大日本蚕糸会

研　究　報　告

第58号　平成22年12月（2010）

目　　次

報　文

1. 玉繭品種「玉小石」の特徴について
蚕業技術研究所　常山　泉・飯田のり子・鶴井裕治
繭の芽STUDIO　筋誠珠実
大門屋　高橋弘直 …… 1

2. 二酸化塩素によるカイコ核多角体病ウイルスの不活化
蚕業技術研究所　野澤瑞佳・代田丈志…… 9

3. 二酸化塩素によるカイコ細胞質多角体病ウイルスの不活化
蚕業技術研究所　野澤瑞佳・代田丈志…… 13

4. 二酸化塩素によるコウジカビの殺菌性
蚕業技術研究所　野澤瑞佳・代田丈志
農業生物資源研究所　和田早苗 …… 17

5. 活性化二酸化塩素の揮発特性　蚕業技術研究所　野澤瑞佳・代田丈志…… 23

6. 有色繭の特徴を活かした絹衣料素材の開発
蚕糸科学研究所　岡島正章・天方美帆・鈴木果歩…… 29

7. 「緑繭１号」にみられる繭色の雌雄間差異　蚕糸科学研究所　花之内智彦…… 35

8. 細繊度蚕品種繭「白繭細１号」を使用した羽二重の特性
蚕糸科学研究所　栗岡富士江・天方美帆・鈴木果歩・岡島正章…… 37

9. 「いろどり」繭層の蛍光色の個体間差異　蚕糸科学研究所　栗岡　聡・山崎昌良…… 43

財団法人大日本蚕糸会
蚕糸科学研究所
蚕業技術研究所

Journal of
DAINIPPON SILK FOUNDATION
No.58, December 2010

CONTENTS

Research Reports

1. TSUNEYAMA, I., SUJIKAI, T., TAKAHASHI, H., IIDA, N. and TSURUI, Y.:
On the characteristics of a silkworm race 'Tamakoishi' for obtaining double cocoons. 1

2. NOZAWA, M. and SHIROTA, T.:
Inactivation of *Bombyx mori* nucleopolyhedrovirus by chlorine dioxide. 9

3. NOZAWA, M. and SHIROTA, T.:
Inactivation of *Bombyx mori* cypovirus by chlorine dioxide. 13

4. NOZAWA, M., WADA, S. and SHIROTA, T.:
Fungicidal activity of chlorine dioxide on silkworm pathogenic fungus, *Aspergillus flavus* S-85 conidia. 17

5. NOZAWA, M. and SHIROTA, T.:
Volatility of chlorine dioxide from activated sodium chlorine. 23

6. OKAJIMA, M., AMAGATA, M. and SUZUKI, K.:
Development of materials of the silk clothes using color cocoons. 29

7. HANANOUCHI, T.:
Color difference between male and female of green cocoon "Ryokken 1 gou". 35

8. KURIOKA, F., AMAGATA, M., SUZUKI, K. and OKAJIMA, M. :
Characteristic of Habutae made from small size filament cocoon "Hakkenhoso 1 gou". 37

9. KURIOKA, A. and YAMAZAKI, M.:
Study on individual differences in the fluorescent color of the IRODORI cocoon. 43

Published by

THE DAINIPPON SILK FOUNDATION

玉繭品種「玉小石」の特徴について

常山　泉[1]・筋誠珠実[2]・高橋弘直[3]・飯田のり子[1]・鶴井裕治[1]

[1]蚕業技術研究所,[2]繭の芽 STUDIO,[3]大門屋

IZUMI TSUNEYAMA, TAMAMI SUJIKAI, HIRONAO TAKAHASHI, NORIKO IIDA and YUJI TSURUI: On the characteristics of a silkworm race 'Tamakoishi' for obtaining double cocoons.

緒　言

二頭以上のカイコによって作られる玉繭は，繭生産の中で偶発的にできる大形の繭である。

古来日本には，この玉繭の糸を座繰り器で引き，紬を織る文化があり，今でも各地の紬の産地において玉繭の需要がある。しかしその一方で，糸がほぐれにくく機械繰糸ができない玉繭は，廉価で取り引きされる上に，その集荷にも手間がかかることから，屑繭同様に扱われ処分されることも少なくない。加えて，国内の養蚕農家数が千戸余りに激減している現在，国産の玉繭を入手することは非常に困難な状況になっている。

蚕業技術研究所では，在来種小石丸[1)]を育成素材にして，玉繭を作りやすい性質を持つ玉繭品種「玉小石」を開発した。本研究では，「玉小石」の玉繭生産能力を明らかにするために，百年蔟を用いた上蔟試験を実施し，同品種の玉繭蚕歩合を調べた。

その結果，「玉小石」が高い玉繭生産能力を持つ蚕品種であることが確かめられた。また，「玉小石」の玉糸と生糸で牛首紬を試作したところ，その仕上がりに軽さと，これまでの牛首紬にはみられない上質な光沢が認められたので報告する。

本文に先立ち，ご助言と資料の提供をして頂いた元蚕糸・昆虫農業技術研究所蚕育種研究チーム長山本俊雄博士，東京農工大学大学院教授蜷木理博士，平尾絹精練工学研究所平尾鋹蔵氏，きもの文化研究家中谷比佐子氏，紬の製作にご協力頂いた加藤手織牛首紬社長加藤改石氏，同職員各位，藤本商店社長藤本哲夫氏，繰糸調査にご協力頂いた蚕糸科学研究所関係各位，また，上蔟試験にご協力頂いた蚕業技術研究所高橋保氏，海老原ひろ子氏ならびに本稿の高閲をして頂いた同研究所所長井上元博士，インド繊維省中央蚕糸局 P.Jayarama Raju 氏に深く感謝の意を表する。

材料と方法

1．上蔟試験（A）

試験は，平成18年初秋蚕期と平成19年晩秋蚕期に蚕業技術研究所でそれぞれ行った。「玉小石」は，母体別に「BWT×BWK（以下，BWT 母体）」と，その逆交配の「BWK×BWT（以下，BWK 母体）」を供試し，対照には非玉繭蚕の実用品種「朝・日×東・海（日本種母体）」[2)]を用いた。各品種は，それぞれ10蛾区から得た孵化直後の蟻蚕0.3 g を計量し，これを掃き立て，3 齢まで交雑種用稚蚕人工飼料（くわのはな，群馬県稚蚕人工飼料センター製）で飼育した。4 齢より桑葉育に移し，その 2 日目に各品種の頭数を450頭に揃えた。また，5 齢期には桑不足にならないように毎日 3 回桑を与え，通常飼育した。上蔟は，カイコの状態が全体的に過熟ぎみとなるタイミングで行った。上蔟方法は，新聞紙を敷いたサンピー蚕箔上に百年蔟（合成樹脂製の山型蔟）を載せ，ここに熟蚕400頭を均等になるようにばら撒き，これらの這い出しを防ぐネットを被せた（図 1）。上蔟中の環境は温度28℃とし，また，解じょを良くするために扇風機を設置して，通風と除湿に努めた。収繭と毛羽取りは，上蔟から 7 日目に行った。全ての繭を振り出し，玉繭と単繭を分けた後，それぞれの繭を作ったカイコの頭数（全蚕数）を調べ，それらをもとに玉繭蚕歩合[（玉繭を作った全蚕数）÷（玉繭と単繭を作った全蚕数）×100]を算出した。

図１．百年蔟に上蔟した「玉小石」
（左：這い出し防止用のネットを被せた状態）

２．上蔟試験（Ｂ）

試験は，「玉小石」の大量飼育による実用試験と位置づけ，平成20年晩秋蚕期と平成21年初秋蚕期に当研究所でそれぞれ行った。

ａ）平成20年晩秋蚕期

「玉小石」は，BWT 母体と BWK 母体を供試した。母体別にそれぞれ60蛾区から得た孵化直後の蟻蚕を１区当たり0.3ｇ計量し，これを10区ずつ掃き立て，３齢まで交雑種用稚蚕人工飼料（くわのはな）で飼育した。４齢より桑葉育に移し，その２日目に各区の頭数を450頭に揃えた。５齢期の飼育法，上蔟のタイミングおよび上蔟環境は前項（１）に準じ，蔟一枚当たり熟蚕400頭を投入し，各母体につきそれぞれ4,000頭上蔟した。収繭は上蔟から７日目に行い，毛羽取り後，全ての繭を振り出し，玉繭と単繭を分け，それぞれの収量を量った。それらをもとに全収繭量に対する玉繭の収量の歩合（重量比）を母体別に算出し，この値をそれぞれの玉繭蚕歩合の近似値として用いた。

ｂ）平成21年初秋蚕期

「玉小石」は，平成20年晩秋蚕期と同様に BWT 母体と BWK 母体を供試した。母体別にそれぞれ80蛾区から得た孵化直後の蟻蚕を１区当たり0.4ｇ計量し，これを15区ずつ掃き立て，3齢まで交雑種用稚蚕人工飼料（くわのはな）で飼育した。４齢より桑葉育に移し，その２日目に各区の頭数を570頭に揃えた。５齢期の飼育法，上蔟のタイミングおよび上蔟環境は前項（１）に準じ，蔟一枚当たり熟蚕550頭を投入し，各母体にそれぞれ8,250頭上蔟した。また，収繭は，上蔟から７日目に行い，玉繭蚕歩合は前項（２－ａ）に準じて母体別に算出した。

３．紬の試作

紬の製作は，加藤手織牛首紬（製糸工場・石川県）と藤本商店（染色加工工場・京都府）で行った。原料となる繭は，前項（２－ａ）に記載した平成20年晩秋蚕期の所内試験で収穫した「玉小石」の単繭と玉繭を用いた。-20℃で冷凍保存した繭を自然解凍し，単繭と玉繭に分け，それぞれ繭100粒程度を一まとめにして座繰りした。座繰生糸は，ソーダ灰とマルセル石鹸を混合したアルカリ精練剤で精練した。単繭から引いた生糸を経糸に，玉繭から引いた玉糸を緯糸に使って高機で帯を織り上げ，糊抜きと油抜きをした後，引き染めした。

結　果

1．上蔟試験（A）

BWT および BWK 母体の「玉小石」と，非玉繭蚕「朝・日×東・海」の熟蚕400頭をそれぞれ蔟一枚に投入し，玉繭蚕歩合を調べた（表1）。

平成18年初秋蚕期の「玉小石」の玉繭蚕歩合をみると，供試母体による差異が認められるものの（χ^2-test, $p<0.05$），同歩合は，母体に関わらず「朝・日×東・海」よりも顕著に高く，「玉小石」が玉繭を作りやすい性質を持つ蚕品種であることがわかる（χ^2-test, $p<0.05$）。この場合，「玉小石」の玉繭蚕歩合は BWT 母体で24.4%，BWK 母体では36.8%となり，「朝・日×東・海」の歩合6.0%のそれぞれ約4.1倍と約6.1倍に相当した。

同様の傾向は，平成19年晩秋蚕期にも認められ，「玉小石」の玉繭蚕歩合は母体に関わらず「朝・日×東・海」のそれよりも著しく高かった（χ^2-test, $p<0.05$）。同歩合は BWT 母体で23.4%，BWK 母体では27.0%となり，これは，「朝・日×東・海」の歩合2.5%のそれぞれ約9.4倍と約10.8倍に相当した。

今回の玉繭蚕歩合の調査では，BWK 母体が BWT 母体よりも歩合が高くなる傾向が認められたが，その一方で，玉繭を作らなかった単繭の計量形質については，BWT 母体の値が高くなる傾向がみられた。

2．上蔟試験（B）

平成20年晩秋蚕期は，当研究所内で大量飼育した BWT および BWK 母体の「玉小石」の熟蚕を母体別に蔟一枚当たり400頭投入し，玉繭蚕歩合（重量換算）を調べた（表2）。

各母体につきそれぞれ4000頭上蔟した結果，玉繭蚕歩合は，BWT 母体で26.2%，BWK 母体では26.9%となった。この大量飼育による実用試験においても玉繭蚕歩合が，上蔟試験（A）の場合と同様に高くなったことから，「玉小石」が実用性の高い蚕品種であることが確かめられた。また，毛羽取り後の単繭と玉繭をみると，いずれも繭形良く，外部汚染繭（営繭中に他のカイコの排泄物によって汚された繭）も少なかった（図2）。なお，蔟中斃蚕と下繭による減蚕歩合は BWT 母体で0.5%，BWK 母体では1.1%となった。

一方，平成21年初秋蚕期は，玉繭生産性を向上させるために蔟一枚当たり熟蚕550頭を投入し，母体別にそれぞれ8,250頭上蔟した（表3）。

玉繭蚕歩合はいずれの母体においても30%を上まわり，BWT 母体で33.9%，BWK 母体では35.1%となったが，外部汚染繭が幾分目についた。また，蔟中斃蚕と下繭による減蚕歩合は，BWT 母体で1.4%，BWK 母体では1.6%となった。

表1．「玉小石」と「朝・日×東・海」の玉繭蚕歩合ならびにその他性状成績の比較

年次	蚕期	品種[1]（母体）	玉繭蚕歩合[2] %	1万頭総収繭量 kg	単繭 繭重 g	繭層重 cg	繭層歩合 %	繭糸長 m	繭糸繊度 d
平成18年	初秋	朝・日×東・海	6.0[c]	20.2	2.10	49.7	23.7	1,391	2.74
		玉小石（BWT）	24.4[b]	15.5	1.55	22.3	14.4	578	2.54
		玉小石（BWK）	36.8[a]	14.9	1.51	21.4	14.2	558	2.48
平成19年	晩秋	朝・日×東・海	2.5[b]	21.4	2.16	51.6	23.9	1,272	2.80
		玉小石（BWT）	23.4[a]	14.4	1.43	20.3	14.2	550	2.48
		玉小石（BWK）	27.0[a]	13.3	1.34	18.7	13.9	503	2.32

[1] 各品種の上蔟頭数は400頭とし、百年蔟を使用した。
[2] 異なるアルファベットで示した玉繭蚕歩合の間には、5%水準で有意差があることを示す（χ^2-test）。

表２．平成20年晩秋蚕期の実用試験における「玉小石」の玉繭蚕歩合

母　体[1]	玉繭蚕歩合[2] % [a/(a+b)×100]	玉繭収量 g (a)	単繭収量 g (b)	総収繭量 g (a+b)	減蚕歩合 蔟中＋下繭 %
BWT	26.2	1,418	3,993 (単繭重平均1.36ｇ)	5,411	0.5
BWK	26.9	1,372	3,731 (単繭重平均1.29ｇ)	5,103	1.1

[1] 百年蔟一枚当たり熟蚕400頭を投入し，母体別にそれぞれ4,000頭上蔟した。
[2] 総収繭量に対する玉繭収量の歩合で代用した。

図２．「玉小石」の玉繭（手前）と玉繭を作らなかった単繭（奥）

３．紬の試作

座繰り器で引いた「玉小石」の生糸を経糸に，玉糸を緯糸に使って牛首紬の製作を試みた。機織りから染色工程を経て９寸巾帯が完成した（図３，４）。以下，各工程における評価を記す。

ａ）機織り（高機による手織り）

経糸は十分な光沢があり強度も高かったが，緯糸には織りの際に，やや引っ掛かる感じがあった。織り上がりの風合いは，光沢があり，気品あるものとなった。

表3．平成21年初秋蚕期の実用試験における「玉小石」の玉繭蚕歩合

母　体[1]	玉繭蚕歩合[2] % [a/(a+b)×100]	玉繭収量 g (a)	単繭収量 g (b)	総収繭量 g (a+b)	減蚕歩合 蔟中＋下繭 %
BWT	33.9	3,470	6,778 (単繭重平均1.26 g)	10,248	1.4
BWK	35.1	3,452	6,372 (単繭重平均1.21 g)	9,824	1.6

[1] 百年蔟一枚当たり熟蚕550頭を投入し，母体別にそれぞれ8,250頭上蔟した。
[2] 総収繭量に対する玉繭収量の歩合で代用した。

b）糊・油抜き

従来の紬と比べて油分が少なく，仕上げが容易であった。軽くて光沢があり，これまでの牛首紬とは別物のような仕上りとなった。

c）染色（引き染め）

染付けが良く，短時間で仕上がった。また，染色の強度については，他の絹織物と同程度であったが，染め上がりの風合いには，一般の紬には出ない光沢の美しさがあった。

図3．「玉小石」の生糸を経糸に，玉糸を緯糸に使って織り上げた牛首紬（帯）

図４．牛首紬の比較
左下：従来の紬　右上：「玉小石」による紬

考　察

今回の百年蔟を用いた上蔟試験の結果から，「玉小石」が高い玉繭生産能力を持つ蚕品種であることが確かめられた。

同品種の玉繭蚕歩合は，蔟一枚に熟蚕400頭を投入すると，BWT 母体で23.4～24.4%，BWK 母体では27.0～36.8%となり，これは，非玉繭蚕「朝・日×東・海」のそれの4.1～9.4倍と6.1～10.8倍に相当した（表１）。また，大量飼育した「玉小石」の熟蚕を蔟一枚当たり400または550頭投入した実用試験では，同歩合がBWT 母体で26.2%と33.9%，BWK 母体では26.9%と35.1%となった。（表２，３）。

「玉小石」は，２種の小石丸系の原種BWT とBWK を組み合わせた日・日一代交雑種である。虫体は小さく，体色は淡青系で斑紋は形である。稚蚕の人工飼料に対する適合性が良く，虫質は強健で眠期が揃うため，その飼育は容易である。全齢経過日数は22日程度で，５齢期が「朝・日×東・海」などの普通品種と比べて２日ほど短く，５日程度となる。繭は白色の俵形（単繭）で，まれに極うすい笹色繭が混ずる。単繭の繭重および繭層重は軽いが，繭層は小石丸よりも厚く，毛羽取り機の利用ができる。解じょは良好で，平成21年初秋蚕期における単繭の解じょ率は，BWT 母体で100%，BWK 母体では95.2%となった（未発表）。また，糸質はやや硬く光沢がある。

この「玉小石」以外にも玉繭品種として，琉球多蚕系統を導入した「N玉×C玉」が開発されているが[3]，玉繭の生産性を上げるためには，玉繭を作りやすいというこれらの品種特性だけに頼ることはできない。これに加えて，①５齢期のカイコの成長を揃わせる。②過熟蚕を一斉に上蔟する。③上蔟密度（蔟一枚当たりに投入するカイコの頭数）を高くする[3-4]。④百年蔟を使用する[4]。⑤営繭時の室温を28℃程度にする[5]などの諸条件も重要な鍵となる。

広瀬[4]，山本[3]は，「N玉×C玉」を用いて上蔟密度と玉繭蚕歩合の関連性について調べ，上蔟密度の高い方が，玉繭蚕歩合も高くなることを明らかにした。しかしその一方で，あまり過剰になると，外部汚染繭の割合が高くなることも判明しているので[4]，同品種の場合,汚れのない繭を効率的に生産するためには，その玉繭蚕歩合が30%程度になるように上蔟密度を調整することが推奨されている[3]。

今回の「玉小石」を用いた試験では，上蔟密度を550頭に設定した平成21年初秋蚕期の実用試験において，外部汚染繭の割合が高くなる傾向が認められている。実用化に向けた効率的な玉繭生産体制を確立するために，引き続き同品種の上蔟試験を実施し，その至適上蔟密度を明らかにしたい。

また，帯（紬）の製作によって，糸質がやや硬い「玉小石」の糸で織り上げた生地は硬く,仕上げには柔らかさを出すための砧打ちを施す必要があることがわかった。砧打ちは，古来より伝わる技法であるが，一反ずつ手作業で仕上げるため，生産性が低く，その仕上がりは技術者の技量に大きく左右される。一定品質の織物を効率的に生産するためには，この砧打ち工程に代わる「玉小石」の糸質に適した精練法の検討が必要と考える。そのため，次回の着物試作では，これまでのアルカリ精練法に加えて，中性精練法ならびに酸精練法の導入を試みたい。また，それぞれの精練剤で処理した練糸の触感を比較すると共に，それらの糸で織り上げた生地の風合い，染色性，着心地などについて，着物を普段着とする服飾家にその評価を依頼し，客観的に品質の善し悪しを判定したい。

摘　要

玉繭品種「玉小石」の所内上蔟試験を実施し，その玉繭蚕歩合を調べた。「玉小石」は，母体別にBWT×BWK（以下，BWT母体）と，その逆交配のBWK×BWT（以下，BWK母体）を，対照には非玉繭蚕「朝・日×東・海」を供試した。上蔟には合成樹脂製の百年蔟を使用し，蔟一枚にそれぞれ熟蚕400頭を投入した。その結果，玉繭蚕歩合は，BWT母体で23.4～24.4%，BWK母体では27.0～36.8%となり，これは，「朝・日×東・海」の歩合の4.1～9.4倍と6.1～10.8倍に相当した。

次に，「玉小石」の実用性を調べるために，母体別に大量飼育した同品種の熟蚕を蔟一枚当たり400上蔟した。その結果，同歩合はいずれの母体においても高く，BWT母体で26.2%，BWK母体では26.9%となった。また，蔟一枚当たり熟蚕550頭上蔟すると，その歩合は母体順にそれぞれ33.9%と35.1%になった。

続いて，「玉小石」の玉糸と生糸を使って牛首紬を試作し，その風合いを調べたところ，その仕上がりに軽さと，これまでの牛首紬にはみられない上質な光沢が認められた。

以上のことから,「玉小石」が高い玉繭生産能力と特徴ある糸質を持つ蚕品種であることが確かめられた。

引用文献

1) 平塚英吉（1969）　日本蚕品種実用系譜，26，大日本蚕糸会蚕糸科学研究所，東京.
2) 緑川栄一・阿相敏雄・代田丈志・清野力（1992）　春蚕用朝・日×東・海の育成経過と性状．蚕系科学研究所彙報，**40**, 7 -26.
3) 山本俊雄（1995）玉繭品種の育成から製品化まで．蚕糸科学と技術，**34**（3），28-31.
4) 広瀬正之（1995）大石紬の原料となる玉繭の効率的生産技術．蚕糸科学と技術，**34**（11），34-37.
5) 文部省（1979）養蚕，194，実教出版，東京.

Summary

A silkworm race 'Tamakoishi', *Bombyx mori* L. was bred for production of more number of double cocoons. In the present study an attempt was made to investigate the capacity of the breed in the production of double cocoons. For the experiment two silkworm hybrids, viz., 'BWT× BWK' and 'BWK× BWT' were used as 'Tamakoishi' and a normal race 'Asa・Hi × To・Kai' was kept as a control. Plastic mountages, named 'Hyakunen-mabushi' were prepared for mounting and 400 mature larvae in each race were sprinkled on it. After seven days of mounting, the percentage of double-cocooning silkworms in each race was examined and the experiment was repeated twice. The results indicated that, the percentage of double-cocooning silkworms was to the tune of 23.4 -24.4% in the hybrid 'BWT× BWK' and 27.0 - 36.8% in 'BWK× BWT', when compared to control 'Asa・Hi × To・Kai', it is 4.1-9.4 times and 6.1-10.8 times more in the test hybrids respectively.

Next, a large number of larvae in each hybrid were reared and mounted at the rate of 400 and 550 larvae per mountage in both the hybrids. After harvesting all the cocoons that were formed in the mountages, the percentage of double cocoons weight was examined. It was found that, in 400 larvae per mountage the percentage was 26.2% and 26.9% in the hybrids, 'BWT× BWK' and 'BWK× BWT' respectively, where as in 550 larvae per mountage, it was found to be 33.9% and 35.1% in these hybrids respectively.

Further, the utility of 'Tamakoishi' was also examined. The thread was spun out of the cocoons that 'Tamakoishi' formed and 'Ushikubi' pongee was woven experimentally by utilizing it. The pongee was recognized to be light and lustrous.

The above-mentioned results clearly show that, 'Tamakoishi' is having a high productive capacity of double cocoons and also produce good quality silk with luster.

二酸化塩素によるカイコ核多角体病ウイルスの不活化

野澤瑞佳・代田丈志
蚕業技術研究所

MITSUYOSHI NOZAWA and TAKESHI SHIROTA: Inactivation of *Bombyx mori* nucleopolyhedrovirus by chlorine dioxide.

緒　言

二酸化塩素（ClO_2）は，水中の有機物と反応して有害な有機塩素化合物を生成する可能性が少ないため，塩素剤に代わる薬品として注目されており，殺菌可能な対象病原の範囲も広いという特長がある[1,2]。またインドでは，亜塩素酸ナトリウム（$NaClO_2$）にクエン酸を加えて活性化させ，得られた二酸化塩素の水溶液を養蚕用の消毒剤として利用する方法が考案されている[3]。さらに最近の研究成果によると，二酸化塩素は，カイコ微粒子病原虫（*Nosema bombycis*）を殺菌することも知られている[4]。これらの長所をもつ二酸化塩素は，ホルムアルデヒドに代わる養蚕用の消毒剤として使える可能性があり，検討する余地がある。

カイコに感染する各種病原体のうち，カイコ核多角体病ウイルス（BmNPV）は，多角体とよばれるタンパク質の結晶中にウイルス粒子が包埋されており[5]，強力なアルカリ剤（次亜塩素酸カルシウム[6]や水酸化カルシウム[7,8]など）を用いて多角体とウイルス粒子を分解するか，ホルマリンのように多角体を固定して難溶化するという方法でウイルスを不活化する必要がある。このようにBmNPVは，カイコに感染する病原体の中でも難防除のウイルスであり，近年でも内部汚染繭の主要な発生原因となりえるため[9]，二酸化塩素がこのウイルスを不活化するか調べておく必要がある。

本研究では，BmNPVの不活化に及ぼす二酸化塩素の影響を，薬液濃度と処理時間の関係から調べたので報告する。

本文に入るに先立ち，本稿の校閲を賜った蚕業技術研究所の井上 元博士に感謝の意を表する。また，生物検定法について貴重な示唆を頂いた群馬県蚕糸技術センターの伊藤　寛独立研究員および独立行政法人農業生物資源研究所の宮本和久上級研究員に厚くお礼を申し上げる。なお本研究は，貞明皇后蚕糸記念科学技術研究助成事業により得られた研究成果[10]の一部をとりまとめたものである。

材料と方法

ウイルス

供試ウイルスは，茨城県内の常習違作農家から分離したBmNPVである[11]。多角体濃度を1.16×10^8 OBs/mlに調製して試験に使用した。

カイコ

広食性蚕品種“ひたち×にしき”の1齢ふ化幼虫を使用した。

二酸化塩素および亜塩素酸ナトリウム

二酸化塩素は，パスタクリーンEWX（濃度 2,000 ppm，パスタライズ）を使用した（以後，これを純粋二酸化塩素という）。この原液を希釈して，二酸化塩素濃度が200 ppm，500 ppmおよび1,000 ppmとなるように調製して使用した。

亜塩素酸ナトリウム（濃度 60,000 ppm，品名：安定化二酸化塩素，パスタライズ）を活性化して二酸

化塩素を生成するために，原液にクエン酸ナトリウムを30%（w/v）加えて10分間反応させた。この方法で得られた二酸化塩素（以後，活性化二酸化塩素という）は濃度が不安定なため，活性化二酸化塩素の原液を40倍，60倍および120倍に希釈して試験に使用した。なお，この方法による亜塩素酸ナトリウム（pH 7前後）の活性化では，生成された二酸化塩素の水溶液が強酸性を示すと考えられるため，調製した希釈液の pH 値も測定した。

生物検定

BmNPV 懸濁液（1.16×10^8 OBs/ml）0.1 ml を1.5 ml のチューブに入れ，13,000×g, 4 ℃で10分間遠心処理して多角体を沈澱させ，上清を除去したのち，二酸化塩素の供試薬液0.9 ml をチューブに加え，ボルテックスミキサーでよく振盪後，25℃のインキュベーターに所定の時間（5分，10分，15分および30分）静置した。その後，二酸化塩素の反応を止めるため，3%アスコルビン酸（終濃度0.3%）0.1 ml を加え，チューブの全量を1.0 ml とした。このように処理したウイルス液1.0 ml を人工飼料（1～3齢原種用，日本農産工業）10 g に混入し，カイコふ化幼虫20 mg に摂食させた。24時間後，人工飼料を摂食したカイコの幼虫を20頭採取し，清浄な人工飼料に移し替え飼育を継続した。飼育期間中の環境条件は25℃，16L-8D に設定し，生物検定開始から7日目に，カイコの発病頭数を調査した。

結　果

純粋二酸化塩素と活性化二酸化塩素による BmNPV の不活化状況を，それぞれ表1および表2に示した。純粋二酸化塩素の場合では，200 ppm の30分間処理でウイルスは不活化する兆候を見せ始め，500 ppm では10分間，1,000 ppm では5分間の各処理でウイルスは完全に不活化した。一方，活性化二酸化塩素の場合では，120倍希釈液の30分間処理でウイルスは不活化する兆しを見せ始め，60倍希釈液では30分間，40倍希釈液では15分間の各処理でウイルスは完全に不活化した。

調製した純粋二酸化塩素の水溶液は，濃度により pH 2.23～2.87の強酸性を示した。活性化二酸化塩素も同様に，希釈率により pH 2.60～2.78の強酸性を示していた。いずれの二酸化塩素で BmNPV の多角体を処理した場合にも，多角体は溶解せずにやや固化した状態で，チューブの底に沈澱する様子が観察された。

表1．BmNPV の不活化に及ぼす二酸化塩素濃度と浸漬時間の関係

ClO_2 (ppm)[a]	n[b]	多角体浸漬時間[c]および発病頭数				pH
		5分	10分	15分	30分	
1,000	20	0	0	0	0	2.23
	20	0	0	0	0	
500	20	18	0	0	0	2.49
	20	13	0	0	0	
200	20	20	20	20	2	2.87
	20	20	18	20	10	
stDW[d]	20	20	20	20	20	5.63
	20	20	20	20	20	

[a] 純粋二酸化塩素（パスタクリーンEWX）の原液濃度: 2,000 ppm.

[b] 供試頭数. 蚕品種: "ひたち×にしき".

[c] 浸漬時の多角体濃度: 1.16×10^7 OBs/ml.

[d] 滅菌脱イオン水.

表2．BmNPV の不活化に及ぼす活性化二酸化塩素の希釈率と浸漬時間の関係

活性化原液[a] 希釈率	n[b]	多角体浸漬時間[c]および発病頭数				pH
		5分	10分	15分	30分	
40倍	20	14	0	0	0	2.60
	20	13	4	0	0	
60倍	20	18	13	8	0	2.65
	20	20	13	2	0	
120倍	20	20	20	19	6	2.78
	20	20	20	20	3	
stDW[d]	20	20	20	20	20	6.59
	20	20	20	20	20	

[a] 亜塩素酸ナトリウム原液（濃度 60,000 ppm）へクエン酸ナトリウムを30% (w/v) 加え，10分間反応させた

[b] 供試頭数．蚕品種："ひたち×にしき"．

[c] 浸漬時の多角体濃度：1.16×10^7 OBs/ml．

[d] 滅菌脱イオン水．

考　察

純粋二酸化塩素と活性化二酸化塩素は，いずれも BmNPV の多角体を不活化するが，不活化の強さは，純粋二酸化塩素の方が強く，活性化二酸化塩素はやや劣る（表1および表2）。活性化二酸化塩素の40倍希釈液に含まれる推定二酸化塩素濃度は，活性化する前の亜塩素酸ナトリウム原液に含まれる塩素濃度（60,000 ppm）に基づくと，約1,500 ppm と推測される。しかし，ウイルスの不活化が，純粋な二酸化塩素よりも劣るのは，亜塩素酸ナトリウムをクエン酸ナトリウムで反応させた際，塩素ガスの発生を伴う急激な反応が起こるため，活性化二酸化塩素の原液中に含まれる二酸化塩素の濃度が予想よりも低下していた可能性がある。また，この方法による活性化は急激な反応で起こるため，二酸化塩素と異なる組成の副生成物が生成されやすく，純粋な二酸化塩素の水溶液とは異なる可能性もある。この点について，日本食品分析センターで解析した結果，ブロモジクロロメタン，ジブロモクロロメタンおよびブロモホルムなどが生成されていた[10]。さらに，BmNPV の不活化に差異が認められたもう一つの原因として，水溶液の pH があげられる。純粋な二酸化塩素の方が，活性化二酸化塩素に比べて酸性値が高いため，酸の影響で多角体が難溶化している可能性がある。今回の試験では，酸の強さと BmNPV の不活化の関係は未調査であり，今後の解明が必要である。

二酸化塩素は，水中の有機物と反応して有害な有機塩素化合物（例えばトリハロメタンなど）を生成する可能性が少ないため，他の塩素系消毒剤に比べて安全性が高いうえ，ヒトへの感染が懸念される様々な病原体（細菌，ウイルス，原虫等）も殺菌する[1,2]。高山ら（1995）[2] は，二酸化塩素の殺菌性を確認するために，大腸菌，黄色ブドウ球菌，枯れ草菌，黒麹カビ，メチシリン耐性黄色ブドウ球菌 MRSA，緑膿菌，サルモネラ菌，腸炎ビブリオ，乳酸球菌，セレウス，クロストリジウム，青カビ，クラドスポリウム，フザリウム等への効果を調べたところ，高い殺菌性を見出した。また，昆虫病原微生物に対する二酸化塩素の殺菌効果については，カイコの微粒子病原虫である *Nosema bombycis*[4] に対する消毒効果や，カイコ病原微生物全般に対する消毒効果の事例が報告されており[3]，養蚕分野で使える消毒剤の候補と成りえるか興味がある。

カイコに感染するウイルスのうち，BmNPV はウイルス粒子が多角体に包埋されており，ヒトに感染するウイルスには見られない特殊なウイルスである。今回の試験結果から，BmNPV の不活化に必要な薬液

濃度が高いという問題は残されているが，昆虫病原性ウイルスの一種である BmNPV を不活化することが判明した。今後，もう一つの多角体形成ウイルスである細胞質多角体病ウイルス（BmCPV）に対する二酸化塩素の不活化効果を確認し，養蚕分野における二酸化塩素の実用性を検討していきたい。

摘　要

二酸化塩素は，新たな消毒剤として注目されている塩素系の無機化合物である。この薬剤の養蚕分野への利用性を検討するために，純粋な二酸化塩素と，亜塩素酸ナトリウムの活性化で得られた二酸化塩素の2種薬剤を使用して，カイコ核多角体病ウイルス(1.16×10^7 OBs/ml)の不活化条件を調べた。その結果，二酸化塩素は，塩素濃度 500 ppm（pH 2.49）の10分間処理でウイルスを不活化した。一方，活性化二酸化塩素は，ウイルスを不活化するために，活性化原液の60倍希釈液（pH 2.65）で30分，40倍希釈液（pH 2.60）で15分の処理を必要とした。どちらの二酸化塩素で多角体を処理した場合でも，多角体は溶解せずに固化するため，このウイルスの不活化は，酸性条件下における多角体の難溶化に起因する可能性がある。今後，多角体に包埋された BmNPV の不活化が，二酸化塩素によるものか，酸の強さによるものか，その両方の作用によるものか，調べる必要がある。

引用文献

1) 金子光美 (1996) 水質衛生学, 253-394, 技報堂出版, 東京.
2) 高山正彦・杉本浩子・水谷祐子・丹野憲二 (1995) 二酸化塩素の殺菌性. J. Antibact. Antifung. Agents, **23**, 401-406.
3) Balavenkatasubbaiah, M., Ananthalakshmi, K. V. V., Selvakumar, T., Nataraju, B. and Datta, R. K. (1999) Chlorine dioxide, a new disinfectant in sericulture. Indian J. Seric., **38**, 125-130.
4) Wang, Z., Liao, F., Lin, J., Li, W., Zhong, Y., Tan, P. and Huang, Z. (2010) Inactivation and mechanisms of chlorine dioxide on *Nosema bombycis*. J. Invertebr. Pathol., **104**, 134-139.
5) 川瀬茂実 (1990) カイコの核多角体病ウイルス. 日蚕雑, **59**, 387-401.
6) 清水孝夫 (1983) 家蚕の各種ウイルス病発生に関する疫学的研究. 長野蚕試報, **72**, 1-122.
7) 岩下嘉光・周　垂欽（1988）消石灰液による核多角体の溶解とウイルス粒子の不活化. 日蚕雑, **57**, 511-518.
8) 周　垂欽・中垣雅雄・滝澤和也・津田英利・梶浦善太・武井隆三・岩下嘉光 (1999) 消石灰液によるカイコ核多角体病ウイルス（NPV）の不活化について. 日蚕雑, **68**, 201-207.
9) 野澤瑞佳 (2004) 核多角体病による内部汚染繭の発生とその季節的変遷. 蚕糸会研報, **52**, 1 - 9 .
10) 河上　清・井上　元・宮本和久・中村匡利・和田早苗・石坂健一・関　耕一・小林初美・伊藤　寛・代田丈志・野澤瑞佳 (2008) 蚕室蚕具のための新たな洗浄除菌法の開発. (財) 大日本蚕糸会 貞明皇后蚕糸記念科学技術研究助成研究成果報告書.
11) 野澤瑞佳・代田丈志 (2005) 常習連作農家における 2 種多角体病ウイルスの分布特性と消石灰水の利用によるウイルス病抑制効果. 蚕糸会研報, **53**, 11-22.

二酸化塩素によるカイコ細胞質多角体病ウイルスの不活化

野澤瑞佳・代田丈志
蚕業技術研究所

MITSUYOSHI NOZAWA and TAKESHI SHIROTA: Inactivation of *Bombyx mori* cypovirus by chlorine dioxide.

緒　言

カイコ細胞質多角体病ウイルス（BmCPV）は，レオウイルス科に属する複鎖 RNA ウイルスで，カイコ核多角体病ウイルス（BmNPV）と同じく，ウイルス粒子が多角体に包埋されている[1]。近年，このウイルス病による作柄被害は少ないが，まれに常習違作農家で発生し，BmNPV による核多角体病と併発して壊滅的な違作を引き起こすことがある[2]。そのため，養蚕現場の防疫対策では，BmNPV のみでなく BmCPV への対策も視野に入れる必要がある。

長年，蚕病防除で利用されてきたホルムアルデヒドは，2004年に世界保健機関（WHO）の国際がん研究機構（IARC）により，発がんリスクのレベルがグループ 1 に認定され，2006年に報告書が公開された[3]。また，日本国内でも，ホルムアルデヒドは，労働安全衛生法の特定化学物質第 2 類の特定管理物質に指定され，その管理濃度は0.1 ppm，日本産業衛生学会の指針による許容濃度は0.1 ppm，米国産業衛生専門家会議が定めた許容濃度（TLV-ACGIH）は0.3 ppm（TLV-C）と規定されている[4]。このように，ホルムアルデヒドを扱う作業環境は，暴露限界濃度が厳しく規定されており，ホルムアルデヒドに代わる剤への切り替えが必要である。

二酸化塩素（ClO_2）は，塩素系の無機化合物で，水中の有機物と反応して有害な有機塩素化合物を生成する可能性が少ない上，細菌，ウイルス，原虫および糸状菌などに優れた殺菌効果を示し[5,6]，その効果は，カイコの微粒子病原虫などでも報告されている[7,8]。前報において，二酸化塩素による BmNPV の不活化状況を調べたところ一定の消毒効果を確認することができたので[9]，本研究では，もう一つの多角体形成ウイルスである BmCPV の不活化に及ぼす二酸化塩素の影響を，薬液濃度と処理時間の関係から調査した。

本文に入るに先立ち，本稿の校閲を賜った蚕業技術研究所の井上　元博士に感謝の意を表する。なお本研究は，貞明皇后蚕糸記念科学技術研究助成事業により得られた研究成果[10]の一部をとりまとめたものである。

材料と方法

ウイルス

供試ウイルスは，茨城県内の常習違作農家から分離した BmCPV である[2]。多角体濃度を1.76×10^7 OBs／ml に調製して試験に使用した。

カイコ

広食性蚕品種“ひたち×にしき”の 1 齢ふ化幼虫を使用した。

二酸化塩素および亜塩素酸ナトリウム

二酸化塩素は，パスタクリーン EWX（濃度 2,000 ppm，パスタライズ）を使用した（以後,これを純粋二酸化塩素という）。この原液を希釈して，塩素濃度が200 ppm，500 ppm および1,000 ppm となるように調製して使用した。

亜塩素酸ナトリウム（濃度 60,000 ppm，品名：安定化二酸化塩素，パスタライズ）を活性化して二酸化塩素を発生させるため，原液にクエン酸ナトリウムを30%（w/v）加えて10分間反応させた。この方法で得られた二酸化塩素（以後，活性化二酸化塩素という）は濃度が不安定なため，活性化二酸化塩素の原液を40倍，60倍および120倍に希釈して試験に使用した。なお，この方法による亜塩素酸ナトリウムの活性化では，生成された活性化二酸化塩素の水溶液が強酸性（pH 2 ～ 3）を示すようになる[9]。

生物検定

BmCPV 懸濁液（1.76×10^7 OBs/ml）0.1 ml を1.5 ml のチューブに入れ，13,000×g, 4 ℃で10分間遠心処理して多角体を沈澱させ，上清を除去したのち，二酸化塩素の供試薬液0.9 ml をチューブに加え，ボルテックスミキサーでよく振盪後，25℃のインキュベーターに所定の時間（5 分，10分，15分および30分）静置した。その後，二酸化塩素の反応を止めるため，3 %アスコルビン酸（終濃度0.3%）0.1 ml を加え，チューブの全量を1.0 ml とした。このように処理したウイルス液1.0 ml を人工飼料（1 ～ 3 齢原種用，日本農産工業）10 g に混入し，カイコふ化幼虫20 mg に摂食させた。24時間後，人工飼料を摂食したカイコの幼虫を採取し，清浄な人工飼料に移し替え飼育を継続した。なお BmCPV に感染したカイコの幼虫は，ウイルスを含む糞を排泄するようになるため[11, 12]，本研究では，供試虫を個別に飼育して試験を行った。飼育期間中の環境条件は25℃，16L-8D とし，生物検定開始から 5 日目に，カイコの中腸皮膜を光学顕微鏡で検鏡（15×40倍）し，多角体形成の有無を調べ，BmCPV の感染頭数を調査した。

結　果

純粋二酸化塩素による BmCPV の不活化状況を表 1 に示した。BmCPV は，二酸化塩素の濃度と処理時間に応じて不活化した。すなわち，二酸化塩素濃度が200 ppm の時点では，ウイルスは30分間の薬液処理で顕著に不活化した。塩素濃度が500 ppm では，15分間以上の薬液処理で充分な不活化が認められた。塩素濃度が1,000 ppm になると，10分間の薬液処理でウイルスは完全に不活化した。いずれの濃度でも BmCPV の多角体は溶解せずにチューブの底に沈澱する様子が確認された。また，各塩素濃度の薬液は，いずれも強酸性（pH 2.21～2.87）を示しており，塩素濃度が上がると，酸性値も上がる傾向にあった。

亜塩素酸ナトリウムにクエン酸を加えて生成した，活性化二酸化塩素による BmCPV の不活化状況を表 2 に示した。活性化二酸化塩素の原液を120倍に希釈した水溶液では，ウイルスを30分間処理しても不活化しなかった。原液の60倍希釈では，30分間の処理で不活化の兆候が認められた。原液の40倍希釈で30分間処理すると，供試したカイコの約半数がウイルスに非感染であった。活性化二酸化塩素で処理した BmCPV の多角体も，純粋二酸化塩素の場合と同様に多角体は溶解せず，チューブの底に沈澱する様子が確認された。また，活性化二酸化塩素の水溶液も強酸性（pH 2.56～2.77）を示した。

考　察

純粋二酸化塩素と活性化二酸化塩素は，いずれも多角体に包埋されている BmCPV を不活化したが，両者の消毒効果を比べると，純粋二酸化塩素の方が，BmCPV を不活化する作用が強いと考えられる。すでに前報で，二酸化塩素による BmNPV の不活化を報告しているが[9]，その試験でも純粋二酸化塩素の方が BmNPV をよく不活化した。亜塩素酸ナトリウムの原液に含まれる塩素濃度は60,000 ppm であり，クエン酸で活性化して得られた二酸化塩素の40倍希釈液には約1,500 ppm に相当する塩素が含まれているはずである。それにもかかわらず，BmCPV や BmNPV の不活化が純粋な二酸化塩素の場合に比べて劣るのはなぜであろうか。まず一つの可能性として溶液の酸の強さが多角体の不活化に影響している可能性が考えられる。純粋二酸化塩素の酸性値は活性化二酸化塩素の値よりも高いため，酸性が強いほど多角体の不活化が促進されるのではないかと考えられる。この点については未調査のため今後明らかにする必要がある。活性化二酸化塩素の不活化力が劣るもう一つの可能性として，活性化に伴う塩素ガスの発生と副生成物の生成が考えられる。亜塩素酸ナトリウムにクエン酸を加えると急激な反応が起こり，塩素臭を伴うガスが

表1．BmCPV の不活化に及ぼす二酸化塩素濃度と浸漬時間の関係

ClO_2 (ppm)[a]	n[b]	多角体浸漬時間[c]および感染頭数				pH
		5分	10分	15分	30分	
1,000	10	4	0	0	0	2.21
	10	8	0	0	0	
500	10	7	6	0	1	2.48
	10	10	2	1	0	
200	10	10	9	7	0	2.87
	10	10	10	7	3	
stDW[d]	10	10	10	10	10	6.04
	10	10	10	10	10	

[a] 二酸化塩素（パスタクリーンEWX）の原液濃度: 2,000 ppm.
[b] 供試頭数. 蚕品種: "ひたち×にしき".
[c] 浸漬時の多角体濃度: 1.76×10^6 OBs/ml.
[d] 滅菌脱イオン水.

表2．BmCPV の不活化に及ぼす活性化二酸化塩素の希釈率と浸漬時間の関係

活性化原液[a] 希釈率	n[b]	多角体浸漬時間[c]および感染頭数				pH
		5分	10分	15分	30分	
40倍	10	10	10	8	4	2.56
	10	10	10	7	4	
60倍	10	10	10	10	2	2.63
	10	10	10	10	8	
120倍	10	10	10	10	10	2.77
	10	10	10	10	10	
stDW[d]	10	10	10	10	10	6.47
	10	10	10	10	10	

[a] 亜塩素酸ナトリウム原液（濃度 60,000 ppm）へクエン酸ナトリウムを30% (w/v) 加え, 10分間反応させた.
[b] 供試頭数. 蚕品種: "ひたち×にしき".
[c] 浸漬時の多角体濃度: 1.76×10^6 OBs/ml.
[d] 滅菌脱イオン水.

大量に発生する。そのため，活性化二酸化塩素水溶液に含まれる二酸化塩素の量が予想よりもはるかに低下している可能性がある。この点については室内試験を行い詳細に調べる必要がある。また，反応中に生じる副生成物としては，ブロモジクロロメタン，ジブロモクロロメタンおよびブロモホルムなども生成されることが日本食品分析センターの解析により判明したので[10]，亜塩素酸ナトリウムにクエン酸を反応させて得られる活性化二酸化塩素の水溶液中には，二酸化塩素の他に副生成物が溶存していることになる。この点も純粋二酸化塩素に比べて BmCPV の不活化が劣る原因の一つと成りえる可能性がある。

二酸化塩素は，水の消毒剤に利用されるなど，塩素系の消毒剤に比べて安全性が高いとされ，様々な病

原体を殺菌すると報告されている[5,6]。高山ら（1995）の報告によると，二酸化塩素は，大腸菌，黄色ブドウ球菌，枯れ草菌，黒麹カビ，メチシリン耐性黄色ブドウ球菌 MRSA，緑膿菌，サルモネラ菌，腸炎ビブリオ，セレウス，クロストリジウム，青カビ，クラドスポリウム，フザリウムなどを殺菌する。また，カイコの微粒子病原虫である *Nosema bombycis* も殺菌すると報告されている[7]。このように二酸化塩素は，原虫や細菌類，カビにも効果があると報告されており，カイコに病原性のあるコウジカビや硬化病菌などにも殺菌効果を示す可能性がある。

今後，カイコに病原性を示すコウジカビについて，殺菌に必要な二酸化塩素濃度と浸漬時間の関係を調べ，二酸化塩素がホルマリンの代替剤と成りえるか総合的に検証したい。

摘　要

二酸化塩素は，各種病原体を殺菌する塩素系の無機化合物である。この薬剤が養蚕分野の消毒剤に使えるか検証するために，カイコ細胞質多角体病ウイルス（1.76×10^7 OBs/ml）の不活化条件を調べた。その結果，純粋な二酸化塩素によるウイルスの不活化は，濃度 200 ppm（pH 2.87）で30分，500 ppm（pH 2.48）で15分，1,000 ppm（pH 2.21）で10分間の処理により達成された。一方，亜塩素酸ナトリウムの活性化で得られた二酸化塩素によるウイルスの不活化は，純粋な二酸化塩素に比べて劣り，原液の40倍希釈液（推定塩素濃度 1,500 ppm）で30分間処理しても約半数のカイコにウイルス感染が認められた。また，いずれの二酸化塩素で多角体を処理しても多角体は溶解せずに固化するため，ウイルスの不活化は，BmNPV の場合と同様に，酸性条件下における多角体の難溶化に起因している可能性がある。多角体に包埋されている BmCPV の不活化が二酸化塩素によるものか，酸の強さによるものか，その両方の作用によるものか，今後，明らかにする必要がある。

引用文献

1) 川瀬茂実 (1990) カイコの細胞質多角体病ウイルス．日蚕雑, **59**, 1-13.
2) 野澤瑞佳・代田丈志 (2005) 常習遠作農家における 2 種多角体病ウイルスの分布特性と消石灰水の利用によるウイルス病抑制効果．蚕糸会研報, **53**, 11-22.
3) IARC (2006) IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Volume 88. Formaldehyde, 2-Butoxyethanol and 1-*tert*-Butoxypropan-2-ol. 1-326.
4) 中央労働災害防止協会 (2009) 特定化学物質・四アルキル鉛等作業主任者テキスト．1-382.
5) 金子光美 (1996) 水質衛生学, 253-394, 技報堂出版, 東京.
6) 高山正彦・杉本浩子・水谷祐子・丹野憲二 (1995) 二酸化塩素の殺菌性．J. Antibact. Antifung. Agents, **23**, 401-406.
7) Wang, Z., Liao, F., Lin, J., Li, W., Zhong, Y., Tan, P. and Huang, Z. (2010) Inactivation and mechanisms of chlorine dioxide on *Nosema bombycis*. J. Invertebr. Pathol., **104**, 134-139.
8) Balavenkatasubbaiah, M., Ananthalakshmi, K. V. V., Selvakumar, T., Nataraju, B. and Datta, R. K. (1999) Chlorine dioxide, a new disinfectant in sericulture. Indian J. Seric., **38**, 125-130.
9) 野澤瑞佳・代田丈志 (2010) 二酸化塩素によるカイコ核多角体病ウイルスの不活化．蚕糸会研報, **58**, 9-12.
10) 河上　清・井上　元・宮本和久・中村匡利・和田早苗・石坂健一・関　耕一・小林初美・伊藤　寛・代田丈志・野澤瑞佳 (2008) 蚕室蚕具のための新たな洗浄除菌法の開発．(財) 大日本蚕糸会 貞明皇后蚕糸記念科学技術研究助成研究成果報告書.
11) 古田要二 (1963) 細胞質多角体病蚕の排泄した糞によるウイルス感染．蚕糸研究, **48**, 30-34.
12) 渡部　仁 (1968) 細胞質多角体を食下した蚕における糞の起病性．日蚕雑, **37**, 385-389.

二酸化塩素によるコウジカビの殺菌性

野澤瑞佳[1]・和田早苗[2]・代田丈志[1]

[1]蚕業技術研究所・[2]農業生物資源研究所

MITSUYOSHI NOZAWA, SANAE WADA and TAKESHI SHIROTA: Fungicidal activity of chlorine dioxide on silkworm pathogenic fungus, *Aspergillus flavus* S-85 conidia.

緒　言

コウジカビの一種，*Aspergillus flavus* は，稚蚕飼育の段階で発生すると深刻な被害をもたらすため，常に防疫対象とされる糸状菌である。*A. flavus* には，これまで使用されてきたホルムアルデヒドに対して強い抵抗性を示す株が稚蚕共同飼育所から分離されており[1]，ホルムアルデヒドに依存した蚕病防除の継続は，*A. flavus* に薬剤抵抗性の発達を促がす恐れがある。また，ホルムアルデヒドは世界保健機関（WHO）の国際がん研究機構（IARC）により，発がんリスクのレベルがグループ1に認定されており[2]，日本国内でもホルムアルデヒドの規制が強化されている。労働安全衛生法によれば，ホルムアルデヒドは特定化学物質第2類の特定管理物質に指定されており，管理濃度は0.1 ppm と規定されている。また，日本産業衛生学会の許容濃度は0.1 ppm，米国産業衛生専門家会議が定めた許容濃度（TLV-CGIH）は0.3 ppm（TLV-C）であり，ホルムアルデヒドを扱う作業環境の暴露限界濃度は，国内外を問わず大変低い値となっている[3]。そのため養蚕分野でも，ホルムアルデヒドに代わる剤への切り替えを早急に進める必要がある。

二酸化塩素（ClO_2）は，水中の有機物と反応して有害な有機塩素化合物を生成する可能性が少ないため，新たな塩素系化合物として注目されている薬剤である[4]。また二酸化塩素は消毒対象とする病原体の範囲が広く，ウイルス，細菌，原虫および糸状菌などに効果のある薬剤として知られている[4, 5]，すでに前報で，カイコの核多角体病ウイルス（BmNPV）と細胞質多角体病ウイルス（BmCPV）への不活化効果を認めているが[6, 7]，糸状菌類に対する殺菌効果は未調査であった。

本研究では，二酸化塩素による *A. flavus* の殺菌性を，濃度と処理時間の関係から調べたところ，*A. flavus* 分生子は，低濃度で殺菌されることを確認したので報告する。

本文に入るに先立ち，本稿の校閲を賜った蚕業技術研究所の井上　元博士に感謝の意を表する。なお本研究は，貞明皇后蚕糸記念科学技術研究助成事業により得られた研究成果[8]の一部をとりまとめたものである。

材料と方法

コウジカビ

ホルマリン耐性株である *Aspergillus flavus* S-85を使用した。ツアペック・ドックス寒天培地で培養して得られた分生子を1 ml あたり1.31×10^7 個に調製して使用した。

二酸化塩素および亜塩素酸ナトリウム

二酸化塩素は，パスタクリーン EWX（濃度 2,000 ppm，パスタライズ）を使用した（以後，これを純粋二酸化塩素という）。この原液を滅菌脱イオン水で希釈して，塩素濃度が200 ppm，500 ppm および1,000 ppm となるように調製して使用した。

亜塩素酸ナトリウム（濃度 60,000 ppm，品名：安定化二酸化塩素，パスタライズ）を活性化して二酸化塩素を発生させるため，原液にクエン酸ナトリウムを30%（w/v）加えて10分間反応させた。この方法で得られた二酸化塩素（以後，活性化二酸化塩素という）は濃度が不安定なため，活性化二酸化塩素の原

液を40倍，60倍および120倍に希釈して試験に使用した。なお，この方法による亜塩素酸ナトリウムの活性化では，生成された活性化二酸化塩素の水溶液が強酸性（pH 2 ～ 3）を示すようになる[6,7]。

殺菌効果の検定

A. flavus 分生子の懸濁液（1.31×10^7 個/ml）を滅菌処理したペーパーディスク（径 8 mm，抗生物質検定用，東洋濾紙）に 5 μl 滴下して自然乾燥後，分生子を吸着させたディスク 6 枚を滅菌チューブ（15 ml）に入れ，供試薬液2.7 ml を加えて所定の時間（5 分，10分，15分および30分）処理した。その後，3 %アスコルビン酸（終濃度0.3%）0.3 ml を加えて二酸化塩素を中和した。チューブから供試薬液を除去したのち，滅菌脱イオン水でペーパーディスクを 3 回洗浄後，ディスク 6 枚をツアペック・ドックス平板培地に置き，30℃で培養した。72時間後に菌糸の生育状況を調査した。

結　果

純粋二酸化塩素（パスタクリーン EWX）による *A. flavus* の殺菌効果を表 1 に示した。供試した二酸化塩素の濃度範囲（200～1,000 ppm）では，5 分間の薬液処理で *A. flavus* の分生子は殺菌された。

亜塩素酸ナトリウムにクエン酸ナトリウムを反応させて得られた活性化二酸化塩素の殺菌効果を調べた結果，原液の120倍希釈液の 5 分間処理でペーパーディスク 1 枚に菌糸の生育が認められた他は，二酸化塩素の場合と同様に，5 分間の処理で分生子の殺菌効果が得られていた（表 2）。

試験の結果から，*A. flavus* の分生子はさらに低濃度の二酸化塩素で殺菌されると考えられたので，殺菌限界濃度を調べたところ，111 ppm では分生子をほぼ殺菌し，22 ppm では殺菌しないことが判明した（表 3）。

表 1．*Aspergillus flavus* S-85の殺菌性に及ぼす二酸化塩素濃度と浸漬時間の関係

ClO_2 (ppm)[a]	n[b]	分生子浸漬時間および菌生育数[c]				pH
		5分	10分	15分	30分	
1,000	6	0	0	0	0	2.22
	6	0	0	0	0	
500	6	0	0	0	0	2.45
	6	0	0	0	0	
200	6	0	0	0	0	2.88
	6	0	0	0	0	
stDW[d]	6	6	6	6	6	6.68
	6	6	6	6	6	

[a] 純粋二酸化塩素（パスタクリーンEWX）の原液濃度: 2,000 ppm.

[b] 分生子（1.31×10^7個/ml）を吸着させたペーパーディスク（径8 mm）の供試枚数.

[c] ツアペック・ドックス平板培地（径9cm）を利用して，30℃で72時間培養した.

[d] 滅菌脱イオン水.

表2．*Aspergillus flavus* S-85の殺菌性に及ぼす活性化二酸化塩素の希釈率と浸漬時間の関係

活性化原液[a] 希釈率	n[b]	分生子浸漬時間および菌生育数[c] 5分	10分	15分	30分	pH
40倍	6	0	0	0	0	2.60
	6	0	0	0	0	
60倍	6	0	0	0	0	2.65
	6	0	0	0	0	
120倍	6	1	0	0	0	2.78
	6	0	0	0	0	
stDW[d]	6	6	6	6	6	6.59
	6	6	6	6	6	

[a] 亜塩素酸ナトリウム原液（濃度 60,000 ppm）へクエン酸ナトリウムを30%（w/v）加え，10分間反応させた．

[b] 分生子（1.31×10^7個/ml）を吸着させたペーパーディスク（径8 mm）の供試枚数．

[c] ツアペック・ドックス平板培地（径9cm）を利用して，30℃で72時間培養した．

[d] 滅菌脱イオン水．

表3．*Aspergillus flavus* S-85の殺菌性に及ぼす二酸化塩素濃度と浸漬時間の関係

ClO_2 (ppm)[a]	n[b]	分生子浸漬時間および菌生育数[c] 5分	15分	30分	60分	pH
221	6	0	0	0	0	2.20
	6	0	0	0	0	
111	6	0	0	0	0	2.60
	6	2	1	0	0	
22	6	6	6	6	6	3.60
	6	6	6	6	6	
stDW[d]	6	6	6	6	6	7.00
	6	6	6	6	6	

[a] 純粋二酸化塩素（パスタクリーンEWX）の原液濃度：2,000 ppm．

[b] 分生子を吸着させたペーパーディスク（径8 mm）の供試枚数．

[c] SMY寒天平板培地を使用し，25℃，RH 60で14日間培養した．

[d] 滅菌脱イオン水．

考　察

試験の結果から，*A. flavus* の分生子は二酸化塩素に感受性を示すことが判明した（表1）。その結果にもとづいて，二酸化塩素による *A. flavus* の殺菌限界濃度を調べたところ，約100 ppm の塩素濃度でも殺菌効果が認められ，約20 ppm では60分間の薬液処理でも分生子は殺菌されていなかった（表3）。なお前報でもすでに考察しているが[6,7]，二酸化塩素の水溶液は pH 2 ～ 3 前後の強酸性を示すため，*A. flavus* の分生子が純粋に二酸化塩素で殺菌されるのか，酸の強さで殺菌されるのか，不明な点がある。そのため，

今後の課題として *A. flavus* 分生子の殺菌性に及ぼす酸の影響を調べておく必要がある。

亜塩素酸ナトリウムにクエン酸ナトリウムを加えて活性化した二酸化塩素の水溶液は，原液の120倍希釈液でも *A. flavus* を5分で殺菌した（表2）。活性化二酸化塩素の120倍希釈液では，多角体に包埋されたBmNPV と BmCPV を不活化しにくいが[6, 7]，消毒対象とする病原体がコウジカビならば，使えるものと考える。ただし，日本食品分析センターの解析によると，亜塩素酸ナトリウムをクエン酸ナトリウムで活性化する反応で二酸化塩素が生成されるだけでなく，ブロモジクロロメタン，ジブロモクロロメタンおよびブロモホルムなどの副生成物も生成されるため[8]，活性化二酸化塩素を用いる方法の可否については，慎重に検討する必要があるだろう。なお，亜塩素酸ナトリウムをクエン酸ナトリウムで反応させ，得られた活性化二酸化塩素を消毒剤として利用する方法はインドで報告されており[9]，すでに養蚕用の消毒剤として使われているが，その報告によれば，活性化二酸化塩素の水溶液に消石灰の粉末を加えており，消毒効果の真否にやや不明な点も残されている。

二酸化塩素は，水中の有機物と反応して有害な有機塩素化合物（例えばトリハロメタンなど）を生成する可能性が少ないため，注目を集めている塩素系の無機化合物である[4]。二酸化塩素で消毒できる病原微生物には，ウイルス，細菌，糸状菌および原虫類があり[4, 5]，高山ら（1995）の研究によると，大腸菌，黄色ブドウ球菌，枯れ草菌，黒麹カビ，メチシリン耐性黄色ブドウ球菌 MRSA，緑膿菌，サルモネラ菌，腸炎ビブリオ，セレウス，クロストリジウム，青カビ，クラドスポリウム，フザリウムなどを殺菌すると報告されている[5]。また，カイコの病原体に対しては，前報で報告しているとおり，多角体に包埋されている BmNPV と BmCPV を不活化し[6, 7]，微粒子病原虫も殺菌すると報告されている[10]。今後の試験では，二酸化塩素による硬化病菌の殺菌性や，実用散布における二酸化塩素ガスの発生状況などを調べ，二酸化塩素がホルマリンの代替剤と成りえるか，総合的に検証する必要がある。

摘　要

二酸化塩素は，塩素系の無機化合物であり，消毒可能な対象病原の範囲が広い薬剤である。本研究では，純粋二酸化塩素と，亜塩素酸ナトリウムにクエン酸を反応して得られた活性化二酸化塩素の2種薬剤を利用して，コウジカビ *Aspergillus flavus* S-85の分生子（1.31×10^7個/ml）に対する殺菌効果を調べた。その結果，いずれの薬剤も供試薬液濃度の範囲（二酸化塩素: 200～1,000 ppm，活性化二酸化塩素: 希釈率40～120倍）では，5分間の浸漬処理で *A. flavus* 分生子を殺菌した。さらに二酸化塩素濃度を下げて試験した結果，*A. flavus* 分生子は，約100 ppm（pH 2.6）で殺菌され，約20 ppm（pH 3.6）では，60分間の浸漬処理でも殺菌されなかった。この結果は，*A. flavus* 分生子の殺菌限界濃度が20～100 ppm の範囲にあることを示唆しているが，二酸化塩素水溶液が強酸性を示す液体のため，分生子の殺菌作用が純粋に二酸化塩素によるものか，酸の強さによるものか，その両方の作用によるものか，今後詳細に検討する必要がある。

引用文献

1) 河上　清・三国辰男 (1969) 蚕の麹かび病菌に関する研究.（I）稚蚕共同飼育所に分布する麹かび病菌の病原性とホルマリン抵抗力. 蚕試報, **23**, 327-370.

2) IARC (2006) IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Volume 88. Formaldehyde, 2-Butoxyethanol and 1-*tert*-Butoxypropan-2-ol. 1-326.

3) 中央労働災害防止協会 (2009) 特定化学物質・四アルキル鉛等作業主任者テキスト. 1-382.

4) 金子光美 (1996) 水質衛生学, 253-394, 技報堂出版, 東京.

5) 高山正彦・杉本浩子・水谷祐子・丹野憲二 (1995) 二酸化塩素の殺菌性. J. Antibact. Antifung. Agents, **23**, 401-406.

6) 野澤瑞佳・代田丈志 (2010) 二酸化塩素によるカイコ核多角体病ウイルスの不活化. 蚕糸会研報, **58**, 9-12.

7) 野澤瑞佳・代田丈志 (2010) 二酸化塩素によるカイコ細胞質多角体病ウイルスの不活化. 蚕糸会研報, **58**, 13-16.

8) 河上　清・井上　元・宮本和久・中村匡利・和田早苗・石坂健一・関　耕一・小林初美・伊藤　寛・代田丈志・

野澤瑞佳 (2008) 蚕室蚕具のための新たな洗浄除菌法の開発. (財) 大日本蚕糸会 貞明皇后蚕糸記念科学技術研究助成事業研究成果報告書.

9) Balavenkatasubbaiah, M., Ananthalakshmi, K. V. V., Selvakumar, T., Nataraju, B. and Datta, R. K. (1999) Chlorine dioxide, a new disinfectant in sericulture. Indian J. Seric., **38**, 125-130.

10) Wang, Z., Liao, F., Lin, J., Li, W., Zhong, Y., Tan, P. and Huang, Z. (2010) Inactivation and mechanisms of chlorine dioxide on *Nosema bombycis*. J. Invertebr. Pathol., **104**, 134-139.

活性化二酸化塩素の揮発特性

野澤瑞佳・代田丈志
蚕業技術研究所

MITSUYOSHI NOZAWA and TAKESHI SHIROTA: Volatility of chlorine dioxide from activated sodium chlorine.

緒　言

亜塩素酸ナトリウム（$NaClO_2$）は，商業上，安定化二酸化塩素とよばれ，その希釈液は，除菌剤や消臭剤として最近よく利用されている。また，亜塩素酸ナトリウムは，クエン酸と反応して二酸化塩素（ClO_2）を生成することができるため，インドではこの原理を利用して養蚕用の消毒剤が開発され，“Sanitech”という商品名で販売されている[1]。しかし，クエン酸で亜塩素酸ナトリウムを活性化する方法（以後，単に活性化法という）は，急激な反応によって白煙が見えるほどガスが揮発しており，生成された二酸化塩素の水溶液（以後，活性化二酸化塩素水という）に含まれる二酸化塩素の量は，期待されるよりも少ない可能性がある。この理由から，活性化二酸化塩素水に含まれる二酸化塩素濃度が，活性化する前の亜塩素酸ナトリウム濃度を反映しているか不明な点がある。

本研究では，活性化二酸化塩素水に含まれる二酸化塩素の揮発性をいくつかの条件下で調べ，養蚕分野での利用の可否を検討したので報告する。

本文に入るに先立ち，本稿の校閲を賜った蚕業技術研究所の井上　元博士に感謝の意を表する。なお本研究は，貞明皇后蚕糸記念科学技術研究助成事業により得られた研究成果[2]の一部をとりまとめたものである。

材料と方法

亜塩素酸ナトリウム

パスタライズ社製の安定化二酸化塩素（濃度 60,000 ppm）を使用した。

二酸化塩素濃度の測定

溶液中に含まれる二酸化塩素濃度の測定には，デジタル式残留塩素濃度計（PCcompact，CL-MT，Aqualytic）を使用した。空気中の二酸化塩素ガス濃度の測定には，ガス検知管（GV-100，ガステック）および気体検知管（二酸化塩素用，No.23M，ガステック）を使用した。なお，蚕室散布試験では，塩素ガス用の気体検知管（塩素用，No. 8 La および 8 LL，ガステック）も使用した。

二酸化塩素の揮発性調査

25℃に調製した亜塩素酸ナトリウム原液に，クエン酸ナトリウムを30%（w/v）加え，所定の時間（10分および20分）反応させたのち，その原液 1 ml を25℃の脱イオン蒸留水で40倍に希釈した。得られた活性化二酸化塩素水6.5 ml をガラスシャーレ（径 9 cm，底面積 63.6 cm^2）に滴下して，液をシャーレ全面に広げた。所定の時間（5 分および10分）室温に置いたのち，シャーレから0.5 ml の液を採取して，脱イオン蒸留水で100倍に希釈したのちに，二酸化塩素濃度を測定した。この方法による調査を 3 回繰り返して行った。

二酸化塩素の生成に及ぼす温度の影響

亜塩素酸ナトリウム原液を密閉可能なガラスの瓶に入れ，25℃に加温したのちに，クエン酸ナトリウムを30%（w/v）加えて所定の時間（10分，20分，30分および40分）反応させ，その原液0.01 ml を脱イオン蒸留水で40倍に希釈して，二酸化塩素濃度を測定した。同様の方法で，亜塩素酸ナトリウムを25℃で活性化後，14℃の脱イオン蒸留水で希釈する試験区と，亜塩素酸ナトリウムを12℃で活性化後，12℃の脱イオン蒸留水で希釈する試験区を用意して，二酸化塩素濃度の経時的な変化を調べた。この方法による試験を3回繰り返し，二酸化塩素濃度の平均値を求めた。

散布試験による二酸化塩素濃度の経時的変化の測定

亜塩素酸ナトリウム原液にクエン酸ナトリウムを30%（w/v）加え10分間反応後，水道水で40倍に希釈して，200 L の活性化二酸化塩素水を調製した。自走式キャリー動噴（VSC 3511-130，給水量22 L／分，共立）を使用して，蚕業技術研究所第2蚕室の一室（4.4 m×6.3 m×3.2 m，空間容積 88.7 m^3，総面積 123.92 m^2）に全面散布した。薬液散布量は，ホルマリン水溶液の場合と同様に，1 m^2あたり1L とした[3]。薬液散布を行う作業者には，耐酸性の防護服および塩素ガス用のガス吸収管を装着した防毒マスクを着用させた。散布終了直後に，二酸化塩素ガス濃度を測定し，以後，換気扇を一つ回した状態で二酸化塩素ガス濃度を経時的（10分後，20分後，24時間後および48時間後）に測定した。なお二酸化塩素ガスの測定は，床上0.1 m，1 m および2 m の3か所とした。第2回散布試験では塩素ガスの発生調査も行った。一連の散布試験は2006年の晩秋蚕期に実施した。

結　果

活性化二酸化塩素水に含まれる二酸化塩素濃度の経時的な変化を表1に示した。活性化二酸化塩素水に含まれる二酸化塩素の初期濃度は，今回用いた活性化時間の範囲では差異が無く，310～391 ppm の範囲であった。さらに5分経過後の二酸化塩素濃度は，試験直後の濃度に比べると，1／4～1／9まで急激に低下した。10分経過後の二酸化塩素濃度は，試験直後の1／9～1／14まで低下した。試験の結果から，活性化二酸化塩素水に含まれる二酸化塩素は，揮発しやすいことが判明した。

二酸化塩素の生成に及ぼす温度の影響を表2に示した。亜塩素酸ナトリウムと希釈に用いる水の温度がいずれも25℃の場合には，活性化から20分で活性化二酸化塩素水に含まれる二酸化塩素濃度は最大値を示し，以後，活性化に要した時間の長さによって，二酸化塩素濃度は低下する傾向にあった。亜塩素酸ナトリウムの温度を25℃，希釈に用いる水の温度を14℃に設定し，25℃で活性化した場合には，活性化に要した時間の長さに比例して活性化二酸化塩素水に含まれる二酸化塩素濃度が増える傾向にあった。さらに，亜塩素酸ナトリウムの温度を12℃，希釈に用いる水の温度を12℃に設定し，12℃で活性化した場合にも，活性化した時間の長さに比例して活性化二酸化塩素水に含まれる二酸化塩素濃度が増える傾向にあった。

散布試験による二酸化塩素濃度の経時的変化を表3および表4に示した。表3の結果は第1回目の試験の結果を，表4は第2回目の試験の結果をそれぞれ表わしている。第1回目の試験では，散布直後の二酸化塩素濃度は，床上0.1 m で7 ppm，床上1～2 m の範囲で10 ppm を示しており，許容濃度（ACGIH（2005）：ClO_2，TLV-TWA 0.1 ppm，TLV-STEL 0.3 ppm）を大きく超える値を示した。散布から20分後には，二酸化塩素濃度が TLV-TWA の許容濃度まで低下した。第2回目の試験では，二酸化塩素濃度の低下が緩やかで，散布から20分後に TLV-STEL の許容濃度まで低下した。24時間後には二酸化塩素は検出されず，48時間後に蚕室を加温した際に，床上0.1～1 m の範囲にかけて微量の二酸化塩素ガスが検出された。第2回目の試験において，塩素ガス濃度の経時的変化も調べたところ（表5），散布直後では，床上0.1～2 m の測定範囲において，管理濃度（0.5 ppm）と許容濃度（日本産業衛生学会（2005）：最大許容濃度 0.5 ppm；ACGIH（2005）：TLV-TWA 0.5 ppm，TLV-STEL 1 ppm）を超える塩素ガスが検出された。塩素ガス濃度は20分後に許容濃度以下に低下した。24時間後には塩素ガスは検出されず，48時間後に蚕室を加温した際に，床上0.1～2 m の範囲で極微量の塩素ガスが検出された。

考　察

試験の結果から，活性化二酸化塩素水に含まれる二酸化塩素は，水で希釈した直後から5分の間に，急激に揮発してしまい，10分後には，調製直後の1/9～1/14程度まで濃度が低下した（表1）。試験に使用した亜塩素酸ナトリウムの原液に含まれる塩素濃度は，約60,000 ppmであり，クエン酸ナトリウムの添加で生成し，水で40倍に希釈して得られた活性化二酸化塩素水には，推定で1,500 ppmの二酸化塩素が含まれると考えていた。ところが，生成された二酸化塩素は，当初の予想に反し，300～400 ppmの濃度であった。この値は，推定塩素濃度の1/4～1/5程度であり，活性化の条件や手法を変更することにより，生成される二酸化塩素濃度を上げることが可能であるか検討する余地はある。しかし，活性化法で生成された二酸化塩素は，急激に揮発するという性質を示すため，亜塩素酸ナトリウムを活性化して二酸化塩素を調製する方法そのものを見直すか，あるいは二酸化塩素ガスの揮発を抑制する方法を考案する必要もあるだろう。二酸化塩素の揮発を抑制する方法の参考となる研究結果を表2に示したが，活性化二酸化塩素水の希釈に用いる水の温度をなるべく下げることによって，活性化二酸化塩素水に含まれる二酸化塩素の揮発を抑制できる可能性があり，活性化法で二酸化塩素を生成し，冷水で希釈するという方法が使える可能性もある。

亜塩素酸ナトリウムにクエン酸を加えて生成した活性化二酸化塩素水を，蚕室の一室に散布したところ，散布直後は，許容濃度を大きく超える二酸化塩素ガスが蚕室内に充満し，防毒マスクを着用せずに入室することはできない状況であった（表3および表4）。この状況は，散布から10分後まで持続していたが（表4），散布から20分経過すると，室内の二酸化塩素ガス濃度はTLV-STELの許容濃度以下となり，塩素ガス濃度も許容濃度まで低下した（表5）。今回，散布試験を行った部屋の構造では，散布から約20分後に，二酸化塩素と塩素に対する安全性は確保されると考えられる。なお，今回の試験では，二酸化塩素と塩素のガスのみ調べているが，活性化法による二酸化塩素の生成過程では，ブロモジクロロメタン，ジブロモクロロメタンおよびブロモホルムなどの副生成物が微量に生成されることが後日の解析より判明しているため[2]，活性化法による二酸化塩素の生成では，類推できない副生成物も生成される可能性があることを念頭に置く必要がある。

二酸化塩素は，水中の有機物と反応して有害な有機塩素化合物（例えばトリハロメタンなど）を生成する可能性が少ないため，近年，注目されている塩素系の無機化合物であり，消毒可能な対象病原の範囲も広いという特長がある[1,5]。さらにカイコ病原微生物に対する消毒効果も報告されている[1,6-9]。本研究では，クエン酸による活性化法により亜塩素酸ナトリウムから活性化二酸化塩素水を調製したが，この方法では，二酸化塩素が急激に揮発するという欠点がある。特に，蚕室への大量散布を行う際に活性化した原液を水で希釈する過程で時間を要し，200 Lの薬液を調製し終えた頃には，薬液中の二酸化塩素濃度が174 ppmまで低下した。さらに，散布終了直後に，床に溜まった薬液を採取して二酸化塩素濃度を調べたところ，20 ppmまで低下していた。このように，活性化法による二酸化塩素の生成法は，得られた二酸化塩素が揮発しやすい性質を示すため，薬液の大量調製を伴う養蚕分野には適していないと考えられる。

摘　要

亜塩素酸ナトリウムにクエン酸を反応させると，二酸化塩素を含む活性化二酸化塩素水を調製することができる。この活性化二酸化塩素水に含まれる二酸化塩素の揮発特性を調べたところ，活性化による二酸化塩素の生成直後から5分経過後に，二酸化塩素濃度は，生成直後の1/4～1/9濃度まで低下した。10分経過後は，生成直後の1/9～1/14濃度まで低下した。このように，活性化二酸化塩素水に含まれる二酸化塩素は揮発性が高く，生成直後から濃度は急減するが，希釈に用いる水の温度を下げることにより，二酸化塩素の揮発を抑制できる可能性も示唆された。活性化二酸化塩素水を蚕室の一室に散布（1 L/m^2）したところ，散布直後は，許容濃度を超える二酸化塩素（5～10 ppm前後）と塩素（0.7～1.5 ppm）のガスが発生し，20分後にTLV-STELの許容濃度以下まで低下した。また，活性化二酸化塩素水を200 L調製

表1．活性化二酸化塩素水に含まれる二酸化塩素濃度の経時的変化

活性化時間[a]（分）	n[b]	シャーレ滴下後[c]の経過時間と二酸化塩素濃度（ppm）		
		直後	5分後	10分後
10	I	391	63	28
	II	328	42	31
	III	332	89	33
20	I	388	70	44
	II	310	36	32
	III	390	60	43

[a] 亜塩素酸ナトリウム原液（濃度 60,000 ppm）にクエン酸ナトリウムを30%（w/v）加えて反応させた時間．その後，脱イオン蒸留水で40倍に希釈して試験に使用．

[b] 試験回数．

[c] 滴下量: 6.5 ml／シャーレ (63.6 cm^2)．

表2．活性化法による二酸化塩素の生成に及ぼす温度の影響

活性化時間[a]（分）	n[b]	活性化の温度条件と活性化後の二酸化塩素濃度（ppm）[c]		
		$NaClO_2$ 25℃ 希釈用水 25℃ （活性化温度25℃）	$NaClO_2$ 25℃ 希釈用水 14℃ （活性化温度25℃）	$NaClO_2$ 12℃ 希釈用水 12℃ （活性化温度12℃）
10	3	12,280±1,178	11,707±2,725	10,453±993
20	3	16,547±663	14,560±2,807	12,867±888
30	3	15,280±747	16,440±1,663	14,813±1,825
40	3	13,667±234	17,160±1,205	15,533±834

[a] 亜塩素酸ナトリウム原液（濃度 60,000 ppm）にクエン酸ナトリウムを30%（w/v）加えて反応させた時間．

[b] 試験回数．

[c] クエン酸により活性化した亜塩素酸ナトリウム原液（濃度, 60,000 ppm）に含まれる二酸化塩素濃度を示すため，測定値を4,000倍で表示した．

表3．散布後蚕室における二酸化塩素ガス濃度の経時的変化（第1回目試験）

床からの高さ（m）	散布後の経過時間と二酸化塩素ガス濃度（ppm）				
	直後	10分	20分	24時間	48時間
2	10 <	1.50	0.10	0.025	N.D[a]
1	10 <	0.55	0.05	0.025	N.D
0.1	7	0.25	0.05	0.150	N.D

[a] 検出せず．

表4．散布後蚕室における二酸化塩素ガス濃度の経時的変化（第2回目試験）

床からの高さ(m)	散布後の経過時間と二酸化塩素ガス濃度(ppm)				
	直後	10分	20分	24時間	48時間[b]
2	10 <	0.60	0.15	N.D[a]	N.D
1	5	0.40	0.15	N.D	0.05
0.1	6	0.40	0.20	N.D	0.10

[a] 検出せず.
[b] 蚕室加温後(21℃)の測定値.

表5．散布後蚕室における塩素ガス濃度の経時的変化

床からの高さ(m)	散布後の経過時間と塩素ガス濃度(ppm)				
	直後	10分	20分	24時間	48時間[b]
2	1.5	0.5	0.2	N.D[a]	0.05
1	0.8	0.4	0.2	N.D	0.05
0.1	0.7	0.3	0.2	N.D	0.10

[a] 検出せず.
[b] 蚕室加温後(21℃)の測定値

し二酸化塩素濃度を測定すると，174 ppm であり，蚕室内の残液濃度は20 ppm まで低下した。つまり，薬液調製中に二酸化塩素が揮発するだけでなく，散布終了後も二酸化塩素は揮発するため，活性化法により二酸化塩素を生成する方法は，養蚕分野に適していないと考えられる。

引用文献

1) Balavenkatasubbaiah, M., Ananthalakshmi, K. V. V., Selvakumar, T., Nataraju, B. and Datta, R. K. (1999) Chlorine dioxide, a new disinfectant in sericulture. Indian J. Seric., **38**, 125-130.
2) 河上　清・井上　元・宮本和久・中村匡利・和田早苗・石坂健一・関　耕一・小林初美・伊藤　寛・代田丈志・野澤瑞佳 (2008) 蚕室蚕具のための新たな洗浄除菌法の開発. (財) 大日本蚕糸会 貞明皇后蚕糸記念科学技術研究助成事研究成果報告書.
3) 野口洋子・平野泰志・根岸　進 (1998) 蚕病診断の手引き, 1 -62, 埼玉県蚕業試験場・埼玉県植物防疫協会, 埼玉.
4) 金子光美 (1996) 水質衛生学, 253-394, 技報堂出版, 東京.
5) 高山正彦・杉本浩子・水谷祐子・丹野憲二 (1995) 二酸化塩素の殺菌性. J. Antibact. Antifung. Agents, **23**, 401-406.
6) 野澤瑞佳・代田丈志 (2010) 二酸化塩素によるカイコ核多角体病ウイルスの不活化. 蚕糸会研報, **58**, 9-12.
7) 野澤瑞佳・代田丈志 (2010) 二酸化塩素によるカイコ細胞質多角体病ウイルスの不活化. 蚕糸会研報, **58**, 13-16.
8) 野澤瑞佳・和田早苗・代田丈志 (2010) 二酸化塩素によるコウジカビの殺菌性. 蚕糸会研報, **58**, 17-21.
9) Wang, Z., Liao, F., Lin, J., Li, W., Zhong, Y., Tan, P. and Huang, Z. (2010) Inactivation and mechanisms of chlorine dioxide on *Nosema bombycis*. J. Invertebr. Pathol., **104**, 134-139.

有色繭の特徴を活かした絹衣料素材の開発

岡島正章・天方美帆・鈴木果歩
蚕糸科学研究所

MASAAKI OKAJIMA, MIHO AMAGATA and KAHO SUZUKI: Development of materials of the silk clothes using color cocoons.

緒　言

有色繭の色素はセリシンに含まれている。そのため，セリシンの流亡に伴い色が薄くなることから，従来の煮繭・繰糸処理方法ではその繭色を保持した生糸を繰製することが困難であった。そこで，繰糸工程中において，できるだけセリシンの流亡を抑え，色素を残すための効果的な処理方法について検討した。まず，湯温度および浸漬時間が繭色に与える影響について調べた。また，真空式煮繭機を用い，その特徴である低温，短時間の煮繭処理による，セリシン流亡の抑制効果について検討し，色素の流亡をできるだけ抑えるような煮繭条件の検索を行うとともに，繰製した糸の色相についても検討を行った。

さらに，有色繭をミョウバン，ニッケル化合物等の固定剤で処理した生糸の色相調査を行うとともに，上記試験で得たセリシン流亡抑制の効果的な煮繭条件により繰製した糸で製織した織物について色の固定処理，精練試験を行い，繭色を残した素材の作出について検討した。

材料と方法

材料

有色繭の原料として，緑繭，緋紅，緋紅交雑種，黄繭種（TCY，TY40）の生繭と乾繭を供試した。煮繭試験では，検定用煮繭機を用いた通常煮繭（対照区）と，試験区として真空式煮繭機を用いた煮繭処理を行った。また，繭色固定剤として，ミョウバン，酢酸ニッケル，塩化ニッケルを使用した。

1．緑繭の通常煮繭による色相変化

緑繭の生繭および乾繭について，繭質評価方法に準じた温度設定で通常煮繭（16分）を行い，繭色を測色計で測定した。

2．緑繭の浸漬条件による色相変化

緑繭の生繭と乾繭を，湯温度を20℃，40℃，60℃，80℃，90℃，浸漬時間を5分，10分，15分，20分の条件の組み合わせで処理をし，繭色を測色計で測定した。

3．有色繭の煮繭試験と繰製糸の測色試験

緑繭，緋紅，黄繭種（TCY，TY40）の生繭と乾繭について，通常煮繭および真空煮繭（60℃，10分と80℃，10分の2通り）で繰糸試験を行うとともに，繰製した生糸について測色を行った。

4．繭色固定試験

1）生糸の測色試験

緑繭および緋紅交雑種を用いて繰製した生糸の100回繊度糸を試料とし，各固定剤の1％水溶液に，常温で1時間浸漬し，脱水，風乾後，測色を行い，固定剤の処理効果について検討した。

2）布地の処理時間の違いによる色相変化

セリシン流亡抑制に効果的と考えられる真空煮繭機による低温煮繭を行い繰製した27中生糸を使い平織布地を製織した。10cm×10cm の布地を用意し，各固定剤の１％水溶液に，常温で１，３，５，20時間それぞれ浸漬し，脱水，風乾後，各処理区の測色を行い，処理時間による色相の変化を調べた。

3）布地の固定剤水溶液濃度の違いによる色相変化

同様の布地を各固定剤0.5，1，2％の各水溶液に，常温で１時間浸漬し，脱水，風乾後，各処理区の測色を行い，水溶液濃度による色相の変化を調べた。

4）精練による色相変化

精練による色相の変化を調べるため，未処理の布地と各固定剤１％水溶液に１時間浸漬し，脱水，風乾した布地を，炭酸ナトリウム0.5％水溶液で90℃，20分間精練処理し風乾後，測色を行った。

結果と考察

1．緑繭の通常煮繭による色相変化の結果

緑繭の通常煮繭後の繭の L*値，a*値，b*値を表１に示す。生繭と乾繭による色相の変化はほとんどみられなかった。通常煮繭後は緑（a*＜０），黄（b*＞０）の値が半分以下となっており，緑味と黄味が大きく失われている。

2．緑繭の浸漬条件による色相変化の結果

浸漬処理を行った試験区の a*値，b*値を図１，２に示す。緑味を示す a*値は20℃～60℃の区では変化が小さく，処理前の繭の値とも差が小さかったが，セリシンの溶解が進む80℃，90℃の区では時間経過とともに減少し，緑が退色する傾向が見られた。黄味を示す b*値は処理前の繭の値に比べ，処理温度が低い区でも短時間で値が小さくなり，20℃，40℃の区はその後の時間経過による b*値の減少は少なかったが，80℃～90℃の区では大きく減少した。このことから，黄の色素は流亡しやすく，水に浸けただけで b*値が減少したことがわかる。20℃，40℃の低温であればその後の減少は見られず，80℃以上の温度では時間経過とともに b*値はさらに減少した。以上のことから，緑繭の繭色を残すためには80℃以上の温度をかけないことが望ましいことがわかった。

3．有色繭の煮繭試験と繰製糸の測色試験結果

各有色繭の生繭と乾繭について，L*値，a*値，b*値を測定した結果を表２に示す。緋紅の乾繭は赤味が小さかったが，緑繭，TCY，TY40は生繭と乾繭による色の変化はほとんどみられなかった。

各有色繭について通常煮繭および真空煮繭で繰糸試験を行った（表３）。解じょ率は通常煮繭と比較して，試験区の真空煮繭機で低下したが，糸歩では試験区の真空煮繭機で大きい値を示した。索緒効率は緋紅，TCY，TY40共に生繭での値が大きくなった。真空煮繭の低温，短時間の煮繭により糸歩が向上し，セリシンの残存量の多い糸を繰糸することができた。

各有色繭について繰製した生糸の測色を行った（表４）。黄繭種である TCY，TY40は煮繭，繰糸工程による退色が小さいことがわかった。これは，黄繭種がキサントフィル系の色素[1]で水に溶けにくいためだと考えられる。緑繭は，真空煮繭機60℃，真空煮繭機80℃，通常煮繭の順で退色が小さくなり，煮繭工程でのセリシンの流亡による退色が大きいものの，低温の煮繭処理によりわずかではあるが繭色を保持することが可能であることがわかった。

表1．緑繭の煮繭処理による色相変化

	L*	a*	b*
生繭	89.6	−16.6	56.6
乾繭	88.3	−15.8	57.5
生繭通常煮繭	86.0	−7.2	27.7
乾繭通常煮繭	86.1	−6.4	26.5

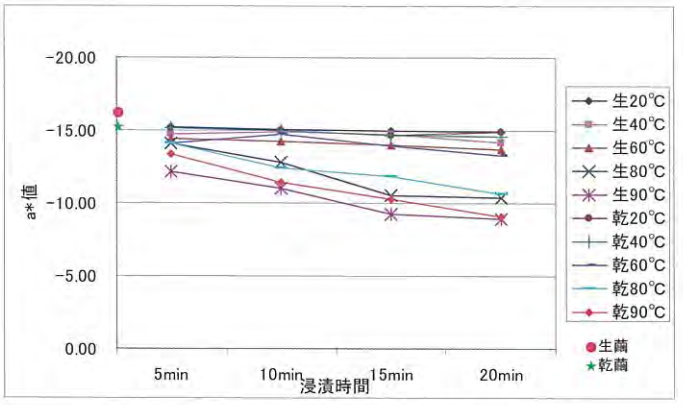

図1．緑繭の浸漬条件による色相変化（a*値）

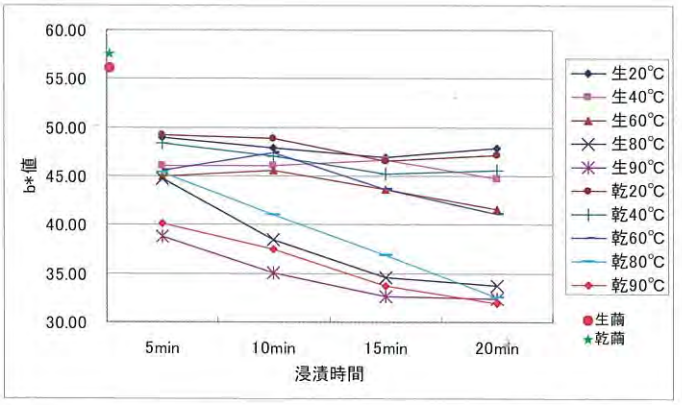

図2．緑繭の浸漬条件による色相変化（b*値）

表2．有色繭の色相

	L*	a*	b*
緑繭生繭	89.6	−16.6	56.6
緑繭乾繭	88.3	−15.8	57.5
緋紅生繭	79.5	15.1	23.2
緋紅乾繭	81.1	11.0	23.2
TCY 生繭	83.3	2.1	76.2
TCY 乾繭	84.4	2.1	78.4
TY40 生繭	81.6	4.6	76.6
TY40 乾繭	81.4	4.1	77.1

表3．有色繭の繰糸成績

		繭糸長 (m)	繭糸量 (cg)	繭糸繊度 (d)	解じょ率 (%)	対乾糸歩 (%)	索緒効率 (%)	緒糸量歩合 (%)
緑繭乾繭	通常煮繭	1,017	27.1	2.40	86.7	37.2	82	9
緑繭乾繭	真空 80℃	1,043	28.3	2.44	81.7	39.6	45	8
緑繭乾繭	真空 60℃	1,040	29.1	2.52	73.2	39.4	15	7
緋紅生繭	通常煮繭	404	7.0	1.56	38	—	30	43
緋紅乾繭	通常煮繭	389	6.5	1.50	44	18.5	8	52
TCY 生繭	通常煮繭	970	20.4	1.89	58.1	—	83	12
TCY 生繭	真空 80℃	1,001	20.1	1.80	43.3	—	43	13
TCY 乾繭	通常煮繭	1,041	20.5	1.77	46.8	32.9	16	12
TCY 乾繭	真空 80℃	994	19.3	1.75	42.3	35.7	5	20
TY40 生繭	通常煮繭	706	27.9	3.56	80.2	—	89	14
TY40 生繭	真空 80℃	874	28.9	2.98	60.3	—	61	9
TY40 乾繭	通常煮繭	801	29.5	3.31	71.5	35.6	84	11
TY40 乾繭	真空 80℃	820	29.5	3.24	62.5	38.5	34	12

表4．有色繭による生糸の色相

		L*	a*	b*
緑繭乾繭	通常煮繭	85.5	−2.1	14.9
緑繭乾繭	真空 80℃	89.6	−3.5	16.7
緑繭乾繭	真空 60℃	89.9	−4.2	16.8
緋紅生繭	通常煮繭	73.4	13.2	51.8
緋紅乾繭	通常煮繭	75.2	12.2	56.4
TCY 生繭	通常煮繭	80.0	0.9	66.2
TCY 生繭	真空 80℃	81.6	1.4	65.2
TCY 乾繭	通常煮繭	79.4	0.1	62.0
TCY 乾繭	真空 80℃	83.5	0.5	58.8
TY40 生繭	通常煮繭	80.2	1.8	65.7
TY40 生繭	真空 80℃	82.3	2.1	64.0
TY40 乾繭	通常煮繭	80.4	1.8	66.2
TY40 乾繭	真空 80℃	82.8	1.4	61.1

4．繭色固定試験結果

1）生糸の測色試験結果

生糸の測色を行い，未処理区との色差を測定した結果を表5，6に示す。緑繭繊度糸では，全ての処理区で緑（$a^*<0$），黄（$b^*>0$）の値が未処理区より大きな値を示し，黄緑色の濃度が上昇し，緑繭生糸をミョウバン，ニッケル化合物で処理することにより原料繭の有する色彩が強調されることが判明した。緋紅交雑種繊度糸では，黄（$b^*>0$）の値に大きな変化は見られなかったが，赤（$a^*>0$）の値が小さくなり赤味が減少した。

表５．緑繭繊度糸の色相

	L*	a*	b*	ΔE(ab)
未処理	87.32	−5.10	17.63	0.00
ミョウバン	89.19	−9.38	25.20	8.89
酢酸ニッケル	83.52	−10.65	26.50	11.13
塩化ニッケル	82.30	−10.39	27.31	12.12

表６．緋紅交雑種繊度糸の色相

	L*	a*	b*	ΔE(ab)
未処理	76.46	8.95	53.98	0.00
ミョウバン	75.44	5.47	53.72	3.64
酢酸ニッケル	73.50	3.96	49.82	7.14
塩化ニッケル	75.13	6.13	52.51	3.45

２）布地の処理時間の違いによる色相変化の結果

緑繭布地の処理時間による色相の変化を調べた（表７）。全ての処理区で時間経過と共に緑（a*< 0），黄（b*> 0）の値が減少し，色味が薄くなった。緑繭は水に溶けやすいフラボノール系の色素であるため，長時間の浸漬により色素が流亡したと考えられる。

３）布地の固定剤水溶液濃度の違いによる色相変化の結果

緑繭布地の固定剤水溶液濃度による色相の変化を調べた（表８）。0.5%水溶液で処理した区の色差が小さく，１%，２%水溶液の色相はほとんど同じ値を示したことから，１%水溶液での処理による色の固定効果で十分であると考えられる。

４）精練による色相変化の結果

精練による色相の変化を調べるため，精練を行った各処理区の色相と，精練前後の色差を調べた（表９）。ニッケル化合物の処理区では，黄（b*> 0）の値が大きく上昇し黄味が強くなり，緑繭の持つ色味とは異なった布地となった。ミョウバン処理区は未処理区と比較して精練前後での色差が大きくなったが，未処理区の精練前の色相より，高い濃度の黄緑色を保つことができ，緑繭の色相を強調することが確認できた。

表７．緑繭布地の処理時間別色相変化

	時間	L*	a*	b*	ΔE(ab)
未処理	―	87.87	−2.34	7.92	0.00
ミョウバン	1h	88.09	−5.75	13.19	6.28
	3h	87.63	−5.27	11.94	4.98
	5h	87.89	−4.84	11.62	4.46
	20h	87.79	−3.47	9.34	1.81
酢酸ニッケル	1h	86.00	−7.45	17.95	11.41
	3h	84.90	−7.61	16.56	10.55
	5h	85.84	−6.67	15.48	8.95
	20h	85.75	−6.39	13.77	7.42
塩化ニッケル	1h	85.85	−7.00	15.54	9.15
	3h	85.45	−6.80	15.01	8.72
	5h	85.96	−6.59	15.03	8.50
	20h	86.09	−6.12	12.56	6.24

表 8. 緑繭布地の水溶液濃度別色相変化

	濃度	L*	a*	b*	ΔE(ab)
未処理	―	87.87	−2.34	7.92	0.00
ミョウバン	0.5%	87.91	−5.55	12.25	5.39
	1%	88.09	−5.75	13.19	6.28
	2%	88.10	−5.72	12.99	6.10
酢酸ニッケル	0.5%	85.72	−7.12	16.54	10.09
	1%	86.00	−7.45	17.95	11.41
	2%	86.11	−7.42	17.85	11.29
塩化ニッケル	0.5%	85.67	−6.87	15.03	8.71
	1%	85.85	−7.00	15.54	9.15
	2%	85.73	−7.11	15.55	9.25

表 9. 精練による緑繭布地の色相変化

		L*	a*	b*	ΔE(ab)	精練前後の色差ΔE(ab)
未処理	精練前	87.87	−2.34	7.92		4.71
	精練後	91.24	−1.66	4.71	0.00	
ミョウバン	精練前	88.09	−5.75	13.19		6.28
	精練後	90.60	−2.49	8.44	3.87	
酢酸ニッケル	精練前	86.00	−7.45	17.95		6.57
	精練後	87.78	−2.50	21.87	17.53	
塩化ニッケル	精練前	85.85	−7.00	15.54		6.61
	精練後	87.81	−2.89	20.33	16.04	

摘　要

煮繭・繰糸工程において，セリシンに含まれる有色繭の色素をできるだけ多く残すため，色素の流亡特性を調査し，煮繭の処理温度・時間について検討を行った。さらに，繰糸した糸，製織した布地の色固定処理を行った。

黄繭種は煮繭，繰糸工程を経ても色相の変化が小さく，色素が流亡しにくい品種であることがわかった。緑繭は，色素が水に溶けやすく，煮繭工程での色相の変化が非常に大きかった。しかし，真空式煮繭機を用いて，煮繭温度を低く，時間を短くすることにより，通常煮繭と比較して繭色を残した生糸を繰製することが可能となった。固定剤による緑繭の繭色固定効果については，処理時間は１時間程度，水溶液濃度は１％が適当であることがわかった。また，精練後でも緑繭の色相を変えずに残すためには，ミョウバンによる固定処理が最適であった。

引用文献

1) 尾崎準一（1941）蚕糸科学と副産物利用，504，朝倉書店.

「緑繭１号」にみられる繭色の雌雄間差異

花之内　智彦

蚕糸科学研究所

TOMOHIKO HANANOUCHI: Color difference between male and female of green cocoon "Ryokken 1 gou".

緒　言

「緑繭１号」[1] は，フラボノイド色素由来の鮮やかな黄緑色をしており，そのフラボノイド色素は水および温湯で抽出することができるなどの特徴がある。これまでに，「緑繭１号」は雌雄間で繭色の濃淡差があり，濃い色繭は雌，薄い色繭は雄に多いことなどの報告がある。

そこで，本報では「緑繭１号」の繭色の雌雄間差異を定量的に評価するため，分光測色計による測色値を測定し，雌雄間の比較を行った結果について報告する。

本研究は，蚕糸科学研究所および蚕業技術研究所が取り組んでいる共同プロジェクト「提携システムの構築に向けた繭と絹の生産技術の開発」により得られた研究成果の一部を取りまとめたものである。

本文に入るに先立ち，繭の提供と測色データの統計処理にご協力いただいた蚕業技術研究所代田丈志博士，ならびに野澤瑞佳氏に深く感謝の意を表する。

材料と方法

材　料

平成21年度春蚕期に飼育された「緑繭１号」の生繭60粒（雌雄各30粒）を測色試験に供した。

測　色

分光測色計（CM-508i，ミノルタ製）でＣ光源，２°視野における繭の測色を行い，その色相を $L^*a^*b^*$ 表色系値で示した。「緑繭１号」の色相について，雄および雌はそれぞれの繭30粒の測色値，雄雌すべての繭は60粒の測色値の平均値を用いた。雌雄間の色の違いを評価するために雄の繭を基準として $L^*a^*b^*$ 表色系値から色差（$E^*(ab)$）を算出した。

結果と考察

「緑繭１号」の雌雄の繭の測色結果を図１に示す。繭の測色値の分布には雌雄の差がみられ，雌の繭は雄の繭に比べて a^* 値（緑（－）⇔ 赤（＋））は低く，b^* 値（青（－）⇔ 黄（＋））が高い傾向を示した。

雌雄の繭の色相に違いがあるのかどうかを評価するため，雌雄の繭の測色値を比較した。Levene 検定によりデータの等分散性を確認した後，ｔ検定を行った結果，a^*，b^* 値共に有意な差（$p<0.05$）がみられたことから，雌雄間で繭の色相が異なることがわかった。人間の目の感覚でその差を認知できるかどうかを判定するため，雄の測色値を基準として色差（$\Delta E^*(ab)$）を算出した結果（表２），$\Delta E^*(ab)$ が3.2と色相の違いがあることが明らかとなった。この結果は，繭色の濃淡差で雌雄の繭を分別した飯田ら[1] の結果とよく一致している。

飯田らは[1]，「緑繭１号」について緑繭遺伝子Ｇｃだけではなく笹繭遺伝子ＧａとＧｂが存在し，その遺伝子の働き[2] が雌雄間で繭色が異なる原因になっていると推測している。また，「緑繭１号」の雌の繭は，雄の繭に比べ繭色が濃いため，蚕の性別を決定するＷ染色体に繭色の濃淡に関係する遺伝子が存在するもの

と思われるが，今後の課題としたい。

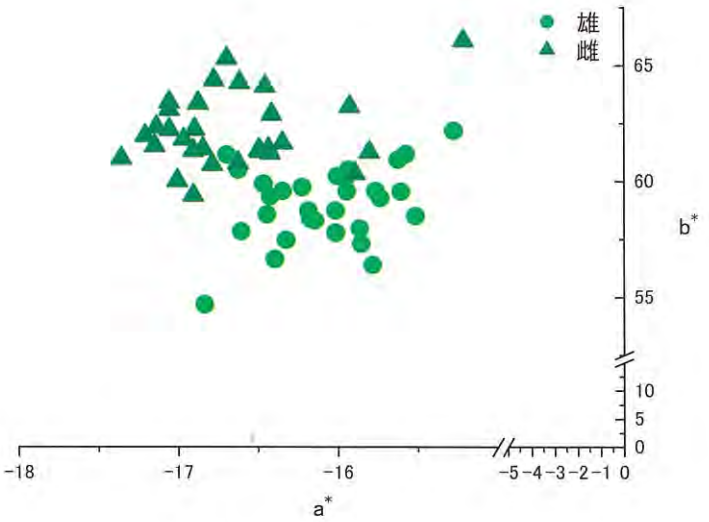

図１．緑繭１号の測色値

表１．緑繭１号の色相の雌雄間差異の検定結果

交雑品種名	検定項目	Levene検定（F値）	t検定（t値）
緑繭1号	a*	0.423	5.207 *
	b*	0.014	-7.734 *

＊：$P<0.05$

表２．緑繭１号雌雄繭の色相とその色差

	L^*	a^*	b^*	$\Delta E^*(ab)$
雄の繭	90.33	-16.07	58.98	0.0
雌の繭	90.13	-16.65	62.14	3.2
すべての繭	90.23	-16.36	60.56	-

摘　要

「緑繭１号」の雌雄の繭色の色相の違いについて検討した結果，緑繭１号は雌雄の繭で色相が異なり，雌の繭は雄の繭に比べ a*値は低く，b*値は高いことが明らかになった。この結果は分光測色計で緑繭１号の繭を測色すると，その数値から雌雄の繭を判定するのに役立つと考えられる。

引用文献

1）飯田のり子・鶴井裕治・田中幸夫・常山泉（2007）実用的な緑繭蚕品種の育成．蚕糸会研報，**55**，57-63.
2）藤本直正（1963）緑繭色素の精製ならびに透過とそれに関する各種遺伝子の作用．日蚕雑，**32**，338-342.

細繊度蚕品種繭「白繭細１号」を使用した羽二重の特性

栗岡富士江・天方美帆・鈴木果歩・岡島正章
蚕糸科学研究所

FUJIE KURIOKA, MIHO AMAGATA, KAHO SUZUKI and MASAAKI OKAJIMA : Characteristic of Habutae made from small size filament cocoon "Hakkenhoso 1 gou".

緒　言

当研究所では，蚕業技術研究所との共同プロジェクトにおける研究課題「提携システムの構築に向けた繭と絹の生産技術の開発」を推進し，高品質で消費者にとって魅力ある絹製品の開発と和装市場の活性化に向けて，蚕品種の育種から製糸，製織，精練・染色，そして着物の製造過程において，各専門分野の意見を取り入れながら製品開発に取り組んでいる。また，白繭細１号を利用した提携グループでは，高級絹織物の製造を目的とした純国産の特徴ある商品化に向けた取り組みも行われている。

本研究では，蚕業技術研究所が開発した細繊度蚕品種繭「白繭細１号」の特性を見出すための第一段階として，繭質調査および２種類の駒羽二重の作製を行い，糸の撚数が織物の物性に与える影響を調べたので，その結果を報告する。

材料と方法

繭質特性

2009年春蚕期に生産された白繭細１号および対照区として同時期に生産された春嶺×鐘月の蚕品種繭を使用し，繭質調査を行った。

羽二重の製織

経糸は27中２本，緯糸は27中６本使いの白繭細１号の生糸を使用し，経糸と緯糸それぞれの撚数が異なる２種類の駒羽二重の白生地を作製した。織物組織は平織である。２種類の羽二重は，製品化を視野に入れていることを考慮し，本文では詳細な撚り構造は記さないこととした。２種類の羽二重の区分は，経糸と緯糸の撚数がやや少ない羽二重を№１，もう一方の羽二重を№２とする。

羽二重の光沢度

羽二重の光沢度は，光沢計（GM-268，ミノルタ㈱）を使用し，JIS Z8741鏡面光沢度測定法に準じて行った。入射および受光角は85度とし，測定方向は羽二重の経，緯，右斜め，左斜めの四方向で，それぞれ羽二重の５ヵ所を測定し，その平均値を求めた。

羽二重の力学特性値と風合い

羽二重の力学特性値は，KES法により引張り・せん断試験機，純曲げ試験機，圧縮試験機，表面試験機（カトーテック㈱）を使用し，引張り，せん断，曲げ，圧縮，表面特性の16項目を測定した。この力学特性値を基に，婦人外衣用薄地の評価式KES-202-LDYによって羽二重の風合い値を求めた。

結果と考察

繭質特性

200粒の繭質調査の結果を表１に示す。白繭細１号の繭糸繊度は2.37d, 春嶺×鐘月は2.66d となっており，白繭細１号は細繊度蚕品種としての特徴を示した。今回の調査では，春嶺×鐘月の繭糸繊度は春蚕期としては細い傾向を示した。また，解じょ率は春嶺×鐘月よりも白繭細１号の方が10%程度低いが，小節では春嶺×鐘月が97.0点に対し，白繭細１号は98.5点と高い評価を示した。

羽二重の構成と光沢度

２種類の羽二重について糸密度，平面重，厚さ，見かけ比重，気孔容積を調べた結果を表２に，マイクロスコープ写真で観察した羽二重表面の写真を図１に示す。経糸と緯糸の撚数が異なっても，羽二重の構成に大きな違いは認められなかった。

羽二重の光沢度（図２）は，２種類の間にほとんど差はみられないが，緯方向が最も高い値を示し，方向性が認められた。

表１．繭質特性

蚕品種繭	一粒重 (g)	繭糸長 (m)	繭糸量 (cg)	繭糸繊度 (d)	解じょ糸長 (m)	解じょ糸量 (cg)	解じょ率 (%)	生糸量歩合 (%)	歩　掛 (%)	対乾糸歩 (%)	緒糸量歩合 (%)
白繭細１号	0.90	1,342	35.4	2.37	1,106	29.2	82.4	16.46	72.19	39.2	12.16
春嶺×鐘月	1.20	1,424	42.1	2.66	1,320	39.0	92.7	18.69	76.59	41.3	8.43

表２．羽二重の諸元

	No. 1	No. 2
糸密度（本／cm）	47.5×25.2	46.7×25.2
平面重（g／m²）	152.6	153.2
厚さ（mm）	0.36	0.36
見掛け比重	0.42	0.43
気孔容積（%）	68.4	67.7

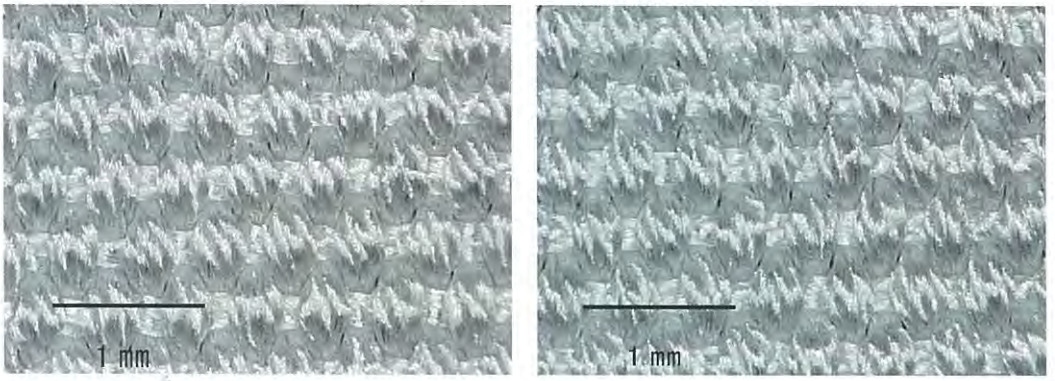

図1．マイクロスコープによる羽二重の表面写真（左：No.1，右：No.2）

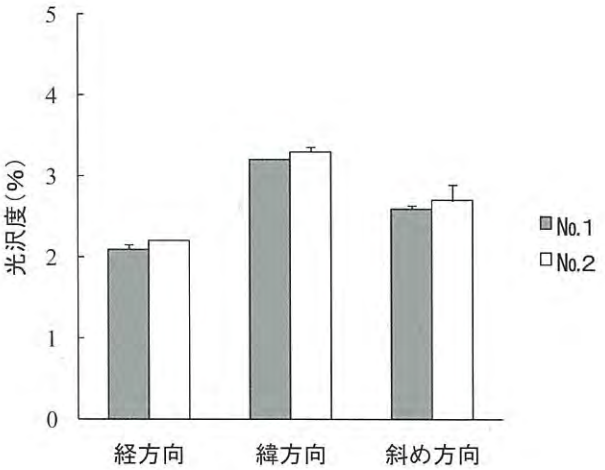

図2．羽二重の光沢度

羽二重の力学特性値と風合い

羽二重の力学特性値を表3に，力学特性値から求めた婦人外衣用薄地としての羽二重の風合い値を図3に示す。力学特性値では，No.2に比べてNo.1の方が曲げに対するかたさ（B）と曲げヒステリシス（2HB），せん断変形に対するヒステリシス（2HG5）がいずれも約15%小さい値を示し，No.1はNo.2よりも曲げやすく，曲げに対する回復性とせん断変形に対する回復性が良いことを示している。布の曲げこわさは，布の厚さや繊維の曲げこわさ，糸の撚りの強さなど布中の繊維の集合状態に影響され，糸に撚りが増加すると糸は締まり，手触りは硬くなる[1,2]。また，横沢は，羽二重の曲げかたさには構成糸の繊度および集束数，カバーファクターとの関係が大きく，糸の集合形態を含んだ原糸効果が寄与することを報告している[3]。本試験における駒羽二重は，強撚糸使いのため構成糸の集束性を良くし，さらに撚数の多いNo.2の方が繊維の集束が高く，糸の締まりが良くなったことが，羽二重の曲げかたさに影響したものと推察される。

羽二重の風合い値は，No.2に比べるとNo.1の方がコシとハリが約5%小さく，シナヤカサは約10%大きい値を示した。

表３．羽二重の力学特性値

特性値	特性記号	単　位	No. 1	No. 2
引張特性	ＬＴ	－	0.731	0.728
	ＷＴ	gf・cm／cm^2	0.36	0.36
	ＲＴ	%	83.17	86.10
せん断特性	G	gf/cm・degree	0.25	0.26
	2ＨＧ	gf／cm	0.06	0.05
	2ＨＧ$_5$	gf／cm	0.68	0.82
曲げ特性	B	gf・cm^2／cm	0.0596	0.0735
	2ＨＢ	gf・cm ／cm	0.0233	0.0277
圧縮特性	ＬＣ	－	0.657	0.660
	ＷＣ	gf・cm／cm^2	0.007	0.008
	ＲＣ	%	72.62	73.81
表面特性	ＭＩＵ	－	0.196	0.198
	ＭＭＤ	－	0.0263	0.0258
	ＳＭＤ	micron	5.353	5.278
厚　さ	T	mm	0.379	0.391
重　量	W	mg／cm^2	15.26	15.32

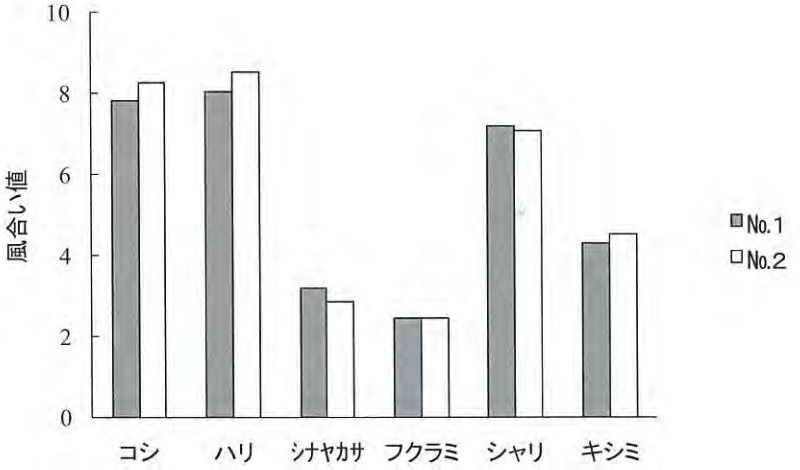

図３．羽二重の風合い値

以上のように，異なる撚数の経糸と緯糸を使用した２種類の駒羽二重を調べた結果，織物構成や光沢感においてほとんど違いは認められなかったが，力学特性と風合いに違いがみられたことから糸構成が影響しているものと考察し，糸の加工方法によって織物の風合いに変化を持たせることが可能であるとの知見を得た。

摘　要

細繊度蚕品種繭「白繭細１号」の特性を明らかにすることを目的とし，繭質調査および２種類の駒羽二重の作製を行い，糸の撚数が織物の物性に与える影響を調べた。

繭質調査の結果における繭糸繊度から，白繭細１号は2.37d と細繊度蚕品種としての特徴を示した。白繭細１号を使用し，経糸と緯糸の撚数を変えて作製した２種類の駒羽二重は，撚数の少ない羽二重の方が力学特性値の曲げかたさと曲げヒステリシス，せん断変形に対するヒステリシスが小さい値を示し，風合い値のシナヤカサは大きい値を示した。力学特性値と風合いの違いには糸構成が影響しているものと考察した。

引用文献

1) (社)日本繊維製品消費科学会（1988）新版繊維製品消費科学ハンドブック, 98-100, (株)光生館，大阪.

2) 有賀靖治（1993）衣生活のための被服材料学, 60-61, 秋川印刷出版部，東京.

3) 横沢三夫（1977）絹織物の曲げ変形特性に関する研究　Ⅰ．絹織物の構成要因とせん断，曲げヒステリシス特性の関係．日蚕雑, **46**, 198-204.

「いろどり」繭層の蛍光色の個体間差異

栗岡　聡・山崎昌良
蚕糸科学研究所

AKIRA KURIOKA and MASAYOSHI YAMAZAKI: Study on individual differences in the fluorescent color of the IRODORI cocoon.

緒　言

「いろどり」繭層から抽出したフラボノイドを含むセリシン溶液は，色素を含まない普通蚕品種のセリシン溶液に比べて紫外線吸収作用やラジカル消去活性が高く，化粧品原料に適した材料といえる。このような用途向けに「いろどり」セリシンを供給する場合，機能性を担うフラボノイドの含量にはロット間のばらつきがなく一定であることが望ましい。しかし，フラボノイドに特有の黄緑色は変退色しやすく，日光暴露や熱などの影響を受けやすいことが知られている[1]。また，繭層の色相は同じ飼育環境でも異なる場合もあることから，「いろどり」繭層の基本特性のひとつとしてフラボノイド含量の個体差について把握しておく必要がある。

緑繭及び笹繭系統の繭層は紫外線照射によって蛍光を発する。これらの蛍光繭には数十種類のフラボノイドが含まれているが[2]，蛍光発光に関与するのはフラボノイド骨格の5位に糖鎖が結合した配糖体だけであることが明らかにされている[3]。そこで，本報告では「いろどり」繭層のフラボノイド含量を簡便かつ迅速に調べる間接法として，蛍光性フラボノイドを指標とした蛍光分光法を試み，「いろどり」繭層蛍光色の個体間差異を調べた。

材料と方法

材　料

繭は平成20年春蚕期の「いろどり」繭を使用した。蛹を取り出した繭層は使用時まで冷暗所にて保管した。

紫外線照射による蛍光色の観察

無作為に抽出した繭層250粒について紫外線照射試験を行った。25穴の発砲スチロールプレートに並べた繭層を紫外線照射キャビネット（Chromato-Vue C-75, UVP Ltd.）の所定位置に置き，365nm 及び254nm の紫外線を照射し，繭層から発する蛍光色を目視で観察した。

3次元蛍光スペクトル測定

3次元蛍光スペクトル測定は蛍光分光光度計（F-7000，日立ハイテクノロジーズ）を用いて行った。繭層から1cm×1cm 角に切り出した試料を石英板に挟んで固定した後，高速多波長スキャン（励起波長200-900nm，蛍光波長200-900nm）で3次元蛍光スペクトルを測定し，得られた蛍光強度を等高線で表示した。

結果と考察

「いろどり」繭層蛍光色の個体差

「いろどり」繭層（n=250）に365nm の紫外線を照射したときの蛍光色を目視観察した結果，全試料が黄

色の蛍光を発光した。しかし，蛍光強度には明らかな違いがあることが目視で確かめられた（図１）。そこで，黄色蛍光の強い区（SF）と弱い区（WF）の２種類に大別した結果，SF と WF の割合はそれぞれ65.2%及び34.8%となった。照射波長を365nm から254nm に切替えたところ，両区とも発光色に変化が認められ，特に，WF は暗緑色を呈するようになり，SF との違いが明瞭になった（図２）。以上の紫外線照射実験から，「いろどり」繭層の蛍光色には個体差があることが明らかになった。

図１．紫外線照射（365nm）による蛍光発光
（左）WF，（右）SF

図２．紫外線照射（254nm）による蛍光発光
（左）WF，（右）SF

「いろどり」繭層の３次元蛍光スペクトル

「いろどり」繭層の蛍光色には個体差が認められ，さらに，蛍光の色調は照射された紫外線波長に依存して変化することも明らかになった。蛍光色の個体差を光学的に把握するために，蛍光色が異なる SF と WF について３次元蛍光スペクトルを比較した。その結果，SF の３次元蛍光スペクトル（図３-A）には励起波長280nm，365nm，450nm にそれぞれ対応して310nm，540nm，495nm に蛍光波長を示す３種類のピークが認められた。一方，WF においても（図３-B）に示すように SF と同じピーク成分が認められたが，いずれのピークの等高線も間隔が SF に比べて緩やかなことから，WF は SF に比べて蛍光強度が低いことがわかった。各ピークの蛍光強度（n=20）を縦軸にプロットして両区の違いを比較すると（図４），SF は WF に比べて蛍光強度が高く，特に，540nm の強度差が顕著であり，SF は WF の３倍近いことがわかった。エタノールで抽出した「いろどり」繭層のフラボノイド画分では365nm に最大吸収が確認されており[3]，今回のスペクトル測定で確認された励起波長とも一致していることから，365nm で励起される540nm が「いろどり」繭層の蛍光色を決定する主要な蛍光波長であると考えられた。

以上の結果から，「いろどり」繭層の蛍光色を構成する基本的な波長成分は310nm，495nm，540nm の３波長であり，SF と WF のように蛍光色が異なる試料でも蛍光を構成する波長は同じであり，両区の蛍光色の違いは蛍光強度の違いによりもたらされるものと推測された。さらに，波長別に比較すると，540nm の蛍光強度が他の２波長に比べて著しく強い場合に繭層の黄色蛍光の度合いが強くなると考えられた。また，SF と WF の出現割合が６：４であったことから，蛍光強度と雌雄との相関性についても調べる必要がある。

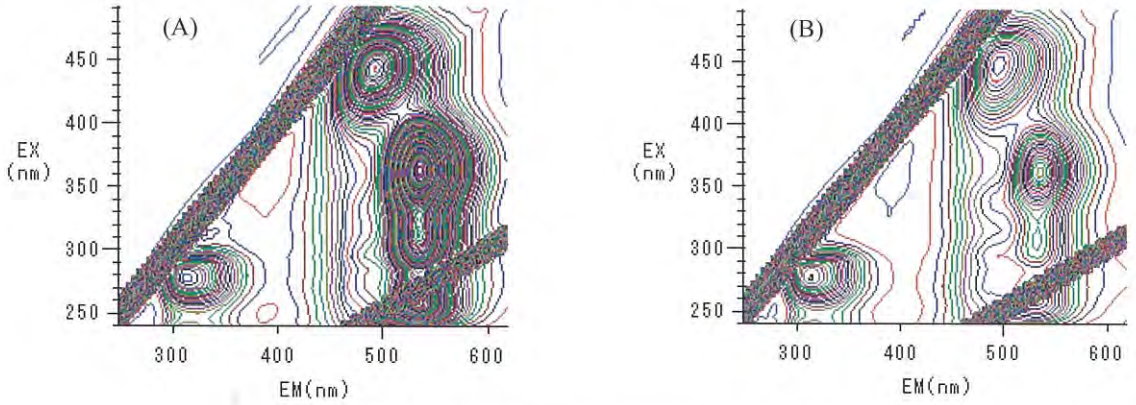

図3.「いろどり」繭層の3次元蛍光スペクトル
(A) SF, (B) WF

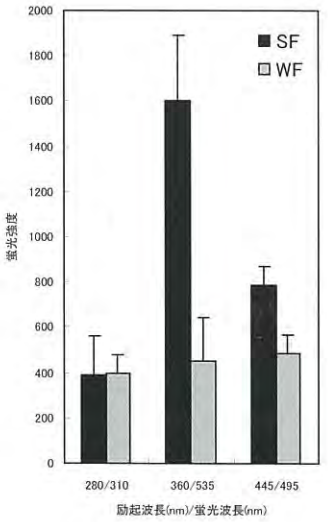

図4.「いろどり」繭層の蛍光強度

摘　要

「いろどり」繭層の黄色蛍光には個体差が認められ，無作為抽出した繭層（n=200）の蛍光色を調べた結果，強く蛍光を発する繭層（SF）と蛍光の弱い繭層（WF）の2区に分けられた。蛍光色の違いに拘わらず，310nm，495nm 及び540nm の3種類の蛍光波長が常に観測されることから，「いろどり」繭層の蛍光色の個体差は，蛍光の波長成分の違いではなく，強度差に起因し，特に，540nm の蛍光波長の強度が「いろどり」繭層の蛍光色の決定に重要であることが示唆された。

引用文献

1) 栗岡富士江・栗岡聡（2008）笹繭の変退色に及ぼす日光の影響．日本シルク学会誌, **17**, 55-57.
2) 平山　力・小瀬川英一・田村泰盛・中村匡利（2009）LC-MS による地域型蚕品種の繭層フラボノイドの解析．蚕糸・昆虫バイオテック, **78**, 57-63.

3) Daimon, T., Hirayama, C., Kanai, M., Ruike, Y., Meng, Y., Kosegawa, E., Nakamura, M., Tsujimoto, G., Katsuma, S., Shimada, T. (2010) The silkworm green b locus encodes a quercetin 5-O-glycosyltransferase that produces green cocoons with UV-shielding properties. PNAS **107**, 11471-11476.
4) 山崎昌良・中村直子・栗岡聡・小松計一（1999）笹繭のアルコール抽出物の抗酸化作用. 日蚕雑, **68**, 167-169.