

巨大人口を抱えるアジアの食糧確保と 放射線品種改良の活用

突然変異利用プロジェクトのこれまでの成果と研究の展開



ガンマーフィールド(放射線育種場)

放射線育種プロジェクトリーダー
中川 仁
農業生物資源研究所
放射線育種場 場長



Director General of the IAEA, Mohamed ElBaradei, and IAEA spokesperson Melissa Fleming can't hide their joy after hearing the Agency and its head won the Nobel Peace Prize (Credit: IAEA)



IAEA (国際原子力機関) ノーベル平和賞2005受賞

(核を用いたテロリズム撲滅のための
努力と原子力の平和利用拡大に対す
る貢献)

「IAEAはオーケストラのようなもので、
私は単なる指揮者である。」

ノーベル平和賞の副賞を発展
途上国のための基金とする。

原子力平和利用、特に

- ・健康向上
- ・食料生産向上

FNCAプロジェクト運営グループ

- 1 . 研究炉利用運営グループ
- 2 . 放射線育種運営グループ
- 3 . バイオ肥料運営グループ
- 4 . 放射線治療運営グループ
- 5 . 原子力広報活動運営グループ
- 6 . 放射性廃棄物管理運営グループ
- 7 . 原子力安全文化運営グループ
- 8 . 人材養成運営グループ
- 9 . 電子加速器利用運営グループ

放射線育種法の利点と利用方法

1. 新しい突然変異を作り出せる (自然突然変異の頻度を高める)。
2. 品種の重要特性を変えずに、1, 2の特性のみを改善することができる(育種にかかる期間を短くできる)。
3. 従来 of 育種技術を習得していれば容易に利用できる。
4. 研究室の設備投資にかかる費用が遺伝子組み換えなどと比べて低い。
5. その特性を簡単に他の品種に移せる。
6. 花が咲かない、種ができない植物にでも利用できる。

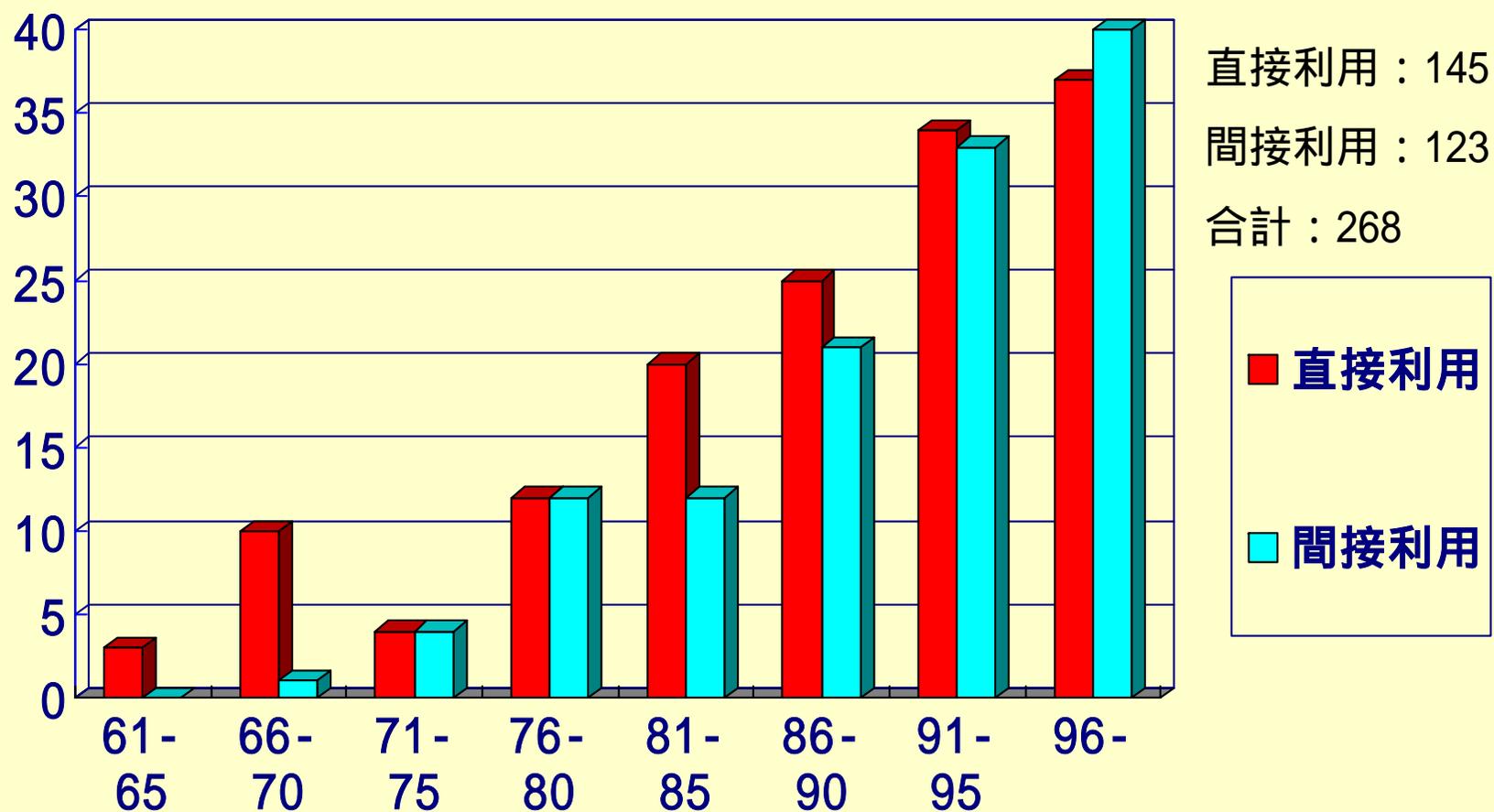
特に開発途上国で有効

変異体を得やすい特性: 草型(短稈多収化)、環境耐性や耐病虫性、含有成分(機能性物質やたんぱく質など)

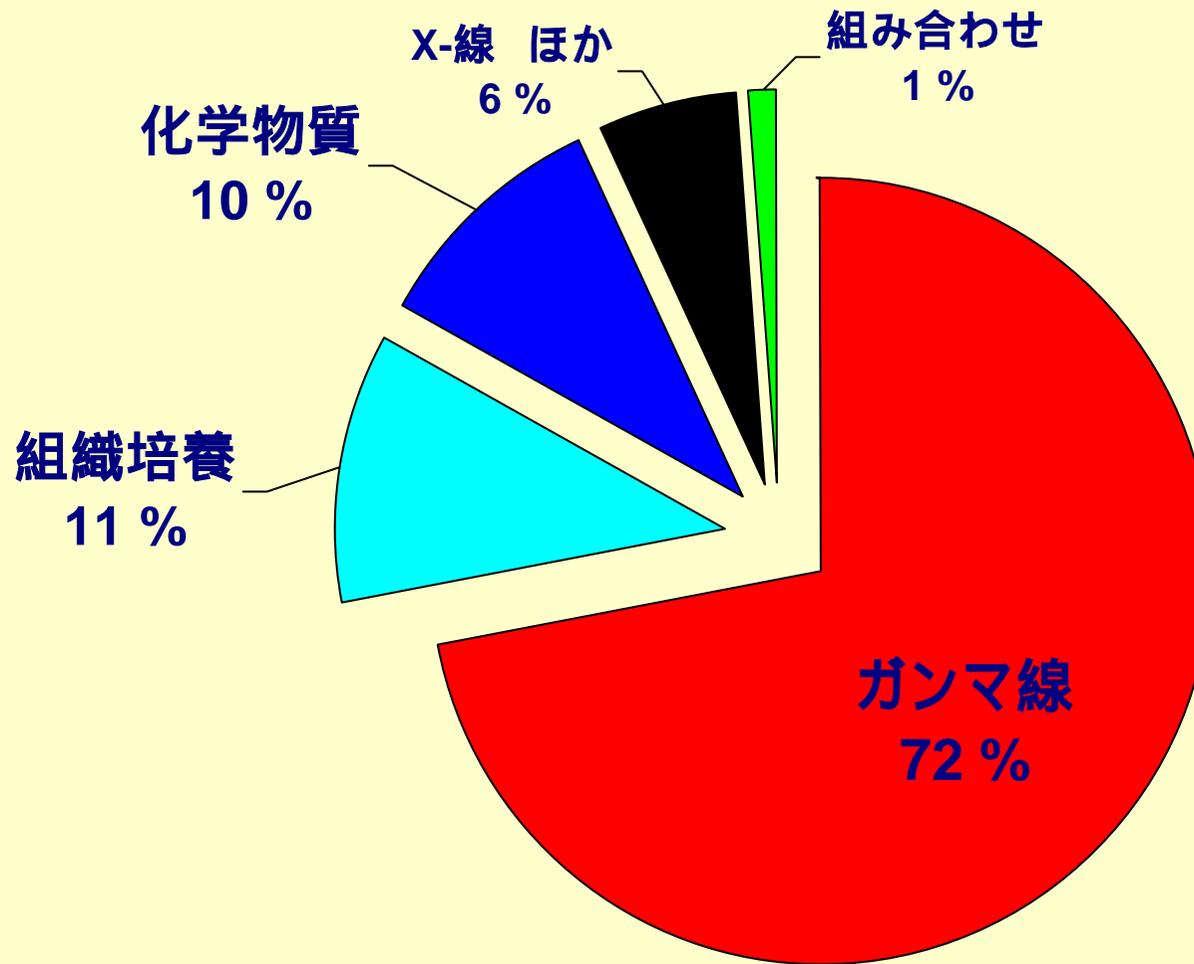
利用方法

1. 環境耐性や耐病性、耐虫性品種は環境に優しい、低農薬・低投入持続型農業の構築に有効。
2. 機能性成分などは消費者ニーズに対応
3. 遺伝子の機能解析(突然変異バイオリソース)

日本でこれまでに突然変異育種法 で作りに出された品種の数



突然変異育種法の内訳



我が国で育成された突然変異直接利用品種数(2005)

	突然変異品種	放射線	線	IRB
57作物	202	151	133	65
イネ	31	14	12	11
コムギ	2	2	2	2
オオムギ	4	4	3	0
ダイズ	16	15	14	9
キク	35	32	27	25
バラ	8	5	5	4
スターチス	6	6	6	0
エニシダ	8	8	8	8
リンゴ	2	2	2	2
ナシ	3	3	3	3

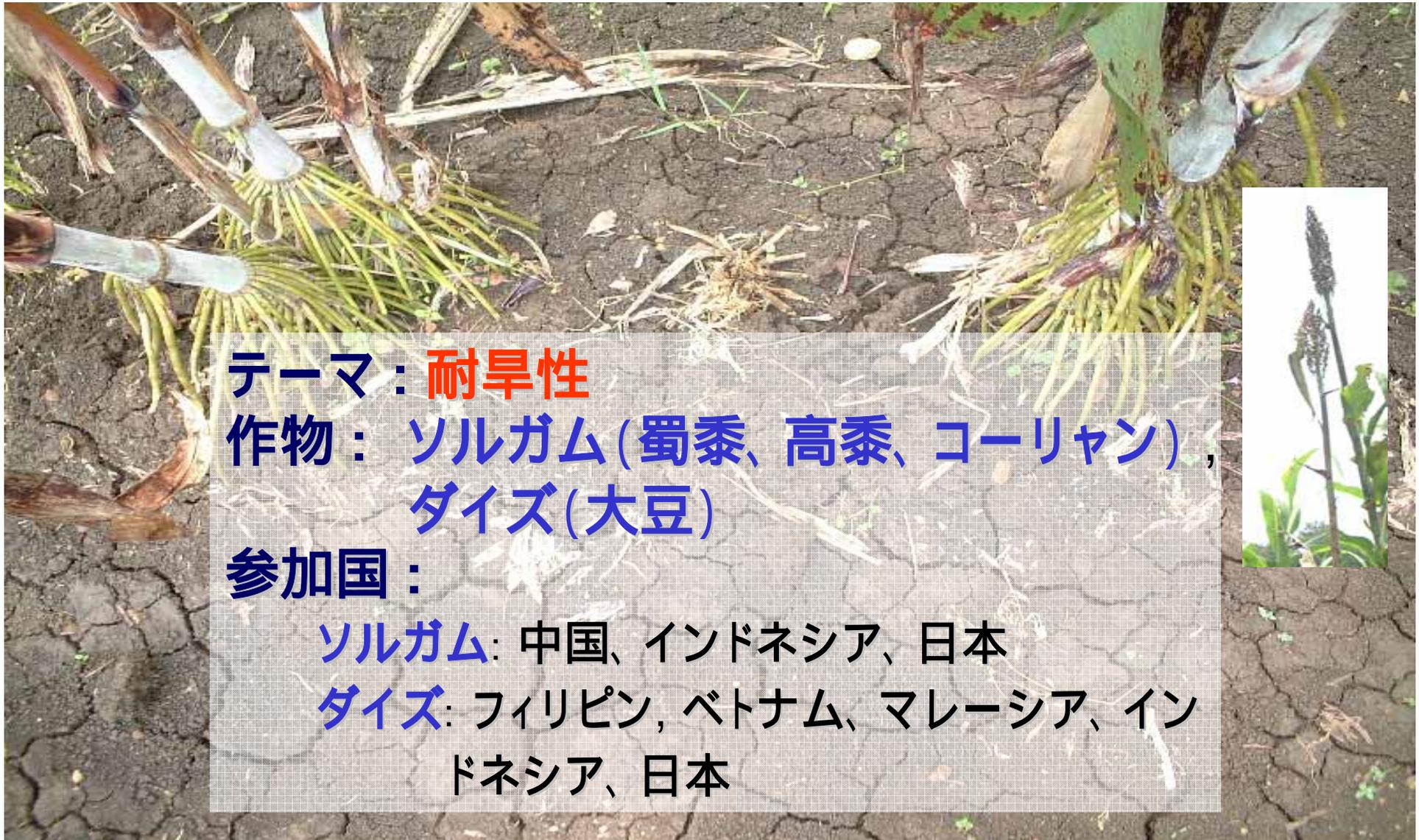
日本における突然変異育種品種の 経済的効果

作物	栽培面積 (ha)	生産額	集計年度
稲 うるち米	5,483,355	6兆7725億円	1966-2000
稲 もち米	21,989	27億円	1966-2000
小麦	8,190	47億円	1971-1991
大麦	15,794	74億円	1967-2000
大豆	119,121	178億円	1971-1999
ゴボウ	5,673	215億円	1996-2000
梨	2,284	102億円	1992-2000
6 作物合計	5,656,406	6兆8368億円	1966-2000

多国間研究プログラム (MRP)

ソルガムとダイズの耐旱性突然変異品種育成

FY2002-2006



テーマ：**耐旱性**

作物：**ソルガム(蜀黍、高黍、コーリャン)**、**ダイズ(大豆)**

参加国：

ソルガム: 中国、インドネシア、日本

ダイズ: フィリピン、ベトナム、マレーシア、インドネシア、日本

Feterita

Hegari

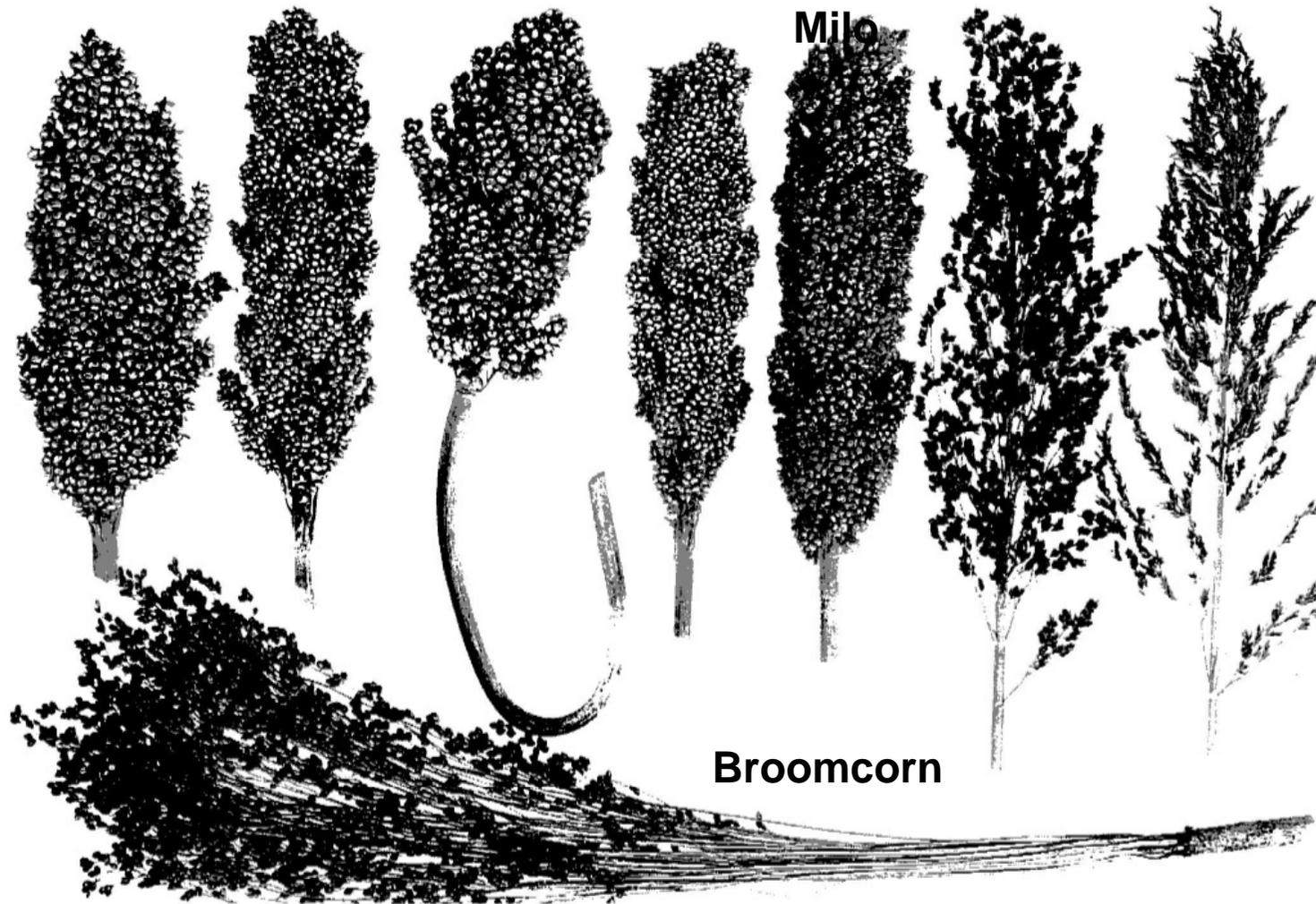
Milo

Kafir

Kafir
x
Milo

Sorgo

Sudangrass

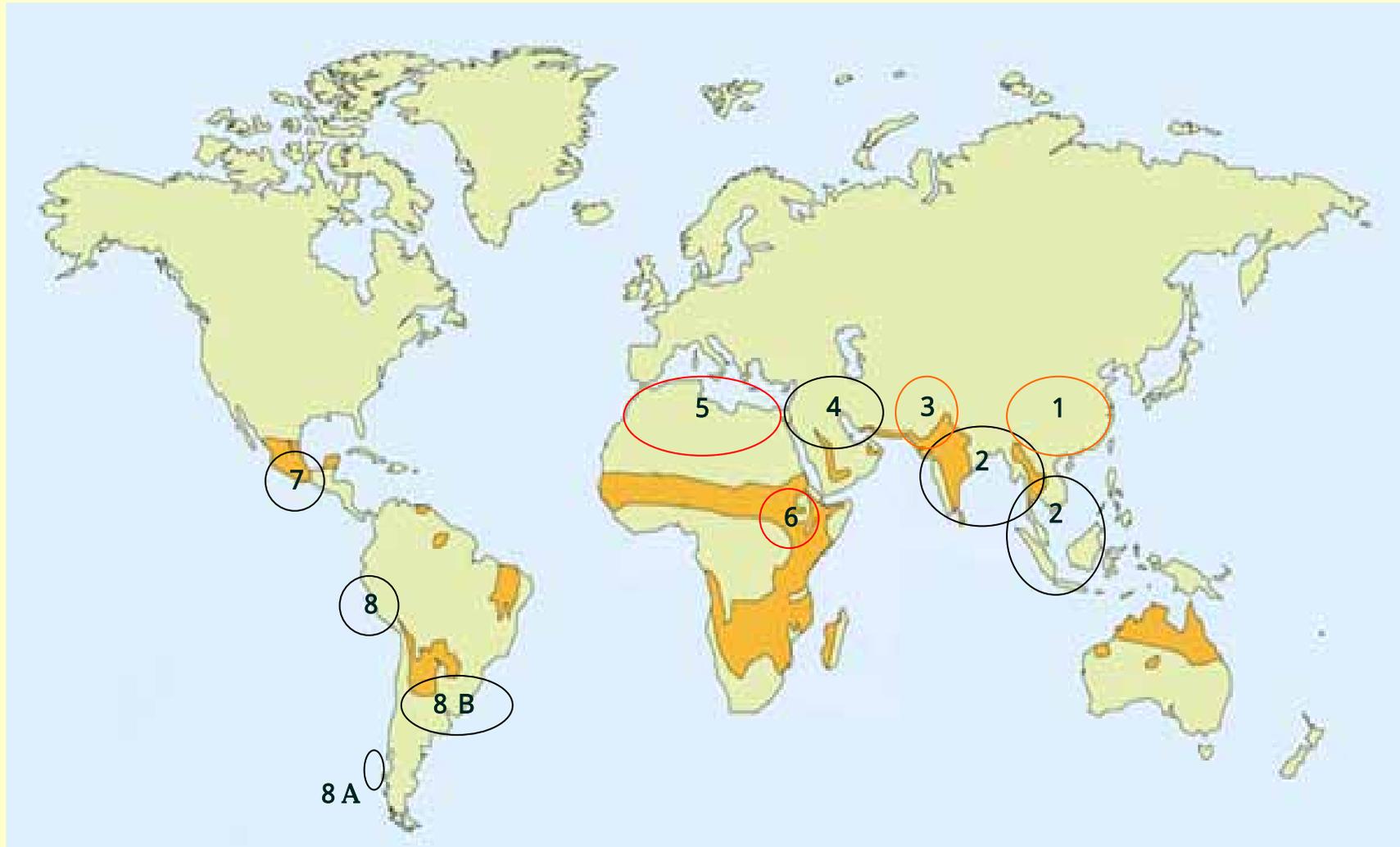


Broomcorn

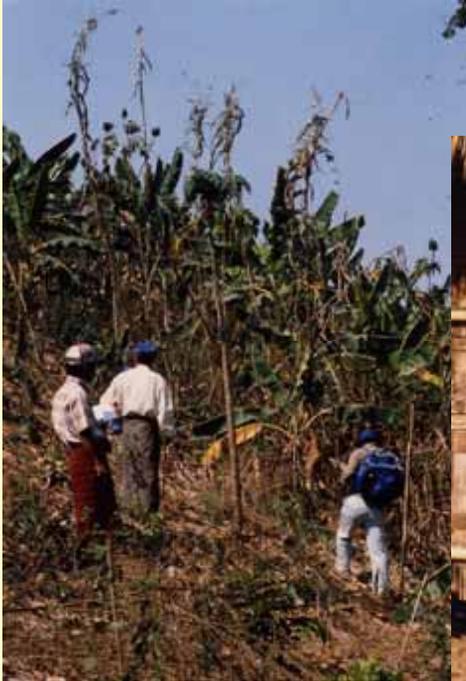
種々のソルガム系統の穂

バビロフの提唱した栽培植物の起源の中心

ソルガムは6で起源し、5,4,3,2,1に拡散

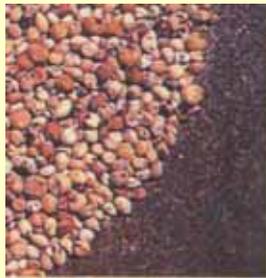


遺伝資源探索



ミャンマーにおけるソルガム遺伝資源探索

ソルガム料理(エチオピアのインジェラ)



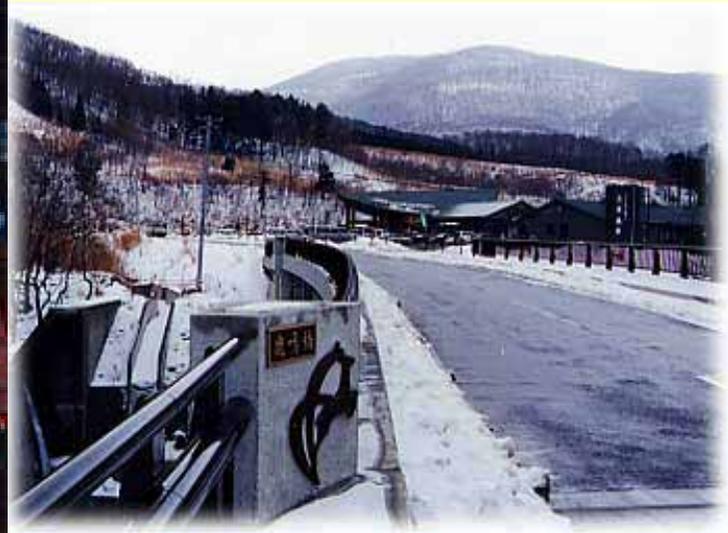
©藤井勝彦



収穫したソルガムを広げ、これから束ねて貯蔵するところ(上)

エチオピアのインジェラ。クレープ状のものにおかずを包んで食べる。少し酸味がある(左)

ソルガム団子



モチキビの栽培と調理名人





インゲン豆スナック

ソルガム, インゲン豆, テンサイ糖,
なたね油, およびパームオイル



ゴマクッキー

ソルガム, タピオカ, アーモンド, テンサイ糖,
なたね油, およびゴマ



黒糖クッキー

ソルガム, タピオカ, アーモンド, テンサイ糖,
なたね油, および黒糖

コムギアレルギー
の子供向きソルガ
ムクッキー(グルテ
ンが含まれない)



ホワイトソルガムスナック: 左: 海苔風味; 右: 薄塩味: 各100円
(25 g), グルテンなし, (コムギ原料、卵、ミルクを使用せず)。ア
レルギーで小麦が食べられない子供向きスナック。原料はアメ
リカから輸入



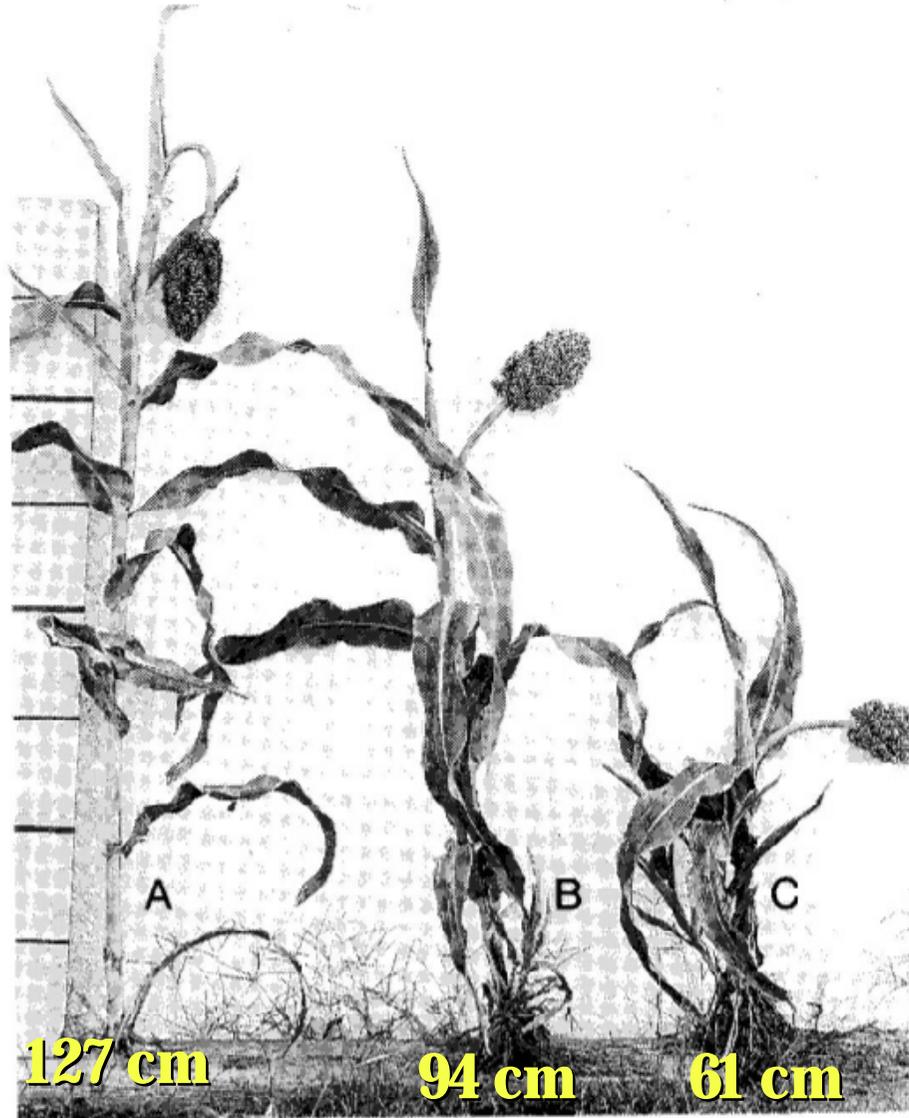
プチタカキビケーキ: 260 円; 米粉とソルガム粉の混合粉にテンサイ糖、天然塩とイースト添加(卵、脂肪、ミルクは不使用): コムギアレルギーの人向け

スーダン型ソルガム飼料用品 種“グリーンA”

1. 早晚性 (Maturity): 中生
2. 草高 (280 cm以上)
3. 耐倒伏性
4. 穂: 大
5. 多収: 5月播種、10月まで
出穂始め2 - 3 刈りで乾物
収量20t/ha)
6. すず紋病抵抗性: 中
7. 消化率 (digestibility) と粗タンパク含量 (crude protein content) はやや低.



草丈に関して、左から1, 2, および3劣性遺伝子を持つMiloの草姿



ソルガムの突然変異

自然突然変異の一例は矮性遺伝子 (dwarfing genes) で、その後の育種で広範囲に利用された。

品種とその遺伝子型

(A) 'Tall White Sooner' milo

$(Dw_1Dw_1Dw_2Dw_2Dw_3Dw_3dw_4dw_4)$

(B) 'Dwarf White Sooner' milo

$(dw_1dw_1Dw_2Dw_2Dw_3Dw_3dw_4dw_4)$;

(C) 'Double Dwarf White Sooner'

milo $(dw_1dw_1dw_2dw_2Dw_3Dw_3$

$dw_4dw_4)$. アメリカで栽培されるソル

ガム一代雑種品種の大半は草丈に関して2 ~ 4の劣性遺伝子を持つ。

特徴: 生育が旺盛で、種子生産性が高く、機械収穫が容易。

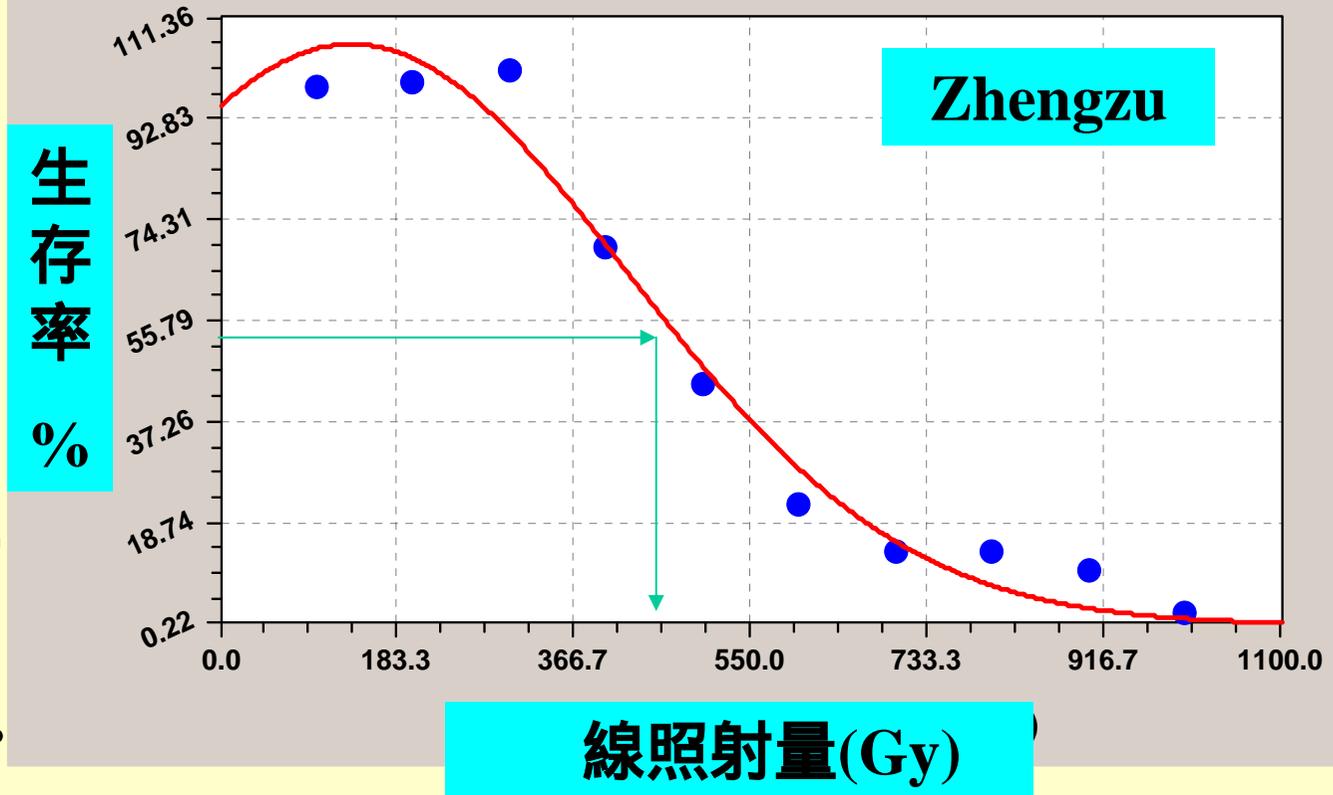
ソルガムの耐旱性育種

- 2002年、FNCAプロジェクトによって、中国とインドネシアの間で、材料となるソルガム種子の交換
- 試験圃場での、特性調査により、“Zhengzhu”を育種母材に決定



ソルガムの突然変異誘発のための 線適正 照射量の解明(インドネシア)

Response of Zhengzu to Gamma Radiation



線の適正
照射量は
350-500 Gy.

ソルガム系統の圃場試験2003 (播種日: 2003年7月8日)

インドネシアにおいて有望な耐旱性10系統(うち2系統が高度耐旱性)が選抜された。



今後、耐旱性ソルガム品種の導入が期待される
ジャワ島西部の乾燥地帯、Cijayana, Garutの試験地



Cijayana における予備試験(2004)

中国では、

- ・スィートソルガム突然変異耐旱性1系統 (Yuantian) が育成され、公式に登録された。
- ・インドネシアで育成された耐旱性系統と中国のスィートソルガムとの交配によって高糖性品種が育成された。
- ・FNCAを通じた種子交換が両国の育種に大きな効果をもたらした。



ダイズの耐旱性突然変異育種

- 2002年にフィリピン、ベトナム、マレーシア、インドネシア、日本との間でダイズ遺伝資源の交換を行った。
- フィリピンにおいて、耐旱性かつ多収性の突然変異系統(PSB-SY4 と BPI-SY4) が、ベトナムでも突然変異系統DT-96 が誘発された。
- インドネシアにおいて、辺境(乾燥)地帯での試験で、多収でかつ早生の突然変異8系統が報告された。

ベトナムで育成された耐
旱性多収突然変異系統
DT96の草型と莢



ベトナム Thai Nguyen 郡における DT96 の収量試験
収量35 quintals/ha (95日間), 2003夏



マレーシア、Sembawa での適応性検定 試験

GH-7: 最も優秀な突然変異系統、2004年
3月17日に新品種として登録



GH/7

多国間研究プログラム (MRP)

ランの耐虫性突然変異品種の育成

FY2003 - FY2007



スリップス幼虫に食害されたラン

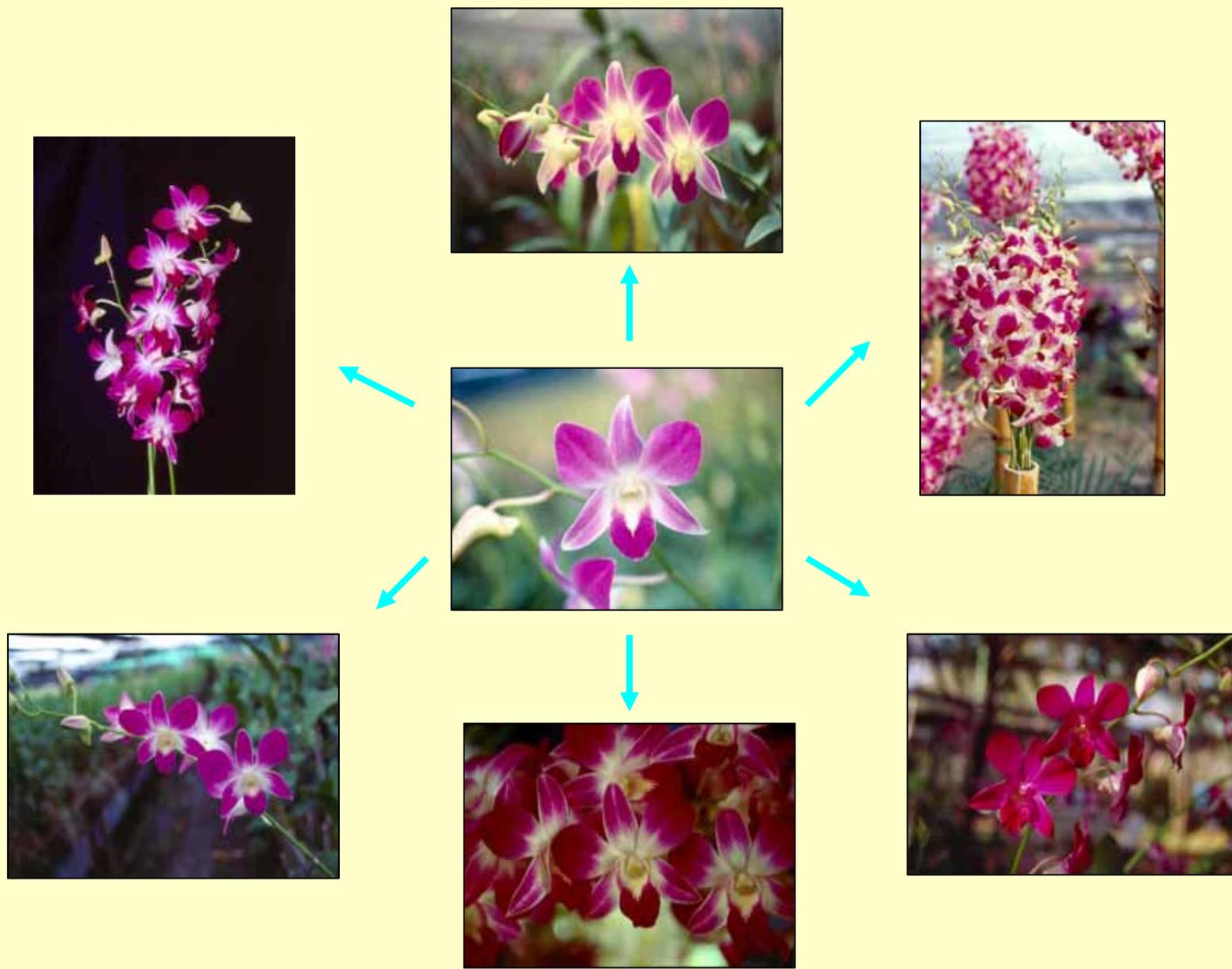


スリップス

テーマ: 耐虫性

参加国: インドネシア, マレーシア、タイ、日本、
(中国、ベトナム)

ランの種: Dendrobium (雑種)

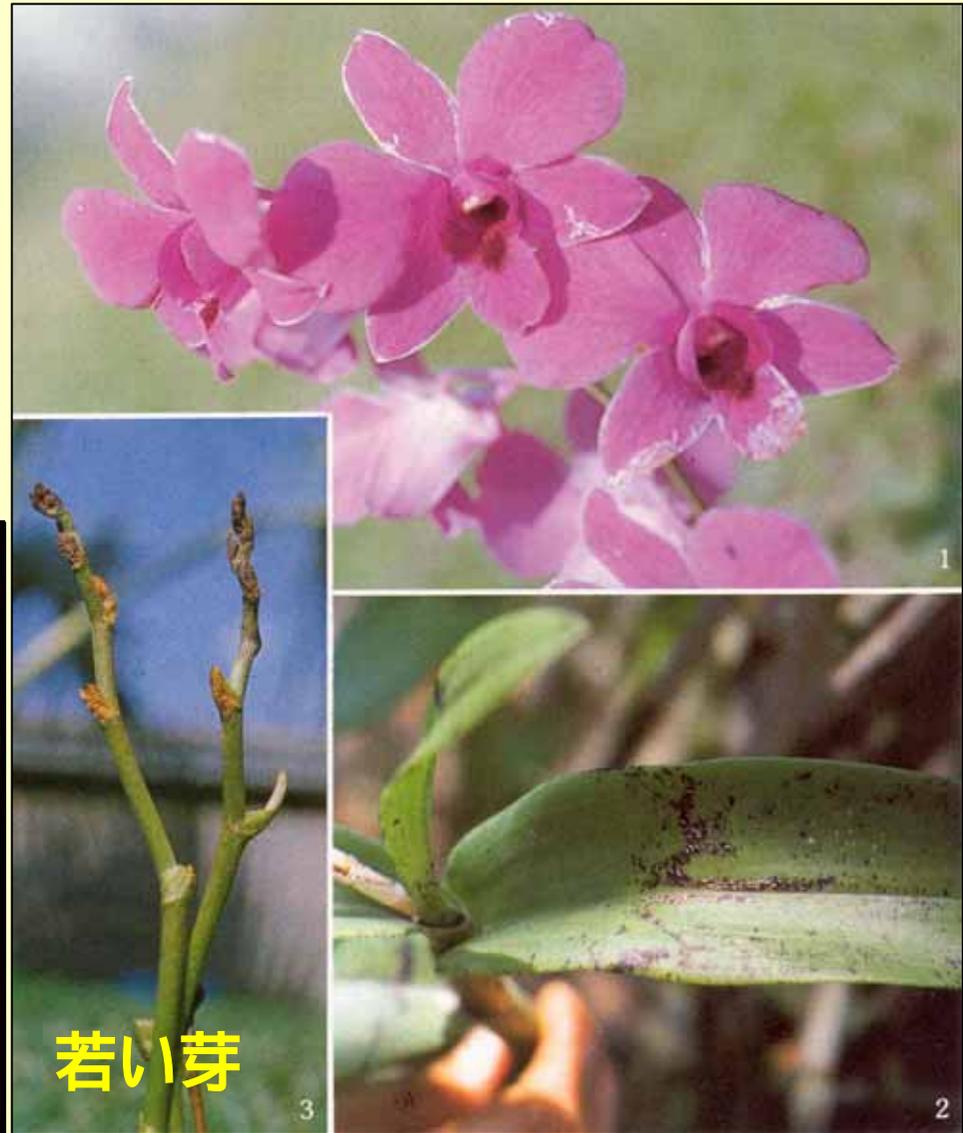


ランの花の育種には突然変異が有効

プロジェクトの概要

- タイはインドネシアとマレーシアのためにガンマ線照射を行い、カセサート大学の原子力技術研究センターでスリップス抵抗性ラン突然変異系統の選抜技術指導。
- インドネシア、マレーシアおよびタイ間での育種母材と情報の交換
- タイとインドネシアではスリップス抵抗性育種を継続
- マレーシアではスリップスよりも被害の大きいハダニ (false spider mites) 抵抗性選抜手法の開発を開始
- デンドロビウム Sonia “Red 17”を共通の育種母材とし、分割急照射法 (acute split doses) を用いて変異誘発を行う。

スリップスの 被害



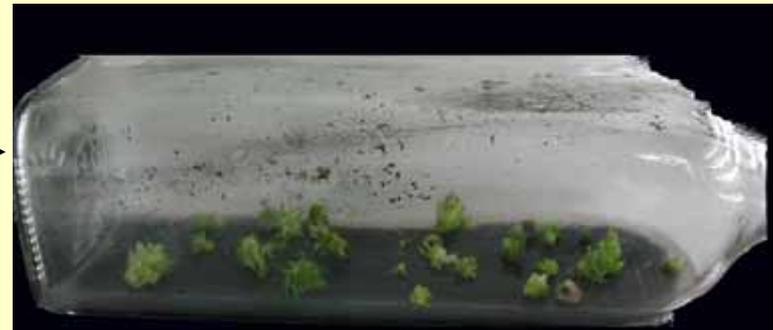
プロトコーム類似球体 (PLBs)の増殖と照射



増殖



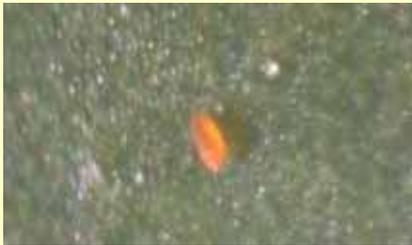
照射



継代培養



ハダニ



卵



幼虫



不完全変態
の若虫



若虫後期

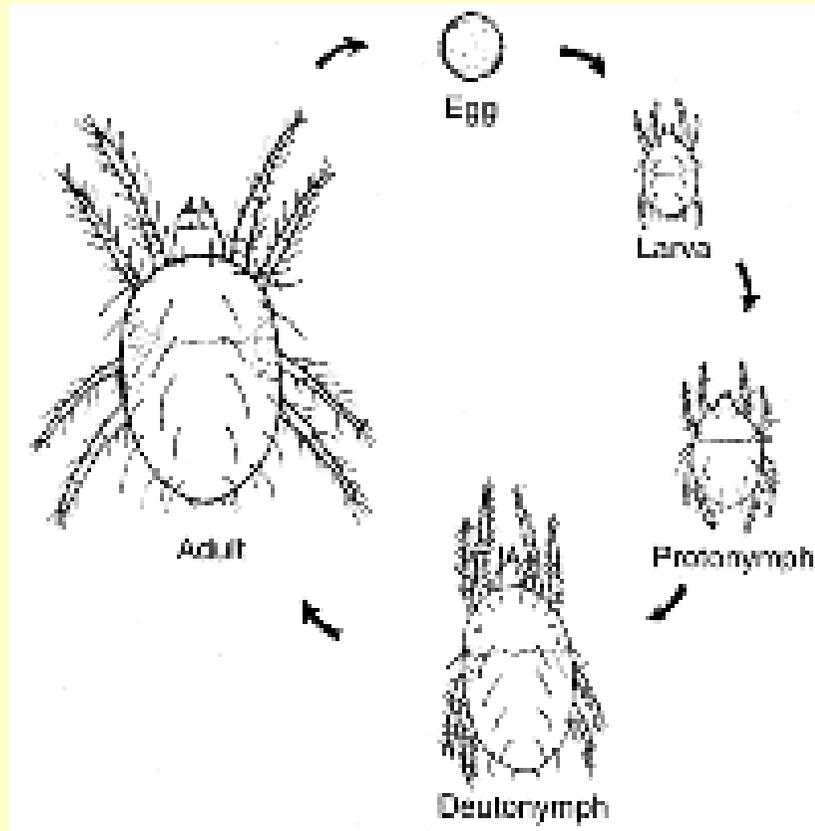


成虫(雄)
(丸い)



成虫(雌)
(大きい)

- 赤いハダニが見える
- 葉や茎を吸汁する
- 被害; 色が抜けたり、黒化したりする。

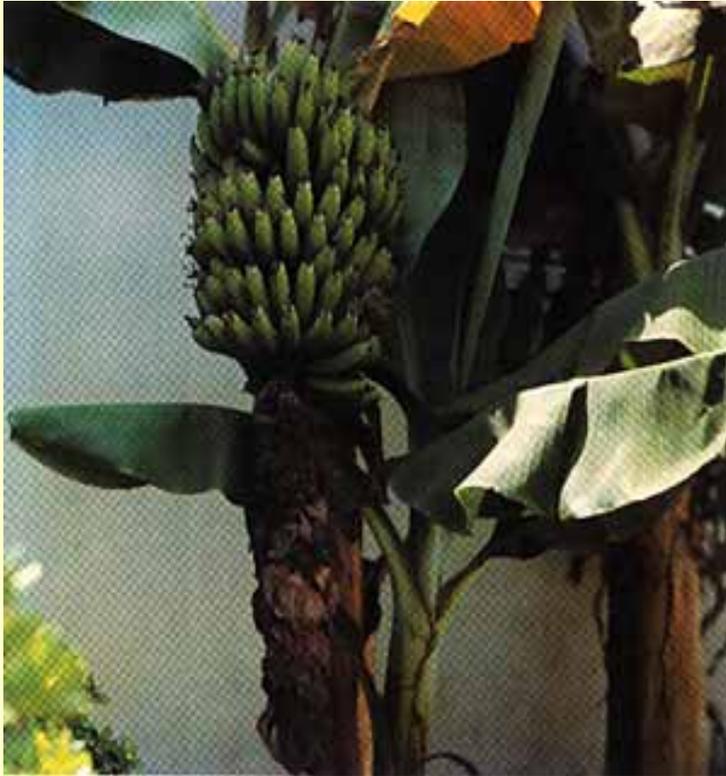


ハダニの被害



多国間研究プログラム (MRP)

バナナの耐病性育種 FY2004 - FY2008



フザリウム萎凋病

テーマ: バナナの耐病性

参加国: インドネシア、マレーシア、フィリピン、ベトナム、日本

病気: フザリウム萎凋病, バナナブラッド病, バナナバンチートップウイルス病

バナナバンチートップウイルス病 (BBTV)

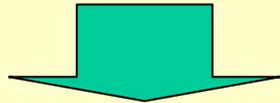
- ✓ フィリピンにおける最も重要なバナナ類 (*Musa spp.*) の病害



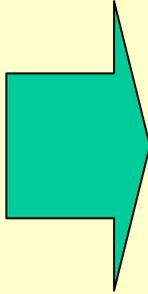
- ✓ ほとんどすべてのバナナ品種に抵抗性がない

温室内での抵抗性検定法の確立

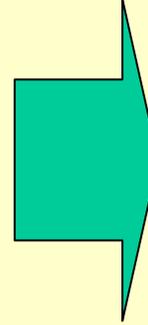
ウイルスを運ぶアブラムシの飼育



30分間餌を絶ち、空腹にさせる



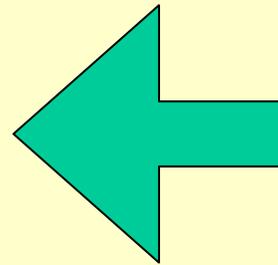
24時間病気のバナナで飼育



このアブラムシをバナナ幼苗につけて病気を感染させる
(24時間；1植物あたり10匹)



選抜幼苗を畑に移植し、農業形質でも選抜



1-9ヶ月間病徴を観察し、選抜

抗原抗体反応やDNAを加えて抵抗性の判断

一次選抜されたBBTV
抵抗性突然変異体
(フィリピン)



マレーシアの病気多
発地におけるフザリ
ウム萎凋病抵抗性
突然変異体のスク
リーニング



その他のプロジェクト

- **突然変異育種データベース(MBDB)**
研究所、専門分野、作物、突然変異育種によって育成された品種系統のデータベース構築
- **突然変異系統保存プログラム(MSR)**
研究目的の育種素材の登録、保存および交換.
- **突然変異育種マニュアル(MBM)** の出版
突然変異育種に関する、研究者や学生向けのマニュアル

その他のプロジェクト1 突然変異育種データベース(MBDB)

FNCAのウェブサイトで閲覧；登録が必要



Microsoft Access - [Questionnaire for DataBase]

List of mutant lines

Mutant lines	Mutated characters	Plants	Institution	Country	
	changes in flower colors	portulaca	Department of Applied Ra	Thailand	Data
	changes in flower colors	portulaca	Department of Applied Ra	Thailand	Data
	Tolerance to powdery mil	Mung bean	Department of Applied Ra	Thailand	Data
	photosensitiveness	Rice (1998)	Hanoi Teacher Training Cc	Vietnam	Data
		Rice Baothai	Hanoi Teacher Training Cc	Vietnam	Data
	cytoplasmic-male-sterile m	sugarbeet	Hokkaido University, Facul	Japan	Data
	chlrophyll mutants	rice	International Rice Researc	Philippines	Data
	petal shape	carnation	Kanagawa Prefecture Agi	Japan	Data
		nil	Malaysian Agricultural Res	Malaysia	Data
	larger spears	Asparagus	Ministry of Education, Raja	Thailand	Data
	endopermless	rice	Nagaoka University of Tec	Japan	Data
	chlorophyl(temparature se	rice	Nagaoka University of Tec	Japan	Data

Print Cancel

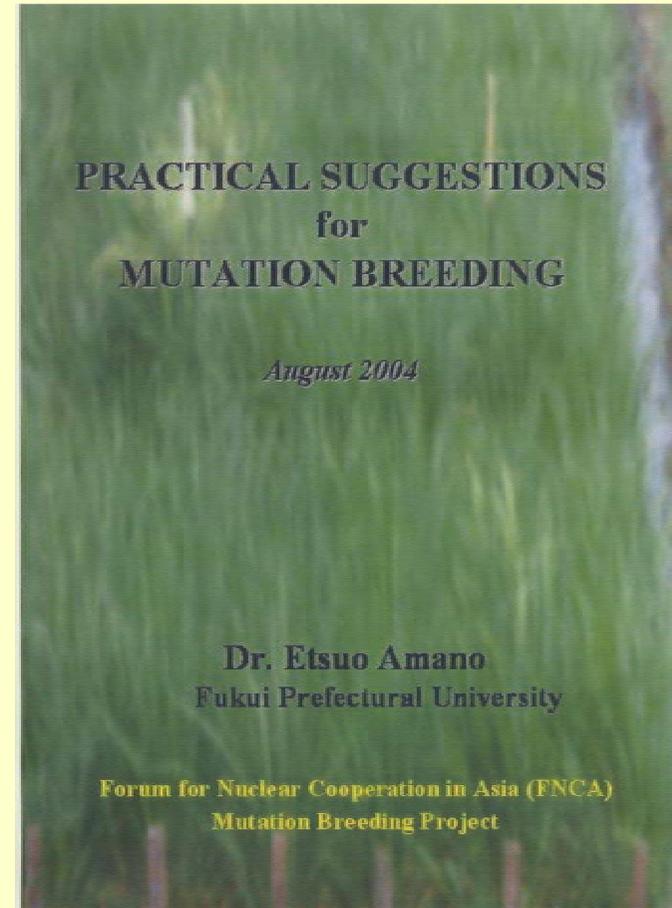
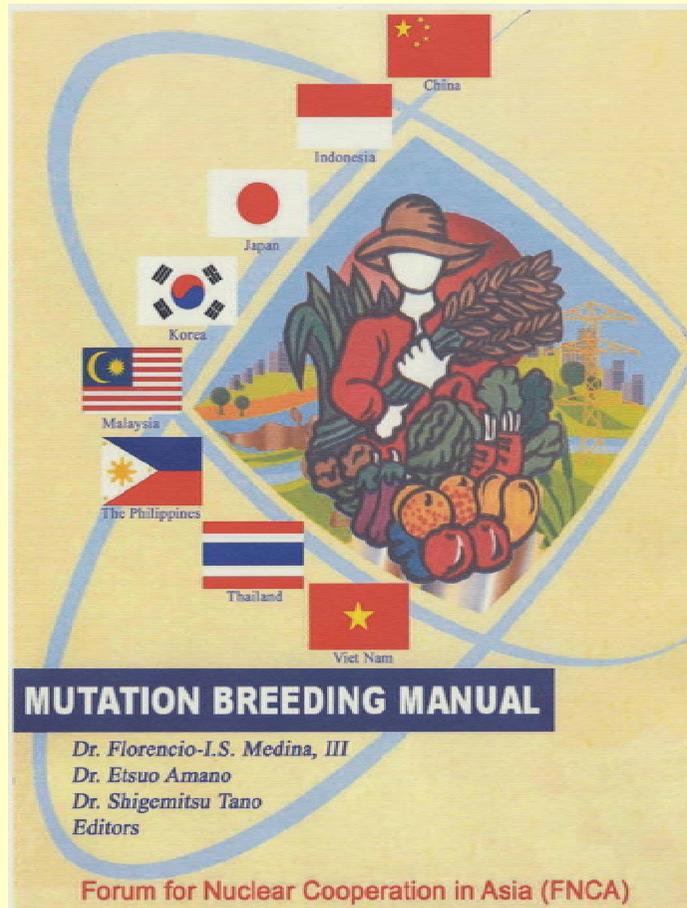
レコード: 1 / 448

変異系統名 FLTR NUM OVR

<http://www.fnca.jp/english/>

Microsoft Access 2000

突然変異育種マニュアル(MBM)



FNCAウェブサイトでの出版(公開)

<http://www.fnca.jp/mb/mbm/mbm.html>

突然変異育種ワークショップ



- 2002 中国
- 2003 フィリピン
- 2004 インドネシア
- 2005 マレーシア
(12月)

インドネシア、ジョグジャカルタ, 2004 (Bungaran農林大臣)





参加各国の成果報告と討議



公開講座の開催：インドネシア国立開発大学（田野前PL：
Universitas Pembangunan Nasional, “VETERAN”



インドネシア原子力省の研究所視察



ジョグジャカルタ周辺の旱魃が常襲する中山間地視察



ジョグジャカルタ周辺の旱魃が常襲する中山間地視察(段々畑)

放射線育種場の照射施設



ガンマフィールド（植物の品種改良のための世界最大の照射施設；原子力平和利用のシンボル）：半径100mの円形で、中央に88.8Tbq（テラベクテル）の ^{60}Co （コバルト60）線源を入れた照射棟があり、周囲を高さ8mの防御用の土手で囲った野外緩照射施設。

ガンマーグリーンハウス：半径7mの正八角形の温室で、霜に弱い熱帯作物のための緩照射施設。

ガンマールーム：44.4 TBq ^{60}Co 線源を用いたレントゲンのような室内急照射用の施設で種子、球根やイモ類、培養した組織などに照射できる。



▲ ガンマールーム
Gamma room

▼ ガンマーグリーンハウス
Gamma greenhouse





ガンマフィールド中心にある照射棟

低たんぱく質米品種

「LGC1」(50%以下) (エチレンイミン)

「LGC活」(30%) (ガンマ線)コシヒカリ

「LGC潤」(30%) (ガンマ線)コシヒカリ

の育成

利用法

白米中にたんぱく質は約7%含まれる

1. 腎臓病患者用(たんぱく質摂取制限)のコメとして利用可能
(医療関係者のニーズは通常の50%以下の低タンパク)
2. 吟醸酒原料用の酒米





なし「二十世紀」の
耐病性枝変わり

黒斑病抵抗性なし品種
「ゴールド二十世紀」の育成



病気に弱い
「二十世紀」

病気に強い「ゴールド
二十世紀」

ガンマー線照射により作り出された黒斑病に耐病性の
ナシ品種 (低農薬・低投入持続型栽培への転換)



ゴールド二十世紀



寿新水

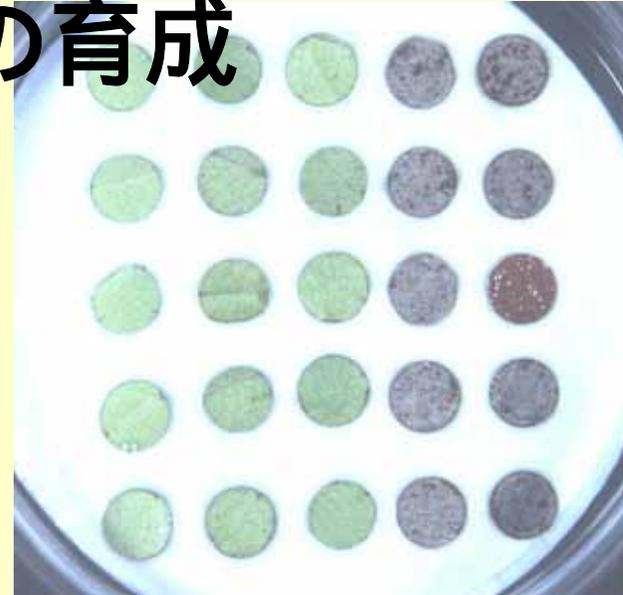


おきゴールド

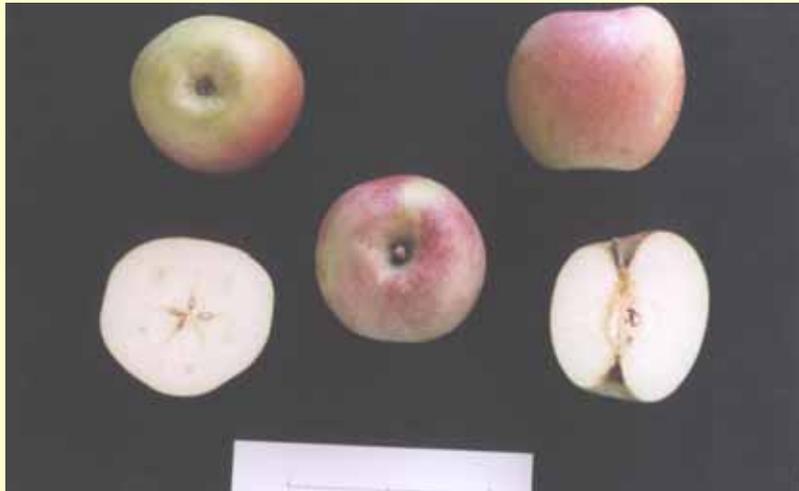
ガンマ線緩照射による斑点落葉病抵抗性 リンゴ品種「放育印度」の育成



ガンマフィールド
での突然変異
枝変わり



つがる ふじ 5-1-46 インド スターキング



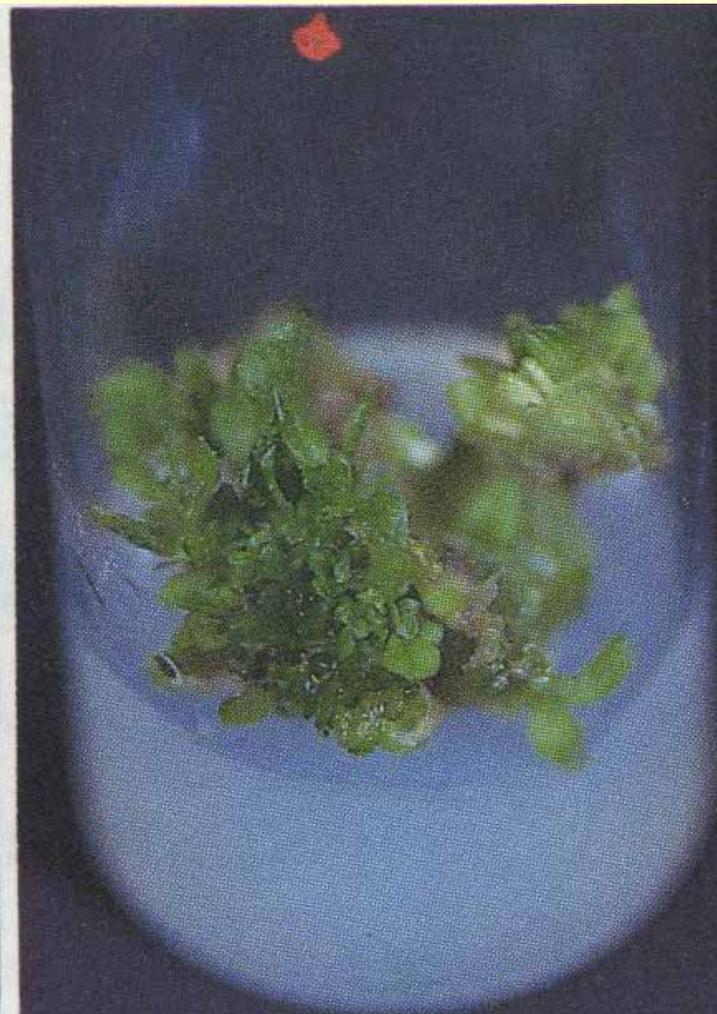
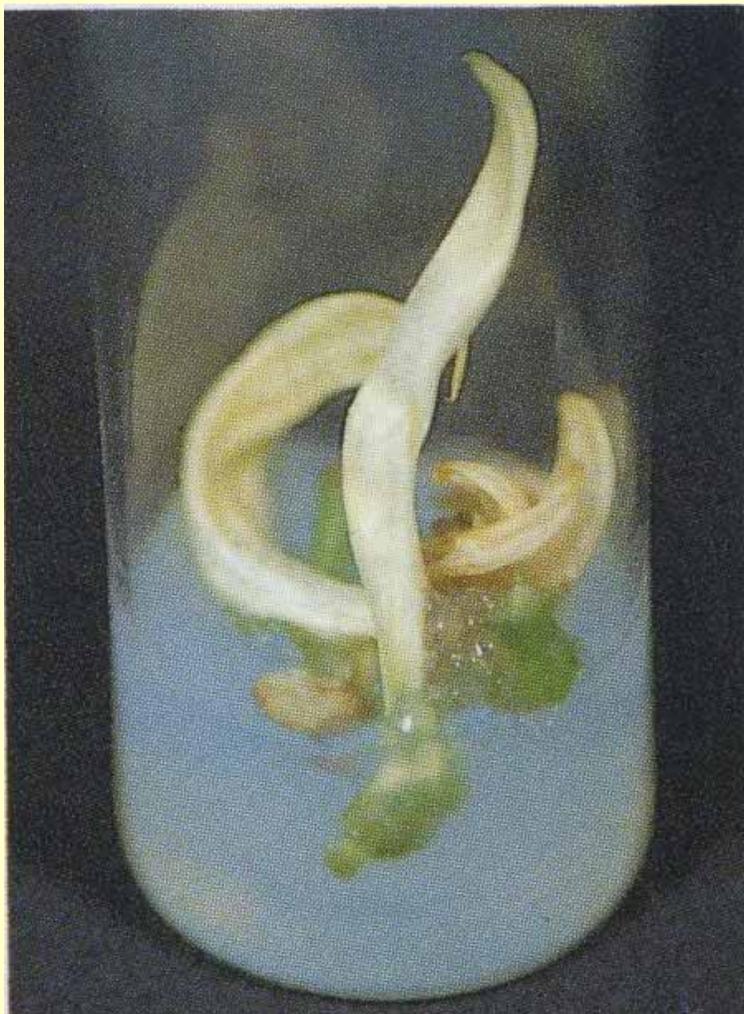
葉を用いた抵抗性の検定

- 突然変異体は病気に抵抗性になった。
- 耐病性以外の性質は変わっていない。
- 花粉稔性はやや低くなるが、問題になる程度ではない。
- 2004年度に品種登録申請。

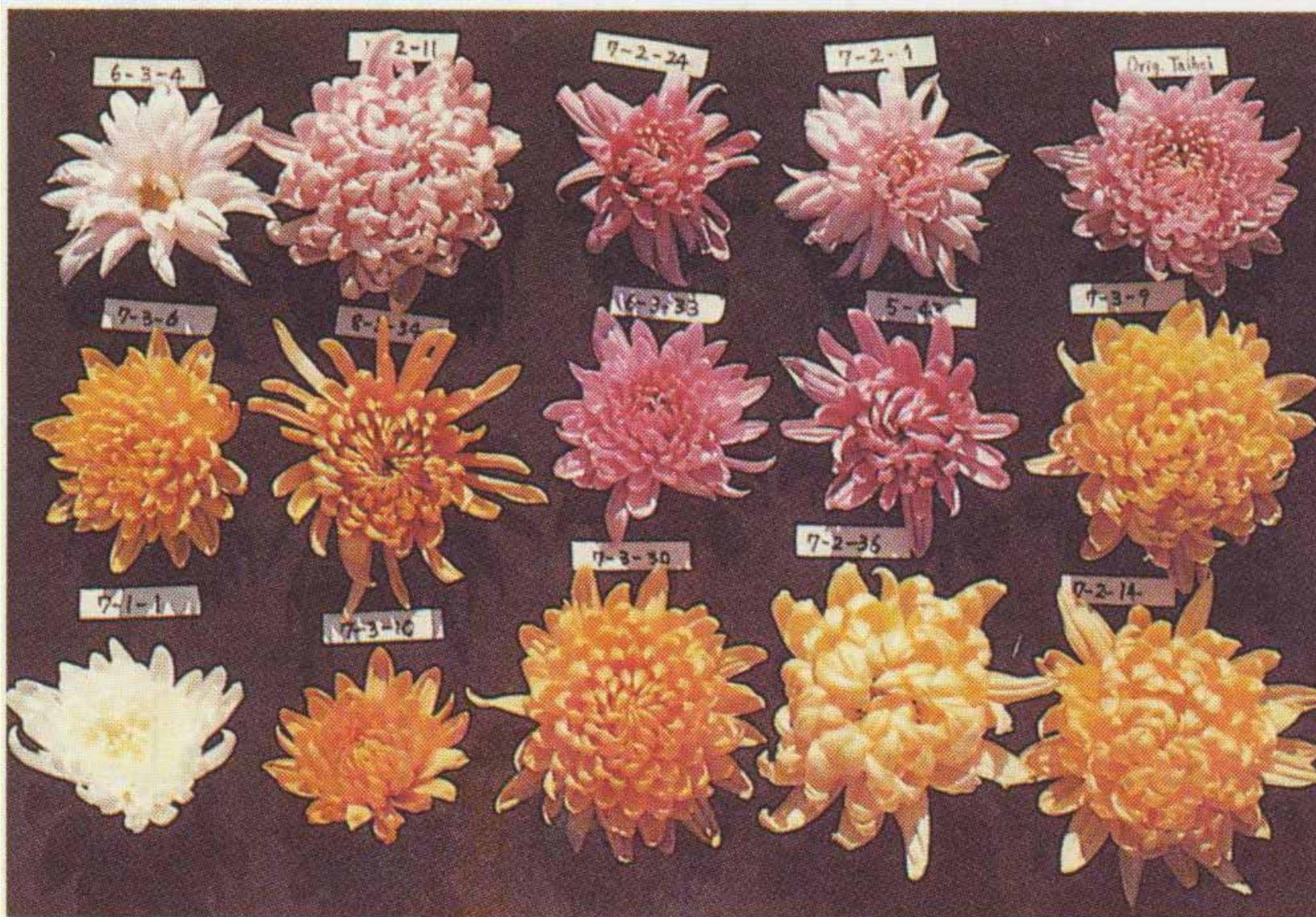
ガンマーフィールド内での突然変異の作出



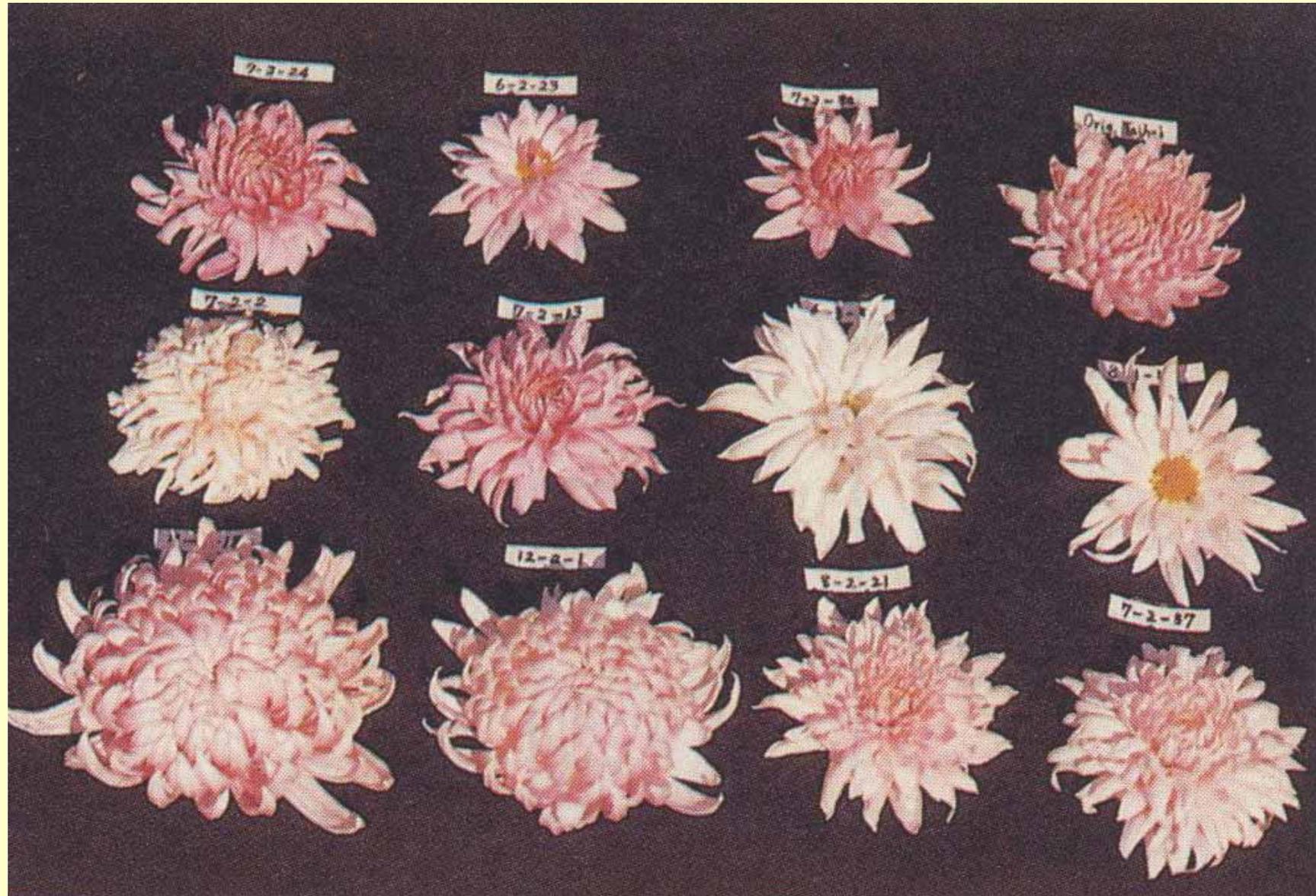
ガンマ線照射花弁の培養と、 脱分化、再分化



元品種(大平:右端上)から作出した色の変異



元品種(大平:左端上)から作出した花の形態変異



ガンマ線照射と花卉培養で育成したキク品種



A:南風の初雪(はえのはつゆき); B:南風の燦(はえのきらめき); C:南風の紅(はえのくれない); D:南風的美童(はえのみやらび); E:南風の夕暮(はえのゆうぐれ); F:南風の輝(はえのかがやき)

ガンマ線あるいはイオンビーム照射によって 作られたキクの突然変異品種

南風の明星



南風の永光



イオンの光明



イオンの成宏



イオンの黎明



南風の夢車



南風の淡紅



キク原品種
「大平」



イオンの初音



イオンの光輝

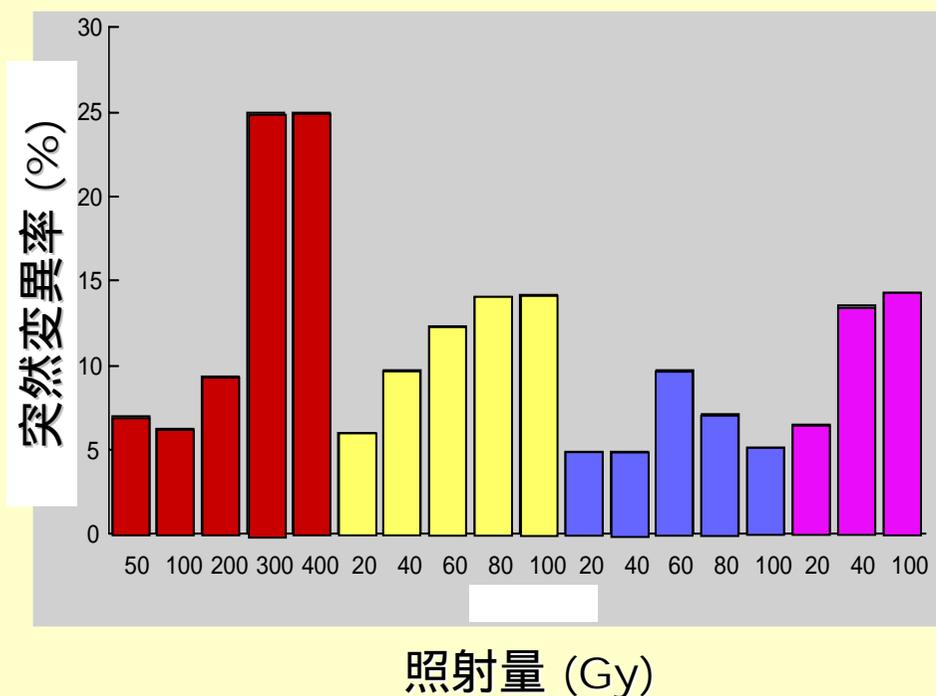


イオンの魔法

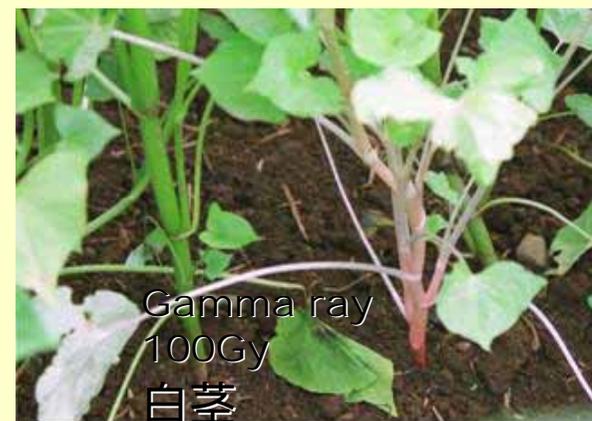
ガンマ線照射で作られた
新品種

イオンビーム照射で作ら
れた新品種

ダットンソバに対するガンマ線とイオンビームの効果の比較(機能性成分)



ray $^4\text{He}^{2+}$ $^{20}\text{Ne}^{8+}$ $^{12}\text{C}^{5+}$
 (100MeV) (350MeV) (220MeV)



1. イオンビームは低線量で効果が高い。
2. 共にいろいろな変異体を作出できる。

新しい観賞用パイナップル品種「ナツヒメ」

野生種「アナナス アナナソイデス」をガンマーグリンハウス内での緩照射によって、緑葉がピンクや黄の縦縞の斑入りで、果実も極小型の突然変異系統「ナツヒメ（沖縄16号）」を育成。



観賞用パイナップル品種「ナツヒメ(沖縄16号)」の果実と植物体

国内の共同研究

- 大学
 1. 文部科学省経費による放射線育種場共同利用研究: 12
大学17課題
 2. ガンマフィールドシンポジウム(今年度第43回)と
Gamma Field Symposiaの刊行
- 民間、他の独立行政法人、県の試験場等
 1. 依頼照射
民間個人147件、国立機関50件、公立機関71件、大学85件)
 2. 育種共同研究
全9件(原子力研究所高崎、キリンビール、和泊町など)
- その他
ガンマフィールド見学(適時対応)と一般公開(年1回)
H14(見学236; 公開127); H15(見学296; 公開92); H16(現在まで、見学396(予約込み))

Establishment of “Advanced Radiation Application Research Center” of the KAERI and promoting of R & D for the radiation application research

➤ **Research fields:** Agro-biology, Food, Industry, Environment, Medicine, etc.

➤ Irradiators (gamma, electron beam, ion beam, cyclotron), gamma greenhouse, greenhouse, seed storage facility, experimental farm, native plant garden, etc.

アジア各国では放射線育種技術の研究開発に対する期待が高く、近年、韓国やマレーシアでガンマー照射施設が新築されている。

日本には40年以上の研究蓄積があり、この分野のアジアのリーダーとして研究支援をしていく役割は大きい。