

光化学オキシダントの鳥取県内の農作物への影響について

【大気・地球環境室】

尾川 成彰

要旨

1979年の観測開始以降、環境基準を超える濃度が観測される光化学オキシダント（主成分：オゾン）について、現状のオゾン濃度レベルでの農作物への影響調査を行うとともに、更なるオゾン濃度上昇時の影響について調査を行った。

2013年から2015年の春季に実施したフィールド調査では、県内農作物には可視被害の発現は確認されなかった。一方、ハウレンソウを用いた生育実験では、現状のオゾン濃度においても成長量の減少が見られた。人為的に高濃度のオゾンを発生させて生育実験を行った結果、成長量の減少に加え、可視被害の発現が認められた。

1 はじめに

本県では春先から初夏にかけて光化学オキシダント濃度が高く、環境基準（1時間平均値で0.06ppm）を超える濃度が頻繁に観測されている。

光化学オキシダントの主成分であるオゾン(O₃)は、高い酸化力を有し、大気中に高濃度で存在すると、植物に悪影響を及ぼすことが知られている。一般的に、植物が葉の気孔から高濃度のオゾンを吸収すると、急性障害として葉の表面に斑点が生じる（可視被害）ことや、急性障害が現れない濃度であっても光合成機能の阻害による光合成産物量が低下（収量減少）することが知られている⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾。ヨーロッパではオゾンの植物影響を評価するための指標値としてAOT40が用いられている。これは、日中の時間平均オゾン濃度のうち、40ppb以上の部分を期間中合計した値を用いて評価する方法⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾で、例えば、コムギに対して3ppm h（収量5%減）、牧草には3ppm h（成長10%低下）、森林についてはブナに対して10ppm h（成長10%低下）が提案されている。この方法により本県のAOT40を算出すると約10ppm hに達していることがすでに報告されている⁽⁶⁾。しかしながら、県内農作物等を対象にオゾンの影響を調査した報告はほとんどない。

そこで本研究では、本県の光化学オキシダント濃度レベルにおける県内農作物等への被害状況を調査したので、これを報告する。

2 方法

(1) 可視被害調査

2013年5月から2015年7月までのオゾン濃度が上昇する春季から初夏の時期に毎週、及びオゾン濃度上昇時の翌日に農作物に可視被害が発現しているか調査を実施した。調査地点は、図1に示す農地等4～11地点（平成2013年度：11地点、2014年度：7地点、2015年度：4地点）であり、調査対象は、共通する農作物としてハウレンソウ（トラッド7、晩抽サンホープ）、コマツナ（なかまち、はっけい）各50株以上、加えて各調査地点で栽培されている全ての農作物、及び光化学オキシダントの植物影響を評価する際の指標植物であるアサガオ（スカーレットオハラ）⁽⁷⁾6株とした。ハウレンソウ及びコマツナは、春季に県内で広く栽培されている品種を選定した。

また、2014年度調査では、各調査地点にて、パッシブサンプラー（小川商会製）を用いて大気中のガスの捕集を行い、オゾン濃度の測定を行った。



図1 可視被害調査の地点

(2) 生育実験

現状の濃度レベルでオゾンが農作物の成長に与える影響を調べるため、オゾン濃度が上昇する春季にオープントップチャンバー（以下「OTC」という。）⁽⁸⁾を用いて生育実験を行った。オゾン濃

度を 10ppb 以下となるように調整した大気を導入した浄化区画と OTC 内にそのまま実大気を導入した非浄化区画を各 2 区画設け、ハウレンソウ（トラッド7、晩抽サンホープ）各 6 個体以上を各 OTC 内で栽培し、成長量（葉緑素値、草丈、葉枚数、新鮮重、調整重）への影響を調査した。葉緑素値は、葉緑素計（コニカミノルタ製 SPAD-502）で測定した。

浄化区画内 OTC のオゾン濃度の調整は、無機繊維を骨格としたハニカム担体に触媒を担持したオゾン分解フィルター（ニチアス製、TOMBO、No. 8803ZV、ハニクル®ZV、#2813）を大気導入部に設置することにより行った。また、各 OTC 内の流量を統一するため、非浄化区画には、触媒を添加しない担体ハニクル（No. 8801、#2813）を同様に設置した。各区画のオゾン濃度はオゾン計（Dylec 製 Model 1210-6）で測定し、温度、湿度、照度、気圧は、おんどとり（T&D 製）で測定した。



図2 OTC と生育実験の状況

(3) 生育実験（曝露実験）

オゾン発生器（Dylec 製 Model OES-10A）とオゾン計を組み合わせたオゾン発生調整装置により、OTC 内のオゾン濃度を 80ppb、100ppb、120ppb に調整した高濃度区画と、2 (2) と同様の浄化区画を設け、ハウレンソウ（トラッド7、晩抽サンホープ）をそれぞれ栽培し、成長量（葉緑素値、草丈、葉枚数、新鮮重、調整重）への影響を調査した。本稿中の統計解析には統計処理ソフトウェア R3.3.2（R Development Core Team, 2016）を用いた。

3 結果と考察

(1) 可視被害調査

可視被害調査の結果、各地点で同時期に栽培したハウレンソウ（トラッド7、晩抽サンホープ）、コマツナ（なかまち、はっけい）及び現地に栽培されている農作物に可視被害の発現は確認されなかった。

しかしながら、光化学オキシダントが高濃度

（74～92ppb：大気常時監視局）となった翌日に、アサガオには図3に示すような可視被害の発現が複数地点（図4、5）で確認された（2013、2014年度調査）。2015年度調査ではアサガオへの可視被害の発現は確認されなかった。



図3 可視被害の状況

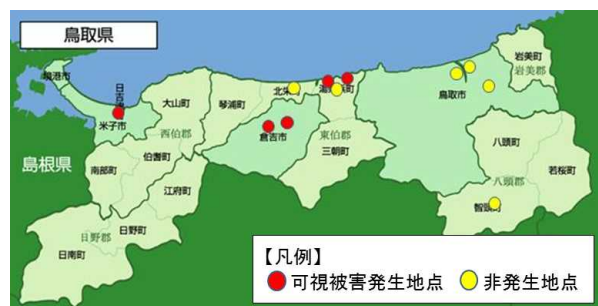


図4 2013年度調査結果

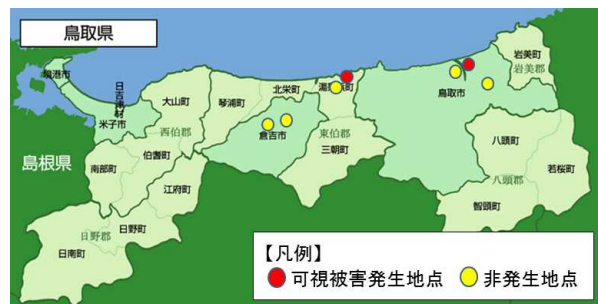


図5 2014年度調査結果

なお、2014年度調査（2014年7月13日）で可視被害が確認された地点は鳥取市（江津）、湯梨浜町（宇谷）の2地点で、この2地点の可視被害発現日の前日を含む1週間のオゾン濃度積算値は他の地点に比べ高く（図6）、そのため可視被害が発現したものと考えられる。

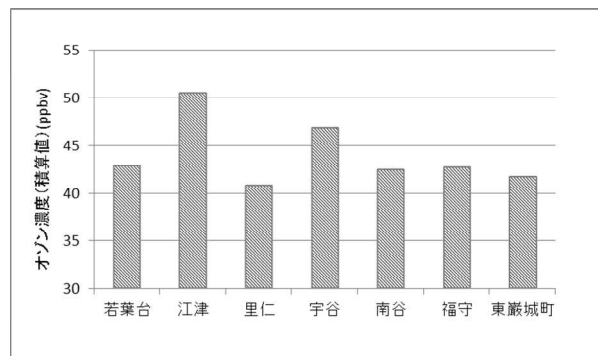


図6 オゾン積算濃度（2014.7.10～17）

(2) 生育実験

調査項目別に、成長量の測定結果（平均値）を表 1、表 2 に示す。また、非浄化区の成長量を浄化区の成長量の比として表したものを図 7、8 に示す。葉の枚数を除く全ての項目について、実大

気の区画で栽培した個体の方がオゾン浄化区画のものより成長量が小さく、新鮮重については 4～12%程度、乾燥後の調整重については 10～15%程度下回った。

表 1 トラッド7の成長量の測定結果（平均値）

試験期間 2015.4.17～5.7	試験時間※ [h]	オゾン濃度 [6-18時]			測定結果					
		最大値 [ppb]	最小値 [ppb]	平均値 [ppb]	葉緑素値	草丈 [cm]	葉枚数 [枚]	新鮮重 [g]	調整重 [g]	
トラッド7	浄化大気	476(236)	20	0	5	42.8	18.1	12.2	17.4	2.2
	実大気	476(236)	112	11	46	40.0	16.6	12.6	16.8	2.0

※（ ）内は日中の 6-18 時の時間

表 2 晩抽サンホープの成長量の測定結果（平均値）

試験期間 2015.5.18～6.5	試験時間※ [h]	オゾン濃度 [6-18時]			測定結果					
		最大値 [ppb]	最小値 [ppb]	平均値 [ppb]	葉緑素値	草丈 [cm]	葉枚数 [枚]	新鮮重 [g]	調整重 [g]	
晩抽サン ホープ	浄化大気	429(213)	22	0	5	64.3	12.0	16.7	21.5	2.0
	実大気	429(213)	98	12	47	59.9	11.2	16.2	18.8	1.8

※（ ）内は日中の 6-18 時の時間

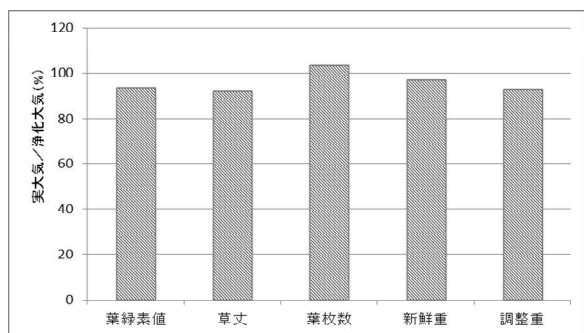


図 7 トラッド7の成長量比較

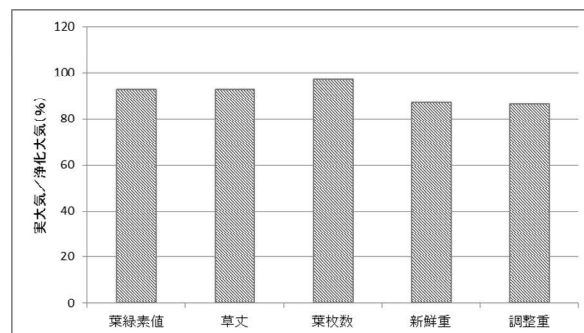


図 8 晩抽サンホープの成長量比較

(3) 生育実験（曝露実験）

OTC 内のオゾン濃度を 80ppb に調整して行った生育実験の結果を表 3、図 9、図 10 に示す。

この実験では可視被害の発現は確認されなかったものの、オゾン浄化大気の区画と比較して、新鮮重、調整重が小さく、調整重について、トラッド7では 5%程度、晩抽サンホープでは 25%程度、成長量が小さかった。

次にオゾン濃度を 100ppb とした生育実験の結果を表 4、図 11、図 12 に示す。オゾン浄化大気の区画と比較すると新鮮重、調整重が小さく、調整重について、トラッド7では 10%程度、晩抽サンホープでは 50%程度、成長量が小さくオゾン濃度 80ppb としたときの結果と比べ、その成長量は低下していた。

なお、両品種とも一部の個体に、可視被害（図 13）の発現が確認された。

濃度 120ppb のオゾンを曝露した OTC 内のホウ

レンソウ（トラッド7、晩抽サンホープ）には、曝露開始6日目に全個体の葉に可視被害（図 14）が確認され、枯れ始めたことから実験を中断した。

(4) オゾン濃度と成長量（調整重）の関係

実大気下及びオゾン濃度を人為的に高めた条件下での生育実験の結果、平均値で浄化区と比較すると成長量の低下を示す結果を得た。この結果を用いて、オゾン濃度と成長量の関係を調べるため、統計モデルによる解析を行った結果を図 15、16 に示す。一般化線形モデルで得られた調整重の推定値（実線）はオゾン濃度の上昇に従い低下している。このことは、前述(2)及び(3)におけるホウレンソウの成長量の低下は、オゾン濃度に起因するものであることを示唆している。

表3 各区画の晩抽サンホープの成長量の測定結果（平均値）

試験期間 2015.10.19～11.9	試験時間※ [h]	オゾン濃度 [6-18時]			測定結果					
		最大値 [ppb]	最小値 [ppb]	平均値 [ppb]	葉緑素値	草丈 [cm]	葉枚数 [枚]	新鮮重 [g]	調整重 [g]	
トラッド7	浄化大気	504(252)	19	0	-	43.2	20.3	7.9	14.7	1.3
	80ppb	504(252)	82	69	80	45.4	18.4	8.0	13.3	1.2
晩抽サン ホープ	浄化大気	504(252)	19	0	-	66.5	13.7	7.5	10.1	1.0
	80ppb	504(252)	82	69	80	58.7	12.5	7.7	7.4	0.7

※ () 内は日中の6-18時の時間

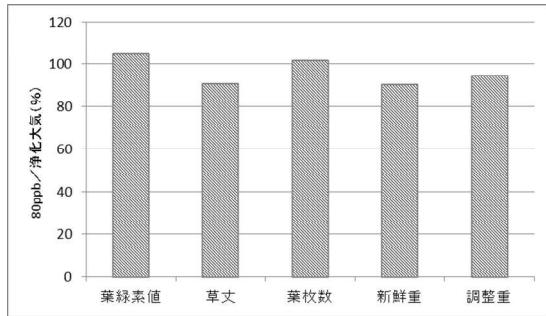


図9 トラッド7の生長量比較

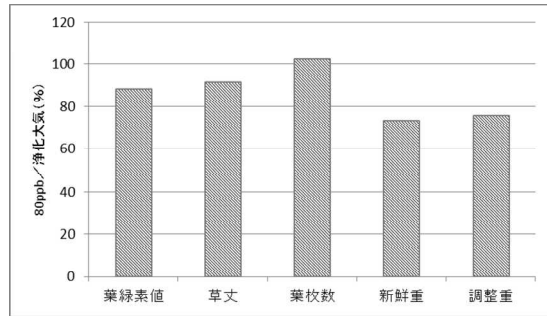


図10 晩抽サンホープの生長量比較

表4 各区画のトラッド7の成長量の測定結果（平均値）

試験期間 2015.9.29～10.13	試験時間※ [h]	オゾン濃度 [6-18時]			測定結果					
		最大値 [ppb]	最小値 [ppb]	平均値 [ppb]	葉緑素値	草丈 [cm]	葉枚数 [枚]	新鮮重 [g]	調整重 [g]	
トラッド7	浄化大気	328(161)	19	0	-	39.4	20.6	6.6	11.2	1.2
	100ppb	328(161)	101	69	100	41.8	19.4	7.7	10.2	1.1
晩抽サン ホープ	浄化大気	328(161)	19	0	-	57.0	16.6	7.9	10.3	1.1
	100ppb	328(161)	101	69	100	53.5	13.9	7.3	5.0	0.6

※ () 内は日中の6-18時の時間

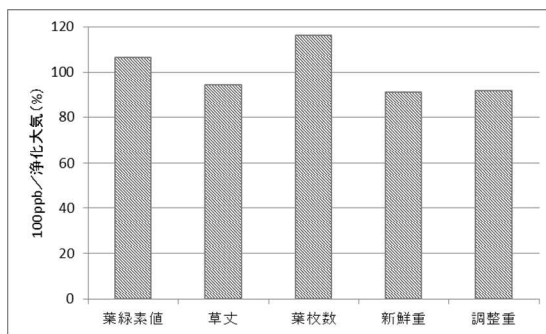


図11 トラッド7の成長量比較

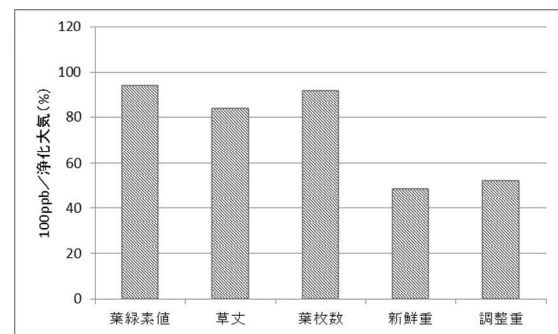


図12 晩抽サンホープの成長量比較



図13 オゾン濃度 100ppb の条件下で発生した可視被害



図14 オゾン濃度 120ppb の条件下で発生した可視被害

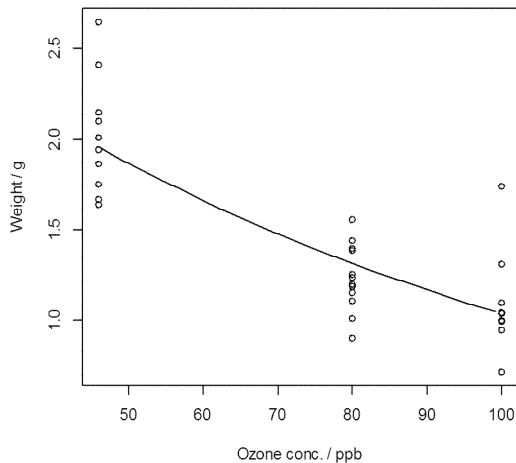


図 15 オゾン濃度と調整重の関係
(トラッド7)

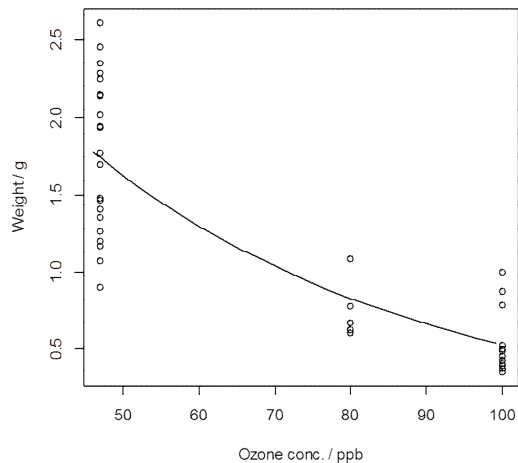


図 16 オゾン濃度と調整重の関係
(晩抽サンホープ)

4 まとめ

本調査の結果、本県における光化学オキシダントの農作物への影響について、以下のことが示唆された。

- (1) 現状の光化学オキシダント濃度レベルでは、農作物等に可視被害は発現しないと考えられる。
- (2) 可視被害は見られないものの、浄化大気に比べると実大気下でのハウレンソウ成長量の低下が見られることから、オゾンの影響で県内農作物の収量低下等の影響が出ている可能性がある。
- (3) オゾンが 100ppb を超える濃度となった場合、成長量低下に加え可視被害の発現が見られたことから、今後、光化学オキシダントの高濃度日の増加、また継続状況により農作物の葉部分に細胞壊死が発現し、葉物野菜等の出荷に影響を及ぼすおそれがある。

5 謝辞

本調査にあたり、鳥取環境大学 藤沼康実教授、及び鳥取県園芸試験場野菜研究室の皆様には、アサガオ及びハウレンソウの栽培に際し、多大なご協力をいただきました。記してお礼申し上げます。

6 参考文献

- (1) 小林和彦, 大気環境学会誌, No, 34 (3), 162-175, 1999
- (2) 三輪誠, 王効挙, 米倉哲志, 金澤光, 埼玉県環境科学国際センター報, No12, 2012
- (3) J. Fuhrer, L. Skärby, M. R. Ashmore, *Environmental Pollution*. 97(1-2), 91-106, 1997
- (4) 伊豆田猛, 松村秀幸: 大気環境学会誌, No32 (6), A73-A81, 1997
- (5) 伊豆田猛, 松村秀幸, 河野吉久, 清水英幸: 大気環境学会誌, No36 (2), 60-77, 2001
- (6) 小林拓史, 第 55 回鳥取県公衆衛生学会, 2012
- (7) 久野春子, 寺門和也, 東京都農業試験場研究報告第 14 号, 1981
- (8) 河野吉久, 米倉哲志, 大気環境学会誌, No47, 186-193, 2012

The influence on farm products in Tottori by the photochemical oxidants

Nariaki OGAWA

Abstract

Since starting measurement in 1979, atmospheric ozone (O_3) concentration has exceeded the environmental standards (0.06 ppm). Ozone is considered to be an air pollutant that causes damage to agricultural crops. Here, we investigated the influence of atmospheric O_3 concentration on crops produced in Tottori prefecture.

The result of field survey carried out in the spring season from 2013 to 2015, the influence of O_3 such as leaf necrosis was not observed. However, in the growth experiment using the ozone adjusted to 0.08 ppm and 0.1 ppm, the growth of spinach was influenced by the O_3 and the leaf necrosis was observed at the O_3 concentration 0.1 ppm.