

令和元年6月19日現在

機関番号：82111

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K07580

研究課題名(和文) イネ多収性遺伝子TAWAWAおよびAPO1の個体群レベルにおける機能解析

研究課題名(英文) Functional analysis under population level of the high yield genes TAWAWA1 and APO1 in rice

研究代表者

福島 陽 (FUKUSHIMA, Akira)

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・本部・上級研究員

研究者番号：00414813

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：1穂朶数を多くするTAWAWA1遺伝子およびAPO1遺伝子が収量・収量構成要素に及ぼす影響を調査した。これらの遺伝子は、1穂朶数および総朶数を増加させるが、登熟歩合や千粒重の低下のため、収量は増加させないことが明らかとなった。一方、TAWAWA1遺伝子は1穂朶数を増加させるが、穂数、茎直径、葉身幅に影響を及ぼさないが、APO1遺伝子は1穂朶数を増加させるだけでなく、穂数を少なく、茎直径を太く、葉身幅を広くした。このことから、TAWAWA1遺伝子は生殖生長期から働くのに対し、APO1遺伝子は栄養生長期から働くことが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の結果、TAWAWA1遺伝子およびAPO1遺伝子を導入しても、収量は増加しなかったため、これらの遺伝子を用いて、短期的に多収品種を育成することは難しいと判断される。一方、両遺伝子の間で、収量形成過程に及ぼす影響が異なることを明らかとしたことは、今後、様々なタイプの1穂朶数を多くする遺伝子、およびその働きを研究することによって、長期的には多収品種が育成できる可能性を示唆するものである。

研究成果の概要(英文)：Effects of TAWAWA1 and APO1 genes, that increase the number of spikelets per panicle (SN), on yield and yield components were investigated. Although these genes increased SN and the total number of spikelets per area, they did not increase yield due to the decrease of the percentage of ripened grain and/or thousand grain weight. TAWAWA1 gene increased SN and did not change the number of panicles per area, stem diameter and leaf blade width. APO1 gene increased all these traits. These results suggest that TAWAWA1 gene acts from the reproductive stage and APO1 gene acts from the vegetative stage.

研究分野：作物生産科学

キーワード：水稲 1穂朶数 収量 TAWAWA1 APO1

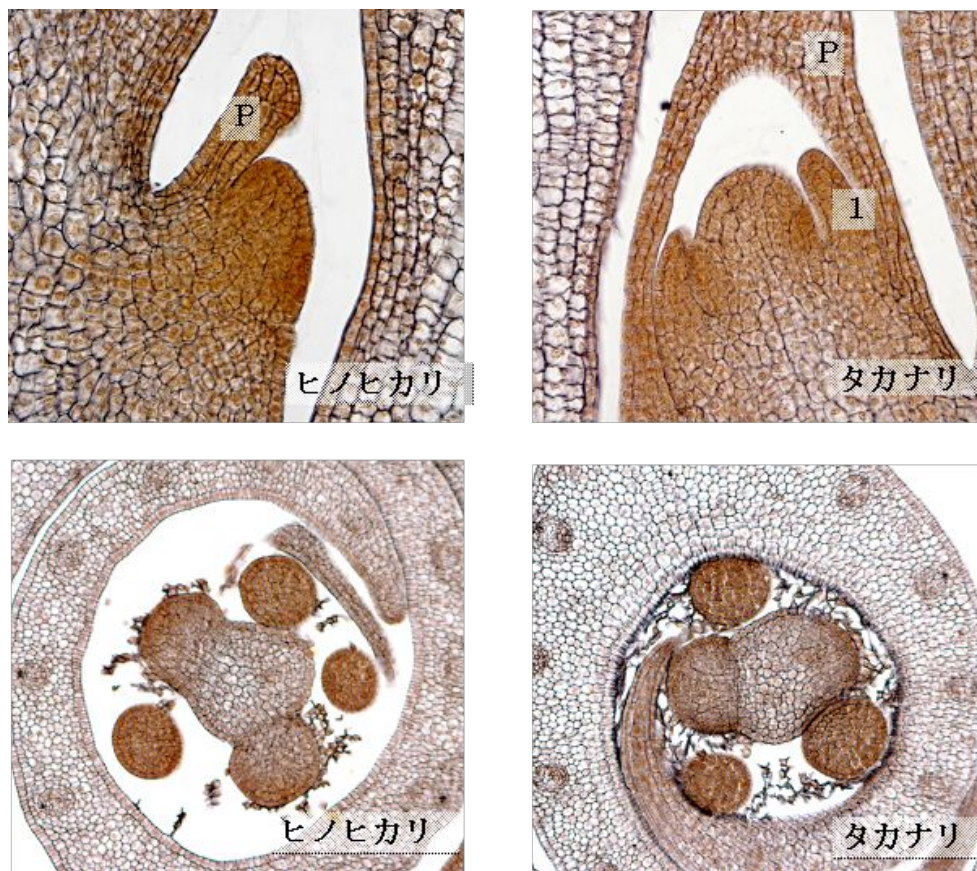
様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、遺伝学・分子生物学の進歩により、Gn1、APO-1 (Ikeda-Kawakatsu ら 2009)、TAWAWA1 (Yoshida ら 2013) 等のイネの 1 穂粒数を多くする多収性遺伝子が多数発見されている。しかし、我が国においては、多収性遺伝子を DNA マーカー選抜等により導入して育成された普及品種はほとんど存在しないのが現状である。このように基礎研究が実用化に結びつかない最大の原因は、その中間にある個体群レベルでの研究が不足していたことにあると考える。

イネの収量は穂数、1 穂粒数、千粒重、登熟歩合の 4 つの収量構成要素の積として決まる。そして、4 つの収量構成要素は、個体群レベルでみた場合、相互に負の相関関係にあることが多い。このため、1 穂粒数を多くする多収性遺伝子は、多収を実現できるとは限らない。多収性遺伝子を利用して多収品種を育成するためには、収量構成要素の成立過程を理解する必要がある。

このような背景の中、研究代表者は、日本型品種「ヒノヒカリ」と比較してインド型品種「タカナリ」は、茎頂分裂組織のサイズに大差はないが、同一葉齢における分けつ芽の分化葉数が多く、1 次枝梗原基のサイズが大きいこと (第 1 図)、その結果として「タカナリ」は「ヒノヒカリ」より総粒数 (= 穂数 × 1 穂粒数) が多いこと示した。すなわち、形態形成の初期段階においては、穂数と 1 穂粒数の負の相関は存在しないことを示唆した (福嶋ら 2001)。そして、さらに研究を発展させて、穂数型・穂重型、および日本型・インド型の組み合わせによる 4 タイプによって、総粒数 (= 穂数 × 1 穂粒数) を説明する形態形成モデルを提起した (Fukushima2019)。このモデルは、品種間の比較を通じて得られたものであり、今後は、総粒数や収量を決める要因を遺伝子レベルで解明する必要がある。そのためには、準同質遺伝子系統を用いた栽培試験を実施することが有効である。



第 1 図 分けつ芽 (上図) および 1 次枝梗原基 (下図)

2. 研究の目的

本課題では、1 穂粒数を多くする TAWAWA1 遺伝子および APO1 遺伝子に着目した。そのコシヒカリを遺伝的背景とする準同質遺伝子系統を用いて、秋田県大仙市において圃場試験を行った。さらに、遺伝子の特性を明確とするには、遺伝的背景や栽培地域による差異を検討することが有効と考え、日本晴を遺伝的背景とする準同質遺伝子系統を用いて茨城県つくばみらい市における圃場試験を行った。

3. 研究の方法

(1) TAWAWA1 遺伝子および APO1 遺伝子が分けつ性に及ぼす影響

taw1-D2 を戻し交配によりコシヒカリに導入した系統 (略称「コシ TAW」), APO1-D3, APO1-D4 を戻し交配によりコシヒカリに導入した系統 (略称「コシ D3」, 「コシ D4」), 対照品種の「コシヒカリ」, 比較品種としてインド型品種の「IR64」, 「タカナリ」を用いた。2015 年に農研機

構・東北農業研究センター大仙拠点（秋田県大仙市）においてポット試験を実施した。すなわち、容量 3.5L のバケツに育苗用培土 2.8 kg を充填し、ガラス室（側窓，天窓開放）に設置した。5 月 1 日に催芽種子 3 粒/バケツを 0.5 mm の深度に播種した。反復数は 4 とした。畑状態で栽培し、葉齢 2 前後に 1 個体に間引き、以降は湛水状態で管理した。第 2 葉腋の分げつを T2 とし、順に T3, T4 とした。T2 は切除し、T3, T4, T5, T6 を調査対象とした。1 週間に一度の割合で主茎および分げつの葉齢等を調査した。分げつの葉齢の進み方については、同伸葉同伸理論からのずれを表す相対葉齢差（後藤・星川 1988）を用いて解析した。

（2）TAWAWA1 遺伝子および AP01 遺伝子が収量性に及ぼす影響 - コシヒカリを遺伝的背景とする秋田県大仙市における栽培試験の場合-

2015 年、2016 年に東北農業研究センター大仙拠点において圃場試験を実施した。「コシ TAW」, 「コシ D3」, 「コシ D4」, および「コシヒカリ」を用いた。2015 年 5 月 21 日、2016 年 5 月 20 日に本田移植した。栽植様式は条間 30 cm、株間 15 cm、1 株 3 本植えとした。施肥は基肥のみとし、窒素・リン酸・加里をいずれも 14% 含む化成肥料を成分量で 2015 年は 4 g/m²、2016 年は 3g/m² 施用した。

（3）TAWAWA1 遺伝子が収量性に及ぼす影響 - コシヒカリおよび日本晴を遺伝的背景とする茨城県つくばみらい市における栽培試験の場合-

2016 年から 2018 年に農研機構谷和原水田圃場において圃場試験を実施した。「コシ TAW」, 「コシヒカリ」, *taw1-D2* を戻し交配により日本晴に導入した系統（略称「日本晴 TAW」）、および「日本晴」を用いた。ただし 2018 年は「日本晴 TAW」および「日本晴」のみ用いた。2016 年 5 月 26 日、2017 年 4 月 27 日、2018 年 5 月 22 日に本田移植した。栽植様式は条間 30 cm、株間 15 cm、1 株 1 本植えとした。施肥は基肥として、被覆尿素肥料（LP コート、ジェイカムアグリ、LP40:LPs100:LP140=1:1:1）を窒素成分で 2016 年は 6 g/m²、2017 年は 9 g/m²、2018 年は 16 g/m² 施用した。リン酸を 20%、加里を 15% 含む化成肥料をリン酸成分量で 2016 年と 2017 年は 10 g/m²、2018 年は 15 g/m² 施用した。

4. 研究成果

（1）TAWAWA1 遺伝子および AP01 遺伝子が分げつ性に及ぼす影響

いずれの品種・系統においても、主茎の葉の展開に伴い分げつの葉は規則的に展開した。2015 年 6 月 28 日における相対葉齢差の平均値は、「コシヒカリ」の 0.53 に比較して、「コシ TAW」は 0.51 と同等、「IR64」は 0.89、「タカナリ」は 0.98 と大きく、「コシ D3」は 0.35、「コシ D4」は 0.25 と小さかった（第 1 表）。すなわち従来から指摘されていたように（Fukushima2019）、インド型品種は、日本型品種の「コシヒカリ」より、分げつは発育が進んでいた。これに対して、「コシ TAW」は「コシヒカリ」と分げつの発育が同等であり、「コシ D3」, 「コシ D4」は「コシヒカリ」より分げつの発育が遅れることが明らかとなった。

第1表 分げつの相対葉齢差.

	T3	T4	T5	T6	平均
コシヒカリ	0.50	0.63	0.58	0.40	0.53
コシTAW	0.60	0.57	0.50	0.35	0.51
コシD3	0.47	0.57	0.27	0.10	0.35
コシD4	0.40	0.30	0.17	0.13	0.25
タカナリ	1.00	1.10	0.78	0.68	0.89
IR64	1.20	0.95	0.95	0.80	0.98

相対葉齢差 = 分げつ葉齢 - 主茎葉齢 + N + 2 .

（2）TAWAWA1 遺伝子および AP01 遺伝子が収量性に及ぼす影響 - コシヒカリを遺伝的背景とする秋田県大仙市における栽培試験の場合-

茎・葉の形態的特性をみると（第 2 表）、「コシヒカリ」と比較して、「コシ TAW」は稈長がやや短いものの、他の形質に有意差は認められなかった。一方、「コシ D3」, 「コシ D4」は茎直径が有意に太く、葉身幅が有意に広がった。

穂の形態的形質をみると（第 3 表）、「コシヒカリ」と比較して、「コシ TAW」, 「コシ D3」, 「コシ D4」のいずれもの 1 穂分化粒数が極めて多いため、1 穂退化粒数も多いものの、1 穂生存粒数も多かった。

収量・収量構成要素をみると（第 4 表）、「コシヒカリ」と比較して、「コシ TAW」は穂数が同等で 1 穂粒数は多い結果、総粒数が多く、「コシ D3」, 「コシ D4」は穂数が少なく 1 穂粒数は多い結果、総粒数が多かった。しかし、いずれの系統も「コシヒカリ」より千粒重が軽く、登熟割合が低い傾向にあった。

第2表 茎および葉の形態的特性

品種・ 系統名	稈長 (cm)	茎直径 (mm)	葉身長 (cm)	葉身幅 (cm)	葉鞘長 (cm)
コシヒカリ	89	2.93	36.3	0.95	24.3
コシTAW	81 **	2.99 NS	35.3 NS	0.93 NS	24.2 NS
コシD3	93 NS	3.51 **	35.7 NS	1.12 **	25.1 NS
コシD4	101 **	3.29 *	38.8 *	1.00 *	26.0 **

** , * , NSは「コシヒカリ」と比較した1標本 t 検定において1%水準で有意, 5%水準で有意, 有意でないを示す。

第3表 穂の形態的特性

品種・ 系統名	1穂分化 籾数	1穂退化 籾数	1穂生存 籾数	1次 枝梗数	1次 籾数	2次 籾数
コシヒカリ	98	11	88	8.7	49	39
コシTAW	155 **	42 **	113 **	8.5 NS	43 **	70 **
コシD3	198 **	43 **	155 **	13.1 **	45 NS	110 **
コシD4	162 *	31 **	131 *	9.9 NS	50 NS	82 *

** , * , NSは「コシヒカリ」と比較した1標本 t 検定において1%水準で有意, 5%水準で有意, 有意でないを示す。

第4表 収量・収量構成要素

品種・ 系統名	穂数 (m ⁻²)	1穂籾数	総籾数 (m ⁻²)	千粒重 (g)	登熟歩合 (%)	収量 (gm ⁻²)
コシTAW	404	75	29947	23.8	91.0	648
コシD3	414 NS	101 **	41009 **	20.7 **	71.4 **	606 *
コシD4	353 **	104 **	36545 **	22.9 **	72.2 **	606 NS
コシAP0 4	364 *	105 **	37647 **	21.1 **	69.5 **	552 **

** , * , NSは「コシヒカリ」と比較した1標本 t 検定において1%水準で有意, 5%水準で有意, 有意でないを示す。

(3) TAWAWA1 遺伝子が収量性に及ぼす影響 - コシヒカリおよび日本晴を遺伝的背景とする茨城県つくばみらい市における栽培試験の場合-

秋田県大山市と同様につくばみらい市においても「コシTAW」の一穂籾数と総籾数は「コシヒカリ」より多く、千粒重と登熟歩合は低くなっていた。結果として収量に差はみられなかった。「日本晴TAW」と「日本晴」の比較においても同様な傾向がみられ、収量に差は見られなかった。分散分析の結果から、TAWAWA1 遺伝子の遺伝子型が収量に与える影響は有意でなく、収量に関しては遺伝背景と遺伝子型の間に有意な交互作用も存在しないことから、遺伝背景が「コシヒカリ」か「日本晴」かによらずにTAWAWA1 遺伝子の導入は収量に影響を与えないことが明らかになった。しかし、TAWAWA1 遺伝子の導入による一穂籾数と総籾数の増加率は「コシヒカリ」を背景とした場合の方が「日本晴」を背景とした場合と比較して大きく、分散分析の結果から総籾数については遺伝背景と遺伝子型の間に有意な交互作用が認められた。一方で、千粒重と登熟歩合のTAWAWA1 遺伝子の導入による低下率は「コシヒカリ」背景の方が大きく、有意な交互作用が認められた。極多肥条件下で「日本晴TAW」と「日本晴」のみを供試したで2018年の試験においても、同様の傾向がみられ、TAWAWA1 遺伝子の導入により籾数は増えるものの、収量に影響はなかった。

(4) まとめ

「コシヒカリ」を遺伝的背景とする秋田県の栽培試験において、TAWAWA1 遺伝子およびAP01 遺伝子を導入すると、1穂籾数および総籾数が増加するが、登熟歩合や千粒重が低下するため、収量は増加しないことが明らかとなった。TAWAWA1 遺伝子に関しては、「日本晴」を遺伝的背景とする茨城県の栽培試験においても同様の結果が得られた。一方、TAWAWA1 遺伝子の導入は1穂籾数を増加させるが、穂数、茎直径、葉身幅に影響を及ぼさないが、AP01 遺伝子は1穂籾数を増加させるだけでなく、穂数を少なく、茎直径が太く、葉身幅が広くした。このことから、TAWAWA1

遺伝子は生殖生長期からのみに働くのに対し、AP01 遺伝子は栄養生長期からすでに働いていることが示唆された。すなわち、1穂粒数を多くする遺伝子の中でも、TAWAWA1 と AP01 では働き方が異なることを明らかにした。今後、様々な1穂粒数を多くする遺伝子、遺伝的背景、栽培条件を組み合わせの中から、多収を実現するために最適に組み合わせを検索することが望まれる。

<引用文献>

Ikeda-Kawakatsu, K., Yasuno, N., Oikawa, T., Iida, S., Nagato, T., Maekawa, M., & Kyojuka, J. 2009. Expression level of ABERRANT PANICLE ORGANIZATION1 determines rice inflorescence form through control of cell proliferation in the meristem1. *Plant Physiology*, 150, 736-747.

Yoshida, A., Sasao, M., Yasuno, N., Takagi, K., Daimon, Y., Chen, R., ... Kyojuka, J. 2013. TAWAWA1, a regulator of rice inflorescence architecture, functions through the suppression of meristem phase transition. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 110, 767-772.

福島陽・楠田宰・古畑昌巳 2001. 水稻品種「タカナリ」の多収性に關与する發育形態学的要因. *日作紀* 70 (別2): 227-228.

Fukushima, A. 2019. Varietal differences in tiller and panicle development determining the total number of spikelets per unit area in rice. *Plant Prod. Sci.* 22: 192-201.

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計2件)

Fukushima, A., Ohta, H., Yokogami, H., Tsuda, N, Yshida, A, Kyojuka, J., Maekawa, M. 2017. Effects of genes increasing the number of spikelets per panicle, TAW1 and AP01, on yield and yield-related traits in rice. *Plant Production Science* 20: 485-489. (査読有)

福島陽・経塚淳子・前川雅彦・太田久稔・梶亮太・津田直人・吉田明希子・徳永浩樹 2015. TAWAWA 遺伝子および AP01 遺伝子がイネの分けつ性に及ぼす影響. *日本作物学会東北支部会報* 58: 17-18. (査読無)

[学会発表](計0件)

[図書](計0件)

[産業財産権]

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名: 岡村 昌樹

ローマ字氏名: OKAMURA, Masaki

所属研究機関名: 国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構

部局名: 中央農業研究センター水田利用研究領域

職名: 研究員

研究者番号: 00757908

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。