

SISTEMES I PROCESSOS

La fitotoxicitat de l'ozó troposfèric a Catalunya avaluada amb plantes de tabac biosensores

Josep Peñuelas*, Iolanda Filella & Benjamín S. Gimeno**

Rebut: 21.10.94
Acceptat: 26.10.95

Resum

S'ha trobat fitotoxicitat de l'ozó vers el tabac a diverses localitats de Catalunya durant un estudi pilot desenvolupat des del març fins al setembre de 1994. A les zones costaneres l'ozó afectà fins i tot les varietats més resistents, com la Bel-B, cosa que no succeí a cap estació de l'interior. A la costa, a part de les concentracions més elevades del gas, la major humitat augmentà la conductància estomàtica i per tant l'efecte de l'ozó. Els espectres de reflectància de les fulles afectades mostraren valors majors en el vermell i menors en l'infraroig proper, la qual cosa en facilità la teledetecció.

MOTS CLAU: Fitotoxicitat, ozó, Catalunya, tabac, biosensors.

Abstract

The phytotoxicity of tropospheric ozone in Catalonia assessed with tobacco plants as biosensors.

*CREAF (Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals). Facultat de Ciències, Universitat Autònoma. E-08193 Bellaterra

**CIEMAT. Instituto de Medio Ambiente. Avda. Complutense, 22. E-28040, Madrid.

O₃ phytotoxicity to tobacco was demonstrated in several rural locations in Catalonia during a pilot study from March to September 1994. At coastal locations, O₃ injury was found even on O₃ resistant cultivar Bel-B; such injury did not occur in the interior of Catalonia. In the coast, there are higher concentrations of ozone and higher humidities that rise stomatal conductance, and therefore the ozone effect. Injured leaf reflectance spectra showed higher values in the red and lower values in the near infrared areas, opening interesting possibilities for remote sensing of ozone effects.

KEYWORDS: Phytotoxicity, ozone, Catalonia, tobacco, biosensors.

Resumen

La fitotoxicidad del ozono troposférico en Cataluña evaluada con plantas de tabaco biosensoras

En un estudio piloto realizado en varias localidades de Cataluña desde marzo hasta septiembre de 1994, se encontró fitotoxicidad del ozono en plantas de tabaco. En las zonas de la costa, el ozono afectó incluso a las variedades más resistentes, como la Bel-B, cosa

que no ocurrió en ninguna de las estaciones del interior. En la costa, aparte de las mayores concentraciones de ozono, la humedad más elevada aumentó la conductancia estomática y por lo tanto el efecto del ozono. Los espectros de reflectancia de las hojas afectadas mostraron valores mayores en el rojo y menores en el infrarojo cercano, lo que facilitó la teledetección de los efectos del ozono.

PALABRAS CLAVE: Fitotoxicidad, ozono, Cataluña, tabaco, biosensores.

Introducció

L'ozó ha esdevingut un dels contaminants més importants al sud d'Europa. Els elevats nivells d'industrialització i la concentració de població en algunes zones són font dels seus precursors (òxids de nitrogen i hidrocarburs). Les condicions climàtiques d'aquesta àrea, principalment l'elevada radiació, contribueixen a la formació d'ozó i d'altres oxidants fotoquímics a partir d'aquests precursors. En el cas de la costa mediterrània, a més, cal destacar la important arribada d'ozó provinent del mar (MARTÍN *et al.*, 1991; GIMENO *et al.*, 1989). Els nivells més elevats s'assoleixen quan aquest ozó importat s'afegeix al de formació local (MARTÍN *et al.*, 1991). A Catalunya, l'orografia determina, a més, l'existència de diferències locals. Així, per exemple, les serralades de la costa faciliten la formació de màxims locals quan les brises marines ensopeguen amb els vents provinents de la serra, i provoquen la recirculació d'aquest aire contaminat i agravant la situació. Totes aquestes circumstàncies expliquen que en algunes zones, com als voltants de Begur i al delta de l'Ebre, se n'assoleixin elevades concentracions (GENERALITAT DE CATALUNYA, 1994; REINERT *et al.*, 1992).

S'ha comprovat que aquestes concentracions d'ozó són suficientment elevades per

disminuir el creixement i la producció de molts cultius i espècies forestals a Catalunya i altres països mediterranis (LUCAS & PEÑUELAS, 1989; SALLERAS *et al.*, 1989; REINERT *et al.*, 1992; VELISSARIOU *et al.*, 1992). A Catalunya s'han descrit danys per ozó en alguns cultius, com la síndria o la mongeta, al delta de l'Ebre (SALLERAS *et al.*, 1989). D'altres estudis realitzats en càmeres de cel obert a la mateixa àrea confirmen que l'ozó afecta la fisiologia i la producció d'aquestes mateixes espècies (BERMEJO *et al.*, 1993; ELVIRA *et al.*, 1992). A més, a tot el litoral mediterrani s'observen danys visibles causats per l'ozó a la síndria i altres cultius sensibles (GIMENO *et al.*, 1993).

Hi ha plantes que s'usen com a bioindicadores de les concentracions d'alguns contaminants perquè mostren símptomes de dany característics i específics quan s'exposen a diferents concentracions fitotòxiques d'aquests contaminants. Els avantatges de les plantes bioindicadores respecte als sensors instrumentals són importants: són molt barates, fàcilment reproduïbles i multiplicables, i, a més, presenten diferents tipus de resposta de manera que es pot triar el que millor s'adapti a cada estudi en particular. D'altra banda, les medicions realitzades amb monitors ens indiquen l'exposició a què estan sotmesos els diferents receptors, però no ens dona idea de la fitotoxicitat d'aquestes concentracions, mentre que la utilització de bioindicadors vegetals ens permet avaluar aquesta fitotoxicitat. Es pot obtenir informació quantitativa amb l'ús de varietats amb diferents nivells de sensibilitat, i la construcció de corbes dosi/resposta. La utilització de varietats indicadores sensibles a l'ozó, com ara la varietat Bel-W3 de tabac, ha permès establir concentracions regionals a molts països del sud d'Europa (GIMENO *et al.*, 1993; MIGNANEGO *et al.*, 1992). Aquestes



Fig. 1. Foto de planta de tabac amb els símptomes característics de fitotoxicitat per ozó.

Tobacco plant with the characteristic symptoms of ozone phytotoxicity.

varietats manifesten la sensibilitat a diferents nivells d'ozó amb símptomes visibles, per la qual cosa el nivell de dany és fàcilment quantificable. Els bioindicadors són, doncs, una eina de baix cost que permetria tenir una estimació dels nivells d'atac d'ozó en tota la geografia catalana.

Pel que fa a l'avaluació dels efectes dels contaminants en la vegetació, recentment s'han incorporat noves tecnologies. Entre elles destaca la teledetecció, que pot arribar a ser molt útil per avaluar els danys per ozó en grans i en petites superfícies (WESTMAN & PRICE, 1988; USTIN & CURTIS, 1990).

D'altra banda, com que l'espectre de reflectància dona informació sobre els canvis bioquímics que s'estan produint a la fulla (PEÑUELAS *et al.*, 1993a, b; 1994a, b; FILELLA & PEÑUELAS, 1994; FILELLA *et al.*, 1995), el seu estudi podria ser útil per a alguna cosa encara més interessant com és la detecció precoç de dany.

Per tant, atès el problema d'altres concentracions d'ozó en diferents indrets de la geografia catalana, i els seus possibles efectes tòxics sobre la vegetació natural i els cultius, ens proposarem, d'una banda comprovar la sensibilitat i l'eficàcia de biosensors d'ozó, i de l'altra obtenir un mapa dels nivells de dany per ozó a Catalunya. A més volíem estudiar les possibilitats de la teledetecció per a l'avaluació del dany i per a la seva detecció precoç.

1. Materials i mètodes

1.1. Lloc d'estudi

Varem distribuir plantes biosensores per diferents punts de Catalunya per tal d'abastar terres d'interior i de costa, de plana i de muntanya (fig. 1). Alguns d'aquests punts es feren coincidir amb algunes de les estacions on hi ha sensors instrumentals del Departament de Medi Ambient de la Generalitat (Sort, Begur, Veciana, la Sènia).

1.2. Bioindicadors

Els bioindicadors emprats consistiren en plantes de tabac (*Nicotiana tabacum* L.) de les varietats següents: Bel-W3, molt sensible (mostra símptomes a aproximadament 30 ppb); Bel C, menys sensible (mostra símptomes a aproximadament 60 ppb), i Bel B, més resistent (mostra símptomes a

aproximadament 90 ppb). Es varen sembrar les llavors en testos amb un substrat 50 % de sorra i un 50 % de torba, i es varen deixar germinar en un hivernacle. Després, quan tenien almenys quatre fulles ben desenvolupades, foren transplantades directament al sòl de les estacions de mostreig.

1.3. Seguiment de la fitotoxicitat

L'experiència començà al mes de març i acabà el mes de setembre de 1994. Durant la primavera i el principi de l'estiu s'avaluaren els nivells de fitotoxicitat setmanalment; al final, només quinzenalment. Les avaluacions es feren visualment per a cada un dels nivells de la planta: superior, mitjà i inferior, és a dir, tant de les fulles noves com de les velles, tot establint-ne els nivells d'afectació segons la taula 1.

1.4. Seguiment per teledetecció

Es van fer mesures de reflectància en el visible i l'infraroig amb un espectror-

diòmetre Spectron tot seguint la metodologia descrita a PEÑUELAS *et al.* (1993b).

S'estudià l'espectre de reflectància i, per tal de desenvolupar nous índexs espectroradiomètrics indicadors d'estrès per ozó en els seus estadis inicials, ens varem fixar en les bandes d'absorció dels pigments marrons, compostos derivats de les quinones que es comencen a formar a les plantes en les fases prèvies d'atac per ozó (HOWELL & KREMER, 1973).

2. Resultats i discussió

El dany per O₃ es manifestava primer en les fulles ben desenvolupades de les capes inferiors. En aquestes fulles apareixien petits puntets que després passaven a ser petites taques com a conseqüència de la mort de les cèl·lules en palissada (fig. 1). Aquestes taques marronoses metàl·liques, o granatoses, acabaven emblanquant amb l'edat. Finalment, en casos de dany sever o extrem les taques es feien més grans fins a ocupar

TAULA 1. Índex emprat en l'avaluació del dany per ozó a les fulles de tabac.

Dany per ozó	Índex de dany	Percentatge de dany en fulla
Nul	0	0
Lleuger	1	1-25
Moderat	2	25-50
Sever	3	50-75
Extrem	4	75-100



Fig. 2. Mapa de les estacions estudiades amb els nivells de fitotoxicitat trobats (lleugera, només Bel-W3 afectada; mitja, Bel-W3 i Bel-C afectades; alta Bel-W3, Bel-C, i Bel-B afectades)

Studied stations and phytotoxicity levels found (low: only Bel-W3 affected; medium: Bel-W3 and Bel-C affected; high: Bel-W3, Bel-C and Bel-B affected).

quasi tota la fulla, tot accelerant-ne la caiguda.

El mapa de la figura 2 mostra com aquests símptomes es presentaren en la varietat més sensible, la Bel-W3, a totes les estacions. La varietat amb sensibilitat intermèdia, la Bel-C, presentà afectació a les estacions de la costa o properes a la costa. La varietat més resistent, la Bel-B, presentà simptomatologia només en algunes d'aquestes estacions com ara Begur i Sant Jaume d'Enveja (finca Migjorn). La principal via de penetració de l'ozó a la fulla és pels estomes; així, les plantes d'àrees amb una humitat ambiental més elevada, i, per tant, que tenen una conductància més gran, són més susceptibles de ser danyades. En alguns punts del litoral, l'elevada humitat s'afegeix

a les altes concentracions d'ozó, i en conseqüència, és on els danys solen ser més importants. D'aquí que s'hagin observat sobretot a la costa.

Hi ha nombrosos factors que afecten la resposta de les plantes (incloses les de tabac): 1) característiques genètiques, 2) l'edat o l'estat de desenvolupament, 3) les condicions ambientals com ara llum, temperatura, humitat relativa, nutrients del sòl, 4) les concentracions d'ozó i la duració de l'exposició, 5) la meteorologia (vent, pluja o núvols) o 6) les malalties i paràsits. Tot i així, l'ozó produeix una resposta específica en les varietats de tabac emprades com a bioindicadores, en les quals el dany es pot correlacionar amb les concentracions ambientals d'ozó (HEGGESTAD *et al.*, 1991).

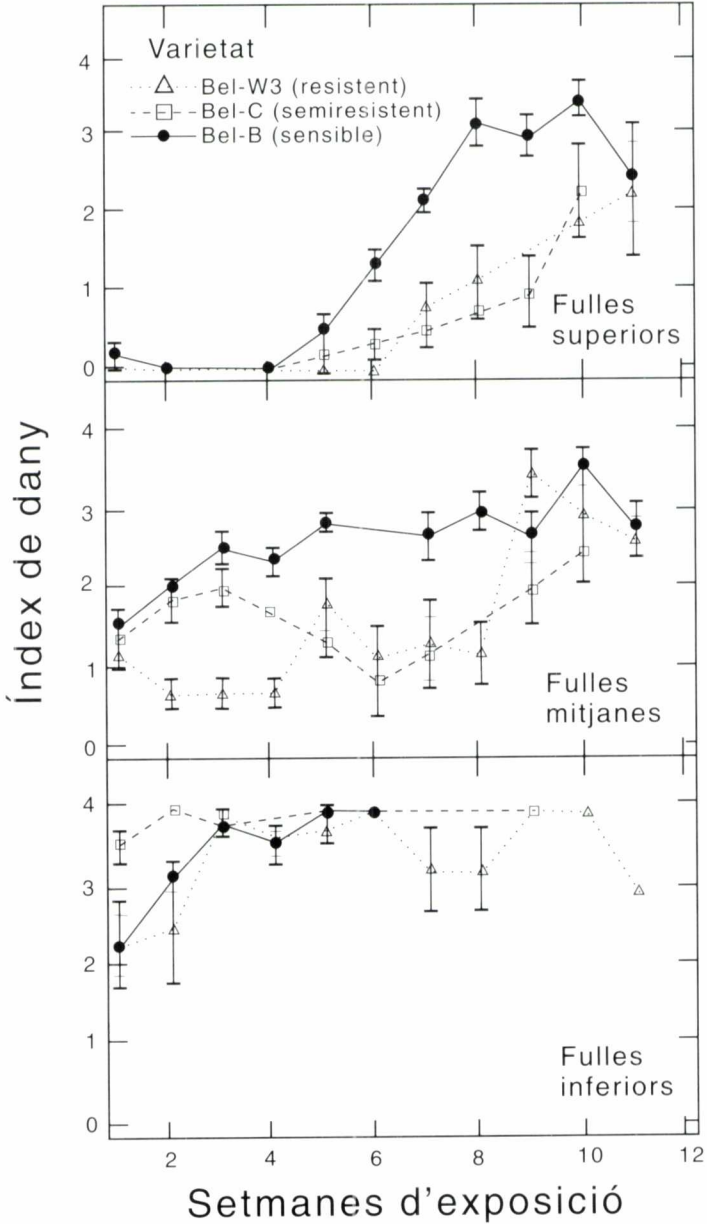


FIG. 3. Evolució setmanal del dany foliar a diferents nivells de capçada i a diferents cultivars plantats a Cabriils (el Maresme). La pauta fou la mateixa per als rebrots durant l'estiu, tot i que la intensitat de dany fou menor.

Weekly evolution of foliar injury at different plant levels and different varieties planted in Cabriils (Maresme). The same trends were found in the sprouts although with lower intensity.

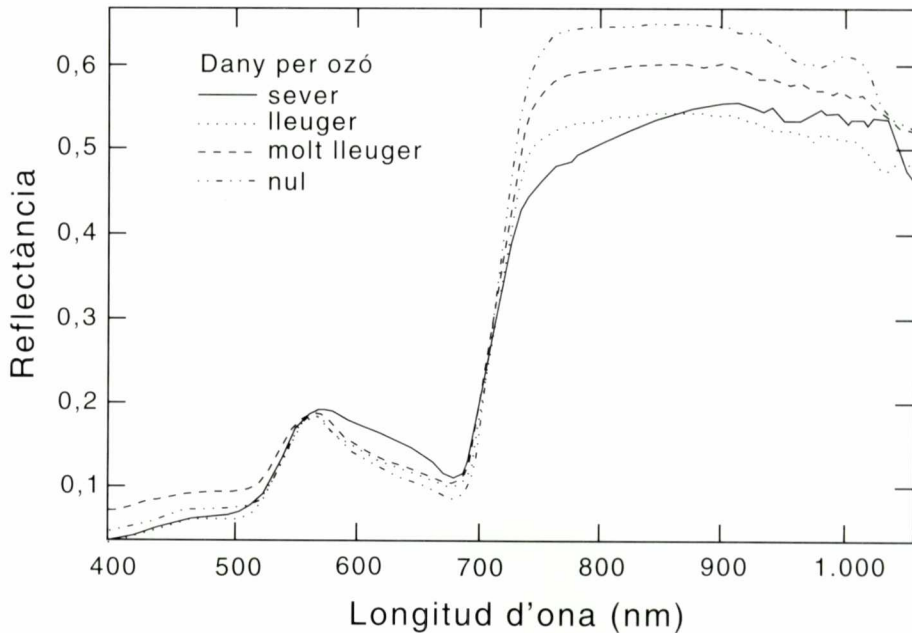


Fig. 4. Espectres de reflectància de fulles afectades per l'ozó amb diferent intensitat.

Reflectance spectra of leaves affected by different levels of ozone.

L'ús de diferents varietats amb diferent sensibilitat amplia les possibilitats (MENSER & HODGES, 1968).

La figura 3, corresponent a l'estació de Cabrils (una de les més afectades), mostra la diferent afectació dels diferents cultius i de les diferents fulles segons la seva posició a la capçada. El dany es manifestà primer a les varietats més sensibles i a les fulles situades a nivells inferiors de la capçada. La mateixa pauta, encara que amb menys intensitat d'afectació, es va presentar a les fulles que van rebrotar més tard, en ple estiu.

Els espectres de reflectància de les fulles afectades amb diferent grau de dany (taula 1) presentaren pautes ben diferenciades, amb majors valors per la zona del vermell (tot indicant menys clorofil·la) i menors

pendents en la zona de l'infraroig proper (tot indicant més pigments marrons o quinones) quan major era el dany (fig. 4). La reflectància es mostra, doncs, com una eina amb un gran potencial per a la teledetecció de l'estrès per ozó (PEÑUELAS *et al.*, 1995). Caldrà treballar especialment en les bandes característiques dels pigments marrons, derivats quinònics producte de l'acció oxidant de l'ozó.

Agraïments

Desitgem donar les gràcies als col·laboradors (J. Serra, J. M. Poch) i al Servei de Protecció Atmosfèrica del Departament de Medi Ambient (Generalitat de Catalunya). Aquest

treball és una contribució als projectes INIA SC94-011, CICYT AMB94-0199 i P.I.E. 131.103.

Bibliografia

- BERMEJO, V.; BARNES, J.; ELVIRA, S.; ALONSO, R.; GIMENO, B.S. & DAVISON A.W. 1993. Ozone induced physiological effects on some crops in eastern Spain. *CEC Air Pollution Research Report*, 46: 483-486.
- ELVIRA, S.; ALONSO, R.; QUEJIDO, A.; GIMENO, B.S. & BERMEJO, V. (1992). Efectos del ozono sobre *Phaseolus vulgaris* L. var Lit en el Delta del Ebro (Tarragona) In: *Contaminación: Efectos fisiológicos y mecanismos de actuación de contaminantes*. p. 343-356
- FILELLA, I. & PEÑUELAS, J. 1994. The red edge position and shape as indicators of plant chlorophyll content, biomass and hydric status. *Int. J. Remote Sens.*, 15: 1459-1470.
- FILELLA, I.; SERRANO, L.; SERRA, J. & PEÑUELAS, J. 1995. Evaluation of crop nitrogen status by remote sensing: reflectance indices and discriminant analysis. *Crop Science*, 35: 1400-1405.
- GENERALITAT DE CATALUNYA. 1993. *Dades concentració gasos atmosfèrics*. Departament de Medi Ambient. Generalitat Catalunya, Barcelona.
- GIMENO, B.S.; SALLERAS, J.M.; BERMEJO, V.; OCHOA, M.J. & TARRUEL, A. 1989. Efectos del ozono sobre plantas de sandía en el Delta del Ebro. I: Sintomatología. *Phytoma España*, 12: 19-28.
- GIMENO, B.S.; SALLERAS, J.M.; PORCUNA, J.L.; REINERT, R. VELISSARIOU, D. & DAVISON, A.W. 1993. Assessment of ozone induced visible injury on different comercial crops along the Spanish eastern mediterranean coast. A survey. *CEC Air Pollution Research Report*, 46: 511-514.
- HEGGSTAD, H.E. 1991. Origin of Bel-W3, Bel-C and Bel-B tobacco varieties and their use as indicators of ozone. *Environ. Pollut.*, 74: 264-291.
- HOWELL, R.K., & KREMER, D.F. 1973. The chemistry and physiology of pigmentation on leaves injured by air pollution. *J. Environ. Qual.*, 2: 434-438.
- LUCAS, P.W. & PEÑUELAS, J. 1990. The effects of ozone exposure and growth temperature on the development of winter injuri in Sitka spruce seedlings. Pages 381-395 in *Environmental research with plants in closed chambers*. CEC Conference, Munich.
- MARTÍN, M.; PLAZA, J.; ANDRES, M.D., BEZARES, J.C., & MILLAN, M.M. 1991. Comparative study of seasonal air pollution behaviour in a mediterranean coastal site: Castellón (Spain). *Atmos. Environ.*, 25: 1523-1535.
- MENSER, H.A. & HODGES, G.H. 1968. Varietal tolerance of tobacco to ozone dose rate. *Agron. J.*, 60: 349-52.
- MIGNANEGO, L.; BIONDI, F. & SCHENONE, G. 1992. Ozone biomonitoring in northern Italy. *Environmental Monitoring and Assessment.*, 21: 141-159.
- PEÑUELAS, J.; GAMON, J.A.; GRIFFIN, K.L. & FIELD, C.B. 1993a. Assessing community type, plant biommas, pigment composition, and photosynthetic efficiency of aquatic vegetation from spectral reflectance. *Remote Sens. Environ.*, 46: 110-118.
- PEÑUELAS, J.; FILELLA, I.; BIEL, C.; SERRANO, L. & SAVÉ, R. 1993b. The reflectance at the 950-970 nm region as an indicator of plant water status. *Int. J. Remote Sens.*, 14: 1887-1905.
- PEÑUELAS, J.; GAMON, J.A.; FREDEEN, A.L.; MERINO, J. & FIEL C.B. 1994a. Reflectance indices associated with physiological changes in nitrogen and water-limited sunflower leaves. *Remote Sens. Environ.*, 48: 135-146.
- PEÑUELAS, J.; FILELLA, I. & BARET, F. 1994b. Semi-empirical indices to assess carotenoids/chorophyll a ratio from leaf spectral reflectance. *Photosynthetic*, 31: 221-230.
- PEÑUELAS, J.; FILELLA, I.; ELVIRA, S. & INCLAN, R. 1995. Reflectance assessment of summer ozone fumigated Mediterranean white pine seedlings. *Environ. Exper. Bot.*, 35: 299-307.
- REINERT, R.; GIMENO, B.S.; BERMEJO, V.; OCHOA, M.J. & TARRUEL, S.A. 1992. Ozone effects on watermelon plants at the Ebro delta (Spain) Symptomatology. *Agr. Ecosys. Environ.*, 38: 41-49.
- SALLERAS, J.M.; GIMENO, B.S.; BERMEJO, V.; OCHOA, M.J. & TARRUEL, S.A. 1989. Evolución del ozono y de la sintomatología de sus efectos sobre sandias y otros cultivos en el delta del Ebro durante 1988 y 1989. *Fruticultura Profesional*, 26: 127-136.
- USTIN, S.L. & CURTISS, B. 1990. Spectral characteristics of ozone-treated conifers. *Environ. Exp. Bot.*, 30: 293-308.
- VELISSARIOU, D.; DAVISON, A.W.; BARNES, J.D.; PFIRRMAN, T. & HOLEVAS, C.D. 1992. Effects of air pollution on *Pinus halepensis* Mill. Pollution levels in Attica, Greece. *Atmos. Environ.*, 26: 373-380.
- WESTMAN, W.E. & PRICE, C.V. 1988. Spectral changes in conifers subjected to air pollution and water stress: experimental studies. *Institute of Electrical and Electronic Engineers Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 26: 11-21.