

ソルガム F₁ 品種「天高」における雑種強勢の仕組みを解明 —高バイオマスを達成する 6 つの重要遺伝子座とその組み合わせ が明らかに—

現在、日本を含め世界の多くの地域では、雑種強勢を利用することで多収を達成した多くの F₁ 品種が栽培されています。長稈で大型作物であるソルガムは、その高バイオマス性からバイオエタノール(BE)生産やバイオリファイナリー(BR)利用が期待されていますが、その中でも F₁ 品種「天高」は草丈が 4m 近くにもなる特別大型な品種です。ここで不思議なのは、天高の花粉親と種子親は双方とも短稈(約 1.1~1.2m)の小型品種であることです。これについては、これまで「雑種強勢の典型的な例」と説明されてきましたが、その分子遺伝学的な仕組みについては解明されていませんでした。自殖性作物(例えばイネ)では、近年、ゲノム情報を活用したゲノム育種(例えば DNA マーカー育種)が盛んに行われていますが、天高のような F₁ 作物ではこの仕組みが明らかでないために、遺伝様式に基づいたゲノム育種が困難でした。

そこで本研究では、天高の高バイオマスに関わる仕組みの解明を目指し、雑種後代 F₂ 集団を用いた QTL 解析を試みました。その結果、天高の高バイオマスには 6 つの遺伝子座の組み合わせが重要であることを明らかにしました。さらにこのうち 4 つの遺伝子についてはその変異とバイオマスに関わる役割も明らかにしました。このことによって、これまで全く未解明だった天高の高バイオマスを実現する遺伝様式が明らかとなりました。言わば、天高という大きな建物を支えている 6 つの遺伝子座という屋台骨が明らかとなったわけです。

この研究の成果は、様々な F₁ 品種の改良に大きな変革をもたらす可能性があります。つまり、他の F₁ 品種においても重要な遺伝子座を明らかにしその屋台骨を維持することで、自由な育種デザインが可能になるということをこの成果は意味しています。これを実践すべく、BE・BR 原料としての天高の最適化を目指し、有用な QTL を集積する新たな品種育成の試みを始めています。

ソルガム F₁ 品種「天高」における雑種強勢の仕組みを解明 ー高バイオマスを達成する 6 つの重要遺伝子座とその組み合わせが明らかにー

【概要】

現在、日本を含め世界の多くの地域では、雑種強勢を利用することで多収を達成した多くの F₁ 品種が栽培されています。長稈で大型作物であるソルガムは、その高バイオマス性からバイオエタノール (BE) 生産やバイオリファイナリー (BR) 利用が期待されていますが (図 1)、その中でも F₁ 品種「天高」は草丈が 4m 近くにもなる特別大型な品種です (図 2 中央)。ここで不思議なのは、天高の花粉親と種子親は双方とも短稈 (約 1.1~1.2m) の小型品種であることです (図 2 左右)。これについては、これまで「雑種強勢の典型的な例」と説明されてきましたが、その分子遺伝学的な仕組みについては解明されていませんでした。自殖性作物 (例えばイネ) では、近年、ゲノム情報を活用したゲノム育種 (例えば DNA マーカー育種) が盛んに行われていますが、天高のような F₁ 作物ではこの仕組みが明らかでないために、遺伝様式に基づいたゲノム育種が困難でした。

そこで本研究では、天高の高バイオマスに関わる仕組みの解明を目指し、雑種後代 F₂ 集団を用いた QTL 解析を試みました。その結果、天高の高バイオマスには 6 つの遺伝子座の組み合わせが重要であることを明らかにしました (図 3)。さらにこのうち 4 つの遺伝子についてはその変異とバイオマスに関わる役割も明らかにしました。このことによって、これまで全く未解明だった天高の高バイオマスを実現する遺伝様式が明らかとなりました。言わば、天高という大きな建物を支えている 6 つの遺伝子座という屋台骨が明らかとなったわけです。

この研究の成果は、様々な F₁ 品種の改良に大きな変革をもたらす可能性があります。つまり、他の F₁ 品種においても重要な遺伝子座を明らかにしその屋台骨を維持することで、自由な育種デザインが可能になるということをこの成果は意味しています (図 4, 5)。これを実践すべく、BE・BR 原料としての天高の最適化を目指し、有用な QTL を集積する新たな品種育成の試みを始めています。

【ポイント】

F₁ 品種「天高」は草丈が 4m 近くにもなる特別大型な品種ですが (図 2 中央)、天高の花粉親と種子親は双方とも短稈 (約 1.1~1.2m) の小型品種です (図 2 左右)。これは、これまで「雑種強勢の典型的な例」と説明されてきましたが、その分子遺伝学的な仕組みについては解明されていませんでした。近年、ゲノム情報を活用したゲノム育種 (例えば DNA マーカー育種) が盛んに行われていますが、天高のような F₁ 作物ではこの仕組みが明らかでないために、遺伝様式に基づいたゲノム育種が困難でした。本研究では、天高の高バイオマスに関わる仕組みの解明を目指し、雑種後代 F₂ 集団を用いた QTL 解析を試みました。

その結果、天高の高バイオマスには 6 つの遺伝子座の組み合わせが重要であることを明らかにしました (図 3)。さらにこのうち 4 つの遺伝子についてはバイオマスに関わる役割も明らかにしました。このことによって、これまで全く未解明だった天高の高バイオマスを実現する遺伝様式が明らかとなりました。この研究の成果は、他の F₁ 品種においても重要な遺伝子座を明らかにしその屋台骨を維持することで、自由な育種デザインが可能になるということを意味しています (図 4, 5)。

【背景】

現在、日本を含め世界の多くの地域では、雑種強勢を利用することで多収を達成した多くの F₁ 品種が栽培されています。長稈で大型作物であるソルガムは、その高バイオマス性からバイオエタノール (BE) 生産やバイオリファイナリー (BR) 利用が期待されていますが (図 1)、その中でも F₁ 品種「天高」は草丈が 4m 近くにもなる特別大型な品種です (図 2 中央)。ここで不思議なのは、天高の花粉親と種子親は双方とも短稈 (約 1.1~1.2m) の小型品種であることです (図 2 左右)。これについては、これまで「雑種強勢の典型的な例」と説明されてきましたが、その分子遺伝学的な仕組みについては解明されていませんでした。自殖性作物 (例えばイネ) では、近年、ゲノム情報を活用したゲノム育種 (例えば DNA マーカー育種) が盛んに行われていますが、天高のような F₁ 作物ではこの仕組みが明らかでないために、遺伝様式に基づいたゲノム育種が困難でした (図 4)。

【研究の内容】

天高 (MS79A×74LH3213) の後代 F₂ 集団を圃場展開し、高バイオマスに重要な開花期と稈長について QTL 解析を行いました (図 3)。その結果、まず開花期については 2 つの QTL (*qFD-1*, *qFD-6*) が検出されました。*qFD-1* は 74LH3213 (花粉親) アレルが、*qFD-6* は MS79 (種子親) アレルが開花期を早める QTL でした。稈長の QTL 解析結果では、開花期の QTL を除き、4 つの QTL (*qCL-6*, *qCL-7a*, *qCL-7b*, *qCL-9*) が検出されました。*qCL-6* と *qCL-7a* は MS79 アレルが、*qCL-7b* と *qCL-9* は 74LH3213 アレルが稈長を短縮しました。これら 6 つの QTL のうち、イネなどで詳しく研究されている遺伝子・遺伝子座との比較から *qFD-6* は *SbGHD7*、*qFD-1* は *Ma3/SbPhyB* に一致し、それぞれ MS79 及び 74LH3213 に変異があることが明らかとなりました。また同様に *qCL-7b*、*qCL-9* はソルガム矮性遺伝子 *Dw1*, *Dw3* の遺伝子座と一致し、双方とも 74LH3213 に変異があると考えられました。*qCL-6* は遺伝子が未同定の *Dw4* の遺伝子座に対応し、*qCL-7a* は新規遺伝子座でした。そこで、*qCL-7a* の責任遺伝子を *DwX* と記述すれば、MS79 は *Ma3Ma3ghd7ghd7Dw1Dw1dwXdw3Dw3dw4dw4*、74LH3213 は *ma3ma3Ghd7Ghd7MaXdw1dw1DwXdw3dw3Dw4Dw4* となり、F₁ 品種天高では *ma3Ma3ghd7Ghd7dw1Dw1dwXdw3Dw3dw4Dw4* になるという遺伝学モデルが考えられました。つまり、両親は短稈で早生の表現型ですが、F₁ 品種天高では全ての遺伝子座がヘテロとなり、6 つの変異は全て劣性であることから短稈と早生の表現型が消失し、長稈かつ極晩生となる

と考えられました。これまで雑種強勢を説明する 3 つの仮説として、優性説、超優性説、エピスタシス説が提唱されていましたが、今回の結果から、天高の雑種強勢については優性説（もしくはそれに加えてエピスタシス説）で概ね説明可能であることが示唆されました。

【成果の意義】

この研究の成果は、様々な F_1 品種の改良に大きな変革をもたらす可能性があります。つまり、他の F_1 品種においても重要な遺伝子座を明らかにしその屋台骨を維持することで、自由な育種デザインが可能になるということをこの成果は意味しています（図 5）。これを実践すべく、BE・BR 原料としての天高の最適化を目指し、有用な QTL を集積する新たな品種育成の試みを始めています。

【用語説明】

雑種強勢:ヘテロシスとも呼ばれます。 F_1 が両親系統のいずれよりも大きさや収量などの点で優れた形質を示す現象です。

F_1 品種:一代交配種とも呼ばれます。種子親系統、花粉親系統の二系統を交配して得られる雑種第一代目を品種として用いています。 F_1 品種は両親の遺伝子を全てヘテロ型で保持しています。

F_2 集団: F_1 個体に実った自殖種子(F_2)を播種し、育成した植物体集団のことです。

QTL:Quantitative trait locus の略。バイオマスなどの形質は稈長、開花期など、複数の遺伝子の効果の組み合わせによって決定されています。このように一つの形質が複数の遺伝子座によって決定されている場合、その遺伝子座は量的形質遺伝子座 (QTL) と呼ばれます。

アレル:対立遺伝子のこと。ある 1 つの遺伝子座において存在する複数の DNA 配列のことです。例えば、ある遺伝子は品種によって違う DNA 配列になっています。

DNA マーカー育種:有用な QTL は、DNA マーカーなどで遺伝子型検定を行いながら戻し交配を繰り返すことで母本系統に導入することができます。これを DNA マーカー育種と呼び、品種改良において一つの有力な方法となっています。

【学会発表名】

強い雑種強勢を示すソルガム F_1 品種「天高」の後代集団を用いた QTL 解析

山口 未来¹, 中村 (荒木) 聡子¹, 伊藤 裕介¹, 篠原 (大前) 梢¹, 松岡 信¹, 北野 英己¹, 春日 重光², 佐塚 隆志¹ (1 名古屋大生物機能開発利用研究センター, 2 信州大農学部 AFC) 日本育種学会第 126 回講演会 (宮崎). 2014 年 9 月 26 日 (予定).

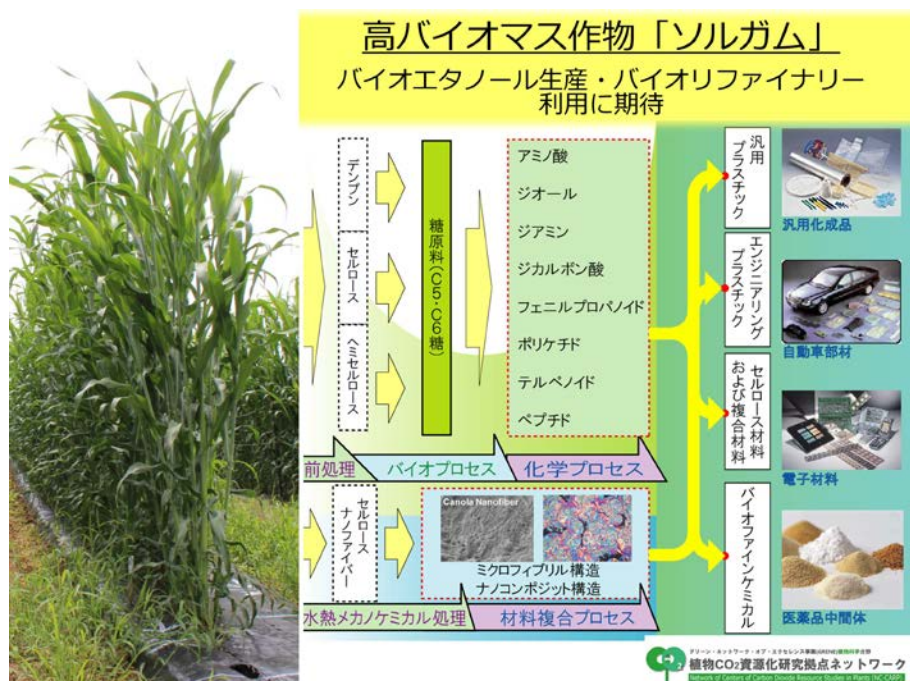


図 1. 高バイオマス作物「ソルガム」のバイオリファイナリー利用

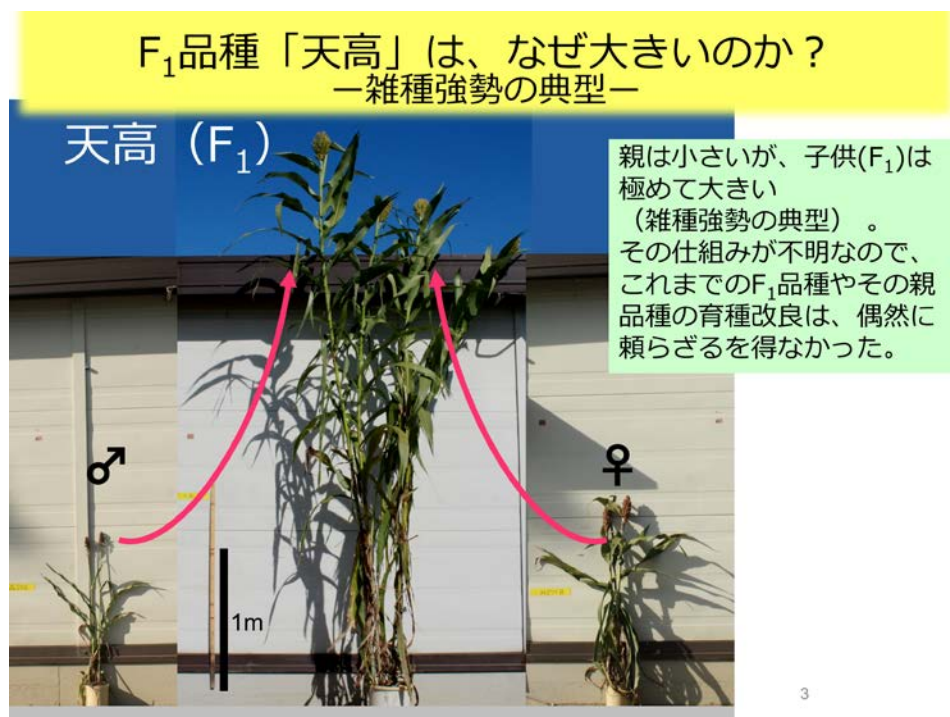


図 2. ソルガムの高バイオマス品種「天高」とその両親の草姿

高バイオマスに重要な6遺伝子座が明らかに

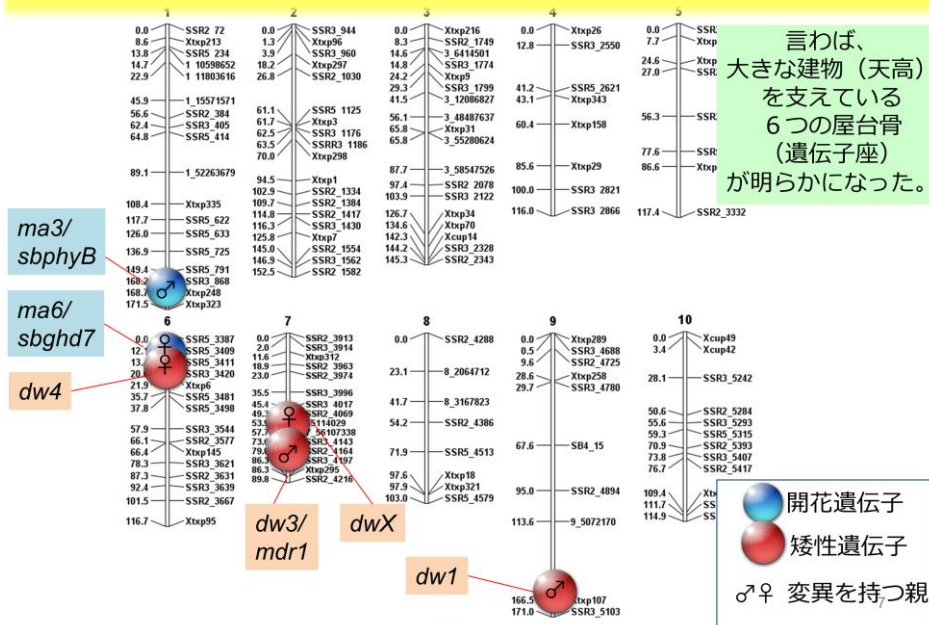


図 3. 天高の高バイオマス達成に重要な6遺伝子座

これまでのF₁育種

～「運ませ」の組合せ検定育種～

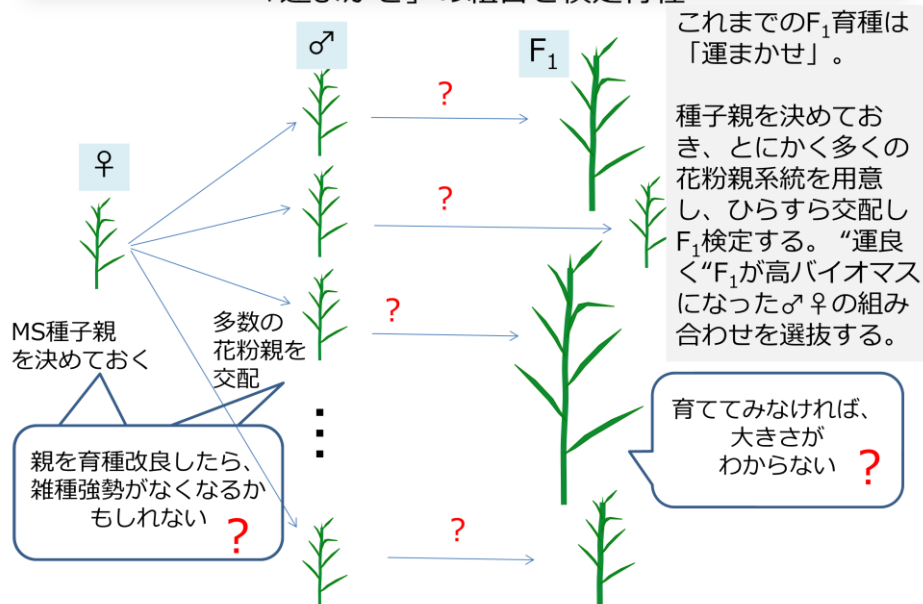


図 4. これまでのソルガム F₁ 育種の方法と問題点

この研究の波及効果

～遺伝様式に基づいた論理的F₁育種：他の作物へ応用も～

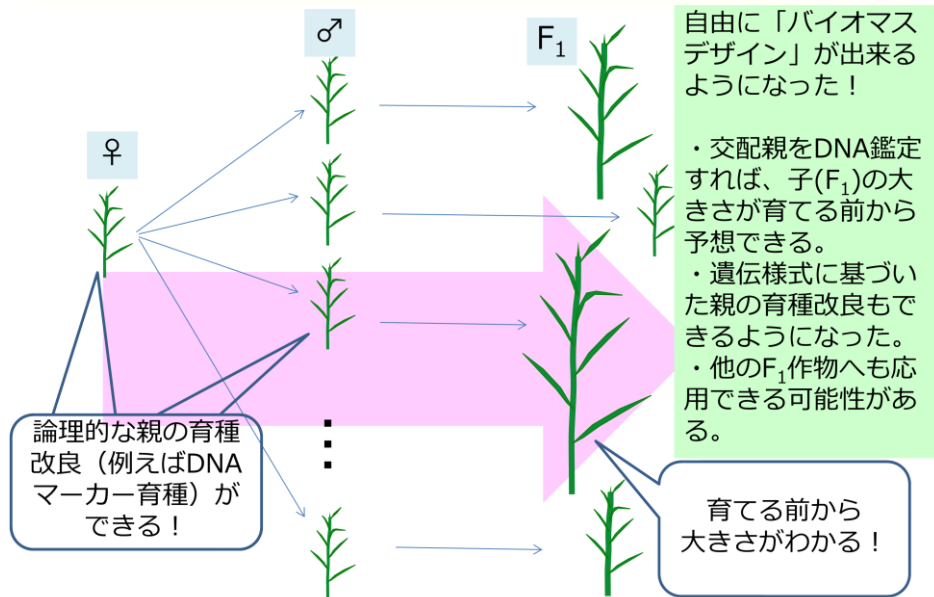


図 5. この研究の波及効果