

資料

鹿児島県内の生産者圃場で観察されたアボカドの葉の生理障害：
塩素過剰による栄養障害の可能性

赤木 功^{1*}・樗木直也¹・山本雅史²・香西直子²

¹鹿児島大学農学部植物栄養・肥料学研究室 〒890-0065 鹿児島市郡元

²鹿児島大学農学部果樹園芸学研究室 〒890-0065 鹿児島市郡元

Physiological Disorder of Avocado Leaves Observed in a Farmer's Field in Kagoshima Prefecture,
Japan: A Case of Nutritional Disturbance Caused by Excess Chlorine

AKAGI Isao^{1*}, CHISHAKI Naoya¹, YAMAMOTO Masashi² and KOZAI Naoko²

¹ Laboratory of Plant Nutrition and Fertilizers, Faculty of Agriculture, Kagoshima University, Korimoto, Kagoshima 890-0065

² Laboratory of Fruit Science, Faculty of Agriculture, Kagoshima University, Korimoto, Kagoshima 890-0065

キーワード：アボカド， 土壌分析， 塩素過剰， 葉分析

緒言

アボカド (*Persea americana* Mill.) は中央アメリカ原産の常緑果樹であり、脂質に富みバター状のなめらかな果肉をもつ果実は食用として広く供されている。近年、我が国においてもサラダなどの各種料理の食材として定着してきており、年間7.6万トン（2021年）がメキシコ、ペルーをはじめとする国々から輸入されている（農林水産省，2021）。日本国内においても特産果樹の一つとしてアボカド栽培が広がりつつあり、和歌山県、愛媛県、鹿児島県などの地域で14.4トン程度（2020年）が生産されている（農林水産省，2020）。地球温暖化が進む中、令和3年に改定された「農林水産省気候変動適応計画」において「高付加価値な亜熱帯・熱帯果樹の導入実証に取り組む、産地の選択により、既存果樹からの転換等を推進する」と述べられているように（農林水産省，2021）、アボカドをはじめとする亜熱帯・熱帯果樹の国内適地への普及に向けた栽培体系の構築が求められている。

著者らの一人、香西は鹿児島県内のアボカド生産者の加温ハウス圃場において葉の先端が枯れあがる生理障害が発生していることを確認した。この生理障害の発生原因を究明するために、障害発生樹から採取した葉の養分分析を行った結果、塩素過剰による栄養障害の可能性が高いと判断された。ここでは、その調査結果を報告する。

材料および方法

1. 生理障害の発生状況

本報告で紹介するアボカド葉の生理障害が認められたのは鹿児島県日置市のアボカド生産者の加温ハウス圃場である。生理障害はハウス内全体にわたって散見され、栽植されている‘ペーコン’（第1図）および‘ピンカートン’の両品種ともに発生が確認された。なお、当ハウス圃場の土壌型は黒ボク土であり、不織布による根域制限（幅：1.5 m，奥行：1.5 m，深さ：0.6 m）が行われていた。発生が確認されたアボカド葉の生理障害は、第1図および第2図（上段）に示されるように、古い葉を中心に成熟葉の先端が褐変化し、壊死（ネクロシス）を起こすといった特徴的な症状を呈していた。この症状は、Weir・Cresswell（1995）がその著書において写真で提示しているアボカド葉の塩素過剰による被害症状と類似するものであった。

2. 葉の元素含有率の分析（葉分析）

生理障害の発生が認められた圃場に栽植されていた‘ペーコン’および‘ピンカートン’の2品種について、生理障害が発生している3樹をそれぞれ選定し（B1～B3およびP1～P3）、各樹ごとに障害の発生している葉（以下、障害発生葉）および障害の発生が認められない葉（以下、障害未発生葉）を10枚ずつ採取した。なお、ネクロシスを起こしている部分は枯れ上がりが進み、細胞破壊による細胞内液の漏出等により障害発生時の含有元素組成が保たれていないと判断された。したがって、障害発生葉のネクロシス部分は取り除いて分析に供した。採取した葉は通風乾燥機で風乾した後、振動ミルで

2023年10月17日 受付日

2023年12月22日 受理日

*Corresponding author. E-mail: akagi@agri.kagoshima-u.ac.jp



第1図 鹿児島県内の生産者圃場で観察されたアボカド葉の生理障害の発生状況（品種‘ペーコン’）

障害発生葉



障害未発生葉



第2図 障害発生葉（上段）と障害未発生葉（下段）の比較（品種‘ペーコン’）

粉碎した。

試料は酸循環型分解装置（Ecopre-II, ODLAB 社）を用いた濃硝酸による湿式灰化法により分解した（分解容器はフッ素樹脂（PFA）製）。得られた分解溶液は適宜希釈

し、原子吸光度法によりカリウム、カルシウム、マグネシウム、ナトリウム、鉄、マンガン、誘導結合プラズマ質量分析（ICP-MS）法により亜鉛、銅およびホウ素を測定した。一方、塩素は植物体中塩素の簡易分析法と

して報告されている熱水抽出法（松丸，1991），すなわち，試料に対し4倍量の超純水を添加し，振とうしながら1～2分間沸騰させることにより抽出した．抽出された塩素（塩化物イオン）はイオンクロマトグラフ法により測定した．

3. 土壌化学性の分析（土壌分析）

生理障害の発生が認められたアボカド栽培圃場（以下，障害発生圃場）および認められなかったアボカド栽培圃場（以下，健全圃場）から表層（0～15 cm）および次層（15～30 cm）の土壌をそれぞれ1点ずつ採取した．健全圃場は，障害発生圃場の近隣に位置する露地および施設（無加温ハウス）の2圃場であった．採取した土壌は風乾させた後，2 mmのふるいを通し，以下の分析に供した．

土壌の各種項目の分析は定法に準じて行った．すなわち，pH（H₂O）はガラス電極法，電気伝導率（EC）は1：5水浸出法，陽イオン交換容量（CEC）および交換性陽イオン（Ca²⁺，Mg²⁺，K⁺，Na⁺）はセミマイクロSchollenberger法，水溶性陰イオン（Cl⁻，NO₃⁻，SO₄²⁻）は1：5水浸出-イオンクロマトグラフ法によって測定した．

4. 統計解析

葉分析により得られた障害未発生葉および障害発生葉の元素含有率について，元素毎にwelchのt検定により統計解析を行った．解析は統計ソフトR（version 4.2.1）を使用した．

結果および考察

1. 葉の元素含有率

障害未発生葉および障害発生葉の元素含有率を第1表に示した．葉中の元素含有率は樹間でバラツキが大きく，‘ペーコン’および‘ピンカートン’の両品種ともに，障害未発生葉と障害発生葉との間の元素含有率の平均値に統計的な有意差は認められなかった．一方，樹ごとにそれぞれ比較すると，両品種において共通して，障害発生葉は障害未発生葉よりもカルシウム，塩素およびマンガン含有率が高い傾向にあった．Weir・Cresswell（1995）が示したアボカド葉における元素含有率の適正範囲（第1表下欄）と比較すると，塩素含有率は‘ペーコン’および‘ピンカートン’ともに正常（Normal）とされる範囲（2.5 mg/kg未満）を超過し，障害発生葉はいずれも過剰（Excess）とされる範囲（5 mg/g以上）にあることが示された．一方，塩素以外の元素で，欠乏あるいは過剰とされる範囲に相当するものはなかった．

以上のように，障害発生葉は含有元素の中でも塩素含有率が過剰なレベルにあることで特徴づけられた．これは「材料および方法1. 生理障害の発生状況」の項で述べた外観的特徴による診断結果と一致するものであった．これらのことから，今回見いだされたアボカド葉の先端が褐変化する生理障害は塩素過剰がその原因の一つとなっている可能性が高いと判断した．

細胞中，特に，細胞質や葉緑体中における塩素の過剰蓄積は多くの非塩性植物の生育に影響を及ぼすと考えられている（Eaton，1942；Geilfus，2018）．高濃度の塩素は葉緑体の分解を誘発する可能性が指摘されているが（Slabuら，2009），塩素の過剰蓄積による毒性のメカニズムは十分に解明されていない．塩素過剰による植物の生理障害に関する報告例は，著者らの調べる限り日本国内では少ないが，チャを対象としたポットによる施肥試験においてその事例が報告されている（河合・池ヶ谷，1963）．これによれば，チャの葉中塩素含有率が0.8～1%以上（8～10 mg/g）に達すると，葉の褐変・枯死といった障害が発生すると述べられている．この濃度は，今回分析したアボカド障害発生葉の塩素含有率と概ね近い値であった．

2. 土壌の化学性

障害発生圃場および健全圃場の土壌分析の結果を第2表に示した．pH（H₂O）および交換性陽イオンなどの項目は，障害発生圃場および健全圃場のいずれの土壌も果樹栽培にとってほぼ適正といえる値の範囲にあった．一方，障害発生圃場の土壌はECがやや高い傾向にあり，土壌塩類濃度が高いことが示唆された．これを裏付けるように，土壌中の水溶性陰イオンは塩化物イオン，硝酸イオン，硫酸イオンともに，障害発生圃場の方が健全圃場よりも含有率が高い傾向にあった．すなわち，健全圃場（露地）の表層土壌と比較して，障害発生圃場の表層土壌の塩化物イオンは18倍，硝酸イオンは3.4倍および硫酸イオン含有率は50倍ほど高い値を示した．このような障害発生圃場における土壌中の水溶性塩化物イオン含有率の高まりが，アボカド葉の塩素含有率の上昇に関与している可能性が考えられる．

障害発生圃場で塩化物イオンの土壌中含量が高まった要因として，土壌の母材，かんがい水・地下水の水質などの地質的要因があげられるが，障害発生圃場に近接する健全圃場においてこのような傾向が見られないことから，その可能性は小さいと考える．要因を特定するには，聞き取り調査をはじめとする詳細な現地調査が必要であるが，硫酸イオンおよび硝酸イオンといった化学肥料の含有成分の含有率も併せて高まっていたことを考慮すると，塩化物イオン含有率の上昇は化学肥料の土壌残存が一つの要因であると予想される．

要約

鹿児島県内のアボカド生産者の加温ハウス圃場において，成熟葉の先端が褐変化し，壊死（ネクロシス）を起こすといった特徴的な症状を示す生理障害が発生していることを確認した．葉分析を行ったところ，‘ペーコン’および‘ピンカートン’の両品種ともに，障害未発生葉と障害発生葉との間の元素含有率の平均値に統計的な有意差は認められなかったが，Weir・Cresswell（1995）が示したアボカド葉の元素含有率の適正範囲と比較すると，塩素含有率はすべての樹において正常とされる範囲（2.5

第1表 アボカド葉（障害未発生葉および障害発生葉）の元素含有率

品種	樹体 No.	部位	K	Ca	Mg	Cl	Na	Fe	Mn	Zn	Cu	B	
			(mg/g)				(μg/g)						
ベーコン	B1	障害未発生葉	5.65	7.96	2.78	3.36	25.6	113	385	19.3	3.41	9.40	
		障害発生葉	5.50	11.4	3.14	5.25	33.0	74.4	613	24.2	2.83	9.65	
	B2	障害未発生葉	7.12	6.38	2.70	5.76	51.2	68.5	311	17.4	6.47	15.2	
障害発生葉		7.15	6.47	1.97	7.07	77.2	56.9	411	14.3	4.53	15.3		
B3	障害未発生葉	8.11	5.71	2.90	4.30	72.7	48.9	256	25.5	8.72	11.9		
	障害発生葉	11.5	8.28	2.73	5.94	69.1	54.4	446	23.6	6.10	12.2		
Mean ± SE ^z			6.96 ± 0.71	6.68 ± 0.67	2.79 ± 0.06	4.47 ± 0.70	49.8 ± 13.6	76.8 ± 19.0	317 ± 37	20.7 ± 2.4	6.20 ± 1.54	12.2 ± 1.7	
t 検定 ^y			ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	
ピンカートン	P1	障害未発生葉	8.11	8.97	3.94	4.85	66.2	55.5	424	30.2	9.86	16.0	
		障害発生葉	6.84	10.1	4.02	6.85	85.7	50.0	536	30.5	7.07	19.0	
	P2	障害未発生葉	8.49	7.38	3.16	7.83	64.1	38.1	513	35.2	7.63	15.0	
障害発生葉		8.25	9.57	3.88	9.55	48.7	43.5	747	49.5	5.77	17.4		
P3	障害未発生葉	8.73	9.64	4.00	3.38	59.0	53.1	586	30.8	10.3	18.8		
	障害発生葉	7.12	13.2	4.59	6.63	51.9	50.9	747	27.0	6.71	21.9		
Mean ± SE ^z			8.44 ± 0.18	8.66 ± 0.67	3.70 ± 0.27	5.35 ± 1.31	63.1 ± 2.1	48.9 ± 5.4	508 ± 47	32.1 ± 1.6	9.26 ± 0.83	16.6 ± 1.1	
t 検定 ^y			ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	
濃度範囲 ^x	欠乏 (Deficient)	<3.5	<4.0	<1.5	—	—	—	—	<15	<3	<10		
	不足 (Low)	3.5-7.4	4.0-9.0	1.5-2.4	—	—	—	—	15-29	3-4	10-20		
	正常 (Normal)	7.5-20	10-30	2.5-8.0	<2.5	100-400	—	—	20-500	5-15	30-100		
	過多 (High)	21-30	31-40	9.0-10	2.5-5.0	1000-2000	—	—	550-1000	60-300	25-300		
	過剰 (Excess)	>30	>40	>10	>5.0	>2500	—	—	>1200	—	>200		

z 平均値および標準誤差を示す (n=3)

y ns: Welch の t 検定によって5%水準で有意差がないことを示す。

x Weir・Cresswell (1995) によって示されたアボカド葉中元素の適正濃度範囲

第2表 障害発生圃場および健全圃場の土壌化学性

	pH (H ₂ O)	EC (mS/cm)	CEC (meq/100g)	交換性陽イオン (meq/100g) ^z			水溶性陰イオン (meq/100g)			
				Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻
障害発生圃場										
表層	5.7	0.26	14.5	8.2 (57%)	2.3 (16%)	0.8 (6%)	0.4 (3%)	0.193	0.098	1.362
次層	5.7	0.11	13.9	6.3 (45%)	1.7 (12%)	0.7 (5%)	0.3 (2%)	0.091	0.025	0.443
健全圃場										
(露地)										
表層	5.8	0.03	13.5	4.5 (33%)	0.9 (7%)	0.9 (7%)	0.0 (0%)	0.011	0.029	0.027
次層	6.0	0.02	12.6	5.2 (41%)	1.0 (8%)	0.7 (6%)	0.0 (0%)	0.009	0.016	0.024
(施設)										
表層	6.6	0.05	13.6	8.3 (33%)	2.0 (7%)	1.2 (7%)	0.0 (0%)	0.028	0.010	0.054
次層	6.5	0.05	11.8	7.4 (33%)	1.8 (7%)	1.0 (7%)	0.0 (0%)	0.035	0.003	0.071

^z 括弧内の数値は陽イオン交換容量 (CEC) に占める比率

mg/kg 未満) を超過しており, 特に障害発生葉は過剰とされる範囲 (5 mg/g 以上) にあった. したがって, この生理障害は塩素過剰による栄養要害である可能性が高いと判断された. 一方, 障害発生圃場の土壌は健全土壌よりも土壌中の水溶性塩化物イオン濃度が高い傾向にあり, このことがアボカド葉の塩素濃度の上昇と関連している可能性が示唆された.

謝 辞

本研究は株式会社ニチレイとの共同研究の一環として実施した. 観光農園かじゅらほの山元健一氏には, 現地調査および分析試料の採取・提供に関して, ご理解とご支援を賜った. ここに記して感謝の意を表します.

引用文献

- Eaton, F. M. 1942. Toxicity and accumulation of chloride and sulfate salts in plants. J. Agric. Res. 64: 357-399.
- Geilfus, C.-M. 2018. Review on the significance of chlorine for crop yield and quality. Plant Sci. 270: 114-122.
- 河合惣吾・池ヶ谷賢次郎. 1964. 茶樹による肥料随伴イオンの吸収について (第1報) 塩安, 硫安施肥に伴う塩素, イオウの吸収ならびに茶葉の無機成分含量に及ぼす影響 (ポット試験). 茶業研報. 21: 52-59.
- 松丸恒夫. 1991. 熱水抽出による植物体簡易塩素分析. 土肥誌. 62: 308-310.
- 農林水産省. 2020. 特産果樹生産動態等調査. [online] <https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?tclass=000001203680&cycle=7&year=20200> (2023年9月閲覧)
- 農林水産省. 2021. 農林水産省気候変動適応計画. [online] <https://www.maff.go.jp/j/kanbo/kankyo/seisaku/climate/adapt/attach/pdf/top-7.pdf> (2023年9月閲覧)
- 農林水産省. 2021. 農林水産輸出入統計. [online] <https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?tclass=000001012885&cycle=7&year=20210> (2023年9月閲覧)
- Slabu, C., C. Zörb, D. Steffens and S. Schubert. 2009. Is salt stress of faba bean (*Vicia faba*) caused by Na⁺ or Cl⁻ toxicity? J. Plant Nutr. Soil Sci. 172: 644-651.
- Weir R.G. and G.C. Cresswell. 1995. Plant nutrient disorders 2: tropical fruit and nut crops. p.70, p. 88. Inkata press. Melbourne.