

令和 5 年 5 月 26 日現在

機関番号：12501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20K06012

研究課題名(和文) 植物工場でのパッションフルーツ果実の周年・多収生産に関する基礎的研究

研究課題名(英文) Study on the year-round and high yield fruit production of passionfruit in a plant factory

研究代表者

大川 克哉 (Ohkawa, Katsuya)

千葉大学・大学院園芸学研究院・講師

研究者番号：00312934

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：植物工場でのパッションフルーツの果実生産を目的に、花蕾発育、葉果比および炭酸ガス環境が着果や果実品質に及ぼす影響が調査された。パッションフルーツの花蕾発育は着果量に大きく影響され、葉果比が低下すると光合成産物や無機成分の供給が不足し発育が停止すると考えられた。また、パッションフルーツの適正葉果比は9であることが明らかとなった。炭酸ガス施用は新梢生育には影響しないが、花芽分化を促進し、着果数を増加させるとともに、果実肥大を促進した。これらのことは、パッションフルーツへの炭酸ガス施用は葉の光合成速度を高め、適正葉果比を低くすることにより、果実生産性を高める可能性があることを示している。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究により、パッションフルーツの花芽分化、花蕾発育と光合成産物や無機成分との関係、また適切な葉果比が明らかとなった。また、炭酸ガス環境や根圏および新梢の温度などの環境制御により、着果数や果実肥大促進効果のあることが明らかとなった。これらの知見を基に、太陽光利用型植物工場でのパッションフルーツ栽培における積極的な環境制御技術およびこれらを用いた高品質果実の多収生産技術の確立につなげることが可能と考えられる。

研究成果の概要(英文)：For the production of passionfruit in plant factory, flower bud development, number of leaves per fruit, and the effects of CO<sub>2</sub> condition on fruit set and fruit quality of passionfruit grown in soilless culture were examined. The flower bud development of passionfruit is affected by the amount of fruit set, and when the amount of fruit set increases, the supply of photosynthetic products and inorganic components is reduced and the development is stopped. I found that the optimum number of leaves per fruit was 9. Carbon dioxide application did not affect the growth of current shoots, but promoted flower bud differentiation, increased the number of fruit set, and promoted fruit enlargement. These results indicate that CO<sub>2</sub> application to passion fruit may increase fruit productivity by increasing the photosynthetic rate of leaves and lowering the optimal number of leaves per fruit.

研究分野：果樹園芸学

キーワード：パッションフルーツ 花芽分化 花蕾発育 光合成 炭酸ガス 根圏温度 果実肥大 着果数

## 1. 研究開始当初の背景

パッションフルーツは、新梢伸長にともなって各節の葉腋に花芽が順次分化し、花蕾発育、開花、結実する結果習性を示す。しかし花芽分化や花蕾発育は、気温や日長などの環境条件の影響を受け、短日条件下や25 (石畑, 1993)あるいは28 (Naveら, 2010)以上の高温条件下で阻害されることが報告されている。申請者らがこれまでに行った実験において、実際に春から秋にかけて養液栽培したパッションフルーツ新梢の着果状況を見ると、新梢中部に着果しない部分が生じ、果実の収穫は基部の果実から順次始まるため、果実を収穫できない期間が生じた。また、新梢中部で着果しなかったのは、花蕾発育が途中で停止し、花蕾が黄変・落下したためであった。一方、花を開花時に順次切除したところ、すべての節で花蕾の発育停止は見られず、正常な花の開花に至った。このことは、花蕾発育の停止は温度条件だけでなく、果実の存在にも大きく影響されることを示している。新梢生育期間中の無機成分吸収量を調べたところ、無機成分吸収量は2つの開花時期ともに開花～果実発育初期に急増した。パッションフルーツ果実は、開花後極めて旺盛な成長を示し、開花約2週間後には外観的に収穫時の果実とほぼ同等の大きさに達する。これらのことから、発育初期の果実は光合成産物や無機成分に対する強いシンク力を有すること、また新梢中部における花蕾発育の停止は、基部に着生した果実群のシンク力による一時的な無機成分や光合成産物の不足に起因する可能性が考えられる。しかし、花蕾の発育停止の要因について、果実のシンク力の変化およびそれらが光合成産物や無機成分の分配に及ぼす影響の観点から解明する研究例は皆無である。

新梢中部における花蕾発育の停止が無機成分や光合成産物の不足に起因するのであれば、新梢基部の各節に連続的に着果させるのではなく、数節の間隔を置いて、すなわち着生した果実を発育させるのに十分な葉を結実部位付近に確保したうえで順次着果させれば、花蕾発育が停止することなく、長期間にわたり安定した果実収穫を行える可能性が考えられる。そのためには、1つの果実を発育させるのに必要な葉枚数、すなわちパッションフルーツの適正葉果比を明らかにする必要がある。Kondoら(2011)はパッションフルーツの葉果比を4.8, 6.6および12.7に設定し、果実の肥大や品質に及ぼす影響を報告した。その結果から判断すると、適正葉果比は7から12の間にあると考えられる。しかし、実際栽培では果実品質および果実収量の両面のバランスを考えて、よりシビアに葉果比を設定する必要がある。そのため、Kondoら(2011)の結果を踏まえて、さらに適正葉果比の幅を狭めていく必要がある。また、葉果比の違いが花蕾の発育や葉の光合成能力に及ぼす影響も適正葉果比を決定するうえでは重要な知見となる。しかし、このような研究例や知見はほとんどない。

パッションフルーツに限らず、果実の生産性を高めるためには葉の光合成速度を増加させ、なるべく少ない葉枚数(低葉果比)で果実肥大と着果数を増加させていくことが必要となる。パッションフルーツ葉の光合成と環境条件との関係については、Shimadaら(2017)が気温との関係について、またShimada(2017)およびPiresら(2011)は光強度との関係について明らかにしている。しかし、気温や光とともに光合成速度に大きく影響を及ぼす炭酸ガス環境との関係についてはほとんどない。その中でも林ら(2015)は、パッションフルーツ個葉の光合成速度は高炭酸ガス環境(1000ppm)下では、光強度が高くなるほど上昇することを報告している。一方、植物体全体を特定の炭酸ガス環境下で栽培した場合の光合成産物の分配や転流の様相、特に物質生産面についての研究例は皆無である。

## 2. 研究の目的

太陽光利用型植物工場でのパッションフルーツの養液栽培による周年的な高品質果実の多収生産技術を確立するうえで、花蕾発育の安定化、適正葉果比の明確化、炭酸ガス施用による果実生産性の向上が大きな課題となる。そこで本研究では、花蕾発育を不安定にする要因を、光合成産物および無機成分の植物体各器官への分配から明らかにする。次に葉果比の違いが果実肥大と果実品質、花蕾発育、葉の光合成速度に及ぼす影響から適正葉果比を明らかにする。さらに、その知見をもとに栽培時期や着果方法の違いが花蕾発育、果実生産性および果実収穫期間に及ぼす影響を明らかにし、周年果実生産が可能かどうか検討する。さらに炭酸ガス施用が果実生産性に及ぼす影響を明らかにする。

## 3. 研究の方法

### (1) 花蕾の発育停止と着果、光合成産物および無機成分との関係

新梢基部に着果させた樹(着果区)と開花時に花をすべて除去する樹(無着果区)を用意し、新梢各節における花蕾の発育程度を調査した。さらに新梢を半分は基部と先端部に分け、それぞれの茎、葉、花蕾、果実の乾物重、含有無機成分および炭水化物含量を調査した。さらに受粉20日後までの果実の乾物重および果実中の無機成分含量の変化を調査した。なお、無機成分含量の分析にはICP発光分光分析装置を用いた。

(2) パッションフルーツにおける適正葉果比の明確化とそれに応じた着果方法の違いが花蕾発育、着果、果実品質および果実収量に及ぼす影響

葉果比を5, 7, 9, 11とかえた樹を育成し、葉果比の違いが果実品質(果実の大きさ、糖含量、酸含量)および果実の乾物重に及ぼす影響を調査し、適正葉果比を明らかにした。さらに、着果

方法の違い,すなわち8節間隔で果実を着果させた樹(葉果比8区)と果実を連続的に着果させた樹(葉果比6区)での花蕾発育着果,果実品質および果実収量に及ぼす影響について調査した。さらに,両区での培養液中の無機成分含量の変化について比較した。

#### (3) 作型の多様化による周年果実生産の検討

周年果実生産を行う方法として,多様な作型を組み合わせる方法が考えられる。そこで,4月,7月および9月に苗を定植して養液栽培し,新梢生育,着果,果実品質および果実収量について調査する。さらに7月に定植する作型では,根圏の温度の違い(26 および31)や新梢へのミスト散布による冷却処理が新梢生育,花芽分化および果実品質に及ぼす影響を調査した。

#### (4) 高炭酸ガス濃度環境が光合成,着果および果実品質に及ぼす影響

太陽光利用型植物工場内の栽培装置に9月上旬に苗を定植し,処理区にはCO<sub>2</sub>施用区(1500 ppm)と無処理区の2区を設けた。施設内の温度管理は11月11日以降,気温16以下で暖房を行い,30以上で換気を行った。収穫時には果実品質を調査した。さらに,人工光閉鎖型植物育成装置内に苗を定植し,炭酸ガス濃度1500 ppm区と400 ppm区を設け,花芽分化,花蕾発育および着果について調査した。

### 4. 研究成果

#### (1) 花蕾の発育停止と着果,光合成産物および無機成分との関係

着果区では結果枝の着果節位以降の節で着果しない柱頭直立花の発生や花蕾発育が停止し,黄変落下したのに対し,無着果区では,ほぼすべての節で花蕾は正常に発育し開花に至った。これらのことから着果の有無が着果節位より先端部の花蕾の発育に強く影響することが明らかとなった。また,これらの樹の新梢を基部と先端部それぞれの茎,葉および果実(花蕾,花)の乾物重および含有全炭素,全窒素および無機成分を調査したところ,茎,葉および果実の乾物重および全炭素含量の合計は,新梢基部では着果区で高く,新梢先端部では無着果区で高い傾向にあった。また,新梢基部では,乾物重,全炭素,全窒素およびカリウムの占める割合は果実で高かった。さらに,受粉20日後までの果実の乾物重および無機成分含量を調査したところ,受粉20日後にかけて乾物重および窒素およびカリウム含量は急増した。これらのことから,パッションフルーツにおいて果実は光合成産物および無機成分の極めて強いシンクであり,新梢基部に果実が多く着生すると,新梢先端部での花蕾発育に使われる光合成産物や無機成分が不足し,異常花の発生や花蕾発育の停止を誘導するものと考えられた。また,新梢全体の乾物重および全炭素含量は着果区で高かったことから,着果の有無が葉の光合成速度にも強く影響していると考えられた。

(2) パッションフルーツにおける適正葉果比の明確化とそれに応じた着果方法の違いが花蕾発育,着果,果実品質および果実収量に及ぼす影響

葉果比の違いが果実品質に及ぼす影響を調査したところ,葉果比を9および11とした場合では,葉果比を5および7にした場合と比べて,可溶性固形物含量や酸含量には違いがなかったが,果重および果径は有意に大きかった。このことから,大果生産を目的にした場合のパッションフルーツの適正葉果比は9前後であると考えられた。そこで,新梢において8節間隔で着果させた場合(葉果比8区)と開花した花すべてに受粉した場合(葉果比6区)とで,花蕾および花蕾発育,着果,果実品質および果実収量に及ぼす影響について調査したところ,葉果比6区では正常に開花した花数が少なく,着果しない柱頭直立花や正常花でも着果しない花数および花芽分化しない節数が多くなり,花発育や花芽分化に葉果比が強く影響することが明らかとなった。一方,果実重は葉果比8区で有意に大きくなったが,果実収量は着果数の多い葉果比6区で大きくなることが明らかとなった。また,この両区では培養液中無機成分の吸収パターンにも違いが認められ,新梢基部に集中的に着果した葉果比6区では,着果直後にCaおよびK吸収が急増し,これらは果実に分配されているものと推察された。

#### (3) 作型の多様化による周年果実生産の検討

新梢長の生育パターンは定植時期により違いがみられ,4月および9月定植区では一定の割合で伸長したが,7月定植区では8月上旬から9月上旬にかけて一時的に伸長が停止した。また,開花数は7月定植区で他区よりも少なく,着果数は4月定植区で多く,果実収量は4月定植区で多い傾向にあった。7月定植区において新梢生育が一時的に停止した要因をさぐるために根圏の温度を26 および31に設定して栽培したところ,31では新梢生育の一時的な停止が認められたが,26区では生育の停滞は認められず,旺盛な新梢生育を示し,葉面積が増加するとともに果実肥大が促進された。しかし,開花数および着果数には違いが認められなかった。また,根圏の温度を31 および26条件で挿し木を行ったところ,31区では26区と比べて発根量が少なく,吸収した無機成分含量も著しく少なかった。これらのことから,7月に定植した場合に認められる新梢伸長の一時的な停滞は根圏の温度上昇による発根および根の活性低下に起因すると考えられた。一方,根域を冷却しても花芽分化の促進にはいわず,花芽分化は気温の影響を強く受けていることが示唆された。そこで,新梢先端にミストを散布することによる気化熱により新梢の冷却を試みたところ,ミストをしない場合よりも新梢は約4程度温度が低下した。5分間隔でミスト散布を継続し結果,根域冷却のみを行った場合に比べて,開花数は約2倍に,着果数は1.5倍に増加した。これらの結果から夏季高温期での作型においても,新梢+根域の冷却処理により安定した果実生産ができる可能性が示唆された。

#### (4) 高炭酸ガス濃度環境が光合成,着果および果実品質に及ぼす影響

太陽光利用型植物工場内での冬季の作型において炭酸ガスを施用したところ,炭酸ガス施用

区では果実重が大きくなり、果実収量が増加する傾向が認められたが、しかし、可溶性固形物含量や酸含量には違いがみられなかった。また、各器官の乾物重について見ると、葉および茎では処理区間で違いはなかったが、果実では炭酸ガス施用区で増加した。このことから、冬期温室内での炭酸ガス施用は葉の光合成を活性化し、果実品大を促進するものと考えられた。

人工光閉鎖系環境下において随時高炭酸ガス濃度環境下（1500 ppm 区）で栽培した場合、新梢長、葉枚数および葉色には実験期間中をとおして 400 ppm 区との違いはなかった。一方、着花（果）は 400 ppm 区よりもより低位節から起こり、開花数は 1.6 倍、着果数は 1.4 倍多かった。これらのことから、パッションフルーツに対する高濃度炭酸ガス環境は新梢生育にはあまり影響しないが、着果数や果実肥大を促進し、高収量果実生産の手段となる可能性が示唆された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 保田光輝・大川克哉・齋藤隆徳・小原 均・近藤 悟
2. 発表標題 パッションフルーツの養液栽培に関する研究（第3報）葉果比の違いが開花，着果，果実品質および果実収量に及ぼす影響
3. 学会等名 園芸学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 仲間寛人・大川克哉・齋藤隆徳・小原 均・近藤 悟
2. 発表標題 パッションフルーツの養液栽培に関する研究（第4報）育苗時における高CO2条件が苗質，着果および果実品質に及ぼす影響
3. 学会等名 園芸学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 仲間寛人・大川克哉・勝又 凌平・齋藤隆徳・小原 均・近藤 悟
2. 発表標題 パッションフルーツの養液栽培に関する研究（第5報）夏期における根域と新梢の冷却処理が新梢生育，花芽形成および着果に及ぼす影響
3. 学会等名 園芸学会
4. 発表年 2023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
---------	---------