

平成 28 年 4 月 30 日現在

機関番号：14501

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25292151

研究課題名(和文)水耕栽培サフランの子球肥大を促進する栽培環境の解明と優良母球の非破壊選別法開発

研究課題名(英文) Analysis of environmental condition to improve the development of daughter corm of saffron cultivated by hydroponics and development of non-destructive method to select superior mother corms

研究代表者

伊藤 博通 (ITO, Hiromichi)

神戸大学・(連合)農学研究科(研究院)・准教授

研究者番号：00258063

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 10,300,000円

研究成果の概要(和文)：植物工場においてクロシンを多量に含む高品質サフランを生産するための生育制御法の確立が最終目標である。サフランは外気温により生育相を遷移させる。また、遠赤外光は炭素同化物の転流を促進させ、子球肥大を促進させる可能性がある。そこで気温と遠赤外光が子球肥大と柱頭のクロシン含量に及ぼす影響を明らかにした。

高濃度クロシンを含む柱頭を収穫するためには定植前にデンプンを多量に含む母球を選抜する必要がある。光拡散画像計測による球茎内デンプン含量の非破壊計測法を開発した。本研究で得られた検量モデルの推定精度は実用には不十分であったが、改良点が明確になり将来的に実用に供することができる見込みである。

研究成果の概要(英文)：The final objective of this research is to establish a growth control method to produce high quality saffron. Growth phase of saffron is induced by air temperature. It would be possible for far-red light to improve translocation of carbon assimilation products and to encourage the development of daughter corm. Therefore, the effects of air temperature and far-red light on the development of daughter corm and crocin content in stigmas were clarified.

In order to harvest high quality stigmas, it is necessary to select superior corms, which contain a lot of starch. A non-destructive method to measure the starch content in a corm was developed by an analysis of light scattering image of saffron surface. Though the estimation accuracy of calibration model was not sufficient for practical use, technical problems that should be solved were clarified. It is predicted that the estimation accuracy can be improved and this method would be turned into actual utilization in the future.

研究分野：農学、農業工学、農業環境・情報工学

キーワード：サフラン 子球肥大 気温制御 遠赤色光 クロシン デンプン 非破壊計測 光拡散画像計測

1. 研究開始当初の背景

サフランを人工環境下で水耕栽培すると栽培期間の短縮と薬効成分の高濃度化を実現できるが、子球(新球)の肥大が進まず次世代の優良母球が得られないことが問題になっていた。また、優良母球の選別法も確立されていなかった。土耕におけるサフランや春咲きの *Crocus vernus* の子球肥大に関する研究^{1,2)}によると、子球肥大のためにはソースである葉からシンクである子球が炭水化物を受け取る能力であるシンク強度が高く維持される必要があり、さらにシンク強度は根圏の温度に影響を受けることがわかっている。またタマネギでは照明の赤色(R)と遠赤色(FR)の比率である R/FR 比の調節により葉から子球への炭水化物転流が促進されることがわかっている³⁾。開花までに必要な栄養のほとんどが母球から供給されていることがわかっており、重量が大きいこと、炭水化物含量が高いこと、細胞が大きいことが開花や子球増殖を保証する優良母球の条件となる¹⁾。植物工場における安定生産のためには優良母球を選抜する手法の開発が必要である。

- 1) B. Renau-Morata, et al. (2012). Effect of corm size, water stress and cultivation conditions on photosynthesis and biomass partitioning during the vegetative growth of saffron (*Crocus sativus* L.), *Industrial Crops and Products* 39, 40-46.
- 2) Mohamed A. Badri, et al. (2007). Effects of temperature on the growth of spring ephemerals: *Crocus vernus*. *Physiologia Plantarum* 130: 67-76.
- 3) B. Lercari. (1982). The effect of far-red light on the photoperiodic regulation of carbohydrate accumulation in *Allium cepa* L., *Physiol. Plant.* 54, 475-479.

2. 研究の目的

- ・気温および遠赤色光が子球肥大およびクロシン濃度に与える影響を解明する。
- ・優良母球を選別するための非破壊計測法を開発する。

3. 研究の方法

(1) 気温の影響解析

供試作物は大分県産のサフラン(*Crocus sativus* L.)球茎を、育成チャンバーは日本医化器械製作所製人工気象器 LPH-410SPC を用い、a から h の合計 8 試験区を設けた。1 試験区に 8 個の球茎を用い水耕栽培を行った。養液は大塚ハウス A 処方 1/2 倍濃度を使用した。球茎を定植し、開花を促す温度 17.0℃に設定した。全試験区で開花終了を確認後、摘芽を行い、残す芽の数を試験区 a、c、e、g は 1 つ、試験区 b、d、f、h は 2 つとした。その後子球形成時に低温処理の必要性を検証するため、試験区 e、f、g、h に低温処理

表 1 各試験区の環境条件

試験区	芽の数	形成期の低温処理	肥大期の温度条件
a	1	無 ^z	高温条件 ^x
b	2	無	高温条件
c	1	無	低温条件 ^w
d	2	無	低温条件
e	1	有 ^y	低温条件
f	2	有	低温条件
g	1	有	高温条件
h	2	有	高温条件

^z無: 17.0℃(明期/暗期), ^y有: 15.0℃/6.0℃(明期/暗期), ^x高温条件: 18.0℃/15.1℃(明期/暗期), ^w低温条件: 15.0℃/7.0℃(明期/暗期)

(15.0℃/6.0℃(明期/暗期))を行った。全試験区で子球形成を確認後、子球肥大時の温度環境検討のため、試験区 a、b、g、h を高温条件(18.0℃/15.1℃(明期/暗期))、試験区 c、d、e、f を低温条件(15.0℃/7.0℃(明期/暗期))に設定した。試験区の全子球の葉が半分以上枯れたと判断した時点で子球を収穫した。栽培実験で生産した球茎の品質の検証実験では、供試作物はこの栽培実験で収穫したサフラン球茎を用い、栽培実験と同様に開花誘導を行った。栽培実験と検証実験の試験区を対応させるため栽培実験で試験区 a から収穫した球茎を検証実験でも試験区 a に定植した。開花後、柱頭を収穫し柱頭乾燥重と乾燥柱頭 0.1 g あたりのクロシン含量を測定し、柱頭乾燥重とクロシン含量の積であるクロシン総量を算出した。クロシン濃度は日本薬局方⁴⁾を参考に測定し、乾燥柱頭 0.1 g 抽出液の波長 438nm の吸光度から標準物質の波長 438nm の吸光度を減じた値と定義した。各試験区の環境条件を表 1 に示す。

4) 厚生労働省: 第十六改正 日本薬局方, p. 1507, 2011.

(2) 光質の影響解析

供試作物には神戸大学内で水耕栽培によって栽培して収穫したサフラン球茎を用いた。育成チャンバー(日本医化器械製作所製人工気象器 LPH-410SPC)を 2 台使用して水耕栽培した。子球肥大期間の光条件に着目した。試験区は子球肥大期間の光源に植物用蛍光灯(FR, R/FR 比=2.0)(Panasonic FL40S・FR・P, Panasonic FL20S・FR・P)を用いる遠赤色光区(FR 区)と一般の蛍光灯(FL, R/FR=20.5)(NEC FHF32EX-N-HX-S, NEC FL20SEX-N-HG)を用いる蛍光灯区(FL 区)の計 2 試験区を設けた。1 試験区に 32 個の球茎を用いた。

まず球茎を定植し、表 2 の開花誘導の環境条件栽培実験を開始した。全球茎の開花終了後、表 2 の子球形成の環境設定値に変更した。両試験区で子球形成を確認した後、子球肥大の環境設定値に変更した(表 2)。全試験区の子球を同時に収穫した後に花芽形成処理を開始し、恒温器内で 25℃で 108 日間子球を貯

表2 各生育段階における環境条件

環境要因		環境設定値			
生育段階	開花誘導	子球形成	子球肥大		
試験区	-	-	FR区	FL区	
R/FR比	20.5	20.5	2.0	20.5	
湿度(%)	85		70		
温度(°C)	17.0/17.0	15.0/6.0	15.0/7.0		
明/暗					
明暗周期(h)明/暗	8/16		10/14		
PPFD ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	199.2~243.3		129.9~167.1	144.9~174.3	

蔵した。花芽形成処理を終えた球茎を人工気象器内に定植し、採花実験を行った。表2の開花誘導の環境条件で開花後、柱頭を収穫した。柱頭乾燥重と乾燥柱頭 0.1g あたりのクロシン濃度を測定し、球茎当りの柱頭乾燥重とクロシン濃度の積であるクロシン総量を算出した。

(3) デンブン含量非破壊計測

供試作物には 2015 年に神戸大学内で水耕栽培により栽培し収穫したサフラン (*Crocus sativus* L.) 球茎 23 個および 2015 年度大分県竹田市産のサフラン球茎 62 個を使用した。球茎は恒温器内において開花が行われないよう 25 °C で保管した。

光拡散画像計測システムは光源ユニット (東京インスツルメンツ社, 高輝度波長可変単色スポット照射光源 TII-EQ99FC-TUNABLE-SPOT-2) と CMOS カメラユニットから構成される。照射光は専用分光ユニットにより分光され、サフラン球茎赤道面上に対して特定波長光を照射した。照射波長範囲は 600-1000 nm、波長分解能は 5 nm である。光拡散画像の撮影は、CMOS カメラ (Photonfocus 社, MV1-D1312IE-40-CL-12)、カメラレンズ (SCHNEIDER 社, VIS-NIR レンズ Xenoplan 1.4/23) により行った。また、分光ユニットおよび CMOS カメラは PC に接続されており、LabVIEW2012 (National Instruments 社) によって制御を行った。画像取得は外乱光による影響を取り除く為、卓上暗室 (サイエンテックス, 小型簡易暗室 B-S8) 内で撮影を行った。

光拡散画像計測時の計測システム設定値を表3に示す。光拡散画像の取得にあたって、検出器のランダムノイズや使用光源の測定日間変動を補正するために、ダーク画像および反射標準板 (SphereOptics 社, Zenith Polymer® Diffuse Reflectance Standard - 2.5%R) を使用した標準板反射画像の取得を行った。光拡散画像の取得では、外皮を除去したサフラン球茎を球茎の最大径方向が CMOS カメラの受光方向に対し直交するように XYZ 軸ステージ (Edmund Optics 社, ねじ送

表3 画像計測システム設定値

設定要件	設定値
サンプル-カメラレンズ間距離 (mm)	120.0
照射光入射角 (°)	17.5
照射光波長範囲 (nm)	600~1000
照射光波長分解能 (nm)	5
画像サイズ (pixel)	1024×1024
露光時間 (ms)	3
レンズの絞り値 (-)	2.8
画素分解能 (mm/pixel)	0.047

りステージ ミリねじ XYZ 軸ラージ) に乗せ、球茎に対する照射光位置は球茎の赤道面上となるよう調整した。

画像解析では Microsoft Visual Studio 2013 において C 言語を使用し作成したプログラムを用いて、取得された光拡散画像から拡散光輝度減衰曲線を解析し、線形もしくは指数回帰により得られる回帰式の傾きおよび切片のスペクトルデータを算出した。解析対象とする拡散光領域とはスポット点で輝度が飽和していない領域と定義し、半径 r の円上画素の輝度値平均値を算出することで図1のような拡散光輝度減衰曲線を計測した。各照射光波長の画像から得られた減衰曲線に対し線形または指数回帰を行い、係数 a_λ 、 b_λ 、 c_λ 、 d_λ が使用波長の数だけ得られた。

サフラン球茎のデンブン濃度測定には、可溶性糖類を 80% エタノールで除去後、デンブンを過塩素酸で抽出し、フェノール硫酸法で定量を行う過塩素酸抽出・フェノール硫酸法を用いた。全球茎のうち 15 個に関しては球茎内のデンブン分布を確認するため、光拡散画像取得後に表面と裏面に対応するよう最大径に沿って分割し供試した。したがってデンブン濃度測定実験に供試したサンプル数 n は 100 である。

全波長での係数 a_λ 、 b_λ 、 c_λ 、 d_λ のスペクトルデータとデンブン含量のデータセットを PCR (Principal Component Regression) 法または PLS (Partial Least Squares) 法にて解析を行った。係数スペクトルの異常値を除いたためサンプル数は $n = 97$ で、キャリブレーションセットとバリデーションセットの

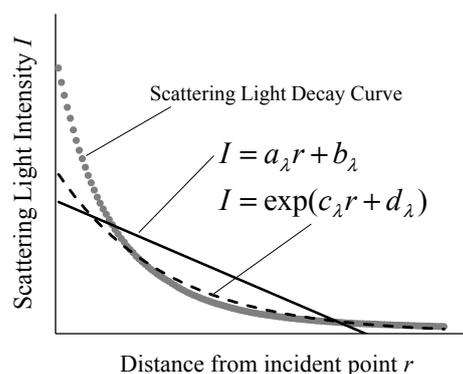


図1 拡散光輝度減衰曲線と近似関数

データ数が2:1となるよう分割した。また使用波長の選択基準として信号対雑音比(SNR: Signal to Noise Ratio)を定義し、SNRによる波長範囲の選択を行い、最も精度のよい検量線が得られる波長範囲を検証した。検量線精度の評価基準としてSEC(Standard Error of Calibration)とSEP(Standard Error of Prediction)の加重平均であるWSE(Weighted average of SEC and SEP)の値を用いた。

4. 研究成果

(1) 気温の影響解析

収穫した子球重量の測定結果を図2に示す。先行研究により20g以上の球茎でほぼ100%開花するとされている⁵⁾。全試験区で球茎重量20g以上の子球が収穫できた。子球肥大時に低温条件の場合、子球重量が大きくなる傾向があった。柱頭乾燥重は子球形成時に低温処理を行うことで柱頭乾燥重が大きくなる傾向が見られた。クロシン含量は子球肥大時に低温条件にすることでクロシン含量が大きくなる傾向が見られた。柱頭乾燥重とクロシン含量の環境の影響を総合的に評価するためクロシン総量を算出した結果を図3に示す。芽が1つで子球形成時に低温処理を行い、子球肥大時に低温条件(試験区e)で最も大きな値が得られた。球茎あたりのクロシン総量は芽が1つの試験区の方が大きい傾向が見られた。しかし芽が2つの試験区は球茎の増殖が2倍になることから収穫できた球茎を全て定植できるとするならば、収穫できる柱頭収量も2倍になりクロシン総量も2倍になると考えられる。芽が1つの試験区の子球あたりのクロシン総量と芽が2つの試験区の子球あたりのクロシン総量の2倍の値を比較した結果、芽が2つの試験区の方が大きいことから芽の数は2つが良いと考えられる。

5) 厚生省薬務局. 薬用植物栽培と品質評

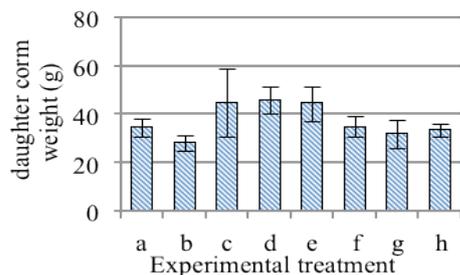


図2 子球重量測定結果

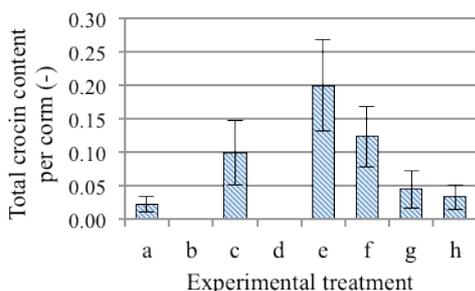


図3 子球当たりのクロシン総量測定結果

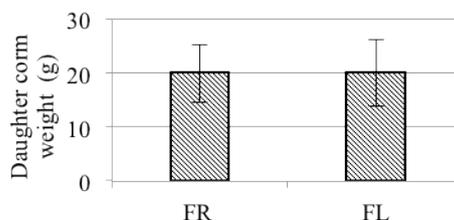


図4 光源と子球重量の関係

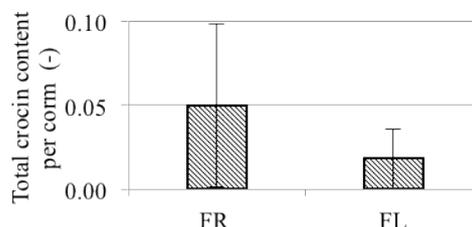


図5 光源とクロシン総量の関係

価 part4. 薬事日報, 東京. 27-37. 1995.

(2) 光質の影響解析

収穫した子球重量の結果を図4に示す。試験区間で子球重量に有意差はなく、遠赤色光は子球重量増加に効果がなかった。柱頭乾燥重にも試験区間で差はなく、遠赤色光は柱頭乾燥重増加にも効果がなかった。クロシン濃度は遠赤色光区で増加した。遠赤色光の照射により炭水化物の転流が促進され、子球のデンプン濃度が高くなったと考えられる。FR区から収穫した子球を母球として開花させた場合は球茎内のデンプン高濃度化によりクロシンの生合成が促進され、その結果クロシン濃度が増加したと考えられる。遠赤色光の柱頭乾燥重とクロシン濃度への影響を総合的に評価するためクロシン総量を算出した。この結果を図5に示す。クロシン総量は遠赤色光区で増加した。このため遠赤色光照射によりクロシン総量を増加させることができると考えられる。サフラン栽培において子球肥大期における光源の遠赤色光の割合を増加させることでクロシン総量を増加させることができると考えられる。

(3) デンプン含量非破壊計測

標準板反射スペクトルの解析の結果、使用光源の測定日間変動が確認できた。この変動は取得される光拡散画像の輝度値および拡散光減衰曲線に直接影響を与えるため、測定日間の画像輝度補正の必要性が示された。短波長域および長波長域においてSNRが低下していることから、入力される信号強度が低下し、取得される光拡散画像にノイズが含まれる可能性が考えられた。

今回作成した検量線の中で、WSEによる評価から最も精度が高い検量線は全波長の指数回帰式係数 c スペクトルを使用し、スペクトル前処理として標準化を行いPLSにて解析した場合で、キャリブレーションセット寄与率 $R_{cal}^2=0.954$ 、バリデーションセット相関係数 $R_{val}=0.478$ 、 $WSE=272.25$ (mg/L)という結果が得られたが、外乱等のノイズまでモデル化

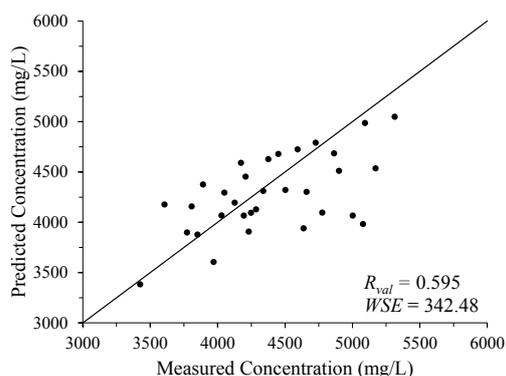


図6 c-2.5Sモデルのデンプン濃度実測値と推定値との比較

してしまうオーバーフィッティングの傾向があることが確認された。一方、 R_{val} が最も高い検量線は、 c スペクトルを $SNR \geq 2.5$ で波長選択し、標準化およびPLSにて解析した場合(c -2.5Sモデル)で、 $R_{cal}^2=0.680$ 、 $R_{val}=0.595$ 、 $WSE=342.48$ (mg/L)という結果であった(図6)。以上の結果から実用に足る推定精度を実現するに至らなかったものの、本研究により技術的に解決すべき点が明確になった。今後本研究開発を継続することにより推定精度の向上を見込むことができる。本研究により光拡散画像計測法によるサフラン球茎内デンプン含量の非破壊計測の可能性が示唆されたと考える。

(4) 結論

サフランは気温により花芽形成、開花誘導、子球形成および子球肥大の生育相が遷移する。サフランの水耕栽培についてはこれまで詳しく研究されていなかったが、子球肥大を実現する気温制御法が本研究で明らかとなった。また、遠赤色光が柱頭のクロシン含量を増大させることを明らかにした。これまで国内で採用されてきた室内栽培法の欠点であった増殖率の低下の問題は子球肥大の促進が課題であり、本研究成果によりこの課題が解決できると考えられる。さらに遠赤色光照射によるクロシン含量増大を実現し、露地栽培では不可能な高品質サフラン栽培法を提案することができた。波長を選択して照射できるLED等の光源を使用したサフランの生育制御に役立つ成果である。残された課題は栽培期間の短縮である。栽培期間の長期化は植物工場の生産コスト増大に直接影響する。植物工場におけるサフランの商業生産のためには解決しなければならない課題であり、今後もこの課題解決のために研究を進める。

デンプンを多量に含むサフラン優良母球選抜のための非破壊測定法を開発した。測定精度は十分ではなかったが改良する余地が残されており今後研究を継続することにより本計測法を完成する予定である。本計測法の実用化により優良母球のみを定植することができるようになるのでサフラン柱頭のクロシン含量が増大すると同時に収穫した

柱頭間のクロシン含量分散が低減されると考えられる。サフランの安定した品質を高く保つことに貢献できると考える。

サフラン球茎の生育制御法ならびに評価法に関する本研究の成果は輸入製品との競争にさらされている国内生産の経営健全化に対して将来的に貢献できると考える。

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5件)

- ① N. Kajikawa, Y. Uno, S. Kuroki, Y. Yamashita, S. Miyagawa, Y. Hamaguchi, H. Itoh, Growth control for saffron (*Crocus sativus* L.) production in plant factory -Non-destructive measurement of starch content in corms of saffron by light scattering image -, Proceedings of the 8th International Symposium on Machinery and Mechatronics for Agriculture and Biosystems Engineering (ISMAB), 査読無, 掲載決定, 2016
- ② 濱口悠紀、伊藤博通、宇野雄一、黒木信一郎、宮川沙千、山下侑将、植物工場におけるサフランの生育制御 -光質の影響解析-、農業食料工学会関西支部報第118号、査読無、2015、34
- ③ 宮川沙千、伊藤博通、宇野雄一、黒木信一郎、宮地大樹、北秋広徳、植田頼親、小林真土、鍛冶研一、芽の数と気温がサフラン子球生産とクロシン総量に及ぼす影響、植物環境工学、査読有、Vol. 27、No. 4、2015、204-212、<http://doi.org/10.2525/shita.27.204>
- ④ 宮川沙千、伊藤博通、宇野雄一、黒木信一郎、宮地大樹、サフランの栽培環境制御技術の開発、農業食料工学会関西支部報第116号、2014、35
- ⑤ S. Miyagawa, D. Miyaji, Y. Uno, S. Kuroki, H. Itoh, Development of Environmental Control Method for Saffron (*Crocus sativus* L.) Production, Proceedings of The International Conference on Plant Factory (ICPF) 2014, 査読無、USBメモリー(頁数6頁)、2014

[学会発表] (計12件)

- ① N. Kajikawa, Y. Uno, S. Kuroki, Y. Yamashita, S. Miyagawa, Y. Hamaguchi, H. Itoh, Growth control for saffron (*Crocus sativus* L.) production in plant factory -Non-destructive measurement of starch content in corms of saffron by light scattering image -, The 8th International Symposium on Machinery and Mechatronics for

- Agriculture and Biosystems Engineering (ISMAB), 2016. 5. 23-24, TOKI MESSE (新潟県)
- ② 梶川奈緒、伊藤博通、宇野雄一、黒木信一郎、山下侑将、宮川沙千、濱口悠紀、植物工場におけるサフランの生育制御ー サフラン球茎のデンプン含量非破壊計測技術の開発ー、農業食料工学会関西支部第 135 回例会、2016. 3. 2、神戸大学 (兵庫県)
- ③ 宮川沙千、伊藤博通、宇野雄一、黒木信一郎、山下侑将、濱口悠紀、植物工場におけるサフランの温度と光による生育制御、農業環境工学関連 5 学会 2015 年合同大会、2015. 9. 17、岩手大学 (岩手県)
- ④ 山下侑将、伊藤博通、宇野雄一、黒木信一郎、宮川沙千、濱口悠紀、梶川奈緒、光拡散画像によるサフラン球茎のデンプン含量非破壊計測法の開発、農業環境工学関連 5 学会 2015 年合同大会、2015. 9. 17、岩手大学 (岩手県)
- ⑤ 宮川沙千、伊藤博通、宇野雄一、黒木信一郎、山下侑将、濱口悠紀、植物工場におけるサフランの生育制御、日本生物環境工学会 2015 年宮崎大会、2015. 9. 9、シーガイアコンベンションセンター (宮崎県)
- ⑥ 山下侑将、伊藤博通、宇野雄一、黒木信一郎、宮川沙千、濱口悠紀、梶川奈緒、光拡散画像計測法によるサフラン球茎のデンプン含量計測、日本生物環境工学会 2015 年宮崎大会、2015. 9. 9、シーガイアコンベンションセンター (宮崎県)
- ⑦ 濱口悠紀、伊藤博通、宇野雄一、黒木信一郎、宮川沙千、山下侑将、植物工場におけるサフランの生育制御ー光質の影響解析ー、農業食料工学会関西支部第 133 回例会、2015. 3. 3、京都大学 (京都府)
- ⑧ S. Miyagawa, D. Miyaji, Y. Uno, S. Kuroki, H. Itoh, Development of environmental control method for saffron (*Crocus sativus* L.) production, International Conference on Plant Factory (ICPF) 2014, 2014. 11. 11, Kyoto University (Kyoto, Japan)
- ⑨ 濱口悠紀、伊藤博通、宇野雄一、黒木信一郎、宮地大樹、宮川沙千、高品質サフラン生産のための環境調節、日本生物環境工学会 2014 年東京大会、2014. 9. 10、明治大学 (東京都)
- ⑩ 宮川沙千、伊藤博通、宇野雄一、黒木信一郎、宮地大樹、植物工場におけるサフランの栽培環境制御技術の開発、第 73 回 (平成 26 年度) 農業食料工学会年次大会、2014. 5. 18、琉球大学 (沖縄県)
- ⑪ 宮川沙千、伊藤博通、宇野雄一、黒木信一郎、宮地大樹、サフランの栽培環境制御技術の開発、農業食料工学会関西支部第 131 回例会、2014. 3. 4、大阪府立大学 (大阪府)

- ⑫ 宮地大樹、伊藤博通、宇野雄一、北秋広徳、宮川沙千、サフランの栽培環境制御技術の開発、日本生物環境工学会 2013 年高松大会、2013. 9. 3、香川大学 (香川県)

[産業財産権]

○出願状況 (計 2 件)

名称：サフランの栽培方法
 発明者：伊藤博通、宇野雄一
 権利者：関西鉄工株式会社
 種類：特許
 番号：特開 2015-50952
 出願年月日：平成 25 年 9 月 6 日
 国内外の別：国内

名称：サフランの栽培方法
 発明者：伊藤博通、宇野雄一
 権利者：国立大学法人神戸大学
 種類：特許
 番号：特開 2013-247936
 出願年月日：平成 24 年 6 月 4 日
 国内外の別：国内

[その他]

ホームページ等

<https://sites.google.com/site/kobelieb/research>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

伊藤 博通 (ITOH Hiromichi)
 神戸大学・大学院農学研究科・准教授
 研究者番号：00258063

(2) 研究分担者

宇野 雄一 (UNO Yuichi)
 神戸大学・大学院農学研究科・准教授
 研究者番号：90304120

(3) 研究分担者

黒木 信一郎 (KUROKI Shinichiro)
 神戸大学・大学院農学研究科・助教
 研究者番号：00420505