

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 18 日現在

機関番号：21401

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K06021

研究課題名（和文）イチゴの休眠覚醒後に起こる花成の日長消失機構の生理生態学的アプローチ

研究課題名（英文）Physiological and ecological approaches to the mechanism of daylength loss of flower initiation after dormancy breaking in strawberry.

研究代表者

吉田 康徳 (Yoshida, Yasunori)

秋田県立大学・生物資源科学部・教授

研究者番号：40291851

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）：イチゴでは、休眠覚醒後に花成の日長反応消失のメカニズムを明らかにするため、休眠に関係する低温遭遇量を部位別の温度処理によって、葉、クラウンおよび根それぞれを異なる低温遭遇量にすることで、低温の感応部位、相互作用を明らかにした結果、感応部位はクラウンであることを確定させ、相互作用は、加温に関して、葉 > 根 > クラウンであったが、冷却に関しては、葉 > クラウン > 根であることを明らかにした。また、休眠に関連する植物成長調整物質処理した結果、ジベレリンでは、休眠打破したが、花芽分化を抑制し、その生合成阻害剤のピピフル処理は休眠打破を抑制する傾向が認められ、花芽分化を促進する傾向が認められた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

イチゴの低温感応部位に関しては、クラウン部と考えられていたが、明確にそれを示すデータは少なかった。本研究の結果から、クラウン部であることを明らかにした。また、イチゴの栽培では、休眠覚醒後の日長不感応期間は、寒冷地のイチゴ栽培では、大きな課題であったが、今回の成果は、クラウン部のみを加温することで、半休眠を維持することで、この課題を回避できる可能性を示すものである。そのため、これまで栽培できないとされた休眠覚醒に対する低温要求量の少ない品種でも、局所的な加温をクラウン部に実施することで、省コストで栽培できる可能性を示唆した。この結果は、寒冷地での新たな作型開発に貢献するものと考えている。

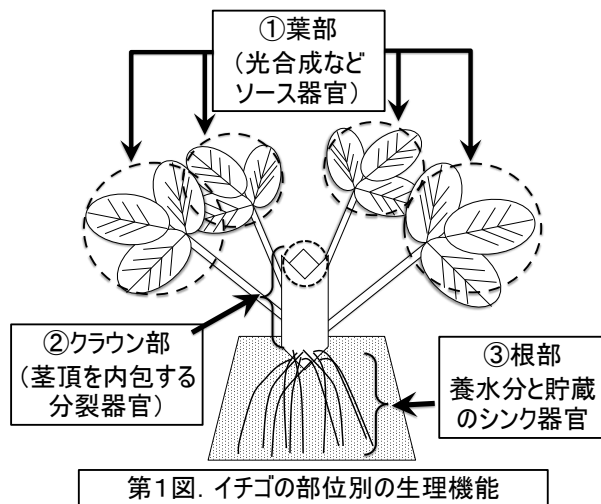
研究成果の概要（英文）：In strawberry, in order to clarify the mechanism of the loss of daylength response of flower development after dormancy awakening, we treated the temperatures of leaves, crown, and roots at different temperatures related to dormancy, and clarified the low-temperature sensitive sites and their interactions. The results showed that the crown was the most sensitive site to low temperature, and that the interaction was leaf, root, and crown for heating, but leaf, crown, root for cooling. In addition, treatment with plant growth regulators related to dormancy, gibberellin broke dormancy but inhibited flower bud differentiation, while the biosynthesis inhibitor showed a tendency to inhibit dormancy breaking and also flower bud differentiation.

研究分野：野菜園芸学

キーワード：イチゴ 休眠 低温遭遇量

### 1. 研究開始当初の背景

植物の花成生理機構は、環境条件で制御されていることが多い。モデル植物のシロイヌナズナ(春化植物で、長日で花成が起こる)では、概日リズムの光周性に関連する体内時計(茎頂、葉および維管束師部に存在し、維管束師部が優位)が十分に低温遭遇し、休眠覚醒することで、葉は長日を感じ、茎頂で花成を促すシグナル分子を産生する。このとき部位別(茎頂、葉および維管束師部)に体内時計が感応し、同調して低温で休眠覚醒することで、葉は日長感応でき、部位別の花成シグナルが茎頂に輸送され花成が起こる。しかし、低温・短日で花成が起こる一季成り性品種のイチゴでは、休眠覚醒後に花成の日長反応消失が起こるため、シロイヌナズナと真逆の反応である。この生理機構によって、寒冷地でのイチゴ栽培では、12~2月までの低温遭遇によって、3月頃に休眠覚醒しても2ヶ月経過した5月頃まで花成の日長反応消失によって、日長感応できず、花成は起こらない。もし、休眠覚醒した3月頃の比較的低温・短日下で、日長感応が可能で花成が起こるならば、端境期の6月に収穫が可能となる。しかし、日長反応消失期間によって、実際に日長感応できる5月では、高温・長日下であるため花成は起こらない。そのため、この生理機構は寒冷地のイチゴ栽培の妨げとなり、その回避方法として、休眠導入させないように電照により長日にするか、低温遭遇量を制限して半休眠状態にすることが行われている。この生理機構で鍵となるのは『休眠』であり、休眠状態は低温遭遇量が関係し、体内時計が低温遭遇の有無を量的に感応している。ただし、イチゴの場合、低温感応は、茎頂が含まれるクラウン部のみとされるが、それ以外の部位(葉と根)での感応は見落とされてきた。実際、休眠期(低温遭遇中)のイチゴは、完全に成長は停止しておらず、クラウン部の茎頂は、葉芽と花芽を分化し続け、葉部はソースとして光合成を行い、日長も感応している。根部もシンクとして同化産物を蓄積するため旺盛な成長を示す(第1図)。つまり、休眠状態を左右する低温遭遇は茎頂を含むクラウン部のみでなく、葉部および根部でも感応し、花成に対してそれぞれ異なる役割を担っていると考えられる。



第1図. イチゴの部位別の生理機能

このように、実際のフィールドで、様々な環境条件に長期間曝されているイチゴの花成は、モデル植物の分子生物学的に精度の高い知見でも説明できないボトルネックの状態が続いている。その解決には、この生理機構に関連した生理生態学的特性を明らかにする地道な研究が学術的に必要不可欠である。

### 2. 研究の目的

本研究では、休眠覚醒後に起こる花成の日長反応消失機構を生理生態学的にアプローチするため、鍵となる『休眠』に的を絞って部位別に異なる休眠状態の個体を作成し、成長動態を解明する。具体的には、イチゴの部位(葉、クラウンおよび根)別に局所的な加温または冷却によって、部位別に低温遭遇量を調節することで、部位別に異なる休眠状態を作成できることを活用して、温度感応部位の特定と成長動態を生理生態学的に検討した。また、休眠に関連する植物ホルモン処理による成長動態も生理生態学的に検討した。

### 3. 研究の方法

#### 実験1. 休眠導入後のイチゴにおける部位別の温度組み合わせが生育と収量に及ぼす影響。

目的: 部位別の温度処理に対する相互作用を明らかにするため、部位別に休眠打破または休眠状態の個体を作成して生育と収量に及ぼす影響を検討した。

材料: イチゴ一季成り性品種‘はるみ’を供試した。

方法: 2020年8月に採苗し、育苗後の10月30日に、無加温ビニルハウスの高設ベッドに株間20cmの2条植えで定植した。定植時に、すべて冷却(冷冷冷)、葉加温+クラウン冷却+根冷却(加冷冷)、葉冷却+クラウン加温+根冷却(冷加冷)、葉冷却+クラウン冷却+根加温(冷冷加)、葉加温+クラウン加温+根冷却(加加冷)、葉加温+クラウン冷却+根加温(加冷加)、葉冷却+クラウン加温+根加温(冷加加)、すべて加温(加加加)の8処理を設け、12月1日~4月24日まで加温と冷却の組み合わせ処理を実施した。クラウンと根加温は電熱線で、葉加温は農ポリを被覆したトンネルの内部に温風ヒーターを用いて15℃以下で加温した。クラウンと

根冷却は、5℃の冷水が通るホースをクラウンに密着または培地に埋設して実施した。調査は5℃以下の低温遭遇量を遭遇時間、生育および収量を計測した。各処理区4株を用いた。

### 実験2. 低温遭遇中のイチゴへの部位別温度処理と植物成長調整物質処理が生育と収量に及ぼす影響。

目的：低温に感応する部位の特定と休眠に関連する植物成長調整物質の影響を明らかにする。

材料：イチゴ一季成り性品種‘はるみ’を供試した。

方法：2021年8月に採苗し、育苗後の9月16日に、園芸培土を詰めた6号ポリポットに定植した。2022年1月10日に3℃の冷蔵庫に搬入して部位別の温度処理と植物成長調整物質処理を開始した。照明はLEDを用いて8時間明期、16時間暗期で補光した。部位別の温度処理は、15℃以下でクラウン（クラ加）と根部（根加）を加温した。植物成長調整物質は、ジベレリン A<sub>3</sub> 50ppm (GA)、ジベレリン生合成阻害剤（ビビフルフォロアブル 200倍、ビビフル）およびGAとジャスモネート液剤（200倍）の混合液（GA+PDJ）の3処理。対照は無加温および無処理とし、灌水は適時行った。3月31日に無加温ガラス室に移動して、5月上旬までホルモン処理を行い、それ以外は慣行に準じた栽培管理を行った。調査は、葉数、葉柄長、果実収量および果実数を調査した。各処理区4~6株を用いた。

### 実験3. 部位別温度処理と植物成長調整物質処理が生育と収量に及ぼす影響。

目的：部位別の温度処理で生育と収量に適する処理方法と植物成長調整物質処理の影響を明らかにする。

#### 実験3-I 部位別温度処理：

材料：イチゴの‘はるみ’を供試した。

方法：2022年11月24日に無加温ビニールハウスの高設ベッドに定植した。処理区は無加温区、根加温区(根加)、クラウン加温区(クラ加)および根+クラウン加温区(根クラ加)を設けた。加温は11月24日に開始し、電熱線をクラウンに密着したクラウン加温と培地に埋設した根加温とし、15℃以下で加温した。

#### 実験3-II 植物成長調整物質処理：

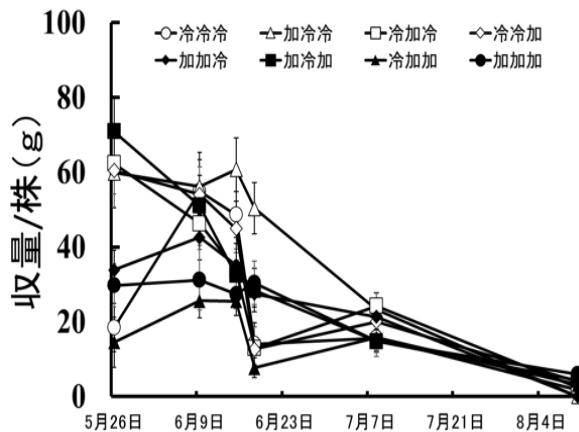
材料：イチゴの‘はるみ’と‘とちおとめ’を供試。

方法：休眠打破する低温遭遇量はそれぞれ1,200時間と200時間以上である。定植は実験3-Iと同様に行った。処理区は各品種で無処理区、ビビフル処理区（ビビ区）およびビビフル+GA処理区（ビビGA区）を設けた。2023年1~3月にビビ区は2週間おきにビビフルを処理し、ビビGA区はビビフル処理2回、GA処理2回の順に処理した。各処理区6株を用いて、5℃以下の低温遭遇量（実験3-Iのみ）、生育および収量を調査した。

## 4. 研究成果

実験1：5℃以下の低温遭遇量は、部位別温度処理によって、部位別に異なる遭遇時間に制御できたので、4月9日に部位別の温度処理の影響を見るため、休眠の指標である葉柄長を比較すると、冷却2ヶ所以上では、冷冷冷、加冷冷および冷加冷の順で短い傾向が認められ、加温2ヶ所以上では、加加冷、冷加加および加加加で同程度に短い傾向が認められた（データ省略）。果実は5月下旬~8月上旬まで収穫できたが、収量のピークは、加冷加、冷加冷、冷冷加および加冷冷区で5月26日であったが、加加冷、加加加、冷冷冷および冷加加区では、6月9~17日と遅かった（第2図）。果実重は、冷冷冷に対して、加冷冷と冷冷加は同程度であったが、冷加冷は5g以下と5~10gの果実重が大きい傾向が認められた（第3図）。一方、加加加に対して、加冷加は果実重が増加し、10~15g、15~20gおよび20~30gの規格が増加する傾向が認められた。収量は、加冷加の組み合わせが最適と考えられたが、規格外の果実重も多いのでクラウンの低温遭遇量を増加させると良いものと考えられた。

以上より、今後の検討は必要であるが、温度の組み合わせによる部位別の相互作用は、葉柄長では、加温に関して、葉≒根>クラウンであったが、冷却に関しては、葉≒クラウン>根であった。同様に、データで示していないが、果実数では、加温に関して、クラウン≒根>葉であったが、冷却に関してクラウン>根≒葉であることが示唆された。



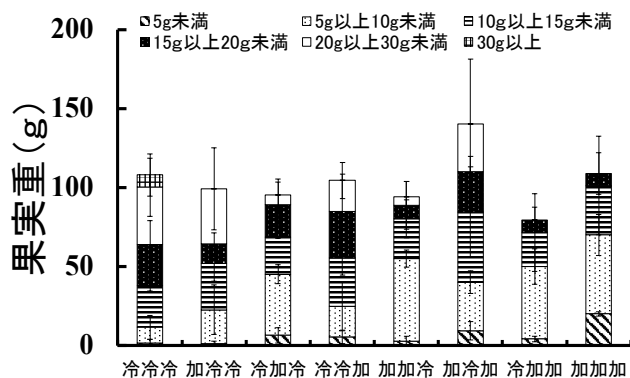
第2図. 部位別の温度の組み合わせが収量の推移に及ぼす影響。

図中の縦線は標準偏差を示す (n=4)。

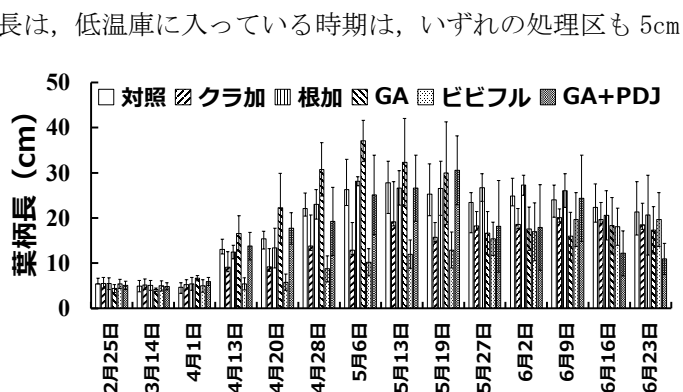
**実験 2：** 部位別温度処理の場合、5℃以下の低温遭遇量は、無加温の対照で、葉、クラウンおよび根がともに約 1,900hr 以上となった。部位別温度処理したクラ加では、葉と根が約 1,900hr 以上となったが、クラウンは平均 13℃程度なので 0hr であった。根加では、葉とクラウンは約 1,900hr 以上となったが、根は平均 13℃程度なので 0hr であった。供試した‘はるみ’は低温遭遇量が 1,200hr 以上で休眠打破されるので、無加温のイチゴと部位別温度処理で加温していない部位は、休眠打破する低温遭遇量であると考えられた。植物成長調整物質を処理した 3 区は、無加温のため、対照と同じ低温遭遇量で休眠打破した生理状態と考えられた。葉柄長は、低温庫に入っている時期は、いずれの処理区も 5cm 程度であったが（第 4 図）、無加温ガラス室への移動後は旺盛に伸張した。対照と比較して、GA は最も大きく、次いで根加と GA+PDJ ではほぼ同程度に大きかったが、クラ加では小さく、ビビフルは最も小さい傾向が認められた。部位別温度処理の結果は、今回、部位別の低温遭遇量を厳密に制御できたため、クラウン部のみの低温遭遇量が休眠打破に影響することが示された。また、その効果は、6 月中旬までほぼ 2 か月であったので、休眠打破後のイチゴが 2 か月ほど花成反応しない期間と同じであったことも示された。開花は、2 月 25 日の低温庫内から認められたが、ピークは 5 月中旬～下旬で 6 月下旬まで開花し続け（データ省略）、対照の 150 個程度に対して、根加、GA およびビビフルで 200 個前後と大きかったが、GA+PDJ とクラ加ではそれぞれ、130 と 100 個程度と小さい傾向が認められたので、根加と GA は開花を促進したと考えられたが、花芽分化を促進したのか花芽の成長を促進したかは今後検討が必要である。しかし、すべてが着果せず、実際の果実収量と果実数は、対照でそれぞれ 200g と 20 個程度と着果する割合が低かった（第 5 図）。一方、クラ加は、90g と 10 個程度と小さかったが、根加は対照と同程度であった。GA、ビビフルおよび GA+PDJ で、果実収量は、45、200 および 35g 程度と処理による違いは認められたが、果実数は 25 個前後と同程度であった。

以上より、部位別温度処理の結果、休眠打破に関連する低温遭遇量は、クラウン部であることが明確に示された。植物成長調整物質処理は、開花数は、GA で促進されたが、果実収量は GA と GA+PDJ よりビビフルが大きかったが、果実数は同程度であった。GA による開花数の増加のメカニズムを今後検討する必要がある。

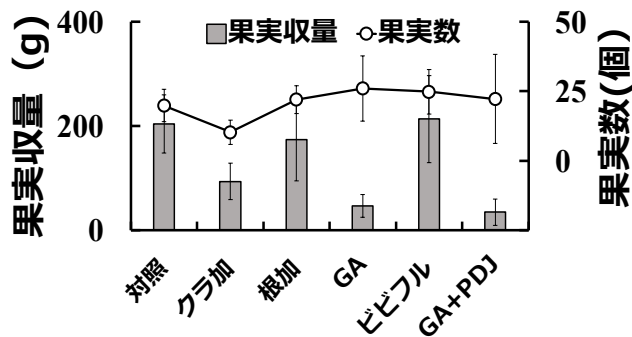
**実験 3. 実験 3-I：** 低温遭遇量はいずれの処理区でも部位別に異なる遭遇時間に制御でき、無加温区は休眠打破する 1,200 時間に達した。休眠の指標である葉柄長と葉幅は無加温区で大きく、クラ加区と根クラ加区で小さく、低温遭遇量の結果と一致した（第 1 表）。果実数は加温区で多く、果実重は無加温区で大きい傾向が認められたが、総収量はいずれの処理区でも同程度であった。



第3図. 部位別の温度の組み合わせが規格ごと収量に及ぼす影響。図中の縦線は標準偏差を示す(n=4)。



第4図. 部位別温度処理と植物成長調整物質が葉柄長に及ぼす影響。図中の縦線は標準偏差を示す (n=4~6)。



第5図. 部位別温度処置と植物成長調整物質が果実収量と果実数に及ぼす影響。図中の縦線は標準偏差を示す(n=4~6)。

実験Ⅱ：‘はるみ’では葉柄長と葉幅は無処理区とビビGA区で大きく、ビビ区で生育過多を抑制できた。果実数はビビ区とビビGA区で少なく、果実重はビビGA区で小さく、総収量は無処理区、ビビ区、ビビGA区の順で多かった。‘とちおとめ’の葉柄長は無処理区で大きく、ビビ区と

第1表 部位別温度処理と植物成長調整物質処理が生育と収量に及ぼす影響

処理区	品種	葉柄長 (mm) <sup>z</sup>	葉幅・縦 (mm)	果実数/株	果実重 (g)	総収量 (g)
無加温	はるみ	173.7	114.2	43.3	9.7	382.1
根加		124.0	85.7	61.0	8.0	437.6
クラ加		53.4	62.0	55.5	7.0	366.6
根クラ加		79.6	61.3	60.2	7.3	409.3
無処理	はるみ	173.7	114.2	43.3	9.7	382.1
ビビ		71.7	77.9	28.8	10.7	270.0
ビビGA		173.7	118.5	17.5	4.6	81.9
無処理	とちおとめ	204.3	118.5	11.8	7.3	78.6
ビビ		126.3	93.2	17.6	8.0	121.1
ビビGA		142.7	117.1	10.0	8.0	81.3

<sup>z</sup> 生育調査は4月20日実施。<sup>y</sup> Tukeyの多重検定により、同品種内の異なる英小文字間では5%水準で有意差あり。

ビビGA区で小さかった。葉幅は‘はるみ’と同様であった。果実数と果実重はいずれの処理区でも同程度で、総収量も同程度となった。

以上より、休眠状態の制御する低温カット栽培では、クラウン加温が適したが、本栽培では休眠状態を半休眠とし、果実肥大のための栄養成長促進も必要であるため、栄養成長を促進し、果実数を増加させる根加温は本栽培法に適する加温法と考えられた。植物成長調整物質処理による休眠制御では、両品種において、ビビフル処理は休眠打破を抑制する傾向にあったが、植物成長調整物質処理では増収しなかったため、GAの濃度を低く、ビビフルの濃度を高くして処理の効果を高めて再検討する必要がある。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 大原紅太・菅原和子・神田啓臣・今西弘幸・北本尚子・梅林利弘・吉田康徳
2. 発表標題 低温遭遇中のイチゴへの部位別温度処理と植物成長調整物質処理が生育と収量に及ぼす影響
3. 学会等名 園芸学会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 吉田康徳・進藤舞香・神田啓臣・今西弘幸・北本尚子・梅林利弘・大原紅太
2. 発表標題 休眠導入後のイチゴにおける部位別の温度組み合わせが生育と収量に及ぼす影響
3. 学会等名 園芸学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 吉田康徳・加賀谷菜広・神田啓臣・今西弘幸・北本尚子・林 智仁
2. 発表標題 局所加温を活用したイチゴの寒冷地向け半促成栽培に関する研究 部位別の温度処理がイチゴの生育と収量に及ぼす影響
3. 学会等名 令和3年度園芸学会春季大会
4. 発表年 2021年～2022年

1. 発表者名 Yoshida, Y., M. Sato, H. Kanda, H. Imanishi, N., and H. Takahashi
2. 発表標題 Effect of spot-heating on the growth of strawberry under semi-forcing culture in a cold region in Japan - The effect of cumulative chilling exposure extent on leaves, crown, and roots and on the growth and yield of strawberry 'Harumi' -
3. 学会等名 Asian Horticultural Conference (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 . Yoshida, M. Sato, H. Kanda, H. Imanishi, T. Hayashi, and H. Takahashi
2. 発表標題 Study on the spot-heating on the growth of strawberry under semi-forcing on a cold region in Japan - The effect of extent of cumulative chilling exposure on leaves, crown, and roots on the growth and yield in strawberry 'Harumi' -
3. 学会等名 The 3rd Asian Horticultural Congress 2020 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 吉田康徳・加賀谷菜広・神田啓臣・今西弘幸・北本尚子・林 智仁
2. 発表標題 局所加温を活用したイチゴの寒冷地向け販促製栽培に関する研究 一部分別の温度処理がイチゴの生育と収量に及びず影響-
3. 学会等名 園芸学会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔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
---------------------------	-----------------------	----

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