

東北ハイテック研究会セミナー
2023年9月5日（火） 14:20-15:10

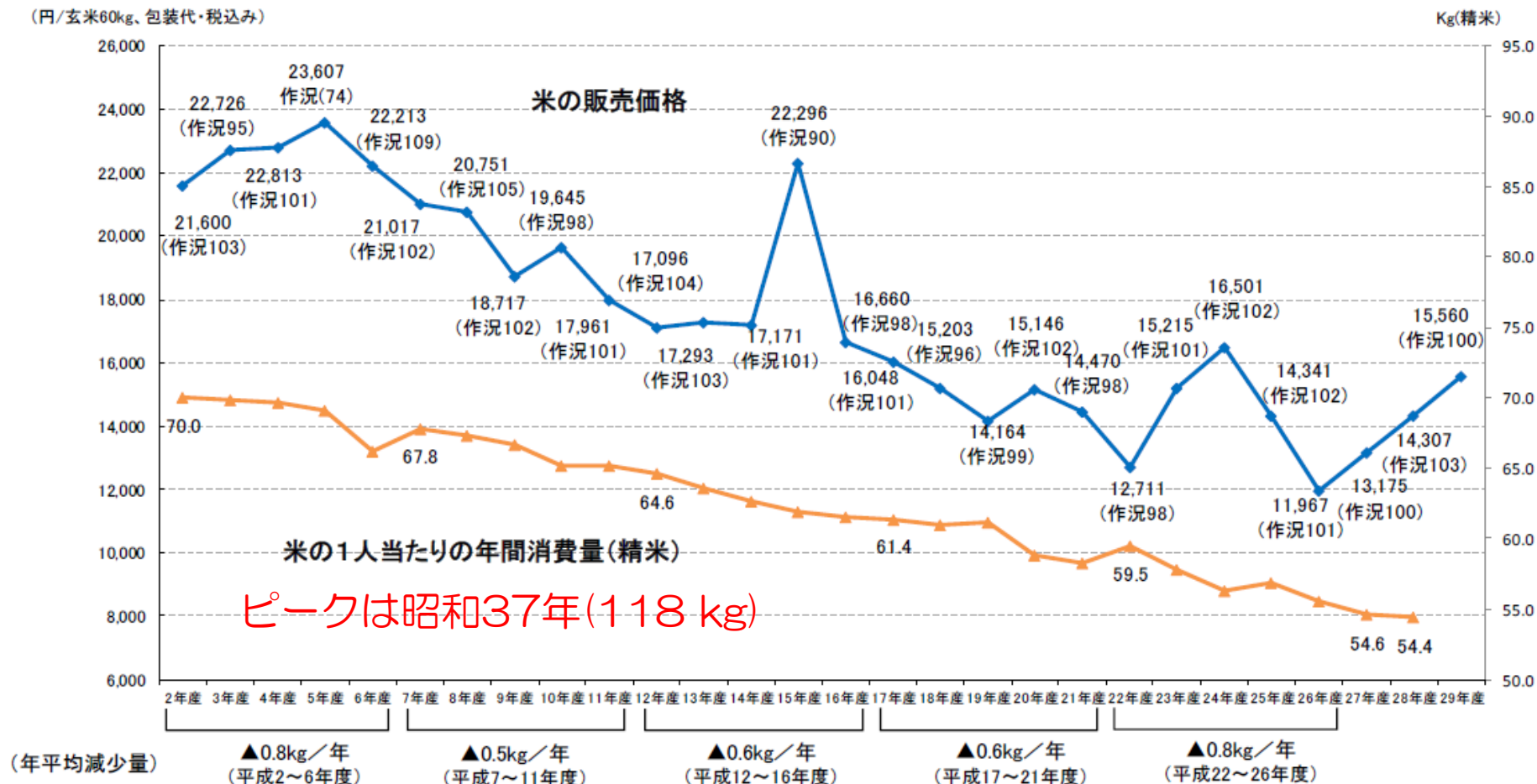
超積極的米利用 ～多様な米を多様な用途に～

秋田県立大学・生物資源科学部
（株）スターチテック
藤田 直子

講演内容

1. 昨今の米の状況
2. 澱粉とは？
3. 変異体米を使った研究
4. 新品種の開発
5. 高RS米の今後の課題と展望

米の販売価格と一人当たりの年間消費量



資料: (財)全国米穀取引・価格形成センター入札結果、農林水産省「米穀の取引に関する報告」、「食料需給表」。

注1: 2～17年度までは(財)全国米穀取引・価格形成センター入札結果を元に作成。

注2: 18年度以降は出回り～翌年10月(29年度は30年2月まで)の相対取引価格の平均値(29年度は速報値ベース)。

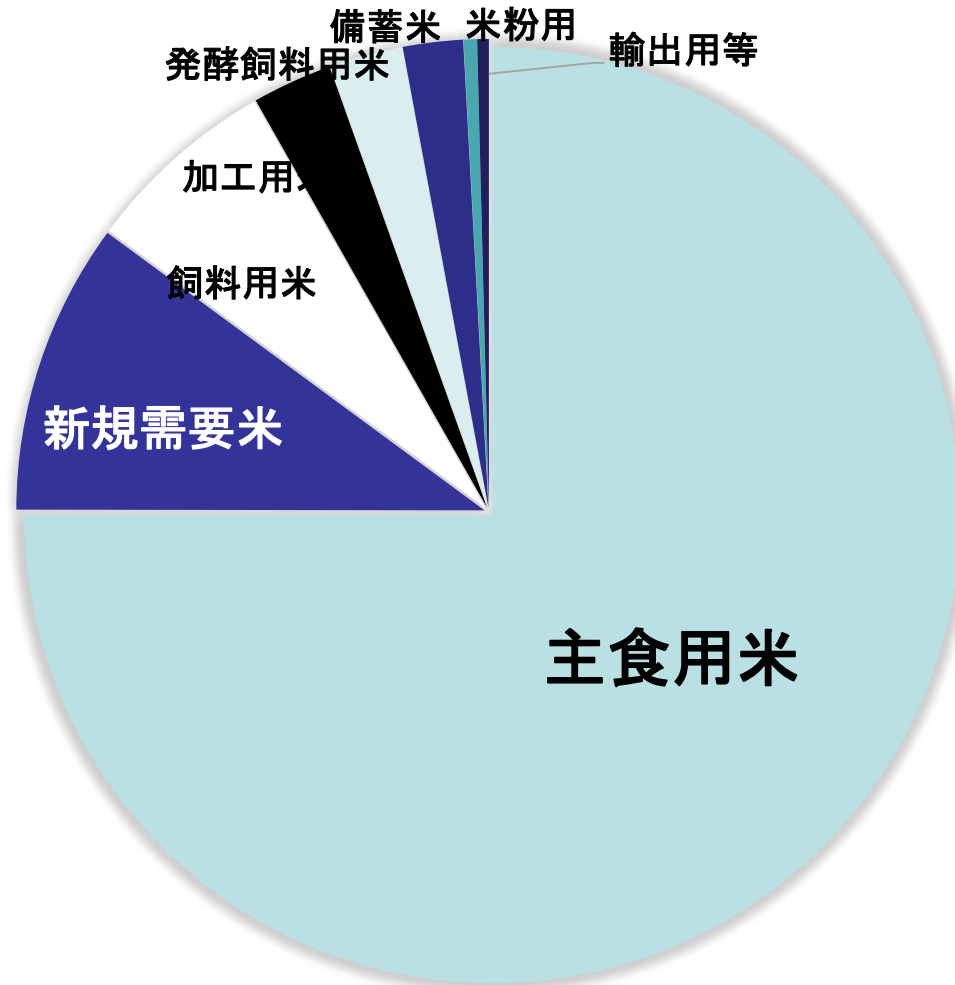
注3: センター価格は、銘柄ごとの落札数量で加重平均した価格であり、相対取引価格は、銘柄ごとの前年度検査数量ウェイトで加重平均した価格である。

小麦の国際価格（シカゴ相場）の推移



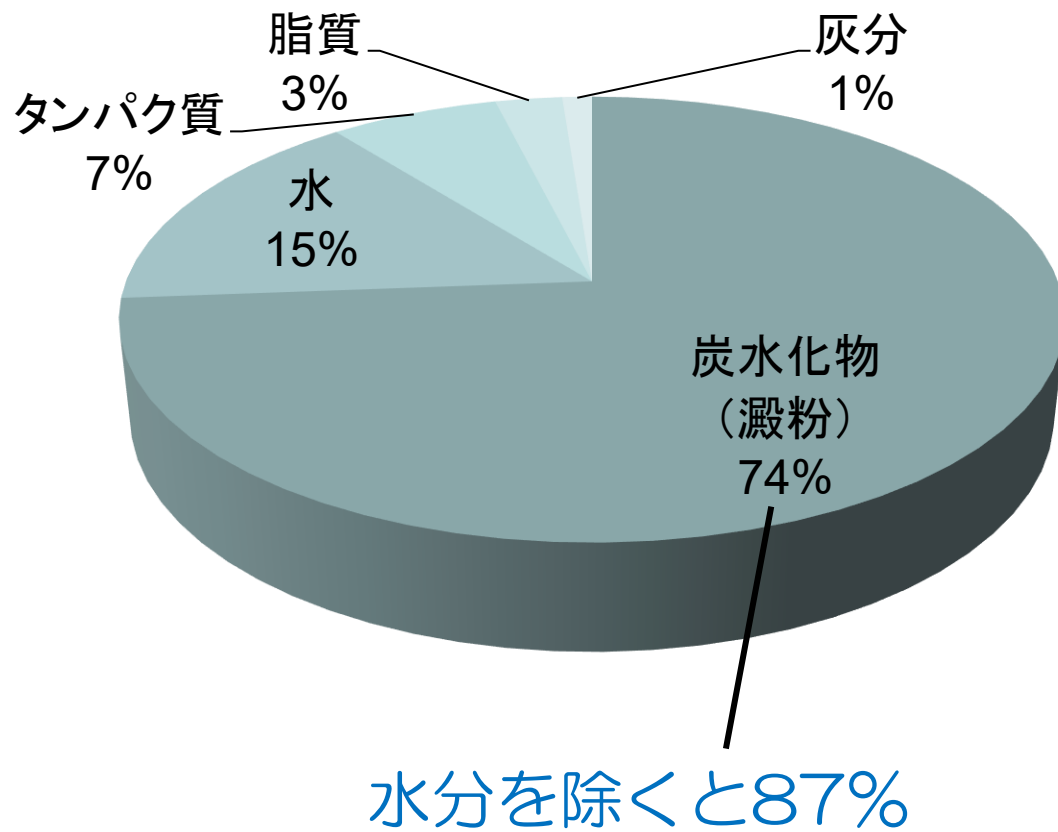
R4.3農林水産省より

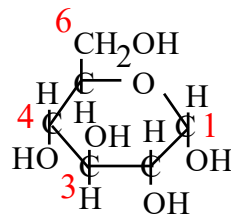
米の用途別面積の割合（％）



米をめぐる関係資料（R4農林水産省）より

コメの成分

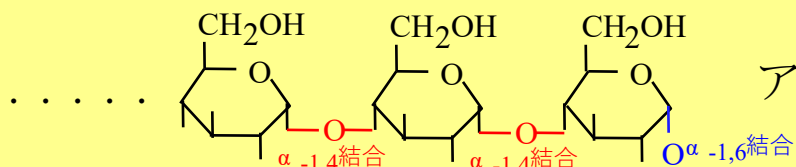




グルコース
(ブドウ糖)

のみからなる多糖

デンプン	アミロペクチン	70-85%
	・ α -1,4グルコシド結合 ・ α -1,6グルコシド結合	
	アミロース	15-30%
	・ α -1,4グルコシド結合	

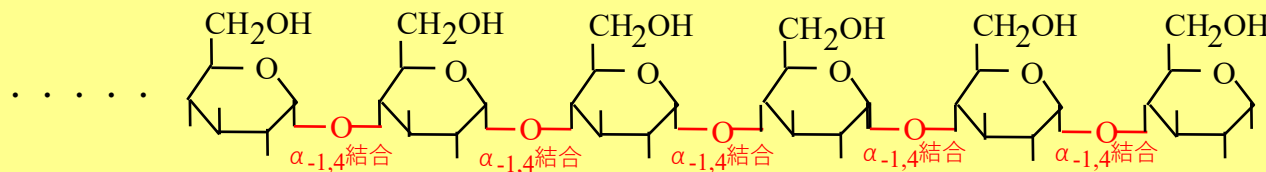


アミロペクチン、グリコーゲン

直鎖+枝分かれ

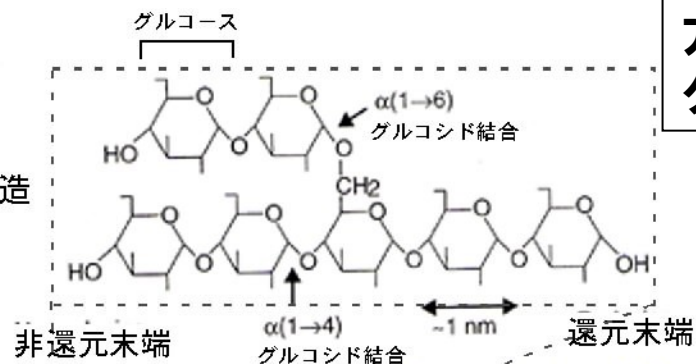


アミロース
直鎖



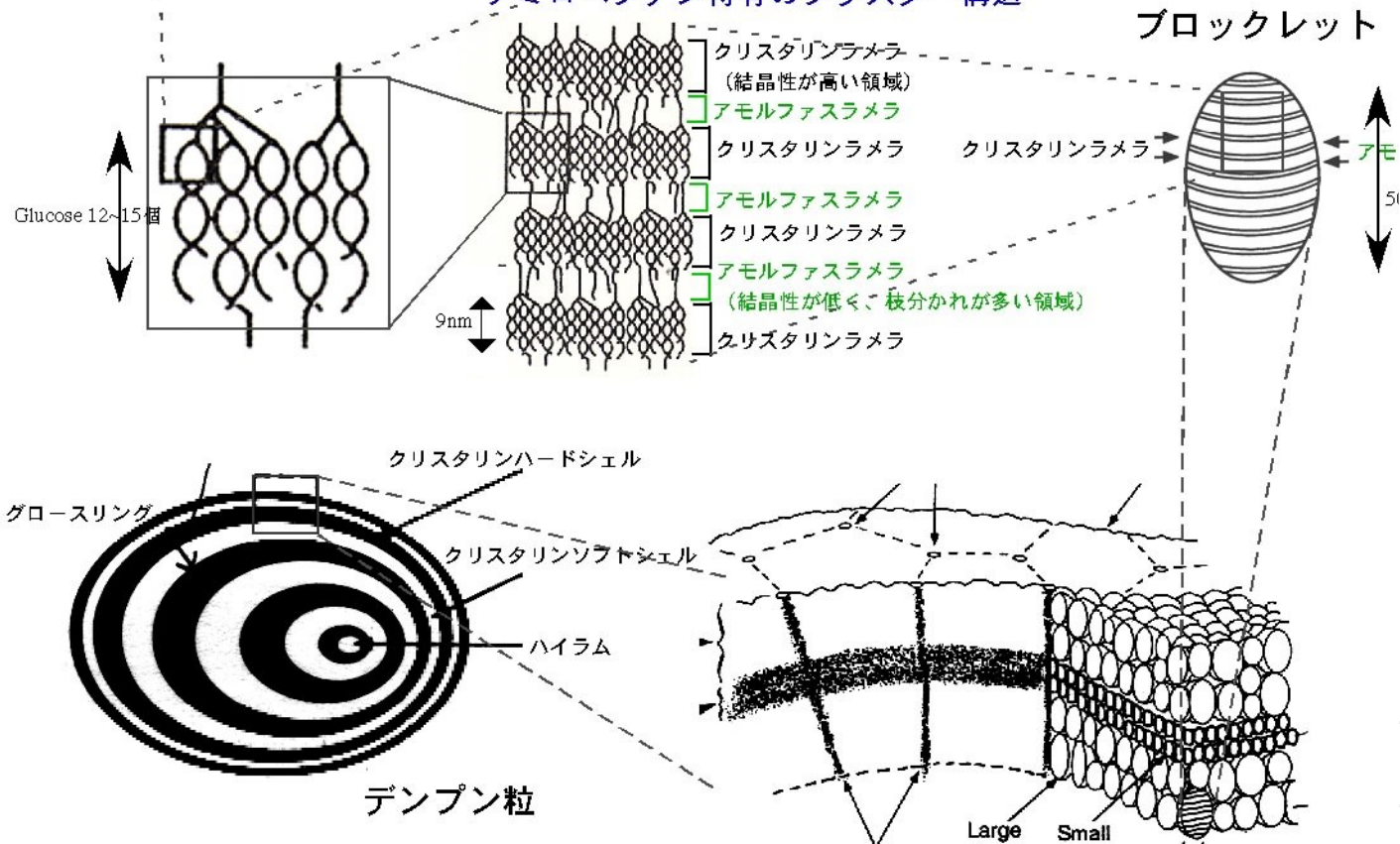
セルロース

基本構造



アミロペクチン特有の クラスター構造

アミロペクチン特有のクラスター構造

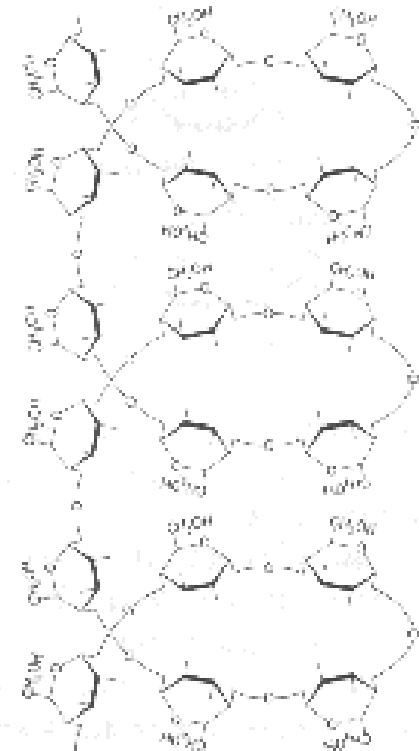


澱粉

アミロペクチン
枝分れ構造

アミロース
直鎖

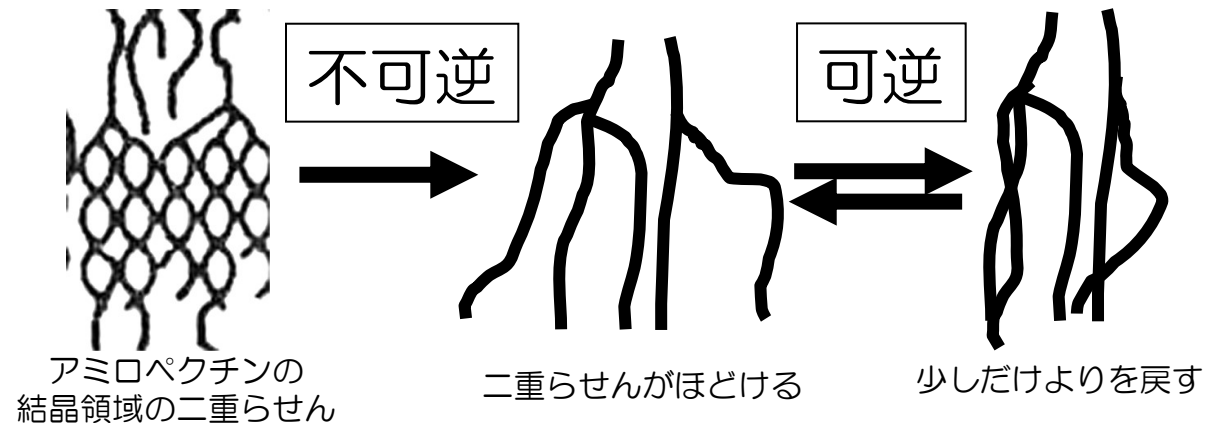
アミロースの構造



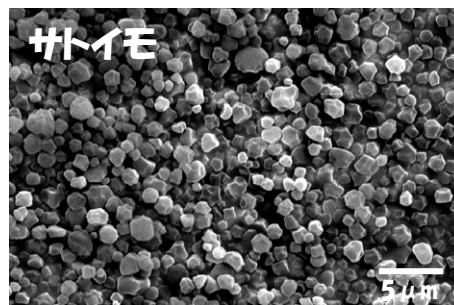
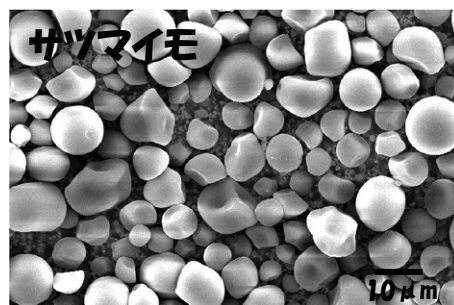
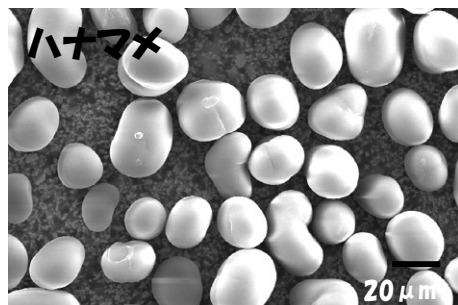
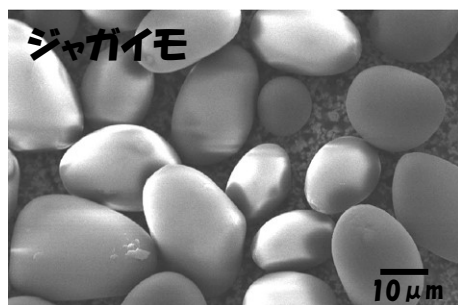
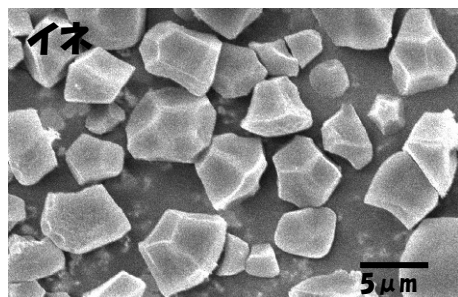
澱粉の独特な物性

- ①水に溶けない
- ②水と共に熱すると糊化する

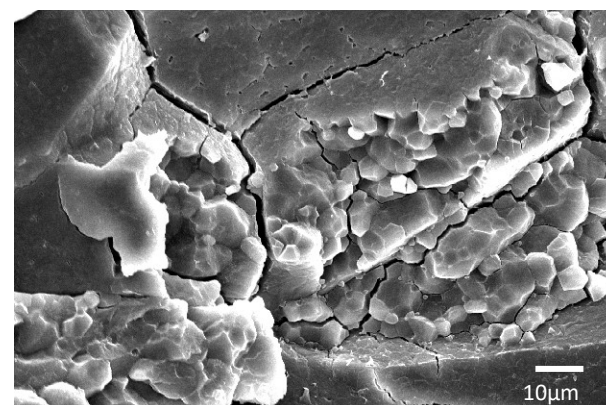
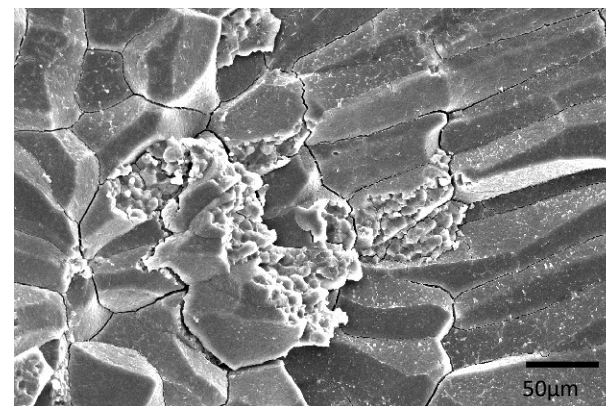
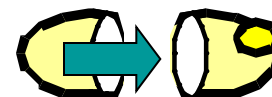
生澱粉



植物から精製したテンブンの観察 (走査型電子顕微鏡SEM)



イネ種子断片の観察 (走査型電子顕微鏡SEM)

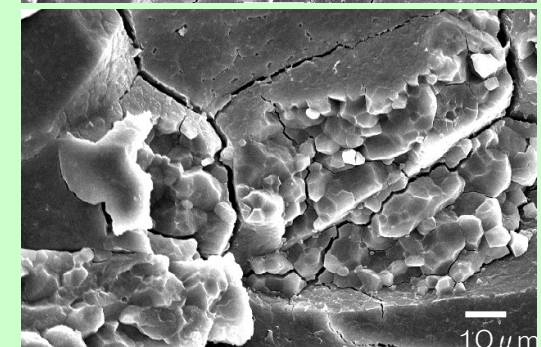
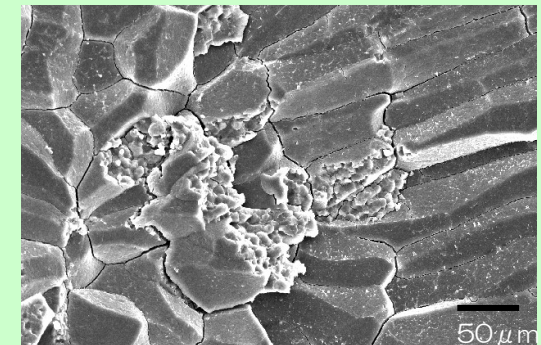
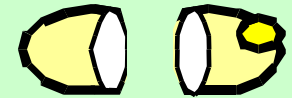
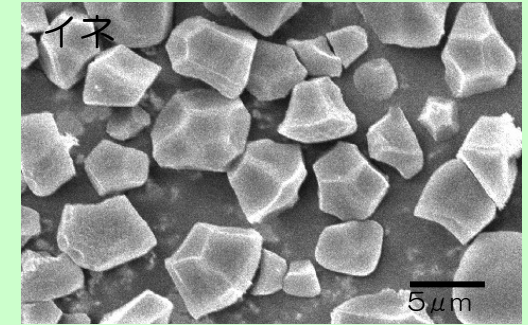


イネの澱粉研究

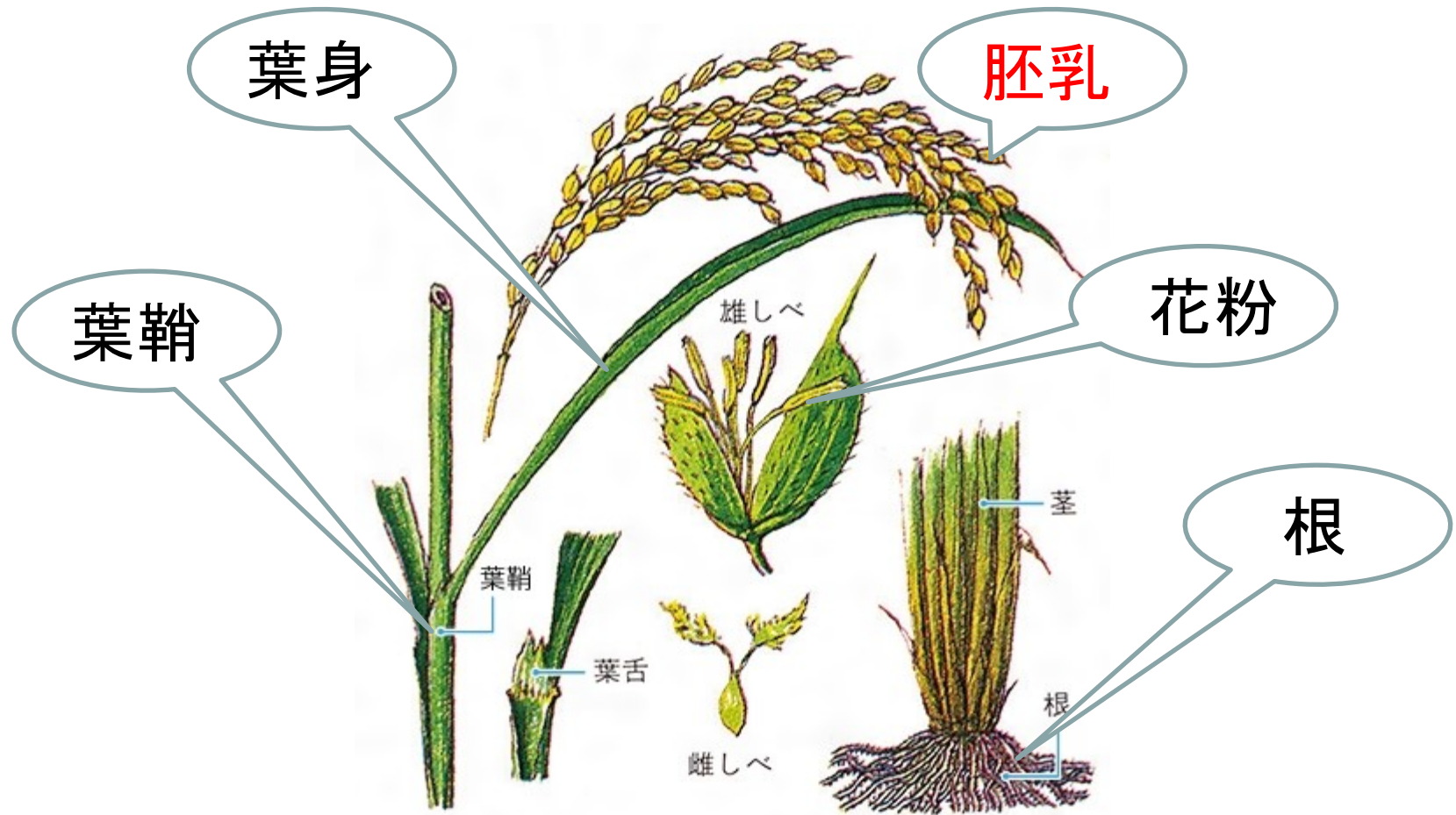
イネを材料に使うメリット

- ゲノム情報が充実
- シロイヌナズナに次ぐモデル植物であり，作物
- 二倍体で，変異体が単離しやすい
- 組換え体を作成しやすい
- 胚乳において，澱粉が高密度

イネ澱粉のSEM観察

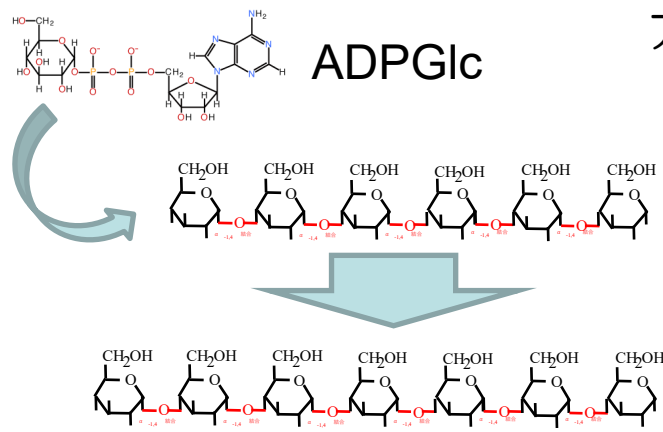


植物はいろいろな器官に澱粉を貯める

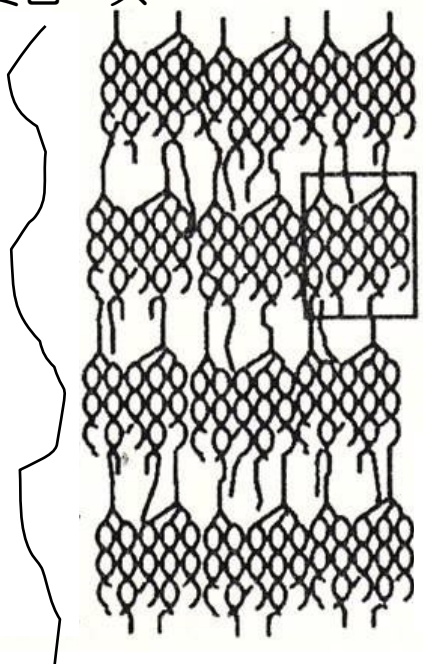


澱粉の構造に影響を与える酵素群

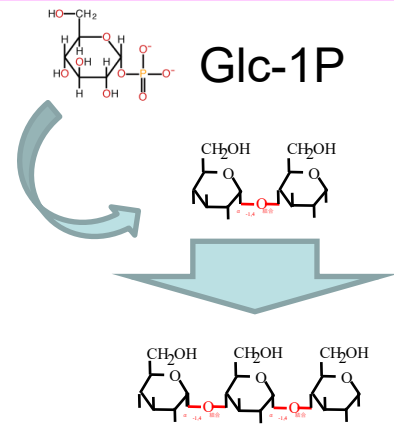
直鎖伸長酵素(SS)



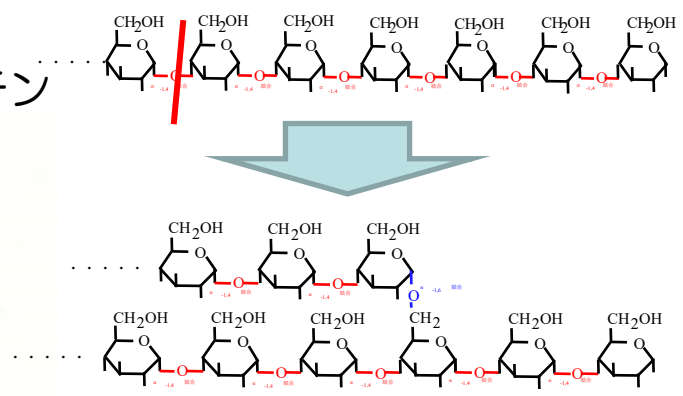
アミロース アミロペクチン



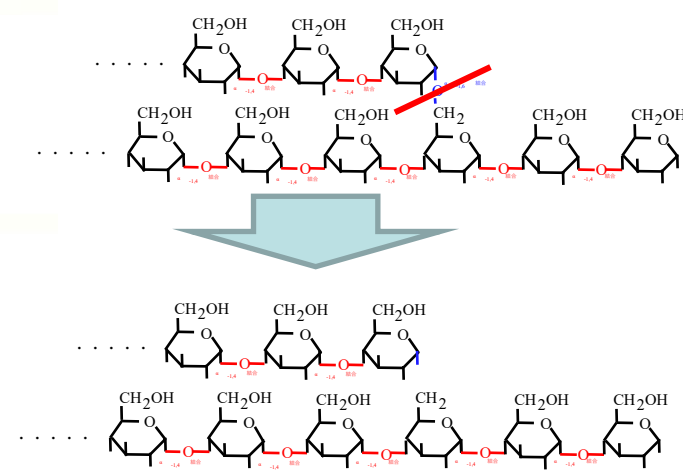
ホスホリラーゼ(PHO)



枝作り酵素(BE)



枝切り酵素(DBE)



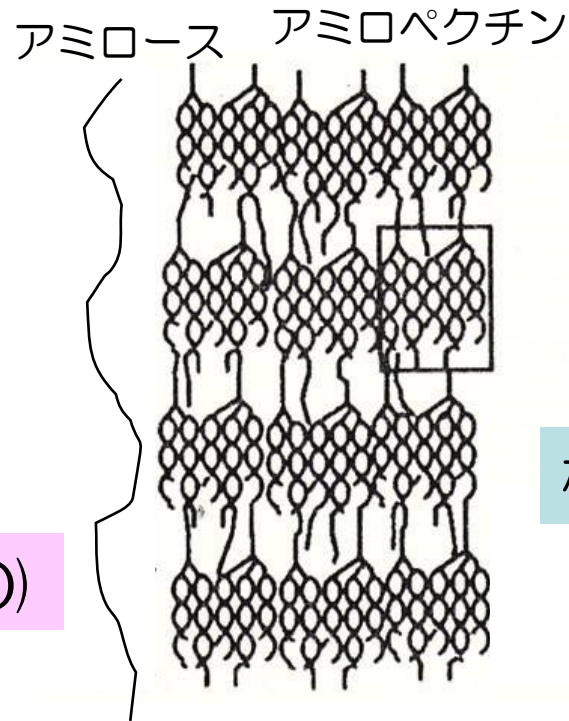
澱粉の構造に影響を与える酵素群

直鎖伸長酵素(SS)

SSI,
SSIIa, SSIIb, SSIIc
SSIIIa, SSIIIb,
SSIVa, SSIVb
SSV
GBSSI, GBSSII

ホスホリラーゼ(PHO)

Pho1, Pho2



枝作り酵素BE

BEI,
BEIIa, BEIIb

枝切り酵素DBE

ISA1, ISA2, ISA3
PUL

赤文字：胚乳で強い発現がある酵素

緑文字：栄養組織等で強い発現がある酵素

澱粉を作る酵素の遺伝子が違うとどんな変化が？



インディカ米
(野生型) *SS2a*

GBSS1

ジャポニカ米

ss2a^L

gbss1^L

*waxy*変異体*

ss2a^L

gbss1

*ae*変異体*

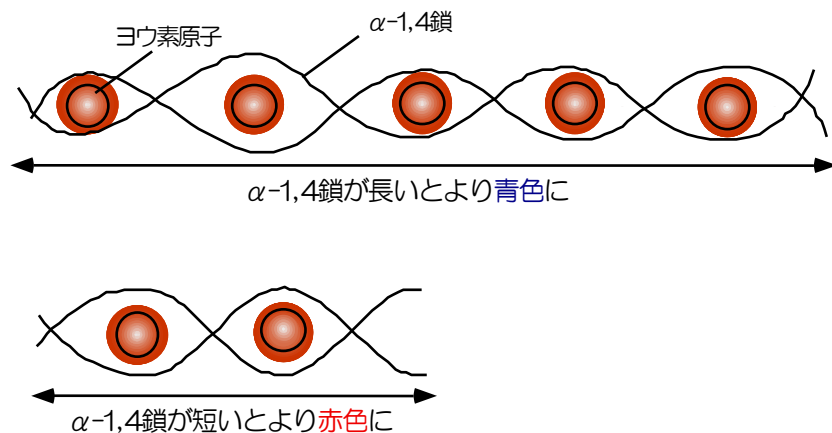
ss2a^L

gbss1^L

be2b

澱粉の分析法

①ヨウ素－澱粉複合体



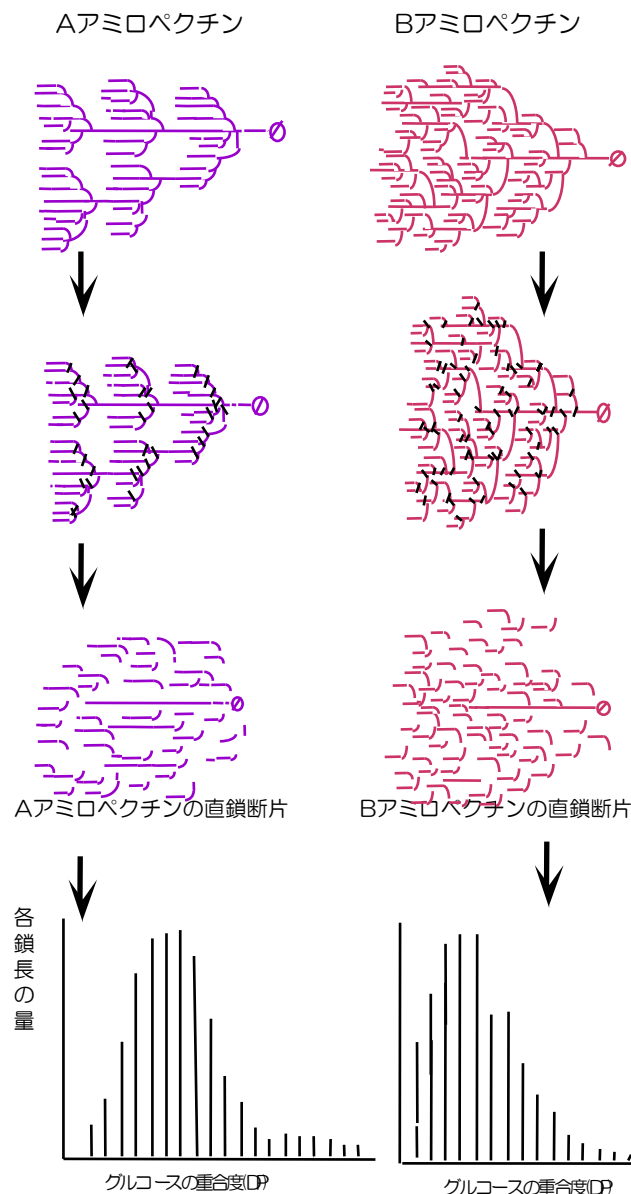
③糊化温度の測定(DSC)

- 糊化開始温度
- 糊化熱量

④糊化粘度の測定(RVA)

⑤澱粉の結晶性(XRD)

②澱粉構造解析（鎖長分布解析）



例1 インディカ米とジャポニカ米



パサパサ



もちもち

澱粉の構造に影響を与える酵素群

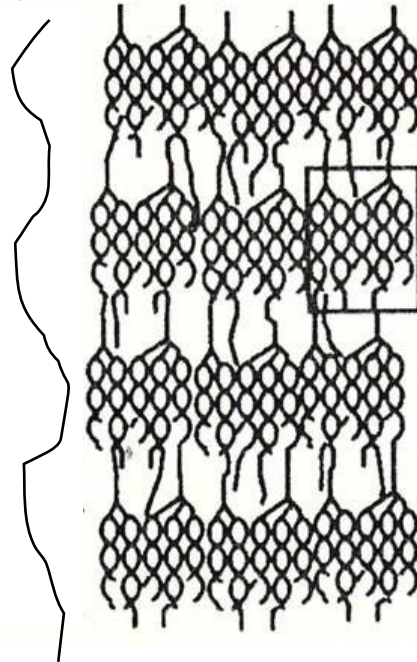
直鎖伸長酵素(SS)

SSI,
~~SSIIa~~, SSIIb, SSIIc
SSIIIa, SSIIIb,
SSIVa, SSIVb
SSV
~~GBSSI~~, GBSSII

ホスホリラーゼ(PHO)

Pho1, Pho2

アミロース アミロペクチン



枝作り酵素BE

BEI,
BEIIa, BEIIb

枝切り酵素DBE

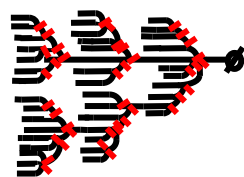
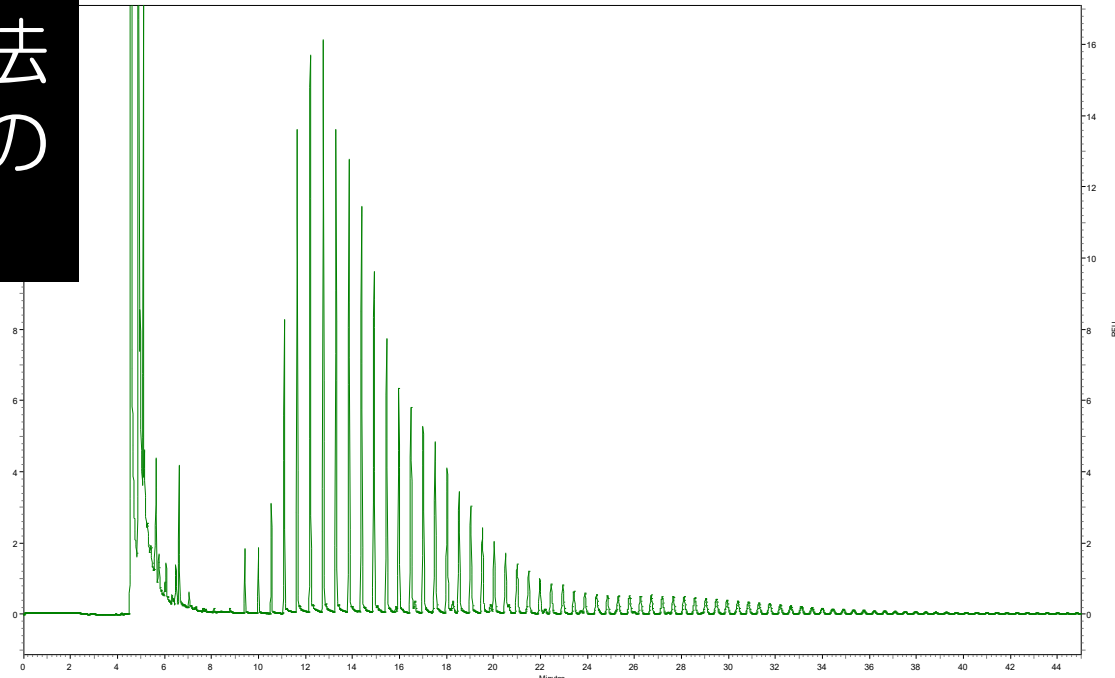
ISA1, ISA2, ISA3
PUL

赤文字：胚乳で強い発現がある酵素

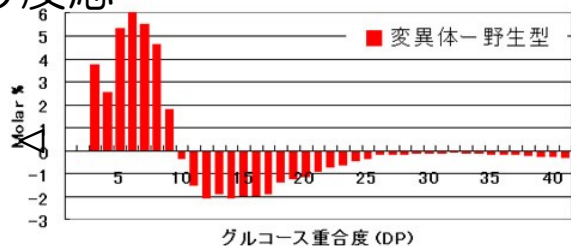
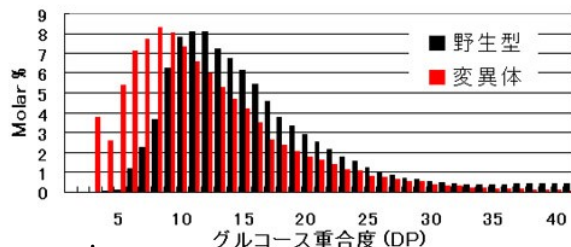
緑文字：栄養組織等で強い発現がある酵素

キャピラリー電気泳動法 によるアミロペクチンの 鎖長分布解析

- イネ種子1粒から分析可能。
- 高分離能、高再現性
- アミロペクチンの枝の長さの分布（鎖長分布）が分析できる。



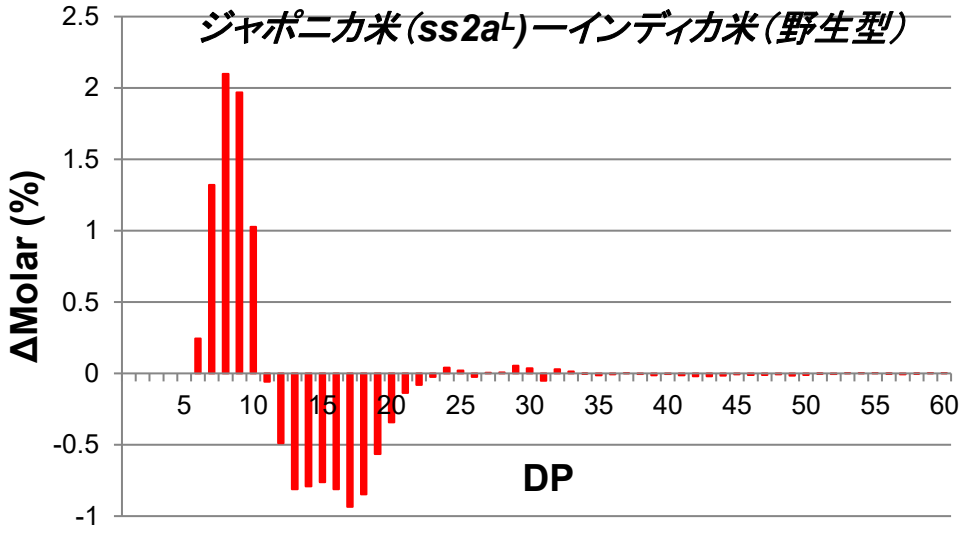
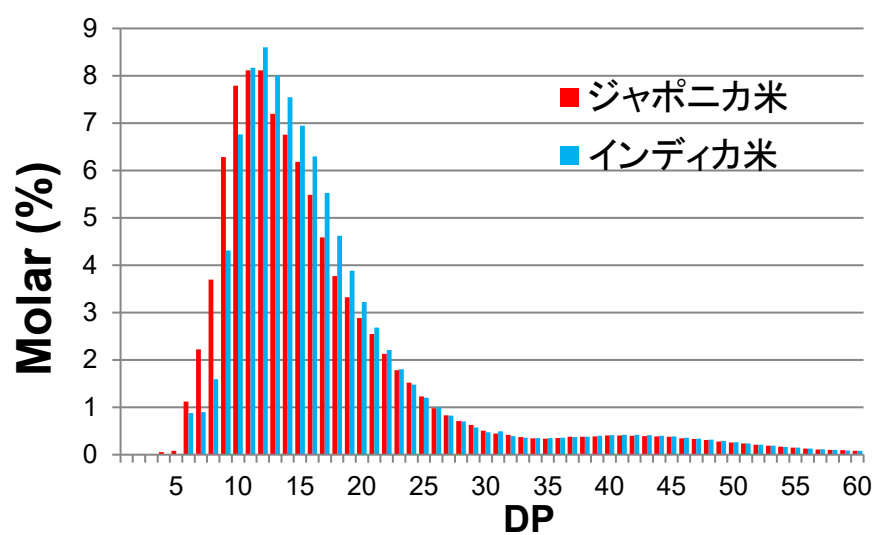
ISAで枝切り反応



F203生産機器分析室

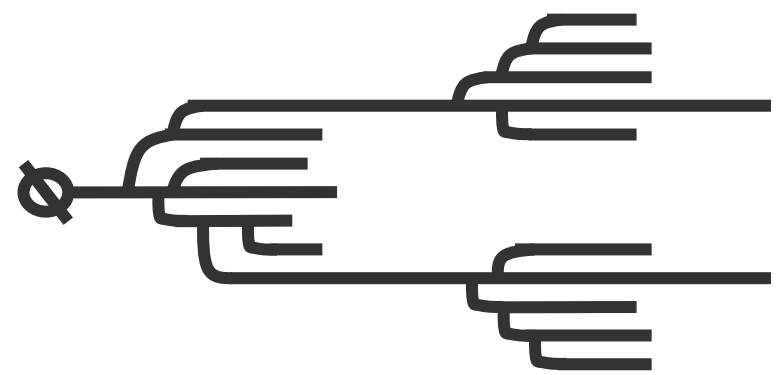
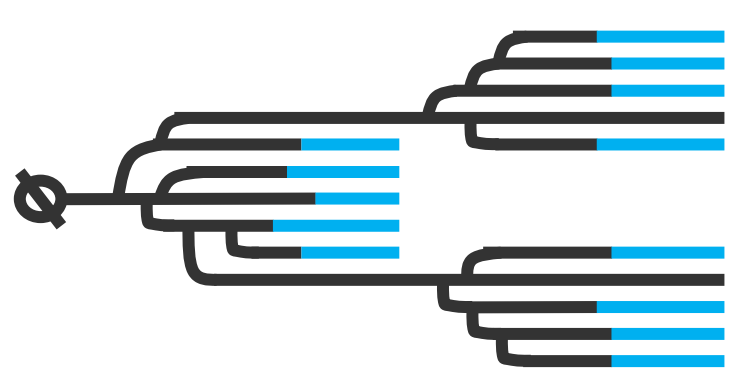


インディカ米とジャポニカ米の鎖長分布解析から推測される それぞれのアミロペクチン構造



野生型

変異型 *ss2a^L*



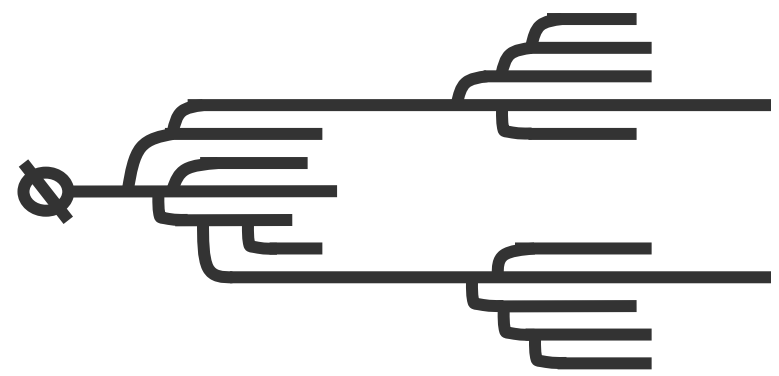
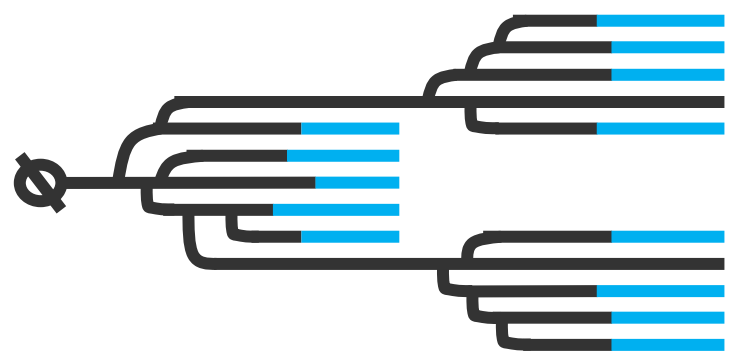
Lアミロペクチン（高温糊化）

Sアミロペクチン（低温糊化）

アミロペクチン構造の違いは、糊化温度に反映する

野生型

変異型 $ss2a^L$

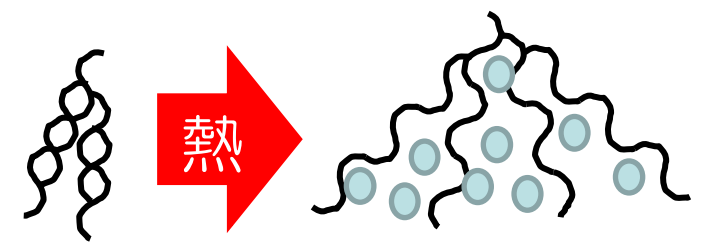
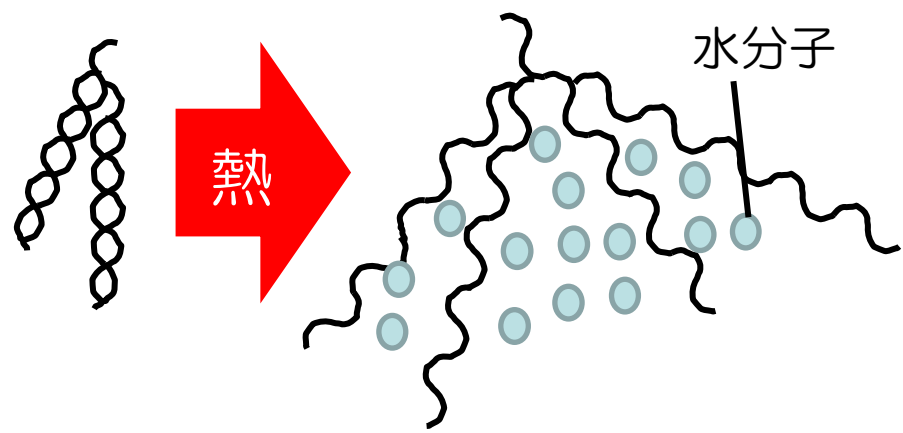


Lアミロペクチン（高温糊化）

Sアミロペクチン（低温糊化）

長い二重らせん

短い二重らせん

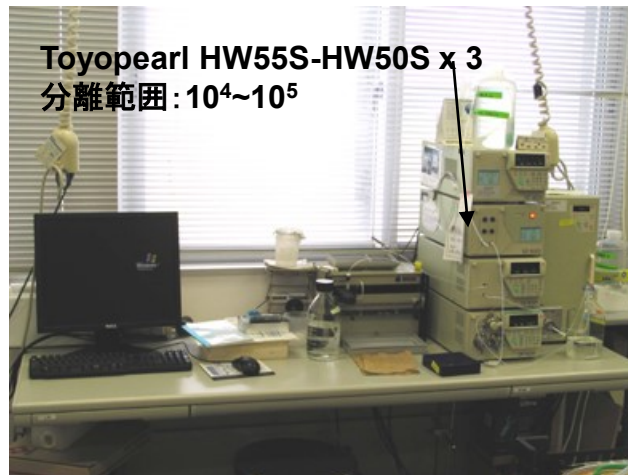


糊化温度が高い

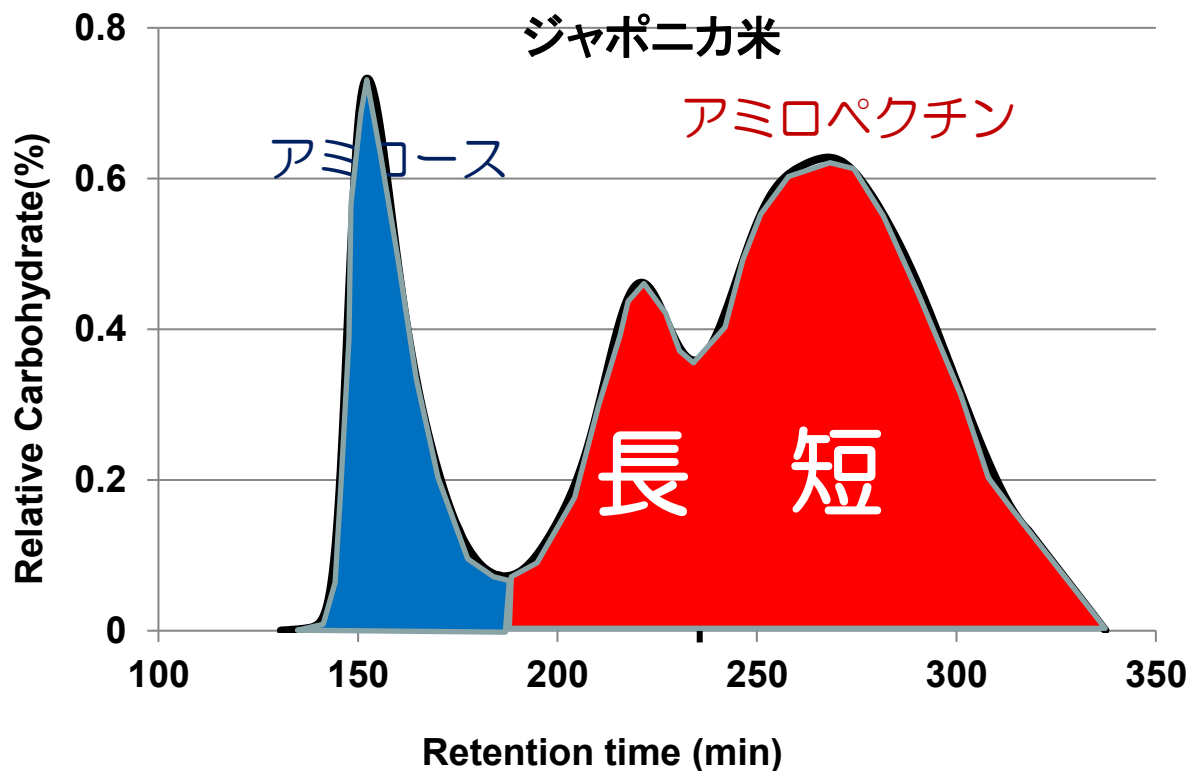
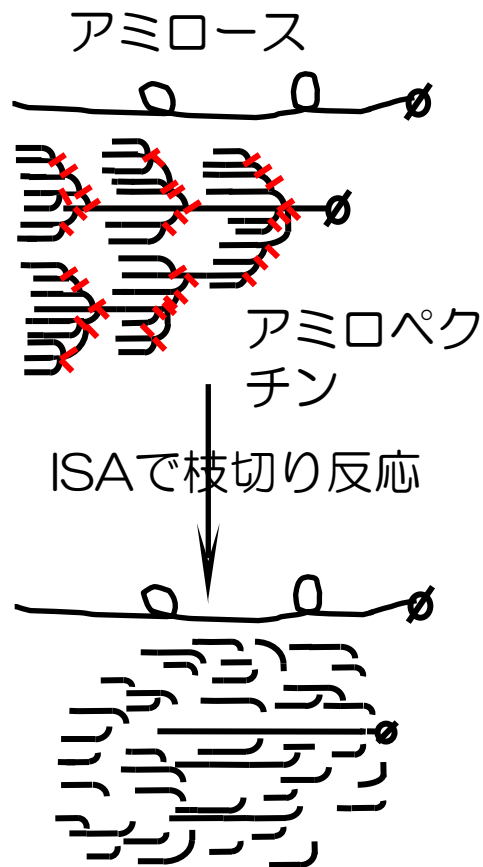
糊化温度が低い

ゲル濾過法

- 澱粉20 mgから分析可能。
- 澱粉構造の全体像を把握。
- 正確なアミロース含量を測定

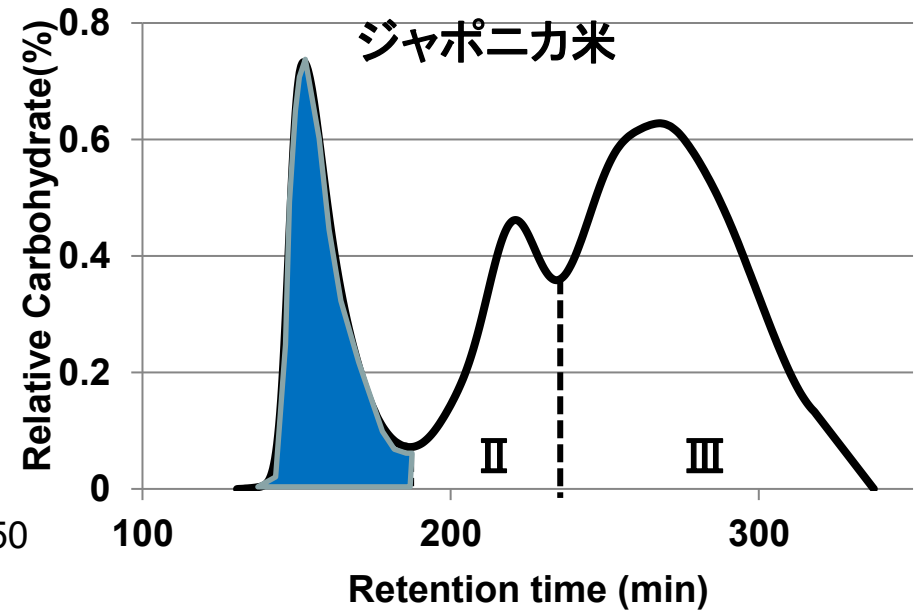
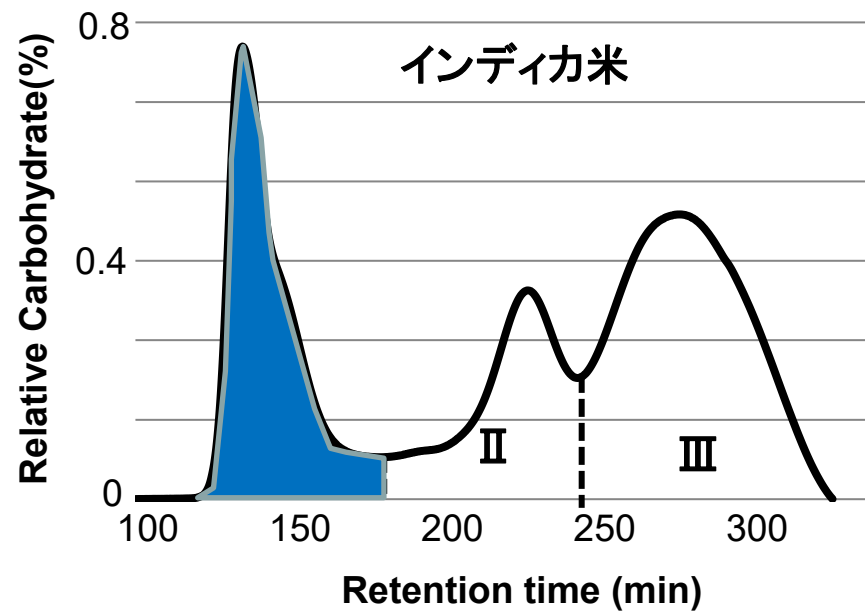


F202植物生理研究室



← 長 → 短 → 22

インディカ米とジャポニカ米のゲル濾過解析から測定される アミロース含量



野生型

アミロース含量：29%

変異型

gbss 1^L (リーキー)

アミロース含量：21%

イネ栽培品種

インディカ米
(パサパサした食感)

ジャポニカ米
(ネバネバした食感)

GBSS遺伝子 (アミロース合成) が制御

野生型

GBSS1

高アミロース (約25%)

変異型

gbss1^h

低アミロース (約20%) アミロースフリー (0%)

うるち米

gbss1

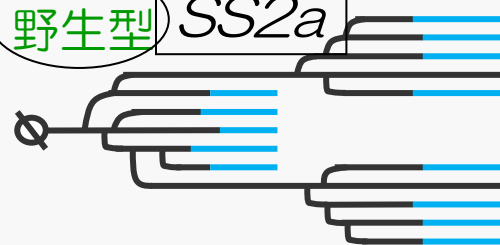
変異型

もち米

SSIIa遺伝子 (アミロペクチン合成) が制御

野生型

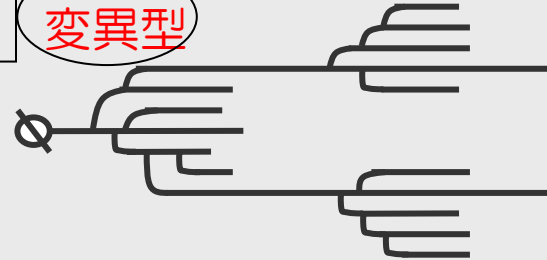
SS2a



Lアミロペクチン (高温糊化)

ss2a^L

変異型



Sアミロペクチン (低温糊化)

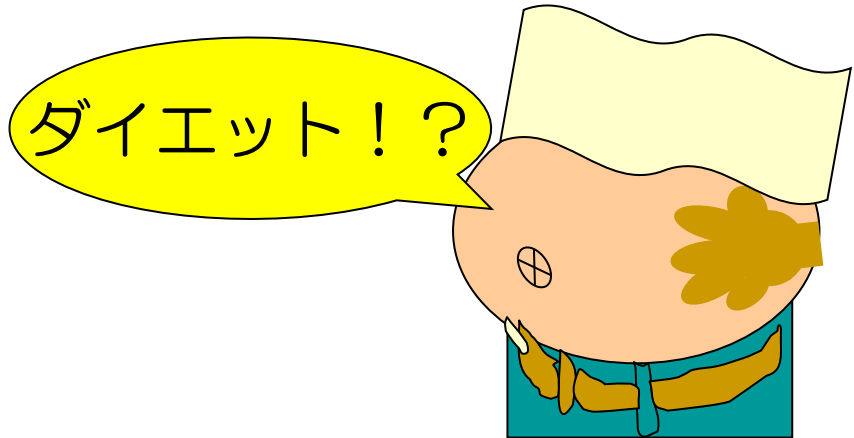
藤田、阿久澤 (2010) 食品と容器 51: 656-663

Nakamura et al., (2005) Plant Mol Biol. 24

例2 変わった米 (*ae*変異体米)



もちもち



超ぱっさぱさ

澱粉の構造に影響を与える酵素群

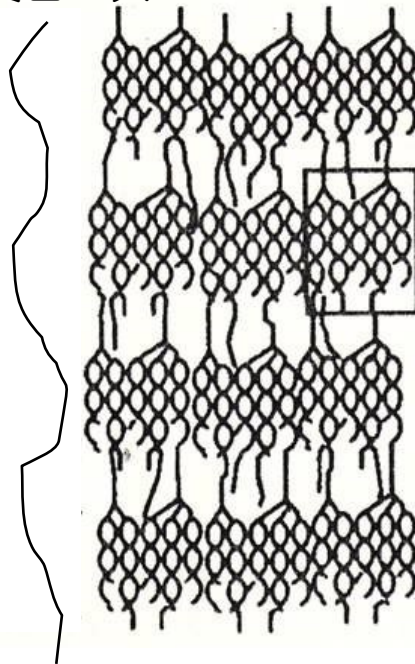
直鎖伸長酵素(SS)

SSI,
~~SSIIa~~, SSIIb, SSIIc
SSIIIa, SSIIIb,
SSIVa, SSVIb
SSV
~~GBSSI~~, GBSSII

ホスホリラーゼ(PHO)

Pho1, Pho2

アミロース アミロペクチン



枝作り酵素BE

BEI,
BEIIa, ~~BEIIb~~

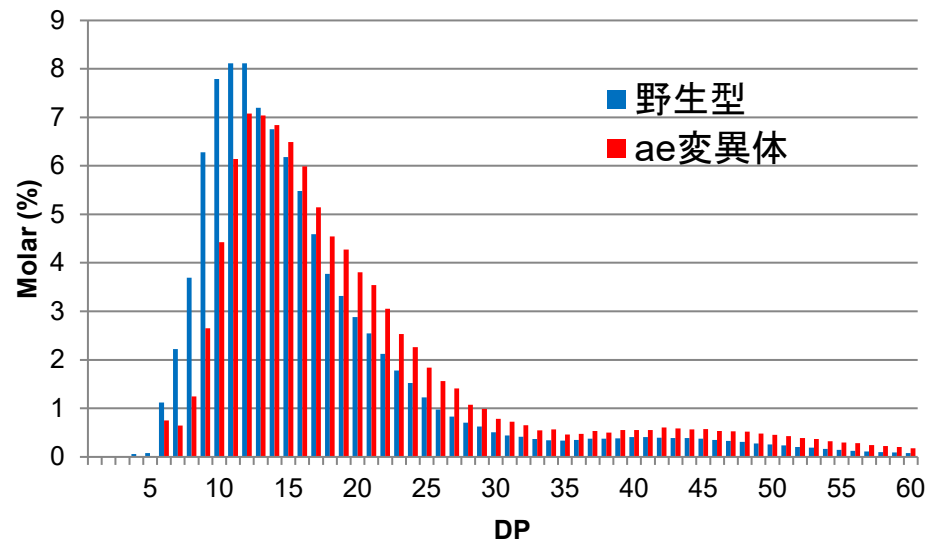
枝切り酵素DBE

ISA1, ISA2, ISA3
PUL

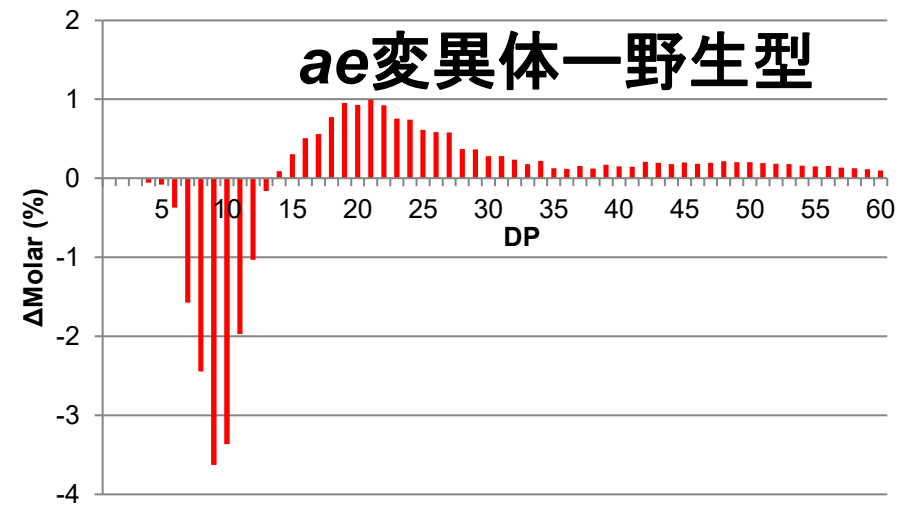
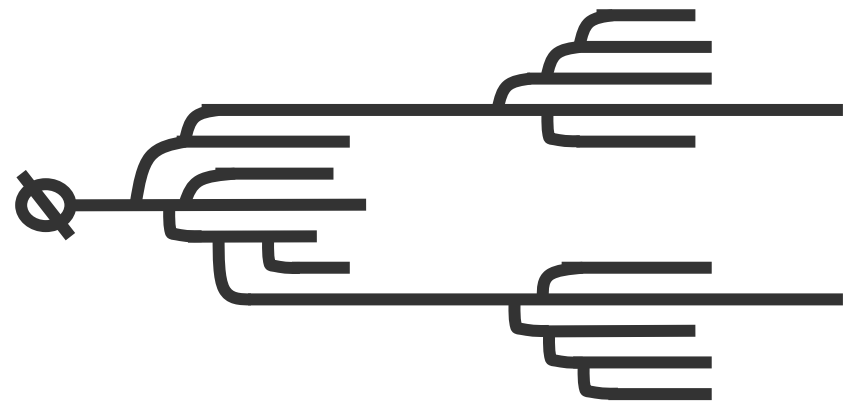
赤文字：胚乳で強い発現がある酵素

緑文字：栄養組織等で強い発現がある酵素

ae変異体米と野生型の鎖長分布解析から推測される それぞれのアミロペクチン構造

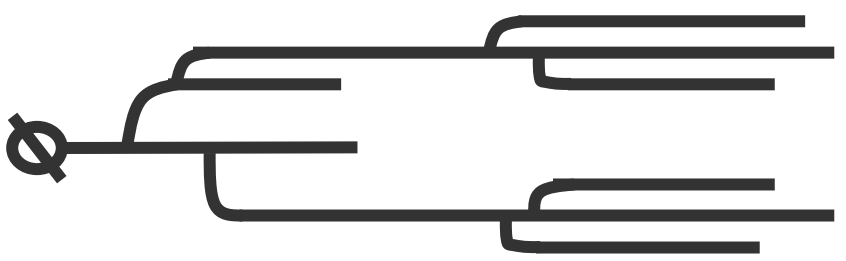


野生型

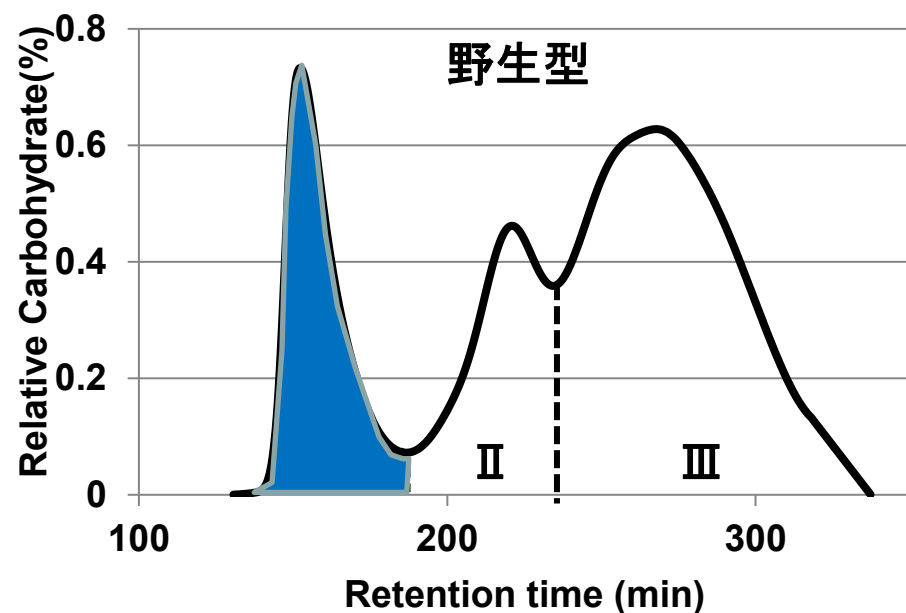


ae変異体ー野生型

変異型 *be2b*

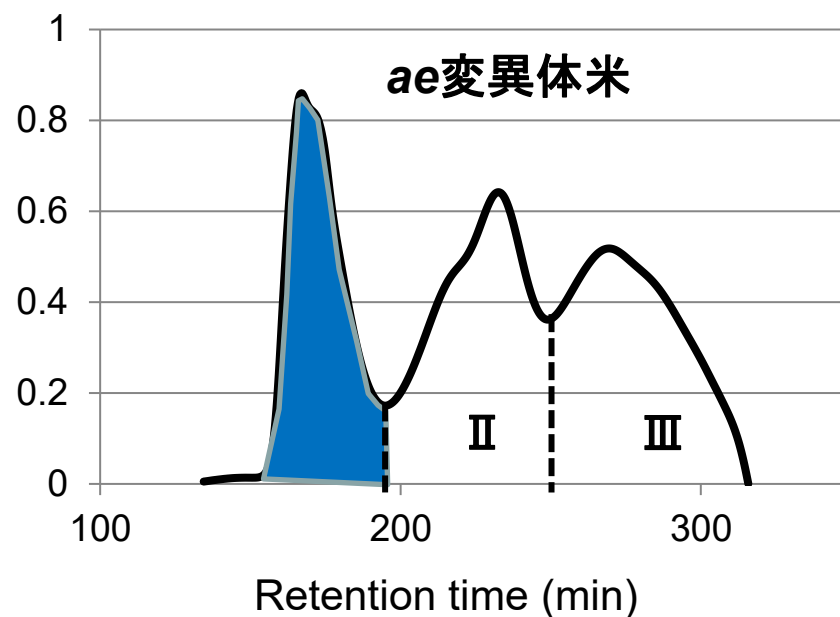


**ae変異体米と野生型米澱粉のゲル濾過解析から測定される
アミロース含量**



野生型

アミロース含量：21%



変異型

be2b

アミロース含量：28%

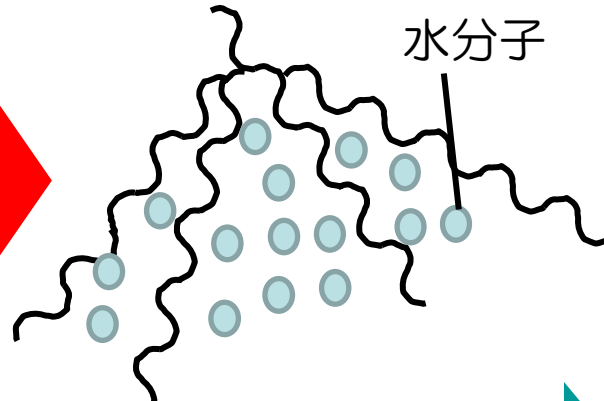
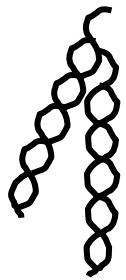
澱粉の糊化、老化、消化のモデル

生澱粉
(結晶性あり)

糊化澱粉
(結晶性なし)

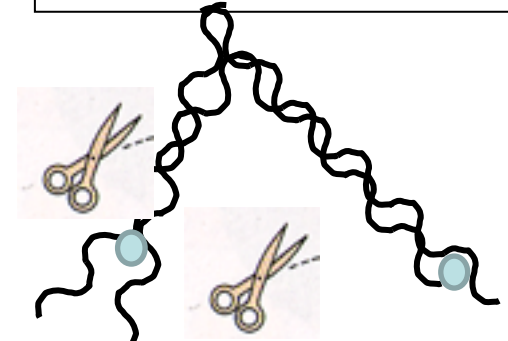
老化澱粉
(一部結晶化)

長い二重
らせん



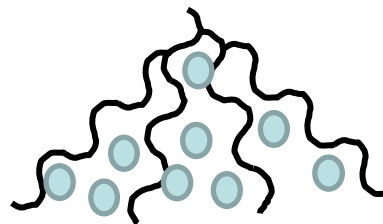
糊化温度高い

冷める

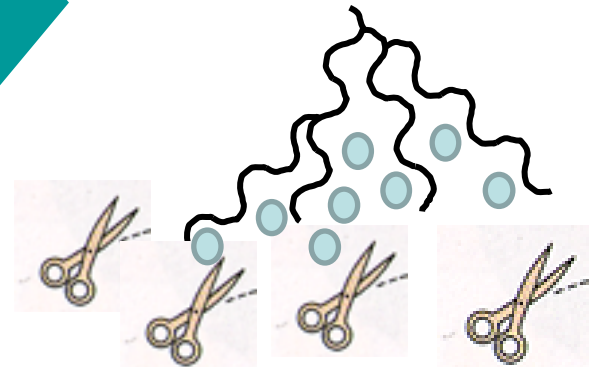


老化しやすい
切れにくい
(分解されにくい)

短い二重
らせん



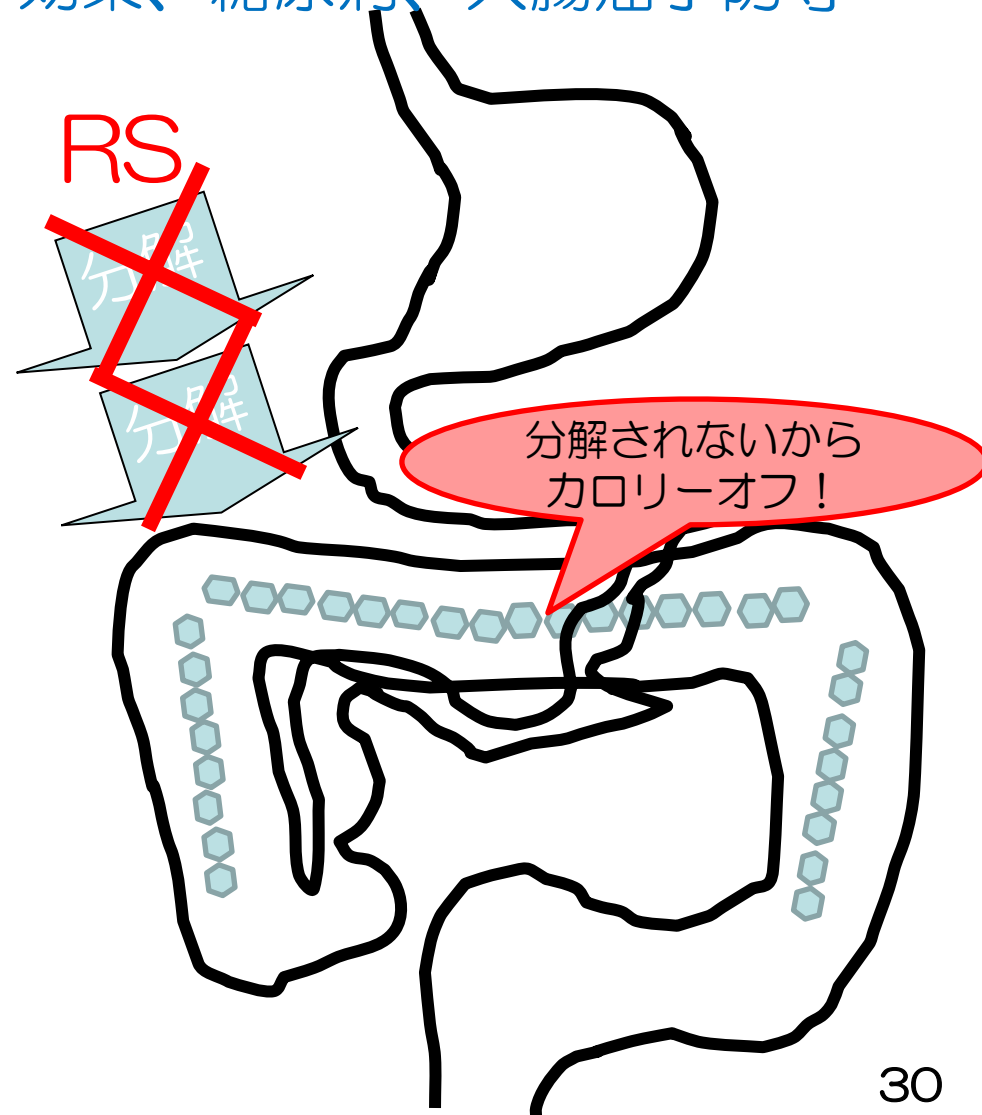
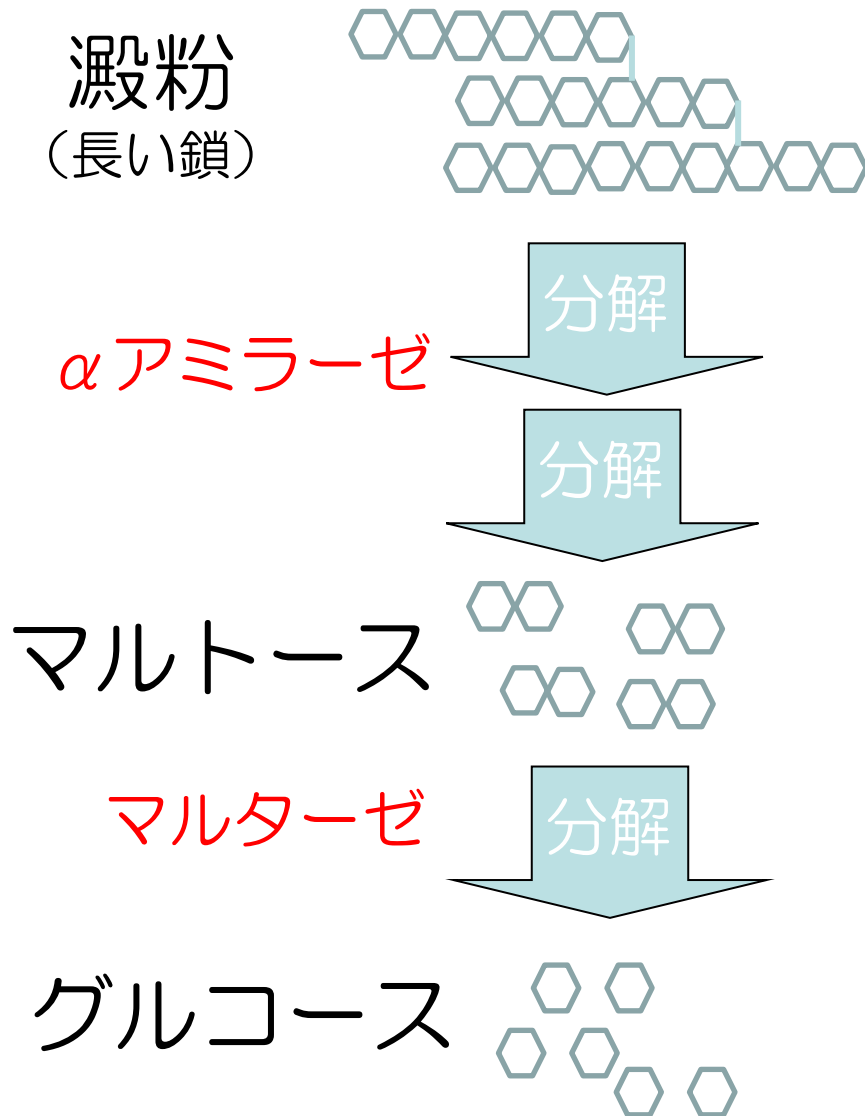
糊化温度低い



老化しにくい
切れやすい
(分解されやすい)

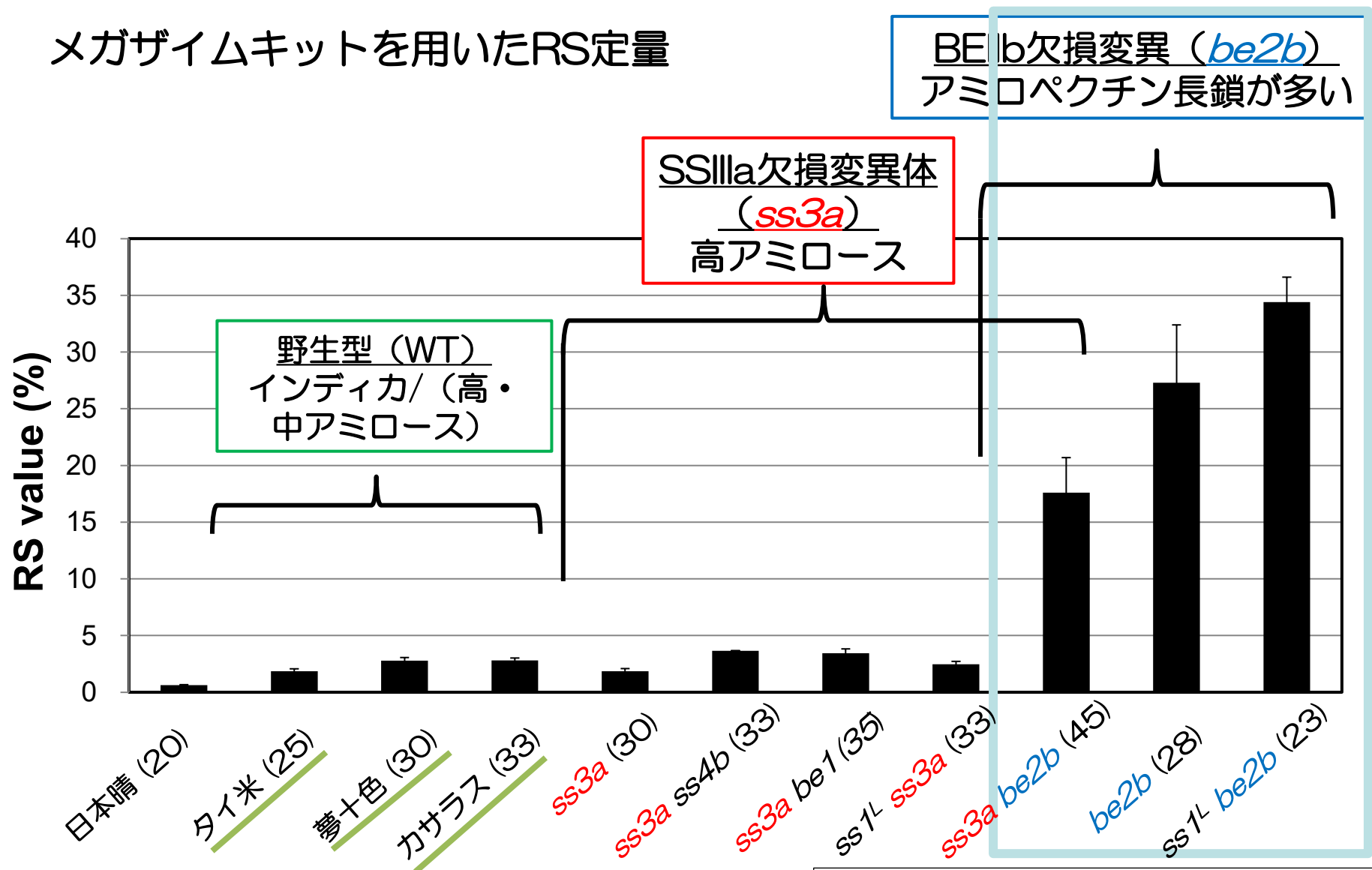
普通の米澱粉は、ヒトの消化器官で完全分解され、小腸で消化される→カロリーになる

レジスタントスターチ(難消化性澱粉、RS)は、小腸を通過し、大腸まで高分子のまま→ダイエット効果、糖尿病、大腸癌予防等



候補変異体10系統のRS値

メガザイムキットを用いたRS定量

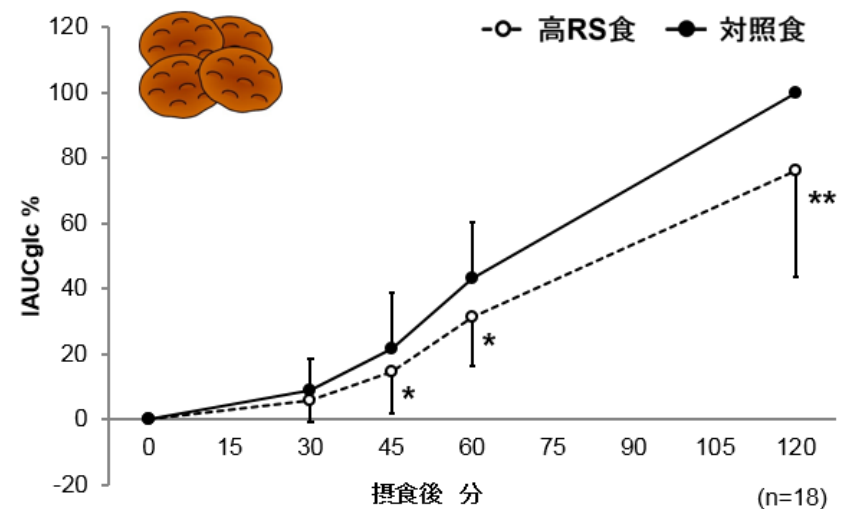
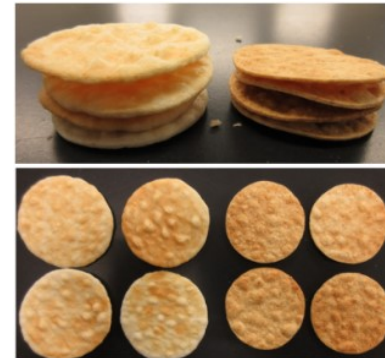
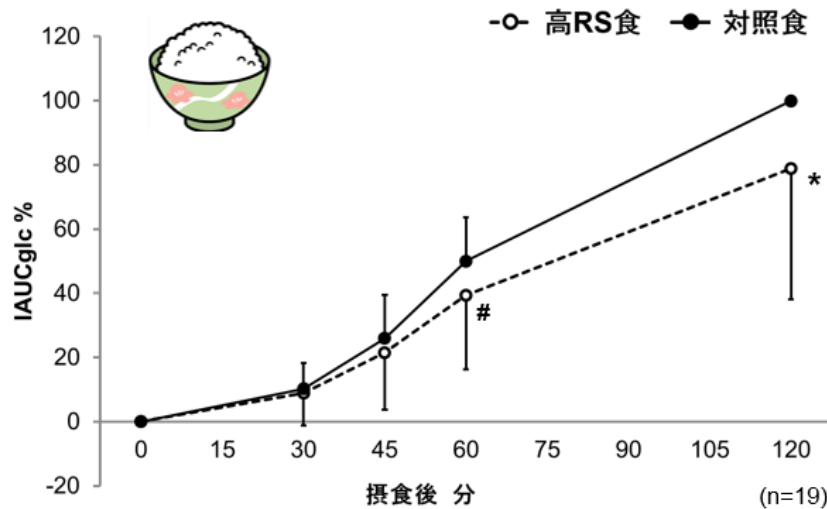


()内の数値はみかけのアミロース含量 (%)

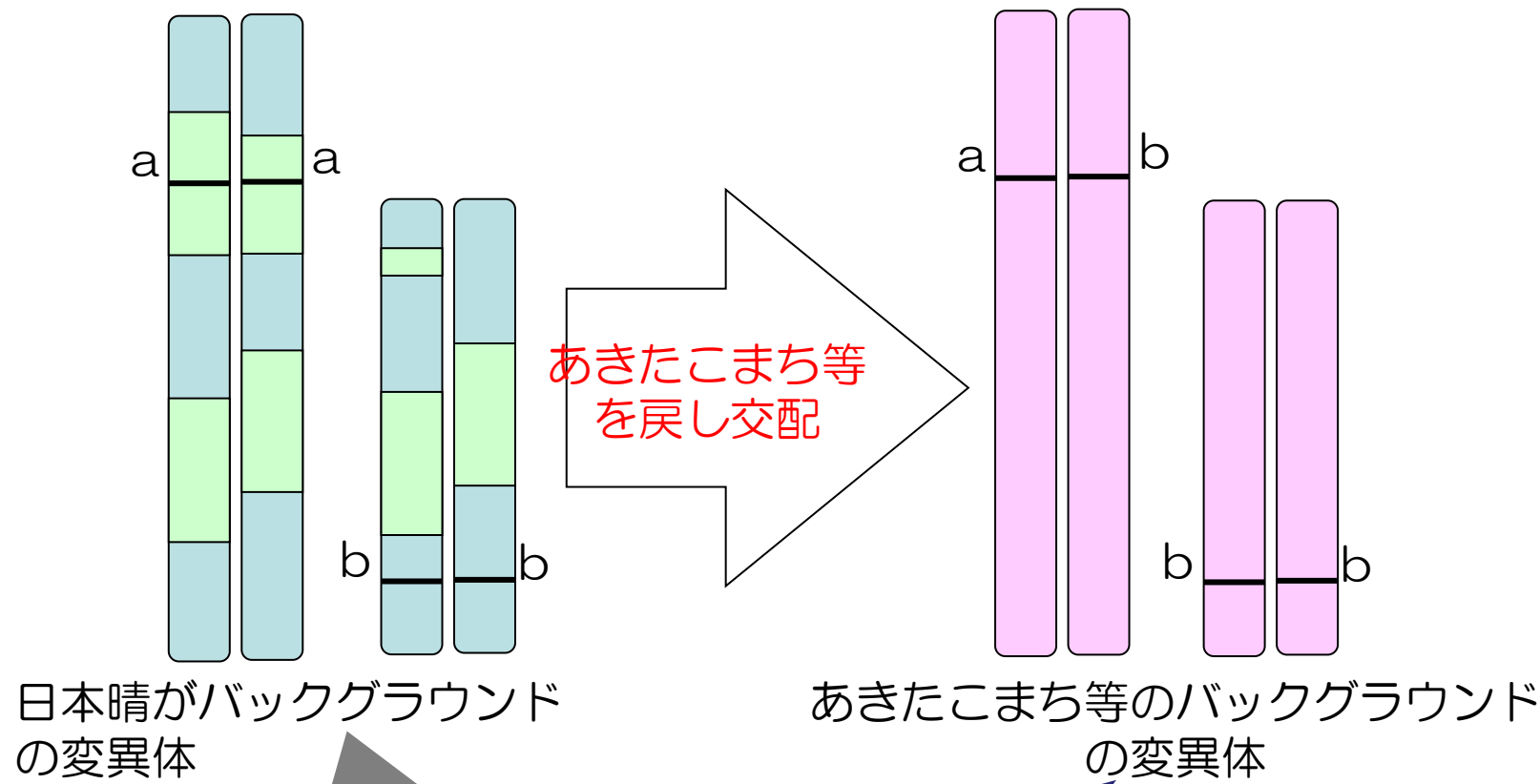
ヒト試験による血糖値上昇抑制効果の検証

元変異体 *ss3a be2b* (#4019) による試験

- 単回摂取試験で、血糖値とインスリン分泌量が有意に低下



農業形質を向上させるための育種（戻し交配）



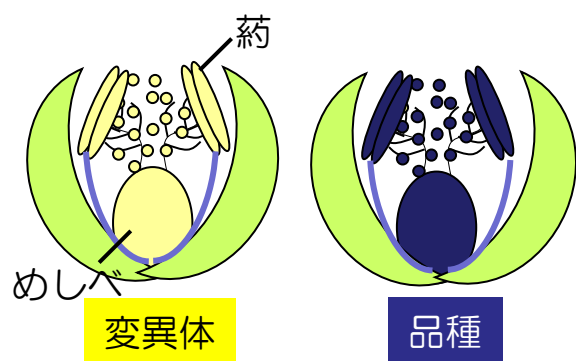
○澱粉の性質はユニークだが
...

- ×開花時期が遅い
- ×稔性が低い
- ×収量が低い
- ×病気に弱い
- ×栽培しにくいなど

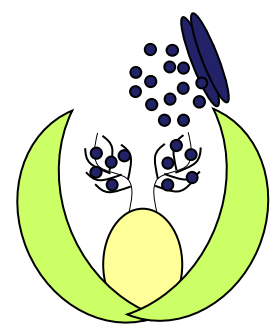
- 澱粉の性質はユニークで
- 開花時期が早い
- 稔性が高い
- 収量が高い
- 病気に強い
- 栽培し易いなど

戻し交配とは？

自家受粉（通常）

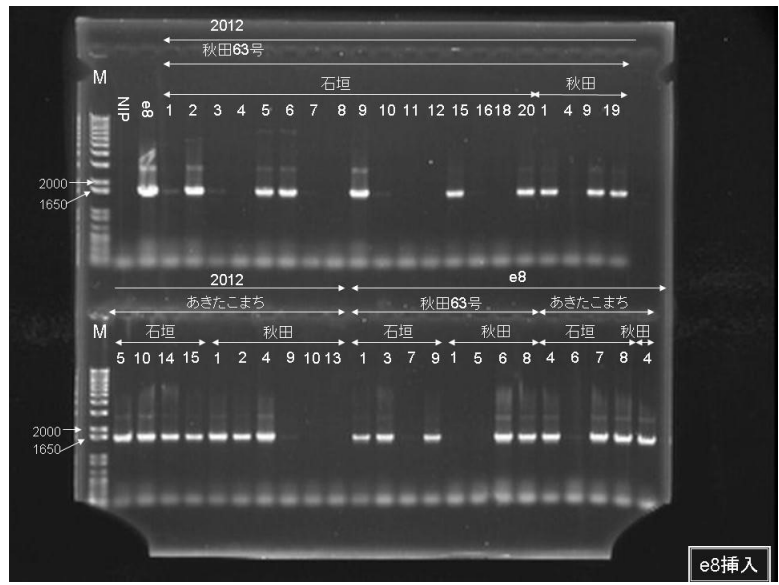
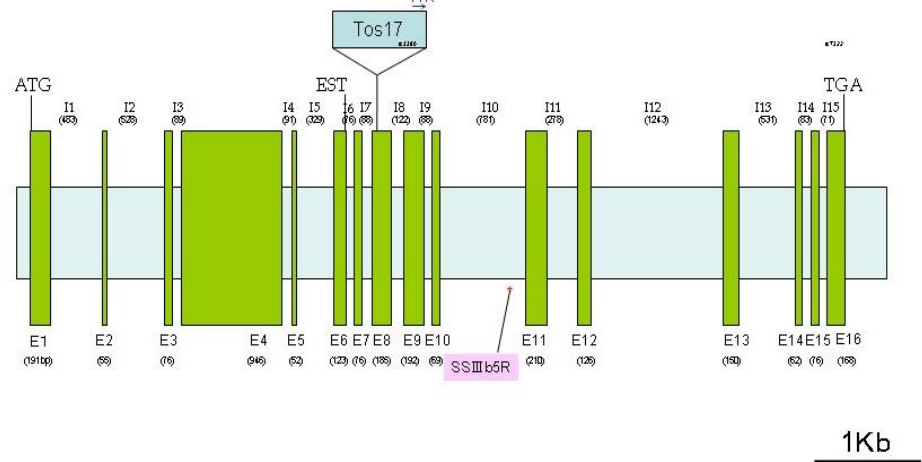


変異体に品種を交配



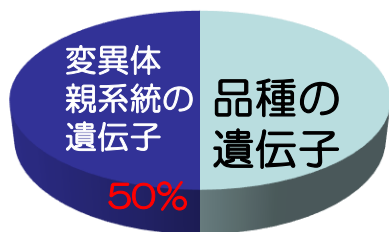
Os SSIVb gene

Tos17がSSIVb遺伝子に挿入されているとプライマーT1RとSSIIIb5RでPCRを行うと、約1,650bpのバンドが検出される。

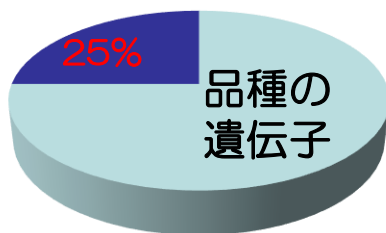


戻し交配回数と親系統の遺伝子の割合の関係

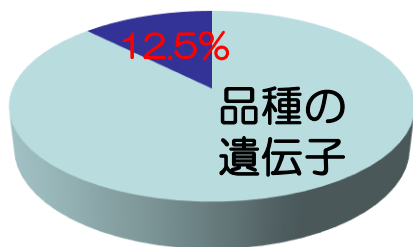
交配



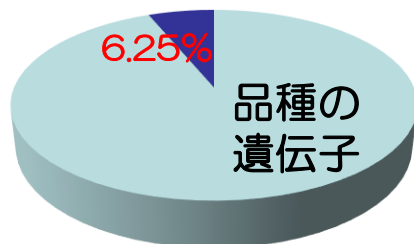
1 回目戻し交配



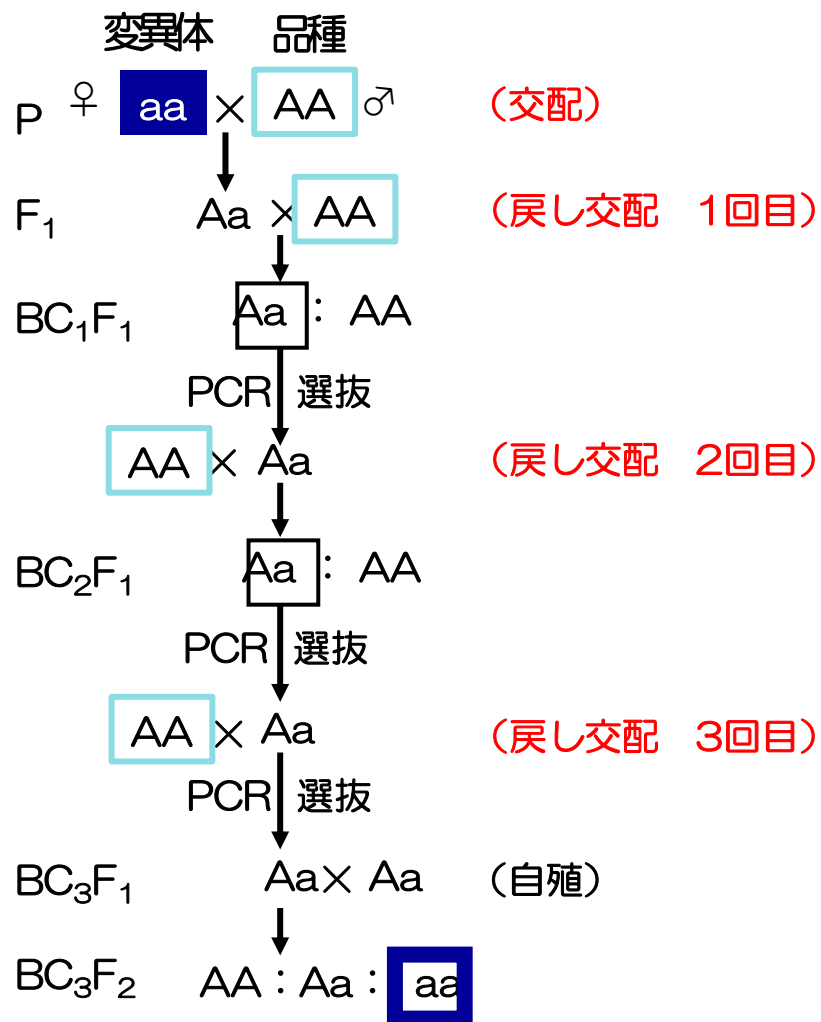
2回目戻し交配



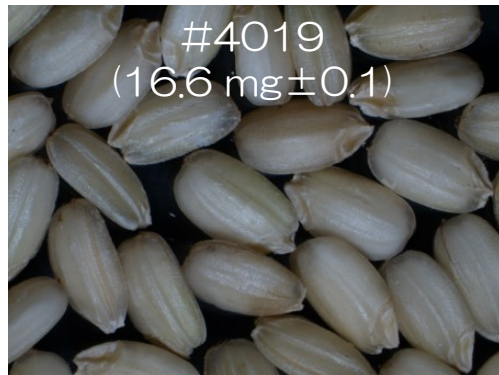
3回目戻し交配



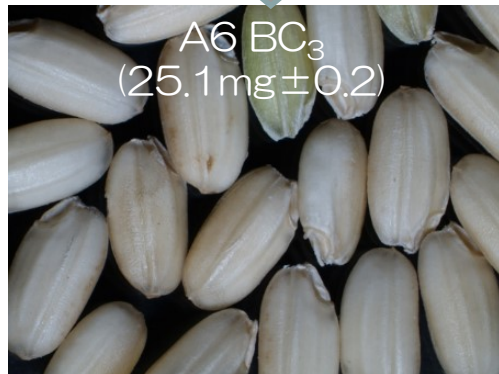
戻し交配の方法



戻し交配による農業特性の向上



育種



元の変異体の1.5倍に！
‘あきたこまち’ より大きい。



秋田県立大学で開発した新しい米品種

ジャポニカ系高アミロース米

H30
品種
登録
申請

「あきたぱらり」品種登録第29394号

・
R4登録
済み

「あきたさらり」品種登録第29393号

ss3a

ジャポニカ系高RS米

*RS: レジスタントスターチ
(難消化性澱粉)

「まんぷくすらり」品種登録出願第34394号

R1
品種
登録
申請
R2
出願
公表
済み

ss3a be2b

(株) スターチテックは、秋田県立大学発ベンチャー会社です。



株式会社スターチテック

Starch Technologies Co., LTD.

3品種の詳しい情報は、(株) スターチテックの
ホームページをご覧ください。

“スターチテック” で検索
<https://starchtec.com>

商品は、ネット販売（アマゾン、ストアーズ）で販売しています！！



会社名	株式会社スターチテック
設立年月日	平成31年2月5日
代表取締役社長	中村 保典 (秋田県立大学名誉教授、理学博士)
取締役(非常勤)	藤田直子 (秋田県立大学生物資源科学部教授、博士(農学))
事業の種類	(1) 高付加価値米の研究・開発・製造・販売 ・研究、開発は秋田県立大学との共同研究など ・米は委託栽培 (2) 澱粉関連商品開発にかかるコンサルティング (3) 澱粉構造および物性、食品成分などの依頼分析
主要品目	ジャポニカ由来高アミロース米 ・「あきたばらり」 ・「あきたさらり」 ジャポニカ米由来高レジスタントスターチ米 「まんぷくすらり」
お問合せ先	秋田県立大学発ベンチャー 株式会社スターチテック ☎ 080-4611-8208 ✉ info@starchtec.com

2019年(令和元年)5月10日 金曜日 経 済 (4)

県立大発、ベンチャー設立

県立大が開設した新品種のコメを販売する大学発のベンチャー企業「スターチテック」(秋田市)が発足し、販路開拓に動きだしている。新品種のコメは、血糖値の上昇を抑制する成分を多く含んでおり、米粉入り麺の商品化も進んでいる。代表取締役は就任した同大の中村保典名誉教授(植物生理遺伝学)は「秋田発のユニークな品種を活用し、コメの消費生産の拡大につなげたい」と意気込んでいる。新品種のコメは、同大生物資源科学部の藤田直子教授(同)が開発し、昨年9月に商標登録中

コメ新品種の販路開拓

請した「あきたばらり」と「あきたさらり」の2種類。ばらりは、血糖値の上昇抑制や、腸内環境の改善に貢献する難消化性でんぷんの含有率が高かった。さらりは、腹持ちも良いとされる。水を多めにし、炊いても崩れにくい。他の白米より方ローの摂取を抑えられる利点があるという。さらりは、難消化性でんぷんの含有率が、普通の3倍。粘りが少ないため、米粉としてパンや麺への活用に向いているという。これらの販売を目指し、藤

血糖値抑制、米粉麺開発も

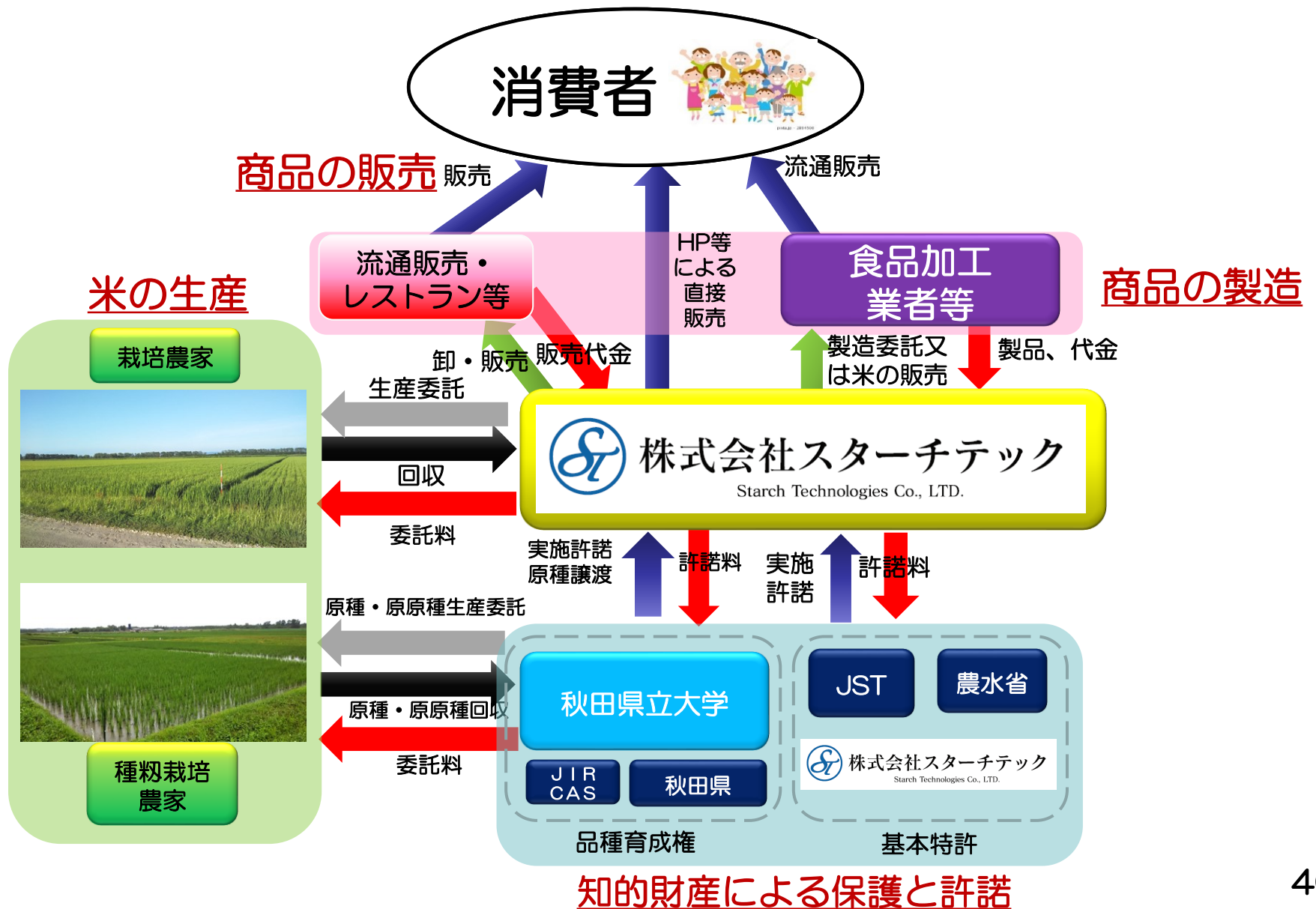


スターチテックの中村代表取締役。コメの消費拡大につなげようと意気込んでいる

田教授が同大とベンチャー企業に委託して米粉入り麺を製造の設立を検討してきた。先導研究、レストランや物産店などへ実証する中村名誉教授の賛同を得て、2月に設立。同大秋田キャンパス内に事務所を構え、藤田教授も取締役就任した。本年度は、県内の農家に委託し、2品種を1・5ヘクタール生産する計画。秋には全量を買い上げ、ばらりは中・外食事業者などへ、さらりは県内の製麺工

あきた経済

秋田魁新報



ジャポニカ系高アミロース米
「あきたばらり」
品種登録 第29394号

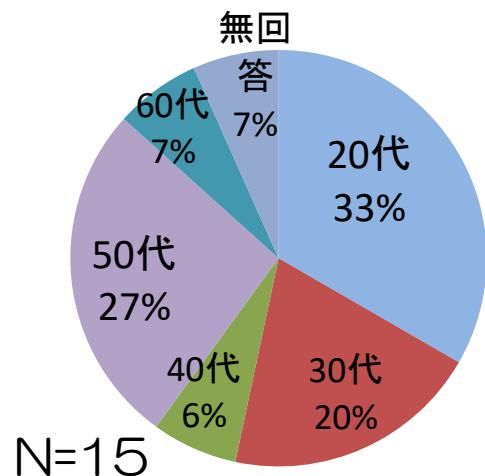
- ・元変異体はスターチシンターゼ(SS)IIa欠損変異体(e1)
(特許第4711762号)
- ・戻し交配親は「あきたこまち」
- ・高アミロース米（見かけのアミロース含量約26%）
- ・RS値は、「あきたこまち」の2倍
- ・米飯はばらばらの食感
- ・炊き増えし、加水量を増やして炊飯すると、粒感があり
10~20%カロリーオフ
- ・チャーハン、ピラフ、リゾット、パエリア、カレー等に
- ・純粋ジャポニカ米



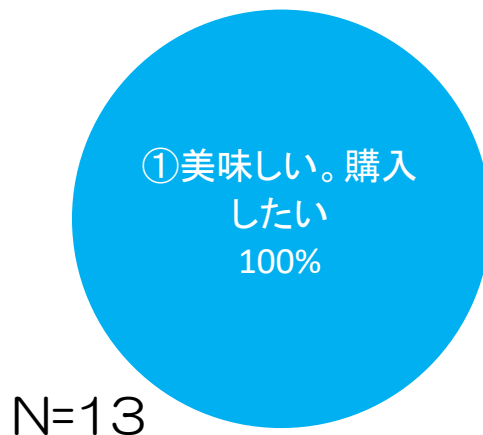
「あきたばらり」の簡易な市場調査（ピラフ1）

(1) アグリビジネス創出フェア2017（2017年10月4-6日、東京ビッグサイト）

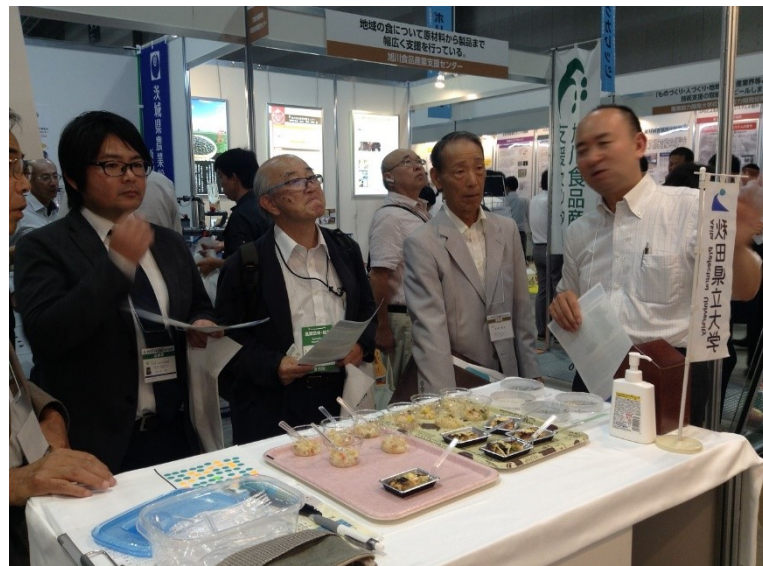
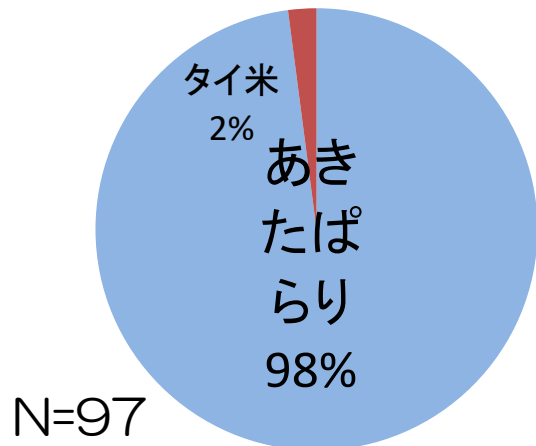
回答者年代



ピラフ食味と購買意欲



どちらが美味しいか
K1かタイ米か？

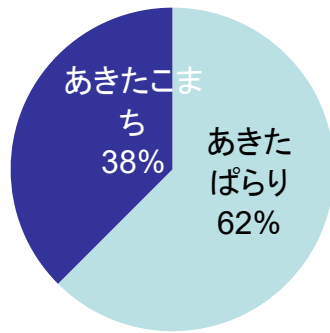


「あきたぱらり」の簡易な市場調査（ピラフ2）

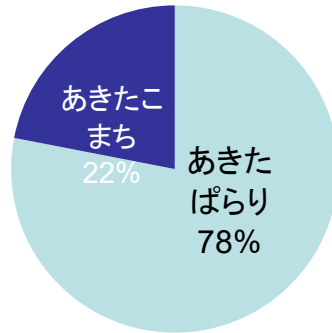
(2)由利本荘市「米まつり」（2018年2月18日、由利本荘市文化交流館カダーレ）

Q：「あきたぱらり」で作ったピラフと、「あきたこまち」で作ったピラフ、どちらが美味しいですか？

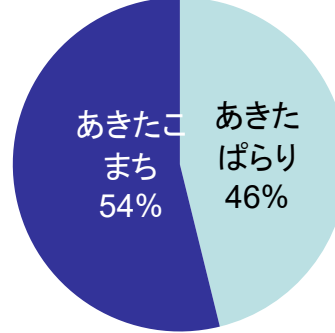
全体(N=80)



男性(N=41)



女性(N=39)



米 食いにけさ

カダーレさ

米まつり ～農 Rice 農 Life～

由利本荘市文化交流館カダーレで開催！

- ・お米にちなんだ小学生の習字、絵画の作品展示
- ・お米の品種、食べくらべ
- ・きりたんぼ作り体験
- ・超神ネイガーショー …など

その他にもイベント盛りだくさん！

2/18日

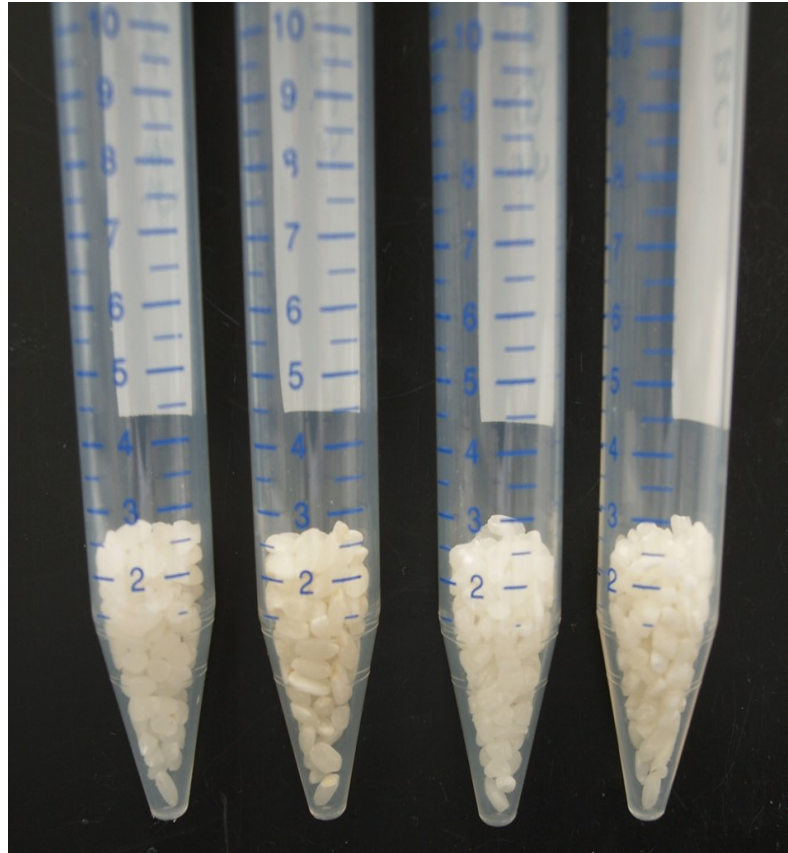
午前10時～午後4時

ブログで情報配信中！→ <http://yurikome.exblog.jp/>

主催：由利本荘市地域を支える人財育成塾 協賛：秋田しんせい農業協同組合
後援：由利本荘市、由利本荘市教育委員会、由利本荘市観光協会、由利本荘市商工会

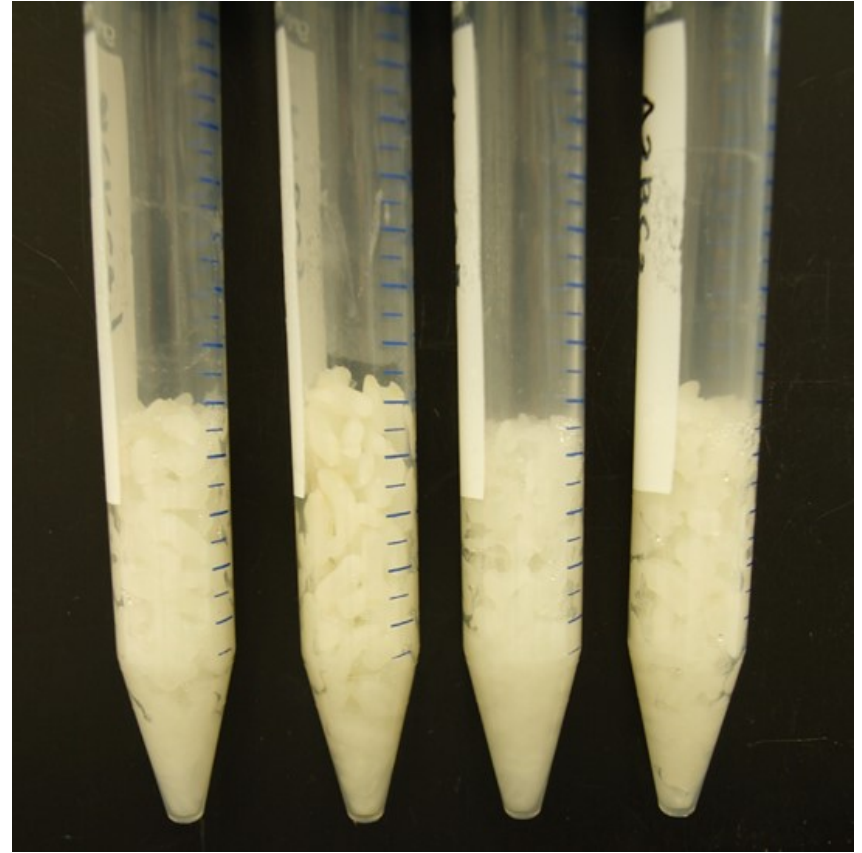
「あきたぱらり」、「あきたさらり」の炊き増え

炊飯前 各2 gの精米



あきたこまち あきたぱらり 秋田63号 あきたさらり

炊飯後

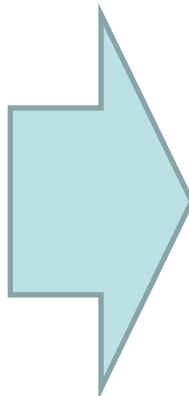


あきたこまち あきたぱらり 秋田63号 あきたさらり

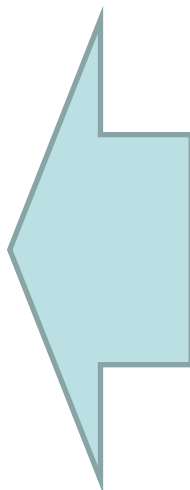
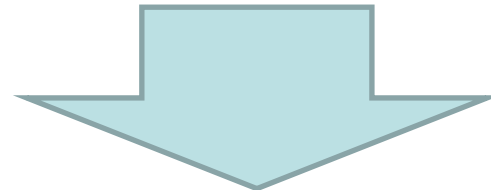
いずれも1.07倍程度、かさ増しする。

ジャポニカ系高アミロース米
「あきたばらり」
品種登録 第29394号

今日はチャーハンの日！！



ドン！



ジャポニカ系多収高アミロース米
「あきたさらり」
品種登録 第29393号

- 元変異体はスターチシンターゼ(SS)IIIa欠損変異体(e1)
(特許第4711762号)
- 戻し交配親は、超多収米の「秋田63号」
- 高アミロース米（見かけのアミロース含量約29%）
- RS値は、「あきたこまち」の3倍
- 大粒で多収
- 米粉にして、パン、麺、菓子に
- 小麦粉に米粉を混合すると、つるつる感が増し、時間がたっても茹でた麺同士が付着しにくい



ジャポニカ系高RS米

「まんぷくすらり」

品種登録出願第34394号

「秋田63号」を戻し交配
アミロース含量：約40%

RSが主食用米の10倍

味噌、きりたんぽ、米菓、甘酒、グラノーラ
肉の代わりに・・・、商品開発中！



* 群馬

ジャポニカ系高RS米

「まんぷくすらり」

品種登録出願第34394号

群馬製粉（株）オンラインショップで販売中



ナチュラル フィブル

* 群馬製粉様が発売中



「まんぷくすらり」玄米使用

RS値(%)

通常玄米のマカロニ

$0.24 \pm 0.02\%$

「まんぷくすらり」
玄米のマカロニ
(75%)

$3.60 \pm 0.23\%$

15倍



RS値(%)

通常米の米粉麺

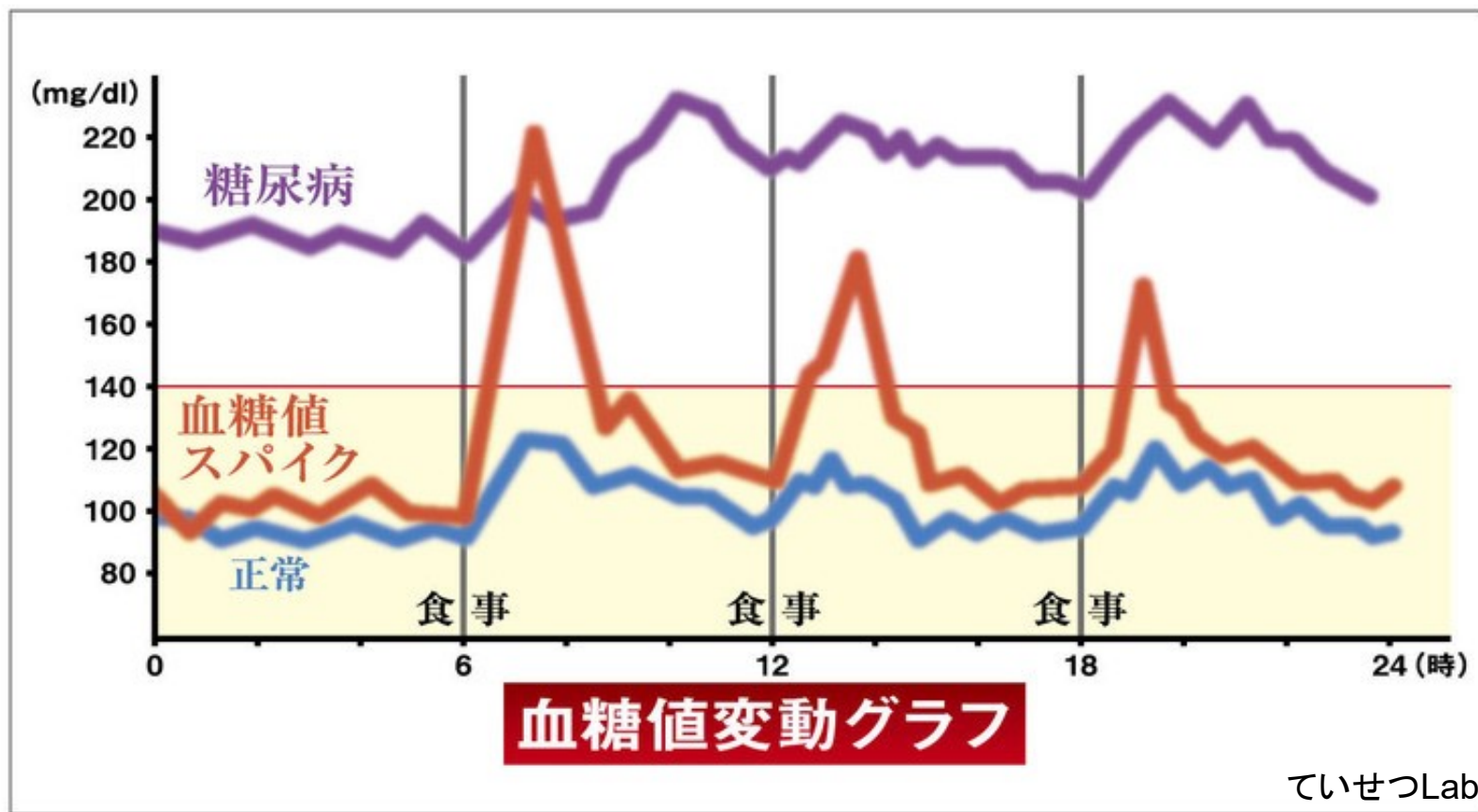
$0.31 \pm 0.07\%$

ナチュラルフィブル
の米粉麺

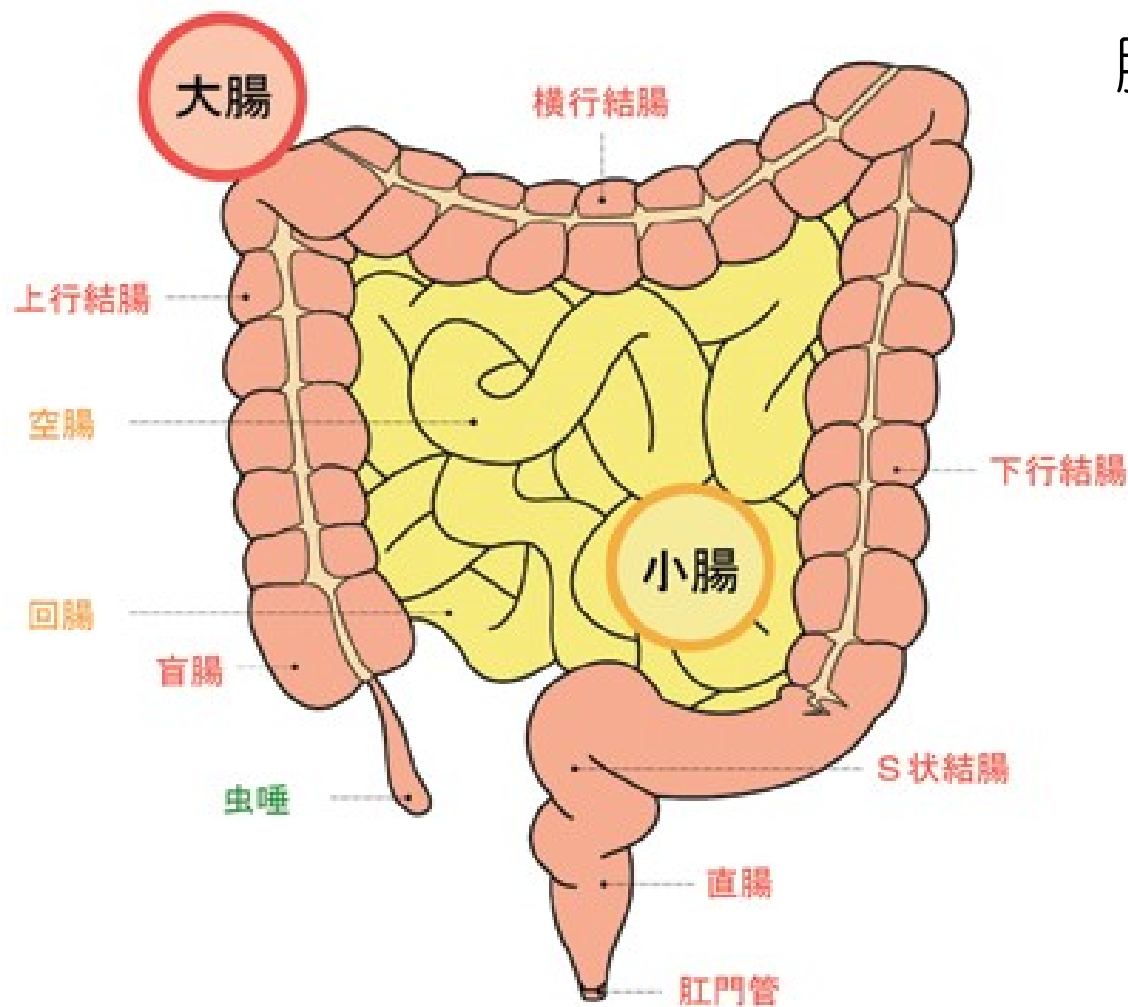
$5.17 \pm 0.11\%$

17倍

①食後の血糖値スパイクを低下させられないか？



②腸への影響は？



腸内細菌への影響は？

便秘

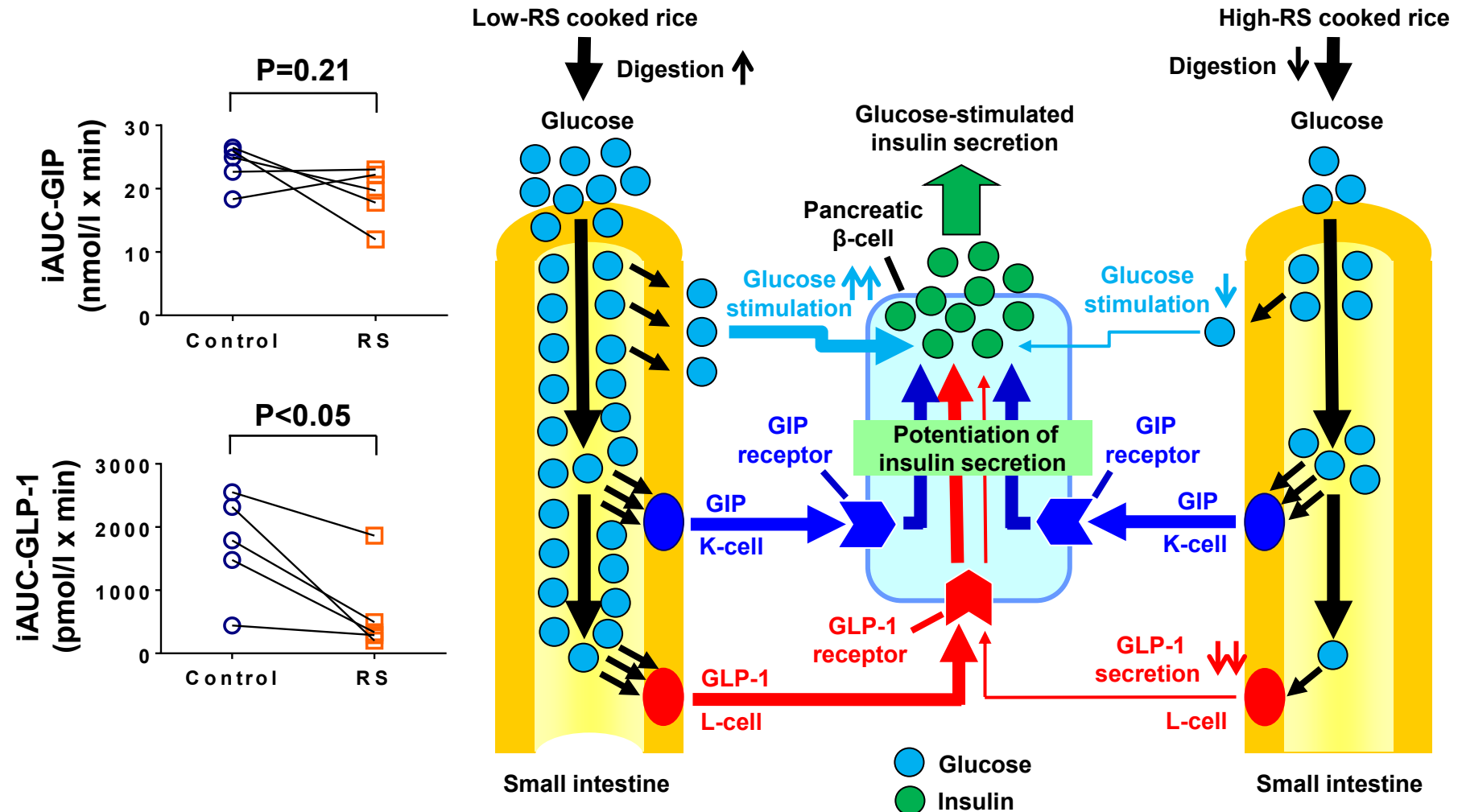
大腸癌

免疫

「まんぷくすらり」摂取後の医学的検証

秋田大学大学院医学系研究科 藤田浩樹先生との共同研究

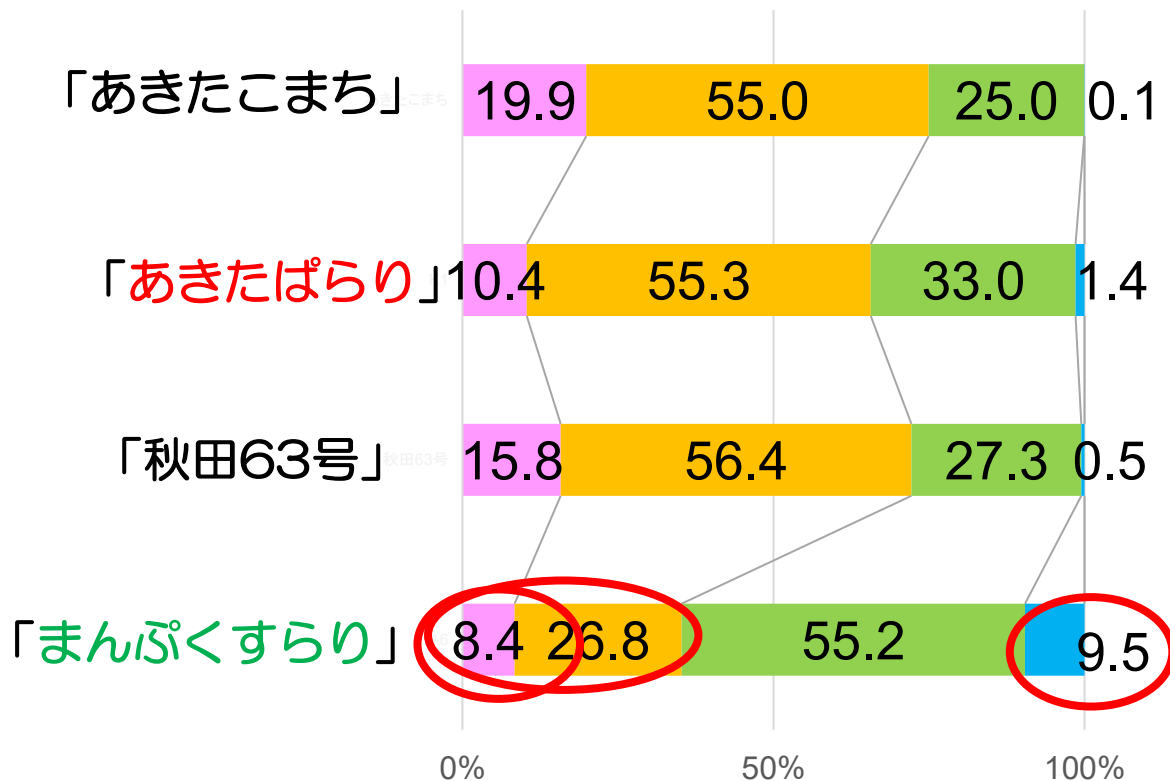
代謝・内分泌内科学講座



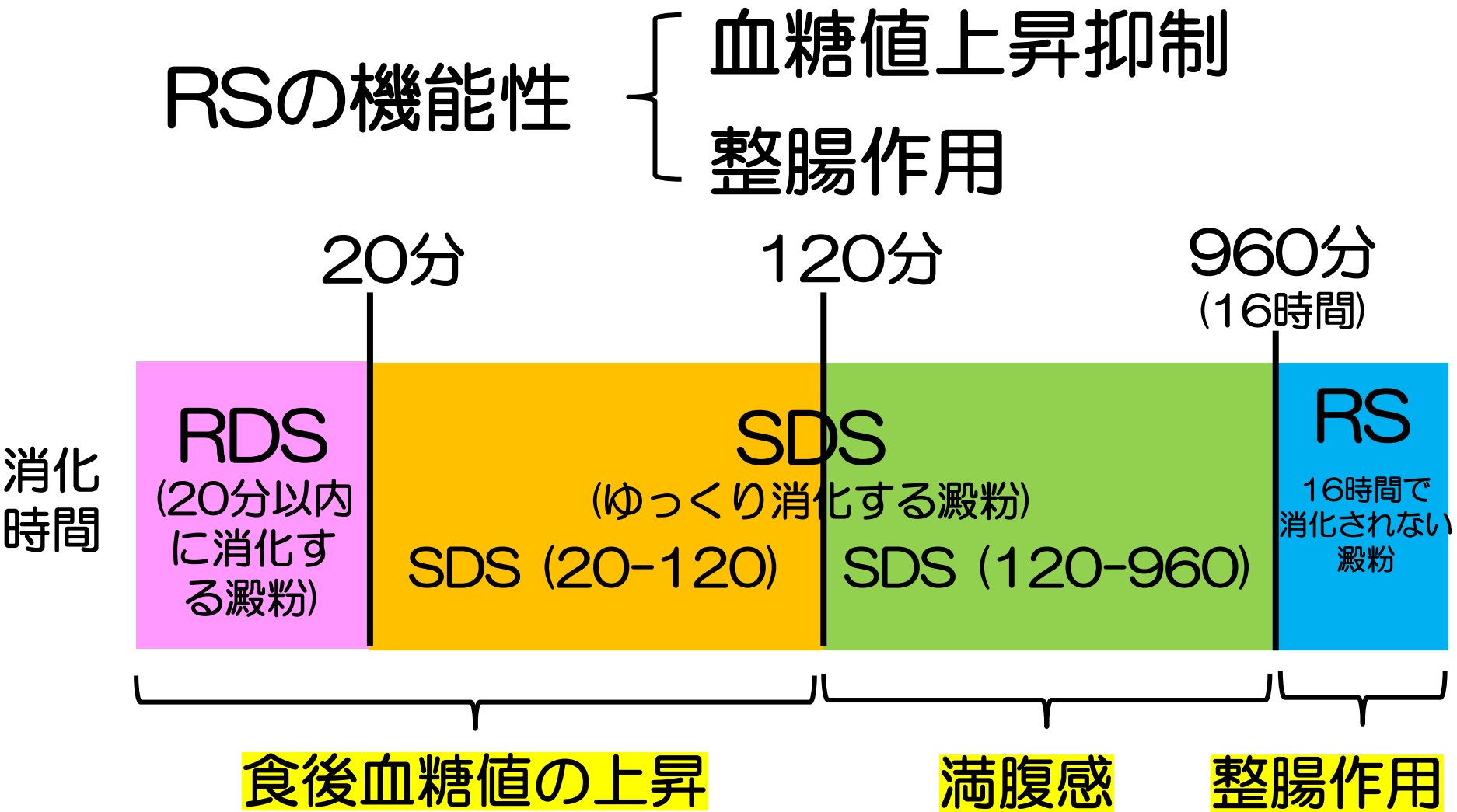
炊飯米の消化特性



粒のままの炊飯米



消化性の測定から機能性が推測できるかも？



三浦ら(2021) 応用等質科学 11: 180-187
藤田(2022) 応用等質科学 12: 4-7

高RS米品種 (素材)



既存高RS米品種
「まんぷくすらり」



高RS米新品種
「B」



高RS米新品種
「C」

精米



米粉



米粉ゲル



原料



最終的
に目指す
商品の
イメージ



家庭料理用



パック米飯
病院・介護食



発酵食品



米菓・
菓子類



パン・
麺類



肉の代替
・新食品

高RS米研究の今後の課題

1. 食味の改善

RS値が高い澱粉は、老化しやすく、白ご飯などでは固くなり、食味がすぐれません。従って、美味しく食べるためには、**調理や加工の場面でいろいろな工夫**が必要となります。

工夫①：米粉に加水して加熱した米粉ゲルから商品開発する。



米粉ゲル



きりたんぽ

工夫③：カリカリとした食感を生かす。



せんべい



グラノーラ

工夫②：ごはんの粒感が気にならないような調理法にする。



もち米と混ぜて、コリコリとした食感の根菜と混ぜるなど。

工夫④：発酵食品として利用する。



味噌



甘酒

高RS米研究の今後の課題

2. 次世代「まんぷくすらり」の開発

高RS米を使った商品を販売する際、他の米製品と差別化するため、**機能性表示食品**として販売することを目指しています。その際、RS値ができるだけ高い方が血糖値上昇抑制等の機能が発揮しやすくなります。また、収量が良く、種子が大きければ、精米効率が良く、生産コストも削減できます。私たちは、「まんぷくすらり」よりも**種子が大きく、さらにRS値が高い**品種の育成を目指しています。

「秋田63号」

Akita 63
ss2a^L SS3a gbss1^L BE2b



「まんぷくすらり」

#4019 (BC₃)
ss2a^L ss3a gbss1^L be2b



新高RS米系統

#1203B (BC₃)-1
ss2a^L SS3a GBSSI be2b



#1203B (BC₃)-2
ss2a^L SS3a GBSSI be2b



玄米重量

28.4 ± 0.3 (mg)

21.3 ± 0.3

28.1 ± 0.4

29.0 ± 0.8

RS値
(米粉)

0.1 (%)

4.7

28.0

28.8

謝辞

- 農林水産省農研機構
（生研センター「イノベーション創出強化研究推進事業」、
旧生物資源研究所、JIRCAS）
- 文部科学省・JST, CREST
- 秋田県農業試験場
- 公立大学法人秋田県立大学
- 秋田県立大学・植物生理研究室卒業生、研究員の皆様
- 共同研究先の企業様、個人の皆様、委託栽培先の農家様他