

高品質緑茶生産のための遮光施設における温度環境の改善

平井, 真雄

九州大学大学院生物資源環境科学府生産環境科学専攻地域環境科学講座気象環境学研究室

吉越, 恆

九州大学大学院農学研究院農業資源経済学部門経営経済学講座農業経営学研究室

脇水, 健次

九州大学大学院生物資源環境科学府生産環境科学専攻地域環境科学講座気象環境学研究室

西村, 祐一郎

九州大学農学部生物資源環境科学科生物資源生産科学コース地域環境工学分野

他

<https://doi.org/10.15017/13167>

出版情報：九州大学大学院農学研究院学芸雑誌. 63 (2), pp.179-186, 2008-10-29. 九州大学大学院農学研究院

バージョン：

権利関係：

高品質緑茶生産のための遮光施設における温度環境の改善

平井 真雄¹・吉越 恆・脇水 健次
西村 祐一郎²・北野 雅治*・堺田 輝貴³
仁田原 寿一³・吉岡 哲也³・林 三徳³

九州大学農学研究院生産環境科学部門地域環境科学講座気象環境学研究室
(2008年6月27日受付, 2008年7月16日受理)

An Improvement of Thermal Environment in the Shade Screen Net House for Production of Green Tea of High Quality

Masao HIRAI¹, Hisashi YOSHIKOSHI, Kenji WAKIMIZU
Yuichiro NISHIMURA², Masaharu KITANO*, Teruki SAKAIDA³
Juichi NITABARU³, Tetsuya YOSHIOKA³, and Mitsunori HAYASHI³

Laboratory of Applied Meteorology, Division of Regional Environment Science,
Department of Bioproduction Environmental Sciences, Faculty of Agriculture,
Kyushu University, Fukuoka 812-8581, Japan

はじめに

近年、ペットボトル入り緑茶飲料等の消費量増加に伴い、様々な飲料メーカーが商品の差別化を図った結果、製品の多様化が進んでいる。その中でも、被覆栽培により生産される玉露やかぶせ茶といった高級茶を一部使用し、付加価値を高めた製品が人気を博している。それに加えて、消費者の高級茶指向が高まったことで、これら高級茶の需要が増加している。

玉露とは、一番茶期(5~6月)において、新芽が出てから摘採までの2~3週間程度の期間ワラ等で遮光被覆を施して、日射の90%以上を遮光して栽培した茶のことをいう。玉露は一般的な煎茶と比べて甘みやうまみが強く、苦みが弱い。また、低級茶の浸出液は

黄色や赤色を帯びるのに対して、玉露の浸出液は薄い緑色をしている。これらの特徴は、玉露は茶の旨味成分であるテアニンの含量が多く、対照的に苦み成分であり浸出液中で黄色から褐色に近い色を呈するカテキンの含量が少ないことによる。テアニンはアミノ酸の一種であり、主に根において合成される(小西・葛西, 1968)。合成されたテアニンは地上部の生育に伴い、茎を通過して新葉に移行するが、露光下では分解されカテキンを主としたポリフェノール類に代謝される(小西・高橋, 1969)。また、テアニンの代謝は温度環境によっても影響を受け、温度が高いほどポリフェノール類への代謝が促進されることが確認されている(小西, 1969)。これらの研究から現在、テアニンのカテキンへの代謝を阻害するために、日射量は外部の5%、

¹九州大学大学院生物資源環境科学府生産環境科学専攻地域環境科学講座気象環境学研究室

²九州大学農学部生物資源環境科学科生物資源生産科学コース地域環境工学分野

³福岡県農業総合試験場八女分場

¹Laboratory of Applied Meteorology, Division of Regional Environment Science, Department of Bioproduction Environmental Sciences, Graduate School of Bioresource and Bioenvironmental Sciences, Kyushu University

²Program of Regional Environment Science, Course of Bioproduction Environmental Sciences, Department of Bioresource and Bioenvironment, School of Agriculture, Kyushu University

³Yame Branch Station, Fukuoka Agricultural Research Center, Fukuoka 834-1213, Japan

*Corresponding author (E-mail:kitano@bpes.kyushu-u.ac.jp)

気温は晴天日でも25℃程度の弱光および低温の環境で一番茶を栽培することが風味豊かな玉露の生産のために望ましい条件であると考えられている。

一方、玉露の生産は一番茶期に限定されており生産量が限られているため、前述したような緑茶飲料向けの需要に応えるため、二番茶・三番茶期にも高品質の緑茶を生産することが望まれている。その対策として現在研究されているのが、高級覆い下夏茶と呼ばれる茶である。高級覆い下夏茶とは、二番茶・三番茶期に玉露同様の被覆栽培を行い生産される高品質の茶の総称である。ところで、二番茶は6月中旬から7月上旬、三番茶は7月中旬から8月上旬が栽培時期であるため、一番茶期と比較して被覆内が高温になる。茶樹冠面の気温は一番茶期では最高で25℃程度であるが、二番茶・三番茶期では30℃を超える(花房, 2007)。高気温の環境で栽培された茶葉は、苦みが強く夏茶臭と呼ばれる臭気を持つため評価が低く、価格も落ちる。また、気温が高いと芽の伸びが速くなり、出芽期から摘採期までの間に被覆期間が十分に取れないなどの問題が生じる。また、青野ら(1987)は、気温の低いことに加えて、気温の日較差の大きいことが茶品質の向上に繋がると述べている。

そこで本研究では、高級覆い下夏茶の生産に適した被覆内微気象環境の創出を目的として2種類の気温低下方法を試みた。まず、日中の施設内の高気温状態の回避を目的として、既設のスプリンクラーで散水を行い、さらに、夜間の放射冷却を図るため、夜間のみ被覆の天幕を開放し、被覆内の気温および葉温の低下の程度や日較差の変化について解析した。

観測および実験方法

1. 観測

測定および実験は、福岡県農業総合試験場八女分場(福岡県八女郡黒木町, 33° 13.4' N, 130° 38.8' E, 標高144m)内の試験茶園(*Camellia sinensis* L. 'Okumidori')において行った。被覆状態の茶園の外観をFig. 1に、また内部の様子をFig. 2に示す。この施設は天幕、側幕共に一重の遮光資材を用いたもので、東西26.4m、南北34.4m、天幕までの高さは2.1m程度である。一番茶期に玉露生産のために用いられる施設をそのまま使い、二番茶および三番茶の被覆栽培を行っている。用いられた被覆資材はポリプロピレン製の遮光率95%のものである。茶樹高はよく揃っており、樹冠面は地面から0.8m程度、栽植密度は1 m²当たり2.4本であった。

2007年8月14日から8月18日にかけて、施設外の風向風速ならびに施設内外の気温、湿度、日射量、地温、土壌水分量、被覆天幕表面温度および葉温を測定した。観測項目、測器および測定高度をTable 1に示す。花房(2007)によれば、遮光施設内の気温の水平分布は、日の出時に東側、日の入り時に西側でやや高い傾向があるが、一日を通してみた場合の気温分布の差は小さい。したがって本研究では遮光施設の中央に観測機器を設置し、得られたデータを施設内の代表値として用いた。また8月16日から18日にかけて熱線風速計を用いた施設内外の風速の測定、被覆内の純放射量の測定および熱画像装置を用いた観測を行った。



Fig. 1. View of the outside of the experimental field closed with the top shade screen net and side shade screen net.



Fig. 2. View of the inside of the experimental field closed with the top shade screen net and side shade screen net.

Table 1. General description of the instruments used in this observation.

Elements	Instruments	Height (m)
Air temperature & humidity	VAISALA, HMP45A	0.4, 0.88, 1.2, 1.6, 2.0, 3.0
Net radiation	REBS, Q7.1	2.8
Solar radiation	EKO, MS-42	1.3
Wind speed & direction	YOUNG, 5103	5.0
Wind speed	KANOMAX, Model 1006	0.88, 1.2, 1.6, 2.0, 3.0, 3.5
Surface temperature of shading net	Type-T thermocouple NEC San-ei, TH7800	2.1
Leaf temperature	Type-T thermocouple NEC San-ei, TH7800	0.88

2. 暑熱対策実験

遮光施設内の温度環境を、可能な限り簡易な方法で高品質茶の生産に適した条件に近づけることを目的として、(1) 昼間散水および (2) 夜間天幕解放の二つの実験を行った。

(1) 散水実験

日中の茶葉面温度および茶樹近傍の気温の低下を目的として8月17日の12:30~13:00と14:00~14:30に散水を行い、その降温効果を解析した。散水には、茶圃場に既設の灌漑用スプリンクラーを用い、散水量は約1 mm/hとした。なお、散水期間中は熱線風速計が使用できなかったため、12:30~13:00と14:00~14:30の施設内風速データは欠測とした。

(2) 天幕開放実験

被覆資材によって覆われた遮光施設内では、茶樹の放射冷却が遮光施設の天幕によって阻害されるため、夜間の茶葉面温度および茶樹近傍の温度の低下が遮光施設外部と比較して小さくなると考えられる。この実験では、8月17日の19:00(日没後)から翌18日の9:00まで遮光施設の側幕は残して上部天幕のみを解放し、気温および葉温の低下を測定した。実験区は1区のみであったため、同一区において連続した晴天の2夜のうち1日を天幕開放し、比較解析した。

結果および考察

1. 夏期晴天日の施設内環境

夏期晴天日における被覆内外の日射量の日変化および施設天幕の表面温度、施設外気温および茶葉面温度の日変化を Fig. 3 に示す。施設外では日射量は日中最高で約950 W/m²に達したが、被覆内では日射量は最高で約40 W/m²程度であり、遮光率は約95%であった。被覆資材のアルベドは0.03と非常に小さく、この遮光資材は日射の約5%を透過し、約3%を反射して、

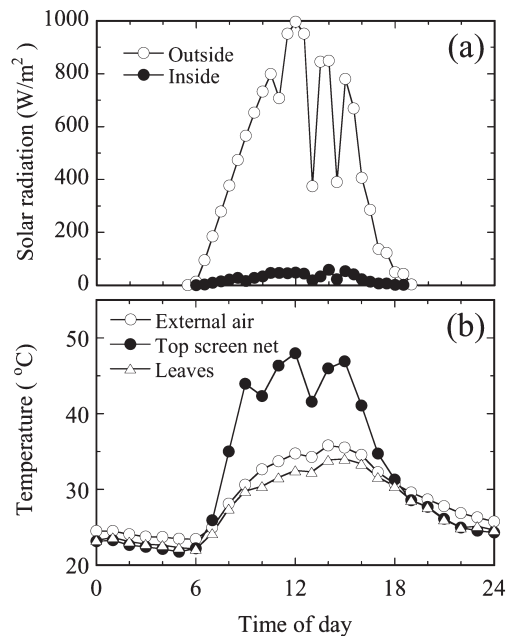


Fig. 3. Diurnal changes in solar radiation over and under the top shade screen net (a) and diurnal changes in temperature of the outside air at a height of 3.0m and temperatures of leaves and the top shade screen net (b) on 15 Aug., 2007.

残りの約92%を吸収している。その結果、遮光施設の天幕は日中45°C以上の高温となった。遮光施設内で、日射が外部の5%程度に抑えられているにもかかわらず、茶葉面温度および茶樹近傍の気温が約34°Cまで上昇した原因として、高温になった施設天幕から遮光施設内部への対流熱伝達および長波放射による熱伝達が考えられる。一方、夜間は施設内の気温および葉温の低下は小さく、施設内の気温は最低時でも22°Cを下回

ることが無かった。

Fig. 4 に遮光施設内外の 6:00 と 14:00 の気温の鉛直分布および遮光施設内外の風速の鉛直分布を示す。施設内では最大でも 0.4m/s と風速が小さく、静穏な環境にあることがわかった。いずれの時間帯でも、被覆内では高度 1.65m 点で風速が最も大きく、樹冠面や被覆天幕に近づくにつれて風速が小さくなる傾向を示した。日中の施設内部の気温の鉛直勾配は非常に大きく、強い温度成層状態となっていることがわかる。施設天幕は約 2m の高さがあるため、樹冠面近傍の気温は施設外部より低いが、天幕が低い場合や、施設内部の混合が生じた場合には、加熱した天幕からの熱の影響が樹冠面付近まで及ぶことが予想される。一方、夜間において、施設内では、温度の鉛直勾配はほぼ見られなかった。これは、被覆によって放射冷却が妨げられたためであると考えられる。このような、高温かつ日格差の小さい施設内環境の現状は、高品質緑茶生産に好ましくないと考えられる (小西, 1969) (青野ら, 1987)。

2. 散水実験

夏期晴天日における散水実験前後の茶園の熱画像を Fig. 5 に示す。また、夏期晴天日における散水実験前後の遮光施設外の気温、茶樹近傍の気温、葉面温度お

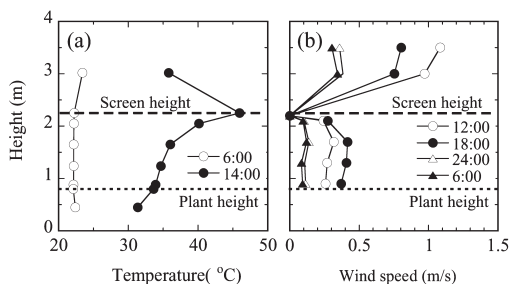


Fig. 4. Vertical profile of temperature in the daytime (14:00) and early morning (6:00) on 15 Aug., 2007 (a) and vertical profile of wind speed from 15 to 16 Aug., 2007 (b) in the tea field closed with the shade screen net: Air temperature was measured at the respective heights of 0.4, 0.88, 1.2, 1.6, 2.0 and 3.0m, and temperatures of leaves and the top shade screen net were also measured. Wind speed was measured at the respective heights of 0.88, 1.2, 1.6, 2.0, 3.0 and 3.5m.

および茶樹近傍の飽差の経時変化を Fig. 6 に示す。散水は 8/17 の 12:30 と 14:00 から各 30 分行ったが、2 回の実験共に、散水による冷却の効果は散水開始直後から現れ、各高度における気温および葉温が低下した。葉温および高度 0.88m 点の気温は、散水前より約 2.5℃低下し、一度散水によって低下した葉温は、元の値に戻るまで 30 分～1 時間ほどかかることがわかった。特に 1 回目の散水は、気温が上昇傾向にある時間帯に行ったため、散水しない条件より実質的に 3℃以上低温に維持されたと考えられる。当日の施設外の気温は 14:00 には 37℃に達し、施設の天幕面は最高で約 51℃に達していたが、施設内の茶葉面温度は 30℃から 33℃に維持された。

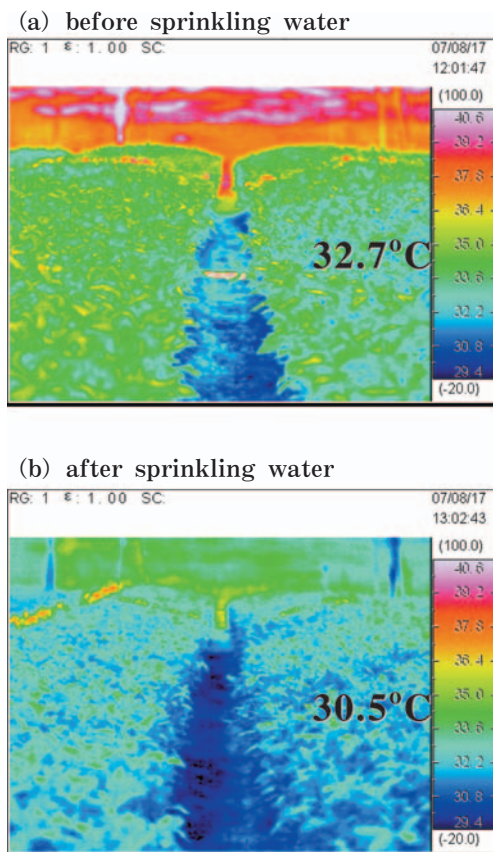


Fig. 5. Thermographs of the experimental field before and after sprinkling water over tea plants on 17 Aug., 2007: (a), thermograph at 12:30 before sprinkling; (b), thermograph at 13:00 after sprinkling.

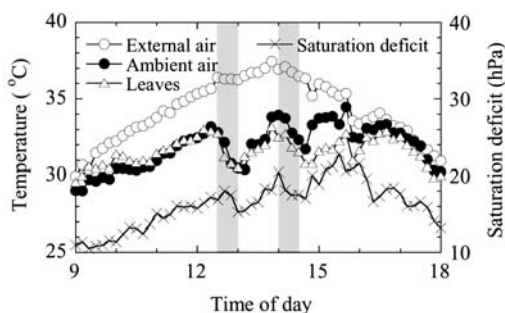


Fig. 6. Diurnal changes in temperatures and saturation deficit in the tea field closed with the shade screen net on 17 Aug., 2007, where water was sprinkled over the tea plants from 12:30 and 14:00 for 30 min at an intensity of 1 mm/h by applying the irrigation sprinkler nozzles set 0.3m above the plant canopy. Temperatures of leaves, the ambient air at a height of 0.88m and the outside air at a height of 3.0m and saturation deficit of the ambient air were measured.

このような温度低下は、25°C程度の比較的低温の灌漑水の熱容量と、蒸発潜熱の両方の効果によってもたらされたと考えられる。ただし、前者の寄与は比較的小さいと考えられ、実験前後の飽差の経時変化を考えると、気温低下の主な原因は、茶樹近傍の飽差が大きかったために水滴が急速に蒸発した結果であると考えられた。

さらに、散水休止後も30分程度は葉温が低く保たれ、一方、飽差は30分から1時間程度で散水前の値に戻っていたことから、葉温を低く保つために常時散水し続ける必要はないと考えられる。すなわち、飽差が回復した時点で散水を再開すれば再び潜熱による冷却効果を得ることが可能であるため、間断散水などの水資源を考慮した最適冷却手法についても検討の余地があると考えられる。

3. 天幕解放実験

茶樹上で測定した被覆時（8/16～17）および天幕開放時（8/17～18）の夜間の正味放射量の経時変化を Fig. 7 に示す。被覆内の正味放射は、日没後から 0:00頃までは約 0 W/m^2 、その後も約 -5 W/m^2 と正味放射は夜間を通じてほぼ 0 W/m^2 で、葉面における放射冷却はほとんど生じていない。一方、天幕開放時

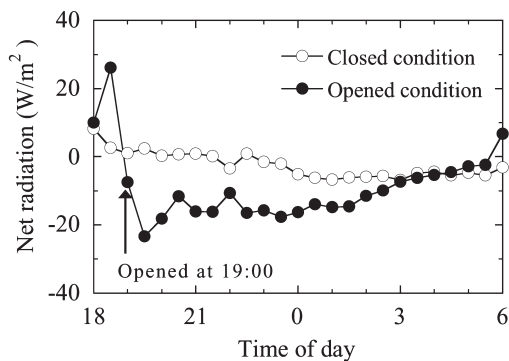


Fig. 7. Time course changes in net radiant flux density over the tea plants during the nighttime with the closed top shade screen net and with the opened top shade screen net from 16 to 18 Aug., 2007: Under the condition with the opened top shade screen net, the tea plants were directly exposed to the clear night sky from 19:00.

の正味放射量は日没直後は -25 W/m^2 、その後も 2:00頃までは約 -15 W/m^2 程度になっており、3:00頃までは被覆時を下回る結果となった。特に日没直後は、30°C程度の茶樹から天空への長波放射が大きいことがわかる。

被覆した場合と被覆天幕を開放した場合の二つの異なる条件下における茶園の熱画像を Fig. 8 に示す。また、被覆した場合と被覆天幕を開放した場合の二つの異なる条件下における被覆表面温度、茶葉面温度および気温の経時変化を Fig. 9 に、鉛直分布を Fig. 10 にそれぞれ示す。被覆した場合、茶樹近傍の気温および茶葉面温度の低下は、被覆を開放した場合に比べて非常に遅く、日出直前に 22.5°C まで低下した。また、茶樹近傍の気温と茶葉面温度はほぼ等しく推移していた。これは被覆天幕が放射冷却によって冷やされ、その被覆天幕への対流熱伝達によって施設内の空気が冷えた結果であると考えられる。これに対して、天幕を開放した場合は、日没後正味放射量が負となるのに対応してすぐに葉温が低下し始め、20.5°C まで低下した。このように天幕を開放すると、施設内の気温および葉温を日没後速やかに低下させることが可能であり、葉温は夜間を通じて雰囲気温度よりも 1°C 程度低く、開放しなかった場合と比較して約 2°C 低かった。

4. 暑熱緩和手法とその効果

Fig.11に観測期間中の施設内葉温の経時変化（8/15～8/18）を示す。8/15の日中最高気温から8/16の未明の最低気温を引いた終日被覆した状態の日較差は、約11℃であった。これに対して、天幕解放実験を行った8/17から8/18にかけての日較差は11℃～13℃であった。8/17は散水実験を行ったため、日中の葉温は通常の遮光条件より低く推移したと考えられ、仮に夜間の天幕開放のみを行った場合、日較差はさらに大きくなっていくと予想される。この結果から、8/17～8/18では、施設内の葉温を日中、夜間ともに低く推移させながら、日較差をやや拡大させることが

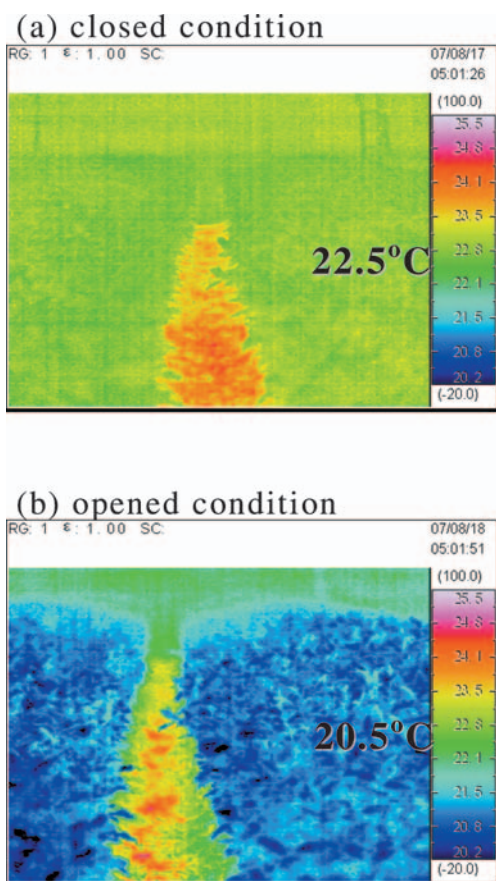


Fig. 8. Thermographs of the experimental field under the different conditions of the top shade screen net: (a), thermograph at 5:00, 17 Aug., 2007 under the closed top shade screen net; (b), thermograph at 5:00, 18 Aug., 2007 under the opened top shade screen net.

可能であった。現在のところ、暑熱および日較差と品質との関係には不明な点も残されているが、今後、茶の気温に対する生理的反応が詳細に明らかにされれば、本研究で試みた方法を用いることで、高品質茶葉の生産に寄与すると考えられる。

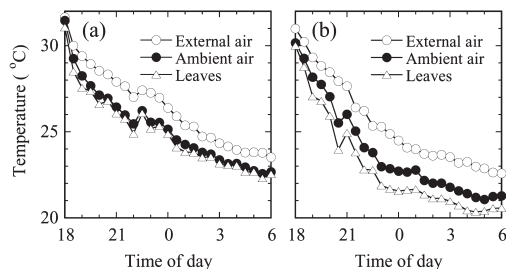


Fig. 9. Time course changes in temperatures of leaves, the ambient air at a height of 0.88m and the outside air at a height of 3.0m during the nighttime with the closed top shade screen net (a) and with the opened top shade screen net (b) from 16 to 18 Aug., 2007: Under the condition with the opened top shade screen net, the tea plants were directly exposed to the clear night sky from 19:00.

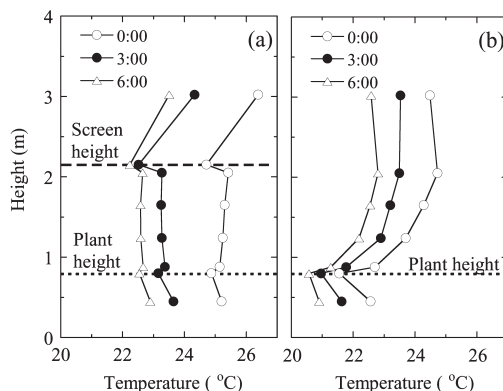


Fig. 10. Vertical profile of temperature in the tea field during the nighttime with the closed top shade screen net (a) and with the opened top shade screen net (b) from 16 to 18 Aug., 2007: Under the condition with the opened top shade screen net, the tea plants were directly exposed to the clear night sky from 19:00.

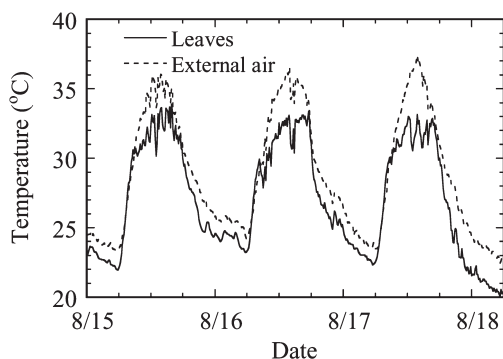


Fig. 11. Time course changes in temperature of leaves and the outside air at a height of 3.0m from 15 to 18 Aug., 2007.

以上のことから、散水を行う、あるいは遮光施設の天幕を開放するといった、比較的容易な手法によって、遮光施設内の環境を改良することが可能であることがわかった。今後、散水する位置、時期、散水量等についての検討を重ねれば、被覆内をさらに適温に近い環境にすることも可能であると考えられる。

ま と め

本研究では、遮光施設内を高品質茶生産に適した低気温で日較差大の環境にすることを目的として暑熱対策実験を行い、その効果を観測によって評価した。

まず、被覆内の微気象環境を測定したところ、被覆内は十分に遮光されていたが、遮光資材はアルベドが0.03と非常に小さいため日射を吸収し高温になり、施設内に対流熱伝達および長波放射による熱伝達が生じていた。

日中の暑熱対策として散水実験を行ったところ、散水後の施設内の気温および葉温が低下した。葉温および高度0.88m点の気温は散水前後で約2°C程度低下し

た。既設の灌漑用散水施設を利用して散水を行うと、直接的に葉面温度を下げる効果と、細霧冷房と類似した気化冷却効果の両方が得られることがわかった。一度散水によって低下した葉温は、元の値に戻るまで30分～1時間ほどかかることから、葉温を低く保つために常時散水し続ける必要はなく、間断散水によっても一定の施設内の冷却効果があると推察された。

夜間における温度低下手法としては、施設天幕を開放することによる放射冷却の促進を図った。天幕を開放した場合、日没後すぐに施設内の気温および葉温が低下し始め、葉温は夜間を通じて雰囲気温度よりも1°C程度低く推移した。また、天幕を開放しなかった場合と比較して葉温は約2°C低くなっていた。天幕を開放した場合には、被覆時には見られなかった逆転層の形成も確認され、天幕を開放することで放射冷却を促進し、施設内の気温および葉温を低下させられることが確認できた。また、日較差は拡大していたことが観測によって確認できた。

文 献

- 青野英也・田中静夫・佐波哲次・築瀬好充 1987 大井川水系茶産地の気温特性と新芽の生育・品質との関係. 茶業研究報告, 65: 8-26
- 小西茂毅 1969 茶樹の生化学. 村松敬一郎編: 茶の科学. 朝倉書店, 東京, 32-42頁
- 小西茂毅・葛西善三郎 1968 茶樹におけるテアニンおよびその関連物質の代謝と制御 (第2報) 茶樹における $^{14}\text{CO}_2$ からのテアニン生成とその部位. 日本土壤肥料学雑誌, 39: 439-443
- 小西茂毅・高橋英一 1968 茶樹におけるテアニンおよびその関連物質の代謝と制御 (第6報) 茶幼苗におけるテアニンの代謝と代謝産物の再移動. 日本土壤肥料学雑誌, 40: 479-484
- 花房秀敏 2007 夏季における高級茶生産を目的とした遮光施設内の気象特性. 九州大学農学部修士論文: 8-51

Summary

The shading treatment of tea plants for a few weeks before the harvest enriches tea leaves with free amino acids such as theanine and brings the flavor-rich quality of green tea. Especially, the first crop of tea which produced under the shading treatment is called Gyokuro and famous for its especially high quality. The production of Gyokuro is limited with only the first crop of tea, and the supply of Gyokuro is not enough for the increasing demand. Therefore, it is desired to produce the second and third crops of tea in the hot summer season, which has the flavor-rich quality similar to Gyokuro. However, there are difficulties in producing the flavor-rich green tea in the midsummer under the shading treatment, because of the excessively high temperature condition. The evaporative cooling treatment by sprinkling water over tea plants intermittently in the daytime dropped temperatures of leaves and the ambient air by 3°C, and further the radiative cooling treatment by opening the shade screen net during the nighttime dropped the temperatures by 2°C. Thus, these passive cooling treatments were demonstrated effectively to drop temperatures of leaves and the ambient air in the summer production of green tea.