

令和 4 年 6 月 13 日現在

機関番号：14501

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18H02303

研究課題名（和文）オミックス解析を援用したサフラン薬効成分の生合成促進のための生育制御法解明

研究課題名（英文）Elucidation of growth control method to improve biosynthesis of medicinal property in saffron by omics analysis

研究代表者

伊藤 博通（ITO, Hironichi）

神戸大学・農学研究科・教授

研究者番号：00258063

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,300,000円

研究成果の概要（和文）：柱頭内クロシン濃度増大と子球肥大促進を実現する環境条件解明のためにトランスクリプトーム解析を実施した。開花誘導期におけるクロシン生合成の鍵遺伝子であるCCD2の発現量は暗黒下と光照射条件との間に有意差が認められなかった。より強い光照射が可能な栽培装置を使用して改めて解析する必要がある。子球肥大に関連するスクロース分解、ヘキソースリン酸化、デンプン合成、クロロフィル合成に関わる遺伝子発現を解析した結果、肥大促進のためには葉の老化を防ぎながら光合成速度を増加させてシンク強度を維持することが必要であることが分かった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

従来の手法では人工気象器を使用した植物栽培と収穫後の成分分析により栽培環境が目的物質の生合成に与える影響を解析していた。この手法では環境刺激が生合成過程に与える影響を知ることはできなかった。本研究で適用したトランスクリプトーム解析によりこの欠点を補うことが可能となり、子球肥大の機構解明に向けて大きく前進した。この機構解明により将来的に栽培期間の短縮による生産コストの縮減と高品質サフランの生産が実現可能になり、中国からの輸入に頼っている生薬の国内生産量増大に貢献する。さらにはこの技術は国策として開発が推奨されているニーズオリエンティッドな生産システムの要素技術となり得る。

研究成果の概要（英文）：Transcriptome analysis was applied for elucidation of environmental conditions to realize the promotion of crocin concentration in stigmas or daughter corm development. Gene expression level of CCD2, which is a key gene for the biosynthesis of crocin during flowering term, did not show a significant difference between the dark and lighting conditions. Further analysis is necessary by using a growth chamber that can provide more strong light intensity. Gene expression levels were analyzed with regard to degradation of sucrose, hexose phosphorylation, starch biosynthesis, chlorophyll biosynthesis. From the analysis it was found that a conservation of sink strength while striking balance between an increase of photosynthetic rate and a prevention of leaf senescence was necessary for the promotion of daughter corm development.

研究分野：農業環境工学および農業情報工学関連、生物生産施設、生産環境調節、植物工場

キーワード：サフラン 柱頭 子球肥大 クロシン トランスクリプトーム

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

研究代表者らは子球肥大期間の気温を低温にすることにより大きな子球を生産可能にしたが、肥大期間が長くなることが問題であった。これを解決するために子球シンク強度の大小を決定している生合成物質とは何か、またどのような環境条件でその物質が生産し続けられるのかを究明する必要があった。生薬あるいはスパイスとして使用される部位は雌しべの柱頭である。柱頭内クロシンの効率的な高濃度化のためにサフラン体内でこの生合成促進の鍵を握る物質は何か、さらにどのような環境条件でその物質が生産されるのかを究明する必要があった。

2. 研究の目的

本研究の目的は第一に、子球育成期のサフラン体内でシンク強度を維持する生合成物質を特定し、かつこの物質を生産する遺伝子がどのような環境条件で発現するのかをオミックス解析を援用して解明することにより子球肥大の促進および期間短縮を実現する環境条件を特定することである。第二に、開花誘導期の光条件がクロシン生合成経路上の物質生産に与える影響をオミックス解析を援用して解明することにより柱頭クロシン含量増大に最適な環境条件を知ることである。

3. 研究の方法

(1) 開花期遺伝子解析

本研究では開花期の光条件に着目し、光照射の有無が柱頭クロシン生合成およびクロシン濃度に与える影響について調査した。試験区と開花期の環境条件について表 1 に示す。Light 区を育成チャンバー(日本医科器械人工気象機 LPH-410SPC)内で、Dark 区を恒温器(Panasonic、冷凍機付きインキュベーターMIR-154)内で栽培した。養液を与えずに栽培を行った。光源は蛍光灯(NEC、FHF32EX-N-HX-S、NEC、FL20SEX-N-HG)を使用した。

サフラン柱頭の生育段階とクロシン濃度の関係を図 1 に示す。Fruscianteらはサフランについて柱頭の色が図 1 中の orange から red に変化する段階でクロシン濃度が上昇し、その後一定になることを報告している¹⁾。クロシン生合成経路内で働いている酵素遺伝子は主に上流から順に *Phytoene synthase (PSY)*、*Phytoene desaturase (PDS)*、*15-cis- -carotene isomerase (ZISO)*、*-carotene desaturase (ZDS)*、*Carotenoid isomerase (CRTISO)*、*Lycopene -cyclase (-LYC)*、*Carotene -hydroxylase (BCH)*、*Carotenoid cleavage dioxygenase (CCD2)*、*Aldehyde dehydrogenase (ALDH)*、*UDP-glucosyl transferase (UGTs)* の 10 種類である。CCD2 はゼアキサンチンからクロシンが生成される過程においてのみ発現する遺伝子で、ゼアキサンチンからクロセチンジアルデヒドを生成する¹⁾。また図 1 においてクロシンの生成が促進される時期と CCD2 の発現が特に大きくなる時期が一致していることから、本研究では主に CCD2 に着目して解析を行うこととした。CCD2 の発現量は柱頭の色が orange から red に変わる段階で大きくなり、クロシン濃度の上昇と時期が一致するとされる¹⁾。本実験では各試験区定植後 21 日目付近よりも早い時期(Light1、Dark1)と 21 日目付近(Light2、Dark2)において柱頭を採取した。柱頭の色相値をと生体重を指標に計測サンプルを選抜した。トランスクリプトーム解析では、*de novo* 解析により新規のリファレンス配列を構築した。開花時には開花数、柱頭生体重および柱頭乾物重を測定した。日本薬局方に準拠し、柱頭クロシン濃度の測定を行った。本実験では波長 438 nm における抽出液の吸光度をクロシン濃度と定義した。日本薬局方では試料溶液の吸光度が標準溶液の吸光度より高い場合、医薬品として認められる。

(2) 子球育成期遺伝子解析

子球育成期の環境条件を表 2 に示す。低温区と昇温区の 2 試験区を設定した。昇温区において、子球育成開始時は低温区と同じ環境条件で栽培し、子球育成期間中に気温を上昇させることとした。昇温区の気温上昇の期日と設定温度は後述する

表 1 開花期の環境条件

環境要因	設定値	
試験区	Light 区	Dark 区
温度(°C) 明期/暗期		17.0/17.0
湿度(%) 明期/暗期	85/非制御	非制御/非制御
明暗周期(h) 明期/暗期	16/8	0/24
CO ₂ 濃度		非制御
光量子束密度 ^z ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	192±14.6	0

^z: 平均値±標準偏差

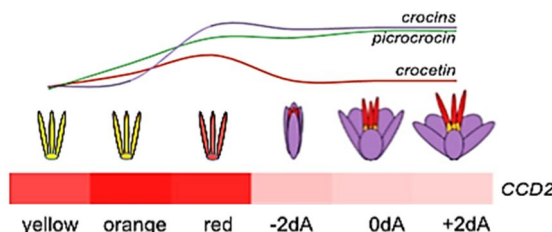


図 1 柱頭の生育段階とクロシン濃度およびクロシン生合成遺伝子 CCD2 発現の関係¹⁾

クロシン生合成経路内で働いている酵素遺伝子は主に上流から順に *Phytoene synthase (PSY)*、*Phytoene desaturase (PDS)*、*15-cis- -carotene isomerase (ZISO)*、*-carotene desaturase (ZDS)*、*Carotenoid isomerase (CRTISO)*、*Lycopene -cyclase (-LYC)*、*Carotene -hydroxylase (BCH)*、*Carotenoid cleavage dioxygenase (CCD2)*、*Aldehyde dehydrogenase (ALDH)*、*UDP-glucosyl transferase (UGTs)* の 10 種類である。CCD2 はゼアキサンチンからクロシンが生成される過程においてのみ発現する遺伝子で、ゼアキサンチンからクロセチンジアルデヒドを生成する¹⁾。また図 1 においてクロシンの生成が促進される時期と CCD2 の発現が特に大きくなる時期が一致していることから、本研究では主に CCD2 に着目して解析を行うこととした。CCD2 の発現量は柱頭の色が orange から red に変わる段階で大きくなり、クロシン濃度の上昇と時期が一致するとされる¹⁾。本実験では各試験区定植後 21 日目付近よりも早い時期(Light1、Dark1)と 21 日目付近(Light2、Dark2)において柱頭を採取した。柱頭の色相値をと生体重を指標に計測サンプルを選抜した。トランスクリプトーム解析では、*de novo* 解析により新規のリファレンス配列を構築した。開花時には開花数、柱頭生体重および柱頭乾物重を測定した。日本薬局方に準拠し、柱頭クロシン濃度の測定を行った。本実験では波長 438 nm における抽出液の吸光度をクロシン濃度と定義した。日本薬局方では試料溶液の吸光度が標準溶液の吸光度より高い場合、医薬品として認められる。

表 2 子球育成実験の環境条件

環境要因	設定値	
試験区	低温区	昇温区
温度() 明/暗	15.0/7.0	図 4 の方法で昇温
湿度(%)		70
CO ₂ 濃度(ppm)		400
明暗周期(h) 明/暗		10/14
光量子束密度 ^z ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	160±15.9	159±14.3

^z: 平均値±標準偏差

図2の方法で決定した。育成チャンバー（日本医科器械 人工気象機 LPH-410SPC）2台を使用して水耕栽培により子球育成を行った。光源はLED（アクア株式会社、OPJ-A1200PMH-N-V）を使用した。養液はOATハウスA処方1/2倍濃度を使用した。エアポンプ（ジェックス株式会社、e-AIR 6000WB）で養液のバブリングを行い、養液中の溶存酸素濃度の低下を防いだ。養液は週に一度全量を交換した。試験区それぞれにおいて48球茎ずつ供試した。48球茎のうち16球茎はシュート長および子球最大径を週に一度経時測定して子球育成終了時に収穫を行う球茎、32球茎は経時破壊測定に供試する球茎とした。子球生体重の経日変化から子球のシンク強度が増大し炭素要求量が大きくなる時期を判断し、昇温区の気温上昇の期日を決定することとした。ある経時破壊期日における子球生体重の平均値とその1つ前の破壊期日における子球生体重の平均値の差を経過週数で割った値を子球生体重増加速度と定義した。低温一定条件下で子球生体重増加速度が最大になる日において子球の炭素要求量が大きいと仮説を立て、1度目の気温上昇を行うこととした。また1度目の気温上昇によって葉からの炭素供給量が増加することで子球肥大が促進され、1度目の気温上昇の後に子球生体重増加速度が最大になる日に2度目の気温上昇を行うこととした。経時破壊測定及び各破壊期日における子球生体重増加速度算出の結果、1度目の気温上昇を106日目、2度目の気温上昇を127日目に行った。したがって、昇温区の地上部気温設定値は図2に示すようになった。

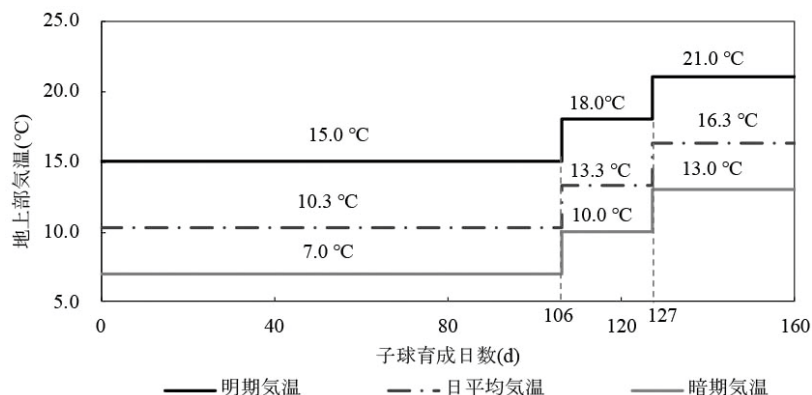


図2 昇温区の地上部気温設定値

子球肥大に関わる子球内容成分としてスクロース、グルコース及びフルクトースに着目し、HPLCにより3糖の濃度を測定した。HPLC分析装置には島津製作所製LCシステム(送液ユニット: LC-10Advp、オートインジェクタ: SIL-20AC、カラムオープン: CTO-10Avp、SHIMADZU)を使用した。検出器には示差屈折率検出器(SHIMADZU、RID-6A))を使用した。カラムはLUNA NH₂(250 mm × 4.6、Phenomenex)を使用した。子球育成期間中の遺伝子発現の経時変化および昇温後の試験区間の差を調査するため、子球は子球育成日数67日目、88日目、103日目および116日目のサンプルを、葉は67日目、88日目、116日目および138日目のサンプルを供試した。RNA抽出には核酸自動精製装置(Promega、Maxwell RSC 48 Instrument)を使用し、抽出したRNAは遺伝子解析の委託先である日本ジーンウィズ株式会社の指定する品質に合うように調整し、解析に供試した。前年度に*de novo*トランスクリプトーム解析を行い、取得したリファレンス配列に対してマッピングを行い本年度RNAサンプルについて発現量の調査を行った。

4. 研究成果

(1) 開花期遺伝子解析

開花時の柱頭クロシン濃度測定結果を図3に示す。抽出液の吸光度をクロシン濃度として示している。両試験区ともにクロシン濃度は標準溶液よりも有意に大きくなり（ウィルコクスン検定、 $p < 0.05$ ）、日本薬局方における品質基準を満たしていた。Light区とDark区との間に有意な差は認められなかったがDark区において高い傾向が見られた。*de novo*解析により*CCD2*として選抜された遺伝子の発現量を図4に示す。Light1とDark1の間で発現量に有意差は見られなかった(P -value <0.1)。またLight2とDark2の間においても有意差は見られなかった(P -value <0.1)。Light区における定植後14日目と21日目、Dark区における14日目と21日目の間においても有意差は見られなかった(P -value <0.1)が、両試験区ともに21日目の発現量の方が14日目と比較して高い傾向を示した。クロシン生合成経路において発現する*CCD2*以外の9遺伝子はクロシン生合成経路特有の遺伝子ではなく、他の生合成経路においても発現する

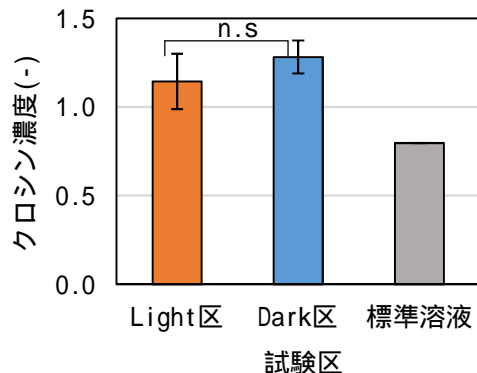


図3 クロシン濃度測定結果
($n=4$, n.s.: Light区およびDark区間で有意差なし(ウィルコクスン検定、 $p < 0.1$))

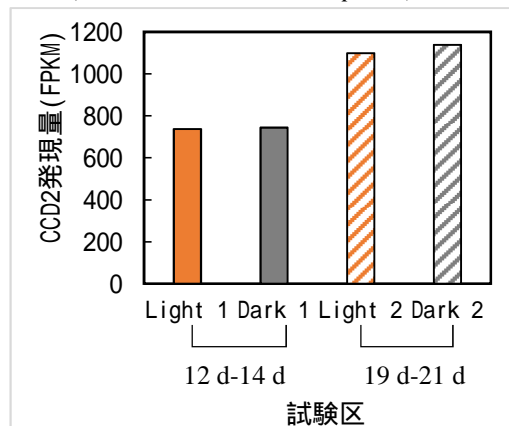


図4 各試験区における*CCD2*の発現量
($n=1$)

1). *De novo* 解析データ内の Nr データベースにおけるアノテーション結果において、上記の 10 種類の遺伝子名をそれぞれ検索し、配列を抽出した。-LYC と UGTs において Light1 区および Light2 区の FPKM がそれぞれ Dark1 区、Dark2 区に対し小さくなる傾向が見られた。またどの遺伝子においても Light1 区、Dark1 区の FPKM が Light2 区および Dark2 区に対し小さい傾向が見られた。12 日目から 14 日目にかけて採取した柱頭は先行研究における orange の生育段階よりも若い柱頭であると考えられた。また *CCD2* 以外のクロシン生合成遺伝子についても同様の傾向を示したことから、クロシン生合成が促進される前の生育段階であったと考えられる。以上の結果より、両試験区間でクロシン濃度、クロシン生合成関連遺伝子発現量に有意差が認められなかったため光環境の違いがクロシン生合成に与える影響やその原因を明確にすることはできなかった。クロシン濃度は有意差がなかったが Dark 区の方が大きくなる傾向があったので本実験よりも光量を増大することによりクロシン濃度に有意差が検出される可能性がある。本実験では人工気象器の最大光量を設定したのでこれ以上の光量を設定することはできず、検証はできなかった。開花期において柱頭クロシン濃度を低下させないためには光照射を行わない方が良いと考えられる。しかし開花時の Dark 区で採取した柱頭の乾物重は Light 区よりも有意に小さくなり、その結果柱頭クロシン収量は両試験区間で有意差がなかった。さらに植物工場でのサフラン栽培を想定した場合、子球肥大によって収穫した子球を開花させ、連続して次世代の子球肥大を再生させる必要がある。Dark 区の球茎は開花しても葉が鞘に包まれているため、子球肥大開始時から十分な光合成を行うことができないため子球育成期間が長期化し、生産コストが増大する可能性が考えられる。柱頭クロシン収量が両試験区間で変化しないことから、子球肥大への移行を考慮すると、葉が正常な形態をとる Light 区が開花期の光条件として望ましいと考えられる。

(2) 子球育成期遺伝子解析

子球育成日数について、昇温区は 138 日、低温区は 158 日であった。試験区間で収穫時子球重量に有意な差は見られなかった。両試験区ともに開花率が 100 % であるとされる 20 g 以上の子球を収穫した。シュート長の経日変化は両試験区ともに子球育成開始後約 54 日目から伸長が緩やかになり、75 日目以降に一定の値をとった。子球の生体重の経日変化を図 5 に示す。子球スクロース濃度の経日変化を図 6 に示す。トランスクリプトーム解析ではソース器官およびシンク器官における糖の輸送経路と、糖代謝に関連する酵素に注目した。シンク強度に影響を与えるとされているスクロース/ヘキソース比を制御すると報告されているインペルターゼとスクロースの代謝に関わるスクロースシンターゼ (*SUS*) の子球における発現量について調査した。 *Inv* の子球における発現量の経時変化を図 7 に示す。葉から子球へ転流されたスクロースは、スクロース分解酵素によりグルコースとフルクトースに分解され、デンプン生合成経路に入る前にリン酸化される必要がある。ヘキソースのリン酸化はヘキソースリン酸化酵素であるヘキソキナーゼ (*HXK*) やフルクトキナーゼ (*FRK*) が触媒しており *HXK* および *FRK* は子球のシンク強度に関連する酵素遺伝子と考えられるため発現量を調査した。子球の *HXK2* の発現量の経日変化を図 8 に示す。デンプン生合成における主要な酵素として ADP グルコースピロホスホリラーゼ (*AGPase*、glucose-1-phosphate adenylyl transferase) やスターチシンターゼ (*SS*) がある。 *AGPase* の発現量の経時変化を図 9

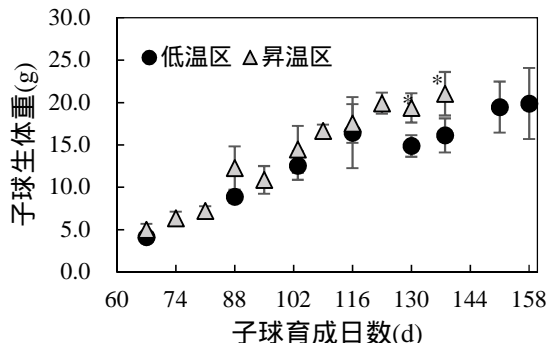


図 5 子球生体重の経日変化 (低温区: 67-151 日目 $n=4, 138, 158$ 日目 $n=6$, 昇温区: 67-130 日目 $n=4, 138$ 日目 $n=6$, エラーバー: 標準偏差, *: 試験区間のウィルコクソン検定で有意差あり ($p < 0.05$))

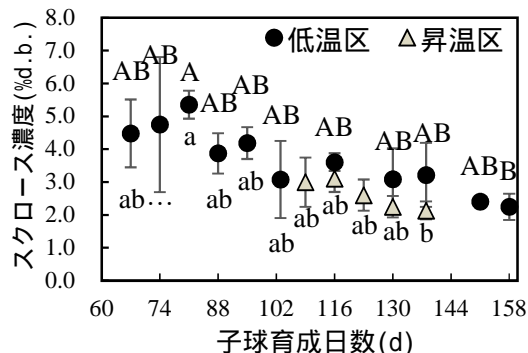


図 6 子球スクロース濃度の経日変化 (低温区: 67, 88, 103 日目 $n=8, 74, 81, 95-130, 151$ 日目 $n=4, 138, 158$ 日目 $n=6$, 昇温区: 109-130 日目 $n=4, 138$ 日目 $n=6$, A, B, a, b: 有意差検定結果 (S 法による多重比較 ($p < 0.1$), 大文字: 低温区, 小文字: 昇温区), エラーバー: 標準偏差)

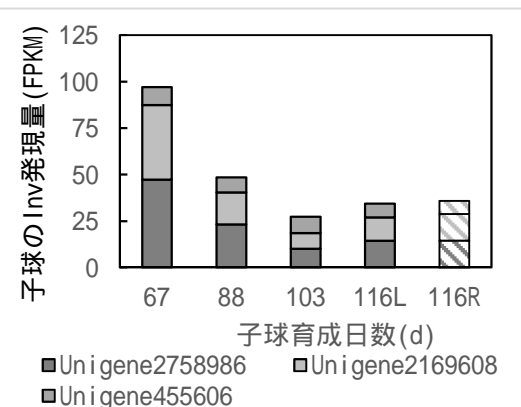


図 7 *Inv* の発現量の経日変化 ($n=1$, 概日変化 (左: 子球, 右: 葉), L: 低温区, R: 昇温区)

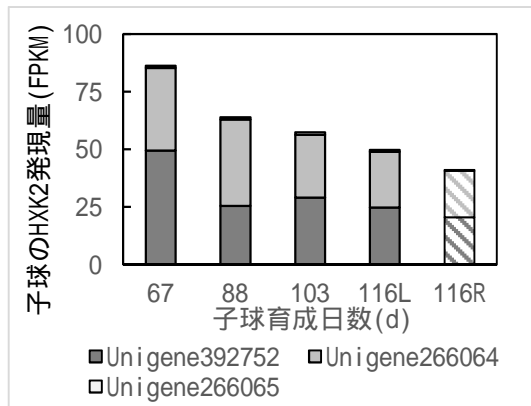


図8 HXK2の発現量の経日変化 ($n=1$, 概日変化 (左: 子球、右: 葉), L: 低温区, R: 昇温区)

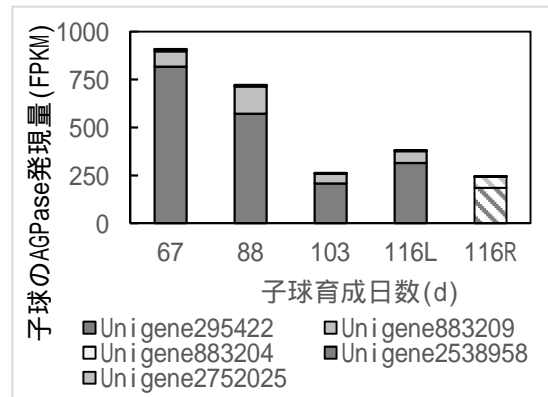


図9 AGPaseの発現量の経日変化 ($n=1$, 概日変化 (左: 子球、右: 葉), L: 低温区, R: 昇温区)

に示す。光合成に関わる遺伝子の一つとして、集光性クロロフィルタンパク質(LHC: light-harvesting chlorophyll)に着目した。LHCは光合成の際に光量子を受け取り伝達するクロロフィルタンパク質の複合体である。LHCには光化学系に結合する5種類のアンテナタンパク質(LHCA1, 2, 3, 4, 5)と、光化学系に結合する7種類のアンテナタンパク質(LHCB1, 2, 3, 4, 5, 6, 7)が存在する。LHCの合計FPKMの経日変化を計測した。

昇温区では低温区と同じ大きさの子球を栽培するための期間を短縮することができた。106日目までは両試験区の環境条件は同一であり、かつ子球育成日数に比例して子球生体重量が増加した。子球のInvの発現量は67日目が最大で88日目には大きく減少していた。シュート長は80日目付近まで伸長しており葉におけるスクロース生産は促進されていたと考えられる。子球のHXKの発現量は67日目が最大で88日目には減少した。AGPaseの発現量は88日目までは高いレベルを維持していた。以上の結果から、子球がシンク器官としてスクロースを受け取る能力は67日目が最大であり88日目には低下していたが、葉で生産されたスクロースは子球に転流され、ヘキソースへの分解、ヘキソースのリン酸化、デンプン合成が順調に進み、子球生体重量が増加した。転流したスクロースは順次分解して使用されたので子球育成日数と共に濃度が減少した。この期間にスクロースを受け取る能力は維持できず低下しているのでシンク強度は栽培初期から低下が始まっていたと考えられる。

88日目以降116日目まで両試験区共に子球生体重量の増加速度は低下しなかったが、子球のInv、HXKの発現量は減少し、特に子球のAGPaseおよびSSの発現量は大きく減少した。LHCの発現量は88日目から116日目にかけて大きく減少した。この結果は葉の老化が進んだことを表していると考えられる。スクロースの分解、ヘキソースのリン酸化、デンプン合成の各代謝が抑制されており、葉で生産されたスクロースが子球に転流できなくなり、スクロースが葉に蓄積したことが葉の老化の原因であると考えられる。シンク強度は低下して子球肥大の速度低下が始まった。子球内のスクロース濃度はこの期間も低下を続けていたが、葉の老化によりスクロース転流量が減少したことも一因であると考えられる。

116日目以降は子球重量増加速度が著しく低下した。葉の老化に伴うスクロース生産量の低下がInv、HXKの発現量を低下させたと考えられる。昇温区では子球シンク強度が低下しているにもかかわらず気温を上げたことによりスクロース生産量が増加したが、これが転流できずに葉に蓄積されるため老化が促進されたと考えられる。このため昇温区は低温区よりも葉の刈れが進み、収穫時期が早くなった。

以上から、子球肥大期間における肥大速度減少の原因は、葉の老化進行によりスクロース生産が減少しデンプン合成が抑制されることであると考えられた。また気温上昇により葉の老化が早期に開始する一方で、デンプン合成が促進されていたと考えられることから、葉の老化を防止する環境制御を行いながら気温を上昇させることで、シンク強度を維持して子球肥大速度を増加させ、短期間に重量の大きな子球を生産することができる可能性がある。

子球肥大初期から検出されたスクロース分解能力低下の機構解明が今後の課題として残された。シンク強度維持のために葉の老化を防止することが必要であることが本研究で明らかになった。葉の老化の始まりは子球内のスクロース分解能力の低下にある。この機構解明のためにはスクロースやヘキソースなど子球内糖濃度の非破壊計測法を開発し、同一個体について子球肥大初期から糖濃度を経時計測する必要がある。

< 引用文献 >

- 1) S. Frusciante, et al.: Novel carotenoid cleavage dioxygenase catalyzes the first dedicated step in saffron crocin biosynthesis, Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 111(33), pp. 12246-12251, 2014.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 魚田春花, 伊藤博通, 宇野雄一, 黒木信一郎, 座古健世, 西村友香, 馬場加奈子, 夏原里佳, 小林雛子	4. 巻 126
2. 論文標題 植物工場におけるサフランの生育制御 地上部気温および養液濃度が子球育成および開花に与える影響	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 農業食料工学会関西支部報	6. 最初と最後の頁 47
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 小林雛子, 伊藤博通, 宇野雄一, 黒木信一郎, 馬場加奈子, 夏原里佳, 座古健世, 西村友香, 魚田春花	4. 巻 126
2. 論文標題 近赤外分光法によるサフラン球茎内デンプンおよび可溶性糖濃度の非破壊計測技術開発	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 農業食料工学会関西支部報	6. 最初と最後の頁 54
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 伊藤博通	4. 巻 32
2. 論文標題 Speaking Plant Approach と非破壊計測	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 植物環境工学	6. 最初と最後の頁 97-107
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2525/shita.32.97	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 小澤こまり, 伊藤博通, 宇野雄一, 黒木信一郎, 馬場加奈子, 夏原里佳, 小林雛子, 西村友香, 魚田春花	4. 巻 128
2. 論文標題 定植前サフラン球茎の光散乱画像計測法による柱頭収量の予測	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 農業食料工学会関西支部報	6. 最初と最後の頁 4
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 田上千恵, 伊藤博通, 宇野雄一, 黒木信一郎, 石橋美咲, 座古健世, 西村友香, 魚田春花	4. 巻 128
2. 論文標題 サフラン柱頭のトランスクリプトーム解析 - 光照射の有無がクロシン生成に与える影響 -	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 農業食料工学会関西支部報	6. 最初と最後の頁 5
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 Rika NATSUHARA, Yuichi UNO, Shinichiro KUROKI, Nao KAJIKAWA, Kanako UMABA, Kensei ZAKO, Tomoka NISHIMURA, Hiromichi ITOH	4. 巻 58
2. 論文標題 Development of a non-destructive starch concentration measurement technique in saffron (<i>Crocus sativus</i> L.) corms using light scattering image analysis	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Environmental Control in Biology	6. 最初と最後の頁 105-113
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2525/ecb.58.105	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 西村友香, 伊藤博通, 宇野雄一, 黒木信一郎, 梶川奈緒, 座古健世, 馬場加奈子, 夏原里佳	4. 巻 124
2. 論文標題 植物工場におけるサフランの生育制御 地上部気温が子球肥大及びクロシン収量に与える影響	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 農業食料工学会関西支部報	6. 最初と最後の頁 40
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 夏原里佳, 伊藤博通, 宇野雄一, 黒木信一郎, 梶川奈緒, 馬場加奈子, 座古健世, 西村友香	4. 巻 124
2. 論文標題 光散乱画像計測法によるサフラン球茎内デンプン濃度非破壊計測技術の開発	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 農業食料工学会関西支部報	6. 最初と最後の頁 41
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 村中久珠, 伊藤博通, 宇野雄一, 黒木信一郎, 中島周作, 西村友香, 魚田春花, 小林雛子, 田上千恵, 小澤こまり	4. 巻 130
2. 論文標題 気温によるサフランの生育制御 昇温方法が子球肥大と柱頭クロシン濃度に与える影響の検討	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 農業食料工学会関西支部報	6. 最初と最後の頁 5
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 -

〔学会発表〕 計27件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 1件)

1. 発表者名 村中久珠, 伊藤博通, 宇野雄一, 黒木信一郎, 中島周作, 西村友香, 魚田春花, 小林雛子, 田上千恵, 小澤こまり
2. 発表標題 気温によるサフランの生育制御 昇温方法が子球肥大と柱頭クロシン濃度に与える影響の検討
3. 学会等名 農業食料工学会関西支部第145回例会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 伊藤博通
2. 発表標題 植物工場における高品質薬草栽培法の開発研究
3. 学会等名 (株)技術情報センターセミナー 植物工場による薬用植物・医薬品原材料など高付加価値物質生産・栽培に関する技術・研究開発動向 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 村中久珠, 伊藤博通, 宇野雄一, 黒木信一郎, 中島周作, 田上千恵, 魚田春花, 小林雛子, 小澤こまり
2. 発表標題 植物工場におけるサフランの生育制御 - 子球育成期における気温がサフラン球茎の肥大および内容成分に与える影響の解析 -
3. 学会等名 第79回農業食料工学会年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 田上 千恵, 伊藤 博通, 宇野 雄一, 黒木 信一郎, 中島 周作, 魚田 春花, 小林 雛子, 小澤 こまり, 村中 久珠
2. 発表標題 植物工場におけるサフランの生育制御 気温上昇が子球肥大及び子球の糖組成変化に与える影響のトランスクリプトーム解析
3. 学会等名 第79 回農業食料工学会年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小澤 こまり, 伊藤 博通, 宇野 雄一, 黒木 信一郎, 中島 周作, 馬場 加奈子, 座古 健世, 夏原 里佳, 西村 友香, 小林 雛子, 魚田 春花
2. 発表標題 植物工場におけるサフランの生育制御 - 光散乱画像による球茎内デンプン濃度および可溶性糖濃度が柱頭収量に与える影響の解明 -
3. 学会等名 第79 回農業食料工学会年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 田上千恵, 伊藤博通, 宇野雄一, 黒木信一郎, 中島周作, 魚田春花, 小林雛子, 小澤こまり, 村中久珠
2. 発表標題 気温上昇がサフラン子球の肥大及び糖組成変化に与える影響のトランスクリプトーム解析
3. 学会等名 関西農業食料工学会第146回例会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小澤こまり, 伊藤博通, 宇野雄一, 黒木信一郎, 中島周作, 馬場加奈子, 座古健世, 夏原里佳, 西村友香, 小林雛子, 魚田春花
2. 発表標題 光散乱画像によるサフラン球茎内容成分の非破壊計測 - 球茎内デンプン濃度および可溶性糖濃度と柱頭収量の関係 -
3. 学会等名 関西農業食料工学会第146回例会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小澤こまり, 伊藤博通, 宇野雄一, 黒木信一郎, 中島周作, 馬場加奈子, 座古健世, 夏原里佳, 西村友香, 小林雛子, 魚田春花
2. 発表標題 光散乱画像による定植時サフラン球茎内デンプン濃度および可溶性糖濃度が柱頭収量に与える影響の解明
3. 学会等名 日本生物環境工学会オンライン次世代研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 田上千恵, 伊藤博通, 宇野雄一, 黒木信一郎, 中島周作, 魚田春花, 小林雛子, 小澤こまり, 村中久珠
2. 発表標題 サフラン子球育成期間中の気温設定の検討 -気温設定が子球肥大及び糖・デンプン代謝に与える影響のトランスクリプトーム解析-
3. 学会等名 日本生物環境工学会オンライン次世代研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 村中久珠, 伊藤博通, 宇野雄一, 黒木信一郎, 中島周作, 田上千恵, 魚田春花, 小林雛子, 小澤こまり
2. 発表標題 サフラン子球育成期間中の気温設定の検討 -気温設定が子球肥大および内容成分に与える影響の解析-
3. 学会等名 日本生物環境工学会オンライン次世代研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大谷錬太郎, 伊藤博通, 宇野雄一, 黒木信一郎, 中島周作, 田上千恵, 村中久珠, 大窪一輝, 小澤こまり, 山本真生
2. 発表標題 気温の設定方法がサフランの子球肥大と柱頭クロシン濃度に与える影響
3. 学会等名 関西農業食料工学会 第147回例会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 魚田春花, 伊藤博通, 宇野雄一, 黒木信一郎, 座古健世, 西村友香, 馬場加奈子, 夏原里佳, 小林雛子
2. 発表標題 植物工場におけるサフランの生育制御 地上部気温および養液濃度が子球育成および開花に与える影響
3. 学会等名 農業食料工学会関西支部第141回例会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小林雛子, 伊藤博通, 宇野雄一, 黒木信一郎, 馬場加奈子, 夏原里佳, 座古健世, 西村友香, 魚田春花
2. 発表標題 近赤外分光法によるサフラン球茎内デンプンおよび可溶性糖濃度の非破壊計測技術開発
3. 学会等名 農業食料工学会関西支部第141回例会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 伊藤博通
2. 発表標題 植物工場における高品質薬草栽培法の開発研究
3. 学会等名 (株)技術情報センターセミナー 植物工場による薬用植物・医薬品原材料など高付加価値植物質生産・栽培に関する技術・研究開発動向(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小林雛子, 伊藤博通, 宇野雄一, 黒木信一郎, 馬場加奈子, 夏原里佳, 座古健世, 西村友香, 魚田春花
2. 発表標題 近赤外分光法によるサフラン球茎内成分の非破壊計測
3. 学会等名 2019年農業食料工学会・農業施設学会・国際農業工学会第6部会合同国際大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 魚田春花, 伊藤博通, 宇野雄一, 黒木信一郎, 座古健世, 西村友香, 馬場加奈子, 夏原里佳, 小林雛子
2. 発表標題 植物工場におけるサフランの生育制御 -地上部気温および養液濃度が子球肥大に与える影響-
3. 学会等名 2019年農業食料工学会・農業施設学会・国際農業工学会第6部会合同国際大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 夏原里佳, 伊藤博通, 宇野雄一, 黒木信一郎, 馬場加奈子, 座古健世, 西村友香, 小林雛子, 魚田春花
2. 発表標題 植物工場におけるサフランの生育制御 - 柱頭生産に与える球茎内デンプン含量と可溶性糖含量の影響 -
3. 学会等名 日本生物環境工学会2019年千葉大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 西村友香, 伊藤博通, 宇野雄一, 黒木信一郎, 石橋美咲, 座古健世, 魚田春花, 夏原里佳
2. 発表標題 サフランの開花期における光照射の有無が柱頭内クロシン生合成に与える影響のトランスクリプトーム解析
3. 学会等名 日本生物環境工学会2019年千葉大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 夏原里佳, 伊藤博通, 宇野雄一, 黒木信一郎, 馬場加奈子, 座古健世, 西村友香, 小林雛子, 魚田春花
2. 発表標題 植物工場におけるサフランの生育制御 - 光散乱計測による球茎内デンプン濃度と可溶性糖濃度の非破壊計測 -
3. 学会等名 日本生物環境工学会2019年千葉大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiromichi Itoh
2. 発表標題 Non-destructive measurement of plants for environmental control in plant factory
3. 学会等名 The 10th Anniversary Kobe University Brussels European Centre Symposium (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 村中久珠, 伊藤博通, 宇野雄一, 黒木信一郎, 中島周作, 西村友香, 魚田春花, 小林雛子, 田上千恵, 小澤こまり
2. 発表標題 気温によるサフランの生育制御 昇温方法が子球肥大と柱頭クロシン濃度に与える影響の検討
3. 学会等名 農業食料工学会関西支部第145回例会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 西村友香, 伊藤博通, 宇野雄一, 黒木信一郎, 梶川奈緒, 座古健世, 馬場加奈子, 夏原里佳
2. 発表標題 地上部気温がサフランの生育およびクロシン収量に与える影響
3. 学会等名 農業環境工学関連学会2018年合同大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 夏原里佳, 伊藤博通, 宇野雄一, 黒木信一郎, 梶川奈緒, 馬場加奈子, 座古健世, 西村友香
2. 発表標題 光散乱計測によるサフラン球茎内デンブンの濃度の非破壊計測
3. 学会等名 農業環境工学関連学会2018年合同大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 座古健世, 伊藤博通, 宇野雄一, 黒木信一郎, 西村友香, 梶川奈緒, 馬場加奈子, 夏原里佳
2. 発表標題 光照射と養液供給の有無がサフランの開花に与える影響
3. 学会等名 日本生物環境工学会2018年東京大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 馬場加奈子, 伊藤博通, 宇野雄一, 黒木信一郎, 梶川奈緒, 夏原里佳, 座古健世, 西村友香
2. 発表標題 近赤外分光法によるサフラン球茎内デンプン濃度、密度、糖度、含水率の計測
3. 学会等名 日本生物環境工学会2018年東京大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 魚田春花, 伊藤博通, 宇野雄一, 黒木信一郎, 座古健世, 西村友香, 馬場加奈子, 夏原里佳, 小林雛子
2. 発表標題 植物工場におけるサフランの生育制御 地上部気温および養液濃度が子球育成および開花に与える影響
3. 学会等名 農業食料工学会関西支部第141回例会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小林雛子, 伊藤博通, 宇野雄一, 黒木信一郎, 馬場加奈子, 夏原里佳, 座古健世, 西村友香, 魚田春花
2. 発表標題 近赤外分光法によるサフラン球茎内デンプンおよび可溶性糖濃度の非破壊計測技術開発
3. 学会等名 農業食料工学会関西支部第141回例会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 農業食料工学会	4. 発行年 2020年
2. 出版社 コロナ社	5. 総ページ数 1108
3. 書名 農業食料工学ハンドブック（第13編施設における栽培技術 1. 施設の種類 pp. 799-805 担当）	

1. 著者名 PLANT FACTORY USING ARTIFICIAL LIGHT	4. 発行年 2018年
2. 出版社 Elsevier	5. 総ページ数 406
3. 書名 M. Anpo, H. Fukuda, T. Wada, H. Itoh et al.	

〔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	宇野 雄一 (UNO Yuichi) (90304120)	神戸大学・農学研究科・教授 (14501)	
研究分担者	黒木 信一郎 (KUROKI Shinichiro) (00420505)	神戸大学・農学研究科・准教授 (14501)	

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
---------	---------