

島根農技研報

Bull. Shimane  
Agric. Tech. Cent.

ISSN 0388-905X

BULLETIN  
OF THE  
SHIMANE AGRICULTURAL TECHNOLOGY CENTER  
NO. 46  
March 2019

---

---

# 島根県農業技術センター研究報告

第 46 号

平成31年 3月

---

---

SHIMANE AGRICULTURAL TECHNOLOGY CENTER  
IZUMO, SHIMANE, 693-0035, JAPAN

島根県農業技術センター  
島根県出雲市



島根県農業技術センター研究報告 第46号 (平成31年3月)

目 次

報 文

島根県におけるクリシギゾウムシ被害発生時期と防除対策 .....	澤村 信生	..... 1
島根県の有機栽培水田における生物多様性の評価 .....	小塚 雅弘・角 菜津子	..... 6
島根県の有機栽培ほ場における土壌養分の実態 .....	朝木 隆行・道上 伸宏	..... 13
カキ‘西条’における樹上軟化発生率の系統間比較と気象要因との関係 .....	大畑 和也・川上 裕也・倉橋 孝夫 持田 圭介・中務 明・板村 裕之	.....21
クワ葉の機能性成分含量を高めるための環境要因および適性品種の選抜と 育種に関する研究 .....	杉山 万里	..... 30

# Bulletin of the Shimane Agricultural Technology Center

No.46 March 2019

## CONTENTS

Original

Nobuo Sawamura:

Timing of Outbreak and Preventive Measures  
for Chestnut Weevils (*Curculio sikkimensis*) in Shimane Prefecture  
..... 1

Masahiro Ozuka and Natsuko Kado:

Evaluation of Biodiversity in Organic Paddy Fields in Shimane Prefecture  
..... 6

Takayuki Asaki and Nobuhiro Michiue:

Measured Soil Nutrients in Organic Cultivation Greenhouses and Fields  
in Shimane Prefecture  
..... 13

Kazuya Ohata, Yuya Kawakami, Takao Kurahashi,

Keisuke Mochida, Akira Nakatsuka and Hiroyuki Itamura:

Relationship between Incidence of On-tree Fruit Softening  
and Weather Conditions: Comparison of Early-Ripening  
and Late-Ripening Japanese Persimmon ‘Saijo’ Strains  
..... 21

Mari Sugiyama:

Study on Environmental Factors for Specific Functional Component Increase  
in Mulberry (*Morus alba* L.) Leaves with Selection and Breeding of  
Suitable Cultivars Flavonol Content  
..... 30

## 島根県におけるクリシギゾウムシ被害発生時期と防除対策

澤村 信生<sup>1)</sup>

### Timing of Outbreak and Preventive Measures for Chestnut Weevils (*Curculio sikkimensis*) in Shimane Prefecture

Nobuo Sawamura

#### I 緒言

クリシギゾウムシは幼虫がクリ果実内部を食害し、被害の有無がわかりにくいいため、クリの生産販売において問題となる重要害虫である。これまで、本種の防除は長期にわたり収穫後の臭化メチル剤によるくん蒸処理が行われてきた。しかし、本剤は1992年のモントリオール議定書締結国会合において、オゾン層破壊物質(楯谷, 2004)として指定され、2013年を最後に全廃された。その代替え剤であるヨウ化メチルも使用に際しての規制や処理の煩雑さから需要が伸びないため販売メーカーが2017年で当剤の製造・販売を中止したことから、現状では最終有効年月が切れる2020年以降のくん蒸処理薬剤がなくなることが確定している。このような状況の中でクリシギゾウムシの対策として立木防除(金崎, 井伊 2008; 黒木, 1985), 温湯消毒(二井ら, 2014)や氷蔵処理(小林, 2014)による防除試験が行われてきた。

前述したようにくん蒸処理に代わる様々な防除法が確立されているが、クリシギゾウムシの防除対策を考える上で最も重要なことは、被害の発生実態を把握することである。しかし、島根県内のクリシギゾウムシによる被害状況についてはほとんど調べられていない。そこで、島根県内の主要クリ産地において出荷後のクリ果実に

おけるクリシギゾウムシの被害発生状況を調査した。また、島根県のクリ栽培は傾斜園地で行われており、生産者も高齢化率が高いことから立木防除は難しく、収穫後の防除が重点的に行われている実態から、防除方法として冷凍処理の殺虫効果についても検討を行った。

なお、本研究は、農林水産業・食品産業科学技術推進事業(実用技術開発ステージ 25070C)の一部として実施した。

#### II 試験方法

##### 1. 被害状況調査

供試したクリは2007~2008年および2014~2016年の9~10月に浜田市金城町および鹿足郡津和野町のクリ集荷所に出荷された調整後の果実とした。採取時期は表1に示したとおりである。クリシギゾウムシの脱出数調査はプラスチックバット(42cm×32cm×8cm)の上に500gのクリ果実を収めたプラスチックかご(38cm×28cm×18cm)を置き、クリ果実から脱出してプラスチックバットに落ちた幼虫を計数した。調査は2~3日間隔でクリシギゾウムシが確認できなくなるまで行った。また、脱出調査終了後、脱出口のあるクリ果実を被害果として計数し被害果率を算出した。

1) 島根県農業技術センター

表1 供試したクリの集荷日

集荷地	2007年	2008年	2014年	2015年	2016年
金城町	9月21日	9月18日	9月10日	9月9日	9月7日
	10月5日	10月6日	17日	16日	15日
			24日	24日	23日
			30日	10月2日	28日
			10月8日	9日	10月7日
			15日	15日	
津和野町	9月21日	9月18日	9月10日	9月9日	9月7日
	10月5日	10月6日	17日	16日	15日
			24日	24日	23日
			30日	10月2日	28日
			10月8日	9日	10月7日
			15日	15日	

## 2. 冷凍処理による殺虫効果

調査は2007年10月2日に出雲市佐田町および大田市久利町の集荷所に出荷された無くん蒸のクリ果実を用いて調査を行った。クリシギゾウムシ脱出数調査はクリ果実をプラスチックかごに入れ、乾燥を防ぐため湿らせた新聞紙をかぶせた後、 $-1^{\circ}\text{C}$ に設定した恒温器(三洋電機(株)製MIR-152)に入れ、5日後、10日後および16日後に恒温器から取りだし、 $24^{\circ}\text{C}$ の恒温室に収めた後、試験1と同様の方法で行った。また、クリシギゾウムシ幼虫の生死を判別するために各処理5日後、10日後、16日後および30日後に恒温器から各20果を無作為に選び、皮を剥きせん孔している幼虫を計数した。幼虫の生死については、仮死状態を考慮し1日室温で放置した後に判定した。対照として10月2日に臭化メチル処理したクリを用いた。無処理については出荷直後のクリ果実をそのまま $24^{\circ}\text{C}$ の恒温室に入れたものを用いた。生死判定には恒温室入庫10日後のクリを用いた。

## Ⅲ 結果および考察

各調査年のクリ果実におけるクリシギゾウムシ幼虫による被害果調査の結果を表2に示した。発生始期について、2007年、2008年には9月21日以前に出荷されたクリでは、被害は認められなかったが、2014年には9月17日に、2015年には9月9日に、2016年には9月7日に出荷されたクリで被害が確認された。被害発生のパ

クは2014年では金城町、津和野町とも9月30日、2015年は金城町では9月24日、津和野町では10月9日、2016年は金城町では9月28日であった。茨城県つくば市では9~10月にかけてクリ、コナラ、シラカン、クヌギ等複数種の果実に産卵することが明らかとなっている(檜垣, 2010)。また、愛媛県のクリ園での調査結果からクリシギゾウムシの産卵時期は中生の‘筑波’では9月上中旬、晩生の‘石鎚’では9月中下旬と推定され(金崎・井伊, 2008)9月上中旬に産卵される事例が多くみられる。今回の結果はこれらの報告とほぼ一致する。一方、曾我ら(1986)は岐阜県のクリ園での被覆調査による産卵時期調査の結果、産卵開始が8月20~27日の間に行われたことを確認し、標高の高い地域では早生品種での防除対策の重要性を示している。

年次ごとの平均被害果率は金城町で12.5~19.8%、津和野町では5.2~24.1%であった。以上のとおり地域、年次および収穫時期によりクリシギゾウムシの被害果率に差が認められたが、近年津和野町、金城町での被害果の発生時期は前進化する傾向がみられた。クリシギゾウムシはクリ以外にもドングリ等の果実に穴を開け産卵する。クリシギゾウムシ等のシギゾウムシ類が寄生するドングリは豊作と凶作を不規則に繰り返すことから、クリシギゾウムシは長期休眠を行って、これらに対応するため羽化を数年にわたってばらつかせることが知られている。このことが津和野町における年次間の変動の一因となったと考えられた。林野庁(2018)によると、

表2 出荷されたクリにおけるクリシギゾウムシの被害状況

調査年	集荷月日	集荷地					
		金城町			津和野町		
		調査果数	被害果率 (%)	虫数/果 (頭)	調査果数	被害果率 (%)	虫数/果 (頭)
2007年	9月21日	156	0	0	188	0	0
	10月5日	223	33.6	0	302	39.1	0.3
	平均	379	19.8	0	490	24.1	0.2
2008年	9月18日	125	0	0	265	0	0
	10月6日	95	43.2	0.8	286	10.1	0.2
	平均	220	18.7	0.4	551	5.2	0.1
2014年	9月10日	352	0	0	334	0	0
	9月17日	393	2.8	0.1	508	4.5	0.1
	9月24日	454	12.8	0.3	972	6.0	0.2
	9月30日	940	21.7	1.1	919	24.6	0.8
	10月8日	926	14.0	0.4	802	18.5	0.5
	10月15日	274	5.5	0.1	661	6.8	0.3
	平均	3,339	12.5	0.5	4,196	11.9	0.4
2015年	9月9日	1,070	4.5	0.1	930	7.4	0.1
	9月16日	651	11.8	0.4	619	18.9	0.5
	9月24日	269	45.4	1.8	461	21.5	0.6
	10月2日	851	35.5	1.0	—	—	—
	10月9日	262	16.0	0.3	390	36.4	0.5
	10月15日	180	21.1	0.3	363	34.1	0.4
	平均	3,283	19.2	0.5	2,763	19.9	0.4
2016年	9月7日	347	1.7	0.0	268	0.7	0.0
	9月15日	220	7.7	0.2	223	13	0.5
	9月23日	354	22.3	0.6	—	—	—
	9月28日	99	48.4	1.2	—	—	—
	10月7日	260	22.7	0.8	101	27.7	1.0
	平均	1,280	16.3	0.5	592	9.9	0.4

近年ナラ枯れによる被害が多く発生していることが報告されている。このため島根県においてもクリシギゾウムシの餌であるドングリの数が減少し、クリへの被害、特に一果あたりの被害虫数が増加したと考えられる（表2）。また、クリシギゾウムシの羽化は7月から始まるとされており（檜垣，2014），各年の4～6月までの半旬ごとの平均気温を積算すると2015年，2016年では他の年に比べ高くなっていることから羽化時期が早くなり，それに伴い地中からの脱出，クリへの産卵時期も早期化し被害果発生時期が2007年，2008年に比べ2015年，2016年で早くなったと考えられた（図1）。冷凍処理を行ったクリにおける，クリシギゾウムシの被害果率とクリ果実内部での生存虫数について表3および表4に示した。その結果，冷凍処理期間が長くなるほどク

リシギゾウムシ幼虫による被害が少なくなり（表3，4），クリ果実中での死亡虫も多くなった（表4）。死亡幼虫のほとんどの個体は若齢幼虫であった。本報と同様の研究は小林（2014）も行っており，氷蔵庫（東京冷熱（株）製：現小林製

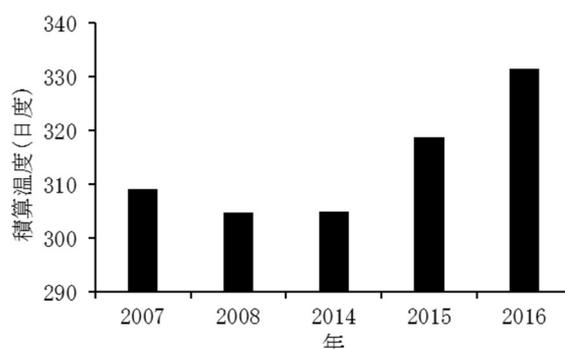


図1 各年の4月から6月までの積算温度  
注) 半旬ごとの平均気温を用いて積算した。

表3 冷凍処理後のクリシギゾウムシ幼虫による被害果率

処理区	処理日数	出雲市		大田市	
		被害果率(%)	虫数(頭)	被害果率(%)	虫数(頭)
冷凍	5日	18.5 ( 65)	26	25.0 ( 48)	41
	10日	30.4 ( 56)	55	15.7 ( 51)	9
	16日	27.3 ( 55)	27	1.8 ( 55)	3
	30日	—	—	—	—
臭化メチル	—	0.0 ( 54)	0	—	—
無処理	—	41.4 ( 133)	218	21.1 ( 123)	84

注1) ( ) 内は調査果数

注2) 収穫日は10月2日、処理温度-1℃

表4 冷凍処理によるクリシギゾウムシ幼虫の殺虫効果

処理区	処理日数	出雲市				大田市			
		調査果数	生虫数(頭)	死虫数(頭)	被害果率(%)	調査果数	生虫数(頭)	死虫数(頭)	被害果率(%)
冷凍	5日	20	4	0	10	2	3	0	10
	10日	20	4	0	10	2	2	2	10
	16日	20	3	4	5	0	0	2	0
	30日	20	0	4	0	0	0	2	0
臭化メチル	—	20	0	8	0	—	—	—	—
無処理	—	20	7	0	15	5	7	0	25

注) 収穫日は10月2日、処理温度は-1℃

産業(株)製の温度を-1℃または-2℃条件で保存期間を変えたところ、2週間および3週間処理で殺虫効果が高く、特に3週間処理では殺虫率はほぼ100%になることを明らかにしている。これらのことからクリシギゾウムシを-1~-2℃条件下に2週間以上おくことによってクリシギゾウムシによる被害を軽減することができると考えられた。

## VI 摘要

県内のクリ産地である津和野町、金城町に出荷されたクリ果実におけるクリシギゾウムシの被害果の発生は近年前進化する傾向がみられた。被害果率はピーク時で10.1~45.4%であった。

冷凍処理におけるクリシギゾウムシの殺虫効果は処理を2週間以上行うことにより高くなる傾向を示した。

## 引用文献

二井清友・廣瀬敏晴・西口真嗣・川島誠蔵(2014) 温湯処理技術の現状と問題点. 植物防疫

68, 226-230.

檜垣守男(2010)温度反応から見たクリシギゾウムシの長期休眠の制御機構. 植物防疫 64, 717-723.

金崎秀司・井伊吉博(2008)クリシギゾウムシの産卵時期及びモモノゴマダラノメイガを含めたクリ立木防除. 愛媛県果樹試報22, 17-24.

小林正秀(2014)氷蔵によるクリシギゾウムシ駆除技術. 植物防疫 68, 231-236.

黒木功令(1985)クリシギゾウムシの生態と立木防除. 植物防疫39, 103-107.

林野庁林野庁平成29年森林病虫害被害量(2018) <http://www.rinya.maff.go.jp/j/press/ho-go/attach/pdf/181107-1.pdf>

曾我京次・西尾文彦・下畑次夫(1986)クリシギゾウムシの生態に関する調査. 関西病虫研報28, 59-60.

楯谷昭夫(2004)モントリオール議定書特別総会で臭化メチル不可欠用途規制除外を決議. 今月の農業 48, 20-24.

### Summary

For 5 years (2007, 2008, 2014, 2015, and 2016), we investigated the extent of damage to chestnut fruits shipped to Tsuwano Town and Kanagi Town, Shimane Prefecture's chestnut production regions. The numbers of larvae dropped from mesh plastic baskets containing harvested chestnuts were counted at varying points in time, and rates of damaged chestnuts were calculated. Results showed damage rates ranged from 10.1 to 45.4% during peak time. Damage related to chestnut weevils in recent years tended to occur in nuts harvested at an early stage, which is presumably related to the recent increase of cumulative temperatures and a decrease in number of available acorns, the major food source of chestnuts weevils.

The insecticidal effect of freezing treatment on chestnut weevils suggests that the insecticidal effect tended to be greater when done at  $-1^{\circ}\text{C}$  to  $-2^{\circ}\text{C}$  for 2 weeks or longer.

## 島根県の有機栽培水田における生物多様性の評価

小塚 雅弘<sup>1)</sup>・角 菜津子<sup>1)</sup>

### Evaluation of Biodiversity in Organic Paddy Fields in Shimane Prefecture

Masahiro Ozuka and Natsuko Kado

#### I 緒言

島根県では、地域の特色に応じた人と環境に優しい農業の展開を経済活動と両立させながら県民全体で取り組む循環型農業を『環境農業』と呼び、その拡大に向けた県民意識の醸成、それを支える技術の確立・体系化・普及拡大、更には実践のための条件整備など幅広い施策展開を行っている。そうした中で研究分野には化学的に合成された肥料や農薬を使用しないことを基本として、自然の生態系等の機能を活用し、農作物の健全な生育環境の形成や病虫害の軽減を目指す有機農業技術の開発が求められている。

島根県農業技術センターでは、農林水産省委託プロジェクト「農業に有用な生物多様性の指標及び評価手法の開発」(2008~2011)に参画し、水稻の有機栽培に取り組む県内3地域の圃場に生息する昆虫や動物などを調査して、その結果をもとに生物多様性の指標生物となり得る種やグループの選抜を行った。農林水産省は、このプロジェクトの成果を、「農業に有用な生物多様性の指標生物 調査・評価マニュアル」(農林水産省農林水産技術会議事務局, 2013.

03) としてまとめた。この評価マニュアルを活用することで有機農業への取り組みが生物多様性に及ぼす影響を客観的に調査することが可能となった。

また、本県では水稻収穫後に米ぬかや屑大豆をほ場に散布して稲わらの腐熟促進を図り、冬期湛水や早期湛水後の6月上旬に田植えを行い、その後、弱い中干しの一時を除き10cm深程度の湛水状態を保ちながら、途中機械による除草や有機質肥料による施肥を取り入れた水稻有機栽培技術を構築し、同時にその技術を県内各地で普及するため「生物多様性を育む米づくり」実証ほ(2011~2013)及び「有機ひろげる米づくり」実証ほ(2014~)を設置している。

そこで、2012年から2015年にかけてこの技術で栽培しているほ場と近隣の慣行栽培ほ場において、この評価マニュアルを用いて数種類の指標生物の調査を行い、有機栽培の取り組みが、水田やその周辺に生息する生物の保全や多様性の向上に及ぼす効果を評価したので報告する。

#### II 材料及び方法

##### 1. 調査ほ場の選定

4年間で有機栽培に取り組んだほ場は計13ほ場であった。栽培方法の影響を確認するため、その中から連続した複数年の調査データのある8ほ場を選定した。慣行栽培ほ場と併せてその耕種概要を表1(調査初年度を記載して一部データ省略)に示した。有機栽培ほ場は、有機栽培に取り組んで10年目のほ場①を除き、実証ほ設

1) 島根県農業技術センター

小塚・角 : 島根県の有機栽培水田における生物多様性の評価

表1 調査ほ場の耕種概要

栽培方法	有機栽培							慣行栽培		
	ほ場①	ほ場②	ほ場③	ほ場④	ほ場⑤	ほ場⑥	ほ場⑦	ほ場⑧	ほ場⑨	ほ場⑩
冬期(早期)湛水	○	○	-	○	○	○	-	○	-	-
不耕起栽培	-	-	-	-	○	-	-	-	-	-
米ぬか散布	15kg	140kg	-	100kg	100kg	100kg	-	-	-	-
品種	ヒトヒカリ	コシヒカリ	つや姫	きぬむすめ	コシヒカリ	コシヒカリ	きぬむすめ	コシヒカリ	コシヒカリ	ヒメノモチ
移植日	2012年6月2日	2012年5月21日	2012年5月30日	2012年5月20日	2012年5月16日	2012年6月12日	2014年5月25日	2014年6月4日	2012年5月8日	2012年5月1日
機械除草	○	○	○	○	-	○	○	○	-	-
深水管理	○	○	○	○	○	○	○	○	-	-
施肥	ぼかし肥料60kg (米ぬか15kg を含む)	堆肥500kg パーム有機30kg	有機666 50kg 字部ユ-キ100 20kg	堆肥450kg 字部ユ-キ100 70kg	(なし)	パーム有機30kg	堆肥500kg 有機アグレット特号 666 100kg	鶏糞ペレット 200kg、有機アグ レット特号666 16kg	苦土重焼燼1号30kg 島コン1号20kg 苦土塩加磷安542味種20kg	磷加安44号22kg NKC-12号9kg
中干	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○
島根県カウント 対象薬剤成分数	0	0	0	0	0	0	0	0	13	14
殺菌剤 (○内は成分数)	(温湯消毒)	(温湯消毒)	-	(温湯消毒)	(温湯消毒)	(温湯消毒)	エコホープ⑩	エコホープDJ⑩	箱:デジタムカリア箱粒剤① タカレユース②	種子:シートラック水中和剤① 箱:Dr.オセアリス粒剤10① タカレユース② 本田:アブジン水中和剤② ハリダシン液剤5⑩ カスラアサイトソル①
殺虫剤 (○内は成分数)	-	-	-	-	-	-	-	-	種子:スミオカ乳剤① 箱:デジタムカリア箱粒剤① 本田:バタン粒剤① Mr.ジョーカー粉剤① フルハル粉剤①	箱:Dr.オセアリス粒剤10① 本田:スチオン乳剤① スターケル顆粒水溶剤①
除草剤 (○内は成分数)	-	-	-	-	-	-	-	-	エコジャンクンボ① ハイカット1号粒剤④	トップガンLプロフル④
調査期間	2012～2015年	2012～2013年	2012～2013年	2012～2013年	2012～2013年	2012～2013年	2014～2015年	2014～2015年	2012～2015年	2012～2013年

(注) 耕種概要は各ほ場とも調査初年度を記載した。

置時に初めて有機栽培に取り組むほ場であり、初年度と次年度の2年間同じほ場を調査した。ほ場①については4年間継続して調査した。慣行栽培ほ場は県東部と西部から各1ほ場を選定した。使用した化学合成農薬の有効成分数は13～14成分であった。ほ場⑨については4年間継続して調査した。

## 2. 調査方法

調査は「農業に有用な生物多様性の指標生物調査. 評価マニュアル」I 調査法・評価法に従った。すなわち、中国・四国地方の水田における指標生物を4種類、アシナガグモ類、コモリグモ類、ニホンアマガエル、水生コウチュウ類と水生カメムシ類の個体数を、毎年7月中～下旬に表2に示した方法により調査、得られた指標生物の個体数をスコア化して、それぞれのほ場での生物多様性を評価した。また、他地域で採用されている指標生物のトノサマガエル、トンボの羽化殻についても併せて調査し、その適合性について検討した。

なお、現地で同定できなかつた一部の生物については実験室に持ち帰り同定し、残りの生物

は調査後にはほ場に放流した。

## III 結果及び考察

有機栽培に取り組んだほ場①～⑧では、総じて指標生物の個体数が慣行ほ場に比べて多く確認された。2012年から2015年にかけて調査した有機栽培18事例(ほ場①4カ年, ほ場②～⑧各2カ年)のうち15事例において総スコア値は高く、総合評価は生物多様性が非常に高いと評価されるS判定または生物多様性が高いと評価されるA判定となった。対して、慣行栽培ほ場⑨, ⑩では6事例(ほ場⑨4カ年, ほ場⑩2カ年)のうち2014年と2015年のほ場⑨を除く4事例において指標生物の個体数は少なく、総スコア値も低く、総合評価は生物多様性が低いと評価されるC判定となった(表3)。このことから水稻の有機栽培への取り組みが、水田やその周辺に生息する生物の保全や多様性の向上に役立つことが示唆された。

ニホンアマガエルは有機栽培では個体数がほ場あたり平均3.1頭、慣行栽培では平均0.7頭といずれも少なく、スコア値の平均を比較する

表2 指標生物の調査方法とスコア

指標生物名	調査方法	単位	スコア		
			0	1	2
ニホンアマガエル	畦畔見取り	畦畔10m×4カ所の合計個体数	5未満	5～24	24以上
アシナガグモ類	捕虫網によるすくい取り	20回振り×2カ所の合計個体数	3未満	3～9	9以上
コモリグモ類	イネ株見取り	イネ株5株×4カ所の合計個体数	1未満	1～3	3以上
水生コウチュウ類 と水生カメムシ類	たも網による水中すくい取り	畦畔ぎわ5m×4カ所の合計個体数	1未満	1～3	3以上
トノサマガエル	畦畔見取り	畦畔10m×4カ所の合計個体数	3未満	3～10	10以上
トンボ羽化殻	畦畔ぎわ見取り	畦畔ぎわ10m×4カ所の合計個体数	1未満	1～3	3以上

注1) ニホンアマガエルのスコア1の5～24は5以上、24未満を示し以下同様。

注2) トノサマガエルは近畿地方の水田指標生物を準用。

注3) トンボ羽化殻は九州地方の水田指標生物を準用。

小塚・角：島根県の有機栽培水田における生物多様性の評価

表3 調査ほ場における指標生物の個体数と生物多様性の評価

栽培方法	ほ場No.	調査年	ニホンアマガエル	アシナガグモ類	コモリグモ類	水生コウチュウ類と水生カメムシ類の合計	総スコア <sup>a</sup>	評価	トノサマガエル	トノサマガエルを用いた4種の総スコア <sup>b</sup>		ヤゴ脱皮殻数	
										トノサマガエル	トノサマガエル		評価
有機栽培	ほ場①	2012	個体数	0	6	2	5	—	—	34	—	—	0
		スコア値	0	1	1	2	4	A	2	6	A	—	
	2013	個体数	2	8	2	37	—	—	15	—	—	—	
		スコア値	0	1	1	2	4	A	2	6	S	—	
	2014	個体数	0	87	0	78	—	—	8	—	—	0	
		スコア値	0	2	0	2	4	A	1	5	A	—	
	2015	個体数	0	1	2	67	—	—	0	—	—	—	
		スコア値	0	0	1	2	3	B	0	3	B	—	
	ほ場②	2012	個体数	0	13	2	3	—	—	10	—	—	0
		スコア値	0	2	1	2	5	A	2	7	S	—	
	2013	個体数	7	12	2	8	—	—	13	—	—	—	
		スコア値	1	2	1	2	6	A	2	7	S	—	
	ほ場③	2012	個体数	6	22	3	4	—	—	48	—	—	0
		スコア値	1	2	2	2	7	S	2	8	S	—	
	2013	個体数	4	15	5	12	—	—	36	—	—	—	
		スコア値	0	2	2	2	6	A	2	8	S	—	
	ほ場④	2012	個体数	4	18	3	21	—	—	18	—	—	0
		スコア値	0	2	2	2	6	A	2	8	S	—	
	2013	個体数	4	19	5	17	—	—	15	—	—	—	
		スコア値	0	2	2	2	6	A	2	8	S	—	
	ほ場⑤	2012	個体数	3	31	3	91	—	—	6	—	—	0
		スコア値	0	2	2	2	6	A	1	7	S	—	
	2013	個体数	4	39	3	57	—	—	22	—	—	—	
		スコア値	0	2	2	2	6	A	2	8	S	—	
ほ場⑥	2012	個体数	6	29	3	7	—	—	31	—	—	0	
	スコア値	1	2	2	2	7	S	2	8	S	—		
2013	個体数	7	21	7	21	—	—	16	—	—	—		
	スコア値	1	2	2	2	7	S	2	8	S	—		
ほ場⑦	2014	個体数	1	0	0	0	—	—	57	—	—	—	
	スコア値	0	0	0	0	0	C	2	2	B	—		
2015	個体数	5	17	1	0	—	—	1	—	—	—		
	スコア値	1	2	1	0	4	A	0	3	B	—		
ほ場⑧	2014	個体数	0	11	0	11	—	—	26	—	—	—	
	スコア値	0	2	0	2	4	A	2	6	A	—		
2015	個体数	2	3	0	15	—	—	25	—	—	—		
	スコア値	0	1	0	2	3	B	2	5	A	—		
平均	個体数	3.1	19.6	2.4	25.2	—	—	21.2	—	—	0		
	スコア値	0.3	1.6	1.2	1.8	4.9	—	1.7	6.3	—	—		
慣行栽培	ほ場⑨	2012	個体数	0	2	0	0	—	—	9	—	—	0
		スコア値	0	0	0	0	0	C	1	1	C	—	
	2013	個体数	1	2	0	2	—	—	8	—	—	—	
		スコア値	0	0	0	1	1	C	1	2	C	—	
	2014	個体数	0	9	0	23	—	—	36	—	—	—	
		スコア値	0	2	0	2	4	A	2	6	A	—	
	2015	個体数	2	0	1	12	—	—	17	—	—	—	
		スコア値	0	0	1	2	3	B	2	5	A	—	
	ほ場⑩	2012	個体数	0	0	0	1	—	—	0	—	—	0
		スコア値	0	0	0	1	1	C	0	1	C	—	
	2013	個体数	1	0	0	2	—	—	2	—	—	—	
		スコア値	0	0	0	1	1	C	0	1	C	—	
平均	個体数	0.7	2.2	0.2	6.7	—	—	12.0	—	—	0		
	スコア値	0.0	0.3	0.2	1.2	1.7	—	1.0	2.7	—	—		

注) 評価のS：生物多様性が非常に高い、A：生物多様性が高い、B：生物多様性がやや低い、C：生物多様性が低いことを示す。

a：ニホンアマガエル、アシナガグモ類、コモリグモ類、水生コウチュウ類と水生カメムシ類の合計の各スコアの合計値。

b：アシナガグモ類、コモリグモ類、水生コウチュウ類と水生カメムシ類の合計、トノサマガエルの各スコアの合計値。

とそれぞれ有機栽培0.3, 慣行栽培0と両者の差は小さく, 多様性の評価に大きな影響を与えていない。これは調査時期を各指標生物がほぼ共通して確認できる7月中下旬の1回にしたことにより, ニホンアマガエルの出現ピークである6月~7月上旬とズレが生じたためと考えられる。このため, ニホンアマガエルに換えて他地域で指標生物として採用されているトノサマガエル(ダルマガエル類)の個体数を用いて指標生物4種類で算出を試みた。その結果, 有機栽培の18事例中16事例でスコア値が1~2点増加し, そのうち10事例では総合評価が1段階向上した。また, 慣行栽培においても6事例中4事例でスコア値が1~2点増加し, そのうち1事例で総合評価が1段階向上した。いずれの栽培法においても多くの個体数を確認できたため, この時期の指標生物としてはトノサマガエルがより適していると考えられる。従来から中干しをしない水田はトノサマガエルなどにとって好適な生息場所になることが示唆されている(篠原, 2007)。慣行ほ場では7月中旬頃から中干しが行われており, このことも有機と慣行の差がさらに大きくなった要因と考えられる。

また, 有機ほ場①は例年トノサマガエルの個体数が多いほ場であるが, 2015年は0頭と激減し, このためスコア合計が3点となり, 総合評価も生物多様性がやや低いB判定となった。原因として, 調査ほ場のうち唯一このほ場が畦畔の保護のため3面を厚い黒ゴムシートで覆っており, この年は調査日を含め前日までの好天で畦畔が高温状態となり, トノサマガエルの生息には不適となったと考えられる。生物多様性の向上には生き物の生息しやすい水田環境の整備, 工法に可能な限り配慮することが必要と考えられる。

コモリグモ類は慣行栽培ほ場の個体数平均0.2頭に比べて有機栽培ほ場の個体数は平均2.4頭と多く, スコア値の平均は慣行栽培0.2に対して有機栽培1.2と有機栽培ほ場の値が高かった。主要種のキバラコモリグモ, キクヅキコモリグモは地表部に多く生息してウンカ, ヨコバイなどの害虫を捕食する徘徊性のクモである(江村ら, 2012)。本研究において慣行栽培ほ場の育苗箱施薬と本田防除で用いられたチオメトキサム,

ジノテフラン, ME P, シラフルオフエン, カルタップなどの殺虫剤はコモリグモ類への影響は低いとされている(日本植物防疫協会 JPP-NETほか)。このため, 有機栽培ほ場と慣行栽培ほ場におけるコモリグモ類の個体数の差は使用された農薬による直接的な影響としては明確に説明しづらい。一方, 化学合成農薬の使用を減らしたことでユスリカ類などエサとなる昆虫類が増えて, 間接的にコモリグモ類など農業に有益な生物が増加することが明らかになっている(小山ら, 2005)。本試験においても, この影響が大きかったと考えられるが, すべてを網羅した生物調査を行うことは困難であり今後の課題である。

アシナガグモ類は慣行栽培の個体数平均2.2頭に比べて有機栽培の個体数は平均19.6頭と多く, スコア値の平均を比較すると有機栽培1.6, 慣行栽培0.3と大きな差が認められた。今回このグループで最も多く採集されたヤサガタアシナガグモは, クモ類の中でも薬剤感受性が高く慣行栽培で使用されたピレスロイド系殺虫剤に影響を受けやすいとされる(田中, 2004)。本試験においても慣行栽培のほ場⑨では本田期の防除でピレスロイド系農薬が使用されており, 造網性でイネ株上部に生息するアシナガグモ類は本田での薬剤散布に影響を受けやすいと考えられ, このことが前述の理由と併せてアシナガグモ類の個体数が少なかった一因と考えられる。

水生コウチュウ類と水生カメムシ類の合計は慣行栽培ほ場の個体数平均6.7頭に比べて有機栽培ほ場の個体数は平均25.2頭と多く, スコア値の平均を比較すると有機栽培1.8, 慣行栽培1.2と有機栽培ほ場の値が高かった。このグループの総個体数はほ場間での差が大きく有機栽培で0~91頭, 慣行栽培で0~23頭であった。有翅の水生コウチュウ類と水生カメムシ類の成虫はほ場間を飛来移動することが容易である。このため使用された薬剤の影響のほか, 水温や水深, 餌の量など調査時期の環境要因が影響している可能性もあり検討が必要である。

トンボの羽化殻調査は2012年に行ったが有機栽培ほ場, 慣行栽培ほ場ともに確認できなかった。ほ場内でヤゴ類の生息は確認できていることから, 調査時期と羽化殻が株上に残っている期間とが一致しなかったと考えられる。降雨や

管理作業の影響,羽化時期など指標化にはさらに検討が必要である。

本調査の結果から,水稲の有機栽培に取り組む水田は慣行栽培の水田に比べて生物多様性が高いことが確認できた。カエルやクモ類などの捕食性天敵は水田での害虫の発生を抑制し,農業生産の面からも利用価値が高い。総合評価の高い水田は害虫の発生しにくい水田であるとともに,その生物相が豊かな環境である。生産者はこの指標を用いることで取り組んでいる『環境農業』の評価を自ら行うことができ,さらなる技術向上を図る指針ともなる。さらに,水生コウチュウ類等を加えた指標生物4種は身近な生き物であり,消費者や生産者にとっても親しみやすく『環境農業』への理解や関心も高めやすいと考えられる。消費者や学童などを対象とした生き物観察会が県内各地で開催されているが,指標生物を用いた評価手法は簡易な用具で行え,高度な専門知識が不要なため,それら交流活動の手段として積極的に活用されることが望まれる。

#### IV 摘要

県内の水稲有機栽培と慣行栽培ほ場において,4種類の指標生物を用いた生物多様性評価を行った。

1. 有機栽培に取り組んだほ場では,生物多様性が非常に高いS判定または高いA判定が多数を占め,慣行栽培ほ場は,生物多様性が低いC

判定が多数を占めた。

2. 7月中下旬にはほ場の生物多様性評価を行う場合は,指標生物としてニホンアマガエルよりもトノサマガエルが適している。

#### 引用文献

- 江村 薫,久保田 栄,平井一男(2012) 田園環境の害虫. 益虫生態図鑑, 338
- 小山 淳,城所 隆,小野 亨(2005) 水田の捕食性天敵類に与える農薬の影響. 宮城古川農試報 5, 31-42
- 篠原 望(2007) 圃場整備がトノサマガエルの生息に及ぼす影響. 香川生物(34), 97-105
- 田中幸一(2004) 天敵大事典. 農文協, 379
- (一社) 日本植物防疫協会(2016) 農薬ハンドブック, 80
- (一社) 日本植物防疫協会 化学農薬の天敵に対する影響情報一覧表.  
<[http://www.jppa.or.jp/tecinfo/ipm\\_3.html](http://www.jppa.or.jp/tecinfo/ipm_3.html)>
- 農林水産省農林水産技術会議事務局.(独) 農業環境技術研究所.(独) 農業生物資源研究所(2012) 農業に有用な生物多様性の指標生物調査. 評価マニュアルⅠ 調査法・評価法, 65pp.
- 農林水産省農林水産技術会議事務局.(独) 農業環境技術研究所.(独) 農業生物資源研究所(2012) 農業に有用な生物多様性の指標生物調査・評価マニュアルⅡ資料, 56pp.

## Summary

Biodiversity was evaluated in organic and conventional paddy fields in Shimane Prefecture based on four types of indicator organisms (frogs, two kinds of spiders, and aquatic beetles) from 2012 to 2015.

1. Comparison of 8 organic and 2 conventional paddy fields showed that organic paddy fields had very high levels of biodiversity, evaluated as grade S (extremely high) to A (high). In contrast, conventional paddy fields showed less diversity, evaluated as grade C (low).
2. When conducting field biodiversity evaluations in late July, the black-spotted pond frog is a more suitable indicator organism than the Japanese tree frog.

## 島根県の有機栽培ほ場における土壌養分の実態

朝木 隆行<sup>1)</sup>・道上 伸宏<sup>1)</sup>

### Measured Soil Nutrients in Organic Cultivation Greenhouses and Fields in Shimane Prefecture

Takayuki Asaki and Nobuhiro Michiue

#### I 緒言

消費者の食への安全・安心指向が強まる中、島根県では2008年に「島根県有機農業推進計画」を定めた。この計画において推進する有機農業は、化学的に合成された肥料及び農薬を使用しないこと並びに遺伝子組み換え技術を利用しないことを基本として、地域資源を有効活用することにより、農業の自然循環機能を大きく増進し、生態系との調和を図るとともに、農業生産に由来する環境への負荷をできる限り低減した農業生産の方法を用いて行われる農業であると定義した。

一般的に有機農業では、「土づくり」として家畜ふん堆肥等の有機物が、また化学合成肥料の代替として有機質肥料が積極的に施用されている。このような施肥管理を行っている有機栽培ほ場の土壌化学性については、特に施設栽培で有効態リン酸や交換性塩基が過剰に蓄積していることが他県から報告されている（青山ら，2013；堀ら，2002；小河，2013；芝ら，2012）。また、土屋（1990）は、土壌養分の蓄積が進行した施設野菜畑において、土壌養分間のアンバランスやpHの変化に起因する要素欠乏あるいは代謝異常による生理障害が数多く見られることを報告している。島根県の有機栽培においても家

畜ふん堆肥や有機質肥料を長期間施用したほ場が多く、土壌養分の過剰な蓄積や養分バランスの乱れが原因と考えられる生理障害の相談件数が増加しており、作物生育への影響が懸念される。これまで農耕地土壌における土壌理化学性のモニタリング調査については様々な形で実施されてきたが、島根県内の有機栽培ほ場における土壌化学性を調査した事例は少ない。そこで、今回、島根県の重点研究プロジェクトとして畑作物の有機栽培支援技術の開発に取り組む中で、島根県内全域の有機栽培ほ場を対象に栽培履歴及び土壌化学性を調査する機会を得たので、その概要を報告する。

#### II 材料及び方法

2012年及び2013年に、有機栽培等の無化学肥料栽培（以下、有機栽培）を行っている島根県内8市町の施設ほ場28地点（27地点は周年ビニール被覆ハウス，1地点は冬季にビニール除去）、露地ほ場15地点，計43地点の現地ほ場を対象に、収穫後または収穫期間中に調査を行った。栽培履歴については、調査ほ場の土壌群，栽培継続年数，堆肥施用量，主に使用している肥料及び栽培品目を聞き取り調査した。土壌化学性分析のための土壌は、ほ場内の6カ所から作土

1) 島根県農業技術センター

を採取した後縮分し、風乾した後 2mm のふるいで篩別したものを pH (H<sub>2</sub>O) , 全炭素, 全窒素, 可給態窒素, 有効態リン酸, 陽イオン交換容量 (以下, CEC) 及び交換性塩基の分析に供試した. 分析は常法 (日本土壌協会, 2001) により行い, pH はガラス電極法 (堀場製作所製 pH メーター F-13) で測定した. 全炭素と全窒素は NC アナライザー (住化分析センター製 NC-900) で測定し, 全炭素の値に係数 1.724 を乗じて腐植含量とした. 有効態リン酸はトルオグ法, CEC はセミミクロシヨールンベルガー法, 交換性塩基は CEC の測定の際に得られた酢酸アンモニウム浸透液を用いてカルシウム (CaO) とマグネシウム (MgO) を原子吸光法, カリウム (K<sub>2</sub>O) を炎光光度法 (日立ハイテクノロジーズ製 Z-2300 及び ZA-3300) により測定した. また, 可給態窒素は 30°C, 4 週間保温静置培養し, 水蒸気蒸留法により定量した.

### III 結果及び考察

最初に, 有機栽培が実践されている調査ほ場の概要及び生産者の栽培履歴について, 聞き取り調査した結果を表 1~5 に示した. 栽培様式別

調査ほ場の土壌群は施設, 露地ともに 7 種類に分類され, 施設では 28 地点のうち 10 地点が灰色低地土, 露地では 15 地点のうち 7 地点が低地水田土と最も多く (表 1), いずれの栽培様式でも水田転換畑で栽培が行われている場合が多かった. 次に, 有機栽培の継続年数をみると, 施設では 1~5 年と 10 年以上のほ場が 13 地点と同数であり, 露地では 1~5 年の地点が最も多かった (表 2). 堆肥施用量と施用時期については, 有機栽培開始時の施用量は, 施設が露地よりも多い場合があり, 中には 10a 当たり 40t 以上も施用されたほ場が 2 地点あった. 一方, 調査時の作付け前では施設, 露地ともに年間 10a 当たり 1~2t の地点が多かった (表 3). また, 作付け時の主な使用有機質肥料は栽培様式に関わらず菜種油かす, 発酵鶏ふん, 市販有機配合肥料であった. このうち施設では菜種油かす, 露地では発酵鶏ふんの利用が最も多かった (表 4). 主な栽培品目をみると, 施設のほとんどで葉菜類の周年栽培が行われており, 3 地点はトマトの単作か葉菜類との輪作であった. 一方, 露地では, 葉菜類をはじめ, 果菜類及び根菜類など多品目が栽培されていた (表 5).

次に, 栽培様式ごとの土壌化学性を表 6 に示

表 1 調査ほ場の土壌群

栽培様式	土壌群 <sup>※</sup> 別地点数			
施設	灰色低地土	10	低地水田土	6
	グライ低地土	5	赤色土	2
	褐色森林土	3	造成土	1
	黒ボク土	1		
露地	低地水田土	7	褐色森林土	2
	褐色低地土	2	灰色低地土	1
	造成土	1	黒ボク土	1
	陸成未熟土	1		

※農耕地土壌分類第3次改訂版

表 2 調査ほ場の有機栽培継続年数

栽培様式	有機栽培継続年数 <sup>※</sup> 別地点数	
施設	1~5年	13
	6~9年	2
	10年以上	13
露地	1~5年	12
	6~9年	2
	10年以上	1

※無化学肥料栽培期間を含む年数

表 3 調査ほ場の堆肥施用量と施用時期

栽培様式	施用時期	10a 当たり施用量 (t/年) 別地点数				
		1未満	1~2	3~5	6~10	40以上
施設	有機栽培開始時	7	7	7	5	2
	調査時 (作付け前)	7	13	3		
露地	有機栽培開始時	9	2	4		
	調査時 (作付け前)	2	4	3		

注 1) 堆肥の種類: 主に牛ふん堆肥, バーク堆肥, 落葉堆肥

注 2) 有機栽培初年目の場合は, 施用時期を有機栽培開始時のみとした

表4 調査ほ場の作付け時における主な使用肥料

栽培様式	主な使用肥料別地点数	
施設	菜種油かす	20
	発酵鶏ふん	16
	市販有機肥料	5
露地	菜種油かす	5
	発酵鶏ふん	11
	市販有機肥料	8
	自家製ぼかし肥料	1

注) 複数回答あり

表5 調査ほ場の主な栽培品目

栽培様式	主な栽培品目別地点数	
施設	葉菜類	25
	トマト+葉菜類	2
	トマト単作	1
露地	葉菜類	7
	ナス、ピーマン	2
	ダイコン、キャベツ	3
	ゴボウ	2
	サツマイモ	1

注) 葉菜類:ホウレンソウ, コマツナ, ミズナ等の軟弱野菜

した. 施設及び露地における分析値をそれぞれ平均値で比べると, すべての項目のうち可給態窒素及び交換性カリウムを除いて, 施設栽培が露地栽培よりも1%水準で有意に高かった. また, 表7に島根県の土壌診断基準値に対する有機栽培ほ場における土壌養分の過不足状態をほ場割合で示した. 施設では腐植及びCECを除き, 土壌化学性の分析値はほとんどのほ場で過剰域にあり, pH(H<sub>2</sub>O)は約8割, また有効態リン酸や交換性塩基含量も6割以上を占めた. 土壌中にこれらの養分が過剰に蓄積する要因としては, 施設では降雨の影響がないため露地より集積する(土屋, 1990)ことや, 主要な栽培品目である葉菜類は年間の栽培回数が多く, これに伴い施肥回数が多くなることで蓄積が助長されることが考えられた. また, 前述したとおり島根県では重粘土の排水性に問題のある水田転換畑で施設栽培が行われている事例が多く, 物理性改良を目的に家畜ふん堆肥が有機栽培開始時に多量に,

そして栽培開始後も毎年継続的に施用されていた. このように生産者の勘に頼った有機物の施用方法が土壌養分の蓄積に大きく影響を及ぼしている可能性がある. さらに, 作物の養分吸収の観点からみると, 作物の養分吸収量と肥料成分の投入量との養分収支がアンバランスな状態であることが考えられた. 西(1996)は, 野菜全体でみた養分吸収量の平均値はカリウム, 窒素, カルシウム, リン酸, マグネシウムの順に多く, 比率で示すとおよそ8:6:4:2:1であると報告している. 施設では家畜ふん堆肥や有機質肥料が多量に施用されており, 土壌へ過剰に蓄積した養分については, 作物の吸収を超える量が投入されたため土壌に残存していると考えられた. 一方, 露地では, すべての項目について適正及び不足域の占める合計の割合が5割以上を占めたが, 有効態リン酸や交換性塩基含量が土壌診断基準値より高いほ場がみられた. 施設と比べて土壌養分が過剰に蓄積しているほ場の割合が少

表6 栽培様式ごとの有機栽培ほ場における土壌化学性

栽培様式	pH	腐植 (%)	CEC (meq/100g)	全窒素 (%)	可給態窒素 (mg/100g)
施設	6.8	6.6	21.3	0.33	8.4
露地	6.1	4.2	14.7	0.21	7.4
有意性	**	**	**	**	ns

栽培様式	有効態リン酸 (mg/100g)	交換性塩基 (mg/100g)			塩基飽和度 (%)
		カルシウム	マグネシウム	カリウム	
施設	171	601	122	52	131
露地	40	221	40	32	74
有意性	**	**	**	ns	**

注1) 値は乾土あたり

注2) 有意性 (t検定): \*\*は1%水準で有意差あり, nsは有意差なし

表7 島根県の土壌診断基準値に対する有機栽培ほ場における土壌養分の過不足状態

栽培様式	土壌化学性	島根県の土壌診断 基準値	ほ場の割合 (%)		
			不足	適正	過剰
施設	pH (H <sub>2</sub> O)	6.0~6.5	0	21	79
	腐植	3%以上	0	100	0
	CEC	15meq/100g以上	7	93	0
	有効態リン酸	10~100mg/100g	4	36	61
	交換性カルシウム	200~300mg/100g	4	18	79
	交換性マグネシウム	20~40mg/100g	0	7	93
	交換性カリウム	15~30mg/100g	14	18	68
	塩基飽和度	70~90%	7	11	82
露地	pH (H <sub>2</sub> O)		33	47	20
	腐植		27	73	—
	CEC		73	27	—
	有効態リン酸	(同上)	13	80	7
	交換性カルシウム		67	20	13
	交換性マグネシウム		13	60	27
	交換性カリウム		20	40	40
	塩基飽和度		47	27	27

注) 島根県の土壌診断基準値：野菜畑葉菜類、非火山灰土、壤~粘質土の値（露地慣行栽培）

ない要因は、降雨による養分の流亡に加えて、調査地点の多くが栽培継続年数5年以下であり、年間作付け回数が限られるため家畜ふん堆肥や有機質肥料の施肥量が施設に比べて少なかったことも要因の一つと考えられた。

次に、栽培継続年数と土壌養分の蓄積の関係を明らかにするため、施設及び露地における有機栽培継続年数の違いが土壌化学性に及ぼす影響を図1、2に示した。施設で有機栽培継続年数を5年目で区分した場合の平均値を比べると、すべての項目で有意差は認められなかったものの、有効態リン酸、交換性カルシウム及び交換性マグネシウムは、継続年数が長いほど土壌中に過剰に蓄積する傾向がみられた。これらの養分は一般的に作物の吸収量が少ないことに加えて、作付けごとに肥料が施用されるため、年々養分が蓄積すると考えられた。また、聞き取り調査では生育促進を目的に苦土肥料を過剰に施用していることが明らかとなっており、このことが5年以下のほ場においても交換性マグネシウムが蓄積している要因の一つとして考えられた。一方、交換性カリウムは逆に6年以上の方が低くなり、他の交換性塩基に比べて異なる傾向を示した。これは作物が吸収するカリウムが他の養分に比べて多いことと、カリウム含有量の少な

い菜種油かすが主に用いられていることが原因と考えられた。図1に示した露地の場合では、腐植、CEC及び交換性カルシウムは6年以上の方が、逆に可給態窒素、有効態リン酸、交換性マグネシウム及び交換性カリウムは5年以下のほ場で高い傾向があった。これに伴い塩基飽和度も5年以下のほ場が6年以上よりも高くなり、栽培年数の少ない地点で土壌養分が多い結果となった。露地については、栽培継続年数が6年以上の調査ほ場が少なく、無肥料栽培のほ場も含まれており、土壌養分の蓄積と栽培継続年数との関係を明確にするためには、今後さらに調査地点数を増やす必要があると考えられた。しかし、露地においても5年以下の短期間のうちに土壌診断基準値を大きく上回る実態が明らかになっており、現在は適正域にあるほ場でも今後作付けを続けることで有効態リン酸や交換性塩基が過剰に蓄積する可能性があることから、有機栽培開始時から土壌養分を蓄積させない施肥設計を継続して行う必要があると考えられた。

以上のように、島根県内の有機栽培ほ場では、施設を中心に家畜ふん堆肥や有機質肥料の連用年数や施肥量、また養分収支のアンバランスにより土壌養分が過剰に蓄積している実態が明らかとなった。藤本ら(2015)は、2012~2013年

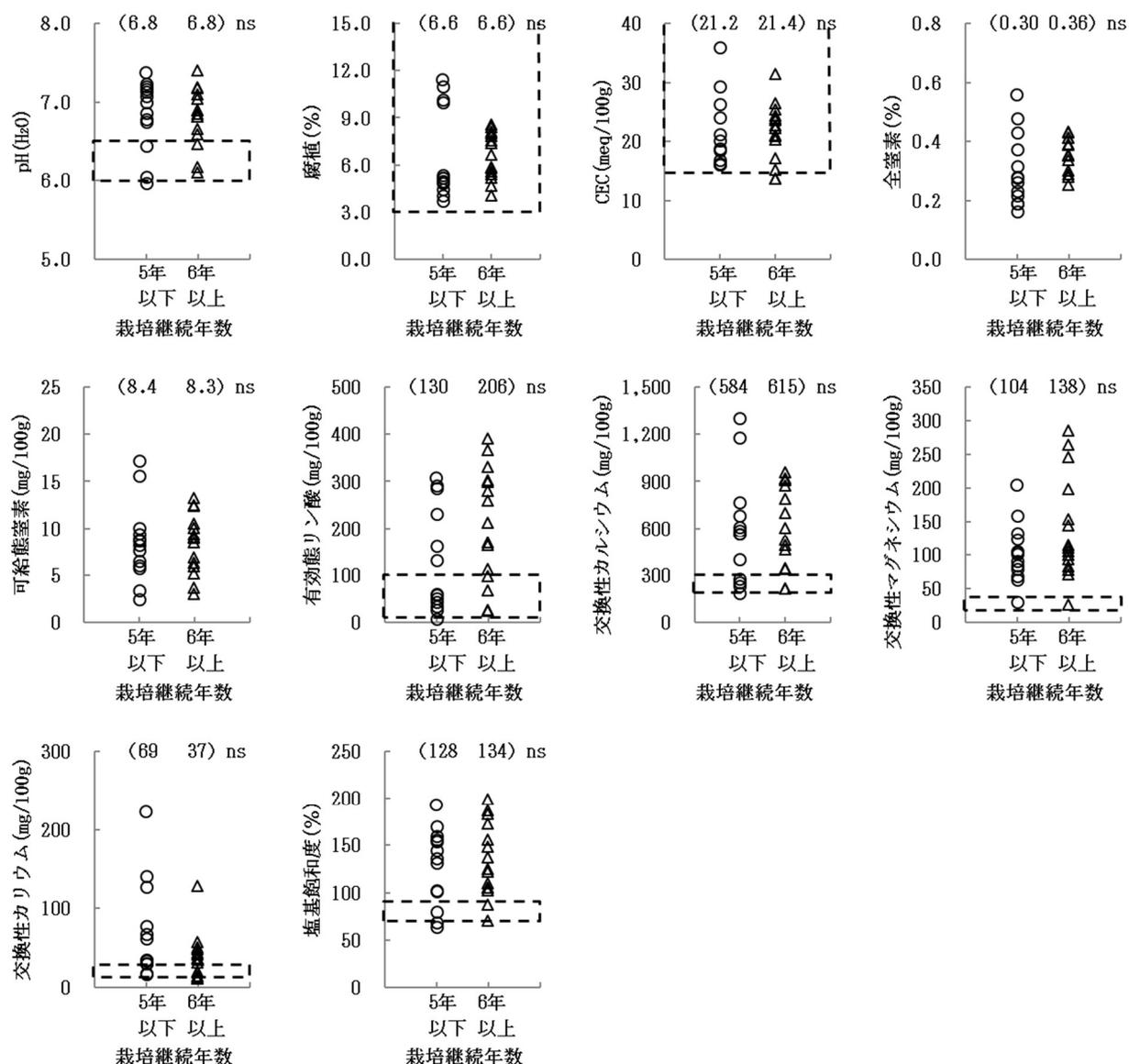


図1 施設における有機栽培継続年数の違いが土壌化学性に及ぼす影響

注1) 各図上部の括弧内の数字は平均値、nsはt検定による有意差なし

注2) 点線枠は島根県の土壌診断基準値(野菜畑葉菜類、非火山灰土、壤～粘質土、露地慣行栽培)

注3) 全窒素及び可給態窒素は基準値なし

に島根県内で生産された家畜ふん堆肥の現物当たりの成分含有量について、牛ふん堆肥を例にみると、20年前と比べて窒素全量は2.7倍、りん酸全量は1.8倍、加里全量は4.1倍となっており、その原因として1999年の家畜排せつ物法制定により野積み堆肥が禁止されたため肥料成分の流亡が少なくなったことや戻し堆肥の利用が増えたことなどが報告されている。このことから、現在の施肥体系により含有養分の高い家畜糞堆肥の施用を続けると、土壌への養分

蓄積がさらに早まると予想される。土壌養分を過剰に蓄積させないためには、有機質肥料に含まれる成分含量が一律でないことや肥料効果の大小などの特徴を適切に把握するとともに、過剰な投入量を避け、土壌分析結果や作物吸収に対応した施用量の決定が求められる。

なお、本調査においては、6年以上栽培が経過したほ場でも、土壌養分が過剰に蓄積していない事例も認められており、有機栽培で施肥管理を行う際の興味深い知見として、継続的に調査

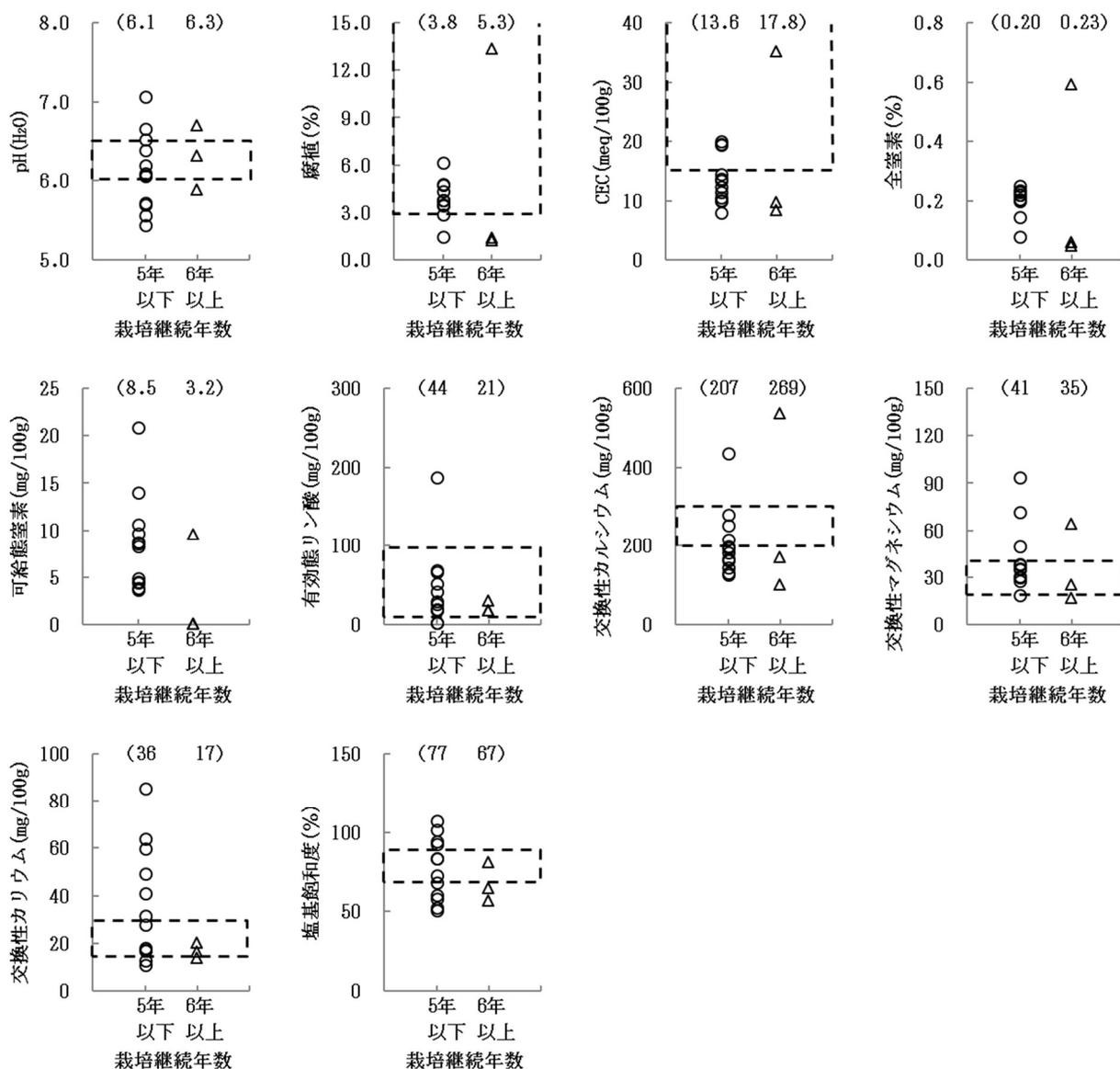


図2 露地における有機栽培継続年数の違いが土壌化学性に及ぼす影響

注1) 各図上部の括弧内の数字は平均値

注2) 点線枠は島根県の土壌診断基準値(野菜畑葉菜類、非火山灰土、壤~粘質土、露地慣行栽培)

注3) 全窒素及び可給態窒素は基準値なし

していく必要がある。

#### IV 摘要

有機栽培では、家畜ふん堆肥や有機質肥料が継続的に利用されることが多く、土壌養分の蓄積や塩基バランスの悪化が懸念される。そこで、島根県内全域を対象に施設及び露地の有機栽培ほ場(無化学肥料栽培を含む)において土壌化学性の実態調査を行った。

1. 有機栽培ほ場における土壌化学性を栽培様

式の違いで比較すると、いずれの項目とも施設が露地よりも高い傾向を示した。これは堆肥の施用量が多いことや葉菜類の周年栽培のため施肥回数が多いことが原因であると考えられた。

2. 島根県の土壌診断基準値と比較すると、施設では、有効態リン酸や交換性塩基が過剰であるほ場が6割から9割を占めた。露地は施設と比べてその割合は少なかったが、一部のほ場では施設と同様に過剰であった。

3. 栽培年数の経過が土壌養分状態に与える影

響について栽培継続年数5年以下と6年以上を比べると、施設土壌の有効態リン酸、交換性カルシウム及び交換性マグネシウムは6年以上の方が多く、継続年数が長いほど土壌中に蓄積する傾向があった。

#### 引用文献

- 青山正和・木村智志・野呂拓未(2013) 有機栽培期間の異なる野菜畑土壌の理化学性. 土肥誌 84, 21-29.
- 藤本順子・岡本 敏・仲谷敦史・朝木隆行・荒木卓久・道上伸宏(2015) 島根県における牛ふんたい肥中成分含量の実態. 土肥要旨集 61, 140.
- 堀 兼明・福永亜矢子・浦嶋泰文・須賀有子・池田順一(2002) 有機栽培農家圃場の土壌実態. 近中四農研報 1, 77-94.
- 西 貞夫(1996) 野菜園芸ハンドブック. 養賢堂, 199-202.
- 小河 甲(2013) 兵庫県下における有機農業の実態調査結果による葉物野菜品質向上のための土壌管理. 兵庫農技総セ研報(農業) 61, 26-32.
- 島根県(2013) 島根県有機農業推進計画.
- 芝 宏子・荒木有朋・赤井直彦・土倉義夫・石橋英二(2012) 施設有機栽培圃場における養分集積の実態と有機質資材施用量の削減が土壌化学性に及ぼす影響. 土肥誌 84, 285-292.
- 土屋一成(1990) 農業資材多投に伴う作物栄養学的諸問題1—野菜および畑作物の要素過剰の実態. 土肥誌 61, 98-103.
- 財団法人日本土壌協会(2001) 土壌機能モニタリング調査のための土壌、水質及び植物体分析法. 33-80.

## Summary

Organic cultivation involves frequent application of livestock compost manure and organic fertilizer, raising concerns of excessively accumulated soil nutrients and loss of base balance. We investigated actual conditions of chemical components in of greenhouse and field soil used for organic cultivation (including cultivation with non-chemical fertilizer) in Shimane Prefecture.

1. Comparison of soil chemical components in organic cultivation fields with different cultivation methods showed that greenhouse soil had higher levels of chemical components compared to field soil in all evaluated items. This is considered due to a larger application of compost and more frequent fertilizer application during year-round greenhouse cultivation of leafy vegetables.

2. Compared to soil diagnostic standard values in Shimane Prefecture, from 60 to 90% of greenhouse soil had excessive available phosphoric acid and exchangeable base. While field soil ratios were smaller than those of greenhouse soil, some field soil showed excessive values similar to greenhouse soil.

3. A check of the influence of accumulated cultivation years on soil nutrient condition showed that the levels of available phosphoric acid, exchangeable calcium, and exchangeable magnesium in greenhouse soil were greater in fields cultivated for over 6 years compared with those cultivated for 5 years or less. The longer the continuous cultivation period, the greater the accumulation of soil nutrients.

## カキ ‘西条’ における樹上軟化発生率の系統間比較と気象要因との関係

大畑 和也<sup>1)</sup>・川上 裕也<sup>2)</sup>・倉橋 孝夫<sup>3)</sup>・持田 圭介<sup>3)</sup>・中務 明<sup>4)</sup>・板村 裕之<sup>4)</sup>

Relationship between Incidence of On-tree Fruit Softening and Weather Conditions:  
Comparison of Early-Ripening and Late-Ripening Japanese Persimmon ‘Saijo’ Strains

Kazuya Ohata, Yuya Kawakami, Takao Kurahashi, Keisuke Mochida,  
Akira Nakatsuka and Hiroyuki Itamura

### I 緒 言

カキ ‘西条’ は主に中国地方で栽培されている完全渋柿であり、島根県の栽培面積が最も大きい(農林水産省, 2015)。ドライアイス脱渋果実は、果肉が緻密で糖度が高く、瀬戸内、関西および北九州方面へ主に出荷されている。近年は生食用だけではなく、干し柿(あんぼ柿および枯露柿)加工後に出荷される割合も増加している(島根県, 2017)。

一方、‘西条’には多くの系統が存在し、10月上旬から収穫される早生系と10月下旬以降に収

穫される普通系に大別される(持田, 2010)。早生系、普通系ともに、収穫前に果実が未熟状態で軟化や落果する樹上軟化が発生する(図1)。多発した場合には、50%以上の被害を受ける樹もあることから、生産量や出荷量の大きな減少に繋がる。同様の現象は‘西条’以外にも‘西村早生’、‘伊豆’、‘太秋’で報告されている(千々和ら, 2003a, b; 加久ら, 2013)。樹上軟化の原因は、強風による葉や枝などの果実への擦れ、ヘタムシなどによる直接被害、台風や落葉病などによる早期落葉で樹勢が低下した場合と果実内エチレン生成量の増加した場合に区別される



図1 ‘西条’における樹上軟化した果実と落果の様子

- 1) 島根県農業技術センター栽培研究部果樹科 (現在, 資源環境研究部特産開発科)
- 2) 島根県農業技術センター栽培研究部果樹科 (現在, 西部農林振興センター大田支所)
- 3) 島根県農業技術センター栽培研究部果樹科
- 4) 島根大学生物資源科学部

(持田・板村, 2007). 後者の場合, 果実内エチレン濃度は収穫直前に高くなることが明らかとなっている(竹下ら, 1996・松本ら, 2007). また, 樹上軟化は系統間で発生程度に差異があることや果実肥大第Ⅱ期以降(7~9月)に降雨の多い年に多発することが経験上指摘されているが(持田・板村, 2007), 早生系および普通系を含む複数系統における樹上軟化の発生を複数年に渡って詳細に調査した事例はない。

そこで, 本研究では, 枝変わりを含む早生系および普通系‘西条’における複数のサブ系統について, 同一樹を用いた樹上軟化発生の年次変動および系統間差を調査し, 両系統における樹上軟化発生と気象要因との関係について解析を行った。さらに, 樹上軟化発生と加工用原料果の冷蔵条件下での貯蔵性との関係についても考察を試みた。

本研究の遂行にあたり, 樹上軟化調査を協力していただいた栽培研究部果樹科主任田中昌作氏に感謝の意を表す。本研究の一部は生物系特定産業技術研究支援センターが実施する「革新的技術開発・緊急展開事業(うち地域戦略プロジェクト)」の支援を受けて実施した。

## II 材料および方法

供試樹として島根県農業技術センター(以下, 当センター)栽培研究部果樹科栽植の早生系‘西条’10系統21樹(台木:ヤマガキ実生)および普通系‘西条’5系統19樹(台木:‘西条’中間台)を用いた。早生系で用いた系統および反復数は, “恩田早生”系3樹, “古藤”系1樹, “奥1”系2樹, “奥2”系2樹, “奥3”系2樹, “鳥取NO.2”系2樹, “鳥取NO.7”系2樹, “Bわい性”系2樹, “山坂”系1樹および“遠藤”系4樹であった。普通系では, “石橋”系4樹, “富士本”系4樹, “藤本”系4樹, “森廣変異”系4樹および“門田”系3樹であった。調査は2014~2017年の4年間行い, 試験開始時の早生系の樹齢は13年生, 普通系は高接ぎ8年生であった。栽培管理は島根県果樹栽培指針および病害虫防除暦に準じ, 摘蕾は5月上旬に1新梢1蕾とし, 摘果は7月中旬および8月上旬の2回, 葉果比20程度となるように行った。

かん水は夏季(7~9月)を中心に3~4日間降雨がなかった場合にスプリンクラーで20mm程度行った。土壌管理は草生栽培とし, 多孔質シート等は敷設しなかった。収穫は果面全体が着色し, 果底部の果皮色が‘西条’用カラーチャート値で7以上に達した果実から適宜行った。収穫後の果実形状および4条溝の深さは, 2Lサイズ(170~200g)の果実を中心に目視での観察で行った。

各樹の樹上軟化および落果数は毎年9月上旬から収穫終了時まで2~5日間隔で調査し, 総樹上軟化果実数を全着果数で除して樹上軟化発生率を算出した。軟化果実は果実の一部または全体が図1のように軟熟したものおよび軟熟後に落果したものとした。早生系および普通系‘西条’の樹上軟化発生率はそれぞれ21樹および19樹の平均値とした。また, 本研究期間において落葉病やヘタムシ等の果実落果に関係する病害虫は顕在化しなかったことから, 本報の樹上軟化は果実内エチレン生成量の増加に起因するものとした。さらに, 当センター内に設置された松江地方気象台出雲観測所のアメダスデータを用いて, 樹上軟化発生と降水量および気温との関係について解析を行った。気温は旬別の平均気温とした。早生系および普通系‘西条’の平均果重は, 各樹における収穫量を収穫個数で除した後, それぞれ21樹および19樹の平均値とした。統計解析にはエクセル統計2015(社会情報サービス社製)を用いた。

## III 結果

### 1. 各系統の収穫時期と果実の形状

早生系における収穫時期は, 最も早い“恩田早生”で10月上旬から始まり, 他の系統では10月中旬からであった。中でも本県主力系統である“山坂”および“遠藤”の収穫時期は10月中旬~11月中旬までであり, 他の系統と比較してやや遅いととも収穫期間が長かった。また, 普通系の収穫時期は全系統で11月上旬からであり, 系統間による差はなかった(表1)。

各系統の果実の形状を表1および図2に示した。早生系では, “恩田早生”が扁平, “古藤”および“山坂”が砲弾形, “奥1”が長砲弾形, 他の系統が方円形であった。目視による観察で,

表1 供試した早生系および普通系‘西条’系統の果実形状と収穫期（2014～2017）

早晩性	果実型 <sup>2</sup>	系統名	果実形状	収穫期
早生系	-	恩田早生	扁平	10月上～下旬
	B型	古藤	砲弾形	10月中～下旬
	B型	奥1	長砲弾形	10月中～下旬
	B型	奥2	方円形	10月中～11月上旬
	B型	奥3	方円形	10月中～11月上旬
	B型	鳥取NO.2	方円形	10月中～11月上旬
	B型	鳥取NO.7	方円形	10月中～11月上旬
	B型	Bわい性	方円形	10月中～11月上旬
	B型	山坂	砲弾形	10月中～11月中旬
	B型	遠藤	方円形	10月中～11月中旬
普通系	出雲型	石橋	卵形	11月上～中旬
	出雲型	富士本	卵形	11月上～中旬
	出雲型	藤本	卵形	11月上～中旬
	出雲型	森廣変異	卵形	11月上～中旬
	石見型	門田	長砲弾形	11月上～中旬

<sup>2</sup> 果実型は持田（2010）の分類による。-は現地で発見された枝変わり。

4条溝はいずれの系統も深く、“Bわい性”および“遠藤”で特に深かった。普通系では、“門田”が長砲弾形、他の系統は卵形であり、4条溝はいずれの系統でも浅かった。

## 2. 樹上軟化発生率の年次変動と降水量および気温との関係

2014～2017年における系統別樹上軟化発生率を表2に示した。4年間の平均樹上軟化発生率

表2 早生系および普通系‘西条’における年次別樹上軟化発生率<sup>2</sup>（2014～2017）

年次	系統	樹上軟化発生率（%）	
		各系統	平均
2014	早生	30.1	34.7 a <sup>x</sup>
	普通	39.9	
2015	早生	18.9	31.2 ab
	普通	44.9	
2016	早生	12.0	20.1 b
	普通	29.1	
2017	早生	20.9	22.9 ab
	普通	25.1	
平均	早生	24.8	27.2
	普通	34.6	
有意性 <sup>y</sup>		年次	**
		系統	**
		年次×系統	ns

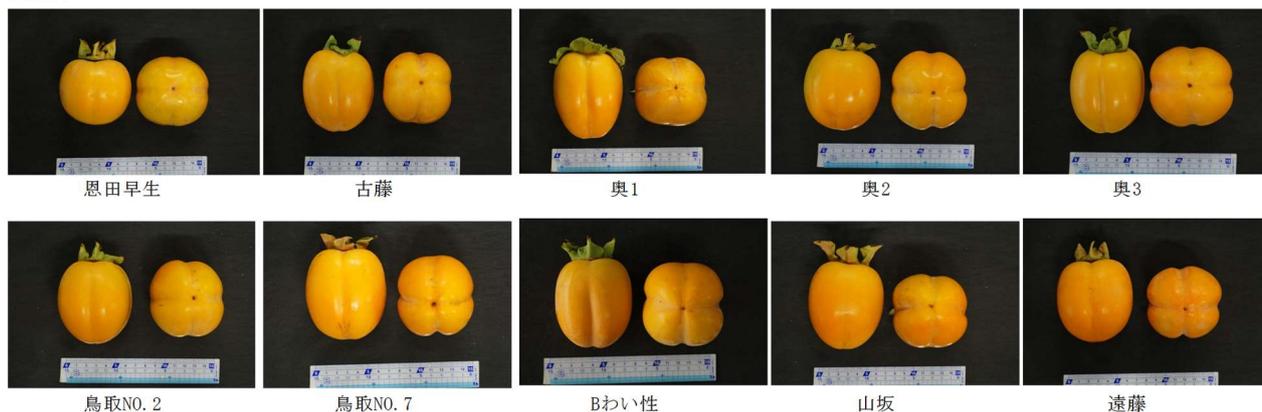
<sup>2</sup> 樹上軟化発生率は早生10系統21樹、普通5系統19樹の平均値

<sup>y</sup> アークサイン変換後の二元配置分散分析において、\*\*は1%水準で有意差あり、nsは有意差なし

<sup>x</sup> アークサイン変換後のTukey-Kramerの多重検定において、異符号間に5%水準で有意差あり

は早生系で24.8%、普通系で34.6%であり、早生系で低かった。年次別の樹上軟化発生率は、2014年および2015年でそれぞれ34.7%および31.2%と高く、2016年では20.1%、2017年では22.9%となり、年次変動が確認された。なお、早

早生系



普通系



図2 早生系および普通系‘西条’サブ系統における果実形状

生系および普通系それぞれでも樹上軟化発生率に年次変動が認められた。

両系統の樹上軟化発生率と8～10月の降水量との関係を図3に示した。早生系は9月上中旬に5%水準で有意な負の相関関係( $r=-0.969$ )が、8月上中旬とは正の、9月中下旬とは負の関係が認められた。一方普通系では、9月下旬～10月上旬と5%水準で有意な負の相関関係( $r=-0.984$ )が認められた。また、9月中下旬および10月上旬とも負の関係が認められた。

両系統の樹上軟化発生率と8～10月の平均気温との関係を図4に示した。早生系では、平均気温が高くなると樹上軟化発生率が低くなる傾向がみられた。普通系では8月中下旬に5%水準で有意な負の相関関係( $r=-0.957$ )が認められ、他の時期においても平均気温が高くなると樹上軟化発生率が低くなる傾向であった。

#### IV 考察

カキ‘西条’における樹上軟化の発生は、減収や出荷果実の秀品率および可販果率の低下などを招くことから、生産者の農業所得に大きく影響する。そのため、樹上軟化の発生要因およびメカニズムを解明し、その軽減対策を確立することは喫緊の課題である。また、樹上軟化の発生を推定することができれば、精度の高い出荷計画の作成およびその修正も可能であると考えられる。

まず、樹上軟化発生と系統間差についてみると、調査を行った4年間における樹上軟化発生率について、早生系は平均24.8%であり、普通系での平均34.6%と比較して低いことが明らかとなった。各年次においても、早生系の樹上軟化発生率は普通系と比較して低くなっており、持田ら(2008)の報告と同様であった。さらに早生系、普通系ともに樹上軟化の発生程度にはサブ系統間差があり、本県優良系統の選抜指標の1つとなっている。

また、樹上軟化の発生には年次変動があることが指摘されており、本研究においても年次変動が認められた(表2)。2014年および2015年は樹上軟化多発生年、2016年および2017年は樹上軟化少発生年であった。このように‘西条’

の樹上軟化発生には年次変動があることが明らかとなり、梅野ら(2009)の1995～1998年および持田・板村(2007)の2002～2003年の報告と同様であった。

こうした樹上軟化発生の年次間差には気象条件が大きく影響していると考えられ、2014～2017年の4ヵ年について検討した。まず、旬別の降水量との関係についてみると、早生系の樹上軟化発生率は、8月上中旬および中下旬の降水量とは正の相関を示した一方で、収穫開始1ヶ月前の9月の降水量とは負の相関関係がみられ、特に9月上中旬の降水量との間には高い負の相関関係が認められた。また、普通系では9月上旬までは降水量が多いほど樹上軟化の発生は多くなった。しかし、その後は一転して9月中旬～10月中旬の降水量が多いほど樹上軟化の発生は少なくなり、特に9月下旬～10月上旬の降水量との間には高い負の相関関係が認められた(図3)。持田・板村(2007)は島根県西部の益田市において早生系‘西条’を用いて同様の調査を2年間行い、8月の降水量が多く、9月中に晴天が続くと樹上軟化が発生すると報告しており、本研究と同様であった。さらに土壌の乾湿の変動が大きいと細根の活性が低下し、果実内エチレン生成量が増加することで、樹上軟化が発生しやすくなると考察している。このように、‘西条’の樹上軟化発生は降雨の影響が大きく、早生系および普通系の樹上軟化発生程度は、それぞれ収穫1ヶ月前の9月上中旬および9月下旬～10月上旬における降水量から推定できることが示唆された。また、この時期の多雨が樹上軟化発生に抑制的に作用していることから、かん水の重要性が改めて想起された。持田・板村(2007)は多孔質シートマルチを敷設することで土壌水分の乾湿変化が少なくなり、樹上軟化発生率が低くなる傾向としている。樹上軟化の発生を抑制するためには、本研究を行ったほ場のように定期的なかん水による土壌水分の変化を少なくする必要があるといえる。さらに、図3に示したとおり、この期間に降水量が100mm以下になると樹上軟化発生の危険性が高まると考えられた。

次に、樹上軟化の発生と旬別平均気温との関係について検討した。早生系および普通系とも

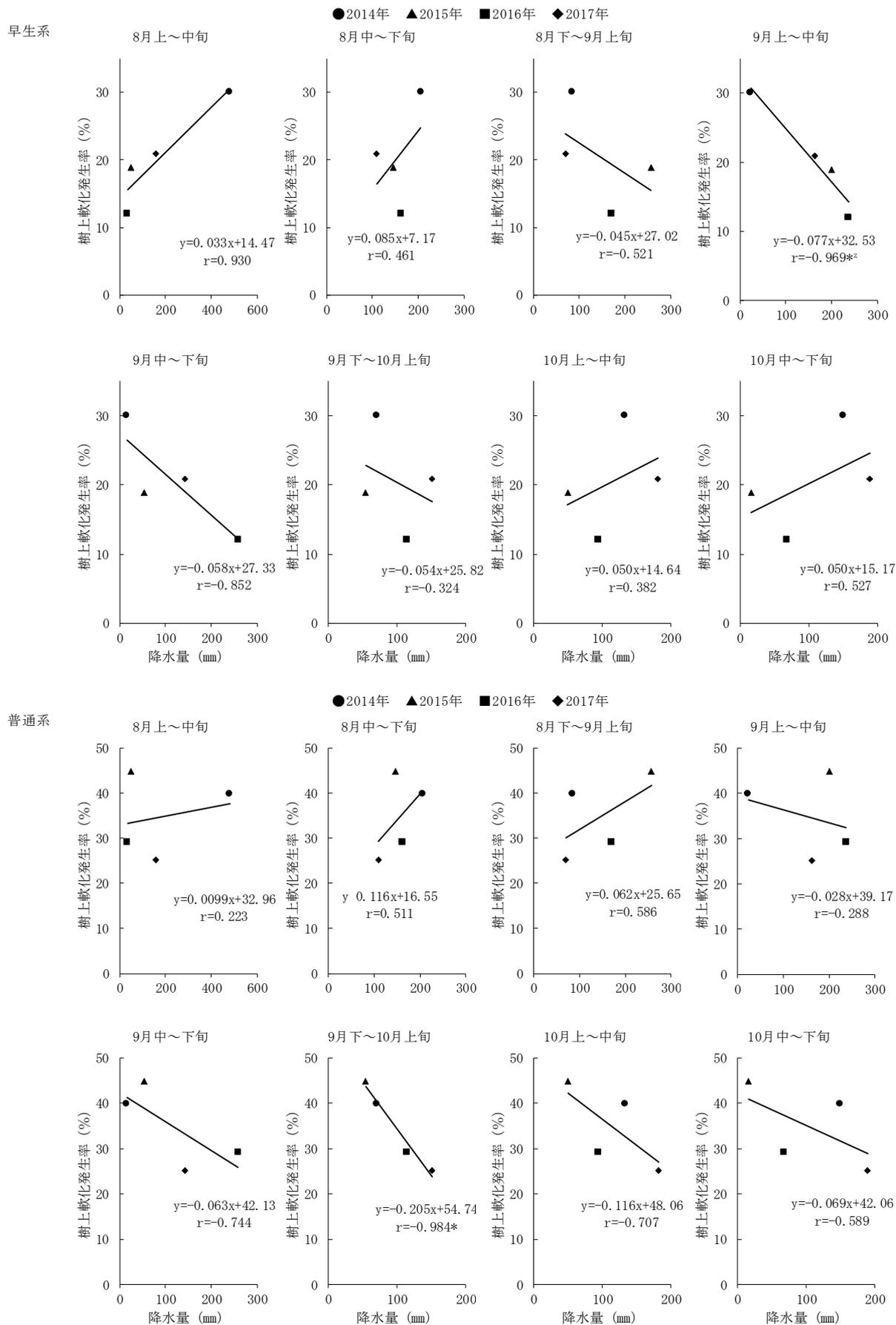


図3 早生系および普通系‘西条’における樹上軟化発生率と旬別降水量の関係 (2014～2017)

<sup>2</sup> \*は5%水準で相関関係あり

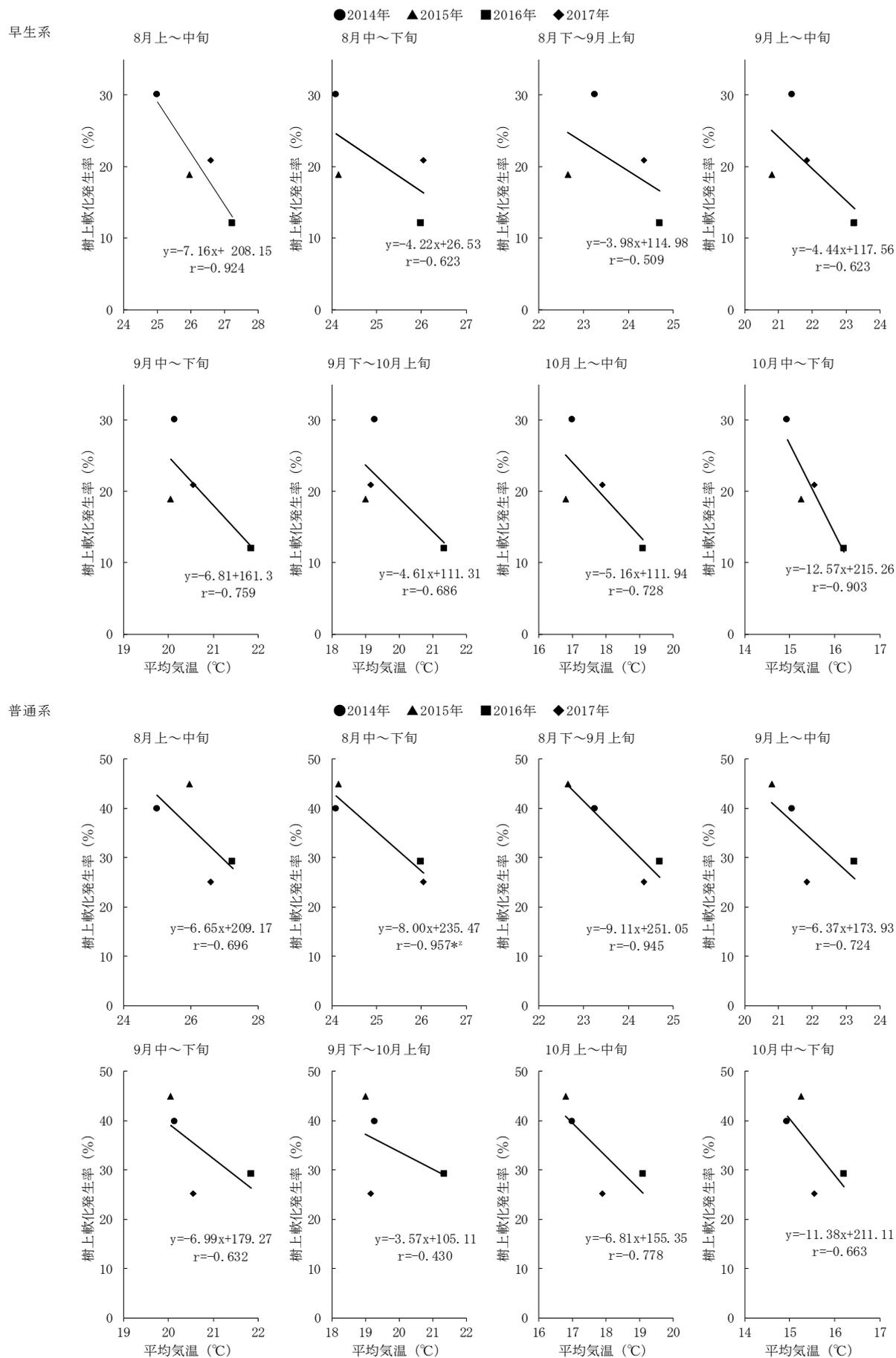


図4 早生系および普通系「西条」における樹上軟化発生率と旬別平均気温の関係 (2014~2017)

\*は5%水準で相関関係あり

に、8月以降の平均気温が高くなると樹上軟化の発生が減少した(図4). 中條(1982), 新川ら(2014)は, ‘富有’は夏季の高温(平均気温23℃以上)によって第Ⅱ期の肥大が停滞し, 着色が遅れるとともに果実が小玉傾向になると報告している. ‘西条’でも2014~2016年において夏季(8月)の気温が高い場合に果実が小玉傾向になり(図5-A), 樹上軟化の発生が抑制された(図5-B). このことから, 夏季に果実肥大が抑制されると樹上軟化の発生を減少すると考えられた. しかし, 2017年のように夏季の気温が高い年次においても早生系では収穫期間中の, 普通系では収穫直前の, 10月の降水量が300mm以上となり他の3年間と比較して100mm以上多くなると, 果実の後期肥大による果実重増加となり, 2014~2016年のような果実重と樹上軟化発生率の関係と一致しない場合もあった. 今後, 樹上軟化発生率と降水量および気温との関係について詳細な検討をする余地がある.

最後に樹上軟化発生と加工用原料果の日持ち性について考察する. 島根県では‘西条’の干し柿(あんぽ柿および枯露柿)生産が伸びてきており, その加工用原料果の確保と冷蔵条件下での貯蔵が課題となっている. 加工用原料果の貯蔵は10月中旬~12月上旬に行われているが, 貯蔵中の軟化等による廃棄率を低減させる必要がある. ‘西条’果実は4条溝があることが特徴であり, 早生系では深く, 普通系で浅い(図1). そのため, 加工に適するのは普通系であるが, 加工原料果の貯蔵性は早生系で優れている. 川上ら(2018)によると, 早生系の加工用原料果の冷蔵条件下での貯蔵日数は2017年と比較して2016年で長く, 普通系では逆となっている. 本報告では, 早生系の樹上軟化発生率は2017年と比較して2016年で低く, 普通系では逆となっており(表2), 加工用原料果の貯蔵性と樹上軟化の発生程度との間には一定の関連性があると考えられた. しかしながら, 加工用原料果の

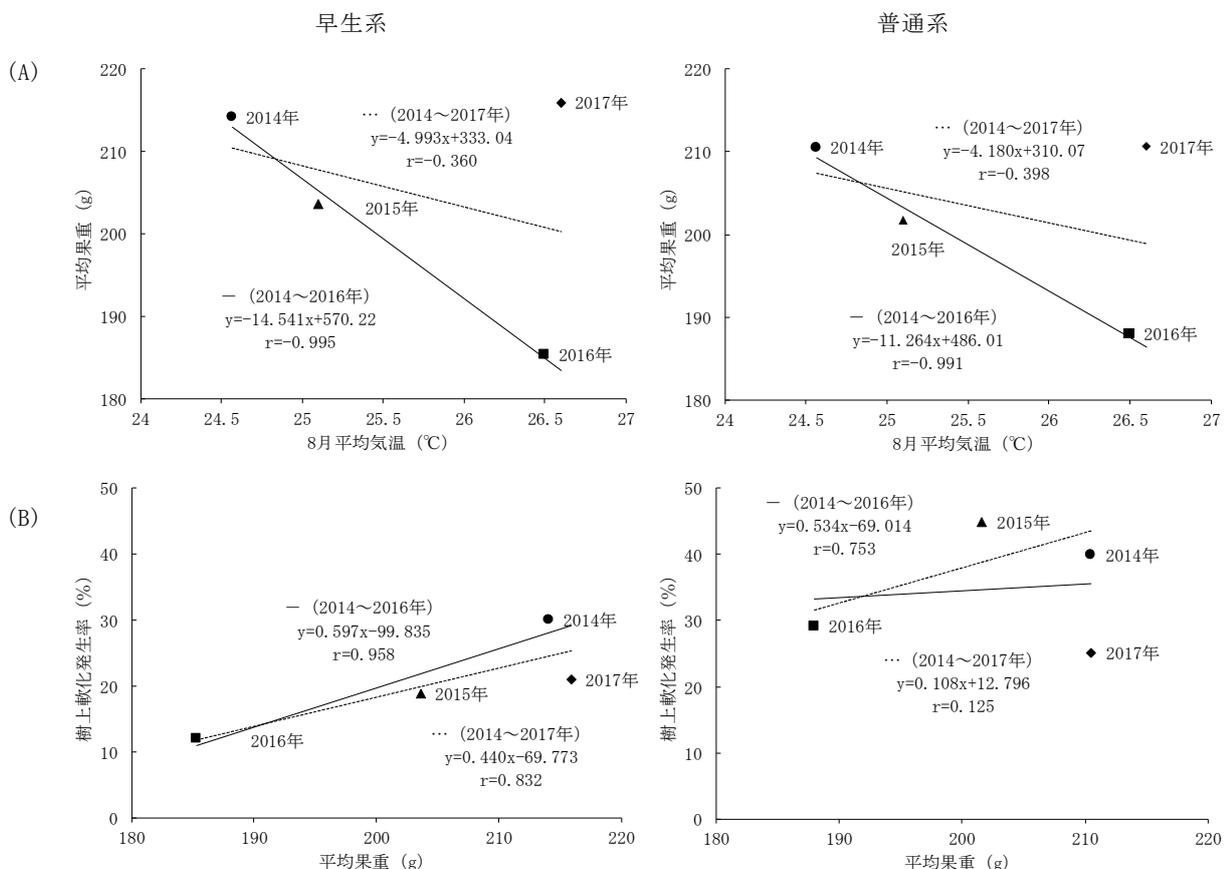


図5 早生系および普通系‘西条’における (A)8月平均気温と平均果重および (B)平均果重と樹上軟化発生率との関係 (2014~2017)

貯蔵性には収穫直前の降雨が影響する可能性がある。今後、加工用原料果の冷蔵条件下での貯蔵性と樹上軟化発生および収穫直前の降雨との関連性について検討する必要がある。

## V 摘要

カキ‘西条’の早生系10系統および普通系5系統を用いて、樹上軟化発生の年次変動および系統間差を調査した。2014～2017年の4ヵ年において、2014年および2015年は樹上軟化多発生年、2016年および2017年は少発生年となり、年次変動が確認された。また、樹上軟化の発生は早生系と比較して普通系で多かった。次に、樹上軟化発生率と気象要因との関係については、早生系は9月上～中旬の降水量と、普通系は9月下旬～10月上旬の降水量との間に5%水準で負の相関関係（それぞれ $r=-0.969$ ,  $r=-0.984$ ）が認められた。このことから、早生系および普通系‘西条’の樹上軟化発生程度は、収穫1ヶ月前の9月上旬から10月上旬の降水量から推定できることが示唆された。また、早生系および普通系の樹上軟化発生は8月以降の平均気温が高くなると減少する傾向であり、特に普通系の樹上軟化発生は8月中～下旬の平均気温との間に5%水準で負の相関関係（ $r=-0.975$ ）が認められた。

## 引用文献

- 千々和浩幸・林公彦・巢山拓郎・牛島孝策(2003a) カキ「西村早生」のへたスキ・果芯黒変が軟熟果の発生に及ぼす影響。九州沖縄農研成果情報 18, 281-282.
- 千々和浩幸・牛島孝策・林公彦(2003b) カキ‘伊豆’における結実管理時期の違いがへたの発育ならびにへたスキの発生に及ぼす影響。園学雑 72 (別2), 134.
- 中條利明(1982) 富有カキ果実の発育ならびに品質に及ぼす温度条件に関する研究。香川大農学部紀要 24, 1-63.
- 加久るみ子・杉谷将洋・大崎伸一(2013) 熊本県におけるカキ‘太秋’の早期軟化果実の発生実態と成熟特性。熊本農研セ研報 20, 45-51.
- 川上裕也・大畑和也・高橋利幸・三島晶太・持田圭介・安田雄治・倉橋孝夫・櫻井直樹・中務明・板村裕之(2018) カキ‘西条’における貯蔵性の系統間差および非破壊軟化診断法の検討。園学研 17 (別1), 257.
- 松本敏一・板村裕之・倉橋孝夫・牧慎也・松本真悟(2007) カキ‘西条’における環状剥皮、摘葉、湛水処理が果実の樹上および収穫後軟化に及ぼす影響。園学研 6(1), 119-123.
- 持田圭介(2010) カキ‘西条’早生系統における生理的ならびに栽培的観点からの系統間比較と生理障害防止対策に関する研究。島根農技研報 40, 1-58.
- 持田圭介・板村裕之(2007) カキ‘西条’における樹上軟化発生の原因と早生系統間差。園学研 6(1), 97-103.
- 持田圭介・倉橋孝夫・梅野康行・板村裕之(2008) Mnの土壌施用とpH調整によるカキ‘西条’の樹上軟化防止効果。園学研 7(1), 33-38.
- 新川 猛・鈴木哲也・尾関健・西垣孝(2014) カキ‘富有’における夏秋季の気温低下と果皮の着色との関係。園学研 13(1), 59-65.
- 農林水産省(2015) 平成27年産特産果樹生産動態等調査。 [http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/tokusan\\_kazyu/index.html](http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/tokusan_kazyu/index.html)
- 島根県(2017) 島根県果樹振興計画。 [https://www.pref.shimane.lg.jp/industry/norin/seisan/engei\\_shinkou/index.data/kashinkeikakumokuhyou37.pdf](https://www.pref.shimane.lg.jp/industry/norin/seisan/engei_shinkou/index.data/kashinkeikakumokuhyou37.pdf)
- 竹下 修・倉橋孝夫・梅野康行・小豆沢斉・板村裕之(1996) カキ‘西条’の果実軟化発生樹の特性。園学雑 65 (別2), 146-147.
- 梅野康行・持田圭介・倉橋孝夫・竹下 修・板村裕之(2009) カキ‘西条’における樹上軟化発生率の年次変動とマンガン含量の関係。園学研 8(3), 297-302.

## Summary

The many strains of the Japanese persimmon ‘Saijo’ (*Diospyros kaki* Thumb) are classified into early-ripening strains harvested from early September, and late ripening strains harvested from late-September. The early-ripening ‘Saijo’ fruit surface has four deep grooves, while no such grooves exist on the late ripening fruit. We investigated annual fluctuations and differences between 11 early-ripening and 5 late-ripening ‘Saijo’ strains during on-tree softening stage for 4 years from 2014 to 2017. The on-tree softening of the fruits was less frequent in 2016 and 2017 than in 2014 and 2015, and annual fluctuations were noted. Additionally, on-tree softening was less frequently observed in early-ripening strains than late-ripening strains. Investigation of the relationship between weather conditions and on-tree ripening showed a significant negative correlation ( $P < 0.05$ ) between precipitation in mid-to-late September and the incidence of on-tree softening of the early-ripening strains ( $r = -0.969$ ), and precipitation from late

# クワ葉の機能性成分含量を高めるための環境要因および

## 適性品種の選抜と育種に関する研究

杉山万里<sup>1)</sup>

### Study on Environmental Factors for Specific Functional Component Increase in Mulberry (*Morus alba* L.) Leaves with Selection and Breeding of Suitable Cultivars

Mari Sugiyama

#### 目次

I 緒論	30
第1章 クワ葉に含まれる機能性成分含量の品種間差および品種改良	33
第1節 クワ葉に含まれる機能性成分含量の品種間差	33
第2節 ケルセチン 3-(6-マロニルグルコシド) (Q3MG) の遺伝解析およびクワの成分育種の可能性	40
第3節 高 Q3MG 含量クワ新品種 ‘蒼楽’ の育成	48
第2章 栽培環境条件がクワ葉に含まれる機能性成分含量に及ぼす影響	55
第1節 日照がクワ葉に含まれる機能性成分含量に及ぼす影響	55
第2節 窒素施肥量がクワ葉に含まれる機能性成分含量に及ぼす影響	62
第3章 クワ葉に含まれる機能性成分の季節変化	70
第1節 クワ葉に含まれる機能性成分の季節変化	70

第2節 温度が 1-デオキシノジリマイシン (DNJ) 含量に及ぼす影響	76
II 総合考察	78
III 総合摘要	81
引用文献	83
謝辞	86
公表論文リスト	87
Summary	88

#### 凡例

本論中に以下の略号を用いた.

- DNJ 1-deoxynojirimycin
- K3MG kaempferol 3-(6-malonylglucoside)
- K3RG kaempferol 3-(6-rhamnosylglucoside)
- MT malonyltransferase
- Q3AG quercetin 3-(6-acetylglucoside)
- Q3MG quercetin 3-(6-malonylglucoside)

#### I 緒論

クワ (桑) は寒帯から熱帯まで広く分布しているクワ科 (*Moraceae*) クワ属の喬木性の広葉樹である. クワ属は 1917 年, 小泉により, 雌ずいの花柱の長さや柱頭の形態を主に葉形, 葉先

1) 島根県農業技術センター

と葉底の形状、葉脈、葉の鋸歯の形状を加味し 24 種 1 変種に分類されている (松尾, 1989). クワは養蚕の飼料作物として古くから栽培されている. 日本で主に栽培されている品種はヤマグワ (*M.bombycis* Koidz.), カラヤマグワ (*M.alba* L.), ログワ (*M.multicaulis* Perr.) の 3 種で, 寒冷地ではヤマグワ, 温暖地ではカラヤマグワ, 暖地ではログワに属す品種が多い. また, 西南諸島ではシマグワ (*M.acidosa* Griff.) が栽培されている. クワはそのまま放置すれば喬木となるが, 通常の栽培では毎年地上部近くまで枝を切り戻し再成長する徒長枝の葉が収穫の対象となる. クワは再発芽, 伸長ともに旺盛で, 春萌芽前に前年枝を剪定すれば, 再発芽した枝は落葉期までに 3 m 以上に達する.

クワは日本においても昭和の中頃まで養蚕の飼料として重要な作物に位置づけられ, 中山間部平野部とわず広く栽培されていた. 昭和初期頃は, クワの栽培面積は 50 万 ha を超え, 統計上最も栽培面積が多かったのは昭和 5 年の 70 万 ha であった. その後, 第二次世界大戦中に 20 万 ha を下回るまで激減し, 昭和 50 年頃まで横ばいに推移した後, 徐々に減少していった (図 1). これは昭和後期以降, 化学繊維の普及による生糸産業全般の衰退, さらに生産者の高齢化, 後継者難に大きく起因していると思われる. 平成 13 年にはクワの栽培面積は 5000 ha を下回り, その後統計調査も打ち切りとなっている (政府統計の総合窓口: e-Stat, 2011). 養蚕の廃止とともに桑園は抜根され, あるいは放置されたまま廃園となり, かつては主要作物として地図記号にもあったクワ畑も, 現在ではほとん

ど見かけることがなくなった.

しかし一方で, クワは養蚕の飼料としてだけではなく, 昔から果樹や漢方薬としても利用されてきている. 特に漢方では, クワの枝や根の皮, 実, 葉などあらゆる部分が利用され, 養蚕が盛んな地方では健康のためにクワの葉をお茶として飲む風習があったとされる. 鎌倉時代の書物, 栄西による「喫茶養生記」の中には「5 種の病を, 桑をもって治療する」と, お茶に並ぶ滋養を有する作物としてクワの効能, クワの飲み方が記されている. この中で, 「桑粥, 桑湯を服用すれば渴きを覚える飲水病 (糖尿病) に数日で効果が現れる」と, クワの葉の糖尿病改善効果についての記載がある. このように, 科学的根拠が明らかでない時代からクワは体に良いとして食用利用されていた.

近年, 健康維持について多くの人が関心を示すようになり, 食品がもつ機能性成分が注目されている. 食品には, 生体の生理機能を調整する働き (体調調節機能) があり, 食品の 3 次機能と呼ばれている. これは, 昭和 59 年から 61 年に実施された研究: 文部省特定研究「食品機能の系統的解析と展開」の成果として提唱されたものであり, 世界に先駆けて, 我が国において「機能性食品」の概念が生まれたとされる. さらに H27 年度から, 健康食品をはじめとする保健機能を有する成分を含む加工食品および農林水産物について, 機能性の表示が容認された (機能性表示食品制度). このように, 食品摂取による疾病予防の取り組みが国策として行われている. クワは古来漢方で用いられていたことから, 国内外で積極的に研究が進められ, その機能性成分に関する科学的エビデンスは着実に増えてきている.

クワ葉の機能性については, 高血糖抑制作用 (Andallu ら 2001; Evans ら, 1985; Kimura ら, 2007), 高血圧抑制作用 (Naowaboot ら, 2009), 動脈硬化抑制作用 (Enkhmaa ら, 2005) アルツハイマー予防効果 (Kaengkhan ら, 2009; Niidome ら, 2007), 抗酸化 (Choi ら, 2013a; Katsube ら, 2006), 抗腫瘍 (Park ら, 2013), 抗炎症 (Chauhan ら, 2015; Chen ら, 2013), 抗肥満 (Tsuduki ら, 2013) など国内外で多くの報告があり, それら効果や成分の特

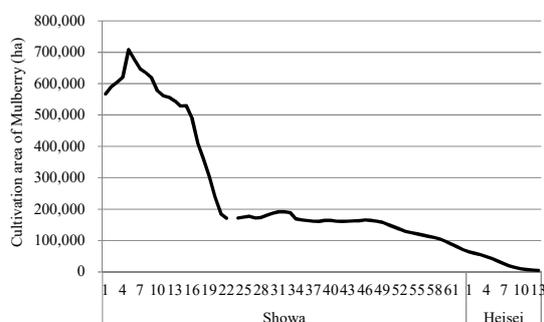


Fig. 1. Changes in total mulberry cultivation area in Japan. Data was searched from e-Stat (Japanese government statistics).

定, メカニズムが解明されつつある (Butt ら, 2008 ; Nakagawa ら, 2013 ; 鈴木ら, 1996) .

クワの機能性成分の中で最も知られているのは高血糖抑制作用を示す1-デオキシノジリマイシン (DNJ) (図2) で, フルクトースのアミノ化を経て生成される. 糖類似アルカロイドである DNJ は蚕以外の昆虫の忌避物質として作用し, 他の植物には殆ど見られないクワに特徴的な成分であり (Konno, 2011) ,  $\alpha$ -グルコシダーゼ阻害により, 腸管での糖吸収を抑制する (Evans ら, 1985) . これは, 前述の「喫茶養生記」でも触れられていたクワの飲水病への効果を科学的に証明したものである.

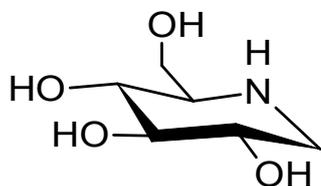


Fig. 2. 1-deoxynojirimycin

またクワは, 食品の機能性として近年注目を集めている抗酸化作用も有する. クワ葉は抗酸化活性が高く, その主要成分がクロロゲン酸 (図3) とフラボノールであること, フラボノールが高血圧抑制, 動脈硬化抑制, 癌細胞の抑制などに関与していることが報告されている (Enkhmaa ら, 2005 ; Katsube ら, 2006 ; Katsube ら, 2009 ; Naowaratwattana ら, 2010) . フラボノールはポリフェノールのひとつフラボノイドに属す. フラボノイドは, ベンゼン環 2 個を炭素 3 個で結合した C6-C3-C6 骨格を持つ化合物で, 花の色素成分や木本植物の心材成分などとして存在し, 紫外線に対する防御や昆虫誘引物質としての役割を果たしている. フラボノイドには, カルコン, フラバノン, フラボン, フラバノール, オーロン, イソフラボン, カテキン, ロイコアントシアニン類があり, フラボノールはフラバノールからアントシアニンと同じ代謝系で合成される. 基本骨格の C 環 4 位がケトンで 2 位と 3 位の間が不飽和であればフラボノール, C 環が完全な芳香族環で正電荷を有していればアントシアニンとなる. Katsube ら (2006) により, クワ葉に含有されるフラボノール配糖体のなかで, その主要な

成分がケルセチン 3-(6-マロニルグルコシド) (Q3MG) (図4) であること, また, Q3MG は DNJ と異なる機構, つまり肝臓への酸化ストレス抑制により血糖調節作用も有する (Katsube ら, 2010) ことが明らかにされている. これらのことから, Q3MG はクワの注目すべき機能性成分の一つと考えられる. また, 前述のクロロゲン酸もクワ葉に多く存在し, クワの抗酸化作用の主要成分として位置づけられている.

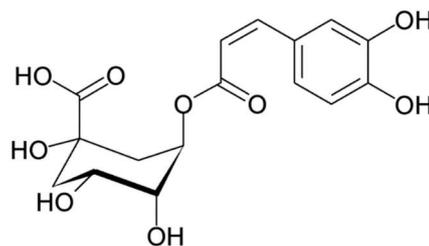


Fig. 3. Chlorogenic acid

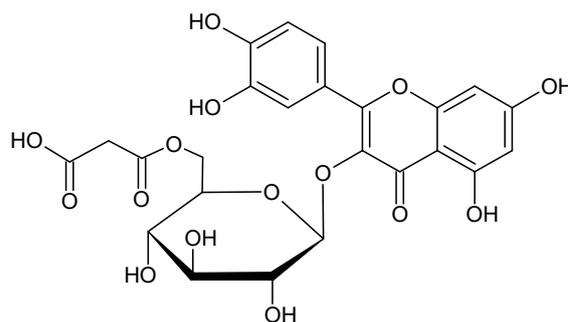


Fig. 4. Quercetin 3-(6-malonylglucoside) (Q3MG)

クワ葉の機能性に関する研究が進むとともに, 近年急速にクワ葉が機能性食品として広く知られるようになった. お茶をはじめ食品原料の利用は着実に増え, クワ葉はケール, 大麦若葉と並び青汁原料として定番化しつつある. また, エキス末やパウダーの形態として, お茶や麺, 菓子類など一般食品などにも配合されるようになってきた. これらの原料は主に輸入に頼っているが, 徐々に国内生産も広がりつつある. 島根県では, 十数年前からいち早くクワの機能性に着目し, 遊休桑園を利用した桑茶の生産販売を開始した企業がある. これは中山間地域における雇用の創出, 農業振興, 健康食品産業への波及効果をもたらし, 6 次産業化の成功例ともなっている. この企業は, 今のと

ころ有機 JAS の認定を受けることで他産地との差別化に成功している。しかし、近年のお茶需要の減少にともない、全国的に茶栽培からクワ栽培へ変わる生産者が増えつつある。これら生産者も有機 JAS を積極的に取り入れていることから、今後販売競争は激化していくと予想され、有機 JAS に代わる商品の差別化が必要になる。

一方、栽培場面においては原料クワ葉の安定生産が望まれる。特に機能性成分の含有量は商品原料の品質として重要であり、食品の原料となるクワ葉の機能性成分含量を増やすことは、機能性食品として摂取した場合の効果を高めるうえで、さらに商品の付加価値を付与する手段として有効である。これまで養蚕業の全盛期は、養蚕栽桑に特化した研究機関も多く、クワの品種改良、栽培試験などの試験研究が盛んに行われていた。しかし、古来漢方として利用されていたとはいえ、食品としてのクワに対する研究の歴史は浅い。果実利用においては近年果実用クワ品種‘ポップベリー’‘ラベリー’などの品種がいくつか開発されてはいるものの、これまで食品、特に機能性に特化した品種改良はほとんど行われていなかった。現在日本で栽培されているクワは、養蚕の飼料用、食用ともに、‘一ノ瀬’および、‘しんいちのせ’が中心である（政府統計の総合窓口：e-Stat, 2011）。しかし、これらの品種はいずれも養蚕の飼料としての特性を目標に選抜育成された品種であり、必ずしも機能性成分等食用に適した特性を持たない。一方、クワ栽培場面でも養蚕業のために開発された技術が用いられている。クワ葉の収穫時期は蚕期・蚕齢により、また飼育方法によって大きく異なるとされるが、収量性に関しては養蚕飼料、食用いずれの栽培方法にも大きな違いはないと考えられる。しかし、一般的に作物中に含まれる多くの成分は品種、栽培方法などにより含有量に変化することが知られており、養蚕用の品種・栽培方法も必ずしも食用としてのクワに適しているとは限らない。原料となるクワ葉の品質向上には、これらの機能性成分を安定的に高生産するようなクワ品種、栽培条件の検討が必要である。そこで、本研究では、高い機能性を有するクワ葉の安定生産を目的に、葉中機能性成分で

あるフラボノール（特に Q3MG）、DNJ、クロロゲン酸の高含量条件に対して、品種および栽培条件の両面からアプローチを試みた。

第 1 章では、育種の基礎的知見とするために、クワ葉中フラボノールおよび DNJ の品種間差異を明らかにするとともに、交雑育種による Q3MG 高含量品種育成の可能性を検討した。さらに、クワ葉のフラボノールとして最も重要である Q3MG をターゲットに成分育種を行い、Q3MG 高含有クワ品種の育成を試みた。第 2 章では、クワ葉に含まれるフラボノール、クロロゲン酸、DNJ に着目し、それら成分の含有量に影響を及ぼすと考えられる栽培環境要因である日照条件と窒素施肥量について検討した。第 3 章では機能性成分を多く得るための収穫時期を明らかにするために、クワ葉中フラボノール、DNJ、クロロゲン酸の季節変化を調査した。

## 第 1 章 クワ葉に含まれる機能性成分含量の品種間差および品種改良

現在日本で栽培されているクワ品種は、養蚕の飼料用、食用ともに、‘一ノ瀬’および、‘しんいちのせ’が中心となっている（政府統計の総合窓口：e-Stat, 2011）。しかし、これらの品種はいずれも養蚕の飼料に特化した特性を目標に選抜育成された品種であり、必ずしも機能性成分等食用に適した特性を持たない。機能性食品として摂取した場合の効果を高めるために、また商品の付加価値を付与する上で、原料であるクワ葉の機能性成分含量を増やすことが有効である。そこで、本章では既存品種の中から機能性成分を高含有する品種を選定するために、さらに成分育種による品種改良を視野に、クワの葉中機能性成分であるフラボノールおよび DNJ の品種間差を調査した。また、クワ葉の主要なフラボノール配糖体であるケルセチン 3- (6-マロニルグルコシド) (Q3MG) の遺伝様式を調査し、得られた知見をもとに Q3MG を高含有する品種の開発に取り組んだ。

### 第 1 節 クワ葉に含まれる機能性成分含量の品種間差

‘一ノ瀬’, ‘しんいちのせは’, 養蚕, 食用問わず, 現在最も広く栽培されているクワ品種である。これらは本来蚕の飼料として開発された品種であり, 養蚕の飼料としては収量性, 栽培適性, 品質ともに優れているが, 食用クワ葉としての適性が優れているとはかぎらない。特に, 機能性成分を目的とした食用クワ葉の品質として重要とされるのはクワ葉中の含有量である。そこで, 現在栽培されている‘一ノ瀬’よりクワの機能性成分として注目される Q3MG, 1-デオキシノジリマイシン (DNJ) 含量の多い品種を探索するとともに, 育種の交配親選定などの基礎的知見を得る目的で, クワ葉中フラボノールおよび DNJ の品種間差を調べた。また, 調査期間が複数年にわたるため, これら成分は栽培環境条件の影響を受けやすいと考えられることから, 年次間差についても調査した。

## 1 材料および方法

### 1) 供試材料

調査個体は, 国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構 (茨城県つくば市大わし) で農業生物資源ジーンバンクの遺伝資源として栽培保存されている株を用いた。サンプリングは2007年8月1日, 2008年8月5日, 2009年8月11日に行い, 3年間で延べ176品種を供試した。このうち3年間にわたり供試した59品種を用いて年次間差を調査した。サンプリングは以下のとおり行った。各品種2株を用い, それぞれの最長枝条の完全展開葉のうち最も若い葉から下位3枚の葉身を採取した。供試品種の選定にあたっては, 日本で主に栽培されていたカラヤマグワ (*M.alba* L.), ヤマグワ (*M.bombycis* Koidz.), ログワ (*M.multicaulis* Perr.) の3種を中心に, 遺伝的に遠いもの, 特徴的な形態を持つもの, 栽培適性に優れているものなどの特性を考慮した。供試した種別品種数は次のとおりである。カラオニグワ (*M.nigriformis* Koidz.) : 2品種, マルバグワ (*M.notabilis* C.K.Schn.) : 8品種, ヤマグワ : 42品種, シヤムグワ (*M.rotundiloba* Koidz.) : 3品種, シマグワ (*M.acidosa* Griff.) : 1品種, ハチジョウグワ (*M.kagayamae* Koidz.) : 4品種, ケグワ (*M.tiliaefolia* Makino.) : 1品種,

アフリカグワ (*M.mesozygia* Stapf.) : 1品種, ヒメグワ (*M.microphylla* Buckl.) : 1品種, ログワ : 58品種, カラヤマグワ : 48品種, カントングワ (*M.atropurpurea* Roxb.) : 3品種, 不明 : 1品種。

### 2) 抽出方法

生葉は60°Cで36~48時間, 乾燥機 (SANYO CONVECTION OVEN) で通風乾燥し, ミルサー (IWATANI MILLSER 700G) で粉碎した。粉碎したクワ葉を100 mg 秤量し, 10 ml の60% エタノール (和光純薬) を加え, 30°Cで3時間振とうした。10000 g で5分間遠心分離し, 上澄みを0.45 μm のメンブレンフィルター (ADVANTEC) で濾過しサンプルとした。

### 3) 分析方法

フラボノールの定量はWaters社製のHPLC, Alliance Separations Module 2695, 検出器 Photodiode Array Detector 2996 を用いて以下のとおり行った。カラム wakosil-II 5C18 RS (250×4.6 mm) (和光純薬), 移動層 0.1%ギ酸 (ナカライテスク) を含む20%アセトニトリル (和光純薬), 流速1 ml/min, カラム温度40°C, 検出波長370 nm, の条件で定量した。標準品ルチン (和光純薬), イソケルシトリン, アストラガリン (フナコシ) は購入し, K3RG, Q3MG, K3MG, Q3AG はそれぞれクワ葉から精製し (Katsube ら, 2006) 用いた。DNJはKimら (2003) の方法を用いて行った。HPLCの条件は以下のとおりである。カラム : wakosil-II 5C18 RS (250×4.6 mm) (和光純薬), 移動層 : 0.1%ギ酸を含む45%アセトニトリル, 洗浄100%メタノール, 流速1 ml/min, カラム温度40°C, 励起波長254 nm, 蛍光波長322 nm の条件で定量した。標準品 DNJ (フナコシ) は購入した。

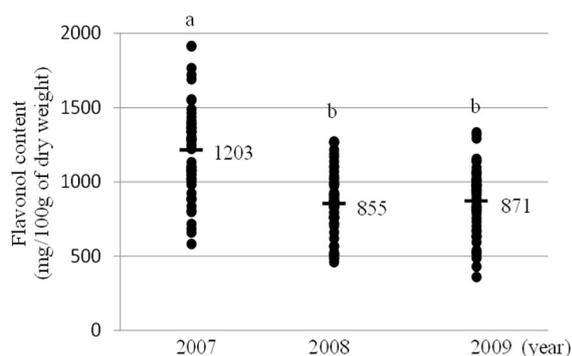
### 4) 統計処理

データの統計処理は統計処理ソフトウェア JMP (ver.9.0) SAS Institute Japan を用いて行った。データはTurkeyの多重比較検定により解析した。

## 2 結果および考察

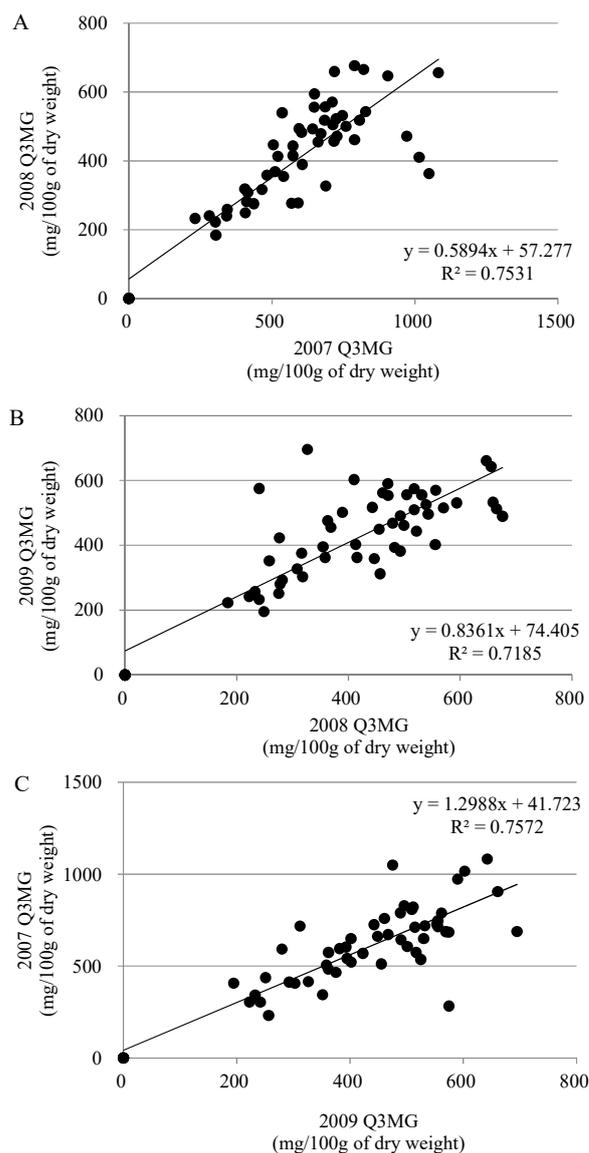
### 1) フラボノール含量の年次間差

図 1-1-1 に 2007 年, 2008 年, 2009 年における 59 品種のフラボノール含量を示した. 各年の 59 品種のフラボノール総含有量の平均値は, 2007 年が 1203 mg/100 g dry weight (DW), 2008 年が 855 mg/100 g DW, 2009 年が 871 mg/100 g DW となり, 2007 年と 2008 年, 2009 年の間に有意差が認められた. 2007 年は 2008 年, 2009 年に比べて含量が高く, 最大値, 最小値の差が大きくなった. それに対し, 含有量の低い年にはその差も小さくなり, 含有量が同程度の品種においては一部順位の逆転が認められた. 図 1-1-2 に 59 品種それぞれの年次ごとの Q3MG 含量を比較した結果を示す. 年次ごとの Q3MG 含量の相関係数は 2007 年と 2008 年が 0.91, 2008 と 2009 年が 0.84, 2007 年と 2009 年が 0.87 であり, 3 年間の重相関係数は 0.88 となった. 品種ごとの相対的な含有量の多少は, いずれの年においてもかわらず品種間における相関が認められた. これは, 総フラボノール含量, ルチンなど他のフラボノール配糖体においても同様の傾向を示した. 代表的品種のフラボノールの組成, 割合の 3 年間の平均を表 1-1-1 に示した. フラボノールの組成および割合は年次間で変わらず品種に依存した. 作物の収量, 品質などの年次変動はしばしば気象条件などの



**Fig. 1-1-1.** Year-to-year variations of flavonol content per dry weight of leaves. Horizontal short bars and numbers in the figure indicate the means of 59 cultivars for each year. Data were analyzed by one-way ANOVA followed by Tukey's test. There was a significant difference between a and b ( $P < 0.05$ ).

栽培環境により引き起こされる. 同様に, 機能性成分含量についても栽培環境要因に影響を受けることが知られている. 例えばアントシアンの蓄積が光や温度により変化することがブドウ果皮, トルコギキョウなどで報告されている. フラボノールはアントシアニン, プロアントシアニジンと同じくフラボノイド経路を經由して生成される. したがって, フラボノールもアントシアニンと同様の制御をうける可能性が高



**Fig. 1-1-2.** Correlation of quercetin 3-(6-malonylglucoside) (Q3MG) content in each cultivar between year (A) 2007 and 2008, (B) 2008 and 2009, and (C) 2007 and 2009. A circle indicates each mulberry cultivar. The multiple correlation coefficient was 0.88. Each year-to-year correlations were 0.91 (2007 v.s. 2008), 0.84 (2008 v.s. 2009), and 0.87 (2007 v.s. 2009).

**Table 1-1-1.** Relative proportions of flavonol glycosides in four representative mulberry cultivars.<sup>2</sup>

Cultivar	Rutin (%)	Isoquercitrin (%)	K3RG (%)	Q3MG (%)	Astragalin (%)	Q3AG (%)	K3MG (%)
Ichinose	13.6±0.7	3.9±0.1	3.0±0.2	53.5±1.4	2.9±0.2	0	23±1.5
Itouwase	32.4±3.3	11±3.5	11.5±3.2	29.1±7.0	3.2±0.5	0	12.7±2.8
Popberry	45.7±1.4	25.5±0.8	23.5±1.1	0	5.4±0.5	0	0
Keguwa	24.4±2.2	31±1.3	0.6±0.3	24.8±0.6	1.3±0.1	15.7±1.3	2.1±0.1

<sup>2</sup> All mulberry cultivars are classified into four groups: Ichinose-type (largest Q3MG proportions; 155/176 cultivars), Itouwase-type (small Q3MG proportions; 6/176 cultivars) Popberry-type (no Q3MG; 14/176 cultivars), and Keguwa-type (uniquely contains Q3AG; 1/176 cultivars). Data represent the mean ± SE over three years.

い。サンプリング前10日間のつくばの平均日照時間は2007年が5.3時間、2008年が4.4時間、2009年が1.8時間であり、フラボノール含量が最も2007年の日照時間が2008年、2009年に比べ多かったことから、クワ葉のフラボノール含有量の年次間差に及ぼす要因の一つとして日射量が考えられた。

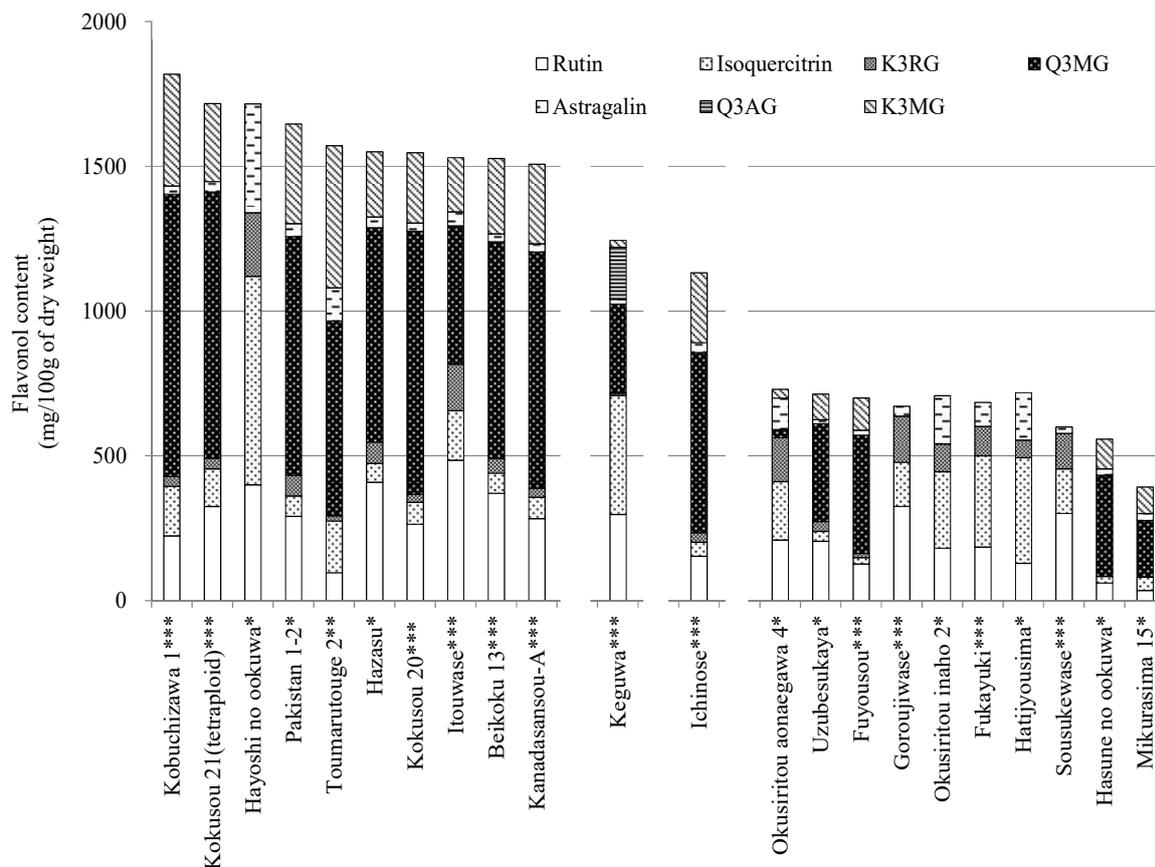
## 2) フラボノールの品種間差

調査年は品種により1~3年と異なり、フラボノール含有量に年次間差が認められたことから、異なる年次に供試した品種のフラボノール含有量の比較には補正が必要である。品種ごとの含有量、組成およびその割合は年度による影響が少ないことから、補正には3年に渡って供試した59品種の平均値を用いた。補正值は59品種の平均値2007年1203 mg/100 g DW、2008年855 mg/100 g DW、2009年871 mg/100 g DWから算出し、それぞれ2008年の供試品種には1.41を、2009年の供試品種には1.38を乗じて2007年度の値として表示した。複数年供試した品種については補正後の平均値を用いた。

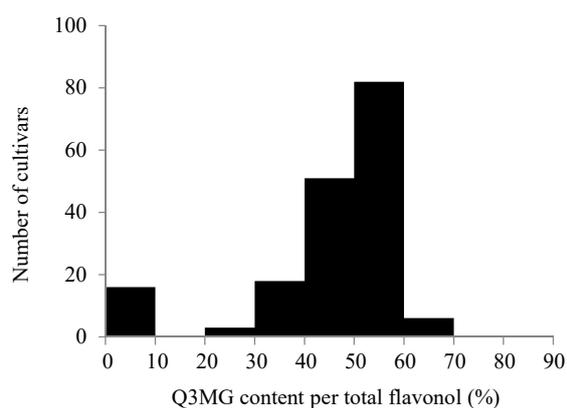
図1-1-3に、供試176品種のうちフラボノール総量上位10品種、下位10品種、および現在最も多く栽培されている‘一ノ瀬’のフラボノール含有量を示した。フラボノール総量が最も高かったのは小淵沢1号の1819 mg/100 g DWで、最も少ない御蔵島15’の393 mg/100 g DWとは約5倍の差があった。また、供試した176品種のうち73品種が、現在の主流品種である

‘一ノ瀬’より高い値を示した。Q3MG含量においても‘小淵沢1号’は現在の主要品種である‘一ノ瀬’の607 mg/100 g DWに対して1082 mg/100 g DWと2倍程度高かった。クワ葉に含まれるフラボノールの組成は品種に特異的で(図1-1-3)、176品種中、約9割の品種は葉中フラボノール配糖体としてルチン、イソケルシトリン、アストラガリン、K3RG、Q3MG、K3MGの成分を含有し、含有量はQ3MGが最も高かった。ケグワには特異的に、他のクワ品種に存在しないQ3AGが含有されていた。一方、フラボノール中のQ3MG含有率をみると、供試176品種のうちQ3MGを持たない14品種と‘祝津の大桑’、‘奥尻島青苗川’を除くすべての品種のQ3MG含有率は30%~62%の範囲におさまり、0%を上限とする切断正規分布を示した(図1-1-4)。14品種はQ3MGを全く持たず、それらの6品種はK3MGも含有しなかった。Q3MG、K3MGを持たない品種で最も含有量の高いフラボノールは8品種がルチン、6品種がイソケルシトリンであり、その含有率はそれぞれ45~61%、39~55%であった。供試した種、品種数およびQ3MGの有無を表1-1-2に示した。Q3MGを持たない品種は12種のうち5種に含まれ、8品種がヤマグワに属した。残り6品種はシャムグワ：供試3品種中2品種、ハチジョウグワ：供試4品種中1品種で、供試品種数に対する出現率が高かったが、供試品種数が多いログワ、カラヤマグワはそれぞれ2品種、1品種と出現率が低かった。

図1-1-5に各品種のフラボノール総量と



**Fig. 1-1-3.** Flavonol content of mulberry cultivars. The cultivars shown are the ten containing the highest and the ten containing the lowest amounts of total flavonols among the 176 cultivars examined. In the center, 'Keguwa' is shown as having an unique component, and 'Ichinose' is shown as a most-commonly seen cultivar. Cultivars were analyzed for 1 to 3 years. \*: tested for only one year, \*\*: mean of two years, \*\*\*: mean of three years.



**Fig. 1-1-4.** Frequency distribution of the percent of quercetin 3-(6-malonylglucoside) (Q3MG) content per total flavonol content.

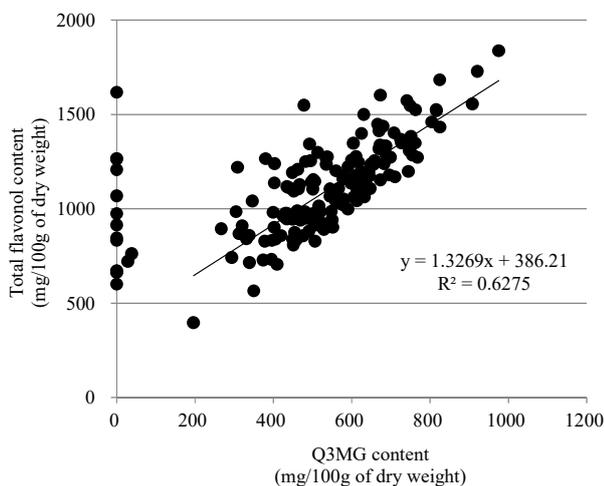
Q3MG 含有量の関係を示した。一部 Q3MG をもたない品種でもフラボノール高含量の品種が確認されたが、Q3MG を持つ品種においてはフ

ラボノール総量と Q3MG 含有量の間には正の相関が認められた。また、クワの種別とフラボノール含有量には傾向は認められなかった(データ省略)。

本試験では 12 種 176 品種のクワ葉中から 7 種類のフラボノール: ルチン, イソケルシトリン, K3RG, Q3MG, アストラガリン, Q3AG, K3MG, が検出され, その中で最も豊富に含まれていたのは Q3MG であった。クワ葉に含まれるフラボノールについてはこれまでにいくつか報告があり, Onogi ら (1993) は, イソケルシトリン, Q3AG, アストラガリン, K3AG が, Kim・Jang (2011) は Q3G, Q3AG, rutin, ケルセチンが, Naowaratwattana ら (2010) はルチン, イソケルシトリン, K3RG, Q3MG, アストラガリン, K3MG, ケルセチンジクマロイルグルコシド, ケンフェロールジクマロイルグルコシドが, Choi ら (2013b) はケルセチン, ケン

**Table 1-1-2.** Cultivars without quercetin 3-(6-malonylglucoside) (Q3MG) identified in mulberry species.

Species	Number of cultivars	Number of Q3MG-free cultivars
<i>Morus nigrifomis</i> Koidz.	2	0
<i>Morus notabilis</i> C.K.Schn.	8	0
<i>Morus bombysis</i> Koidz.	42	8
<i>Morus rotundiloba</i> Koidz.	3	2
<i>Morus acidosa</i> Griff.	1	0
<i>Morus kagayamae</i> Koidz.	4	1
<i>Morus tiliaefolia</i> Makino.	1	0
<i>Morus mesozygia</i> Stapf.	1	0
<i>Morus microphylla</i> Buckl.	1	0
<i>Morus multicaulis</i> Perr.	58	2
<i>Morus alba</i> L.	49	1
<i>Morus atropurpurea</i> Roxb.	3	0

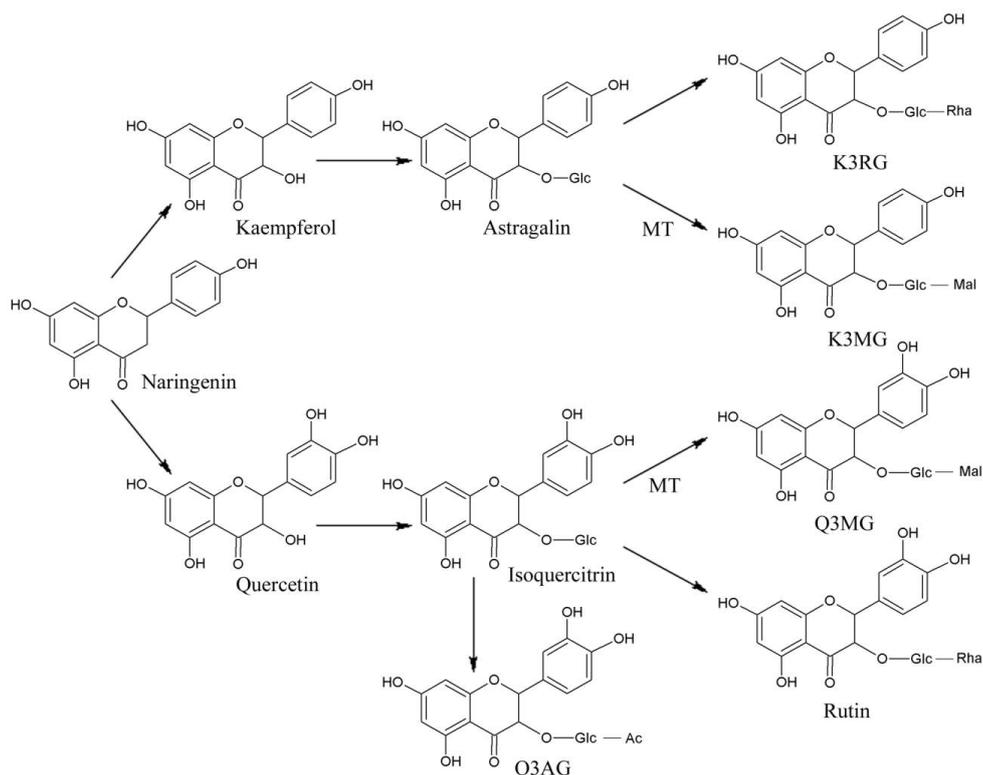


**Fig. 1-1-5.** Correlation between the total flavonol and quercetin 3-(6-malonylglucoside) (Q3MG) content for each cultivar. The regression line includes all points except for those cultivars that were Q3MG-free. Each cultivar is represented by one black circle.

フェロール、アストラガリンがそれぞれ検出されたとしている。これらはいずれもカラヤマグワを用いていた。また、Thabtiら (2012) は、カラヤマグワとアカミグワから、K3MG、アストラガリン、ケンフェロール-7-O-グルコシド、K3RG、Q3MG、ケルセチン-3-O-グルコシド-7-O-ラムノシド、ケルセチン-3-O-グルコシド-7-O-グルコシド、ケルセチン-3-,7-D-O-β-D-グルコピラノサイドを見いだしたとしている。これら検出されたフラボノールの違いは主に抽出方法

によると考えられるが、我々のフラボノール組成は、ケルセチンジクマロイルグルコシド、ケンフェロールジクマロイルグルコシドを除き Naowaratwattana ら (2010) とほぼ同じであった。

供試品種には、組成において2つの特徴が認められた。一つはケグワのみが持つQ3AG、もう一つはQ3MGとK3MGの有無である。図1-1-6にクワ葉に含まれるフラボノールの代謝系を示した。クワに含まれるフラボノールであるルチン、イソケルシトリン、アストラガリン、K3RG、Q3MG、K3MGの7種はいずれもケルセチンもしくはケンフェロールの配糖体で、ミリセチンの配糖体は検出されていない。ケグワは、他の品種が含有しないQ3AGを生成する。予備的に分析を行った結果では、島根県江津市桜江町で採取したケグワの野生個体もQ3AGを含有しており、ケグワは特異的にアセチル基転移酵素を有していると考えられた。次に、主要フラボノールであるQ3MGが生成されない品種が確認されたが、Q3MGを生成しない品種はK3MGも含有しないことから、これらの品種はフラボノール合成に関与するマロニル基転移酵素を持たないと考えられる。多く供試したログワ、カラヤマグワ、ヤマグワのうち外来種であるログワ、カラヤマグワにはQ3MGなしの品種は少なく日本在来種であるヤマグワに多かった。また供試品種は少ないもののシャムグワ、ハチ



**Fig. 1-1-6.** Proposed metabolic pathway of flavonol glycosides in mulberry in our study. Abbreviations: MT = malonyltransferase, K3RG = kaempferol 3-(6-rhamnosylglucoside), Q3MG = quercetin 3-(6-malonylglucoside), Q3AG = quercetin 3-(6-acetylglucoside) and K3MG = kaempferol 3-(6-malonylglucoside).

ジョウグワにおける出現率が高かったことから、マロニル基転移酵素の欠失は地域特異的である可能性が示唆される。Sharma ら (2000) は AFLP 解析によりクワ 21 種は 4 つのグループに分類され、カラヤマグワ、ヤマグワは同じグループで遺伝的に近く、形態的にも他種と大きく異なるケグワは異なるグループに属し遺伝的にも遠いとしている。ログワ、カラヤマグワ、ヤマグワ間は遺伝的に近く容易に交雑するが、ケグワは他種との交雑が容易でないと考えられる。このような遺伝的背景から、日本在来のヤマグワを含む多くの品種は Q3MG を含有するようになり、一方ケグワが Q3AG を特異的に含有することが維持されたと推測される。Kim・Jang (2011) は日本のカラヤマグワから検出されなかった Q3AG を、カラヤマグワから検出しているが、この違いは、大陸の遺伝的多様性と、日本に導入されたカラヤマグワの地理的隔離に由来すると推測される。

### 3) 1-デオキシノジリマイシン (DNJ) の品種間差

‘一ノ瀬’より葉中機能性成分含量の高い品種を探索するために、DNJ についても品種間差を調査した (附表)。フラボノールと同様に 59 品種の 3 年間の DNJ 含量の値を用いて 176 各品種の分析値を補正した。59 品種の 3 年間の DNJ 含量の平均値はそれぞれ、2007 年: 163 mg/100 g DW, 2008 年: 232 mg/100 g DW, 2009 年: 255 mg/100 g DW となり、2008 年の供試品種には 0.70 を、2009 年の供試品種には 0.64 を乗じて含有量を補正した。複数年供試した品種については補正後の平均値を用いた。DNJ 含量が最も多かった品種はあやのぼり’ (267 mg/100 g DW), 最も少なかった品種は臥龍’ (22 mg/100 g DW) であり、クワ品種間には 10 倍以上の幅広い範囲で違いが認められた。これまで、Kimura ら (2007) により DNJ 含有量が高いとされた‘鶴田’ (本試験での名称は‘鶴田 (福島)’は、本試験において‘一ノ瀬’ (164 mg/100 g DW) より高い値を示したものの、‘鶴田 (福島)’より DNJ を高含有する品種が 22 品種確認された。本試験において、実測値で得られた最も高

い値は 435 mg/100 g DW: ‘一ノ瀬 (赤木)’ (2008 年) であった. DNJ 含量もフラボノールと同様に年次変化が大きかったが, 既存品種でも至適条件により 400 mg/100 g DW 以上の高含有が可能であることが明らかとなった.

#### 4) 葉中機能性成分高含量クワ品種の探索

Q3MG と DNJ 含量の品種別含有量を図 1-1-7 に, フラボノール含量および DNJ 含量の具体的データを付表に示した. フラボノール, Q3MG 含量ともに最も高かった ‘小淵沢 1 号’をはじめ, ‘国桑第 20 号’, ‘清十郎’, ‘カナダ産桑 A’, ‘多胡早生’, ‘四倍性桑’, ‘米国 13 号’, ‘あやのぼり’, ‘わせみどり’, ‘一ノ瀬 (赤木)’, ‘国桑第 27 号’, ‘イラク 3’, ‘支那広東 1 号’, ‘はやてさかり’, ‘厦門 1 号’, ‘エンブ’, ‘ゆきしらず’, ‘蘇州 6 号’, ‘泰阜の大桑’, ‘落井’, ‘十文字’の 20 品種が一ノ瀬より Q3MG, DNJ ともに高い値を示した (図 1-1-7). この中には, 独立行政法人農業生物資源研究所 (現国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構) による育性系統や, ‘米国 13 号’, ‘カナダ産桑 A’, ‘イラク 3’をはじめ海外品種など多様な品種が含まれていた. DNJ 含量が最も高かった ‘あやのぼり’は, フラボノール含量 (1350 mg/100 g DW), Q3MG 含量 (727 mg/100 g DW) も高く, 関東から九州地方にかけての広い範囲に適応し, 年間通じて安定的に良質多収である. ‘あやのぼり’は, 独立行政法人農業生物資源研究所で育成されたクワ品種で, 栽培適性も優れていることから既存品種の中でも有力品種となりうる.

一般的に, 育種により収量性や品質を改良する場合, 目的形質の優れたものを親品種に選定することが定法である. ここで, 目的とする Q3MG を持たない品種も明らかとなり, 本試験で明らかにしたクワ品種の機能性成分含量は, 今後成分育種を行う際の親品種選定にも利用できる. しかし, 高含有する品種は交配親として有望であるものの, クワは多くが雌雄異株であること, 本試験においては実用品種でない品種や, 3 倍体品種等交配親に適さない品種も多い. 供試品種中 Q3MG を最も高含有した ‘小淵沢 1 号’ (975 mg/100 g DW) は 3 倍体の雌性であり, 3 倍体品種を用いると育種効率は低下すること

から (小山, 1997), 3 倍体である ‘小淵沢 1 号’は交配親に適さない. また, ‘田中奥州’ (Q3MG 含量 804 mg/100 g DW) が有する側枝多発性などは栽培上のマイナス形質である. 交配親の選定には, 成分の含有量とともにこれら花性, 倍数性, 栽培適性等に留意しなければならない. 一方で, 他作物では困難である 2 倍体と 4 倍体の交雑において, クワは容易に 3 倍体の交雑実生が得られる. 例えば雄性で 4 倍体の ‘国桑第 21 号 (4x)’ (Q3MG 含量 920 mg/100 g DW), 雌性で 2 倍体の ‘国桑第 20 号’ (Q3MG 含量 908 mg/100 g DW) などは栽培適性も優れており, 育種親の組み合わせとして期待できる.

本節において, フラボノール DNJ の品種間差が明らかとなり, 既存品種の中で一般栽培に用いられる ‘一ノ瀬’より成分を高含有する品種が示された. また, これらは育種における交配親選定の基礎データとして利用可能である.

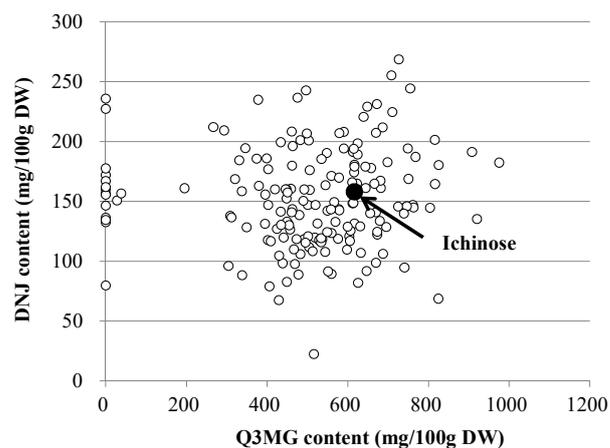


Fig. 1-1-7. Q3MG and DNJ content in mulberry leaves on mulberry cultivar.

## 第 2 節 ケルセチン 3-(6-マロニルグルコシド) (Q3MG) の遺伝解析およびクワの成分育種の可能性

第 1 節で, クワ葉中フラボノールの品種間差を調査し, 品種によりフラボノールの組成および含有量が異なること, さらに Q3MG が含まれない品種の存在が明らかとなった. クワ葉の主要なフラボノールである Q3MG の遺伝様式の解明は, Q3MG をターゲットとしたクワの成分育種において重要な要素となる. そこで, Q3MG を含有する品種と Q3MG を持たない品種を用

杉山:クワ葉の機能性成分含量を高めるための環境要因および適性品種の選抜と育種に関する研究

Supplemental data Table: Flavonol and DNJ content of mulberry cultivar.

Cultivar of mulberry	Species	Year investigated	Flavonol content (mg/100 gDW)							DNJ content (mg/100g DW)	
			Rutin	Isoquercitrin	K3RG	Q3MG	Astragalín	Q3AG	K3MG		Total content
Kobuchizawa 1	<i>M.alba</i> L.	2007-2009	224	170	34	975	28	0	385	1,819	182
Kokusou 21(tetraploid)	<i>M.multicaulis</i> Perr.	2007-2009	325	131	36	920	35	0	269	1,717	135
Hayoshi no ookuwa	<i>M.bombysis</i> Koidz.	2008	400	721	219	0	376	0	0	1,716	236
Pakistan 1-2	<i>M.notabilis</i> C.K.Schn.	2008-2009	291	71	71	825	45	0	345	1,647	69
Toumarutouge 2	<i>M.bombysis</i> Koidz.	2008-2009	97	179	18	673	114	0	490	1,602	125
Hazzaz	<i>M.nigriformis</i> Koidz.	2008-2009	410	66	72	741	37	0	225	1,574	95
Kokusou 20	<i>M.multicaulis</i> Perr.	2007-2009	265	75	28	908	29	0	242	1,556	191
Itouwase	<i>M.bombysis</i> Koidz.	2007-2009	485	171	161	478	49	0	186	1,549	89
Beikoku 13	<i>Mmicrophylla</i> Buckl.	2007-2009	372	70	50	749	27	0	260	1,547	194
Kanadasansou-A	<i>M.multicaulis</i> Perr.	2007-2009	284	73	31	816	29	0	275	1,527	201
Kokusou 21(mixoploid_244 <sup>a</sup> )	<i>M.multicaulis</i> Perr.	2007-2009	251	110	52	763	46	0	285	1,525	145
Kokusou 21(mixoploid_422 <sup>b</sup> )	<i>M.multicaulis</i> Perr.	2007-2009	291	91	48	816	41	0	224	1,521	164
Shiwasuguwa	<i>M.acidosa</i> Griff.	2007	358	88	96	631	37	0	290	1,501	129
Tanakaoushuu	<i>M.bombysis</i> Koidz.	2007-2009	111	102	15	804	36	0	370	1,461	145
Philippine	<i>M.multicaulis</i> Perr.	2009	234	108	60	666	42	0	321	1,450	165
Jikunashi	<i>M.alba</i> L.	2007-2009	224	114	38	680	37	0	325	1,438	134
Sejjuouro	<i>M.multicaulis</i> Perr.	2007-2009	189	67	14	825	32	0	291	1,434	180
Amoi 1	<i>M.atropurpurea</i> Roxb.	2007-2009	277	103	66	670	21	0	272	1,429	207
Turkey 3	<i>M.notabilis</i> C.K.Schn.	2009	302	84	59	670	33	0	255	1,415	99
Ichinose(akagi)	<i>M.alba</i> L.	2007-2009	239	85	58	708	35	0	262	1,404	255
Ochii	<i>M.multicaulis</i> Perr.	2007	226	55	76	625	36	0	383	1,400	198
Kinuyutaka(mixoploid_422 <sup>b</sup> )	<i>M.alba</i> L.	2007-2009	177	89	26	751	31	0	294	1,384	162
Shina kanton 2	<i>M.multicaulis</i> Perr.	2009	192	58	38	725	34	0	302	1,370	146
Lalaberry	<i>M.alba</i> L.	2007-2009	238	69	29	739	38	0	234	1,357	140
Ayanobori	<i>M.alba</i> L.	2007-2009	185	66	42	727	39	0	273	1,350	269
Kinuyutaka(tetraploid)	<i>M.alba</i> L.	2007-2009	195	70	14	762	27	0	266	1,349	147
Akagi	<i>M.bombysis</i> Koidz.	2007-2009	179	116	47	604	45	0	337	1,348	121
Okushiritou aonaegawa 1	<i>M.bombysis</i> Koidz.	2008	62	111	0	492	93	0	529	1,344	118
Hayatesakari	<i>M.alba</i> L.	2007-2009	255	66	38	672	29	0	261	1,338	231
kosou 197	<i>M.multicaulis</i> Perr.	2008-2009	241	59	46	687	36	0	241	1,333	106
Shina kanton 1	<i>M.multicaulis</i> Perr.	2009	217	69	49	681	31	0	270	1,332	167
Kokusou 21(original, diploid)	<i>M.multicaulis</i> Perr.	2007-2009	231	69	49	670	36	0	248	1,319	141
Natsunobori	<i>M.alba</i> L.	2007-2009	184	76	11	746	29	0	249	1,310	146
Toumarutouge 1	<i>M.bombysis</i> Koidz.	2008-2009	76	124	29	513	80	0	438	1,299	108
Iraq 3	<i>M.notabilis</i> C.K.Schn.	2009	347	71	40	686	25	0	125	1,292	212
Yonbaiseisou	<i>M.bombysis</i> Koidz.	2007-2009	66	108	6	755	32	0	305	1,286	244

島根県農業技術センター研究報告 第46号 (2019)

Cultivar of mulberry	Species	Year investigated	Flavonol content (mg/100 gDW)								DNJ content (mg/100g DW)
			Rutin	Isoquercitrin	K3RG	Q3MG	Astragaln	Q3AG	K3MG	Total content	
Morechiana	<i>M.alba</i> L.	2009	269	47	60	611	28	0	247	1,277	166
Kairyoku akita	<i>M.bombysis</i> Koidz.	2007	304	111	73	537	32	0	219	1,277	118
Kokusou 27	<i>M.alba</i> L.	2007-2009	194	85	22	699	15	0	246	1,274	183
Tagowase	<i>M.alba</i> L.	2007-2009	51	76	4	768	30	0	326	1,272	187
Higashimokoto fukutomi	<i>M.bombysis</i> Koidz.	2008-2009	121	104	42	534	64	0	367	1,266	119
Naganuma	<i>M.multicaulis</i> Perr.	2007	465	177	92	380	27	0	126	1,266	163
Rousanjyu	<i>M.bombysis</i> Koidz.	2008	230	657	137	0	347	0	0	1,265	162
Popberry	<i>M.multicaulis</i> Perr.	2007-2009	570	352	284	0	67	0	0	1,265	134
Higashimokoto akeo	<i>M.bombysis</i> Koidz.	2008-2009	74	111	12	600	70	0	365	1,259	129
Hon 02-20	<i>M.alba</i> L.	2009	241	97	85	495	36	0	284	1,255	115
Enbu	<i>M.mesozygia</i> Stapf.	2008-2009	222	129	18	658	34	0	187	1,255	178
Ka 97-05	<i>M.alba</i> L.	2007-2009	366	83	87	482	29	0	190	1,251	201
Akansasu	unknown	2009	121	125	25	617	48	0	295	1,247	131
Ka 00-12	<i>M.multicaulis</i> Perr.	2007-2009	460	72	118	403	15	0	155	1,240	147
Kinuyutaka(original, diploid)	<i>M.alba</i> L.	2007-2009	177	61	24	682	37	0	246	1,239	161
Yukishirazu	<i>M.bombysis</i> Koidz.	2007-2009	166	104	25	649	29	0	255	1,238	229
Shimanouchi	<i>M.bombysis</i> Koidz.	2007-2009	248	90	63	535	32	0	254	1,237	185
Philippine 1	<i>M.alba</i> L.	2009	193	49	41	656	30	0	252	1,237	140
English Black	<i>M.alba</i> L.	2008-2009	246	90	45	591	35	0	206	1,223	208
Keguwa	<i>M.tiliaefolia</i> Makino	2007-2009	299	411	7	309	16	180	24	1,221	138
Atsubamidori	<i>M.multicaulis</i> Perr.	2007	412	92	76	462	26	0	142	1,209	180
Obata	<i>M.bombysis</i> Koidz.	2007-2009	588	235	320	0	58	0	0	1,208	172
Negoya takasuke	<i>M.bombysis</i> Koidz.	2007-2009	134	172	22	560	44	0	261	1,202	123
Soshuu 6	<i>M.multicaulis</i> Perr.	2009	202	55	41	643	30	0	216	1,199	179
Keikansou	<i>M.multicaulis</i> Perr.	2007-2009	156	48	13	745	36	0	193	1,199	145
Juumonji	<i>M.alba</i> L.	2007	138	41	37	624	36	0	320	1,196	189
Minamisakari	<i>M.alba</i> L.	2007	384	71	99	449	0	0	190	1,193	152
Iraq	<i>M.notabilis</i> C.K.Schn.	2009	284	80	39	617	28	0	136	1,183	181
Tadjikskaja	unknown	2009	197	53	28	696	26	0	173	1,179	128
Murasakiwase	<i>M.bombysis</i> Koidz.	2007	173	51	48	579	34	0	292	1,178	207
Kinuyutaka(mixoploid_244 <sup>a</sup> )	<i>M.alba</i> L.	2007-2009	165	71	24	645	26	0	232	1,175	161
Wasemidori	<i>M.multicaulis</i> Perr.	2007-2009	139	56	8	711	34	0	214	1,169	225
Kiryoku ichinose	<i>M.alba</i> L.	2007	210	39	52	607	0	0	262	1,169	125
Yasuoka no ookuwa	<i>M.alba</i> L.	2008	163	81	0	639	40	0	225	1,166	221
Sanish 33	<i>M.alba</i> L.	2008-2009	147	78	41	578	38	0	256	1,159	144
Kanton II kou	<i>M.atropurpurea</i> Roxb.	2007-2009	195	82	58	502	35	0	264	1,155	121

杉山:クワ葉の機能性成分含量を高めるための環境要因および適性品種の選抜と育種に関する研究

Cultivar of mulberry	Species	Year investigated	Flavonol content (mg/100 gDW)							Total content	DNJ content (mg/100g DW)
			Rutin	Isoquercitrin	K3RG	Q3MG	Astragalín	Q3AG	K3MG		
Sekizaisou	<i>M.alba</i> L.	2008-2009	252	46	0	673	29	0	145	1,154	122
Ichinose	<i>M.alba</i> L.	2007-2009	153	50	33	623	34	0	241	1,148	165
Tosawase	<i>M.atropurpurea</i> Roxb.	2007	257	55	61	506	28	0	240	1,145	176
Kanrasou	<i>M.multicaulis</i> Perr.	2007	271	73	69	497	0	0	233	1,143	243
Ruinashi	<i>M.bombysis</i> Koidz.	2007	315	90	91	402	29	0	210	1,138	177
Aobanezumi	<i>M.alba</i> L.	2007	171	56	40	598	0	0	272	1,137	109
Shuukaku ichi	<i>M.alba</i> L.	2007	181	41	35	612	29	0	236	1,134	148
Shinjiro	<i>M.alba</i> L.	2007	132	55	40	616	0	0	288	1,131	174
Philippine 2	<i>M.alba</i> L.	2009	252	44	88	467	22	0	239	1,130	110
Mitsuminami	<i>M.multicaulis</i> Perr.	2007-2009	305	60	80	435	25	0	207	1,119	130
Unryuu	<i>M.multicaulis</i> Perr.	2007-2009	220	66	71	439	33	0	264	1,114	98
Shin ichinose	<i>M.alba</i> L.	2007-2009	152	52	20	616	24	0	232	1,111	158
Turkey 1	<i>M.notabilis</i> C.K.Schn.	2009	270	75	42	567	25	0	131	1,109	149
Zerbe beyadz	<i>M.alba</i> L.	2009	267	74	0	647	27	0	99	1,108	92
Chousen zairai shu	<i>M.alba</i> L.	2007	275	86	63	464	28	0	190	1,106	196
Debabi	<i>M.nigriformis</i> Koidz.	2008-2009	238	57	55	544	28	0	168	1,106	108
Shirome keisou ♀	<i>M.multicaulis</i> Perr.	2007	297	55	57	501	27	0	167	1,105	147
Chousa	<i>M.multicaulis</i> Perr.	2007	176	46	36	614	30	0	201	1,103	149
Kantonmishou	<i>M.multicaulis</i> Perr.	2009	321	71	62	452	24	0	160	1,095	131
Surk-tut	<i>M.alba</i> L.	2009	155	39	0	626	24	0	236	1,094	82
Tokiyutaka	<i>M.alba</i> L.	2007	190	46	32	615	30	0	181	1,094	194
Burii	<i>M.multicaulis</i> Perr.	2009	88	41	23	617	28	0	268	1,085	179
Hon 02-00	<i>M.alba</i> L.	2009	175	39	48	558	36	0	210	1,083	143
Senshin	<i>M.multicaulis</i> Perr.	2007-2009	250	46	30	560	23	0	162	1,080	171
Shounaiwase	<i>M.bombysis</i> Koidz.	2007-2009	252	428	183	0	237	0	0	1,069	80
France 1	<i>M.multicaulis</i> Perr.	2009	85	77	21	545	34	0	287	1,066	163
Ooshimasou	<i>M.multicaulis</i> Perr.	2007	146	35	26	633	0	0	224	1,064	107
Algeria-atsuba	<i>M.multicaulis</i> Perr.	2009	168	53	22	605	27	0	179	1,063	117
Suigen-ooha	<i>M.alba</i> L.	2007	226	53	36	579	0	0	159	1,053	170
Kozaemon (fukushima)	<i>M.bombysis</i> Koidz.	2007-2009	131	57	9	613	13	0	208	1,044	191
Ichibei	<i>M.bombysis</i> Koidz.	2007-2009	254	135	85	346	33	0	177	1,042	194
Turkey 4	<i>M.notabilis</i> C.K.Schn.	2009	285	50	29	579	20	0	78	1,038	142
Shirome rosou	<i>M.multicaulis</i> Perr.	2007-2009	177	36	28	560	25	0	201	1,037	89
Tousou 2	<i>M.multicaulis</i> Perr.	2007	217	45	35	569	0	0	166	1,032	133
Zimostojkij	<i>M.multicaulis</i> Perr.	2009	164	53	31	576	27	0	163	1,022	118
Garyuu	<i>M.multicaulis</i> Perr.	2007	191	39	45	516	27	0	197	1,015	22

島根県農業技術センター研究報告 第46号 (2019)

Cultivar of mulberry	Species	Year investigated	Flavonol content (mg/100 gDW)							DNJ content (mg/100g DW)	
			Rutin	Isoquercitrin	K3RG	Q3MG	Astragalin	Q3AG	K3MG		Total content
Futsukokuruu	<i>M.multicaulis</i> Perr.	2009	154	50	0	590	27	0	170	999	194
Rohachi	<i>M.multicaulis</i> Perr.	2007	215	45	49	461	25	0	195	990	141
Sanish 34	<i>M.alba</i> L.	2008-2009	163	55	16	548	18	0	172	987	190
Akamerosou	<i>M.multicaulis</i> Perr.	2007	220	38	49	480	24	0	175	986	138
shinsou 2	<i>M.bombysis</i> Koidz.	2007	188	98	90	305	40	0	266	986	96
Soshuu 1	<i>M.multicaulis</i> Perr.	2007-2009	196	38	36	520	22	0	162	985	147
shinsou 1	<i>M.bombysis</i> Koidz.	2007	82	113	24	459	42	0	263	984	160
France 2	<i>M.multicaulis</i> Perr.	2009	228	78	76	399	20	0	174	982	186
Koushuu 1	<i>M.multicaulis</i> Perr.	2007	251	43	72	430	0	0	181	977	105
Tsuruta (fukushima)	<i>M.alba</i> L.	2008-2009	143	59	31	503	31	0	192	977	201
Asayuki	<i>M.bombysis</i> Koidz.	2007	117	75	39	434	37	0	275	976	141
Hon 01-03	<i>M.alba</i> L.	2009	612	150	209	0	18	0	0	976	155
Turkey 2	<i>M.notabilis</i> C.K.Schn.	2008-2009	246	57	32	492	25	0	114	972	160
Myurienoaaru	<i>M.multicaulis</i> Perr.	2009	199	35	44	499	20	0	160	966	207
Chousen karaguwa	<i>M.multicaulis</i> Perr.	2009	274	42	50	441	21	0	130	965	120
Kiryuu nezumi gaeshi	<i>M.alba</i> L.	2007	118	34	37	473	26	0	275	964	118
Kairyuu rosou	<i>M.multicaulis</i> Perr.	2007	265	47	66	425	0	0	160	963	127
Hon 03-13	<i>M.multicaulis</i> Perr.	2009	207	44	50	446	22	0	182	962	160
Kenmochi	<i>M.bombysis</i> Koidz.	2007-2009	155	51	53	429	28	0	224	957	67
Fukusima ooha	<i>M.alba</i> L.	2007	202	98	36	448	27	0	143	953	160
Hakuryuu	<i>M.multicaulis</i> Perr.	2008-2009	189	52	26	483	22	0	164	949	106
Roshiya	<i>M.alba</i> L.	2009	162	34	48	434	22	0	228	947	199
Pionerskij	<i>M.alba</i> L.	2009	223	43	52	449	16	0	154	945	133
Tsuruta	<i>M.alba</i> L.	2007-2009	130	38	19	550	12	0	183	942	142
Rokokuyasou	<i>M.multicaulis</i> Perr.	2007	127	39	24	549	27	0	176	941	124
Sanish 35	<i>M.alba</i> L.	2008-2009	246	40	40	469	22	0	116	941	97
Benikawa rosou	<i>M.multicaulis</i> Perr.	2007	193	41	34	518	0	0	150	935	120
Ka 96-07	<i>M.rotundiloba</i> Koidz.	2009	558	163	189	0	20	0	0	915	167
Aegean beyadz	<i>M.alba</i> L.	2009	180	35	0	504	19	0	168	913	112
Kanmasari	<i>M.bombysis</i> Koidz.	2007-2009	182	101	62	320	44	0	192	911	169
Shirome keisou ♂	<i>M.multicaulis</i> Perr.	2007	184	33	24	534	0	0	129	904	116
Italy-ronberuji	<i>M.multicaulis</i> Perr.	2009	176	31	49	402	23	0	204	903	118
Miran 5	<i>M.multicaulis</i> Perr.	2007	158	39	26	552	0	0	129	903	91
Yanagida	<i>M.bombysis</i> Koidz.	2007	120	44	22	525	0	0	191	900	131
Hon 03-00	<i>M.multicaulis</i> Perr.	2009	228	53	102	267	22	0	205	895	212
Uzbekistan	<i>M.alba</i> L.	2008-2009	106	42	9	529	18	0	173	891	118

杉山:クワ葉の機能性成分含量を高めるための環境要因および適性品種の選抜と育種に関する研究

Cultivar of mulberry	Species	Year investigated	Flavonol content (mg/100 gDW)								DNJ content (mg/100g DW)
			Rutin	Isoquercitrin	K3RG	Q3MG	Astragaln	Q3AG	K3MG	Total content	
Chijimiguwa	<i>M.bombysis</i> Koidz.	2007	65	42	33	490	26	0	225	882	150
kosou 199	<i>M.multicaulis</i> Perr.	2008-2009	155	31	35	455	25	0	158	875	130
France 3	<i>M.multicaulis</i> Perr.	2009	268	41	71	312	17	0	150	869	136
Aizujyujima	<i>M.bombysis</i> Koidz.	2007-2009	107	73	36	338	38	0	252	860	158
Sekaiichi	<i>M.multicaulis</i> Perr.	2007	202	39	47	419	0	0	151	859	160
India-kagayamae	unknown	2008-2009	132	38	12	476	26	0	161	858	237
Iraq 4	<i>M.notabilis</i> C.K.Schn.	2009	128	33	24	462	20	0	177	856	143
Kibajuumonji	<i>M.alba</i> L.	2007-2009	96	28	17	461	26	0	208	846	208
Siam	<i>M.rotundiloba</i> Koidz.	2009	414	317	109	0	39	0	0	845	227
Ka 96-08	<i>M.rotundiloba</i> Koidz.	2009	240	34	58	331	17	0	151	843	184
Shinkenmochi	<i>M.bombysis</i> Koidz.	2007	160	53	38	406	22	0	161	840	79
Aokirosou	<i>M.multicaulis</i> Perr.	2007	181	23	37	449	0	0	149	838	83
Hon 03-11	<i>M.multicaulis</i> Perr.	2009	509	126	193	0	16	0	0	834	177
Tachibanasou	<i>M.bombysis</i> Koidz.	2007	117	45	24	457	23	0	168	834	126
Mikurasima 30	<i>M.kagayamae</i> Koidz.	2008	65	117	13	396	58	0	180	833	156
Hachijouguwa	<i>M.kagayamae</i> Koidz.	2008	20	107	0	378	60	0	250	830	235
Koshiorihime	<i>M.bombysis</i> Koidz.	2007	172	27	20	506	0	0	104	829	160
Yukishinogi	<i>M.bombysis</i> Koidz.	2007	95	41	24	451	22	0	176	809	157
Shukutsu no ookuwa	<i>M.bombysis</i> Koidz.	2008	241	267	88	38	135	0	21	762	157
Tsurugisansou	<i>M.multicaulis</i> Perr.	2007-2009	187	52	53	294	18	0	129	742	209
Fusoumaru	<i>M.multicaulis</i> Perr.	2007-2009	104	31	17	395	17	0	158	732	131
Chousen sensensou	<i>M.bombysis</i> Koidz.	2009	89	30	30	374	17	0	177	729	186
Okusiritou aonaegawa 4	<i>M.bombysis</i> Koidz.	2008	210	202	152	28	108	0	30	723	151
Uzubesukaya	<i>M.alba</i> L.	2009	205	34	34	338	14	0	88	716	88
Fuyousou	<i>M.bombysis</i> Koidz.	2007-2009	127	22	14	409	17	0	111	707	117
Goroujiwase	<i>M.bombysis</i> Koidz.	2007-2009	326	152	159	0	34	0	0	672	132
Okusiritou inaho 2	<i>M.bombysis</i> Koidz.	2008	182	264	96	0	167	0	0	670	160
Fukayuki	<i>M.bombysis</i> Koidz.	2007-2009	185	317	100	0	84	0	0	665	146
Hatijyousima	<i>M.kagayamae</i> Koidz.	2008	130	365	60	0	164	0	0	664	136
Sousukewase	<i>M.bombysis</i> Koidz.	2007-2009	302	153	122	0	23	0	0	601	156
Hasune no ookuwa	<i>M.bombysis</i> Koidz.	2008	62	23	0	350	21	0	103	566	128
Mikurasima 15	<i>M.kagayamae</i> Koidz.	2008	36	45	0	196	24	0	92	398	161

Abbreviations: *M.* = *Morus*, K3RG = kaempferol 3-(6-rhamnosylglucoside), Q3MG = quercetin 3-(6-malonylglucoside), Q3AG = quercetin 3-(6-acetylglucoside), K3MG = kaempferol 3-(6-malonylglucoside), DNJ = 1-deoxynojirimycin

<sup>a</sup> : superficial layer diploid cell population, deep layer tetraploid cell population periclinal chimera by treatment with colchicine

<sup>b</sup> : superficial layer tetraploid cell population, deep layer diploid cell population periclinal chimera by treatment with colchicine

いて Q3MG の遺伝解析を行い、交雑育種による Q3MG 高含量品種育成の可能性を検討した。さらに、育種の期間短縮をめざし、クワの接ぎ木個体を用いた交配、早期選抜の可能性を検証した。

## 1 材料および方法

### 1) 供試材料

Q3MG の遺伝様式の調査は 2008 年から 2010 年に島根県農業技術センター(島根県出雲市芦渡町)で栽培した交雑実生の播種当年の個体を用い、接ぎ木交配(図 1-2-1)により行った。交配親は Q3MG を含有する品種として‘四倍性桑’、‘国桑第 21 号 (2x)’、‘国桑第 21 号 (4x)’、‘清十郎’、‘軸無’、‘国桑第 20 号’、‘カナダ産桑 A’、‘田中奥州’、‘伊藤早生’、‘会津十島’、‘根古屋高助’を、Q3MG を持たない品種として‘庄内早生’、‘惣助早生’、‘ポップベリー’を選定し、穂木を 2008 年：12 月、2009 年：12 月、2010 年：12 月にそれぞれ国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構農業生物資源ジーンバンクの配布規定により取得した。交配組み合わせはそれぞれ、Q3MG の有無により 1)：有×有、2)：有×無、3)：無×有、4)：無×無とした(表 1-2-1)。接ぎ木交配の手順を図 1-2-1 に示した。3 から 4 芽ごとに切断

した穂木を実生苗の根に接ぎ木し、27℃の恒温加湿条件で 1 週間癒合処理を行った。癒合した枝を 1 ポットあたり 10 枝程度ワグネルポット (1/2000 a) に定植後、人工気象室で栽培し開花させ人工交配した。結実した種子は 30℃で 3~4 日催芽後 2.5 号のビニールポットに播種した。7 月に本葉が 4 枚程度展開した苗を、畝間 80 cm、株間 50 cm の密度で本圃に定植した。肥培管理は常法に従い行った。9 月下旬から 10 月上旬、最長枝条長の完全展開葉のうち、もっとも若い葉から下位 3 葉を採取し分析に用いた。

### 2) サンプル調整およびフラボノールの分析

第 1 章第 1 節の方法に準じて行った。

### 3) 統計処理

第 1 章第 1 節の方法に準じて行った。

## 2 結果および考察

### 1) 接ぎ木交配

育種において、その期間短縮は重要な要素となる。そこで、交配親選定後、ただちに育種を開始し期間短縮をはかる方法として、接ぎ木交配を試みた(図 1-2-1)。交配に用いた品種により開花数

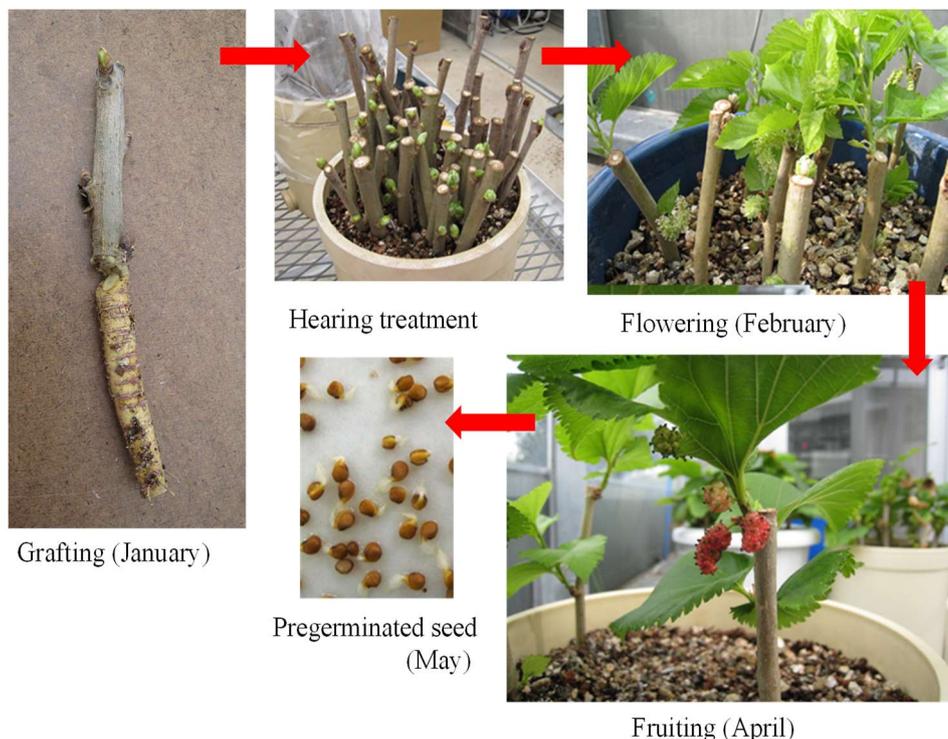


Fig. 1-2-1. Method of crossing to used grafting of mulberry.

は異なったが、いずれも穂木の開花が確認され交配が可能であった(データ省略)。12月に穂木を取得後、1月に接ぎ木および癒合処理、2月に開花(交配)、4月に採種および播種、5月に定植、の手順により9月に葉身サンプルの採種が可能であった。クワは新梢の生育が旺盛であり、通常のクワ栽培においても、新梢の成長は3mを超える。定植後、5月定植の交雑実生の生育は旺盛で、9月には2mを超える個体も散見され、いずれの交雑実生も葉身サンプルが採取できた。したがって、親の品種選定から1年後には1次選抜供試個体の育成が可能であり、クワの成分育種の期間短縮の可能性が示された。実際に接ぎ木交配を行う場合は、品種により花穂の多少が異なることから、選定した品種の花穂が少ない場合は個体数を増やす、また、発芽を揃えるために雄花の接ぎ木時期をずらす等の留意が必要である。

Q3MGを含有する品種と持たない品種の組み合わせで、交配後代の実生を用いてQ3MG有無の発現率とその含有率を調べた(表1-2-1)。Q3MGを持たない品種どうしの組み合わせでは、持たない実生個体の出現率は100%となり、Q3MGを含有する品種と持たない品種の組み合

わせでは、持たない実生個体の出現率は概ね50%であった。また、2倍体の‘国桑第20号’と4倍体の‘国桑第21号’の組み合わせにおいて、劣性ホモの出現率:12.5%に近い11%の値を示した。これらの出現率から、マロニル基転移酵素は単一遺伝子でメンデルにおける優性遺伝すると推測された。‘国桑第20号’、‘国桑第21号’はマロニル基転移酵素をヘテロで持つと推測されるが、第1節(図1-1-3)で示されたように、‘国桑第20号’、‘国桑第21号’ともにQ3MG含量が高い。したがって、優性ホモが必ずしも高含量の条件であるとは限らないと考えられる。

次に、図1-2-2に‘カナダ産桑A’と‘田中奥州’の交雑実生個体のQ3MG含量の度数分布を示した。度数分布は正規分布を示し、これは他の組み合わせでも同様の結果を示した。全ての組み合わせにおいて、交配親のQ3MG含量は全実生個体の平均値に近い値となり、いずれの組み合わせにおいても交配親よりQ3MG含量の高い個体が得られ(データ省略)、高含有品種を交配親に用いることによりQ3MG高含有品種の育成が可能であると考えられた。

また、第1節でそれぞれの品種のフラボノー

Table 1-2-1. Mode of inheritance of quercetin 3-(6-malonylglucoside) (Q3MG).

Cross combination				Number of seed bred	Number of Q3MG-free
♀		♂			
Cultivar	Genotype of Q3MG	Cultivar	Genotype of Q3MG		
Yonbaiseisou	MM	Kokusou 21	Mm	282	2 (1%)
Seijuro	MM	Kokusou 21	Mm	54	0
Jikunashi	MM	Kokusou 21	Mm	74	0
Kokusou 20	Mm	Kokusou 21 (4x)	MMmm	225	25 (11%)
Kanadasansou-A	MM	Kokusou 21 (4x)	MMmm	155	0
Kokusou 20	Mm	Tanakaoushuu	MM	132	0
Kanadasansou-A	MM	Tanakaoushuu	MM	132	0
Jikunashi	MM	Shounaiwase	mm	62	0
Itouwase	Mm	Shounaiwase	mm	53	30 (57%)
Sousukewase	mm	Aizujushima	Mm	55	34 (62%)
Sousukewase	mm	Nekoyatakasuke	Mm	44	20 (45%)
Popberry	mm	Nekoyatakasuke	Mm	56	23 (41%)
Sousukewase	mm	Shounaiwase	mm	58	58 (100%)
Popberry	mm	Shounaiwase	mm	10	10 (100%)

Shaded region: Q3MG-free cultivars. Abbreviation: 4x = tetraploid Genotype was assumed based on the presence or absence of malonyltransferase as dominant (M) or recessive (m), based on the resulting ratio of Q3MG-free offspring.

ル総量に対する Q3MG の含有率は、約 60%を上限とする切断正規分布を示し(図 1-1-4)、クワの Q3MG 合成における遺伝子プールの限界は概ね 60%であると推測された。このことから、Q3MG 含有率を 60%より高くすることは難しいと考えられる。しかし、Q3MG を含有する品種は Q3MG 含有量と総フラボノール含有量の間には正の相関が認められたことから(図 1-1-5)、フラボノール全体の含有量を増加させることによって Q3MG 含量の向上が期待できる。フラボノール総量の引き上げと、含有率 60%の維持が Q3MG 高含有品種育成の鍵になると思われる。

次に、成分育種においては、早い段階で成分による選抜を行うことが期間短縮、圃場の利用においても優位となる。そこで、交配当年の実生と 2 年目の実生の Q3MG 含量の比較により、成分含量の早期選抜の可能性を検討した。‘四倍性桑’と‘国桑第 21 号’の実生 72 個体を用いて 2008 年および 2009 年 2 年間の Q3MG 含量を比較したところ、高い正の相関が認められた(図 1-2-3)。これは、樹齢による葉中フラボノール含量の変化は小さく、フラボノールを対象とした成分育種においてフラボノール含量による早期選抜が可能であることを意味する。

本試験の結果、Q3MG 高含量個体を交配親に選定することにより、交雑育種による Q3MG 高含量品種育成が可能であり、接ぎ木交配、Q3MG 含量の早期選抜により育種期間の短縮がはかれることが明らかとなった。

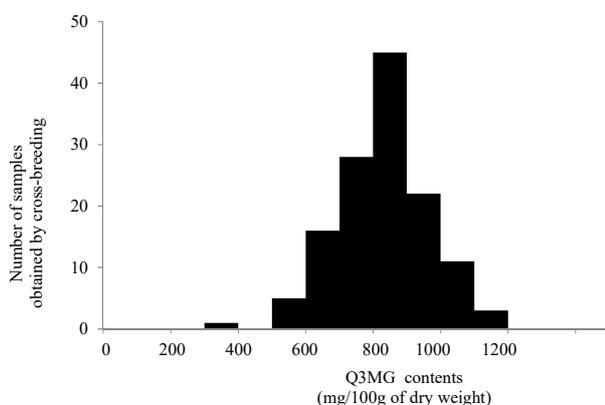


Fig.1-2-2. The frequency distribution of quercetin 3-(6-malonylglucoside) (Q3MG) content in the offspring obtained by crossing ‘Kanasansou-A’ (Q3MG content: 607 mg/100 g DW) and ‘Tanakaoushuu’ (Q3MG content: 599 mg/100 g DW).

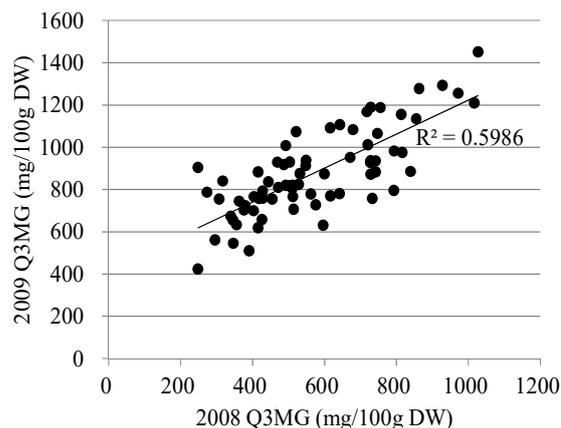


Fig. 1-2-3. Correlation of Q3MG content measured in 2009 and 2008 using the offspring obtained by crossing ‘Yonbaiseisou’ and ‘Kokusou 21’. Black circles indicate seedlings obtained by crossing ‘Yonbaiseisou’ and ‘Kokusou 21’, which were sampled (n = 72) on September 4 in 2008 and September 18 in 2009.

### 第3節 高 Q3MG 含量クワ新品種 ‘蒼楽’ の育成

第 1 章第 1 節において、フラボノールの品種間差を調査し、高いフラボノール含量を有する品種が明らかになるとともに、第 2 節で交雑育種により高含量品種の育成が可能であることを明らかにした。これらの知見をもとに、ここではクワ葉の主要な機能性成分:フラボノール配糖体である Q3MG 含量を高くすることを育種目標として、‘一ノ瀬より高含有する品種の育成を試み、Q3MG を含有量の高いクワ新品種‘桑楽’を育成した。ここでは、その育成経過と特性を報告する。

#### 1 来歴および育成経過

育成品種‘蒼楽’の来歴を図 1-3-1 に示した。2007 年に調査したフラボノール含量の品種比較試験の結果をもとに、Q3MG 含量の高い‘四倍性桑’を種子親、‘国桑第 21 号’を花粉親に選定した。選定した両品種は、国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構農業生物資源ジーンバンクから入手し、穂木を 2008 年 1 月に島根県農業技術センターで実生苗の根に接ぎ木した。人工気象室において開花した接ぎ木個体を用いて、人工交配を行った。同年 4 月に得られた交雑実生 298 個体を 5 月下旬にセンター圃場に定植し、養成した。その後、Q3MG 含量を指標に実生 20 個体を

選抜した。2009年5月に1次選抜した20個体を接ぎ木により増殖し、島根県江津市桜江町市山の圃場へ各個体5本ずつ定植した。同年に、Q3MG含量および形態特性を指標に2次選抜を行い1次選抜20個体から2個体選抜した。選抜した2個体は2010年、再度接ぎ木法により増殖し、桜江町大貫の圃場へ定植した。定植した苗は1年養成後、2011年、2012年に収量性を調査し有望系統‘Y4’を選抜した。有望系統‘Y4’は2013年4月、品種名‘蒼楽’として品種登録出願を行い、2015年に品種登録された。

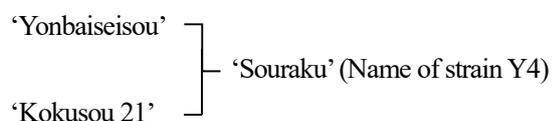


Fig. 1-3-1. Crossbreeding history of ‘Souraku’.

## 2 材料および方法

### 1) 供試材料

交配および1次選抜は島根県出雲市芦渡町農業技術センターにおいて、また2次選抜以降の特性調査、生態調査、収量調査は島根県江津市桜江町市山および大貫において実施した。2008年2月に接ぎ木した親品種を人工気象室で開花させ3月に交配した(図1-2-1)。4月に採取した交雑実生は催芽後5月12日に6cmポットに播種し養成した。同年6月18日、実生苗をセンター圃場に畝間1m、株間50cmで定植した。2009年5月市山圃場に、接ぎ木により増殖した1次選抜個体各5本を、畝間1m、株間50cmで定植し、2次選抜に供試した。2010年5月大貫圃場に、接ぎ木法により増殖した2次選抜個体を1区4畝7株の3反復となるように、畝間1.5m、株間50cmで定植し、1年間株を養成し2011年から収量調査に供試した。接ぎ木苗は、いずれも、5月上旬に接ぎ木後、30°Cのインキュベーターで1週間癒合処理した後定植した。圃場定植後の肥培管理はクワの一般的な栽培方法に準じた。

### 2) 調査方法

生育調査、収量調査は2011年、2012年に年2

回7月および10月に、1区3反復各区10株を用いて行った。特性調査は、種苗特性分類調査報告書(桑)に従った。生育調査は各株の最長枝条を用いた。新梢長は新梢の基部から先端、落葉長は新梢の基部から着葉部位までをそれぞれ測定した。葉身、節間長の調査は最長枝条の先端から1/3の高さに位置する部位で行い、節間長は連続する5節を測定しその平均値で求めた。収量調査は、1株ごとに全枝条の伐採により行った。枝条重を測定後、伐採した枝条の葉をこきとり枝重を測定した。葉身収量は、葉重として枝条重から枝重を引いて算出した。

### 3) Q3MG分析

Q3MG分析に際し、葉身のサンプリングは、農業技術センター圃場：2008年9月4日、2009年9月18日、桜江町市山圃場：2009年9月11日、2010年10月13日、桜江町大貫圃場：2010年10月19日、2011年7月13日、2011年10月20日、2012年7月25日、2012年9月25日に行った。葉身はそれぞれの最長枝条の完全展開葉のうち最も若い葉から下位3枚採取した。抽出および分析は第1章第1節に準じた方法で行った。

### 4) 統計処理

第1章第1節に準じた方法で行った。

## 3 特性の概要

### 1) 形態および生態的特性

表1-3-1に形態的特性を示した。‘蒼楽’はログワ系(*Morus multicaulis* Perr.)に属し、樹形はやや展開である(図1-3-2)。冬芽は赤褐色で、三角形を呈し、枝条に平行直立に着く(図1-3-3)。「一ノ瀬」と比較して枝条数はやや多く、矮小枝数が多い。また、「一ノ瀬」より枝条が長い。葉は切れ込みが有り、欠刻数は0~4が混在し刻々は浅い(図1-3-4)。葉の大きさ、厚さは「一ノ瀬」と同程度で、濃緑色を呈し、葉面は平滑からやや粗の間、光沢はやや弱、縮離は少ない。葉の着生角度は加水と水平の間である。節間は「一ノ瀬」よりやや長い。また、葉のこき取りは中程度で「一ノ瀬」よりやや堅い。花性は雌性であり、着花数は「一ノ瀬」と同じ中程度である(図1-3-5-A-B)。3倍体のた

Table 1-3-1. Morphological characteristics.

Cultiver	Form of shoot-cut training	Winter bud				Plant: number of branches	Branch			
		Shape	Size	Color	Number of accessory buds		Uniformity of length	Number of lateral branches	Number of dwarf branches	Length
Souraku	semi-erect	triangular	large	reddish brown	medium	many	medium to even	few	many	long
Ichinose	semi-erect	triangular	medium	brown	medium	medium to many	medium	few	medium	medium
Kokusou 21	open	spindle shaped	medium to large	brown	few	many	medium to even	few	few	long

Cultiver	Branch				Leaf: phyllotaxis	Leaf: attitude	Leaf blade			
	Diameter	Color	Zigzag form of internode	Length of internode			Number of sinuses	Depth of sinus	Size	Shape of apex
Souraku	medium	graysh brown	absent	long	two fifth	semi drooping	none to four	shallow	medium	obtuse
Ichinose	medium to thin	light gray	absent	medium	two fifth	horizontal	four	medium	medium	acute
Kokusou 21	medium to thick	light gray	absent	long	two fifth	horizontal	none to two		large	acute

Cultiver	Leaf blade					Petiole: length	Flower			
	Serration of margin	Shape of base	Color of upper side	Glossiness of upper side	Thickness		Sex expression	Number of pistillate clusters	Length of style	Plant:ploidy
Souraku	crenate	retuse	dark green	weak to medium	medium	medium to long	pistillate	medium	medium	triploid
Ichinose	repand	cordate	medium green	medium	medium	medium	pistillate	medium	medium	diploid
Kokusou 21	crenate	cordate	medium green	strong	medium	medium to long	predominantly	very few	short	diploid

め種子はほとんど確認できない(図 1-3-6). 表 1-3-2 に形態的特性を示した. 春期の発芽は国桑第 21 号よりやや遅く‘一ノ瀬’と同程度の晩生である. ‘蒼楽’には 7 月までの栽培期間に, 芯止まりと再発芽が年により一部で確認された(図 1-3-7). この現象は 3 倍体, 4 倍体で時々みられる現象で, 蒼楽の倍数性(3 倍体)に由来すると考えられるが, 発生頻度は少ないため通常栽培には問題ないと思われる.



Fig. 1-3-4. Leaf blade of ‘Souraku’ and ‘Ichinose’.



Fig.1-3-2. Form of shoot-cut training of ‘Souraku’.



Fig. 1-3-3. Winter bud shape of ‘Souraku’.

A



B



Fig. 1-3-5. Flower and fruting of ‘Souraku’.  
A: flower, B: fruting

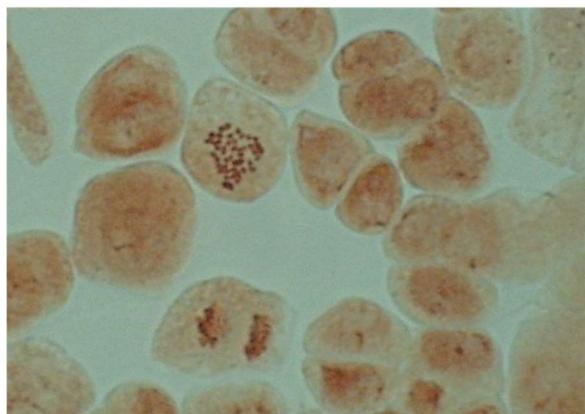


Fig. 1-3-6. Chromosome of 'Souraku'.

## 2) 収量性

葉量割合は一ノ瀬に比べ蒼葉がやや少なかったものの、最長枝条長が一ノ瀬より 30 cm 長く、葉量は一ノ瀬より 1 割程度多くなった。新梢の基部から着葉部位までを測定する下部落葉長は「一ノ瀬に比べ蒼葉が多かった。これは最長枝条長が一ノ瀬に比べ長かったことから、下位葉への日照が不足したことが原因で落葉が多くなったと考えられた。また、最長枝条長が蒼葉'長いにもかかわらず、倒伏枝条数は一ノ瀬に比べ少なかったことから、'蒼葉'が一ノ瀬より倒伏に強いと思われる (表 1-3-3)。



Fig.1-3-7. Sprouting of axillary buds after the ceasing in shoot elongation.

## 3) Q3MG 含量

図 1-3-8 に「四倍性桑」と「国桑第 21 号」の交雑実生における Q3MG 含量の度数分布を示した。交雑実生の Q3MG 含量は正規分布を示し、交配親より高含有量の個体が得られた。また、実生 1 年目と 2 年目の個体の Q3MG 含量を比較し、播種 1 年目の早期選抜の可能性を検討した。1 次選抜から 3 次選抜まで測定したすべての個体の Q3MG 含量について、「国桑第 21 号」の含量を 100%として換算した結果を図 1-3-9 に示した。「蒼葉の Q3MG 含量は一ノ瀬に比べ約 4 割有意に高かった。

葉中フラボノールの組成割合を図 1-3-10 に示

Table 1-3-2. Bionomic characteristics.

Cultiver	Tree: vigor	Branch: sprouting	Regeneration	Time of ceasing in shoot elongation	Rooting activity in cutting	Cold hardness
Souraku	medium	late	medium	early	low	medium
Ichinose	medium	late	medium	medium	medium to high	weak to medium
Kokusou 21	medium	medium	weak to medium	late	low	weak to medium

Cultiver	Lodging resistance	Resistance to <i>Pseudomonas syringae</i> pv. <i>mori</i>	Resistance to dwarf disease	Resistance to <i>Phyllactinia moricola</i>	Plant: plucking harvest for leaves	Leaf: Time of stiffening
Souraku	weak to medium	weak to medium	medium	medium	easy	medium
Ichinose	weak	weak	medium	medium	easy	medium
Kokusou 21	strong	strong	medium	medium	easy	medium

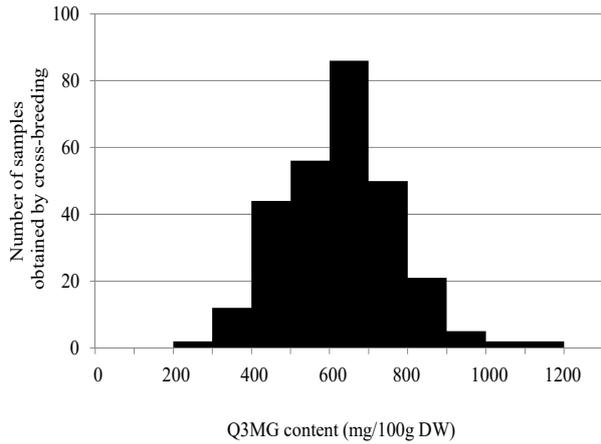
**Table 1-3-3.** Tree growth and leaf yield at harvesting.

Cultiver	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Internode length (cm)	Longest shoot length (cm)	number of branches (/stock)	number of dwarf branches (/stock)	Shooty weight <sup>z</sup> (kg/stock)	Stem weight <sup>y</sup> (kg/stock)	Leaf yeild <sup>x</sup> (kg/stock)	Leaf/stem ratio (%)
Souraku	20.3	17.9	4.4	192.1	7.2	13.0	1091	339	788	70
Itinose	20.8	17.5	4.0	163.9	5.4	6.2	944	256	709	74

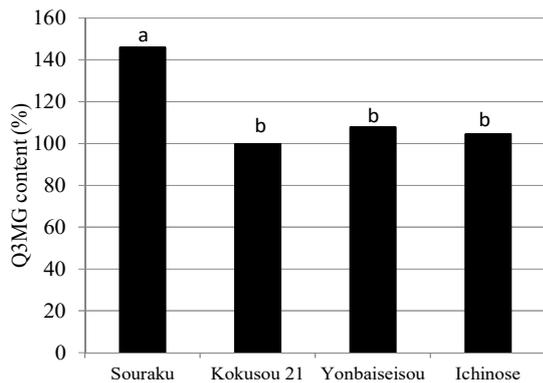
  

Cultiver	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Internode length (cm)	Longest shoot length (cm)	number of branches (/stock)	number of dwarf branches (/stock)	Shooty weight <sup>z</sup> (kg/stock)	Stem weight <sup>y</sup> (kg/stock)	Leaf yeild <sup>x</sup> (kg/stock)	Leaf/stem ratio (%)
Souraku	15.3	13.7	6.3	196.2	7.4	8.1	988	390	670	63
Kokusou 21	23.7	21.7	6.7	169.4	3.8	8.0	766	283	583	67
Yonbaiseisou	19.5	19.0	6.7	133.4	3.6	5.3	361	120	250	68

<sup>z</sup> Shoot length was measured after defoliation. The length from the base of the shoot to the remaining leaf was measured. <sup>y</sup> Shoot includes the stem and leaves. <sup>x</sup> Leaf yield was defined as leaf weight, which was calculated by subtracting the stem weight without leaves from the total shoot weight with leaves. Upper column: Data were expressed as means measured at Onuki, Sakurae-cho, Gotsu City in July and October 2011, and July and September 2012. Lower column: Data were expressed as means measured at Ichiyama, Sakurae-cho, Gotsu City in September 2009.

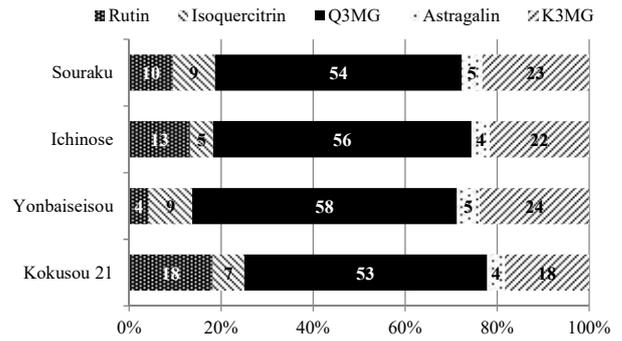


**Fig. 1-3-8.** Frequency distribution of quercetin 3-(6-malonylglucoside) (Q3MG) content in the offspring obtained by crossing ‘Yonbaiseisou’ and ‘Kokusou 21’.



**Fig. 1-3-9.** Q3MG content in mulberry leaves comparing with ‘Kokusou 21’<sup>z</sup> as a reference standard.<sup>z</sup> The Q3MG content was averaged after converting the data, by setting Q3MG content of ‘Kokusou 21’ as a standard value (100%). Locations and years of sampling leaves of each mulberry cultivar were as follows: ‘Souraku’, ‘Kokusou 21’, and ‘Yonbaiseisou’ at the Experiment Field of Shimane Agricultural Technology Center in 2008-2009; ‘Souraku’, ‘Kokusou 21’, and ‘Yonbaiseisou’ at the Ichiyama, Sakurae-cho, Gotsu in 2009-2010; ‘Souraku’, ‘Kokusou 21’, ‘Yonbaiseisou’; ‘Ichinose’ at the Onuki, Sakurae-cho, Gotsu in 2010-2012. The same lowercase letters indicate no significant difference assessing by Tukey’s test ( $P < 0.05$ ).

した。交配親の‘四倍性桑’, ‘国桑第 21 号’Q3MG の割合は一ノ瀬と同程度で, ‘蒼桑’の Q3MG 割合も一般的なクワ品種と同様であり, Q3MG 含



**Fig. 1-3-10.** Composition of flavonol glycosides in mulberry leaves of 4 cultivars.

量は総フラボノールの 6 割弱を占めた。一方, 両親の含量割合が異なったルチン (四倍性桑: 4%, 国桑第 21 号: 18%) は, ‘一ノ瀬と同程度の 10% であった。

### 摘要

原料となるクワ葉に含まれる機能性成分含有量の向上を目的として, クワ 176 品種の葉中フラボノール配糖体および 1-デオキシノジリマイシン (DNJ) の葉中含量を調べた。176 品種間におけるフラボノール含有量と組成およびその割合には幅広い品種間差異が認められた。最もフラボノール含有量の高い品種は小淵沢 1 号で, 最も少ない御蔵島 15’のフラボノール総量の約 5 倍であった。多くのクワ品種においてケルセチン 3-(6-マロニルグルコシド) (Q3MG) が最も多く含有されていたが, 一部の品種は Q3MG をまったく含有しなかった。また, ケルセチン 3-(6-アセチルグルコシド) (Q3AG) は‘毛桑’にのみ含まれた。DNJ 含量が最も高い品種は‘あやのぼり’であった。一般に栽培されている品種‘一ノ瀬’よりフラボノール, DNJ とともに高含有する既存品種が明らかとなった。

クワ葉の主要フラボノールである Q3MG 高含量品種育成の基礎知見とするために, Q3MG を含有する品種, Q3MG を持たない品種の交配後代を用いて Q3MG の遺伝様式を調べた。その結果, Q3MG 合成に関与するマロニル基転移酵素は単一遺伝子でメンデル遺伝することが明らかになり, 交雑実生において交配親より高含有個体

が得られたことから、交雑育種による高含有個体獲得の可能性が示唆された。さらに接ぎ木交配、Q3MG 含量の早期選抜により育種年限短縮がはかれた。

品種間差の結果をもとに Q3MG 含量の高い交配親を選定し、4 倍体の‘四倍性桑’を種子親、2 倍体の‘国桑第 21 号’を花粉親としてクワの品種改良を行った。その結果、Q3MG 含量が一ノ瀬より 1.4 倍高く、収量性も高い 3 倍体クワ品種蒼楽を育成した。‘蒼楽’は 2013 年 4 月に品種登録出願を行い、2015 年に品種登録された。

## 第 2 章 栽培環境条件がクワ葉に含まれる機能性成分含量に及ぼす影響

クワの食品利用、特に機能性食品においては機能性成分の含量が重要な品質として考えられる。したがって原料の生産現場では、収量性を重視した技術開発だけでなく、クワ葉中の機能性成分含量を増やすことが重要な課題になる。一般的に植物体中の様々な成分は、品種や光、施肥量、気温などの栽培環境に影響を受けることから、品種や栽培時期、生育ステージ、遮光処理、肥培管理などの要因が作物中成分の含量に与える影響について検討されてきている。クワの機能性成分も同様に、品種、収穫時期、温度、部位産地などによる影響を受けるとされる (Bajapai・Rao, 2014; Choi ら, 2013b; Hu ら, 2013; Lee・Choi, 2012; Lou ら, 2011; Nakanishi ら, 2011; Vichasilp ら, 2012)。本研究においても第 1 章でフラボノールおよび DNJ 含量が品種により異なることを明らかにした。DNJ 含量に関してはこれまでに、Hu ら (2013)、Kimura ら, (2007)、Nakanishi ら, (2011)、Yatsunami ら, (2008) も品種間差があることを、また Kimura ら, (2007)、Nakanishi ら (2011) は DNJ 含量が 8 月に増加し、若い葉で多いことを、さらに Constantinides・Fownes (1994) は生産地により DNJ 含量が異なることを報告しているものの、詳細な検討はなされていない。さらにフラボノールに関する報告も少ないことから、本章では、機能性成分の葉中含量を高めるための基礎知見を得ることを目的に、クワ葉に含まれるフラボ

ノール、クロロゲン酸および DNJ 含量に対する栽培環境条件の影響を調査した。第 1 章では特にフラボノールの中でもケルセチン 3-(6-マロニルグルコシド) (Q3MG) を中心に試験を行ったが、他のフラボノール配糖体にも抗酸化能があることからここではフラボノール総量を、さらにクワの抗酸化の有効な成分であるクロロゲン酸も対象とした。

## 第 1 節 日照がクワ葉に含まれる機能性成分含量に及ぼす影響

第 1 章第 1 節でクワのフラボノール含量の年次変動が明らかとなり、この年次変動は日照時間に影響される可能性が示唆された。これまでに前川ら (2006) は光強度を高めることによりアブラナ科スプラウトのフラボノール含量が高くなることを、Spayd ら (2002) はブドウ果皮のフラボノール濃度が UV 遮蔽によって著しく減少することを報告している。これらから、日照がフラボノール含量に及ぼす影響は小さくないと推察される。また、DNJ に関して日照条件との関係を検討した報告はみられない。日照とクワ葉中機能性成分含量の関係が明らかになれば、それをもとにした栽培方法、収穫時期の最適化などにより機能性成分含量の高いクワ葉生産が期待できる。そこで、本節ではクワ葉に含まれるフラボノールおよび DNJ 含量に対する日照の影響を調査した。

### 1. 材料および方法

#### 1) 供試材料

機能性成分含量に対する日射量の影響は、2009 年に島根県農業技術センター(島根県出雲市芦渡町)において、クワ品種一ノ瀬の鉢植えを用いて行った。一ノ瀬の 2 年生苗を、まさ土:バーク堆肥 (1:1) の培土を用いて容積 25 L のプラ鉢に移植し、新梢 1~2 枝となるように調整した。定植後、1 鉢あたり硫酸、苦土重焼燐、硫酸カリをそれぞれ N: 5 g, P: 0.32 g, K: 1.1 g となるように施用した。機能性成分に及ぼす日照の影響を調査するための 4 つの試験区を図 2-1-1 に示した。日照条件は、多日照:コントロール、寡日照:グループ G, 寡日照から多日照:グループ A, 多日照から寡日照:グループ B とし、それぞれ

の日照条件の影響を調査した。コントロールは常時屋外で、グループ G は常時ガラス室で、グループ A はガラス室から屋外へ移動、グループ B は屋外からガラス室へ移動し、それぞれの日照条件となるように栽培した。使用したガラス室は、園芸作物の栽培に用いられる一般的なガラス室で6月の晴天時において屋外に比べ照度で13%、また 365 nm の波長では 26% の遮光率であった。

また、処理期間と試料の採取は以下のとおり行った。グループ G および A におけるガラス室栽培は4月20日の萌芽時から開始した。グループ A はガラス室で養成後、6月23日に屋外へ移動し、それぞれ0, 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13日後に葉身を葉位ごとに採取した。グループ B は屋外栽培後の鉢を6月23日にガラス室へ搬入し22日後に葉身を葉位ごとに採取した。図2-1-2にコントロール、グループ G および A の葉位とサンプリング部位を示した。葉位は先端から葉長 5 cm までの未展開葉をまとめて T とし、それ以降下位に向かって順次葉位番号を付した。また、それぞれの処理によるフラボノールおよびDNJ含量は以下のとおり表した。コントロール、グループ G および A は、上位葉：T (5 cm 以内の未展開葉) および1~4の平均、中位葉 (5~9), 下位葉 (15, 17, 19, 21, 23) をそれぞれの葉位の平均 (mg/100 g DW) として表した。また、グループ B は、上位葉を葉位 T (5 cm 以内の未展開葉) および1~4の平均、中位葉、下位葉をそれぞれ新梢中位 1/3 の葉身、新梢下位 1/3 の葉身各5枚の平均 (mg/100 g DW) として表した。図2-1-5-B にグループ B の葉位とサンプリング部位を示した。葉位は移動時の展開開始葉を1とし、ガラス室搬入後展開した葉はマイナス表記した。フラボノール含量は1葉当たりの重量で表した。それぞれの試験は各3鉢 (各鉢1枝または2枝) で行った。

機能性成分含量に対する日照時間の影響は、島根県江津市桜江町の一般栽培圃場で有機栽培されている‘一ノ瀬’を用いて、2009年5月28日~7月28日、2010年5月24日~7月27日に行った。サンプリングは約10日ごとに行い、各20株の新梢2枝から、完全展開葉のうち最も若い葉から下位3枚の葉身を採取し、3枚/枝の葉身をバルクで分析した。日照時間は島根県邑智郡

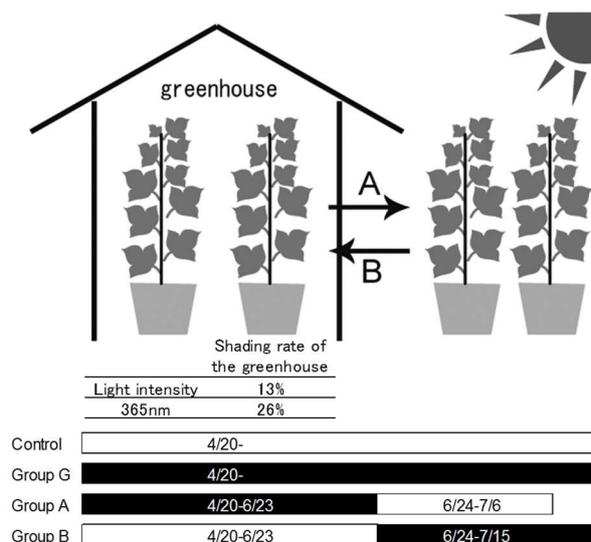


Fig. 2-1-1. Cultivation methods of the four mulberry groups. Black bars indicate greenhouse cultivation, and white bars indicate outdoor cultivation. The mulberry trees were cultivated outdoors from the time of pruning (March 20) to bud break (April 20) in 2009. Control: cultivated outdoors; Group G: cultivated in a greenhouse; Group A: cultivated in a greenhouse and then transferred outdoors on June 23; and Group B: cultivated outdoors and then transferred to a greenhouse on June 23.

川本町のアメダスデータを用い、積算時間を14日間の積算値で表した。14日間としたのは、6月から7月の葉身展開が1枚/1.4日であることから、サンプリング葉 (先端から9, 10, 11枚目にあたる) の中間の葉 (先端から10枚目にあたる) の展開開始からサンプリングまでの期間が14日であるためである。

## 2) 抽出方法

第1章、第1節に準じた方法で行った。

## 3) フラボノールおよびDNJの定量

第1章、第1節に準じた方法で行った。

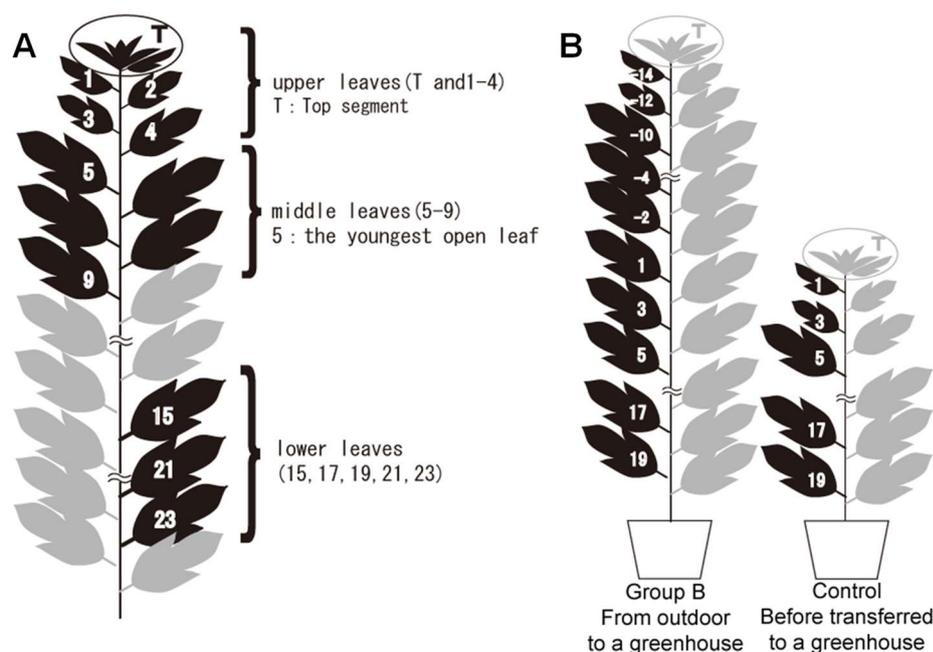
## 4) 統計処理

第1章、第1節に準じた方法で行った。

## 2 結果および考察

### 1) 日照条件がクワ葉中フラボノール含量に及ぼす影響

図2-1-3-Aにコントロール (屋外)、グループ G (ガラス室)、グループ A (ガラス室から屋外へ



**Fig. 2-1-2.** Sampling portions of mulberry trees. Non-opened leaves with blade lengths less than 5 cm were defined as segment T, and completely opened leaves were serially numbered towards the bottom of the stem. A: Average flavonol and 1-deoxynojirimycin contents were compared among the three areas of the plant. Upper leaves: segment T and leaf positions 1–4; middle leaves: leaf positions 5–9; and lower leaves: leaf positions 15, 17, 19, 21, and 23. B: Group B mulberry pots were harvested 22 days after transfer from the outdoors to the greenhouse (July 15). Control mulberry pots were harvested on June 23. The youngest opened leaf (with a leaf blade length > 5 cm) when pots were transferred from the outdoors to the greenhouse on June 23 was numbered ‘1’, and the other leaves were numbered serially towards the bottom of the stem. Negative numbers indicate the leaves that opened after transferring the pots to the greenhouse.

移動) の搬出 13 日後のフラボノール含量を示した。ガラス室の葉中フラボノール含量はコントロールに比べ、上位葉が 1/4、中位葉が 1/7、下位葉が 1/15 といずれの葉位も有意に低かった。また、グループ A のフラボノール含量は、上位葉ではガラス室に対し約 7 倍、屋外に対し 1.7 倍と著しく増加した。中位葉ではガラス室に対し約 8 倍と有意に高かったが、コントロールとの有意差は認められず、下位葉ではグループ G より有意に高くなったものの、コントロールより有意に低かった。

本試験の結果は、フラボノール含量は屋外に比べガラス室で著しく減少し、通常栽培に用いられるガラス室 (遮光率は照度で 13%、365 nm の紫外部で 26%) のそれほど高くない遮光率でも合成が阻害されることが特徴的であると思われる。フラボノール合成に関しては、Price ら (1995)、Fujita ら (2006) がブドウ果皮のフラボノールが日照射により増加することを、さらに Morales ら (2010) がフラボノイド合成に関与する遺伝子が紫外線カットにより発現が抑制され

ることを報告しており、本試験のガラス室栽培でみられたフラボノール含量の減少もガラス室搬入による紫外線カットの影響であると考えられる。

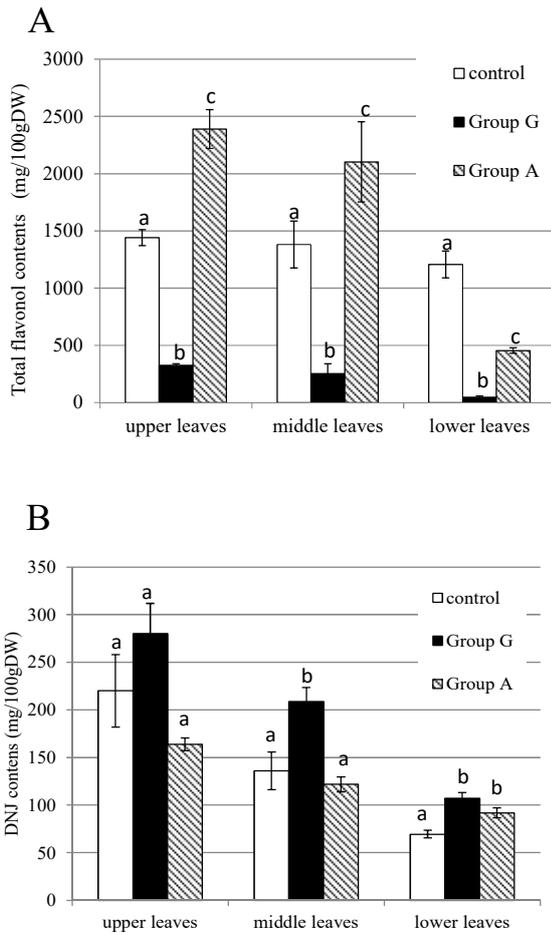
本試験で用いたガラス室は一般的な園芸作物栽培に使用されるタイプである。一般にアントシアニンの蓄積は光条件の影響を受けること、アントシアニン生成や関連遺伝の発現には紫外光が有効であることが知られているが (Bakhshi・Arakawa, 2006; 松丸ら, 1971; 松添ら, 1999; Mol ら, 1996; Woodall・Stewart, 1998)、ブドウ、ナス、トルコギキョウなどアントシアニンを着色成分とする多くの園芸作物でガラス室、ビニールハウスなどの施設栽培が行われており、着色低下はそれほどみられない。すなわち、通常栽培で用いられているガラス (26%) やビニール (50%) による 20~50% 程度の紫外線カットによるアントシアニン合成阻害はないかあっても実用上あまり問題にならないと言える。アントシアニンとフラボノールは同じ代謝系で合成され、基本骨格の C 環 4 位がケトンで 2 位と 3 位の間

が不飽和であればフラボノール, C 環が完全な芳香族環で正電荷を有していればアントシアニンとなる. Spayd ら (2002) は紫外線遮蔽によりブドウ果皮のフラボノール濃度は減少するが, アントシアニンの濃度は減少しないことを報告している. 本試験においても, 遮光率が低いにもかかわらずガラス室栽培下でフラボノール含量が激減した. このことから, アントシアニンとフラボノールでは, 合成に対する紫外線要求量が異なる

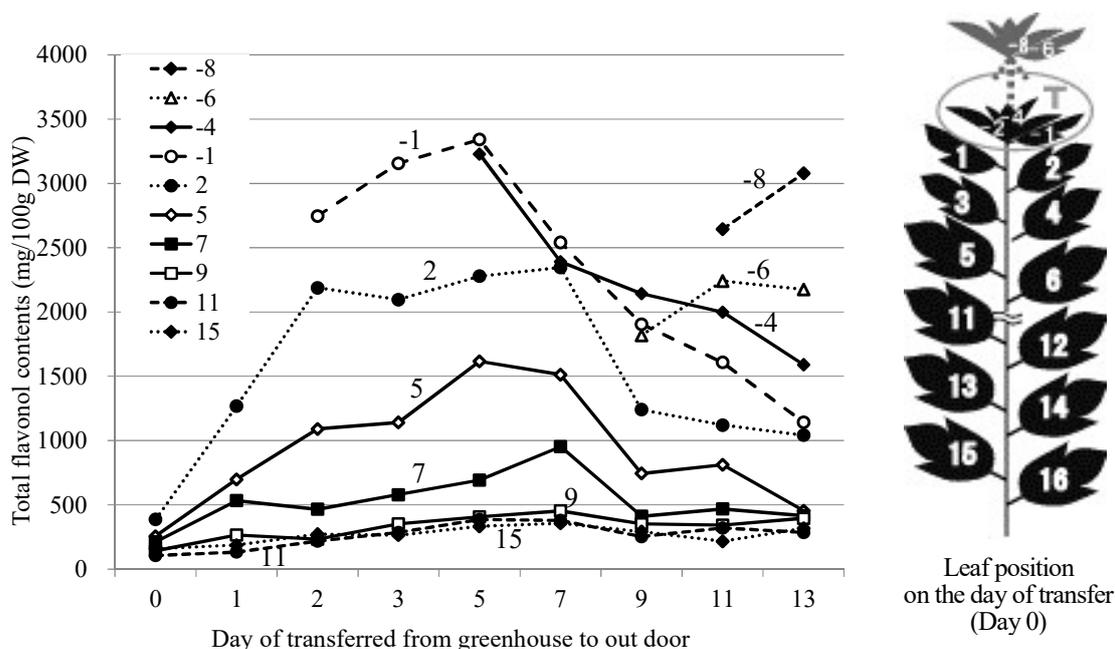
可能性が示唆され, 実際の栽培上特に注意を要する点である. フラボノールをターゲットとした作物の施設栽培を行う場合は, 紫外外部をほとんどカットしない素材を用いるなどの配慮が必要であると思われる.

日照とフラボノール含量の関係についてもう一つの注目すべき点は, グループ A の日照の状態変化, すなわちガラス室で寡日照状態が続いた後すみやかに多日照の屋外へ移動することによって, 上位葉 (T, 1~4) のフラボノール含量が屋外よりも有意に高くなったことである (図 2-1-3-A). この急激な日照変化によりフラボノール含量が高くなった原因として, 植物の生育環境への適応性が考えられた. 近藤 (2010) は, 屋外の多日照下で生育した植物は紫外線に対し適度な抵抗性を得るが, 寡日照下で生育した植物は抵抗性が低下するとしている. 本試験でもガラス室で紫外線に対する抵抗性が低下した後, 屋外で浴びた紫外線の刺激によって過剰反応が起こり, 屋外よりフラボノール含量が著しく高くなったと推測される.

葉位の部位別フラボノール含量は, いずれも上位葉, 中位葉, 下位葉の順に多かったが, 屋外栽培における上位葉と下位葉の差は 1.2 倍と少なく, 通常栽培においては, フラボノール含量の葉位による差は比較的小さいと考えられる. 一方, グループ A は上位葉と下位葉の差が 5 倍となり, 屋外多日照条件の上位葉と下位葉の差より大きかった (図 2-1-3-A). このことを詳細に調査するため, グループ A について, 屋外搬出後の各葉位のフラボノール含量の変化を調べた (図 2-1-4). 搬出後の日数経過にともない新たに葉身が展開するため, このグラフでは搬出後に展開した葉位をマイナス表記した. 搬出時すでに展開していた葉 (葉位 2~葉位 15) では, 葉位 2~葉位 7 のフラボノール含量は移動後 7 日まで概ね増加傾向にあり, その後減少傾向を示した. 特に若い葉位ほど移動後 2 日までの増加が著しく, 葉位 2 が搬出後 2 日に 2200 mg/100 g DW, 移動時完全展開葉最若葉である葉位 5 も 1500 mg/100 g DW まで増加した. それに対し, 葉位 9 から下位葉のフラボノール含量はいずれも調査期間を通じて低く 500 mg/100 g DW を下回った. また, 移動後に展開した葉 (葉位-1~8) のフラボノール含



**Fig. 2-1-3.** Effect of solar radiation on flavonol and 1-deoxyojirimycin contents in mulberry leaves. A: Flavonol contents, B: 1-deoxyojirimycin contents. The leaves were harvested on July 6, 2009. Average flavonol and 1-deoxyojirimycin contents were used to compare the three areas of the tree. Upper leaves: segment T and leaf positions 1-4; middle leaves: leaf positions 5-9; and lower leaves: leaf positions 15, 17, 19, 21, and 23. Data are expressed as means  $\pm$  SE (n = 3). Different letters among the three groups at the same leaf positions indicates a statistical difference at  $p < 0.05$  as assessed by Tukey's test. Control: cultivated outdoors; Group G: cultivated in a greenhouse; and Group A: cultivated in a greenhouse and then transferred to the outdoors on June 23.



**Fig. 2-1-4.** Effect of solar radiation on flavonol contents in mulberry leaves after transferring outdoors. The leaves at each leaf position of mulberry were harvested on 0, 1, 3, 5, 7, 9, 11, and 13 days after being transferred to the outdoors. Numbers in the figure indicate the leaf positions on the day of transfer. Negative numbers were used for new leaves that opened after being transferred to the outdoors. Data are expressed as means (n = 3). Group A: cultivated in a greenhouse and then transferred to the outdoors on June 23.

量はすべての葉位および調査日において 1500 mg/100 g DW 以上の高い値を示した。

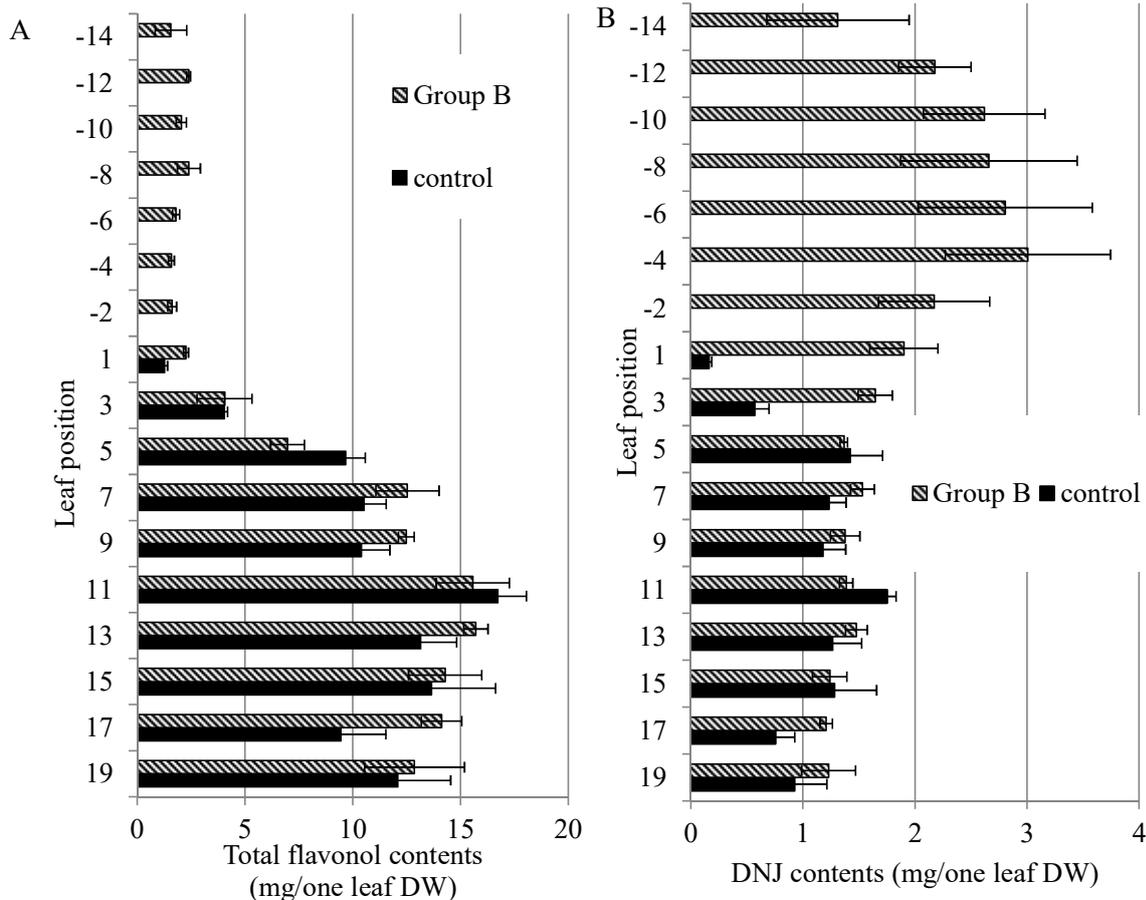
このことから、フラボノールは屋外へ移動後 1 日からすみやかに合成が開始されることが明らかとなった。上位 7 葉までの増加程度は上位葉ほど大きく、日照変化がフラボノール合成に与える影響は若い葉ほど大きいと考えられた。上位葉と対照的に、葉位 9 より下位の葉位のフラボノール含量はわずかに増加傾向を示すもののその程度は低いまま推移した。試験開始時の 6 月 23 日における新梢の平均葉数は 25 枚で、この葉位 9 は先端から約 1/3 に位置している。新梢の中間部位の葉位でもフラボノールの増加が認められなくなっていることから、フラボノール合成は比較的早い段階で低下していくと推察された。屋外において葉位の違いがあまりみられなかったのは上位葉のうちにフラボノールが十分量合成されていたためと推測される。

次に、グループ B (屋外→ガラス室へ移動)、すなわち日照下から寡日照へ移動した場合のフラボノール含量の変化を図 2-1-5-A に示した。ここでのフラボノール含量は、搬入前と日数経過した搬入後の大きさの異なる同一葉位を比較するため一葉当たりの含量で表した。ガラス室搬入後

に展開した葉位-14~2 のフラボノール含量は 1 葉当たり 1.56~2.39 mg と低かった。それに対し移動前に展開していた葉 (葉位 1~19) は、移動前の屋外のフラボノール含量とほぼ同じ値を示した。搬入時に展開を始めた葉位 1 から搬入時の完全展開葉最若葉である葉位 5 までは、下位葉になるに従ってフラボノール含量は多くなり、葉位 7 より下の下位葉では 12.5~15.7 mg と幅はあるものの概ね一定の値を示した。

屋外からガラス室に移動後にガラス室内で新しく展開した葉のフラボノール含量は低いままであったが、移動前にすでに展開していた葉のフラボノール含量はガラス室搬入後 22 日でも移動前とほぼ同じ値を示した (図 2-1-5-A)。このことから、フラボノールの合成は紫外線カットによってすみやかに停止すること、また一度合成されたフラボノールは分解しにくいと考えられた。

以上の結果、日照がフラボノール合成を促進し、ガラス室から屋外への日照の変化によって屋外より含有量が高くなることが明らかとなった。屋外栽培での補光や寒冷紗を用いた遮光等の日照制御により、さらに日照がコントロール可能な施設栽培などでは遮光、露光の繰り返しによりフラボノール含量を高くできる可能性が示唆され



**Fig. 2-1-5.** Effect of poor solar radiation on flavonol and DNJ contents of mulberry leaves. A: Flavonol contents, B: 1-deoxynojirimycin contents. Group B mulberry pots were harvested 22 days after transfer from the outdoors to the greenhouse (July 15). Control mulberry pots were harvested on June 23. The youngest opened leaf (with a leaf blade length > 5 cm) when pots were transferred from outdoors to the greenhouse on June 23 was numbered '1', and the other leaves were numbered serially towards the bottom of the stem. Negative numbers indicate the leaves that opened after transferring the pots to the greenhouse. Data are expressed as means  $\pm$  SE (n = 3). Control: cultivated outdoors; Group B: cultivated outdoors and then transferred to a greenhouse on June 23.

た。

2) 日照条件がクワ葉に含まれる DNJ 含量に及ぼす影響

図 2-1-3-B にコントロール (屋外), グループ G (ガラス室), グループ A (ガラス室から屋外へ移動) の DNJ 含量を示した. DNJ 含量はグループ G がコントロールに比べ中位葉, 下位葉で 1.4 倍有意に高かった. また, グループ A はグループ G と比較して 0.6 倍低く, コントロールと同程度の値を示した.

DNJ の日照に対する反応は二つの点でフラボノールの場合と異なった. フラボノール含量が多日照条件で高くなったのに対し, DNJ 含量はガ

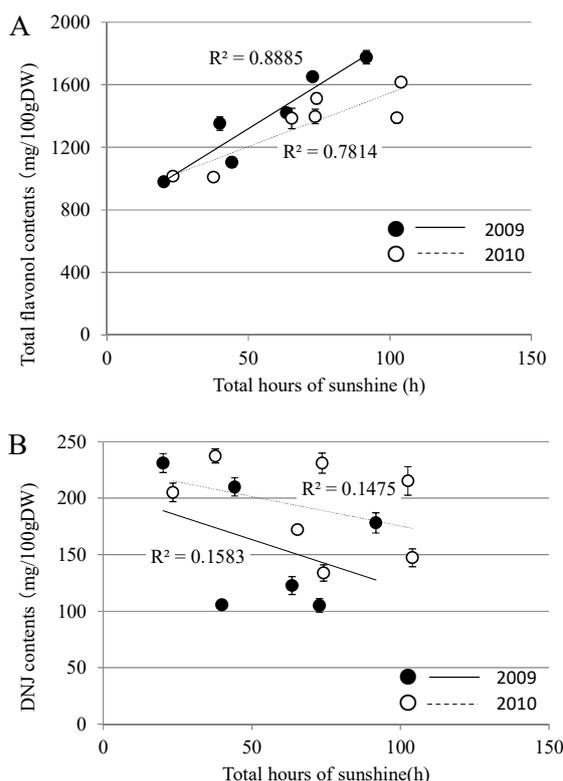
ラス室内の寡日照条件で増加した. 二つ目はフラボノールと比べその差はわずかだったことである (図 2-1-3-B). ガラス室栽培により DNJ 含量が増加したことから, DNJ は紫外線カット, つまりストレスを緩和する事により誘導される代謝産物であると推測される. また, 日照が DNJ に及ぼす影響が小さいことから, DNJ 含量の年次間差には日照以外の要因が関与している可能性が高い. クワを傷つけると維管束の周りにある乳管から乳液がしみ出してくる. この乳液に関して, Konno (2011) は DNJ が乳液に多く含まれているとし, Kimura ら (2007) は DNJ 含量がクワの生育が旺盛な夏季に多くなることを報告している. 我々の調査でも 9 月下旬~10 月の落

葉前になると DNJ 含量が減少することを確認しており (データ省略), DNJ 含量と乳液量には密接な関係があると推察される. したがって, 今後 DNJ 含量を増やすには, 乳液量を増やすための栽培条件等の検討が有効であるかもしれない.

### 3) 積算日照時間がクワ葉に含まれるフラボノールおよび DNJ に及ぼす影響

2009 年, 2010 年の一般栽培圃場において, フラボノールおよび DNJ 含量と積算日照時間との関係を調査した. 日照時間の積算日数は, 6 月の葉身展開 1 枚/1.4 日から算出した調査葉の展開直後からサンプリングまでの期間に相当する 14 日間とした. 図 2-1-6 に 5 月下旬から 7 月下旬の積算日照時間とクワ葉のフラボノール, DNJ 含量との関係を示した. フラボノール含量と積算日照時間には, 2009 年の決定係数  $R^2 = 0.8885$ , また 2010 年の決定係数  $R^2 = 0.7814$  と, いずれも高い正の相関がみられた (図 2-1-6-A). これはポット試験の結果を裏付けた. したがって, フラボノールに及ぼす日照の影響は大きく, 年次間差をもたらす主要因であると考えられた. それに対し DNJ 含量は, 2009 年, 2010 年いずれも積算日照時間との相関が認められなかった (図 2-1-6-B). DNJ はフラボノールに比べ, 日照が及ぼす影響は小さいと考えられた.

また, フラボノールの組成割合と日照の関係を表 2-1-1 に示した. フラボノールの組成割合は, ルチン 14~18%, イソケルシトリン 4~6%,



**Fig. 2-1-6.** Correlation between the amounts of functional components and total hours of solar radiation. A: Flavonol contents, B: 1-deoxynojirimycin contents. Data were collected every 10 days from May 28 to July 28 in 2009 (black circle), and from May 24 to July 27 in 2010 (white circle). Hours of solar radiation were measured using the Automated Meteorological Data Acquisition System located in Kawamoto-cho, Ochi-gun, Shimane, Japan. The total hours of solar radiation were calculated for 14 days before leaf sampling. Data are expressed as means  $\pm$  SE (n = 20)..

**Table 2-1-1.** Relative proportion of flavonol glycosides.

Date of measurement	Total hours of sunshine <sup>z</sup> (h)	Flavonol contents (mg/100gDW)	Relative proportions of flavonol glycosides(%)				
			Rutin	Isoquercitrin	Q3MG	Astragalín	K3MG
5/28	64	1,421	18	6	58	3	16
6/08	40	1,348	17	5	58	3	16
6/18	73	1,678	14	6	58	3	18
6/30	92	1,713	15	6	58	3	18
7/14	44	1,034	15	4	58	3	20
7/28	20	986	15	4	60	3	18

<sup>z</sup>The total hours of solar radiation were calculated for 14 days before leaf sampling. Hours of solar radiation were measured using the Automated Meteorological Data Acquisition System located in Kawamoto-cho, Ochi-gun, Shimane, Japan. Data were collected every 10 days from May 28 to July 28 in 2009, and from May 24 to July 27 in 2010.

Q3MG 58%~60%, アストラガリン 3%, K3MG 16~20%となり, 日照時間, 総フラボノール含量の違いに関わらず一定であった. 第1章で, フラボノールの組成割合は品種により異なることを明らかにしたが, 本試験の結果から, 組成割合は日照の影響を受けないことが示された.

以上のように, 紫外線はクワ葉中フラボノールと DNJ の両成分に影響を与えたが, それぞれの成分で反応が異なるため, 同一条件で両成分の含有量を高めることは難しい. しかし, DNJ に対する紫外線の影響は小さいことから, クワ葉生産における日照条件はフラボノール合成への影響が大きい多日照が良いと考えて問題ないと思われる. 当面, 晴天が続いた後に収穫する, あるいは曇天が続いた場合は収穫を避けその後晴天が続いた時に収穫するなど収穫時の天候に留意するとともに, 日当たりの良い圃場を選定することにより, フラボノール含量の高いクワ葉原料の確保が期待できる. また, DNJ を対象とする場合は寒冷紗等を利用した遮光栽培によって含有量の高い原料を得られる可能性がある.

## 第2節 窒素施肥量がクワ葉に含まれる機能性成分含量に及ぼす影響

窒素施肥量はクワの収量に直接影響を与えることから (南澤, 1984), 窒素がフラボノールや DNJ などの機能性成分量に与える影響を調べることは重要である. 窒素施肥と機能性成分の関係について, Mudau ら (2006) はブッシュティ어의ポリフェノール含量は窒素施用により増加するとしているが, Stewart ら (2001) は植物組織のフラボノール含量は窒素欠乏により高くなるとし, 松永ら (2009) は窒素施肥量を減らすことにより茶のカテキン類含有率が増加するとしている. これらのことから, クワのフラボノールや DNJ も窒素施肥により影響を受けることが推察される.

ここでは, 窒素施肥量がクワの重要な機能性成分であるクロロゲン酸, フラボノール, DNJ におよぼす影響を明らかにするために, まず現地調査により異なる栽培条件の葉中の無機成分と機能性成分含量の関係を調査した. さらに, ポット試験および圃場試験により窒素施肥量がそれぞれの機能性成分含量に与える影響を検討した.

## 1 材料および方法

### 1) 供試材料

現地調査: 一般栽培圃場における現地調査は2007年に島根県内3地域4カ所, A圃場: 島根県江津市桜江町大貫, B圃場: 島根県江津市桜江町鹿賀, C圃場: 島根県邑智郡邑南町, D圃場: 島根県雲南市木次町において行った. 桜江町はA圃場(大貫), B圃場(鹿賀)ともに桑茶原料として, またC圃場(邑南)は漢方薬のための養蚕飼料として, D圃場(木次)は生糸生産のための養蚕飼料として栽培されていた. 各圃場の立地条件および土性は以下のとおりである. A圃場(大貫)は江の川河川敷で, 保水性および保肥力が小さく透水性の大きい砂質土の上に腐植を多く含む土壌が堆積している. B圃場(鹿賀)はA圃場(大貫)と同様に江の川の河川敷の砂質土であるが, 腐植を含む土壌の堆積はない. C圃場(邑南)は山を削土した後の造成地で, れきを多く含む粘質土, D圃場(木次)は自宅裏山の緩やかな傾斜地で, 腐植に富む砂壤土であった. 栽培されているクワ品種はいずれも「一ノ瀬」であった. 各圃場の施肥条件を表2-2-1に示した. 土壌調査はD圃場(木次): 2007年6月7日, A圃場(大貫), B圃場(鹿賀), C圃場(邑南): 2007年6月14日に行った. 1圃場につき1箇所, 株元から30cm地点の各層位から土壌を採取後土壌分析に供した. 葉身の採取はD圃場(木次): 2007年9月13日, B圃場(鹿賀), C圃場(邑南): 2007年9月14日に行った. A圃場(大貫)およびD圃場(木次)は各20株, B圃場(鹿賀)およびC圃場(邑南)は各10株から, 一株につきそれぞれ生育が中庸な1枝を選び, 新梢の先端から約1/3にあたる位置の2葉を採取し成分分析に供した.

ポット試験: ポット試験は, 2010年に島根県農業技術センター(島根県出雲市芦渡町)において実施した. 4月6日にクワ品種「一ノ瀬」2年生苗を, まさ土: バーク堆肥(1:1)の培土を用いて容積25Lのプラ鉢に移植し, 新梢1~2枝となるように調整した. 窒素施肥の処理区は5段階とし, 1鉢あたり8鉢を供試した. 処理区は以下のとおりである. それぞれ一鉢あたり窒素成分で

I : 1 g, II : 2.5 g, III : 5 g, IV : 10 g, V : 15 g

**Table 2-2-1.** Fertilization conditions of the four common cultured fields.

	Timing of Fertilization	Applied fertilizer (kg/a)				
		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Type of fertilizer	Compost <sup>z</sup>
Field A	December-March	-	-	-	-	200
Field B	December-March	-	-	-	-	200
Field C	March	1	0.4	0.4	Chemical fertilizer	
	June	0.6	0.24	0.24	Chemical fertilizer	-
	Total	1	0.4	0.4		
Field D	April	1.05	0.49	0.56	Slow release fertilizer	-

<sup>z</sup> Swine manure was used as compost (containing N: 1.29%; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: 1.64%; K<sub>2</sub>O: 1.3%).

の硫酸を、4月14日、6月9日、7月2日の3回施用した。また、4月14日に苦土重焼燐、硫酸カリをそれぞれ1鉢あたり P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:0.32 g, K<sub>2</sub>O: 1.1 g となるように施用した。2010年7月26日にそれぞれの新梢2枝の完全展開葉のうち最も若い葉から下位3枚の葉身を採取し分析した。

**圃場試験:**圃場栽培試験は島根県農業技術センターにおいて実施した。2010年4月8日に一ノ瀬の1年生苗を畝間150 cm 株間50 cm で定植した後、一般的な栽培管理で1年間株を養成した。窒素施肥の処理は、硫酸を窒素成分として0:無施肥, I : 6 kg/10 a, II : 15 kg/10 a, III : 30 kg/10 a (標準) の4区を設定し、2011年、2012年に各処理区2反復で実施した。硫酸は、2011年は4月5日、7月15日に、2012年は4月9日、7月21日に分施した。硫酸を除く基肥は苦土重焼燐、硫酸カリを P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> および K<sub>2</sub>O として、それぞれ 15 kg/10 a, 18 kg/10 a を 2011 年および 2012 年の 3 月に施用した。生育調査および分析用葉身の採取は 2011 年 7 月 11 日、10 月 4 日、2012 年 7 月 9 日、9 月 19 日に、収量調査は 2011 年 7 月 12 日、10 月 6 日、2012 年 7 月 10 日、9 月 19 日にそれぞれ 1 区 10 株を用いて行った。生育調査は各株の最長枝条を用いた。新梢長は新梢の基部から先端を測定した。葉色は SPAD 502 chlorophyll meter で測定した。収量調査は、1 株ごとに全枝条の伐採により行った。

葉身収量は、枝条重を測定後、伐採した枝条の葉をこき取り枝重を測定し、枝条重から枝重を引いて算出した。生育調査、収量調査は1区10株ずつ、合計20株の平均値で示した。葉身の採取は1株につき新梢2枝の完全展開葉のうち最も若い葉から下位3枚をそれぞれ採取し成分分析に供した。

## 2) 土壌分析

土壌の化学性分析には2 mm のふるいに通した風乾細土を供試した。pH、および EC は風乾細土:イオン交換水=1:2.5 で測定した。全炭素、全窒素は CN コーダ (SUMIGRAPH NC-900 sumika chemical Analysis Service LTD Osaka, Japan) で測定した。CEC はセミマイクロシローレンベルガー法で、有効態リン酸はトルオーグ法で測定した。交換性陽イオンは、カリウムは炎光光度法、カルシウムとマグネシウムは原子吸光法で測定した。

## 3) サンプル調製および無機成分分析

サンプル調整は、第1章、第1節に準じた方法で行った。

無機成分は秤量後、窒素はケルダール分解後水蒸気蒸留法で、その他の成分は乾式灰化後1 M 塩酸に溶解し、リンはバナドモリブデン酸法、カリウムは炎光光度法、カルシウムおよびマグネシウムは原子吸光法で測定した。

#### 4) 機能性成分の分析

フラボノールおよびDNJの定量は第2章第1節に準じた方法で行った。

クロロゲン酸の定量はWaters社製のHPLC, Alliance Separatios Module 2695, 検出器 Photodiode Array Detector 2996, 分光蛍光光度計 F3010 (日立), カラム wakosil-II 5C18 RS (250×4.6 mm) (和光純薬) を用いて行った。クロロゲン酸はカラム温度 40°C, 移動層に 0.1% ギ酸 (ナカライテスク) を含む 20%アセトニトリルを用い, 流速 1 ml/min, 検出波長: 280 nm の条件で定量した。標準品クロロゲン酸は和光純薬から購入した。

#### 5) 統計処理

第1章, 第1節に準じた方法で行った。

## 2 結果および考察

### 1) 現地調査

各圃場の土壌化学性を表 2-2-2 に示した。pH は D 圃場 (邑南) の下層がやや低く, C 圃場 (木次) が他圃場に比べやや高かった。T-C および T-N は A 圃場 (大貫), C 圃場 (木次) で高く, B 圃場 (鹿賀), D 圃場 (邑南) は低かった。C/N 比はいずれの圃場も 11~17 の範囲であったが, A 圃場 (大貫) が他地区より高く 14~17 の値を示した。CEC, 交換性陽イオンは A 圃場 (大貫), C 圃場 (木次) が B 圃場 (鹿賀), D 圃場 (邑南) に比べ高かった。有効態リン酸は A 圃場 (大貫) が最も低く, C 圃場 (木次) が最も高かった。A 圃場 (大貫) と C 圃場 (木次) に比べ, B 圃場 (鹿賀) と D 圃場 (邑南) が T-C, T-N とともに低く, さらに B 圃場 (鹿賀), D 圃場 (邑南) は CEC, 交換性陽イオンも低いことから肥沃度が劣っていると考えられた。ともに江の川の河川敷である A 圃場 (大貫) と B 圃場 (鹿賀) の肥沃土の違いは, A 圃場 (大貫) が頻繁に冠水し腐植を含む土壌が堆積するのに対し, B 圃場 (鹿賀) は堤防により冠水がないことに起因すると思われる。

現地調査圃場の葉身の無機成分含量を表 2-2-3 に, 葉中機能性成分含量を表 2-2-4 に示した。各圃場の葉中窒素の濃度は 3.26~4.14% の範囲で

調査圃場によって異なったが, A 圃場 (大貫) が他圃場に比べて有意に高く, B 圃場 (鹿賀), D 圃場 (邑南) が有意に低かった。また, リンおよびマグネシウムは B 圃場 (鹿賀) が他圃場に比べ有意に高く, カリウム, カルシウムは A 圃場 (大貫) が D 圃場 (邑南), C 圃場 (木次) に比べ有意に高く, D 圃場 (邑南) は他圃場に比べ有意に低かった。クワの一般的な葉中の窒素含有量は 4% 前後である。これに比べ, 調査圃場の窒素含量は A 圃場 (大貫) を除き低い傾向にあった。特に地力が低い B 圃場 (鹿賀), D 圃場 (邑南) の窒素含量は 3.21% および 3.26% であり, やや窒素欠乏気味であったと考えられる。

一方, 葉身の機能性成分含量は, クロロゲン酸含量, フラボノールともに圃場間の違いは小さかったが, クロロゲン酸含量は 879~1070 mg/100 g DW の範囲で, D 圃場 (邑南) が C 圃場 (木次), A 圃場 (大貫) に比べ有意に高く, フラボノール含量は 1122~1374 mg/100 g DW の範囲で, D 圃場 (邑南) が A 圃場 (大貫), B 圃場 (鹿賀) に比べ有意に低かった。それに対し DNJ 含量は A 圃場 (大貫) が最も高く, D 圃場 (邑南), B 圃場 (鹿賀) が低い値を示し圃場による差は大きかった。いずれの成分も圃場による有意差が認められたが, クロロゲン酸, フラボノールの最高/最低が 1.2 であり, 最も高い DNJ も 1.6 にとどまった。これまで, 機能性成分が品種, 採取時期, 年次により大きく異なることが報告されているが (Constantinides・Fownes, 1994; Hu ら, 2013; Kimura ら, 2007; Nakanishi ら, 2011; Yatsunami ら, 2008), いずれもその差は数倍と大きい。これらに比べ, 本試験での機能性成分含量の圃場間差が小さかったことから, 一般栽培圃場レベルの土性, 土壌化学性の差による影響は比較的小さいと考えられた。葉中機能性成分含量と無機成分量の関係について, 現地圃場 4 箇所すべての調査個体を用いた相関係数を表 2-2-5 に示した。DNJ 含量と窒素含量の間の相関が最も高く, 相関係数は 0.60 であった。窒素成分はクロロゲン酸含量とも比較的高い負の相関を示したが, フラボノール含量に対しては 0.14 と相関係数は低かった。また, クロロゲン酸含量および DNJ 含量とカルシウム含量の間にそれぞれ 0.44, 0.47 の相関が認められた。一方, マグネシ

**Table 2-2-2.** Chemical properties in each soil layer of the four common cultured fields.

Field	Soil layer <sup>z</sup>	Depth (cm)	pH (H <sub>2</sub> O)	Ecy (mS/cm)	Total C (%)	Total N (%)	C/N <sup>x</sup> ratio (%)	CEC <sup>w</sup> (me/100 g)	Cation exchanger (mg/100 g)			Available phosphoric acid (mg/100g)
									CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	
A	1	0-6	5.9	0.08	4.55	0.3	15	19.5	265	51	52	16
	2	06-24	6	0.06	2.64	0.19	14	15.2	209	44	15	26
	3	24-48	6.4	0.02	0.34	0.02	17	5.4	67	18	15	9
B	1	0-18	6.1	0.1	0.8	0.07	11	7.3	89	33	29	48
	2	18-32	6.4	0.05	0.4	0.03	13	6	80	24	14	17
C	1	0-14	5.6	0.05	1.32	0.11	12	11.1	128	20	17	41
	2	14-33	4.1	0.21	0.7	0.06	12	9.7	49	9	26	45
	3	33-	3.8	0.22	0.46	0.04	12	8.1	18	2	28	19
D	1	0-14	7	0.21	2.93	0.28	11	16.4	563	33	75	77
	2	14-33	7	0.07	0.63	0.06	11	10.5	195	19	53	76

<sup>z</sup> Layer 1 = upper layer; layer 2 = middle layer; layer 3 = lower layer. <sup>y</sup> EC = electro-conductivity. <sup>x</sup> C/N = carbon/nitric ratio, which was calculated by dividing the total carbon by the total nitrogen applications. <sup>w</sup> CEC = cation exchange capacity

**Table 2-2-3.** Mineral elements in mulberry leaves from the four common cultured fields.<sup>z</sup>

Field	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)
A	4.14±0.28 a	0.41±0.05 b	2.95±0.14 a	2.02±0.24 a	0.23±0.04 b
B	3.31±0.24 b	0.56±0.10 a	2.89±0.17 ab	1.82±0.32 ab	0.29±0.03 a
C	3.26±0.30 b	0.45±0.06 b	2.54±0.21 c	1.18±0.19 c	0.22±0.03 b
D	3.40±0.36 b	0.42±0.08 b	2.66±0.36 bc	1.78±0.32 b	0.20±0.02 b

<sup>z</sup> Two leaves, which were located at the one third position from the branch top, were sampled from one branch per stock of normal growth. Data are expressed as means ± SE (n = 20 in Field A and D, n = 10 in Field B and C). The same lowercase letters indicate no significant difference (P < 0.05).

ウムの影響はいずれの成分に対しても認められなかった。機能性成分含量に対する葉中無機成分の影響は、窒素が最も大きかった。葉中の窒素含量は施肥や肥沃土等地力に大きく影響される。したがって、前述で認められた現地調査圃場間のクロロゲン酸や、DNJの違いは土壌の肥沃性に起因すると考えられた。以上のことから窒素施肥量とカルシウムが機能性成分量に影響を及ぼす可能性が示唆された。

## 2) 機能性成分含量に及ぼす窒素施肥量の影響

現地調査において葉中窒素含量と機能性成分含量の関係が明らかとなったが、窒素施肥量は収

量に直結する大きな要因となる。そこで、ポット試験と圃場試験により窒素施肥量が機能性成分に与える影響について検討した。

**ポット試験:** 図 2-2-1 に、ポット試験による窒素施肥量の違いと葉身中の窒素成分含量および機能性成分含量の関係を示した。ポットの施肥量は減肥区から多肥区まで I~V の 5 水準とした。葉中窒素含量は 1.44~4.19% の範囲で、窒素施肥量が多くなるほど有意に高くなり、クロロゲン酸含量は窒素施肥量が多くなるほど含量が低くなった。最も施肥量の多い V 区と最も施肥量の少ない I 区の差は 2.6 倍であった。フラボノール含

**Table 2-2-4.** Functional components in mulberry leaves from the four common cultured fields.<sup>z</sup>

Field	Chlorogenic acid (mg/100 g DW)	Flavonol (mg/100 g DW)	DNJ (mg/100 g DW)
A	879 ± 29 b	1374 ± 40 a	180 ± 6 a
B	995 ± 42 ab	1318 ± 59 a	128 ± 5 cd
C	1070 ± 66 a	1122 ± 48 b	111 ± 7 d
D	897 ± 36 b	1287 ± 34 ab	148 ± 4 bc

<sup>z</sup> Two leaves, which were located at the one third position from the branch top, were sampled from one branch per stock of normal growth. Data are expressed as means ± SE (n = 20 in Field A and D, n = 10 in Field B and C). The same lowercase letters indicate no significant difference (P < 0.05).

量は、クロロゲン酸含量と同様の傾向を示し、窒素施肥量が多くなるほどフラボノール含量は低くなったが、その差は1.6倍にとどまった。一方DNJは、クロロゲン酸、フラボノールと異なり、窒素施肥量が多くなるほど高くなった。その差は2.8倍を示し、本試験で調査した機能性成分中最も大きかった。いずれの成分もI区とII区間の差が最も大きく、クロロゲン酸：1.7倍、フラボノール：1.3倍、DNJ：2.1倍であった。ポット試験では窒素含量の増加とともにフラボノールは減少したが、現地調査の結果には窒素含量とフラボノールに負の相関が認められなかった(表2-2-5)。これは、ポット試験での葉中窒素含量が1.44～4.19%であったのに対し、現地試験では3.26～4.14%とその範囲が小さかったことから、葉中窒素含量に起因すると考えられた。すなわち、本試験で確認された多肥区と減肥区の区間差において多肥区ではフラボノール含量の区間差が小さいことが明らかとなり、現地試験で認められた範囲の葉中窒素含量の違い(3.26～4.14%)では、フラボノール含量に大きな影響を与えない

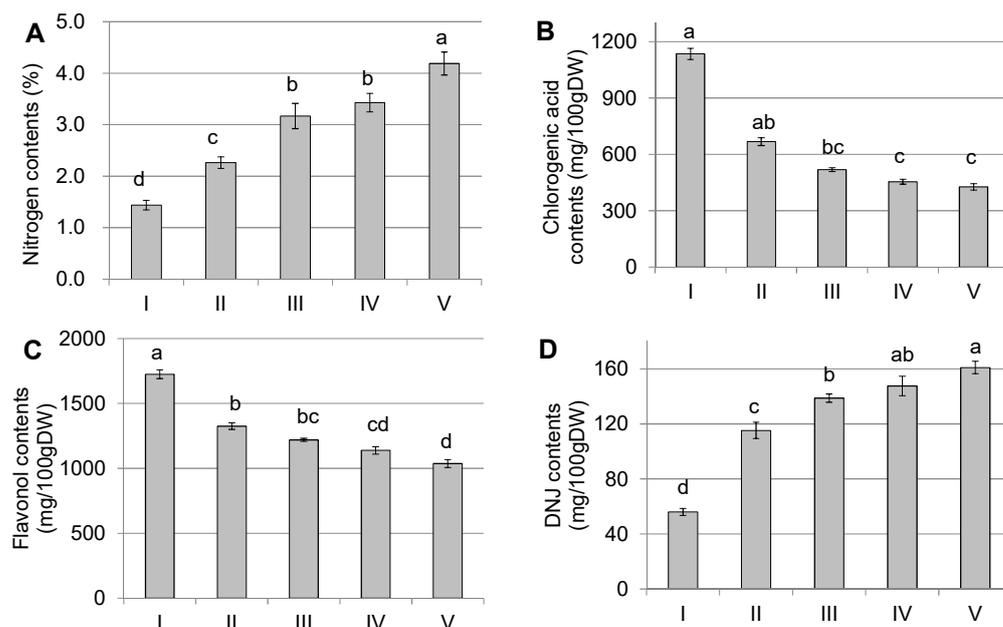
と考えられた。ポット試験の結果でも明らかなように、施肥量が少なくなるに従ってフラボノール含量の区間差は大きくなり施肥量の影響が強くなった。現地試験での葉中窒素含量の範囲、つまり一般的な窒素含量では施肥量の影響が小さいため、現地調査の結果では相関が認められなかったと推察された。以上のことから、葉中機能性成分含量は窒素施肥量の影響を強く受けることが明らかとなり、葉身中のクロロゲン酸、フラボノール含量の増加には窒素施肥量を大きく減らすことが、またDNJ含量の増加には窒素施肥量を増やすことが有効であると考えられた。

窒素が葉身中の機能性成分の濃度に及ぼす影響は明らかとなったが、圃場あたりの機能性成分の生産量を増やすためには、葉身の収量を考慮する必要がある。そこで、ポット試験の結果から1株あたりの機能性成分量を検討した(表2-2-6)。1株あたりの生葉重は、窒素施肥量が最も少ないI区と最も多いV区がII～IV区に比べ有意に低かった。I区では葉中の窒素含量が1.44%と低いことから窒素欠乏による生育阻害が、V区では追肥後の葉身の一部で発生した窒素過剰障害とみられる褐変および落葉が、それぞれ収量低下の原因と考えられた。1株あたりの機能性成分量は、生葉重と葉中機能性成分含量および水分含量(I:74%, II:75%, III～V:76%)から算出した。クロロゲン酸の1株あたり成分量はI区で最も高くなったが、フラボノールはII区、DNJはIII区でそれぞれ最も高い値を示した。1株あたり機能性成分量の処理区間の最高値と最低値は、それぞれクロロゲン酸が2.6倍、フラボノールが2.0倍、DNJが4.2倍となった。クロロゲン酸およびフラボノールの葉中成分含量は、葉身収量が減少する減肥条件で高くなるため、圃場あたりの機能性成分生産量を高くするためには収量と成分のバランスを考えた施肥量を検討する必要がある

**Table 2-2-5.** Correlation coefficients between the functional components and mineral elements in mulberry leaves.<sup>z</sup>

	N	P	K	Ca	Mg
Chlorogenic acid	-0.48** <sup>y</sup>	0.22	-0.07	-0.44**	0.17
Flavonol	0.14	0.08	0.26*	0.24	0.03
DNJ	0.60**	-0.34*	0.19	0.47**	-0.21

<sup>z</sup> Leaves (n = 60) were sampled from four common cultured fields. <sup>y</sup> Significant differences are shown (\*\* P < 0.01, \* P < 0.05).



**Fig. 2-2-1.** Nitrogen and functional component levels in mulberry leaves relative to the amount of nitrogen applied to potted plants. A: Nitrogen, B: Chlorogenic acid, C: Flavonol, and D: DNJ. Amounts of applied ammonium sulfate per culturing pot on April 14, June 9, and July 2: Group I = 1 g, Group IV = 2.5 g, Group III = 5 g, Group IV = 10 g, and Group V = 15 g. On July 26, completely opened leaflets of the youngest opened leaves, and the subsequent two leaves on the same branch, were sampled. Data are expressed as means  $\pm$  SE (n = 8). The same lowercase letters indicate no significant difference ( $P < 0.05$ ).

**Table 2-2-6.** The functional component amounts per mulberry tree relative to the applied nitrogen levels.<sup>z</sup>

Nitrogen treatment	Fresh leaf yield (g/stock)		Functional components <sup>y</sup> (mg/stock)			
	Mean	SE	Chlorogenic acid	Flavonol	DNJ	
I	170	10	b	503	764	25
II	287	18	a	479	949	83
III	319	17	a	397	934	106
IV	285	13	a	310	777	101
V	188	15	b	193	469	73

<sup>z</sup> Amount of applied ammonium sulfate per culturing pot on April 14, June 9, and July 2: Group I = 1 g, Group IV = 2.5 g, Group III = 5 g, Group IV = 10 g, and Group V = 15 g. On July 26, completely opened leaflets of the youngest opened leaves, and the subsequent two leaves on the same branch, were sampled. Data are expressed as means  $\pm$  SE (n = 8). The same lowercase letters indicate no significant difference ( $P < 0.05$ ). <sup>y</sup> The functional component amounts per tree were calculated based on fresh leaf weight, functional component amount, and water content in leaves (I: 74%, II: 75%, and III-V: 76%).

る。一方、DNJは葉中濃度の処理区間の最高/最低値が2.8倍に対し、一株あたりの成分量では4.2倍と高くなった。これは収量を増やすための施肥量が葉中含量を高くする条件と一致するためである。したがって、DNJの圃場あたりの生

産量を多くする施肥条件は収量性が最も高くなる施肥量と考えると問題ないと考えられた。

**圃場試験:** 次に、ポット試験で確認された機能性成分に及ぼす窒素施肥量影響を、圃場試験で検証した。調査区は0:無施肥区からIII:標準施肥区の4水準とした。最長枝条長および条桑量は、2012年秋切りの最長枝条長が0区でわずかに短くなったものの、区間差はほとんど認められなかった。葉色は、2011年の夏切り、2012年の秋切りでは処理間による差は認められなかったが、2011年秋切りと2012年夏切りでは窒素施肥量の増加にともない葉色が濃くなり、その傾向は2011年秋切りで顕著であった(表2-2-7)。

窒素施肥量の違いによる葉身各機能性成分含量を図2-2-2に示した。2011年の夏切りでは、DNJのIII区を除き、いずれの成分も処理区間の違いは認められなかった。その後の作期では、葉中窒素含量は、窒素施肥量の増加とともに高くなり、反対にクロロゲン酸、フラボノール含量は窒素施肥量の増加にともない低くなる傾向にあった。DNJ含量は2012年夏切りまでは処理区による違いが認められなかったが、2012年秋切りでは施肥量の多いII, III区で有意に高くなっ

た. また, それぞれの作期の処理区間の葉中成分の最小値, 最大値の差が最も大きかったのは, 窒

**Table 2-2-7.** Effects of applied nitrogen amounts on the appearance and yields of mulberry trees.<sup>z</sup>

Harvesting season	Nitrogen treatment	Longest branch (cm)	Yields (g/stock)	Leaf color <sup>y</sup>
<b>2011</b>				
Summer	O	186 ± 2 a	1659 ± 65 a	38.0 ± 0.5 a
	I	186 ± 2 a	1688 ± 73 a	38.0 ± 0.4 a
	II	189 ± 3 a	1724 ± 89 a	37.8 ± 0.7 a
	III	185 ± 3 a	1637 ± 76 a	37.8 ± 0.5 a
Autumn	O	186 ± 4 a	1785 ± 110 a	36.6 ± 0.4 c
	I	190 ± 5 a	1884 ± 113 a	37.4 ± 0.5 bc
	II	189 ± 4 a	1856 ± 103 a	38.9 ± 0.4 ab
	III	188 ± 3 a	1884 ± 111 a	39.3 ± 0.3 a
<b>2012</b>				
Summer	O	182 ± 4 a	1900 ± 83 a	31.8 ± 0.5 b
	I	181 ± 3 a	1862 ± 101 a	33.1 ± 0.4 ab
	II	188 ± 3 a	1966 ± 108 a	33.8 ± 0.3 a
	III	184 ± 3 a	2000 ± 120 a	34.5 ± 0.4 a
Autumn	O	193 ± 4 b	1468 ± 67 a	36.4 ± 0.5 a
	I	201 ± 3 ab	1517 ± 91 a	37.5 ± 0.4 a
	II	209 ± 2 a	1574 ± 79 a	36.7 ± 0.4 a
	III	207 ± 2 a	1522 ± 71 a	37.7 ± 0.3 a

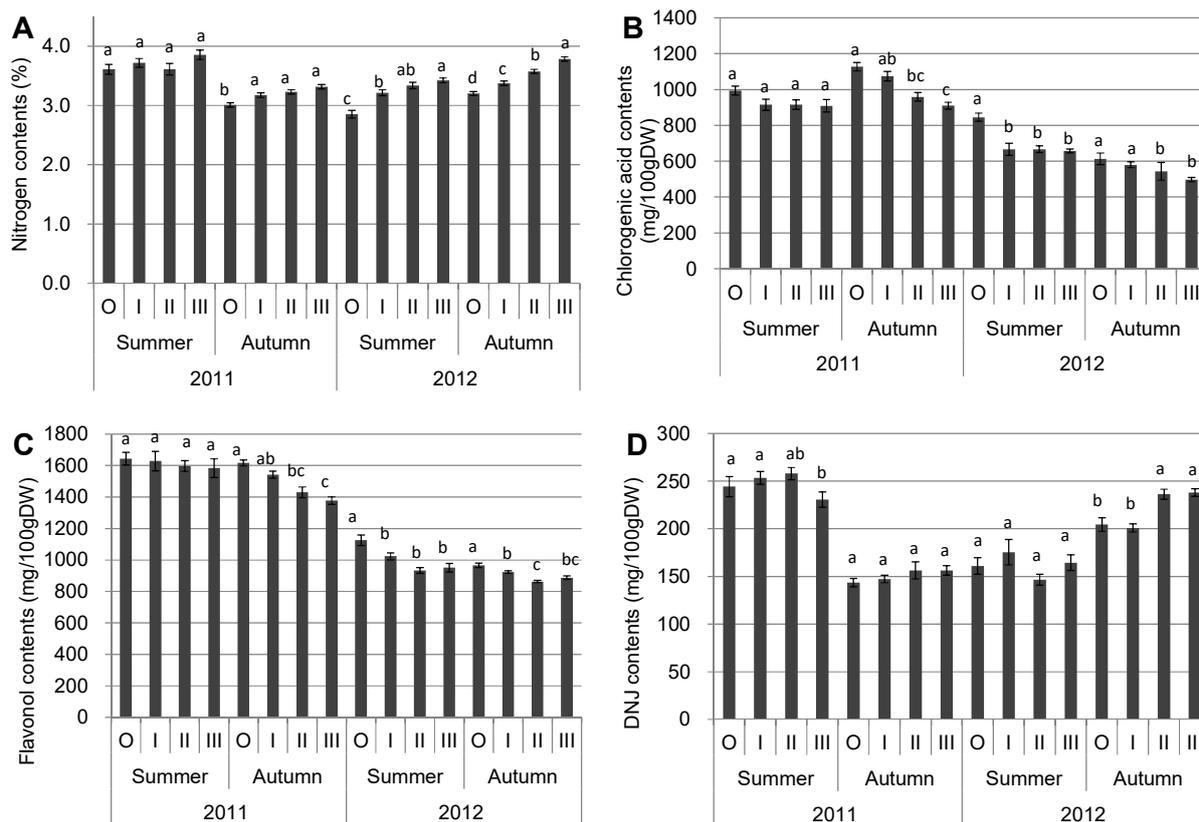
<sup>z</sup> Four experimental groups were formed based on the amount of applied ammonium sulfate, which provides nitrogen: O: 0 kg, I: 6 kg, II: 15 kg, and III: 30 kg per 1000 m<sup>2</sup>. The branches were harvested on July 11 and October 4 in 2011, and on July 9 and September 19 in 2012. Data are expressed as means ± SE (n = 20). The same lowercase letters indicate no significant difference (P < 0.05) during the same harvesting season. <sup>y</sup> Leaf color was evaluated using a SPAD 502 chlorophyll meter.

素および DNJ 含量が 2012 秋切り, フラボノールおよびクロロゲン酸含量が 2011 秋切りであった. 年次, 作期間の差は処理区間の差より大きく, 試験期間の最小値, 最大値の差は, 窒素が 1.00%, クロロゲン酸が 630 mg/100 g DW, フラボノールが 781 mg/100 g DW, DNJ が 114 mg/100 g DW となった.

2011 年夏切りは, DNJ を除くいずれの成分も処理区間差が認められなかったが, これは 2010 年に行った株養成のための均一栽培の影響が残ったためと考えられた. しかし, 機能性成分と窒素施肥量の関係は, 圃場試験においてもポット試験と同様の傾向を示し, 窒素施肥量の増加にともないクロロゲン酸, フラボノール含量は減少し,

DNJ 含量は増加した. また, クロロゲン酸, フラボノール, DNJ いずれの成分においても, 年次および作期間差が認められた. Nakanishi ら (2011) は DNJ 含量がサンプリング時期により異なるとし, 本試験においても第 2 章第 2 節でフラボノール含量, DNJ 含量が日照条件により変わることを明らかにしている. 本試験における年次, 作期間における機能性成分含量の違いもこれら様々な栽培環境条件に起因するものと考えられた. しかし, 年次, 作期に関わらず, 処理区間内では窒素施肥量と各成分の増減との関係は変わらないことから, 窒素施肥量が機能性成分に及ぼす影響は大きいと考えられた. さらに圃場試験で注目すべき点は, 葉色の違いが確認された 2011 年秋切りにおいて, クロロゲン酸, フラボノールの処理間の最大値, 最小値の差が最も大きくなり, 有意差が明確に現れたことである. 葉色が窒素施肥の影響を直接反映することから水稻栽培において SPAD 値が追肥の判断指標となっているように, 葉色をクロロゲン酸, フラボノール含量の指標にできる可能性が示唆された.

窒素施肥と成分の関係について, Mudau ら (2006) はブッシュティリーのポリフェノール含量は窒素施用により増加するとしているが, Stewart ら (2001) は植物組織のフラボノール含量は窒素欠乏により高くなるとしている. 本試験の結果は Stewart ら (2001) と同じ傾向を示し, 窒素施肥量が少なくなるほどフラボノール含量は高くなった. フラボノールを含む抗酸化成分は様々なストレスに誘導されるとされ, 第 2 章第 1 節においてもフラボノールが紫外線ストレスにより増加することを確認している. 本試験でも窒素施肥量が減少するほどクロロゲン酸, フラボノールの含量が大きくなったことから, 窒素欠乏のストレスによってクロロゲン酸, フラボノールが増加していったと考えられる. 一方, 葉中 DNJ 含量について, Kimura ら (2007), Nakanishi ら (2011) は DNJ が夏に増加すること, 新梢の先端部で多いこと, また, DNJ に起因するクワ葉の α-グルコシダーゼ阻害活性も高温で高くなることを報告している. さらに, Konno (2011), Nakanishi ら (2011) は, DNJ がクワの防御物質で昆虫から身を守るために作られ, 夏期, 枝の先端部の若い葉, すなわち昆虫の食害が大きな被



**Fig. 2-2-2.** Effects of applied nitrogen amounts on the nitrogen content and functional components of mulberry leaves in experimental fields. A: Nitrogen content, B: Chlorogenic acid, C: Flavonol, and D: DNJ. Four experimental groups were formed based on the amounts of applied ammonium sulfate, which provides nitrogen: O: 0 kg, I: 6 kg, II: 15 kg, and III: 30 kg per 1000 m<sup>2</sup>. The youngest opened leaves with completely opened leaflets, and the subsequent two leaves of two branches with moderate growth, were sampled from each stock. Data are expressed as means ± SE (n = 20). Significant differences are indicated by different lowercase letters (P < 0.05) in the same harvesting season.

害となる期間や部位に多くなるとしている。また、我々は第2章第1節で日照と機能性成分の関係を調べた結果、DNJ含量が日照を遮ることにより増加することを確認し、DNJはストレスを緩和することにより誘導される代謝産物であると推測している。以上のことから窒素施肥条件においても、フラボノールおよびDNJはこれまでの報告にあるようなストレスに対する同様の反応を示していると考えられる。すなわち、フラボノールは窒素飢餓ストレスで誘導され、窒素施肥によるストレスフリーでDNJ合成が促進すると考えられた。

本試験において、窒素施肥量がクロロゲン酸、フラボノール、DNJの成分に対して影響を与えることが明らかとなり、同一の施肥条件ですべての機能性成分の含有量を高くすることは難しいと考えられた。しかし、それぞれの機能性成分含量を高くする窒素施肥条件が明らかとなったこ

とから、今後目的の成分に応じた適性施肥量を検討することで機能性成分の生産量を多くできる可能性が示唆された。

### 摘要

クワ葉に含まれる機能性成分の含有量の向上を目的として、栽培環境条件がフラボノールおよびDNJ含量に及ぼす影響を検討した。

葉中機能性成分に及ぼす日照の影響を、クワ鉢植えを用いた栽培条件の比較(屋外:多日照, ガラス室:寡日照)により調査した。クワ葉中フラボノール含量はガラス室栽培個体が屋外栽培に比べ著しく減少した。また、ガラス室栽培後屋外へ移動した個体のフラボノール含量は常時屋外栽培より増加し、その増加程度は葉位により異なった。上位葉では屋外より有意に高くなったが、中位葉は屋外と同程度、下位葉は屋外に比べ有意

に低く、フラボノール合成に対する日照の影響は若い葉ほど強かった。一方 DNJ 含量はガラス室栽培が屋外より高くなったがその違いはわずかだった。日照条件は、フラボノールおよび DNJ 含量に影響を与えることが明らかとなり、含有量増加の日照条件はフラボノール、DNJ でそれぞれ異なった。

現地栽培圃場の異なる条件で栽培されたクワ葉中の無機成分とフラボノール、クロロゲン酸、DNJ 含量の関係を調査した。現地栽培圃場のクワ葉に含まれる無機成分と機能性成分含量の関係において、窒素含量がクロロゲン酸含量に対しては-0.4 の負の相関が、DNJ 含量に対しては0.60 の正の相関が認められた。現地調査により葉中機能性成分含量に及ぼす窒素の影響が示唆されたことから、ポット試験および圃場試験を用いて窒素施肥量が葉中機能性成分含有量に与える影響を検討した。窒素施肥量に対する機能性成分含量は、窒素施肥量の増加にともないクロロゲン酸含量およびフラボノール含量は減少傾向を示したが、DNJ 含量は増加傾向にあった。窒素施肥量とクロロゲン酸含量およびフラボノール含量には負の相関が、DNJ 含量には正の相関が認められ、窒素施肥量がそれぞれの葉中機能性成分含量に与える影響が明らかとなった。含有量を増加させるための窒素施肥条件はポリフェノール(フラボノール、クロロゲン酸)と DNJ でそれぞれ異なったが、目的の成分に応じた適切な窒素施肥量を設定することにより、それぞれの機能性成分含量を増加させられる可能性が示唆された。

### 第3章 クワ葉に含まれる機能性成分の季節変化

本研究の第1章、第2章では、クワ葉中機能性成分含量の変化を調査し、フラボノール、DNJ 含量が品種により異なること、フラボノールと DNJ 含量は日照条件により影響を受けること、さらに窒素施肥量がフラボノール、クロロゲン酸、DNJ 含量に影響を及ぼすことが明らかになった。食用クワ葉の生産においてはクワ葉の収穫は加工作業の規模に合わせて年1回、または2回行われており、養蚕で確立された栽培技術が用い

られている。しかし、機能性を目的とした商品ではその成分量が重要な要素となることから、今後は機能性成分の含有量を多くするための栽培条件が重要になる。そこで本章では、クワの重要な機能性成分であるフラボノール、クロロゲン酸、DNJ それぞれの成分が高含有となる収穫時期を明らかにするために、クワ葉中機能性成分の季節変化を調査した。

#### 第1節 クワ葉に含まれる機能性成分の季節変化

緑茶や紅茶の原料となるチャの葉ではカテキン類の含量が収穫時期によって変動することが知られているように(高柳ら, 1985; 近藤, 2007)、クワ葉の機能性成分においても収穫時期がそれらの含有量に与える影響は大きいと考えられる。クワの機能性成分含量の季節変化においては、Kimuraら(2007)、Nakanishiら(2011)によって、DNJ 含量および DNJ に起因するクワの $\alpha$ -グルコシダーゼ阻害活性が、気温が高くなる8月に高くなることが報告されている。また、クワ葉のポリフェノール含量に関しては Lee・Choi(2012)が、クワ葉のクロロゲン酸、フラボノールの含有量が5月、7月、9月の異なる収穫時期において5月に高くなることを報告している。しかしこの方法は季節変化の推移を連続的に調べたものではなく、生産現場で行われている2回収穫にも対応していない。さらに、第2章で明らかになったように、葉中フラボノールと DNJ をそれぞれ高含有するための日照や窒素施肥量の条件が相反していたことから、すべての成分を高い水準で効率的に得るためには、フラボノール、クロロゲン酸、DNJ それぞれの成分の推移を比較し、総合的に最適な収穫時期を見極める必要がある。

そこで本章では、クワ葉のフラボノール、クロロゲン酸、DNJ それぞれの成分が高含有となる収穫時期を明らかにする目的で、クワ栽培期間中の季節変化による機能性成分含量の推移を調査し、変動の原因を考察した。

#### 1 材料および方法

##### 1) 供試材料

クワに含まれる機能性成分含量の季節変化は、

2015年、島根県出雲市農業技術センターの圃場において、クワの一般的な肥培管理により栽培されている定植5年目のクワ品種「一ノ瀬」を用いて調査した。桑樹は3月上旬に枝条を基部から伐採し、その後伸長した枝条を調査および分析に用いた。サンプリングに用いた葉身は、常に定位置になるように先端から約20cmの位置の完全展開葉から下位3枚、1株2枝の合計6葉を用いた。1株について6枚サンプリングされた葉は、株ごとに一つにまとめて分析された。葉身の採取は最長枝条長が40cm以上となった5月25日から開始し、約10日ごとに10月16日まで行った。また、生産現場では年2回収穫を行うことから、中途伐採の影響を確認するために、伐採を行わない1回収穫区と2回収穫区を設定し、2回収穫区は7月15日に地上から80cmの部位で伐採した。再発芽直後となる7月24日の葉身採取は1回収穫区のみ行った。2回収穫区は7月15日と10月26日に、1回収穫区は10月26日にそれぞれ生育調査および収量調査を行った。調査区は1回収穫区、2回収穫区ともにそれぞれ3反復とし、各区10株を調査した。生育調査は各株の最長枝条を用いた。新梢長は新梢の基部から先端、落葉長は新梢の基部から着葉部位までをそれぞれ測定した。葉身、節間長の調査は最長枝条の先端から1/3の高さに位置する部位で行い、節間長は連続する5節を測定しその平均値で求めた。収量調査は、1株ごとに全枝条の伐採により行った。枝条重を測定後、伐採した枝条の葉をこきとり枝重を測定した。葉身収量は、葉重として枝条重から枝重を引いて算出した。生育調査、収量調査は1区10株ずつ、合計30株の平均値で示した。また、収量調査時に各株から最長枝条1枝の全葉をサンプリングし、1枝あたりの葉中機能性成分含量を調査した。

気象データは島根県出雲市のアメダスデータを用いた。図3-1-1に2015年と平均の、各サンプリング日を基点とした積算日照時間および積算温度を示した。平年値の統計期間は、平均気温が1981-2010年、日照時間が1987-2010年である。積算温度は日平均気温を用い、積算日照時間と積算温度はそれぞれサンプリング日前14日間の積算値を用いた。14日間としたのは、6月から7月の葉身展開が1枚/1.4日であることから、

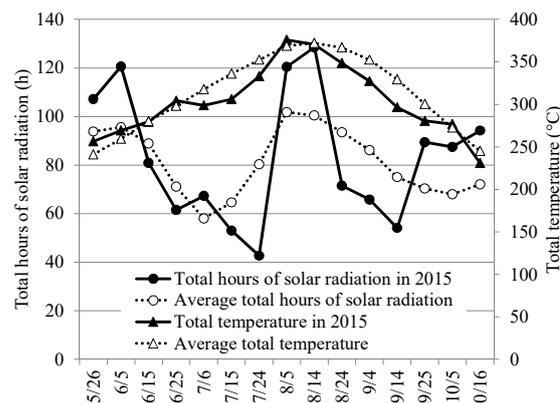


Fig. 3-1-1. Total hours of solar radiation and total temperature for 14 days before leaf sampling in 2015 and average yearly values.<sup>z z</sup> The database of the Automated Meteorological Data Acquisition System was searched to calculate the average temperature between 1981 and 2010 and the average hours of solar radiation between 1987 and 2010. The values for a period of 14 days before leaf sampling were used as standard values. Total temperature for 14 days was calculated by adding average temperature per day.

サンプリング葉（先端から9, 10, 11枚目にあたる）の中間の葉（先端から10枚目にあたる）の展開開始からサンプリングまでの期間が14日となるためである。

## 2) サンプル調製

第1章、第1節に準じた方法で行った。

## 3) フラボノール、クロロゲン酸およびDNJの定量

フラボノール、クロロゲン酸およびDNJの定量はShimadzu社製のUPLC, Nexera HPLC system:ポンプ LC-30AD, オートサンプラー SIL-20A, カラムオープン CTO-20AC, DiodeArray Detector SPD-M20A, Fluorescence Detector RF-20Axsを用いて行った。カラムはShim-pack XR-ODS (50L×2.0) (Shimadzu社製)を用いた。フラボノール、クロロゲン酸はカラム温度40°C, 移動層0.1%ギ酸と0.1%ギ酸90%アセトニトリルを用い、0.1%ギ酸89%-78%のバイナリーグラジエント, 流速0.6 ml/min, 検出波長:クロロゲン酸280 nm, フラボノール370 nmの条件で定量した。DNJはKimら(2003)の方法を用いて, カラム温度40°C, 移動層0.1%ギ酸と0.1%ギ酸90%アセトニトリル, 0.1%ギ酸77.8%-33.3%のバイナリーグラジエント, 流

速 0.7 ml/min, Ex:254 nm, Em:322 nm の条件で定量した. K3R, Q3MG, K3MG はそれぞれクワ葉から精製し用いた (Katsube ら, 2006). 標準品ルチン, クロロゲン酸は Wako, イソケルシトリン, アストラガリン, DNJ はフナコシから購入した. フラボノール含量は, ‘一ノ瀬’, ‘はやてさかり’ に含有される 6 種類のフラボノール: ルチン, イソケルシトリン, K3R, Q3MG, アストラガリン, K3MG の合計を用いた.

#### 4) 統計処理

データの統計処理は統計処理ソフトウェアエクセル統計 2015 を用いて行った. 結果は平均値 ± 標準誤差で表した. Turkey-Kramer の多重比較検定により解析した.

## 2 結果および考察

### 1) クワ葉中機能性成分含量の季節変化

クワ葉中フラボノール, クロロゲン酸, DNJ 含量の季節変化を図 3-1-2 の A から C にそれぞれ示した. フラボノール含量の季節変化は 1134 mg/100 g DW から 2230 mg/100 g DW の範囲で推移し, 7 月中下旬, 9 月上中旬に低く, 5 月下旬から 7 月上旬, 8 月上中旬および 9 月下旬以降に高い値を示した (図 3-1-2-A). 特に 9 月下旬以降, 日数経過とともに増加し, サンプル最終日の 10 月 16 日に期間を通して最も高い値となった.

クロロゲン酸含量の季節変化は 616 mg/100 g DW から 1014 mg/100 g DW の範囲で推移し, 7 月中旬から 8 月中旬の間と 9 月上旬に低く, 5 月下旬から 7 月上旬, 9 月下旬以降に高い値を示した (図 3-1-2-B). 8 月を除きフラボノールとクロロゲン酸含量両成分の葉中含量の推移は似た傾向を示し, 最大値, 最小値はそれぞれ 10 月 16 日, 7 月 24 日であった.

フラボノール含量とクロロゲン酸含量は調査期間で大きく変化し, いずれも 9 月下旬以降の高含量が特徴的であった. 特にフラボノール含量は 9 月中旬から急激な増加傾向を示し 10 月に最も高くなった. この結果はこれまでの多くの報告と異なった. フラボノール, クロロゲン酸はいずれもポリフェノールに属しており, 葉中ポリフェノールは春に高いとする報告が多い.

Kawakami ら (2010) はカキの葉のポリフェノールが 6 月に最大となり徐々に減少することを, 高橋・沖浦 (2013) はイチジク葉のルチンは 5 月～6 月に高くなることを, 翠川ら (2010) はタラヨウ葉中のカフェ酸誘導体含量の季節変動について春が秋より高くなることを報告している. 一方で, 曾根原・泉 (1991) は柿葉のポリフェノールは 6 月から増加し 10 月に最も高くなるとしているが, このように秋に高いとする報告はあまりみられない. クワの機能性成分について Lee・Choi (2012) は, 葉中のクロロゲン酸, フラボノールの含有量が 5 月, 7 月, 9 月の異なる収穫時期において 5 月に高くなると報告している. しかし, 本試験の結果は 10 月 15 日に最も高い値を示し, 曾根原・泉 (1991) と同様の傾向を示した. Kawakami ら (2010) はフォーリンデニス法で柿の葉の水溶性のポリフェノールを測定し, 調査している成分, 分析方法が我々と異なっていた. さらにカキは 6 月に伸長を停止し, 新梢が横に伸長することから, 葉身の受光体制はクワと大きく異なると考えられる. ポリフェノール含量の多くなる時期が我々の結果と異なった理由として, 一つにはこれら, 樹種の違いや, 分析している成分, 方法による可能性が考えられた. しかし一方で, 高橋・沖浦 (2013) はイチジクの上位葉のルチンを HPLC により測定しており, 分析している成分, 方法は我々と似ていた. さらに, イチジクの新梢の伸長停止時期, 新梢の伸び方もクワと似ている. それにもかかわらず, ルチン含量の多い時期は我々の結果と異なった. 我々の結果でも, 5, 6 月のフラボノール含有量は決して低くない. しかしそれ以上に 8 月および 9 月後半以降のフラボノール含量が高かった. Kawakami ら (2010), 高橋・沖浦 (2013) の試験における日照条件が明らかになっていないが, 平年値の積算日照時間は, 5 月から 6 月中旬までと 8 月上中旬に高い (図 3-1-1). 8 月のフラボノール含量が 9 月後半以降より低くなった原因は, この高い日照 (フラボノール含量と正の相関) と気温 (フラボノール含量と負の相関) の相乗効果による可能性が示唆された.

一方, DNJ 含量の季節変化は 53 mg/100 g DW から 199 mg/100 g DW の範囲で推移し, 8 月に高く, 5 月, 10 月で低い山なりの傾向を示した

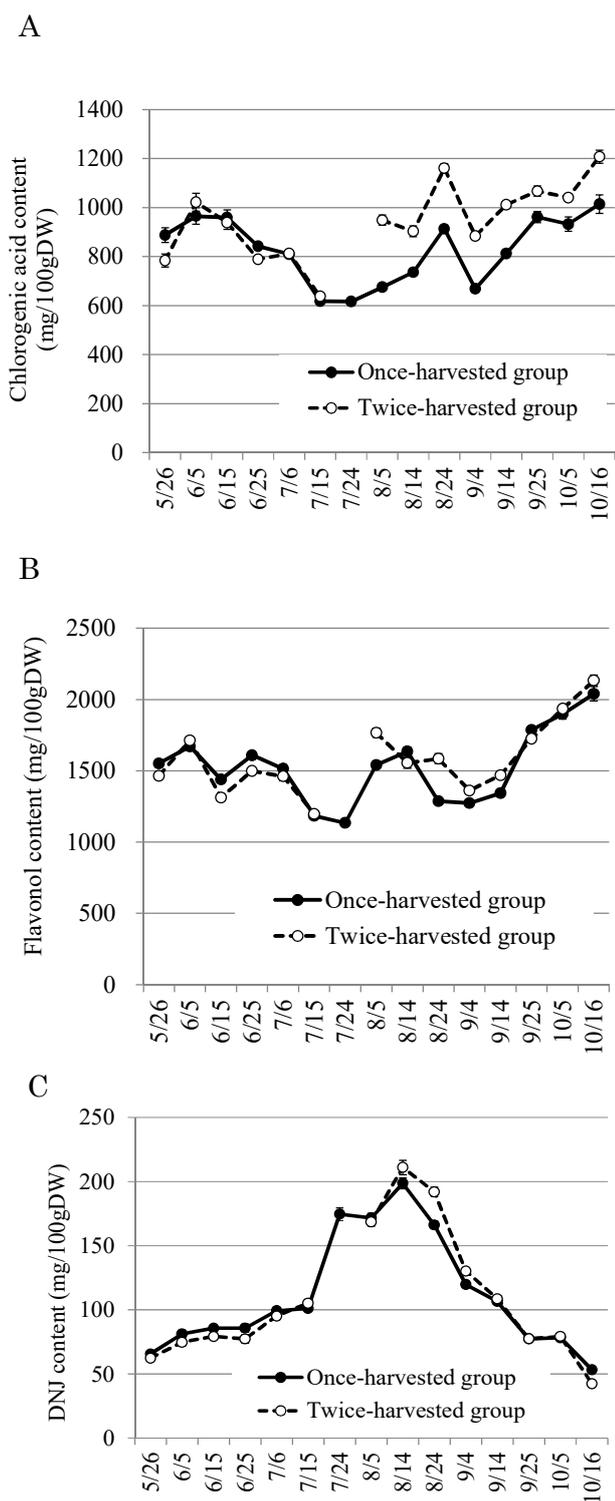


Fig.3-1-2. Seasonal changes in functional component contents in mulberry leaves.<sup>z</sup> A: Flavonol, B: Chlorogenic acid, C: DNJ. <sup>z</sup> The youngest open leaves with completely opened leaflets at 20 cm from the shoot tip and the subsequent two leaves were sampled. Data are mean  $\pm$  SE (n = 30).

(図 3-1-2-C). しかし、その含有量の増減の割合は一定ではなく、5月下旬から7月中旬までは徐々に増加した後8月中旬まで急増して最高値となり、その後急激に減少した。Kimuraら

(2007), Nakanishiら(2011)は、葉中DNJ含量が気温の影響を受け8月に高くなるとしている。第2章第1節で行った2009年5月28日~7月28日および2010年5月24日~7月27日の現地調査において、調査期間中のDNJ含量に対する積算日照時間との相関は認められなかったが、積算温度との相関係数は、2009年が0.92 (P=0.02), 2010年が0.89 (P=0.02)と高く本試験と同様の結果を示していた(データ省略)。本試験においてもDNJ含量の季節変化は8月に最も高かったことから、DNJ含量は温度との相関が高く、DNJ含量の高いクワ葉を得るためには高温期の収穫が適していると考えられた。また、5月下旬から7月中旬までの増加は緩やかで、8月下旬から後急激に減少した。Konno(2011)はDNJが乳液に含有されるとしており、新梢伸長初期では乳管の発達が小さく供給できる乳液が少ないとしている。このことが、5月~7月までのDNJ含量の増加率が低い原因であったと考えられる。

各サンプリング日を基点とした積算日照時間および積算温度とそれぞれの機能性成分含量の関係を表3-1-1に示した。フラボノール含量に対する積算日照時間と積算温度の相関係数はそれぞれ0.59 (P<0.01), -0.51 (P<0.05)となった。また、クロロゲン酸含量に対する積算日照時間の相関は0.33と低かったが、積算温度との相関係数は-0.69 (P<0.01)と高かった。DNJ含量に対する積算日照時間の相関係数は0.05で相関が認められなかったが、積算温度との相関係数は0.94 (P<0.01)と最も高かった。

本試験で、フラボノール含量と積算日照時間には正の相関が、積算温度とは負の相関が確認された。第2章第1節の現地栽培調査圃場においても、2009年5月28日~7月28日、2010年5月24日~7月27日の期間中、約10日ごとにクワ葉の機能性成分含量を調査した結果、フラボノール含量と積算日照時間に正の相関が認められている。この調査における積算温度の相関係数は、それぞれ2009年が-0.33 (P=0.32), 2010年が-0.49 (P=0.08)となり、積算日照時間と積算温度との重相関係数は2009年が0.96 (P=0.02), 2010年が0.93 (P=0.02)であった。また、同調査時のクロロゲン酸含量と積算日照時

**Table 3-1-1.** Correlation coefficients between functional component contents in mulberry leaves and total hours of solar radiation or total temperature for 14 days before sampling.<sup>z</sup>

	Correlation coefficient	
	Total hours of solar radiation	Total temperature
Flavonol	0.59 <sup>**y</sup>	-0.51 <sup>*</sup>
Chlorogenic acid	0.33	-0.69 <sup>**</sup>
DNJ	0.05	0.94 <sup>**</sup>

<sup>z</sup>Total hours of solar radiation and total temperature in 2015 were calculated for a 14-day-period before leaf sampling. <sup>y</sup>Asterisks indicate significant differences (\*\*P<0.01, \*P<0.05; Tukey's test).

間、積算温度の相関係数は、それぞれ 2009 年が 0.67 (P=0.18), -0.57 (P=0.25), 2010 年が 0.40 (P=0.45), -0.30 (P=0.58) となり、いずれも本試験と似た傾向を示していた。このことから、本試験で、10 月に最もフラボノール含量が高くなった原因として、受光期間および気温の二つの可能性が考えられた。2015 年に行った季節変化の試験では、クワの生育停止により 9 月上旬から中旬にかけて新葉の展開がみられなくなった。その結果、上位葉による遮光の影響を受けないことから、9 月下旬以降のサンプリング葉の受光日数はそれまでのサンプリング葉より増えたと推測される。一つには、この受光期間の増加と、2015 年の 9 月下旬以降の比較的高い日照時間 (図 3-1-1) が 9 月下旬以降の高フラボノール含量の原因であると考えられた。

一方、温度との関係について、これまでブドウでフラボノイドの蓄積と栽培環境条件に関して詳細な検討がなされている。Spayd ら (2002) は、温度はブドウ果皮のフラボノール含量にほとんど影響を及ぼさないとし、Mori ら (2005) も高夜温によりアントシアニン蓄積は低下するが、フラボノールは減少しないことを報告している。しかし、アントシアニンと温度との関係ほど明確でないといわれるものの、Azuma ら (2012) はインビトロ試験においてブドウ果皮のフラボノールが低温と光処理で高くなることを、Løvdal ら (2010) は人工気象室内で低窒素条件下のトマトのルチンの蓄積は低温により増加することを報告している。我々の結果は Azuma ら (2012)、Løvdal ら (2010) と同様の傾向を示した。クワの葉の収穫が可能な 5 月から 10 月の 2015 年の

平均気温は 15-29°C (サンプリング前 14 日間の積算気温: 234-380°C) の範囲であったが、本屋外試験において積算気温はフラボノール含量と負の相関を示した。このようにフラボノール含量に及ぼす二つ目の要因として温度の影響が示唆された。

以上のことから、ポリフェノール含量に対しては日照 (正の相関) と温度 (負の相関) が相乗的に働くと考えられる。すなわち、9 月下旬以降のポリフェノール含量の増加は日照と気温低下の相乗効果、また 8 月の多日照下で想定よりフラボノール含量が低くなったのは高温による抑制効果が原因であると推察された。積算日照時間が長いにもかかわらず 6 月のフラボノール含量が 10 月より低くなった原因は、日照と温度のバランスにより相乗効果が現れなかったためと考えられる。

葉中機能性成分に及ぼす 2 回収穫による中途伐採の影響を調査するために、2 回収穫区と 1 回収穫区の葉中含量を比較した (図 3-1-2-A-C)。2 回収穫区のフラボノール含量と DNJ 含量は概ね 1 回収穫区と同程度の値を示したが、クロロゲン酸含量は 2 回収穫区で高くなった。中途伐採の影響は、クロロゲン酸含量には優位に働き、フラボノールおよび DNJ に対しては少ないと考えられた。

## 2) クワ葉収量および株あたりの機能性成分量

食用クワ葉の生産において、クワ葉の収穫は加工作業の規模に合わせて年 1 回、または 2 回行われている。面積あたりの機能性成分量は、葉中含量とクワ葉の収量により大きく変動することから 1 株あたりの収量と成分量を調べた。

一般にクワの葉の収穫は伸長した枝条を伐採し、伐採した枝から葉をこき取ることで行われる。2 回収穫の場合は、7 月頃に一度収穫伐採した後、再発芽・伸長した枝を 9 月頃再度収穫する。表 3-1-2 に収穫時における生育および葉量を示した。新梢基部から着葉部位までの枝の長さを測定した落葉長は、1 回収穫区が 2 回収穫区より約 3 倍長くなった。新梢長と落葉長は 1 回収穫区が 2 回収穫区 (10/26) に比べそれぞれ約 3 倍、約 1.8 倍長くなった。これは、新梢長が長くなった結果下位葉の受光量が低下したことによると

Table 3-1-2. Mulberry tree growth and leaf yield at harvest.

	Date of measurement	Longest shoot length (cm)	Shoot length without leaves <sup>z</sup> (cm)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Internode length (cm)
Twice-harvested group	7/15	203 ± 3	48 ± 1	23.1 ± 0.3	18.3 ± 0.2	4.1 ± 0.1
	10/26	188 ± 2	48 ± 4	22.0 ± 0.3	18.7 ± 0.3	3.9 ± 0.1
Once-harvested group	10/26	341 ± 6	159 ± 4	22.5 ± 0.3	17.9 ± 0.3	2.9 ± 0.0

	Date of measurement	Shoot <sup>y</sup> weight (kg/stock)	Stem weight (kg/stock)	Leaf yield <sup>x</sup> (kg/stock)	Leaf/stem ratio (%)	Leaf yield per year (kg/stock)
Twice-harvested group	7/15	1.84 ± 0.07	0.58 ± 0.01	1.26	68.5	2.17
	10/26	1.24 ± 0.05	0.33 ± 0.01	0.91	73.3	
Once-harvested group	10/26	1.94 ± 0.13	0.80 ± 0.04	1.14	58.6	1.14

<sup>z</sup> Shoot length was measured without leaves after defoliation. The length from the base of the shoot to the remaining leaf was measured. <sup>y</sup> Shoot includes stem and leaf. <sup>x</sup> The leaf yield was defined as the leaf weight, which was calculated by subtracting the stem weight without leaves from the total shoot weight with leaves.

考えられた。1回収穫区の葉量は2回収穫区の10月収穫より多くなったものの、7月と10月収穫合計の半分にとどまった。1回収穫区の減収は、落葉長の増加による葉量の減少が大きな要因であると考えられる。

第2章第1節において、クワ葉の機能性成分含量は部位により異なり、フラボノール、DNJともに含有量は上位葉で高く下位葉で低くなること、さらにこの傾向はDNJ含量において顕著であることが明らかになった。このことから、収穫

されたクワ葉すべての機能性成分量を把握するためには、1枝全葉の機能性成分含量の調査が必要である。収穫時の1枝全葉の機能性成分含量を図3-1-3-A-Cに、さらにその値と葉量、水分含量を用いて1株あたりの機能性成分量を算出した値を表3-1-3に示した。1枝あたりのフラボノール含量は2回収穫区の10月26日収穫で最も高い値を示したが、1回収穫区でも比較的高い値を示していた(図3-1-3-A)。1枝あたりクロロゲン酸含量は、2回収穫区の10月26日収穫が最

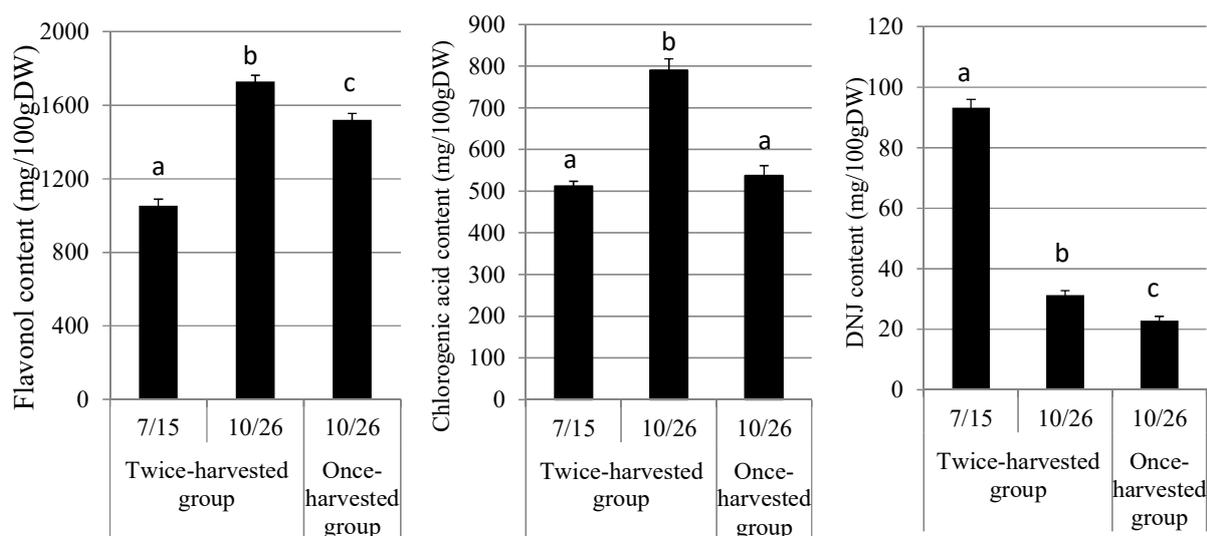


Fig. 3-1-3. Functional component contents in mulberry leaves per shoot at harvest.<sup>z</sup> A: Flavonols, B: Chlorogenic acid, C: DNJ. <sup>z</sup> Because the functional component contents of mulberry leaves differ depending on the position of the leaf, all the leaves of each shoot were used to determine its functional component contents. All the leaves on the longest shoot of each stock were sampled to evaluate the functional component contents in bulk. Different letters indicate statistically significant differences ( $P < 0.01$ ; Tukey's test).

も高くなったが、2回収穫区の7月の含量と1回収穫区は同程度となった(図3-1-3-B)。その結果をもとに換算した1株あたりのフラボノールおよびクロロゲン酸含量は、2回収穫区の合計が1回収穫区に比べそれぞれ1.7倍、2.2倍多くなった(表3-1-3)。一方、DNJ含量は1回収穫区が最も低い値を示した(図3-1-3-C)。1株あたりのDNJ量は2回収穫区の合計が438mgに対し、1回収穫区は78mgと1回収穫区で激減した(表3-1-3)。

クワ葉の収量は1回収穫区が2回収穫区の半分となり、1株あたりの機能性成分量がいずれも2回収穫区で多くなったことから、クワ葉の収量だけでなく、機能性成分の生産量においても1回収穫より2回収穫が良いことが明らかとなった。特にこの傾向は、低温による含有量の低下にくわえ、1回収穫区による低収の影響から、DNJにおいて顕著であった。2回収穫による中途伐採の影響がクロロゲン酸含量で高かったことから、収量性だけでなく機能性成分の高含有の面からも2回収穫が良いと考えられた。

以上の結果から、1回収穫の場合、機能性成分がそれぞれ多くなる収穫時期は、フラボノール、クロロゲン酸は9月下旬以降気温が低く多日照となった時、DNJは気温が高くなる8月がそれぞれ適期であり、さらに、この3つの成分すべてを平均的に高くするための収穫時期は8月高温期の多日照時がよいと考えられた。また、2回収穫を行う場合は、収量性に係わるクワ葉の伸長も考慮し、高温で多日照が続く7月~8月上旬までに1回目の収穫を終え、その後2回目の収穫を9

月末までに行うのが良いと思われた。また、本試験の結果から機能性成分がそれぞれ多くなる収穫時期は日照時間、温度を参考に推定できると考えられた。2015年と平年値の積算日照時間と積算温度を比較すると、積算日照時間の振れ幅が2015年で大きいものの、ほぼ平年値の積算日照時間、積算温度と同じ傾向を示していた(図3-1-1)。このことから、2015年の結果で求められた機能性成分含量を高含有する時期は、一般的な気象条件の年ではほぼ同じになると考えられる。さらに、年ごとの日照時間、温度の傾向を加味することが、高含有を見据えた収穫時期決定の精度向上に有効であると考えられる。

## 第2節 高温が1-デオキシノジリマイシン(DNJ)含量に及ぼす影響

第3章第1節でDNJ含量が積算温度により大きく変化したことから、人工気象室を用いてDNJ含量に及ぼす温度の影響を調べた。

### 1 材料および方法

#### 1) 供試材料

温度がDNJ含量に与える影響は、2015年農業技術センターの人工気象室を用いて行った。クワ品種は「やてさかり」の25L容鉢植えの2年生苗を、夏期伐採後伸長した枝を2本に調整し用いた。各処理区5鉢を屋外で栽培後、10月2日に人工気象室に移動した。処理温度は昼夜温(6時-18時、18時-6時)をそれぞれ高温区(30-25℃)、低温区(23-18℃)に設定した。移動後10月16日、11月6日に先端から約20cmの位置

Table 3-1-3. Amount of functional components per stock.<sup>2</sup>

	Date of measurement	Flavonol (mg)		Chlorogenic acid (mg)		DNJ (mg)	
		One time	Total	One time	Total	One time	Total
Twice-harvested group	7/15	3979	8700	1938	4096	352	438
	10/26	4721		2158		86	
Once-harvested group	10/26	5203	5203	1839	1839	78	78

<sup>2</sup> To evaluate the amount of functional components in the field, we measured the total amount of functional components per stock. The total amount of functional components per stock was calculated from the functional component contents in total leaves per shoot, leaf yield per stock, and average water content (70%) in leaves

の葉身を採取した。また、採取時に葉身側の葉柄から滲み出る乳液を 10  $\mu$ L 採取し、乳液中の DNJ 含量を調査した。

## 2) サンプル調製

生葉は 60°C で 36~48 時間、乾燥機 (SANYO CONVECTION OVEN) で通風乾燥し、ミルサー (IWATANI MILLSER 700G) で粉碎後、機能性成分分析に供した。粉碎したクワ葉を 100 mg 秤量後、10 ml の 60%エタノールを加え、30°C で 3 時間振とう後、10000g で 5 分間遠心分離し、上澄みを 0.45  $\mu$ m のメンブレンフィルター (ADVANTEC) で濾過し DNJ の測定に供した。乳液は蒸留水で希釈後サンプルとした。

## 3) DNJ の定量

DNJ の定量は Shimadzu 社製の UPLC, Nexera HPLC system : ポンプ LC-30AD, オートサンプラー SIL-20A, カラムオープン CTO-20AC, Diode Array Detector SPD-M20A, Fluorescence Detector RF-20Axs を用いて行った。カラムは Shim-pack XR-ODS (50L $\times$ 2.0) (Shimadzu 社製) を用いた。Kim ら (2003) の方法により、カラム温度 40°C, 移動層 0.1%ギ酸と 0.1%ギ酸 90%アセトニトリルを用い、0.1%ギ酸 77.8%-33.3%の Binary gradient, 流速 0.7 ml/min, Ex:254 nm, Em:322 nm の条件で定量した。

## 4) 統計処理

データの統計処理は統計処理ソフトウェアエクセル統計を用いて行った。結果は平均値 $\pm$ 標準誤差で表した。データは Turkey-Kramer の多重比較検定により解析した。

## 5) 結果および考察

屋外栽培した鉢を 10 月 2 日に人工気象室に移動後、葉身および乳液中の DNJ 含量を測定した結果を図 3-2-1 に示した。葉身の DNJ 含量は、高温区 (30-25°C) では移動後 14 日後にわずかに高くなり、その後も DNJ 含量の減少は認められなかったが、低温区 (23-18°C) では移動後日数の経過にともない減少した。一方、乳液中の DNJ 含量は日数の経過にともない高温区で増加したが、低温区ではほぼ一定の値を示した。乳液中の DNJ 含量が高温区で増加したことから、高温により乳液の DNJ 合成は促進されたと考えられた。DNJ を高含量するクワ葉を得るためには、高温期で乳液量の多い枝条伸長が盛んな時期に収穫を行うことが重要であると思われる。

## 摘要

クワ葉の機能性成分含量が高い収穫時期を明らかにするため、クワ栽培期間におけるサンプリング葉 (完全展開葉最若葉を含む下位 3 葉) 中の

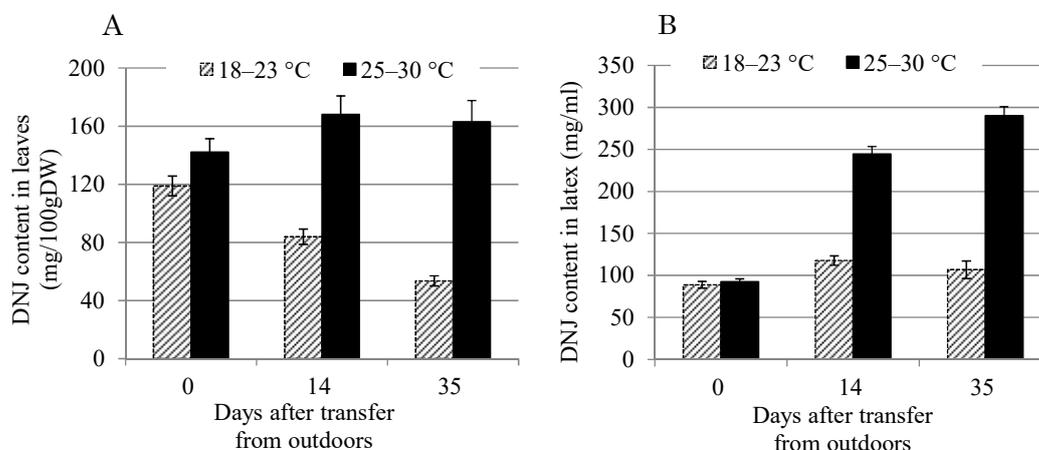


Fig. 3-2-1. Effect of temperature on DNJ content in leaves and latex of mulberry.<sup>2</sup> A: leaves, B: latex. <sup>2</sup> DNJ content was analyzed in mulberry trees cultivated in plastic pots, which were transferred from outdoors to artificial climate rooms on October 2. Five mulberry trees were used for each temperature treatment. Leaves located at 20 cm from shoot tip were sampled. Data are expressed as mean  $\pm$  SE (n = 5).

フラボノール, クロロゲン酸, DNJ 含量の季節変化を調査した. 5月26日から10月15日までの調査期間中, フラボノール含量は1134~2230 mg/100 g DW, クロロゲン酸含量は616~1014 mg/100 g DW, DNJ 含量は53~199 mg/100 g DW の範囲で変化した. フラボノール含量は5月下旬から7月上旬, 8月上中旬および9月下旬以降に高く, クロロゲン酸含量は5月下旬から7月上旬, 9月下旬以降に高くなった. 特に9月下旬以降のフラボノール含量は日経過とともに増加し, 調査最終日の10月15日に最も高い値を示した. フラボノール含量は日照時間と正の相関, 温度と負の相関を示したことから, このフラボノールの9月下旬以降の含有量増加は日照時間と低温の相乗効果であることが示唆された. 一方DNJ 含量は調査開始時および終了時に低く, 8月中旬に最も高くなる山なりの推移を示し, 積算気温(サンプリング前14日間の積算値)との高い正の相関が認められた. 機能性成分がそれぞれ多くなる収穫時期は, フラボノール, クロロゲン酸は9月下旬以降気温が低く多日照となる時, DNJ は気温が高くなる8月がそれぞれ適期であり, さらに, すべての成分を網羅するための収穫時期は8月高温期の多日照時がよいと考えられた.

## II 総合考察

近年, 健康維持の観点から, 食品の生体調整機能に関わる第三次機能性に注目したクワ葉の食品利用が増加している. 機能性食品として, 摂取した場合の効果を高めるために, また商品の付加価値をあげる手段として, 原料となるクワ葉の機能性成分含量を増やすことが重要となる. クワの食品利用としての研究は, 品種, 栽培技術面ともに遅れており, 現在食用クワ葉の生産現場においては養蚕用に開発された品種や栽培方法が用いられている. 作物中に含まれる多くの成分は品種, 栽培方法などにより含有量が変わることが知られているため, 生産現場においても食用として優れた品種あるいは栽培技術が求められる. 機能性食品原料となるクワ葉に含まれる機能性成分を安定的に高生産させるための方法として, ひとつには品種の能力を向上させること, ふたつめ

にその能力を最大限に発揮できる栽培環境条件を整えること, の両面からのアプローチが考えられる. そこで, 本研究では, クワ葉の重要な機能性成分を高含有させるための条件を, 品種・栽培環境それぞれの方向から検討した.

はじめに品種により機能性成分含量を高くできる可能性を検討した. ここで特に注目した成分はフラボノール配糖体の一つケルセチン3-(6-マロニルグルコシド) (Q3MG) である. Q3MG は, 低比重リポ蛋白質 (LDL) の酸化を抑制し (Katsube ら 2006), LDL レセプターノックアウトマウスに対して動脈硬化抑制作用を示すクワ葉の主要な関与成分である (Enkhmaa ら 2005). さらに, クワ葉の摂取が高脂肪食誘導肥満マウスの肝臓の酸化ストレスを緩和し, 解糖系を促進することによって糖代謝を正常に近づけると考えられ, この作用が Q3MG に起因することが報告されている (Katsube ら 2010). また, 島根県江津市桜江町桑茶生産組合の桑茶にはこの Q3MG が多く含まれるとされ, 他産地との商品の差別化が図られている. 現在一般にクワ栽培で使われている品種は, 養蚕に適している品種として開発された一ノ瀬が多い. 前述の桑茶生産組合で栽培されている品種も一ノ瀬が中心である. 第1章第1節ではこの一ノ瀬より高含有する品種選定を目的に, クワ品種の Q3MG 含量の品種間差を調査した. またここでは, クワ葉機能性成分で最も知られているクワ特異的な成分である 1-デオキシノジリマイシン (DNJ), Q3MG 以外のフラボノールも同様に検討した.

供試品種 176 品種を用いてフラボノールの品種間差を調査した結果, 品種間のフラボノールの組成および含有量に大きな違いが認められ, 供試した 176 品種のうち 73 品種が一ノ瀬より高いフラボノール含量を示した. フラボノールの組成においては, 供試 12 種 176 品種のクワ葉から 7 種類のフラボノール配糖体: ルチン, イソケルシトリン, ケンフェロール 3-(6-ルチノシド) (K3RG), Q3MG, アストラガリン, ケルセチン 3-(6-アセチルグルコシド) (Q3AG), ケンフェロール 3-(6-マロニルグルコシド) (K3MG) が検出され, そのうち最も豊富に含まれていたのは Q3MG であった. クワ葉に含まれるフラボノール配糖体の種類に関して, 本試験の結果は

Onogi ら (1993), Kim・Jang (2011), Naowaratwattana ら (2010), Choi ら (2013b), Thabti ら (2012) の報告と一部異なったが, この違いは, 栽培される種あるいは品種がそれぞれの国で異なり供試品種や分析方法の違いに由来すると推察された. 供試品種のフラボノール組成には, 1): Q3AG はケグワだけが含有すること, 2): 一部の品種において Q3MG と K3MG を含有しなかったこと, の 2 つの特徴が認められた. ケグワは, 他の品種が含有しない Q3AG を生成したことから, 特異的にアセチル基転移酵素を有していると考えられた. また, 本試験で注目したクワ葉の主要フラボノールである Q3MG が生成されない品種が確認されたが, Q3MG を生成しない品種は K3MG も含有しないことから, これらの品種はフラボノール合成に関与するマロニル基転移酵素を持たないと考えられた. さらに供試品種の出現率から, マロニル基転移酵素の欠失は地域特異的であると推察された. 日本在来のヤマグワに Q3MG を持たない品種が多いことから, 機能性成分を目的とした食用のクワの品種選定には, 主要フラボノールである Q3MG を含有しない品種の存在に留意する必要がある. さらに, 育種において Q3MG の有無は重要な要素である. Q3MG を含有する品種と持たない品種による交雑実生を用いてその発現率を調べた結果, マロニル基転移酵素は単一遺伝子でメンデルにおける優性遺伝をすることが明らかとなった. 品種比較試験の結果から, 必ずしもマロニル基転移酵素をホモに持つ品種の Q3MG 含量が高いとは限らなかったが, Q3MG を目標とする品種育成においては, 酵素をヘテロでもつ両親からは Q3MG を持たない個体が発現することに注意を要する.

一方, 品種間差は DNJ 含量にも確認された. 本試験の結果では, DNJ 含量が最も多かった品種は‘あやのぼり’で, 最も少ない‘臥龍’とは 10 倍以上の違いがあることが明らかとなり, ‘一ノ瀬’より DNJ を高含有する品種が 58 品種確認された. 一方で, DNJ の含有量が高いとされていた‘鶴田’は Kimura ら (2007) の報告に比べ低い傾向にあった. 年次間差は品種間差に影響しないことから, この違いの由来は今後の課題である. しかし本試験により, 現在の主流品種である‘一ノ

瀬’よりフラボノール, DNJ とともに高含有する品種が明らかとなり, 既存品種の選定によって機能性成分が向上できる可能性が示された. 特に, DNJ 含量が最も高かった独立行政法人農業生物資源研究所育成品種である‘あやのぼり’は, フラボノール総量および Q3MG の含量も高く, 栽培適性も優れていることから既存品種の中では有力品種となりうる. また, ここで明らかとなった各品種の機能性成分含量は, 今後成分育種を行う際の親品種選定の基礎データとなりうる. 例えば, 雄性の‘国桑第 21 号 (4x)’, 雌性の‘国桑第 20 号’は栽培適性も優れ, クワは四倍体と二倍体の交配により容易に交雑実生が得られるため育種親の組み合わせとして期待できる. 一方で, クワは多くが雌雄異株であること, 本試験においては実用品種でない品種や, 三倍体品種等交配親に適さない品種もあることから, 交配親の選定にはこれらを留意する必要がある.

フラボノール, DNJ とともにクワ品種の葉中含有量の違いが示されたことから, 成分育種による機能性成分の向上が示唆されたが, 木本であるクワの成分育種においては, できるだけ早い段階で成分による選抜を行うことが, 期間短縮, 圃場利用の面からも有意である. 本試験により, クワは穂木を用いた接ぎ木交配により 1 年で選抜可能な個体が得られること, さらに葉中フラボノール含量は実生 1 年目の個体を用いた成分分析による早期選抜が可能であることが示された. これらから, 高含有個体を交配親に選定し, 接ぎ木交配, 成分を指標とした早期選抜により, クワの成分育種および育種期間の短縮が可能であることが明らかとなった. そこで実際に, 葉中 Q3MG の向上を育種目標に, クワの成分育種を試みた. 4 倍体の‘四倍性桑’を種子親, 2 倍体の‘国桑第 21 号’を花粉親として交雑育種を行い, 栽培品種‘一ノ瀬’より Q3MG 高含有の個体を作成し, ‘蒼楽’と命名した. ‘蒼楽’は Q3MG 含量が‘一ノ瀬’より 1.4 倍高く, 収量性も高い 3 倍体品種で, 2015 年に品種登録された.

このように, クワの特性を利用した成分育種によって, 短期間に機能性成分高含量の品種育成が可能となったが, これはフラボノール以外の成分でも応用できる. 本報ではふれなかったが, DNJ 含量を高くすることを育種目標として DNJ 含量

の高い系統が獲得できた。しかし一方で、Q3MGとDNJ両成分の含有量向上をめざした成分育種では、最も高い選抜個体でも一ノ瀬に比べ各成分ともに1.2倍程度の増加にとどまり、複数成分を同時に大きく改善することは難しい。当面、複数の成分含有量をもとに高くするための手段としては、選抜の母集団となる実生個体を多くする、含有量が高くなる交配組み合わせの検討が効果的であると思われる。今後、合成酵素、DNA解析等を利用したマーカー育種や分子育種など新しい育種技術に期待したい。

次に、機能性成分含量に及ぼす栽培環境の影響を調査した。一般的に植物体中の多くの成分は品種や光、施肥量、気温など栽培環境に影響を受けるが、同様に、クワの機能性成分含量も品種、収穫時期、温度、部位産地などによる影響を受けるとされる (Bajapai・Rao, 2014; Choi ら, 2013b; Constantinides・Fownes, 1994; Hu ら, 2013; Kimura ら, 2007; Lee・Choi, 2012; Lou ら, 2011; Nakanishi ら, 2011; Yatsunami ら, 2008)。本研究では葉中機能性成分含有量の向上を目的として、日照条件、窒素施肥条件が、フラボノール、クロロゲン酸、DNJそれぞれの含有量に与える影響を調査した。

クワ葉のフラボノール含量は日照条件、窒素施肥条件に大きく影響を受けた。日照の影響は寡日照条件 (ガラス室) と多日照条件 (屋外) の栽培場所の比較により行った。その結果、フラボノール含量は多日照の屋外に比べ寡日照となるガラス室で著しく減少し、フラボノール合成は寡日照で抑制されると考えられた。フラボノールに及ぼす紫外線や日照の影響に関しては、Price ら (1995)、Fujita ら (2006) によりブドウ果皮のフラボノールが日光照射により増加することを、さらにMorales ら (2010) がフラボノイド合成に関与する遺伝子は紫外線カットにより発現が抑制されることを報告している。本試験のガラス室栽培でのフラボノール含量の減少も、紫外線カットの影響が大きいと考えられた。本試験で用いたガラス室は一般的に作物栽培で使用されるもので、アントシアニンの合成に対しては大きな影響を与えるものではない。このことから、フラボノール合成に対する紫外線量の閾値はアントシアニンのそれより高い可能性が示唆され、この点に

おいて施設でのフラボノール成分量を対象とする作物栽培は注意を要する。一方で、寡日照から多日照への状態変化によって、常時多日照条件に比べフラボノール含量が向上することが明らかとなった。これは近藤 (2010) の報告にある植物の生育環境への適応性の反応によると考えられ、日照の状態変化を利用して、屋外での栽培条件より高いフラボノール含量のクワ葉が得られる可能性を示唆した。屋外栽培での日照の制御は寒冷紗による遮光などで可能であるが、当面、収穫時の天候や栽培圃場の選定に留意することにより、フラボノール含量の高いクワ葉原料の確保が期待できる。さらに今後、植物工場など環境のコントロールが可能な条件下においては、紫外線の補光や、遮光、露光の制御によるフラボノール高含量化の可能性が示された。

次に、作物生産においては収量に直結する重要なファクターである窒素施肥量の影響を調べた。ここでは、フラボノールと同じくポリフェノールのひとつであり、クワの抗酸化作用の主要成分として位置づけられているクロロゲン酸についても検討した。窒素施肥量の増加にともないフラボノール・クロロゲン酸含量は減少した。Stewart ら (2001) は植物組織のフラボノール含量は窒素欠乏により高くなるとし、本試験の結果も同様の傾向を示した。フラボノールやクロロゲン酸などの抗酸化に関与する成分は様々なストレスに誘導されるとされ、本試験においてもフラボノールが紫外線ストレスにより増加することを確認している。これと同様に、窒素施肥量に関しても窒素欠乏のストレスによってクロロゲン酸、フラボノールが増加していくと考えられた。このように、クワ葉のフラボノール、クロロゲン酸含量の向上には減肥が有効であることが明らかとなったが、窒素は収量の増加には欠かせない肥料である。圃場あたりの機能性成分生産量を高くするためには収量の増加と成分含量の向上のバランスを考えた施肥量を検討する必要がある。したがって、生産場面においても収量性、機能性成分量の両面からそれぞれの圃場に適した施肥量を見極めが重要となる。これに対しては、葉中窒素含量と相関が高い葉色計の利用等した評価方法の検討などが残された課題である。

クワ葉に含まれるもう一つの重要な機能性成

分である DNJ に対する日照および窒素施肥量の影響をみると、フラボノール、クロロゲン酸が多日照、減肥条件で含量の増加が確認されたのに対し、DNJ はそれとは逆の傾向を示した。すなわち、クワ葉の DNJ 含量は、寡日照条件でわずかに増加が認められ、窒素施肥量が増えるにともない増加した。DNJ 含有量の向上に対する日照条件は、多日照よりも寡日照がよいことが明らかとなったが、日照の違いによる含有量の増加はわずかだった。この結果から DNJ に関しては栽培期間の日照を考慮しなくてもよいと思われる。一方で、DNJ 含量に対する施肥量の影響は大きく、DNJ の増加には窒素施肥量を増やすことが有効であることが示された。これはクワ葉収量を増やすための施肥条件と一致する。したがって、DNJ の圃場あたりの生産量を多くする施肥条件は収量性が最も高くなる施肥量で問題ないと考えられる。DNJ はクワの乳液に含まれ (Konno, 2011)、クワ葉の DNJ 含量は乳液中の濃度、乳液の量の影響を強く受ける。乳液量の増加は乳管の発達などに影響を受け、桑樹の生育を旺盛にすることが DNJ 含量増加の条件に直結すると推測される。フラボノール、クロロゲン酸がストレスにより増加するのに対し、DNJ 含量の向上にはストレスフリーの状態が望ましいと考えられた。

また、栽培期間における葉中フラボノール、クロロゲン酸、DNJ 含量の増減は、機能性を目的とした商品の原料生産においては重要な要素となる。それぞれの成分の含量が高くなる時期を明らかにするために、フラボノール、クロロゲン酸、DNJ 含量の季節変化を調査した。フラボノール含量とクロロゲン酸、DNJ 含量はいずれも調査期間中で大きく変化した。フラボノールとクロロゲン酸含量において注目すべき点は、栽培後期の 9 月下旬以降に含有量が高くなったことである。調査期間のフラボノール含量には、積算日照時間と正の相関が、積算温度と負の相関が確認され、さらにフラボノール含量に対する積算日照時間と積算温度の重相関係数はそれぞれの単相関より高くなった。クロロゲン酸含量もフラボノールと同様の傾向を示した。これまでフラボノールに対する温度の影響は大きくないとされていたが (Spayd ら, 2002 ; Mori ら, 2005)、一方で Azuma ら (2012)、Løvdal ら (2010) がフラボ

ノール合成に対する温度の関与を報告しており、本試験はこれらを裏付ける結果となった。したがって、9 月下旬以降のフラボノールおよびクロロゲン酸含量の増加は日照と気温低下の相乗効果によると考えられた。一方、DNJ 含量の季節変化は、これまでの Kimura ら (2007)、Nakanishi ら (2011) の報告と同様に、気温の高い 8 月に高く、DNJ 含量は温度との相関が高いことが明らかとなった。それぞれの成分について最適な収穫時期が明らかとなったが、高含有する条件が異なることから、温度、日照時間それぞれの成分に影響を与える条件を詳細に検討することにより、さらに、年ごとの日照時間、温度の傾向を加味することが、高含有を見据えた収穫時期決定の精度向上に重要であると考えられる。

以上のように、フラボノール、クロロゲン酸は多日照、減窒素施肥、低温により、DNJ は高温、至適窒素施肥、寡日照によって、それぞれの含有量が向上することが明らかとなり、クワ葉中機能性成分の含有量を高める条件はそれぞれ異なった。一方で、先端葉の含有量はいずれの成分も高いという結果が得られている。今後、ポリフェノールが増加するとされる水分ストレス (大江ら, 2013) をはじめ今回検討しなかった栽培環境に対する検討、さらに先端部の収穫に特化した茶刈機の利用や、再発芽性向上などそれに適した品種開発、密植栽培などの栽培技術開発により、含有量に特化した商品開発の可能性が期待できる。

本研究では、クワ葉に含有される機能性成分であるフラボノール、クロロゲン酸、DNJ について、品種および栽培環境からそれぞれの含有量の向上について検討した。本研究で明らかにした機能性成分の高い品種はすでに生産現場で普及しつつあり、育成品種も苗生産が開始されている。本研究で解明されたクワ葉の機能性成分の高含量化のための条件を、直ちに適用できる栽培技術として生産現場で活用していきたい。さらに、商品の差別化、高付加価値化による健康食品などへの 6 次産業化を通じた生産興隆に繋がることに期待したい。

### Ⅲ 総合摘要

本研究は、近年食品の機能性成分が注目されクワ葉の食品利用が増加していることから、原料となるクワ葉に含まれる機能性成分含有量の向上を目的として行った。品種および栽培条件の両面から、葉中機能性成分を増加させるための条件を検討した。

### 1. クワ葉に含まれる機能性成分含量の品種間差および品種改良

品種による機能性成分含量の違いを明らかにし、育種の基礎的知見とするために 176 品種の機能性成分：フラボノールおよび DNJ の葉中含量を調べた。176 品種間におけるフラボノール含有量と組成およびその割合には幅広い品種間差異が認められた。フラボノールを最も高含有する品種は小淵沢 1 号であり、最も少ない御蔵島 15' のフラボノール総量の約 5 倍であった。多くのクワ品種においてケルセチン 3- (6-マロニルグルコシド) (Q3MG) が最も多く含有されていたが、一部の品種は Q3MG をまったく含有しなかった。また、ケルセチン 3- (6-アセチルグルコシド) (Q3AG) は毛桑にのみ含まれた。交配後代を用いてクワ葉の主要フラボノールである Q3MG の遺伝様式を調べた結果、Q3MG 合成に関与するマロニル基転移酵素は単一遺伝子でメンデル遺伝することが明らかになった。また、交雑実生において高含有個体が得られたことから、交雑育種による高含有個体獲得の可能性が示唆された。

品種間差の結果をもとに、Q3MG 含量の高い交配親を選定し、4 倍体の‘四倍性桑’を種子親、2 倍体の‘国桑第 21 号’を花粉親としてクワの品種改良を行った。その結果、Q3MG 含量が一ノ瀬より 1.4 倍高く、収量性も高い 3 倍体クワ品種‘蒼楽’を育成した。‘蒼楽’は 2013 年 4 月に品種登録出願を行い、2015 年に品種登録された。

### 2. 栽培環境条件がクワ葉に含まれる機能性成分含量に及ぼす影響

葉中フラボノールおよび 1-デオキシノジリマイシン (DNJ) 含量に対する日照の影響を、クワ鉢植えを用いた栽培条件の比較 (多日照：屋外、寡日照：ガラス室) により調査した。フラボノールはガラス室の遮光により合成が阻害され、屋外

に比べフラボノール含量が著しく減少した。また、ガラス室栽培後屋外へ移動した個体のフラボノール含量は常時屋外栽培より増加し、その増加程度は葉位により異なった。上位葉では屋外より有意に高くなったが、中位葉は屋外と同程度、下位葉は屋外に比べ有意に低く、フラボノール合成に対する日照の影響は若い葉ほど強かった。一方 DNJ 含量はガラス室栽培が屋外より高くなったがその違いはわずかだった。日照条件は、フラボノールおよび DNJ 含量に影響を与えることが明らかとなり、増加させるための日照条件はフラボノール、DNJ で異なった。

また、現地栽培圃場の異なる条件で栽培されたクワ葉中の無機成分とクワ葉中機能性成分の関係を調査した。現地栽培圃場のクワ葉に含まれる無機成分と機能性成分含量には、窒素含量とクロロゲン酸に負の相関が、窒素含量と DNJ 含量に正の相関認められた。さらに、ポット試験および圃場試験により窒素施肥量が葉中機能性成分含有量に与える影響を検討した結果、窒素施肥量と機能性成分含量の関係において、窒素施肥量が多くなるほどクロロゲン酸含量およびフラボノール含量は有意に低くなったが、DNJ 含量は有意に高くなり、窒素施肥量がそれぞれの葉中機能性成分含量に与える影響が明らかとなった。目的に応じた適切な窒素施肥量を設定することにより、機能性成分含量を増加させられる可能性が示唆された。

### 3. クワ葉に含まれる機能性成分の季節変化

クワ葉の機能性成分含量が高い収穫時期を明らかにするため、クワ栽培期間におけるサンプリング葉中のフラボノール、クロロゲン酸、DNJ 含量の季節変化を調査した。5 月 26 日から 10 月 15 日までの調査期間中、いずれの葉中含量も大きく変化した。フラボノール含量は 5 月下旬から 7 月上旬、8 月上中旬および 9 月下旬以降に高く、クロロゲン酸含量は 5 月下旬から 7 月上旬、9 月下旬以降に高くなった。特に 9 月下旬以降のフラボノール含量は日経過とともに増加し、調査最終日の 10 月 15 日に最も高い値を示した。このフラボノールの 9 月下旬以降の含有量増加は日照時間と低温の相乗効果であることが示唆された。一方 DNJ 含量は調査開始時および終了時

に低く、8月中旬に最も高くなる山なりの推移を示し、積算気温との高い正の相関が認められた。機能性成分がそれぞれ多くなる収穫時期は、フラボノール、クロロゲン酸は9月下旬以降気温が低く多日照となる時、DNJは気温が高くなる8月がそれぞれ適期であり、さらに、すべての成分を網羅するための収穫時期は8月高温期の多日照時がよいと考えられた。

以上、本研究によりクワ葉に含まれる機能性成分含量が高くなる条件を検討し、品種選定や日照条件、窒素施肥量、収穫時期により、それぞれの成分を高くするための条件が明らかとなった。これらの知見や技術は、今後機能性成分の高いクワ葉生産に活用することができる。

#### 引用文献

- Andallu, B., V. Suryakantham, B. L. Srikanthi, and G. K. Reddy. 2001. Effect of mulberry (*Morus indica* L.) therapy on plasma and erythrocyte membrane lipids in patients with type 2 diabetes. *Clinica Chimica Acta*. 314: 47–53.
- Azuma, A., H. Yakushiji, Y. Koshita and S. Kobayashi. 2012. Flavonoid biosynthesis-related genes in grape skin are differentially regulated by temperature and light conditions. *Planta*. 236: 1067–1080.
- Bakhshi, D. and O. Arakawa. 2006. Effects of UV-B irradiation on phenolic compound accumulation and antioxidant activity in 'Jonathan' apple influenced by bagging, temperature and maturation. *J. Food Agric. Environ.* 4: 75–79.
- Bajpai, S. and A. V. B. Rao. 2014. Quantitative determination of 1-deoxynojirimycin in different mulberry varieties of India. *J. Pharmacogn Phytochem.* 3: 17–22.
- Butt, M. S., A. Nazir, M. T. Sultan and K. Schroën. 2008. *Morus alba* L. nature's functional tonic. *Trends Food Sci. Tech.* 19: 505–512.
- Chauhan, S., U. Devi, V. R. Kumar, V. Kumar, F. Anwar and G. Kaithwas. 2015. Dual inhibition of arachidonic acid pathway by mulberry leaf extract. *Inflammopharmacol.* 23: 65–70.
- Chen, Y. C., Y. J. Tien, C. H. Chen, F. N. Beltran, E. C. Amor, R. J. Wang and W. C. Yang. 2013. *Morus alba* and active compound oxyresveratrol exert anti-inflammatory activity via inhibition of leukocyte migration involving MEK/ERK signaling. *BMC complement. Altern. Med.* 13: 45.
- Choi, J., H. J. Kang, S. Z. Kim, T. O. Kwon, S. I. Jeong and S. I. Jang. 2013a. Antioxidant effect of astragalins isolated from the leaves of *Morus alba* L. against free radical-induced oxidative hemolysis of human red blood cells. *Arch. Pharm. Res.* 36: 912–917.
- Choi, S. W., Y. J. Jang, Y. J. Lee, H. H. Leem and E. O. Kim. 2013b. Analysis of functional constituents in mulberry (*Morus alba* L.) twigs by different cultivars, producing areas, and heat processings. *Prev. Nutr. Food Sci.* 18: 256.
- Constantinides, M. and J. H. Fownes. 1994. Nitrogen mineralization from leaves and litter of tropical plants: relationship to nitrogen, lignin and soluble polyphenol concentrations. *Soil Biol. Biochem.* 26: 49–55.
- Enkhmaa, B., K. Shiwaku, T. Katsube, K. Kitajima, E. Anuurad, M. Yamasaki and Y. Yamane. 2005. Mulberry (*M. alba* L.) leaves and their major flavonol quercetin 3-(6-malonylglucoside) attenuate atherosclerotic lesion development in LDL receptor-deficient mice. *J. Nutr.* 135: 729–734.
- Evans, S.V., L. E. Fellows, T. K. M. Shing and G. W. J. Fleet. 1985. Glycosidase inhibition by plant alkaloids which are structural analogues of monosaccharides. *Phytochem.* 24: 1953–1955.
- Fujita, A., N. Goto-Yamamoto, I. Aramaki and K. Hashizume. 2006. Organ-specific transcription of putative flavonol synthase

- genes of grapevine and effects of plant hormones and shading on flavonol biosynthesis in grape berry skins. *Biosci. Biotechnol. Biochem.* 70: 632–638.
- Hu, X. Q., L. Jiang, J. G. Zhang, W. Deng, H. L. Wang and Z. J. Wei. 2013. Quantitative determination of 1-deoxynojirimycin in mulberry leaves from 132 varieties. *Ind. Crop Prod.* 49: 782–784.
- Katsube, T., M. Yamasaki, K. Shiwaku, T. Ishijima, I. Matsumoto, K. Abe and Y. Yamasaki. 2010. Effect of flavonol glycoside in mulberry (*Morus alba* L.) leaf on glucose metabolism and oxidative stress in liver in diet-induced obese mice. *J. Sci. Food Agric.* 90: 2386–2392.
- Katsube, T., N. Imawaka, Y. Kawano, Y. Yamazaki, K. Shiwaku and Y. Yamane. 2006. Antioxidant flavonol glycosides in mulberry (*M. alba* L.) leaves isolated based on LDL antioxidant activity. *Food Chem.* 97: 25–31.
- Katsube, T., Y. Tsurunaga, M. Sugiyama, T. Furuno and Y. Yamasaki. 2009. Effect of air-drying temperature on antioxidant capacity and stability of polyphenolic compounds in mulberry (*Morus alba* L.) leaves. *Food Chem.* 113: 964–969.
- Kawakami, K., S. Aketa, M. Nakanami, S. Iizuka and M. Hirayama. 2010. Major water-soluble polyphenols, proanthocyanidins, in leaves of persimmon (*Diospyros kaki*) and their  $\alpha$ -amylase inhibitory activity. *Biosci. Biotech. Biochem.* 74: 1380–1385.
- Khaengkhan, P., K. Takahashi, T. Niidome, M. Ichida, H. Sugimoto, S. Harada and K. Kamei. 2009. A comparison of the amyloid  $\beta$  fibril-destabilizing activities of leaves among varieties of the mulberry. *J. Insect Biotech. Seri.* 78: 173–176.
- Kim, J. W., S. U. Kim, H. S. Lee, I. Kim, M. Y. Ahn and K. S. Ryu. 2003. Determination of 1-deoxynojirimycin in *Morus alba* L. leaves by derivatization with 9-fluorenylmethyl. *J. Chromatogr. A.* 1002: 93–99.
- Kim, G. N. and H. D. Jang. 2011. Flavonol content in the water extract of the Mulberry (*Morus alba* L.) leaf and their antioxidant capacities. *J. Food Sci.* 76: 869–873.
- Kimura, T., K. Nakagawa, H. Kubota, Y. Kojima, Y. Goto, K. Yamagishi, S. Oita, S. Oikawa and T. Miyazawa. 2007. Food-grade mulberry powder enriched with 1-deoxynojirimycin suppresses the elevation of postprandial blood glucose in humans. *J. Agric. Food Chem.* 55: 5869–5874.
- 近藤知義・仲上和博・和田義彦・今村嘉博・志和将一. 2007. カテキン類利用原料としての夏秋茶の摘採時期と位置. 滋賀県農業技術振興センター研究報告. 46: 36–44
- 近藤矩朗. 2010. 紫外線増加が植物に及ぼす影響. 帝京科学大学紀要. 6: 1–7.
- Konno, K. 2011. Plant latex and other exudates as plant defense systems: roles of various defense chemicals and proteins contained therein. *Phytochem.* 72: 1510–1530.
- 小山朗夫. 1997. 3倍性桑品種の稔性. 日蚕雑. 66: 200–206.
- Lee, W. J. and S. W. Choi. 2012. Quantitative changes of polyphenolic compounds in mulberry (*Morus alba* L.) leaves in relation to varieties, harvest period, and heat processing. *Prev. Nutr. Food Sci.* 17: 280–285.
- Lou, D. S., F. M. Zou, H. Yan and Z. Z. Gui. 2011. Factors influencing the biosynthesis of 1-deoxynojirimycin in *Morus alba* L. *Afr. J. Agric. Res.* 6: 2998–3006.
- Løvdal, T., K. M. Olsen, R. Slimstad, M. Verheul and C. Lillo. 2010. Synergetic effects of nitrogen depletion, temperature, and light on the content of phenolic compounds and gene expression in leaves of tomato. *Phytochem.* 71: 605–613.
- 前川健二郎・前田智雄・大島千周・鈴木卓・大澤勝次. 2006. 数種アブラナ科スプラウトの抗酸化成分含量および抗酸化能に及ぼす照射光強度の影響. 園学研. 5: 315–320.
- 松尾孝嶺. 1989. 植物遺伝資源集成. 第2巻. p.

- 691–693. 講談社. 東京
- 松永明子・佐波哲次・根角厚司. 2009. 窒素施肥量がチャ品種・系統の新芽中のカテキン類含有率に及ぼす影響. 茶研報. 108: 19–27.
- 翠川美穂・亀山眞由美・永田忠博. 2010. タラヨウの当年葉および古葉中のカフェ酸誘導体含量の季節変動. 日本食生活学会誌. 20: 305–312.
- 南澤吉三郎. 1984. 改訂新版栽桑学: 基礎と応用. p. 296–297. 鳴鳳社出版. 東京.
- 松丸好次・上浜竜雄・稲田勝美. 1971. ナス果皮のアントシアニン含量に及ぼす光透過性を異にした種々の被覆資材の影響. 生物環境調節. 9: 9–15.
- 松添直隆・山口雅篤・川信修治・渡部由香・東華枝・坂田祐介. 1999. 果実への暗黒処理がナスの果色と果皮のアントシアニン組成に及ぼす影響. 園学雑. 68: 138–145.
- Mol, J., G. Jenkins, E. Schäfer, D. Weiss and V. Walbot. 1996. Signal perception, transduction, and gene expression involved in anthocyanin biosynthesis. Critical Rev. Plant Sci. 15: 525–557.
- Morales, L. O., R. Tegelberg, M. Brosché, M. Keinänen, A. Lindfors and P. J. Aphalo. 2010. Effects of solar UV-A and UV-B radiation on gene expression and phenolic accumulation in *Betula pendula* leaves. Tree phys. 30: 923–934.
- Mori, K., S. Sugaya and H. Gemma. 2005. Decreased anthocyanin biosynthesis in grape berries grown under elevated night temperature condition. Sci. Hort. 105: 319–330.
- Mudau, F. N., P. Soundy, E. S. Du Toit and J. Olivier. 2006. Variation in polyphenolic content of *Athrixia Phyllicoides* (L.) (bush tea) leaves with season and nitrogen application. South African J. Bot. 72: 398–402.
- Nakagawa, K. 2013. Studies targeting  $\alpha$ -glucosidase inhibition, antiangiogenic effects, and lipid modification regulation: Background, evaluation, and challenges in the development of food ingredients for therapeutic purposes. Biosci. Biotechnol. Biochem. 77: 900–908.
- Nakanishi, H., S. Onose, E. Kitahara, S. Chumchuen, M. Takasaki, H. Konishi and R. Kanekatsu. 2011. Effect of environmental conditions on the  $\alpha$ -glucosidase inhibitory activity of mulberry leaves. Biosci. Biotechnol. Biochem. 75: 2293–2296.
- Naowaboot, J., P. Pannangpetch, V. Kukongviriyapan, U. Kukongviriyapan, S. Nakmareong and A. Itharat. 2009. Mulberry leaf extract restores arterial pressure in streptozotocin-induced chronic diabetic rats. Nutr. Res. 29: 602–608.
- Naowaratwattana, W., W. De-Eknamkul and E. G. De Mejia. 2010. Phenolic-containing organic extracts of mulberry (*Morus alba* L.) leaves inhibit HepG2 hepatoma cells through G2/M phase arrest and inhibition of topoisomerase II $\alpha$  activity. J. Med. Food. 13: 1045–1056.
- Niidome, T., K. Takahashi, Y. Goto, S. Goh, N. Tanaka, K. Kamei, M. Ichida, S. Hara, A. Akaike, T. Kihara and H. Sugimoto. 2007. Mulberry leaf extract prevents amyloid beta-peptide fibril formation and neurotoxicity. Neuroreport. 18: 813–816.
- 大江孝明・土田靖久・山崎哲弘・奥井弥生・石原紀恵・岡室美絵子・細平正人. 2013. ウメ「南高」樹体への乾燥ストレスおよび着果負担が果実および梅酒品質に及ぼす影響. 和歌山県農林水産試験研究機関研究報告. 1: 55–64.
- Onogi, A., K. Osawa, H. Yasuda, A. Sakaki and H. Itokawa. 1993. Flavonol glycosides from the leaves of *Morus alba* L. 生薬学雑誌. 47: 423–425.
- Park, S., Y. S. Kim, H. A. Lee, Y. Lim and Y. Kim. 2013. Mulberry leaf extract inhibits invasive potential and downregulates hypoxia-inducible factor-1 $\alpha$  (HIF-1 $\alpha$ ) in SK-N-BE (2) C neuroblastoma cells. Biosci. Biotechnol. Biochem. 77: 722–728.
- Price, S. F., P. J. Breen, M. Valladao and B. T. Watson. 1995. Cluster sun exposure and

- quercetin in Pinot noir grapes and wine. *Am. J. Enol. Vitic.* 46: 187–194.
- Scarth, R., S. R. Rimmer and P. B. E. McVetty, 1995. Apollo low linolenic summer rape. *Can. J. Plant Sci.* 75: 203–204.
- 政府統計の総合窓口 (e-Stat). <http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/eStat>
- Sharma, A., R. Sharma and H. Machii. 2000. Assessment of genetic diversity in a *Morus* germplasm collection using fluorescence-based AFLP markers. *Theor. Appl. Genet.* 101: 1049–1055.
- 曾根原直子・泉敬子. 1991. 柿葉のビタミンCとポリフェノール成分との関係. *日本栄養・食糧学会誌.* 44: 213–219.
- Spayd, S. E., J. M. Tarara, D. L. Mee and J. C. Ferguson. 2002. Separation of sunlight and temperature effects on the composition of *Vitis vinifera* cv. Merlot berries. *Am. J. Enol. Vitic.* 53: 171–182.
- Stewart, A. J., W. Chapman, G. I. Jenkins, I. Graham, T. Martin and A. Crozier. 2001. The effect of nitrogen and phosphorus deficiency on flavonol accumulation in plant tissues. *Plant Cell Environ.* 24: 1189–1197.
- 鈴木誠・高橋恭一・坂本堅吾・有賀勲. 1996. 栄養成分評価に関する研究(1)桑葉一般成分の品種間差異. 機能性食品に関する共同研究事業報告. 第2号: 37–42.
- 高橋徹・沖浦文. 2013. イチジク葉の成分組成に及ぼす収穫時期の影響. 東洋食品研究所研究報告書. 29: 31–36.
- 高柳博次・阿南豊正・池ヶ谷賢次郎・中川致之. 1985. 茶芽の熟度と成分変動. 茶業研究報告. 61: 20–25.
- Thabti, I., W. Elfalleh, H. Hannachi, A. Ferchichi and M. D. G. Campos. 2012. Identification and quantification of phenolic acids and flavonol glycosides in Tunisian *Morus* species by HPLC-DAD and HPLC-MS. *J. Functional Foods.* 4: 367–374.
- Tsuduki, T., I. Kikuchi, T. Kimura, K. Nakagawa and T. Miyazawa. 2013. Intake of mulberry 1-deoxynojirimycin prevents diet-induced obesity through increases in adiponectin in mice. *Food Chem.* 139: 16–23.
- Vichasilp, C., K. Nakagawa, P. Sookwong, O. Higuchi, S. Luemunkong and T. Miyazawa. 2012. Development of high 1-deoxynojirimycin (DNJ) content mulberry tea and use of response surface methodology to optimize tea-making conditions for highest DNJ extraction. *LWT-Food Sci. Technol.* 45: 226–232.
- Woodall, G. S., and G. R. Stewart. 1998. Do anthocyanins play a role in UV protection of the red juvenile leaves of *Syzygium*? *J. exp. Bot.* 49: 1447–1450.
- Yatsunami K, M. Ichida and S. Onodera. 2008. The relationship between 1-deoxynojirimycin content and  $\alpha$ -glucosidase inhibitory activity in leaves of 276 mulberry cultivars (*Morus* spp.) in Kyoto, Japan. *J. Nat. Med.* 62: 63–66.

## 謝 辞

本論文のとりまとめに際し、ご親切なるご指導とご高閲を賜った島根大学教授板村裕之博士に厚くお礼申し上げます。多大なるご助言と激励を賜った鳥取大学教授田村文男博士、山口大学教授執行正義博士、島根大学教授松本敏一博士、島根大学教授中務明博士に感謝の意を表します。

本試験の計画および遂行にあたって始終クワの育種、栽培に関する教示いただいた元独立行政法人生物資源研究所小山朗夫氏、機能性成分に関するご教示をいただいた島根県産業技術センター勝部拓矢博士に心より感謝申し上げます。土壌、植物体の成分分析に関してご協力いただいた島根県農林水産部高橋慎氏、肥料試験に関するご教示を頂いた島根県農業技術センター藤本順子博士に深く感謝申し上げます。また、国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構遺伝資源センターからジーンバンク事業、MTAにより材料提供いただきました。厚くお礼申し上げます。

本試験遂行にあたって、多大なるご協力いただいた島根有機ファーム株式会社古野俊彦氏、古野利路氏、桑茶生産組合の皆様にも深く感謝申し上げます。

ます。また、試験遂行にあたりご助言を頂いた島根県産業技術センターの皆様へ感謝の意を表します。始終激励を賜った島根大学客員教授山崎幸一氏、元島根大学教授塩飽邦憲博士、島根大学助教山崎雅之博士に厚くお礼を申し上げます。

論文作成にあたり英語論文に関する多大なるご助言をいただいた森山 ME 翻訳工房の森山裕美子氏に心より感謝申し上げます。

本試験遂行にあたって、多大なるご協力および激励をいただいた島根県農業技術センター春木和久博士、元島根県農業技術センター北川優氏、島根県農業技術センター塚本俊秀氏、梶野康行氏、大畑和也氏、島根県東部農業振興センター持田圭介氏に深く感謝申し上げます。

最後に、島根県農業技術センター特産開発科の皆様のご協力、ご支援により試験を遂行できました。ここに感謝の意を表します。

#### 学会誌公表論文リスト

##### 第1章

題目: Varietal Differences in the Flavonol Content of Mulberry (*Morus* spp.) Leaves and Genetic Analysis of Quercetin 3-(6-Malonylglucoside) for Component Breeding  
著者名: Mari Sugiyama, Takuya Katsube, Akio Koyama and Hiroyuki Itamura  
学術雑誌名: Journal of Agricultural and Food Chemistry (2013) 61: 9140–9147.

題目: フラボノール高含有クワ新品種‘蒼楽’の育成  
著者名: 杉山万里, 勝部拓也, 小山朗夫  
学術雑誌名: 島根県農業技術センター研究報告 (2018) 45: 37–50

##### 第2章

題目: Effect of solar radiation on the functional components of mulberry (*Morus alba* L.) leaves

著者名: Mari Sugiyama, Takuya Katsube, Akio Koyama and Hiroyuki Itamura

学術雑誌名: Journal of the Science of Food and Agriculture (2016) 96: 3915–3921.

題目: Effects of Applied Nitrogen Amounts on the Functional Components of Mulberry (*Morus alba* L.) Leaves

著者名: Mari Sugiyama, Makoto Takahashi, Takuya Katsube, Akio Koyama and Hiroyuki Itamura

学術雑誌名: Journal of Agricultural and Food Chemistry (2016) 64: 6923–6929.

##### 第3章

題目: Seasonal Changes in Functional Component Contents in Mulberry (*Morus alba* L.) Leaves

著者名: Mari Sugiyama, Takuya Katsube, Akio Koyama and Hiroyuki Itamura

学術雑誌名: The Horticulture Journal (2017) 86:534–542.

##### 参考論文

##### 第1章

題目: クワの健康機能性研究の最前線.

著者名: 勝部拓也, 杉山万里, 小山朗夫

学術雑誌名: 蚕糸・昆虫バイオテック (2011) 80: 19–27

## Summary

The benefits of functional components of mulberry (*Morus alba* L.) leaves have been attracting the attention of the health food industry, with an increasing market demand. To more effectively obtain a mulberry leaf yield and high levels of functional components, the following factors were investigated: 1) selection and crossbreeding of mulberry cultivars to obtain high levels of target components, 2) effect of solar radiation and nitrogen fertilization, and 3) optimum harvesting timing using our experimental settings and common culture fields in Shimane Prefecture.

### 1. Varietal differences in the functional components of mulberry leaves and breeding.

The varietal differences in the flavonol glycosides contained in mulberry leaves were elucidated, including rutin, isoquercitrin, kaempferol 3-(6-rhamnosylglucoside) (K3RG), quercetin 3-(6-malonylglucoside) (Q3MG), astragalin, quercetin 3-(6-acetylglucoside) (Q3AG), and kaempferol 3-(6-malonyl glucoside) (K3MG). This information was used for breeding mulberry cultivars with high concentrations of functional components. The content, composition, and proportion of flavonols in leaves varied widely. 'Kobuchizawa 1' had the highest level of total flavonols, five times greater than that of 'Mikurasima 15'. Q3MG was the most abundantly contained flavonol in many of the cultivars, although it was not contained at all in some cultivars. Q3AG was found only in 'Keguwa'. Study of the mode of genetic inheritance and the content of Q3MG in crossbred offspring showed that malonyl transferase, an enzyme involved in the synthesis of Q3MG, was transcribed through a single gene according to Mendelian inheritance. An offspring with a higher Q3MG level than both parents could be obtained from the crossing, suggesting that crossbreeding was effective.

Then, crossbreeding was conducted using 'Yonbaiseisou (tetraploid)' as a seedling parent and 'Kokusou 21(diploid)' as a pollen parent, and obtained a new triploid cultivar 'Souraku'. Consequently, compared with 'Ichinose', 'Souraku' was found to have 1.4 times higher content of Q3MG and greater leaf yield. 'Souraku' was applied for a new variety registration in April 2013, and was accepted as a new variety in 2015.

### 2. Effect of environmental conditions on the functional components of mulberry leaves.

Effects of solar radiation, which may influence production of flavonol and 1-deoxyojirimycin (DNJ) in mulberry leaves, were investigated by comparing greenhouse (poor solar radiation) and outdoor (rich solar radiation) settings. The level of flavonol in leaves cultivated in the greenhouse was markedly decreased when compared with those cultivated outdoors. In contrast, the DNJ content of plants cultivated in greenhouse was only slightly increased when compared with those cultivated outdoors. Interestingly, the flavonol content was markedly increased in the upper leaves of mulberry trees that were transferred from a greenhouse to the outdoors, compared with those cultivated only in the outdoors. Under high solar radiation, the flavonol level became very high but the DNJ level became slightly lower, suggesting that the impact of solar radiation is great on flavonols, but is small on the DNJ synthesis.

Then, effects of applied nitrogen amounts were investigated regarding specific functional components in mulberry leaves. The relationships between mineral elements and the functional components in mulberry leaves were examined using mulberry trees cultivated in different soil conditions in four cultured fields. Then, the relationships between the nitrogen levels and functional components in leaves were studied by culturing mulberry in plastic pots and experimental fields. In

the common cultured fields, total nitrogen was negatively correlated with the chlorogenic acid content ( $R^2 = -0.48$ ) and positively correlated with DNJ ( $R^2 = 0.60$ ). Additionally, differences in nitrogen application levels impacted each functional component in mulberry leaves. For instance, with increased nitrogen levels, the chlorogenic acid and flavonol contents significantly decreased, but the DNJ content significantly increased. The selection of the optimal nitrogen application level is important to obtain the desired functional components from mulberry leaves.

### 3. Seasonal changes in functional component contents in mulberry leaves.

Optimum harvesting timing of mulberry leaves was investigated to obtain maximum yields of specific functional components. The components of mulberry leaves were analyzed to assess seasonal changes in the concentrations of functional components, including flavonols, chlorogenic acid, and DNJ. During the experimental period (from May 26 to October 16 in 2015), the ranges of flavonols, chlorogenic acid, and DNJ contents were 1134–2230 mg/100 g dry weight (DW), 616–1014 mg/100 g DW, and 53–199 mg/100 g DW, respectively. There were high flavonols contents in mulberry leaves from late May to early July, from early to mid-August, and after late September. There were high chlorogenic acid contents from late May to early July, and after late September. From late September, the flavonols contents increased over time, and showed the highest level on October 16, the last day of the experimental period. The increased flavonols contents after late September were due to the synergistic effects of solar radiation and lower temperature. The DNJ content showed a bell-shaped curve, peaking in mid-August, and the DNJ content was strongly correlated with total temperature. The flavonols and chlorogenic acid contents in mulberry leaves were higher after late September when the temperatures decreased and there was still high solar radiation, while the DNJ content peaked in August when temperatures were highest in the year.

Based on our experiment findings, August is considered the best time to harvest mulberry leaves to obtain the optimal yields of beneficial functional components. If mulberry leaves are harvested twice per year, then the first harvest should be in July to August when temperatures and solar radiation hours are high, and the second harvest should be completed by the end of September.

With a series of experiment results, the conditions to obtain high levels of specific functional components in mulberry leaves were identified pertaining to the selection mulberry cultivars, the effect of solar radiation, applied nitrogen amounts, and harvest timing. This knowledge is considered useful for producing high functional components of mulberry leaves in the future.



## 査読謝辞

泉 洋平 氏 国立大学法人島根大学生物資源科学部

本号の論文審査におきましては多大なる御尽力を賜りました。心よりお礼申し上げます。  
島根県農業技術センター研究報告第46号編集委員長 長野正己

### 島根県農業技術センター研究報告 第46号

〈編集委員長〉 長野正己  
〈副編集委員長〉 岸田佳之 \*  
〈編集委員〉 朝木隆行  
磯田 淳  
加古哲也  
金森健一 \*  
野津智子  
杉山万里  
竹山孝治  
田中 互  
梅野康行 \*  
塚本俊秀 \*  
月森 弘 \*  
(編集委員は氏名のABC順)  
〈査読者〉 持田圭介  
(\*の編集委員は査読者を兼任)

### 島根県農業技術センター研究報告 第46号

平成 31年 3月 29日 印刷

平成 31年 3月 29日 発行

島根県農業技術センター

〒693-0035 島根県出雲市芦渡町2440

TEL 0853-22-6698

FAX 0853-21-8380

E-mail: nougi@pref.shimane.lg.jp