

水稻生育에 對한 Ozone가스의 影響에 關한 研究

1. Ozone 가스에 對한 水稻生育時期別 影響

金福榮*·趙在規*·朴英善**

(1982년 11월 15일 접수)

Studies on the Effects of Ozone Gas in Paddy Rice

1. Effects of Ozone Gas on Growth Stage of Rice

Bok Young Kim*, Jae Kyu Cho* and Young Sun Park**

Abstract

This study was carried out to investigate the effect of ozone gas on paddy rice at the different growth stage. *Seokwang* variety of rice plant was exposed to 0.5 ppm ozone gas for 4 hours at rooting, maximum tillering, ear formation and heading stages. After ozone gas fumigation, damage symptom, percentage of destroyed leaf, chlorophyll content and peroxidase activity of rice plant were observed.

The results obtained are as follows.

- 1) Typical symptom of ozone gas damage appeared greyish or reddish brown subtle spots within rice leaf vein.
- 2) Yield loss by ozone gas exposure at different growth stage was in the order of maximum tillering stage > rooting stage > ear formation stage > heading stage.
- 3) Chlorophyll damage and leaf destruction was the highest at maximum tillering stage, while damage of leaf and chlorophyll were not found at heading stage.
- 4) The damage by ozone gas fumigation was higher at the growth stage with higher N content in plant, and N content was decreased after ozone gas exposure.

序 論

最近 産業의 成長, 交通手段의 發達 및 人間生活의

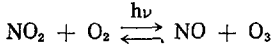
向上등으로 因하여 環境汚染은 날로 深化되고 있으며 이들 汚染物質이 植物에 주는 被害는 物質의 損害뿐만 아니라 人間の 情緒生活에도 큰 影響을 주고 있다. 이와같이 環境汚染中 特히 大氣汚染에 의한 農作物의 被

* 農業技術研究所 (Institute of Agricultural Sciences, Suweon)

** 農藥研究所 (Agricultural Chemicals Research Institute, Suweon)

皆是 都市近郊 및 工業團地隣近 農業에 莫大한 支障을 超來하고 있다^(1,2,3).

大氣汚染物質中 ozone가스는 都會地 上空에서 많이 生成되며 한편으로는 自動車 內燃機關의 不充分한 燃燒나 燃燒過程中에 熱에 依하여 ozone가스가 生成하게 된다⁽¹⁾.



ozone가스는 어떤 都市上空에서는 最高 100 pphm을 나타내는 境遇도 있으며⁽¹⁾ 汚染되지 않은 海邊이나 山꼭대기에서도 1-2 pphm程度는 나타난다. 植物이 이들 汚染地에 露出되면 ozone가스가 氣孔을 통하여 葉에 吸收되어 細胞膜의 構造와 透過性에 影響을 주고 酵素와 細胞器官에 作用하여 代謝過程을 阻害하며 細胞內容物도 酸化되어 미토콘드리아의 合成과 活動에 影響을 미친다고 한다⁽¹⁾. 野內等^(4,5)은 ozone가스接觸으로 草本 禾本科植物의 柵狀組織이 崩壞나 着色이 되고 葉綠素가 減少됨과 同時에 anthocyanin色素가 形成되며 廣葉植物의 早期 黃紅化 및 早期落葉等이 ozone과 關係가 있고 RNA, DNA, 蛋白質이 ozone가스 接觸時間에 比例하여 減少하였다⁽⁶⁾고 하였으며, 古川等⁽⁷⁾은 가스接觸으로 光合成速度가 減少되고 氣孔이 閉鎖되며 暗呼吸速度가 增加하는等 光合成代謝系를 阻害한다고 하였다. 또한 野內等⁽⁴⁾은 同一條件에서 草本植物은 가스에 對하여 感受性이 있고 木本植物은 抵抗性이 있다고 하였다.

筆者等은 ozone가스에 對한 生育時期別 水稻被害의 樣相을 究明하기 爲하여 가스接觸後에 나타나는 生育時期別 被害症狀, 被害程度, 成分變化, peroxidase 活性等을 調査 報告하는 바이다.

材料 및 方法

가. 供試作物 栽培

熟畚土壤의 表土(壤土)를 風乾粉碎하여 1/2000 a Wagner pot에 15 kg씩 充填하고 10 a當 窒素: 磷酸: 加里 各 15 : 9 : 11 kg 相當量을 pot當 尿素 6.5 g, 重過石 3.9 g, 鹽化加里 3.7 g을 施用하였고 窒素는 基肥 50%, 1次追肥 30%, 2次追肥 20%로, 磷酸은 全量基肥, 加里는 基肥 70%, 2次追肥 30%로 施用하였으며 曙光벼 45 日苗를 5月 27日에 pot當 1株 1本씩 4株를 移秧하고 慣行法에 準하여 栽培하였으며 生育時期別로 ozone 가스 接觸에 供試하였다.

나. 가스發生 및 接觸

供試한 ozone가스는 ozone發生器 (Type 0-1-2, 日本 Ozone株式會社)를 使用하여 上部가 열려있는 가스챔바 (145×145×156 cm)內에 水稻 pot를 옮겨놓고 ozone가

스를 發生注入하면서 0.5 ppm 4時間씩 接觸하였다. 가스챔바內의 ozone가스濃度는 Oxidant analyzer (Model OX-OI, Kyoto Electric社)를 使用하여 測定하였다. 가스接觸時 溫度는 25~30°C였고 濕度는 乾濕度計로 60~65%였다.

다. 被害症狀 및 被害葉率

가스接觸으로 發生되는 被害症狀은 가스接觸後부터 繼續 觀察하였으며 被害葉率은 가스接觸 3日後에 被害葉의 被害部位를 肉眼으로 調査하여 全葉數에 對한 比率을 算出하였다^(2,3,8).

라. 葉綠素 및 窒素含量

水稻生葉 0.5 g에 99% ethyl alcohol 25 ml을 加하여 冷暗所에 24時間 放置한 後 그 濾液 2 ml에 acetone 8 ml를 加하여 Spectrophotometer (Backman Model-26)로 波長 663 및 645 mμ에서 吸光度를 測定하여 葉綠素 a와 b含量을 Mackiney法⁽⁹⁾에 依하여 算出하였고, 窒素는 Kjeldahl法⁽¹⁰⁾으로 定量하였다.

마. Peroxidase의 活性

水稻生葉 1 g에 Tris-HCl buffer (pH 7.3) 3~5 ml를 加하고 sea sand를 넣고 mortar로 갈아서 15,000 R.P.M.에서 30分間 遠心分離하여 그 濾液 1 ml(100~200倍 희석)에 guaiacol溶液을 加하여 spectrophotometer로 波長 500 mμ에서 30초間隔으로 3回씩 測定하였다⁽¹¹⁾.

結果 및 考察

가. 被害症狀

水稻에 ozone가스를 接觸시킨 結果 寫眞 1과 같이 葉表面에 銀白色의 微細한 斑點이 葉脈을 따라 發生하는 境遇와 赤褐色~暗褐色의 斑點이 葉脈을 따라서 나타나는 두가지의 特有한 症狀이 있었다. 松岡等⁽¹²⁾은 赤枯病과 類似한 症狀이 發生되었다고 한 바 있고, 中村等⁽¹³⁾은 褐色 및 黃白色의 斑點이 發生하는 것을 oxidant에 露出된 벼잎에서 確認하였다고 하였으며 나팔꽃에서도 ozone에 接觸되면 葉의 表面에 chlorosis가 發生되고 甚한 境遇는 necrosis가 展開된다고 하였다. Keen等⁽¹⁴⁾은 ozone가스 接觸으로 葉에서 isoflavonoid인 coumestrol가 增加하였다고 報告하고 있어 그 被害症狀이 作物의 生育時期에 따라 相異한 것은 作物體內의 營養狀態의 相異에 依한 것으로 推定된다.

나. 收量

水稻의 生育時期別로 ozone가스를 接觸시킨 結果 表 1과 같이 對照區 收量이 136.2 g/pot에 比하여 分葉最盛期 接觸이 111.9 g/pot로 17.8%가 減收되었으며 幼穗形成期가 118.1 g/pot로 13.3%가 減收되었다. 出穗期에는 可視的 被害는 없었으나 收量은 5.9% 減收되어

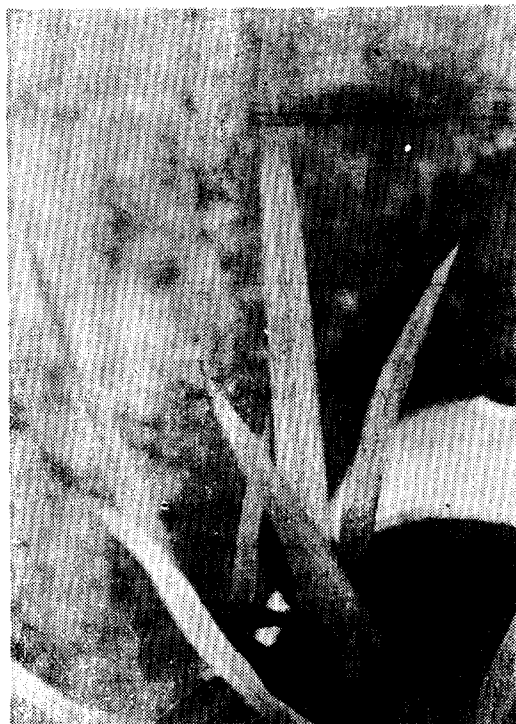


Photo 1. Typical symptoms of ozone toxicity on rice leaf

可視的 被害가 없을때에도 收量減少는 찾아왔다. 生育 時期別 減收程度는 分蘖最盛期>幼穗形成期>活着期> 出穗期の 順이였고 被害葉率이 큰 時期가 減收가 크게 나타나는 傾向이나 葉被害가 큰 活着期가 幼穗形成期보다 減收가 적은 것은 活着期에는 받은 被害를 回復할 수 있는 期間이 길었기 때문에 생각된다. Ozone 가스 接觸으로 光合成速度의 減少, 氣孔의 閉鎖, 暗呼吸速度의 增加 및 光合成代謝를 阻害한다는 報告⁽⁷⁾로 보아 ozone가스 接觸에서 光合成이 低下되어 減收의 原因이 된것으로 생각된다.

다. 收量 構成要素

水稻에 ozone가스의 接觸으로 減收하였는데 減收要因을 收量 構成要素面에서 檢討해보면 表 2와같이 穗當粒數가 對照區가 107個인데 比하여 ozone가스를 接觸한 區에서는 89.4~97.9個로 減少되었으며 登熟率도 對照區가 80.1%인데 比하여 分蘖最盛期 接觸에서 75.4%로 減少되었으나 幼穗形成期나 出穗期 接觸에서는 오히려 增加되었다. 따라서 收量構成要素中 減收에 가장 큰 影響을 미친것은 穗當粒數 減少로 判斷되며 分蘖最盛期가 減收가 가장 큰것은 登熟率과 穗當粒數가 다 같이 影響을 미친데 基因된 것으로 생각된다. 中村等⁽¹⁵⁾도 ozone汚染地에서 空氣를 淨化하므로 對照區에 比하여 穗數 및 總穎花數가 增加하고 登熟率이 良好하여지며 收量이 增加한다고 하였는데 本試驗에서도 登熟率

Table 1. Yield and yield loss of rice after exposure to ozone gas

Check	After exposure to ozone gas at different stages				
	Rooting stage	Maximum tillering stage	Ear formation stage	Heading stage	
Yield (gr/pot)	136.2	127.7	111.9**	118.1*	128.2
Yield loss (%)	—	6.2	17.8	13.3	5.9
L.S.D 0.05=14.87					
0.01=20.75					

Table 2. Yield components of rice exposed to ozone gas

Fumigation stage	Yield components			
	No. of panicles per hill	No. of grains per panicles	Maturing ratio (%)	Weight of 1,000 grains (gr)
Check	36.1	107.0	80.1	22.0
Rooting	38.4	96.5	80.8	21.3
Maximum tillering	37.3	94.3	75.4	21.3
Ear formation	37.9	89.4	81.7	21.5
Heading	37.6	97.9	81.1	21.5

과 穗當粒數가 收量에 크게 影響을 주었다고 判斷된다. 다. 被害葉率

水稻에 生育時期別로 ozone가스를 接觸시킨 結果 그림 1과 같이 分蘗最盛期 接觸이 被害葉率이 63.4%로 가장 높고 다음이 活着期, 幼穗形成期, 出穗期順이었으며, 出穗期에는 可視被害가 나타나지 않았으나 收量 減少는 가져왔다. 페추니아에 ozone가스를 接觸시킨 結果 栽培條件에 따라서 感受性의 差異가 있었다고 하며⁽¹⁶⁾ 濕度와의 相關이 가장 높았다고 하였다. 土壤水分 低下로 體內에 abscisic acid含量이 增加하고 氣孔閉鎖와 關聯하여 ozone感受性이 低下되었다고⁽¹⁷⁾ 報告된 바 있으며, abscisic acid 處理로 體內 ethylene生成이 抑制되고⁽¹⁸⁾ ethylene生成은 ozone가스 接觸時間에 比例하여 增加된다고 하였다. 또 가스接觸時 光度가 높을수록 被害가 甚하고 光度가 0일 때는 痕跡程度라고 山添等⁽¹⁹⁾은 報告하였다. 이는 分蘗最盛期가 葉의 伸張이 가장 旺盛하며 水分含量도 많아서 葉의 組織이 軟弱하기 때문에 ozone가스 被害가 가장 크고 出穗期는 葉의 細胞組織이 堅固하여 可視被害가 發生되지 않은 것으로 推定되고 分蘗最盛期 接觸이 가스接觸時 光度도 높았던 것으로 생각된다.

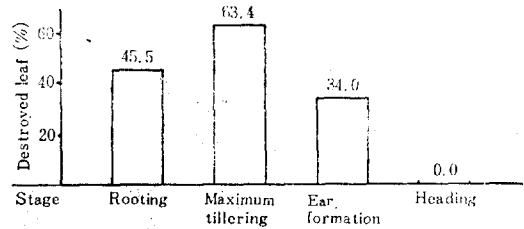


Fig. 1. Percentage of destroyed leaves after exposure to ozone gas

라. 葉素綠 含量

Ozone가스 接觸으로 表 3과 같이 水稻葉의 葉綠素가 減少되었으며 分蘗最盛期 接觸이 葉綠素 減少率이 가장 크고 出穗期에는 0.9%가 增加되었다. 葉綠素 a가 b보다 減少가 컸으며 a/b의 比는 活着期가 가장 낮았다. 野內等⁽²⁰⁾은 나팔꽃等 植物에 ozone을 接觸 結果시킨 葉綠素가 減少되고 anthocyanin色素를 形成하여 早期黃紅化 하였다고 하였고, 山添⁽²⁰⁾은 牧草 및 배추에서

Table 3. Chlorophyll contents in rice leaves exposed to ozone gas

Fumigation stage		Chlorophyll (mg/g F.W.)				Index
		a	a	a+b	a/b	
Rooting	Check	2.34	0.48	2.82	4.88	100
	Fumigated	1.50	0.37	1.87	4.05	66.3
Maximum tillering	Check	2.82	0.58	3.40	4.86	100
	Fumigated	1.76	0.40	2.16	4.40	63.5
Ear formation	Check	2.57	0.57	3.14	4.51	100
	Fumigated	1.97	0.43	2.40	4.58	76.4
Heading	Check	1.79	0.39	2.18	4.59	100
	Fumigated	1.77	0.43	2.22	4.12	100.9

ozone가스 接觸으로 葉綠素가 減少되었고 一時的으로는 葉綠素가 增加하는 境遇도 있었으나 可視被害는 葉綠素가 減少되었다고 하였고, 또한 Backerson⁽²¹⁾도 흰콩에 ozone가스를 接觸시켜 葉綠素가 減少한다고 報告하였는데 이들 모두가 葉綠素 a가 b보다 그 減少程度가 컸다고 하였다. 本試驗에서도 葉綠素 a가 減少가 큰 것으로 보아 葉綠素 a가 b보다 크게 影響을 받는다는 것으로 생각되고 出穗期에는 可視被害가 없었으나 收量은 減少하였는데 服田等⁽²²⁾은 ozone가스의 影響은 葉順位, 葉綠素含量, 糖含量 및 年齡과 關係가 깊다고 하고 下位葉보다 上位葉이 感受性이 크다고 한 報告等으

로 보아 葉 個體에 따라서 感受性이 다르게 나타나는 것으로 判斷된다.

마. Peroxidase의 活性

Ozone가스를 接觸시킨 後 經過日字에 따라 水稻葉中 peroxidase의 活性을 調査한 結果는 그림 2와 같이 가스 接觸後 日字가 經過함에 따라서 對照區에 比하여 peroxidase의 活性이 增加되었으며 分蘗最盛期가 幼穗形成期보다 그 活性이 더욱 增加되었는데 分蘗最盛期 接觸이 減收率 및 葉綠素 減少率 등이 가장 높았다. 中村等⁽²³⁾은 ozone가스를 받은것은 老化가 促進되고 光合成能等 生理的活性이 衰退하고 呼吸量이 增加된다는

報告로 보아 ozone가스 接觸으로 體內的 peroxidase의 活性 增加로 細胞의 老化가 促進되며 따라서 生理的인 活動이 減退되어 水稻에 被害를 가져오는 것으로 생각 된다.

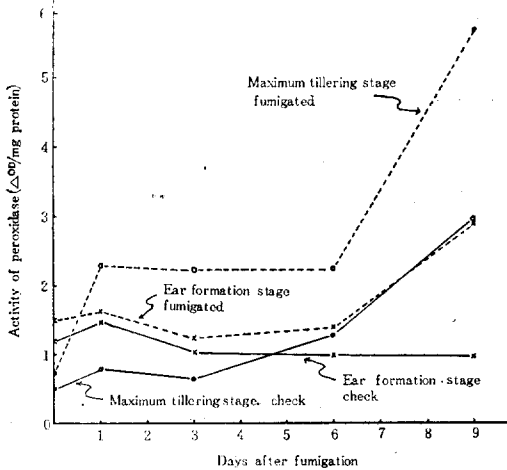


Fig. 2. Changes of peroxidase activity in rice leaves by days after fumigation

바. 窒素 含量

水稻生育時期에 따라서 體內 窒素含量이 差異가 있었고 窒素含量이 많았던 分蘖最盛期에 被害葉率이 가장 높았으며 ozone가스 接觸으로 各時期 모두 表 4와 같이 窒素含量的 減少를 가져왔다. 鄭等⁽²⁴⁾은 體內的 abscisic acid含量은 窒素增施로 減少하였고 ozone가스의 感受性이 增大되었다고 報告하였고, 野內等⁽⁶⁾은 RNA, DNA 및 蛋白質이 ozone가스 接觸時間에 比例하여 減少하였다는 報告等과 같이 本 實驗結果에서도 體內에 窒素含量이 많은 境遇 abscisic acid含量的 減少로 ozone가스의 感受性이 큰 것으로 생각되며 ozone가스의 接觸은 體內 窒素含量이 減少된 것으로 思料된다.

Table 4. Nitrogen contents in rice leaves exposed to ozone gas

Fumigation stage	Unit : %	
	Check	Fumigation
Rooting	4.36	4.11
Maximum tillering	4.50	4.47
Ear formation	3.12	3.08
Heading	1.47	0.91

要 約

水稻(曙光벼)의 活着期, 分蘖最盛期, 幼穗形成期, 出穗期에 ozone가스 0.5 ppm을 4時間씩 가스接觸室內에서 接觸시켜 가스接觸後에 나타나는 被害症狀, 被害葉率, 葉綠素含量 및 peroxidase의 活性을 調査한 結果는 다음과 같다.

- 1) Ozone 가스에 의한 水稻葉의 被害症狀은 銀白色의 微細한 斑點이 葉脈을 따라 發生되며, 赤褐色~暗褐色의 斑點이 發生되는 境遇도 있었다.
- 2) Ozone가스 接觸에 의한 水稻의 生育時期別 減收程度는 分蘖最盛期>幼穗形成期>活着期>出穗期の 順이었다.
- 3) Ozone가스接觸에 의한 水稻의 生育時期別 被害葉率 및 葉綠素減少程度는 分蘖最盛期>活着期>幼穗形成期>出穗期の 順이었다.
- 4) Ozone가스接觸으로 水稻葉中의 窒素含量이 減少되었고 稻體葉中 窒素含量이 높은 時期에 被害가 컸다.

參 考 文 獻

1. 大韓民國學術院 (1973) : 大氣汚染物質에 對한 植物의 感受性, 環境問題研究報告書, pp. 3-43.
2. 金福榮, 韓基碩, 金善寬 (1979) : 大豆에 對한 ammonia가스의 影響, 韓國土壤肥料學會誌, 12(2), 109.
3. 金福榮, 韓基碩 (1980) : 水稻品種別 亞黃酸가스의 被害解析에 關한 研究, 農事試驗研究, 22(S.P. & M), 1.
4. 野內勇, 大平俊男, 澤田正, 小口邦子, 古明地哲人 (1973) : オゾンによる 植物 被害症狀, 大氣汚染研究, 8(2), 113.
5. 野內勇, 大平俊男 (1973) : オゾンの 植物色素への 影響, 大氣汚染研究, 8(2), 120.
6. 野內勇, 大平俊男, 大橋毅 (1973) : 大氣汚染의 植物에 及ぼす 影響, 核酸, タンパク質への オゾンの 影響, 大氣汚染研究, 8(3), 308.
7. 古川昭雄, 門田正也 (1973) : O₃による ポプラ葉의 合光成, 光呼吸, 暗呼吸의 性質에 及ぼす 影響에 對하여, 大氣汚染研究, 8(3), 376.
8. 金福榮, 韓基碩, 金奎植 (1982) : 窒素 및 鹽化水素가스가 水稻와 大豆에 미치는 影響, 韓國環境農學會誌, 1(1), 53.
9. 松坂義明 (1976) : 色素分析法, 栽培植物分析測定法, 養賢堂 (日本), pp. 387-389.
10. 農村振興廳 (1978) : 土壤化學 分析法, pp. 265~275.

11. Abramoff, P. and Thomson, R. G. (1972) : *Cellular Respiration, Laboratory Outlines in Biology* -II, W.H. Freeman and Company, San Francisco, pp. 113~143.
12. 松岡義浩, 高崎強, 森川昌記 (1976) : 光化學オキシダントによる 水稻 可視的障害の研究, 第1報, 光化學オキシダントによる 葉障害原因の立證, 日作紀, 45(1), 124.
13. 中村拓, 橋本俊一, 太田保夫, 沖野政行 (1975) : 光化學オキシダントによる 稻の被害について, 第1報 埼玉縣 鴻巣市における 被害發生と その症狀, 日作紀, 44(3), 312.
14. Keen, N. T. and Taylor, O. C. (1975) : Ozone injury in soybeans, Isoflavonoid accumulation is related necrosis, *Plant Physiol*, 55, 731.
15. 中村拓, 橋本俊一, 太田保夫, 沖野英男 (1976) : 光化學オキシダントによる 稻の被害について, 第2報 空氣淨化法による 生育收量の解析, 日作紀, 45(4), 630.
16. Elkies and Ormrod, D. P. (1979) : Leaf diffusion resistance responses of three petunia cultivars to ozone and/or sulfur dioxide, *J. Air Pollut. Control Assoc.*, 29(6), 622.
17. 鄭永浩, 太田保夫 (1981) : イネの 光化學オキシダント障害に 關する 生理的研究, 第3報, オゾン感受性および 内生 アブジジ酸(ABA)含量に 及ぼす 土壤水分の 影響, 日作紀, 50(4), 566.
18. 鄭永浩, 中村拓, 太田保夫 (1981) : イネの 光化學オキシダント障害に 關する 生理的研究, 第二報 イネの エチレン生成 および オゾン障害に 及ぼす アブジジ酸 (ABA)の 影響, 日作紀, 50(4), 560.
19. 山添文雄, 眞弓洋一 (1976) : 大氣複合汚染防止に 關する 研究 (第3報), 日本農技研 肥料化學資料, 188, 1.
20. 山添文雄, 眞弓洋一 (1974) : 大氣複合汚染防止に 關する 研究 (第2報), 日本農技研 肥料化學資料, 172, 1.
21. Beckerson and Hofstra, G. (1979) : Effect of sulphur dioxide and ozone singly or in combination on leaf chlorophyll, R.N.A, and protein in white bean, *Can. J. Bot.*, 57, 190.
22. 服田春子, 寺門和也 (1975) : オキシダントによる アサガオの 被害葉位と 葉齡との 關係, 大氣汚染研究, 9(4), 729.
23. 中村拓, 坂齊 (1978) : 光化學オキシダントによる 稻の被害に ついて, 第3報 オゾンが イネ葉の 諸生理活性に 及ぼす 影響, 日作紀, 47(4), 707.
24. 鄭永浩, 太田保夫 (1981) : イネの 光化學オキシダント障害に 關する 生理的研究, 第4報, イネの 内生アブジジ酸(ABA) 含量 および オゾン感受性に 及ぼす 窒素施肥の 影響, 日作紀, 50(4), 570.