

令和 4 年 6 月 10 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K06012

研究課題名(和文) トマト近縁野生種の遺伝的多様性を利用したビタミンCおよびアミノ酸高蓄積機構の解明

研究課題名(英文) Mechanism of ascorbic acid and amino acids high-accumulation in introgression lines of tomato

研究代表者

加藤 一幾 (Kazuhisa, Kato)

東北大学・農学研究科・准教授

研究者番号：30613517

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：トマトは栽培品種化の過程で有用成分の低下が生じている。本研究ではトマトの近縁野生種の染色体断片の一部を栽培種の染色体に導入した染色体断片置換システムを用いて、抗酸化能ほか多面的な機能が医学的に証明されているアスコルビン酸(ビタミンC)と、トマトのうま味の主成分であるとともに健康機能性も有するアミノ酸を高蓄積する系統をそれぞれ1系統に選抜した。アスコルビン酸の高蓄積系統に関しては、生合成経路に関して網羅的な発現解析を行い、アスコルビン酸高蓄積機構の一端を明らかにした。アミノ酸の高蓄積系統に関しては、各種アミノ酸含量と生合成酵素遺伝子発現との関係を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

トマトは栽培品種化の過程で有用成分の低下が生じている。本研究結果より、ビタミンCおよびアミノ酸といった有用成分を高蓄積するメカニズムを明らかにすることで、交配により、機能性の高いトマトの育種可能となる。ビタミンCはトマトの含有率は高くないものの、消費量が最も多い野菜の一つであることから、日常的に多く食する。そのため、アスコルビン酸を多く含むトマトを作出すれば、健康増進への寄与が著しく高まり、園芸学の現代的課題の一つでもある医療費抑制への貢献が期待される。また、アミノ酸含量が高いトマトを作出すれば、味の向上とともに人の健康増進へも貢献できる。

研究成果の概要(英文)：Useful components are reduced in tomato compared to wild tomato. In this study, introgression lines of tomato, in which part of the chromosome of a cultivated species was replaced with the chromosome of a wild species was used to understand the mechanism in high accumulation of useful components. L-ascorbic acid (L-AsA) is an abundant antioxidant in plants and plays an important role in detoxifying reactive oxygen species (ROS) produced during stress, and amino acids are the main components of tomato's umami and have health functionality. One IL line with high accumulation was screened, respectively. In the ascorbic acid high-accumulation line, comprehensive expression analysis of biosynthetic genes was performed to clarify a part of the ascorbic acid high-accumulation mechanism. Regarding the high amino acid accumulation line, the relationship between various amino acid contents and the expression of biosynthetic genes was investigated.

研究分野：園芸学分野

キーワード：トマト ビタミンC アミノ酸 近縁野生種 染色体断片置換システム

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

日本における生活習慣病の患者は1400万人以上とされており、厚労省は「野菜の摂取量が少ないと生活習慣病の発症リスクが高まる」としている。野菜に含まれる機能性物質、特に抗酸化物質に着目すると、ビタミン類、ポリフェノール類などが挙げられる。ポリフェノール類は種類が多く、吸収や作用の形態、その効果が十分に証明されていないものが多い。一方で、アスコルビン酸(ビタミンC)は古くから研究が行われており、抗酸化機能以外にも多面的な機能があり、それらの多くは医学的にヒトで証明されている。平成27年に機能性食品表示が施行されてから安易な健康表示ができず、表示を得るための研究にも莫大な予算が必要で、取得にはかなり困難なケースが多いことからすると、すでに医学的な証明のあるアスコルビン酸に再度注目する意義は大きい。アスコルビン酸はトマトの含有率は高くないものの、トマトは消費量が最も多い野菜の一つであることから、日常的に多く食する。そのため、アスコルビン酸を多く含むトマトを作出すれば、健康増進への寄与が著しく高まり、園芸学の現代的課題の1つでもある医療費抑制への貢献が期待される。

また、トマトの味についての研究では、これまで糖度に焦点が当てられてきた。一方で、トマトにはうま味成分であるアミノ酸の一種、グルタミン酸が多く含まれていることが知られており、欧米ではトマトは料理の基本的な味付けとしてよく利用されている。アミノ酸はうま味成分以外にもヒトの消化吸収エネルギー源、骨格筋の維持などに役立つ機能性物質である。

トマトは栽培品種化される中で、有用成分の低下が起こっている。そこでトマトの近縁野生種である *Solanum pennellii* に着目し、成分分析を行ったところ、栽培種である *S. lycopersicum* 'M82' よりアスコルビン酸濃度がおよそ10倍と著しく高かった。さらに、この近縁野生種の染色体断片が置換した染色体断片置換系統のアミノ酸濃度が高いことも見出していた。

### 2. 研究の目的

トマトは日常的に消費するため、国民の健全な生活に貢献しうる野菜であるが、栽培品種化の過程で有用成分の低下が生じている。そこで本研究では、抗酸化能ほか多面的な機能が医学的に証明されているアスコルビン酸(ビタミンC)と、トマトのうま味の主成分であるとともに健康機能性も有するアミノ酸を、近縁野生種の遺伝的多様性のポテンシャルを活かして栽培種において向上させるとともに、その機構を解明することを目的とし、材料に近縁野生種の染色体断片置換系統を用いた。本研究ではアスコルビン酸やアミノ酸を高蓄積する系統を選抜し、発現解析等により高蓄積メカニズムを明らかにすることを目的とした。

### 3. 研究の方法

#### (1) トマトの染色体断片置換系統を用いたL-アスコルビン酸高蓄積機構に関する研究

材料には対照としてM82と、染色体断片置換系統の4系統を用いた。果実の総AsA含量およびL-AsA含量を測定し、DHA含量を求めた。また、先行研究でアスコルビン酸含量が高いことが示されている2系統を交配し、相乗効果でさらにアスコルビン酸含量が高まるかについても調査した。選抜した高蓄積系統において、高蓄積メカニズムを明らかにするためにアスコルビン酸生合成経路遺伝子の発現解析を行った。

#### (2) トマトの染色体断片置換系統を用いたアミノ酸蓄積機構に関する研究

材料には対照としてM82と染色体断片置換系統の5系統を用いた。果実の総アミノ酸含量およびグルタミン含量を測定した。これらの中の高蓄積系統に関しては、さらに各アミノ酸含量をHPLCにより測定した。選抜した高蓄積系統において、高蓄積メカニズムを明らかにするためにアミノ酸生合成経路遺伝子の発現解析を行った。

### 4. 研究成果

#### (1) トマトの染色体断片置換系統を用いたL-アスコルビン(AsA)酸高蓄積機構に関する研究

L-AsA高蓄積系統の交配育種による、さらなる高蓄積系統の作出の試み

選抜した高蓄積2系統を交配して得られたF<sub>1</sub>個体(ヘテロ)の自家受粉による果実から採取した種を発芽させたF<sub>2</sub>(144個体)をマーカーでスクリーニングし、ホモを4個体得た。

L-AsA高蓄積系統の再現性の確認と果実発達におけるL-AsA含量の測定

4系統の染色体断片置換系統から、の2系統を選抜したが、各発達段階果実(20DAF、30DAF、Breaker、Ripe)における果皮のL-AsA含量を測定したところ、そのうち1系統は、再現性試験では対照のM82と同程度の含量であり、2系統の交配により得られたホモ系統は再現性試験で選抜した1系統よりもアスコルビン酸含量は低かった。そのため、さらなる詳細な解析は再現性試験で選抜した1系統でのみ行うこととした。

選抜系統の果実特徴の解析

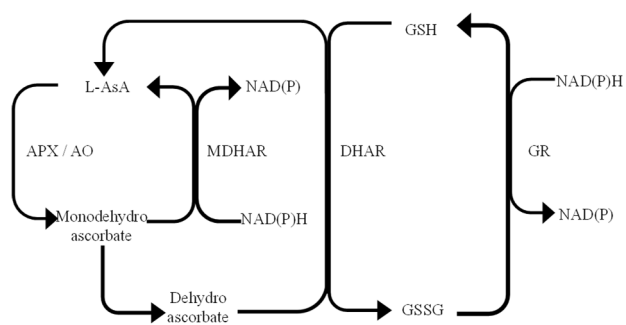
得られた選抜系統はM82と比較して、縦径は30DAF、BreakerおよびRipeで、横径と果実重はRipeで有意に小さい値を示した。この結果より、選抜系統は主にRipeにおいてM82より果実が小さくなる傾向があることが示された。各発達段階で選抜系統とM82の果実の外観に大きな違いがなく、Ripeの果実の成熟段階にも違いがないことが確認された。また、草丈や植物

体の重量については測定していないが、外観上目立った違いは認められなかった。これらの結果より、選抜系統の *S. pennellii* の染色体領域に、果実におけるアスコルビン酸高含量に有用な QTL が存在している可能性があると考えられた。

選抜系統の総アスコルビン酸含量 (L-AsA+DHA) の測定およびデヒドロアスコルビン酸 (DHA) 含量の測定

dehydroascorbate (DHA) は L-AsA が酸化されて生成する酸化型のアスコルビン酸であり、L-AsA 酸化還元経路 (第 1 図) に関与する。L-AsA 酸化還元経路において、L-AsA は  $H_2O_2$  の解毒の電子供与体として機能する。還元剤の供給源として還元型 glutathione (GSH) を使用して、L-AsA が ascorbate peroxidase (APX) や ascorbate oxidase (AO) といった L-AsA 酸化酵素により酸化されて発生した monodehydro ascorbate (MDHA) や DHA を monodehydro ascorbate reductase (MDHAR) や dehydroascorbate reductase (DHAR) といった還元酵素により L-AsA へ還元する経路である。主要な L-AsA 酸化生成物である MDHA は、自然に DHA へ酸化するか、NAD (P) 依存の MDHAR を介して還元されて L-AsA になる。DHA は、DHAR 介して L-AsA へ還元される場合と、DHA は不安定な分子であるために L-AsA に還元されないと、2、3-ジケトグルン酸への自然かつ不可逆的な加水分解を受ける場合がある。

選抜系統のアスコルビン酸高蓄積機構をより詳細に調べるため、L-AsA の酸化還元経路において重要な DHA 含量の動態を明らかにすることとした。総 AsA 含量は、選抜系統は全ての発達段階で M82 より有意に高い値を示し、M82 の 1.5 倍程度であった。これより、選抜系統は M82 より果実発達段階の初期から後期まで一貫して、総 AsA 含量を高く維持する能力が高いことが示唆された。DHA 含量は、20DAF において、選抜系統は M82 より有意に高い値を示した。%DHA は、20DAF では M82 と選抜系統ともに約 60% であり各発達段階の中で最も高い値を示し、果実成熟につれて減少する傾向を示した。Ripe において、選抜系統は M82 より有意に低い値を示した。これより Ripe において、選抜系統は M82 より MDHA や DHA から L-AsA へ還元する能力が高いことや、L-AsA を酸化する能力が低いことが考えられた。

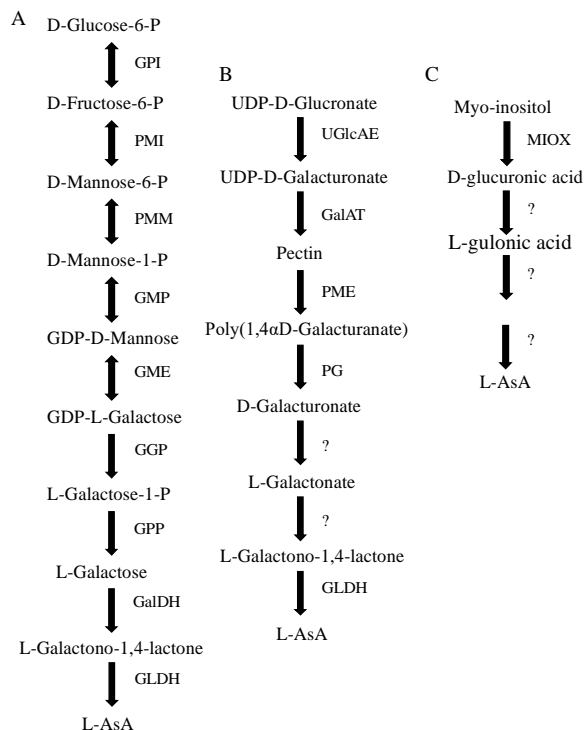


第 1 図 L-AsA 酸化還元経路

選抜系統における L-AsA 生合成に関与する遺伝子の発現解析

植物では、L-AsA は複数の異なる経路で生合成されるが、D-Mannose/L-Galactose 経路 (第 2A 図) が植物の主要な L-AsA 生合成経路であると考えられている。主要な経路の D-Mannose/L-Galactose 経路の他に、トマトにおいて L-AsA 生合成の代替経路として D-galacturonate 経路 (第 2B 図) や myo-inositol 経路 (第 2C 図) が存在する可能性が示唆されている。また、L-AsA 酸化還元経路 (第 1 図) も L-AsA 含量に影響を与える重要な経路である。そこで、本研究では、選抜系統の L-AsA 高含量に寄与する遺伝子を特定するために、選抜系統と M82 の果皮において、D-Mannose/L-Galactose 経路、D-galacturonate 経路、myo-inositol 経路、L-AsA 酸化還元経路に関連する遺伝子の発現解析を行った。

D-Mannose/L-Galactose 経路は、D-Glucose-6-P、D-Fructose-6-P、D-Mannose-6-P、D-Mannose-1-P、GDP-D-Mannose、GDP-L-Galactose、L-Galactose-1-P、L-Galactose、L-Galactono-1,4-lactone から L-AsA が合成される経路である (第 2A 図)。また、これらの代謝に関わる酵素は、glucose-6-phosphate isomerase (GPI)、phosphomannose isomerase (PMI)、phosphomannomutase (PMM)、GDP-D-mannose pyrophosphorylase (GMP)、GDP-D-mannose-3',5'-epimerase (GME)、GDP-L-galactose-1-phosphate phosphorylase (GGP)、L-galactose-1-phosphate phosphatase (GPP)、L-galactose dehydrogenase (GalDH)、L-galactono-1,4-lactone dehydrogenase (GLDH) である。D-Mannose/L-Galactose 経路は 1998 年に発見された高等植物



第 2 図 A: D-Mannose/L-Galactose 経路

B: D-galacturonate 経路

C: myo-inositol 経路

で主要な L-AsA 生合成経路である。

これらの L-AsA 生合成経路や L-AsA 酸化還元経路に関する遺伝子発現解析では、D-Mannose/L-Galactose 経路中の 3 つ遺伝子の発現が選抜系統の Ripe において発現が高く、これらの遺伝子の発現が選抜系統の L-AsA 高含量に関与している可能性が示唆された。L-AsA 酸化還元経路では 3 つの遺伝子の発現が選抜系統の Ripe において低く、2 つの遺伝子の発現が高いことが、Ripe の選抜系統において L-AsA を酸化する能力の低下や MDHA を還元する能力の向上につながり、L-AsA 高含量に関与している可能性が示唆された。

## (2) トマトの染色体断片置換系統を用いたアミノ酸蓄積機構に関する研究

総アミノ酸高蓄積系統の再現性の確認と各果実発達における総アミノ酸含量の測定

先行研究において Breaker 段階果実の果皮の総アミノ酸含量の高かった染色体断片置換系統の 4 系統を本研究に用いた。これらの染色体断片置換系統を用いて、Breaker 段階の果実での総アミノ酸含量の再現性の確認および果実成熟段階における総アミノ酸含量の測定を行った。そのうち Breaker 段階と Ripe 段階の両方で、2 系統では M82 と比較して有意に高い総アミノ酸含量を示したが、残りの 2 系統は有意差がなく、先行研究との再現性が得られなかった。再栽培を行ったところ、2 系統のうち 1 系統のみ再現性が得られたため、先行研究と 2 回の栽培で高蓄積であった 1 系統を高蓄積系統として選抜した。

選抜系統におけるグルタミン含量

後述の各アミノ酸含量測定 (HPLC) で、トマトのアミノ酸の中でも主要なものであるグルタミンが HPLC によって測定できないことから、キットを用いて M82 と選抜系統の果皮におけるグルタミン含量を測定した。グルタミンは、植物体内において篩管を通して各組織に輸送され、アミノ酸やタンパク質合成に利用される。トマトにおいてはグルタミン酸に次いで主要なアミノ酸の一つである。選抜系統ではグルタミン含量が高いことから、グルタミンが関与する代謝が活発であったことが示唆された。既報からも Breaker 段階から赤熟段階にかけてグルタミンの蓄積が報告されており、グルタミンは、果実成熟過程において増減し様々なアミノ酸やタンパク質に代謝されていると考えられる。

選抜系統における各アミノ酸含量 (HPLC)

Breaker 段階では、数種の微量アミノ酸が有意に高い含量を示した。B+3 段階では 1 アミノ酸のみ、B+7 段階では、3 アミノ酸が高い含量を示した。Ripe 段階では、1 種類の主要アミノ酸および 6 種類の微量アミノ酸が高い含量を示した。これらのアミノ酸含量は前年度の結果とは異なっており、再現性は得られなかった。個々のアミノ酸含量で再現性を得るには、露地栽培だけでなく人工気象室のように年度ごとの環境変化に左右されにくい栽培方法も必要であると考えられた。

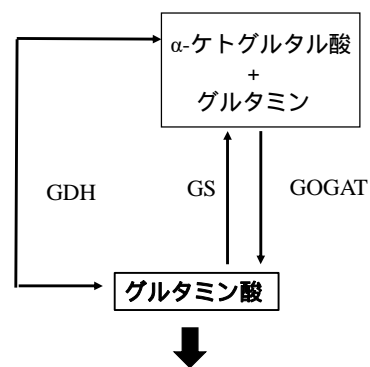
トマトの果実成熟過程では、一般に Breaker 段階以降に急激なグルタミン酸蓄積が見られる。本研究においても同様の傾向がみとめられた。さらに Ripe 段階でグルタミン酸含量が最も多いアミノ酸であることも既報の結果と一致した。有意差の有無に関わらず、ほぼすべての成熟段階において測定したアミノ酸含量が、選抜系統で高い値を示した。このことから、選抜系統の総アミノ酸高蓄積は、個々のアミノ酸の合成・分解ではなく、窒素同化の初期反応に関与するグルタミン合成高度 (GS) / グルタミン酸合成酵素 (GOGAT) サイクル (第 3 図) 内におけるアミノ代謝関連全アミノ酸合成の上流に位置する代謝に関わる遺伝子や硝酸還元関連全アミノ酸の合成の上流に位置する遺伝子が要因である可能性が考えられた。選抜系統の野生種領域にアミノ酸高蓄積の QTL が存在する可能性が示唆された。

選抜系統における遺伝子発現解析

トマトを含む高等植物は、吸収した硝酸態窒素やアンモニウム態窒素といった無機体窒素を同化し、アミノ酸などの有機態窒素の合成を行う。窒素同化において最初に合成されるアミノ酸はグルタミンとグルタミン酸であり、合成されたグルタミン酸から他のアミノ酸の合成が行われる (第 3 図)。本研究では、窒素同化の初期反応であるグルタミン合成酵素 (GS) / グルタミン酸合成酵素 (GOGAT) サイクルと、トマトにおいてグルタミン酸代謝に大きく関与するグルタミン酸脱水素酵素 (GDH) 遺伝子に焦点を当て、発現解析を行った。

高等植物の GS はグルタミン酸とアンモニウムイオンからグルタミンを合成する酵素であり、細胞質局在型 (GS1) とプラスチド局在型 (GS2) が存在し、トマトでは *SIGS1* が 4 個、*SIGS2* が 1 個同定されている。このうち、果皮で比較的発現が高かった 2 つの *SIGS* の発現解析を行った。選抜系統の Breaker 段階でそのうちの 1 つの *SIGS1* の発現が選抜系統で有意に高かった。本遺伝子は比較的安定した発現を示し、*SIGS2* は Breaker 段階後急激に発現が低下した。これらの結果より、本研究で用いたトマトの果皮では、*SIGS1* が主に機能しており、選抜系統の Breaker 段階での強い発現がアミノ酸高蓄積やグルタミンの増加に影響している可能性が示唆された。

次に、*GOGAT* 遺伝子の発現解析を行った。*GOGAT* は 2-オキソグルタル酸から 2 分子のグルタミ



第 3 図 グルタミン酸代謝の略図

ン酸の合成を触媒する酵素で、電子供与体の違いから、還元型フェレドキシン型 (Fd-GOGAT) と NADH 型 (NADH-GOGAT) が存在し、トマトではこれらをコードする遺伝子がそれぞれ 1 つずつ同定されている。よって本研究では、SIFd-GOGAT と SINADH-GOGAT の発現解析を行った。選抜系統の SINADH-GOGAT の発現が有意に低いという結果が得られ、発現の傾向は再現性が得られなかった。この結果から、選抜系統の総アミノ酸蓄積と GOGAT の発現の間に相関がある可能性は低いと考えられた。

次に、GDH の発現解析を行った。高等植物の GDH は  $\alpha$ -ケトグルタル酸とグルタミン酸との間の変換を両方向に触媒する酵素で、主に TCA サイクルへの炭素骨格供給と、グルタミン酸合成の調節をしている。電子供与体の違いから NADH 型 (NADH-GDH) と NADPH 型 (NADPH-GDH) が存在する。トマトの GDH の中で、発現の高かった 3 つの GDH の発現解析を行なったところ、GDH は選抜系統で低い傾向であった。

以上の結果をふまえると、選抜系統における総アミノ酸高蓄積は、窒素固定グルタミン合成の初期反応のさらに上流に位置する硝酸還元代謝の可能性も考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計17件（うち査読付論文 15件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 7件）

1. 著者名 Ito Hikaru, Kanayama Yoshinori, Shibuya Tomoki, Mohammed Seedahmed A., Nishiyama Manabu, Kato Kazuhisa	4. 巻 300
2. 論文標題 Effect of short-term temperature stress on fruit set and the expression of an auxin reporter gene and auxin synthesis genes in tomato	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Scientia Horticulturae	6. 最初と最後の頁 111039 ~ 111039
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.scienta.2022.111039	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Xiao Lingran, Shibuya Tomoki, Kato Kazuhisa, Nishiyama Manabu, Kanayama Yoshinori	4. 巻 300
2. 論文標題 Effects of light quality on plant development and fruit metabolism and their regulation by plant growth regulators in tomato	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Scientia Horticulturae	6. 最初と最後の頁 111076 ~ 111076
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.scienta.2022.111076	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Yada Haruna, Matsumoto Chihiro, Xie Xiaonan, Kato Kazuhisa, Ikeda Hiroki	4. 巻 -
2. 論文標題 Physiological Investigation of Quantitative Traits for Fruit Mass Assessment Using a Tomato Introgression Line	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Horticulture Journal	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2503/hortj.utd-356	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Hiwasa-Tanase Kyoko, Kato Kazuhisa, Ezura Hiroshi	4. 巻 -
2. 論文標題 Molecular breeding of miraculin-accumulating tomatoes with suitable traits for cultivation in plant factories with artificial lightings and the optimization of cultivation methods	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Plant Factory Basics, Applications and Advances	6. 最初と最後の頁 377 ~ 390
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/b978-0-323-85152-7.00010-0	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 佐々木琴瑞, 折笠貴寛, 加藤一幾, 松嶋卯月, 小出章二	4. 巻 68
2. 論文標題 減圧マイクロ波によるトピユールの濃縮 - 前加熱処理が食味と成分に与える影響 -	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 農業食料工学会東北支部報	6. 最初と最後の頁 19 ~ 24
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 小林公美, 中條しづ子, 加藤一幾, 竹原明秀, 三浦 靖, 立澤文見	4. 巻 109
2. 論文標題 ウォールフラワー 4 品種および黄色系ストック15品種の花色と 花色素に関する研究	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 岩手大学人文社会科学部紀要	6. 最初と最後の頁 125 ~ 136
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Tatsuzawa Fumi, Mizuno Takayuki, Kikuchi Ryo, Kato Kazuhisa, Ota Toru, Murai Yoshinori, Yangzom Rinchen, Iwashina Tsukasa	4. 巻 189
2. 論文標題 Flavonoids in the flowers of <i>Primula x polyantha</i> Mill. and <i>Primula primulina</i> (Spreng.) H. Hara (Primulaceae)	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Phytochemistry	6. 最初と最後の頁 112827 ~ 112827
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.phytochem.2021.112827	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Sasaki Kotomi, Oriyasa Takahiro, Kato Kazuhisa, Matsushima Uzuki, Koide Shoji	4. 巻 68
2. 論文標題 Effects of Post-Heat Treatment on the Flavor and Nutritional Components of Tomato Puree Concentrated by a Vacuum Microwave	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi	6. 最初と最後の頁 115 ~ 123
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3136/nskkk.68.115	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Matsumoto Chihiro, Yada Haruna, Hayakawa Chie, Hoshino Koichi, Hirai Hideaki, Kato Kazuhisa, Ikeda Hiroki	4. 巻 90
2. 論文標題 Physiological Characterization of Tomato Introggression Line IL5-4 That Increases Brix and Blossom-end Rot in Ripening Fruit	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Horticulture Journal	6. 最初と最後の頁 215 ~ 222
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2503/hortj.UTD-264	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 菅原慎太郎, 田村香織, 立澤文見, 金山喜則, 加藤一幾	4. 巻 28
2. 論文標題 果菜類の育苗において低濃度オゾン水が生育に及ぼす影響	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 医療・環境オゾン研究	6. 最初と最後の頁 34 ~ 42
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Shibuya Tomoki, Nishiyama Manabu, Kato Kazuhisa, Kanayama Yoshinori	4. 巻 22
2. 論文標題 Characterization of the FLAVIN-BINDING, KELCH REPEAT, F-BOX 1 Homolog SIFKF1 in Tomato as a Model for Plants with Fleshy Fruit	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 International Journal of Molecular Sciences	6. 最初と最後の頁 1735 ~ 1735
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/ijms22041735	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Tsunoda Yui, Hano Shohei, Imoto Nozomi, Shibuya Tomoki, Ikeda Hiroki, Amagaya Kayoko, Kato Kazuhisa, Shirakawa Hitoshi, Aso Hisashi, Kanayama Yoshinori	4. 巻 275
2. 論文標題 Physiological roles of tryptophan decarboxylase revealed by overexpression of SITDC1 in tomato	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Scientia Horticulturae	6. 最初と最後の頁 109672 ~ 109672
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.scienta.2020.109672	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -



1. 著者名 Shibuya Tomoki, Itai Ryota, Maeda Minori, Kitashiba Hiroyasu, Isuzugawa Kanji, Kato Kazuhisa, Kanayama Yoshinori	4. 巻 9
2. 論文標題 Characterization of PcLEA14, a Group 5 Late Embryogenesis Abundant Protein Gene from Pear ( <i>Pyrus communis</i> )	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Plants	6. 最初と最後の頁 1138 ~ 1138
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/plants9091138	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kagaya Hidenao, Ito Naoko, Shibuya Tomoki, Komori Sadao, Kato Kazuhisa, Kanayama Yoshinori	4. 巻 21
2. 論文標題 Characterization of FLOWERING LOCUS C Homologs in Apple as a Model for Fruit Trees	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 International Journal of Molecular Sciences	6. 最初と最後の頁 4562 ~ 4562
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/ijms21124562	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 OKADA Masumi, MATSUSHIMA Uzuki, KATO Kazuhisa	4. 巻 20
2. 論文標題 Interannual variation in the harvest time of mini cauliflower in the Sanriku coastal region	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Climate in Biosphere	6. 最初と最後の頁 55 ~ 58
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2480/cib.j-20-059	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hamano Megumi, Honjo Masanori, Sato Shiori, Ito Atsushi, Machita So, Matsushima Uzuki, Okada Masumi, Kato Kazuhisa	4. 巻 89
2. 論文標題 Confirmation of Everbearing Mutants in the Everbearing Strawberry Cultivar 'Natsuakari' and the Effect of an Overwintering Condition on Inflorescence and Runner Development	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Horticulture Journal	6. 最初と最後の頁 167 ~ 174
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2503/hortj.utd-133	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Amagaya Kayoko, Shibuya Tomoki, Nishiyama Manabu, Kato Kazuhisa, Kanayama Yoshinori	4. 巻 9:25
2. 論文標題 Characterization and Expression Analysis of the Ca <sup>2+</sup> /Cation Antiporter Gene Family in Tomatoes	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Plants	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/plants9010025	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

[学会発表] 計36件(うち招待講演 4件/うち国際学会 9件)

1. 発表者名 伊藤尚子, 小森貞男, 加藤一幾, 金山喜則
2. 発表標題 Malus domesticaとMalus hupehensisにおけるTEMPRANILLOホモログと幼若性の関係
3. 学会等名 園芸学会令和4年度春季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 沼澤芽生, 菅原のの, 阿部遼, 西山学, 加藤一幾, 金山喜則
2. 発表標題 デルフィニウムの花成に及ぼす光質の影響とフィトクロム遺伝子に関する研究
3. 学会等名 園芸学会令和4年度春季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高橋菜央子, 西山学, 金山喜則, 加藤一幾
2. 発表標題 低濃度オゾン水処理がトマト台木の挿し芽発根性と病虫害抵抗性関連遺伝子の発現に及ぼす影響
3. 学会等名 園芸学会令和4年度春季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 谷田春菜, 謝肖男, 加藤一幾, 池田裕樹
2. 発表標題 トマト染色体断片置換系統IL12-1-1の果実サイズに関わる植物ホルモンと遺伝子の解析
3. 学会等名 園芸学会令和4年度春季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 青代香菜子, 西山学, 金山喜則, 加藤一幾
2. 発表標題 パブリカの栽培および貯蔵における温度が果実品質に及ぼす影響
3. 学会等名 園芸学会令和4年度春季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tomoki Shibuya, Manabu Nishiyama, Kazuhisa Kato, Yoshinori Kanayama
2. 発表標題 Role of FLAVIN-BINDING, KELCH REPEAT and F-BOX 1 Homolog SIFK1 in Flowering Initiation and Carotenoid Accumulation in Tomato
3. 学会等名 JSOL2021 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Naoko Takahashi, Manabu Nishiyama, Yoshinori Kanayama, Kazuhisa Kato
2. 発表標題 Effects of low-concentration ozonated water on the growth and biotic stress tolerance in tomato rooted cuttings
3. 学会等名 JSOL2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Nono Sugawara, Mei Numazawa, Manabu Nishiyama, Kazuhisa Kato, Yoshinori Kanayama
2. 発表標題 A long-day treatment by red LED promotes flowering in Delphinium
3. 学会等名 JSOL2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Lingran Xiao, Tomoki Shibuya, Manabu Nishiyama, Kazuhisa Kato, Yoshinori Kanayama
2. 発表標題 Integrated analyses of the metabolome and transcriptome to reveal the effect of light quality on metabolism in tomato fruit
3. 学会等名 JSOL2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Haruna Yada, Chihiro Matsumoto, Xiaonan Xie, Kazuhisa Kato, Hiroki Ikeda
2. 発表標題 Physiological mechanisms of fruit mass increase in tomato introgression line IL12-1-1
3. 学会等名 JSOL2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 肖凌冉, 高島圭介, 金子俊郎, 千葉一美, 西山学, 高橋英樹, 金山喜則, 加藤一幾
2. 発表標題 プラズマ照射溶液がレタスの生育および抗酸化能に及ぼす影響; 次世代蓄電池を用いたプラズマ農業の実用化に向けた研究;
3. 学会等名 SMILEcoみやぎシンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 肖凌冉, 渋谷知暉, 西山学, 加藤一幾, 金山喜則
2. 発表標題 光質がトマト果実の遺伝子発現プロファイルに及ぼす影響
3. 学会等名 園芸学会令和3年度春季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 伊藤尚子, 加賀谷秀直, 小森貞男, 加藤一幾, 金山喜則
2. 発表標題 Malus domesticaとMalus hupehensisにおけるFLOWERING LOCUS C ホモログと幼若性の関係
3. 学会等名 園芸学会令和3年度春季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 堀千秋, 栗原大輔, 大村道明, 西山学, 金山喜則, 加藤一幾
2. 発表標題 トマト果実におけるGCaMP6 を用いたカルシウムイメージング
3. 学会等名 園芸学会令和3年度春季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 阿部遼, 沼澤芽生, 西山学, 加藤一幾, 金山喜則
2. 発表標題 エラータム系およびシネンシス系デルフィニウムの花成と切り花品質に及ぼす光質の影響
3. 学会等名 園芸学会令和3年度春季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 松本千紜, 谷田春菜, 早川智恵, 星野幸一, 平井英明, 加藤一幾, 池田裕樹
2. 発表標題 トマトの染色体断片置換系統IL5-4における果実の高糖度化および尻腐れ発生要因の解明
3. 学会等名 園芸学会令和3年度春季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 青代香菜子, 西山学, 加藤一幾, 金山喜則
2. 発表標題 栽培および貯蔵温度がカラーピーマンの収量や品質に及ぼす影響
3. 学会等名 園芸学会令和3年度春季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 神田駿哉, 西山学, 金山喜則, 加藤一幾
2. 発表標題 リコペン高蓄積を示すトマト染色体断片置換系統の各種カロテノイド分析
3. 学会等名 園芸学会令和3年度春季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高橋菜央子, 田村香理, 西山学, 金山喜則, 加藤一幾
2. 発表標題 低濃度オゾン水がトマト台木の挿し木発根性に及ぼす影響
3. 学会等名 園芸学会令和3年度春季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 加藤一幾, 坪井真喜, 岩本正敏, 菅野均志, 西山 学, 大磯 真美, 牧野 知之, 北柴 大泰, 金山 喜則, 小倉 振一郎
2. 発表標題 葛尾村植物工場におけるマンゴーおよび有機トマト生産による事業化の検討
3. 学会等名 東北大学農学研究科 東北復興農学センター主催シンポジウム 震災から10年: 「復興農学」の成果と課題(招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 堀千秋, 伊藤輝, 栗原大輔, 石田宏幸, 大村道明, 金山喜則, 加藤一幾
2. 発表標題 GCaMP6を用いたカルシウムイメージングのトマトへの応用
3. 学会等名 園芸学会令和2年度春季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 西澤啓, 西山学, 大村道明, 金山喜則, 加藤一幾
2. 発表標題 トマトの染色体断片置換系統におけるアミノ酸高蓄積系統の各種アミノ酸分析
3. 学会等名 園芸学会令和2年度春季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 神田駿哉, 西山学, 金山喜則, 加藤一幾
2. 発表標題 リコペン高蓄積を示すトマト染色体断片置換系統の解析
3. 学会等名 園芸学会令和2年度春季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 肖凌冉, 渋谷知暉, 西山学, 加藤一幾, 金山喜則
2. 発表標題 Effect of light quality on metabolic profile in tomato
3. 学会等名 園芸学会令和2年度春季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 園部彰, 渋谷知暉, 西山学, 加藤一幾, 金山喜則
2. 発表標題 トマト IL8-3 領域の E3 コピキチンリガーゼ様遺伝子の RNAi による発現抑制
3. 学会等名 園芸学会令和2年度春季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 武田彩季, 西山学, 大村道明, 金山喜則, 加藤一幾
2. 発表標題 トマトの染色体断片置換系統を用いたL-アスコルビン酸高蓄積機構の解明
3. 学会等名 園芸学会令和2年度春季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 加藤一幾
2. 発表標題 低濃度オゾン水の野菜栽培への応用利用
3. 学会等名 日本機能水学会第18回学術大会(招待講演)
4. 発表年 2019年



1 . 発表者名 Kato, K,Ito, H,Shibuya, T,Kanayama, Y
2 . 発表標題 Fruit set and auxin distribution in tomato.
3 . 学会等名 The 16th Japan Solanaceae Consortium (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Takeda, S, Nishiyama, M, Omura, M, Kanayama, Y, Kato, K
2 . 発表標題 Mechanism of high L-ascorbic acid accumulation in an introgression line of tomato
3 . 学会等名 The 16th Japan Solanaceae Consortium (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Sonobe, A, Shibuya, T, Kato, K, Kanayama, Y
2 . 発表標題 Study on genes related to high sugar content derived from chromosome fragments of wild relatives of tomato
3 . 学会等名 The 16th Japan Solanaceae Consortium (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Nishizawa, H, Oomura, M, Kanayama, Y, Kato, K
2 . 発表標題 Mechanism of the amino acids accumulation in an introgression line of tomato.
3 . 学会等名 The 16th Japan Solanaceae Consortium (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名 松本千紘, 加藤一幾, 池田裕樹
2. 発表標題 トマトの染色体断片置換系統における果実サイズと精度の系統間比較
3. 学会等名 園芸学会令和元年度秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 堀千秋, 伊藤輝, 栗原大輔, 大村道明, 金山喜則, 加藤一幾
2. 発表標題 トマトにおけるGCaMP6を用いたカルシウムイメージングの検討
3. 学会等名 園芸学会東北支部令和元年度大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 肖凌冉, 渋谷知暉, 西山学, 加藤一幾, 金山喜則
2. 発表標題 トマト果実の代謝物濃度に及ぼす光質の影響
3. 学会等名 園芸学会東北支部令和元年度大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 神田駿哉, 西山学, 金山喜則, 加藤一幾
2. 発表標題 トマトの染色体断片置換系統におけるリコペン高蓄積系統の選抜
3. 学会等名 園芸学会東北支部令和元年度大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 加藤一幾, 立澤文見, 金山喜則
2. 発表標題 低濃度オゾン水の園芸作物栽培における有効活用
3. 学会等名 日本オゾン協会第28回年次研究講演会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 加藤一幾, 他多数	4. 発行年 2022年
2. 出版社 農山漁村文化協会	5. 総ページ数 960
3. 書名 地力アップ大事典	

1. 著者名 金山喜則, 西山学, 田淵俊人, 西村安代, 西澤隆, 奥田延幸, 金澤俊成, 村上賢治, 吉田康徳, 前田智雄, 立石亮, 加藤一幾, 深山陽子, 安場健一郎, 白武勝裕, 山根健治	4. 発行年 2020年
2. 出版社 文永堂出版	5. 総ページ数 326
3. 書名 野菜園芸学 第2版	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	金山 喜則  (Kanayama Yoshinori)  (10233868)	東北大学・農学研究科・教授    (11301)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	池田 裕樹  (Ikeda Hiroki)  (90782053)	宇都宮大学・農学部・助教     (12201)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関