本ず被覆内の分光スペクトル特性と 紫外線照射および除去が茶新芽の品質に及ぼす影響

京都府農林水産技術センター農林センター茶業研究所*

木村 泰子・神田 真帆

(平成25年11月13日受理)

Characteristics of the Light Spectrum Environment of *Honzu* (orthodox shading) Covering Culture and Influence of UV Irradiation or Shielding on the Quality of Tea New Shoots

Yasuko Kimura and Maho Kanda

Tea Industry Research Division, Kyoto Prefectural Agriculture, Forestry and
Fisheries Technology Center, Agriculture and Forestry Technology Department

Summary

The light spectrum environment of covering culture was investigated.

The spectrum of light transmitted by black synthetic fiber was found to be similar to light from the sun. However, it was observed that UV rays hardly penetrated *honzu* (orthodox shading), which is thatched with low UV-permeable materials; *yoshizu* (screens made of reeds); and rice straw.

The influence of UV irradiation and shielding on the quality of new tea shoots was then investigated.

It was found that UV shielding caused new tea leaves to be thinner, while the content of free amino acids, methyl methionine sulfonium chloride (MMSC), and caffeine all increased.

Therefore, the quality of “covering culture” tea depends on the amount of UV irradiation, such that low UV-permeable covering like traditional *honzu* it contributes to higher quality tea.

Key Words : covering culture tea, ultraviolet (UV) light, covering materials, quality, *honzu* (orthodox shading), black synthetic fiber shading

キーワード：被覆茶，紫外線，遮光資材，品質，本ず被覆，黒色化学繊維被覆

* 〒611-0022 京都府宇治市白川中ノ薮1番地

1 緒 言

てん茶、玉露等の被覆茶は、京都府の茶生産を代表する茶種である。平成23年度（2011年）京都府茶業統計による府内のてん茶、玉露、かぶせ茶の生産量は、荒茶生産総量2,529トンに対して、それぞれ753トン、146トン、312トンを占め^{†1)}、てん茶、玉露は全国1位を誇る^{†2)}。中でもてん茶は、近年の需要の高まりにより、全国的にみても平成10年（1998年）に988トンであった生産量が、平成20年（2008年）には約1.8倍の1,780トンに急増している^{†2)}。そのため産地間競争が激しくなっており、一層の品質向上を図ることが京都府茶生産の喫緊の課題となっている。

被覆茶の品質については「覆い香や覆い味（以下覆い香味）」不足が指摘される茶も認められる。気象条件等により期待された被覆効果が十分に得られない場合もあるが、覆い香味不足を解消してより一層の高位平準化を図るためには、被覆技術のさらなる改善が必要である。玉露、てん茶に代表される被覆茶はその遮光資材により品質が大きく異なる。現在遮光資材の主流である黒色化学繊維（以下黒色化繊）については、30余年に及ぶ改良が重ねられてきた。しかし、黒色化繊被覆により得られる茶の品質は、京都府内で伝統的に行われている本ず（ほんず）被覆のものに及ばないと言われ、本ず被覆茶は市場でも今なお高い評価を受けている。本ず被覆とは、天然資材のよしずと稲わらを用いた遮光方法であり、その起源は16世紀とされる手法である。しかし、年々材料の入手が困難となっており、その設置作業に多くの人手と熟練を要することから、近年では京都府内でも平成10年（1998年）には85haであった面積が、平成23年（2011

年）には31haへと激減している^{†1)}。本ず被覆に匹敵する高品質な茶を持続的に生産するためには、本ず被覆で生産された茶の品質に関わる特性や本ず被覆茶園内の環境特性を明らかにすることが必要である。

被覆技術と品質との関連については、遮光率、遮光資材の種類、被覆期間について概ね明らかにされている^{†3)}が、本ず被覆茶の品質が黒色化繊被覆のものに優る原因は解明できていない。筆者らは、まず本ず被覆と黒色化繊被覆で得られた茶葉を比較し、旨味成分である遊離アミノ酸や覆い香の主体である硫化メチルの前駆体のメチルメチオニンスルフォニウムクロライド（以下MMSC）含有量が大きく、苦渋味を呈するカテキン類含有量が低いことを報告した¹⁾。さらに、遮光資材の分光透過率を比較し、黒色化繊はいずれの波長域でも同等の透過率を示す資材であるのに対して、よしずやわらは紫外域光を含む500nm以下の波長域を透過しにくい資材であることを報告した²⁾。中山ら³⁾も500nm以下の波長域光を除去した条件下では茶新芽のアミノ酸含有率の低下が抑制されると報告しており、被覆茶の品質関連成分含有量と500nm以下の波長域光との関連性を示唆している。500nm以下の波長域光のうち紫外線には、ポリフェノール等の品質関連成分との関係についていくつかの研究事例があり、リンゴやブドウでは、成熟期の果実に対する紫外線照射による果実のアントシアン含有量の増加が報告されている^{4)~7)}。また収穫後のイチゴへの紫外線照射が着色を促進した事例がある⁸⁾。紫外線を除去した場合についても研究例があり、近紫外線除去ではナス果実の黒紫色の発現が抑制され⁹⁾、プリムラ・マラコイデスの緋紅色系品種では花色が薄色になるという報告がある¹⁰⁾。被覆茶における紫外線と品質関

^{†1)} 平成23年度京都府茶業統計 <http://www.pref.kyoto.jp/nosan/11700012.html>

^{†2)} 平成23年度茶関係資料：茶業中央会、p18（2011）

^{†3)} 京都府立茶業研究所：中核研究報告書「化学繊維による覆下茶の品質向上栽培技術」（1982）

連成分との関係では、茶樹が受ける紫外線の少ない状態が苦渋味を呈するカテキン類等ポリフェノールの減少につながると考えられる。また、旨味を呈する遊離アミノ酸のうちテアニンは、露光下でカテキン類へ速やかに代謝される¹¹⁾ことから、紫外線がアミノ酸代謝にも関与している可能性が考えられるが、詳細には検討されていない。

近年、携帯型分光放射計が開発され、350～800nmの波長域の分光放射照度を現場で簡単に測定できるようになった。本報告では、まず携帯型分光放射計を用いて本ず被覆と黒色化繊被覆による被覆内の分光スペクトルを比較した。その結果、本ず被覆内は黒色化繊被覆内と比較して紫外域光がほとんど透過していないことが明らかになった。次に、被覆下での紫外域光の照射又は除去が新芽の遊離アミノ酸やMMSC、カテキン類、カフェインの含有量及び葉厚に及ぼす影響を調査し、本ず被覆下での新芽品質が黒色化繊より優れる要因を検討した。

2 材料及び方法

2. 1 モデル被覆施設を用いた被覆内光環境の比較試験

モデル被覆施設として移動式被覆棚（長さ4m×幅1.5m×高さ1.6m）を、京都府農林水産技術センター農林センター茶業研究所（以下茶業研究所）内に写真1のように設置し、

写真1 モデル被覆施設の設置状況
左：本ず区、右：黒色化繊区

黒色化繊被覆施設区（以下黒色化繊区）、本ず被覆施設区（以下本ず区）を設定した。黒色化繊区は、被覆棚天井面を、前期被覆（2009年4月1日～4月24日）としてダイオネット®610番（ダイオ化成株式会社製、遮光率約45%）二枚重ね、後期被覆（2009年4月25日～5月31日）として前期遮光資材上にダイオネット®5050番（ダイオ化成株式会社製、遮光率約95%）を重ねて被覆した。被覆棚側面は前期被覆開始時にダイオネット®5050番（幅2m）で4面とも被覆した。

本ず区は、前期被覆としてよしず（よしをナイロンロープですだれ状に編んだもの、幅1.8m×長さ1.5m）2枚で被覆棚天井面を被覆し、後期被覆ではよしずの上に稲わら約15kgを天井面全体に広げた。また、被覆棚側面は前期被覆開始時にこも（稲わらをナイロンロープですだれ状に編んだもの、幅1m）を二枚重ねになるようにナイロンロープで接続し、4面とも被覆した。天井面の稲わら量は黒色化繊区の照度と同等になるように、デジタル照度計（TMS-870H、タスコジャパン社製、光測光用プローブ使用）で確認しながら微調整した。

紫外線強度は紫外放射計MS-212A（英弘精機株式会社製、測定波長315～400nm）により測定した。紫外線強度の測定は2009年に設置した施設で2009年4～5月に行った。紫外線強度の測定は10分間隔で行い、日の出から日の入りまでの測定値の平均を求めて日平均紫外線強度とした。被覆施設内透過光の分光スペクトルは分光放射計MS-720（英弘精機株式会社製、測定可能波長域300～1100nm）により測定した。測定は2008年9月1日に設置した後期被覆施設で2008年9月18日に行った。設置方法は2009年のものと同様とした。それぞれの測定機器は、茶株面の高さに相当する地上70cmに設置した。また、対照として露天の太陽光のものも測定した。

2. 2 苗を用いた紫外線照射試験

材料として0.5～1.0葉期の‘さみどり’と‘やぶきた’の1年生セル成型苗（日本製紙株式会社製）を供試し、2012年に試験を実施した。トルーライト®（TRUE-LITE, 輸入元インポートライトジャパン株式会社）15W×3本を光源とした恒温器（MIR-253, 三洋電機株式会社製）を2台用意し、明期を25℃/16時間、暗期を15℃/8時間周期とした。一方の恒温器内には、ブラックライト（FL10BLB, 東芝電器株式会社製、ピーク波長352nm）10W×3本を併せて設置し、紫外線を照射した環境（以下+UV処理）を設定した。紫外線強度は $2.4\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ で曇天時の屋外紫外線強度に相当した。他方の恒温器内には、380nm以下を100%遮る紫外線除去フィルム（ハイエスビニール®0.075mm厚、MKVドリーム株式会社製）を展張し、紫外線を除去した環境（以下-UV処理）を設定した。+UV処理に引き続き-UV処理することにより紫外線照射日数の異なる区を設けた。各試験の供試品種、照射開始日、+UVと-UVの処理日数は表1に示した。照射試験は3回行い、セル成型苗は1区あたり6本供試し、それぞれ4反復とした。分光スペクトルは、分光放射計MS-720により新芽が伸長している位置で測定した。各試験とも処理終了日に各区の新芽

を1心2葉で採取し、上位から第2葉の葉厚をマイクロメーターで測定した後、真空凍結乾燥後に粉碎して成分分析の試料に供した。

2. 3 ほ場における紫外線除去試験

試験は、茶業研究所内の‘さみどり’8年生弧状仕立てほ場で2012年二番茶期に実施した。試験区は、前述の紫外線除去フィルムとダイオネット®5050番で被覆した区（以下UVカット区）と紫外線を透過させる塩化ビニルフィルムとダイオネット®5050番で被覆した区（以下塩ビ区）の2区とし、1区幅1.8m×長さ1.5mの4反復とした。二番茶の1.5葉期にあたる2012年6月28日に高さ1.8mのアーチパイプを茶株上に設置して、それぞれのフィルムを展張し、フィルムの上からダイオネット®5050番で覆った。両区とも茶株面での遮光率は概ね98%であった。分光スペクトルは分光放射計MS-720により茶株面で測定した。また、被覆内の茶株面の気温を温度計（記憶計®SK-L200THⅡa, 株式会社佐藤計量器製作所製）により1時間ごとに測定した。同年7月19日に1心3葉の新芽を80本ずつ採取し、紫外線照射試験と同様に上位から第2葉の葉厚を測定後、成分分析に供した。

表1 紫外線照射試験の概要

試験 No.	品種名	照射開始日	試験 区名	処理日数		
				+UV	-UV	合計
①	さみどり	9月7日	0日区	0	14	14
			6日区	6	8	
			14日区	14	0	
②	さみどり	9月21日	0日区	0	13	13
			5日区	5	8	
			13日区	13	0	
③	やぶきた	10月22日	0日区	0	16	16
			5日区	5	11	
			16日区	16	0	

1区あたりセル苗を6本供試、4反復で行った。

+UV：紫外線強度 $2.4\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$, PPFD $10.5\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$

-UV：紫外線強度 $0\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$, PPFD $10.8\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$

2. 4 成分分析

個別の遊離アミノ酸¹²⁾，カテキン類¹³⁾は高速液体クロマトグラフ（以下HPLC）を用いて，文献の手法により分析した。MMSCは既報¹⁴⁾に準じて分析した。すなわち，試料50mgに0.1N塩酸を加え，ホモジナイザーチューブでホモジナイズし，25mLに定容した。遠心分離により得た上清をポリビニルピロリドンで除タンニン処理した後，0.45 μ m フィルターで濾過したものを試料溶液とした。後藤ら¹²⁾の方法に従い試料溶液をオルトフタルアルデヒドで誘導体化しHPLC分析に供した。表2のHPLC分析装置を用い，表3の移動相により分析した。

3 結 果

3. 1 モデル被覆施設を用いた被覆内光環境の比較

モデル被覆施設内と太陽光の分光スペクトルを図1に示した。太陽光の分光スペクトルは450nm付近にピークを持つ山形の波形を示し，黑色化織区の分光スペクトルも分光放射照度は小さいが，概ね太陽光に近い波形を示した。一方，本ず区の分光スペクトルは，黑色化織区とは大きく波形が異なり，680nm以下の分光放射照度が小さかった。特に500nm

図1 屋外及びモデル被覆施設内の分光スペクトル
測定日時：2008年9月18日午前10時
左軸：本ず区・黑色化織区，右軸：太陽光

以下の分光放射照度が $1.0\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\mu\text{m}^{-1}$ 以下と非常に小さく，紫外域光がほとんど透過していなかった。また，長波長域ほど分光放射照度が大きく，800nm付近では黑色化織区の4倍程度の値を示した。図1のデータから算出した被覆施設内への太陽光の透過率を図2に示したところ，黑色化織区内への透過率が波長によらず概ね一定であったのに対して，本ず区では短波長域の透過率が低く，長波長域の透過率が高かった。すなわち，黑色化織区の光透過性は非選択的であり，本ず区の光透過性は選択的であるといえた。

表2 HPLC分析装置の概要

装置	Prominence LC-20ABシステム（島津製作所）
カラム	Develosil ODS-HG-5（ $\phi 4.6 \times 150\text{mm}$ ，野村化学）
ガードカラム	Develosil ODS-HG-5（ $\phi 4 \times 10\text{mm}$ ，野村化学）
流速	1mL/min
検出波長	蛍光検出 Ex340nm, Em450nm(RF-20Axs)
カラムオープン	40℃ (CTO-20AC)
オートサンプラー	SIL-10AF
データ解析ソフト	Lab Solutions version5.51

表3 移動相の混合比

時間(分) ^{*3}	A液(%) ^{*1}	B液(%) ^{*2}
(基準) 0	82	18
10	80	20
25	75	25
30	5	95
35	5	95
35	82	18
40	STOP ^{*4}	

- * 1 5mMクエン酸緩衝液（pH3.5）：アセトニトリル=19：1（v/v）
- * 2 5mMクエン酸緩衝液（pH3.5）：アセトニトリル=3：7（v/v）
- * 3 いずれの時間帯においても移動相の混合比は直線的に変化させた。
- * 4 この時間以降基準の状態に戻し，次の試料の前処理操作（11分間）の間にカラムを平衡化させた。

図2 モデル施設内への太陽光の分光透過率

一番茶被覆期間にあたる4月1日から5月31日までの本ず区と黒色化繊維区、太陽光の日平均紫外線強度(315~400nm)を図3に示した。太陽光の日平均紫外線強度は天候による変動が見られた。測定期間中の最大値は前期が $19.7\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ 、後期が $20.0\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ であり、平均値は前期が $13.9\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ 、後期が $11.8\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ であった。黒色化繊維区の日平均紫外線強度は概ね太陽光と同様の動きを示し、

最大値は前期が $3.0\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ 、後期が $0.2\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ であり、平均値は前期が $2.1\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ 、後期が $0.1\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ であった。一方本ず区の平均紫外線強度は、期間を通じて黒色化繊維区より低く推移し、最大値は前期が $1.8\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ 、後期が $0.1\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ であり、平均値は前期が $1.2\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ 、後期が $0.03\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ であった。天候が安定し太陽光の紫外線強度変動が小さい日(前期被覆時4月19日、後期被覆時5月26日)の被覆内の日内変化を図4に示した。前期被覆時では、両区とも午前5時20分の日の出時刻から紫外線強度を増し、最大値は本ず区が $6.3\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ 、黒色化繊維区が $6.8\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ を示した。測定日の平均紫外線強度は太陽光が $18.6\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ に対して本ず区が $1.6\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ 、黒色化繊維区が $2.9\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ であり、資材間には約18倍の差がみられた。なお、本ず区では、よしの編み目が粗く0.5cm程度の間隙があるため、隙間から太陽光が入り、高い値を示す時刻がみられた。後期被覆時では、午前4時47分の日の出時刻から2時間以上遅れて紫外線

図3 一番茶被覆期間におけるモデル被覆施設内の日平均紫外線強度の推移

上図：前期被覆2009年4月1日~24日，下図：後期被覆2009年4月25日~5月31日

左軸：本ず区・黒色化繊維区，右軸：太陽光

図4 モデル被覆施設内の紫外線強度の日内変化

左図：前期被覆時2009年4月19日測定，右図：後期被覆時2009年5月26日測定
いずれも左軸：本ず区・黒色化繊維区，右軸：太陽光

強度が測定可能な強度となった。最大値は本ず区が $0.26\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ，黒色化繊維区が $0.41\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ であった。測定日の平均紫外線強度は，太陽光の $13.5\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ に対して本ず区が $0.05\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ，黒色化繊維区が $0.12\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ であり，資材間には約2.4倍の差がみられた。

3. 2 苗を用いた紫外線照射試験

紫外線照射試験に用いた光源の分光スペクトルを図5に示した。両処理の分光スペクトルは紫外域の分光放射照度が大きく異なり，+UV処理は350nm付近に大きなピークを持ち，-UV処理は380nm以下の分光放射照度が $0.1\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\mu\text{m}^{-1}$ 以下であった。紫外

線強度は+UV処理が $2.4\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ，-UV処理が $0.0\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ で，+UV処理の値は3.1で述べた黒色化繊維区における前期被覆期間の平均値に近かった。光合成有効光量子束密度(Photosynthetic Photon Flux Density,以下PPFD)は，+UV処理が $10.5\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ，-UV処理が $10.8\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ とほぼ同等であった。これらの値は，98%以上遮光している一番茶期本ず被覆下のPPFDに相当した。

各区の葉厚を図6に示した。いずれの試験においても葉厚には紫外線照射による有意な増加が認められ，紫外線を最も長く照射した区の葉が最も厚く，除去した0日区の葉が最も薄かった。次に新芽中の成分含有量をみる

図5 紫外線照射試験に用いた光源の分光スペクトル
測定日：2012年9月7日

図6 紫外線照射が新芽葉厚に及ぼす影響

エラーバーは標準誤差を示す。図中の異なる英小文字間には，それぞれの試験内で5%水準の有意差あり(Tukey多重検定， $n=20$)。

と、遊離アミノ酸については、アスパラギン、セリン、アルギニンの含有量に紫外線の照射による有意な減少が認められ、いずれの試験においても紫外線を除去した0日区と最も長く照射した区に有意差がみられた（表4）。アスパラギン酸とグルタミン酸、グルタミン、テアニンの含有量には、試験②のグルタミンを除いて、紫外線照射による有意な増減が認められなかった。MMSCの含有量については、‘さみどり’を供した試験①と試験②では有意差がなく、‘やぶきた’を供した試験③のみで紫外線照射による有意な減少が認められた。カテキン類については、エステル型カテキンのエピガロカテキンガレートとエピ

カテキンガレートの含有量に紫外線照射による有意な減少が認められ、いずれの試験においても紫外線を除去した0日区に比べ最も長く照射した区の含有量が有意に低かった（表5）。遊離型カテキンのエピガロカテキンでは試験①、同じくエピカテキンでは試験②のみで紫外線照射による有意な減少が認められた。合計量に占める遊離型カテキンとエステル型カテキンの割合には紫外線照射による変化が認められなかった。カフェインの含有量については、いずれの試験においても紫外線を最も長く照射した区が他の区より低く、紫外線照射による有意な減少が認められた。

表4 紫外線照射が新芽中の遊離アミノ酸とMMSCの含有量に及ぼす影響

試験 No.	区名	遊離アミノ酸 (mg・g ⁻¹ DW)								MMSC (μg・g ⁻¹ DW)
		アスパラギン酸	グルタミン酸	アスパラギン	セリン	グルタミン	アルギニン	テアニン	計	
①	0日区	2.3	3.3	8.0a	1.2a	1.4	22.1a	4.1	42.4a	34.0
	6日区	2.0	2.9	6.6a	1.2a	1.3	17.3a	4.1	35.4a	31.5
	14日区	2.2	3.2	3.0b	0.6b	1.2	8.5b	4.4	23.1b	24.4
②	0日区	2.0	2.9	3.6a	0.8a	1.2a	15.8a	3.7	30.0a	46.4
	5日区	2.0	3.0	2.9a	0.8a	1.0b	14.6a	4.6	28.9b	53.4
	13日区	2.1	3.1	1.4b	0.5b	0.8b	8.1b	4.7	20.7b	28.7
③	0日区	2.2	2.2	6.4a	1.8a	1.1	21.0a	11.0	45.7a	25.8a
	5日区	2.0	2.2	3.6b	1.3b	1.0	16.6a	9.5	36.2b	21.3a
	16日区	2.5	2.5	2.9b	0.8c	1.0	9.5b	11.2	30.4b	8.9b

表中の異なる英小文字間には、それぞれの試験内で5%水準の有意差あり(Tukey多重検定, n=4)。新芽は1芯2葉で採取した。

表5 紫外線照射が新芽中のカテキン類とカフェインの含有量に及ぼす影響

試験 No.	区名	(mg・g ⁻¹ DW)							
		エピガロ カテキン	エピカテキン	エピガロカテ キンガレート	エピカテキ ンガレート	カテキン類 合計	遊離型 カテキン	エステル型 カテキン	カフェイン
①	0日区	11.7	5.8 a	34.7 a	10.6 a	62.8 a	17.5(27.8)	45.3(72.2)	25.4 a
	6日区	11.0	5.3ab	32.9 a	10.0 a	59.2ab	16.3(27.5)	43.0(72.5)	23.8 a
	14日区	11.0	4.9 b	29.4 b	9.0 b	54.3 b	15.8(29.2)	38.5(70.8)	21.0 b
②	0日区	21.7 a	9.6	41.7 a	13.5 a	86.5 a	31.3(36.2)	55.1(63.8)	20.9 a
	5日区	19.2ab	8.5	37.8ab	12.1ab	77.6ab	27.7(35.7)	49.9(64.3)	21.8 a
	13日区	17.8 b	7.4	35.8 b	11.1 b	72.1 b	25.3(35.0)	46.9(65.0)	19.2 b
③	0日区	20.1	4.3	52.8 a	8.5 a	85.7 a	24.5(28.6)	61.3(71.4)	32.4 a
	5日区	19.3	4.1	49.5 a	7.9 a	80.8ab	23.4(28.9)	57.5(71.1)	29.9ab
	16日区	17.1	3.8	43.5 b	7.0 b	71.4 b	20.9(29.3)	50.4(70.7)	27.0 b

表中の異なる英小文字間には、それぞれの試験内で5%水準の有意差あり(Tukey多重検定, n=4)。新芽は1芯2葉で採取した。遊離型カテキン:エピガロカテキン+エピカテキン, エステル型カテキン:エピガロカテキンガレート+エピカテキンガレート。表中の()内の値はカテキン類合計に対する割合。

3. 3 ほ場（二番茶期）における紫外線除去試験

ほ場試験における被覆内透過光の分光スペクトルを図7に示した。UVカット区の透過光は680nm以下の分光放射照度が塩ビ区より小さく、380nm以下の紫外域光がほとんど含まれていなかった。紫外線強度はUVカット区が $0.0\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ 、塩ビ区が $0.8\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ であった。PPFDは、UVカット区が $31.5\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、塩ビ区が $37.1\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ であった。また、測定期間中の平均気温と最高気温、最低気温はUVカット区がそれぞれ26.7℃、34.9℃、19.3℃、塩ビ区が26.6℃、34.3℃、19.2℃とほぼ同等であった。

図7 ほ場試験における被覆内透過光の分光スペクトル
測定日時：2012年6月29日13時

処理後の新芽葉厚を図8に示した。葉厚には紫外線除去による有意な減少が認められ、紫外域光が除去されたUVカット区で薄く、紫外域光が含まれた塩ビ区で厚かった。次に新芽中の遊離アミノ酸とMMSC、カテキン類、カフェインの含有量を表6に示した。アスパラギン酸とグルタミン酸、セリン、テアニンの含有量はUVカット区が有意に高く、アスパラギンとグルタミン、アルギニンの含有量には有意な増減は認められなかった。MMSC及びカフェインの含有量はUVカット区が有意に高かった。カテキン類の含有量は、個別値、合計値とも紫外線の除去による有意な増減は認められなかった。

図8 紫外線除去が被覆茶の新芽葉厚に及ぼす影響
‘さみどり’8年生茶園を供試した。
エラーバーは標準誤差を示す。
図中の異なる英小文字間には、5%水準の有意差あり（t検定、n=80）。

表6 紫外線除去が被覆茶新芽中の遊離アミノ酸、MMSC、カテキン類、カフェイン含有量に及ぼす影響

試験区	遊離アミノ酸 ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{DW}$)								MMSC ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\text{DW}$)
	アスパラ ギン酸	グルタ ミン酸	アスパ ラギン	セリン	グルタミン	アルギニン	テアニン	計	
UVカット区	1.8a	3.0a	0.4	0.3a	0.4	1.0	8.8a	15.7a	16.6a
塩ビ区	1.1b	1.7b	0.2	0.2b	0.3	0.3	4.6b	8.4b	10.8b

試験区	カテキン類 ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{DW}$)						カフェイン
	エピガロ カテキン	エピカテキン	エピガロカテ キンガレート	エピカテキン ンガレート	カテキン類 計		
UVカット区	27.1	9.9	54.5	15.4	106.9		37.1a
塩ビ区	26.4	11.1	53.2	16.3	107.0		32.7b

‘さみどり’8年生茶園を供試した。
異なる英小文字間には、それぞれの試験内で5%水準の有意差あり（t検定、n=4）

4 考 察

本報では分光放射計を用いて被覆内の実際の光環境を測定し、本ず被覆内では黒色化繊被覆内に比べて短波長側の光が少なく、680nm以上の長波長域光が多く含まれることを明らかにした。また本ず区には紫外域光がほとんど透過しておらず、一番茶後期被覆期間中の本ず区の紫外線強度を黒色化繊区に対する比率で示すと、4月25日から5月18日までの平均値が17%、5月18日以降の平均値が44%、期間を通じた平均値では29%と小さかった(図3)。5月18日以降の紫外線強度が大きいのは、雨や風等によりわらの位置がずれ、遮光率が低下したためと考えられた。図2に示した分光透過率の比較から黒色化繊区の光透過性が非選択的であるのに対して、本ず区の光透過性は選択的であるといえたが、この結果は神田ら²⁾が示した各資材の分光透過率とほぼ一致した。従って、本ず被覆内の光環境は遮光資材の持つ光質選択性を反映したものと考えられた。また、本ず被覆は黒色化繊被覆より680nm以上の長波長域光をより多く透過することから、被覆内の温度が高くなることも考えられるが、両者の被覆内温度にはほとんど違いがないことを確認している^{†3)}。

一般に被覆茶の生葉の葉厚は、玉露はもとより特にてん茶において、荒茶の品質に大きな影響を及ぼす重要な特性であり、葉厚の薄い原料葉ほど色沢に冴えがあり、外観、から色ともに優れた製品が得られる^{15) †4)}。著者らも本ず被覆で栽培された原料葉の方が黒色化繊被覆で栽培されたものより手触りが柔らかいことを経験的に認識していたが、本試験から紫外線を除去することにより葉厚が薄くなることが明らかとなり、紫外線が除去されることが本ず被覆茶の品質が優れる一因と考

察され、経験的な知見を裏付ける結果が得られた。葉厚はUV-B(280-320nm)照射により厚くなることがいくつかの作物で報告されており、この現象は植物の防衛機構のひとつと考えられている¹⁶⁾。本試験で確認したチャの葉厚変化も紫外線適応反応によるものと考えられ、苗試験の紫外線照射区で葉が厚くなったのも300-320nmの紫外線が含まれていたためであり、ほ場試験のUVカット区で葉が薄かったのもUV-Bが除去されたためと考えられた。苗試験の紫外線除去区では新芽の葉の縁が写真2のように波打ち、一方紫外線を長く照射した区では葉の縁が波打つことはなく形態が異なった。実際の栽培条件下においても、本ず被覆の新芽は葉縁が波打ち、黒色化繊被覆のものに形態的な違いが観察される。こうした形態変化も紫外線の多寡に起因する現象と推察された。

1年生挿し木苗を用いて、紫外線の照射や除去が新芽の品質関連成分の含有量に及ぼす影響を調査したところ、紫外線を除去することで遊離アミノ酸含有量が増加することが明らかとなった(表4)。この結果は、遮光下で新芽の遊離アミノ酸が増加するとしての従来¹⁷⁾の知見と一致し本試験でのPPFDは、

写真2 紫外線照射による新芽形態の変化

左図：紫外線照射0日区、右図：紫外線照射13日区
撮影日：2012年10月4日、品種：'さみどり'

^{†4)} 京都府立茶業研究所：昭和53年度試験成績書(栽培)，1-39(1978)

+UV処理が $10.5 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, -UV処理が $10.8 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ とほぼ同等であり, 紫外線強度のみが異なっていることから, 光の強さだけでなく紫外線強度も遊離アミノ酸の含有量に影響を及ぼしたと考えられた。また, ほ場試験においてもUVカット区の遊離アミノ酸含有量が有意に高くなった(表6)。しかし, 有意差の認められた遊離アミノ酸が, 苗試験ではアルギニン, セリン, アスパラギン, ほ場試験ではアスパラギン酸, グルタミン酸, セリン, テアニンであり, 苗試験とほ場試験とで異なった点には留意が必要である。通常の遊離アミノ酸組成は, テアニンの占める割合が40~50%程度と最も高い¹⁸⁾。ほ場試験ではほぼ通常どおりの組成であったが, 苗試験における組成をみると, いずれの処理区も遊離アミノ酸合計に占めるアルギニンの割合が31~53%程度と高かったのに対してテアニンが10~37%と低く, 通常の新芽と組成が異なっていた。苗や個葉を用いた試験では, 98%以上の強遮光下に相当する光条件下で可溶性タンパク質が減少することが確認されている^{19, 20)}。今回の苗試験においてもPPFDが $10 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 程度の光条件下であり, タンパク質の分解が促進されたものと推察された。また, この結果はPPFDが $0 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 遮光下での小林ら²¹⁾の試験結果とも一致する。従って苗試験とほ場試験の結果が異なったのは, 影響の現れ方が植物体の齢により異なるためと推察された。

MMSCは覆い香の主体である硫化メチルの前駆体である。新芽中のMMSC含有量は, 被覆に伴い増加し, 遊離アミノ酸と同様の挙動を示す¹⁾。これらの反応は強遮光によるものと理解されるが, 本試験の結果から, 強遮光下で紫外線を除去するとMMSC含有量がさらに高まることが確かめられ, 紫外線を除去した光質が覆い香の向上に有効であると考えられた。

カフェインについても強遮光下での紫外線

の除去や照射が含有量に影響し, 紫外線強度が小さい条件下で含有量が増加した。遮光下でカフェイン含有量が増加するのは, その代謝分解が抑制されるためと考えられており²²⁾, 本試験の結果から, 遮光下での紫外線強度がカフェインの代謝速度に影響すると推察された。

苗試験では, 紫外線を除去した場合に主要4種のカテキン類合計量が増加し, また, カテキン類合計量に対する遊離型カテキン(エピガロカテキン+エピカテキン)及びエステル型カテキン(エピガロカテキンガラート+エピカテキンガラート)の割合には紫外線照射日数による変化がみられなかった。これらの結果は, 遮光することにより遊離型カテキンの含有量が露天の場合より少なくなり, カテキン類合計量が減少するとした従来の知見²³⁻²⁵⁾とは異なった。従来の知見は, いずれも太陽光下で遮光資材として黒色化繊を用いた試験から得られた結果である。つまり可視光と紫外線がほぼ同じ比率で除去された条件下で得られたものである。一方苗試験の光源には人工光を用い, 紫外域光のみを照射または除去したため+UV処理区では紫外域が他の波長より突出して大きく, 処理条件の分光スペクトルが太陽光とは大きく異なった。この違いがカテキン類の含有量に影響した可能性がある。また, 苗試験では遊離アミノ酸組成も通常とは異なっており, カテキン類についても影響の現れ方が植物体の齢により異なる可能性があるとも考えられた。一方, ほ場試験ではカテキン類含有量に違いがみられなかった。ほ場試験は二番茶期に実施したため, PPFDが一番茶期の3倍程度と高く, 気温も高かった。いずれもカテキン類の含有量を高める条件である。そのためカテキン類含有量への影響が現れにくい条件であったと考えられる。また, 本ず被覆の光質には紫外域光がほとんど含まれていないことだけでなく, 長波長域光の透過率が高いという特徴があり

(図2)、本ず被覆栽培茶のカテキン類含有量が黒色化織栽培茶と比較して低い¹⁾ ことには、こうした紫外域光以外の要因が影響した可能性も考えられる。

本報告では強遮光下における紫外域光の多寡が、被覆茶の品質に関わる新芽形質や品質関連成分含有量に大きく影響することを明らかにした。紫外線を除去した条件下で被覆茶新芽の葉厚は薄くなり、カテキン類への影響については検討の余地を残したものの、茶葉中の遊離アミノ酸とMMSC、カフェインの含有量が増加し、品質向上に望ましい影響を及ぼした。本ず被覆と黒色化織被覆では紫外域光の透過率に大きな違いがあり、本ず被覆内は紫外線をほとんど透過しない光環境となる。この特性が、新芽の葉厚を薄くし、アミノ酸、MMSC、カフェイン含有量を増加させ、本ず被覆茶の品質の高さを生み出す一因であることが明らかになった。今後、本ず被覆に匹敵する高品質な茶を持続的に生産するためには、本ず被覆資材のように紫外域光透過性が低く、かつ黒色化織資材のように扱いが簡便で安価な新たな資材の開発が期待される。

5 摘 要

被覆内の光環境を調査したところ、黒色化織被覆内の透過光は太陽光に近いスペクトルを示し、紫外域光を透過しにくいよしずやわらで構成された本ず被覆内の透過光には紫外域光がほとんど含まれていなかった。次に、紫外線の照射や除去が茶新芽の葉厚と品質関連成分に及ぼす影響を調査したところ、紫外線を除去することにより葉が薄くなり、遊離アミノ酸やMMSC、カフェインの含有量が増加することを確認した。以上の結果から、被覆茶の品質は紫外域光の多寡に左右され、被覆内の透過光に紫外域光をほとんど含まないことが、本ず被覆茶の品質の高さに寄与していると推察された。

6 謝 辞

本研究は、(独) 科学技術振興機構平成20年度重点地域研究開発推進プログラム(シーズ発掘試験: 課題名「最高品質遮光栽培茶を生み出す光環境の数値化」)及び農林水産省委託プロジェクト(課題名:「生物の光応答メカニズムの解明と高度利用技術の開発」平成21~25年度)によった。

7 引用文献

- 1) 木村泰子・原口健司(2001): 被覆の違いによる新芽の部位別の化学成分含量変化. 京都府立茶業研究所研究報告, 23, 57-64.
- 2) 神田真帆・藤原敏郎(2006): 各種被覆資材の光質選択性. 茶研報, No.102 (別), 22-23.
- 3) 中山 仰・土井芳憲・酒井慎介(1979): 茶樹の生育に及ぼす光質の影響に関する研究. 茶業試験場研究報告, 15, 1-49.
- 4) Arakawa O., Y. Hori and R. Ogata (1986): Characteristics of Color Development and Relationship between Anthocyanin Synthesis and Phenylalanine Ammonia-lyase Activity in 'Starking Delicious', 'Fuji' and 'Mutsu' Apple Fruits. J. Japan. Soc. Hori. Sci. 54, 424-430.
- 5) 久保田尚浩・土屋幹夫(2001): ブドウ果実の着色に及ぼす成熟期の紫外光照射の影響. 岡山大学農学部学術報告, 91, 55-60.
- 6) Takayanagi T., T. Okuda, Y. Mine and K. Yokotsuka (2004): Induction of Resveratrol Biosynthesis in Skins of Three Grape Cultivars by Ultraviolet Irradiation, J. Japan. Soc. Hori. Sci. 73, 193-199.
- 7) Kataoka I., A. Sugiyama and K. Beppu (2003): Role of Ultraviolet Radiation

- in Accumulation of Anthocyanin in Berries of 'Gros Colman' Grapes (Vitis vinifera L.), J.Japan.Soc.Hori.Sci,72,1-6.
- 8) 東尾久雄(2007)：収穫後の野菜に対する紫外線照射処理効果. 農業および園芸, 82, 779-783.
- 9) 今泉 寛(1973)：ナスとハウス栽培における光線とくに紫外線の影響について. 三重農技センター研報, 2, 1-5.
- 10) 柏木征夫・小林泰生・松川時晴(1977)：プリムラ・マラコイデスの花色に及ぼす紫外線の影響 (第1報). 園学誌, 46, 66-71.
- 11) 小西茂毅・高橋英一(1969)：茶幼苗におけるテアニンの代謝と代謝産物の再移動. 土肥誌, 40, 479-484.
- 12) 後藤哲久・堀江秀樹・向井俊博(1993)：緑茶中の主要アミノ酸のOPAによるプレカラム誘導体化高速液体クロマトグラフィーによる分析. 茶研報, No.77, 29-34.
- 13) 後藤哲久(1999)：食品の機能性評価マニュアル集. 農林水産省農林水産技術会議事務局及び食品総合研究所, 5-6.
- 14) 木村泰子・原口健司・神田真帆(2011)：茶葉中メチルメチオニンスルフォニウムクロライド (MMSC) の分析方法. 茶研報, No.112 (別), 82-83.
- 15) 辻 正樹・高橋成徳・中野隆司・西郷知博 (1995)：原葉形質とてん茶品質との関係, 茶研報, No.82 (別), 52-53.
- 16) 野内 勇(1997)：紫外線 (UV-B) 増加は農作物の生長・収量に影響を及ぼすか [2]. 農業および園芸, 72, 685-690.
- 17) 阿南豊正・中川致之(1974)：茶葉の化学成分含量に及ぼす光の影響. 茶技研, 47, 132-138.
- 18) 後藤哲久・堀江秀樹・大関由紀・増田英昭・藁科二郎(1994)：化学成分から見た市販緑茶の品質. 茶研報, No.80, 23-28.
- 19) 青木 智(1982)：被覆による茶葉光合成機能の変化. 茶研報, No.62, 8-13.
- 20) 青木 智(1980)：暗黒下で誘導された茶葉の衰退減少. 茶技研, 59, 1-5.
- 21) 小林栄人・中村順行・鈴木利和・大石哲也・稲葉清文(2011)：光強度がチャ新芽の葉色および成分に及ぼす影響. 茶研報, No.111, 39-49.
- 22) 鈴木建夫(1982)：カフェイン, テオブロミン, テオフィリンの生合成と生分解. 化学と生物, 20, 422-424.
- 23) 阿南豊正・中川致之(1974)：茶葉の化学成分含量に及ぼす光の影響. 茶技研, 47, 132-138.
- 24) 岩浅 潔(1968)：茶葉カテキン組成に及ぼすしゃ光栽培の影響. 茶研報, No.29, 68-74.
- 25) 西条了康・大沢キミコ(1981)：しゃ光によるカテキン類ならびに窒素成分の生成制御. 茶研報, No.54, 40-46.