

植物に対するパーオキシアセチルナイトレートの影響（案）

目次

1		
2		
3		
4		
5		
6	1. はじめに.....	2
7	2. PAN による葉面可視障害の発現	2
8	2.1. 葉の可視障害と大気 PAN 濃度の関係	3
9	2.2. 葉の可視障害と気孔からの PAN 吸収の関係	4
10	3. 植物の成長に対する PAN の影響	6
11	4. 植物の生理機能に対する PAN の影響	7
12	4.1. 光合成に対する影響	7
13	4.2. 脂質とチオール基に対する影響	8
14	5. まとめ	10
15	6. 参考文献	10
16		
17		

18 1. はじめに

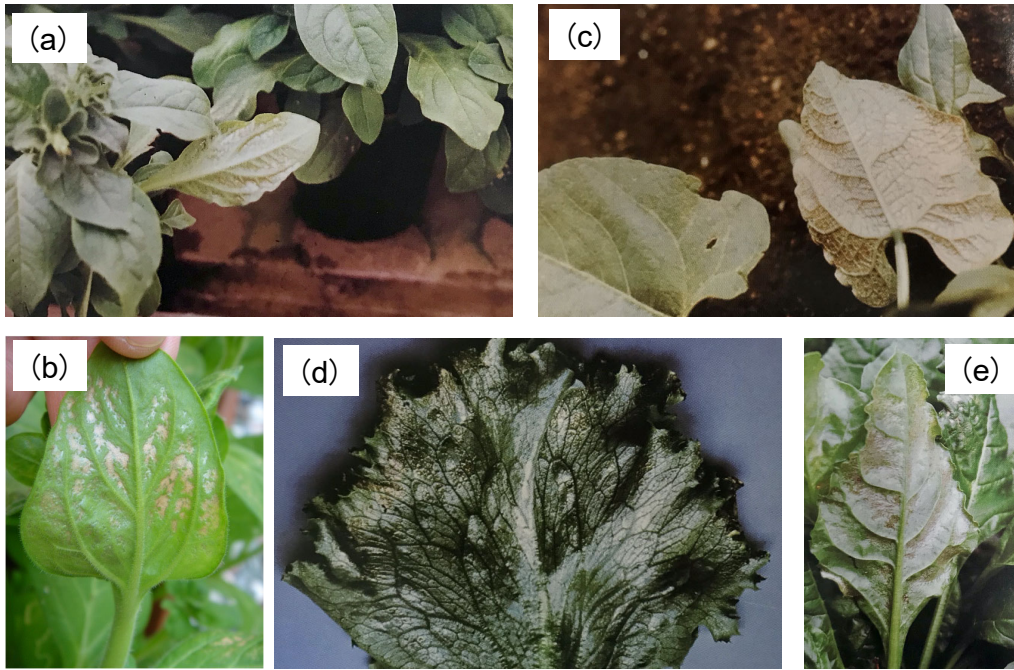
19 パーオキシアセチルナイトレート (peroxy acetyl nitrate, PAN) は、光化学オキシ
20 ダントを構成する酸化性物質のひとつである。

21 PAN の植物影響に関しては、1944 年に、米国のロサンゼルス地域で、レタスやホ
22 ウレンソウなどの農作物の葉の背軸面（裏面）に光沢化、ブロンズ化または銀白色化
23 と呼ばれる可視障害が発現した(Middleton *et al.*, 1950)。この葉裏面の可視障害を引
24 き起こす原因物質の究明が精力的に行われたが、それが PAN であることが証明され
25 たのは 1960 年である(Taylor *et al.*, 1960)。その後、米国では、1960 年代から 1970
26 年代にかけて、農作物に対する PAN の影響に関する実験的研究が行われた。日本にお
27 いては、PAN の植物影響に関する研究は極めて限られているが、1970 年代から 1990
28 年代にかけて東京都公害研究所（東京都環境科学研究所）、農業環境技術研究所、東京
29 都農業試験場、国立公害研究所（国立環境研究所）、東京農工大学などで、PAN の植
30 物影響に関する実験的研究が行われた。本資料では、主に日本国内の植物種を対象と
31 して、植物に対する PAN の影響を概説する。

32

33 2. PAN による葉面可視障害の発現

34 PAN は、若い葉の背軸面（裏面）に光沢化、青銅色化（ブロンズ化）、銀白化などの
35 可視障害症状（図 1）を発現する(野内ら, 1975)。一般に、オゾン葉の向軸面（表面）
36 に可視障害を発現させるが、PAN は葉の背軸面（裏面）に可視障害を発現させる。こ
37 の理由として、PAN は葉組織の海綿状組織の細胞を選択的に攻撃するためであると考
38 えられている(野内, 2001)。PAN による葉の特徴的な被害症状は、健全な下表皮細胞
39 とその内側の海綿状組織細胞の着色した壊死細胞との間にできた大きな空隙によって
40 光が散乱した結果であると考えられている(野内, 2001)。



41
 42 図 1 パーオキシアセチルナイトレート (PAN) によるペチュニア(a,
 43 b), インゲンマメ(c), レタス(d), フダンソウ(e)の葉の可視障害(野
 44 内, 2002; 埼玉県環境科学国際センター). 図 1(a)は 1972 年 6 月に
 45 東京都立川市で, 図 1(c)(d)(e)は 1974 年 5 月に東京都保谷市 (現・
 46 西東京市) で撮影された(野内, 2002).

47
 48 植物が PAN 被害を発現するには、PAN の曝露前、曝露中及び曝露後に光に照射さ
 49 れる必要があり、これらのどこかを暗黒にすると可視障害が抑制される(Mudd, 1975)。
 50 これらの事実は、PAN が植物における光化学プロセスの代謝経路にある何らかの組成
 51 物との反応を介して、植物に障害を与えている可能性を示している(Dugger *et al.*,
 52 1963)。PAN による可視障害発現に光が必要である理由は明らかではないが、光が抗
 53 酸化防御機構を破壊するフリーラジカルの生成の開始剤となっている可能性が指摘さ
 54 れている(Wellburn, 1994)。

55 56 2.1. 葉の可視障害と大気 PAN 濃度の関係

57 ここでは、日本の植物を対象に、葉の可視障害と大気 PAN 濃度の関係などを調査し
 58 た知見を整理する。葉の可視障害に関して、日本国内ではペチュニア (*Petunia hybrida*)
 59 が研究によく用いられてきた。

60 野内(1979)は、ペチュニアの白色系品種であるホワイトエンサインを対象に、人工
 61 気象室を用いた PAN 曝露実験を行い、葉の可視障害を調査した。0.0075 ppm、0.012
 62 ppm、0.020 ppm、0.040 ppm の PAN を 1、2、4、8 時間、0.080 ppm の PAN を 1、
 63 2、4 時間、0.070 ppm、0.140 ppm の PAN を 1 時間曝露した結果、ホワイトエンサ

64 インの葉被害発現閾値は1時間のPAN曝露で0.032 ppmであり、3時間曝露で0.014
65 ppm、8時間曝露で0.007 ppmであることを報告している。

66 寺門と久野(1984)は、1974～1977年に東京都立川市にて、野外又はFAC内に植え
67 たペチュニア(品種:ホワイトエンサイン)を用い、PANによる葉被害発現と大気PAN
68 濃度との関係を調べた。その結果、大気PAN濃度が2 ppb未満の場合は葉被害発生
69 率が20%以下であったが、3 ppb以上になると80%以上となり、ホワイトエンサイン
70 におけるPANによる葉被害発生限界濃度は3 ppb前後であると推測した。ペチュニ
71 アにおいてPANに対して最も感受性が高いのは、未成熟な若い葉(ペチュニア株の
72 先端から第2葉位～第6葉位)であった。また、ペチュニアの品種間差異について調
73 査したところ、白花系のペチュニアの品種(ホワイトエンサイン)は、青花系や赤花
74 系の品種に比べてPAN感受性が高かったと報告した。

75 野内ら(1984)は、東京都有楽町において、1976～1978年及び1982～1983年の4月
76 初めから11月末日までの8か月間野外に生育しているペチュニア(品種:ホワイト
77 エンサイン)の葉被害と大気中のPAN濃度との関係を調査した。その結果、ホワイト
78 エンサインにおける葉の可視障害の発生率は、PANの日最高濃度または一日の曝露量
79 の増加に伴って増加することを報告した。なお、被害葉面積と日最高濃度またはPAN
80 の一日の曝露量との間には有意な相関はみられなかった。また、PANの曝露量や気象
81 条件により可視障害の出現がPAN汚染日から2～5日後と遅れたり、同程度の曝露量
82 でも環境要因の変動により被害程度が著しく変化したりした。野外においてペチュニ
83 アに葉被害が発現する可能性があるPAN濃度は日最高濃度で4 ppbであり、一日の
84 曝露量(8:00～18:00の積算値)で20 ppb・h程度とされた(野内, 1988)。

85 Izuta *et al.* (1993)は、ペチュニア(品種:ホワイトチャンピオン)、インゲンマメ
86 (*Phaseolus vulgaris*、品種:ホンキントキ)及びハツカダイコン(*Raphanus sativus*、
87 品種:コメット)に自然光型ファイトトンネル内で10 ppb、30ppbまたは60 ppbのPAN
88 を4時間/日で3日間曝露した。その結果、ペチュニアやインゲンマメにおいては30
89 ppbまたは60 ppbのPAN曝露によって葉に可視障害が発現したが、ハツカダイコン
90 ではいずれの濃度のPAN曝露によっても葉に可視障害が発現しなかったことを報告
91 している。

92

93 2.2. 葉の可視障害と気孔からのPAN吸収の関係

94 Okano *et al.* (1990)は、気孔を介した葉のPAN吸収速度と葉の可視障害の程度に
95 基づくPAN感受性を調べるために、草本9種に人工光型グロースキャビネット内に
96 設置した透明アクリル製チャンバー内で50 ppbまたは100 ppbのPANを5時間曝
97 露した。葉によるPANの吸収速度は、120分間の明条件下ではほぼ一定レベルに保た
98 れたが、暗条件下では急速に低下し、30～45分以内にほぼゼロに達した(図2)。こ

99 れらの結果は、葉の表面への PAN の吸着は非常に小さく、そのほとんどが開いた気
 100 孔を通して葉内に吸収されることを示唆している。葉の PAN 吸収速度は、ヒマワリ
 101 >ハツカダイコン>トマト>ハウレンソウ>ペチュニア>ラッカセイ>タバコ>ダイ
 102 ズ>トウモロコシの順に高かった（表 1）。葉の可視障害の程度に基づいた PAN 感受
 103 性は、ペチュニア>タバコ=ハツカダイコン>トマト=ダイズ=ハウレンソウ=ヒマ
 104 ワリ>トウモロコシ=ラッカセイの順に高かった（表 1）。したがって、PAN の吸収
 105 速度と葉の可視障害の程度に基づいた PAN 感受性との間に有意な相関は認められな
 106 かった。この結果より、PAN 感受性における種間差異を決定する要因は、気孔を介し
 107 た葉の PAN 吸収速度ではなく、葉内のいくつかの代謝プロセスにおける PAN 感受性
 108 であると考えられる。

109

110 表 1 草本 9 種の気孔を介した葉の PAN 吸収速度と PAN に対する
 111 感受性(Okano *et al.*, 1990).

112 葉の PAN 吸収速度（左の表）は、100 ppb の PAN を曝露して測定
 113 した。PAN 感受性（右の表）は、50 ppb または 100 ppb の PAN を
 114 5 時間にわたって曝露し、葉の可視障害の程度（-障害なし、+軽微
 115 な障害、++中程度の障害、+++著しい障害）を評価した。

植物種（学名）	PAN吸収速度 ($\times 10^{-5}$ g PAN dm ⁻² h ⁻¹)	PAN感受性（可視障害）		
		50 ppb PAN	100 ppb PAN	
ヒマワリ (<i>Helianthus annuus</i> L. cv. Russian Mammoth)	11.6±1.0	ペチュニア	++	+++
ハツカダイコン (<i>Raphanus sativus</i> L. cv. Comet)	9.1±1.0	タバコ	-	++
トマト	7.2±0.5	ハツカダイコン	-	++
(<i>Lycopersicon esculentum</i> Mill cv. Fukuju No. 2)		トマト	-	+
ハウレンソウ	7.0±0.5	ダイズ	-	+
(<i>Spitacia oleracea</i> L. cv. New Asia)		ハウレンソウ	-	+
ペチュニア	6.7±0.6	ヒマワリ	-	+
(<i>Petunia hybrida</i> Vilm cv. Mitchell)		トウモロコシ	-	-
ラッカセイ	3.8±0.7	ラッカセイ	-	-
(<i>Arachis hypogaea</i> L. cv. Chiba-handachi)				
タバコ	3.3±0.5			
(<i>Nicotiana tabacum</i> L. cv. Xanthi NC)				
ダイズ	2.7±0.7			
(<i>Glycine max</i> Merr. cv. Waseshiratori)				
トウモロコシ	1.3±0.6			
(<i>Zea mays</i> L. cv. Dento)				

116

117

118

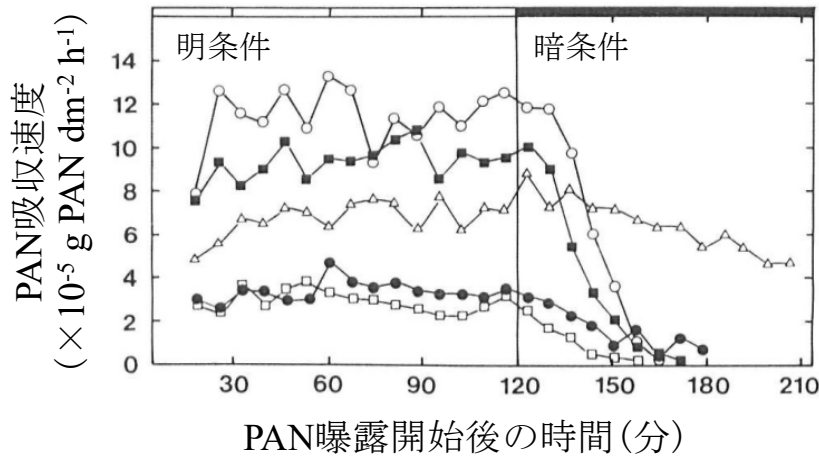
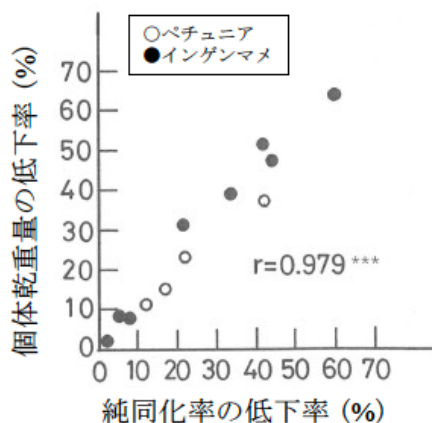


図 2 ヒマワリ (○)、ハツカダイコン (■)、ホウレンソウ (△)、タバコ (●) 及びダイズ (□) の葉の PAN 吸収速度の時間変化 (Okano *et al.*, 1990)。各植物に、100 ppb の PAN を明条件下 (120 分間) と暗条件下 (90 分間) で曝露し、葉の PAN 吸収速度を測定した。

3. 植物の成長に対する PAN の影響

農作物や樹木の成長に対する PAN の影響に関する知見は極めて限られている。 Temple and Taylor (1985) は、PAN とオゾンがトマト (*Lycopersicon esculentum*) の 4 つの品種の成長に及ぼす複合影響を調べた。4 週齢のトマトに、0 ppb、50 ppb または 100 ppb の PAN と 0 ppb、102 ppb または 204 ppb のオゾンを組み合わせて、4 時間/日で 3 回/週で 3 週間にわたって曝露し、最後の曝露から 1 週間後にサンプリングした。102 ppb のオゾンで微量の葉の可視障害 (葉の 1% 程度) が発現し、204 ppb のオゾンでは中程度の葉の可視障害 (葉の 30~50% 程度) が出現した。PAN は、単独またはオゾンとの組み合わせでも葉に可視障害を発現させず、オゾンによる葉の可視障害に影響を与えなかった。4 品種の葉の可視障害に基づくオゾン感受性は、Heinz 1350 > Tiny Tim > Ace > Pyxie の順に高かった。オゾン曝露は、4 品種のトマトの成長を低下させた。また、PAN 曝露もトマトの成長を低下させたが、統計的に有意な低下ではなかった。オゾンと PAN のトマトの成長に対する複合影響は相殺的影響であったが、地上部乾重量と根乾重量の比率に対する複合影響は相乗的影響であった。この違いは、オゾンと PAN の複合曝露は、葉の成長と比較して、根の成長をより著しく抑制したことに起因している。Izuta *et al.* (1993) は、ペチュニア (品種: ホワイトチャンピオン)、インゲンマメ (品種: ホンキントキ) 及びハツカダイコン (品種: コメット) に 10 ppb、30 ppb または 60 ppb の PAN を 4 時間/日で 3 日間にわたって曝露した。その結果、30 ppb または 60 ppb の PAN 曝露によってペチュニアとインゲンマメの乾物成長は低下したが、ハツカダイコンの乾物成長は有意な影響を受けなかつ

145 た。ペチュニアとインゲンマメにおいては、PANによる個体乾重量の低下率と純同化
146 率（NAR: net assimilation rate）の低下率との間に正の相関が認められた（図 3）。
147 この結果は、PANによるペチュニアとインゲンマメの個体乾物成長の低下は、葉にお
148 ける同化産物の生産効率の低下が原因であることを示唆している。
149



150

151 図 3 ペチュニアとインゲンマメの PAN 曝露による純同化率（NAR）
152 の低下率と個体乾重量の低下率の関係（Izuta *et al.*, 1993）

153 ペチュニア（品種：ホワイトチャンピオン）とインゲンマメ（品種：
154 ホンキントキ）に、10 ppb、30 ppb または 60 ppb の PAN を 4 時
155 間/日で 3 日間にわたって曝露した。

156 成長パラメータの低下率（%）= 100 - （PAN を曝露された植物の成
157 長パラメータ / 浄化空気を曝露された植物の成長パラメータ）× 100

158

159 4. 植物の生理機能に対する PAN の影響

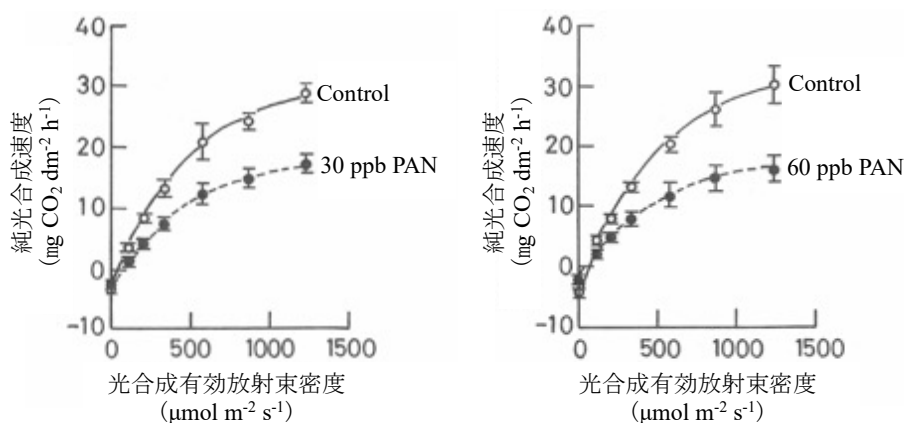
160 植物の生理生化学的機能に対する PAN の影響やそのメカニズムは、米国で 1960 年
161 代に精力的に研究された。しかしながら、1970 年代以降は PAN の植物影響に関する
162 研究が少なくなったため、PAN の植物影響のメカニズムは未解明である。なお、PAN
163 とオゾンはどちらも光化学オキシダントの一種であるが、両者の光合成などの生理生
164 化学的機能に対する影響は異なる。

165

166 4.1. 光合成に対する影響

167 光合成における PAN 感受性は、他の生理生化学的機能におけるそれに比べて高い
168 （野内, 2001）。600 ppb の PAN に 30 分間にわたって曝露された植物から単離された
169 葉緑体は、酸素発生が阻害されるが、光リン酸化は影響を受けなかった（Dugger *et*
170 *al.*, 1965）。また、単離されたハウレンソウの葉緑体では、PAN によって光合成にお
171 ける光化学系 I と光化学系 II (PS) の両方の電子伝達系が阻害された（Coulson and

172 Heath, 1975)。野内(1988)は、インゲンマメに 0.095 ppm の PAN を同化箱中で 4 時
 173 間曝露した結果、葉に水浸状症状の可視障害が発生しない間は純光合成速度と蒸散速
 174 度は低下しなかったが、葉に水浸状症状が拡大すると急激にそれらが著しく低下した
 175 ことを報告している。この結果は、PAN が葉に可視障害症状を発現しない間は気孔
 176 開度に影響しないことや曝露終了後でも葉緑体の構造を破壊することを示唆してい
 177 る。PAN による光合成阻害が発現するには、PAN 曝露中と曝露後に光が必要である
 178 (Koukol *et al.*, 1967)。Izuta *et al.* (1993)は、ペチュニア (品種: ホワイトチャンピ
 179 オン) の純光合成速度は 30 ppb または 60 ppb の PAN を 4 時間/日で 3 日間曝露す
 180 ると有意に低下したことを報告している。この時、PAN 曝露によって、ペチュニア
 181 の光-光合成曲線の初期勾配 (量子収率) と光飽和純光合成速度は有意に低下し、暗
 182 呼吸速度は 60 ppb の PAN 曝露によって有意に低下したが、CO₂ 気孔拡散抵抗 (気
 183 孔を通じて行われる二酸化炭素の拡散に対する抵抗、気孔コンダクタンスの逆数) に
 184 有意な影響は認められなかった (図 4)。これらの結果は、PAN によるペチュニアの
 185 純光合成速度の低下の原因は、気孔閉鎖ではなく、主に葉緑体における光合成能力の
 186 低下であることを示唆している。
 187



188
 189 図 4 ペチュニア (品種: ホワイトチャンピオン) の純光合成速度に
 190 に対する PAN の影響 (Izuta *et al.*, 1993)。ペチュニアに 30 ppb また
 191 は 60 ppb の PAN を 4 時間/日で 3 日間曝露後、純光合成速度を測
 192 定した。図中の値とバーは、それぞれ 4 個体の平均値と標準偏差を
 193 示している。

194
 195 4.2. 脂質とチオール基に対する影響

196 PAN は、不飽和炭化水素 (オレフィン) の二重結合と反応し、エポキサイドを生成
 197 し、脂質の生合成に影響を与えることが報告されている (Mudd, 1975)。また、PAN は
 198 アミンと反応してアミドを生成する。そのため、PAN は膜のタンパク質と脂質に影響

199 を与える可能性がある(野内, 2001)。PAN は、NADPH を酸化し、アセテートの長鎖
200 脂肪酸への結合を阻害するため(Mudd and Dugger, 1963)、葉の膜脂質を変化させる
201 可能性がある。

202 Nouchi and Toyama (1988)は、インゲンマメに 100 ppb の PAN を人工光型曝露チ
203 ャンバー内に設置した透明アクリル製チャンバー内で 8 時間曝露したところ、曝露開
204 始から 4 時間までは葉に可視障害が発現せず、リン脂質、糖脂質及び全脂肪酸含量は
205 ほとんど変化しないが、曝露開始後 6 時間目に葉に水浸状症状や萎れ症状が現れ始め、
206 リン脂質と糖脂質が減少し、全脂肪酸含量の減少と共にマロンジアルデヒド (MDA,
207 $\text{CH}_2(\text{CHO})_2$) 含量が増加したことを報告している (図 5)。MDA は、生体内で、不飽
208 和結合を 2 つ以上持つ多価不飽和脂肪酸が活性酸素種によって非酵素的に酸化される
209 と生成されるため、酸化ストレスの指標である。これらの結果から、PAN は葉緑体の
210 チラコイド膜の脂質を直接的に攻撃し、膜構造の崩壊と細胞死を導いていると推定さ
211 れる(野内, 2001)。さらに、野内(1988)は、PAN によるクロロフィルと脂肪酸の分解
212 及び MDA の生成がスーパーオキシドアニオン (O_2^-) に起因しているが、極性脂質の
213 分解には活性酸素種は関与していないことを報告している。この結果は、PAN の酸化
214 的作用が少なくとも 2 つの経路で進行していることを示している。すなわち、初期ス
215 テージでは、極性脂質に対する酸化剤としての PAN の作用であり、後期ステージでは
216 クロロフィルと脂肪酸に対する酸化剤としての O_2^- の作用である(野内, 2001)。PAN は、
217 酵素のチオール基 (SH 基) や含硫アミノ酸のようなイオウを含む低分子の化合物と
218 強く反応し、S-S 結合や S-acetyl 基を生成する(野内, 2001)。SH 基を持たない酵素は
219 PAN による影響を受けないが(Mudd and Dugger, 1963)、SH 酵素 (活性発現に SH 基
220 が関与している酵素) の活性は PAN 曝露によって阻害されることが報告されている
221 (Taylor, 1969; Mudd, 1975)。

222

223

224

225

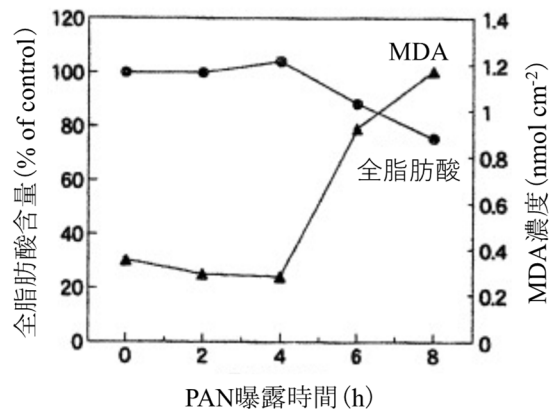


図 5 100 ppb の PAN 曝露中 (8 時間) におけるインゲンマメの葉の全脂肪酸とマロンジアルデヒド (MDA) の含量の変化 (Nouchi and Toyama, 1988; 野内, 2001).

226

227

228

229

230

231 5. まとめ

232 本資料では、主に日本国内の植物種を対象として、植物に対する PAN の影響を概
 233 説した。PAN の植物影響に関する研究は極めて限られているが、大気中の PAN は葉
 234 に存在する気孔を介して葉内に吸収され、感受性が高い植物種においては葉に可視障
 235 害が発現し、成長や光合成などの生理機能の低下が引き起こされることが示されてい
 236 る。

237

238 6. 参考文献

239 Coulson, C.L. & Heath, R.L. (1975) The interaction of peroxyacetyl nitrate (PAN)
 240 with the electron flow of isolated chloroplasts. *Atmospheric Environment*
 241 (1967), 9, 231-238.

242 Dugger, W.M., Jr., Mudd, J.B. & Koukol, J. (1965) Effect of PAN on certain
 243 photosynthetic reactions. *Archives of Environmental Health: An*
 244 *International Journal*, 10, 195-200.

245 Dugger, W.M., Jr., Taylor, O.C., Klein, W.H. & Shropshire, W., Jr. (1963) Action
 246 spectrum of peroxyacetyl nitrate damage to bean plants. *Nature*, 198, 75-
 247 76.

248 Izuta, T., Matsumura, H., Ohashi, T., Miyake, H. & Totsuka, T. (1993) Effects of
 249 peroxyacetyl nitrate on the growth of petunia, kidney bean and radish
 250 plants. *Environmental Sciences*, 2, 63-75.

251 Koukol, J., Dugger, W.M., Jr. & Palmer, R.L. (1967) Inhibitory effect of
 252 peroxyacetyl nitrate on cyclic photophosphorylation by chloroplasts from

- 253 black valentine bean leaves. *Plant Physiology*, 42, 1419-1422.
- 254 Middleton, J.R., Kendrick, J.B., Jr. & Schwalm, H.W. (1950) Injury to herbaceous
255 plants by smog or air-pollution. *Plant Disease Report*, 34, 245-252.
- 256 Mudd, J.B. & Dugger, W.M., Jr. (1963) The oxidation of reduced pyridine
257 nucleotides by peroxyacyl nitrates. *Archives of Biochemistry and*
258 *Biophysics*, 102, 52-58.
- 259 Mudd, J.B. (1975) Peroxyacyl nitrates. In *Responses of Plants to Air Pollution*,
260 Mudd, J. B. & Kozlowski, T. T., (eds.) Academic Press: pp. 97-119.
- 261 Nouchi, I. & Toyama, S. (1988) Effects of ozone and peroxyacetyl nitrate on polar
262 lipids and fatty acids in leaves of morning glory and kidney bean. *Plant*
263 *Physiology*, 87, 638-646.
- 264 Okano, K., Tobe, K. & Furukawa, A. (1990) Foliar uptake of peroxyacetyl nitrate
265 (PAN) by herbaceous species varying in susceptibility to this pollutant.
266 *New Phytologist*, 114, 139-145.
- 267 Taylor, O.C. (1969) Importance of peroxyacetyl nitrate (PAN) as a phytotoxic air
268 pollutant. *Journal of the Air Pollution Control Association*, 19, 347-351.
- 269 Taylor, O.C., Stephens, E.R., Darley, E.F. & Cardiff, E.A. (1960) Effect of airborne
270 oxidants on leaves of pinto bean and petunia. *Proceedings of the American*
271 *Society for Horticultural Science*, 75, 435-444.
- 272 Temple, P.J. & Taylor, O.C. (1985) Combined effects of peroxyacetyl nitrate and
273 ozone on growth of four tomato cultivars. *Journal of Environmental*
274 *Quality*, 14, 420-424.
- 275 Wellburn, A. (1994) Ozone, PAN and photochemical smog. In *Air Pollution and*
276 *Climate Change: The Biological Impact*, Second ed.; Longman Scientific
277 and Technical, Wiley: pp. 123-144.
- 278 埼玉県環境科学国際センター 「光化学スモッグ」って植物にも悪影響を及ぼすの？.
279 <https://www.pref.saitama.lg.jp/cess/cess-kokosiri/cess-koko7.html>
280 (accessed 2023.9.7).
- 281 寺門和也, 久野春子. (1984) PAN 発生動向とペチュニアの被害. 東京都農業試験場研
282 究報告, 17, 1-11.
- 283 野内 勇. (1979) オゾン, PAN の濃度および暴露時間と植物被害. *大気汚染学会誌*, 14,
284 489-496.
- 285 野内 勇. (1988) 光化学オキシダント (オゾンおよびパーオキシアセチルナイトレー
286 ト) による植物葉被害および被害発現機構. *農業環境技術研究所報告*, 5, 1-
287 121.

- 288 野内 勇. (2001) パーオキシアセチルナイトレート (PAN) . 野内 勇 (編) 大気環境
289 変化と植物の反応, 養賢堂, pp. 97-112.
- 290 野内 勇. (2002) 大気汚染による植物被害(4), 光化学オキシダント被害(4), 野外で
291 発生した PAN による 草本植物の被害. 大気汚染による植物被害写真集. 大
292 気環境学会植物分科会・農業環境技術研究所.
- 293 野内 勇, 飯島 勉, 大平俊男. (1975) 植物に及ぼすパーオキシアセチルナイトレード
294 (PAN)の影響 I. PANによる草本植物の被害症状. 大気汚染研究, 9, 635-643.
- 295 野内 勇, 大橋 毅, 早福正孝. (1984) 東京都内における環境大気 PAN 濃度とその指標
296 植物としてのペチュニアの葉被害. 大気汚染学会誌, 19, 392-402.
- 297