

平成 26 年 6 月 13 日現在

機関番号：15301

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23380019

研究課題名(和文) 間欠冷蔵処理がイチゴと花き種苗の花成反応に及ぼす影響

研究課題名(英文) Effect of intermittent low-temperature storage on flower induction of horticultural plants

研究代表者

吉田 裕一 (Yoshida, Yuichi)

岡山大学・その他の研究科・教授

研究者番号：00141474

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,300,000円、(間接経費) 4,290,000円

研究成果の概要(和文)：間欠冷蔵処理では冷蔵前後の自然条件下における光合成によってイチゴの炭水化物栄養が改善され、高温による抑制作用を打ち消すに十分な花芽分化促進効果が得られる。また、イチゴにおいても、花成誘導条件下では成長点で花器官を形成する遺伝子が機能する前に開花ホルモン遺伝子が機能することを明らかにした。さらに、トルコギキョウ、プリムラやトマトなどにおいても苗を間欠冷蔵処理することによって開花や成長が促進されることを示した。

研究成果の概要(英文)：Flower inductive effect of intermittent low-temperature storage enhanced by improved carbohydrate nutrition of strawberry plants achieved by active photosynthesis under the natural light. In strawberry, an FT homolog was expressed before floral specification genes. Intermittent low-temperature storage also enhanced flowering or vegetative growth in Eustoma, Primula and tomato.

研究分野：農学

科研費の分科・細目：農学・園芸造園学

キーワード：イチゴ 花芽分化 遺伝子発現 花き苗 高温障害 トマト

1. 研究開始当初の背景

「間欠冷蔵処理」は、簡便かつ低コストで実施可能なイチゴの花芽分化促進法として実用性があきらかにされつつあったが、その生理的な作用機作については全く不明であった。また、イチゴ以外の園芸作物についての適用の可能性についても明らかではなかった。そこで、園芸作物の発育調節技術として多面的な利用の可能性を拡大するため本研究に着手しようとしたものである。

2. 研究の目的

簡便かつ低コストで実施可能なイチゴの花芽分化促進法として顕著な効果が認められた「間欠冷蔵処理」がイチゴの栄養生理と花成関連遺伝子の発現に及ぼす影響について検討し、間欠的な低温処理の効果が発現する過程に関する技術理論の構築を図る。一方、トルコギキョウとパンジーでは、ロゼット打破やバーナリゼーションなどイチゴとは異なる目的で暗黒冷蔵処理が行われている。これらに替わる新たな低温処理法として「間欠冷蔵処理」の効果と好適処理条件について検討する。また、トマトでは抑制栽培で課題となっている着果節位上昇抑制効果について検討し、イチゴ以外の広範な園芸作物に適用可能な新規技術としての可能性を明らかにする。

3. 研究の方法

(1) イチゴの間欠冷蔵処理

空中採苗し、挿し苗育苗したイチゴ‘女峰’を用いて15°C3日冷蔵/3日自然の間欠冷蔵処理を行った。処理開始時期を変えて2~4サイクル行い、処理開始期前後の環境条件と処理効果の発現について解析した。また、間欠冷蔵処理中の炭水化物栄養状態の変化とともに非処理時の光条件が処理効果発現に及ぼす影響について調査した。

(2) イチゴの花成関連遺伝子発現

人工気象室にて、イチゴの開花を誘導する短日条件・冷涼条件、抑制する長日条件・温暖条件を組み合わせた処理を行った。葉および成長点において開花ホルモンや花器官形成遺伝子の挙動をRT-PCR法で解析した。

(3) 花き苗の間欠冷蔵処理

トルコギキョウ、プリムラ、パンジー、スターチス、ミニシクラメン、デルフィニウムについて3日から15日サイクルの間欠冷蔵処理を7・8月に行い、高温障害回避と低温処理効果の発現について調査した。

(4) トマトの間欠冷蔵処理

5・6・7月中旬に播種したトマト‘レディファースト’と‘ハウス桃太郎’を用いて10°C3日冷蔵/3日自然の間欠冷蔵処理を2~4サイクル行い、着果節位上昇抑制に対する効果について調査した。

4. 研究成果

(1) イチゴの間欠冷蔵処理

①3日/3日の2回処理区、3回処理区では、2011~2013年の3年間にわたって安定した効果が得られ、処理開始が遅い処理区ほど効果が高くなる傾向にあった。2012年8月22日処理開始の3回、4回処理区と8月28日処理開始の2回、3回処理区を比較すると、どちらも処理回数が少ない8月28日処理開始区の効果が高かった。また、8月22日処理開始3回処理区と4回処理区では後者の効果が高かったが、8月28日処理開始2回処理と3回処理ではほぼ同等の効果が得られた(図1A, B)。これらのことから、3日間の冷蔵前後に高温長日条件に遭遇する8月22日からの処理と、すでに自然条件が花成誘導に大きな作用を及ぼす9月9日からの処理は花芽分化を促進する効果が低く不安定であり、冷蔵中の呼吸消耗によって花芽分化を抑制する場合もあると考えられる。一方、2回処理の開始時期についてみると、気温が高かった2012年は8月22日処理開始区の効果が著しく劣ったが、8月25日以降に処理開始した場合には、3回処理と同等の高い効果が得られた。しかし、2012年と比較して8月20日~24日の日平均気温が2~5°C低かった2011年には8月22日処理開始でも比較的高い効果が得られた。以上の結果から、間欠冷蔵の処理開始を早め、非処理時の自然条件が花成抑制効果を持つ時期から多回数処理しても安定した

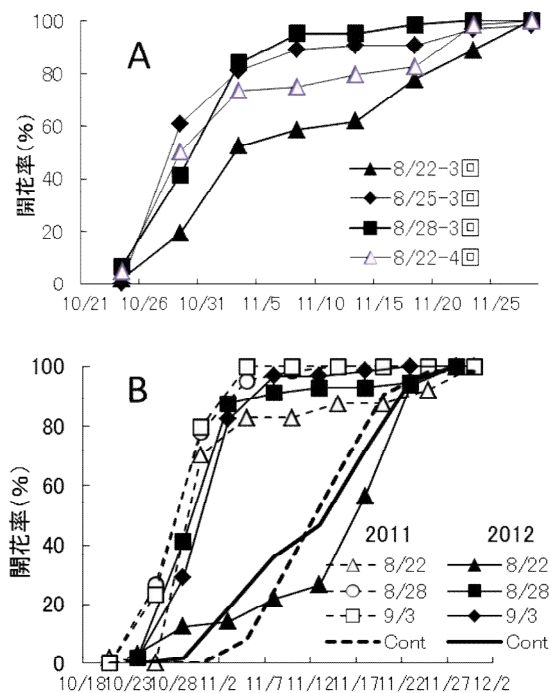


図1. 3日冷蔵/3日自然の間欠冷蔵処理開始日と処理回数が35穴トレイで育苗した‘女峰’の開花に及ぼす影響. A: 2012, B: 2回処理における効果の年次変動。

表1. 間欠冷蔵処理がイチゴ‘女峰’の炭水化物栄養に及ぼす影響

月/日 ²	処理	乾物重 (mg/plant)	非構造炭水化物濃度(%DW) ³		
			可溶性糖	デンプン	合計
展開葉 ⁴					
8/22	-	718 b ^w	4.96 b	0.19 b	5.14 b
9/6	無処理	994 a	6.41 a	0.75 a	7.16 a
	3日/3日	726 b	4.98 b	0.10 b	5.08 b
	15日連続	496 c	2.07 c	0.08 b	2.14 c
根					
8/22	-	387 c	11.72 a	0.12 ab	11.84 a
9/6	無処理	721 a	9.81 a	0.19 ab	9.99 a
	3日/3日	514 b	10.31 a	0.28 a	10.59 a
	15日連続	324 d	5.92 b	0.06 b	5.98 b

² 処理開始日と終了日.

³ 可溶性糖はフェノール-硫酸法、デンプンはヨウ素比色法で定量.

⁴ 最新完全展開葉2枚の葉柄を含む平均乾物重と葉身中炭水化物濃度.

^w 異なる文字間に5%水準で有意な差があることを示す (Tukey's HSD test).

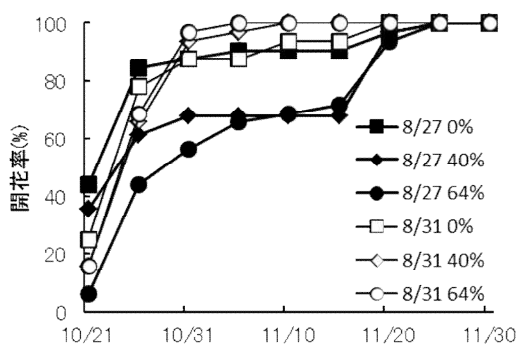


図2. 間欠冷蔵処理(4日/4日, 処理開始2011/8/27, 31)における非冷蔵時の遮光が‘女峰’の開花に及ぼす影響. 遮光率40%のネットを1または2枚水平に展開.

効果は得られないが, 自然日長が花成を抑制しなくなる8月の終わり頃から処理を開始すれば気温の高い年でも安定した効果を得ることができる. 処理回数については, 処理開始が遅ければ3回行う必要はなく, 3日/3日の2回処理でも十分な効果が期待できると考えられる.

②間欠冷蔵処理株の炭水化物濃度は無処理株と比較して低下するものの連続的な暗黒低温処理株と比較して高く維持された(表1). また, 自然条件下においた期間に天候不順が続くと遮光によって間欠冷蔵処理の効果が低下し(図2, 8/27処理開始), 晴天が続いた場合でも全天日射を80%遮光すると著しい低下が認められた(図3). また, 2013年は8月末から9月始めに台風15号と17号が相次いで接近・上陸し, 極端に日射量の少ない日が続いた. この間の平均気温は平年より低かったにもかかわらず, 8月25日処理開始区の処理効果が著しく劣った. これらのことから, 間欠冷蔵処理では, 自然条件下での光合成による炭水化物栄養向上が大きく寄与していることが明らかになった.

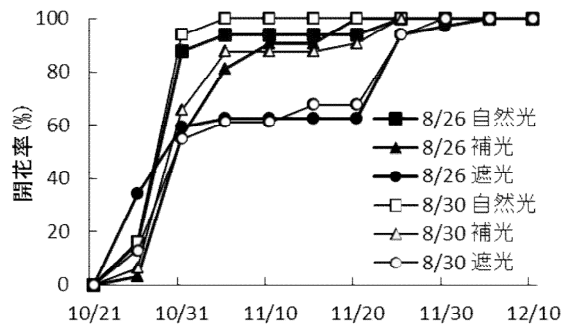


図3. 間欠冷蔵処理(4日/4日, 処理開始2011/8/26, 30)における非冷蔵時の遮光(遮光率80%ネットを全面に展開)と補光(7000lux, 8:00-18:00)が‘女峰’の開花に及ぼす影響.

(2) イチゴの花成関連遺伝子発現

①野生イチゴ(*Fragaria vesca*)のゲノムを利用し, 栽培イチゴ(*Fragaria x ananassa*)から単離した花成促進あるいは抑制遺伝子と考えられる遺伝子6種(FaFT1, FaFT2, FaFT3, FaTFL1, FaCEN1, FaCEN2)のうち, FaFT3が開花促進環境である短日あるいは冷涼条件の成長点で誘導された. FaFT3は花器官形成に必要なFaAP1よりも早い段階で成長点に蓄積しており, 花成開始の鍵となる遺伝子である可能性が高い(図2). FvFT2は野生イチゴでは蓄積が多く発現していることが知られている. 本研究では雄蕊形成期の成長点でもFaFT2は蓄積しておらず, 雄蕊形成以降に機能するものと考えられる.

FvFT1およびFvTFL1は野生イチゴでは長日あるいは温暖条件で花成抑制的に機能する. 本研究において, FaFT1およびFaTFL1は野生イチゴと同様の変動を示し, 機能的に類似していると考えられる. また, FaCEN1および2遺伝子は成長点, 葉いづれにおいても環境による変動を示さなかった.

②一般に, 花成調節において日長は葉で感知され, 温度は全身で感知される. 多くの植物で, FT様遺伝子は葉で日長を感知して誘導される. しかし, FaFT3は葉における日長応答を示さなかった. 短日条件の成長点におけるFaFT3誘導は葉からのシグナルによる二次的なものであると考えられる. また, 温度がFaFT3を誘導する機構についてもさらに検討が必要である.

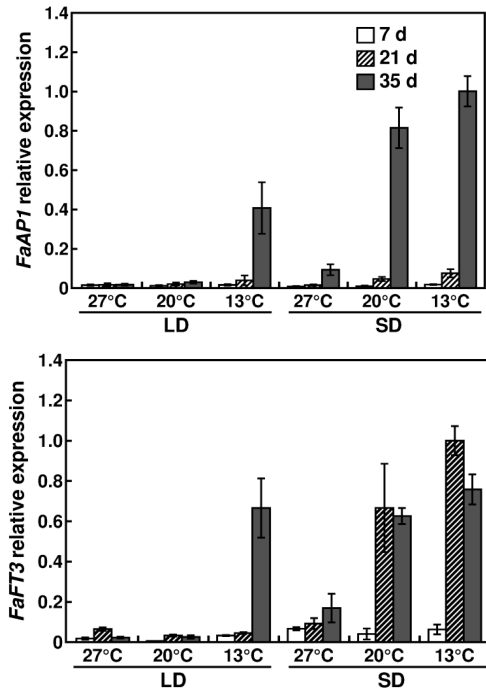


図4. 日長と気温が成長点における花成関連遺伝子発現に及ぼす影響

LD:16時間日長, SD:8時間日長

13, 20あるいは27°Cにて35日間生育させ, 途中, 7, 21, 35日目にサンプリングを行った.

(3) 花き苗の間欠冷蔵処理

今回間欠冷蔵処理を行った6種類の花き(トルコギキョウ, プリムラ, パンジー, スターチス, デルフィニウム, ミニシクラメン)においては, いずれも高温条件下における枯死率の低下と苗品質の向上効果が認められた.

トルコギキョウについては, ロゼット打破技術としては利用できないが, 種子冷蔵処理と組み合わせることにより, クーラー育苗に代わるロゼット回避技術として利用できることが明らかになった. また, プリムラとミニシクラメンでは, 10°C冷蔵6日/自然6日の5回処理で顕著な開花促進効果が得られた.

以上のことから, 花き苗への間欠冷蔵効果は, 夏期における長期間の高温ストレス回避, 暗黒冷蔵中の養分消耗に由来する枯死や生育抑制の回避, トルコギキョウなどにおけるロゼット打破・ロゼット回避の補完技術の3つに分類できると考えられる.

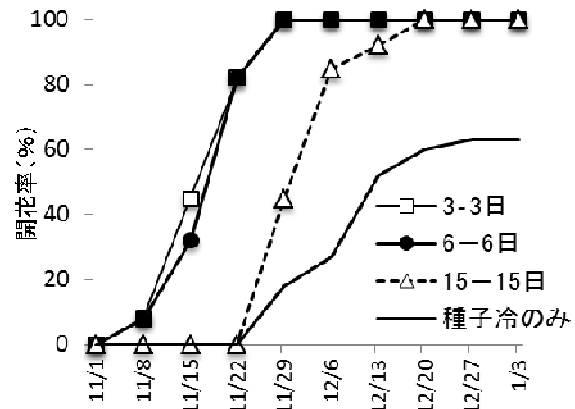


図5. 間欠冷蔵処理サイクルがトルコギキョウ‘ナンシー’の開花に及ぼす影響. 35日間10°Cで種子冷蔵した種子を7月1日播種. 10°Cで合計30日間冷蔵し, 9月2日に定植.



図6. 間欠冷蔵処理後のプリムラ‘イエローポニーシェード’の生育状況(鉢上げ15日後)

(4) トマトの間欠冷蔵処理

2011年度は7月中旬播種で10°C冷蔵3日/自然3日・4回処理により, 第1花房着生節位が無処理区より平均1.3節低下し, 間欠冷蔵処理によって着果節位を低下させることが可能であると確認された.

表2. トマト‘レディーファースト’の第1花房の着生に及ぼす間欠冷蔵処理(10°C, 3日/3日)の影響(2012年7月17日播種)

	第1花 開花日	第1花房 着生節位	着生節までの 高さ(cm)
無処理	9/15 a ²	15.0 b	57.9 c
2回処理	9/19 b	14.1 ab	49.8 ab
3回処理	9/22 b	13.8 a	45.8 a
4回処理	9/20 b	13.4 a	55.0 bc

²異なる文字間に5%水準で有意な差があることを示す (Tukey's HSD test)

2012年度には, 無処理では播種期が5, 6, 7月と遅くなるほど第1花房着生節位が上昇し, 特に‘レディーファースト’でその傾向が顕著であった. 間欠冷蔵処理により, ‘レディーファースト’の7月播種区, ‘ハウス桃太郎’の6月播種および7月播種区で着生

節位が1~2節低下した。しかし、5月播種区では、間欠冷蔵処理により逆に着生節位が上昇した。

第1花房着生節までの茎長は、7月播種株で高くなる傾向があり、特に‘レディーファースト’でその傾向が顕著であった。しかし、間欠冷蔵処理の効果は認められなかった。

花房当たり花数は、無処理では6、7月播種区で減少する傾向がみられた。間欠冷蔵処理により、‘レディーファースト’の6、7月播種区、‘ハウス桃太郎’の7月播種区で花房当たり花数が増加する傾向がみられた。

‘レディーファースト’の7月播種区での間欠処理開始時期・回数による影響については、処理開始時期を遅らせた2回の処理でも、花房着生節位低下効果がみられた。花房着生節位を低下させる効果は、処理回数が3、4回と増えるにつれて大きくなった。

以上の結果、高温期では間欠冷蔵処理により着花節位が低下することが示された。また花房当たり花数も、間欠冷蔵により増加する傾向がみられた。しかし、第1花開花時の着生節までの茎長については、間欠冷蔵の効果はみられず、開花が数日遅れるという結果となった。

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 2件)

① Yoshida, Y.: Strawberry production in Japan: History and current progress in cultivation technology and cultivars, *International Journal of Fruit Science*, 13, 103-113 (2013) [査読あり]
DOI:10.1080/15538362.2012.697027

② Yoshida, Y., Ozaki E., Murakami K. and Goto T.: Flower induction in June-bearing strawberry by intermittent low temperature storage. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 81, 343-349 (2012) [査読あり]
DOI: <http://dx.doi.org/10.2503/jjshs1.81.343>

[学会発表] (計 25件, うち招待講演 6件)

① 後藤丹十郎, 佐々木智志, 福島啓吾, 田中義行, 安場健一郎, 吉田裕一: 間欠冷蔵処理がトルコギキョウの生育および開花に及ぼす影響, 園芸学会平成 25 年度春季大会 (つくば市, 2014. 3. 30)

② 吉田裕一: 間欠冷蔵処理による促成イチゴの花芽分化促進, 「第 15 回日本イチゴフォーラム」園芸学会平成 25 年度春季大会小集会(招待講演). 東京農工大学. 2013. 3. 24

③ 稲角大地, 吉田裕一, 後藤丹十郎, 村上賢治: 非低温処理時の光条件がイチゴに対する間欠冷蔵処理の効果発現に及ぼす影響, 園芸学会平成 25 年度春季大会(東京都小金井市, 2013. 3. 23-24)

④ 稲角大地, 吉田裕一, 後藤丹十郎, 村上賢治: 入れ替え時刻と遮光がイチゴに対する間欠冷蔵処理の効果発現に及ぼす影響, 園芸学会平成 24 年度秋季大会 (福井県永平寺町, 2012. 9. 22-23)

⑤ 後藤丹十郎, 喜多遥香, 藤堂芹菜, 石倉聡: 間欠冷蔵処理が数種の花弁苗の生育および開花に及ぼす影響. 園芸学会平成 24 年度秋季大会 (福井県永平寺町, 2012. 9. 23)

⑥ 後藤丹十郎, 喜多遥香, 藤堂芹菜, 石倉聡: 低温貯蔵中の LED 照射および間欠冷蔵処理が数種の花弁苗の貯蔵後の生育および開花に及ぼす影響. 日本生物環境工学会 2012 年東京大会 (東京, 2012. 9. 7)

⑦ 吉田裕一, 尾崎英治: 間欠冷蔵処理による花成誘導中のイチゴにおける非構造炭水化物濃度の変化, 園芸学会平成 24 年度春季大会 (堺市, 2012. 3. 28-29)

⑧ 尾崎英治, 吉田裕一, 後藤丹十郎: 間欠冷蔵処理によるイチゴの花芽分化促進, 園芸学会平成 23 年度秋季大会苗生産研究小集会「高温下における苗生産の改善方法」(招待講演, 岡山大学, 2011. 9. 24)

[図書] (計 2件)

① 吉田裕一: 形態と生理・生態, 増殖と花芽分化 (基 p27-39)・花芽の発育と開花 (基 p41-48)・栄養成長と休眠 (基 p49-61)・果実の発育と品質 (基 p63-74), 農業技術体系野菜編 3 イチゴ(追録第 37 号), 農山漁村文化協会(東京), (2012)

② 吉田裕一: イチゴ栽培の基本技術, 高設栽培, 農業技術体系野菜編 3 イチゴ(追録第 37 号), 農山漁村文化協会(東京), 基 p143-168 (2012)

[その他]

① 吉田裕一ほか: 間欠冷蔵処理によるイチゴの花芽分化促進—処理技術の理論と実際—(間欠冷蔵処理マニュアル), 岡山大学リポトリ,

<http://ousar.lib.okayama-u.ac.jp/metadata/49365>

② 吉田裕一: 間欠冷蔵処理によるイチゴの花芽分化促進—クリスマス需要期の安定出荷に向けて, グリーンレポート, No. 531: 6-7 (2013)

③ 吉田裕一: 間欠冷蔵処理によるイチゴの花芽分化促進, 農業電化, 66(3): 2-7 (2013)

④ 吉田裕一: イチゴの花芽分化「間欠冷蔵」で十一月上旬に八割開花, 現代農業, 91(9): 172-175 (2012)

⑤ 山陽新聞, 2013 年 04 月 07 日, 「イチゴ苗花芽形成低コスト技術確立」

⑥ 日本農業新聞, 2011 年 07 月 03 日, 「イチゴ「間欠冷蔵」で早出し」(1面トップ)

6. 研究組織

(1)研究代表者

吉田 裕一 (YOSHIDA YUICHI)
岡山大学・大学院環境生命学研究科・教授
研究者番号：00141474

(2)研究分担者

後藤 丹十郎 (GOTO TANJURO)
岡山大学・大学院環境生命学研究科・教授
研究者番号：40195938

中野 善公 (NAKANO YOSHIHIRO)
(独)農業・食品産業技術総合研究機構・花
き研究所・研究員
研究者番号：50442819

村上 賢治 (MURAKAMI KENJI)
石川県立大学・生物資源環境学部・教授
研究者番号：40200266