

## シートマルチがレモンとハッサクの果実形質、抗酸化活性 およびアスコルビン酸含量に及ぼす影響

赤阪信二・池田裕朗・渡邊弥生\*・甲村浩之\*\*

**キーワード：**アスコルビン酸含量，ハッサク，光条件，果実形質，抗酸化活性，水ポテンシャル，レモン，シートマルチ

近年、消費者嗜好の高級化と多様化に伴い、カンキツ類の果実糖度を高めるシートマルチ栽培の研究が進んでいる（中里ら，1996；三原・奥田，2004）。また、健康に対する関心の高まりにより、果物の機能性が注目されている。特に、カンキツ果実の有する抗酸化活性には、発がん抑制や生活習慣病の予防効果との関連があると報告されている（杉浦，2006；矢野，2006）。

ウンシュウミカンでは、周年の透湿性シートマルチ（以下、シートマルチと記す）栽培と点滴かん水により、果汁中の糖度が高まるだけでなく、機能性成分であるβ-クリプトキサンチン、β-カロテンおよびビタミンAが1.5～1.7倍に増加するとの報告がある（森永ら，2005）。しかし、シートマルチ栽培と各機能性成分や抗酸化活性との関係を報告した例は少ない。

一方、栽培における環境要因が抗酸化活性に与える影響として、紫外線域のうちUV-B領域の230～320nmの照射によって、ナンバンサイカチ幼苗の抗酸化活性が高まること（Agarwal，2005）や、乾燥ストレスによってセイヨウヒイラギの抗酸化活性が高まること（Baquedano and Castillo，2006）が報告されている。

平野ら（1995）は、5種類のシートマルチの特性について検討した結果、白色多孔質不織布（D社製，ハードタイプ）の光反射率は、可視光域では87～94%であるのに対し、紫外線域のうちUV-B領域を含む300～400nmで平均97%と高いことを明らかにしている。

そこで本研究では、広島県の主要なカンキツであるレモンとハッサクを用い、シートマルチ処理が光条件、樹体の乾燥ストレス、果実形質、果実の抗酸化活性およびアスコルビン酸含量に及ぼす影響について調査した。

### 材料および方法

供試樹は、三原市木原町の広島県立農業技術センター果樹研究所柑橘研究室（現広島県立総合技術研究所農業技術センター果樹研究部三原分室）で栽培しているレモン‘石田系リスボン’（*Citrus limon* Burm. F.，以下、レモンと記す）22年生樹およびハッサク‘農間紅八朔’（*Citrus hassaku* Hort. Ex Tanaka，以下、ハッサクと記す）17年生樹を用いた。シートマルチは、白色多孔質不織布（D社製，ハードタイプ）を用いた。処理区は、2005年7月5日から収穫期の2006年1月7日まで各樹冠下の主幹を中心に4m×4mの正方形の範囲に被覆する区（以下、シートマルチ区と記す）と無被覆の区（以下、対照区と記す）を設けた。なお、シートマルチ区のマルチには、縦15cm横15cmの間隔で直径1cmの穴を開け、雨水が流入するようにした。各処理区の土壤水分センサーは主幹から約1m、地表面から15cmの深さに設置し、土壤水分吸引圧が50Hpa（pF2.7）に達した日の5日後に1樹あたり約480L（降水量30mmに相当）のかん水を行った。各処理はレモン、ハッサクとも3樹ずつ供試した。雑草管理は、シートマルチ区ではマルチによる抑草効果があるため行わなかったが、対照区はレモンについては草刈機による刈り取り、ハッサクについてはグリホサート系の除草剤を用い、本調査期間中にほぼ草のない状態で管理した。

水ポテンシャルは、8月5日の日の出直後から日の入り直前までの間、陽光面の葉を1樹当たり3枚ずつ1～2時間毎に採取し、町田・間苧谷（1974）のプレッシャーチャンパー法に準じて測定した。また、シートマルチの有無による光条件を明らかにするため、葉を採取する際に、樹冠南側の地上高1mの上向きおよび下向き照度を測定した。

果実形質は、2006年1月7日に各樹の平均的な果実を1樹あたり5果採取し、果実重、果皮色、糖度および酸度

\* 現 広島県立総合技術研究所食品工業技術センター

\*\* 現 広島県立農業技術大学校

平成20年4月21日受理

を調査した。果皮色は、色彩色差計（CR-200, MINOLTA社製）を用い、果実赤道部のL, aおよびb値を測定した。果実の糖度と酸度は、糖酸度分析装置（NH-2000, HORIBA社製）により測定した。

抗酸化活性およびアスコルビン酸含量の測定は、2005年12月17日に樹冠の外側南面の地上から約1.5mの高さの果実を1樹あたり3果採取し、分析した。なお、果皮はアルベドとフラベドを分離せずに分析した。また、果肉は種子とじょうのう膜を除いた砂じょうを分析した。抗酸化活性は20倍量の80%メタノールで抽出し、DPPHラジカル消去活性法を用いてtrolox換算値として表した（甲

村・渡邊, 2005)。アスコルビン酸含量の測定は、10倍量の5%メタリン酸で抽出し、高速液体クロマトグラフ（800シリーズ, Jusco社製）を用い、カラムはPuresil C18（5 $\mu$ m, 4.6mm $\times$ 250mm, Waters Co.Ltd., U.S.A), カラム温度75 $^{\circ}$ C, 移動相は1%メタリン酸, 移動相流量は1.0ml/min, 注入量は10 $\mu$ l, 測定波長は242nmとした。

## 結果

### 1. シートマルチ処理が照度に及ぼす影響

シートマルチ処理の有無と照度との関係を図1に示した。樹冠南面外側の上向き照度は、日の出とともに上昇し、正午前後に最大97klxとなった。また、シートマルチ区の下向き照度は、9時47分から14時28分の間は平均22.1klxで、上向き照度の約4分の1であった。また、同期間の対照区の下向き照度は平均6.7klxで、シートマルチ区の約3分の1であった。

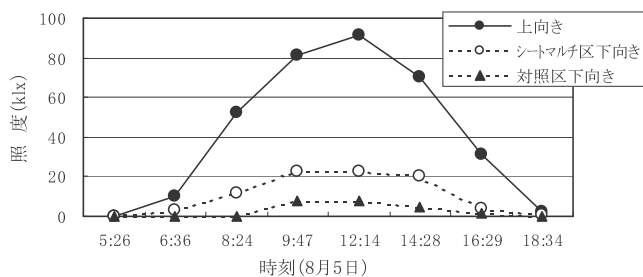


図1 シートマルチ処理の有無と照度の推移

<sup>a)</sup>照度は、樹冠南側の地上高1mにおける上向きと下向きで測定した。

### 2. シートマルチ処理が葉の水ポテンシャルに及ぼす影響

シートマルチ処理の有無とレモン葉の水ポテンシャルの推移を図2に示した。盛夏期におけるレモンの葉の水ポテンシャルは、日の出直後には-0.2~-0.3Mpaで処理による差はほとんど無かった。その後両処理区とも低下し、正午過ぎには一日のうちで最低となり、その時の水ポテンシャルはシートマルチ区が-2.3Mpa, 対照区が-2.2Mpaであった。正午以降の水ポテンシャルは両区ともに徐々に上昇し、18時38分には両区ともにおよそ-1.0Mpaとなった。ハッサクの葉の水ポテンシャルは、図3に示すように、レモンと同様に対照区と比較して大差なかった。

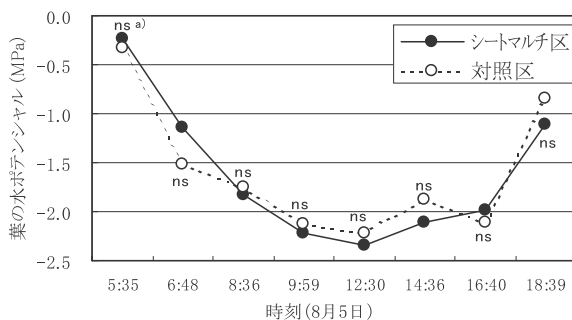


図2 シートマルチ処理の有無とレモン葉の水ポテンシャルの推移

<sup>a)</sup>t検定により, nsは5%の危険率で有意差がないことを示す(n=3)。

### 3. シートマルチ処理が果実形質に及ぼす影響

シートマルチ処理がレモンの果実形質に及ぼす影響を表1に示した。レモンの果実重は、対照区の136gに対してシートマルチ区では128gとやや小さかったが、有意な差は見られなかった。果皮色は処理による差がほとんど見られなかった。果実糖度はシートマルチ区がやや高かったが、有意な差は見られなかった。

シートマルチ処理がハッサクの果実形質に及ぼす影響を表2に示した。ハッサクの果実重は、シートマルチ区でやや大きい傾向であったが、有意な差は見られなかった。果皮色は、L値およびb値では差がほとんどなかったが、a値ではシートマルチ区のほうが有意に高く、果皮

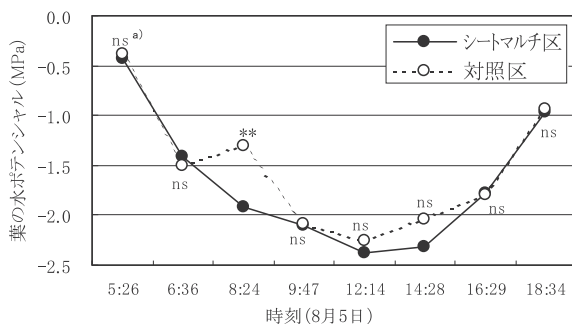


図3 シートマルチ処理の有無とハッサク葉の水ポテンシャルの推移

<sup>a)</sup>t検定により, nsは5%の危険率で有意差がないこと, \*\*は1%の危険率で有意差があることを示す(n=3)。

表1 シートマルチ処理<sup>a)</sup>がレモンの果実形質<sup>b)</sup>に及ぼす影響

処理区	果実重 (g)	果皮色			糖度 (° Brix)	酸度 (%)
		L	a	b		
シートマルチ区	128±3.8 <sup>c)</sup>	75±0.8	0±1.3	63±0.5	10.8±0.3	6.8±0.2
対照区	136±8.8	75±0.5	-2±0.5	61±0.8	10.3±0.2	7.1±0.0
有意差	ns <sup>d)</sup>	ns	ns	ns	ns	ns

a) シートマルチ処理は、2005年7月5日から、収穫期の2006年1月7日まで、1処理区当り3樹を用い、樹冠下の主幹を中心に4m×4mの正方形の範囲で行った。なお、対照区は無被覆とした。  
 b) 果実形質は、2006年1月7日に1樹あたり平均的な5果について測定した。  
 c) 平均値±標準誤差を示す。  
 d) t検定により、nsは5%の危険率で有意差がないことを示す。

表2 シートマルチ処理<sup>a)</sup>がハッサクの果実形質<sup>b)</sup>に及ぼす影響

処理区	果実重 (g)	果皮色			糖度 (° Brix)	酸度 (%)
		L	a	b		
シートマルチ区	436±14.9 <sup>c)</sup>	71±0.5	19±0.0	73±0.7	10.3±0.0	1.5±0.0
対照区	415±6.5	72±0.1	17±0.3	73±0.7	10.2±0.2	1.6±0.1
有意差	ns <sup>d)</sup>	ns	**	ns	ns	ns

a) シートマルチ処理は、2005年7月5日から、収穫期の2006年1月7日まで、1処理区当り3樹を用い、樹冠下の主幹を中心に4m×4mの正方形の範囲で行った。なお、対照区は無被覆とした。  
 b) 果実形質は、2006年1月7日に1樹あたり平均的な5果について測定した。  
 c) 平均値±標準誤差を示す。  
 d) t検定により、nsは5%の危険率で有意差がないこと、\*\*は1%の危険率で有意差があることを示す。

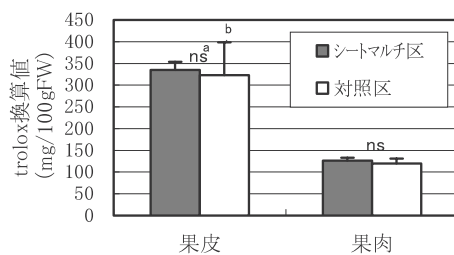


図4 シートマルチ処理がレモン果実の抗酸化活性に及ぼす影響

a) t検定により、nsは5%の危険率で有意差がないことを示す。  
 b) 縦棒は、標準誤差を示す(n=3)。

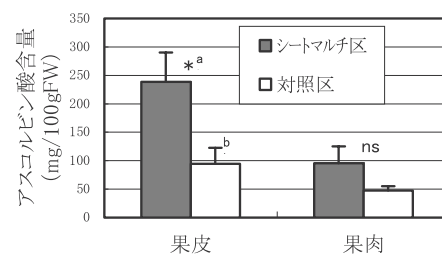


図6 シートマルチ処理がレモン果実のアスコルビン酸含量に及ぼす影響

a) t検定により、nsは5%の危険率で有意差がないこと、\*は5%の危険率で有意差があることを示す。  
 b) 縦棒は、標準誤差を示す(n=3)。

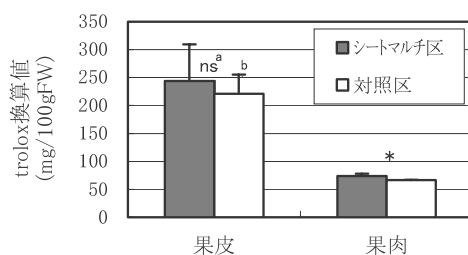


図5 シートマルチ処理がハッサク果実の抗酸化活性に及ぼす影響

a) t検定により、nsは5%の危険率で有意差がないこと、\*は5%の危険率で有意差があることを示す。  
 b) 縦棒は、標準誤差を示す(n=3)。

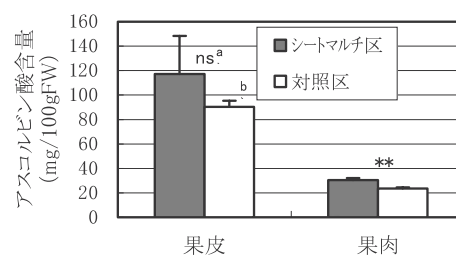


図7 シートマルチ処理がハッサク果実のアスコルビン酸含量に及ぼす影響

a) t検定により、nsは5%の危険率で有意差がないこと、\*\*は1%の危険率で有意差があることを示す。  
 b) 縦棒は、標準誤差を示す(n=3)。

の赤味が強くなった。糖度および酸度は、処理による差はほとんど見られなかった。

#### 4. シートマルチ処理が果実の抗酸化活性とアスコルビン酸含量に及ぼす影響

シートマルチ処理がレモン果実の抗酸化活性に及ぼす

影響を図4に示した。trolox換算値によるレモンの抗酸化活性は、果皮ではシートマルチ区で335mg/100gFWであり、対照区とほとんど差がなかった。果肉の抗酸化活性は、シートマルチ区で127mg/100gFWで対照区との差は小さかった。なお、いずれの処理区においてもレモン果皮の抗酸化活性は、果肉の2.6倍であった。

ハッサクの抗酸化活性は、図5に示すように、果皮ではシートマルチ区で244mg/100gFWで対照区より若干高かったが有意な差ではなかった。果肉の抗酸化活性は、シートマルチ区で74mg/100gFWであり、対照区と比べて5%の危険率で有意に高かった。なお、いずれの処理区においても果皮の抗酸化活性は、果肉の3.3倍であった。

シートマルチ処理がレモン果実のアスコルビン酸含量に及ぼす影響を図6に示した。アスコルビン酸含量は、果皮ではシートマルチ区で239mg/100gFWであり、対照区に比べて5%の危険率で有意に高かった。果肉のアスコルビン酸含量は、シートマルチ区で96mg/100gFWと対照区の2倍以上であったが有意な差ではなかった。なお、いずれの処理区においても生体重量あたりで比較すると果皮のアスコルビン酸含量は、果肉の2.0~2.5倍であった。

ハッサクのアスコルビン酸含量は、図7に示すように、果皮ではシートマルチ区で117mg/100gFWで、対照区より約30%高かったが有意な差ではなかった。果肉のアスコルビン酸含量は、シートマルチ区で31mg/100gFWあり、対照区と比べて有意に高かった。なお、いずれの処理区においても果皮のアスコルビン酸含量は、果肉の3.8倍であった。

## 考 察

シートマルチ処理が樹体の水分条件に及ぼす影響では、夏季晴天日におけるレモンとハッサクの葉の水ポテンシャルが日中を通してシートマルチ区と対照区でほとんど差がなかったこと、果実形質のうち果実重、糖度および酸度に差がなかったことから、樹体への乾燥ストレスは処理による差が小さかったと考えられる。一方、シートマルチ処理による地表面からの太陽光の反射による照度は、シートマルチ区では対照区の約3倍であることから、シートマルチ区のレモンおよびハッサクの樹体はより多くの光量を受けたと考えられる。

レモンとハッサクへのシートマルチ処理により、ハッサク果肉の抗酸化活性とアスコルビン酸含量およびレモン果皮のアスコルビン酸含量が対照区より有意に高まった。また、果実形質のうち、果実重はシートマルチ処理による一定の傾向は見られなかった。このため、抗酸化活性とアスコルビン酸が高まった原因は、果実肥大の抑制による濃縮効果ではないと考えられる。

泉ら(1988)によると、シートマルチ処理を行っていないウンシュウミカンとハッサクの樹冠外側の果実は、内側の果実に比べて着果位置の照度が高く、フラベド中

のアスコルビン酸含量が高いとしており、本試験の結果と一致した。

これらのことから、シートマルチによってレモンとハッサク果実の抗酸化活性とアスコルビン酸含量が高まったのは、水ストレスによるものでなく、紫外線(UV-B)を含む光量の増加が要因の一つであると考えられる。また、満開後190日前後における‘石地’、‘南柑20号’、‘不知火’および‘リスボン’の総フェノール濃度とアスコルビン酸濃度は、果皮のほうが果肉に比べ高いとする報告(近藤ら, 2002)があり、本試験の結果と一致した。また、果実を含む樹冠の遮光によってレモン果皮のアスコルビン酸含量と $\beta$ -クリプトキサンチン濃度が低下し、抗酸化活性(DPPHラジカル消去活性)が低下するとの報告(Kondo et al., 2003)もある。これらのことから、光量の増加により果実の抗酸化活性が高まると考えられるが、効果の高い時期や光量について今後検討する必要があると考えられる。

## 摘 要

レモンとハッサクへのシートマルチ処理が、光条件、樹体の乾燥ストレス、果実形質、抗酸化活性およびアスコルビン酸含量に及ぼす影響について調査した。

1. シートマルチ区の樹冠南面下向きの照度は、日中は約20klxで、樹冠上向き照度の約4分の1、対照区の約3倍であった。
2. 盛夏季の日中におけるレモンとハッサクの葉の水ポテンシャルは、シートマルチ区と対照区で大きな差は見られなかった。
3. 果実重、糖度および酸度はシートマルチ処理による有意な差は見られなかったが、シートマルチ区のハッサク果皮の $\alpha$ 値は対照区に比べ有意に高まった。
4. ハッサク果肉の抗酸化活性とアスコルビン酸含量およびレモン果皮のアスコルビン酸含量が対照区より有意に高まった。
5. レモンおよびハッサクの抗酸化活性は、生体重量あたりで比較すると果皮が果肉より2.6~3.3倍高く、アスコルビン酸含量は果皮が果肉より2.0~3.8倍高かった。
6. 以上のことから、シートマルチによってレモンとハッサク果実の抗酸化活性とアスコルビン酸含量が高まったのは、乾燥ストレスによるものでなく、紫外線(UV-B)を含む光量の増加が一つの要因であると考えられる。

## 謝 辞

本調査結果の取りまとめにおいて，御校閲いただいた公立大学法人県立広島大学の武藤徳男教授および独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構果樹研究所カンキツ研究興津拠点の根角博久上席研究員に対し，感謝の意を表す。また，本研究の実施に当たり，多大な御協力を頂いた当センターの職員の方々に御礼申し上げます。

## 引用文献

- Agarwal S. 2005. Increased antioxidant activity in Cassia seedlings under UV-B radiation. *Biologia Plantarum*. 51(1) : 157-160.
- Baquedano F. J., Castillo F. J. 2006. Comparative ecophysiological effects of drought on seedlings of the Mediterranean water-saver *Pinus halepensis* and water-spenders *Quercus coccifera* and *Quercus ilex*. *Trees - Structure and Function* 20(6) : 689-700.
- 平野高司・関和雄・相賀一郎・河瀬憲次. 1995. シートマルチによるウンシュウミカン栽培環境の改善. *生物環境調節*33(2) : 113-122.
- 泉 秀実・伊東卓爾・吉田保治. 1988. 生育時におけるカンキツ果皮中のアスコルビン酸含量と糖含量との関係. *園芸学雑誌*57(2) : 304-311.
- 近藤 悟・津田和彦・武藤徳男・中谷宗一. 2002. カンキツ果実の発育中における抗酸化活性機能の推移. *園学研*1(1) : 63-66.
- Kondo S., Yoshikawa H. and Nakatani S. 2003. Effects of Shading on the Levels and Activities of Antioxidative Compounds in the Skin of Lemons and Apples. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 7(3) : 221-223.
- 甲村浩之・渡邊弥生. 2005. 紫アスパラガス ‘パープル・パッション’ の全期立茎栽培における生育・収量特性と食味・ポリフェノール含量評価. *近中四農研*6 : 50-56.
- 町田 裕・間苧谷 徹. 1974. 果樹の葉内水分不足に関する研究 (第1報). *園学雑誌*43(1) : 7-14.
- 三原崇史・奥田良幸. 2004. 初秋季のシートマルチ処理による ‘河内晩柑’ の品質向上. *九州農業研究*66 : 251.
- 森永邦久・島崎昌彦・草場新之助・星 典宏. 2005. 近畿中国四国農業研究叢書1 マルドリ方式. 独立行政法人 農業・生物系特定産業技術研究機構 近畿中国四国農業研究センター. pp.61-62.
- 中里一郎・松永茂治・岸野功. 1996. ウンシュウミカンのフィルムマルチ栽培における乾燥ストレスの期間及び程度が果実品質に及ぼす影響. *長崎果樹試研報* 3 : 1-10.
- 杉浦 実. 2006. ミカンで糖尿病性合併症が予防できるか?. *果実日本*. 61. 67-69.
- 矢野晶充. 2006.  $\beta$ -クリプトキサンチンと肺がん. *果実日本*. 61. 70-72.

# Effects of Reflective Sheet Mulch on Antioxidant Activity, Ascorbic Acid Levels and Fruit Quality in Lemon and Hassaku Fruit

Shinji AKASAKA, Hiroaki IKEDA, Yayoi WATANABE and Hiroyuki KOHMURA

## Summary

The effects of reflective sheet mulch on light intensity, water stress, fruit quality, antioxidant activity and ascorbic acid in lemon and hassaku fruits were studied.

1. The intensity of irradiation reflected from the surface of the mulch on the south side of trees at noon was approximately 20klx, which was a quarter of the intensity of direct illumination from the sky.
2. There was no significant difference in water potential of leaves in mid-summer between mulched and control trees for either lemon or hassaku.
3. There was no significant difference in fruit weight, or in soluble solid and citric acid contents at harvest, while the color of rind in hassaku fruits increased using mulch.
4. The antioxidant activity in hassaku flesh and ascorbic acid level in lemon peel was increased by mulch.
5. The antioxidant activity in peel was 2.6 to 3.8 times higher than in flesh, while the ascorbic acid level in peel was 2.0 to 3.8 times higher than in flesh.
6. These results suggest that the factor which actually increased antioxidant activity and ascorbic acid levels in fruit of lemon and hassaku when reflective sheet mulch was used was not water stress but the direct increase of light intensity including UV-B.

**Key words :** antioxidant activity, ascorbic acid, fruit quality, hassaku (*Citrus hassaku* Hort. Ex Tanaka) , lemon (*Citrus limon* Burm. F.) , light environment, reflective sheet mulch, water potential