2022 年 11 月 28 日

報道関係者各位

学校法人甲南学園

気候変動時にイネの収穫量を制御する新規の小さな RNA を発見

このたび、標記につきまして別紙の通り、プレスリリースを配信いたします。

つきましては、取材ならびに紙面掲載についてご検討いただけますようお願い申し上げます。

≪本件に関するお問い合わせ先≫

［プレスリリース全体について］

■甲南学園広報部
兵庫県神戸市東灘区岡本 8-9-1
電話 078-435-2314（直通）　Email：kouhou@adm.konan-u.ac.jp

［研究内容について］

■甲南大学先端生命工学研究所　所長・教授　杉本直己
E-mail：sugimoto@konan-u.ac.jp

■甲南大学先端生命工学研究所　准教授　建石　寿枝
E-mail：tateishi@konan-u.ac.jp

■甲南大学先端生命工学研究所　事務室
電話：078-303-1147 E-mail：fiber@adm.konan-u.ac.jp

本プレスリリース配信先：兵庫県教育委員会記者クラブ、神戸市政記者クラブ、大阪科学・大学記者クラブ

以上

気候変動時にイネの収穫量を制御する

新規の小さな RNA を発見

甲南大学先端生命工学研究所（FIBER）の建石寿枝准教授、遠藤玉樹准教授、杉本直己所長・教授らの研究グループは、中国南京農業大学の Xiaorong Fan（范晓荣）教授らの研究グループと共同で、気候変動による外気温の上昇に伴いイネの収穫量を変動させる遺伝子を特定し、さらにこの遺伝子を制御する新規の小さな RNA（small RNA[1)]）を発見しました。この研究成果は、米国科学振興協会（AAAS）の Science 誌の姉妹誌である「*Science Advance* 誌」（IF[2)] = 14.957）に掲載されました（米国東部時間 2022 年 11 月 23 日（水）14：00 掲載）。

気候変動は作物の収穫量に悪影響を及ぼし、農業の持続可能性と食料安全保障における深刻な問題となっています。さらに、気候変動による干ばつと熱ストレスの発生は、植物の成長に関与する窒素（N）の吸収と利用効率に深刻な影響を及ぼします。特に、イネ（Oryza sativa）においては、夜間の温度が生育過程と収穫量に大きな影響を与えることが知られています。

本研究では、まず、約 400 品種のイネの成長データを収集し、光照射、育成の温度条件が、イネの生長に及ぼす影響を解析しました。その結果、イネの生長は、主に夜間の温度の影響を受けることが明らかになりました。さらに、イネのゲノム解析および遺伝子の発現解析により、イネの生長に関与する遺伝子（高親和性硝酸トランスポーターOsNRT2.3[3)]）は、3 つの主要な対立遺伝子[4)]（HTNE-1、HTNE-2、HTNE-3）をもつことが示されました。また、異なる対立遺伝子をもつイネの品種ごとに生育環境が収穫量などに及ぼす影響を解析した結果（図 1A）、夜間の温度が高い場合でも、HTNE-2 をもつ品種は、窒素利用効率と収穫量を低下させないことが明らかになりました（図 1B）。

夜間の温度の変化による影響をより詳細に解析するために、OsNRT2.3 の遺伝子から転写される mRNA（OsNRT2.3a および OsNRT2.3b）[5)]の転写量を解析しました。その結果、高温[6)]で生育されたイネは OsNRT2.3a および OsNRT2.3b の転写レベルが低下していることが示されました。さらに、高親和性硝酸トランスポーターOsNRT2.3 の mRNA に結合する小さな RNA（sNRT2.3-1 および sNRT2.3-2）を新規に発見し、小さな RNA によって高親和性硝酸トランスポーターOsNRT2.3 の発現が制御され、イネの生育に影響していることも見出しました（図 2）。興味深いことに、これらの小さな RNA は、周辺の温度依存的に自身の構造を変化させ（図 3）、mRNA への結合を制御していることが示されました（図 4）。また、HTNE-2 の対立遺伝子をもつ品種では、sNRT2.3-1 と sNRT2.3-2 の存在量が少ないことも明らかになりました。これらの結果より、新規に発見した小さな RNA は、その発現量と mRNA への結合の

違いによって、高親和性硝酸トランスポーターである OsNRT2.3 の生産量とイネの成長度を制御している可能性があります。

これまで当研究所 FIBER では、核酸の構造が周辺環境によって変化することを見出し、このような構造変化が生命現象に及ぼす影響について解析をしてきました。FIBER における試験管内の実験において、核酸の構造は周辺の温度によって大きく変化することが明らかにされていましたが、ヒトの体温は、ほぼ一定に保たれているため、細胞内における温度変化が核酸構造に及ぼす影響については、ほとんど解析されていませんでした。本研究では、植物が外界温度の変動によって大きく生育を変化させることに注目し、植物科学を専門とする中国南京農業大学の Fan 教授らと FIBER が共同で、温度に依存した核酸の構造変化が、個体の生育に影響し得ることを植物（イネ）を用いて世界で初めて解析しました。これまで、小さな RNA によるタンパク質の生産制御の機構は、mRNA と小さな RNA の塩基配列に依存した親和性が重要視されてきました。一方で本研究では、小さな RNA の構造に依存した親和性の変化によってタンパク質の生産が制御されるという新しい知見が得られました。この結果は、窒素利用効率や収穫量に大きな影響を与える OsNRT2.3 の発現に対する複雑な制御機構を明らかにし、高温下でも収穫量の高いイネの育種に関して、新しい指針を与えるとして注目されます。

本研究の共同研究者である Fan 教授は、FIBER の杉本所長が研究代表を務める日本学術振興会 国際共同研究加速基金（国際共同研究強化（B））に採択された研究課題「細胞内環境で変化する非二重らせん構造の定量的機能解析と遺伝子発現制御」に参画し、共同研究を遂行しています。

先端生命工学研究所（FIBER）は、今後も生命化学分野における研究開発を通じて、科学技術の振興と研究成果を通じた社会還元に寄与してまいります。

（掲載論文）

High-temperature adaptation of an OsNRT2.3 allele is thermoregulated by small RNAs

Yong Zhang, Hisae Tateishi-Karimata, Tamaki Endoh, Qiongli Jin, Kexin Li, Xiaoru Fan, Yingjun Ma, Limin Gao, Haiyan Lu, Zhiye Wang, Art E. Cho, Xuefeng Yao, Chunming Liu, Naoki Sugimoto, Shiwei Guo, Xiangdong Fu, Qirong Shen, Guohua Xu, Luis Rafael Herrera-Estrella, Xiaorong Fan

Science Advances, 8, eadc9785 (2022)

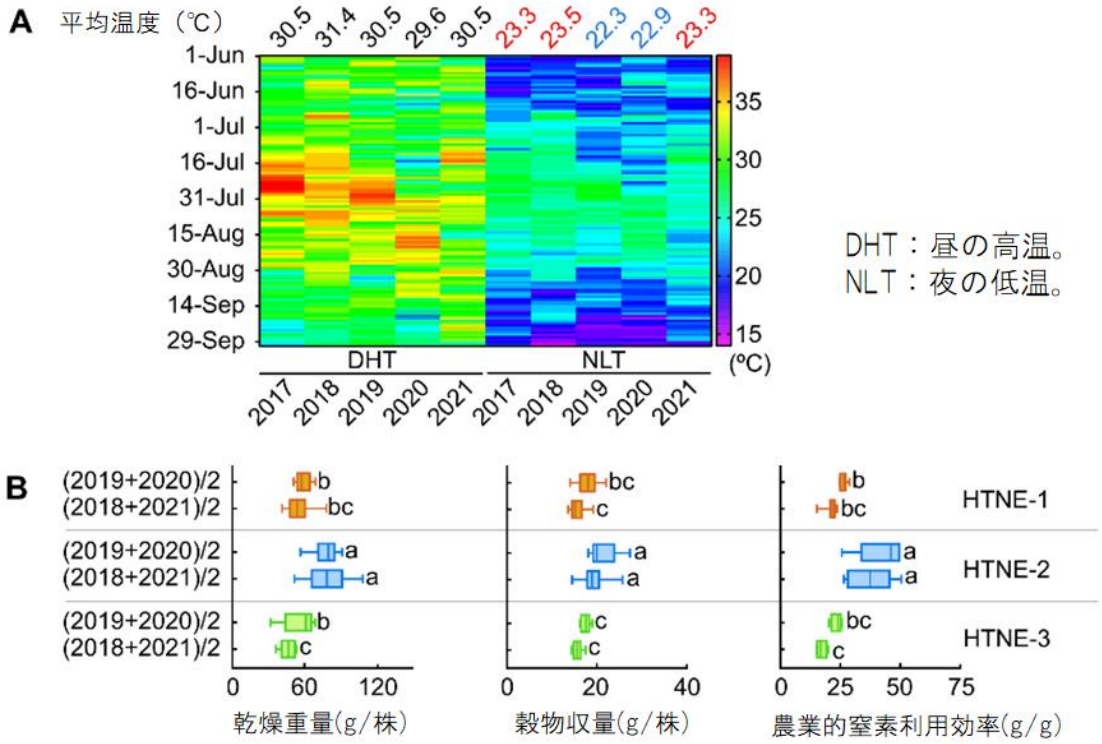
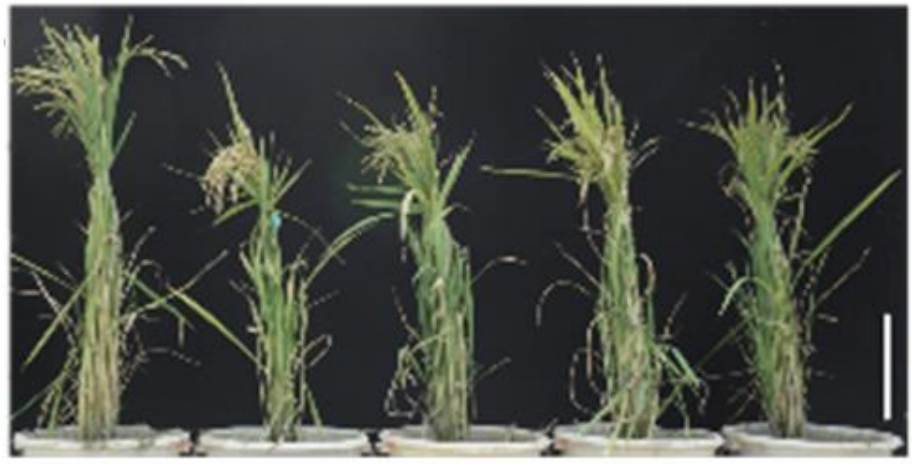


図 1.（A）2017 年から 2021 年にける南京市麗水区の気温の変化を視覚的に示した図。（B）A で示した夜間が高温の環境下において、高親和性硝酸トランスポーターである OsNRT2.3 の対立遺伝子（HTNE-1（オレンジ）、HTNE-2（水色）、および HTNE-3（緑））をもつイネの品種ごとの乾燥重量、穀物収量、農業的窒素利用効率（ANUE）を比較した図。また、a,b,c は、それぞれの対立遺伝子の表現型を示す。



野生型のイネ　sNRT2.3-1を増やしたイネ　sNRT2.3-2を増やしたイネ

図 2. 小さな RNA である sNRT2.3-1 と sNRT2.3-2 の強制発現がイネの生育に及ぼす影響

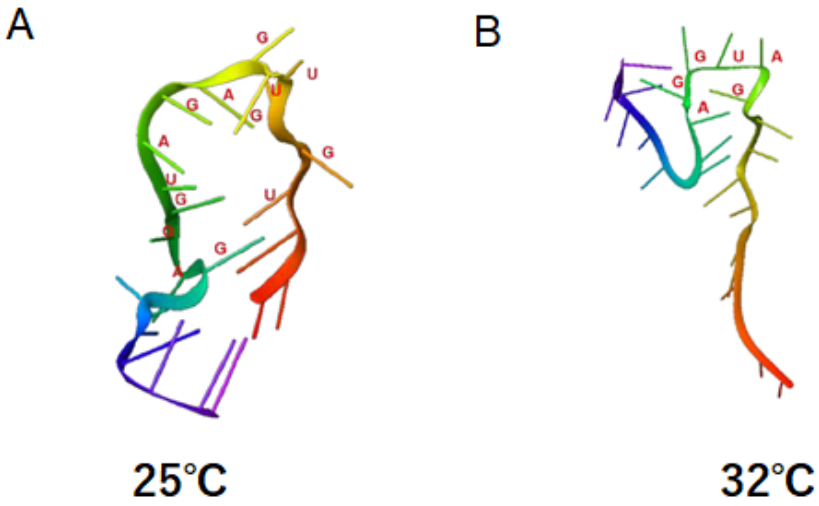


図 3. 分子動力学（MD）計算から得られた(A) 25℃および（B）32℃における sNRT2.3-1 (配列 UGUUGGAGAUGGAG)の構造。sNRT2.3-1 は、25℃では、（A）の構造を形成するが、温度を上昇させると構造を変化させ、32℃では（B）を形成する。

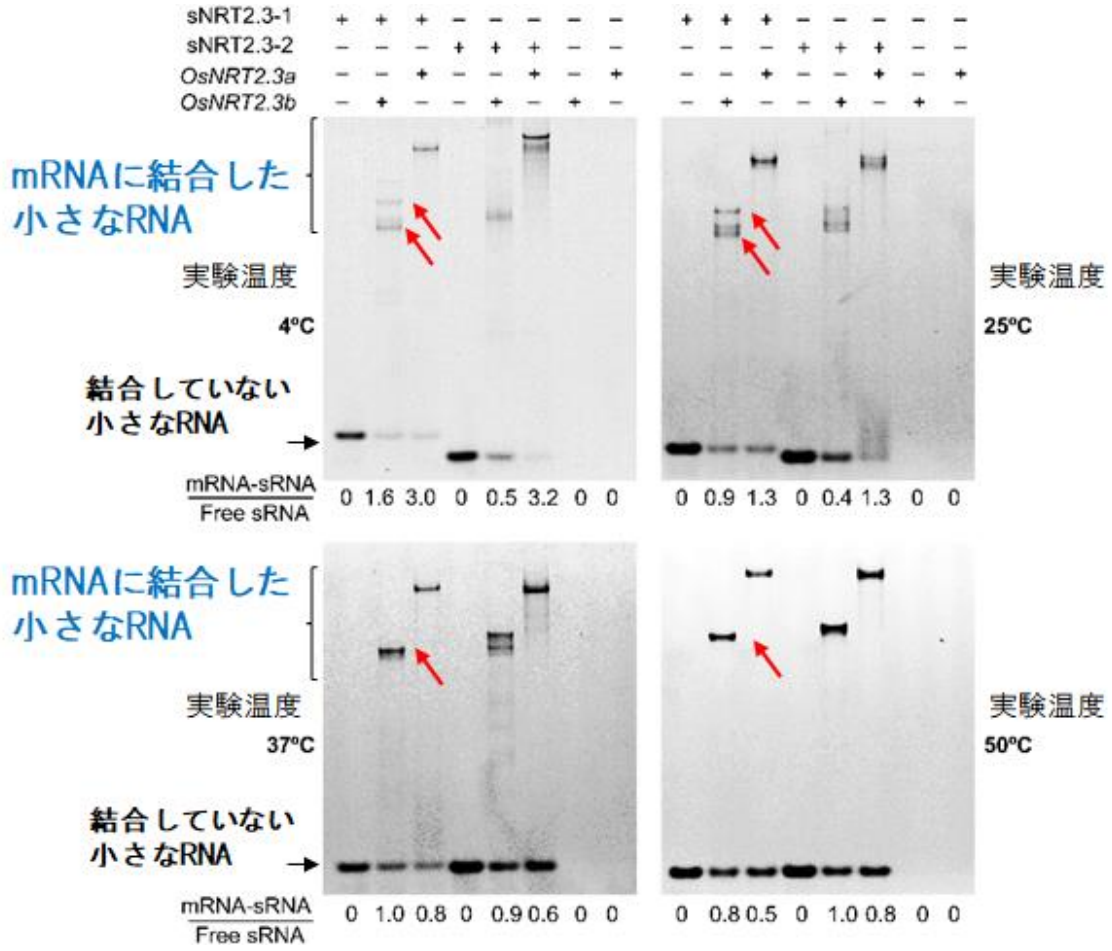


図 4. OsNRT2.3a および OsNRT2.3b mRNA と小さな RNA の結合に及ぼす実験温度の影響。 OsNRT2.3a および OsNRT2.3b mRNA への sNRT2.3-1 または sNRT2.3-2 の結合を未変性ゲル電気泳動によって解析後、蛍光イメージャーによって撮影されたゲルの写真を示している。sNRT2.3-1 と sNRT2.3-2 は、蛍光色素で標識化されているため、黒いバンドは、sNRT2.3-1 または sNRT2.3-2 を示す。例えば、sNRT2.3-1 と OsNRT2.3b mRNA の結合では、4℃と 25℃では、2 つのバンドがあり、37 および 50℃では、1 つのバンドのみ現れている（赤い矢印）。バンドの数は、sNRT2.3-1 と OsNRT2.3b mRNA の結合様式の違いを示す。温度に依存して、異なる結合様式があると推察される。また、論文で詳細な解析はされていないが、mRNA は複数の構造を形成する可能性があり、mRNA の構造も温度によって変化すると考えられる。本研究結果によって、sNRT2.3-1 は低温では、2 つの構造の mRNA に結合できるが、高温では 1 つの構造の mRNA にしか結合できないことが示唆された。

用語説明

1) 小さな RNA （Small RNA）

小さな RNA または小分子 RNA とよばれ、標的の遺伝子から転写される RNA に結合し、産生されるタンパク質の量を制御する役割をもつ。原核生物から高等真核生物に至るまで、ほとんどの生物において小さな RNA の存在が確認されている。

2) インパクトファクター（IF）

Journal Citation Reports（JCR）が毎年提供する自然科学・社会科学分野の学術雑誌（ジャーナル）の影響度を表す指標の一つ。値が高いほど影響度が高いことを示す。

3) 硝酸トランスポーターOsNRT2.3

窒素は植物の多量必須元素であり、土壌中の窒素栄養量が植物の生育や生産性を制御している。イネは、窒素源として、水田の硝酸を吸収する。硝酸トランスポーターOsNRT2.3 は、イネの硝酸の吸収に関わり、イネの生育に関与する重要な遺伝子である。

4) 対立遺伝子（アレル）

相同な遺伝子座を占める遺伝子に複数の種類がある場合に、その個々の遺伝子のことを対立遺伝子という。SNP のような 1 つの塩基の変異にも用いられる。

5）*OsNRT2.3* 遺伝子からの転写

OsNRT2.3 から転写される mRNA は、OsNRT2.3a および OsNRT2.3b とよばれる 2 つのタイプがある。

6）イネの生育温度

夏場の葉の温度は、夜間で 25℃～30℃、昼間で 30℃～40℃に達することが知られている。本研究では、夜間でも気温が 30℃以下にならない状態を高温環境とし、32℃の生育温度でイネを栽培した。