

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 24 日現在

機関番号：16201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26450036

研究課題名(和文) 日本自生種の耐暑性を導入したキウイフルーツの温暖化適応力の解明と育種の活用

研究課題名(英文) Evaluation of interspecific hybrid kiwifruit for the adaptability to warming conditions introduced from wild species native to Japan

研究代表者

片岡 郁雄 (KATAOKA, Ikuo)

香川大学・農学部・教授

研究者番号：60135548

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：日本の温暖地域に自生するシマサルナシ (*A. rufa*) とキウイフルーツ (*A. chinensis*) との種間交雑品種の環境ストレス耐性を調査した。種間交雑品種は、休眠打破の低温要求が少なく、夏季の高温遭遇後の葉やけ発生が極めて少ないことが示された。種間雑種では、高温、乾燥、湿潤のいずれのストレス条件下においても、葉やけの発生が少なく、光合成活性を保った。シマサルナシとキウイフルーツとの交雑品種は、シマサルナシに由来する広い環境ストレス耐性を有しており、温暖地域での栽培普及や今後の育種計画での活用が有用と考えられた。

研究成果の概要(英文)：Tolerance to the environmental stress of the interspecific hybrids between Shimasarunashi (*A. rufa*) native to warm regions in Japan and kiwifruit (*A. chinensis*) was evaluated. Interspecific hybrids showed lower chilling requirement for bud break and the tolerance to high summer temperature showing lower incidence of the leaf burn in the field. Even under the artificial stress conditions of high temperature, drought or water logging, the interspecific hybrids hardly suffered leaf burn and maintained photosynthetic activity at a certain rate. These results suggest that the interspecific hybrid cultivars have the tolerance to wide range of environmental stress derived from *A. rufa*, and that these hybrid cultivars are applicable to the cultivation in the warm regions and *A. rufa* is useful materials in the breeding program of kiwifruit adapting to the warming.

研究分野：果樹園芸学

キーワード：キウイフルーツ シマサルナシ 温暖化 環境ストレス 自生種 種間雑種

1. 研究開始当初の背景

研究代表者は、これまで日本国内に自生する4種のマタタビ属植物(サルナシ、マタタビ、ミヤママタタビ、シマサルナシ)について、資源探索と特性評価を行ってきた(Kataokaら、2010, Kataoka、2011)。そのうち、紀伊半島南部を東限とし、四国、九州の太平洋沿岸、沖縄、南西諸島に自生分布するシマサルナシ(*A.rufa*)は、温帯から亜熱帯にかけての高温・多湿な温暖条件に適応し生育している。また休眠覚醒に必要な低温要求積算が極めて少ない南西諸島の亜熱帯条件でも正常な栄養・生殖生長が可能である(Kataokaら、2014)。シマサルナシの果実は無毛で可溶性固形物含量は15%以上に達するものもあり食味は比較的良好で、タンパク質分解酵素(アクチニジン)の活性が低い。そのため*A.deliciosa*種キウイフルーツのような摂食時の粘膜刺激がない(Matsumotoら、2011)。これらのシマサルナシの特性に着目し、キウイフルーツとの交雑の可能性を調査したところ、*A.chinensis*種の二倍体品種との間に極めて高い交雑親和性があることが明らかとなり(Matsumotoら、2011)、それらの交雑後代より、収量性と食味の優れる5系統を選抜した。これらの選抜品種はシマサルナシの環境適応性を受け継ぎ、温暖条件への適応力を有していることが予測されることから、その特性を解明することにより、わが国自生の遺伝子資源の有用性を明確化するとともに、温暖化適応キウイフルーツ品種育成への展開が期待できると考え、本研究を着想した。

2. 研究の目的

近年、キウイフルーツは高健康機能性果実として需要が拡大しているが、温暖化に起因する夏季の異常高温や低気圧の異常発達のため、葉やけなどの高温障害や強風による葉の損傷、水分の過不足ストレスによる樹の衰弱が多発している。研究代表者は、西日本の太平洋岸に自生し温暖条件に適応しているキウイフルーツの近縁種であるシマサルナシに着目し、キウイフルーツとの種間交雑により、小型ではあるが多収で食味の優れる系統を選抜した。本研究の目的は、温暖化に適応可能な我が国独自のキウイフルーツ品種の育成を目指し、シマサルナシとキウイフルーツ種間雑種選抜系統の温暖条件下における環境適応性を明らかにすることである。

3. 研究の方法

本研究では、シマサルナシと*A.chinensis*種二倍体キウイフルーツおよびこれらの種間交雑選抜系統の温暖化適応に係る特性を明らかにするため、以下の計画・方法により研究を進める。

(1) 温暖条件下における生育様相と夏季における葉やけ発生

香川大学農学部研究圃場に収集保存の個

体を用いて、発芽、開花、果実成熟等を比較した。また、夏季の高温遭遇後の葉やけの発生程度を比較した。

(2) 光合成特性および水分動態の特性

光合成蒸散測定装置を用いて、種間雑種および両親の光合成特性を調査した。

(3) ストレス付与条件下での耐乾性・耐湿性、高温耐性

鉢植え個体を用いて、乾燥、湿潤、高温のストレスを付与し、葉やけ発生、光合成速度を調査した。

(4) 休眠覚醒のための低温要求性などの生態的特性

少低温遭遇時に採取した休眠枝を水挿しし、萌芽状況を調査した。

(5) 種間雑種の染色体倍加

二倍体である種間雑種の培養条件下での不定芽誘導と個体再生条件を検討し、コルヒチン処理による染色体倍加を試みた。

4. 研究成果

(1) 温暖条件下における生育様相と夏季における葉やけ発生

平成26年度において、発芽は、*A.chinensis*(FCM1雄系統)、*A.rufa*(府中雌系統)、それらの種間雑種系統ともに3月中旬と早かった。開花開始はFCM1で4月下旬、府中系統で5月下旬であり、種間雑種は5月上旬と両親の間であった。果実発育は府中系統と種間雑種で類似したが、成熟期は府中系統の11月中旬に対して、種間雑種では10月下旬と早かった。平成26年度は、夏期が冷涼で、葉やけ発生は限定的であったが、FCM1では一部に発生し、府中系統と種間雑種では発生しなかった。平成28年度においても、発芽および開花、成熟時期はほぼ同様であったが、7月下旬~8月中旬にかけて連日最高気温は35℃を越えた。8月6日の調査において、二倍体*A.chinensis*種では著しい葉やけが発生したが、*A.rufa*では全く見られなかった。両種の種間雑種では、一部で葉やけが発生したが、二倍体チネンシスに比べ発生率は明らかに低かった(表1、図1)。

表1 各種および種間雑種の葉やけ発生

種	品種・系統	倍数性	葉やけ発生率(%)
<i>A.chinensis</i>	レインボーレッド	2x	55.5±10.3
	FCM1	2x	39.4±3.1
	さぬきゴールド	4x	10.1±9.2
	アップル	4x	31.3±9.7
<i>A.deliciosa</i>	ヘイワード	6x	15.8±2.2
<i>A.rufa</i>	府中	2x	0.0
	淡路	2x	0.0
	中村B	2x	0.0
	沖縄	2x	0.0
	石垣	2x	0.0
	足摺B	2x	0.0
<i>A.rufa</i> × <i>A.chinensis</i>	香川UP-キ1号	2x	5.7±1.7
	香川UP-キ3号	2x	16.7±16.7
	香川UP-キ4号	2x	8.1±4.6
	香川UP-キ5号	2x	6.7



図1 高温遭遇後の葉の状態 (A:*A. chinensis* FCM1, B:*A. rufa* 府中, C:*A. rufa* × *A. chinensis* 香川 UP キ 5 号)

(2) 光合成特性および水分動態の特性

晴天日の個葉の光合成速度は、両親の種、種間雑種ともに、午前中にピークがあり、午後は蒸散速度と気孔コンダクタンスの低下をとめない低下した(データ略)。

光 - 光合成曲線 陽葉の光補償点は両親の種、種間雑種ともに 76~80 マイクロモル/平方メートル/秒で、光飽和点は *A. chinensis* で1200 マイクロモル/平方メートル/秒で *A. rufa* では1500 マイクロモル/平方メートル/秒以上、種間雑種で約1200 マイクロモル/平方メートル/秒であった(図2)。

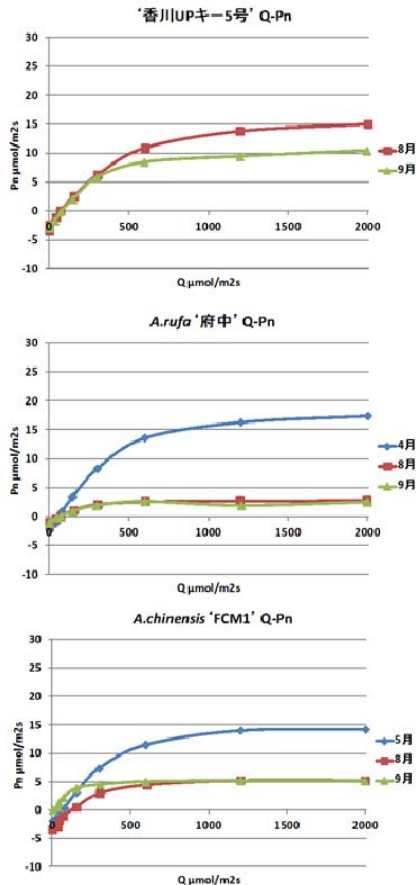


図2 種間雑種および両親の光 - 光合成曲線

温度-光合成曲線:*A. chinensis* FCM1、*A. rufa* 府中、'香川UPキ5号'は、25℃から30℃までわずかに光合成速度が上昇し、その後、緩やかに低下した。一方、*A. deliciosa* 'ヘイワード'は25℃で最も光合成速度が高く、温度の上昇にしたがい、光合成速度が緩やかに低下した。いずれの品種も温度が上昇するにしたがって、蒸散速度が上昇した。

A. chinensis FCM1、*A. rufa* 府中、'香川UPキ5号'は、同程度の蒸散速度を示したが、*A. deliciosa* 'ヘイワード'は、3品種に比べ、低い蒸散速度を有していた(図3)。

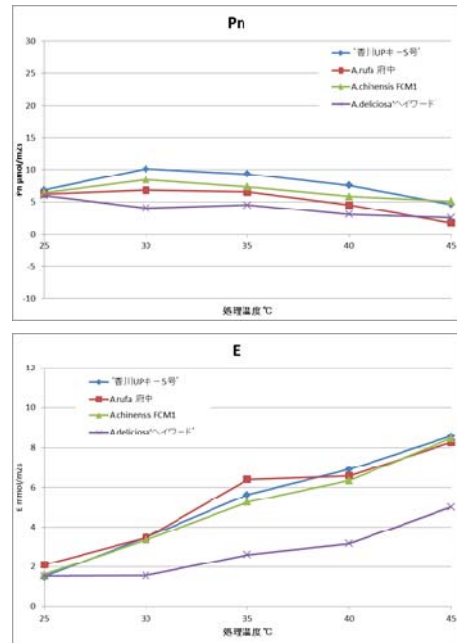


図3 種間雑種および両親の温度-光合成曲線

(3) ストレス付与条件下での耐乾性・耐湿性、高温耐性

① 耐暑性の評価 8月上旬、十分な灌水の下で、最高気温43度前後、最低気温25度前後としたビニルハウス内に置いたところ、デリシオサ種キウイフルーツ「ヘイワード」、チネンシス種キウイフルーツ「FCM1」では、処理1日後から葉やけが生じはじめ、5日目以降著しく進み、7日目には葉全体に及んだ。一方、シマサルナシ「府中」では、2日目以降に葉の一部に退色が見られたが、7日目まで大きな変化はなかった。シマサルナシとチネンシス種キウイフルーツの種間交雑品種「香川UPキ4号」および「キ5号」においても、葉やけの発生は葉の一部のみに留まっていた。光合成速度は、キウイフルーツ品種では高温遭遇直後から大きく低下し、6日目にはほぼ停止した。シマサルナシでも次第に低下したが、7日目でも活性がみられた。種間雑種品種でも7日目まで光合成活性が認められた(図4、図5、図6)。

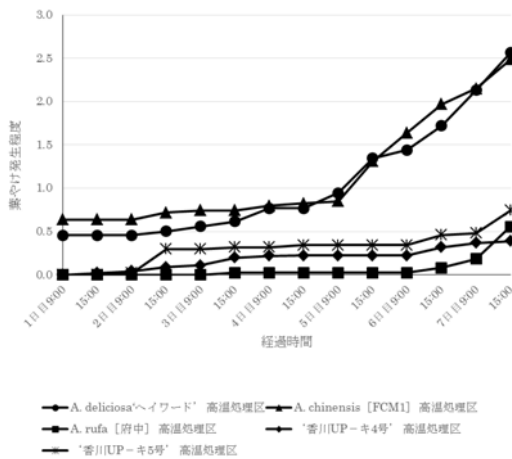


図4 高温ストレス条件下における種間雑種および両親の葉やけ発生

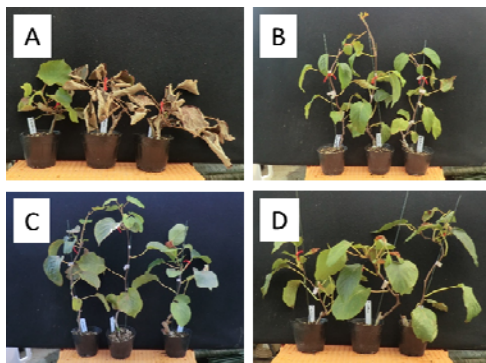


図5 高温ストレス処理7日目の葉の状態
A: *A. chinensis* FCM1、B: *A. rufa* 府中、C: 種間雑種キ4号、D: 種間雑種キ5号

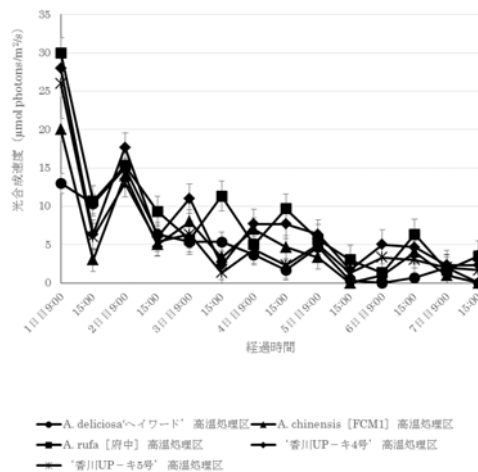


図6 高温ストレス条件下における種間雑種および両親の葉の光合成

② 耐乾性の評価 *A. chinensis* 種キウイフルーツで灌水停止3日後、*A. deliciosa* 種で4日後に激しく萎凋し、葉の枯死がみられた。シマサルナシ「淡路」では、灌水停止後4日目より、萎凋がみられたが、7日目に一部に葉やけを生じたのみであった。種間雑種でも

4日目より萎凋がみられ、7日目には葉やけが広がった。灌水停止後の土壌水分の変化と葉の障害発生の関係からみると、キウイフルーツ品種では土壌水分が約10%に低下すると障害発生がみられたが、シマサルナシでは約5%、種間雑種では9~6%に低下した時点で葉に障害が発生した(図7、図8、図9)。

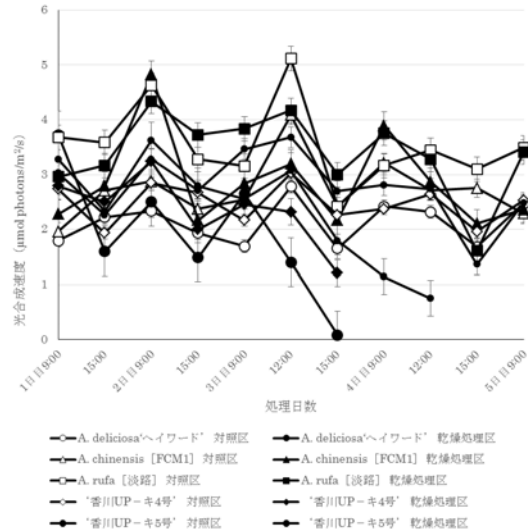


図7 乾燥ストレス条件下における種間雑種および *A. rufa*、*A. chinensis* の葉の光合成

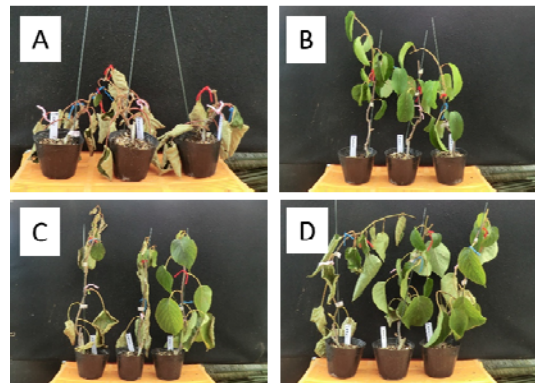


図8 乾燥ストレス処理3日目の葉の状態
A: *A. chinensis* FCM1、B: *A. rufa* 淡路、C: 種間雑種キ4号、D: 種間雑種キ5号

③ 耐湿性の評価 湛水状態に置いた場合、キウイフルーツでは7日目で葉やけが多発したが、シマサルナシおよび種間雑種では9日目以降、葉の障害が発生した(図10、図11、図12)。

(4) 休眠覚醒のための低温要求性などの生態的特性

切り枝を7.2℃以下の低温で200時間の少低温遭遇時に採取し20℃で保持したところ、*A. rufa*の各系統はいずれも2週間以内に萌芽し、府中系統は4週間後に80%以上に達した。一方、*A. chinensis* FCM1は、4週目までに萌芽は見られなかった。種間雑種は2~3週間

後より萌芽し、4週間後には50~70%が萌芽した。低温遭遇600時間では発芽が早まったが、全体の傾向は300時間と同様であった(図13)。

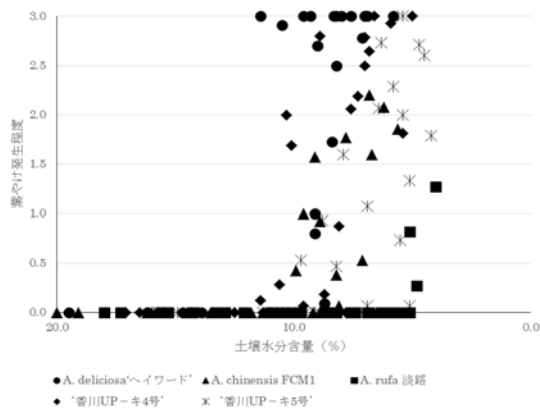


図9 種間雑種および *A. rufa*、*A. chinensis* における土壌水分含量と葉やけ発生の関係

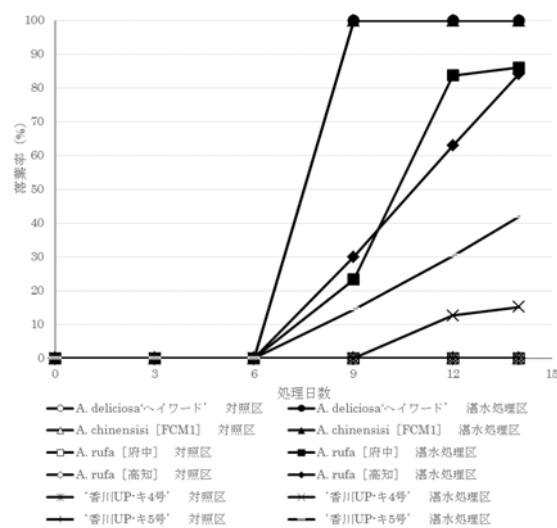


図10 過湿ストレス条件下における種間雑種および両親における葉やけ発生

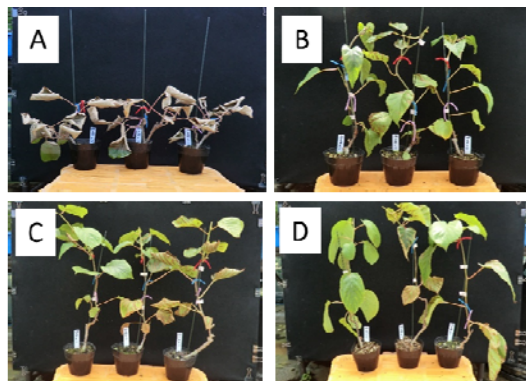


図11 過湿ストレス処理9日目の葉の状態
A:*A. chinensis* FCM1、B:*A. rufa* 府中、C: 種間雑種キ4号、D: 種間雑種キ5号

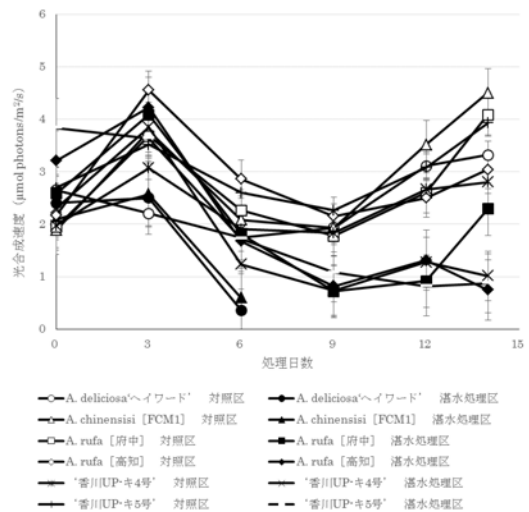


図12 過湿ストレス条件下における種間雑種および両親の葉の光合成

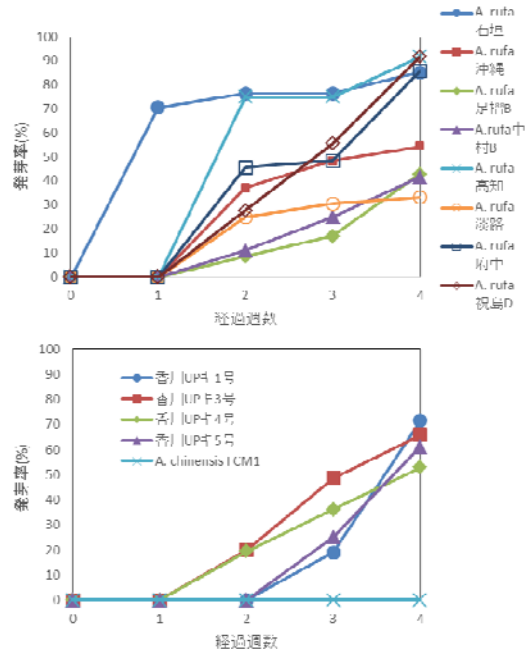


図13 7.2℃以下の自然低温遭遇200時間における種間雑種および両親の萌芽

(5) 種間雑種の染色体倍加を目的に、培養下での不定芽分化を検討したところ、休眠枝の水挿しで得たシュートの葉柄を、1/2濃度のMT培地にゼアチン 9.12 マイクロモルを添加した培地で培養した場合、活発に不定芽分化した(図14左)。不定芽からのシュート伸長に2ipの添加効果はなかった。不定芽からのシュートに IBA2000ppm 処理して、パーミキュライトに挿し木することで、低率ではあったが発根個体が得られた(図14右)。
培養条件下での染色体倍加: Zeatin 2.28 マイクロモル、スクロース 2%(w/v)、Malt

extract 0.05%(w/v)、寒天 0.8%(w/v)を添加した1/2MT培地で不定芽分化させた‘香川UPキ5号’葉柄を3~5mmの長さに切断し、0.05%のコルヒチン溶液に4時間浸漬した。これらから再分化した個体について、倍数性を調査したが、倍加個体は得られなかった。



図14 種間雑種「香川UPキ5号」の葉柄組織からの不定芽分化(左)と伸長したシュートからの発根(右)

(6) 成果の国内外における位置付けとインパクト

本研究において、日本の温暖地域を中心に自生分布するシマサルナシ (*A. rufa*) が高温、乾燥、過湿等の環境ストレスに対して、幅広く耐性を有していること、高果実品質を有するが環境ストレス耐性が低い二倍体 *A. chinensis* 種との種間交雑品種において、耐性が付与されることを明らかにした。この知見は、温暖化が進行し、環境ストレスが増大しつつある今日において、品種改良の母本としてのシマサルナシの有用性を示し、今後の温暖化適応品種の選抜育成における具体的な育種計画の策定に大きなインパクトがある。

(7) 今後の展望

二倍体であるシマサルナシを交配母本とする種間雑種品種は、果実が小型であるが、環境ストレスへの耐性に加え、高い食味品質と収量性を有している。今後、ストレス耐性の発現機構の解明と同時に、染色体倍加による果実の大型化や *A. chinensis* 四倍体品種との交雑による品種育成が期待できる。

<引用文献>

- ①Kataoka, I., Mizugami, T., Kim, J. G., Beppu, K., Fukuda, T., Sugahara, S., Tanaka, K., Satoh, H. and Tozawa, K.: Ploidy variation of hardy kiwifruit (*Actinidia arguta*) resources and geographic distribution in Japan. *Scientia Horticulturae*. 124:409-414 (2010)
- ② Kataoka, I.: Diversity of natural *Actinidia* resources in Japan. *Acta*

Horticulturae. 913:77-83 (2011)

- ③Kataoka, I., Matsumoto, H., Kawano, A., Beppu, K., Ohtani, M. and Suezawa K.: Selection of low-chill kiwifruit adapting to warm climate by utilizing *Actinidia rufa* native to southwestern part of Japan. *Acta Horticulturae*. 1059:85-88(2014)
- ④Matsumoto, H., Seino, T. Beppu, K. and Kataoka, I.: Characteristics of interspecific hybrids between *A. chinensis* kiwifruit and *A. rufa* native to Japan. *Acta Horticulturae*. 913:191-196(2011)

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 0件)

[学会発表] (計 1件)

- ①Kataoka, I., Matsumoto, H., Beppu, K., Suezawa, K., Fukuda, T., Mizutani, R. Breeding program by interspecific cross utilizing *A. rufa* native to Japan, IX International Symposium on Kiwifruit, Porto, Portugal (2017)

[その他]

ホームページ等

日本自生のマタタビ属研究—評価と活用—
http://www.ag.kagawa-u.ac.jp/kataoka%20labo/ik.actinidia_research.html

6. 研究組織

(1) 研究代表者

片岡 郁雄 (KATAOKA Ikuo)
 香川大学・農学部・教授
 研究者番号: 60135548

(2) 研究協力者

別府 賢治 (BEPPU Kenji)
 末澤 克彦 (SUIZAWA Katsuhiko)
 福田 哲生 (FUKUDA Tetsuo)
 水谷 亮介 (MIZUTANI Ryosuke)
 十川 由貴 (SOGAWA Yuki)
 杉本 実穂 (SUGIMOTO Miho)
 松岡 真希 (MATSUOKA Maki)
 池田 晃一郎 (IKEDA Kouichiro)