

令和6年度
生産流通振興事業報告書

令和7年6月

公益社団法人

北海道農産基金協会

目 次

区分	課題名	課題区分		研究機関	開始 ページ
		完了	継続		
品種改良	ゲノム情報の活用による多収馬鈴しょ交配母本の選定と維持		○	中央農試	1
	馬鈴しょ疫病圃場抵抗性系統の選抜強化	○		北見農試	5
	でん粉原料用馬鈴しょにおける高品質でん粉系統の選抜強化	○		〃	11
	センチュウ類およびY ウイルス抵抗性馬鈴しょ品種の開発強化と特性検定試験		○	〃	17
	早期収穫適性が優れるでん粉原料用馬鈴しょ多収品種の開発促進		○	〃	25
	新規遺伝資源に由来するでん粉原料用馬鈴しょの育成およびデンプン含量に関わるマーカーの開発	○		帯広畜産大学	29
	でん粉特性の優れたジャガイモシロシストセンチュウ抵抗性でん粉原料用品種の開発	○		北農研センター	43
病害虫	日本未発生の馬鈴しょ寄生性線虫のでん粉原料用馬鈴しょ道内主要栽培品種に対する加害性の解明	○		農研機構 植物防疫研究部門	51
	アブラムシ飛来に影響を及ぼす気象要因の解明およびアブラムシからの簡便なウイルス検出手法の確立	○		北農研センター	57
	馬鈴しょ疫病の効率的な防除を目的とした疫病菌の動態調査と防除技術開発に関する試験研究		○	北海道大学大学院 農学研究院	67
栽培技術	ジャガイモシロシストセンチュウ抵抗性馬鈴しょ品種「ユーロピバ」の農業特性解明		○	北見農試	75
	ニオイセンサを用いた馬鈴しょ塊茎腐敗臭の測定技術の確立	○		北農研センター	85
	ジャガイモシロシストセンチュウの殺処理手法・条件の解明	○		〃	93

ゲノム情報の活用による多収馬鈴しょ交配母本の 選定と維持（継続課題）

1. 研究機関 地方独立行政法人 北海道立総合研究機構 中央農業試験場

2. 研究期間 令和5年度～令和7年度

3. 研究目的

- (1) でん粉用馬鈴しょは安定多収が求められており、品種開発には様々な育成系統や遺伝資源の収量性を評価し、有用な交配母本を選定することが重要である。しかし、圃場での生産力試験は評価できる点数に限度があり、気候変動の影響により収量ポテンシャルを十分に評価できない年もあり、多収系統選抜の障害となっている。
- (2) 近年、ゲノム情報から収量などの特性を予測する「ゲノミック予測」が注目されており、本手法によりでん粉価やでん粉収量の予測ができれば、多くの育成系統や遺伝資源の収量性評価が可能となる。また、様々な年次の収量データを用いることにより、異なる気象条件下での収量ポテンシャル評価が可能となる。本課題では、ゲノミック予測により馬鈴しょ育成系統や遺伝資源の評価を実施し、多収系統の選抜強化や有用な交配母本の選定を行う。
- (3) 馬鈴しょの交配母本の継続的な利用にはウイルス感染の防止、除去など健全な維持管理が重要である。中央農試では馬鈴しょ遺伝資源を培養法で維持しており、必要に応じて交配に用いることが可能である。本課題では、ゲノミック予測で選定した交配母本を継続的に活用するため、培養法による維持管理を行う。
- (4) 以上により、馬鈴しょ育成系統や遺伝資源の評価を実施し、多収系統の選抜強化や有用な交配母本の選定・維持を行うことで、でん粉原料用多収馬鈴しょ品種の早期開発に資する。

4. 研究内容

- (1) ゲノム情報の活用による有用な交配母本の選定
北見農試の育成系統（育成4～5年目、生産力予備試験世代および系統選抜世代）や保有する遺伝資源あわせて192点について、RAD-seq法でゲノム全体の遺伝子型（一塩基多型、SNP）を取得する。また、北見農試圃場で実施した生産力予備試験等からでん粉価やでん粉収量などの農業形質データを得て、ゲノミック予測モデルを作成する。
- (2) 交配母本の維持
培養法で維持してきた遺伝資源約300点に加え、昨年度新たに養成した育成系統や遺伝資源96点について、継代培養を実施し維持管理する。また、(1)で供試した育成系統や遺伝資源43点について、新たに無菌培養化を行う。

5. 研究結果

- (1) ゲノム情報の活用による有用な交配母本の選定
RAD-seq法でゲノム全体のSNPを3万点以上取得した。北見農試圃場で実施

した生産力予備試験等からでん粉価やでん粉収量などの農業形質データを得た。得られた遺伝子型データと農業形質データを用いて、ゲノミック予測モデルを作成し、年次内予測精度を評価した（表 1）。全体 192 点を用いた場合と生子試験 52 点のみを用いた場合の 2 パターンを比較した結果、上いも平均重を除き、後者の予測精度が高かった。これは系統選抜区 140 点の形質データの精度が劣るためと考えられた。GBLUP と Lasso では全形質で大きな差はなかったことから、GBLUP を採用することとした。次に 2023 年に作成したモデルと 2024 年に作成したでん粉収量の予測モデルについて、年次間予測精度を評価した（図 1）。どちらのデータセットにおいても $r=0.6\sim 0.7$ であり、でん粉収量は年次を超えても予測精度は高く、ゲノミック予測の有効性が検証された。2023～2024 年にでん粉収量のゲノミック予測値を算出した全 148 材料の中から、予測値平均が高い 10 系統を選定した（表 2）。選定した系統のでん粉収量はコナヒメ比 113～121%であり、ポテンシャル収量としては高いと考えられるため、有用な母本になり得る。

（2）交配母本の維持

培養法で維持してきた遺伝資源約 300 点に加え、昨年度新たに養成した育成系統や遺伝資源 96 点について、1 ヶ月半ごとに継代培養を実施し維持管理した（写真 1）。また（1）でゲノム情報を取得する育成系統や遺伝資源のうち 43 点について、塊茎から伸長した芽を材料として無菌培養化を実施するとともにエライザ法による検定を行い、いずれもウイルス感染のないことを確認した。

6. 今後期待される成果

本課題により、馬鈴しょのゲノミック予測モデルが作成され、でん粉収量が優れた系統および交配母本を効率的に選定することが可能となるとともに、培養法を利用することで選定した系統や交配母本を健全かつ省力的に維持管理することが可能となり、でん粉原料用多収品種の早期開発が推進される。

< 具体的データ >

表 1. ゲノミック予測の年次内予測精度 (2024 年, 39634 SNP)

トレーニング	モデル	茎長	枯ちよう期	上いも数	上いも 平均重	上いも 収量	でん粉価 でん粉価	でん粉 収量
全体 (n=192)	GBLUP	0.534	0.476	0.440	0.348	-	0.807	0.410
	Lasso	0.431	0.674	0.415	0.396	0.354	0.770	0.507
生予 (n=52)	GBLUP	0.797	0.716	0.457	0.064	0.498	0.867	0.764
	Lasso	0.706	0.774	0.525	-	0.318	0.790	0.751

注1) additiveモデルによる。

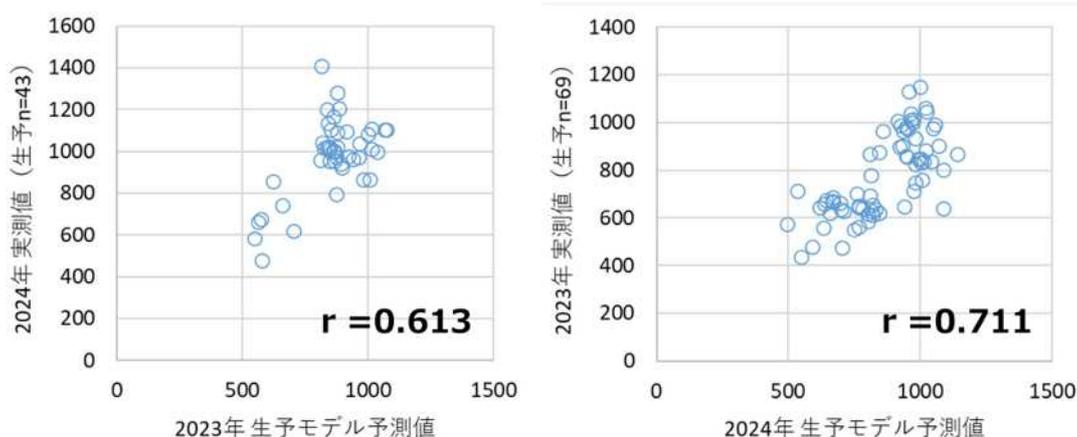


図 1. でん粉収量の年次間予測精度
予測値は GBLUP additive モデルで算出

表 2. ゲノミック予測で選定したでん粉収量上位 10 系統 (n=148, 39634SNP)

順位	品種系統名	23実測値	23予測値	24実測値	24予測値	予測値平均	コナヒメ比
1	K20186-9	-	1066	1105	1082	1074	121
2	K20186-3	-	1074	1104	1073	1074	121
3	K20165-3	-	1006	866	1061	1033	117
4	K17102-209	801	965	-	1087	1026	116
5	K19111-32	867	883	-	1140	1012	114
6	K20110-8	-	891	942	1121	1006	114
7	K17102-203	904	940	-	1070	1005	113
8	K20110-10	-	882	1206	1128	1005	113
9	K19111-7	640	915	-	1089	1002	113
10	K19150-1	884	980	-	1020	1000	113
18	北育35号	-	995	-	976	985	111
32	北系85号	-	895	-	1028	962	109
87	コナヒメ	917	869	1029	903	886	100

注1) 予測値は全てGBLUP additiveモデルで算出。順位は予測値の2年平均で全148系統中の順位。



写真1. 培養室における維持管理の様子

馬鈴しょ疫病圃場抵抗性系統の選抜強化（完了課題）

1. 研究機関 地方独立行政法人 北海道立総合研究機構 北見農業試験場

2. 研究期間 令和4年度～令和6年度

3. 研究目的

- (1) ジャガイモ疫病は、無防除ではほぼ確実に発病し、大幅な減収や塊茎腐敗を引き起こす重要病害である。発病を回避するためには予防が重要であるとともに防除回数が多く必要であることから、生産コストの増加に繋がっている。特にでん粉原料用馬鈴しょでは常に安価な輸入代替品との競合に晒されているうえ、生育期間が長い場合より多くの防除が必要であることから、生産コストの低減が強く求められている。
- (2) 疫病圃場抵抗性を持つ多収品種の育成は、特に防除回数の削減を通じて、生産コストの低下だけではなく、農作業煩雑化や圃場物理性悪化を回避することにも繋がる。また、収益性の改善効果や生産物の安心・安全といった付加価値の向上も期待できる。
有望系統の開発促進には初期世代からの効率的な選抜が必要である。一方で、圃場抵抗性と判定された系統でも、疫病無防除栽培条件下での収量性には差が見られることから、減収程度を把握することが重要である。さらに、品種化や普及のためには、発病特性や塊茎腐敗抵抗性の情報提示が求められる。
- (3) このため、でん粉原料用を主体とし、一部加工用も加え、初期世代から疫病菌接種および圃場での無防除栽培による自然感染によって、疫病圃場抵抗性系統の選抜を行う。抵抗性の目標は“強”とし、慣行栽培においてでん粉原料用では「コナヒメ」以上の収量性、加工用では中生ままでの枯ちょう期で「トヨシロ」以上の収量性を目標とする。また、北農研育成系統を含めた有望系統の疫病抵抗性検定試験・塊茎腐敗抵抗性検定試験を行う。
- (4) 以上により、疫病および塊茎腐敗に抵抗性を持つ馬鈴しょ系統の選抜を強化することで、北海道馬鈴しょの低コスト安定生産、安定供給に資することができる。

4. 研究内容

- (1) 疫病菌の接種による実生個体選抜
実生集団に疫病菌を接種し抵抗性個体を選抜する。令和6年は、でん粉原料用14組合せ、加工用2組合せ、計4,629個体を供試。疫病菌を噴霧接種し、約1週間後に病斑の有無で選抜した。
- (2) 疫病無防除栽培における疫病抵抗性選抜
各世代において選抜された個体・系統の疫病圃場抵抗性を、疫病無防除栽培で確認する。令和6年は、①第二次個体選抜世代では、前年に接種検定で選抜した10

組合せ 981 個体を供試。②系統選抜試験では、62 系統、③生産力検定予備試験では 10 系統、④前期生産力検定世代では 6 系統を供試。

- (3) 抵抗性系統・母本の疫病無防除における減収程度の調査と交配への利用
疫病圃場抵抗性をもつ有望系統及び母本の疫病無防除圃での減収程度を把握する。令和 6 年の検定材料は有望系統 1 系統。2 反復。防除区は生産力検定試験成績を使用。有望系統を交配に利用した。
- (4) 有望系統の疫病抵抗性検定試験
北見農業試験場・北海道農業研究センターの有望育成系統の疫病茎葉抵抗性について、疫病無防除圃で発病の推移を調査した。
- (5) 有望系統の塊茎腐敗抵抗性検定試験
北見農業試験場・北海道農業研究センターの有望育成系統について、灌水を行うことにより疫病菌を感染させ塊茎腐敗の発生程度を調査した。

5. 研究結果

- (1) 疫病菌の接種による実生個体選抜
実生個体選抜では、4,629 個体を供試し、病斑の有無から疫病抵抗性と考えられる 1,944 個体を選抜し（選抜率は 4～57%）、最終的に 564 個体より次年度試験用種いもを収穫した（表 1）。
- (2) 疫病無防除栽培における疫病抵抗性選抜
各世代で疫病抵抗性系統を確認し、選抜の資とした（表 2）。
- (3) 抵抗性系統・母本の疫病無防除における減収程度の調査と交配への利用
疫病抵抗性“強”の「北育 35 号」（旧系統名「北系 81 号」）は、3 カ年の平均で減収程度が防除区比 10%（でん粉収量）で、疫病抵抗性“弱”の「コナユタカ」より減収程度(39%)が少ないことを明らかにした（表 3）。
「北育 35 号」等を用いた交配を実施し、加工用で 11 組合せ、でん粉原料用で 24 組合せの交配種子を得ることができた（データ略）。
- (4) 有望系統の疫病抵抗性検定試験
疫病検定圃場における初発は 7 月 22 日であった。疫病の伸展は順調に進み、多くの品種・系統で 8 月上旬までに初発となった。8 月中旬には疫病抵抗性“強”の「さやあかね」「フリア」でも疫病の発生が認められた。
晩生の品種・系統は疫病の伸展が緩やかであったことから、疫病抵抗性の判定は、防除区の枯ちょう期が 9 月 12 日までの早生・中生相当と、9 月 13 日以降の 2 グループに分け、初発日の早晩や AUDPC の値から抵抗性の評価を行った。疫病抵抗性を“強”と判定した系統は「北育 35 号」で、その他系統は“弱”であった。（表 4）
累年の判定は、「北育 33 号」は“弱”、「北育 34 号」は“弱”、「北育 35 号」は“強”、「北海 114 号」は“弱”である（表 5）。

(5) 有望系統の塊茎腐敗抵抗性検定試験

8月5日にスプレッダー「コナユタカ」に疫病罹病茎葉を設置し、8月12日に初発を確認した。1週間後には試験区全体に疫病が蔓延した。また、8月29日～9月23日に適宜スプリンクラーによる灌水を行った。7月:110 mm (平年:101 mm) の降水量は平年並みに経過し、8月:220.5 mm (平年:136 mm) は極めて多く、9月:66.5 mm (平年:124.5 mm) は平年より少なかった(図1)。感染源「コナユタカ」の枯凋期は9月25日であった。

基準品種「ひかる(既存評価:極弱)」、「トヨシロ(既存評価:やや弱)」、「農林1号(既存評価:中)」、「エニワ(既存評価:強)」、「オホーツクチップ(既存評価:強)」の発病いも率はそれぞれ10.2%、6.4%、4.4%、0.9%、1.3%と発病は少なかったが、品種間差が認められ、判定可能と判断した。判定は発病いも率0~2.9%:“強”、3.0~5.9%:“中”、6.0~14.9%:“弱”、15.0%以上:“極弱”とした(表6)。

「北育33号」、「北育34号」および「北育35号」は“強”、「北海115号」は“中”、「北海114号」は“極弱”と判定した(表1)。なお、「北育36号」は各反復で発病いも率0、0.9、6.9%と反復間差が大きく、判定不能とした(表6)。

累年の判定は、「北育33号」は“強”、「北育34号」は“強”、「北海114号」は“極弱”である(表7)。

6. 今後期待される成果

次年度以降は、「馬鈴しょ疫病抵抗性系統の効率的な選抜と開発強化」で継続して試験を実施し、疫病抵抗性を有する有望系統の開発を進める。「北育35号」(かなり晩生、Gr抵抗性、PVY抵抗性、疫病抵抗性)については、優良品種化に向けた試験を継続する。

< 具体的データ >

表1 疫病菌の接種による実生個体の選抜（令和6年）

用途	交配 番号	交配組合せ ¹⁾		接種検定数			収穫 個体数 ²⁾
		母親	父親	供試	選抜	選抜率(%)	
でん粉	K23116	北系69号	コナフブキ	225	111	49	37
	K23122	北系81号(北育35号)	K07119-5	223	127	57	15
	K23123	北系81号(北育35号)	K14135-20	456	262	57	7
	K23125	北系81号(北育35号)	K12113-10	527	221	42	68
	K23134	K16123-11	北系72号	90	37	41	16
	K23145G	K18139-3	97A-77(B33)	72	22	31	2
	K23146	K18139-3	K07119-5	95	44	46	8
	K23148	K18139-3	K97022-24	133	41	31	29
	K23159G	K17102-128	97A-77(B33)	48	2	4	0
	K23162G	K17102-204	97A-77(B33)	288	71	25	42
	K23163	K17105-2	K07119-5	519	268	52	65
	K23167	K17105-4	K07119-5	158	75	47	26
	K22142	K17105-2	K16123-11	294	49	17	8
	K22157	北系81号(北育35号)	12601ab1	886	344	39	101
加工	K23059	K19043-12	K17009H-K24	428	192	45	100
	K23079	北育34号	K17009H-K24	187	78	42	40
合計				4,629	1,944	42	564
3カ年合計				14,304	6,383	45	3,386

注1) ゴシック体は疫病抵抗性母本。

注2) 個体選抜のうち、形態異常（著しい変形）等を除いた個体数。

表2 中期世代における疫病抵抗性検定（令和6年）

世代	用途	令和6年			3カ年合計		
		組合せ数	供試 系統数	抵抗性 系統数	組合せ数	供試 系統数	抵抗性 系統数
第二次個体選抜	でん粉	7	891	804	25	2,371	2,128
	加工	3	90	67	4	144	120
系統選抜	でん粉	11	60	36	39	222	121
	加工	1	2	1	3	7	1
生産力予備検定	でん粉	6	8	8	17	25	22
	加工	2	2	0	10	12	4
前期生産力検定	でん粉	6	6	1	8	8	2
	加工	-	-	-	7	7	3

表3 有望系統の疫病無防除栽培における減収程度（令和6年）

系統名 または 品種名	疫病 抵抗性	無防除区						防除区対比(%)			防除区 枯ちよう期 (月/日)
		枯ちよう期 (月/日)	防除区 との差	上いも 平均重(g)	上いも重 (kg/10a)	でん粉価 (%)	でん粉重 (kg/10a)	平均 重	上いも 重	でん 粉重	
北育35号	強	未達	-	138	6,104	20.6	1,196	91	92	90	未達
コナヒメ	強	9/9	18	104	5,332	18.9	952	89	87	84	9/26
コナユタカ	弱	9/11	31	132	4,445	18.1	756	76	67	61	10/12

表4 疫病茎葉抵抗性検定結果（令和6年）

系統名 または 品種名	防除区 枯ちよう期 (月/日)	疫病 初発日 (月/日)	調査日別						無防除区枯ちよう期		AUDPC ^注	抵抗性 判定	既往の 評価
			調査日別罹病小葉面積率(%)						防除区 との差(日)				
			8/2	8/5	8/7	8/9	8/12	8/14	(月/日)	との差(日)			
北育36号	8/20	7/22	60	88	94	100		8/8	12	938	弱		
男爵薯	8/23	7/22	48	88	91	98	100	8/8	15	1005	弱	弱	
北海115号	8/29	8/1	5	9	11	17	60	88	8/15	14	186	弱	
トヨシロ	8/30	7/27	13	35	43	83	100		8/11	19	566	弱	弱
北育33号	8/31	8/1	2	4	15	80	100		8/12	19	393	弱	
きたひめ	9/4	8/1	2	19	24	65	93	100	8/13	22	401	弱	弱
北系86号	9/4	8/2		1	3	13	80	98	8/13	22	160	弱	
ミヤあかね	9/5	8/10				1	3	3	8/25	11	6	強	強
マテルダ	9/5	未発病							9/1	4	-	強	強
北育34号	9/6	8/1	3	33	43	83	100		8/13	24	530	弱	
北系87号	9/6	7/31	4	20	45	95	100		8/11	26	536	弱	
スノーデン	9/17	8/1	1	3	10	45	88	100	8/15	33	461	弱	弱
北系88号	9/23	7/31	1	9	17	60	80	95	8/19	35	478	弱	
コナヒメ	9/27	未発病							9/12	15	-	強	強
フリア	9/28	8/8				2	13	23	9/6	22	58	強	強
北海114号	10/15	8/5			1	7	55	75	9/18	27	231	弱	
コナユタカ	10/15	7/31		4	8	33	60	73	9/7	38	329	弱	弱
北育35号	未達	未発病							未達	-	-	強	

注) 防除区の枯ちよう期に基づいて2グループ(早生~中生相当: ~9/12、やや晩~かなり晩成相当: 9/13~)に分けてAUDPCを算出。
AUDPCは早生~中生相当: 8/12まで、やや晩生~かなり晩生: 8/14までの罹病小葉面積率より算出。

表5 累年の抵抗性判定結果

系統名	累年の抵抗性判定			
	令和4年	令和5年	令和6年	累年
北育33号	弱(北系77号)	判定不能	弱	弱
北育34号	弱(北系79号)	判定不能	弱	弱
北育35号	強(北系81号)	判定不能	強	強
北海114号	弱	判定不能	弱	弱

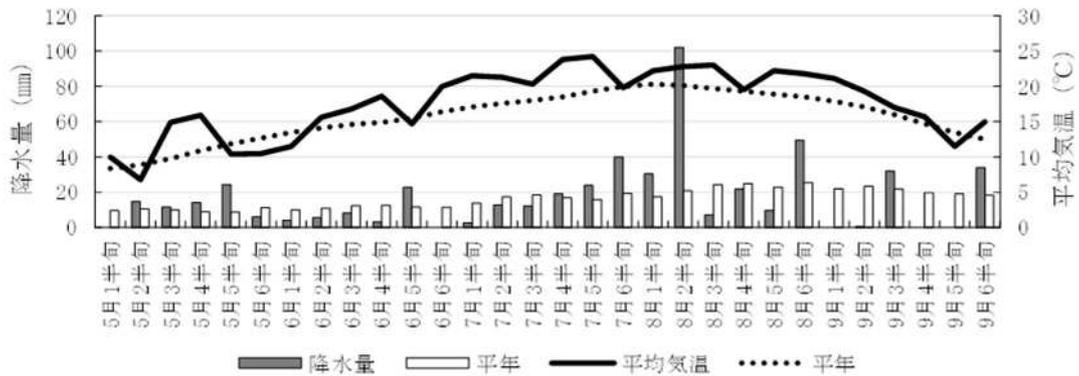


図1 2024年の降水量と平均気温（アメダス：境野）

表6 塊茎腐敗抵抗性検定結果（令和6年）

供試品種・系統	萌芽期	枯凋期 ^{注1)}	調査 ^{注2)} いも数	発病いも 率(%) ^{注2)}	発病いも率(%)			判定 ^{注3)} 【既存の評価】	
					反復Ⅰ	反復Ⅱ	反復Ⅲ		
基準 品種	ひかる	6月1日	9月7日	269	10.2	8.8	8.3	13.4	弱【極弱】
	トヨシロ	5月30日	8月27日	204	6.4	5.7	7.5	6.0	弱【やや弱】
	農林1号	6月1日	9月9日	306	4.4	3.3	6.5	3.2	中【中】
	エニワ	6月3日	9月8日	215	0.9	0	0	2.6	強【強】
	オホーツクチップ	5月29日	8月19日	246	1.3	0	3.9	0	強【強】
	スノーデン	6月2日	9月9日	305	1.2	0.9	0	2.7	強【強】
	アーリースターチ	5月30日	9月9日	226	3.1	2.6	1.4	5.3	中【中】
コナユタカ	6月1日	9月24日	190	10.5	8.5	10.8	12.1	弱【極弱】	
北見 農試	北育33号	5月28日	8月28日	271	0.8	0	0	2.4	強
	北育34号	5月30日	8月29日	273	0	0	0	0	強
	北育35号	6月1日	—	201	1.5	3.1	1.5	0	強
	北育36号	6月1日	8月15日	355	2.6	0.0	0.9	6.9	判定不能
北農 研	北海114号	6月1日	—	437	21.2	19.6	28.5	15.5	極弱
	北海115号	6月1日	8月27日	303	4.0	3.2	3.3	5.6	中

注1) —：9月30日の収穫まで枯凋期に至らなかった。注2) 調査いも数は3反復の合計値、発病いも率は3反復の平均値
注3) 判定基準：発病いも率0～2.9%：「強」、3.0～5.9%：「中」、6.0～14.9%：「弱」、15.0%以上：「極弱」

表7 塊茎腐敗抵抗性検定結果（累年）

系統	年次				累年判定 【既存の評価】	
	2021年	2022年	2023年	2024年		
北育33号	強 (0%)	NT	判定不能	強	強	
北育34号	NT ^{注1)}	強 (4.2%)	判定不能	強	強	
北育35号	NT	NT	判定不能	強	? ^{注2)}	
北海114号	弱 (6.0%)	極弱 (36.4%)	判定不能	極弱	極弱	
基準 品種	ひかる	7.3%	25.5%	3.5%	10.2%	【極弱】
	トヨシロ	5.3%	18.6%	1.4%	6.4%	【やや弱】
	農林1号	2.2%	9.0%	0.4%	4.4%	【中】
	エニワ	0.7%	2.9%	0%	0.9%	【強】
	オホーツクチップ	0.6%	4.8%	0%	1.3%	【強】

注1) NT：未供試、注2) 1か年のデータのため、累年判定は行っていない

でん粉原料用馬鈴しょにおける高品質 でん粉系統の選抜強化（完了課題）

1. 研究機関 地方独立行政法人 北海道立総合研究機構 北見農業試験場

2. 研究期間 令和4年度～令和6年度

3. 研究目的

- (1) 北海道の馬鈴しょ作付面積は令和2年で48,000haであり、約1/3はでん粉原料用である。馬鈴しょでん粉は、施策等の変化に伴い、糖化用から市場評価がより高い化工でん粉や食品原料など高価格用途の需要が増加しており、これに対応した離水率およびリン含量が低いでん粉特性を持つ品種が求められている。また、近年馬鈴しょでん粉の生産量は天候不順の影響で不安定であり、安定供給も強く求められている。
- (2) 北見農試で育成した、でん粉品質が優れる「コナユキ」、多収の「コナユタカ」は、それぞれ収量性、でん粉品質の改善が求められている。さらに、「コナユキ」は種苗管理センターにおける原原種配布が終了したため、多収・高品質を兼ね備えたジャガイモシストセンチウ抵抗性品種の開発が急務である。

実需者の求める特性を備えたでん粉原料用馬鈴しょ系統の開発を促進するためには、育成初期世代から効率的にでん粉品質に関する選抜を行うことが重要であり、でん粉原料用品種の育成を行っている道総研での選抜を強化する必要がある。
- (3) このため本課題では、初期世代から離水率およびリン含量に注目した検定を行うとともに、中期世代以降において白度およびゲル物性についての検定を強化し、「コナユキ」並か優れるでん粉品質を開発目標とする。
- (4) 以上により、育成に対する要望が強い、多収・高でん粉品質でシストセンチウ抵抗性系統の選抜を強化し、北海道のでん粉原料用馬鈴しょの生産振興・安定供給、並びに馬鈴しょでん粉の需要拡大に資する。

4. 研究内容

- (1) 第二次個体選抜世代における高品質でん粉系統の選抜強化

高品質を期待する交配組合せについて、第二次個体選抜世代（育成3年目）におけるでん粉特性を調査し、離水率が「コナユキ」並の個体の選抜を強化する。令和6年は、26組合せ227個体を供試。平均粒径、糊化特性、離水率を調査。リン含量は糊化特性（最高粘度）から推定。
- (2) 系統選抜世代以降における高品質でん粉系統の選抜強化

でん粉原料用を目的とする系統選抜～前期生産力検定試験（育成4～6年目）の世代のでん粉特性を調査し、「コナユキ」並の離水率・リン含量で、現状において使用可能なレベルの白度や糊化特性を含めて総合的にでん粉特性が優れている系統の選抜を強化する。

①系統選抜世代では、圃場選抜後の23組合せ86系統を供試。調査項目は、平均粒径、

糊化特性、離水率、ゲル物性、白度、リン含量を調査。

②生産力検定予備試験世代では、圃場選抜後の 13 組合せ 26 系統を供試。調査項目は、平均粒径、糊化特性、離水率、ゲル物性、白度、リン含量を調査。

③前期生産力検定試験世代では、7 組合せ 8 系統を供試。調査項目は、平均粒径、糊化特性、離水率、ゲル物性、白度、リン含量を調査。

でん粉特性の調査は、北見農試試験圃場産の塊茎を使用し、以下の方法で行った。

- ・白度：ケット科学研究所製 粉体白度計 C-130 で測定。
- ・平均粒径：堀場製作所レーザー回折／散乱式粒度分布測定装置 LA-300 で測定。
- ・離水率：0.1mol/L 食塩水中において 4%で糊化したゲルを 5°Cで 1 週間貯蔵後、離水した重量を測定し、貯蔵前のゲル重量との割合で離水率を算出。
- ・リン含量：堀場製作所製蛍光 X 線元素分析装置 MESA-500W で測定。
- ・糊化特性は、4%でん粉懸濁液（蒸留水）をブラベンダー社ビスコグラフで測定。
- ・ゲル物性は、25%でん粉懸濁液（蒸留水）を固化したゲルを、5°Cで 1 日貯蔵後、レオメーターで測定。

5. 研究結果

(1) 第二次個体選抜世代における高品質でん粉系統の選抜強化

令和 6 年の検定では、227 個体を供試し、平均粒径、糊化特性、離水率を調査した。離水率が「コナヒメ」並か低い系統を中心に選抜する予定である。

令和 5 年の検定では、主に離水率についての選抜を行い、192 個体を選抜した。選抜個体の推定離水率平均は「コナヒメ」よりやや劣ったが、高品質を期待する交配組合せでは、「コナヒメ」、「コナユキ」より優れる個体を多数選抜した（表 1）。

(2) 系統選抜世代以降における高品質でん粉系統の選抜強化

令和 6 年度のサンプルは、いずれの世代もでん粉品質の優れる「コナユキ」と、標準品種の「コナヒメ」との差が小さかった。

①系統選抜供試系統について、R5 年はでん粉品質が「コナユキ」並か優れる系統を中心に、収量性などを加味して 16 組合せ 38 系統を選抜した（表 2）。選抜系統の離水率平均は「コナヒメ」より優れた、最高粘度は「コナヒメ」、「コナユキ」より優れた。R6 年は平均粒径、糊化特性、離水率、ゲル物性、白度、リン含量を調査した。収量性も重視しつつ、「コナユキ」並か優れる品質の系統を選抜する予定である。

②生産力検定予備試験供試系統について、「コナユキ」と比較して、白度は高く、離水率は低く、リン含量は高かった（表 3）。令和 6 年は平均粒径、糊化特性、離水率、ゲル物性、白度、リン含量を調査した。収量性も重視しつつ、「コナユキ」並か優れる品質の系統を選抜する予定である。

③前期生産力検定試験において、「コナユキ」と比較して「北育 35 号」は離水率およびリン含量が低い特徴であった。「北系 82 号」は、離水率が低く、リン含量は並であった。「北系 85 号」は、離水率が低く、最高粘度はやや高いが、リン含量が高く、破断応力

が低かった（表4）。

累年の検定結果で、「北育35号」、「北系82号」、「北系85号」は、「コナユキ」と比較して離水率が低く、リン含量は並から優れる。最高粘度についても並から優れる。「北育35号」は破断応力が高く、弾力があるでん粉品質であった（表5）。

令和4年度に認められた糊化開始温度と離水率の相関は、令和6年度の生産力検定予備試験、前期生産力検定試験の結果でも同様の相関が認められた（図1）。また、令和2～6年の結果から、最高粘度/離水率は最高粘度時温度と負の相関の関係にあることを明らかにし、糊化特性を調査することで、効率よく高品質系統を選抜できることが示唆された（図2）。

6. 今後期待される成果

有望系統「北育35号」、「北系82号」および「北系85号」は、新規課題「でん粉原料用馬鈴しょにおける高品質でん粉系統の効率的な選抜と開発強化」ででん粉品質分析評価を継続し、優良品種認定を目指す。その他、各世代における選抜系統についても試験を継続し、でん粉品質評価および生産力等の各種データを踏まえ、優良品種認定を目指す。最高粘度/離水率は最高粘度時温度と負の相関関係があることを明らかにした。この結果を踏まえて、新規課題において、糊化特性を調査することで効率的な高品質系統の選抜を実施する。

多収・ジャガイモシストセンチュウ類抵抗性で高品質なでん粉特性を持つ馬鈴しょ系統の育成、実需者の要望に応える品種の育成・普及により、北海道産馬鈴しょの需要拡大、生産振興が図られる。

< 具体的データ >

表1 第2次個体選抜の試験経過（北見農試 令和5年）

年次 世代	系統数	平均 粒径 (μm)	離水 率 (%)	糊化特性	
				糊化開始 温度 ($^{\circ}\text{C}$)	最高粘度 (BU)
R05 個体二次 選抜	192	51.6	56.3	67.8	813
コナヒメ		57.6	53.7	67.3	850
コナユキ		56.5	49.0	66.5	683

注) 離水率は糊化開始温度からの推定値。

表2 系統選抜の試験経過におけるでん粉品質成績（北見農試 令和5年）

年次 世代	系統数	平均 粒径 (μm)	離水 率 (%)	糊化特性	
				糊化開始 温度 ($^{\circ}\text{C}$)	最高粘度 (BU)
R05 系統選抜 選抜	38	51.9	54.4	67.5	779
コナヒメ		57.8	57.4	67.7	684
コナユキ		51.7	51.1	66.9	596

表3 生産力検定予備試験におけるでん粉品質成績（北見農試 令和5年）

	白度	平均 粒径 (μm)	離水 率 (%)	リン 含量 (ppm)	糊化特性		ゲル物性		(参考) でん粉重 (kg/10a)
					糊化開始 温度($^{\circ}\text{C}$)	最高粘度 (BU)	破断応力 (g)	圧縮距離 (mm)	
検定系統(26)	92.5 \pm 1.6	49.6 \pm 4.3	43.4 \pm 7.4	691 \pm 88	64.2 \pm 0.9	1326 \pm 163	1529 \pm 198	10.1 \pm 0.9	1037 \pm 121
コナヒメ	89.4	54.8	46.2	621	64.8	1,178	1,461	10.1	964
コナユキ	91.1	50	44.8	578	64.4	1,112	1,599	11.1	847
コナユタカ	93.1	53	51.4	656	64.9	1,164	1,956	10.2	895

表4. 生産力検定のでん粉品質成績（令和6年）

品種 系統名	白度	平均 粒径 (μm)	離水 率 (%)	リン 含量 (ppm)	糊化特性				ゲル物性		(参考) でん粉重 (kg/10a)
					糊化開始 温度($^{\circ}\text{C}$)	最高粘度 (BU)	最高粘度時 温度($^{\circ}\text{C}$)	ブレーク ダウン (BU)	破断応力 (g)	圧縮距離 (mm)	
コナヒメ	89.8	52.8	50.6	657	65.2	1,209	89.6	655	1,280	7.8	1,151
コナユキ	91.3	51.7	45.8	602	63.8	1,202	87.8	733	1,422	10.8	982
コナユタカ	91.9	52.6	50.5	775	64.8	1,345	82.3	829	1,701	8.6	1,239
北育35号	91.0	51.1	43.3	572	64.1	1,189	82.3	776	1,709	11.7	1,322
北系82号	91.6	54.2	42.1	618	63.1	1,235	84.4	801	1,394	11.9	1,229
北系85号	94.2	45.5	40.6	725	63.6	1,337	80.9	888	1,033	9.2	1,034
K19106-6	92.9	42.9	44.0	882	64.2	1,566	71.6	1,148	1,197	9.2	1,186

表5. 有望系統の累年でん粉品質成績（令和4～6年平均）

	白度	平均 粒径 (μm)	離水 率 (%)	リン 含量 (ppm)	糊化特性		ゲル物性		備考
					糊化開始 温度($^{\circ}\text{C}$)	最高粘度 (BU)	破断応力 (g)	圧縮距離 (mm)	
コナヒメ	89.1	55.0	52.1	632.0	64.6	1252.7	1174.3	7.7	
コナユタカ	92.1	53.9	52.7	770.7	64.6	1401.0	1429.0	8.1	
コナユキ	91.7	53.1	50.5	612.0	63.7	1273.3	1271.3	9.8	
北育35号	91.4	51.1	43.4	591.0	63.9	1194.3	1483.7	10.2	
北系82号	91.9	55.6	41.4	650.3	62.8	1285.3	1232.3	10.4	
北系85号	93.9	46.4	38.3	732.0	63.2	1386.0	1053.5	10.0	

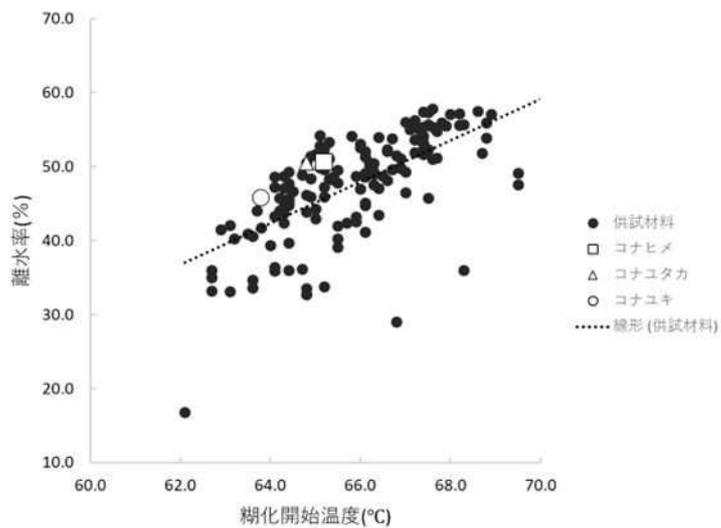


図 1. 糊化開始温度と離水率の関係 (令和 6 年)

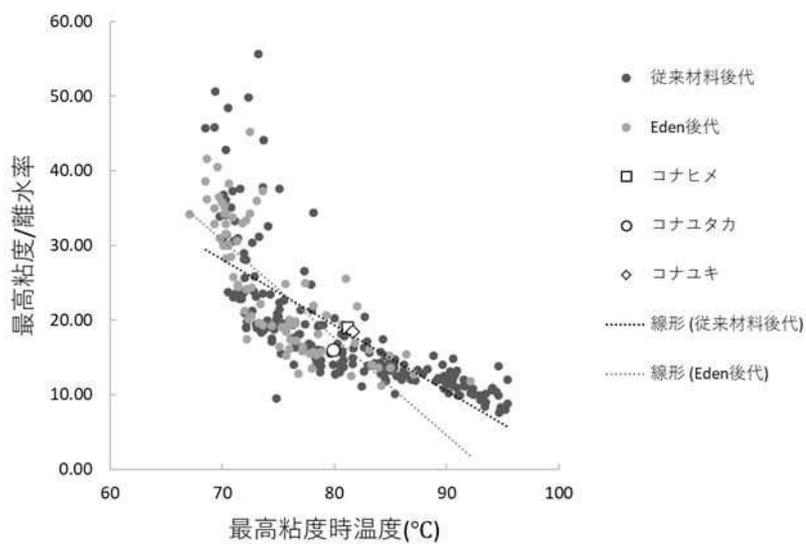


図 2. 最高粘度時温度と最高粘度/離水率の関係 (令和 2 ~ 6 年)

センチュウ類および Y ウイルス抵抗性馬鈴しょ品種の 開発強化と特性検定試験（継続課題）

1. 研究機関 地方独立行政法人 北海道立総合研究機構 北見農業試験場
中央農業試験場

2. 研究期間 令和5年度～令和7年度

3. 研究目的

(1) 北海道の馬鈴しょ安定生産を脅かす最重要害虫であるジャガイモシストセンチュウ(以下 Gr)について、道内で普及を目指す馬鈴しょ新品種には、抵抗性を有することが必須である。また、平成27年にジャガイモシロシストセンチュウ(以下 Gp)の発生が道内で初めて確認された。Gp 発生圃場では、緊急防除終了後も Gp の再増殖を防ぐため、Gp 抵抗性品種の作付けが必要である。

一方、種馬鈴しょ生産農家の減少に伴い、1戸あたりの種馬鈴しょ栽培面積が増加しており、作業の効率化・省力化が必須である。ジャガイモ Y ウイルス(以下 PVY) 抵抗性品種は、種馬鈴しょ栽培におけるウイルス病感染株の抜き取り作業の効率化・省力化のみならず、健全な種いも供給にも貢献できる。しかしながら、現在、でん粉原料用主力品種の「コナヒメ」は、PVY 抵抗性を保持していない。

(2) Gr、Gp および PVY については、いずれも抵抗性遺伝子の有無を判別できる DNA マーカーが開発され、DNA マーカー選抜(以下 MAS)を活用した抵抗性系統の効率的な選抜が可能である。北見農試では、Gr・PVY 抵抗性のでん粉原料用品種「コナユタカ」を育成したほか、最近では Gr・PVY 抵抗性の「北育32号」を選抜している。Gp 抵抗性は、北見農試では平成28年から品種開発を開始し、育種初期世代の MAS により、Gp 抵抗性系統の選抜を進めている。

最終的な抵抗性判定には MAS だけではなく実際の栽培で確認する必要がある。また、特性検定による Gr 抵抗性の有無は品種登録上の必須項目であり、PVY 抵抗性の有無および感染時の品種毎の病徴は種馬鈴しょ栽培に重要な情報となる。

(3) このため、本課題では多数の育種選抜個体・系統を MAS に供試し、Gr・PVY 抵抗性品種の育成ならびに Gp 抵抗性有望系統の開発を促進する。さらに、北農研育成系統も含めた有望系統の Gr 抵抗性検定(カップ検定)、PVY 抵抗性検定(接種検定)を行う。PVY 接種検定には、多様な遺伝的背景を持つ系統を比較することで抵抗性と農業形質の両立に資する情報を得られる可能性があることから、必要に応じて道外で育成された系統も供試する。これらにより、北海道馬鈴しょおよび馬鈴しょでん粉の安定生産、安定供給に資することができる。

4. 研究内容

(1) DNA マーカーによる抵抗性検定

第二次個体選抜(育成3年目)において、収量やでん粉価等により選抜したでん粉原料用39組合せ447系統、加工用20組合せ246系統について DNA マーカー検定に供試した。供試系統が持つ各抵抗性遺伝子(Gr 抵抗性は H1、PVY 抵抗性は Rychc、Gp 抵抗性は GpaIVsadg、Gpa5 および Gpa6)のマーカー遺伝子型で抵抗性を検定した。

(2) Gr 抵抗性検定

北見農試育成材料では、加工用「北系 86 号」、「北系 87 号」、「北育 36 号」（「北系 86 号」および「北育 36 号」はホクレンとの共同育成系統）、でん粉原料用「北育 35 号」および「北系 85 号」の 5 系統を供試した。北農研育成材料では、生食用「北海 115 号」および「勝系 61 号」、加工用「勝系 62 号」、でん粉原料用「勝系 63 号」の 4 系統を供試した。250ml のプラスチックカップに卵密度を約 300 卵/乾土 g に調整した汚染土 50ml 入れ、その上に種イモを静置。さらにその上に、健全土 25ml を重ねて密閉し、暗所で培養した。適宜給水を行い約 2 ヶ月後にカップの底面、側面に確認される雌成虫数を計数した。

(3) PVY 抵抗性検定

北見農試育成材料では、加工用「北育 34 号」、ホクレンとの共同育成の加工用「北育 36 号」、でん粉原料用「北育 35 号」の 3 系統を、北農研育成材料では、生食用「北海 115 号」とでん粉原料用「北海 114 号」の 2 系統を、長崎県農林技術開発センター育成材料では、生食用「西海 44 号」を供試した。植物体に PVY を接種し、エライザによる感染有無の確認と目視による病徴確認を実施した。2 種類の PVY 系統(PVY-N、PVY-NTN)を接種し、各系統 12 個体を調査した。

5. 研究結果

(1) DNA マーカーによる抵抗性検定

第二次個体選抜において、でん粉原料用では、検定した 447 系統のうち、379 系統が Gr 抵抗性、300 系統が PVY 抵抗性、135 系統が Gp 抵抗性遺伝子 GpaIVsadg もしくは Gpa5・Gpa6 のマーカー遺伝子型が抵抗性型であることを明らかにした(表 1)。このうち、Gr・PVY 複合抵抗性は 250 系統、Gr・Gp 抵抗性遺伝子が抵抗性型の系統は 135 系統であった。加工用では、検定した 246 系統のうち、221 系統が Gr 抵抗性、113 系統が PVY 抵抗性であることを明らかにした(表 2)。このうち、Gr・PVY 複合抵抗性は 100 系統であった。Gr・PVY 複合抵抗性の割合は昨年度と比べてでん粉原料用でやや低下していたが、加工用では増加していた。検定の結果 Gr 感受性と判定された系統は廃棄し、Gr・PVY 複合抵抗性系統を中心に選抜した。

生産力検定予備世代における DNA マーカー検定で、第二次個体選抜時の検定結果と異なった系統は 12 系統であった(表 3)。それぞれ抵抗性の判定を修正し、複合抵抗性系統の選抜の資とした。

前期生産力検定世代では、加工用の次年度新配布系統「K19072-1」（北系 88 号）は Gr・PVY 抵抗性であることを確認した(表 3)。

(2) Gr 抵抗性検定

対照品種のうち、感受性品種の「男爵薯」、「トヨシロ」には多数の雌成虫が着生した。一方、抵抗性品種の「とうや」には雌成虫の着生が認められず、「コナヒメ」では 1 カップで雌成虫の着生が認められたがカップあたりの平均着生数は 1 未満であった。供試系統は、いずれもカップあたりの平均着生数が 1 未満であり、抵抗性と判定した(表 4)。

令和 2~6 年度までの累年成績から、「北育 33 号」、「北育 34 号」、「北育 35 号」および「北海 115 号」はいずれも抵抗性と判断した(表 5)。

(3) PVY 抵抗性検定

各系統の検定結果は以下の通り。

- ・「北海 114 号」: PVY- N を接種した上葉からウイルスは回収されなかった(表 6)。PVY-NTN を接種した上葉からはウイルスが回収され、病徴は壊死斑、脈えそ、モザイク、れん葉であった。累年結果から抵抗性を“弱”とした(表 7)。
- ・「北海 115 号」: PVY- N、NTN ともに上葉からウイルスが回収された。PVY- N では上葉に病徴は認められず、NTN ではモザイクが認められた(表 6)。
- ・「北育 34 号」: PVY- N、NTN ともに上葉からウイルスは回収されなかった(表 6)。2022 年に 10 個体中 1 個体で PVY- N の移行が確認されたため、累年結果による判定については検討を要する(表 7)。
- ・「北育 35 号」: PVY- N、NTN ともに上葉からウイルスは回収されなかった(表 6)。累年結果から抵抗性を“強”とした(表 7)。
- ・「北育 36 号」: PVY- N、NTN ともに上葉からウイルスが回収された(表 6)。病徴は PVY- N では壊死斑、脈えそ、黄化が認められた。PVY-NTN では病徴が認められなかった。
- ・「西海 44 号」では、PVY- N、NTN ともに上葉からウイルスは回収されなかった(表 6)。累年結果から抵抗性を“強”とした(表 7)。

6. 今後期待される成果

DNA マーカー検定による抵抗性系統の効率的な選抜を実施したことにより、各種病害抵抗性を保持し、収量・品質面にも優れた系統を選抜している。選抜した有望系統については品種化を目指す。

Gr および PVY 抵抗性検定ならびに他農業形質を勘案し次年度継続検討する系統は以下の通り。

北見農試育成の Gr・PVY 抵抗性のでん粉原料用「北育 35 号」は優良品種認定に向けて次年度優良品種決定基本調査および現地調査に供試する。Gr・PVY 抵抗性のでん粉原料「北系 82 号」および Gr・Gp・PVY 抵抗性のでん粉原料用「北系 85 号」は優良品種認定に向けて次年度生産力試験等を継続する。Gr・PVY 抵抗性の加工用「北系 83 号」は「北育 37 号」の番号を付与し、優良品種認定に向けて次年度優良品種決定基本調査に供試する。Gr・PVY 抵抗性の加工用「北育 33 号」および「北育 34 号」は、優良品種認定に向けて、次年度優良品種決定基本調査および現地調査を継続する。Gr・PVY 抵抗性の加工用「K19072-1」は「北系 88 号」の番号を付与し、優良品種認定に向けて次年度生産力検定試験等に供試する。Gr 抵抗性の加工用「北系 86 号」は優良品種認定に向けて次年度生産力検定試験等を継続する。

北農研育成の Gr 抵抗性の生食用「北海 115 号」は、優良品種認定に向けて次年度優良品種決定基本調査および現地調査に供試する。Gr・PVY 抵抗性の生食用「勝系 64 号」は優良品種認定に向けて次年度生産力検定試験等に供試する。Gr・Gp・PVY 抵抗性の生食用「勝系 61 号」、Gr・PVY 抵抗性の加工用「勝系 62 号」および Gr・Gp 抵抗性のでん粉原料用「勝系 63 号」は優良品種認定に向けて次年度生産力検定試験等を継続する。

< 具体的データ >

表 1. 第二次個体選抜 DNA マーカー検定結果 (令和 6 年: でん粉原料用)

試験 番号 ¹⁾	組合せ 番号	交配組合せ ²⁾		抵抗性個体数 (各マーカーの供試数に対する抵抗性の割合(%))						全供試数に対する 各抵抗性個体の割合				
		母	父	供試数	Gr	PVY	Gp	Gr・ PVY	Gr・Gp	Gr	PVY	Gp	Gr・ PVY	Gr・ Gp
51	K22101	北系68号	サクラフブキ	22	13	15	-	10	-	59	68	-	45	-
52B	K22102	北系68号	K97022-24	12	10	6	-	5	-	83	50	-	42	-
53B	K22104	北系69号	K07119-5	10	10	6	-	6	-	100	60	-	60	-
54	K22109	北系81号	サクラフブキ	27	27	15	-	15	-	100	56	-	56	-
55B	K22111	北系81号	北系72号	1	1	0	-	0	-	100	0	-	0	-
56B	K22112	北系81号	K07119-5	4	4	4	-	4	-	100	100	-	100	-
57	K22114	北青26号	北系75号	6	6	0	-	0	-	100	0	-	0	-
58	K22115	北青26号	ナツフブキ	16	12	16	-	12	-	75	100	-	75	-
59	K22117	北青32号	K97022-24	20	20	13	-	13	-	100	65	-	65	-
60	K22120	北青32号	K15133-17	5	5	3	-	3	-	100	60	-	60	-
61	K22124	KS0707-3	K97022-24	7	5	6	-	4	-	71	86	-	57	-
62	K22126	K14135-19	K97022-24	7	5	5	-	3	-	71	71	-	43	-
63B	K22128	K15142-5	北系72号	2	2	1	-	1	-	100	50	-	50	-
64	K22130	K16115-4	北系64号	14	9	14	-	9	-	64	100	-	64	-
65	K22134	K16175-1	北系64号	25	21	22	11	19	11	84	88	44	76	44
66	K22136	K17105-2	北系75号	5	5	3	-	3	-	100	60	-	60	-
67	K22139	K17105-2	K97022-24	19	19	7	13	7	13	100	37	68	37	68
68	K22140	K17105-2	K14135-20	7	7	4	7	4	7	100	57	100	57	100
69	K22141	K17105-2	K16170-21	4	4	2	4	2	4	100	50	100	50	100
70	K22142	K17105-2	K16123-11	10	9	6	7	5	7	90	60	70	50	70
71	K22143	K17105-4	Eden	22	18	13	17	12	17	82	59	77	55	77
72	K22144	K17105-4	サクラフブキ	21	17	17	14	15	14	81	81	67	71	67
73	K22145	K17105-4	北系64号	15	13	4	11	4	11	87	27	73	27	73
74	K22146	K17105-4	K97022-24	11	8	7	7	6	7	73	64	64	55	64
75	K22148	K17102-39	サクラフブキ	23	19	20	9	18	9	83	87	39	78	39
76	K22149	K17102-39	K97022-24	14	13	11	8	10	8	93	79	57	71	57
77	K22155	北青32号	1260 lab1	14	12	7	7	5	7	86	50	50	36	50
78	K22157	北系81号	1260 lab1	7	7	3	4	3	4	100	43	57	43	57
79	K22158	北系80号	1260 lab1	4	4	1	4	1	4	100	25	100	25	100
80	K22159	K16115-4	1260 lab1	12	7	10	6	5	6	58	83	50	42	50
81	K22163	K16115-4	Eden	13	10	12	6	9	6	77	92	46	69	46
82	K22164	フリア	サクラフブキ	27	23	14	-	10	-	85	52	-	37	-
83B	K22166G	97A-77 (B33)	サクラフブキ	10	6	7	-	4	-	60	70	-	40	-
84B	K22168G	北系81号	97A-77 (B33)	1	1	1	-	1	-	100	100	-	100	-
85	K22169G	北系81号	16H54-1 (E5)	6	6	6	-	6	-	100	100	-	100	-
86	K22170G	北系80号	16H54-1 (E5)	4	4	3	-	3	-	100	75	-	75	-
87	K22171G	北青26号	16H54-1 (E5)	8	8	8	-	8	-	100	100	-	100	-
88	K22172G	北系80号	16H53-2 (E4)	6	5	2	-	1	-	83	33	-	17	-
89	K22173G	北青26号	16H53-2 (E4)	6	4	6	-	4	-	67	100	-	67	-
合計 (39組合せ)				447	379(85)	300(67)	135(72)	250(56)	135(30)	85	67	30	56	30

1) B: 馬鈴しょ疫病抵抗性系統の開発促進課題で疫病抵抗性個体の選抜を実施している組合せ。

2) グレー塗りつぶしは PVY 抵抗性遺伝子 *Ryhc* 保持系統・品種。ゴシックは Gp 抵抗性系統・品種。

表2. 第二次個体選抜 DNA マーカー検定結果 (令和6年:加工用)

試験 番号	組合せ 番号	交配組合せ ¹⁾		抵抗性個体数 (各マーカーの供試数に対する抵抗性の割合(%))						全供試数に対する 各抵抗性個体の割合				
		母	父	供試数	Gr	PVY	Gp	Gr・ PVY	Gr・Gp	Gr	PVY	Gp	Gr・ PVY	Gr・ Gp
1	K22001H	北系73号	H05006-11	6	5	3	-	3	-	83	50	-	50	-
2	K22002H	北系73号	H07045-53	12	8	11	-	6	-	67	92	-	50	-
3	K22003H	北系74号	H07045-53	3	3	-	-	-	-	100	-	-	-	-
4	K22004H	北系77号	H05006-11	6	6	1	-	1	-	100	17	-	17	-
5	K22005H	北系77号	H07045-53	21	20	3	-	3	-	95	14	-	14	-
6	H22006K	H10030-35	K07059-5	7	6	1	-	1	-	86	14	-	14	-
7	H22006K	H14022-5	K07059-5	7	7	3	-	3	-	100	43	-	43	-
8	H22007K	H14058-5	K13034-23	13	13	5	-	5	-	100	38	-	38	-
9	K22006	北育31号	K13034-23	16	14	8	-	7	-	88	50	-	44	-
10	K22007	北育31号	K14050-5	31	25	10	-	9	-	81	32	-	29	-
11	K22008	北育31号	北系67号	26	25	16	-	15	-	96	62	-	58	-
12	K22009	北育31号	K17009H-K24	4	3	4	-	3	-	75	100	-	75	-
13	K22014	MSK061-4	北系67号	7	7	2	-	2	-	100	29	-	29	-
14	K22020	K17023-19	K13034-23	9	9	7	-	7	-	100	78	-	78	-
15	K22021	K17038G-3	K13034-23	6	6	2	-	2	-	100	33	-	33	-
16	K22024	オホーツクチップ	K03008-9	11	11	-	-	-	-	100	-	-	-	-
17	K22025	オホーツクチップ	北系67号	25	22	16	-	14	-	88	64	-	56	-
18	K22028	北系77号	KG1478-2	9	8	7	-	6	-	89	78	-	67	-
42	K22075	北系77号	1260 lab1	17	15	10	13	10	13	88	59	76	59	76
43	K22076	北育29号	1260 lab1	10	8	4	6	3	6	80	40	60	30	60
合計 20組合せ				246	221(90)	113(46)	19(83)	100(41)	19(8)	90	46	8	41	8

1) グレー塗りつぶしはPVY抵抗性遺伝子 *Rychc* 保持系統。

表3. 生産力予備・生産力検定 DNA マーカー検定結果 (令和6年)

試験世代	用途	供試数 または 系統番号	マーカー検定結果 ^{注)}		備考
			Gr	PVY	
生産力検定予備	でん粉	38	38(0)	30(4)	
	加工	37	37(0)	18(8)	
前期生産力検定	加工	K19072-1	R	R	次年度「北系88号」

注) 数値は抵抗性系統数、括弧内の数値は第二次個体選抜時の検定結果と異なった系統数、“R”は抵抗性型を示す。

表4. カップ検定による Gr 抵抗性検定試験成績 (令和6年)

品種・系統名	シスト(メス成虫数)						6カップ の平均	レンジ	判定
	①	②	③	④	⑤	⑥			
北海115号	0	0	0	0	0	0	0	0	R
勝系61号	0	0	0	1	0	0	0.2	0~1	R
勝系62号	0	0	0	0	0	0	0	0	R
勝系63号	0	0	0	0	1	0	0.2	0~1	R
北育35号	0	0	0	0	0	0	0	0	R
北育36号	0	0	-	0	0	0	0	0	R
北系85号	0	0	0	0	0	0	0	0	R
北系86号	0	0	0	0	0	0	0	0	R
北系87号	0	0	0	0	0	0	0	0	R
男爵薯	71	212	145	18	58	49	92.2	18~212	S
とうや	0	0	0	0	0	0	0	0	R
トヨシロ	11	9	29	19	43	12	20.5	9~43	S
コナヒメ	0	0	1	0	0	0	0.2	0~1	R

注) R:抵抗性、S:感受性(平成31年3月設定基準(カップあたり平均着生数1個未満)による)

-:種いもの腐敗により欠測

表5. Gr 抵抗性検定試験成績累年評価

品種・ 系統名	単年評価					累年評価
	R2	R3	R4	R5	R6	
北育33号	R			R		R
北育34号		R		R		R
北育35号			R		R	R
北海115号			R		R	R

表6. 接種検定による PVY 抵抗性検定試験結果

接種 系統	育成品種 系統名	接種葉			上葉			
		感染率(%)	病徴 ¹⁾	ウイルス上葉移行率(%)	病徴 ¹⁾	ウイルスの回収		
N系統	北海114号	27	(3/11) (M)	0	(0/11)	-	-	
	北海115号	17	(2/12)	-	17	(2/12)	-	+
	北育34号	0	(0/12)	-	0	(0/12)	-	-
	北育35号	0	(0/12)	-	0	(0/12)	-	-
	北育36号	42	(5/12)	Y	8	(1/12)	NS, VN, Y	+
	男爵薯	25	(3/12)	LL, Y	17	(2/12)	N, NS, VN	+
	トヨシロ	64	(7/11)	LL, VN, Y	55	(6/11)	NS, VN, St, M, Y, N	+
	コナヒメ	50	(6/12)	-	50	(6/12)	-	+
	コナユタカ	0	(0/12)	-	0	(0/12)	-	-
	西海44号	0	(0/12)	-	0	(0/12)	-	-
NTN系統	北海114号	92	(11/12)	LL, VN, Y	17	(2/12)	NS, VN, M, Cr ³⁾	+
	北海115号	50	(6/12)	-	50	(6/12)	M	+
	北育34号	0	(0/12)	-	0	(0/12)	-	-
	北育35号	0	(0/12)	-	0	(0/12)	-	-
	北育36号	75	(9/12)	Y	17	(2/12)	-	+
	男爵薯	92	(11/12)	LL	92	(11/12)	-	+
	トヨシロ	92	(11/12)	LL, VN, N, Y	91	(10/11)	NS, VN, St, Y, M	+
	コナヒメ	100	(12/12)	-	100	(12/12)	-	+
	コナユタカ	8	(1/12)	LL	0	(0/12)	-	-
	西海44号	0	(0/12)	-	0	(0/12)	-	-

1) 略号は以下の病徴を示し、括弧のついたものは病徴が不明瞭であったことを示す。

M:モザイク, N:枯死, LL:局部病斑, NS:壊死斑, VN:脈えそ, St:茎えそ, VC:葉脈透過, Cr:れん葉, Y:黄化

2) 接種葉の感染率は病徴の有無による。上葉へのウイルス移行率および回収の有無はエライザによる。

3) 1 個体を除き明瞭な病徴が認められたが、早期に枯死した。枯死葉をエライザに供試したが、2 検体しかウイルスは回収されなかった。

表 7. PVY 抵抗性検定試験成績累年評価

品種・系統名	PVY-N上葉病徴 ¹⁾			累年 評価
	2022年	2023年	2024年	
北海114号	Cr,M	VN,NS	-	弱
北育34号(北系79号)	-	移行せず	移行せず	要検討
北育35号(北系81号)	-	移行せず	移行せず	強
西海44号(長系68号)	-	移行せず	移行せず	強
男爵薯	移行せず	M,Cr	N,NS,VN	弱
トヨシロ	NS,VN,Y,St,N ²⁾	NS,VN,St,Cr,M,Y	NS,VN,St,M,Y,N	弱
コナヒメ	(M)	M,(M)	-	弱
コナユタカ	移行せず	移行せず	移行せず	強

品種・系統名	PVY-NTN上葉病徴 ¹⁾			累年 評価
	2022年	2023年	2024年	
北海114号	NS,VN,Y,N ²⁾	NS,VN,M,Cr	NS,VN,M,Cr ³⁾	弱
北育34号(北系79号)	移行せず	移行せず	移行せず	強
北育35号(北系81号)	移行せず	移行せず	移行せず	強
西海44号(長系68号)	移行せず	移行せず	移行せず	強
男爵薯	M,Cr	M,Cr,NS,VN	-	弱
トヨシロ	NS,VN,St,Y,N	NS,VN,St,Y,M,Cr,N	NS,VN,St,Y,M	弱
コナヒメ	M,VN	M,Cr	-	弱
コナユタカ	移行せず	移行せず	移行せず	強

- 1) 病徴の略称については表 6 と同様とし、上葉へのウイルス移行が認められなかったものは「移行せず」とした。
- 2) 明瞭な病徴が認められていたが、全個体早期に枯死した。枯死葉からウイルスは回収されなかったが、次世代塊茎は保毒しており、ウイルスは上葉へ移行したと考えられる。
- 3) 1 個体を除き明瞭な病徴が認められたが、早期に枯死した。枯死葉をエライザに供試したが、2 検体しかウイルスは回収されなかった。

早期収穫適性が優れるでん粉原料用馬鈴しょ 多収品種の開発促進（継続課題）

1. 研究機関 地方独立行政法人 北海道立総合研究機構 北見農業試験場

2. 研究期間 令和5年度～令和7年度

3. 研究目的

- (1) 北海道の馬鈴しょでん粉は、原原種生産実績から令和4年にジャガイモシストセンチュウ抵抗性品種にほぼ切り替わったと思われる。しかし、近年の天候不順等の影響で供給量が不足していることから、産地からは安定多収品種の育成が強く要望されている。北見農試では、ジャガイモシストセンチュウ抵抗性のでん粉原料用品種として、平成26年に「コナユタカ」を育成し、多収という特性から令和2年において2,216haの作付けに至っているが、早期収穫における収量は「コナヒメ」並であり、着生いも数が少ないことが特に種子生産における問題点として指摘されている。
- (2) 気象条件の変動が大きい中、安定した収量を確保できるでん粉原料用品種を開発するためには、塊茎の初期肥大性が優れる品種を選抜することが重要である。現状の品種開発事業では、枯ちょう期が調査すべき必須形質となっているため収穫調査時期は遅く、必ずしも早期肥大性の優れる系統を積極的に選抜できていない。このため、安定多収品種を開発するためには、早期肥大性の優れる系統の選抜のほか、有望育成系統について塊茎肥大性や栽培特性を把握することが重要である。
- (3) このため本課題では、中期世代から早期収穫適性を調査し、積極的に早期肥大性が優れる系統の選抜を行う。また、選抜された有望系統について、生育経過追跡調査により塊茎肥大の推移を詳細に調査することで、生育および塊茎肥大特性を把握する。有望な生育系統は施肥反応試験および主産地における適応性を調査し、優良品種認定時の資料にするとともに、多収栽培技術確立のための基礎データとして活用する。

これらの調査を行うことで、北海道馬鈴しょおよび馬鈴しょでん粉の生産振興、安定供給に資する。

4. 研究内容

(1) 早期収穫適性試験

育成中期～後期世代の系統について早期収穫適性を調査し、選抜の資料とする。検定系統は、「北育35号」、「北系82号」、「北系85号」および前期生産力検定世代の8系統、計11系統。調査項目は、地上部生育（茎長、茎数）および塊茎肥大（上いも数、上いもの平均重、上いも重、でん粉価、でん粉重）（以下同様）。5月10日に植え付けを行った。9月5日に茎葉刈り払い処理を行い、9月6日に収穫・調査した。

(2) 生育経過追跡試験

育成系統について、地上部生育および塊茎肥大の追跡調査を行う。検定系統は「北育35号」、「北系82号」、3反復で実施。5月10日に植え付け、6月上旬から半月ご

とに調査した。

(3) 栽培特性検定試験

有望育成系統について、施肥量および栽植密度を変えたときの反応を「コナヒメ」と比較する。検定系統は「北育35号」。施肥量は標準肥、開花期追肥（窒素4kg/10a相当を追肥）の2水準。栽植密度は標準植(75×30cm)と疎植(75×36cm)の2水準とし、3反復で実施。5月10日に植え付け、10月8日に収穫前処理、10月9日に収穫を行った。

(4) 主産地適応性検定試験

有望育成系統について、主産地であるオホーツク斜網地域において栽培し、適応性を調査する。検定系統は「北育35号」、試験場所は網走市、2反復で実施。5月10日に植え付け、早掘りは8月29日、普通掘りを10月3日に行った。

5. 研究結果

(1) 早期収穫適性試験

「北育35号」、「北系82号」の早掘りにおけるでん粉重は、4カ年平均で「コナヒメ」並であった（表1）。「北系85号」の早掘りにおけるでん粉重は、2カ年平均で「コナヒメ」並であった。令和6年度における前期生産力検定世代は供試平均で、早掘りにおけるでん粉重は「コナヒメ」並であった（表2）。育成系統において早期収穫適性の評価・選抜ができています。

(2) 生育経過追跡試験

「北育35号」の上いも平均重は、塊茎調査開始（7月上旬）から「コナヒメ」と「コナユタカ」の中間で推移した。でん粉価について、「コナヒメ」は8月下旬から停滞するのに対し、「北育35号」は9月下旬まで上昇した（図1）。

(3) 栽培特性検定試験

令和6年の「北育35号」のでん粉重は、疎植による増収効果が得られた（図2）。加えて、疎植区では追肥による増収効果が得られた。傾向が年次により大きく異なったため、継続した調査が必要である（図2）。

(4) 主産地適応性検定試験

網走市において、「北育35号」は普通掘り（2カ年平均）では、上いも重が112%と多収であった。でん粉価は0.5%低かったが、でん粉重は「コナヒメ」比106%でやや多収であった。令和6年の早掘りでは、上いも重が101%で並、でん粉価が1.0%低く、でん粉重は「コナヒメ」比95%でやや低収であった（表3）。

6. 今後期待される成果

今後も同様の試験内容で継続し、早期収穫適性試験に「北育35号」、「北系82号」および「北系85号」、生育経過追跡試験、施肥量・栽植密度反応試験に、「北育35号」、主産地における適応性検定試験に「北育35号」および「北系85号」を供試予定。

早掘り適性に優れる多収系統が選抜され、気象変動に対する生産安定性のある品

種開発が促進される。

有望育成系統の生育・栽培特性が明らかとなり、優良品種認定時の資料として利用するとともに、塊茎肥大経過や施肥量・栽植密度反応から多収栽培法開発の基礎データとして活用できる。

< 具体的データ >

表 1. 早期収穫適性調査 (令和 6 年: 北見農試)

系統・品種名	試験年次	上いも数 (/株)	上いも平均重 (g)	上いも重 (kg/10a)	同左標準比 (%)	でん粉価 (%)	でん粉重 (kg/10a)	同左標準比 (%)	
平均	北育35号	R3~6	10.8	116	5,421	98	20.1	1,032	102
	北系82号	R3~6	14.6	89	5,730	104	19.3	1,045	103
	コナヒメ	R3~6	11.9	105	5,528	100	19.4	1,015	100
	北系85号	R5~6	14.3	105	6,559	114	17.4	1,073	103
	コナヒメ	R5~6	12.3	107	5,758	100	19.1	1,040	100
単年	北育35号	R6	9.4	134	5,561	100	20.0	1,058	104
	北系82号	R6	15.7	81	5,633	102	19.2	1,028	101
	北系85号	R6	12.7	112	6,320	114	17.4	1,038	102
	前期生産力検定世代 (8系統平均)	R6	15.3	84	5,363	97	20.0	1,012	99
	コナヒメ	R6	11.2	112	5,534	100	19.5	1,021	100
	コナユタカ	R6	9.1	138	5,586	101	19.0	1,007	99
	アーリースターチ	R6	8.5	147	5,581	101	19.1	1,009	99

注) 令和6年は早掘り試験の収穫を9月6日に実施。

表 2. 生産力検定試験結果 (令和 6 年: 北見農試)

系統・品種名	試験年次	枯ちよう期 (月/日)	上いも数 (/株)	上いも平均重 (g)	上いも重 (kg/10a)	同左標準比 (%)	でん粉価 (%)	でん粉重 (kg/10a)	同左標準比 (%)	
平均	北育35号	R3~6	59%	11.3	141	6,752	106	21.4	1,378	115
	北系82号	R3~6	10/3	14.3	106	6,699	105	20.8	1,329	111
	コナヒメ	R3~6	9/26	12.5	116	6,408	100	19.8	1,208	100
	北系85号	R5~6	9/23	14.0	111	6,893	110	17.0	1,102	100
	コナヒメ	R5~6	9/27	12.2	116	6,296	100	18.6	1,109	100
単年	北育35号	R6	70%	9.1	166	6,742	105	20.6	1,322	115
	北系82号	R6	10/7	15.2	93	6,298	99	20.5	1,229	107
	北系85号	R6	9/23	12.9	109	6,258	98	17.5	1,034	90
	前期生産力検定世代 (8系統平均)	R6	9/26	15.4	92	5,911	92	19.5	1,088	95
	コナヒメ	R6	9/27	12.1	119	6,392	100	19.0	1,151	100
	コナユタカ	R6	10/15	9.0	166	6,650	104	19.6	1,239	108
	アーリースターチ	R6	9/14	8.5	158	5,979	94	18.4	1,042	91

注) 令和6年は生産力検定試験の収穫を10月16日に実施。枯ちよう期の平均は収穫時に“未達”であった年を除く。

パーセンテージは収穫前処理時点の茎葉枯ちよう割合を示す。

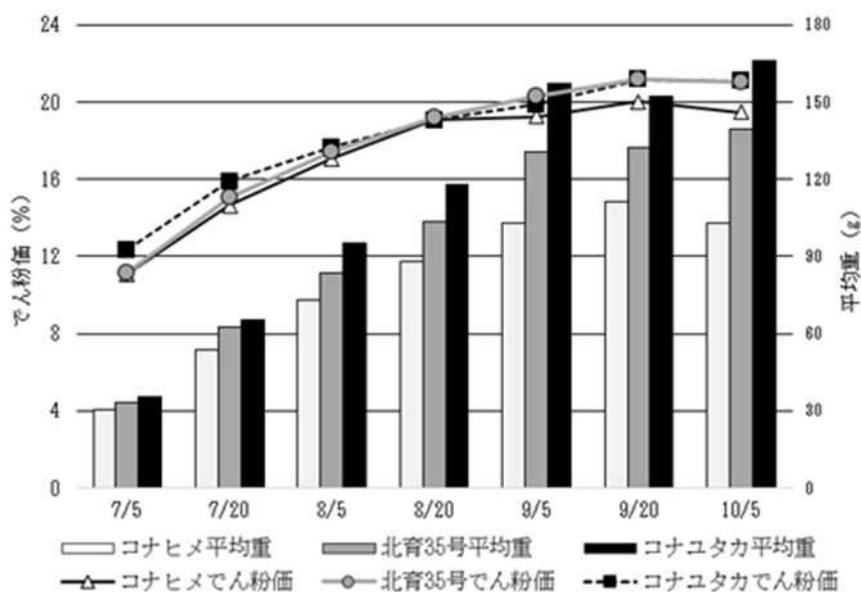


図1. 「北育35号」のでん粉価および上いも平均重の推移（令和5年～6年：北見農試）

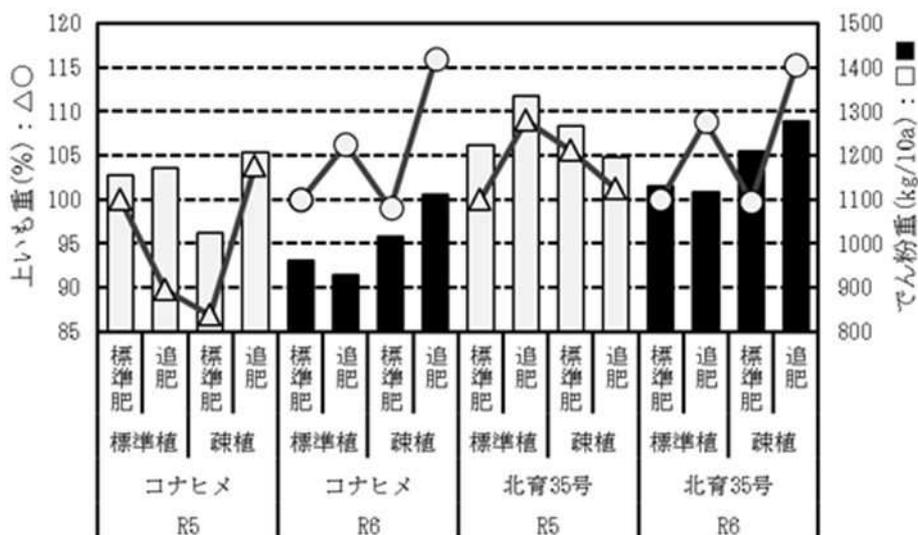


図2. 施肥量・栽植密度反応試験（令和5～6年：北見農試）

表3. 主産地適応性検定試験（令和5～6年：網走市）

収穫	系統 または 品種名	試験 年次	枯ちよ う期 (月.日)	茎長 (cm)	上いも 数 (個/株)	上いも 平均重 (g)	上いも 重 (kg/10a)	対照 比 (%)	でん粉 重 (kg/10a)	対照 比 (%)	でん粉 価 (%)	総合評価	
												単 年 度	有 望 度
普通掘り (平均)	北育35号	R5～6	未達	104	10.0	145	6,429	112	1,042	106	17.2	□	□
	コナヒメ	R5～6	9.26	92	10.1	127	5,721	100	984	100	18.2	-	-
	コナユタカ	R5～6	未達	103	7.1	195	6,162	108	1,053	107	18.0	-	-
早掘り (単年)	北育35号	R6	未達	80	8.8	115	4,554	101	667	95	15.7	-	-
	コナヒメ	R6	未達	79	8.9	112	4,501	100	704	100	16.7	-	-

新規遺伝資源に由来するでん粉原料用馬鈴しょの育成 およびデンプン含量に関わるマーカーの開発（完了課題）

1. 研究機関 国立大学法人帯広畜産大学

2. 研究期間 令和4年度～令和6年度

3. 研究目的

- (1) 近年の温暖化の影響によりウイルス病などの問題はますます深刻になり、病害虫抵抗性を新品種に付与することはほぼ必須となっている。我々はこれまで、疫病抵抗性遺伝子 (*R2*)、シストセンチュウ抵抗性遺伝子 (*HI*)、Y ウイルス抵抗性遺伝子 (*Rychc*)、及び X ウイルス抵抗性遺伝子 (*Rxl1*) に加え、メキシコ野生種に由来する高度疫病抵抗性遺伝子 *Rpi-blb3* を多重式で有する系統を DNA マーカーにより選抜し、育成してきた。一方で、野生種を用いた抵抗性遺伝子の導入やヨーロッパででん粉原料用として栽培されている品種、及び黒あし病抵抗性やシロシストセンチュウ抵抗性品種を国内に導入した。これらを交配し、病害虫抵抗性に加え高でん粉含量、高収量性の系統を育成することによって、新規遺伝資源に由来するでん粉用品種の育成および試験場への配布を行う。
- (2) 我々はこれまでアンデス在来系統由来の PGEL 優良系統 (12H189-2) と「さやか」の後代系統 160 系統を用いて、12H189-2 に由来する高でん粉含量に関わる QTL 解析を行ってきた。この研究によってでん粉含量に関わる QTL が染色体 5 番と染色体 6 番上に特定された。この QTL 領域に存在するでん粉含量に関わる遺伝子を特定し、DNA マーカーを開発すれば、高でん粉含量を有する系統を DNA 情報に基づいて推定することができ効率的なでん粉用馬鈴しょ品種の育成が可能になる。また、でん粉合成や収量に関わる遺伝子領域の配列を解読し、高でん粉含有量が期待される多型を探索する。
- (3) このため、(1) 複合病害虫抵抗性を持つ新規遺伝資源を用いたでん粉原料用品種の育成のために、(2) 農業形質に関わる DNA マーカーを用いた選抜を適応させ、一連のシステムとして構築し実証することで、北海道馬鈴しょ及び馬鈴しょでん粉用品種の振興に資する。

4. 研究内容

(1) 国外遺伝資源の導入と評価

ドイツのバレイショ遺伝子銀行より当研究室へ導入したヨーロッパにおいてでん粉原料用として栽培されている品種や黒あし病やシロシストセンチュウ抵抗性を有する 13 系統および、これまで最も高いでん粉含量を示したことが記録されている品種のビホロと、Hochprozentige の導入系統の評価を行い、我々が育成してきた複合抵抗性遺伝子を有する優良系統やでん粉原料用品種との交配し、国内のでん粉原料用優良親系統を作り出す。

(2) メキシコ産野生種を用いた Y ウイルス抵抗性、疫病抵抗性及び高でん粉含量を有する系統の育成

当研究室では、メキシコ野生種 *S. pinnatisectum* に由来する高度疫病抵抗性遺伝子 *Rpi-blb3* を多重式で有する系統を多く育成してきた。そこで交配と選抜により *Rpi-blb3* をもつ高でん粉含量を有する系統の育成を行う。また現在、日本の馬鈴しょ育種ではコナフ

ブキ由来の Y ウイルス抵抗性遺伝子 *Rychc* のみが利用されているが、諸外国では高温耐性のあるメキシコ産野生種 *S. stoloniferum* に由来する *Rysto* を持った品種が育成されている。さらにこの野生種由来の品種は高でん粉含量を有し、かつ疫病抵抗性を示すことが報告されている。しかし海外の *Rysto* 保有品種は細胞質雄性不稔性を示し、花粉親に利用できない。そこで細胞質雄性不稔を起こさない *S. stoloniferum* を利用して国内のでん粉原料用品種と交配し (R4 年度)、*Rysto* の導入を行う。その後、優良系統に戻し交配し、収量調査の結果から優良個体を選抜し、高でん粉含量と抵抗性を有する系統を育成する (R5 年度)。そして最終的に (2) の導入系統に由来する材料と交配し、国内のでん粉原料用優良親系統を作り出す (R6 年度)。

(3) でん粉含量・収量に関わる遺伝子マーカーを用いた選抜実証試験

アンデス在来種に由来する高でん粉含量に関わる QTL 領域の遺伝子を調べ、でん粉合成経路に携わる遺伝子の変異を検出する。研究内容 (1) と (2) で育成する集団の DNA を用いて DNA 多型の調査を行い、でん粉含量や収量と相関がある遺伝変異を探す。そして農業形質に関わる DNA マーカー化を図り、高でん粉系統を選抜するための一連のシステムとして構築する。

5. 研究結果

(1) 高でん粉含量でかつ疫病抵抗性および Y ウイルス抵抗性を有する系統の育成

R4 年度にアンデス在来種由来の高でん粉含量系統である 12H189-2 とメキシコ産野生種 *S. pinnatisectum* 由来の疫病抵抗性遺伝子 (*Rpi-blb3*) を有する 20H204-1 を交配して得られた 100 系統の集団 (21H111 系統群) を帯広畜産大学学内圃場にて 2 株ずつ植え付け、栽培試験ならびに収量調査を行った (写真 1-1)。集団の比重の平均は 1.088 で、最も高比重であった系統は「21H111-64」の 1.118 となり、これは標準品種として栽培した「コナフブキ」の 1.112、「コナヒメ」の 1.105、「パールスターチ」の 1.102 を上回った。それ以外に 1.100 を超えた系統は 8 系統存在した。最も収量が高かったのは 21H111-87 (1 株当たり 1.7 kg) あった。100 系統中 *Rpi-blb3* を持っていた系統は 44 系統で、高比重の 9 系統中 6 系統が *Rpi-blb3* を保有していた (第 1 表)。その中から多収で比重の高い 21H111-102 を選抜した。また 12H189-2 と、*S. stoloniferum* と栽培種との F1 雑種を交雑した 50 系統の中から、Y ウイルス抵抗性遺伝子 (*Rysto*) および疫病抵抗性遺伝子 (*R2*) を有する 21H114-19 を選抜した。

(2) 新規遺伝資源の評価

R5 年に、ヨーロッパにおいてでん粉原料用として育成された品種や黒あし病やシロシストセンチュウ抵抗性を有する 13 系統の海外導入系統中 6 系統と、これまで最も高いでん粉含量を示したことが記録されているビホロと Hochprozentige および R3 年度までの本事業にて育成した複合抵抗性遺伝子を有しかつ高でん粉含有量を示す 15 系統と標準品種 (コナフブキと男爵薯) を圃場にて栽培し、収量調査を行った (写真 1-2)。その結果、最も収量が高かったのはアンデス在来種に由来する高でん粉系統の 18H213-12 で、最も比重が高かったのは、ビホロとシロシストセンチュウ抵抗性を有する海外品種の Ambassador となった (第 2 表)。高温の影響もあり、それ以外の品種・系統はコナフブキよりも低い比重となった。また上記の新規遺伝資源を含む 26 系統を用いて交配試験を行った (第 3 表)。

(3) 新規遺伝資源の導入と高でん粉性かつ病害虫抵抗性を有する系統の作出

高でん粉性かつ *S. pinnatisectum* 由来の疫病抵抗性遺伝子 (*Rpi-blb3*) を有する 21H111-102 とアンデス在来種由来の 16H183-19 を交配した集団 (23H85 系統群) および、ビホロと育成系統の 21H114-19 を交配した集団 (23H86 系統群) を育成した。その後マーカー選抜により 23H85 系統群では Y ウイルス抵抗性遺伝子 (*Rychc*)、シストセンチュウ抵抗性遺伝子 (*HI*)、およびメキシコ野生種 *S. pinnatisectum* に由来する強度疫病抵抗性遺伝子 (*Rpi-blb3*) を有する 4 系統を選抜した。23H85 系統群ではメキシコ野生種 *S. stoloniferum* に由来する新規の Y ウイルス抵抗性遺伝子 (*Rysto*) を有する 4 系統を選抜した (第 4 表)。

R6 年度は、R5 年度選抜系統である 23H86-66 (昨年度選抜済、保有遺伝子 ; *Rysto*, *R2*, *HI*) に、高比重かつシロシストセンチュウ抵抗性を示すイギリスの品種 *Ambassador* を交配した。その結果 2 果実が得られ、種子を播種し、71 植物体 (24H66-1~71) を温室にて育成した。10 月にそれらの保有する抵抗性遺伝子を 7 種類の DNA マーカーを用いて識別した。その結果、*Rysto*, *HI*, *R1*, *R2*、および *Rx1* をもつ系統がそれぞれ 30、36、24、32、および 35 個体出現した (第 5 表)。*Rysto* を持つ 30 系統を選抜し (写真 2)、保有する抵抗性遺伝子の数を調べたところ、国内では未利用の遺伝資源に由来する *Rysto* を含む抵抗性遺伝子を最大 5 つ有する系統を得ることに成功した。上記で選抜した *Rysto* と複合抵抗性遺伝子をもつ 30 系統の塊茎を 1 月に収穫し、比重調査を行ったところ、1.076~1.128 の範囲で分布し、平均値は 1.099 と非常に高くなった。塊茎収量はポット栽培のため少なくなったが、その中でも 75 g 以上の塊茎を形成した系統も存在した。そして 2025 年 4 月 1 日に各育成場へ病害虫抵抗性に加え高でん粉含量、高収量性が期待されるでん粉用品種の親系統として配布した。

(4) でん粉合成や重要農業形質に関わる遺伝子配列の解析

アンデス在来種由来の高でん粉含量をもたらす遺伝子領域として検出された QTL 領域が *S. stoloniferum* 由来の 21H111 系統群でも効果を示すのかを検証した結果、第 5 染色体上の *solcap_snp_c2_50176* では株あたり塊茎収量、株あたり塊茎数、および比重の間に相関関係がみられた (第 6 表)。従ってこの SNP は異なる集団においても農業形質と関連があることが判明した。次に比重やその他農業形質に関わることが知られている

Phosphoglucoisomerase 1 (*PGII-4*) および *Citrate synthase* (*CIS*) 内の候補 SNP がアンデス在来種由来の系統群の農業形質へも効果があるのかを調査した。サンガーシーケンシング法を用いて SNP 位置の特定し *dosage* の推定を行った結果、*PGII-4* 領域では 7 SNP 座、*CIS* 領域では 9 SNP 座が同定された。各 SNP 座が 3 年間 (2019 年~2021 年) の形質に与えた影響を評価した結果、*PGII-4* の 1 SNP (*PGII-4_snp441*) が単年の比重に影響を与えていた ($p=0.0125$) (第 1 図)。その効果は *dosage* が「12H189-2」型である「AAAA」になると比重が上がる効果を示した。

次に、でん粉含有量、収量、熟期および高温耐性に関わる遺伝子である *Cycling Dof transcription factors1* (*CDF1*) の遺伝子型を本研究材料で調べた。その結果、導入品種および優良系統のほとんどがでん粉含有量と収量を高くする遺伝子型の *CDF1.2* 型と *CDF1.3* 型を持っていた (第 2 表右)。さらに *CDF1.2* 型と *CDF1.3* 型を両方同時にもつことで草丈が高く、比重が高くなる傾向があることが分かった (第 2 図)。

次世代シーケンサーを用いてでん粉合成や収量や熟期などの重要農業形質に関わる 3 つ

の遺伝子 (*CDF1*, *SP6A*, *PGI*) の遺伝子配列を解読した。その結果、*CDF1* には 35 の変異、*SP6A* には 43 の変異、*PGI* には 30 の変異が検出された。その中でも *CDF1* の 2 か所、*SP6A* の 1 か所、*PGI* の 3 か所はアミノ酸へも変異をもたらし、タンパク質の構造を大きく変えることがわかった。今後、でん粉原料用馬鈴しょ品種や育成系統におけるこれら遺伝子の変異を明らかにし、農業形質（比重、熟期、収量等）との関わりを調べることで、でん粉合成に有利な変異をもつ系統を選抜することが可能になる。

以上の DNA 多型解析の結果から、第 5 染色体の *solcap_snp_c2_50176*、*CDF1*、*SP6A* および、第 4 染色体上の *PGI* の多型の 4 領域の遺伝子型を調べることで、でん粉含有量が高い傾向の系統を効率的に選抜できると考える。

6. 今後期待される成果

本研究で選抜、育成、配布された高でん粉性および病害虫抵抗性遺伝子を兼ね揃えた系統を親系統として利用すれば、でん粉原料用馬鈴しょ育種における早期的な優良品種の育成に貢献できると期待される。また配列解読を行った 3 つの遺伝子の多型と SNP マーカーと農業形質との関係を明らかにすればでん粉含有量が高い傾向の望ましい形質をもった育成系統の効率的な選抜が可能となると期待される。



写真 1-1 21H111 系統群の栽培試験の様子 (R4) , 1-2 導入系統の栽培の様子 (R5)

第 1 表. 令和 4 年度に選抜した 21H111 系統群の調査結果

系統	塊茎収量 (g/株)	塊茎数 (個/株)	塊茎 1 個 (g)	比重	熟期 (日)	<i>Rpi-blb3</i>
21H111-4	584.2	11.5	50.8	1.101	93	+
21H111-5	62.9	2.0	31.5	1.104	135	-
21H111-36	223.3	6.0	37.2	1.105	93	-
21H111-38	495.8	11.5	43.1	1.103	93	+
21H111-39	26.6	1.0	26.6	1.101	89	-
21H111-42	148.7	7.0	21.2	1.104	140	+
21H111-64	249.7	6.0	41.6	1.118	113	+
21H111-102	1218.0	15.5	78.6	1.117	119	+
21H111-103	839.4	12.0	69.9	1.102	140	+
コナフブキ	1237.5	12.5	99.0	1.112	113	-
コナヒメ	2372.1	22.0	107.8	1.109	113	-
パールスターチ	1645.8	12.0	137.1	1.102	119	-

第2表. 令和5年度に評価した品種・系統の収量、比重、抵抗性遺伝子、およびCDF1遺伝子型の結果

系統名	品種名と系譜	抵抗性遺伝子 ¹⁾	株数	総重量 (kg)	比重	1株/kg	CDF1遺伝子型
23H24	ビホロ		3	2.33	1.122	0.78	CDF1.1
23H25	Hochprozentige		3	4.00	1.098	1.33	CDF1.1
22H131	Flora		2	1.48	1.069	0.74	CDF1.1, 1.2
22H132	Intenso	<i>H1(2), Rx</i>	1	1.85	1.078	1.85	CDF1.1
22H133	Oleva	<i>H1</i>	3	3.43	1.082	1.14	CDF1.1, 1.2
22H134	Wotan	<i>H1, Rx</i>	2	1.59	1.082	0.80	CDF1.1, 1.3
22H142	Ambassador	<i>G. pallida</i>	2	3.04	1.101	1.52	CDF1.1, 1.2
13H215	DG-D4-21	Late blight, <i>Rx(2)</i>	3	0.93	1.086	0.31	CDF1.1
16H182-37	Sayaka × 12H189-2	<i>H1(2), Rx1(2), Rychc, R1</i>	3	2.52	1.069	0.84	CDF1.1, 1.3
16H182-44	Sayaka × 12H189-2	<i>H1, Rx1, Rychc</i>	3	4.45	1.085	1.48	CDF1.1
16H182-49	Sayaka × 12H189-2	<i>H1(2), Rx1(2)</i>	0	0.003	1.053		
16H183-34	Sayaka × 12H189-2	<i>Rx1, Rychc, R1</i>	0	無	無		CDF1.1, 1.3
16H183-51	Sayaka × 12H189-2	<i>H1, Rx1, Rychc, R1</i>	1	0.63	1.069	0.63	CDF1.1, 1.3
16H183-19	Sayaka × 12H189-2	<i>H1, Rx1(2), Rychc</i>	3	3.07	1.096	1.02	CDF1.1, 1.3
14H213-9	Schwalbe × H98A11	<i>Ryadg</i>	1	0.71	1.067	0.71	CDF1.1
14H213-38	Schwalbe × H98A11	<i>Ryadg</i>	2	2.61	1.064	1.31	CDF1.1
14H214-11	H98A11 × Schwalbe	<i>Ryadg</i>	3	2.75	1.058	0.92	CDF1.1
21H111-87	18H204-1 × 12H189-2	<i>H1(2), Rychc, R1, Rpi-blb3</i>	5	6.76	1.083	1.35	CDF1.1, 1.3
21H111-102	18H204-1 × 12H189-2	<i>H1, R1, Rpi-blb3</i>	5	8.19	1.095	1.64	CDF1.1, 1.2, 1.3
21H111-106	18H204-1 × 12H189-2	<i>H1, Rychc, R1</i>	5	3.60	1.094	0.72	CDF1.1, 1.2, 1.3
21H111-117	18H204-1 × 12H189-2	<i>H1, Rx1, Rychc, R1</i>	5	4.82	1.092	0.96	CDF1.1, 1.2, 1.3
21H114-14	19H131 × 12H189-2	<i>H1, Rx(2), R2, Rysto</i>	0	無	無		CDF1.1, 1.3
21H114-19	19H131 × 12H189-2	<i>Rx1(2), R2, Rysto</i>	3	1.97	1.085	0.66	CDF1.1, 1.3
12H189-2	Andigena PI 473261 × 10H17	<i>H1(2), Rx1(2)</i>	3	3.56	1.087	1.19	CDF1.1, 1.3
18H204-1	Early Rose × 17H149-13	<i>H1, Rychc, Rpi-blb3</i>	3	3.77	1.065	1.26	CDF1.1, 1.2
18H213-12		<i>Rysto</i>	5	8.21	1.060	1.64	CDF1.1, 1.3
コナフブキ			3	2.63	1.106	0.88	CDF1.1
男爵薯			3	3.16	1.077	1.06	CDF1.1

¹⁾括弧内の数値はコピー数を示す。

第3表. 交配に成功した組み合わせと果実数

母親	花粉親	交配花数	果実数
22H133	14H213-38	9	2
22H133	21H114-19	8	1
22H134	14H213-38	7	1
22H142	14H213-38	3	1
23H24	21H114-19	6	1
23H25	14H213-38	7	1
21H111-87	16H183-19	3	2
21H111-102	16H183-19	5	2
21H111-106	16H183-19	6	1
21H111-117	16H183-19	4	1
16H183-19	14H213-38	6	2
16H183-19	コナフブキ	5	2

第4表. 23H85 と 23H86 系統群のマーカー選抜結果

系統番号	保有抵抗性遺伝子		系統番号	保有抵抗性遺伝子	
23H85-1	<i>Ryhc</i>	<i>H1</i>	23H85-35		<i>Rpi-blb3</i>
23H85-2			23H85-36		
23H85-3	<i>Ryhc</i>	<i>H1</i>	23H85-37	<i>Ryhc</i>	<i>H1</i>
23H85-4	<i>Ryhc</i>	<i>H1</i>	23H85-38	<i>Ryhc</i>	<i>H1</i>
23H85-5		<i>Rpi-blb3</i>	23H85-39	<i>Ryhc</i>	<i>H1</i>
23H85-6		<i>Rpi-blb3</i>	23H85-40		
23H85-7		<i>Rpi-blb3</i>	23H85-41		<i>Rpi-blb3</i>
23H85-8		<i>Rpi-blb3</i>	23H85-42		
23H85-9			23H85-43		<i>Rpi-blb3</i>
23H85-10		<i>Rpi-blb3</i>	23H85-44	<i>Ryhc</i>	<i>H1</i>
23H85-11	<i>Ryhc</i>	<i>H1</i>	23H85-45		<i>Rpi-blb3</i>
23H85-12			23H85-46		
23H85-13	<i>Ryhc</i>	<i>H1</i>	23H85-47		<i>Rpi-blb3</i>
23H85-14	<i>Ryhc</i>	<i>H1</i>	23H85-48	<i>Ryhc</i>	<i>H1</i>
23H85-15			23H85-49		
23H85-16			23H85-50	<i>Ryhc</i>	<i>H1</i>
23H85-17	<i>Ryhc</i>	<i>H1</i>	23H85-51		
23H85-18	<i>Ryhc</i>	<i>H1</i>	23H85-52		<i>Rpi-blb3</i>
23H85-19	<i>Ryhc</i>	<i>H1</i>	23H85-53		<i>Rpi-blb3</i>
23H85-20	<i>Ryhc</i>	<i>H1</i>	23H85-54		
23H85-21			23H85-55		
23H85-22		<i>Rpi-blb3</i>	23H85-56		
23H85-23			23H85-57		
23H85-24	<i>Ryhc</i>	<i>H1</i>	23H85-58	<i>Ryhc</i>	<i>H1</i>
23H85-25	<i>Ryhc</i>	<i>H1</i>	23H85-59	<i>Ryhc</i>	<i>H1</i>
23H85-26		<i>Rpi-blb3</i>	23H85-60		
23H85-27					
23H85-28		<i>Rpi-blb3</i>	23H86-61		
23H85-29			23H86-62		<i>Rysto</i>
23H85-30			23H86-63	<i>R2</i>	<i>H1</i>
23H85-31		<i>Rpi-blb3</i>	23H86-64	<i>R2</i>	<i>H1</i>
23H85-32	<i>Ryhc</i>	<i>H1</i>	23H86-65		<i>Rysto</i>
23H85-33	<i>Ryhc</i>	<i>H1</i>	23H86-66	<i>R2</i>	<i>H1</i>
23H85-34			23H86-67		

* 黄色マーカーで記した系統は選抜系統

第5表. 令和6年度に育成、選抜した系統の保有抵抗性遺伝子と比重（ライマン価）

	<i>Rysto</i>	<i>HI</i>	<i>RI</i>	<i>R2</i>	<i>Rx1</i>	保有抵抗性 遺伝子数	比重	ライマン 価	収量	保有抵抗性遺伝子
24H66-1		+			+	2				
24H66-2	+	+		+	+	4	1.089	15.9	80.5	<i>Rx1, R2, HI, Rysto</i>
24H66-3		+	+	+		3				
24H66-4	+				+	2	1.112	20.8	51.8	<i>Rx1, Rysto</i>
24H66-5			+		+	2				
24H66-6	+	+	+	+	+	5	1.084	14.8	40.0	<i>RI, Rx1, R2, HI, Rysto</i>
24H66-7				+		1				
24H66-8	+	+	+		+	4	1.118	22.1	83.8	<i>RI, Rx1, HI, Rysto</i>
24H66-9						0				
24H66-10			+		+	2				
24H66-11		+		+	+	3				
24H66-12			+			1				
24H66-13		+		+		2				
24H66-14				+	+	2				
24H66-15	+		+	+	+	4	1.093	16.7	34.6	<i>RI, Rx1, R2, Rysto</i>
24H66-16	+				+	2	1.122	22.9	55.5	<i>Rx1, Rysto</i>
24H66-17	+		+	+	+	4	1.098	17.8	42.8	<i>RI, Rx1, R2, Rysto</i>
24H66-18	+		+	+		3	1.103	18.9	53.2	<i>RI, R2, Rysto</i>
24H66-19	+					1	1.089	15.9	34.9	<i>Rx1, Rysto</i>
24H66-20		+	+	+	+	4				
24H66-21	+					1	1.114	21.2	60.2	<i>Rysto</i>
24H66-22	+	+	+		+	4	1.096	17.4	42.3	<i>RI, Rx1, HI, Rysto</i>
24H66-23	+	+	+			3	1.097	17.6	60.5	<i>RI, HI, Rysto</i>
24H66-24			+	+		2				
24H66-25	+					1	1.098	17.8	50.9	<i>Rysto</i>
24H66-26				+	+	2				
24H66-27	+	+	+	+	+	5	1.090	16.1	53.5	<i>RI, Rx1, R2, HI, Rysto</i>
24H66-28		+		+		2				
24H66-29				+		1				
24H66-30		+		+		2				

24H66-31		+			+	2						
24H66-32				+		1						
24H66-33					+	1						
24H66-34	+	+	+		+	4	1.092	16.5	24.6	<i>R1, Rx1, HI, Rysto</i>		
24H66-35	+	+	+		+	4	1.101	18.4	56.3	<i>R1, Rx1, HI, Rysto</i>		
24H66-36	+	+			+	3	1.098	17.8	59.7	<i>R2, HI, Rysto</i>		
24H66-37	+				+	2	1.084	14.8	62.0	<i>Rx1, Rysto</i>		
24H66-38					+	1						
24H66-39	+				+	2	1.091	16.3	77.9	<i>R2, Rysto</i>		
24H66-40	+					1	1.095	17.2	41.6	<i>Rx1, Rysto</i>		
24H66-41	+				+	2	1.089	15.9	49.7	<i>Rx1, Rysto</i>		
24H66-42	+	+				2	1.103	18.9	75.7	<i>HI, Rysto</i>		
24H66-43		+			+	3						
24H66-44		+	+		+	3						
24H66-45		+			+	2						
24H66-46					+	2						
24H66-47		+			+	3						
24H66-48					+	1						
24H66-49		+			+	2						
24H66-50					+	1						
24H66-51			+			1						
24H66-52	+	+			+	3	1.092	16.5	42.8	<i>Rx1, HI, Rysto</i>		
24H66-53		+				1						
24H66-54	+	+	+			3	1.121	22.7	56.0	<i>R1, HI, Rysto</i>		
24H66-55	+					1	1.122	22.9	99.1	<i>Rysto</i>		
24H66-56		+			+	2						
24H66-57		+			+	2						
24H66-58	+	+	+			3	1.097	17.6	16.4	<i>HI, Rysto</i>		
24H66-59					+	1						
24H66-60					+	1						
24H66-61		+	+	+	+	4						
24H66-62	+	+			+	3	1.095	17.2	34.5	<i>R1, R2, HI, Rysto</i>		
24H66-63					+	1						
24H66-64						0						
24H66-65	+	+	+			3	1.074	12.6	47.6	<i>HI, Rysto</i>		

24H66-66		+	+	+	+	4				
24H66-67	+	+			+	3	1.128	24.2	52.3	<i>RxI, HI, Rysto</i>
24H66-68						0				
24H66-69		+			+	2				
24H66-70		+		+		2				
24H66-71	+					1	1.076	13.1	24.7	<i>RxI, Rysto</i>
合計系統数	30	36	24	32	35					

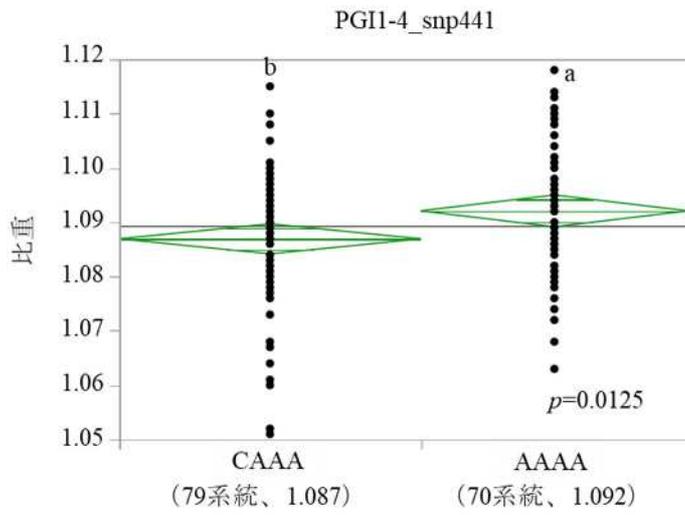


写真2. 令和6年度に選抜した24H66系統

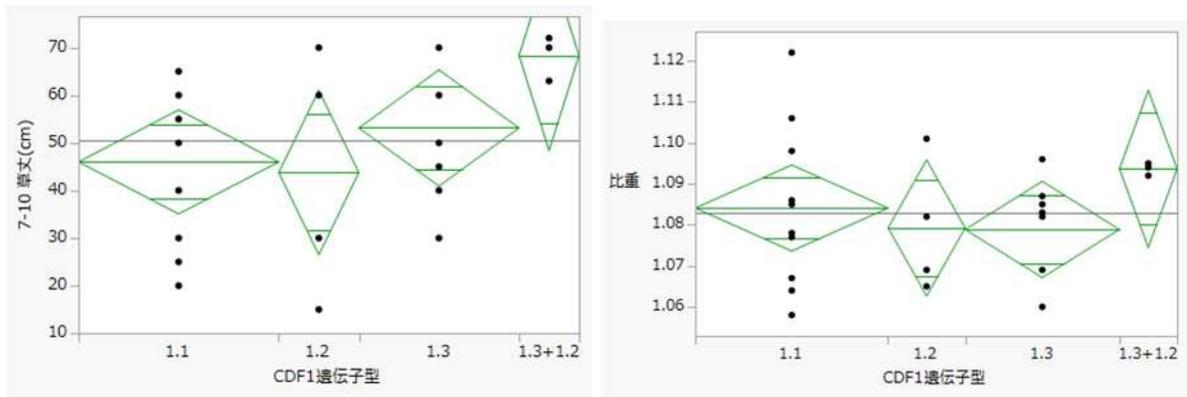
第6表. 50176_CFプライマーと21H111系統群の農業形質との相関関係

プライマー名	塊茎収量 (g/株)	塊茎数 (個/株)	塊茎1個重 (g)	熟期 (日)	比重
50176_CF	-0.211*	-0.135	-0.242*	0.043	-0.297**

5%水準で有意な場合は*, 1%水準で有意な場合は**で示す。



第 1 図. PGI1-4_snp441 が比重に与えた影響



第 2 図. *CDF1* 遺伝子型が草丈と比重に及ぼす効果

でん粉特性の優れたジャガイモシロシストセンチュウ抵抗性 でん粉原料用品種の開発 (完了課題)

1. 研究機関 国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構
北海道農業研究センター

2. 研究期間 令和6年度

3. 研究目的

- (1) ジャガイモシロシストセンチュウ (Gp) は、世界的にも馬鈴しょ生産における被害が深刻な害虫で、日本では2015年にでん粉原料用馬鈴しょの主産地において初めて発生が確認された。そこで、Gpの被害軽減や拡大防止のために、Gp抵抗性品種の開発が進められている。
- (2) 海外で育成されたGp抵抗性でん粉原料用品種「フリア」は、現在、でん粉原料用馬鈴しょの主産地において普及が進みつつある。一方、「フリア」のでん粉は、代表的でん粉原料用品種「コナヒメ」のものと比べて、離水率が高めであるため、水産練り製品への利用には不向きと考えられる。
- (3) このため、でん粉特性の優れたGp抵抗性でん粉原料用品種の開発に取り組む必要がある。

4. 研究内容

(1) Gp抵抗性でん粉原料用品種の開発

2023年度及び2024年度に下記のGp抵抗性でん粉原料用品種系統について、栽培試験を実施した。なお、植付日は、いずれの栽培年も5月9日、収穫日については、2023年度は10月12日、2024年度は10月18日とした。施肥量はN: 6.4 kg/10a、2反復で試験を実施し、収穫した塊茎について、収量調査を行った。

2023年度：代表的でん粉原料用品種（「コナフブキ」、「パールスターチ」、「コナヒメ」、「コナユタカ」）、Gp抵抗性でん粉原料用品種「フリア」、交配によって得られたGp抵抗性でん粉原料用系統（「北海114号」、「勝系58号」、「16057-17」、「16134-5」、「17194-21」、「18212-45」）

2024年度：代表的でん粉原料用品種（「コナフブキ」、「パールスターチ」、「コナヒメ」、「コナユタカ」）、Gp抵抗性でん粉原料用品種「フリア」、交配によって得られたGp抵抗性でん粉原料用系統（「北海114号」、「勝系58号」、「勝系63号(18212-45)」、「17194-21」）

(2) でん粉品質の評価

でん粉品質の優れたGp抵抗性品種の開発を目指すことを目的として、上記(1)で得られた馬鈴しょ塊茎からでん粉を調製し、各種でん粉品質を評価した。でん粉品質の測定項目は、リン含量、アミロース含量、メジアン径、離水率、ラピッドビスコアライザー (RVA) による粘度特性、示差走査熱量計 (DSC) による糊化特性、色彩値とした (2024年度のメジアン径、DSC糊化特性は未実施)。リン含量

は、乾式灰化した試料を塩酸抽出し、次いでろ過を行った後に、ICP 発光分析法により測定した。アミロース含量は、ヨウ素染色したでん粉の 680nm の吸光度（青価）により計算する簡易法により測定した。青価測定時には、でん粉 0.2 mg、ヨウ素 0.4 mg、ヨウ化カリウム 4 mg を含有する溶液 5ml を用いた。アミロース含量 (%) = (試料の青価 - アミロペクチンの青価) × 100 / (アミロースの青価 - アミロペクチンの青価) の計算式からアミロース含量を求めた。ここで馬鈴しょのアミロース、アミロペクチンの青価は、既知の値（アミロース：1.40、アミロペクチン：0.243）を用いた。メジアン径は、レーザー回折式の粒度分布測定装置 HELOS を使用して求めた。離水率は、0.1M NaCl を含んだ 4 % でん粉懸濁液から調製したでん粉ゲルを 4℃ で 1 週間保存し、ゲルから吐き出された水を拭き取った後にゲルの重量を測定することで求めた。でん粉の粘度特性については、RVA-4（Newport Scientific 社）により分析した。まず、4 % でん粉懸濁液を 50℃ で 1 分間保持した後、50℃ から 95℃ まで 12.2℃ / 分で昇温し、95℃ で 2.5 分保った。次いで、95℃ から 50℃ まで 11.8℃ / 分で降温し、50℃ で 2 分間保持した。この間におけるでん粉溶液の粘度曲線から、ピーク粘度、ブレイクダウン（加熱時の粘度低下）、セットバック（冷却時の粘度上昇）について読み取った。でん粉の糊化特性については、DSC 6100（セイコーインスツルメンツ(株)）を用い、でん粉濃度 30% で 25℃ から 130℃ まで 2℃ / 分で昇温して測定した。得られた DSC 曲線から、糊化開始温度、糊化ピーク温度、糊化熱について読み取った。でん粉の色彩値については、色彩色差計 NE 400（日本電色工業(株)）を用いて、L*値、a*値、b*値を読み取ることで測定した。

5. 研究結果

(1) Gp 抵抗性でん粉原料用品種の開発

2023 年度：表 1 に示すように、「北海 114 号」は、でん粉価が 14.5% と標準であるにもかかわらず、面積当たりの上いも重が 7956.8 kg/10a と断然重いため、面積当たりのでん粉収量が 1075.2 kg/10a と高い。他の Gp 抵抗性でん粉原料用系統の面積当たりのでん粉収量の結果をみると、2023 年度から試験を開始した「18212-45」が高く、「北海 114 号」と同レベルである。

2024 年度：表 2 に示すように、「北海 114 号」は、2023 年度と同様に面積当たりの上いも重が 10056.4 kg/10a と重いが、2023 年度とは異なりでん粉価が 10.7% と低い。そのため、面積当たりのでん粉収量は 954.2 kg/10a で、「コナユタカ」、「コナヒメ」、「パールスターチ」より低い値であるものの、既存の抵抗性品種「フリア」を上回る。2024 年度に系統番号が付与された「勝系 63 号（18212-45）」の面積当たりのでん粉収量は、「北海 114 号」に比べて若干高い。

(2) でん粉品質の評価

2023 年度：供試したでん粉原料用品種系統から調製したでん粉のリン含量、アミロース含量、メジアン径、離水率について表 3 に示す。リン含量は 69.5~104.6

mg/100g と明らかな差がみられ、育成系統では「勝系 58 号」、「16134-5」、「18212-45」が高い値を示す。アミロース含量は 23.8～29.1 % に分布し、育成系統では「北海 114 号」、「17194-21」が高く、「18212-45」が低い。メジアン径は 39.4～49.2 μm で、「17194-21」が最も大きく、「16134-5」が最も小さい。2022 年度の結果で最大値を示した有望系統の「北海 114 号」は、46.6 μm と大きい傾向がある。離水率は 25.1～45.1 % に分布し、これまでに離水率の低いことで知られている「パールスターチ」より低い値を示す育成系統はみられない。供試した品種系統からのでん粉の RVA による粘度特性の結果について表 4 に示す。ピーク粘度は 291.3～358.6 RVU、ブレードダウンは 179.0～251.5 RVU といずれも明確な差異が認められる。品種系統別では、いずれの値も「18212-45」が最も高く、「コナヒメ」が最も低い。「勝系 58 号」は、ピーク粘度が 339.2 RVU、ブレードダウンが 228.2 RVU と、いずれの値も高い傾向がある。セットバックは、2022 年度と同じく、いずれの品種系統も 20RVU 以下と極めて低い。DSC によりでん粉の糊化特性を解析した結果を表 5 に示す。糊化開始温度は 64.6～66.4 °C、糊化ピーク温度は 67.4～69.2 °C、糊化熱は 19.6～20.4 J/g といずれも差異が小さい。色彩色差計によるでん粉の色彩値 (L*値、a*値、b*値) の結果を表 6 に示す。いずれの品種系統も L*値が 95 以上、a*値、b*値がともに 0 に近く、十分は白度である。

2024 年度：供試したでん粉原料用品種系統から調製したでん粉のリン含量、アミロース含量、離水率について表 7 に示す。リン含量は 56.1～91.1 mg/100g と明らかな差がみられ、育成系統では「勝系 58 号」、「勝系 63 号 (18212-45)」が高い値を示す。アミロース含量は 23.4～29.5 % に分布し、育成系統では「北海 114 号」、が高く、「勝系 58 号」、「勝系 63 号 (18212-45)」が低い。離水率は 29.9～41.6 % に分布し、2023 年度と同様に「パールスターチ」より低い値を示す育成系統はみられない。表 8 に示すように、RVA による粘度特性の結果については、ピーク粘度は 270.9～361.8 RVU、ブレードダウンは 152.9～262.5 RVU といずれも明確な差異が認められる。品種系統別では、いずれの値も「勝系 58 号」、「勝系 63 号 (18212-45)」が高く、「フリア」が最も低い。セットバックは、2022 年度、2023 年度と同様に、いずれの品種系統も 20RVU 以下と極めて低く、短時間に老化しにくいことが示唆される。表 9 に示すように、でん粉の色彩値 (L*値、a*値、b*値) の結果をみると、いずれの品種系統も 2022 年度、2023 年度と同様に、白度について満足のいく結果が得られている。

これまでの 3 年間の結果から、現在、Gp 抵抗性でん粉原料用の品種化に取り組んでいる「北海 114 号」のでん粉については、リン含量はこれまでの主要品種である「コナフブキ」とほぼ同等で、リン含量の影響を受けるとされる離水率や RVA によるピーク粘度、ブレードダウンも「コナフブキ」とほぼ同等の値を示す。次いで有望とされている「勝系 58 号」のでん粉は、リン含量が高いため、ピーク粘度、ブレードダウンがともに高く、粘りを活かすような食品開発に有望と考えられる。

6. 今後期待される成果

Gp 抵抗性でん粉原料用品種の開発を推進することにより、Gp の発生地域拡大を防止することが期待される。でん粉特性の優れた品種開発を通じて、馬鈴しょでん粉を利用する食品産業の振興にも貢献する。

< 具体的データ >

表1 Gp 抵抗性でん粉原料用品種系統の農業特性 (2023 年度栽培)

	上いも数 (個/株)	上いも平均重 (g)	上いも重 (kg/10a)	でん粉価 (%)	でん粉収量 (kg/10a)
コナフブキ	14.1	90.6	5667.2	18.0	966.7
パールスターチ	12.1	105.6	5666.8	15.6	825.3
コナヒメ	15.4	99.0	5568.1	17.0	889.0
コナユタカ	12.0	107.7	5725.7	17.2	926.9
フリア	19.8	74.8	6557.1	13.9	844.9
北海114号 (勝系54号)	23.7	75.6	7956.8	14.5	1075.2
勝系58号 (17156-69)	16.5	83.8	6159.6	16.7	972.3
16057-17	15.0	97.6	6500.1	13.0	782.3
16134-5	19.1	62.8	5323.4	12.8	630.9
17194-21	13.3	98.9	5815.2	15.2	828.4
18212-45	18.2	82.7	6682.9	17.5	1108.9

表2 Gp 抵抗性でん粉原料用品種系統の農業特性 (2024 年度栽培)

	上いも数 (個/株)	上いも平均重 (g)	上いも重 (kg/10a)	でん粉価 (%)	でん粉収量 (kg/10a)
コナフブキ	13.2	87.5	5102.1	17.5	843.2
パールスターチ	10.4	145.3	6693.9	16.9	1065.2
コナヒメ	16.3	92.1	6682.5	17.1	1074.1
コナユタカ	9.3	181.0	7440.9	19.4	1366.0
フリア	17.5	82.0	6407.7	11.5	670.1
北海114号 (勝系54号)	26.2	86.0	10056.4	10.7	954.2
勝系58号 (17156-69)	15.5	83.0	5726.9	17.2	929.2
勝系63号 (18212-45)	10.6	114.0	5390.3	19.7	1007.6
17194-21	12.9	97.0	5561.9	16.3	850.2

表3 Gp 抵抗性でん粉原料用品種系統のでん粉のリン含量、アミロース含量、メジアン径、離水率（2023 年度栽培）

	リン含量 (mg/100g)	アミロース 含量(%)	メジアン径 (μ m)	離水率 (%)
コナフブキ	81.8	26.5	44.7	38.5
パールスターチ	104.6	23.8	43.1	25.1
コナヒメ	69.5	27.3	45.0	30.5
コナユタカ	72.7	29.1	46.2	41.3
フリア	81.7	28.5	45.5	42.2
北海114号（勝系54号）	73.7	28.2	46.6	36.0
勝系58号（17156-69）	102.3	25.6	40.7	38.3
16057-17	80.3	26.0	47.1	36.5
16134-5	101.0	25.9	39.4	34.8
17194-21	87.6	28.3	49.2	45.1
18212-45	103.7	24.9	44.3	37.3

表4 Gp 抵抗性でん粉原料用品種系統のでん粉のRVAによる粘度特性値（2023 年度栽培）

	ピーク粘度 (RVU)	ブレークダウン (RVU)	セットバック (RVU)
コナフブキ	329.8	210.1	11.0
パールスターチ	319.0	217.4	10.3
コナヒメ	291.3	179.0	11.8
コナユタカ	313.3	193.3	16.7
フリア	336.6	217.4	11.2
北海114号（勝系54号）	306.4	186.3	12.5
勝系58号（17156-69）	339.2	228.2	7.9
16057-17	313.4	195.9	11.5
16134-5	346.0	237.4	9.8
17194-21	340.3	214.1	11.8
18212-45	358.6	251.5	10.0

表5 Gp 抵抗性でん粉原料用品種系統のでん粉の DSC による糊化特性値 (2023 年度栽培)

	糊化開始温度 (°C)	糊化ピーク温度 (°C)	糊化熱 (J/g)
コナフブキ	65.3	68.2	19.8
パールスターチ	64.6	67.6	19.9
コナヒメ	64.7	67.4	19.6
コナユタカ	65.4	68.2	19.7
フリア	66.1	68.9	19.9
北海114号 (勝系54号)	65.6	68.4	20.1
勝系58号 (17156-69)	65.8	69.0	20.4
16057-17	65.3	67.9	20.0
16134-5	65.1	68.0	20.1
17194-21	66.4	69.2	19.9
18212-45	65.5	68.8	20.4

表6 Gp 抵抗性でん粉原料用品種系統のでん粉の色彩値 (2023 年度栽培)

	L*	a*	b*
コナフブキ	96.7	0.21	0.58
パールスターチ	96.2	0.16	1.35
コナヒメ	96.1	0.35	0.65
コナユタカ	96.1	0.37	0.68
フリア	95.7	0.06	1.73
北海114号 (勝系54号)	95.7	-0.03	1.65
勝系58号 (17156-69)	95.6	0.24	1.76
16057-17	96.1	0.19	1.23
16134-5	95.7	0.36	1.68
17194-21	95.6	0.28	1.53
18212-45	96.0	0.21	1.31

表7 Gp 抵抗性でん粉原料用品種系統のでん粉のリン含量、アミロース含量、離水率（2024 年度栽培）

	リン含量 (mg/100g)	アミロース 含量(%)	離水率 (%)
コナフブキ	70.1	25.8	37.6
パールスターチ	91.1	23.4	29.9
コナヒメ	57.6	27.1	33.9
コナユタカ	74.3	28.3	36.0
フリア	66.5	29.5	37.3
北海114号（勝系54号）	56.1	28.5	36.5
勝系58号（17156-69）	85.0	23.8	39.2
勝系63号（18212-45）	88.1	23.9	35.6
17194-21	69.5	27.4	41.6

表8 Gp 抵抗性でん粉原料用品種系統のでん粉のRVAによる粘度特性値（2024 年度栽培）

	ピーク粘度 (RVU)	ブレイクダウン (RVU)	セットバック (RVU)
コナフブキ	325.9	209.0	11.7
パールスターチ	325.0	224.9	12.1
コナヒメ	319.5	207.2	14.2
コナユタカ	310.4	204.3	16.5
フリア	270.9	152.9	14.5
北海114号（勝系54号）	309.2	179.8	16.6
勝系58号（17156-69）	361.8	259.5	10.5
勝系63号（18212-45）	360.4	262.5	10.9
17194-21	331.4	216.5	13.2

表9 Gp 抵抗性でん粉原料用品種系統のでん粉の色彩値 (2024 年度栽培)

	L*	a*	b*
コナフブキ	96.2	-0.12	1.17
パールスターチ	95.8	-0.02	1.64
コナヒメ	95.7	-0.07	1.16
コナユタカ	95.6	-0.12	1.51
フリア	95.4	-0.10	1.73
北海114号 (勝系54号)	95.5	-0.14	1.63
勝系58号 (17156-69)	95.8	-0.08	1.15
勝系63号 (18212-45)	95.8	-0.07	1.51
17194-21	95.5	-0.12	1.74

日本未発生の馬鈴しょ寄生性線虫のでん粉原料用馬鈴しょ 道内主要栽培品種に対する加害性の解明 (完了課題)

1. 研究機関 国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構
植物防疫研究部門

2. 研究期間 令和5年度～令和6年度

3. 研究目的

- (1) 馬鈴しょの有害線虫であるコロンビアネコブセンチュウ (*Meloidogyne chitwoodi*, 以下 Mc)、ニセコロンビアネコブセンチュウ (*M. fallax*, 以下 Mf)、ニセネコブセンチュウ (*Nacobbus aberrans*, 以下 Na) の3種は、日本未発生であり、輸入植物検疫上も寄主植物地下部の栽培地検査を要求するなど、重要度の高い有害線虫として侵入を警戒している。
- (2) 植物防疫法の一部改正により重要病害虫に係る侵入警戒態勢が強化される中、上記3種の線虫が日本産馬鈴しょ品種に発生した場合、どのような病徴(寄生程度や根のコブのでき方など)を示すか明らかではなく、早期発見に向けた情報が不足している。特に、コナヒメなどの栽培面積の多い北海道内の主要栽培品種における加害程度の情報が重要となる。
- (3) このため、これら3種の線虫のでん粉原料用馬鈴しょ道内主要栽培品種に対する接種試験を行い、各品種における寄生程度や病徴を明らかにすることで、北海道馬鈴しょ及び馬鈴しょでん粉の生産振興に資する。

4. 研究内容

(1) 線虫3種の接種原調製のための増殖条件等の検討

植物防疫法に基づき農林水産大臣の許可を得て輸入し、管理・保有している Mc (米国産、米国 USDA ARS の Inga Zasada 博士より提供、農林水産省指令3横植第1146号)、Mf (英国産、英国 FERA の Tom Prior 博士提供、農林水産省指令3横植第1032号)、Na (ペルー産、フランス ANSES の Nathan Garcia 博士提供、農林水産省指令2横植第1139号) のそれぞれについて十分量の接種幼虫頭数を効率的に確保するために、増殖に用いる植物や温度・栽培期間などの条件を検討する。なお、これら3種の線虫はいずれも許可条件に基づき、施設内の人工気象器やインキュベータ内での増殖を前提とする。

(2) でん粉原料用馬鈴しょ品種への線虫接種試験

上記3種の線虫について、でん粉原料用馬鈴しょ主要品種に幼虫接種し、一定期間栽培後の寄生程度や病徴(根のコブ・ゴールの形成の様子)を調査する。なお、1年目はコナフブキ、パールスターチ、フリアへの接種試験を実施し、2年目は1年目の追試に加えてコナヒメ、コナユタカへの接種試験を実施する。

5. 研究結果（令和6年度のまとめ）

（1）線虫3種の接種原調製のための増殖条件等の検討

試行・検討の結果、Mc（米国産）、Mf（英国産）、Na（ペルー産）のいずれにおいても、分散防止の観点等から試験管等の小規模での増殖を試みたが、そもそも植物体の維持が困難なことが多いなど増殖には適していなかった。なお、φ30 mm×H 120 mm 試験管を用いて、つるなしインゲン「さつきみどり2号」を播種し、Na を接種して栽培したが、コブや卵のうは確認できなかった（令和5年度実施）。いずれの線虫種の接種原調製においても、トマトのポット苗で増殖することが最も有効であった。Mc 及び Mf の接種原増殖のために、10.5cm または 13.5cm のポットを用いて粒状培土を用いて 25℃・16 時間照明のインキュベーター内で 40 日以上栽培することで多数の卵のうが得られた。一方、Na についてはトマトで多数のコブを形成するが、少なくともインキュベーター内での増殖時に卵のう形成数は多くない。また、砂質土壌を好むとされている。このため、13.5cm ポットを用いて粒状培土と川砂をおよそ 1 : 1 で混和したものをを用いて、28℃・16 時間照明のインキュベーター内で 45 日以上栽培することで卵のうが得られた。

（2）でん粉原料用馬鈴しょ品種への線虫接種試験

上記3種の線虫について、コナヒメ、コナユタカ、パールスターチ、フリアの4品種の全部または一部を供試して接種試験を行った。なお、4品種ともジャガイモシストセンチュウ抵抗性であり、フリアはさらにジャガイモシロシストセンチュウ抵抗性でもある。また、令和5年度の Na 接種試験ではジャガイモシストセンチュウ類感受性のコナフブキも供試した。

Mc : 汚染土 50 g をジップロック・ストックバッグ M に詰め、催芽塊茎一つを入れて 9×12 mm シリコンチューブを 5 cm に切って片方を斜めにカットしたものを袋の口の端に挿して、25℃設定のインキュベーター（暗黒）に静置した。36 日後にバッグの外側から中身を確認したところ、4品種とも卵のう形成が見られたが、コブは明瞭ではなかった（図1）。この結果から、供試した4品種はいずれも Mc の寄主であることがわかった。また、適切な塊茎が供試可能で、かつ、十分な線虫密度がある場合には、バッグを用いた汚染土接種によって分散防止措置をとりながら簡易に Mc を検出できることがわかった。なお、昨年度のポット試験において、パールスターチおよびフリアが Mc の寄主であることは確認していた。

Mf : Mc と同様に汚染土接種によりバッグ試験を行ったが、昨年度 Mf の寄主であることを確認したパールスターチを含めて4品種ともで卵のうを確認できなかったため、汚染土の線虫密度が不足していたと考えられた。このため、ポット試験を実施した（各品種1ポットずつ）。13.5 cm ポットに粒状培土 : 川砂 = 1 : 1 の土をポット込みで 900 g 充填し、催芽塊茎を植え付けて 25℃・16H 照

明のインキュベーター内で10日（パールスターチのみ4日）栽培後、Mf幼虫懸濁液を用いてそれぞれ1,000頭以上となるよう株元に接種し、同条件で44日後にポットを解体して根を確認したところ、4品種とも卵のう形成が見られた（図2）。この結果から、供試した4品種はいずれもMfの寄主であることがわかった。なお、昨年度のバッグ試験において、パールスターチがMcの寄主であることは確認していた。

Na：令和5年度は、汚染土200gを馬鈴しょ2品種（パールスターチおよびフリア）およびトマト（各2ポット）に接種し、28℃で栽培後45日目にすべてのポットを解体したところ、パールスターチでは1つだけコブを確認できたが、フリアでは根張りが悪くコブを確認できなかった。一方、トマトでは複数のコブを確認した。なお、Naは明瞭で特徴的なコブを根に作っていた（図3）。また、ジップロックに汚染土400g程度と小玉塊茎1個（コナフブキおよびパールスターチ、各1袋）を詰めて8×11mmシリコンチューブを5cmに切って片方を斜めにカットしたものを袋の口の端に挿し、24℃設定のインキュベータ（暗黒）に静置後、65日目に確認したところ、コブを確認できなかった。さらに、ジップロックに汚染土100gを詰めてフリア塊茎を一つ入れ、水道水を適量加えて湿らせ、同様にシリコンチューブ片を袋の口の端に挿し、28℃設定のインキュベータ（暗黒）に静置後、49日目に確認したところ、塊茎から伸びた根に複数のコブや卵のうが見られた（図4）。令和6年度は、Mc及びMfと同様の汚染土接種によりバッグ試験を行ったが、冷蔵期間の長い塊茎を供試したことが原因と思われる植物体の生育不良・早期腐敗が主な原因で試験不成立となったため、コナヒメ及びコナユタカのみを供試してポット試験を行った。13.5cmポットに粒状培土：川砂＝1：1の土をポット込みで900g充填し、催芽塊茎を植え付けて28℃・16H照明のインキュベーター内で10日栽培後、Na幼虫懸濁液を用いてそれぞれ4,000頭以上となるよう株元に接種し、同条件で44日後にポットを解体して根を確認したところ、コナユタカでは多数のコブと複数の卵のうを確認したが、コナヒメでは不完全なコブをわずかに確認できたのみであった（図5）。これらの結果から、コナユタカおよびフリアがNaの寄主であることはわかったが、パールスターチおよびコナヒメではコブ形成は認められるが寄主であるかはなお試験が必要であると考えられた。特にコナヒメについては、抵抗性を有している可能性もあると考えられた。いずれにせよ、Naの寄生を受けた場合には顕著なコブを形成することから、寄生根の目視による検出は比較的容易であると考えられた。

6. 今後期待される成果

3種の線虫の馬鈴しょ品種に対する寄生性・寄生状況の情報及びジップロックを用いた簡易な検出などについて、これらの線虫種が万一侵入した際の早期発見や防除対策に寄与する。

< 具体的データ >



図1 コロンビアネコブセンチュウ (Mc) の寄生状況 (バッグ)

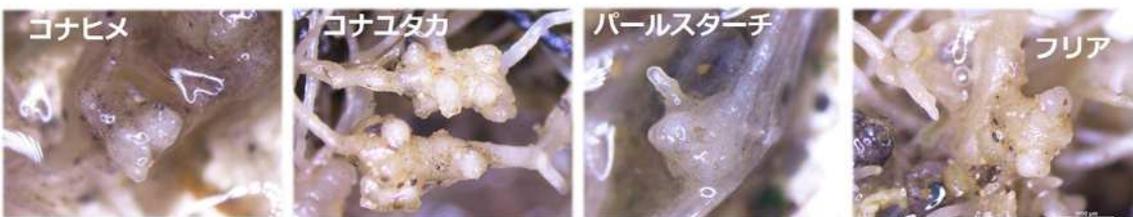


図2 ニセコロンビアネコブセンチュウ (Mf) の寄生状況 (ポット)



図3 ニセネコブセンチュウ (Na) の寄生状況 (ポット)



図4 ニセネコブセンチュウ (Na) のフリアに対する寄生状況 (バッグ)



図5 ニセネコブセンチュウ (Na) の寄生状況 (ポット)

アブラムシ飛来に影響を及ぼす気象要因の解明および アブラムシからの簡便なウイルス検出手法の確立 (完了課題)

1. 研究機関 国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構
北海道農業研究センター
2. 研究期間 令和6年度

3. 研究目的

- (1) ジャガイモ Y ウイルス (PVY) は馬鈴しょの重要病原ウイルスで、アブラムシによって媒介される。近年、でん粉原料用の馬鈴しょ品種では、コナフブキ (PVY 抵抗性) からセンチウ抵抗性のコナヒメ (PVY 感受性) に切り替わり、PVY の蔓延が危惧されている。平成 28-30 年度の本事業により、北海道内の馬鈴しょ圃場では 20 種以上のアブラムシが PVY を媒介していることが示唆された。そこで、令和 4-5 年度の本事業では、アブラムシ全種のトラップ捕獲個体数が PVY 感染馬鈴しょ株の抜き取り数と正の関係があることを明らかにし、アブラムシのトラップ捕獲により PVY 感染リスク評価が可能であることを報告した。また、リアルタイム PCR 法により、アブラムシから PVY を高感度に検出できる手法を確立し、トラップ捕獲したアブラムシの PVY 保毒を検定することで、リスク評価を高度化することもできた。
- (2) PVY 感染リスク評価により、感染株の抜き取りの際に参照できるようになった。さらにアブラムシの飛来個体数や飛来時期を事前に予察することができれば、アブラムシを効率的に防除できる。そのためには、アブラムシの飛来個体数や飛来時期に影響を及ぼす気象要因を抽出することが必要である。また、リアルタイム PCR 法によるアブラムシからの PVY 検出手法では、高価なリアルタイム PCR 装置を使用するため、より簡便な検出手法も必要である。
- (3) このため、本事業では過去のアブラムシ捕獲データと気象データとの関係を解析するとともに、高価な装置を必要とせず目視で結果を確認できる LAMP 法¹⁾によるアブラムシからの PVY 検出手法を確立する。アブラムシ飛来個体数や飛来時期に影響を及ぼす気象要因を明らかにし、アブラムシからの PVY 検出手法を従来よりも簡便化することで、PVY 管理技術を発展させ、北海道馬鈴しょ及び馬鈴しょでん粉の安定生産振興に資する。

4. 研究内容

- (1) アブラムシ捕獲データと気象データとの関係の解析
アブラムシ捕獲データには、令和 4-5 年度の本事業において整理した以下の蓄積データを用いた：種苗管理センター中央農場（北広島市）の 2008-2015 年および 2017-2021 年（2016 年はトラップ設置期間が短いため除外）、後志分場（真狩村）の 2012-2022 年、十勝農場（帯広市）の 2015-2022 年、胆振農場（安平町）の 2013-2022 年（表 1）。トラップ回収間隔が統一されていないため、1 日あたりの捕獲個体数を算出し、6 月 12 日～8 月 7 日および 6 月 12 日～30 日の期間にお

ける捕獲個体数を補正した（図 1）。また、各年の 6 月 12 日～8 月 7 日の捕獲個体数に基づき、各年の累積個体数が 5%、10%、20%に達した日を特定した。

気象データは、農業メッシュ気象データシステム^{*2}を用いて、4 地点における計 114 項目の気象データを新たに取得した（表 2）。

解析はまず、各種気象要因を説明変数^{*3}、6 月 12 日～8 月 7 日または 6 月 12 日～30 日の期間におけるアブラムシ捕獲個体数、および各年の累積個体数が 5%、10%、20%に達した日を目的変数^{*3}とし、線形単回帰分析^{*4}を行った。さらに、前年 12 月～当年 7 月までの各月の平均気温、積雪初終日、積雪日数を変数とし、一般化線形モデル^{*5}による変数選択を行った。

（2）LAMP 法によるアブラムシからの PVY 検出手法の確立

まず、PVY 感染タバコ葉片を用いて反応時間 30 分および 60 分における LAMP 反応の発色の違いを比較した。

次に、飼育中のモモアカアブラムシに PVY 感染植物から吸汁させ、PVY を保毒したアブラムシのサンプルを調整した。得られたアブラムシサンプルからは、1 個体ずつ TRIzol 試薬^{*6}を用いて RNA を抽出した。

抽出した RNA を鋳型として、LAMP 試薬と既報の PVY 特異的プライマーに目視確認試薬を添加し、65℃で 30 分間または 60 分間反応させた。PVY 由来 RNA が含まれていた場合には、反応中に逆転写され DNA として増幅される。反応後は、ブラックライト（UV）の照射によって増幅産物の有無を視覚的に確認した。

5. 研究結果

（1）アブラムシ捕獲データと気象データとの関係の解析

単回帰分析の結果、P 値^{*7}が 0.05 以下と統計的に有意な関係が確認された気象要因がいくつか存在したが、決定計数 (R^2)^{*8}は最大でも 0.407 に留まり、アブラムシ捕獲個体数や累積個体数が 5%、10%、20%に達した日を説明するには十分ではなかった（図 2）。アブラムシ個体数を対数変換して解析しても同様の結果であった。従って、単一の気象要因によってアブラムシ飛来を的確に予測することは困難であると考えられた。

一方、一般化線形モデルによる変数選択の結果、6 月 12 日～8 月 7 日および 6 月 12 日～30 日の捕獲個体数を予測するには、5 月と 6 月の月平均気温および積雪日数が最も有効な説明変数として選ばれた（図 3）。また、累積個体数が 5%、10%、20%に達した日を予測するには、12 月～3 月の月平均気温が有効な変数として選択された（図 4）。

（2）LAMP 法によるアブラムシからの PVY 検出手法の確立

PVY 感染タバコ葉片を用いた反応時間の比較では、60 分反応においてより明瞭

な発色が確認され、視認性も良好であった（図 5）。

反応時間を 30 分に設定した場合、28 個体中 4 個体（14.3%）において PVY 由来の増幅産物を確認できた。反応時間を 60 分に延長したところ、陽性反応を示した個体数は 8 個体（28.6%）に増加し、反応時間の延長による検出感度の向上が認められた。

6. 今後期待される成果

本事業によりアブラムシ飛来個体数や飛来時期に影響を及ぼす気象要因を明らかにできた。今後、さらに予測モデルを改良することで、飛来数や飛来時期を高精度かつ即時に予測できる成果が期待される。また、LAMP 法による簡便なアブラムシからの PVY 検出手法を確立することもできた。今後は、リコンビナーゼポリメラーゼ増幅（RPA）法など、より迅速かつ簡便な検出法の確立を進めることで、生産現場におけるアブラムシのウイルス保毒検定が可能となる成果が期待される。これらの成果により、PVY 管理技術を発展させ、北海道馬鈴しょ及び馬鈴しょでん粉の安定生産振興に資する。

用語解説

※1：LAMP 法

一定温度下で反応を行い、特定の DNA 配列を増幅する核酸増幅技術の一つである。温度を繰り返し変化させる必要がないため、簡易な装置で短時間に検出可能である。また、増幅の有無を蛍光色素の発色によって目視で確認することができる。そのため、簡便なウイルス検出手法として着目されている。

※2：農業メッシュ気象データシステム

農研機構が提供するシステムで、気象庁の観測データをもとに、日本全国を 1km 四方のメッシュに分割して推定した気象データを提供している。農作物の生育予測や病害虫の発生側など、農業分野における気象データの活用に広く利用されている。

※3：説明変数、目的変数

統計解析において、要因となる変数を説明変数、その結果として得られる変数を目的変数と呼ぶ。目的変数は説明変数によって変化すると仮定される。

※4：線形単回帰分析

1 つの説明変数と 1 つの目的変数との間に線形の関係があると仮定し、その関係を数式で表現する統計解析手法である。説明変数が増加したときに目的変数がどの程度変化するかを推定し、関係の強さや方向性（正または負の関係）

を評価できる。

※5：一般化線形モデル

目的変数が正規分布に従わない場合にも適用可能な統計モデリング手法である。複数の説明変数の影響を同時に評価できるため、複雑な現象の解析に有用である。

※6：TRIzol 試薬

フェノールおよびグアニジンを主成分とする試薬で、細胞や組織から RNA を抽出できる。処理に一定の時間を要するが、純度の高い RNA を効率的に抽出できる。ウイルス検出などに広く用いられている。

※7：P 値（有意確率）

統計的検定において、帰無仮説が正しいと仮定したときに、観測された結果と同程度の差が偶然に生じる確率を示す指標である。P 値が小さいほど、その差は偶然である可能性が低く、統計的に有意であると判断される。一般に、P 値が 0.05 未満であれば有意とされる。

※8：決定計数 (R^2)

回帰分析において、説明変数が目的変数をどの程度説明できるかを示す指標であり、0~1 の範囲の値を取る。値が 1 に近いほど説明力が高いことを意味する。

< 具体的データ >

表 1 アブラムシ捕獲データの由来

年	地点			
	中央農場	後志分場	十勝農場	胆振農場
2008	○	(データなし)	(データなし)	(データなし)
2009	○	(データなし)	(データなし)	(データなし)
2010	○	(データなし)	(データなし)	(データなし)
2011	○	(データなし)	(データなし)	(データなし)
2012	○	○	(データなし)	(データなし)
2013	○	○	(データなし)	○
2014	○	○	(データなし)	○
2015	○	○	○	○
2016	(除外)	○	○	○
2017	○	○	○	○
2018	○	○	○	○
2019	○	○	○	○
2020	○	○	○	○
2021	○	○	○	○
2022		○	○	○

日付 (月/日)	捕獲数 (個体)	トラック回収間隔 (日)	1日当たり捕獲数 (個体)
6/2			8
6/3			8
6/4			8
6/5			8
6/6			8
6/7			8
6/8	56	7	8
6/9			15.71428571
6/10			15.71428571
6/11			15.71428571
6/12			15.71428571
6/13			15.71428571
6/14			15.71428571
6/15	110	7	15.71428571

7日間で捕獲した56個体を7等分する (8個体ずつ)

7日間で捕獲した110個体を7等分する (15.714...個体ずつ)

図 1 1日当たりの捕獲個体数の算出の例

表 2 農業メッシュ気象データを用いて入手した気象データ

項目	単位	項目数
平均気温	月	12
降水量	月	12
降水量（解析雨量ベース）	月	12
1mm 以上の降水日	月	12
平均湿度	月	12
平均風速	月	12
積算日射量	月	12
積算下向き長波放射量	月	12
積算日照時間	月	12
根雪初日	年	1
根雪最終日	年	1
根雪日数	年	1
積雪初日	年	1
積雪最終日	年	1
積雪日数	年	1
合計		114

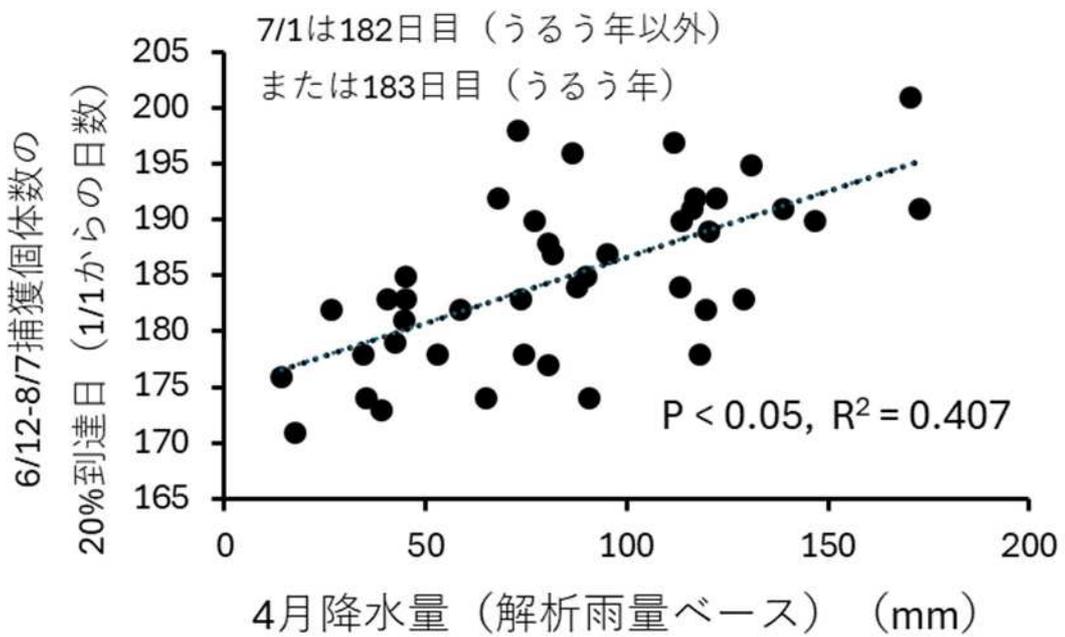
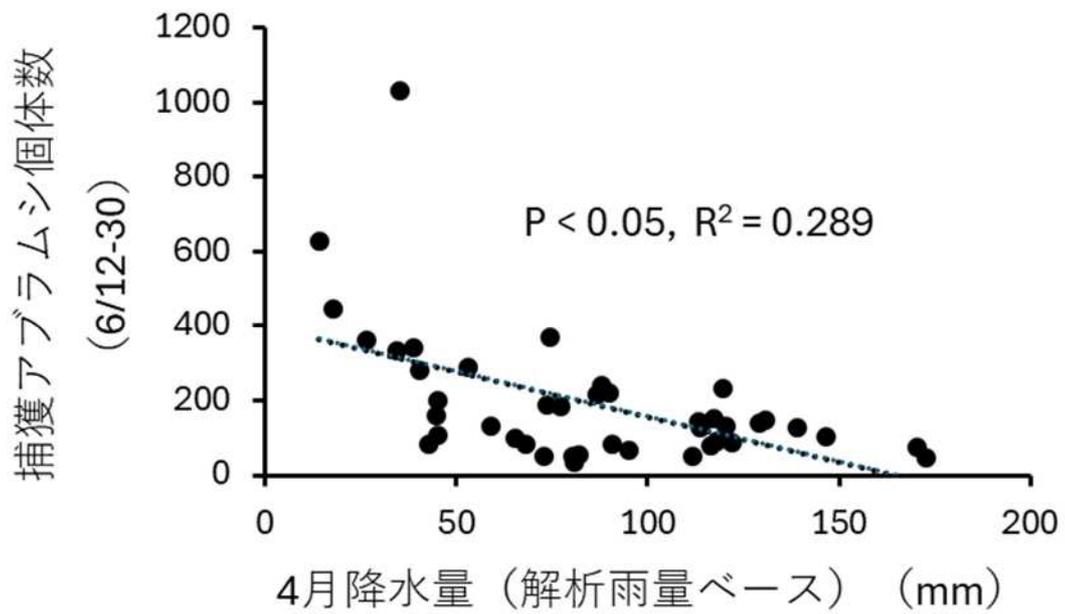


図2 P値が0.05以下で決定計数 (R^2) が高かった線形単回帰分析の結果の例

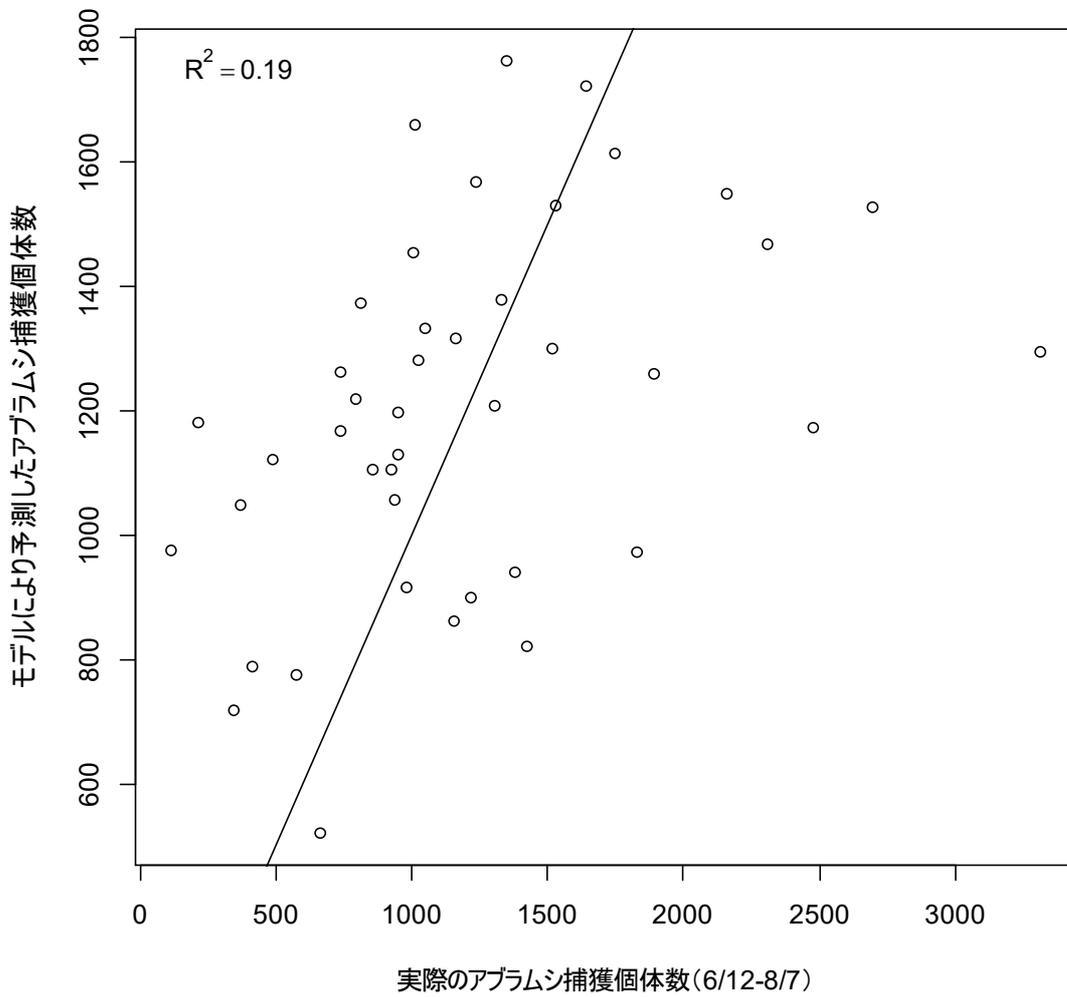


図3 実際のアブラムシ捕獲個体数(6/12-8/7)と5月と6月の平均気温および積雪日数に基づいて予測したアブラムシの関係

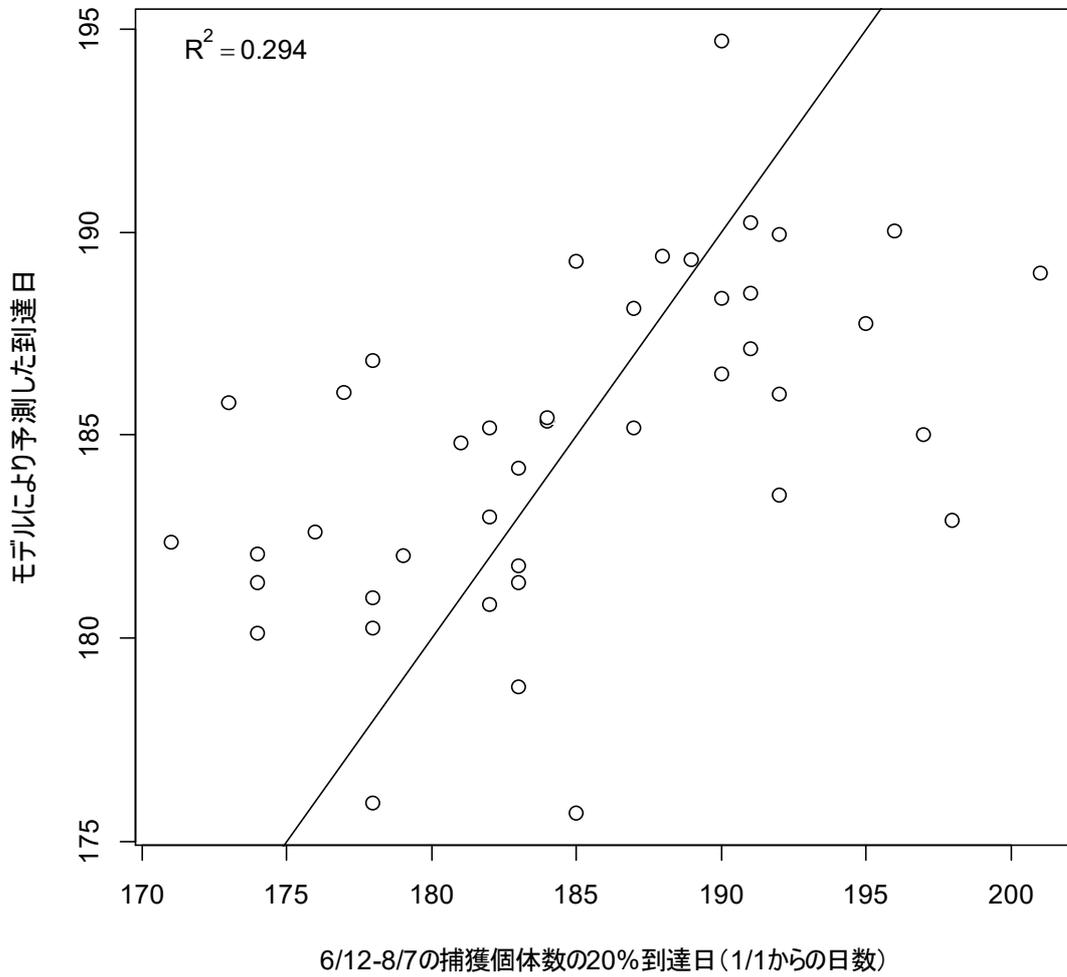


図4 6/12-8/7の捕獲個体数の20%到達日と12月～3月の平均気温に基づいて予測した到達日の関係

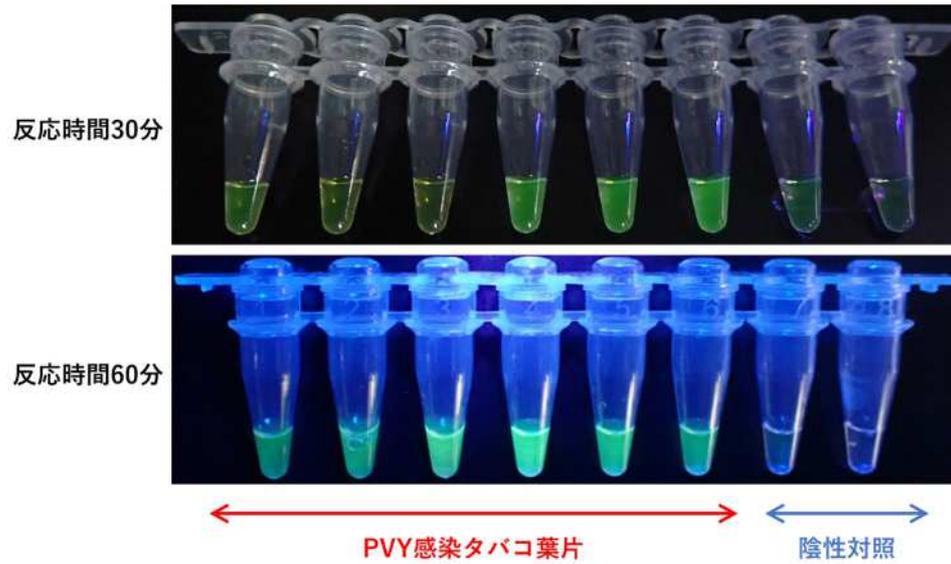


図 5 反応時間 30 分および 60 分における LAMP 反応の発色の比較

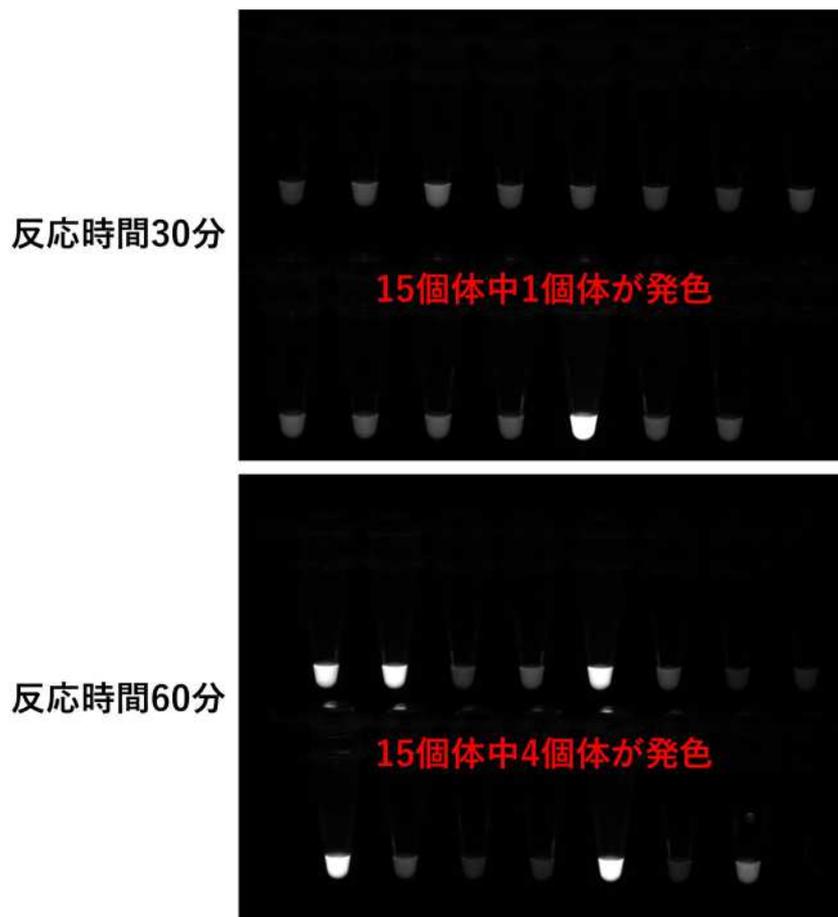


図 6 反応時間 30 分および 60 分におけるアブラムシからの検出結果の比較

馬鈴しょ疫病の効率的な防除を目的として疫病菌の 動態調査と防除技術開発に関する試験研究（継続課題）

1. 研究機関 北海道大学大学院農学研究院 植物病理学研究室

2. 研究機関 令和5年度～令和7年度

3. 研究目的

(1) 研究実施の背景：馬鈴しょ疫病は100年以上前から北海道に存在している病害であるが、現在でも条件によって大発生する場合があります、これによる損失は未だに大きなものになっている。

(2) 研究の必要性

・近年病原菌の系統の変化が起こっている可能性が示されているため、各地の疫病菌の馬鈴しょ品種に対する病原性や薬剤耐性の多様性を把握する必要がある。

・効果的な防除技術開発のためには、疫病菌が土壌中の塊茎に与える影響および疫病その他の要因による塊茎腐敗についての多くの不明点を解明する必要がある。

・新しい方法による収穫前および収穫後の塊茎の保全に関する技術を開発する必要がある。

(3) このため、馬鈴しょ疫病の防除に関する基礎的知見の集積および防除技術開発を目的とする各種試験を行い、北海道馬鈴しょ及び馬鈴しょでん粉の安定的な生産に資する。

4. 研究内容と成果

令和6年度

(1) 圃場における馬鈴しょ疫病菌の動態に関する調査

1-1 茎葉における疫病菌の増殖・伝搬

本試験では各地域のJP-4系統について茎葉部での増殖や伝搬・生存の能力について調査する予定であったが、圃場での疫病発病がほとんど見られなかった（図1）ことから後述の試験に変更した。

1-2 土壌における疫病菌の動態と塊茎の感染

本試験では圃場における遊走子のうおよび遊走子の動態を調査し圃場における塊茎の感染の機構を明らかにすることを予定していたが、圃場での疫病発病がほとんど見られなかったことから後述の試験に変更した。

○ 令和6年度に行なった追加試験

前述のとおり、令和6年度には圃場における疫病の発生がなかったことか

ら自然発生を基にした各種試験を行なうことができなかった。そこで今年度は令和5年度の試験の補足および令和7年度に計画していた試験の一部を予備的に実施した。

A. 圃場および貯蔵庫における塊茎腐敗症状の原因に関する調査（令和5年度試験の補足）

昨年度の課題の未完成部分の検討を継続して行なった。腐敗塊茎から分離した *Pectobacterium* 属の遺伝子 *dnaX* の配列に基づく系統解析を実施した。供試菌株はいずれも *Pectobacterium* 属の4種のいずれか (*P. parmentieri* / *P. carotovorum* / *P. odoriferum* / *P. brasiliense*) と近縁であった(図2)。 *P. carotovorum* 菌株は健全な馬鈴しょ茎に接種すると茎の腐敗を引き起こした(図3)。分離した *Bacillus* などのグラム陽性細菌は茎の腐敗を引き起こさなかった。

B. 茎葉・土壌・塊茎を対象とした各種防除法についての検討（令和7年度試験の予備試験）

茎葉処理法：亜リン酸液肥の病害防除効果

馬鈴しょに対する亜リン酸液肥葉面散布が葉面での疫病に対する防除効果を示すことについてはこれまでにいくつかの報告がある。本試験では殺菌剤によらない病害防除の方法として、この亜リン酸液肥の防除効果について検討した。

a) 軟腐病菌に対する抵抗性

収穫時に軟腐病菌 (*Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum*) に感染しているとその後から塊茎が軟腐症状を示す場合がある。本試験では栽培中に亜リン酸液肥を葉面散布した場合としない場合とで、軟腐病菌に対する塊茎の抵抗性に変化が生じるかどうかを確認した。

方法

北海道札幌市の北海道大学圃場にて馬鈴しょ（品種：男爵薯）を栽培し（播種：5月14日、栽培法は慣行法に従った）、8月7日に塊茎を収穫した。その間に以下の方法で亜リン酸液肥を葉面散布した。

亜リン酸液肥：ホスプラス（OAT アグリオ社）

処理濃度：250 倍希釈

処理日：7月3日・7月17日・8月2日の3回

収穫日：8月7日

接種実験 軟腐病菌：NBRC14082

収穫した塊茎を剥皮し、厚さ8mm程度のスライスを作成し、滅菌スプーンで接種用のくぼみを形成した。流水で10分間洗浄後クリーンベンチ内で10分間風乾し、容器に配置した。軟腐病菌を250 mM KCl 溶液に分散して10⁸/mL および10⁷/mL の懸濁液を作成した。各懸濁液の100 µL を接種用のくぼみに滴下し、30°Cで数日間培養して病徴の発達を観察した。

結果と考察

接種菌量に関わらず、軟腐病菌を滴下接種した無処理塊茎スライスでは1日後から軟化が観察され2日目以降には褐変を伴う腐敗が起きていることが認められた。亜リン酸を処理した区の塊茎では軟化・褐変ともに無処理のものに比べて進行がやや遅かったが、10⁷接種では両区の病斑進展に有意差は認められなかった。一方で10⁶接種区では病斑面積が無処理区と処理区では有意差が認められた。

亜リン酸を処理することによって馬鈴しょ組織の病害抵抗性が增强されるというこれまでの報告については、塊茎に対する軟腐病を対象とした場合にはそれほど顕著なものではないという結果となった。しかし10⁶という低密度での接種では病斑の拡大や褐変などの進行が無処理区に比較して有意に低かったことから、軟腐病菌の密度によっては亜リン酸処理の効果が認められることが示された。

b) 疫病菌に対する抵抗性

収穫時に疫病菌 (*Phytophthora infestans*) に感染しているとその後から塊茎が腐敗症状を示す場合がある。本試験では栽培中に亜リン酸液肥を葉面散布した場合としない場合とで、疫病菌に対する塊茎の抵抗性に変化が生じるかどうかを確認した。

方法

栽培時の処理法は a) 軟腐病 のものと同じとした。疫病菌は 2023 年に北海道芽室町の罹病馬鈴しょ葉から分離した MR2304 の寒天培養から先端部の含菌寒天を採取し、前述と同様の塊茎スライスの中央部に置床して接種を行なった。接種したスライスには 20°C で数日間培養し、病斑部の面積を測定した。

結果と考察

無処理区・処理区ともに接種 4 日目から病斑が認められたが、無処理区の病斑に比較して常に処理区の病斑は小さかった。また気中菌糸の形成量も無処理で多く、多数の遊走子のうが形成されていた (図 7)。培養するにつれて病斑面積は無処理区で拡大し、処理区に比較して有意差が認められた (図 8)。亜リン酸処理の効果は軟腐病菌に対するものよりも疫病菌で顕著であった。これは亜リン酸処理によって増強される抵抗性が、軟腐病菌よりも疫病菌に対応したものであることを示しているものと考えられた。

○ 期待される成果

今年度の試験によって塊茎腐敗の原因の一部が明らかとなり、また亜リン酸液肥の病害防除への利用の可能性が示された。北海道の馬鈴しょ生産現場における疫病防除のための基礎的な知見を得ることで新たな防除法開発のための具体的な方向性が明らかになることが期待される。この成果を基に応用的な技術革新を推進し疫病の防除を効率化することにより、澱粉用馬鈴しょ生産の安定化を達成しようとするものである。

< 具体的データ >



図1 2024年圃場調査

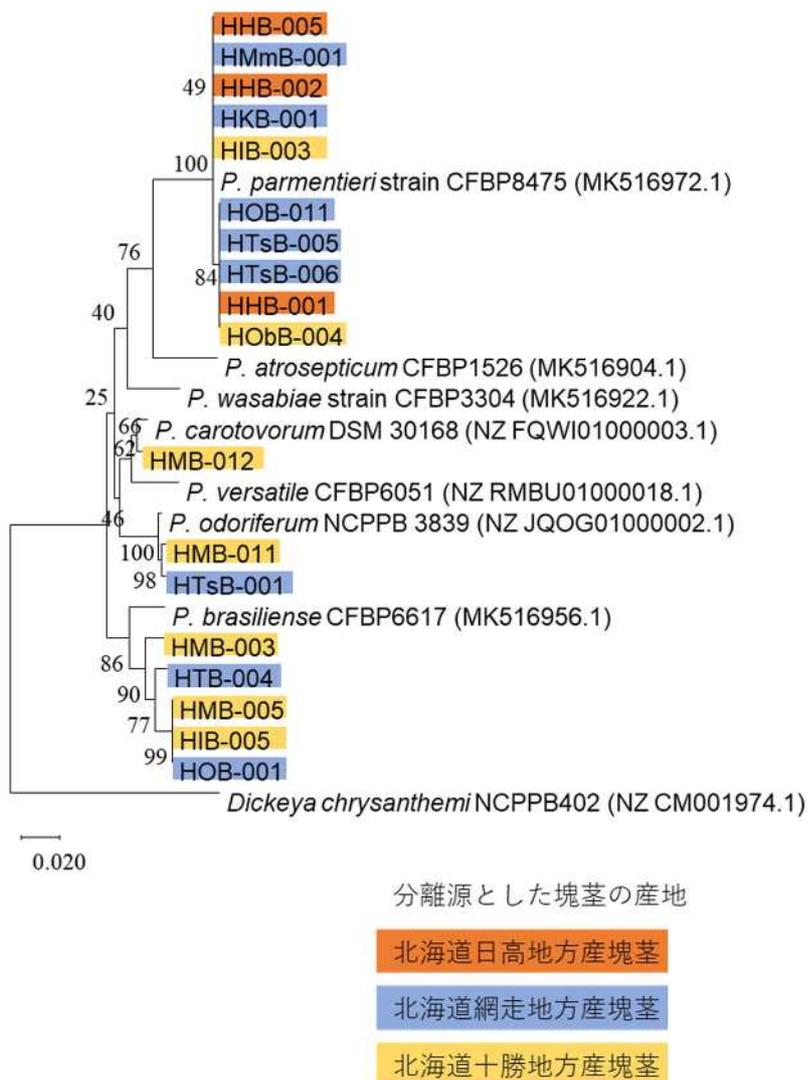


図2 *dnaX* に基づく *Pectobacterium* spp. の系統樹 (492 bp)

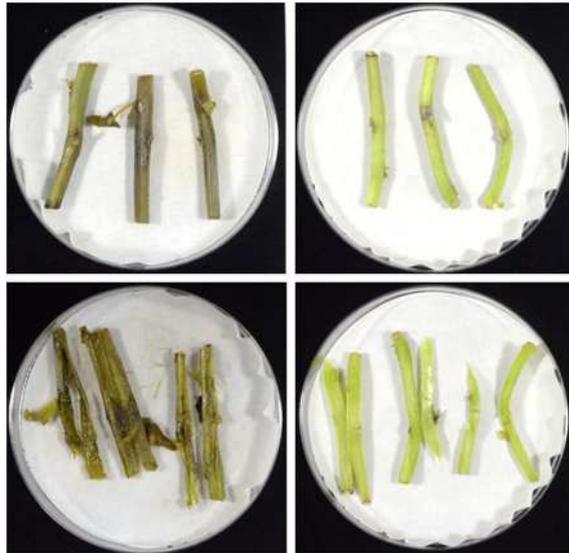


図3 馬鈴しょ茎での *Pectobacterium carotovorum* 病原性試験結果の例（接種4日後）
 左列：病原菌を接種した茎，右列：ネガティブコントロール，上段：表面の様子，下段：断面の様子

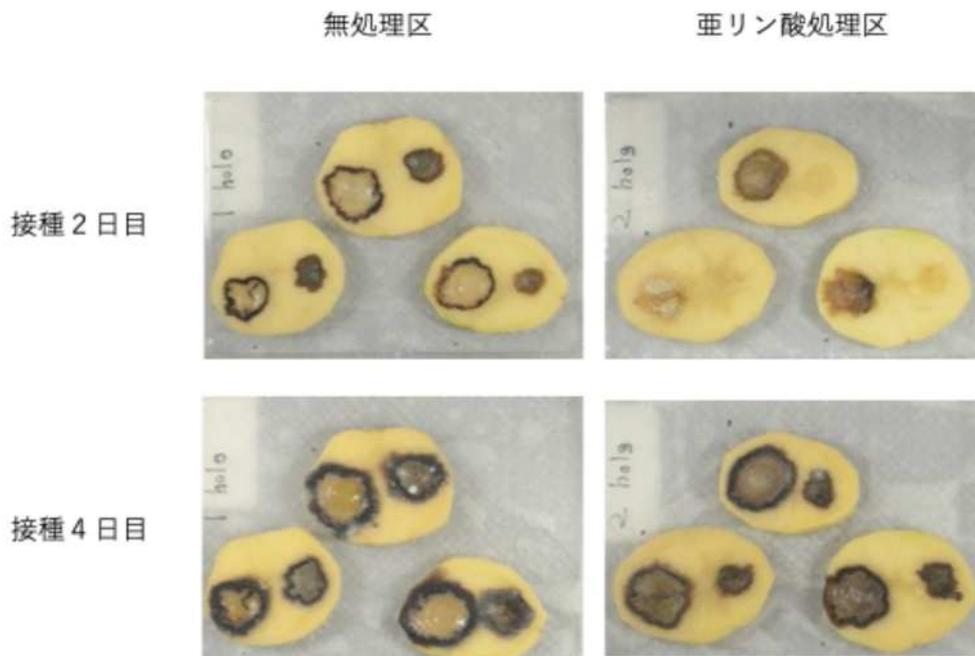


図4 亜リン酸液肥を葉面散布した馬鈴しょの塊茎における軟腐病菌接種時の発病
 （接種菌量：各スライスの左側 10^7 / 右側 10^6 ）

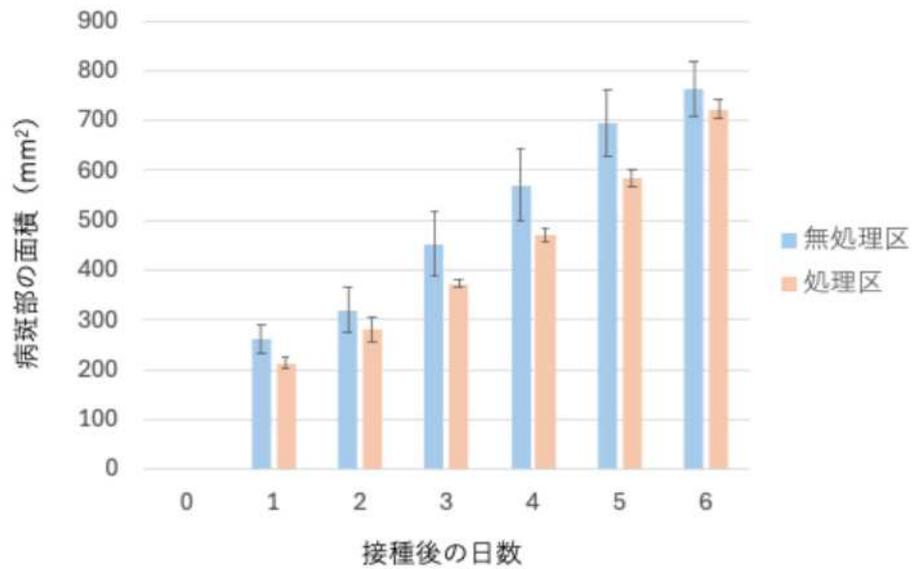


図5 亜リン酸液肥を葉面散布した馬鈴しょの塊茎における軟腐病菌接種時の病斑面積 (接種菌量 10⁷/ spot)

いずれの調査日も Tukey-Kramer 法により P < 0.001 で有意と判定されたものはなかった

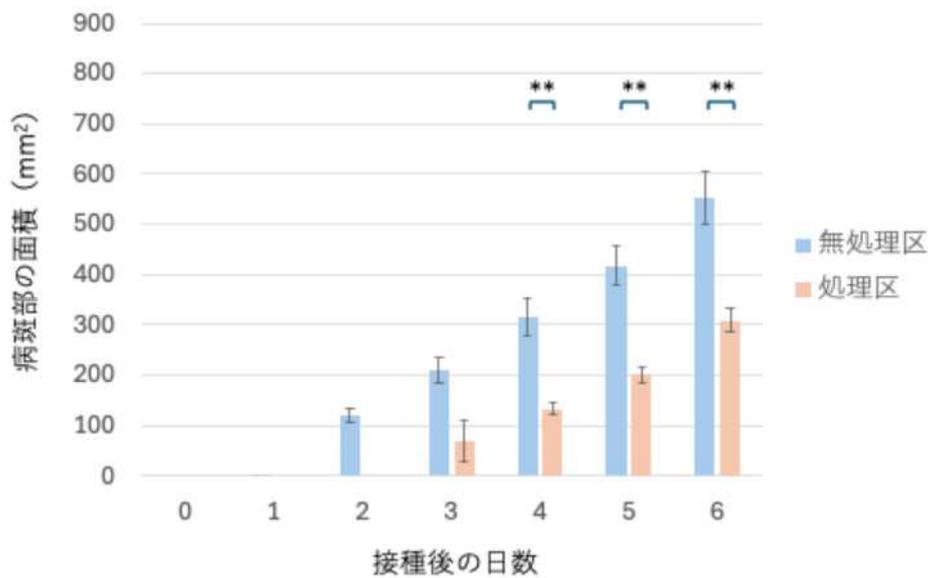


図6 亜リン酸液肥を葉面散布した馬鈴しょの塊茎における軟腐病菌接種時の病斑面積 (接種菌量 10⁶/ spot)

** : Tukey-Kramer 法により P < 0.001 で有意と判定

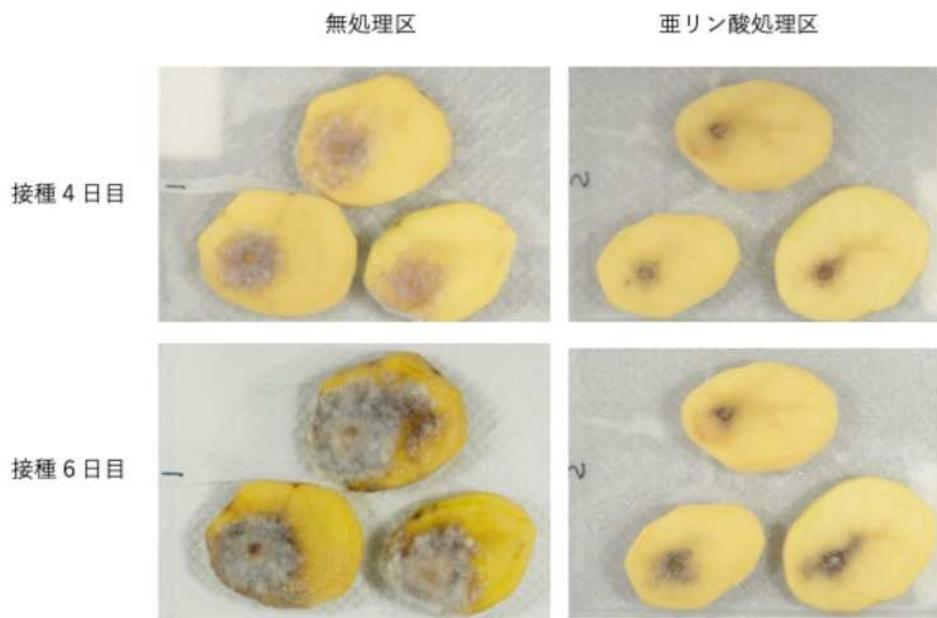


図7 亜リン酸液肥を葉面散布した馬鈴しょの塊茎における疫病菌接種時の病斑

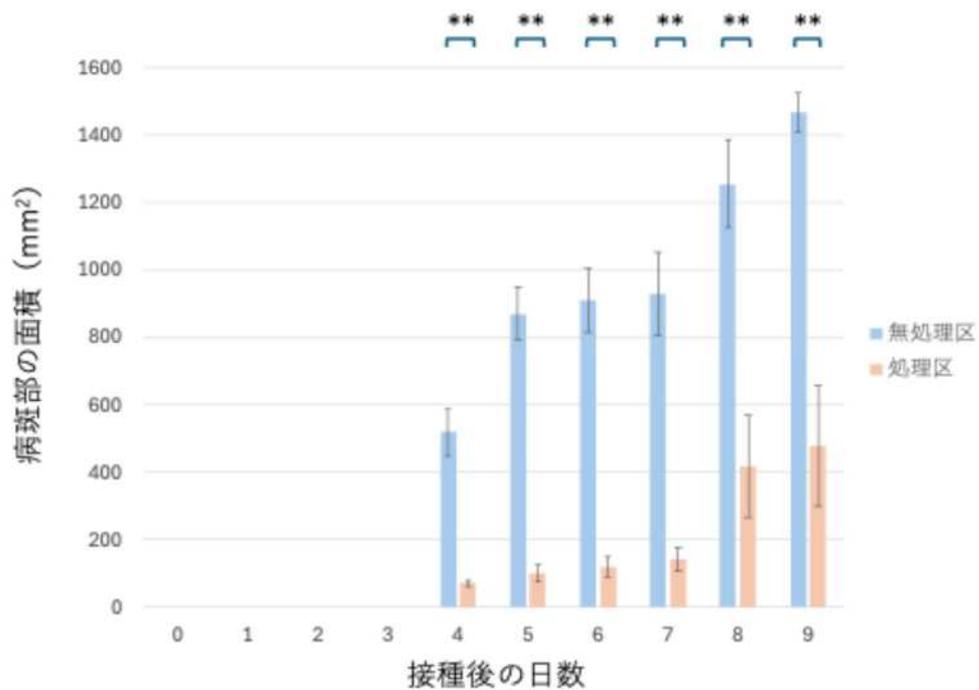


図8 亜リン酸液肥を葉面散布した馬鈴しょの塊茎における疫病菌接種時の病斑面積

** : Tukey-Kramer 法により $P < 0.001$ で有意と判定

「ジャガイモシロシストセンチュウ抵抗性馬鈴しょ品種 「ユーロビバ」の農業特性説明」(新規課題)

1. 研究機関 地方独立行政法人 北海道立総合研究機構 北見農業試験場

2. 研究期間 令和6年度～令和7年度

3. 研究目的

- (1) 北海道の馬鈴しょ作付面積は令和3年で47,100haであり、このうち約1/3にあたる13,900haがでん粉原料用である。道内のでん粉原料用品種の作付けは2/3がオホーツク地域に集中しているが、平成27年に網走市においてジャガイモシロシストセンチュウ(以下Gp)の発生が国内で初めて確認され、その後、近隣の3市町村でも発生が確認されており、北海道のでん粉原料用馬鈴しょの安定生産を脅かす事態となっている。現在、植物防疫法に基づいて緊急防除が実施されているが、Gp発生圃場では、緊急防除終了後もGpの再発防止のため、Gp抵抗性品種の作付けが必要である。
- (2) 海外導入品種の中からGpとジャガイモシロシストセンチュウ(以下Gr)抵抗性を併せ持つでん粉原料用品種「フリア」が選定され、Gp発生地域において普及が図られている。しかしながら、「フリア」は低でん粉価で小玉である上にストロン離れが悪く、収穫時の作業効率が悪いため、「フリア」の欠点を改良した品種の導入が強く望まれている。海外導入品種の「ユーロビバ」は、「フリア」並～強いGp抵抗性を持ち、でん粉価が「フリア」より高く、かつ、平均1個重が「フリア」よりも重いことから、「フリア」に変わるGp抵抗性品種としての期待が高い。しかし、ストロン離れの良否およびでん粉品質は不明であり、センチュウ以外の病害について、道内における抵抗性も明らかではない。
- (3) このため、本課題では、「ユーロビバ」の品種特性ならびにでん粉品質の評価を行う。Gp発生地帯における「ユーロビバ」の普及推進の資となる試験を実施することにより、北海道のでん粉原料用馬鈴しょの生産振興、並びに馬鈴しょでん粉の安定供給に資する。

4. 研究内容

(1) 「ユーロビバ」の収量性の評価

生産力検定試験、施肥反応試験を実施し、「コナヒメ」、「コナユタカ」および「フリア」と比較して、生育期節、収量性およびストロン離れの良否を明らかにする。

生産力検定試験は、3反復、1区11m²で実施した。

施肥反応試験は、標準肥(窒素10kg/10a)、多肥(窒素4kg/10aを標準肥に加える)および開花期追肥(窒素4kg/10a相当を開花期に追肥)の3水準、2反復、1区11m²で実施した。

ストロン離れの良否については、9月上旬、9月下旬および10月上旬に機械収穫を行い、収穫株からの塊茎離脱率を調査した。

(2) 「ユーロビバ」の耐病虫性ならびに休眠性の評価

「ユーロビバ」のGr抵抗性、ジャガイモYウイルス (PVY) 抵抗性、疫病抵抗性、塊茎腐敗抵抗性、そうか病抵抗性および休眠性を明らかにする。

Gr抵抗性は、品種登録のための特性分類審査基準に則ったプラスチックカップ法で検定し、抵抗性を明らかにした。

PVY抵抗性は、ポット栽培した個体にPVY (PVY-NTN系統及びPVY-N系統) を接種し、感染の有無と病徴を確認した。

疫病抵抗性は、疫病無防除栽培による自然感染条件下において、発病や枯ちょう期を調査し抵抗性を判定した。

そうか病抵抗性は、そうか病汚染圃場(*Streptomyces turgidiscabies* 優占圃場) で栽培を行い、そうか病の発病いも率から抵抗性を判定した。

塊茎腐敗抵抗性は、防除により地上部茎葉の疫病の発生をコントロールしつつ、スプリンクラーによる灌水で感染を拡大させ、収穫した塊茎の発病いも率から抵抗性を判定した。

休眠性は、収穫塊茎を18℃の貯蔵庫に保管し、芽長が5mm以上に伸びた塊茎が50%以上に到達した日を“休眠あけ日”とし、枯ちょう期から“休眠あけ日”までの日数の長短を判定した。

(3) 「ユーロビバ」のでん粉品質の評価

「ユーロビバ」のでん粉特性を調査し、既存品種の「コナヒメ」、「コナユタカ」および「フリア」と比較する。

生産力検定試験での収穫塊茎を用いて、白度、粒径、糊化特性、離水率、ゲル物性、リン含量の6項目を調査した。

5. 研究結果

(1) 「ユーロビバ」の収量性の評価

生産力検定試験について、「ユーロビバ」の枯ちょう期は、「コナユタカ」より1日遅く、かなり晩生であった。上いも数および上いも平均重は「フリア」と「コナヒメ」の間で、上いも重は「コナヒメ」比108%とやや多収であった。加えて、でん粉価が「コナヒメ」より0.9ポイント高く、でん粉重は「コナヒメ」比114%で多収であった。塊茎の生理障害については、二次生長の発生が既存品種に比べて多かった(表1)。

施肥反応試験について、枯ちょう期は標準肥区、多肥区および開花期追肥区で差はなかった。追肥区は標準肥区と比較して、上いも重は並であったがでん粉価が0.6ポイント高く、でん粉重は105%でやや多収であった。多肥区は標準肥区と比較して、上いも平均重は並だが上いも数は少なく、上いも重は少なかった。しかし、でん粉価が0.8ポイント高いため、でん粉重では97%で並であった。(表2)。

ストロン離れの良否について、機械掘り取り後の上いも(20g以上いも)の塊茎離脱率は、枯ちょうが進むにつれて増加した。同一の枯ちょう度であるとき「ユーロビバ」の塊茎離脱率は「フリア」より高いと推測される(図1)。しかしながら、「ユーロビバ」は「フリア」よりも枯ちょう度の進展が遅いことから、10月上旬収穫でも、

振払い後の塊茎離脱率は100%に至らず、「フリア」並であった。(図2)。規格外(20g未満)のいもについても、「ユーロビバ」は、枯ちょうが進むにつれて機械掘り取り後の塊茎離脱率は増加するものの、塊茎離脱率は「フリア」並～劣った(図3)。

(2) 「ユーロビバ」の耐病虫性ならびに休眠性の評価

Gr抵抗性検定において、感受性品種の「男爵薯」、「トヨシロ」には多数の雌成虫が着生した。一方、「ユーロビバ」は抵抗性品種の「とうや」と同様に雌成虫の着生が認められなかったことから、Gr抵抗性と判定した(表3)。

PVY抵抗性は、PVY-Nを接種した試験では対照の感受性品種での感染率も低く、全体に感染圧が低い条件下での試験となった。PVY-NTNを接種した試験では対照の感受性品種の感染率も高く十分な感染圧もあったと考えられるが「男爵薯」及び「コナヒメ」で病徴が認められず、病徴の発現しづらい条件の試験となった。「ユーロビバ」は、PVY-NおよびNTNを接種した場合いずれも上葉からウイルスが回収されなかった(表4)。

疫病抵抗性は、疫病検定圃の初発は7月22日であった。疫病の伸展は順調に進み、多くの品種・系統で8月上旬までに初発となった。初発日の早晚やAUDPCの値から「ユーロビバ」の抵抗性は“弱”と判定した(表5)。

塊茎腐敗抵抗性は、塊茎腐敗の基準品種「ひかる(既存評価:極弱)」、「トヨシロ(既存評価:やや弱)」、「農林1号(既存評価:中)」、「エニワ(既存評価:強)」、「オホーツクチップ(既存評価:強)」の発病いも率はそれぞれ10.2%、6.4%、4.4%、0.9%、1.3%と発病は少なかったが、品種間差が認められ、判定可能と判断した。「ユーロビバ」の発病いも率は8.4%で、塊茎腐敗抵抗性は“弱”と判定した(表6)。

そうか病抵抗性は、そうか病抵抗性“弱”の基準品種「男爵薯」の発病いも率は38.2%(発病度12.4)と甚発生であった。判定基準は発病いも率0~1.9%:“強”、2.0~5.9%:“やや強”、6.0~11.9%:“中”、12.0~24.9%:“やや弱”、25.0%~:“弱”とした。「ユーロビバ」の発病いも率は15.3%で、そうか病抵抗性は“やや弱”と判定した(表7)。

休眠性は、「ユーロビバ」の休眠期間は109日で、“やや長”と判定した(表8)。

(3) 「ユーロビバ」のでん粉品質の評価

「ユーロビバ」は「コナヒメ」に比べて離水率が低い点、最高粘度が高い点、ゲルの破断応力が高い点が優れた。一方、白度が低く「フリア」並であった(表9)。

6. 今後期待される成果

Gp・Gr抵抗性品種の「ユーロビバ」の品種特性ならびにでん粉品質を明らかにすることで、Gp発生地域で同品種の普及が推進され、Gpの再発防止が期待される。これにより、北海道のでん粉原料用馬鈴しょの生産振興、ならびに馬鈴しょでん粉の安定供給に資する。

< 具体的データ >

表 1 生産力検定試験成績（令和 6 年）

試験 実施 場所	系統 または 品種名	枯ちよ う期 (月.日)	茎長 (cm)	上いも 数 (個/株)	上いも 平均重 (g)	上いも 重 (kg/10a)	対照 比 (%)	でん粉 価 (%)	でん粉 重 (kg/10a)	対照 比 (%)	塊茎の 腐敗 (%)	二次 成長 (%)	褐色 心腐 (%)	中心 空洞 (%)
北見	ユーロビバ	10.16	85	15.6	100	6,920	108	19.9	1,310	114	1.3	5.5	0.0	6.7
	フリア	9.28	76	18.7	83	6,837	107	16.5	1,060	92	0.2	2.4	15.5	0.0
農試	コナヒメ	9.27	76	12.1	119	6,392	100	19.0	1,151	100	0.0	1.2	37.8	2.2
	コナユタカ	10.15	88	9.0	166	6,650	104	19.6	1,239	108	0.0	1.8	0.0	0.0

表 2 施肥反応試験成績（令和 6 年）

系統名	株間 または 株数/10a	施肥 処理	枯ちよ う期 (月/日)	茎 長 (cm)	上いも 数 (個/株)	上いも 平均重 (g)	でん粉 重 (kg/10a)	標肥 標準植 比(%)	でん粉 価 (%)
ユーロビバ	標準植	標準肥	10/16	85.3	15.6	100	6920	100	19.9
	(30)	追肥	10/16	84.4	15.7	101	7042	105	20.5
		4444	多肥	10/16	83.7	14.8	99	6483	97

注1) 標準肥N:8kg(基肥)、追肥N:8kg(基肥)+4kg(追肥)、多肥12kg(基肥)

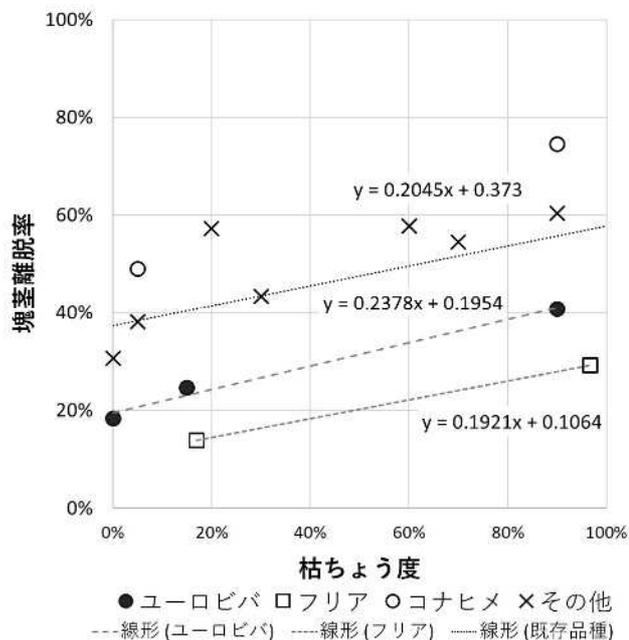


図 1 枯ちよう度と上いも（20g以上いも）の塊茎離脱率の関係

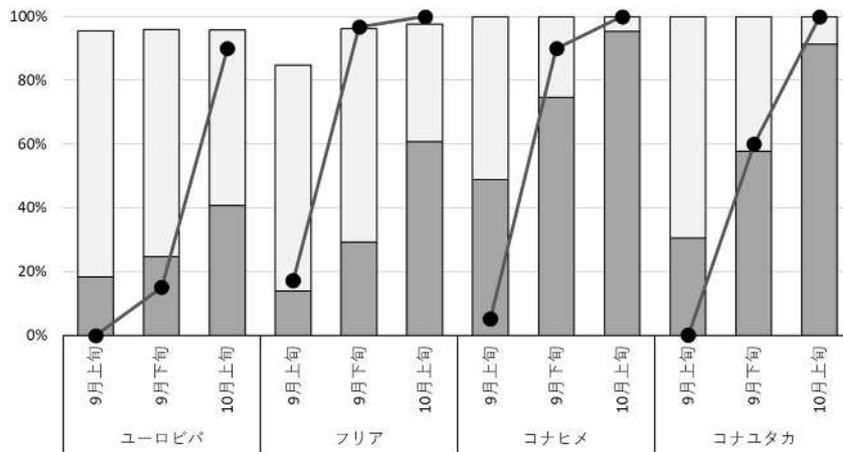


図2 上いも (20g以上いも) における塊茎離脱率の品種系統間差 (令和6年)
 ■ 機械掘り取り後：ディガー収穫時に自然に茎葉から離脱した塊茎
 □ 振払い後：ディガー収穫時は茎葉に付着していたが、5回の振払いで離脱した塊茎
 ● 枯ちよう度 (%)

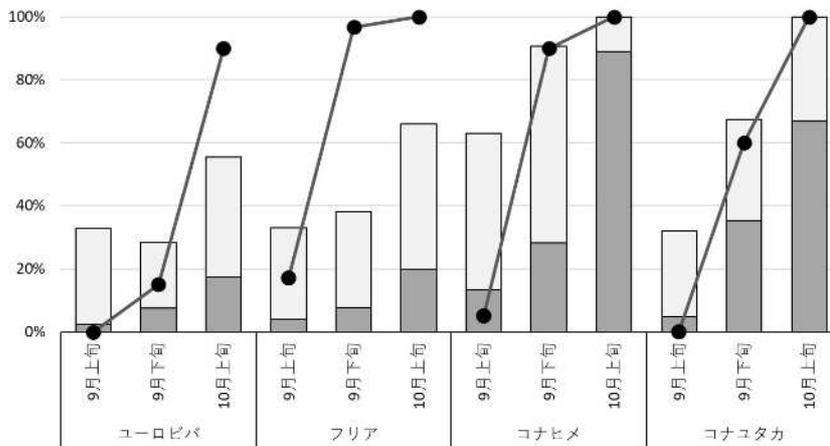


図3 規格外塊茎 (20g未満いも) における塊茎離脱率の品種系統間差 (令和6年)
 ■ 機械掘り取り後：ディガー収穫時に自然に茎葉から離脱した塊茎
 □ 振払い後：ディガー収穫時は茎葉に付着していたが、5回の振払いで離脱した塊茎
 ● 枯ちよう度 (%)



写真1 手掘り収穫時と振り払い後の様子

表3 カップ検定法による雌成虫の着生状況と判定結果（令和6年）

品種・系統名	シスト(メス成虫数)						6カップ の平均	レンジ	判定
	①	②	③	④	⑤	⑥			
ユーロピバ	0	0	0	0	0	0	0	0	R
男爵薯	71	212	145	18	58	49	92.2	18~212	S
とうや	0	0	0	0	0	0	0	0	R
トヨシロ	11	9	29	19	43	12	20.5	9~43	S
コナヒメ	0	0	1	0	0	0	0.2	0~1	R

表4 PVYによる接種当代のばれいしょ品種および系統の反応（令和6年）

接種 系統	育成品種 系統名	接種葉			上葉		
		感染率(%)	病徴 ¹⁾	ウイルス上葉移行率(%)	病徴 ¹⁾	ウイルスの回収	
N系統	ユーロピバ	0 (0/12)	-	0 (0/12)	-	-	
	男爵薯	25 (3/12)	LL,Y	17 (2/12)	N,NS,VN	+	
	トヨシロ	64 (7/11)	LL,VN,Y	55 (6/11)	NS,VN,St,M,Y,N	+	
	コナヒメ	50 (6/12)	-	50 (6/12)	-	+	
	コナユタカ	0 (0/12)	-	0 (0/12)	-	-	
NTN系統	ユーロピバ	0 (0/12)	-	0 (0/12)	-	-	
	男爵薯	92 (11/12)	LL	92 (11/12)	-	+	
	トヨシロ	92 (11/12)	LL,VN,N,Y	91 (10/11)	NS,VN,St,Y,M	+	
	コナヒメ	100 (12/12)	-	100 (12/12)	-	+	
	コナユタカ	8 (1/12)	LL	0 (0/12)	-	-	

1) 略号は以下の病徴を示し、括弧のついたものは病徴が不明瞭であったことを示す。

M:モザイク, N:枯死, LL:局部病斑, NS:壊死斑, VN:脈えそ, St:茎えそ, VC:葉脈透過, Cr:れん葉, Y:黄化

2) 接種葉の感染率は病徴の有無またはエライザによる。上葉へのウイルス移行率および回収の有無はエライザによる。

表5 疫病抵抗性検定試験結果（令和6年）

品種 または 系統名	初発日	調査月日							AUDPC	無防除区枯ちよう期		防除区 枯ちよう 期(月日)	判定
		罹病小葉面積率(%)								(月/日)	防除区 との差		
		7/25	8/2	8/5	8/7	8/9	8/12	8/14					
ユーロピバ	7/31	-	-	2	5	23	60	75	295	9/25	21	10/16	弱
男爵薯	7/22	23	48	88	91	98	100		1,005	8/8	15	8/23	弱
トヨシロ	7/27	2	13	35	43	83	100		566	8/11	19	8/30	弱
スノーデン	8/1		1	3	10	45	88	100	461	8/15	33	9/17	弱
コナユタカ	7/31			4	8	33	60	73	329	9/7	38	10/15	弱
さやあかね	8/10	-	-	-	-	1	3	3	6	8/25	11	9/5	強
マチルダ	未発病	-	-	-	-	-	-	-	0	9/1	4	9/5	強
コナヒメ	未発病								0	9/6	15	9/27	強

注1) 罹病小葉面積率“-”は未発生。

2) AUDPC:area under disease progress curve の略。本表では、複数時期に調査した罹病小葉面積率より算出した。

表6 塊茎腐敗抵抗性検定試験結果（令和6年）

供試品種・系統	萌芽期	枯凋期 ^{注1)}	調査 ^{注2)} いも数	発病いも 率 (%) ^{注2)}	発病いも率 (%)			判定 ^{注3)} 【既存の評価】	
					反復Ⅰ	反復Ⅱ	反復Ⅲ		
基準 品種	ひかる	6月1日	9月7日	269	10.2	8.8	8.3	13.4	弱【極弱】
	トヨシロ	5月30日	8月27日	204	6.4	5.7	7.5	6.0	弱【やや弱】
	農林1号	6月1日	9月9日	306	4.4	3.3	6.5	3.2	中【中】
	エニワ	6月3日	9月8日	215	0.9	0	0	2.6	強【強】
	オホーツクチップ	5月29日	8月19日	246	1.3	0	3.9	0	強【強】
	スノーデン	6月2日	9月9日	305	1.2	0.9	0	2.7	強【強】
	アーリースターチ	5月30日	9月9日	226	3.1	2.6	1.4	5.3	中【中】
	コナユタカ	6月1日	9月24日	190	10.5	8.5	10.8	12.1	弱【極弱】
	ユーロピバ	5月29日	—	372	8.4	10.1	8.8	6.3	弱

注1) —：9月30日の収穫まで枯凋期に至らなかった。注2) 調査いも数は3反復の合計値、発病いも率は3反復の平均値
注3) 判定基準：発病いも率0～2.9%：「強」、3.0～5.9%：「中」、6.0～14.9%：「弱」、15.0%以上：「極弱」

表7 そうか病抵抗性検定試験結果（令和6年）

供試品種・系統	調査 ^{注1)} いも数	発病いも 率 (%) ^{注1)}	発病度 ^{注1)}	反復毎の発病いも率 (%)			病斑型 ^{注3)}			判定 ^{注2)} 【既存の評価】	
				反復Ⅰ	反復Ⅱ	反復Ⅲ	反復Ⅰ	反復Ⅱ	反復Ⅲ		
基準 品種	男爵薯	210	38.2	12.4	37.7	33.3	43.7	1-3	1-3	1-3	弱【弱】
	オホーツクチップ	184	9.9	2.9	7.5	13.3	8.8	1	1	1	中【中】
	ハロームーン	235	4.0	1.0	2.8	2.7	6.6	1	1	1	やや強【やや強】
	スノーマーチ	220	0.5	0.1	0	0	1.4	1	0	0	強【強】
	ユーロピバ	272	15.3	4.2	13.2	24.1	8.5	1	1	1	やや弱

注1) 調査いも数は3反復の合計値、発病いも率と発病度は3反復の平均値
注2) 判定基準：発病いも率0～1.9%：「強」、2.0～5.9%：「やや強」、6～11.9%：「中」、12.0～24.9%：「やや弱」、25.0%～：「弱」
注3) 病斑型は0～5の段階で評価し、反復ごとに記載。0：病斑なし、1：表面型の小さい病斑、2：表面型の大きい病斑、3：隆起型の小さい病斑、4：隆起型の大きい病斑、5：陥没型の病斑

表8 塊茎の休眠調査結果（令和6年）

試験	ユーロピバ			トヨシロ			男爵薯			きたひめ		
	枯ちよ	休眠	休眠									
(令)	う期	あけ日	期間									
	(月/日)	(月/日)	(日)									
6	9/28	1/15	109	8/30	12/31	123	8/23	12/12	111	9/5	12/2	88
判定	やや長			長			長			中		

注1) 収穫後、18℃で貯蔵。

2) 芽長が5mm以上に伸びた塊茎が50%以上に到達した日を「休眠あけ日」とした。

3) 枯ちよう期から「休眠あけ日」までの日数を「休眠期間」とした。

参) 「休眠期間」による判定区分は以下の通り。

長：110～、やや長：110～90、中：90～70、短：50～70

表9 でん粉品質調査結果（令和6年）

系統 または 品種名	白度	平均 粒径 (μm)	離水 率 (%)	リン 含量 (ppm)	糊化特性(蒸留水)			糊化特性(0.1N食塩水)			ゲル物性	
					糊化開始 温度($^{\circ}\text{C}$)	最高粘度 (BU)	ブレイクダウン (BU)	糊化開始 温度($^{\circ}\text{C}$)	最高粘度 (BU)	ブレイクダウン (BU)	破断応力 (g)	破断凹み (mm)
ユーロピバ	87.8	53.1	42	836	62.9	1,530	1,153	66.7	163	19	1,542	10.2
コナヒメ	89.8	52.8	51	657	65.2	1,209	655	75.4	133	5	1,280	7.8
コナユタカ	91.9	52.6	51	775	64.8	1,345	829	69.3	184	26	1,701	8.6
フリア	87.6	50.3	53	753	66.0	1,363	801	71.4	195	56	1,775	8.1

注1) 白度は、Kett社粉体白度計C-130で測定。

2) 平均粒径は、堀場製作所レーザー回折/散乱式粒度分布測定装置LA-300で測定。

3) 離水率は、4%でん粉懸濁液(0.1N食塩水)で糊化したゲルを5 $^{\circ}\text{C}$ で1週間貯蔵後、遊離水を測定。

4) リン含量は、堀場製作所製蛍光X線元素分析装置MESA-500Wで測定。

5) 糊化特性は、4%でん粉懸濁液をブラベンダー社ビスコグラフで測定。

6) ゲル物性は、25%でん粉懸濁液(0.1N食塩水)を糊化したゲルを5 $^{\circ}\text{C}$ で1日貯蔵後、レオメーターで測定。

ニオイセンサを用いた馬鈴しょ塊茎腐敗臭の測定技術の 確立（完了課題）

1. 研究機関 国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構
北海道農業研究センター

2. 研究期間 令和6年度

3. 研究目的

- (1) 馬鈴しょは北海道における主要な輪作作物の一つである。国内の馬鈴しょ収穫量約220万トンのうち約8割は北海道産で（令和3年農林水産省「作物統計」）、でん粉原料用、種苗用、青果用、加工用の馬鈴しょが道内で生産されている。生産農家戸数の減少や人手不足により、生産量は減少傾向が継続しており、馬鈴しょの安定供給は大きな課題となっている。北海道産の馬鈴しょは、その多くが収穫後貯蔵され、貯蔵中の品質劣化（腐敗等）による損失が数%発生していることから、馬鈴しょの安定供給を確保する上から対応を求められる問題点となっている。
- (2) (1)に記載したような貯蔵中の損失のうち、腐敗は早期に発見することでその進行を防ぐ対策（貯蔵温湿度調整等）を取ることが可能で、早期発見は損失を軽減するために重要である。しかし、この腐敗の発見は現在人が目視で行っており、毎日の見回りや、万が一、発見が遅れて腐敗が広がったばあいには倉庫内から腐敗部分を除去しなければならない等大きな労力が必要である。腐敗をセンサで監視することで、見回りの労力の軽減や、早期発見により腐敗の進行を防ぐ対策が現在より速やかに取れることが期待される。
- (3) そこで馬鈴しょの貯蔵庫内において、①腐敗臭を早期に感知することが可能なセンサの素子の選定 ②多様なにおいが混在する条件での腐敗臭の検出試験を実施し、腐敗の早期発見におけるニオイセンサの活用手法を確立することで、北海道馬鈴しょ及び馬鈴しょでん粉の供給の安定に資することを目的に取り組む。

4. 研究内容

(1) ニオイセンサによる腐敗臭の測定

実験室内の安定した環境下でセンサを用いた腐敗塊茎のニオイと健全な塊茎のニオイを測定し、腐敗臭により反応するセンサの素子の選択する。

(2) 貯蔵庫でのニオイの調査の実施

馬鈴しょ集荷事業者の貯蔵庫のニオイに対して、ニオイセンサを用い、貯蔵開始直後の腐敗した塊茎が少ない時期と、貯蔵期間が進み、腐敗塊茎が存在している時期のニオイの測定を実施し、いわゆる貯蔵臭が存在する貯蔵庫内でも腐敗した塊茎と健全な塊茎のニオイの違いを区別が可能であるかを確認する。貯蔵庫のニオイの測定において、センサが安定して腐敗臭を感知することが可能となる測定条件（温

度や湿度などの環境条件、測定のタイミングや測定環境等)を明らかにする。

5. 研究結果

本取り組みでは、すでに市販されている I-PEX 社製のニオイセンサ (nose@MEMS) と、より高度な測定が期待される国立研究開発法人物質・材料研究機構 (NIMS) が中心となって開発したニオイセンサ (MSS) について試験を進めることとした (図 1)。nose@MEMS を用いた取り組みは (1) で述べ、①バレイショ塊茎の健全な状態の塊茎のニオイと腐敗したニオイが区別できるか、②腐敗発見に有用なセンサ素子 (感応膜) の選定、③センサの測定条件の検討、④実際のバレイショ貯蔵庫内のニオイの調査を実施した。(2) NIMS - MSS については、装置の取り扱いを習得するための予備的な試験を実施した。以下にその実施内容と成果を述べる。

(1) ニオイセンサ (I-PEX 社 nose@MEMS) による腐敗臭の測定

①馬鈴しょ腐敗塊茎と健全塊茎のニオイの測定

実験室内の安定した環境下でニオイセンサ (I-PEX 社 nose@MEMS 図 1 左) を用い、馬鈴しょの腐敗した塊茎 (腐敗塊茎) のニオイと健全な塊茎 (健全塊茎) のニオイの測定を行った。このセンサは、ニオイに対する感応膜 (180 種類) の反応を数値 (センサ値) として出力する。測定装置の構成を図 2 に示す。試験には圃場で採取した馬鈴しょの「きたひめ」と「トヨシロ」の腐敗塊茎と健全塊茎を用いた。測定結果は専用のアプリを用いて解析を行い、クラスター分析と主成分分析の結果が出力される。クラスター分析では類似したものが集団となり、分岐位置は類似度を表し、分岐が高いほど類似しないニオイであることを示す。また、主成分分析とは、変数が多く複雑なデータの変数の数を減らし、データの解釈をしやすくするための手法である。結果を図 3~5 に示す。クラスター分析 (図 3) では、腐敗と健全塊茎のニオイ分岐位置が高い位置で分岐し二つの集団となった。このことから、二つのニオイは類似度が低く、区別されていることが示された。また主成分分析の寄与率においては、「きたひめ」の主成分 1 (PC1) は 79.5%、主成分 2 (PC2) は 8.3%で、「トヨシロ」の PC1 は 34.5%、PC2 は 23.8%であった (図 4)。主成分分析では変数の特徴は主成分 (PC) に落とし込まれ、寄与率によって、その主成分がデータの説明にどの程度貢献しているかが示される。累積寄与率は寄与率の合計を示したもので、PC1 と PC2 の累積寄与率は、「きたひめ」では 87.8%、「トヨシロ」は 58.3%となったことから、この二つの主成分によって腐敗塊茎と健全塊茎の違いを説明することに矛盾はないと考えた。この PC1 と PC2 における腐敗塊茎と健全塊茎の特徴量の分布である主成分得点プロットにおいて、「きたひめ」・「トヨシロ」ともに、腐敗塊茎と健全塊茎のプロットはそれぞれ離れた位置にプロットされており異なるニオイであることが示唆された (図 5)。以上から、このニオイセンサで二つのニオイの区別が可能であるといえる。

②感応膜の選択

①の測定には180種類の感応膜を用いたが、全てが腐敗の区別に貢献しているとは限らない。180種類の中から腐敗塊茎のニオイと健全塊茎のニオイの判別に適したものを20種類選択した。選択の基準は腐敗塊茎と健全塊茎の各感応膜のセンサ値を比較した時、その差が大きく、同程度の差があった場合は、標準偏差がより小さいものとした。この20種類を用いて、軟腐病菌を接種して培養、腐敗状態にした「きたひめ」の塊茎（腐敗塊茎）と、健全な「きたひめ」の塊茎（健全塊茎）のニオイを測定した。クラスター分析の結果、二つのニオイは180種類で測定を行ったときと同様に高い位置で分かれて二つの集団を形成していた（図6）。また、寄与率はPC1のみで98.6%となり、ほとんどの特徴量がPC1に含まれていた（図7）。主成分得点プロット（図8）では二つのニオイが離れた位置にプロットされた。以上から、20種類の感応膜で、180種類を用いて測定した時と同等の結果を得られることがわかった。（1）③と（2）の試験ではこの選択した20種類の感応膜を用いて試験を実施した。

③センサの測定条件

このセンサはポンプを用いて一定速度でニオイをセンサにかがせて測定を行っている。しかし、①と②の試験を実施する中で、気流や温度、湿度によってセンサ値が不安定になることがわかった。それらの影響を最小限になるように測定装置の構成の改良を行った（図9）。この改良では、気流と温度・湿度の影響を最小限にするため、サンプルとセンサをプラケースに収納し、装置全体をインキュベータ内に入れた。試験には「コナヒメ」を用い、②と同様の腐敗塊茎と健全塊茎を用いた。この装置の構成で、インキュベータ内の温度を貯蔵庫の温度（9℃）にし、湿度を高湿度（80%以上）と低湿度（10～20%）に調整し、ニオイの測定を実施した。低湿度の測定ではセンサ値の振れ幅が少ない（図10左）のに対し、高湿度ではセンサ値が徐々に変動し、また、振れ幅も大きかった（図10右）。貯蔵庫内は高湿度であることから、実際の測定を想定して、高湿度の環境での測定はセンサ値が不安定となることが想定されたことから、ガスバッグ内にニオイを採取して、湿度を低湿度に調整した環境下で測定を実施した。その結果、これまでの測定条件と比較して、センサ値の振れ幅が小さくなり、より安定したセンサ値を得られた（図11）。

④nose@MEMSを用いた貯蔵庫のニオイの調査の実施

馬鈴しょ貯蔵庫内でのニオイの調査を実施した。貯蔵庫内で測定を行った際、センサ値が大きく変動する等の現象がみられた。馬鈴しょ貯蔵庫内は湿度が90%以上で、常にファンで空気が循環しており、（1）③の結果からも測定に適した環境ではないと考え、馬鈴しょ貯蔵庫内でニオイをガスバッグに採取して、実験室内で測定を実施した。試験は「トヨシロ」の貯蔵庫を対象に実施した。貯蔵庫内のニオイの採取は貯蔵開始直後の腐敗が少ない9月と、腐敗の進行が予想される出荷直前の

11月に実施し、ニオイを採取したガスバッグを持ち帰りニオイセンサ(nose@MEMS)でニオイの測定を実施した。主成分分析の結果、クラスター分析と主成分得点プロットでは両者に明らかな違いは認められず、ニオイに差があるとは言えなかった。これは貯蔵中の馬鈴しょの腐敗の程度が年によって異なり、2024年度は貯蔵中の腐敗が少なく経過し、11月の貯蔵馬鈴しょにおいても、腐敗が進行しておらず、ニオイの差がほとんどなかったことによると考えられる。貯蔵庫内の様子を図12に示す。2枚の写真は貯蔵庫内の同じ場所のほぼ同じ範囲を撮影したもので、この写真内で判別できる腐敗塊茎は9月が4ヶ所、11月は5ヶ所で腐敗の程度に顕著な差は無いと考えられた。今後の試験では、腐敗が起こる可能性について、貯蔵の現場と相談・調整しながら、短い間隔でのニオイの採取の実施等について検討し、腐敗の程度とニオイセンサで測定するセンサ値の変動との関係等について、引き続き試験を実施する予定である、

- (2) NIMSが中心となって開発したニオイセンサ(MSS)および測定デバイス(MSS標準計測モジュール。産学官連携「MSSアライアンス」にて作製) 図1右)の測定準備と測定条件の検討。

MSSを用いて、馬鈴しょ(「コナヒメ」)の腐敗塊茎と健全塊茎のニオイ測定について、検討を行った。MSSも湿度の影響を受けるため(1)同様の装置の構成とした(図13)。MSSはサンプルとパージガスを交互に測定する。パージガスにはG2Airを用いた。腐敗塊茎のニオイと健全な塊茎のニオイについて、温度や湿度の影響を排する条件について農研機構畜産研究部門とNIMSのアドバイスを受けながら測定装置の構成の改良を引き続き予定している。

6. 今後期待される成果

貯蔵中の馬鈴しょの腐敗に関し、ニオイセンサで腐敗の早期発見を図り、腐敗の進行を遅らせる対策を取ることで、貯蔵中の減耗率を低下させることが期待できる。



図1 ニオイセンサ 左：nose@MEMS 右：MSS

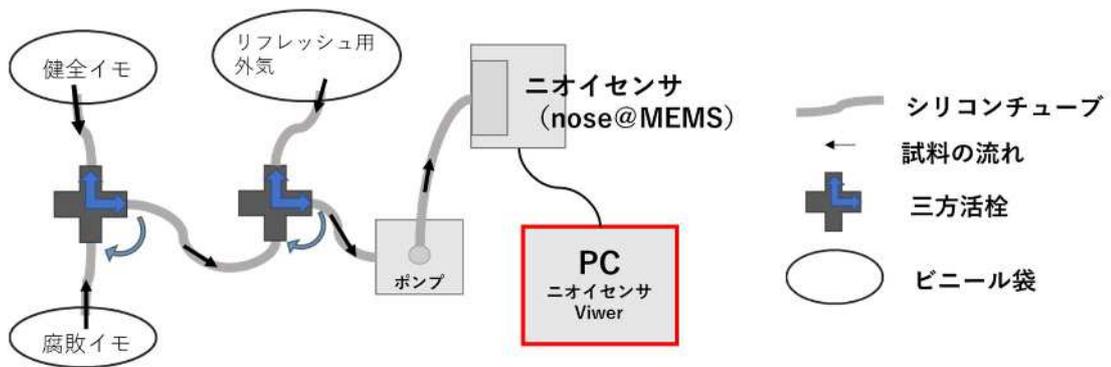


図2 測定装置の構成の概略

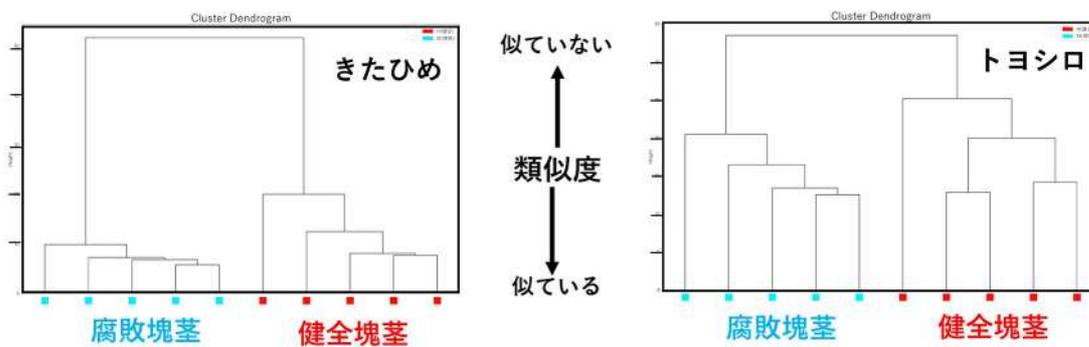


図3 クラスタ分析樹形図

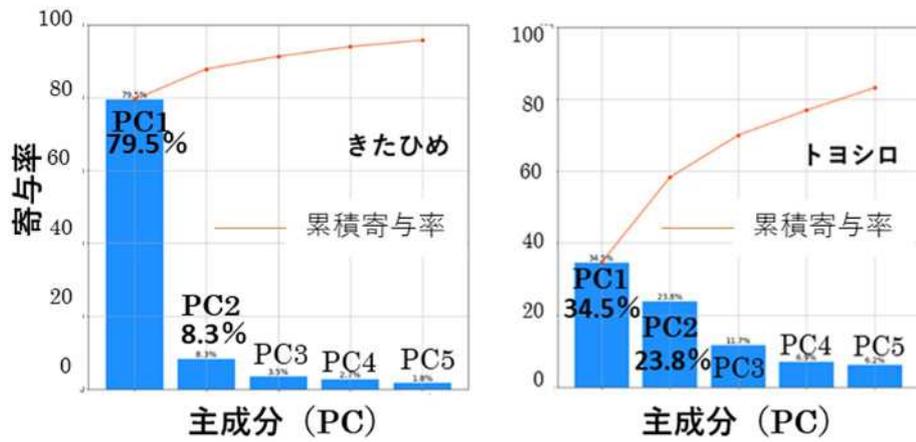


図4 寄与率

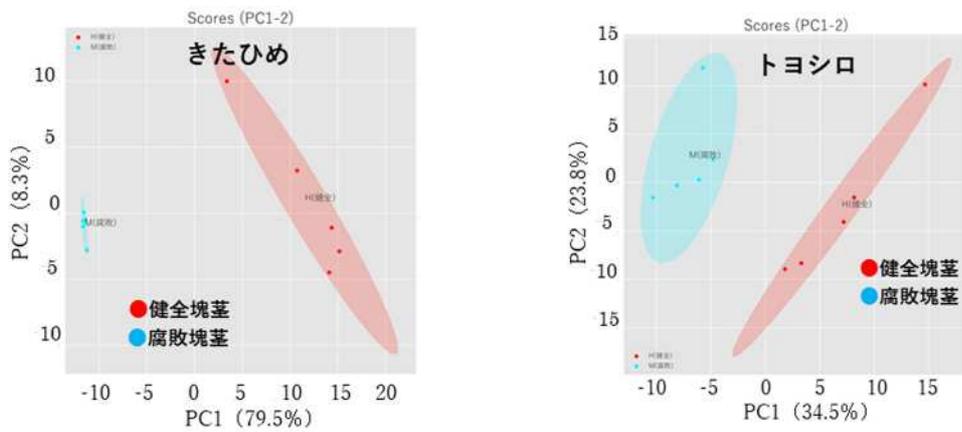


図5 主成分得点プロット

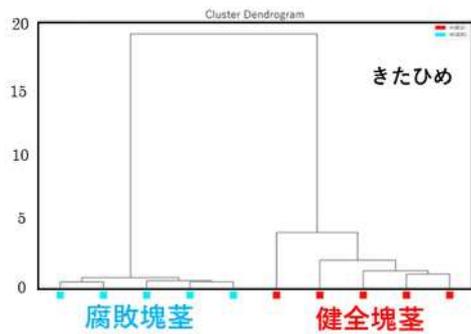


図6 クラスタ分析樹形図

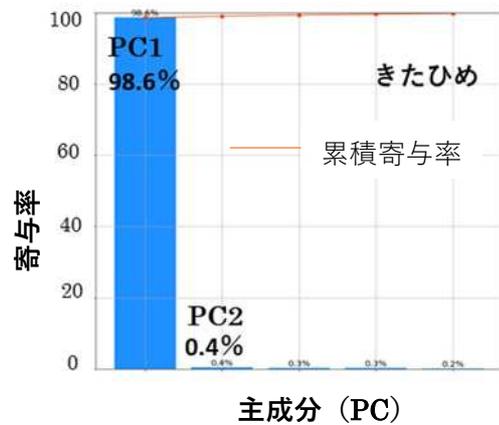


図7 寄与率

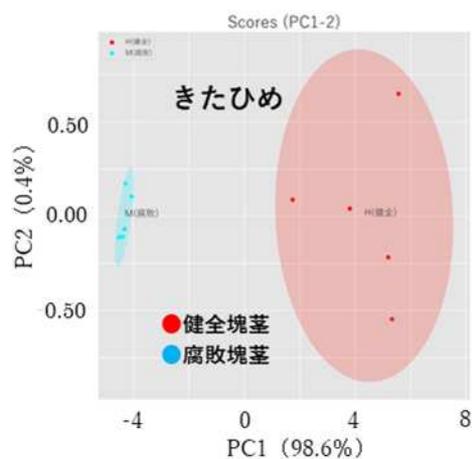


図8 主成分得点プロット

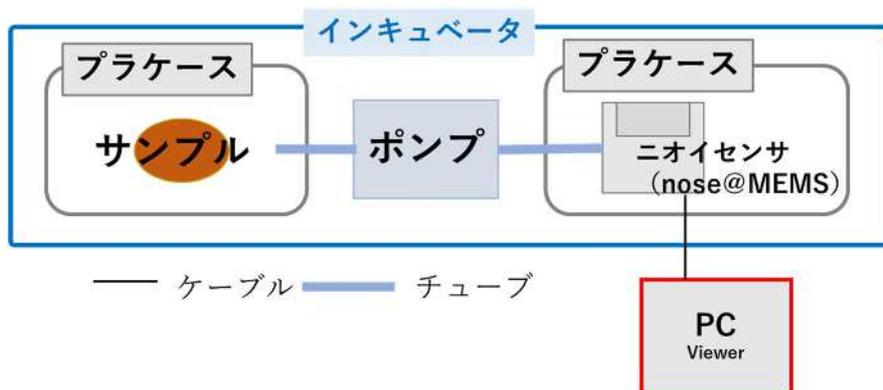


図9 改良した測定装置の構成の概略

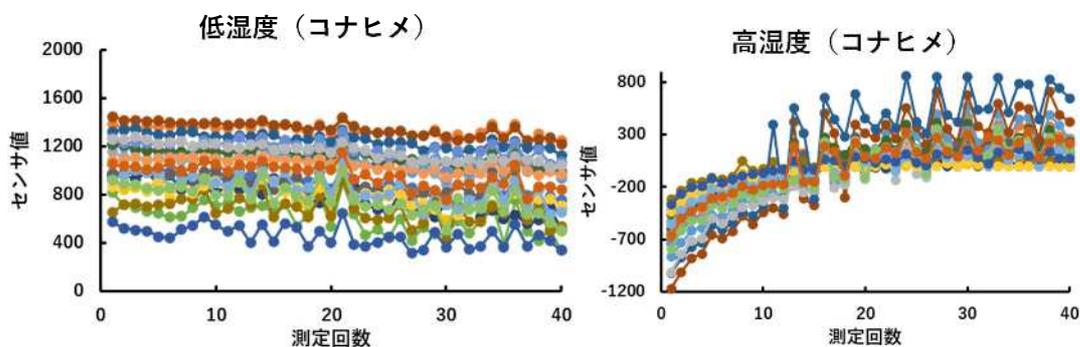


図10 低湿度 (左図) と高湿度 (右図) の時のセンサ値の例

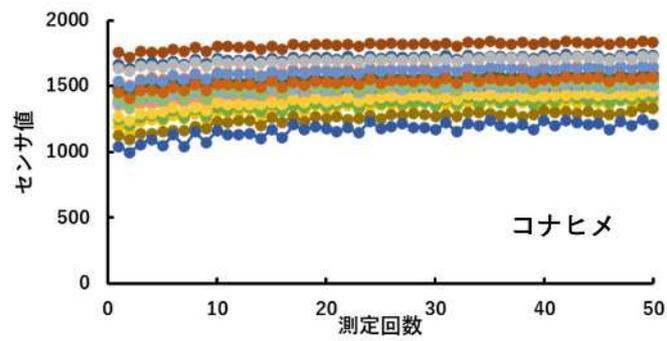


図 11 測定にガスバッグを用いたセンサ値の例



○は腐敗塊茎がある場所

図 12 9月と11月の貯蔵庫の様子

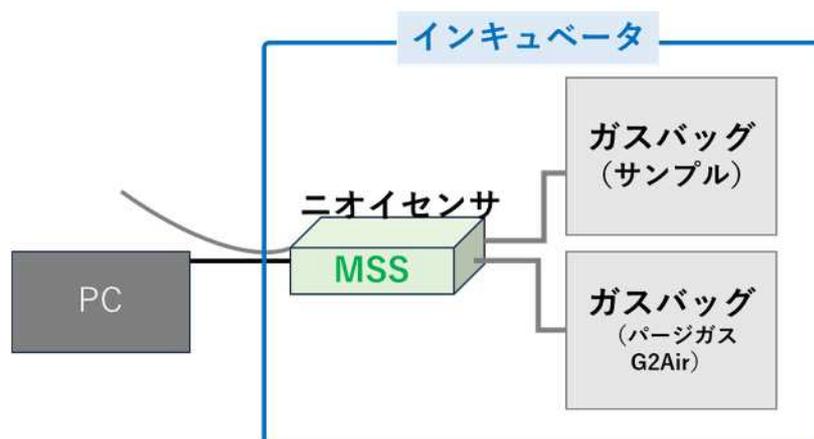


図 13 測定装置の構成の概略 (MSS)

ジャガイモシストセンチュウの殺処理手法・条件の解明 (完了課題)

1. 研究機関 国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構
北海道農業研究センター

2. 研究期間 令和6年度

3. 研究目的

(1) 1972年のジャガイモシストセンチュウ *Globodera rostochiensis* (以下、Gr) 発生確認以来、その発生地は拡大し続け、それに伴って種ばれいしょ生産圃場は減少し続けている。近年では高齢化による離農等も相まって、種ばれいしょ生産量の減少が深刻化しており、地域によっては種ばれいしょの安定供給が懸念されつつある。一方、でん粉原料用品種についてはGr抵抗性品種へ置き換えられ、対策も進むが、種ばれいしょ生産圃場については生食用などの感受性品種の生産を兼ねる圃場も尚多いことから、リスクは依然存在する。ばれいしょの安定的かつ長期的な生産維持には本線虫類の発生地拡大を阻止し、線虫発生による種ばれいしょ生産圃場の減少を食い止めることが不可欠である。また、オホーツク地域で発生したジャガイモシロシストセンチュウ *G. pallida* (以下、Gp) については防除が進みつつあるが、根絶は不可能であることから、今後も再発生や周辺圃場あるいは周辺地域への拡散についても最大限注意する必要がある。

(2) 本線虫類の分布拡大は、シストが靴や農機具、農業機械等に付着して移動することが最も大きな要因とされているため、拡散を防ぐには付着しているシストの除去・不活化が必要である。一部の集荷施設等では共用コンテナ類などの熱湯消毒が行われているが、確実に消毒可能な熱処理条件が未解明のため、不十分な措置になっている可能性がある。これら共用器具類による伝搬リスクは高いと推察されることから、根菜類の集荷コンテナを含め、消毒措置の更なる普及が重要である。このほか、作業靴や農器具類の消毒要望も高いが、適切な消毒方法についてはこれまで系統立った調査事例がなく、未解明である。確実な消毒方法が不明であることは、消毒対策の普及を妨げている一因でもあると推察される。

(3) そこで、殺線虫効果が見込まれる「熱水」「アルコール」「塩素系漂白剤」について、Grシストまたはそれを含む土壌（少量規模）を確実に殺処理できる条件を調査・解明する。これにより、確実な消毒とその普及が図られ、ジャガイモシストセンチュウ類の発生地拡大防止に寄与することを通し、北海道のばれいしょおよびばれいしょでん粉の安定生産に貢献する。

4. 研究内容

(1) 温湯浸漬による殺処理条件の解明

シストまたはシスト含有土壌を様々な温度および処理時間条件で温湯に浸漬し、生死判別を行うことにより、確実な殺処理に必要な温湯の温度、処理時間を解明する。また、シストが乾燥していると高温耐性が増すため、乾燥状態のシストと湿潤状態のシストの両方を実験に供試する。

(2) エタノール、塩素系漂白剤、クエン酸による殺処理条件の解明

エタノール、塩素系漂白剤、クエン酸溶液をシストまたはシスト含有土壌にエタノールを処理して生死判別を行い、確実な殺処理に必要な処理濃度や処理時間を解明する。

5. 研究結果

(1) 温湯浸漬によるジャガイモシストセンチウ類殺処理条件の解明

① 実施内容

まず、シストを温湯浸漬した場合における、殺処理に必要な処理温度・処理時間を調査した。この試験では、Grのシスト20個（乾燥状態のものと湿潤状態のものを両方供試）を50～80℃の温湯に3～90分間浸漬し、浸漬後のシストをバレイショに接種して3か月間培養し、新シストの形成数を調査した。新シストの形成数が0であれば、殺処理できたと判断した。コントロールとして、温湯浸漬を行わない無処理のシストも同様に供試した。なお、本試験で得られた結果をもとに、Gpでも同様の試験を実施した。

さらに、風乾したシスト含有土壌を供試した試験も実施した。水道水150mlが入ったトールビーカーをウォーターバスに設置し、ビーカー内の水温が目的とする温度（60, 70, 80℃）になるまで加熱した。その後、25mlのシスト含有土壌をビーカーに注ぎ入れ、3分間放置後、ただちにビーカーを取り出して土およびシストをふるいに移し、水道水をかけて冷ました。コントロールとして、温湯浸漬を行わないシスト含有土壌も用意した。処理後のシスト20個をバレイショに接種して3か月間培養し、新シストの形成数を調査した。

② 結果

Grのシストを温湯浸漬した試験においては、シストの乾湿にかかわらず、50℃では30分以上、60℃では10分以上、70℃および80℃では3分以上浸漬することで新シストの形成数が0となった（表1）。また、浸漬時間3分の処理についてGpのシストを用いて同様に実施したとともに、両種のシストを用いて60℃の温湯に3分間浸漬する試験も実施したところ、両種ともにシストの乾湿にかかわらず、60℃で3分以上浸漬することで新シストの

形成数が 0 となった (表 2)。以上の結果より、シスト単体を温湯浸漬する場合、60°C以上の温湯に 3 分以上浸漬すれば確実に殺処理できると考えられた。

シスト含有土壌を温湯浸漬した試験においては、Gp、Gr ともに 70°C以上の温湯に浸漬すると新シストの形成数が 0 となったが、60°Cだと新シストが得られた (表 3)。以上の結果より、シスト含有土壌を温湯浸漬する場合、70°C以上の温湯に 3 分以上浸漬すれば確実に殺処理できると考えられた。シスト単体であれば、60°C3 分で死滅したが、土壌中のシストを死滅させるには、70°C以上の温度が必要であった。これは、シスト単体を供試した試験では、シストを完全に水中に沈めていた一方で、土壌を供試した試験では、シストが水面に浮いていたことによると考えられる (図 1)。すなわち、熱が十分に伝わる条件においては、60°C3 分でシストを死滅させられるが、シストが水面に浮いたことにより、熱が十分に伝わらず、生存個体が残ってしまったと考えられる。

表 1 温湯に浸漬した Gr のシストをバレイショに接種したときの新シスト形成数

温度	シストの乾湿	3 分	10 分	30 分	90 分
50°C	乾燥	-	-	0	0
	湿潤	-	-	0	0
60°C	乾燥	-	0	0	0
	湿潤	-	0	0	0
70°C	乾燥	0	0	0	0
	湿潤	0	0	0	-
80°C	乾燥	0	0	0	0
	湿潤	0	0	-	-
無処理	乾燥	664±210			
	湿潤	720±64			

N = 3、平均±SE、-は実施せず

表2 温湯に浸漬した Gr および Gp のシストをバレイショに接種したときの
新シスト形成数

処理	シストの乾湿	Gr	Gp
60℃ 3分間	乾燥	0	0
	湿潤	0	0
70℃ 3分間	乾燥	0	0
	湿潤	0	0
80℃ 3分間	乾燥	0	0
	湿潤	0	0
無処理	乾燥	927.3±368.6	1016.7±307.5
	湿潤	1381.7±131.7	1106.3±131.4

N = 3、平均±SE、-は実施せず

表3 温湯に浸漬したシスト含有土壌から分離したシストをバレイショに接
種したときの新シスト形成数

	Gr	Gp
60℃ 3分	0.7±0.3	345.7±186.8
70℃ 3分	0	0
80℃ 3分	0	0
無処理	1236.7±496.5	1382.3±442.2

N = 3、平均±SE



図1 温湯浸漬試験の様子。左：シストの浸漬試験。シスト入りメッシュバッ
グを金属製クリップで挟んで完全に沈めている。右：土壌浸漬試験の様子。土
壌粒子は沈んでいるが、シストは水面に浮いている。

(2) エタノール、塩素系漂白剤、クエン酸による殺処理条件の解明

① 実施内容

エタノールおよび塩素系漂白剤は取扱いに注意を要することから、実用場面としては噴霧等の少量処理による殺線虫が考えられる。そこで、本線虫類のシストまたはシスト汚染土壌を少量・複数濃度段階のエタノールまたは次亜塩素酸水溶液に浸漬して生死判別を行うことにより、実条件での殺線虫の可能性を評価した。

本研究では殺線虫効果を調査する素材としてエタノール、次亜塩素酸ナトリウム、キッチンハイターのほか、クエン酸（市販品の「激落ちくん」）を供試した。Grのシスト（湿潤状態）10個にエタノール水溶液は15, 30, 45, 60, 70%濃度20 μ Lを、次亜塩素酸ナトリウム水溶液およびキッチンハイターはそれぞれの原液を0.04, 0.2, 1, 5%に希釈した液を50 μ L、クエン酸は0.04, 0.2, 1, 5%濃度液を50 μ L処理し、室内で24h放置した。その後、シストを蒸留水で洗浄し、18 $^{\circ}$ Cで1週間前処理したあと卵を取り出してふ化促進物質を作用させ、ふ化の有無、その数を調査することにより、殺線虫効果を評価した。さらに、この試験で殺線虫効果が認められたクエン酸について、土壌に含まれるシストを不活化できるか調査した。土壌20gを50mlビーカーに入れ、Grシストを10個ずつ混入させ、5%クエン酸を0, 1, 3, 6, 10, 20ml処理し、室温で24h放置した。その後、上記と同様にふ化幼虫数を調査した。

② 結果

70%エタノールは30分以内に、30%エタノールはおおよそ100分で蒸発した。各濃度条件ともに多くの幼虫がふ化し、殺線虫効果は認められなかった(図2)。エタノールについては、現場で実用性が見込める少量処理では殺線虫は期待できないと判断された。

次亜塩素酸ナトリウム試薬およびキッチンハイター原液の塩素濃度はほぼ同等だった。両処理液は20時間後までには全て蒸発した。5%濃度ではほとんどのシストでシスト壁の一部が溶け、卵が露出した。しかし、卵に異常は認められなかった。ふ化幼虫は次亜塩素酸ナトリウム溶液、キッチンハイター溶液ともに多く、シスト内卵に対する殺線虫効果は認められなかった(図3)。したがって、これらについても実用が見込める条件では殺線虫は期待できないと判断される。

一方、クエン酸は1および5%濃度でふ化幼虫数が有意に減少し、DWに比べて1%では93%減、5%では97%減だった(図3)。シストの外観に影響は認められなかったが、内部の卵は異常化が認められた。クエン酸溶液も時間とともに蒸発したが、5%濃度では24時間後でも液体が残った。次亜塩素酸やエタノールは揮発する一方、クエン酸は揮発せずに濃縮され、長時間作用すること

によって効果が得られた可能性がある。0.2%以下では効果を得られなかった要因としては、最初にシスト内に入り込む溶液の濃度が重要であると推察される。

一方、土壌が存在した場合、殺線虫効果は全く得られなかった。土壌 20g に対してクエン酸溶液処理量が 10 及び 20ml は過剰なほどだったが、多くの幼虫がふ化した (図 4)。クエン酸が土壌または土壌に含有する成分により中和または不活化したことがその要因として推察される。この結果、クエン酸溶液処理も現場での線虫不活化に実用性は期待できないと判断された。

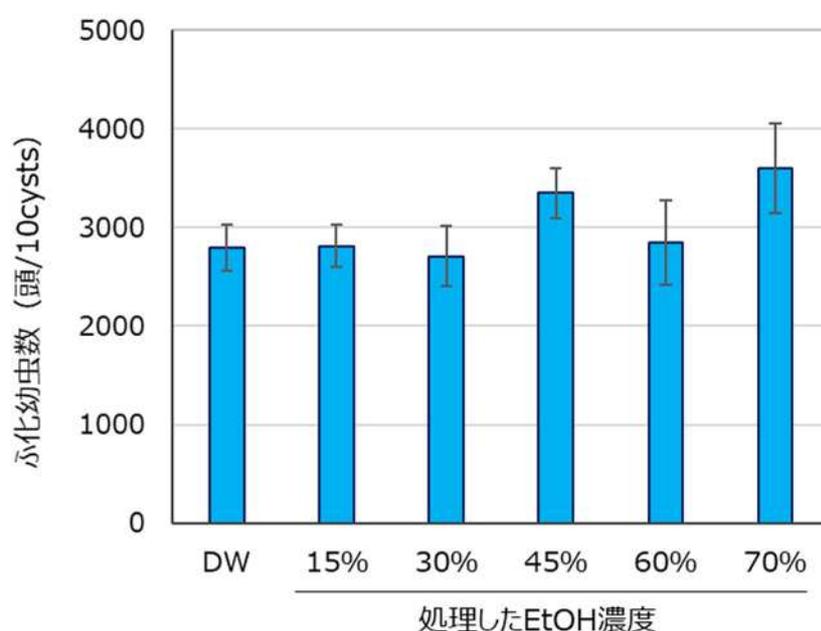


図 2 シスト内卵に対するエタノール少量処理の殺線虫効果

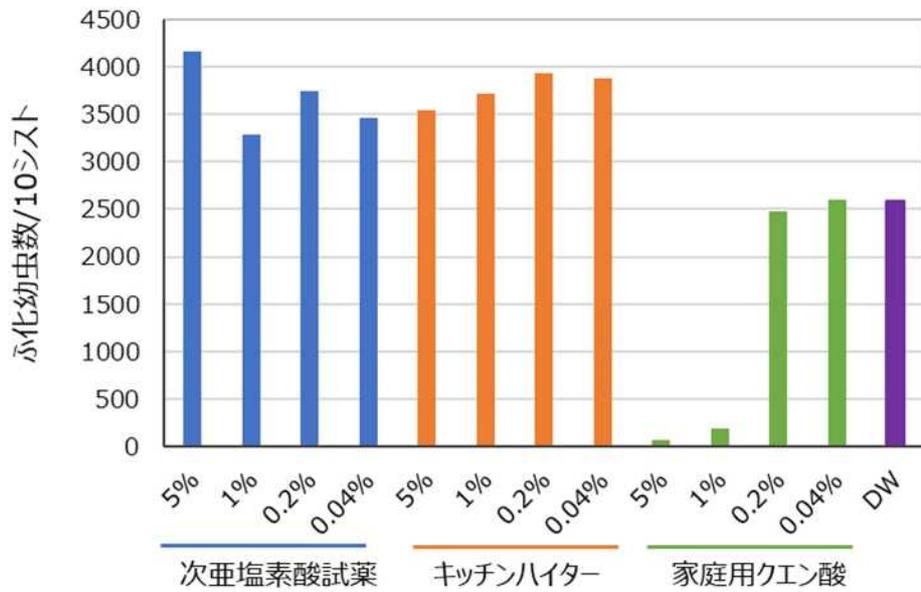


図3 シスト内卵に対する各候補素材溶液少量処理の殺線虫効果

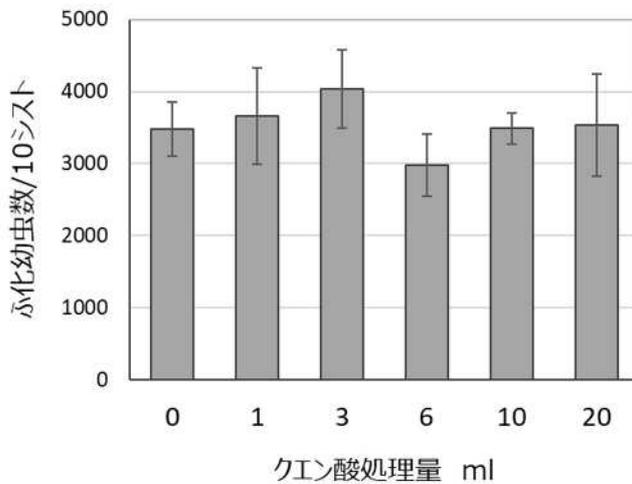


図4 土壌中シストに対するクエン酸溶液処理の殺線虫効果

以上の結果、農機具類に付着したジャガイモシストセンチュウ類シストやその汚染土壌を確実に不活化する方法として、「70℃の温湯に3分以上浸漬すること」が明らかになった。一方、薬液処理による不活化は、実用性を見込めないと判断された。シストの不活化には、シスト内に確実に浸透できる「熱」が最も有効であると判断される。

6. 今後期待される成果

温湯浸漬については、本線虫類を確実に殺処理できる条件が明らかになった。本研究で得られた知見を生産者および集荷施設等に共有し、作業器具等の適切な消毒を普及させることで、本線虫類の拡散や発生地拡大を防止し、ばれいしょの安定的かつ長期的な生産維持に貢献すると期待される。

取扱注意

- ・ 本資料は内部資料であるので取扱いに注意すること
- ・ 複写、転載はしないこと
- ・ 講演、講義の資料集として使用しないこと