

臭氧对作物影响的模型研究概述

郑昌玲 王春乙

(中国气象科学研究院,北京 100081)

摘要 近年来,在大量试验研究的基础上,有关臭氧(O_3)对作物影响的研究重点为如何建立有效的模型,以评估和预测 O_3 对作物产量和农业造成的损失。文中介绍了有关臭氧对作物影响模型的研究概况,将模型分为 3 类:统计模型、光化学模型和机理模型;在分析各类模型局限性的基础上,指出 O_3 对作物影响的模型研究将向模块化、普遍化方向发展,形成综合、全面的模型,并讨论了我国相关研究的发展方向。

关键词 臭氧 农作物 模型

引言

对流层 O_3 是光化学烟雾的最主要成分。近几十年来,由于大量使用化石燃料、含 N 化肥,使大气中 NO_x 、VOCs 剧增,导致大气中 O_3 浓度增加,大气中瞬时的峰值 O_3 浓度可达到 $100 \times 10^{-9} \sim 200 \times 10^{-9}$ ^[1], O_3 污染事件频度和持续时间增加。 O_3 最大浓度一般出现在春末夏初^[2],地表大部分植被都在这个季节生长,因而对农业产生较大影响。

1943 年洛杉矶烟雾事件以来, O_3 对农作物的有害作用普遍受到重视,相关研究活跃起来^[3]。20 世纪 70 年代以来,Heagle 等^[4~6]利用开顶式气室相继开展了 O_3 对农作物影响的试验研究。Miller 等研究了 O_3 和土壤水分胁迫、 O_3 和 SO_2 、 O_3 和 NO_2 的复合效应对农作物的影响和危害^[7~9]。80 年代初,美国农业部 and 环境保护局创建了全国作物损失评价网(National Crop Loss Assessment Network, NCLAN),在全美范围利用农田 OTCs(Open Top Chambers),使用标准统一的试验方案研究 O_3 对农作物(棉花、小麦、大豆等)生长和产量的影响^[10~12]。在获取试验数据的基础上,建立 O_3 浓度和作物产量之间的暴露-响应关系^[11,12]。欧洲在 80 年代和 90 年代,也将近地层 O_3 对植物和人类健康的潜在影响作为其关注的焦点,建立了欧洲农业

损失评价网(European Crop Loss Assessment Network, EUROCLAN)^[13],设立开顶式气室(EOTC)项目,对 9 个国家的多种作物包括小麦、大豆、牧草等进行研究^[1,13]。许多国家也参照 NCLAN 和 EOTC 基本方法和试验设计研究 O_3 对农作物的影响,如日本^[14]、瑞典^[15]等。中国气象科学研究院于 1992 年设计并建造了一套农田开顶气室,王春乙等利用此气室进行了 O_3 浓度变化对中国主要农作物影响的试验研究^[16,17]。

臭氧浓度变化对作物影响的试验研究,以试验设备与手段的改进和更新为标志大致分为 3 个阶段:①封闭式静态或动态气室,气室内供试气体浓度控制准确,但气室内环境条件与自然农田差异较大而较少使用。②开顶式气室,这种气室内的环境条件与自然农田较为接近,供试气体浓度控制精度较高,还可以同时进行几种气体的复合试验,试验结果具有一定的意义,得到了广泛的应用。③自由通入供试气体的 FACE 法(Free-Air Carbon Dioxide Enrichment),其试验小区内的环境条件与自然农田基本相同,试验结果可靠,但造价太高,风速较大时 O_3 浓度难以控制^[3]。

通过臭氧对植物(主要是农作物)影响的试验研究,获取了大量数据和资料。但试验一般是在特定条件和较小范围内进行的,为了说明臭氧对农业的

国家自然科学基金重大项目(49899270)资助

作者简介:郑昌玲,女,1980 年生,硕士研究生

收稿日期:2003 年 4 月 30 日;定稿日期:2003 年 11 月 13 日

普遍影响,必须加强评估模型的研究。利用模型反映大气环境中臭氧浓度变化对作物生长发育及产量的影响,对区域或全球农业的影响。

本文主要介绍近年来 O_3 浓度变化对作物影响模型的研究概况,按其发展历程,分为 3 类模型:建立在试验基础上的 O_3 浓度 - 作物产量响应模型;利用光化学模型给出 O_3 情景的评估模型;臭氧影响与作物生长模型结合的机理模型。

1 O_3 对作物影响的模型模拟研究历程

从 20 世纪 80 年代开始,美国、欧洲等国家在臭氧对农作物影响试验研究基础上,进行模型的研究;我国对近地层臭氧的研究起步比较晚,主要是开展了一些试验的研究,模型方面基本上空白,因而本文所述的模型都是国外的研究。

纵观 O_3 对作物影响模型研究的历程,主要有 3 个阶段:

(1) 在大量 O_3 熏气试验的基础上利用统计方法建立 O_3 浓度 - 作物产量响应模型,简称统计模型;

(2) 利用光化学反应模拟区域或全球大气 O_3 浓度及其变化情景,结合已建立的浓度 - 产量模型评估区域或全球的作物产量、经济损失,简称光化学模型;

(3) 结合作物模型,模拟 O_3 在作物生长发育、产量形成过程中,如对光合作用、呼吸作用、同化作用等生理生化过程的影响,简称机理模型。

这 3 个阶段的发展历程中,总体上是循序渐进、逐步发展的,但同时也是交替出现,相互推动发展的。

1.1 统计模型

20 世纪 80 年代,美国 NCLAN 项目在大量田间试验的基础上模拟大气中 O_3 浓度上升对小麦、大豆等主要作物造成的产量损失。模拟方式主要是运用数学统计分析的方法处理试验数据,模式形式有 Wellbull 方程、线性模型、二次方程、指数方程等^[11,18]。但一般选择 Wellbull 方程,因为 Wellbull 方程比其它方式具有更多优点:①可以灵活广泛地应用于生物反应;②方程的参数易被理解;③可用于验证试验中 O_3 对不同品种影响的共性^[12,18]。方程的具体形式为:

$$y = a \exp[-(C(O_3)/\omega)^\lambda] \quad (1)$$

式中 y 为作物产量, $C(O_3)$: O_3 浓度, a : O_3 浓度为 0 时的理论产量, ω : O_3 剂量的尺度参数(即产量变为 a 的 0.37 倍时,所对应的 O_3 含量), λ : 损失率变化的形态参数。这里的理论产量 a 包括了试验地、品种、其他外在因素造成的影响,因而这个关系方程没有考虑 O_3 与其它因素的相互作用。

进一步计算相对产量损失(L_{ry}):

$$L_{ry} = 1 - \frac{Y_0}{Y_r} \quad (2)$$

Y_0 为洁净大气条件下的产量, Y_r 为所给定的 O_3 浓度下的产量。

根据产量损失,可以进一步建立经济损失模型。

欧美国家根据这些经验方程确定了多种表示 O_3 对作物伤害程度的指标,并对一些地区的作物产量损失进行了评估^[19]。这类模型是基于试验的经验性模型,模型只将 O_3 作为产量唯一的影响因子,没有考虑其它因素的影响,更没有涉及 O_3 对作物生长过程、生理机制的影响。

随着 NCLAN 试验的深入,考虑 O_3 和水分等复合因子对作物产量的影响, D. A. King (1987) 建立了水分胁迫和 O_3 复合效应对作物产量影响的模型^[20]。

模型中提出 O_3 伤害缓解因子(F), 表示 O_3 影响与水分胁迫的复合效应。

$$F = (T/T_p)^\beta \quad (3)$$

式中, T 为在大田条件下估算的作物蒸腾量, T_p 为没有 O_3 影响并水分充足条件下的作物蒸腾量, β 表示减少蒸腾作用降低 O_3 对作物造成伤害的程度的常数。

对作物造成影响的 O_3 量:

$$\begin{aligned} D_h &= F \times V(O_3) - T_h && \text{当 } (F \times V(O_3)) > T_h \text{ 时} \\ D_h &= 0 && \text{当 } (F \times V(O_3)) < T_h \text{ 时} \end{aligned} \quad (4)$$

式中, D_h 为每小时对植物造成伤害的有效 O_3 量, $V(O_3)$ 为小时平均臭氧浓度, T_h 为 O_3 对作物造成伤害的“临界”浓度。对日 O_3 量累加即可得到作物生长季的总剂量。

模型中建立了 O_3 影响下作物的蒸腾量

$$T = E_{pan} \times (T_p/E_{pan}) \times (T_0/T_p) \times (T/T_0) \quad (5)$$

式中, E_{pan} 为完全蒸发量, T_p 为潜在蒸腾量(水分充

足,无 O_3 胁迫时), T_0 是水分控制条件下的蒸腾量, T 是水分和 O_3 控制条件下的蒸腾量。然后根据作物生长季的蒸腾量与作物干物质产量之间的关系,模拟臭氧和水分胁迫下的作物产量。

这个模型虽然没有直接给出浓度 - 产量方程,但模拟仍是以臭氧作为一个产量影响因子,所以归为这类模型。模型虽然仍是建立在试验基础上,但将臭氧与作物生长的其它限制因子结合起来,考虑其复合作用,对促进在实际环境中 O_3 对作物产量影响的研究起到了一定作用。

1.2 光化学模型

20 世纪 90 年代以来,随着大气光化学模型研制并逐渐完善,许多研究者开始利用这样的模型模拟大气中 O_3 浓度及其变化的情景,结合已建立的 O_3 浓度 - 作物产量响应模型来模拟 O_3 对区域或全球作物产量和经济损失的影响。

W. L. Chameides 等(1994)^[21] 利用 GFDL (Geophysical Fluid Dynamics Laboratory) 的三维全球化学传输模型(GCTM)按洲际尺度计算北美东部、欧洲、中国东部和日本三个区域的臭氧浓度,主要是根据氮氧化物的排放计算的。

$$V(O_3) = a + b[V(NO_y) - V(NO_x)] \quad (6)$$

式中, a 表示洁净大气 O_3 浓度(约 35×10^{-9}), b 表示每个排入大气中的 NO_x 分子转化成 O_3 的分子数, $V(NO_y)$ 表示起反应的总 N 量, $V(NO_x) = V(NO)$

+ $V(NO_2)$ 。

根据模拟的 O_3 浓度,利用 O_3 暴露 - 作物产量关系,估测全球有 10% ~ 35% 的谷类作物在其生长季节期间受到 O_3 的伤害而造成减产。

美国的 Mauzerall 等(2000)利用全球三维化学传输模型——臭氧和相关轨迹模型(Model of Ozone and Related Tracers, MOZART)分析了对流层臭氧季节和地理分布,利用 MOZART-2 模型输出了东亚地区 O_3 分布特征,做出了对该地区农业影响的评估^[22]。

这类模型主要是应用光化学模型,反映大气中痕量气体如 O_3 等浓度和分布特征的变化对人类产生的影响(如粮食减产),引起人们对气候变化的警觉。

1.3 机理模型

前两类模型从宏观上模拟了 O_3 对产量的直接影响,而 O_3 对作物产量的影响主要是在通过对作物的伤害,影响光合作用、同化作用、呼吸作用等生理生化过程,最终影响产量。因而, O_3 对作物影响模型应该进行生理机制方面的研究。

日本建立了考虑 O_3 影响的作物生长模型^[23]。在模型中, O_3 作为降低作物对太阳辐射有效利用的因子来影响增长率。以下面的作物损失评估系统(Crop Loss Assessment System, CLASS)结构图来说明模型的思路和框架(图 1)。

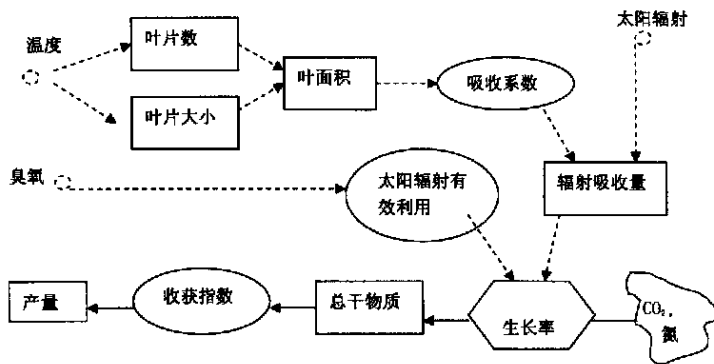


图 1 CLASS 模型

模型利用作物干重与作物冠层吸收的太阳辐射之间的关系模拟作物产量。表示方法为:日干物质产量为 $W(g \cdot m^{-2})$

$$W = \varepsilon \times I \quad (7)$$

式中, ε 为太阳辐射有效利用率($g \cdot MJ^{-1}$), I 是太阳

辐射日吸收量($MJ \cdot m^{-2}$)。

模型中 O_3 作为影响辐射有效利用率的因子,在受臭氧熏气后,水稻冠层的辐射有效利用率为

$$\begin{aligned} \varepsilon &= \varepsilon_0 - c_o [C(O_3)]^2 && \text{营养生长期} \\ \varepsilon &= \varepsilon_r - C_r C(O_3) && \text{生殖生长期} \end{aligned} \quad (8)$$

$\varepsilon_o, \varepsilon_r$ 分别是无臭氧影响下营养生长期和生殖生长期的太阳辐射利用率, $C(O_3)$ 是日平均臭氧浓度 ($\times 10^{-9}$), C_v, C_r 为参数。

模型的有关参数通过熏气试验确定。研究者模拟了一定范围的多年水稻产量及其损失, 并与农业部门记录的实际产量进行比较。

此模型反映了 O_3 在水稻生长过程中的动态影响, 作物所受的最终影响是建立在每日生长所受影响的累积。但模型仅将 O_3 作为影响作物对太阳辐射有效利用的因子, 忽略了作物光合作用过程, 不能充分说明臭氧对作物生理机理过程的影响。

Martin 等提出了以叶片内氧化反应过程机理为基础, 模拟 O_3 对小麦叶片光合作用影响的模型^[24]。研究建立短期臭氧暴露对叶片羧化有效率影响的光合作用模型, 说明了 O_3 有效量与羧化率下降的关系。

有效臭氧量的计算:

$$F'_{\text{eff}}(O_3) = \int_0^t [C(O_3) g_z - F_0(O_3)] dt \quad (9)$$

$F(O_3)$: 对作物引起伤害的临界 O_3 浓度; g_z : 对于 O_3 的叶片气孔导度, 由气孔对 H_2O 的导度 g_s 确定,

$$g_z = g_s / 1.67 \quad (10)$$

$$g_s = g_{(0)} + g_{(1)} (AR_h / C_a) \quad (11)$$

其中 A 为叶片对 CO_2 净吸收率, R_h 为大气相对湿度, $g_{(0)}$ 为光补偿点时的叶片对 H_2O 的最小气孔导度, $g_{(1)}$ 为经验系数。

O_3 引起叶片羧化最大活化能力 ($V_{c_{\max}}$) 的下降量:

$$\Delta V_{c_{\max}} = K_z F'_{\text{eff}}(O_3) \quad (12)$$

模型中取 $F_0(O_3) = 37 \text{ nmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, $K_z = 24$ 。

该模型考虑了 O_3 对光合作用的影响, 进一步完善作物光合作用模型, 可以模拟 O_3 对叶片内的羧化过程的影响, 研究臭氧对光合作用影响的生理机制。但模型是否适用于 O_3 对全生育期(长时期)的影响, 是否适用于其它作物有待于验证。

Martin 等^[25]将此考虑 O_3 影响的光合作用模型与树木生长模型 (Ecophysiology growth process models of short rotation forest crops, ECOPHYS) 结合研究 O_3 对整个植株的影响, 进而模拟一片森林在臭氧影响下的生长。同样, O_3 对农作物影响的研究也可采取类似的方法, 以生理机制模型为基础, 到

植株个体, 再到群体, 层层递进, 逐步深入。

2 O_3 对作物影响模型研究的发展趋势

2.1 O_3 对作物影响模型的不足和局限性

从以上 O_3 对作物影响模型的介绍中, 我们可以看出模型是从简单到复杂, 从经验性的统计方法向机理论性发展的, 同时模型还存在许多不足和局限。

(1) 统计模型: 主要是根据试验建立的经验方程, 在试验中, 设定的 O_3 浓度和植物生长环境与实际状况有很大区别, 不能完全反映实际情况, 忽略了 O_3 对作物生长过程的影响, 机理性不强。

(2) 光化学模型: 一般只侧重于对 O_3 变化的模拟, 简单地应用光化学模型模拟的大气中 O_3 浓度和变化情景评估农作物的最终产量损失, 没有考虑臭氧对作物生理机制的影响, 缺少对作物整个发育过程及产量形成的模拟研究。

(3) 机理模型: 一般针对一定地区的一种或几种作物, 建立臭氧对作物生理过程、产量形成影响的机理模型, 受作物模型和作物参数以及不同地域的限制, 这样的模型缺少通用性。

(4) 到目前为止, 还没有包含 O_3 光化学过程、作物生理和产量形成过程、 O_3 对作物影响机理的综合、全面的模型。

(5) O_3 对作物影响的机理有待进一步研究, 模型的发展也应该随着机理研究的深入了解而不断发展。

2.2 O_3 对作物影响模型研究的发展趋势

随着计算机编程的发展和各种模型的不断完善, 植物生态系统模型逐渐向模块化、普遍化方向发展^[26]。采用面向对象设计和编程的模块化结构可以克服 O_3 对农作物影响模型研究中片面模拟的不足, 建立既可描述大气中臭氧浓度变化对农作物生长发育机理影响, 同时又可以评估区域或全球作物产量损失的综合的生态系统模型。

因此, 利用已有模块, 将作物生长模型 (如 BACROS 作物模型、SAHEL 作物模型、WOFOST 作物模型等) 与描述近地层 O_3 产生和浓度变化情景的光化学模型 (如 MOZAT 模型) 结合起来, 建立大气环境下 O_3 作为限制因子之一的作物模型, 这是 O_3 对作物影响模型研究的重要发展方向, 也是切实可行的方案。这样的模型, 可以反映在气候变化中,

O₃ 对作物整个生长发育过程的影响,描述 O₃ 对光合作用、同化物分配、呼吸作用等生理生化过程的影响,进而对作物产量以及农业损失做出预测、评估。模型应具有通用性,可以模拟多种作物,可以通过调整模型的尺度对局部地区、国家、区域至全球的作物生长动态变化做出监测和评估。

近年来,在 O₃ 对森林生态系统影响模型研究中,开始采用面向对象设计和编程的模块化方法。美国的 Peter B. Woodbury 等(2002)^[27]利用支持多种空间尺度的生态系统模型框架:“用于平行空间模拟的生态组成库”(Ecological Component Library for Parallel Spatial Simulation, ECLPSS),建立了 O₃ 对森林生态系统影响的空间的、以组成部分为基础的模型。模型由两类独立的模型简化组合而成:单株树木的生理和胁迫反应模型(TREGRO)和森林生长发展模型(ZELIG),用来说明 O₃ 对单株植物的直接影响和对树林内部竞争的间接影响。

3 结果与讨论

试验研究表明 O₃ 对植物的伤害是一个人们关注的热点。全球大多数作物生长在夏季,正是光化学反应强烈, O₃ 浓度最高的季节,因而会引起作物较大幅度减产。建立模型模拟 O₃ 对作物生理生化机理的影响,对产量形成的影响,最终的目的是为了揭示大气中臭氧浓度变化对地球生态系统造成的不良影响,寻找降低 O₃ 对植物伤害的防护机理和措施,确保农业的可持续发展。

本文主要介绍了国外臭氧浓度变化对作物影响模型研究的成果,包括:统计模型、光化学模型和机理模型。这些模型在准确性、机理性、通用性等方面存在不足和局限性,在模型研究方面应加大光化学模式的研究力度,提高给出 O₃ 情景的准确性,加强 O₃ 对作物生理机制影响的研究,模型要采用积木式模块化设计,提高模型的系统性、综合性和实用性。

我国关于臭氧对农作物影响的模型研究虽然起步很晚,但以国外模型发展为基础,可以有较高的起点。为了建立比较完善的模型,我们不仅要借鉴国外现有模型思路,还要在基础工作方面作一些工作:

(1) 建立地面 O₃ 监测网,以实时观测记录城市区和非城市区的 O₃ 浓度,获取第一手资料,建立我国的 O₃ 资料数据库。

(2) 加强 O₃ 对农作物生长发育、产量形成、物质能量转化和分配等生理生化机制的研究,加强 O₃ 和其它气体、水分胁迫、酸雨、紫外线等的复合作用对作物的影响的研究。

(3) 建立适用于我国的 O₃ 浓度 - 作物产量模型和评估系统,准确评估大气中臭氧浓度上升对我国农业造成的损失,为有关部门进行决策提供科学依据。

参考文献

- 1 金明红,冯宗伟. 大气 O₃ 浓度变化对农作物影响的实验研究: [博士论文]. 北京:中国科学院, 2001
- 2 王明星. 大气化学. 北京:气象出版社, 1999. 360 - 372
- 3 王春乙. 臭氧对农作物的影响研究. 应用气象学报, 1995, 6(3): 343 - 348
- 4 Heagle A S. An open top field chamber to assess the impact of air pollution on the plants. J. Environ. Qual., 1973, 2: 371 - 376
- 5 Musselman R C. Field chambers for assessing crop loss from air pollutants. F. Environ. Qual., 1986, 15: 152 - 157
- 6 Admos R M. A reassessment of the economic effect of ozone on US agriculture. JAPCA, 1989, 39: 960 - 968
- 7 Miller J E. Growth of cotton under chronic ozone stress at levels of soil moisture. J. Environ. Qual., 1988, 17: 635 - 843
- 8 Pell E J. Qualitative and quantitative effects of ozone and/or sulphur dioxide on field-grown potato plants. Environmental pollution, 1988, 53: 171 - 186
- 9 Adaros G. Single and interactive effects of low levels of O₃, SO₂ and NO₂ on the growth and yield of spring rape. Environmental Pollution, 1991, 72: 269 - 286
- 10 Heck W C, Adams R M. A reassessment of crop loss from ozone. Environment Science Technol., 1983 (a): 572 - 581
- 11 Larsen R M, Heck W W. An Air quality data analysis system for interrelating effects, standards, and needed source reductions: part 8. an effective mean O₃ crop reduction mathematical model. Journal of the Air Pollution Control Association, 1984, 34: 1023 - 1034
- 12 Virginia M, Lesser V, Rawlings J O. Ozone effects on agricultural crops: statistical methodologies and estimated dose-response relationships. Crop Science, 1990, 30: 148 - 155
- 13 Mathy P. The European open-top chambers programme: Objectives and implementation. New York: Elsevier Applied Science, 1988. 505 - 513
- 14 Kobayashi K. Effects of ozone on dry matter partition and yield of Japanese Cultivar of rice (Oryza sativa L.). Agriculture, Ecosystems and Environment, 1995, 53: 109 - 122
- 15 Pleijel H, Wallin G. Yield and grain quality of spring wheat (Triticum aestivum L., cv. Drabant) exposed to different concentrations of ozone in open-top Chambers. Environment Pollution,

- 1991, 69: 151 - 168
- 16 王春乙, 郭建平, 白月明, 等. O_3 浓度增加对冬小麦影响的试验研究. 气象学报, 2002, 60(1): 238 - 241
- 17 白月明, 郭建平, 王春乙, 等. 水稻与冬小麦对臭氧的反应及其敏感性试验研究. 中国生态农业学报, 2002, 10(1): 13 - 20
- 18 Heck W W, Adams R M, Cure W W, et al. A reassessment of crop loss from ozone (Models suggest that ozone substantially reduces the yields of several crops and that the economic effect of these yield reductions may be important). Environment Science Technology, 1983, 17(12): 572 - 581
- 19 Mauzerall D L, Wang Xiaoping. Protecting agricultural crops from the effects of tropospheric ozone exposure: reconciling science and standard setting in the United States, Europe, and Asia. Ann. Rev. Energy Environ., 2001, 26: 15.1 - 15.32
- 20 King D A. A Model for Predicting the Influence of Moisture Stress on Crop Losses Caused by Ozone. Ecological Modelling, 1987, 35: 29 - 44
- 21 Chameides W L, Kasibhatla P S. Growth of Continental Scale Metro Agro Plexes. Regional Ozone Pollution and World Food Production. Science, 1994, 264: 74 - 77
- 22 Mauzerall D L, Narita D, Akimoto H. Seasonal characteristics of tropospheric ozone production and mixing ratios over East Asia: A global three-dimensional chemical transport model analysis. Journal of Geophysical Research, 2000, 105(14): 17895 - 17910
- 23 Kobayashi K. Modeling and assessing the impact of ozone on rice growth and yield. In: Berglund R L, ed. Tropospheric Ozone and the Environment. Air & Waste Management Association, Pittsburgh, USA, 1992. 537 - 551
- 24 Martin M J, Farage P K. Can the stomatal changes caused by acute ozone exposure be predicted by changes occurring in the mesophyll? A simplification for models of vegetation response to the global increase in tropospheric elevated ozone episodes. Aust. J. Plant Physiol., 2000, 27: 211 - 219
- 25 Martin M J, Host G E, Lenz K E, et al. Stimulating the growth response of aspen to elevated ozone: a mechanistic approach to scaling a leaf-level model of ozone effects on photosynthesis to a complex canopy architecture. Environmental Pollution, 2001, 115: 425 - 436
- 26 Reynolds J F, Acock B. Modularity and genericness in plant and ecosystem models. Ecological Modelling, 1997, 94: 7 - 16
- 27 Woodbury P B, Beloin R M, Dennis P. Using the ECLPSS software environment to build a spatially explicit component-based model of ozone effects on forest ecosystems. Ecological Modeling, 2002, 150: 211 - 238

Review of Models of Ozone Impact on Crops

Zheng Changling Wang Chunyi

(Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081)

Abstract: Currently, the main task of the researches on impacts of ozone on crops is how to build effective models. These models are used to evaluate and forecast the loss of crop yields and agriculture caused by ozone. The researches on models of the impacts of ozone on crops in recent years are introduced. The models can be divided into three types: statistical models, photochemical models and mechanism models. In order to overcome the limitation of the existing models, the future models of ozone impacts on crops should be modularized and general and the comprehensive models will be established. At last, the development trends of the related studies in China are discussed.

Key words: ozone, crop, model