

病虫害抵抗性育種



1

ジャガイモ疫病 (Potato late blight)

★ 葉に暗緑色の水浸状の病斑を形成し、その後茎葉が枯死する

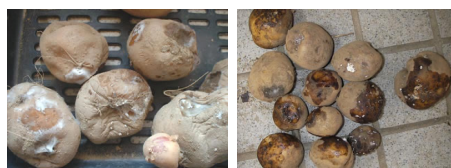


葉裏に白いカビ

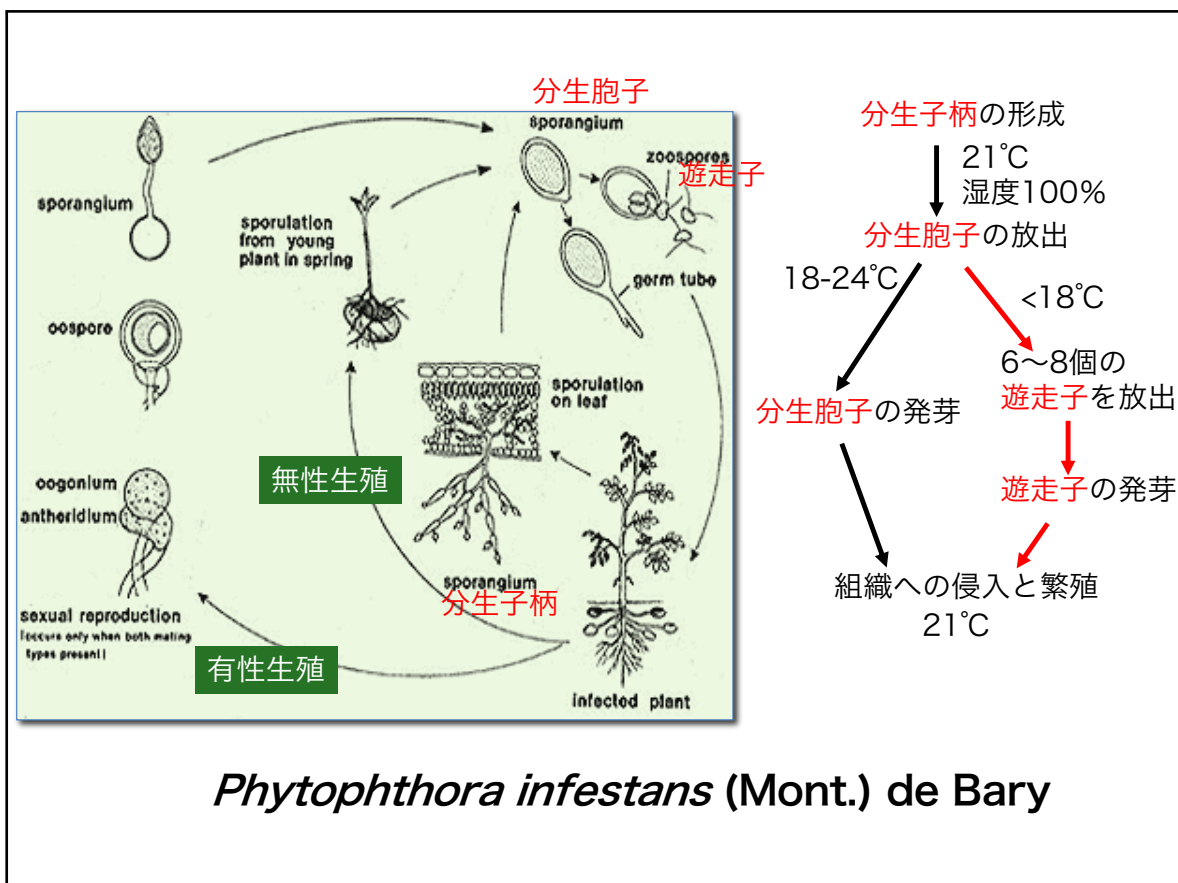


★ 冷涼(15~20℃)で多湿な気候を好む

★ 軟腐病菌が傷口から侵入し、貯蔵中に腐敗 (2次的被害)



2



3

Mexican wild species *Solanum demissum*

S. demissum (6x)

- 1906年 イギリスで *S. demissum* に疫病抵抗性があることを発見
- 1908年 *S. demissum* を使った育種がドイツで始まり、W-racesができた
- 1930年 アメリカで *S. demissum* を用いた抵抗性育種が始まる
- 1939年 日本で *S. demissum* を用いた抵抗性育種が始まる

The major *R*-genes from *S. demissum* :
R1, R2, R3a, R3b, R4, R5, R6, R7, R8, R9, R10, R11

4

Hypersensitive resistance genes from *Solanum demissum* Lindl.

Genotype	Pathotype (race)			
	0	1	2	1,2
r	+	+	+	+
R ₁	-	+	-	+
R ₂	-	-	+	+
R ₁ R ₂	-	-	-	+

+ = susceptible - = resistant

5

疫病抵抗性遺伝子

遺伝子	座乗染色体	供与親
<i>R1</i> *	5	<i>S. demissum</i>
<i>R2</i> *, <i>R2-like</i> *	4	<i>S. demissum</i>
<i>R3a</i> *, <i>R3b</i> *, <i>R6</i> , <i>R7</i>	11	<i>S. demissum</i>
<i>R8</i> , <i>R9a</i> *	9	<i>S. demissum</i>
<i>RB/Rpi-blb1</i> *	8	<i>S. bulbocastanum</i>
<i>Rpi-blb2</i> *	6	<i>S. bulbocastanum</i>
<i>Rpi-blb3</i>	4	<i>S. bulbocastanum</i>
<i>Rpi-abpt</i> *	4	<i>S. bulbocastanum</i>
<i>Rber/Rpi-ber</i> *	10	<i>S. berthaultii</i>
<i>Rpi1</i>	7	<i>S. pinnatisectum</i>
<i>Rpi-moc1</i> *	9	<i>S. mochiquense</i>
<i>Rpi-sto1</i> *	8	<i>S. stoloniferum</i>
<i>Rpi-vnt1.1</i> *	9	<i>S. venturii</i>
<i>Rpi-ver1</i>	6	<i>S. verrucosum</i>

*Cloned

6

P. infestans の動向

1845年頃

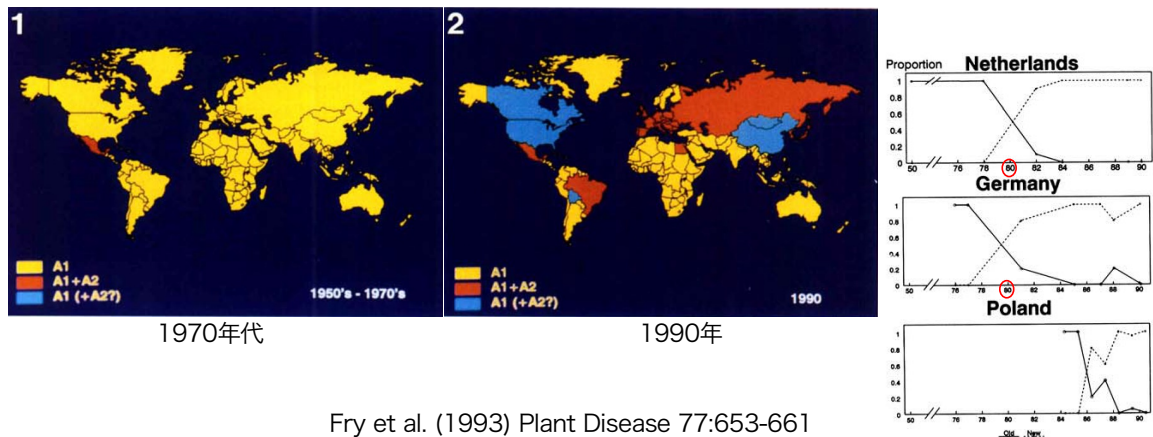
メキシコからヨーロッパへ (A1 mating typeのみ)

1980年代

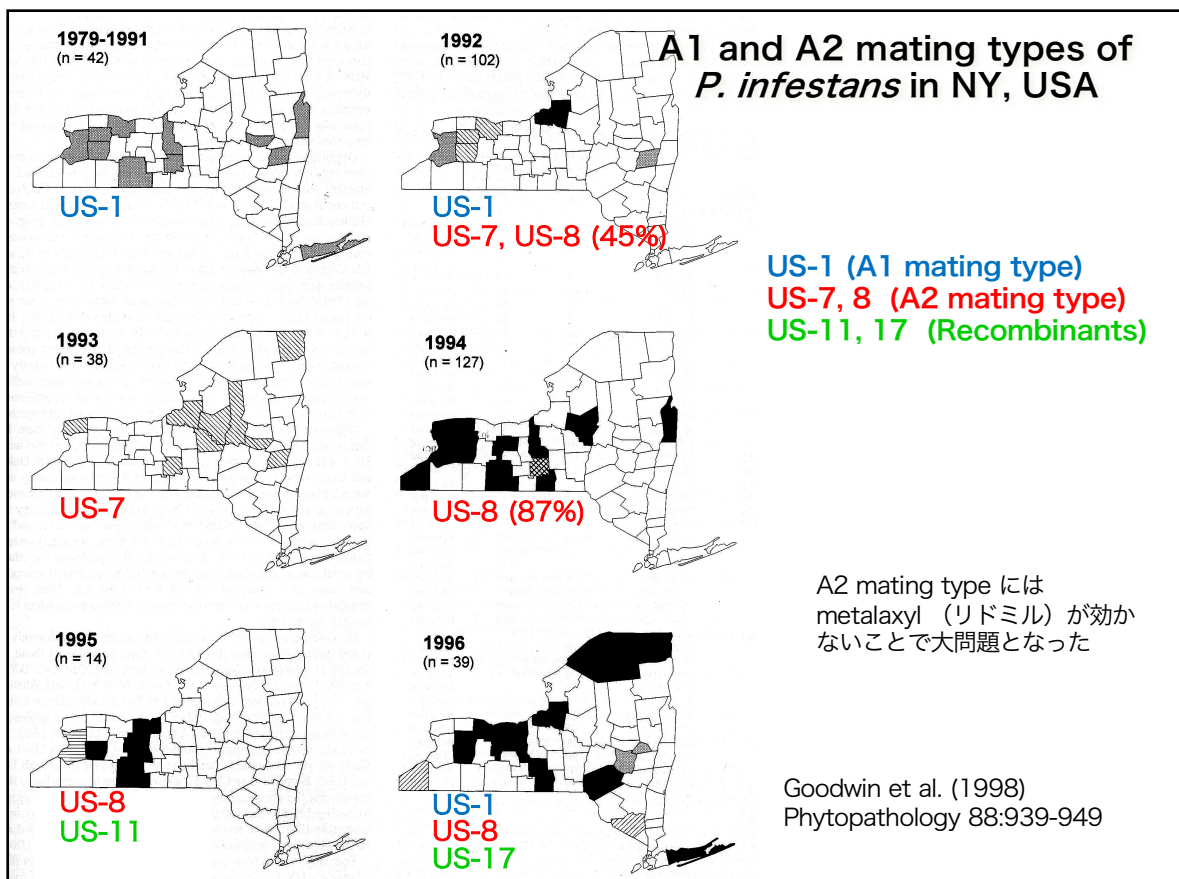
A1だけでなくA2 mating typeが侵入

1992年以降

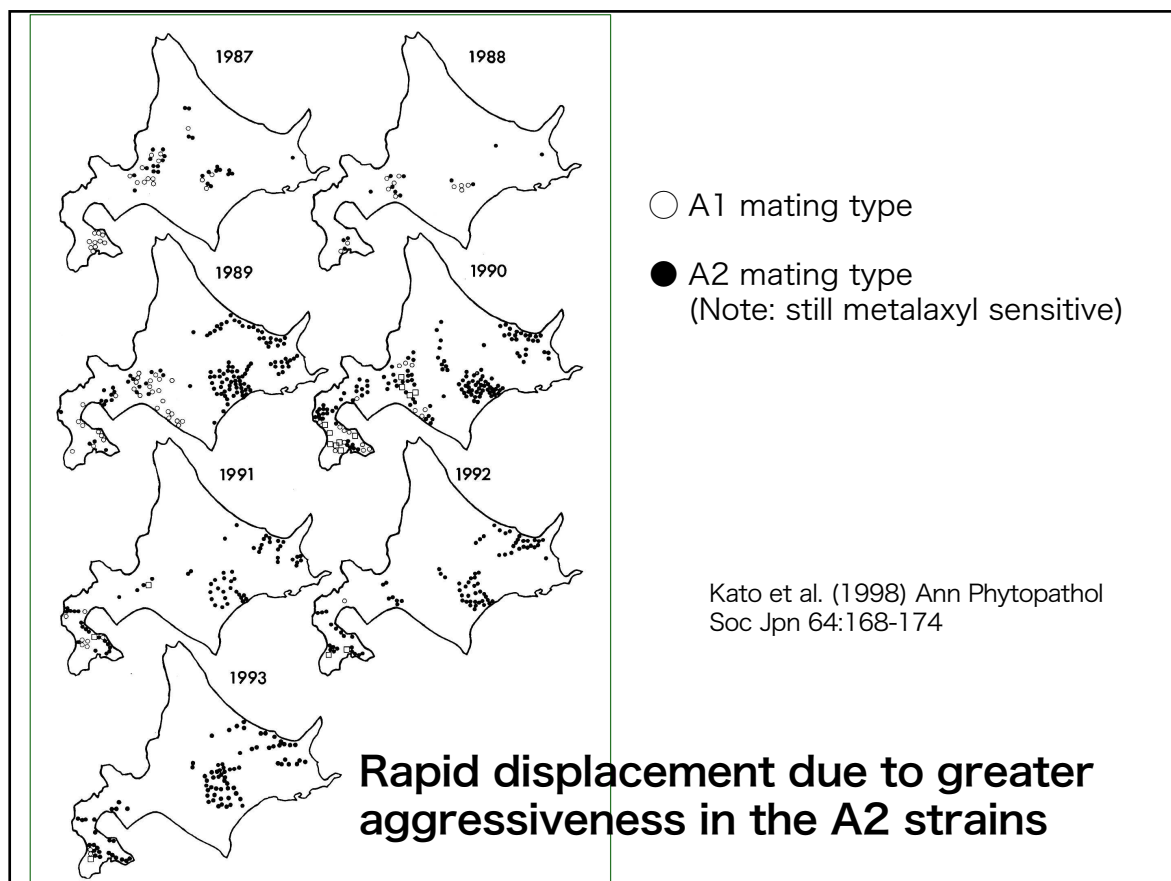
A1とA2 mating typeの有性生殖により多様化



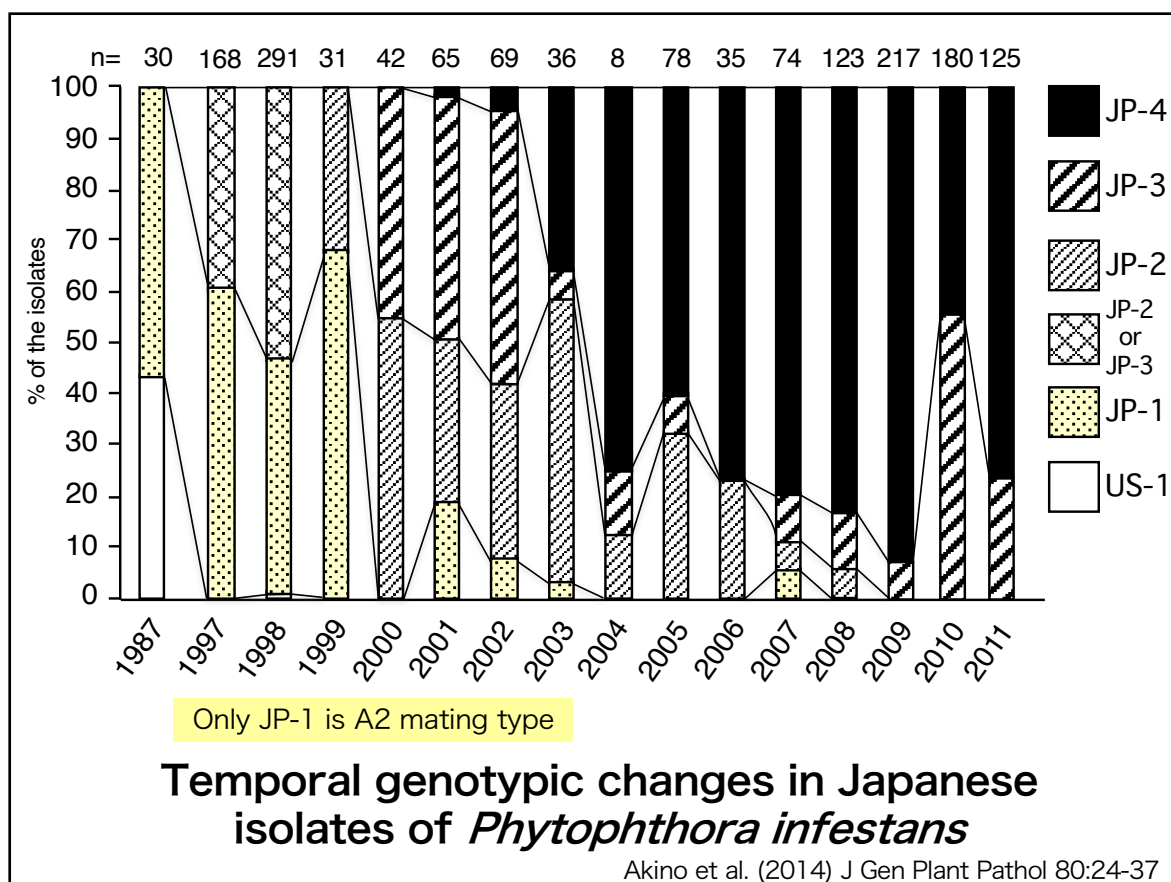
7



8



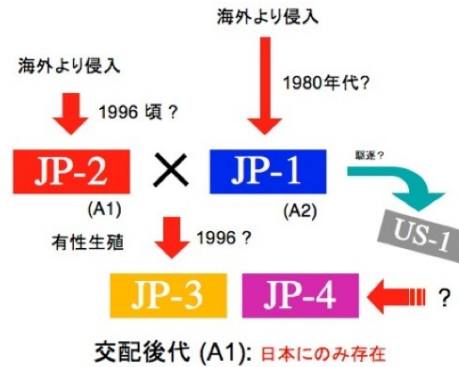
9



10

ジャガイモ疫病菌の系統(遺伝子型)

- US-1** かつて世界中に分布した古い系統
- JP-1** 日本・韓国・インドネシアなどに分布した系統
(トマトに対する病原性 強)
- JP-2** 90年代にヨーロッパからアジアに広がった系統
A系統
- JP-3** JP-1とJP-2の子孫
B系統
- JP-4** 2001年以降日本に広がりつつある新系統



秋野聖之ホームページより

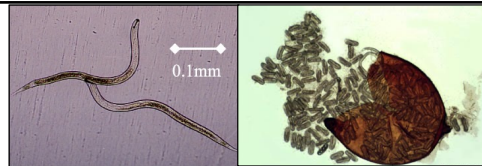
11

疫病抵抗性育種

- ★ 地域ごとの疫病菌の進化が早く、単一の抵抗性遺伝子では対応できない
- ★ 疫病の発病やその後の進行の遅い、「さやあかね」や「Sarpō Mira」のような品種が望まれる
- ★ 複数の抵抗性遺伝子をstackingする

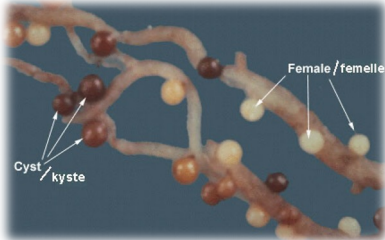
12

Potato Cyst Nematode (PNC) ジャガイモシストセンチュウ



About 60 parasitic nematode species feed on potato.

Globodera pallida (White cyst nematode)



1 cyst contains 200 ~ 500 eggs

Survive in the soil
for more than 20
years !

Yield losses 20 ~ 70%



Globodera rostochiensis (Golden cyst nematode)



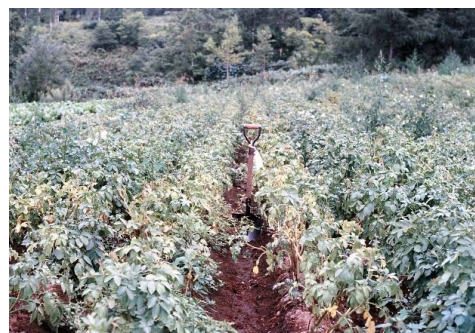
Canadian Food Inspection Agency (2012)

13

ジャガイモシストセンチュウ (PNC) による症状



At the time of the bloom: lower part



Poor growth due to the PCN



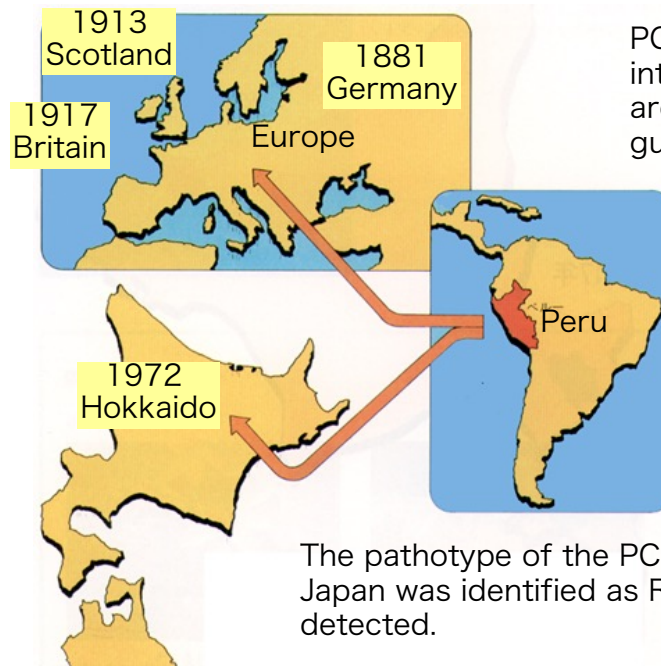
Damaged crop



Roots with cysts of the PCN

14

ジャガイモシストセンチュウ (PCN) の伝播



PCN was accidentally introduced into Hokkaido around 1960, with the guano imported from Peru

The pathotype of the PCN population occurring in Japan was identified as Ro1, other pathotype was not detected.

15

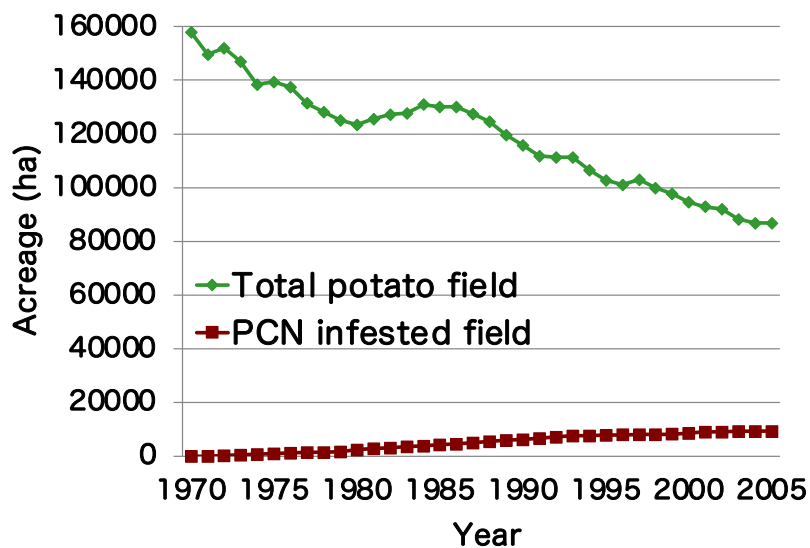
International scheme for the classification of potato cyst nematode pathotypes proposed by Kort et al. 1977

Clone	Ro1	Ro2	Ro3	Ro4	Ro5	Pa1	Pa2	Pa3
<i>S. tuberosum</i> ssp. tuberosum	r	r	r	r	r	r	r	r
<i>S. tuberosum</i> ssp. andigena CPC 1673	R	r	r	R	r	r	r	r
<i>S. kurtzianum</i> -hybrid 60.21.19	R	R	r	r	r	r	r	r
<i>S. vernei</i> -hybrid GLKS 58.1642/4	R	R	R	r	r	r	r	r
<i>S. vernei</i> -hybrid 62.33.3	R	R	R	R	r	R	R	r
<i>S. vernei</i> -hybrid MPI 65.346/19	R	R	R	R	R	r	r	r
<i>S. multidissectum</i> -hybrid P55/7	r	r	r	r	r	R	r	r
<i>S. vernei</i> -hybrid 69.1377/94	R	R	R	R	R	R	R	R

R=resistant r=susceptible

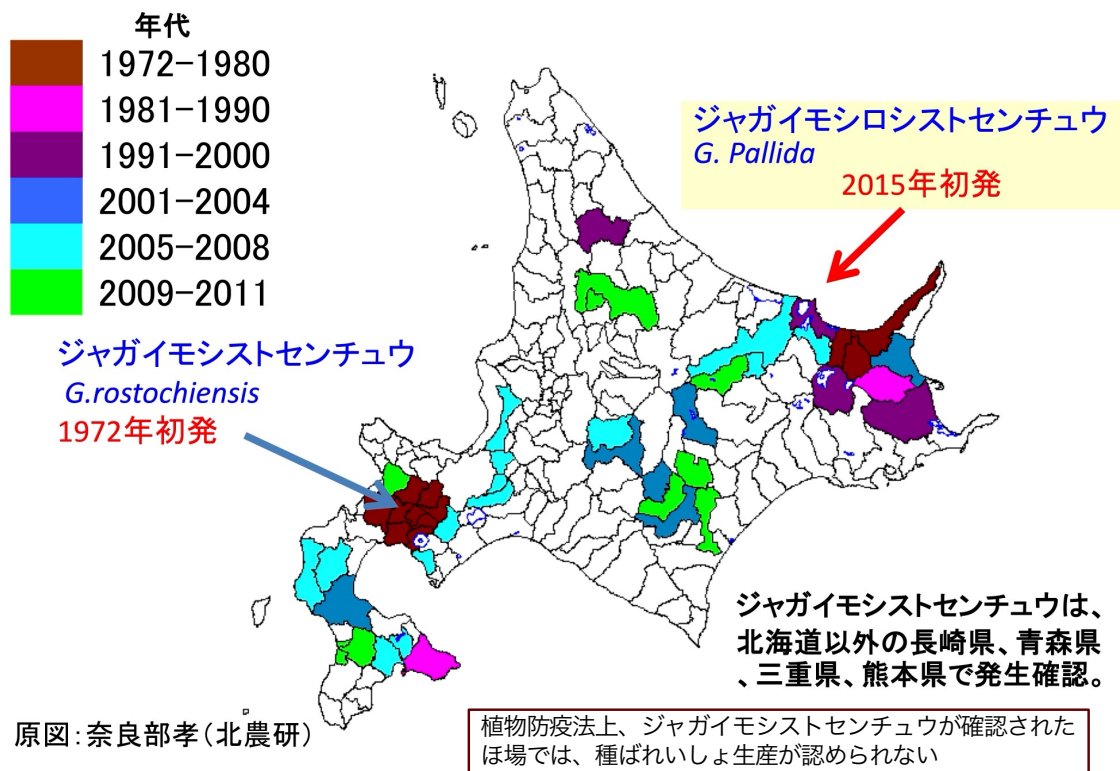
16

The acreage of total potato field and the PCN infested field in Japan



17

ジャガイモシストセンチュウの広がり



18

Resistance genes to the cyst nematodes

Gene	Pathogen	Pathotype	Chr.	Source
H1 (=Fb)	<i>G. rostochiensis</i>	Ro1, Ro4,	5	<i>ssp. andigena</i>
Gro1		Ro1	7	<i>S. spegazzinii</i>
Gro1.2*		Ro1	10	<i>S. spegazzinii</i>
Gro1.3*		Ro1	11	<i>S. spegazzinii</i>
Gro1.4*		Ro1	3	<i>S. spegazzinii</i>
GroV1		Ro1	5	<i>S. vernei</i>
Gpa*	<i>G. pallida</i>	Pa2, Pa3	5	<i>S. segazzinii</i>
Gpa2		Pa2	12	<i>ssp. andigena</i>
Gpa4*		Pa2, Pa3	4	<i>ssp. andigena</i>
Gpa5*		Pa3	5	Unknown
Gpa6*		Pa3	9	Unknown
Grp1*	<i>G. rostochiensis</i>	Ro5,	5	Unknown
	<i>G. pallida</i>	Pa2, Pa3		

*QTL

19

シストセンチュウ抵抗性遺伝子 (H1) の利用

- ★ *H1* 遺伝子は *S. tuberosum* ssp. *andigena* CPC1673 に由来する単一優性遺伝子 Huijsman (1955) Euphytica 4:133-140
- ★ シストセンチュウの寄生型 Ro1 と Ro4 に完全な抵抗性を示す (日本には寄生型 Ro1 しかない)
- ★ シストセンチュウ抵抗性育種は旧東ドイツから導入したツニカ ($H_1h_1h_1h_1$) を用いて始められた

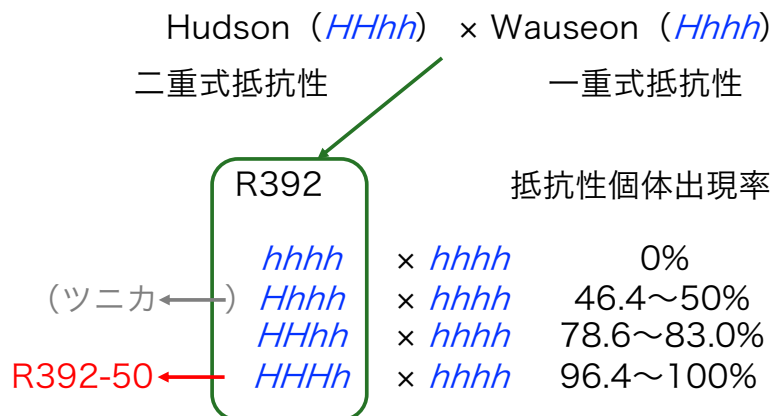
20

シストセンチュウ抵抗性品種の育成

品種	系譜	育成年
トヨアカリ	ツニカ x WB61037-4	1986
キタアカリ	男爵薯 x ツニカ	1987
エゾアカリ	ツニカ x Priekulsky Ranny	1987
とうや	R392-50 x WB77025-2	1992
ムサマル	ツニカ x 根育20号	1992
ベニアカリ	北海61号 x R392-50	1994
さやか	Pentland Dell x R392-50	1995
アーリースターチ	島系523号 x R392-50	1996
花標津	W553-4 x R392-50	1997

21

R392-50 (*HHHh*) の育成と利用

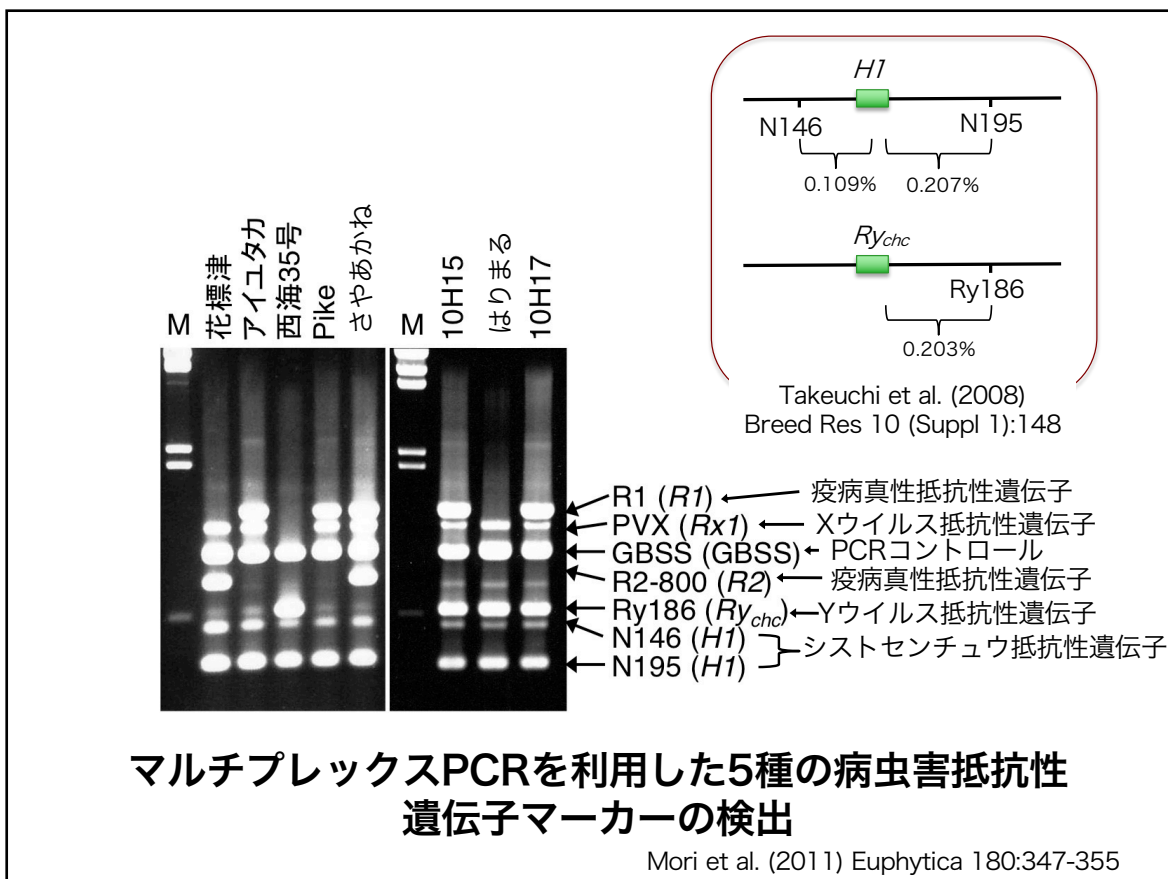


森・梅村 (1992) In: 線虫研究の歩み (日本線虫研究会) p. 272-276

22



23

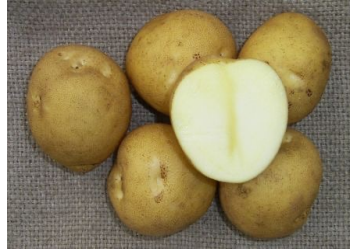


24

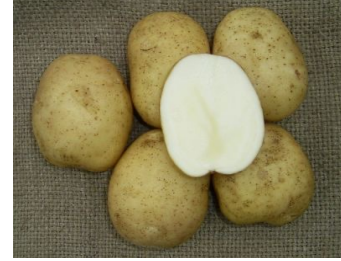
PCN resistant varieties



キタアカリ (1987)



とうや (1991)



さやか (1995)



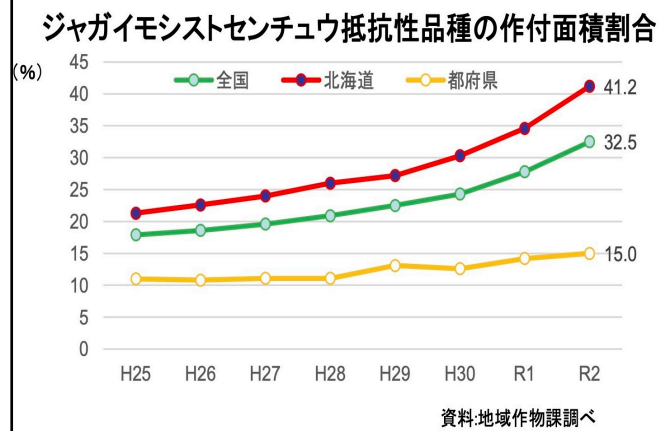
らんらんチップ (2006)



こがねまる (2007)

25

ジャガイモシストセンチュウ抵抗性品種が増えている



令和2年産品種別シェア

全国順位	品種名	作付割合	シスト抵抗性
1	男爵薯	14.4%	×
2	トヨシロ	12.1%	×
3	コナフブキ	9.9%	×
4	メークイン	7.9%	×
5	ニシユタカ	7.5%	×
6	コナヒメ	6.7%	○
7	キタアカリ	4.9%	○
8	きたひめ	3.8%	○
9	コナユタカ	3.1%	○
10	さやか	2.6%	○

資料: 地域作物課調べ

26

ジャガイモシロシストセンチュウの確認について

本日、農林水産省は、北海道網走市内の一部のは場において、ジャガイモシロシストセンチュウを確認しました。本線虫は、国内では、初めての確認となります。

本線虫は、我が国の一部で既に発生が確認されており、ばれいしょ生産に甚大な被害を及ぼす重要病害虫であるジャガイモシストセンチュウに類似する線虫です。現在、発生範囲を特定するための調査を開始しましたが、土壌の移動防止等の既の実施されているジャガイモシストセンチュウ対策を徹底することにより、急速にまん延するおそれはないと考えています。

ジャガイモシロシストセンチュウは、人畜には無害であり、本線虫が付着したばれいしょを食しても人の健康を害することはありません。

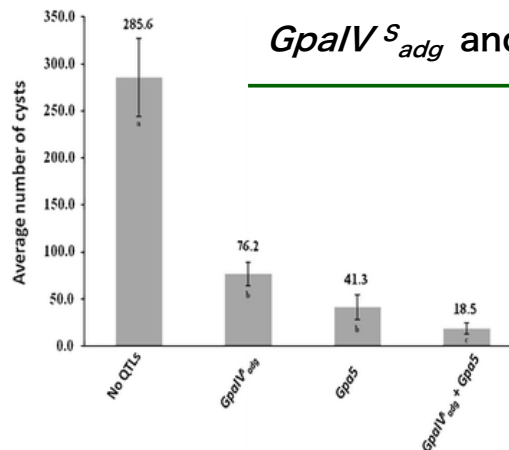
1. 趣旨
- 農林水産省は、北海道庁から、「北海道網走市内の一部のは場において、ジャガイモシロシストセンチュウと考えられる線虫が確認された。」との連絡を受け、植物防疫官を現地に派遣し、線虫のサンプルを収集し、同定作業を実施した結果、本日(19日)、本サンプルが我が国未発生種ジャガイモシロシストセンチュウ(*Globodera pallida* (Gp))であることを確認しました。
- 本線虫は、我が国の一部で既に発生が確認されており、ばれいしょ生産に甚大な被害を及ぼす重要病害虫であるジャガイモシストセンチュウ(*Globodera rostochiensis* (Gr))に類似する線虫であることから、土壌の移動防止等の既の実施されているジャガイモシストセンチュウまん延防止対策の徹底を北海道庁に要請するとともに、発生範囲を特定するための調査を開始したところです。
- なお、ジャガイモシロシストセンチュウは、ジャガイモシストセンチュウ同様に土壌を介してまん延することがわかっています。既にジャガイモシストセンチュウの発生が確認されている網走市に対し、既の実施されているジャガイモシストセンチュウのまん延防止対策の徹底を要請するとともに、収穫ばれいしょ及び土壌の移動に際し、植物防疫官による移動前の検査を実施することとしています。
- これらの対策を実施すれば、本線虫が、急速にまん延するおそれはないと考えています。
2. 経緯
- 8月6日(木曜日) 北海道庁よりジャガイモシロシストセンチュウと考えられる線虫が確認されたとの報告
- 同日、 農林水産省担当官を道庁に派遣
- 8月7日(金曜日) 農林水産省担当官を現地に派遣し、北海道庁及び地元関係者と調査の実施について調整
- 8月11日(火曜日) 植物防疫官による現地調査
- 8月19日(水曜日) 植物防疫所による同定の結果、ジャガイモシロシストセンチュウであることを確認
3. 当面の対応
- ジャガイモシロシストセンチュウが確認された地域からの本線虫のまん延防止を図るため、次の措置を講じます。
- (1) 発生範囲を特定するための調査の実施
- (2) ジャガイモシロシストセンチュウが確認された地域における、これまで実施している次のジャガイモシストセンチュウのまん延防止対策の徹底

Major resistance genes to *G. pallida*

Gene	Source	Resistant to	Variety
<i>Gpa</i> <i>V</i> ^{<i>S</i>_{adg}} (=H3)	<i>Andigena</i> CPC2802	Pa2/3	Eden, Midas, Rocket, Harborough Harvest, Vales Everest, Sierra
<i>Gpa</i> 5	62.33.3	Pa2/3	Atrela, Darwina, Elles, Morag, Producent, Sante,
<i>Gpa</i> 5	LGU8	Pa2/3	Innovator
<i>H</i> 2	P55/7	Pa1	
<i>Grp</i> 1		Pa2/3	
<i>Gpa</i> 2	<i>Andigena</i> CPC1673	Pa2	
<i>Gpa</i> 4	<i>Andigena</i> CPC2802		
<i>Gpa</i> <i>V</i> ^{<i>S</i>_{spl}}	<i>S. sparsipilum</i>		
<i>Gpa</i> <i>XI</i> ^{<i>I</i>_{tar}}	<i>S. tarijense</i>	Pa3	

Pyramiding resistance genes

Marker class	Mean no. of cysts
No QTL	285.6
<i>GpaIV</i> ^{S_{adg}}	76.2
<i>Gpa5</i>	41.3
<i>GpaIV</i> ^{S_{adg}} and <i>Gpa5</i>	18.5



いずれもQTLである

Dalton et al. (2013) Mol Breed 31:921-930

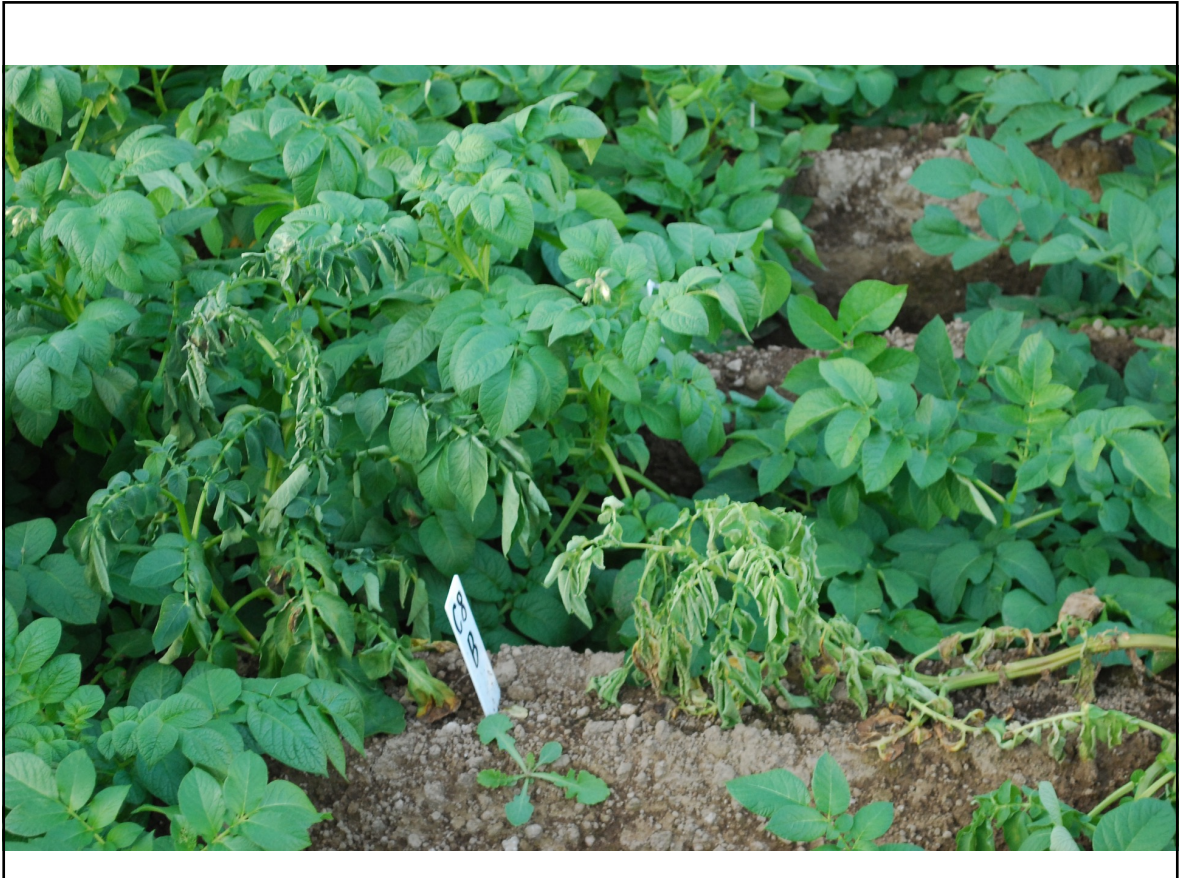
29

Bacterial wilt (青枯病)

Ralstonia solanacearum (Smith) Yabuuchi et al.



30



31



32

Bacterial wilt (*Ralstonia solanacearum*)

Biovar - biochemical and physiological differences

Race - differences in host range

Phylotype - genotypic differences

Biovar 1 (=race 1)

Soil-borne in tropical regions in North and South America and Africa

Biovar 2 (=race 3)

Seed-borne, and temperate and cooler regions at high altitudes in (sub)tropical regions

Biovar 3 (=race 1)

Soil-borne in tropical regions in Asia

Biovar 4 (=race 1)

Soil-borne in tropical regions

日本で問題となっている

33

Common scab (そうか病)



34

そうか病菌

Streptomyces scabies (Thaxter) Lambert & Loria

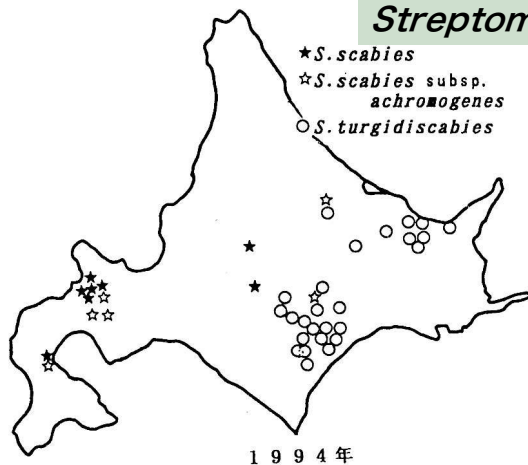
Predominant in western Hokkaido

Streptomyces acidiscabies Lambert & Loria

Occurs in soils with pH values below 5.2

Streptomyces turgidiscabies Miyajima et al.

Predominant in eastern Hokkaido



田中 (1996) 土と微生物 48:33-39

35

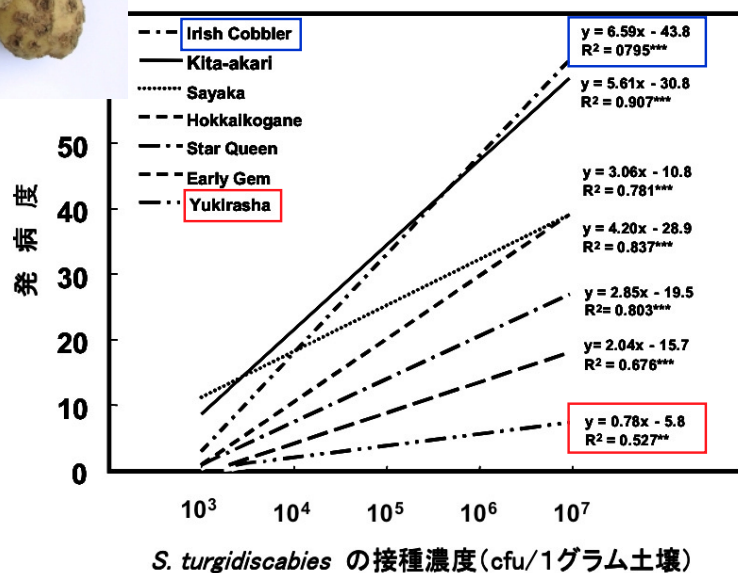
そうか病抵抗性品種「ユキラシャ」

ユキラシャ

Irish Cobbler



北海道農業研究センターで
 “Early Gem” x “86002-100”
 から選抜し2000年に発表



Kobayashi (2002)
 Breed Sci 52:327-332

36

そうか病抵抗性

- ★ そうか病抵抗性のほとんどはラセット皮品種か、Jubel (1908年) とその子Hindenburg (1916)に辿ることができる
- ★ 我々の行ったGWASでは、第1染色体上にQTLを見つけたが、潜性ホモ接合型で抵抗性となり、事実上抵抗性のマーカー化は困難 Koizumi et al. (2021) Am J Potato Res 98:149-156

37

2ゲノム性単数体におけるそうか病抵抗性

品種	No scab	Highly resistant	Moderately resistant	Susceptible
Avon	2 (2.6%)	27 (34.6%)	10 (12.8%)	39 (50%)
Hindenburg	17 (29.3)	26 (44.8%)	8 (13.8%)	7 (12.1%)

No scab

No visual lesions

Highly resistant

Lesions small and superficial, similar to those found on the cultivar, **Hindenburg**

Moderately resistant

Lesions larger and rougher with a tendency to spread but still superficial with no external signs of pitting. The cultivar, **Avon** is representative of this class

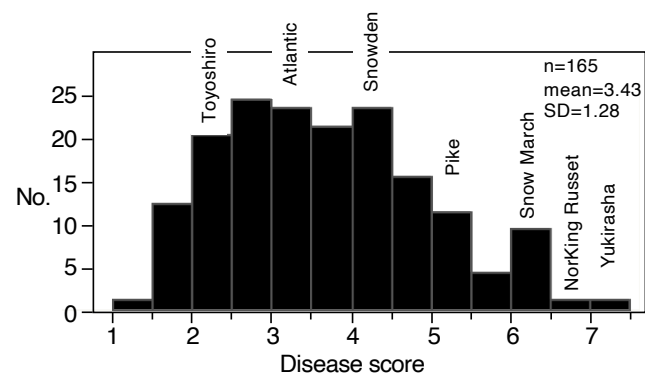
Susceptible

Lesions large, rough, spreading and showing definite shallow to deep pitting. This type of reaction is found on the cultivars, Green Mountain, **Irish Cobbler** and Katahdin.

Hindenburgがそうか病抵抗性の優秀な親であることを示唆している

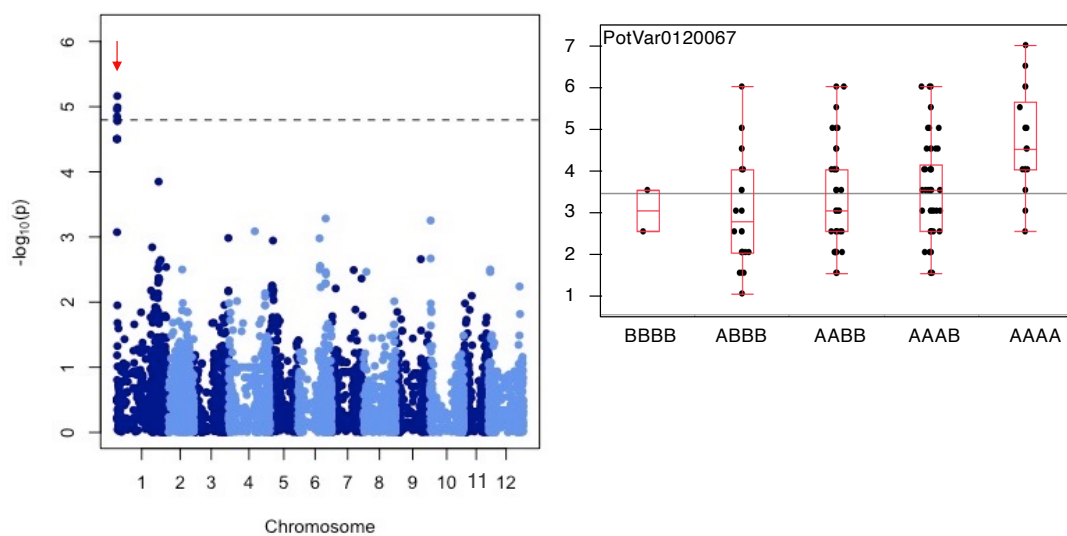
Cipar & Lawrence (1972) Am Potato J 49:117-119

38



Koizumi et al. (2021) Am J Potato Res 98:149-156

39



Koizumi et al. (2021) Am J Potato Res 98:149-156

40

Potato virus Y (PVY)

PVY^O (common strain)

Worldwide

PVY^N (tobacco veinal necrosis strain)

Symptomless infection on potato, occurs in Europe, North and South America, parts of Africa and Japan

PVY^{NTN} (recent strain)



Causes interveinal mosaic and crinkles on potato leaves and ringed necrotic areas on tubers



PVY^C (stipple streak strain)

Less important, due to no transmission by insect vectors

41

Extreme resistance genes to *Potato virus Y*

Ry_{sto}

Introduced from *S. stoloniferum* in Germany, and known to be associated with cytoplasmic male sterility. Mapped on chromosome 12.

Ry-f_{sto}

Introduced from *S. stoloniferum* in Germany and Poland. Mapped on chromosome 12.

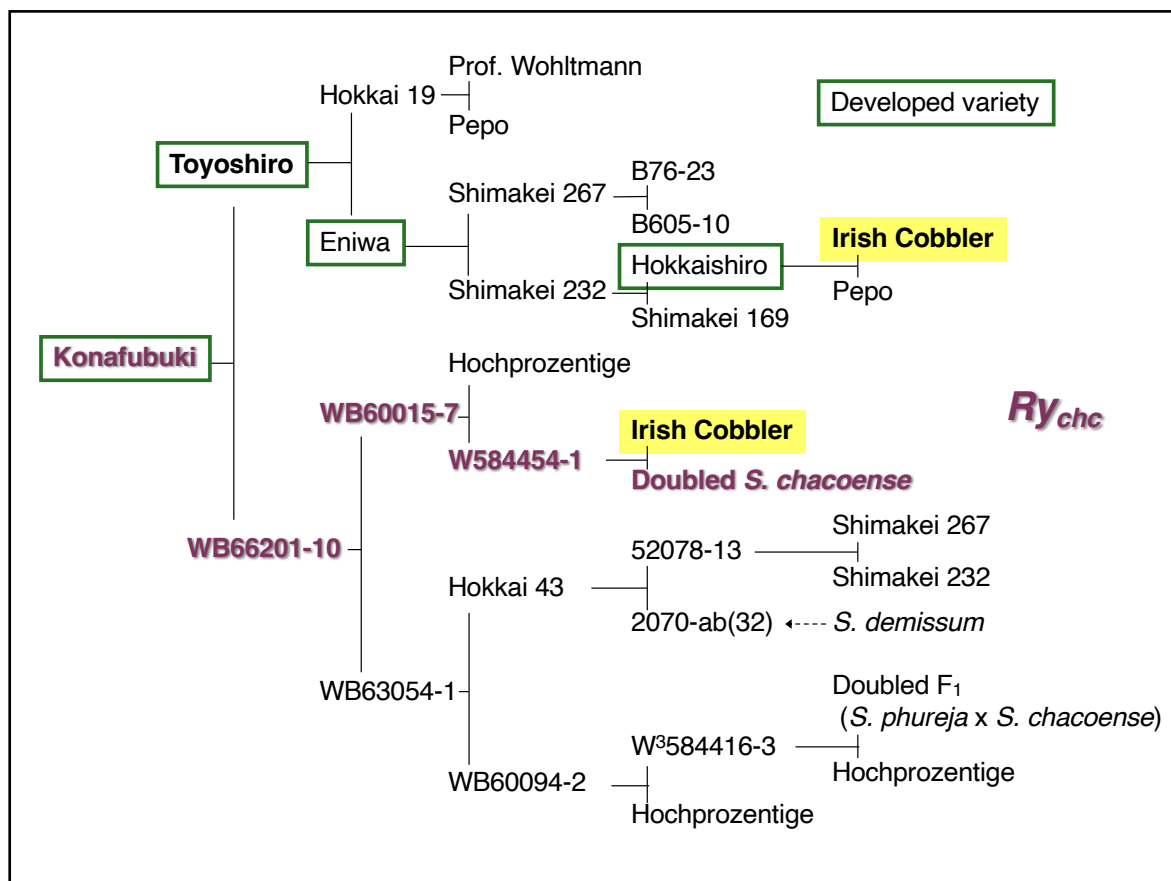
Ry_{adg}

Introduced from *S. tuberosum* ssp. *andigena* in CIP. Mapped on chromosome 11.

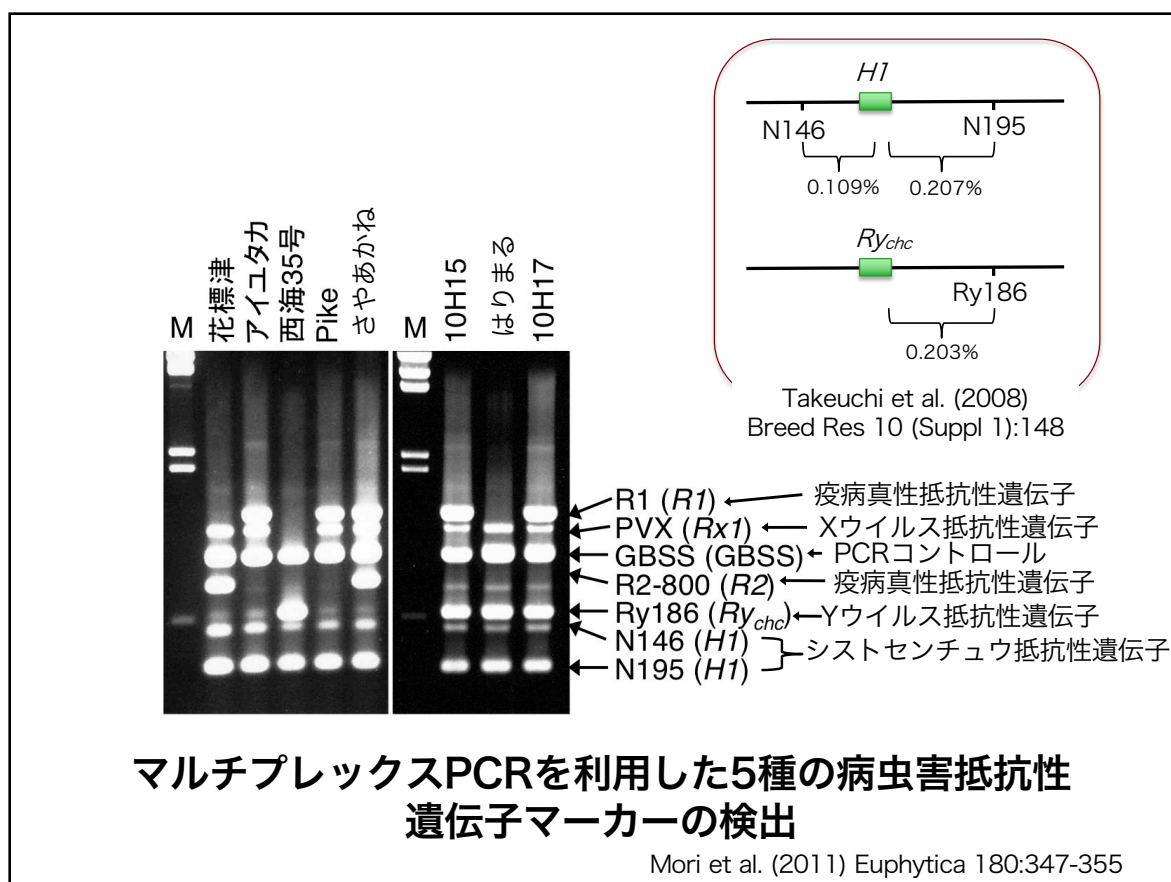
Ry_{chc}

Introduced from *S. chacoense* into “Konafubuki” in Japan. Mapped to the distal end of chromosome 9

42



43



44