

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 19 日現在

機関番号：82111

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2016

課題番号：15K18635

研究課題名(和文)高温耐性遺伝子の集積は、高温耐性を高めるか？

研究課題名(英文) Do the accumulation of QTLs for heat tolerance improve the heat tolerance of grain appearance quality of rice?

研究代表者

臼井 靖浩 (USUI, YASUHIRO)

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・北海道農業研究センター 大規模畑作研究領域・任期付研究員

研究者番号：20631485

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)：高温登熟性に優れる水稲品種は高CO<sub>2</sub>条件下でも、白未熟粒発生が通常品種に比べ、少ないことが明らかになってきた(Usui et al., 2014)。近年、高温耐性に関するQTLs解明が進んでいるが、高CO<sub>2</sub>条件でのQTLs集積効果について明らかになっていない。そこで本研究では、新潟早生(高温耐性が低い)に高温耐性遺伝子qWB3とqWB6を導入した素材を高CO<sub>2</sub>条件に供試し、QTLs集積効果について検討した。その結果、QTLsの集積により高CO<sub>2</sub>区の整粒率を高めた。ただし、この整粒率は新潟早生の通常CO<sub>2</sub>区での整粒率と同程度あり、高CO<sub>2</sub>、高温条件下での品質維持には、より高い耐性が望まれる。

研究成果の概要(英文)：The effects of elevated-CO<sub>2</sub> concentration(E-[CO<sub>2</sub>]) were smaller with cultivars that are tolerant to heat for better appearance quality (Usui et al., 2014), suggesting heat tolerance can also be effective for improving grain appearance quality of rice. We hypothesized that accumulation of QTLs for heat tolerance, which is qWB3 and qWB6, could be effective under E-[CO<sub>2</sub>]. To examine their performance under E-[CO<sub>2</sub>], we conducted Free-Air CO<sub>2</sub> Enrichment (FACE) experiments.

When averaged over ambient-[CO<sub>2</sub>](A-[CO<sub>2</sub>]) and E-[CO<sub>2</sub>] treatments for two years, undamaged grain (UDG) rate of near isogenic line (NIL), which incorporated 2 QTLs, was better than heat susceptible cultivar. This suggests that accumulation of heat-tolerant QTLs is effective to reduce the negative effects of E-[CO<sub>2</sub>] on grain appearance quality. However, it was needed to improve more tolerant in further study because the UDG rate of this NIL in E-[CO<sub>2</sub>] was almost equivalent to those of heat susceptible cultivar in an A-[CO<sub>2</sub>].

研究分野：作物学

キーワード：高温耐性遺伝子 QTLs集積 群落温度 水稲 外観品質

## 1. 研究開始当初の背景

白未熟粒の発生は登熟期における高温が原因の一つである。そのため、近年、高温登熟性に優れ、白未熟粒の発生を抑制する水稻品種(高温耐性品種)が開発されてきている。一方、大気CO<sub>2</sub>増加によって白未熟粒(特に基部未熟粒)が多発することが明らかになってきた(Yang, LX et al., 2007; Usui et al., 2014)。高CO<sub>2</sub>条件での白未熟粒発生は、高CO<sub>2</sub>増加による群落温度が上昇することが要因の一つと考えられる。群落温度の上昇は、気孔が閉じることによる蒸散量の低下にともなう潜熱輸送の減少であり(Yoshimoto et al.)、通常のCO<sub>2</sub>条件と比べ、約1.0程度、群落温度が上昇する。また、CO<sub>2</sub>濃度の上昇は、稲の温度に対する閾値を低下させている可能性があるとの指摘もある(Usui et al., 2014)。高CO<sub>2</sub>増加による群落温度上昇が、コメの外観品質悪化や高温不稔を助長していると考えられた。そこで申請者は、この群落温度の上昇が、高CO<sub>2</sub>濃度条件での白未熟粒の発生要因の一つであると考え、白未熟粒発生を抑制する高温耐性品種が、高CO<sub>2</sub>濃度条件でも白未熟粒発生抑制の有効であると仮説を立てた。仮説を検証するために、高温耐性品種を高CO<sub>2</sub>濃度条件に供試したところ、通常的水稻品種より、白未熟粒が少なく、外観品質が維持されることがわかってきた(Usui et al., 2014)。しかし、高温耐性品種が、なぜ、白未熟粒発生を抑制し、外観品質を維持することができるのか、そのメカニズムについては明らかになっていない。

近年では、高温耐性に関するQTLsが明らかになり、これらのQTLsを導入した遺伝解析材料が開発されている。そこで、申請者はこれらの遺伝解析材料を高CO<sub>2</sub>条件に供試し、その耐性メカニズムを明らかにしようと考えた。

## 2. 研究の目的

申請者は、これまでに開放系大気CO<sub>2</sub>増加(Free Air CO<sub>2</sub> Enrichment; FACE)実験から、高CO<sub>2</sub>濃度条件が白未熟粒の発生を通じて外観品質を著しく悪化させ、整粒率が低下することでコメの等級低下の原因になることを明らかにしてきた。しかし、その対策技術を開発するためには、高CO<sub>2</sub>濃度条件での白未熟粒発生メカニズムや品種間差異をもたらす要因の解明が必要である。そこで申請者は、近年開発されてきた高温登熟性に優れた水稻品種を高CO<sub>2</sub>濃度条件下に供試し、白未熟粒発生が通常水稻品種に比べ、少ないことを明らかにした(Usui et al., 2014)。しかし、その耐性メカニズムについては、十分に明らかになっていない。一方、高温耐性に関するQTLsについては解明が進み、高温耐性QTLsを導入した品種の開発が進められている。しかし、この高温耐性に関するQTLsを集積した水稻品種が、さらに高温耐性を高められた

かどうか明らかになっていない。そこで、本研究では、FACE実験施設にこれらの水稻品種を供試し、高CO<sub>2</sub>濃度条件によって白未熟粒が多発するという特性を活用することで、QTLsの集積が高温耐性強化に寄与するか、物理環境の側面および作物栄養学的側面から明らかにすることを目的とした。

## 3. 研究の方法

### (1) 実験条件

茨城県のつくばみらい市の農家水田4筆に外気CO<sub>2</sub>濃度区(AMB区)と開放系大気CO<sub>2</sub>増加区(外気+200ppm, FACE区)を設けた。区制は、主区をCO<sub>2</sub>、副区を品種とする4反復分割区法である。

### (2) 供試材料

各CO<sub>2</sub>濃度区および各反復に高温感受性の新潟早生、耐性のハナエチゼン、新潟早生にハナエチゼン由来の高温耐性QTL、qWB6を導入した準同質遺伝子系統(NIL)の新潟早生NIL-6(以下、NIL-6)、qWB6とqWB3の2QTLを導入した新潟早生NIL-6+3(以下、NIL-6+3)(Kobayashi et al., 2007; 2013)の4品種を供試した。

### (3) 玄米外観品質およびタンパク質含有量の測定

玄米外観品質は、穀粒判別器(RGQ120A; サタケ)によって、玄米タンパク含有率は、NCアナライザー(SUMIGRAPH-NC22; 住化分析センター)により測定した。

### (4) 群落温度の測定

水田4筆のうち1筆のAMB区およびFACE区を対象に、赤外線放射温度計(SI-111; Apogee Instruments Inc.)を各品種の群落上方の約50cmに設置し、下向き45°の角度で群落表面温度を経時的に測定した。

## 4. 研究成果

### (1) 玄米外観品質測定

平成27年度試験において、整粒率は、高CO<sub>2</sub>処理によって低下し、これまでの報告と同様に、未熟粒(基部未熟粒、腹白粒、乳白粒)は増加した。整粒率は品種間でも大きく異なり、AMB区およびFACE区ともにハナエチゼンが高く、新潟早生で最も低かった。また、NIL2系統の整粒率は、両親の間にあり、FACE区、AMB区の平均でNIL-6、NIL-6+3の順で高かった。平成28年度試験においても同様の結果が得られた。ただし、整粒率は年次によって異なり、その原因は生育期間(特に登熟期間)における温度条件の違いが影響したものと考えられた。

### (2) 玄米タンパク質含有率の測定

玄米中のタンパク質含有率はFACE処理によ

り、いずれの品種ですべて低下し、2カ年とも同様な結果が得られた。FACE区においては、AMB区に比べ、4品種平均のタンパク質含有率は2カ年平均で、約0.3%ポイント程度認められた。一般に、タンパク質含有率の低下は、基部未熟粒の発生を助長することが知られており、高CO<sub>2</sub>処理によるタンパク質含有率の低下が、玄米外觀品質低下を助長することが示唆された。

### (3) 群落温度測定

群落温度は、FACE区で高く、FACE区とAMB区の群落温度差(ΔT; FACE-AMB)は、日中に最大約2℃に達し、AMB区の群落温度が高いほど、ΔTも大きくなる傾向が見られた。ただし、品種間での群落温度に大きな差は見られなかったが、NIL2系統の方が、新潟早生およびハナエチゼンに比べ、群落温度が高い傾向が見られた。

### (4) まとめ

以上より、高CO<sub>2</sub>によって白未熟粒が多発し、整粒率は著しく低下することが明らかになり、高CO<sub>2</sub>処理によって群落温度が高まること、タンパク質含有率が低下することも明らかになった。また、新潟早生にqWB3とqWB6を導入することにより整粒率を高めることがわかった。ただし、NIL-6+3のFACE区における整粒率は、新潟早生のAMB区の整粒率と同程度であったことから、高CO<sub>2</sub>、高温条件下での品質維持には、より高い耐性が望まれることも明らかになった。

### <引用文献>

Yoshimoto M, Oue H, Takahashi N, Kobayashi K. The effects of FACE (free-air CO<sub>2</sub> enrichment) on temperatures and transpiration of rice panicles at flowering stage. *Journal of Agricultural Meteorology*. 60. 2005. 597-600.  
Yang, L.X., Wang, Y.L., Dong, G.C., Gu, H., Huang, J.Y., Zhu, J.G., Yang, H.J., Liu, G., Han, Y. The impact of free-air CO<sub>2</sub> enrichment (FACE) and nitrogen supply on grain quality of rice. *Field Crops Research*. 102. 2007. 128-140  
Asako Kobayashi, Bao Genliang, Ye Shenghai and Katsura Tomita. Detection of Quantitative Trait Loci for white-back and basal-white kernels under high temperature stress in japonica rice varieties. *Breeding Science*. 57. 2007. 107-116  
Asako Kobayashi, Junya Sonoda, Kazuhiko Sugimoto, Motohiko Kondo, Norio Iwasawa, Takeshi Hayashi, Katsura Tomita, Masahiro Yano, Toyohiro Shimizu. Detection and verification of QTLs associated with

heat-induced quality decline of rice (*Oryza sativa* L.) using recombinant inbred lines and near-isogenic lines. *Breeding Science*. 63. 2013. 339-346

Yasuhiro Usui, Hidemitsu Sakai, Takeshi Tokida, Hirofumi Nakamura, Hiroshi Nakagawa, Toshihiro Hasegawa. Heat-tolerant rice cultivars retain grain appearance quality under free-air CO<sub>2</sub> enrichment. *Rice*. 7. 2014. 6

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計2件)

臼井靖浩 (2017) "The FACE2FACE Conference" FACEing the future - food production and ecosystems under a changing climate" 参加報告. *日本土壌肥料学雑誌*. 81: 79. (査読無)

Yasuhiro Usui, Hidemitsu Sakai, Takeshi Tokida, Hirofumi Nakamura, Hiroshi Nakagawa, Toshihiro Hasegawa (2016) Rice grain yield and quality responses to free-air CO<sub>2</sub> enrichment combined with soil and water warming. *Global Change Biology*. 22:1256-1270. DOI: 10.1111/gcb.13128 (査読有)

[学会発表](計5件)

Yasuhiro Usui, Hidemitsu Sakai, Takeshi Tokida, Hirofumi Nakamura, Asako Kobayashi, Hiroshi Nakagawa, Mayumi Yoshimoto, Toshihiro Hasegawa. Effect of the accumulation of QTLs for heat tolerance on grain appearance quality of rice under Free-Air-CO<sub>2</sub>-Enrichment (FACE) condition. The international conference "FACEing the future | food production and ecosystems" . 2016.9.26-29 The Justus Liebig University Giessen (Germany · Giessen)

Yasuhiro Usui, Hidemitsu Sakai, Takeshi Tokida, Hirofumi Nakamura, Hiroshi Nakagawa, Toshihiro Hasegawa. Responses of yield and grain appearance quality of rice to FACE and increased water temperature. The international conference "FACEing the future | food production and ecosystems" . 2016.9.26-29 The Justus Liebig University Giessen (Germany · Giessen)

臼井靖浩, 酒井英光, 常田岳志, 中村浩史, 氏家和広, 中川博視, 長谷川利拡. 高温登熟性に優れる水稲品種と後期重点型追肥の組み合わせによる開放系大気CO<sub>2</sub>増加(FACE)環境下におけるコメ外観品質の向上. 第241回日本作物学会講演会 2016.3.28-29 茨城大学(茨城県・水戸市)

Yasuhiro Usui, Hidemitsu Sakai, Takeshi Tokida, Hirofumi Nakamura, Asako Kobayashi, Hiroshi Nakagawa, Mayumi Yoshimoto, Toshihiro Hasegawa. Do QTLs for heat tolerance improve grain appearance quality of rice under elevated [CO<sub>2</sub>]? International Symposium on Agricultural Meteorology (ISAM2016) 2016.3.14-17. 岡山大学(岡山県・岡山市)

臼井靖浩, 酒井英光, 常田岳志, 中村浩史, 小林麻子, 吉本真由美, 長谷川利拡. 高CO<sub>2</sub>環境下におけるイネ群落温度の品種間差異. 日本農業気象学会北海道支部会 旭川市大雪クリスタルホール 2015.12.6-7. (北海道・旭川市)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

臼井 靖浩 (USUI, Yasuhiro)  
国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・北海道農業研究センター 大規模畑作研究領域・任期付研究員  
研究者番号: 20631485