

令和 6 年 6 月 6 日現在

機関番号：13701

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K21308

研究課題名（和文）わずかな傾きがイネの受粉を不安定にし、高温不稔を助長する仕組みを画像で解明する

研究課題名（英文）Mechanism of destabilization of pollination and fertility of rice by inclination of panicle under high temperature condition

研究代表者

松井 勤（MATSUI, Tsutomu）

岐阜大学・応用生物科学部・教授

研究者番号：70238939

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,800,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、まず、モデル実験により、イネの穂が傾くことにより受粉が不安定になり稔実率が低下することを、群落を用いたモデル実験により実証した。次いで海外の高温水田において穂の傾きが、受粉の安定性並びに稔実にどのような影響を及ぼすかを解析し、穂が傾いていることが高温条件下での受粉の不安定化を助長し不稔発生につながっていることを示した。最後に、市販のデジタルカメラを利用し、2方向から開花を撮影し、花器官の位置関係を立体的に把握する手法を確立した。穂が傾くことによって受粉が不安定になるのは柱頭から葯の裂開口への鉛直角が大きくなるためと考えられた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

開花時に穂が直立していることが安定した受粉、高温耐性のために重要であることが明らかにされた。開花時に直立した穂が安定した受粉、高温耐性のための育種目標となることを示している。現在、海外では、多収のために極端に大きな穂や大きな枝梗を持つ品種が育種されているが、そういったイネでは開花時に穂や一次枝梗が傾きやすく、受粉が不安定になったり高温耐性が低下したりする可能性がある。

研究成果の概要（英文）：In this study, first, by the model experiment, we verified that inclination of rice panicle makes the pollination and floret fertility unstable even in the community. Next, we analyzed how panicle inclination affects pollination stability and fertility in overseas high-temperature paddy fields and showed that panicle inclination promoted the destabilization of pollination under high-temperature conditions and leads to floret sterility. Finally, using a commercially available digital camera, a technique was established to capture flowering from two directions and to grasp the positional relationship of floral organs in three dimensions. The instability of pollination due to the inclination of the panicle may be due to the increase in the vertical angle from the stigma to the anther dehiscence.

研究分野：作物学

キーワード：イネ 受粉 穂の傾き 安定性 不稔

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

温暖化によりコメの生産が不安定となる主な要因の一つはイネの高温不稔の発生頻度の増加である。イネの高温不稔耐性については、国際的にも多くの研究者が関心もち、分子生物学的なアプローチも試みられているが、これまでに実用的な成果は得られていない。

応募者は、さまざまな研究によっても実用的な成果に至らないのは、研究の方向が的を射ていないからではないかと考え、国内外の高温水田や制御環境下でイネの開花受粉をつぶさに観察し、葯の裂開、穂の高さ、穂の傾きなど、分子生物学などで行われている定法による研究では気づきにくい品種特性が高温耐性を左右していることを発見した。

30度程度のわずかな穂の傾きが受粉の安定性や稔実、高温耐性に大きく影響する現象は応募者の一連の研究の中で最も新しい発見である。既にポットで育てたイネを用いた簡単なモデル実験により、穂の傾斜が受粉や高温不稔の発生に及ぼす影響を確認しており、再現性に問題はない。さらに、最近の実験では、穂の傾きが受粉に及ぼす影響には葯の裂開特性の品種間差異がかかわっていることが明らかになってきた。

穂の傾きと受粉にかかわる一連の発見を踏まえ、葯と柱頭との位置関係、葯からの花粉放出のタイミングのわずかな違いが受粉の安定性にかかわっていることを実証的に示すことが多くの関連の基礎・応用研究の出発点として重要であるとの考えに至った。

### 2. 研究の目的

地球の温暖化により、近い将来、世界各地でコメの生産が不安定となる可能性がある。世界の人口の半分はイネを重要なカロリー源としており、温暖化条件下におけるコメの安定供給は作物生産科学の重要な課題である。

温暖化によりコメの生産が不安定となる主な要因の一つは高温不稔の発生頻度の増加である。イネの高温不稔耐性については、国際的にも多くの研究者が関心をもち、分子生物学的なアプローチも試みられているが、これまでのところ実用的な成果は少ない。応募者は、これまでに制御環境や国内外の水田での高温条件下でイネの受粉過程を観察し、葯の裂開の大きさの違い、群落内の穂の高さの違いがイネの受粉の安定性と高温に対する稔実の耐性にかかわっていることを明らかにしてきた。

新たに穂の傾きが受粉の安定性と稔実に大きな影響を与えることを発見した。これは、葯と柱頭の位置関係や葯からの花粉放出のタイミングのわずかな違いが受粉の安定性に強く影響することを示唆している。本研究の目的は、圃場条件や高温条件において、穂の傾斜がどのようにしてイネの受粉・受精を不安定にするのか、その仕組みを実証的に示すことである。

### 3. 研究の方法

#### 2020年度

##### 実験1

ポット栽培したイネに種々の傾斜処理を与え、受粉の様子を観察した。イネの受粉に影響が現れる傾斜角度を調べた。

##### 実験2

ポット栽培したイネをイネ群落に持ち込み、30度、0度の傾斜処理を与え、群落内での高さや傾斜が受粉と稔実に及ぼす影響を調査した。

#### 2021年度

##### 実験1

前年度までの実験により群落内においても穂の傾きが受粉を不安定にすることで稔実を低下させることが明らかとなった。そこで2021年度は、高温条件下で不稔が発生している水田での受粉、稔実、穂の傾きの関係を検討し、高温不稔の発生に及ぼす穂の傾きの影響を明らかにしようとした。実験データは中国湖北省荊州市長江大学の水田圃場で収集したものをを用いた。実験は2015年から2017年に行われた。55m×18mの約1000m<sup>2</sup>の水田を実験に用いた。

## 実験2

岐阜県の水稲奨励品種8品種を実験に供試した。ポット栽培した開花期のイネに日最高気温35, 37.5, 40の高温処理を3日間与え、受粉、稔実を観察した。

## 2023年度

ポット栽培した開花時の様子が大きく異なる2つの品種‘あきたこまち’と‘IR72’に開花期に傾斜処理を施し、デジタルカメラを用いて開花の様子を観察した。開花直後からイネの穎花を水平・鉛直の2方向から撮影した。撮影後、アクリル絵の具で穎花に標識を施しサンプリングし、受粉の様子を観察した。撮影した画像から、開花初期の葯と柱頭について、ImageJを用いて、3次元座標を求めた。葯と柱頭までの最短距離や平均鉛直角度などを求め、受粉の安定性への影響を評価した。

## 4. 研究成果

### 2020年度

高温水田におけるイネの受粉と稔実の観察から、稲穂の傾きはイネの稔実の高温耐性に大きな影響を与えている可能性があると考えていた。そこで、まず、どの程度の傾きがイネの受粉に影響を与えるかを明らかにするために、ポットに栽培した開花期のイネに、0°、15°、30°、45°の傾きの処理を与え、柱頭に付着する花粉数及び柱頭上で発芽する花粉の数、および葯の裂開に与える影響を調べた。0°から45°の範囲で、傾きが大きくなるほど柱頭に付着した花粉の数が20粒未満の穎花の割合(TP20)および柱頭上で発芽した花粉の数が10粒未満の穎花の割合(GP10)が増加したが、葯の裂開には影響を及ぼさなかった。傾きが大きくなるほど柱頭上で花粉の発芽率も低下したが、傾くにしたがってGP10が増加する主な原因はTP20が増加したためであった。30°の傾きはTP20を大きく増加させた。イネの受精には、柱頭に10粒以上の発芽花粉が必要とされており、30°の傾きは大きく稔実率を低下させるものと推察された。

この実験結果に基づき、群落内の穂の位置と穂の傾きがイネの受粉と稔実に与える影響を調査した。ポット栽培した開花期のイネを穂の高さが群落上、群落表層、群落内になるように設置し、傾けない区、30°傾ける区を設けた。いずれの高さにおいても、30°傾けることでTP20、GP10は増加した。不稔率はGP10と相関し(図5)、GP10はTP20と相関した(図6)。以上の結果から、30°の穂の傾きは実際の群落環境でも受粉を不安定にすることで稔実を低下させると考えられた。このことから、直立した穂は受粉の安定性からみて重要な栽培・育種目標であると考えられた。

以上より、群落内でも穂が傾くことにより受粉は不安定になり、群落内での穂の位置は傾きによる受粉の不安定化に大きな影響を及ぼさないと考えられた。

### 2021年度

1. 2020年度までに、ポットを用いたモデル実験の結果から、穂の傾きがイネの受粉と稔実に対し実用レベルで負の影響を与えることが明らかとなった。そこで、本年度は、開花・受粉の観察に加えて、これまでに海外の高温不稔が頻発する水田において様々な品種の受粉の安定性と不稔の安定性を検討した実験の結果について、穂の傾きが受粉の安定性に与える影響をPath解

析によって検討した。中国においてコアコレクションを用いて行った実験の解析からは、穂の傾きが、受粉の安定性（柱頭に付着した花粉の数が10粒以上の穎花の割合）を通じて高温条件下におけるイネの稔実にネガティブな影響を与えることが示された。一方、フィリピンにおいて現行の生産者に人気の高い品種や普及が期待されている品種を使った実験の解析を行った結果からは、穂の傾きが受粉や稔実に与えた影響は有意ではなかった。フィリピンで人気の高い現行の品種はすべて短稈で、開花時の穂の傾きの変異が極めて小さいことが有意な影響が検出されなかった原因の一つであると考えられた。

2. 2020年度までのデジタルマイクロスコープ等を用いた観察から、葯基部の裂開の角度には品種間差異があることが明らかになった、そこで岐阜県奨励品種について葯基部の裂開の角度と開花時の高温耐性との関係を検討したが、有意な関係は認められなかった。このことから、穂の傾きと受粉の安定性との関係に裂開口の角度は強くは関与していないと考えられた。

### **2022年度**

2022年度は、傾斜処理による受粉の不安定化の原因をデジタルマイクロスコープとデジタルカメラによる撮影で明らかにしようとした。デジタルマイクロスコープを使用した3D撮影では、架台の強度に問題があることが明らかとなった。デジタルカメラの撮影は新型コロナの影響で実現できなかった。

### **2023年度**

2023年度は、これまでの実験に基づき、デジタルカメラでの撮影によって傾斜が受粉の安定性に与える仕組みを明らかにすることに目的を絞った。市販のデジタルカメラとマクロレンズを組み合わせ、鉛直、水平の二方向からあきたこまちおよびIR72の開花を撮影し、開花時の葯、柱頭の位置関係と受粉の安定性との関係を検討した。その結果、受粉の安定性は柱頭と葯の裂開口とのなす鉛直からの角、日最高気温、お天気によりよくあらわされることが示された。このことから、穂の傾斜によって、柱頭の位置が葯の基部の裂開の鉛直方向からずれることにより受粉が不安定になると考えられた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 3件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Matsui Tsutomu, Kobayasi Kazuhiro, Yoshimoto Mayumi, Hasegawa Toshihiro, Tanaka Takashi S.T., Tian Xiaohai	4. 巻 267
2. 論文標題 Factors determining the occurrence of floret sterility in rice in a hot and low-wind paddy field in Jiangnan Basin, China	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Field Crops Research	6. 最初と最後の頁 108161 ~ 108161
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.fcr.2021.108161	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Tsutomu Matsui, Kazuhiro Kobayasi, Mayumi Yoshimoto, Toshihiro Hasegawa, Xiaohai Tian	4. 巻 249
2. 論文標題 Dependence of pollination and fertilization in rice ( <i>Oryza sativa</i> L.) on floret height within the canopy.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Field Crops Research	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.fcr.2020.107741	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Aung Win, Takashi S. T. Tanaka & Tsutomu Matsui	4. 巻 23
2. 論文標題 How panicle angle and panicle position in the canopy determine pollination and seed set in rice ( <i>Oryza sativa</i> L.)	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Plant Production Science	6. 最初と最後の頁 306-313
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/1343943X.2020.1730702	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計0件

〔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
---------	---------