

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 14 日現在

機関番号：14301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2012

課題番号：23658201

研究課題名（和文） 空気振動受粉システムの開発

研究課題名（英文） Development of artificial pollination system using air vibration

研究代表者

清水 浩（SHIMIZU HIROSHI）

京都大学・大学院農学研究科・教授

研究者番号：50206207

研究成果の概要（和文）：

本研究ではハチによる受粉の代替技術として空気振動による人工授粉に関する基礎的な知見を得た。具体的にはトマト 4 品種およびイチゴ 2 品種について花器の固有振動数を求め、スピーカーからその固有振動数の空気振動を発生させ、受粉状態をマイクロスコープで確認するとともに、栽培を継続し着果率を計測した。その結果、今回の実験では従来より着果率が低かったものの空気振動を用いた受粉は十分可能であることが明らかとなった。

研究成果の概要（英文）：

A fundamental knowledge on an artificial pollination using air vibration as an alternative technology of bees pollination was obtained in this research. A natural frequency of a floral organ for four tomato and two strawberry varieties were experimentally evaluated. And then a speaker generated an air vibration of the natural frequencies for floral organs of tomato and strawberry. The pollination conditions were observed by a microscope, and rate of fruit-setting was measured after the pollination using the air vibration. As a result, it became clear that the new pollination method using the air vibration is sufficiently possible although the rate of fruit-setting was lower than the conventional bees pollination method.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,000,000	900,000	3,900,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：農業工学・農業環境工学

キーワード：受粉，空気振動，野菜

1. 研究開始当初の背景

野菜は果菜類・葉茎類・根菜類・菌茸類に大別される。このうち果菜類は果実または種実を可食部とするものをいい、これらは受精可能時期に花器で受粉が成立することによって果実・種実を結ぶことができる。

このうち、イチゴとトマトは、国内生産量がそれぞれ 17.75 万 t，69.07 万 t の果菜類の主要品目である（FAO 生産統計，2010）。

日本におけるイチゴの本格的な栽培は‘福羽’の作出を契機として 1900 年代に入って定着した。現在、その作型は促成栽培・半促成

栽培・露地栽培・抑制裁培の4つに分類され、露地栽培を除く3作型はビニルハウスなどの施設内で行われている。外界から仕切られたビニルハウス内でのイチゴ栽培において、ミツバチをはじめとする訪花昆虫を利用する栽培方法が広く浸透した。なお、導入するミツバチは、イチゴ農家が養蜂家と賃貸借契約を結び、いわゆる「貸し蜂」として利用する方法が一般的である。トマトの花の花粉媒介は風媒が主で、イチゴよりも容易に受粉し着果する。しかし、ビニルハウス等を利用した周年栽培が広まっており、施設内では風による動揺は少ない。そのため、媒介昆虫の導入が一般的で、イチゴと同様に媒介昆虫のコンディションに左右される。

しかし、近年養蜂場や農家のミツバチが一夜にして大量に失踪する現象（蜂群崩壊症候群，CCD）が相次ぎ、国内外で深刻な問題となっている。ミツバチ不足により、イチゴの不受精による無肥大果や奇形果の発生が増え、品質低下や減収を招いたため、花粉媒介をミツバチに頼るイチゴ農家に打撃を与えた。この現象について、疫病や農薬、電磁波、栄養不足、ストレスなど、さまざまな要因が挙げられているものの、未だ解明に至っていない。このような背景から、商品の安定生産のための受粉方法の開発が求められている。

2. 研究の目的

本研究は、空気振動という物理的刺激を利用した受粉手法および装置の開発のために、トマトとイチゴの2品目について受粉に適した振動条件を実験的に定量し、その振動での受粉および着果への効果の検証を目的とする。

3. 研究の方法

本研究で振動系となる植物体は、複雑な構造で個体差があるため、正確に振動解析を行うのは困難であり、簡単のために、次のように

考えた。

平井らの研究において行われた30, 300, 3k, 10 kHzの加振実験のうち、30 Hzにおいて葉身の振動量の差に関して対照区との差が大きくなったと報告されていることから、試験的に1~100 Hzまで周波数を変えながら振動を与えたところ、この離層を支点に振動する様子が観察された。離層とは、トマトの花柄の中ほどにある環状凹部であり、収穫時の果実はここで果房から乖離する。なお、後続の花は自身より先に着生した花の花柄から側生していく。花房で若い花柄ほど柔軟であるが、受粉後、次第に果重を支えるため花柄の強度を増していく。また、トマトの生産現場では、主茎は支柱に固定される。そこで、主茎や花房の中心を通る花柄はほぼ固定されたものとして、離層より先の花柄を振動のみに着目し、

周波数応答 = (出力: 花器の振動振幅)

/ (入力: 加振機が出力する振動振幅)

の振幅比とする。そして、入力を揃えた時に出力が最大となる周波数を本研究での共振周波数とした。

一方、イチゴはトマトのような離層を持たない。花柄は始め上向きに伸長し結実の重みで下向く。各花器が蕾の時、それぞれを支持する花柄は短い。開花までに分岐点からある程度伸長する。今回は、花柄の分岐点を支点とした花器の動揺を意図した。

トマト・イチゴの各花器については、両者とも結実により重量を増すため、同一花房の花器に加振しても果実が徒に共振する虞はないと思われる。

4. 研究成果

図1にトゥインクルの花器の振動振幅の計測結果を示す。5 Hzで花房および花器の揺れが小さいことが目視で明らかであったが、主茎を中心とした植物全体の振動によって振

幅が増したため、対象の花房の近くで固定しこれを抑制した。このグラフにおいて平均で表されている振幅は、リトルサマーキッスについても 30 Hz で最大となったが、個体差によるばらつきが少なからずあった。そこで、横軸は周波数のまま、縦軸で「その周波数において最大振幅となる花器がいくつあったか」を表すヒストグラムを作成した(図2)。

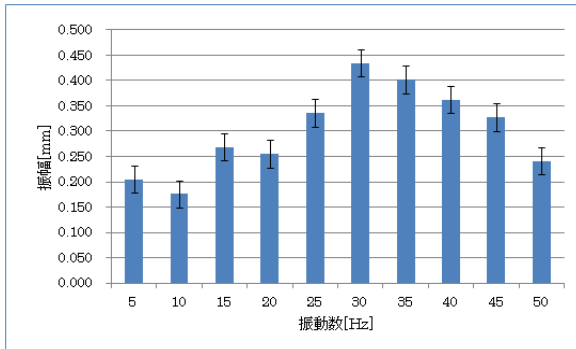


図1 トウインクル花器の振動振幅

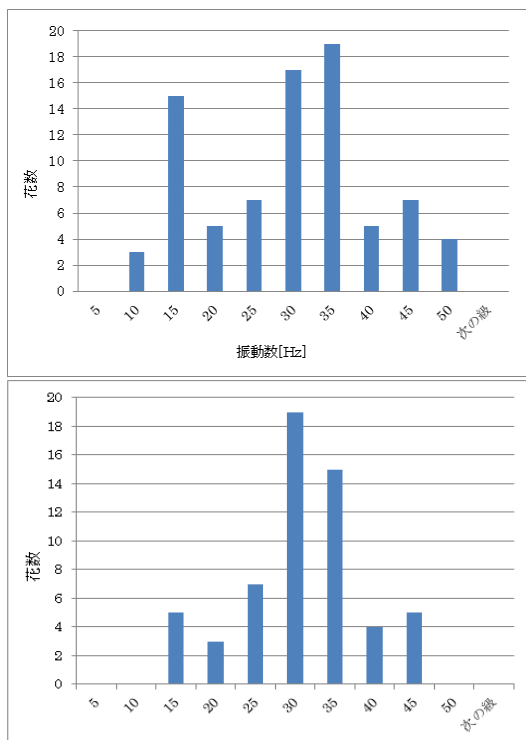


図2 周波数ごとの最大振幅を得た頻度
(上: トウインクル, 下: ペペ)

このグラフでは、ある花の振幅が 25 Hz で最大になったら 25 Hz に 1 カウント、また別の

花器について 30 Hz で振幅が最大になれば 30 Hz に 1 カウント…を計上している。また、非接触振動の実験では CF 千果およびペペを供試しているため、この 2 品種についても実験を行ったところ

先の 2 品種と同様 30 -35Hz でピークとなった。

(1) トマト花器の非接触振動

非接触振動による花器の振幅計測の結果と音圧レベルの測定結果を対応させて図3を得た。これらの縦軸は対数軸をとっていて、プロットした各点の振幅は平均値である。

また、後述の考察に基づき、30 Hz を共振周波数として振動を受粉適期の花器に与え、受粉への効果を検証した。トマトの雌ずいは約筒に囲まれ、開花時に伸長する習性をもつため、受粉の前後に柱頭を観察して比較することは困難である。そこで、着果を受粉成功の基準として捉え、着果率を受粉の成功率としたところ表1を得た。

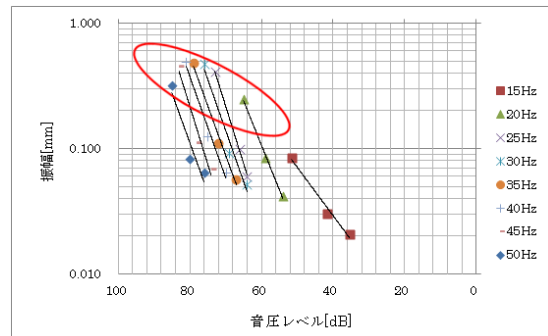


図3 音圧レベルと振幅の関係(トマト)

表1 空気振動が着果率に与える効果

	振動あり(%)	振動なし(%)
ペペ	71.1 (45)	35.0 (60)
CF千果	69.2 (39)	40.0 (40)

(2) イチゴ花器の非接触振動

イチゴの非接触振動による振幅計測の結果を図4に示す。これは、スピーカからの距離を5cmに固定し、周波数ごとの振幅の平均値を比較したグラフである。そのため、前節と同様に後述の考察に基づいて周波数を30Hzに絞り、イチゴの受粉効果を調べた。

まず、受粉の成否を確かめるため、振動を与える前後にマイクロスコープで柱頭を230倍率で撮影した。図5はその一例で、花粉粒の付着が認められる

また、イチゴは1つの花床上に複数の雌ずいを有し、正常果として発達するためにはこれらが均一に受粉することが必要であるため、果実の形状評価も行うことで、非接触振動の効果を調べた。判断基準を表2、結果を表3に示す。

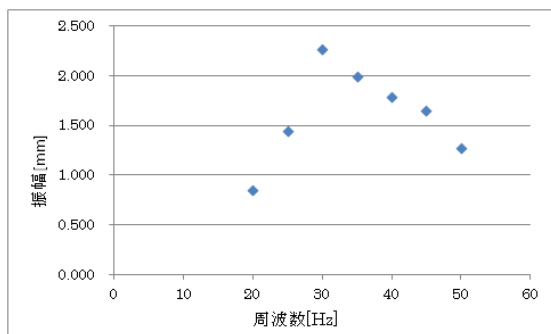


図4 スピーカ - 花器間5cmでの加振による振幅比較



図5 空気振動前後の柱頭の比較

表2 イチゴ果実の奇形果度の判定基準

評価指数 (奇形果度)	判定基準
0	健全果, 花床基部の種子がほとんど正常に発育しているもの
1	不稔部分少, 花床基部の種子が1~3割程度不稔となり, 花床基部の肥大が若干劣るもの
2	不稔部分中, 花床基部の種子が3分の1程度不稔となっているもの
3	不稔部分多, 花床基部の種子が2分の1程度不稔となっているもの
4	花床未発達の不受精果

表3 振動条件ごとの評価指数分布

振動条件	0 (健全)	1	2	3	4 (不稔)
(a)30Hz	4	10	13	4	15
(b)30Hz (close)	10	15	7	3	7
(c)振動なし	3	9	9	11	46

トマトの接触振動の実験で、同程度の大きさの品種の花器について振幅がピークとなる共振周波数は等しく、今回の実験では30Hzにおいて大きな振幅をもたらす傾向が現れた。しかし、振動の負荷が原因とみられる花器の離脱が散見された他、着果率は実際のハチを利用した商業栽培における着果率を下回った。

非接触振動の実験結果を示した図5のデータについて、入力→音圧レベル、出力→振幅の周波数応答として比較すると、周波数が小さいほど振幅が大きくなるという前章とは異なる傾向を示した。そこで、スピーカから5cmの距離で計測した振幅(赤い楕円で囲まれた部分)を比較すると、30~40Hz辺りを中心に高くなっている。非接触で距離において加振するにあたり、波長が長く回折しやすい低周波音よりある程度高い周波数の方が空気振動は効率よく伝わると考えられる。また、50Hzでは音圧レベルが他の周波数よりも高いにもかかわらず振幅が落ち込んでいることから、次章での実験は30~40Hzでの空気振動が妥当と考えた。

イチゴの非接触振動については、加振後に新たな花粉の付着(受粉)がしばしば観察され、表2の結果からも加振によって受粉が促されていることが伺われた、しかし、同一花床上でも場所によってむらがあり、イチゴ果実の健全な肥大に必要な条件が整わなかった。また、供試したイチゴ(プリシラ)は、個体によって(開花後の経過時間等ステージの違いによる可能性も考えられる)柱頭の色

の濃淡差があり，本研究では画像処理は叶わなかったが，花粉の付着量を定量化できれば，加振による花粉付着量と果実形状の相関性が確かめることが可能と考えられる．

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1件)

小林徳香，振動受粉装置の開発 -果菜類の固有振動数の特定および受粉の成否の判定-，農業機械学会関西支部報 Vol. 113:28-29, 2013. (査読なし)

〔学会発表〕(計1件)

小林徳香，清水 浩，中嶋 洋，宮坂寿郎，大土井克明，振動受粉装置の開発 -非接触振動の着果率への効果-，農業機械学会関西支部 128 回例会，2012 年 8 月 11 日～12 日，鳥取大学（鳥取県）

〔図書〕(計0件)

なし

〔産業財産権〕

○出願状況 (計0件)

なし

○取得状況 (計0件)

なし

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

清水 浩 (SHIMIZU HIROSHI)

研究者番号：50206207

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし