

遺伝情報を活用した水稻育種に関する研究

富山県農林水産総合技術センター農業研究所 副主幹研究員 村田和優



業績概要

水稻の有用形質に関与する様々な遺伝子や遺伝領域を特定するとともに、DNAマーカー選抜手法を駆使してこれら形質を「コシヒカリ」等に導入し、一連の新しい品種を開発した。これらゲノム情報を活用した品種開発は、全国に先駆けたモデルケースとなっている。

1) 高温登熟性遺伝子 *Apq1* の特定と新品種「富富富」の開発

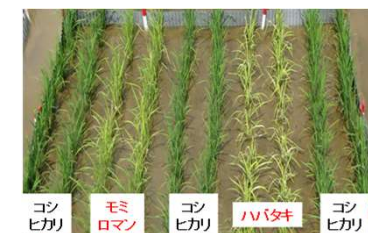
近年の温暖化に伴い、「コシヒカリ」では登熟期に高温に遭遇し、玄米の一部が白く濁るコメが多く発生して品質が低下し、大きな問題となっている。我々はインド型イネ品種「ハバタキ」の遺伝解析から、背白粒や基白粒の発生を抑制する遺伝子を特定し、これを導入して富山ブランドを担う新品種「富富富」を開発した。



高温下で登熟した玄米の品質

2) 除草剤抵抗性遺伝子等の有用遺伝子の特定

SU抵抗性雑草に有効な4-HPPD阻害型除草剤の開発・普及が進んでいるが、一部のイネ品種は本除草剤に対して感受性を示す。我々は感受性を引き起こす原因遺伝子を特定し、この遺伝子を活用することで、「新規需要米生産」の大きな障害である「漏生イネ発生による混種」を抑制可能な除草体系モデルを策定した。



4-HPPD阻害型除草剤で白化するイネ

3) 機能性に優れたイネ品種の開発

主に米ぬかに含まれる高機能性ビタミンE「トコリエノール」を高含有するコシヒカリや産業展開に向けたT3高生産イネ(T3高含量の多収イネ)を育成した。既往の有色素米品種の遺伝解析を行い、コシヒカリの食味をそのままに色素ポリフェノール含有量が高く抗酸化性に優れた有色素米の新品種「赤むすび」や「黒むすび」を開発した。

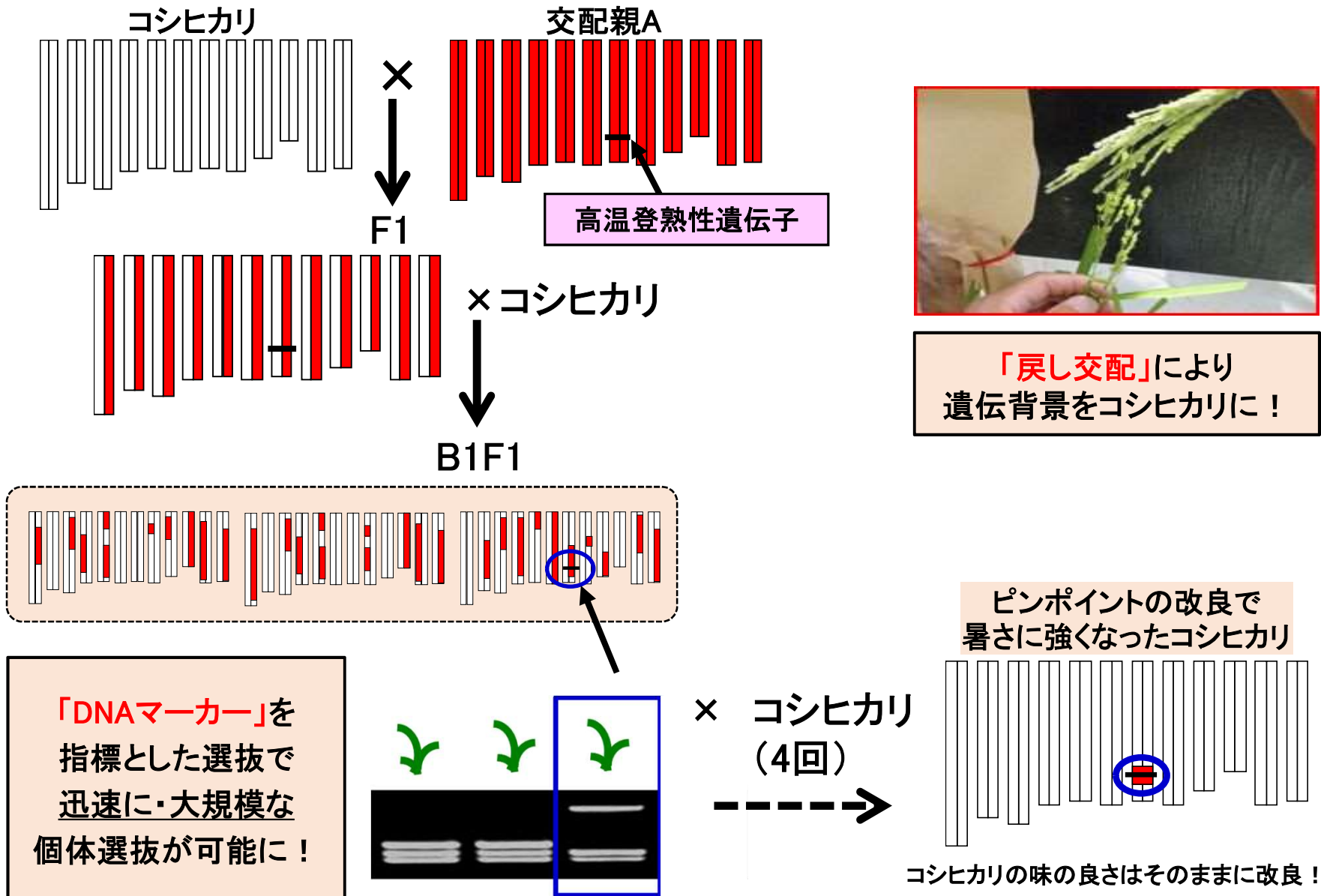


「コシヒカリ」、「赤むすび」、「黒むすび」
三色おにぎり（搗精歩合95%）

紹介する成果は、「全て」県内外の多くの共同研究者に支えられたものである。この場を借りて皆様に深謝申し上げる。

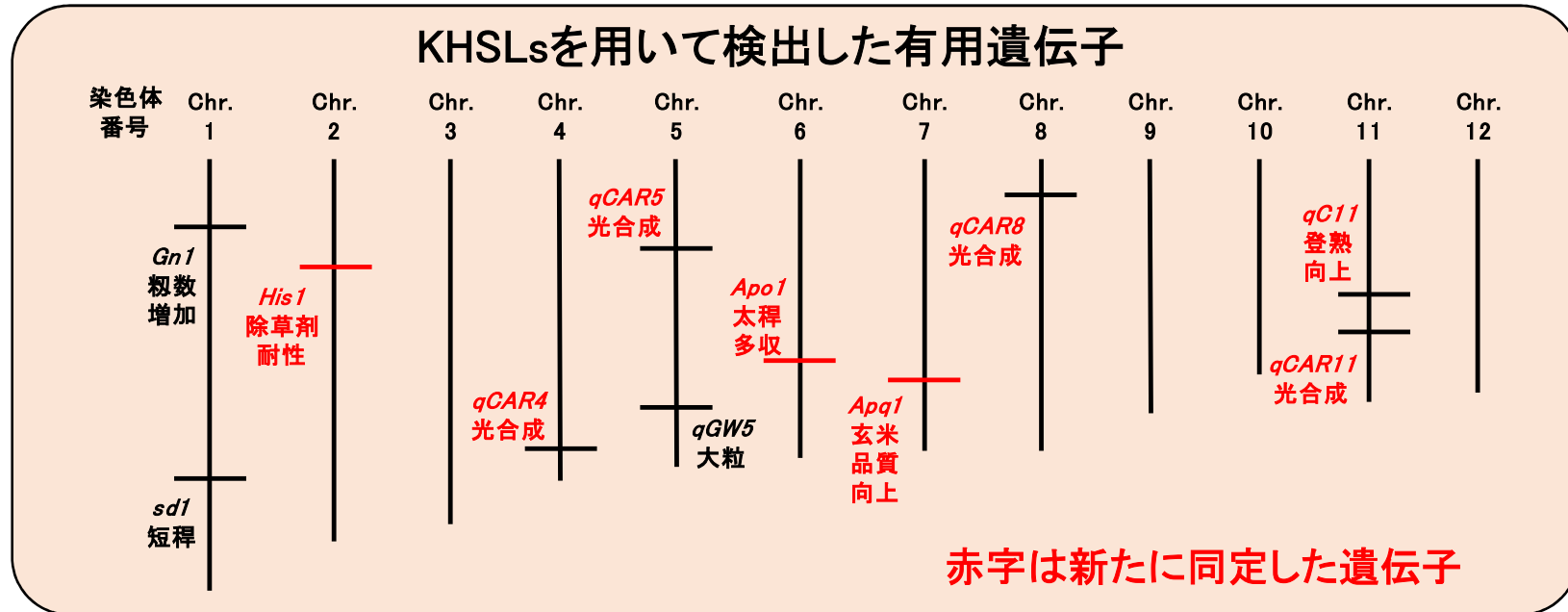
戻し交配とDNAマーカー選抜を併用したピンポイント改良による品種開発

DNAマーカーとは、目的の染色体領域がどちらの親に由来しているかを判別する目印



イネ有用遺伝子の単離・同定

「コシヒカリ」を遺伝背景とした「ハバタキ」の染色体断片置換系統群(KHSLs)を独自に作出し、これを用いて高温登熟性遺伝子(*Apq1*)、除草剤抵抗性遺伝子(*His1*)等の有用遺伝子を同定した。



上記遺伝子を活用した育成品種

- ・ *Apq1* ; 富富富(出願第31989号)、コシヒカリ富山APQ1号(出願第26601号)
- ・ *Apo1* ; コシヒカリ富農SCM1号(登録第22989号)

主な発表論文

- ・ *Apq1* ; Murata *et al.* Breed. Sci. (2014), Takehara *et al.* Breed. Sci. (2018)
- ・ *His1* ; Maeda *et al.* Science (2019)
- ・ *Apo1* ; Ookawa *et al.* Nat. Commun. (2010)
- ・ *qCAR4* ; Adachi *et al.* J. Exp. Botan. (2014), Adachi *et al.* J. Exp. Botan. (2011)

高温登熟性遺伝子 *Apq1* の解析

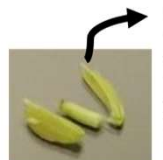
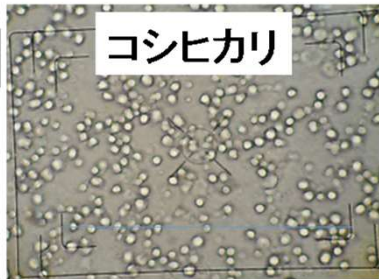
今後の高温耐性品種の育成を見据え、高温登熟性の裏付けとなる *Apq1* の本体を明らかにし、そのはたらくメカニズムを明らかにした。

高温登熟性遺伝子 *Apq1* の機能

- ・コシヒカリ/ハバタキ交雑集団の遺伝子解析により、
Apq1 はハバタキ型のショ糖合成酵素(Ⅲ) (*Susy3*) 遺伝子であることを明らかにした。
- ・*Apq1* は登熟期に胚乳で特異的にはたらく遺伝子であり、さらには高温下で強くはたらくことを明らかにした。

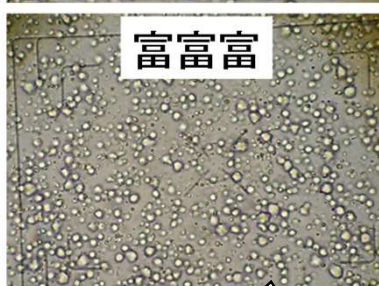
(X240)
10 μm

コシヒカリ



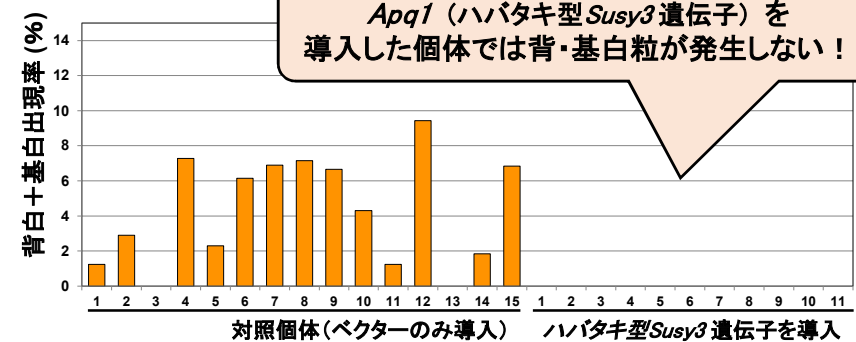
開花12日後
の胚乳液

富富富



胚乳内のデンプン比較

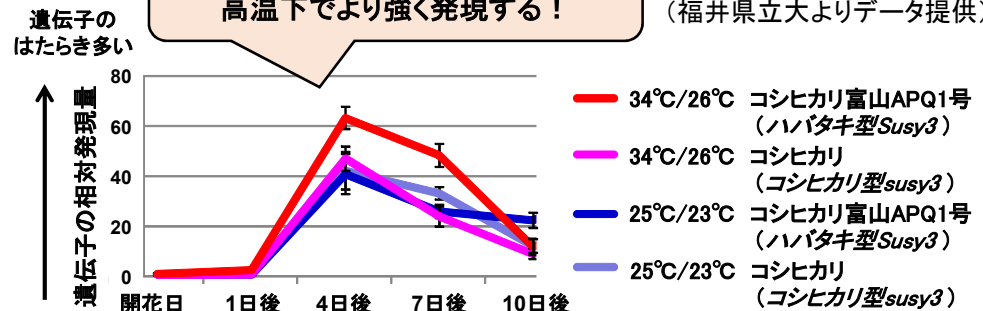
Apq1 を持つ「富富富」は小さなデンプン粒が数多く、デンプン合成能が長期に継続している！



ハバタキ型のショ糖合成酵素遺伝子(Ⅲ) (*Susy3*) 遺伝子を導入した形質転換体の高温登熟性 (福井県立大よりデータ提供)
高温区(7-19時34℃/他26℃)で開花・登熟させた株の玄米を目視調査

Apq1 (ハバタキ型 *Susy3* 遺伝子) は高温下でより強く発現する！

(福井県立大よりデータ提供)



胚乳でのハバタキ型ショ糖合成遺伝子(Ⅲ) (*Susy3*) の発現推移

開花後の胚乳での遺伝子発現量を低温下と高温下で比較
(25℃/23℃) (34℃/26℃)

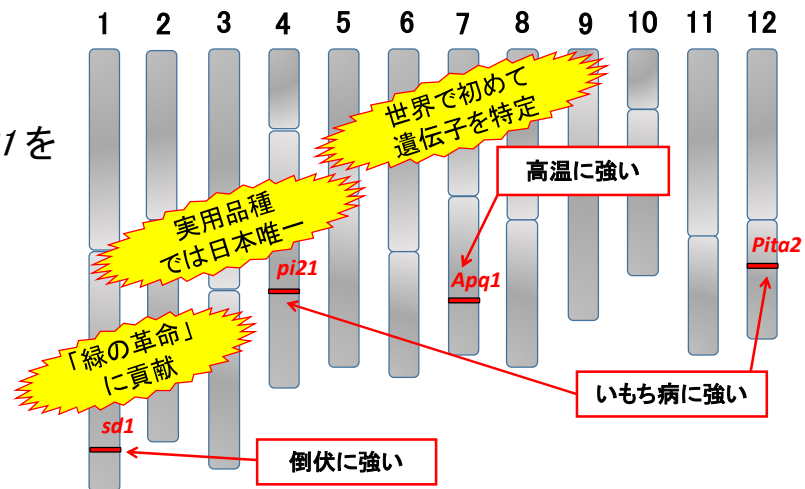
富山県ブランドを担う新品種「富富富」の育成

近年の温暖化傾向で「コシヒカリ」の白未熟粒の多発が大きな問題となっている。
そこで、「コシヒカリ」をベースとして、高温下でも玄米品質を維持・向上させるとともに、
倒伏やいもち病に対する抵抗性の改良を行い、新品種「富富富」を育成した。

「富富富」の品種特性

- ・ *Apq1* の効果で登熟期間が高温でも白未熟粒が少ない。
- ・ *sd1* の効果で草丈が短く、倒伏しにくい。
- ・ いもち病真性抵抗性遺伝子 *Pita-2* と圃場抵抗性遺伝子 *pi21* をあわせ持ち、いもち病に強く、農薬の使用量が節減できる。
- ・ 出穂期及び収穫期は「コシヒカリ」より2日程度遅い。
- ・ 収量性は「コシヒカリ」並み。
- ・ 食味は粒揃いが良く、甘みと旨みが強い。
- ・ 炊きあがりは香り高く、つやがあり、冷めても美味しい。

ゲノム育種(ピラミディング)でつくられた日本初の実用品種



富富富



コシヒカリ

高温下でも玄米品質が良い



コシヒカリより短稈で倒伏に強い



富富富

コシヒカリ

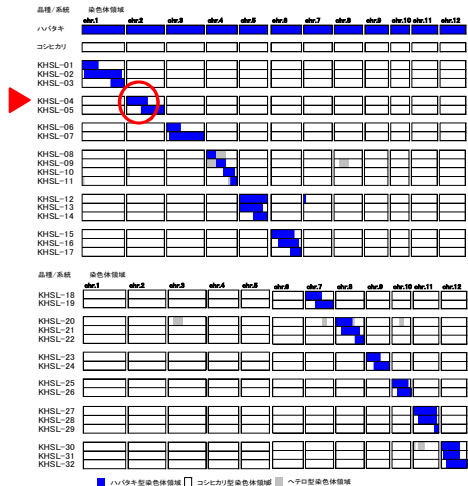
いもち病に強い

トリケトン系4-HPPD阻害型除草剤抵抗性遺伝子*His 1*の解析

高い生産性を備える新規需要米用品種が開発されているが、これらの一部はトリケトン系4-HPPD阻害型除草剤ベンゾビシクロン(BBC)に高い感受性を示し白化・枯死してしまう。そこで、この除草剤感受性について遺伝解析を行い、原因遺伝子*His 1*を特定した。

除草剤抵抗性遺伝子*His 1*の特定

- ・コシヒカリの第2染色体の一部(左下図○)を、ハバタキのものに置き換えると除草剤感受性になる。
- ・さらに解析を進め、除草剤に対する抵抗性or感受性を定義する遺伝子を特定した。
- ・コシヒカリでは正常な遺伝子が、ハバタキでは壊れている(変異で短くなっている)ため、除草剤に弱くなる。



コシヒカリ/ハバタキ染色体断片置換系統群(KHSLs)のグラフ遺伝子型

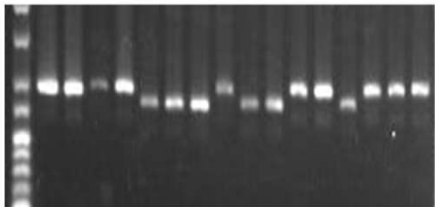


11 12 13 14 15 16
05 06 07 08 09 10
コシ ハバ 01 02 03 04

コシ:コシヒカリ、ハバ:ハバタキ、01-32:KHSL01-32
赤字は感受性(n=3を2反復で確認)



29 30 31 32 コシ ハバ
23 24 25 26 27 28
17 18 19 20 21 22



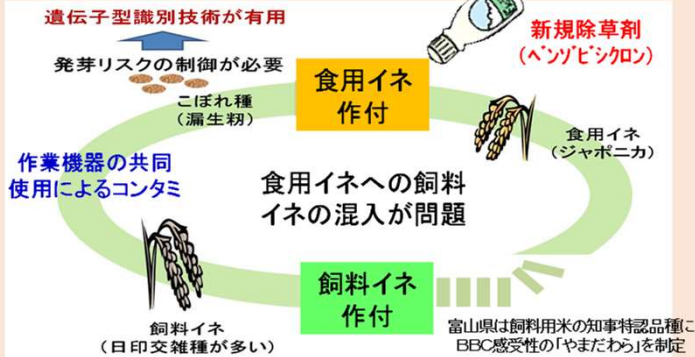
遺伝子を識別するDNAマーカー

食用イネ栽培ほ場における漏生イネの発生抑止

飼料イネから食用イネへの作付変更に伴い、BBC除草剤を使用し、本除草剤に弱い飼料イネ等の漏生イネの発生を抑止する。

KHSLsの除草剤耐性試験

除草剤感受性を活用した混種防止体系



有色コシヒカリ「赤むすび」「黒むすび」の育成と機能性評価

長寿社会の本格化や生活習慣病の増加などから「食と健康」に対する関心は非常に高まっており、健康維持・増進型作物に対する消費者ニーズも増加している。これに応えるため、健康機能性が高く良食味の新品種「赤むすび」、「黒むすび」を育成するとともに、赤米の米ぬかが持つ機能性について検証した。

有色コシヒカリの育成

- ・戻し交配とDNAマーカー選抜によって、
 - 1) インド型赤米品種「Kasalath」由来の着色遺伝子 *Rc* 及び *Rd* を「コシヒカリ」に導入して「赤むすび」を育成した。
 - 2) 中国の紫黒米品種「紅血糯」由来の遺伝子 *Kala1*、*Kala3* 及び *Kala4* を「コシヒカリ」に導入して「黒むすび」を育成した。
- ・赤米の色素成分プロアントシアニジンは、抗酸化活性及び脂肪蓄積抑制作用などの健康機能性をもつこと、また、その効果はプロアントシアニジンの濃度に依存することを確認した。



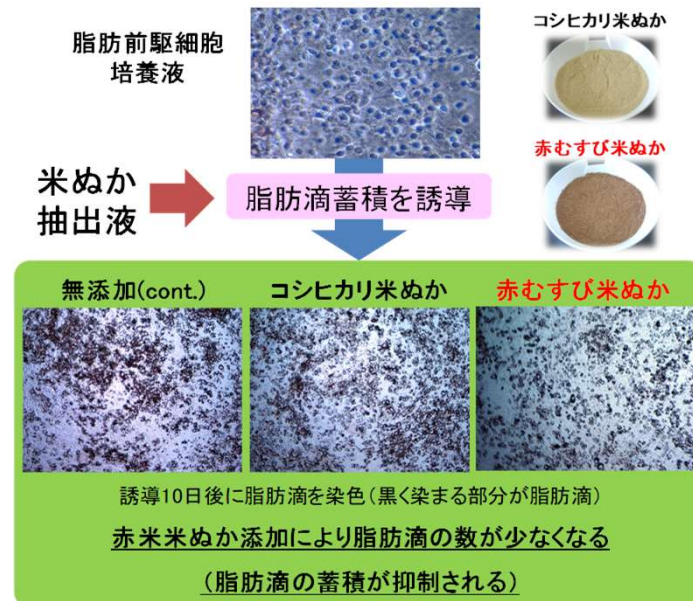
「赤むすび」の玄米と株の外観

紅衣: 農研機構育成

紅更紗: 新潟県育成



「黒むすび」の玄米と穂の外観



赤むすびの米ぬかが持つ脂肪蓄積の抑制作用

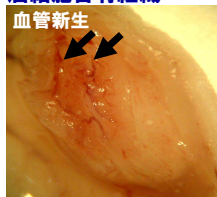
高機能性ビタミンE ‘トコリエノール’ 高含有イネの育成

「食と健康」の充実に向けて機能性成分に富んだ水稻新品種の開発をねらい、米ぬかに含まれるスーパービタミンE(トコリエノール)の効果に注目し、これを多く含むイネを開発した。

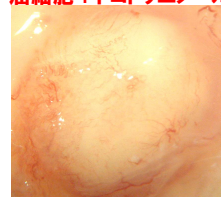
スーパービタミンE (トコリエノール)とは、

- ・米ぬか に多く含まれる。
- ・一般のビタミンE(トコフェロール)より高い抗酸化活性を持つ。
- ・癌などの原因とされる血管新生を阻害する作用がある。

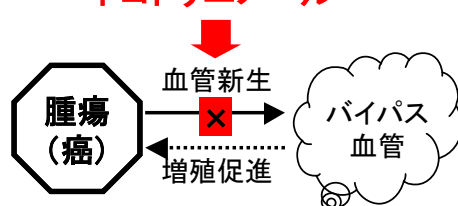
癌細胞含有組織



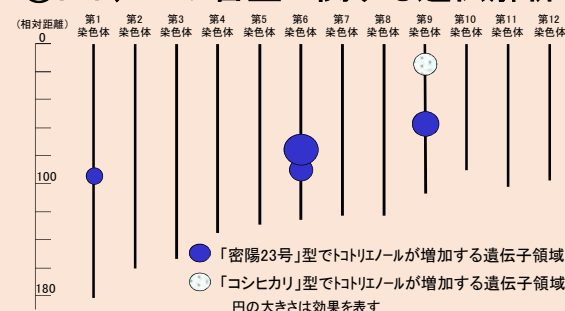
癌細胞+トコリエノール



トコリエノール



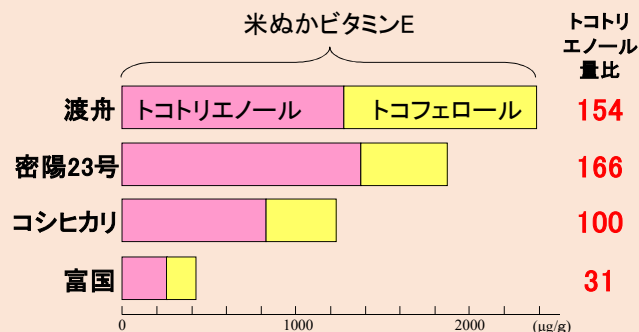
②トコリエノール含量に関する遺伝解析



Sookwong P. et al J. Agric. Food Chem., 57, (2009)

トコリエノール高含量の「富山82号」を育成

①育種資源の探索



米ぬかビタミンE含量の品種間差異

Sookwong P. et al, J. Agric. Food Chem. 55, (2007)
村田ら、北陸作報, 44, (2009)

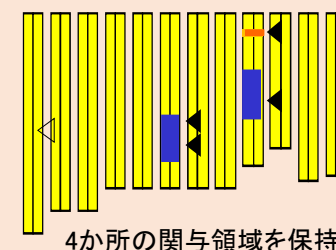
コシヒカリ
戻し交配

マーカー選抜

③トコリエノール高含量イネの選抜完了



富山82号のグラフ遺伝子型



「富山82号」のトコリエノール含量 : **24mg** / 米ぬか100g
「コシヒカリ」のトコリエノール含量 : 14mg / 同上

村田ら、富山農総セ農研報, 3, (2012)