH₃、NO₂、O₃ 浓度变化情况

Table 1 Concentration changes of NH₃, NO₂, O₃ in plastic house ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)

采样时间 Sampling date	天气 Weather	棚内气温 Indoor temperature (°C)	棚外气温 Outdoor temperature (°C)	NH ₃				NO ₂				O ₃			
				I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
11.23	晴转阴 Intermittent clouds	30	15	11.07	12.91	14.10	28.20	11.34	10.53	11.53	24.15	34.24	66.34	64.20	67.82
11.25	晴 Sunny	25	16	12.45	12.52	15.10	37.89	12.97	16.85	15.32	25.29	53.11	83.00	80.47	86.00
11.27	晴转阴 Intermittent clouds	25	18	12.70	13.59	14.95	42.36	13.40	17.62	16.86	21.07	80.93	118.87	93.58	83.46
11.29	晴转雨 Intermittent rain	22	15	13.70	13.70	19.31	29.93	20.11	19.15	22.99	24.14	10.11	17.70	26.80	22.76
12.01	阴转雨 Showers	22	13	11.84	11.83	23.24	30.52	19.16	14.37	15.13	31.61	17.70	22.76	35.41	35.41
12.03	阴转晴 Intermittent sunny	23	15	13.08	18.84	25.53	21.18	12.74	15.90	27.00	41.95	37.94	60.70	40.47	80.93
12.05	小雨 Rain	18	10	17.28	17.30	29.59	25.03	22.54	13.56	22.72	24.19	14.52	20.23	24.52	33.87
12.07	中雨 Rain	10	4	7.16	11.21	24.29	19.06	11.30	9.77	10.83	14.75	29.08	67.73	43.55	53.22
12.09	晴 Sunny	20	8	12.21	19.36	25.62	25.32	10.99	8.79	16.12	31.15	40.47	48.05	63.23	68.05
12.11	晴转雨 Showers	18	7	9.83	10.87	18.47	17.58	17.59	8.42	17.59	19.05	38.71	55.64	53.22	53.22
12.15	阴 Clouds	20	12	11.52	17.91	23.67	24.13	20.49	12.26	19.16	34.86	27.82	50.58	48.05	53.00
12.19	雨 Rain	18	10	7.15	14.00	17.13	21.75	16.49	11.91	15.94	22.54	19.35	26.61	53.22	33.87
12.23	雨 Rain	15	7	6.18	12.45	13.97	18.42	13.27	9.86	21.34	23.49	12.10	58.06	59.35	58.06
12.30	阴转晴 Intermittent sunny	14	7	8.04	8.63	9.06	16.43	13.74	10.08	22.90	26.57	30.78	75.77	71.27	78.14
1.05	雨转雪 Rain to snow	12	6	7.20	8.01	8.07	8.99	13.02	9.41	19.16	19.16	20.23	50.58	60.35	83.46
日均 Average				10.80	13.54	18.79	24.47	15.28	12.57	18.31	25.60	31.14	54.84	54.51	59.42

I. 大气本底值 Background II. 不施肥 Non fertilizer III. 矿物改性包膜尿素 Mineral coated urea IV. 普通尿素 Urea

度为 $15.28 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 高于棚内不施肥处理, 这是由于大棚内湿度大, 在棚内壁的结露将 NO₂ 溶解为亚硝酸, 降低了大棚内的 NO₂ 浓度. 而棚内施肥处理的 NO₂ 浓度均大于不施肥处理, 施入普通尿素后第 1 天(11 月 23 日)NO₂ 浓度就达 $24.15 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (这天为试验过程中室温最高的一天), 至第 11 天(12 月 3 日)达到峰值, 比氨挥发浓度的峰值推迟了 6 d 是不施肥处理的 2.3 倍. 施普通尿素处理的日 NO₂ 浓度一直高于施用矿物改性包膜尿素处理, 其 NO₂ 平均浓度为 $25.6 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 是施用矿物改性包膜尿素处理的 1.4 倍, 是大棚内不施肥处理的 2 倍. 施用矿物改性包膜尿素后, NO₂ 浓度在开始时增加不明显, 到施肥后的第 11 天达到峰值 ($27 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), 为大棚内不施肥处理的 1.7 倍. 受室温和天气的影响, 普通尿素 NO₂ 高浓度一般出现在晴天或温度较高的时候(12 月 3、9、15 日), 最低值出现在 12 月 7 日, 此时大棚内温度只有 10 °C, 矿物改性包膜尿素也受室温和天气影响, 但浓度在低于普通尿素处理的范围内变化.

3.4 施用氮肥后大棚内 O₃ 浓度变化

从表 1 可知, 大棚外 O₃ 浓度大气本底值(日均浓度为 $51.1 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)低于棚内各个处理, 大棚内外 O₃ 浓度的变化受温度影响不明显, 高浓度一般都出现在晴天(11 月 27 日、12 月 3 日、12 月 9 日及 12 月 30 日); 棚内各处理 O₃ 浓度差异不明显.

4 讨 论

室内模拟试验表明, 两种氮肥施入土壤后将引起土壤 pH 值在短期内大幅度的提高, 这是导致氮肥施入土壤后以 NH_3 挥发形式损失的主要原因. 矿物改性包膜尿素属于包衣尿素, 难溶性的矿物(磷矿粉)在尿素表面形成了一层固态包衣膜, 减少了尿素与土壤的接触面积, 减缓了尿素的溶解速度, 从而降低了氮的释放, 减少了 NH_3 的挥发^[20]. 试验中, 由于普通尿素处理的土壤 NH_3 挥发损失较矿物改性包膜尿素处理的强度大, 残留在土壤中的 NH_4^+ 少, 硝化致酸作用变弱, 因此, 到第 5 周时施用普通尿素土壤的 pH 值高于施用矿物改性包膜尿素. 两种处理的土壤 pH 值在第 2~4 周下降速度较快, 4~5 周下降幅度趋缓, 这一结果与鲁如坤等^[15]的研究结果相符, 即在施肥 10 d 后硝化作用加速进行, 到 30 d 时, 即有 80% 的尿素转化成硝态氮, 从 30 d 开始硝化作用以较慢速度进行. 由于矿物改性包膜尿素施用引起的土壤 pH 改变较普通尿素平缓, 因此其 NH_3 挥发总量只及普通尿素的 70%~80%.

由于塑料大棚内环境近乎封闭, 室温及湿度高于露地, 导致土壤中脲酶活性及微生物活性和数量有所改变^[8 18 24 27], 所以, 在大棚内施用氮肥后, NH_3 、 NO_2 和 O_3 浓度比棚外大气本底值均有不同程度地提高, 3 种气体均产生了积累, 且施用尿素处理提高的幅度大于施用矿物改性包膜尿素. 受室温和天气的影响, 高浓度的大棚 NO_2 一般出现在晴天或温度较高的时候, 这与张福壤^[20]的结论相同. 试验过程中, 施用尿素处理的 NH_3 最高浓度为 $42.36 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ 、 NO_2 最高浓度为 $41.95 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ 、 O_3 最高浓度为 $86.00 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$; 施用矿物改性包膜尿素处理的 O_3 最高浓度为 $93.58 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$, 均达到了有害气体伤害植物的临界阈值^[19], 将引起植物的急性伤害. 而施用矿物改性包膜尿素处理的 NH_3 最高浓度为 $29.59 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ 、 NO_2 最高浓度为 $27.00 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$, 未达到有害气体伤害植物的临界阈值^[19], 不会对植物产生急性伤害.

植物在生长过程中能释放大量的碳氢化合物, 其中主要是异戊二烯和萜类^[7 12], 这类成分复杂的碳氢化合物在大气中活性很强, 在光的作用下易与空气中的 NO_x 反应, 形成光化学烟雾^[5 23]. Duane

等^[6]研究表明, 异戊二烯非常易于氧化, 产生 O_3 和其它有机污染物; Kotzias 等^[11]研究发现, 单萜烯类反应体系中存在 SO_2 和 NO_x , 可促进 H_2SO_4 、 HNO_3 的生成. 由此可见, 植物释放的碳氢化合物是光化学烟雾的重要前体物, O_3 是碳氢化合物与氮氧化物发生光化学反应产生的主要次生污染物, 是光化学氧化剂的主要成分^[10]. 塑料大棚近乎封闭的特殊生态环境使其非常易于积累植物释放的碳氢化合物和 NO_x , 因此就具备了进行光化学反应的原料, 如果外界条件合适(如光照、温度及湿度等), 则极有可能发生严重的光化学烟雾污染. 本试验过程中, NH_3 、 NO_2 的日均浓度并不高, 但大棚内 O_3 浓度高于棚外(施用尿素处理的日平均浓度达 $59.42 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$), 超过植物生长伤害的阈值 ($58.8 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3} \cdot 4 \text{h}^{-1}$ ^[9]), 试验地的辣椒苗叶片上出现了大量的褐色斑点, 将该植物叶片作植物病理检查, 鉴定的结论排除了病害, 确定为 O_3 型污染. O_3 对植物具有很强的毒害作用, 对于高海拔、强日光及干旱地区的日光温室, O_3 所产生的伤害更应引起重视. 而关于塑料大棚内过氧乙酰基硝酸酯(PAN)和其它碳氢化合物的检测及其对温室内植物生长发育的影响还需进一步研究.

矿物改性包膜尿素有特殊的结构, 由核心尿素、增效层和长效层组成, 其包膜控释内层即增效层的主要原料为具有极强保肥性能的物质, 外层长效层(磷矿粉)的主要作用是增强尿素的抗压强度, 以确保包裹了增效层的尿素在土壤中保留较长的时间, 使矿物改性包膜尿素具有缓释、长效、保氮的特性. 大棚内施用矿物改性包膜尿素后, 棚内 NH_3 、 NO_2 、 O_3 等有害气体浓度的增加均低于普通尿素, 这不仅提高了氮素利用率, 更重要的是减轻了大棚内有害气体的危害, 改善了大棚内的植物生长环境.

参考文献

- 1 Adaro G. 1988. Single and interactive of low levels of O_3 , SO_2 and NO_2 on the growth and yield grown potato plants. *Environ Pollut* 53: 171~186
- 2 Chan eides W L, Kasibhata P S, Yienger J *et al* 1994. Growth of continental scale metro agroplexes, regional ozone pollution and world food production. *Science* 264: 74~77
- 3 Chen E T (陈乐恬), Tong Y-Q (佟玉芹). 1994. Determination of nitrogen dioxide from ambient air by passive sampling. *Environ Chen* (环境化学), 13(5): 460~461 (in Chinese)
- 4 Chen E T (陈乐恬), Tong Y-Q (佟玉芹), Zhang B-Z (张宝珠) *et al* 1992. Study on sulphur dioxide passive. *Environ Chen* (环境化学), 11(5): 68~69 (in Chinese)
- 5 Claeysa M, Wang W, Ion A C. *et al* 2004. Formation of secondary organic aerosols from isoprene and its gas phase oxidation products through reaction with hydrogen peroxide. *Atmos Environ* 38: 4039

~4098

- 6 Duane M, Poma B, Remenges D *et al* 2002 Isoprene and its degradation products as strong ozone precursors in Insubria Northern Italy. *Atmos Environ* **36**: 3867~3879
- 7 Guenther A. 2002 The contribution of reactive carbon emissions from vegetation to the carbon balance of terrestrial ecosystems. *Chemosphere* **49**: 837~844
- 8 He W-X (和文祥), Zhu M-E (朱铭毅), Zhang Y-P (张一平). 2001. The effect of temperature on the relationship between Lou soil urease activity and Hg Cd. *Acta Agric Borali Occident Sin* (西北农业学报), **10**(3): 51~55 (in Chinese)
- 9 Hindawi J. 1970. Pollution Injury to Vegetation. U. S. Dept Health, Education and Welfare Publ AP-71, Raleigh N. C.
- 10 Kong G-H (孔国辉). 1985 Air Pollution and Plant. Beijing China Forestry Press (in Chinese)
- 11 Kotzias D, Fytianos G. 1990. Reaction of monoterpenes with ozone, sulfur dioxide and nitrogen dioxide gas phase oxidation of SO₂ and formation of sulfuric acid. *Atmos Environ* **24**: 2127~2132
- 12 Li D-W (李德文), Shi Y (史奕), He X-Y (何兴元). 2005. Research advances in the effects of elevated atmospheric carbon dioxide and ozone on biogenic VOCs emission. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **16**(12): 2454~2458 (in Chinese)
- 13 Li W-Q (李文庆), Luo H-Y (骆洪义), Ding F-S (丁方室), *et al* 1995. Changes of salt in soils from greenhouse. *Soils* (土壤), **27**(4): 203~205 (in Chinese)
- 14 Lu R-K (鲁如坤). 2000. Method of Soil Agricultural Chemical Analysis. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press (in Chinese)
- 15 Lu R-K (鲁如坤), Shi Z-Y (时正元), Lai Q-W (赖庆旺). 1995. A study on degradation of nutrients in red soil III. Translation of urea and ammonium bicarbonate in the red soil. *Chin Soil Sci* (土壤通报), **2**(6): 241~243 (in Chinese)
- 16 Pang S-W (庞叔薇), Tong Y-Q (佟玉芹). 1985. Isolation and determination of gasiform ammonia in atmosphere. *Environ Sci* (环境科学), **6**(6): 70~73 (in Chinese)
- 17 Rich S. 1964. Ozone damage to plants. *Annu Rev Phytopathol* **2**: 253~266
- 18 Sabrawat KL. 1984. Effects of temperature and moisture on urease activity in semi and tropical soil. *Plant Soil* **78**: 401~404
- 19 Seinfeld JH. 1975. Air Pollution: Physical and Chemical Fundamentals. New York: McGraw-Hill Inc.
- 20 Sun K-M (孙克君), Mao X-Y (毛小云), Lu Q-M (卢其明), *et al* 2004. Mitigation effect of several controlled release N fertilizers on ammonia volatilization and related affecting factors. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **15**(12): 2357~2340 (in Chinese)
- 21 Tan C (汤灿), Zeng Q-R (曾清如), Jiang Z-H (蒋朝晖), *et al* 2004. Passive sampling incorporating UV method for measuring ozone concentrations in ambient air. *J Saf Environ* (安全与环境学报), **4**(4): 13~16 (in Chinese)
- 22 Tong Y-W (童有为), Chen D-F (陈淡飞). 1991. Study on the cause and control of secondary salting soils in greenhouses. *Acta Horticult Sin* (园艺学报), **18**(2): 159~162 (in Chinese)
- 23 Tsigaridis K, Kanakidou M. 2002. Importance of volatile organic compounds photochemistry over a forested area in central Greece. *Atmos Environ* **36**: 3137~3146
- 24 Wang S (王珊), Li F-X (李廷轩), Zhang X-Z (张锡洲), *et al* 2005. Study on the changes of the amount of microorganism and microbial biomass carbon in soil of greenhouse cropping. *Chin Agric Sci Bull* (中国农学通报), **21**(4): 198~225 (in Chinese)
- 25 Zeng Q-R (曾清如), Shen J (沈杰), Zhou X-H (周细红), *et al* 2004. Effects of applied urea on accumulation of NH₃ and NO₂ in atmosphere of greenhouses. *J Agr Environ Sci* (农业环境科学学报), **23**(5): 857~860 (in Chinese)
- 26 Zhang F-M (张福墀). 2001. Protected Cultivation. Beijing: China Agricultural University Press. 187~190 (in Chinese)
- 27 Zhang G-G (张光亚), Cheng M-C (陈美慈), Min H (闵航), *et al* 2002. Research of N₂O flux from greenhouse and nitrifier and denitrifier numbers. *Plant Nutr Fertil Sci* (植物营养与肥料学报), **8**(2): 239~243 (in Chinese)
- 28 Zhao F-Y (赵凤艳), Wu F-Z (吴凤芝), Liu D (刘德), *et al* 2000. Study on the basic physical and chemical properties of protected vegetables soils. *Soils Fertil* (土壤肥料), (2): 11~13 (in Chinese)
- 29 Zhou X-H (周细红), Zeng Q-R (曾清如), Jiang Z-H (蒋朝晖), *et al* 2004. Effects of urea on soil pH and the accumulation of NH₃ and NO₂ in a simulated greenhouse. *Chin Soil Sci* (土壤通报), **35**(3): 374~376 (in Chinese)

作者简介 周细红,女,1967年生,硕士,高级实验师。主要从事农业环境保护方向的研究,发表论文20余篇。Tel: 0731-4673501; E-mail: xihongzh@163.com.

责任编辑 张凤丽