

# ニンニク白絹病に対する有効薬剤の選定および処理時期の検討

片山 貴博<sup>a)</sup>・西村 文宏<sup>a)</sup>・佐野有季子<sup>a)</sup>

キーワード：ニンニク, 白絹病, インピルフルキサム水和剤, 処理時期

Selection of effective pesticides and timing of treatment for *Sclerotium rolfii* in garlic.

Takahiro KATAYAMA<sup>a)</sup>, Fumihiko NISHIMURA<sup>a)</sup>, Yukiko SANNO<sup>a)</sup>

Keywords: Garlic, *Sclerotium rolfii*, Inpyrfluxam water Powder, Treatment timing

## Abstract

On potato dextrose agar (PDA) media, sclerotia of *Sclerotium rolfii* germinated stably at temperatures of 15 °C and higher. Given that soil temperatures from mid-October to early November, when garlic is typically transplanted in Kagawa prefecture, and from mid-March to the harvest period in mid-May reach temperatures of 15 °C or higher, it is likely that the plants are infected during these periods.

In fungicide trials conducted in the fall and spring, approximately during the periods above, none of the fall treatments showed any efficacy. However, inpyrfluxam wettable powder applied in the spring significantly reduced disease and was judged to be effective. A single application of inpyrfluxam wettable powder in the spring was found to be as effective as two applications.

Among soil disinfectants, sodium carbamate solution was found to be highly effective in controlling the disease.

The fact that disease incidence increased significantly when rice straw was incorporated into the soil suggests that rice straw is a contributing factor in disease development. However, treatment with inpyrfluxam wettable powder was still highly effective in controlling disease even when rice straw was incorporated into the soil.

## 摘 要

PDA培地上において白絹病菌菌核は15℃以上で安定的に発芽した。本県におけるニンニクの作期中では定植期である10月中旬～11月上旬および3月中旬～収穫期である5月中旬に地温が15℃以上となることから、当該時期に本菌が感染していると考えられた。

複数の薬剤を概ね上記期間にあたる秋季または春季に処理したところ、秋季処理では、いずれの供試薬剤も達

効を示さなかったのに対し、春季処理では、インピルフルキサム水和剤の防除効果が高く、有効であると判断した。また、同剤の春季処理では、1回処理でも2回処理と同等の防除効果を認めた。

土壌消毒剤では、カーバマナトリウム塩液剤の防除効果が高く有効であると考えられた。

稲わらをすき込むことで本病害の発病株率が有意に上昇したことから稲わらが発病助長要因であると示唆されたが、インピルフルキサム水和剤の処理は稲わらすき込み条件下であっても高い防除効果を示した。

## 緒言

香川県における令和4年度のニンニクの収穫量は728tであり、青森県、北海道に次ぐ全国3位となっている(農林水産省<sup>2)</sup>)。本県では主に10月に定植し4月下旬～5月下旬に収穫を行うが、収穫前の春季から*Sclerotium rolfsii* Saccardoによる白絹病が発生し収量低下の一因となっている。

本菌は、ニンニクに感染すると、地下部および地際部に白色の絹糸状の菌糸を張り巡らせる。その後、ナタネ種子大ほどの白色の菌核を形成し、成熟すると茶褐色となる。本病害が発病したニンニクは、菌糸および菌核が出荷部位に付着するため商品価値を失う。

本菌は担子菌類に属し、我が国では80科240種以上の植物に感染する多犯性の土壤伝染性の植物病原菌である(越智<sup>3)</sup>)。本菌の生育適温は25℃～30℃付近(権藤<sup>1)</sup>)であるため、気温が高くなる夏季に発生し問題となることが多いが、15℃以上あれば菌糸伸長が可能(岡部<sup>4)</sup>)であることから本県のニンニク栽培においては春季で問題となっている。また、ダイズおよびラッカセイにおいて土寄せを行った場合や、ダイズにおいて麦わらをすき込んだ場合は、本病害の発病が助長される(渡辺ほか<sup>5)</sup>、安永ほか<sup>6)</sup>)。本県では浅植えしたニンニクに3回程度土寄せを行った後にマルチ敷設する土寄せ栽培が半数以上を占めており、水田作後の稲わら存在下で栽培される圃場が多いため、発病リスクが高いと考えられる。

ニンニクに対する本病害の登録農薬は少なく、現在の防除暦ではシメコナゾール粒剤の土寄せ時処理のみとなっており、その処理を行ったにも関わらず、発病が十分抑制できていない圃場が散見される。前述の通り本県のニンニクでは土寄せを3回行う栽培様式が主流となっているが、同剤は土寄せ中に1回みの処理となっている。複数回の土寄せによって同剤の効果が行き届いていない土壌がニンニクに付着すること、また、同剤の処理から収穫期までは約半年と長く、同剤の効果が低下していることが主な原因であると考えられる。

そこで、本菌の感染時期について菌核の発芽温度から推測して、有効薬剤の選定および処理時期の検討を行った。

## 材料および方法

### 1. 感染時期の推測

#### 白絹病菌菌核発芽温度調査

PDA培地を充填したシャーレ(直径90mm)の中央に香川県農業試験場圃場由来KN1株(以下「KN1株」)の菌核を1個置床し、5℃～35℃の範囲で5℃ずつ温度を変化させたインキュベーター内で培養した。置床後3日、5日、7日の菌叢直径を測定した。各条件3反復を行った。

### 2. 有効薬剤および防除適期の検討

#### 茎葉散布剤の秋季または春季処理の防除効果検討

試験は前年度白絹病菌が多発した香川県農業試験場内404圃場で行った。圃場内の菌密度を均一にするため2019年7月17日に代かきを行い、7月17日～24日の間湛水した。ニンニクは「上海早生(太倉種)」を用い、2019年10月16日に定植を行った。畝幅140cm、株間15cm、条間20cm、3条植えし、11月7日、13日、21日に手押し式管理機を用いて土寄せを行い、11月26日に透明マルチ(厚さ0.02mm)を敷設した。試験区は、1区あたり1.4m×2.4mの3.36m<sup>2</sup>の3反復とした。

薬剤の秋季処理と春季を後述のとおり行い、2020年5月18日に各区全株収穫した。鱗茎を目視で確認して、菌糸および菌核の有無を調査した。菌糸または菌核が付着した株を発病株とし、発病株率から防除価を算出した。防除価=100-(薬剤処理区の発病株率/無処理区の発病株率)×100

#### 1) 秋季処理

供試薬剤はピラジフルミド水和剤2,000倍、インピルフルキサム水和剤4,000倍、バリダマイシン液剤500倍、フルトラニル水和剤1,000倍を用いた。各供試薬液に展着剤としてポリオキシエチレンニルフェニルエーテル20.0%、ポリナフチルメタンスルホン酸ナトリウム6.0%剤(以下「展着剤」)を最終濃度5,000倍で添加した。薬剤処理は定植直後の10月16日、1回目土寄せ直前の11月5日および7日、3回目土寄せ直前の11月21日の計4回、肩掛け式電動噴霧機を用いて285L/10aの割合で地際から10cm程度までの株元散布を行った。

#### 2) 春季処理

インピルフルキサム水和剤4,000倍およびピラジフルミド水和剤2,000倍は、①3月17日および4月3日、②4月3日および24日、③4月24日および5月8日の3水準で株元散布、ピコキシストロビン水和剤2,000倍は、

①4月3日および23日, ②4月24日および5月8日の2水準で散布, フルアジナム水和剤1,000倍は4月24日および5月8日の1水準で株元灌注の薬剤処理を行った。各供試薬液に展着剤を最終濃度5,000倍で添加した。肩掛け式電動噴霧機を用いて株元散布および散布は285L/10a, 株元灌注はノズルをマルチ穴に挿入し1L/m<sup>2</sup>の割合で行った。

### 3. インピルフルキサム水和剤処理回数の検討

試験は当農試404圃場で行った。ニンニクは「上海早生(太倉種)」を用い, 2020年10月29日に定植を行った。畝幅140cm, 株間15cm, 条間20cm, 3条植えとした。試験区は, 1区当たり1.4m×2.5mの3.50m<sup>2</sup>の3反復とした。11月12日, 19日, 12月1日に前述と同様な方法で土寄せを行い, 12月2日に透明マルチ(厚さ0.02mm)を敷設した。インピルフルキサム水和剤4,000倍を2021年4月に2回または1回株元散布した。各供試薬液に展着剤を最終濃度5,000倍で添加した。試験2-1)と同様な方法で289L/10aの割合で処理した。処理時期の詳細を表-3に示した。2021年5月14日に各区全株収穫し, 鱗茎を目視で確認して, 菌糸および菌核の有無を調査した。前述のとおり発病株率から防除価を算出した。

### 4. 土壌消毒剤による防除効果検討

試験は当農試404圃場で行った。KN1株の菌核をフスマ培地(籾殻3L, ふすま1L, 水道水0.5L)で30℃, 10日間培養を行い, 2019年9月12日に92g/m<sup>2</sup>の割合で試験圃場に接種した。

土壌消毒剤はダゾメット粉粒剤30kg/10a, カーバムナトリウム塩液剤60L/10aを用いた。ダゾメット粉粒剤は手で散布を行い, カーバムナトリウム塩液剤は10倍希釈液をジョウロを用いて土壌表面に散布を行い, それぞれの散布後は直ちにロータリーで混和して畝立ておよび黒マルチ(厚さ0.03mm)を敷設した。

ニンニクは「上海早生(太倉種)」を用い, 薬剤処理34日後の10月17日にマルチに植穴を開け深さ5cmに定植した。畝幅150cm, 株間15cm, 条間20cm, 4条植えとした。試験区は, 1区あたり1.5m×4.5mの6.75m<sup>2</sup>の3反復とした。

2020年5月7日に各区90株収穫し, 鱗茎を目視で確認して, 菌糸および菌核の有無を調査した。前述のとおり発病株率から防除価を算出した。

### 5. 稲わら存在下における発病助長の可能性およびインピルフルキサム水和剤による防除効果検討

試験は当農試404圃場で行った。2023年10月10日に600kg/10aの割合で稲わらをすき込んだ稲わら処理区を設けた。10月12日に「上海早生(太倉種)」を定植した。

2024年4月16日に稲わら処理区の一部にインピルフルキサム水和剤4,000倍を試験2-1), 3と同様な方法で300L/10aの割合で処理を行い稲わら+薬剤区とした。畝幅140cm, 株間15cm, 条間20cm, 3条植えとした。試験区は, 1区当たり1.4m×2.5mの3.50m<sup>2</sup>の3反復とした。11月6日, 28日, 12月12日に前述と同様な方法で土寄せを行い, 12月27日に透明マルチ(厚さ0.02mm)を敷設した。2024年5月17日に各区30株収穫し, 鱗茎を目視で確認して, 菌糸および菌核の有無を調査した。前述のとおり発病株率から防除価を算出した。

### 6. 地温測定方法

試験2, 3, 5, において, ニンニクの定植深度である約5cmに温度データロガー(おんどとりTR-71wb, T&D社製)の地温センサを挿入して通常の土寄せマルチ栽培を行い(最終深度約10cm), 栽培期間中の地温を測定した。

## 結果

### 1. 感染時期の推測

#### 白絹病菌菌核発芽温度調査

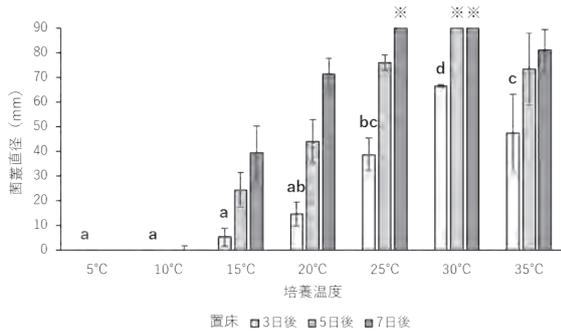
培養温度が10℃以下では置床7日後においても菌核からの発芽がほとんど認められなかったのに対し, 15℃以上では置床3日後からすべての菌核で発芽を認めた(図-1)。また, 菌糸伸長は30℃で最も旺盛となり, 既報(岡部<sup>4)</sup>)に一致した。当農試における2020年~2024年のニンニク作期中の日平均地温(図-2)から, 10月中旬~11月上旬および3月中旬~収穫期の5月中旬に地温が15℃以上となった。

### 2. 有効薬剤および防除適期の検討

#### 莖葉散布剤の秋季または春季処理の防除効果検討

##### 1) 秋季処理

調査時の2020年5月18日における無処理区の発病株率は28.6%であった。フルトラニル水和剤処理区およびインピルフルキサム水和剤処理区のみ無処理区と比較して発病株率が低くそれぞれ16.7%および22.8%となったが, 有意差は認められなかった(表-1)。



※はシャーレ全体に菌糸が伸長したことを示す。  
 エラーバーはS.D.を示す。  
 置床3日後において異文字間に有意差あり (Tukey, P<0.05)。

図-1 PDA培地上における白絹病菌の菌叢直径

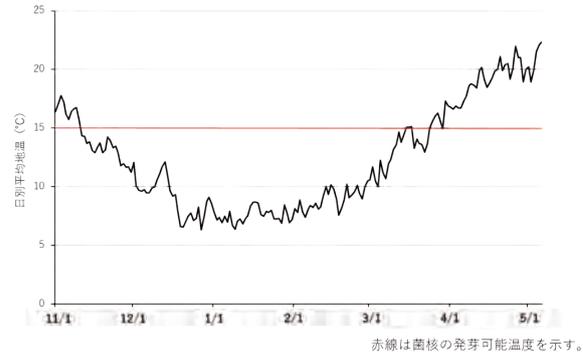


図-2 香川県農業試験場におけるニンニク作期中の地下約10cm地温 (2020~2024年平均)  
 赤線は菌核の発芽可能温度を示す。

表-1 各薬剤の秋季処理による白絹病に対する防除効果

供試薬剤 <sup>x)</sup>	処理濃度 処理方法	反復	調査 株数	健全 株数	発病 株数	発病 株率 (%)	有意性 <sup>y)</sup>	防除価 <sup>z)</sup>
フルトラニル水和剤	1000倍	I	45	32	13	28.9	a	41.7
		II	38	32	6	15.8		
	株元散布	III	43	41	2	4.7		
		計	126	105	21	16.7		
インピルフルキサム水和剤	4000倍	I	44	34	10	22.7	ab	20.2
		II	47	35	12	25.5		
	株元散布	III	45	36	9	20.0		
		計	136	105	31	22.8		
ピラジフルミド水和剤	2000倍	I	38	30	8	21.1	bc	0
		II	33	15	18	54.5		
	株元散布	III	36	22	14	38.9		
		計	107	67	40	37.4		
バリダマイシン液剤	500倍	I	44	17	27	61.4	c	0
		II	46	30	16	34.8		
	株元散布	III	42	27	15	35.7		
		計	132	74	58	43.9		
無処理		I	76	54	22	28.9	ab	
		II	49	28	21	42.9		
		III	43	38	5	11.6		
		計	168	120	48	28.6		

x) 2019年10月16日, 11月5日, 7日, 21日の計4回, 285L/10aの割合で株元散布した。

y) 発病株率についてRyan's testにより異文字間に有意差あり。

z) 防除価は発病株率から算出した。

2) 春季処理

調査時の無処理区の発病株率は62.8%であった。インピルフルキサム水和剤およびフルアジナム水和剤においては防除価72.7以上を示し、無処理および他の剤と比較して有意差を認めた (Ryan's test) (表-2)。特に、インピルフルキサム水和剤を処理した3区のうち、4月3日および24日に株元散布を行った処理区では防除価95.9となり、他の2区と比較して有意差を認めた (Ryan's

test)。

ピラジフルミド水和剤およびピコキシストロビン水和剤は、4月24日および5月8日処理区のみ無処理区と比較して発病株率が有意に低かった (Ryan's test)。

3. インピルフルキサム水和剤処理回数の検討

調査時の無処理区の発病株率は26.7%であった。4月2日および20日の2回処理の発病株率が1.9%であった

表－2 各薬剤の春季処理による白絹病に対する防除効果

供試薬剤	処理方法 処理濃度	2020年 処理日 <sup>w)</sup>					反復	調査 株数	健全 株数	発病 株数	発病株率 (%)	有意性 <sup>x)</sup>	防除価 <sup>y)</sup>
		3月17日	4月3日	4月23日	4月24日	5月8日							
インピルフルキサム水和剤 285L/10a	4000倍	○	○	-	-	-	I	37	32	5	13.5	b	77.1
							II	46	43	3	6.5		
							III	49	38	11	22.4		
							計	132	113	19	14.4		
	株元散布	-	○	-	○	-	I	36	33	3	8.3	a	95.9
							II	38	38	0	0		
							III	43	43	0	0		
							計	117	114	3	2.6		
							I	47	37	10	21.3	b	72.7
						II	48	41	7	14.6			
						III	39	33	6	15.4			
						計	134	111	23	17.2			
ピラジフルミド水和剤 285L/10a	2000倍	○	○	-	-	-	I	50	30	20	40.0	cd	24.2
							II	49	28	21	42.9		
							III	44	17	27	61.4		
							計	143	75	68	47.6		
	株元散布	-	○	-	○	-	I	36	30	6	16.7	c	37.8
							II	49	25	24	49.0		
							III	43	23	20	46.5		
							計	128	78	50	39.1		
							I	48	37	11	22.9	c	48.1
						II	43	35	8	18.6			
						III	47	21	26	55.3			
						計	138	93	45	32.6			
ピコキシストロピン水和剤 285L/10a	2000倍	-	○	○	-	-	I	46	20	26	56.5	c	30.4
							II	40	25	15	37.5		
							III	49	31	18	36.7		
							計	135	76	59	43.7		
	散布	-	-	-	○	○	I	46	27	19	41.3	c	40.0
							II	41	30	11	26.8		
III							43	24	19	44.2			
						計	130	81	49	37.7			
フルアジナム水和剤 1L/m <sup>2</sup>	1000倍	-	-	-	○	○	I	41	40	1	2.4	a	93.6
							II	40	38	2	5.0		
							III	44	42	2	4.5		
						計	125	120	5	4.0			
無処理	-	-	-	-	-	-	I	43	19	24	55.8	d	
							II	46	11	35	76.1		
							III	48	21	27	56.3		
						計	137	51	86	62.8			

w) ○は処理を行った日を示す。

x) 発病株率についてRyan's testにより異文字間に有意差あり。

y) 防除価は発病株率から算出した。

のに対し、4月2日、20日、30日の1回処理では同4.1%、5.0%、2.0%を示した(表-3)。いずれの処理区も無処理区と比較して発病株率が有意に低く、また、1回処理と2回処理では有意差が認められなかった(Ryan's test)。

#### 4. 土壌消毒剤による防除効果検討

調査時の無処理区の発病株率は54.8%であった。ダズメット粉粒剤処理区の発病株率は10.0%、カーバマナトリウム塩液剤処理区では3.0%と両薬剤共に無処理区と比較して発病株率は有意に低下しており、高い防除効果を示した(表-4)。さらに、両薬剤を比較するとダズメット粉粒剤よりもカーバマナトリウム塩液剤の方が有意に発病を抑えた(Ryan's test)。

#### 5. 稲わら存在下における発病助長の可能性およびインピルフルキサム水和剤による防除効果検討

調査時の無処理区の発病株率は55.6%であった。稲わら処理区における発病株率は76.7%となり無処理区と比較して有意に発病株率が上昇した(Ryan's test)(表-5)。このことから、稲わらの存在によって本病害の発生が助長されることが示唆された。一方で、稲わら+薬剤処理区では発病株率が2.2%であったことから、稲わら存在下であってもインピルフルキサム水和剤処理によって本病害の防除が可能であると示唆された。

## 考 察

PDA培地上における本菌菌核の培養温度が10℃以下

表－3 インピルフルキサム水和剤処理時期別の白絹病に対する防除効果

処理方法 <sup>w)</sup>	2021年 処理日 <sup>x)</sup>			反復	調査株数	健全株数	発病株数	発病株率 (%)	有意性 <sup>y)</sup>	防除価 <sup>z)</sup>
	4月2日	4月20日	4月30日							
株元散布	○	-	-	I	49	46	3	6.1	a	84.8
				II	43	42	1	2.3		
				III	56	54	2	3.6		
				計・平均	148	142	6	4.1		
株元散布	-	○	-	I	50	46	4	8.0	a	81.1
				II	53	52	1	1.9		
				III	56	53	3	5.4		
				計・平均	159	151	8	5.0		
株元散布	-	-	○	I	47	46	1	2.1	a	92.4
				II	49	47	2	4.1		
				III	52	52	0	0.0		
				計・平均	148	145	3	2.0		
株元散布	○	○	-	I	45	45	0	0.0	a	92.8
				II	66	64	2	3.0		
				III	45	44	1	2.2		
				計・平均	156	153	3	1.9		
無処理	-	-	-	I	54	38	16	29.6	b	
				II	48	36	12	25.0		
				III	48	36	12	25.0		
				計・平均	150	110	40	26.7		

w) インピルフルキサム水和剤4000倍を289L/10aの割合で株元散布した。

x) ○は処理を行った日を示す。

y) 発病株率についてRyan's testにより異文字間に有意差あり。

z) 防除価は発病株率から算出した。

表－4 土壌消毒剤による白絹病に対する防除効果

供試薬剤	反復	調査株数	健全株数	発病株数	発病株率 (%)	有意性 <sup>x)</sup>	防除価 <sup>y)</sup>
カーバマナトリウム塩液剤 60L/10a	I	90	86	4	4.4	a	94.6
	II	90	87	3	3.3		
	III	90	89	1	1.1		
	計・平均	270	262	8	3.0		
ダゾメット粉粒剤 30kg/10a	I	90	79	11	12.2	b	81.8
	II	90	87	3	3.3		
	III	90	77	13	14.4		
	計・平均	270	243	27	10.0		
無処理	I	90	34	56	62.2	c	
	II	90	45	45	50.0		
	III	90	43	47	52.2		
	計・平均	270	122	148	54.8		

x) 発病株率についてRyan's testにより異文字間に有意差あり。

y) 防除価は発病株率から算出した。

表-5 稲わらすき込みによる白絹病への影響およびインピルフルキサム水和剤の防除効果

処理区名	処理内容 <sup>x)</sup>		反復	調査株数	健全株数	発病株数	発病株率 (%)	有意性 <sup>y)</sup>	防除価 <sup>z)</sup>
	稲わらすき込み	薬剤処理							
稲わら	2023年 10月10日	-	I	30	8	22	73.3	c	0
			II	30	6	24	80.0		
			III	30	7	23	76.7		
			計・平均	90	21	69	76.7		
稲わら+薬剤	2023年 10月10日	2024年 4月16日	I	30	29	1	3.3	a	96.0
			II	30	30	0	0		
			III	30	29	1	3.3		
			計・平均	90	88	2	2.2		
無処理	-	-	I	30	13	17	56.7	b	
			II	30	13	17	56.7		
			III	30	14	16	53.3		
			計・平均	90	40	50	55.6		

x) 稲わらすき込み：稲わらを600kg/10aの割合ですき込んだ。

薬剤処理：インピルフルキサム水和剤4000倍を300L/10aの割合で株元散布した。

y) 発病株率についてRyan's testにより異文字間に有意差あり。

z) 防除価は発病株率から算出した。

ではほとんど発芽を認めなかったのに対し、15℃以上では供試した全ての菌核からの発芽を認めた。このことから、自然環境下においても地温が10℃以下ではほとんど感染することはない、15℃以上になると感染のリスクが高まると考えられた。当農試におけるニンニク作期中において地温が15℃以上となるのは、定植期の10月中旬～11月上旬および3月中旬以降であり、この期間に感染していると考えられた。複数の薬剤を感染時期と推測した秋季または春季に処理したところ、秋季処理では、どの供試薬剤も達効を示さなかったのに対し、春季処理では、インピルフルキサム水和剤の防除効果が最も高く、有効であると判断した。フルアジナム水和剤は浸透移行性がほとんどないため罹病部位に直接薬液が到達するよう灌注処理を行ったが、現場での灌注処理は困難であり普及性は低いと考えられた。ピラジフルミド水和剤およびピコキシストロピン水和剤は、2回処理のうち4月24日および5月8日の処理が最も効果が高かったものの、その防除価は48.1であり（表-2）、一般的に実用性が高いと判断される基準である80より低かったことから、実用性は低いと考えられた。インピルフルキサム水和剤の最も防除効果が高かった2020年4月3日および4月24日の処理日は、最高地温、平均地温が15℃を超え始めるタイミングにそれぞれ重なっていた（図-3）。圃場においても例年5月上旬頃に初発を認めることから、主な感染時期は3月中旬以降の春季であると考えられた。このことから、菌核が発芽するタイミングに菌糸伸長阻害活性を有する同剤を処理することで高い防除効果を得ら



図-3 試験期間中の地下約10cm地温（2020年）

れたと考えられた。また、同剤の1回処理と2回処理で同程度の防除効果を認めたことから、適期防除であれば1回の処理でも効果的な防除が可能であり、資材コストおよび労力の削減が期待される。

白絹病菌は土壤中に耐久体である菌核として存在しており、伝染源となる。伝染源を除去する目的で土壤消毒剤の効果について検証した。土壤消毒剤では、カーバムナトリウム塩液剤処理の効果が高く有効であると考えられた。カーバムナトリウム塩液剤を処理する際、畝立ておよびマルチ敷設を同時に行い一定期間静置後に直接ニンニクを定植する先マルチ栽培が前提となるが、現在先マルチ栽培は少数であるため普及性については今後検討する必要がある。

ダイズでは、麦わらのすき込みによって本病害の発病

が助長されるとの報告がある（安永ほか<sup>6)</sup>）。本県では水稲後にニンニクを栽培する体系が多いため、稲わらすき込みによる本病害への影響を調査した。その結果、稲わらのすき込みによって発病株率が有意に上昇したことから発病助長要因であると示唆された。本菌は腐生性が強いいため、稲わらなどの粗大有機物を栄養源として増殖したことが原因と考えられた。しかし、稲わらすき込み条件下においてもインピルフルキサム水和剤処理によって高い防除効果が得られたことから稲わらの有無に関わらず同剤処理による防除が可能であることが示唆された。

今回の試験でインピルフルキサム水和剤が本病に対して有効であることが示唆された。しかし、処理タイミングによっては防除効果が低下（表-2）したことから防除適期の見極めが重要となる。近年、地球温暖化や異常気象により気温の年次変動が大きくなっており、それに伴い地温も変動するため防除適期についても変動すると予想される。そのため、年ごとに地温や気温から適切な処理タイミングを決定する基準の設定が今後の課題である。

## 引用文献

- 1) 権藤道夫（1961）：土壤病原菌の土壤生態学研究 第4報 白絹病菌に対する土壤諸要素の影響，鹿児島大学農学部学術報告10：23～27.
- 2) 農林水産省：作物統計調査／作況調査（野菜）確報令和4年産野菜生産出荷統計。  
<https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&layout=datalist&toukei=00500215&tstat=000001013427&cycle=7&year=20220&month=0&tclass1=000001032286&tclass2=000001032933&tclass3=000001212604>
- 3) 越智直（2019）：白絹病菌による病害の発生生態と防除，植物防疫第73巻第9号：584～587.
- 4) 岡部郁子（2002）：わが国における白絹病菌の遺伝的変異，農環研報 21：1～39.
- 5) 渡辺文吉郎・朝日秀雄・松田明（1968）：白絹病の生態的防除について，茨城県農業試験場研究報告第9号：30～39.
- 6) 安永忠道・青井俊雄・別宮岩義・重松喜昭（1986）：ダイズ白絹病の発生生態と防除，四国植防21：43～48.

## さぬきうどん用小麦新品種「さぬきの夢2023」の育成

多田 祐真<sup>a)</sup>・吉田有梨花<sup>a)</sup>・三木 哲弘<sup>a)</sup>・小林 美鈴<sup>a)</sup>・村上 優浩<sup>a)</sup>・森 芳史<sup>a)</sup>

キーワード：小麦, さぬきの夢, 育種, グルテニン遺伝子型, さぬきうどん

### Breeding of a New Wheat Cultivar 'Sanukinoyume 2023'

Yuma TADA<sup>a)</sup>, Yurika YOSHIDA<sup>a)</sup>, Tetsuhiro MIKI<sup>a)</sup>, Misuzu KOBAYASHI<sup>a)</sup>,  
Yoshihiro MURAKAMI<sup>a)</sup>, Yoshifumi MORI<sup>a)</sup>

Key words: Wheat, Sanukinoyume, Breeding, Glutenin genotype, Sanuki-Udon Noodle

#### Abstract

1. A new wheat cultivar suitable for Sanuki-udon, 'Sanukinoyume 2023', was developed at the Kagawa Prefectural Agricultural Experiment Station in the spring of 2010 using a pedigree selection method in conjunction with DNA marker-assisted selection (DNA-MAS), employing 'Kaiku No. 17' as the maternal parent and 'Kaiku No. 20' as the paternal parent.
2. In the productivity evaluation trial, 'Sanukinoyume 2023' exhibited similar heading and maturity dates, slightly longer culm length, similar ear length, slightly fewer ears, and slightly lower yield compared to 'Sanukinoyume 2009.' Thousand grain weight and volume weight were higher, protein content of unprocessed grains was higher, appearance quality was similar, pre-harvest sprouting resistance was greater, and ash content was slightly higher. The milling yield and BM ratio were similar, with the resulting flour having high gluten strength. Boiled udon noodles prepared from this flour were firm and had high viscoelasticity; depending on the year, the noodles had strong reddish coloration, but were judged as being excellent overall with superior taste and aroma.
3. In the investigation to determine which cultivar should be recommended, despite its slightly lower yield compared to 'Sanukinoyume 2009', 'Sanukinoyume 2023' was judged to be promising as a high-quality wheat cultivar for udon well-suited to the climate of Kagawa Prefecture based on its high volume weight, thousand grain weight, and excellent appearance quality.
4. The application to register the cultivar under the name 'Sanukinoyume 2023' was filed on July 11, 2023, and public announcement of the application was issued on October 30, 2023. In July 2024, the cultivar was selected as a recommended variety (wheat) for Kagawa Prefecture by the Kagawa Prefecture Examination Committee for Major Crop Recommended Varieties.

---

a) 作物・特作研究課

受理日：2024年11月1日

## 摘要

1. 小麦新品種「さぬきの夢2023」は、2010年春に香川県農業試験場において、さぬきうどんに適した品種育成を目的として、「香育17号」を母親に、「香育20号」を父親として人工交配し、派生系統育種法とDNAマーカー選抜（DNA-MAS）により育成した。
2. 生産力検定試験において、「さぬきの夢2023」は「さぬきの夢2009」と比較して、出穂期・成熟期はほぼ同等、稈長はやや長く、穂長は同等、穂数はやや少なく、収量はやや少なかった。千粒重、容積重は重く、原麦のタンパク質含有率は高く、外観品質はほぼ同等で穂発芽耐性は強く、灰分はやや高かった。製粉歩留・BM率はほぼ同等でグルテンの質は強く、ゆで麺は硬さがあり、粘弾性が高く、年次によっては赤味が強いが、味・香り、総合評価に優れた。
3. 奨励品種決定調査において、「さぬきの夢2023」は「さぬきの夢2009」と比較して、収量はやや少ないものの、容積重および千粒重が重く、外観品質が優れる結果となり、香川県の気候に適した高品質のうどん用小麦品種として有望と判断された。
4. 本育成系統は、2023年7月11日に「さぬきの夢2023」の品種名で品種登録出願し、同年10月30日に出願公表された。また、2024年7月の香川県主要農作物奨励品種審査会に諮られ、香川県奨励品種（小麦）に採用された。

## 緒言

香川県では、1961年産に小麦の生産量が53,600tとなり、1951年以降における生産のピークとなった。しかし、県産小麦は、小麦の価格の安さや労働力の不足に加え、1963年産および1970年産の収穫期の長雨による大不作が追い打ちをかけ、1970年代に激減し、さぬきうどんに使用される小麦がオーストラリア産のASWに代わった。1985年頃から、「県産小麦の“さぬきうどん”を食べたい」という県民の声が聞こえ始め、県内うどん業界から県に対して高品質の県産小麦の開発が強く要望された。

こうした要望を受け、香川県農業試験場では1991年から「さぬきうどん用小麦品種」の育成を開始し、関係団体の多大な協力も得ながら、2000年に「さぬきの夢2000」を育成した（本田ほか<sup>2)</sup>）。育成当時「さぬきの夢2000」は、従来の国内小麦品種に比べて、麺の色や食

味において、さぬきうどん用として優れていた。しかし、「さぬきの夢2000」は、極めて限られた育成期間内で、さぬきうどん用としての品質評価に大きく重点を置いた育種であったことから、栽培面では当時主に栽培されていた「チクゴイヅミ」に比べて収量性や脱粒性に課題があった。また、加工面では麺の食感をデンプンの性質に頼っていたため、ASWに比べて製麺作業性が劣り、茹でて時間が経つと伸びやすいといった課題があった。

こうした課題に対応するため、2009年には「さぬきの夢2000」の食感や、のどごしの良さなどの特長を継承しつつ、収量や製麺適性を向上させた品種である「さぬきの夢2009」が育成された（本田ら<sup>3)</sup>）。

2023年産における「さぬきの夢2009」の栽培面積は2,552haとなり<sup>7)</sup>、本県の水田農業を支える主力品種となった。しかしながら、「さぬきの夢2009」は、品種特性上、タンパク質含有率が上がりやすく、容積重が軽かった。このため生産者からは、これらを改善し畑作物の直接支払交付金の評価基準<sup>10)</sup>の項目において基準値を3つ以上達成し、かつ、許容値をすべて達成し、Aランクが得られる品種が要望されていた（表-1）。また、実需者からはタンパク質含有率が適度に高く、かつグルテンの質が適度に強く、製麺性が改善された使いやすいく品種が要望されており、より一層改良された次世代品種の育成が望まれていた。

こうした中、「さぬきの夢2009」の後継となる「さぬきの夢2023」を育成したので報告する。本研究報告では後に「さぬきの夢2023」となる育成系統（「か交403-01」）の固定がある程度進み、形質が安定した2017年播き以降のデータに基づいて、その特性などについて述べる。

## 育成経過

2010年春に香川県農業試験場内ほ場において、「容積重が重い」、「タンパク質含有率が適度に高く、グルテンの質も適度に強い」などを育成目標として、「香育17号」を母親、「香育20号」を父親として人工交配（図-1）を実施して種子を採取し、「か交403」の交配番号を付した。

母親の「香育17号」は、耐倒伏性が強く、麺の黄色味や粘弾性などに優れる系統であり、父親の「香育20号」は、穂が長く、耐倒伏性が強く、麺の形状や粘弾性などに優れる系統である。

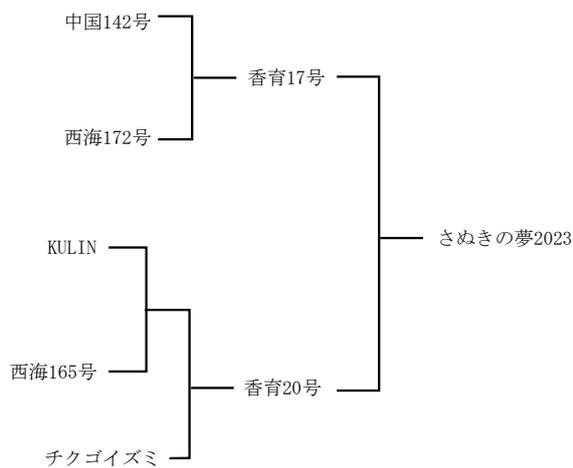
2010年秋にF<sub>1</sub>世代を点播栽培で養成し、2011年秋にF<sub>2</sub>世代を、2012年秋にF<sub>3</sub>世代を集団養成した。

表－1 麦の品質区分と評価基準

麦の品質区分		
Aランク	評価項目の基準値を3つ以上達成し、かつ、許容値を全て達成している麦	
Bランク	評価項目の基準値を2つ達成し、かつ、許容値を全て達成している麦	
Cランク	評価項目の基準値を1つ達成し、かつ、許容値を全て達成している麦	
Dランク	評価項目の基準値を2つ以上達成しているものの、許容値を達成していない麦	
麦の品質評価基準		
小麦（日本麦の製造用）		
評価項目	基準値	許容値
タンパク質含有率 （低アミロース品種等）	9.7～11.3%	8.5～12.5% (8.0～13.0%)
灰分	1.60%以下	1.65%以下
容積重	840g/ℓ以上	－
フォーリングナンバー	300以上	200以上

注1) 経営所得安定対策等実施要綱（農林水産省）より一部改変して引用。

注2) 「低アミロース品種等」とは、粘弾性（もちもち感）を高め、製麺適性を向上させた品種であり、従来品種と比べタンパク質含有率が上がりにくい特性をもつ品種をいう。



図－1 系譜図

2013年秋にF<sub>2</sub>世代を養成し、2014年の成熟期に穂選抜を実施して34の派生系統（か交403-01～34）を得た。

2014年秋以降、派生系統育種法により選抜・固定を進め、2017年秋のF<sub>8</sub>世代から生産力検定試験に供試した。加えて、2018年以降、グルテンニン遺伝子型についてDNA-MASを実施した。生産力検定試験で成績が良好であった「か交403-01」に、2020年に「香育33号」の地方系統番号を付し、同年秋以降、奨励品種決定調査や実需者による品質評価などを実施した。

その結果、「香育33号」は「さぬきの夢2009」と比較して、収量がやや少なく、灰分がやや高いものの、容積重が重く、原麦タンパク質含有率は高く、グルテンの質が適度に強く製麺性が優れていた。このことから「香育33号」を2023年7月11日に「さぬきの夢2023」の品種名で品種登録出願し、同年10月30日に出願公表された（出

願番号36955<sup>12)</sup>）。また、2024年7月の香川県主要農作物奨励品種審査会に諮られ、香川県奨励品種（小麦）に採用された。

## 材料および方法

### 1. 形質および特性

「農林水産植物種類別審査基準（コムギ種）」<sup>11)</sup>に基づき、形質および特性調査を2021～2022年播で実施した。

栽培方法は、畝幅1.3m、播幅0.3m、畝長3m、播種量11g/m<sup>2</sup>の畝立散播栽培で11月中旬に播種した。施肥は、基肥・追肥体系基肥（(4.41Nkg/10a) + 追肥 I (3.15Nkg/10a, 1月上旬～中旬) + 追肥 II (3.78Nkg/10a, 2月下旬～3月上旬)）とした。反復は5～6反復とし、反復の合計個体数が1,000個体以上になるようにした。

### 2. 生産力検定

生産力検定は、2017～2022年播で実施した。栽培方法は畝幅1.3m、播幅0.3m、畝長3m、播種量11～12g/m<sup>2</sup>の畝立散播栽培で11月15～21日に播種した。施肥は、2017～2018年播は基肥一発肥料（11.1Nkg/10a）とし、2019～2022年播は基肥・追肥体系基肥（(4.41Nkg/10a) + 追肥 I (3.15Nkg/10a, 1月上旬～中旬) + 追肥 II (3.78Nkg/10a, 2月下旬～3月上旬)）とした。反復は、3～6反復とした。

#### 1) 栽培・収量・品質調査

収量・品質調査は2.0mmのふるいで調製した原麦を使用した。精原麦重および千粒重は水分12.5%換算値と

し、容積重はブラウエル穀粒計で計測した。タンパク質含有率は静岡製機株式会社製食味分析計（GS-2000）で測定し、水分13.5%換算値とした。外観品質は登録検査機関である香川県農業協同組合の農産物検査員により実施し、1:1等上, 2:1等中, 3:1等下, 4:2等上, 5:2等中, 6:2等下, 7:規格外の7段階評価とした。

穂発芽率は成熟期に各品種・系統から5穂ずつ採取し、ベンレートT水和剤20の1,000倍液に浸漬して一晩吸水後、水を適度に含ませたピートモスに埋込み、20℃・暗条件で7日間静置して発芽粒数および不発芽粒数を測定して求めた。

原麦灰分は小麦品質検定法<sup>10)</sup>に基づき実施した。

#### 2) 製粉・加工適性調査

製粉はビューラー社製試験製粉機（MLU-202）により行い、60%粉<sup>10)</sup>を調製して製粉歩留、BM率を求めた。

粉色は60%粉7.5gに蒸留水10mLを加えて十分に混和し、コニカミノルタ株式会社製 分光測色計（CM-3500d）により測定した。

デンプンの糊化特性は60%粉4.0gに蒸留水25mLを加えて十分に混和し、Newport Scientific社製RVA-TecMasterにより測定した。

グルテンインデックスは60%粉10gに2%塩化ナトリウム水溶液を4.2~4.5mL加え、Perten Instruments社製GLUTOMATIC 2200により湿グルテンを得た。さらに、得られた湿グルテンを同社製Centrifuge 2015により遠心分離し、グルテンインデックスを求め、同社製Glutork 2020により乾燥し、乾グルテンを得た。

60%粉のアミロース含有率はトウモロコシアミロースを標準アミロースとして使用し、ヨウ素呈色法により測定した。

#### 3) グルテニン・Waxy遺伝子型調査

グルテニン・Waxy遺伝子型調査には、コムギ葉身より抽出したDNAを用いた。PCRの反応酵素はThermoScientific社製Amplitaq Gold 360を使用し、鋳型として抽出したDNAを加え、超純水で反応液量を10μLに合わせた。PCR反応は、タカラバイオ株式会社製サーマルサイクラー（TP600）で行い、反応終了後、アガロースゲルを用いて電気泳動し、Biotium社製GelRedで染色してUV照射下でバンドを確認した。

#### 4) 製麺・食味官能評価

ゆで麺の食味官能評価は、食糧庁の「小麦のめん（うどん）適性評価法」<sup>13)</sup>に基づき、「さぬきの夢2009」を基準として各項目について±3点で評価し、配点基準に換算した。ゆで麺の作成は多塩多加水のさぬきうどん製造方法に基づいて行った。また、麺色はコニカミノルタ株

式会社製 分光測色計（CM-3500d）により測定した。さらに、実需者（製麺事業者）による評価を食塩水濃度ボーメ12度、加水率47.0%~47.5%の製麺条件で、手打ちさぬきうどんの製麺方法により実施した。

### 3. 奨励品種決定調査

#### 1) 奨励品種決定基本調査

奨励品種決定基本調査は2020~2022年に、農業試験場内（綾川町）の水田ほ場で行った。なお、試験年次はすべて播種年度で表した。

播種期は11月中旬とし、播種量は8 kg/10a, 条間20cmのドリル播とした。1区面積は2020年が14.4m<sup>2</sup>, 2021年から2022年が18m<sup>2</sup>であり、いずれも2反復とした。

施肥は基肥が窒素成分8.0kg/10a, 追肥が幼穂長2~3 mmの時期に窒素成分3.5kg/10a施用した。

収量・品質調査は2.2mmのふるいで調製した原麦を使用した。精原麦重および千粒重は水分12.5%換算値とし、容積重はブラウエル穀粒計で計測した。タンパク質含有率は静岡製機株式会社製食味分析計（GS-2000）で測定し、水分13.5%換算値とした。外観品質は登録検査機関である香川県農業協同組合の農産物検査員により実施し、1:1等上, 2:1等中, 3:1等下, 4:2等上, 5:2等中, 6:2等下, 7:規格外の7段階評価とした。

#### 2) 奨励品種決定現地調査

奨励品種決定現地調査は2021~2022年に、東讃地区、中讃地区、西讃地区で行った。2021年は木田郡三木町、綾歌郡綾川町、三豊市高瀬町、2022年は木田郡三木町、綾歌郡綾川町、観音寺市粟井町で行い、耕種方法や追肥の時期は農家の慣行とした。播種量は7~9 kg/10a, 総窒素量は11~12kg/10aのドリル播であった。

収量・品質調査は奨励品種決定基本調査と同様の方法で実施した。

## 結果および考察

### 1. 形質および特性

「農林水産植物種類別審査基準（コムギ種）」<sup>9)</sup>によって判定した品種登録申請時の形質および特性を表-2に示した。また、株標本を図-2に、穂および原粒を図-3に示した。

「農林水産植物種類別審査基準（コムギ種）」において「さぬきの夢2023」が類似品種と明確に区別される形質および特性として「02 種子フェノール反応による着色の濃淡」は「03 淡」, 「03 しょう葉のアントシアニン

表－2 形質及び特性（2022～2023年播）

形質 番号	形質名	さぬきの夢2023	シロガネコムギ	農林61号	さぬきの夢2009	さぬきの夢2000
01	種子の色	02 赤	02 赤	02 赤	02 赤	02 赤
02	種子のフェノール反応による着色の濃淡	03 淡	05 中	05 中	04 やや淡	05 中
03	しょう葉のアントシアニン着色の強弱	04 やや弱	01 無又は極弱	01 無又は極弱	03 弱	01 無又は極弱
04	草姿	04 半立～中	04 半立～中	04 半立～中	05 中	05 中
05	反曲した止め葉を持つ個体の出現頻度	07 高	03 低	03 低	02 かなり低	03 低
06	止め葉の葉耳のアントシアニン着色の強弱	01 無又は弱	01 無又は弱	01 無又は弱	01 無又は弱	01 無又は弱
07	出穂期	04 やや早	03 早	05 中	04 やや早	04 やや早
08	止め葉の葉しょうの白粉の強弱	05 中	05 中	04 やや弱	05 中	05 中
09	止め葉の白粉の強弱	03 弱	03 弱	03 弱	03 弱	03 弱
10	穂の白粉の強弱	03 弱	03 弱	03 弱	03 弱	03 弱
11	穂首の白粉の強弱	05 中	04 やや弱	04 やや弱	05 中	05 中
12	護穎の外側の毛の有無	01 無	01 無	01 無	01 無	01 無
13	草丈	05 中	04 やや低	06 やや高	05 中	05 中
14	穂首節直下の節間の髓の厚さ	01 薄	01 薄	01 薄	01 薄	01 薄
15	粒着密度	04 やや粗	05 中	05 中	05 中	06 やや密
16	穂の長さ	06 やや長	04 やや短	05 中	06 やや長	03 短
17	芒の有無	03 長芒有り	03 長芒有り	03 長芒有り	03 長芒有り	03 長芒有り
18	穂の先端の芒の長さ	05 中	05 中	05 中	05 中	05 中
19	穂の色	01 白	01 白	02 着色	01 白	01 白
20	穂の形	05 紡錘状	05 紡錘状	05 紡錘状	05 紡錘状	05 紡錘状
21	穂軸の先端凸部表面の毛	01 無又は極小	01 無又は極小	01 無又は極小	01 無又は極小	01 無又は極小
22	護穎の肩部の幅	05 中	05 中	04 やや狭	04 やや狭	03 狭
23	護穎の肩部の形	03 やや下がる	04 やや下がる～水平	03 やや下がる	03 やや下がる	02 強く下がる～やや下がる
24	護穎の嘴の長さ	06 やや長	05 中	04 やや短	06 やや長	06 やや長
25	護穎の嘴の形	03 やや曲がる	03 やや曲がる	04 やや曲がる～曲がる	04 やや曲がる～曲がる	04 やや曲がる～曲がる
26	護穎の内側の毛	02 やや小	03 中	02 やや小	02 やや小	02 やや小
27	まき性 (まき性の程度)	03 春まき型 (I～II)	03 春まき型 (II)	03 春まき型 (II)	03 春まき型 (II)	03 春まき型 (II)
28	グルテニン組成：Glu-A1遺伝子 座にある対立遺伝子の発現	02 バンド2	03 バンド無し	02 バンド2	03 バンド無し	03 バンド無し
29	グルテニン組成：Glu-B1遺伝子 座にある対立遺伝子の発現	07 バンド17+18	02 バンド7+8	02 バンド7+8	02 バンド7+8	03 バンド7+9
30	グルテニン組成：Glu-D1遺伝子 座にある対立遺伝子の発現	01 バンド2+12	05 バンド2,2+12	05 バンド2,2+12	01 バンド2+12	05 バンド2,2+12
31	稈の長さ	04 やや短	03 短	06 やや長	04 やや短	04 やや短
32	稈の色	02 黄	02 黄	04 褐	02 黄	02 黄
33	粒の形	03 楕円	03 楕円	03 楕円	03 楕円	03 楕円
34	千粒重	06 やや大	05 中	05 中	05 中	05 中
35	うるち・もちの別	01 うるち	01 うるち	01 うるち	01 うるち	01 うるち
36	成熟期	03 早	03 早	05 中	03 早	03 早
37	粒質	03 硝子質	02 中間質	02 中間質	02 中間質	02 中間質

注1) 調査場所は、香川県農業試験場（香川県綾歌郡綾川町北1534-1）

注2) まき性の程度は、2018～2023年播（「さぬきの夢2000」のみ2022～2023年播）



図－2 株標本



図－3 穂および原粒

着色の強弱」は「04 やや弱」, 「05 反曲した止め葉を持つ個体の出現頻度」は「07 高」, 「15 粒着密度」は「04 やや粗」, 「19 穂の色」は「01 白」, 「28 グルテニン組成: *Glu-A1* 遺伝子座にある対立遺伝子の発現」は「02 バンド 2」, 「29 グルテニン組成: *Glu-B1* 遺伝子座にある対立遺伝子の発現」は「02 バンド 17+18」, 「30 グルテニン組成: *Glu-D1* 遺伝子座にある対立遺伝子の発現」は「01 バンド 2+12」, 「34 千粒重」は「06 やや大」である。

「27 まき性」は「03 春まき型」であり、「さぬきの夢2009」と同じであるが、その程度（Ⅰ～Ⅶの7段階）は「さぬきの夢2009」のⅡに対し、「さぬきの夢2023」はⅠ～Ⅱ程度と推定される。後述する生産力検定試験では、まき性程度の差が凍霜害の差となって現れることはなかったが、現地栽培の際は、土地条件や播種適期から大きく外れた栽培の際には、一定留意する必要があると考えられる。

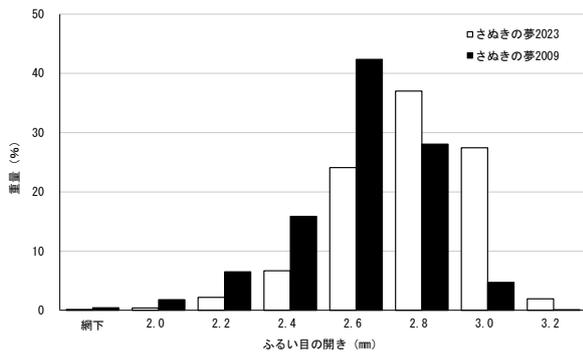


図-4 粒厚分布 (2021~2022年播)

## 2. 生産力検定試験

### 1) 栽培・収量・品質調査

2017~2021年播の生産力検定試験の結果を表-3に示した。生産力検定試験において「さぬきの夢2023」は「さぬきの夢2009」と比較して、出穂期・成熟期はほぼ同等、稈長はやや長く、穂長は同等、穂数はやや少なく、収量はやや少なかった。千粒重および容積重は重く、原麦のタンパク質含有率は高く、外観品質はほぼ同等、穂発芽耐性は強く、灰分はやや高かった。

粒厚分布は「さぬきの夢2023」が「さぬきの夢2009」に比べ、大粒の割合が高かった(図-4)。

### 2) 製粉・加工適性調査およびグルテニン・Waxy遺伝子型調査

「さぬきの夢2023」は「さぬきの夢2009」と比較して、製粉歩留・BM率がほぼ同等であることから、製粉性はほぼ同等と考えられる。また、粉色はL\*とa\*はほぼ同等であるため明るさと赤味は、ほぼ同じであるが、b\*はやや小さいため黄色味は、やや弱いと考えられる(表-4)。

「さぬきの夢2023」および「さぬきの夢2009」のグルテニン遺伝子型を表-5に示した。グルテニン遺伝子型が生地物性などに与える影響については、いくつかの先行研究により明らかになっている。「さぬきの夢2009」は、生地物性を強める*Glu-B3g* (伊藤ら<sup>5)</sup>, Ito et al.<sup>6)</sup>)を持つが、生地物性を弱める*Glu-A1c* (欠失) (高田ら<sup>14)</sup> 谷中ら<sup>15)</sup>)を持っており、このことが、製麺のしづらさや、製麺や茹で作業時に麺がちぎれる短麺の発生につながっていたと考えられる。「さぬきの夢2023」では、

表-3 生産力検定試験累年データ (2017~2022年播)

品系名	播種年度	出穂期(月.日)	成熟期(月.日)	稈長(cm)	穂長(cm)	穂数(本/m <sup>2</sup> )	倒伏(0-5)	精原麦重(kg/a)	収量比(%)	千粒重(g)	容積重(ブラウエル)(g/L)	原麦タンパク質含有率(%)	外観品質(1-7)	穂発芽率(%)	硝子率(%)	原麦灰分(%)
さぬきの夢2023	2017	4.16	5.26	68.8	8.2	183	0.0	18.4	81.8	44.1	834	10.7	5.3	2.3	-	-
	2018	4.05	5.23	91.7	11.4	237	0.0	39.6	98.3	47.6	840	10.5	3.7	0.0	89.5	1.46
	2019	3.30	5.25	89.6	11.0	273	2.3	41.8	91.1	44.2	826	12.5	5.3	0.9	90.3	1.56
	2020	4.01	5.24	84.4	11.0	262	2.7	47.5	97.9	45.0	840	11.7	4.3	1.6	87.1	1.52
	2021	4.09	5.27	75.3	9.8	229	0.0	30.1	82.5	45.7	834	11.2	2.7	0.8	89.2	1.63
	2022	4.02	5.26	90.6	10.7	274	0.0	47.9	91.8	47.0	839	10.9	2.8	0.9	79.8	1.60
	平均	4.05	5.24	83.4	10.4	243	0.8	37.6	90.6	45.6	836	11.3	4.0	1.1	87.2	1.55
さぬきの夢2009	2017	4.14	5.25	70.2	7.8	219	0.0	22.5	(100.0)	38.1	808	9.4	3.8	1.7	-	-
	2018	4.04	5.25	87.5	11.0	221	0.0	40.3	(100.0)	40.9	820	8.9	3.0	3.5	67.2	1.41
	2019	3.29	5.25	84.5	11.5	257	3.0	45.9	(100.0)	39.0	805	11.5	5.8	5.7	75.7	1.47
	2020	3.31	5.24	80.8	11.1	280	1.7	48.5	(100.0)	37.7	815	10.2	3.7	3.0	70.6	1.44
	2021	4.1	5.28	74.1	9.5	254	0.0	36.5	(100.0)	40.2	822	9.9	2.4	3.4	71.9	1.58
	2022	4.02	5.25	84.7	10.4	274	0.0	52.2	(100.0)	40.8	823	9.6	4.8	1.2	61.9	1.51
	平均	4.04	5.25	80.3	10.2	251	0.8	41.0	(100.0)	39.5	816	9.9	3.9	3.1	69.5	1.48

注1) 倒伏程度は0(無)~5(甚)の6段階で評価。

2) 硝子率は、株式会社ケット科学研究所 硝子率判定機(RN-840)で測定。

3) 容積重, タンパク質含有率, 灰分の太字は, 評価基準の基準値を達成していることを示す。

表－４ 製粉試験結果（2017～2022年播）

品系名	播種年度	製粉歩留 (%)	BM率 (%)	粉色		
				L*	a*	b*
さぬきの夢 2023	2017	74.5	49.6	87.3	0.33	14.8
	2018	76.5	35.3	85.9	0.76	14.8
	2019	74.5	36.7	85.9	0.88	14.3
	2020	70.0	36.8	86.0	0.57	15.3
	2021	67.8	37.6	88.7	0.72	15.2
	2022	73.8	42.4	88.4	0.78	15.1
	平均	72.9	39.7	87.0	0.67	14.9
さぬきの夢 2009	2017	76.3	48.4	87.0	0.41	15.8
	2018	76.4	36.3	86.8	0.68	14.7
	2019	75.1	38.2	85.8	0.85	14.2
	2020	72.5	37.3	86.3	0.52	16.0
	2021	70.2	36.3	89.2	0.67	15.7
	2022	71.3	43.4	88.7	0.70	15.8
	平均	73.6	40.0	87.3	0.64	15.4

注1) BM率は、プレーキ粉重量/ミドリング粉重量で、良質な粉の目安。数値が小さいほど良い。

2) L\*は明度で大きいほど明るい。a\*は赤みで小さいほど赤色みが少ない。b\*は黄色みで大きいほど黄色みが強いことを示す。

表－５ グルテニン遺伝子型

品系名	<i>Glu-A1</i>	<i>Glu-B1</i>	<i>Glu-D1</i>	<i>Glu-A3</i>	<i>Glu-B3</i>
さぬきの夢2023	<i>b</i>	<i>i</i>	<i>a</i>	<i>c</i>	<i>g</i>
さぬきの夢2009	<i>c</i>	<i>u</i>	<i>a</i>	<i>c</i>	<i>g</i>

表－６ グルテンインデックス（2020～2021年播）

品系名	播種年度	タンパク質 含有率 (%)	湿グルテン		乾グルテン
			総グルテン (g)	グルテンインデックス (%)	総グルテン (g)
さぬきの夢 2023	2020	11.7	2.69	87.7	0.94
	2021	11.2	2.50	90.8	0.82
	平均	11.5	2.60	89.3	0.88
さぬきの夢 2009	2020	10.2	2.48	67.9	0.85
	2021	9.9	2.28	75.3	0.75
	平均	10.1	2.38	71.6	0.80

注1) グルテンインデックスは、採取したグルテンを専用の篩カセットで遠心分離し、篩上に残っているグルテン量が総グルテン量に占める割合で、強いグルテンの割合を示す。

2) 総グルテンは、小麦粉10gから抽出されたグルテンの重量。

表－７ *Waxy*遺伝子型、アミロース含有率の分析値、デンプン糊化特性、アミロースタイプ判定の一覧

品系名	<i>Wx-A1</i>	<i>Wx-B1</i>	アミロース 含有率 (%)	最高 粘度	ホールディング ストレングス	ブレイク ダウン	最終 粘度	セット バック	最終粘度/ 最高粘度	セットバック/ ブレイクダウン	アミロース タイプ判定
シロガネコムギ	<i>a</i>	<i>a</i>	22.6	273	159	114	275	116	1.00	1.02	通常アミロース
さぬきの夢2009	<i>a</i>	<i>b</i>	21.5	420	160	260	273	113	0.65	0.43	やや低アミロース
さぬきの夢2023	<i>a</i>	<i>b</i>	21.2	372	157	215	266	109	0.71	0.50	やや低アミロース
チクゴイズミ	<i>b</i>	<i>b</i>	19.1	383	124	259	209	85	0.55	0.33	低アミロース

注1) *Wx-A1*, *Wx-B1*は*waxy*遺伝子を示し、*a*は野生型、*b*は欠失型を示す。

表－8 ゆで麺の食味官能評価（2017～2020年播）

品系名	播種年度	色 (20)	形状 (15)	なめらかさ (15)	かたさ (15)	粘弾性 (25)	味・香り (15)	総合評価 (100)
さぬきの夢 2023	2017	13.5	10.2	10.4	7.4*	17.7	10.5	70.0
	2018	12.5**	10.7	10.8	7.9**	18.6*	10.6	73.8
	2019	13.9	11.0	10.7	7.4*	18.6*	10.2	70.6
	2020	13.0	11.0	10.9	7.7*	19.5*	11.3*	77.1*
	平均	13.2	10.7	10.7	7.6*	18.6	10.7	72.9
さぬきの夢 2009	各年	14.0	10.5	10.5	7.0	17.5	10.5	70.0

注1) 供試材料は、生産力検定の収穫物をビューラーテストミルで製粉した60%粉。

2) 「さぬきの夢2009」を基準とし、t検定により\*印は5%水準で、\*\*印は1%水準で有意差があることを示す。

3) 農業試験場職員によるパネル評価。

4) 各評価項目の( )内は、その項目を評価するときの満点評価点で、すべての項目を合計しても100にはならない。

また、総合評価は、各評価項目の合計ではない。

表－9 ゆで麺の麺色（2018～2020年播）

品系名	播種年度	麺色		
		L*	a*	b*
さぬきの夢2023	2018	78.1	0.11	17.4
	2019	77.6	0.16	16.4
	2020	76.2	-0.39	18.4
	平均	77.3	-0.04	17.4
さぬきの夢2009	2018	79.0	-0.14	17.0
	2019	76.9	-0.18	15.0
	2020	78.1	-0.77	18.5
	平均	78.0	-0.36	16.8

注1) 供試材料は、食味官能試験に用いたゆで麺。

表－10 奨励品種決定基本調査 累年データ（生育調査）

品種名	播種年度	出穂期 (月・日)	成熟期 (月・日)	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本/m <sup>2</sup> )	倒伏程度 (0-5)
さぬきの夢2023	2022	4.03	5.26	87.8	8.8	479	3.0
	2021	4.10	5.27	82.1	9.6	334	0.0
	2020	3.30	5.23	99.1	9.2	521	3.0
	平均	4.04	5.25	89.7	9.2	445	2.0
さぬきの夢2009	2022	4.02	5.28	85.0	9.4	538	0.0
	2021	4.11	5.29	82.6	10.3	436	0.0
	2020	3.29	5.20	91.6	10.4	516	4.0
	平均	4.03	5.25	86.4	10.0	496	1.3

注1) 播種は2020年11月17日、2021年11月19日、2022年11月14日に行った。

注2) 倒伏は0(無)～5(甚)の6段階評価とした。

*Glu-B3g*を持ちつつ、生地物性を強める*Glu-B1i*（未公表）を持ち、*Glu-A1*遺伝子座は、*Glu-A1c*（欠失）から*Glu-A1b*となり、生地物性は一定改善されたと考えられる。グルテン遺伝子型の改善により、「さぬきの夢2023」のグルテンインデックスは、「さぬきの夢2009」に比べ、約20ポイント高くなった（表－6）。

また、*Waxy*遺伝子型、アミロース含有率の分析値、デンプン糊化特性、アミロースタイプ判定の一覧を表－7に示した。*Waxy*遺伝子型の野生型、欠失型の組み合わせから、アミロースタイプを分類することができる（池田<sup>41</sup>）。また、藤井ら<sup>1</sup>や河田・藤田<sup>8</sup>は、ラビッドビスコアライザーを用いたデンプン糊化特性結果から

表-11 奨励品種決定基本調査 累年データ (収量・品質調査)

品種名	播種年度	精原麦重 (kg/a)	同比率 (%)	容積重 (g)	千粒重 (g)	タンパク質含有率 (%)	外観品質 (1-7)
さぬきの夢2023	2022	51.7	79	853	46.0	9.3	2.0
	2021	52.4	80	836	46.6	9.1	2.5
	2020	58.7	87	850	45.2	10.6	3.0
	平均	54.2	82	847	45.9	9.7	2.5
さぬきの夢2009	2022	65.4	(100)	820	40.1	8.9	3.0
	2021	65.1	(100)	787	39.2	9.2	3.0
	2020	67.6	(100)	804	37.1	10.0	6.5
	平均	66.0	(100)	804	38.8	9.3	4.2

注1) 容積重, タンパク質含有率, 灰分の太字は, 評価基準の基準値を達成していることを示す。

表-12 奨励品種決定現地調査 2021年播結果 (生育調査)

調査地	品種名	出穂期 (月.日)	成熟期 (月.日)	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本/m <sup>2</sup> )	倒伏 (0-5)
木田郡	さぬきの夢2023	4.09	5.24	79.5	9.3	384	0.0
三木町	さぬきの夢2009	4.10	5.27	71.0	8.8	382	0.0
綾歌郡	さぬきの夢2023	4.09	6.01	85.9	10.1	610	0.0
綾川町	さぬきの夢2009	4.10	5.31	79.2	10.6	572	0.0
三豊市	さぬきの夢2023	4.02	5.24	74.4	9.8	287	0.0
高瀬町	さぬきの夢2009	4.03	5.26	73.5	9.3	304	0.0
平均	さぬきの夢2023	4.06	5.26	79.9	9.7	427	0.0
	さぬきの夢2009	4.07	5.28	74.6	9.6	419	0.0

注) 倒伏は, 0 (無) ~ 5 (甚) の6段階評価とした。

表-13 奨励品種決定現地調査 2021年播結果 (収量・品質調査)

調査地	品種名	精原麦重 (kg/a)	同比率 (%)	容積重 (g)	千粒重 (g)	タンパク質含有率 (%)	外観品質 (1-7)
木田郡	さぬきの夢2023	39.4	83	865	46.3	8.9	3.0
三木町	さぬきの夢2009	47.2	(100)	792	38.1	8.4	2.0
綾歌郡	さぬきの夢2023	79.6	104	850	47.8	10.0	2.0
綾川町	さぬきの夢2009	76.7	(100)	800	40.7	9.5	6.0
三豊市	さぬきの夢2023	52.9	89	843	45.3	9.0	2.0
高瀬町	さぬきの夢2009	59.5	(100)	798	38.2	8.0	5.0
平均	さぬきの夢2023	57.3	94	853	46.5	9.3	2.3
	さぬきの夢2009	61.1	(100)	797	39.0	8.6	4.3

注1) 容積重, タンパク質含有率, 灰分の太字は, 評価基準の基準値を達成していることを示す。

アミロースタイプを群別している。Waxy遺伝子型やアミロース含有率, デンプン糊化特性結果から「さぬきの夢2023」のアミロースタイプは, 「さぬきの夢2000」, 「さぬきの夢2009」と同じく“やや低アミロース”であると判定される。このため, これまでの「さぬきの夢」シリーズと同じ“モチモチ感”と評される食感があり, さぬきうどんに適していると考えられる。

### 3) 製麺・食味官能評価

「さぬきの夢2023」のゆで麺は硬さがあり, 粘弾性が高く, 年次によっては赤味が強いが, 味・香り, 総合評価に優れた(表-8~9)。また, 実需者(製麺事業者)による評価において「さぬきの夢2023」は, 製麺工程では, 「さぬきの夢2009」と比べて「混ぜたり, 練り合わせやすい」, 「生地が切れにくく, 伸ばししやすい」, 「包丁

表-14 奨励品種決定現地調査 2022年播結果（生育調査）

調査地	品種名	出穂期 (月.日)	成熟期 (月.日)	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本/m <sup>2</sup> )	倒伏 (0-5)
木田郡	さぬきの夢2023	4.02	5.26	97.1	9.3	650	4.0
三木町	さぬきの夢2009	3.31	5.26	97.1	9.3	658	4.0
綾歌郡	さぬきの夢2023	4.05	5.27	103.8	9.7	549	3.0
綾川町	さぬきの夢2009	4.03	5.26	97.9	10.6	650	4.0
観音寺市	さぬきの夢2023	3.31	5.27	98.4	8.2	546	0.0
粟井町	さぬきの夢2009	3.29	5.26	93.2	9.7	610	0.0
平均	さぬきの夢2023	4.02	5.26	99.8	9.1	582	2.3
	さぬきの夢2009	3.31	5.26	96.1	9.9	639	2.7

注) 倒伏は、0（無）～5（甚）の6段階評価とした。

表-15 奨励品種決定現地調査 2022年播結果（収量・品質調査）

調査地	品種名	精原 麦重 (kg/a)	同比率 (%)	容積重 (g)	千粒重 (g)	タンパク質 含有率 (%)	外観 品質 (1-7)
木田郡	さぬきの夢2023	51.8	82	840	48.0	9.6	2.0
三木町	さぬきの夢2009	63.4	(100)	812	39.6	8.1	4.0
綾歌郡	さぬきの夢2023	70.5	84	836	47.5	10.4	2.0
綾川町	さぬきの夢2009	84.2	(100)	820	41.4	9.3	5.0
観音寺市	さぬきの夢2023	68.8	93	852	51.2	10.9	2.0
粟井町	さぬきの夢2009	73.6	(100)	824	41.3	9.3	3.0
平均	さぬきの夢2023	63.7	86	843	48.9	10.3	2.0
	さぬきの夢2009	73.8	(100)	819	40.7	8.9	4.0

注1) 容積重、タンパク質含有率、灰分の太字は、評価基準の基準値を達成していることを示す。

に引っ付きにくく、切りやすい」などの意見があった。また、食味や外観については、コシが強く、味・香りとといった食味、形状などといった外観についても、「さぬきの夢2009」と同等か優れているという評価であった。

### 3. 奨励品種決定調査

#### 1) 奨励品種決定基本調査

調査結果を表-10～11に示した。「さぬきの夢2023」は「さぬきの夢2009」と比較して、出穂期が1日程度遅く、成熟期は同等であった。やや長稈で、穂長は短く、穂数は少なかった。収量は少ないが、容積重および千粒重が重く、外観品質が優れた。

#### 2) 奨励品種決定現地調査

調査結果を表-12～15に示した。播種年度によって差はあるものの、「さぬきの夢2023」は「さぬきの夢2009」と比較して、成熟期が1日程度早かった。長稈で、穂長は短く、穂数は少なかった。収量はやや少ないが、容積重および千粒重が大きく、外観品質が優れた。現地調査では、試験場内での基本調査と概ね同様な結果が得られた。

### 4. 総括

「さぬきの夢2023」は「さぬきの夢2009」よりも収量や灰分において、やや課題が残るもののタンパク質含有率や容積重、穂発芽耐性が改良され、グルテンの質が適度に強くなったため製麺性が改善されている。「さぬきの夢2023」に適する肥培管理については、栽培試験が始まったところであり現段階では判然としない部分も多い。今後、「さぬきの夢2023」に適する肥培管理が明らかになれば、収量の改善や品質の高位安定化が見込まれ、「さぬきの夢2023」の普及により小麦の生産振興が図られるとともに、これまで使いづらさから「さぬきの夢」の使用を控えていた実需者での使用が見込まれるものと考えられる。

### 育成者の従事期間と内容

- ・森芳史：2022年に小麦育種業務の統括を行い、指導・助言を行うとともに他機関との調整に携わった。
- ・三木哲弘：小麦育種の主担当として、2013～2015年に

かけてF<sub>3</sub>・F<sub>4</sub>世代養成，系統選抜を行った。また，小麦育種の副担当として，2018～2022年にかけて生産力検定を行った。

- ・村上優浩：2020～2021年にかけて小麦育種業務の統括を行い，指導・助言を行うとともに他機関との調整に携わった。
- ・村上てるみ：小麦育種の副担当として，2012～2016年にかけてF<sub>3</sub>・F<sub>4</sub>世代養成，系統選抜を行った。
- ・藤田究：小麦育種の主担当として，2010年に交配を，2011年にF<sub>1</sub>・F<sub>2</sub>世代養成を行った。
- ・多田祐真：小麦育種の主担当として，2021～2022年にかけて系統選抜および生産力検定試験，特性調査を行い，成績のとりまとめを行った。
- ・小野茜：小麦育種の副担当として，2011年に，小麦育種の主担当として，2012年にF<sub>1</sub>・F<sub>2</sub>世代養成を行った。
- ・小林美鈴：小麦育種の主担当として，2016～2020年にかけて系統選抜および生産力検定試験を行い，成績のとりまとめを行った。
- ・宮下武則：小麦育種の副担当として，2017年に生産力検定を行った。

## 謝 辞

本品種の育成・奨励品種決定基本調査では，栽培管理，収量・品質分析業務などに香川県農業試験場作物・特作研究課（旧作物・特作部門）の研究員および会計年度任用職員の各位に，奨励品種決定現地調査では，生産者および農業改良普及センター担当者の各位に，多大な尽力をいただいた。また，小麦の育種・品質分析においては，国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構作物研究部門の藤田雅也氏，八田浩一氏をはじめとする職員各位に，DNAマーカー分析では，国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構西日本農業研究センターの池田達哉氏，香川県農業試験場病虫・環境研究課（旧生産環境部門）の村上恭子氏，植田早紀氏に多大な協力・指導をいただいた。ここに深く感謝の意を表する。

## 参考文献

- 1) 藤井潔・辻孝子・吉田朋史（2004），ラピッドビスコアライザーによるコムギのアミロース含量タイプの推定法，平成16年度関東東海北陸農業研究成果情報
- 2) 本田雄一・太田尊士・三木哲弘・多田伸司（2002）：

小麦新品種「さぬきの夢2000」の育成，香川県農業試験場研究報告55号：1～8。

- 3) 本田雄一・藤田究・村上てるみ・河田和利・多田伸司・三木哲弘・太田尊士（2011）：さぬきうどん用小麦新品種「さぬきの夢2009」の育成，香川県農業試験場研究報告62号：1～10。
- 4) 池田達哉（2017），小麦品質関連遺伝子の解析による国内品種と輸入小麦銘柄の特徴付け，日本食品科学工学会誌，64巻3号：171～176。
- 5) 伊藤美環子・船附稚子・池田達哉・伏江幸子・西尾善太・谷尾昌彦・田引正・山内宏昭（2008），小麦粉の生地物性に及ぼすグルテニンサブユニット構成の影響，日本作物学会講演会要旨集225（0）：310～310。
- 6) Ito M, Maruyama-Funatsuki W, Ikeda M.T, Nishio Z, Nagasawa K, Tabiki T（2015），Dough properties and bread-making quality-related characteristics of Yumechikara near-isogenic wheat lines carrying different Glu-B3 alleles, Breeding Science65：241～248。
- 7) 香川県農業生産流通課（2024）：麦の生産に関する資料
- 8) 河田和利・藤田究（2015），麵食感評価の高い小麦系統のアミロースとグルテン特性，香川県農業試験場研究報告65号：1～9。
- 9) 農林水産技術会議事務局（1968）：小麦品質検定法－小麦育種試験における－
- 10) 農林水産省（2011～2024）：経営所得安定対策等実施要綱
- 11) 農林水産省（2021）：農林水産植物種類別審査基準（コムギ種）
- 12) 農林水産省（2023）：官報号外288号：1
- 13) 食糧庁（1997）：国内産小麦の評価に関する研究会報告書－小麦のめん（うどん）適性評価法－
- 14) 高田兼則・谷中美貴子・池田達哉・石川直幸（2008），日本麵用小麦の生地物性に対するGlu-A1とGlu-D1対立遺伝子の相互作用とGlu-A1対立遺伝子のPCRマーカーの開発，育種学研究10巻2号，41～48。
- 15) 谷中美貴子・高田兼則・船附稚子・石川直幸・高橋肇（2017），日本麵用コムギにおけるGlu-A1座とGlu-D1座支配のグルテニンサブユニット構成，タンパク質含有率の違いが製麵適性に及ぼす影響，日本作物学会記事86巻2号：169～176

# 鶏ふんペレットを活用した小麦「さぬきの夢2009」の 減化学肥料栽培

河原 望遥<sup>a)</sup>・三木 哲弘<sup>a)</sup>・多田 祐真<sup>a)</sup>・森 芳史<sup>a)</sup>・中西 充<sup>b)</sup>・中井 清裕<sup>b)</sup>

キーワード：鶏ふん，減化学肥料栽培，小麦

Cultivation of wheat 'Sanukinoyume 2009' using chicken manure with reduced chemical fertilizer.

Miharu KAWAHARA<sup>a)</sup>, Tetsuhiro MIKI<sup>a)</sup>, Yuma TADA<sup>a)</sup>, Yoshifumi MORI<sup>a)</sup>, Mitsuru NAKANISHI<sup>b)</sup>, Kiyohiro NAKAI<sup>b)</sup>

Keywords: chicken manure, cultivation with reduced chemical fertilizer, wheat

## Abstract

Given the growing emphasis in recent years on reducing the environmental impact of agricultural production and urgent calls to effectively use organic materials such as compost, in this study, we investigated the cultivation of wheat cultivar 'Sanukinoyume 2009' with reduced chemical fertilizer input using chicken manure pellets as basal fertilizer.

1. In the 2022 sowing trial, plants in the plot receiving 300 kg/10 a of chicken manure pellets as basal fertilizer were shorter, had fewer stems, and had lighter colored leaves (SPAD) than plants in the conventional plots and exhibited deficient growth during the early to mid-growth stages. In the agricultural experiment station trial, yield (weight of harvested grains) was 22 to 27% lower for the chicken manure plots compared to the conventional plots. However, in the field demonstration trial, no differences in yield were observed between the chicken manure and conventional plots.
2. In the 2023 sowing trial, plants in plots receiving 300 kg/10 a of chicken manure pellets and 3.0 kg/10 a of ammonium sulfate as basal fertilizer exhibited similar growth to plants in the conventional plots. In the agricultural experiment station trial, yield of the treatment plots was similar to that of the conventional plots. In the field demonstration trial, yield of the treatment plots was the same or greater than that of the conventional plots.
3. Regarding the agricultural experiment station trials, in the 2023 sowing trial that resulted in yield equivalent to the conventional fertilizer regime, chemical fertilizer use was reduced by 60 to 64% in the plots receiving chicken manure pellets.
4. The results of this study suggest that, given the high variability in fertilizer content that is characteristic of chicken manure pellets, adding a small amount of chemical fertilizer to the pellets and applying at 300 kg/10 a is effective as a basal fertilizer.

---

a) 作物・特作研究課 b) 病虫・環境研究課

受理日：2024年11月1日

## 摘 要

近年、農業生産における環境負荷の低減を重視する動きがある中で、堆肥等の有機質資材の有効活用が喫緊の課題であることから、本研究では、基肥に鶏ふんペレットを活用した小麦「さぬきの夢2009」の減化学肥料栽培について検討した。

1. 2022年播き試験では、基肥として鶏ふんペレットを300kg/10a施用した区は、慣行区に比べ、草丈が低く、莖数が少なく、葉色（SPAD）はうすく推移し、生育初期～中期にかけて生育量が不足した。精玄麦重については、農業試験場内試験では、慣行区の22～27%減となった。一方で、現地実証試験では、慣行区と差は見られなかった。
2. 2023年播き試験では、基肥として鶏ふんペレット300kg/10aと、硫安を窒素成分で3.0kg/10aを混合施用した区は、慣行区に比べ、ほぼ同等の生育であり、精玄麦重については、農業試験場内試験では、慣行区とほぼ同等となった。現地実証試験では、慣行区に比べ、同等もしくは多くなった。
3. 農業試験場内試験において、慣行区と同等の収量を得た2023年播きでは、鶏ふんペレット施用区の化学窒素肥料の削減率は、60～64%であった。
4. 鶏ふんペレットは肥料特性上、成分含有率にばらつきがあることから、肥効を補完するためには、基肥として鶏ふんペレット300kg/10aに、少量の化学肥料を混和し施用する方法が有効であると考えられた。

## 緒 言

全国的な農業生産の担い手の不足や高齢化の進展、肥料価格の高騰など、農業生産を取り巻く環境が厳しさを増すなか、世界的にSDGs（持続可能な開発目標）への対応が重視され、食料の安定供給や農林水産業の持続的発展と地球環境保護の両立が強く要求されている。

農林水産省は、2021年にこれをイノベーションで実現する「みどりの食料システム戦略」を策定し、2022年には「環境と調和のとれた食料システムの確立のための環境負荷低減事業活動の促進等に関する法律（みどりの食料システム法）」に基づき、生産から消費まで環境負荷低減のための取組みをさらに推進していくこととしている。また、国際情勢の変化により顕在化した、化学肥料原料の調達リスクを踏まえて、輸入原料や化石燃料を原料とした化学肥料の使用量を、2050年に30%低減すると

して、過度な輸入依存からの脱却に向けて、堆肥等の国内資源を有効活用する方向性が示されている。

これまで小麦栽培において、香川県では、化学肥料の価格高騰対策として、低リン酸・低カリウム肥料の開発や利用を推進してきたが、堆肥等の有機質資材を活用した小麦の減化学肥料栽培技術は開発されていない。その背景には、小麦は、水稲と比較して肥料要求度が高く、化学肥料を施用しないと収量が低下しやすいことが挙げられる（小野ほか<sup>1)</sup>）。現に、香川県で小麦「さぬきの夢2009」を栽培している生産者のうち、99.3%は化学肥料により栽培している（2020年度小麦実態調査（未公表））。一方で、香川県は養鶏が盛んであり、その排せつ物である鶏ふんは、他の家畜堆肥（豚ふん、牛ふん）に比べるとC/N比が低く、分解が早いいため、施用当初から窒素の放出が多く、化学肥料に近い効果が期待できる（香川県<sup>2)</sup>）。また、発酵させた鶏ふんを高温で処理し、ペレット状にした鶏ふんペレットが販売されており、生鶏ふんや乾燥鶏ふんと比較して、散布時の飛散がなく機械散布にも適している。しかし、鶏ふん等の堆肥を活用するためには、小麦栽培における生育等への影響を明らかにする必要がある。

また、スマート農業技術の1つであるセンシング診断技術は、作物の生育状況をより省力的に把握する手法である。この技術を活用し、小麦の生育状況を把握し、それぞれのほ場の実態に合わせ、追肥として必要最低限の化学肥料を施用することにより、化学肥料の使用量の削減が可能であると考えられる。

そこで、本研究では、小麦「さぬきの夢2009」の栽培において、鶏ふんペレットの施用が生育・収量・品質等に及ぼす影響について調査するとともに、センシング診断技術を活用した減化学肥料栽培の体系について検討したので報告する。

## 材料及び方法

### 試験1. 基肥における鶏ふんペレットのみの施用による影響（2022/2023年）

#### 1) 2022年播き農業試験場内試験

香川県農業試験場の306号地に2022年11月17日に小麦「さぬきの夢2009」を播種量8kg/10aで畝幅180cmの条間20cm、6条の南北の逆転耕の平高畝ドリル播きした。

前作の稲わらは、水稲のコンバイン収穫時に細断し、全量すき込んだ。試験区の概要は表-1のとおりである。追肥は携帯型NDVI（normalized difference vegetation index, 正規化植生指数）センサーであるGreenSeeker

表－1 2022年播きの農業試験場内試験の概要（/10a）

施用日	土壌改良 資材	基肥		追肥1		追肥2		化学窒素削 減率（%）
	11/10	鶏ふんペレット：11/10 慣行区：11/17		1/17		鶏ふんペレット：3/3 慣行区：3/3		
試験区	苦土石灰 (kg/10a)	肥料	施用 窒素量 (kg)	肥料	施用 窒素量 (kg)	肥料	施用 窒素量 (kg)	
鶏ふんペレット区	－	鶏ふんペレット	9.0	－	－	402化成	5.0	60～64
慣行区 (基肥一発体系)	100	さぬきの夢一発	14.0	－	－	－	－	－
慣行区(分施肥体系)	100	402化成	4.9	402化成	3.5	402化成	4.2	－

注1) 基肥は全層施肥

注2) 苦土石灰：アルカリ度53%，可溶性苦土15%（研農社製）

鶏ふんペレット：N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O：3.0-5.2-4.3（富士見工業社製）

さぬきの夢一発：N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O：20-12-12（速効性（45%）-エムコート20（35%）-グッドIB（20%）

402化成（くみあい硫加燐安402）：N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O：14-10-12

表－2 NDVI値から算出した窒素追肥量（kg/10a）

追肥量	NDVI値		
	0.58未満	0.58～0.62	0.63以上
	多	標準	少
	5.0	3.5	2.0

注1) NDVIは、近赤外線の反射率（NIR）と赤の反射率（R）を利用して、 $(NIR - R) / (NIR + R)$  で計算され、値は-1から1までの間で、値が大きいほど生育が良いと判断される。NDVI値は、GreenSeeker Handheld Crop Sensor（ニコン・トリンブル社）で計測

ハンドヘルド作物センサー（ニコン・トリンブル社製、以下「GreenSeeker」という。）を用いて生育状況を測定し、表－2に基づき施用量を決定した。NDVIは、近赤外線の反射率（NIR）と赤色光の反射率（R）を利用して、 $(NIR - R) / (NIR + R)$  で計算され、値は-1から1までの間で、値が大きいほど生育が良いと判断される（大段<sup>3)</sup>）。河田・中西<sup>4)</sup>は、GreenSeekerで計測したNDVI値は草丈、茎数、葉色（SPAD）の各要素の動向を反映した生育指標値と相関があることを明らかにしている。1区面積は27.0m<sup>2</sup>とし、2反復設けた。

各試験区に生育調査枠を畝の東西2カ所（50cmの正方形の枠）に設け、枠内3条を調査した。生育調査は、草丈、葉色（SPAD）は枠内10個体、茎数は枠内全てを経時的に調査した（2022年12月16日、2023年1月16日、2月16日、3月3日、3月17日、4月19日の計6回）。葉色（SPAD）の計測には、葉緑素計SPAD-502（コニカミノルタ社製）を用いて、展開第2葉を測定し平均値を求めた。また、本研究ではセンシング診断を行うため、代表的な植生指数であるNDVIを測定した。NDVI値の測定は、2つの方法で実施した。1つ目は、GreenSeekerを用い、地上高約1mでGreenSeekerをワイパー状に動かし（村田・稲村<sup>5)</sup>）、10秒間に5回程度、

断続的に照射・測定し、8カ所（畝の東側から4カ所、西側から4カ所）の平均値をその試験区のNDVI値とした。2つ目は、ドローンを用いた計測を行った。ドローンは、P4 Multispectral（DJI社、以下P4M）を使用し、ドローン自動操縦システム（iOS・タブレット端末専用アプリ「DJI GS Pro」）でタブレット端末及び送信機を通じてドローンの飛行、撮影等を制御した。飛行高度30m、オーバーラップ（重複率）80%に設定し、ドローンに搭載されているマルチスペクトルカメラで画像データを取得した。取得した画像データは、画像解析ソフトPix4Dmapper（Pix4D社）を用い、解析した。

成熟期調査は、稈長、穂長、穂数を測定し、収量・品質調査は、全重、わら重、精玄麦重、屑麦重、ブラウエル容積重、千粒重、タンパク質含有率、灰分をそれぞれ測定した。タンパク質含有率は、食味分析計GS-2000（静岡製機社製）を用いて測定した。灰分は、小麦品質検定法<sup>6)</sup>に準じて測定した。外観品質は、農産物検査登録検査機関による評価で、1上、1中、1下、2上、2中、2下、規格外の7段階評価とした。

土壌分析は、基肥施用前（苦土石灰施用前）、追肥前、収穫時の3回、表層を除いた深さ約10cmまでの土壌を、対角線採土法（土壌環境分析法<sup>7)</sup>）に準じて採取し、風乾後、2mmの篩に通したものを分析した。

土壌分析項目は、pH、EC、陽イオン交換容量（以下、CEC）、全炭素、全窒素、無機態窒素、リン酸、交換性塩基（カリウム、カルシウム、マグネシウム）とした。pH、全炭素、全窒素、リン酸、交換性塩基は、土壌環境分析法<sup>7)</sup>、CECは土壌物理環境測定法<sup>8)</sup>に準じて分析した。無機態窒素は、水溶性の硝酸態窒素とアンモニア態窒素をイオンクロマトグラフで分析して評価した。

植物体分析は、収量・品質調査に用いた小麦の一部を供試し、穂及びわらの新鮮重量を測定した後、80℃で通

表－3 2022年播きの現地実証圃場の概要（/10a）

場所	基肥		中間追肥		追肥		化学窒素削減率（%）	
	肥料	施用窒素量（kg）	肥料	施用窒素量（kg）	肥料	施用窒素量（kg）		
さぬき市	慣行区	PKセーブエコ488	5.6	PKセーブエコ488	2.8	オール14	2.8	82
	実証区	鶏ふんペレット	9.0	－	－	402化成	2.0	
まんのう町	慣行区	さぬきの夢一発	12.0	－	－	－	－	58
	実証区	鶏ふんペレット	9.0	－	－	402化成	5.0	
観音寺市	慣行区	さぬきの夢一発	8.2	－	－	－	－	76
	実証区	鶏ふんペレット	9.0	－	－	402化成	2.0	

注1) PKセーブエコ488 (N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O：14-8-8)，オール14 (N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O：14-14-14)

注2) 慣行区の基肥施用前に苦土石灰をまんのう町は100kg/10a，さぬき市は60kg/10aを施用した。

注3) 実証区の追肥は，2023年3月2日に施用

表－4 2023年播きの農業試験場内試験の概要（/10a）

施用日	土壌改良資材	基肥		追肥1		追肥2		化学窒素削減率（%）
	11/8	鶏ふんペレット：11/8 慣行区：11/17		2/19		鶏ふんペレット：3/1 慣行区：3/1		
試験区	苦土石灰（kg）	肥料	施用窒素量（kg）	肥料	施用窒素量（kg）	肥料	施用窒素量（kg）	
鶏ふんペレット + 硫安3N区	－	鶏ふんペレット 硫安	11.7 3.0	－	－	402化成	2.0	60～64
鶏ふんペレット + 硫安0N区	－	鶏ふんペレット	11.7	－	－	402化成	3.5	72～82
慣行区 (基肥一発体系)	100	さぬきの夢一発	14.0	－	－	－	－	－
慣行区(分施肥体系)	100	402化成	4.9	402化成	3.5	402化成	4.2	－

注1) 基肥は全層施肥

注2) 鶏ふんペレット：N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O：3.9-3.5-2.9（富士見工業社製）  
硫安：N：21（宇部興産社製）

風乾燥し，乾燥重量を測定した。その後，各部位ごとに，粉碎機 Cyclotec 1093 Sample Mill（FOSS社製）で粉碎したものを分析した。分析項目は，窒素，リン酸，カリウム，カルシウム，マグネシウムとした。

鶏ふんペレットの成分分析項目は，窒素，リン酸，カリウム，カルシウム，マグネシウムとした。

植物体分析及び鶏ふんペレットの成分分析は，水野ほか<sup>9)</sup>の方法と土壌，水質及び植物体分析法<sup>10)</sup>に準じて分析した。

## 2) 2022年播き現地実証試験

香川県内東中西部3カ所（さぬき市，まんのう町，観音寺市）において，現地実証試験を実施した。生産者慣行を慣行区とし，実証区は農業試験場内試験の鶏ふんペレット区と同様の設計とした。各現地実証ほ場の概要は表－3のとおりである。

## 試験2. 基肥における鶏ふんペレットと硫安の混和による影響（2023/2024年）

結果及び考察でも論じるが，試験1の結果を踏まえ，初期生育の改善のために基肥として鶏ふんペレットに硫安を混和させた試験区を設置した。

### 1) 2023年播き農業試験場内試験

2023年11月17日に小麦「さぬきの夢2009」を試験1-1)と同様に播種した。試験規模も同じとした。

各試験区の概要は表－4のとおりである。追肥以降の作業については，試験1-1)と同様であるが，鶏ふんペレット+硫安0N区においては，センシング診断を実施せずに追肥を施用した。

調査方法は，試験1-1)と同様で，生育調査は，2023年12月18日，2024年1月16日，2月16日，3月14日，4月15日の計5回行った。

### 2) 2023年播き現地実証試験

香川県内東中西部3カ所（高松市，まんのう町，観音寺市）で，実証試験を行った。実証区は試験2-1)の鶏ふんペレット+硫安3N区と同様の設計で行った。各

表－5 2023年播きの現地実証試験圃場の概要（/10a）

場所		基肥		中間追肥		追肥		化学窒素削減率 (%)
		肥料	施用窒素量 (kg)	肥料	施用窒素量 (kg)	肥料	施用窒素量 (kg)	
高松市 (初年目)	慣行区	さぬきの夢一発	8.0	-	-	-	-	59
		硫安	4.2	-	-	-	-	
	実証区	鶏ふんペレット	11.7	-	-	402化成	2.0	
		硫安	3.0	-	-	-	-	
まんのう町 (2年目)	慣行区	さぬきの夢一発	12.0	-	-	-	-	46
		硫安	3.0	-	-	-	-	
	実証区	鶏ふんペレット	11.7	-	-	402化成	3.5	
		硫安	3.0	-	-	-	-	
観音寺市 (2年目)	慣行区	さぬきの夢一発	8.2	-	-	-	-	39
		硫安	3.0	-	-	-	-	
	実証区	鶏ふんペレット	11.7	-	-	402化成	2.0	
		硫安	3.0	-	-	-	-	

注1) まんのう町の慣行区は基肥施用前に苦土石灰100kg/10aを施用した。

注2) 実証区の追肥は、2024年2月28日に施用

表－6 2022年播き及び2023年播きで使用した鶏ふんペレットの品質表示値及び分析値 (%)

		C	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	C/N比
鶏ふんペレット (2022年)	品質表示値	-	3.0	5.2	4.3	25.0	-	8.0
	分析値	25.76	3.36	6.54	4.45	5.30	2.00	7.66
鶏ふんペレット (2023年)	品質表示値	-	3.9	3.5	2.9	-	-	6.0
	分析値	26.27	4.27	3.65	2.51	10.37	1.24	6.15

注) () 内は、鶏ふんペレットを使用した播き年

表－7 生育調査の結果 (2022年播き農業試験場内試験)

試験区名	12/16						1/16					2/16					3/3									
	出芽数 (本/m)	草丈 (cm)	莖数 (本/m)	葉色 (SPAD)	NDVI (GS)	NDVI (PAM)	草丈 (cm)	莖数 (本/m)	葉色 (SPAD)	NDVI (GS)	NDVI (PAM)	草丈 (cm)	莖数 (本/m)	葉色 (SPAD)	NDVI (GS)	NDVI (PAM)	草丈 (cm)	莖数 (本/m)	葉色 (SPAD)	NDVI (GS)	NDVI (PAM)					
慣行区 (分施肥体系)	251	15.8 a	256 a	40.7 a	0.28 a	0.26 a	18.4 a	1149 a	47.6 a	0.56 a	0.59 a	22.8 a	1310 a	40.2 a	0.71 a	0.72 a	29.5 a	1325 a	38.4 a	0.79 a	0.83 a					
慣行区 (基肥一発体系)	276	16.2 a	277 a	40.1 a	0.29 a	0.25 a	18.2 a	1176 a	48.4 ab	0.56 a	0.59 a	23.6 a	1436 a	41.4 a	0.71 a	0.71 a	31.0 a	1411 a	37.8 a	0.78 a	0.80 a					
実証区 (鶏ふんペレット)	257	15.6 a	261 a	38.1 a	0.26 a	0.22 a	15.9 b	900 b	43.5 a	0.49 b	0.47 b	20.2 b	934 b	36.0 b	0.53 b	0.55 b	21.2 b	887 b	28.3 b	0.56 b	0.66 b					
分散分析	-	ns	ns	ns	ns	ns	*	*	*	*	*	*	**	**	**	**	**	**	**	**	*					
試験区名	3/16					4/19					幼穂形成				節間伸長				出穂期				成熟期			
	草丈 (cm)	莖数 (本/m)	葉色 (SPAD)	NDVI (GS)	NDVI (PAM)	草丈 (cm)	莖数 (本/m)	葉色 (SPAD)	NDVI (GS)	NDVI (PAM)	始期 (月/日)	開始期 (月/日)	出穂期 (月/日)	成熟期 (月/日)	始期 (月/日)	開始期 (月/日)	出穂期 (月/日)	成熟期 (月/日)	始期 (月/日)	開始期 (月/日)	出穂期 (月/日)	成熟期 (月/日)				
慣行区 (分施肥体系)	50.9 a	1233 a	43.0 a	0.82 a	0.81 a	88.1 a	881 a	43.0 a	0.81 a	0.90 a	2/13	3/2	4/2	5/30	2/12	3/2	4/2	5/30	2/14	3/4	4/3	5/31				
慣行区 (基肥一発体系)	51.0 a	1276 a	39.3 a	0.81 a	0.81 a	88.5 a	798 a	38.1 a	0.81 a	0.86 ab	2/12	3/2	4/2	5/30	2/12	3/2	4/2	5/30	2/14	3/4	4/3	5/31				
実証区 (鶏ふんペレット)	35.0 b	805 b	32.2 b	0.59 b	0.61 b	76.9 b	609 b	39.4 a	0.77 b	0.83 b	2/14	3/4	4/3	5/31	2/14	3/4	4/3	5/31	2/14	3/4	4/3	5/31				
分散分析	**	**	*	**	**	**	**	ns	**	*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				

注1) NDVIは、近赤外線の反射率 (NIR) と赤の反射率 (R) を利用して、(NIR-R) / (NIR+R) で計算され、値は-1 から1までの間で、値が大きいほど生育が良いと判断される。

注2) 分散分析の結果、\*\*：1%水準で有意性あり、\*：5%水準で有意性あり、ns：5%水準で有意性なしを示す。

異なる英小文字が付された値は、Tukeyの多重比較において処理区間に5%水準で有意差があることを示す。

現地実証ほ場の概要は表－5のとおりである。

## 結果及び考察

### 1. 鶏ふんペレットの成分分析

2022年及び2023年播きの試験で使用した鶏ふんペレットは同一会社の製造であるが、品質表示の成分含有率が

異なった。2022年播きを使用した鶏ふんペレットの窒素含有率3%に対して、2023年播きでは、窒素含有率3.9%と3割高く、その分、小麦への窒素供給量が多くなると考えられた(表－6)。さらに、鶏ふんペレットを分析したところ、成分含有率は、品質表示の値とも異なっていた。

表－8 成熟期・収量・品質調査の結果（2022年播き農業試験場内試験）

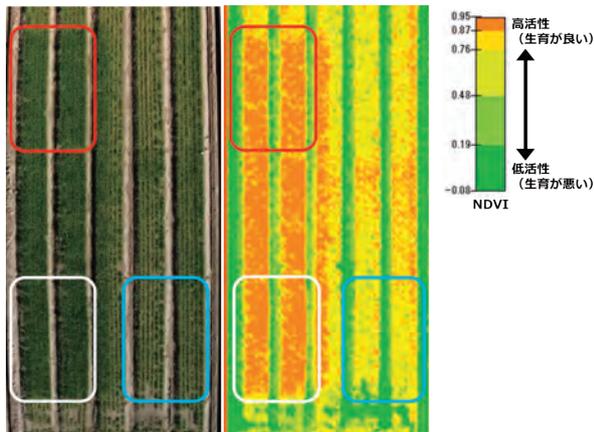
試験区名	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本/m)	倒伏 (0~5)	全重 (kg/10a)	わら重 (kg/10a)	精玄 麦重 (kg/10a)	同左 比率 (%)	屑麦重 (kg/10a)	容積重 (g/L)	千粒重 (g)	タンパク質 含有率 (%)	灰分 (%)	外観 品質 (1~7)	
慣行区 (分施肥系)	86.4 a	9.1	773 a	4.0	1471 a	583 a	645	(100)	33 a	816	39.6	9.0	1.64 ab	4.5	
慣行区 (基肥一発体系)	85.8 a	8.6	759 a	4.0	1288 ab	509 ab	600	(100)	8 b	825	42.4	8.2	1.58 a	3.5	
実証区 (鶏ふんペレット)	73.3 b	8.4	525 b	3.0	965 b	355 b	469	73	78	11 b	823	41.5	8.3	1.68 b	2.5
分散分析	**	ns	**	-	*	*	ns	-	**	ns	ns	ns	*	-	

注1) 精玄麦重、千粒重は2.2mmのふるいで調製し、水分12.5%に換算した値とした。  
 容積重は2.2mmのふるいで調製したものを、ブラウエル穀粒計で計測した。  
 タンパク質含有率は静岡製機社製食味分析計（GS-2000）による水分13.5%換算値とした。  
 外観品質は1：1等上 2：1等中 3：1等下 4：2等上 5：2等中 6：2等下 7：規格外の7段階評価とし、農産物検査登録検査機関による。  
 注2) 分散分析の結果、\*\*：1%水準で有意性あり、\*：5%水準で有意性あり、ns:5%水準で有意性なしを示す。  
 異なる英小文字が付された値は、Tukeyの多重比較において処理区間に5%水準で有意差があることを示す。

表－9 土壌分析の結果（2022年播き農業試験場内試験）

		土壌採取 時期	pH	EC (mS/cm)	CEC (cmolc/kg)	全窒素 (%)	全炭素 (%)	無機態 窒素 (mg/100g)	リン酸 (mg/100g)	カリ ウム (mg/100g)	カル シウム (mg/100g)	マグネ シウム (mg/100g)
農業	慣行区、実証区（同一ほ場）	基肥前	6.2	0.09	9.56	0.17	1.55	-	26	12	158	28
試験場内	慣行区（分施肥系）	収穫時	5.8	0.19	-	0.18	1.66	-	34	8	172	32
	慣行区（基肥一発体系）	収穫時	6.3	0.06	-	0.18	1.68	-	35	10	167	32
	実証区（鶏ふんペレット）	収穫時	6.3	0.07	-	0.18	1.68	-	39	13	170	33

注) 土壌採取時期の基肥前は、苦土石灰の施用前である



図－1 農業試験場内での莖立期（3月3日）のP4Mによる航空写真（左）及び解析画像（右）  
 赤枠：慣行区（分施肥系）、白枠：慣行区（基肥一発体系）、青枠：実証区（鶏ふんペレット）

は追肥施用後、慣行区並みに回復した。NDVI値は、草丈・茎数・葉色の実測値と同様な生育を表しており、1月16日以降の値が慣行区（分施肥系、基肥一発体系）より小さく推移した。3月3日のP4Mの値がやや高かったが、GreenSeekerとP4Mはおおむね同じ値を示した。3月3日の調査では、GreenSeekerのNDVI値が低く示されたので、表－2に基づき鶏ふんペレット区の追肥量を多く（窒素成分で5.0kg/10a）設定した。また、P4Mによる空撮で得られた解析画像でも鶏ふんペレット区の生育量の不足が明らかであった（図－1）。

成熟期調査では、慣行区（分施肥系）と比べ、稈長が短く、穂数が少なかった。穂長も短くなる傾向が見られた。倒伏程度は、稈長が短かったため慣行区（分施肥系、基肥一発体系）より小さかった（表－8）。

収量調査では、慣行区（分施肥系）に比べ、全重、わら重が軽かった。精玄麦重は慣行区（分施肥系、基肥一発体系）の22~27%減となった。原因として、稈長が短かったこと、穂数が少なかったことが影響していると考えられた。また、鶏ふんペレット区は初期から中期の生育量が少なく、NDVI値を用いて生育診断を実施し、施肥基準（表－2）に基づいて追肥量を多くしても慣行区と同等の精玄麦重、また、タンパク質含有率を上げることができなかった。灰分は、慣行区（基肥一発体系）より高くなった。外観品質は、鶏ふんペレット区のみ1等であった。土壌分析の結果は表－9のとおりである。

2. 基肥における鶏ふんペレットのみの施用による影響（2022/2023年）

1) 2022年播き農業試験場内試験

慣行区（分施肥系、基肥一発体系）と比較して、鶏ふんペレット区は、播種の2カ月後の1月16日の調査から、草丈が低く、茎数が少なく推移した。葉色（SPAD）は全試験区で1月16日からうすくなりはじめたが、鶏ふんペレット区の低下幅が最も大きく、3月3日の調査では、葉色が30を下回った（表－7）。このことから、鶏ふんペレットの肥効は短いと考えられた。その後、葉色

表-10 生育・成熟期・収量・品質調査の結果（2022年播き現地実証試験）

		2月27日											
		出芽数 (本/m <sup>2</sup> )	草丈 (cm)	茎数 (本/m <sup>2</sup> )	葉色 (SPAD)	NDVI (-)	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本/m <sup>2</sup> )	倒伏 程度 (0~5)	播種期 (月/日)	出穂期 (月/日)	成熟期 (月/日)
さぬき市	慣行区	119	31.6	975	47.0	0.82	88.8	10.2	444	5.0	11/16	4/6	6/2
	実証区	125	28.4	816	42.6	0.73	80.3	10.7	495	3.0	11/16	4/6	5/31
まんのう町	慣行区	183	29.2	1272	41.7	0.75	85.8	8.8	596	0.0	11/16	4/4	5/29
	実証区	178	25.0	948	36.8	0.57	82.5	8.8	591	0.0	11/16	4/6	5/30
観音寺市	慣行区	299	47.4	1024	33.9	0.84	85.0	10.6	703	5.0	11/11	3/19	5/21
	実証区	307	41.0	804	29.2	0.74	81.9	10.4	651	2.0	11/11	3/19	5/21
t検定		ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	-	-	-
		全重 (kg/10a)	わら重 (kg/10a)	精玄 麦重 (kg/10a)	同左 比率 (%)	屑麦重 (kg/10a)	容積重 (g/L)	千粒重 (g)	タンパク質 含有率 (%)	灰分 (%)	外観 品質 (1~7)		
さぬき市	慣行区	1406	593	543	(100)	41	789	36.8	10.4	1.68	6.3		
	実証区	1205	470	502	92	35	788	36.4	9.9	1.68	5.0		
まんのう町	慣行区	1204	475	544	(100)	10	797	39.9	9.2	1.54	4.7		
	実証区	1209	440	569	105	18	793	40.6	9.5	1.65	4.3		
観音寺市	慣行区	1931	711	754	(100)	61	776	36.2	9.9	1.62	6.7		
	実証区	1771	710	781	104	20	779	40.4	9.1	1.56	3.7		
t検定		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	-		

注1) NDVIは、近赤外線（NIR）と赤（R）の反射率を利用して、 $(NIR-R)/(NIR+R)$  で計算され、値は-1から1までの間で、値が大きいほど生育が良いと判断される。

NDVI値は、GreenSeeker Handheld Crop Sensor（ニコン・トリンブル社）で計測

注2) 慣行区と実証区をt検定により比較 \*\*: 1%水準で有意性あり, \*: 5%水準で有意性あり, ns: 5%水準で有意性なしを示す。

表-11 土壌分析の結果（2022年播き現地実証試験）

		土壌採取 時期	pH	EC (mS/cm)	CEC (cmolc/kg)	全窒素 (%)	全炭素 (%)	無機態 窒素 (mg/100g)	リン酸 (mg/100g)	カリ ウム (mg/100g)	カル シウム (mg/100g)	マグネ シウム (mg/100g)	
さぬき市	慣行区	基肥前	6.2	0.11	11.47	0.23	2.20	0.3	55	17	194	32	
		収穫時	6.0	0.14	-	0.22	2.23	0.2	64	19	201	32	
	実証区	基肥前	6.3	0.11	12.03	0.25	2.34	0.8	68	16	218	35	
		収穫時	6.3	0.11	-	0.23	2.24	0.4	75	26	215	34	
まんのう町	慣行区、実証区（同一ほ場）		基肥前	6.3	0.05	9.99	0.19	1.93	0.3	28	9	142	27
	慣行区	収穫時	6.3	0.07	-	0.20	1.99	<0.4	40	17	175	36	
	実証区	収穫時	6.3	0.08	-	0.21	2.10	<0.4	41	20	178	34	
	観音寺市	慣行区	基肥前	6.0	0.09	12.32	0.18	1.90	1.8	99	27	196	19
収穫時			5.9	0.08	-	0.19	1.98	<0.4	127	27	202	13	
実証区		基肥前	6.1	0.08	12.34	0.23	2.31	1.4	108	24	198	24	
		収穫時	6.2	0.10	-	0.25	2.49	<0.4	158	39	226	28	

注) 土壌採取時期の基肥前は、苦土石灰の施用前である

## 2) 2022年播き現地実証試験

農業試験場内試験と同様に生育量が少ない傾向にある中（表-10）、実証区の追肥量は事前に作成した施肥基準（表-2）に基づき、さぬき市、観音寺市では少なく（窒素成分で2.0kg/10a）施用し、まんのう町では多く（窒素成分で5.0kg/10a）施用した。倒伏程度は、さぬき市、観音寺市の慣行区は全倒伏であったが、実証区では倒伏程度が小さかった。

収量・品質調査の項目では、現地実証ほ場によって傾

向が異なり、両区の差は見られなかった。農業試験場内試験では、実証区の精玄麦重が、慣行区より軽い傾向にあったが、現地実証試験ではその傾向が見られなかった。生育診断により、さぬき市や観音寺市で追肥量を低減させたが、慣行区と同等の精玄麦重やタンパク質含有率は9.0%を超えたこと、生育診断時には生育量が不足しており追肥量を増加させたまんのう町でも精玄麦重及びタンパク質含有率は慣行区と同等であったことから、現地実証ほ場においては、施肥基準（表-2）が有効で

表-12 植物体分析の結果 (%) (2022年播き現地実証試験)

		穂						わら					
		乾物率	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	乾物率	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO
さぬき市	慣行区	85.7	1.56	0.72	0.58	0.12	0.21	85.8	0.67	0.39	2.24	0.41	0.16
	実証区	87.2	1.44	0.76	0.61	0.13	0.20	92.7	0.51	0.35	1.99	0.38	0.13
まんのう町	慣行区	86.0	1.41	0.71	0.51	0.13	0.20	83.3	0.44	0.21	1.78	0.38	0.13
	実証区	86.7	1.40	0.75	0.55	0.12	0.21	84.2	0.41	0.30	2.33	0.37	0.13
観音寺市	慣行区	85.7	1.58	0.76	0.55	0.14	0.24	86.2	0.51	0.32	2.17	0.42	0.19
	実証区	85.2	1.34	0.73	0.54	0.11	0.26	82.9	0.36	0.20	1.49	0.32	0.22
t検定		-	ns	ns	ns	ns	ns	-	ns	ns	ns	ns	ns

注) 慣行区と実証区をt検定により比較 \*\* : 1%水準で有意性あり, \* : 5%水準で有意性あり, ns : 5%水準で有意性なしを示す。

表-13 生育調査の結果 (2022年播き農業試験場内試験)

試験区名	12/16										1/16					2/16															
	出芽数 (本/m)	草丈 (cm)	茎数 (本/m)	葉色 (SPAD)	NDVI (GS)	NDVI (P4M)	NDVI (P4M)	草丈 (cm)	茎数 (本/m)	葉色 (SPAD)	NDVI (GS)	NDVI (P4M)	草丈 (cm)	茎数 (本/m)	葉色 (SPAD)	NDVI (GS)	NDVI (P4M)														
慣行区 (分施体系)	174	12.7	a	204	a	42.4	a	0.24	a	0.22	a	17.8	a	597	a	47.3	a	0.43	a	0.44	a	29.8	a	1215	a	45.2	a	0.73	ab	0.81	a
慣行区 (基肥一発体系)	167	12.5	a	191	a	43.1	a	0.25	a	0.22	a	17.0	a	529	a	47.6	a	0.44	a	0.45	a	29.4	a	1210	a	45.5	a	0.71	a	0.80	a
実証区 (鶏ふんペレット + 硫安3N)	176	12.3	a	201	a	43.0	a	0.25	a	0.23	a	16.6	a	614	a	47.7	a	0.43	a	0.44	a	28.4	a	1126	a	42.5	b	0.68	b	0.76	a
実証区 (鶏ふんペレット + 硫安0N)	169	12.8	a	185	a	42.0	a	0.25	a	0.22	a	17.3	a	580	a	47.8	a	0.42	a	0.45	a	27.4	a	988	b	42.0	b	0.67	b	0.76	a
分散分析	-	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	*	*	*	*	ns	ns	ns

試験区名	3/16					4/19					幼穂形成 始期 (月/日)	節間伸長 開始期 (月/日)	出穂期 (月/日)	成熟期 (月/日)										
	草丈 (cm)	茎数 (本/m)	葉色 (SPAD)	NDVI (GS)	NDVI (P4M)	草丈 (cm)	茎数 (本/m)	葉色 (SPAD)	NDVI (GS)	NDVI (P4M)														
慣行区 (分施体系)	54.0	a	1061	a	41.5	ab	0.84	a	0.86	a	92.3	a	763	a	40.2	a	0.86	ab	-	-	2/2	2/19	4/4	5/29
慣行区 (基肥一発体系)	51.4	a	1036	a	39.0	a	0.82	a	0.83	a	89.2	ab	645	b	39.4	a	0.84	a	-	-	2/2	2/19	4/4	5/29
実証区 (鶏ふんペレット + 硫安3N)	47.0	a	899	a	37.9	b	0.80	b	0.83	a	83.1	c	594	b	36.6	b	0.81	c	-	-	2/2	2/19	4/4	5/29
実証区 (鶏ふんペレット + 硫安0N)	47.0	a	813	a	40.9	ab	0.79	b	0.83	a	86.0	bc	630	b	38.0	ab	0.83	b	-	-	2/2	2/19	4/4	5/29
	ns	ns	ns	ns	*	*	ns	ns	ns	ns	*	*	*	*	*	*	*	*	-	-	-	-	-	-

注1) NDVIは、近赤外線反射率 (NIR) と赤の反射率 (R) を利用して、(NIR-R)/(NIR+R) で計算され、値は-1から1までの間で、値が大きいほど生育が良いと判断される。

注2) 4/19のNDVI (P4M) のデータ欠損

注3) 分散分析の結果、\*\* : 1%水準で有意性あり, \* : 5%水準で有意性あり, ns : 5%水準で有意性なしを示す。

異なる英小文字が付された値は、Tukeyの多重比較において処理区間に5%水準で有意差があることを示す。

あった。農業試験場内のほ場と比べ、現地実証ほ場の土壌の全炭素含量が比較的高かった (表-11)。全炭素含有量が高いほ場は、可給態窒素含有量に高い正の相関があったと報告されている (中西・河田<sup>13)</sup>) ことから、現地実証ほ場では、鶏ふんペレットの肥効がより発揮されたのではないかと推測される。しかし、植物体の窒素含有率は、穂及びわらともに、慣行区より実証区で低い傾向が見られた (表-12)。

### 3. 基肥における鶏ふんペレットと硫安の混和による影響 (2023/2024年)

#### 1) 2023年播き農業試験場内試験

2023年播きでは、鶏ふんペレット+硫安3N区では初期生育が改善され、慣行区 (分施体系, 基肥一発体系) とほぼ同等の生育であった。一方、2022年播きと同様の

設計の鶏ふんペレット+硫安0N区でも、2月16日時点での茎数が少ないものの4月15日時点の調査では他の区とほぼ同等の生育であった (表-13)。このことから、基肥に硫安を混和させたことよりも、2022年播きに比べ、2023年播きで使用した鶏ふんペレットの窒素含有率が高かったことが影響している可能性が考えられた。2月16日の調査でGreenSeekerのNDVI値を測定し、表-2に基づき鶏ふんペレット+硫安3N区の追肥量を少なく (窒素成分で2.0kg/10a) 設定した。鶏ふんペレット+硫安3N区の化学窒素肥料の削減率は、60~64%となった。

成熟期調査では、慣行区 (分施体系, 基肥一発体系) に比べ、稈長は短く、慣行区 (基肥一発体系) に比べ、穂数は少なかった。出穂期以降の周期的な降雨の影響により、倒伏程度は全区で全倒伏であった (表-14)。

表-14 成熟期・収量・品質調査の結果（2023年播き農業試験場内試験）

試験区名	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本/m)	倒伏 (0~5)	全重 (kg/10a)	わら重 (kg/10a)	精玄 麦重 (kg/10a)	同左 比率 (%)	肩麦重 (kg/10a)	容積重 (g/L)	千粒重 (g)	タンパク質 含有率 (%)	外観 品質 (1~7)							
慣行区 (分施肥系)	87.5	a	11.5	a	680	a	5.0	1341	a	492	461	(100)	110	a	811	33.8	9.4	a	4.0	
慣行区 (基肥一発体系)	85.6	a	11.4	a	594	ab	5.0	1280	ab	473	493	(100)	74	ab	816	34.7	8.7	b	3.0	
実証区 (鶏ふんペレット +硫安3N)	81.4	b	10.9	a	538	b	5.0	1109	c	388	450	98	91	45	b	814	35.4	8.7	b	2.5
実証区 (鶏ふんペレット +硫安0N)	82.4	b	10.8	b	563	b	5.0	1186	bc	467	496	108	101	54	b	817	35.2	8.6	b	2.0
分散分析	**	*	*	-	**	ns	ns	-	-	*	ns	ns	**	-						

注1) 精玄麦重、千粒重は2.2mmのふるいで調整し、水分12.5%に換算した値とした。

容積重は2.2mmのふるいで調整したものを、ブラウエル穀粒計で計測した。

タンパク質含有率は静岡製機社製食味分析計(GS-2000)による水分13.5%換算値とした。

外観品質は1:1等上 2:1等中 3:1等下 4:2等上 5:2等中 6:2等下 7:規格外の7段階評価とし、農産物検査登録検査機関による。

注2) 分散分析の結果、\*\*：1%水準で有意性あり、\*：5%水準で有意性あり、ns：5%水準で有意性なしを示す。

異なる英小文字が付された値は、Tukeyの多重比較において処理区間に5%水準で有意差があることを示す。

表-15 土壌分析の結果（2023年播き農業試験場内試験）

		土壌採取 時期	pH	EC (mS/cm)	CEC (cmol/kg)	全窒素 (%)	全炭素 (%)	無機態 窒素 (mg/100g)	リン酸 (mg/100g)	カリウム (mg/100g)	カル シウム (mg/100g)	マグネ シウム (mg/100g)
農業	慣行区、実証区（同一ほ場）	基肥前	6.8	0.08	9.61	0.17	1.57	<0.4	33	11	152	29
試験場内	慣行区（分施肥系）	収穫時	6.0	0.06	-	0.19	1.67	<0.4	29	13	166	27
	慣行区（基肥一発体系）	収穫時	5.8	0.06	-	0.19	1.69	<0.4	32	15	165	26
	実証区（鶏ふんペレット+硫安3N）	収穫時	5.8	0.05	-	0.20	1.76	<0.4	33	14	174	26

注) 土壌採取時期の基肥前は、苦土石灰の施用前である

収量調査では、鶏ふんペレット+硫安3N区は、慣行区（分施肥系、基肥一発体系）に比べ、全重は軽くなったが、精玄麦重は、慣行区（分施肥系、基肥一発体系）の91~98%程度でほぼ同等であった。鶏ふんペレット+硫安3N区の追肥量は、施肥基準（表-2）に基づき決定し、慣行区（分施肥系）に比べ、施肥量が少なくなったところ、同等の精玄麦重であったが、タンパク質含有率は、9.0%を下回った。また、鶏ふんペレット+硫安0N区は精玄麦重が慣行区（分施肥系、基肥一発体系）の101~108%であり、2022年播きの結果とは異なった。土壌分析の結果は、表-15のとおりである。

## 2) 2023年播き現地実証試験

生育調査・成熟期調査では、慣行区と実証区間に有意な差は見られなかった。基肥に硫安を混和させたことによるアンモニア態窒素の追加、窒素含有量が高い鶏ふんペレットを施用し、窒素供給量は多いと考えられたが、明確な生育調査結果の傾向は見られなかった。倒伏程度は、観音寺市のほ場で実証区のみが倒伏した。収量調査では、精玄麦重は高松市とまんのう町で慣行区の120~121%と多くなった（表-16）。生育診断により、高松市や観音寺市で追肥量を低減させたが、精玄麦重は慣行区と同等、また、タンパク質含有率は9.0%を超えた。一方で、観音寺市の実証区のタンパク質含有率が

11.5%と高く、日本めん用小麦のタンパク質含有率の基準値9.7~11.3%を超えており、タンパク質含有率の必要以上の増加は粉色に悪影響を及ぼす可能性がある（河田・藤井<sup>12)</sup>）。また、追肥を標準量で施用したまんのう町では慣行区と同等の収量であったが、タンパク質含有率が9.0%を下回った。

土壌化学性は、収穫時の交換性カルシウム含量が慣行区より実証区で高くなる傾向があった。これは、高松市と観音寺市の慣行区は苦土石灰を施用しておらず、まんのう町の慣行区は苦土石灰（アルカリ度53%、苦土15%）を施用しており、その供給量は、約32kg/10aであるのに対して、実証区においては、鶏ふんペレット（CaO10.37%）による供給量は約31kg/10aとなり、慣行区と同等から多量の施用量であること、また、植物体分析結果から予想される小麦による吸収量は、1.4~3.4kg/10aであり（表-17）、供給量の数%程度であることから、交換性カルシウム含量が高くなったと考えられた。また、小麦は酸性土壌に弱いことから酸度矯正のため、通常、アルカリ資材を投入しているが、土壌診断結果に応じて、アルカリ資材の投入や鶏ふんの施用量を決定する必要があると考えられた（表-18）。

表-16 生育・成熟期・収量・品質調査の結果（2023年播き現地実証試験）

		1月29, 30日					2月27日					稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本/mi)	倒伏程度 (0~5)
		出芽数 (本/mi)	草丈 (cm)	茎数 (本/mi)	葉色 (SPAD)	NDVI (-)	草丈 (cm)	茎数 (本/mi)	葉色 (SPAD)	NDVI (-)					
高松市	慣行区	125	16.7	861	50.8	0.42	39.2	1217	46.1	0.80	85.4	10.7	406	5.0	
	実証区	125	16.5	758	51.1	0.46	39.3	1096	48.9	0.82	86.6	11.6	442	5.0	
まんのう町	慣行区	104	18.2	562	49.8	0.49	30.9	921	40.6	0.69	75.9	10.3	401	0.0	
	実証区	102	19.2	593	49.1	0.38	32.1	833	38.9	0.62	79.4	10.4	504	0.0	
観音寺市	慣行区	197	21.6	1108	37.6	0.66	51.6	1100	39.3	0.82	85.3	9.3	579	0.0	
	実証区	190	23.8	1454	38.7	0.70	56.5	1292	40.1	0.86	88.9	9.9	504	4.0	
t検定		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	-	

		全重 (kg/10a)	わら重 (kg/10a)	精玄麦重 (kg/10a)	同左比率 (%)	屑麦重 (kg/10a)	容積重 (g/L)	千粒重 (g)	タンパク質含有率 (%)	外観品質 (1~7)	播種期 (月/日)	出穂期 (月/日)	成熟期 (月/日)
		高松市	慣行区	1184	436	444	(100)	45	748	34.5	8.5	7.0	11/15
	実証区	1445	518	535	120	79	753	34.5	9.7	7.0	11/15	4/7	5/30
まんのう町	慣行区	871	303	343	(100)	43	781	34.7	8.7	4.3	11/11	4/6	5/24
	実証区	997	319	416	121	31	793	36.4	8.9	4.0	11/11	4/6	5/26
観音寺市	慣行区	1459	537	542	(100)	28	775	36.5	10.0	4.7	11/15	4/3	5/22
	実証区	1655	546	526	97	65	767	35.2	11.5	6.7	11/15	4/3	5/20
t検定		ns	ns	ns	-	ns	ns	ns	ns	ns	-	-	-

注1) NDVIは、近赤外線（NIR）と赤（R）の反射率を利用して、(NIR-R)/(NIR+R)で計算され、値は-1から1までの間で、値が大きいほど生育が良いと判断される。

NDVI値は、GreenSeeker Handheld Crop Sensor（ニコン・トリニプル社）で計測

注2) 慣行区と実証区をt検定により比較 \*\*：1%水準で有意性あり，\*：5%水準で有意性あり，ns：5%水準で有意性なしを示す。

表-17 植物体分析の結果（%）（2023年播き現地実証試験）

		穂						わら					
		乾物率	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	乾物率	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO
高松市	慣行区	84.8	1.42	0.58	0.43	0.13	0.21	86.7	0.44	0.10	0.84	0.37	0.09
	実証区	84.5	1.69	0.65	0.47	0.16	0.23	86.2	0.72	0.28	1.89	0.47	0.07
まんのう町	慣行区	84.9	1.40	0.65	0.75	0.12	0.22	86.2	0.52	0.15	1.60	0.31	0.10
	実証区	86.1	1.47	0.71	0.75	0.15	0.24	86.8	0.52	0.19	2.17	0.28	0.14
観音寺市	慣行区	85.6	1.59	0.70	0.61	0.13	0.22	86.8	0.58	0.28	1.88	0.37	0.11
	実証区	85.7	2.07	0.78	0.76	0.16	0.25	86.3	0.93	0.45	2.73	0.33	0.11
t検定		-	ns	ns	ns	**	*	-	ns	ns	ns	ns	ns

注) 慣行区と実証区をt検定により比較 \*\*は1%水準で有意性あり，\*は5%水準で有意性あり，nsは5%水準で有意性なしを示す。

表-18 土壌分析の結果（2023年播き現地実証試験）

		土壌採取時期	pH	EC	CEC	全窒素	全炭素	無機態窒素	リン酸	カリウム	カルシウム	マグネシウム	
				(mS/cm)	(cmolc/kg)	(%)	(%)	(mg/100g)	(mg/100g)	(mg/100g)	(mg/100g)	(mg/100g)	
高松市	慣行区、実証区（同一ほ場）		基肥前	5.6	0.08	11.33	0.22	2.16	0.3	64	19	184	18
	慣行区	収穫時	5.2	0.05	-	0.21	2.03	<0.4	50	14	170	11	
	実証区	収穫時	5.5	0.06	-	0.26	2.46	<0.4	64	18	220	19	
まんのう町	慣行区、実証区（同一ほ場）		基肥前	5.9	0.06	10.44	0.19	1.85	0.4	34	12	157	32
	慣行区	収穫時	6.1	0.07	-	0.25	2.13	<0.4	32	18	175	33	
	実証区	収穫時	6.1	0.07	-	0.28	2.41	<0.4	33	16	209	30	
観音寺市	慣行区	基肥前	5.9	0.09	12.20	0.18	1.86	0.7	115	30	200	23	
		収穫時	5.8	0.06	-	0.22	2.11	<0.4	108	26	208	18	
	実証区	基肥前	6.1	0.10	12.04	0.23	2.31	0.7	129	34	210	28	
		収穫時	5.8	0.08	-	0.23	2.20	0.4	136	21	254	25	

注) 土壌採取時期の基肥前は、苦土石灰の施用前である

表-19 化学窒素肥料の削減率（農業試験場内試験）

	基肥		中間追肥		追肥		合計	化学窒素削減率 (%)	
	肥料	施用窒素量 (kg)	肥料	施用窒素量 (kg)	肥料	施用窒素量 (kg)			
2022・慣行区	さぬきの夢一発	14.0	-	-	-	-	14.0	(100)	-
2023年播共通	慣行区	402化成	402化成	3.5	402化成	4.2	12.6	-	(100)
2022年播	実証区	鶏ふんペレット	-	-	402化成	5.0	5.0	64	60
2023年播	実証区	鶏ふんペレット	-	-	402化成	2.0	5.0	64	60
		硫安	-	-	-	-	3.0		

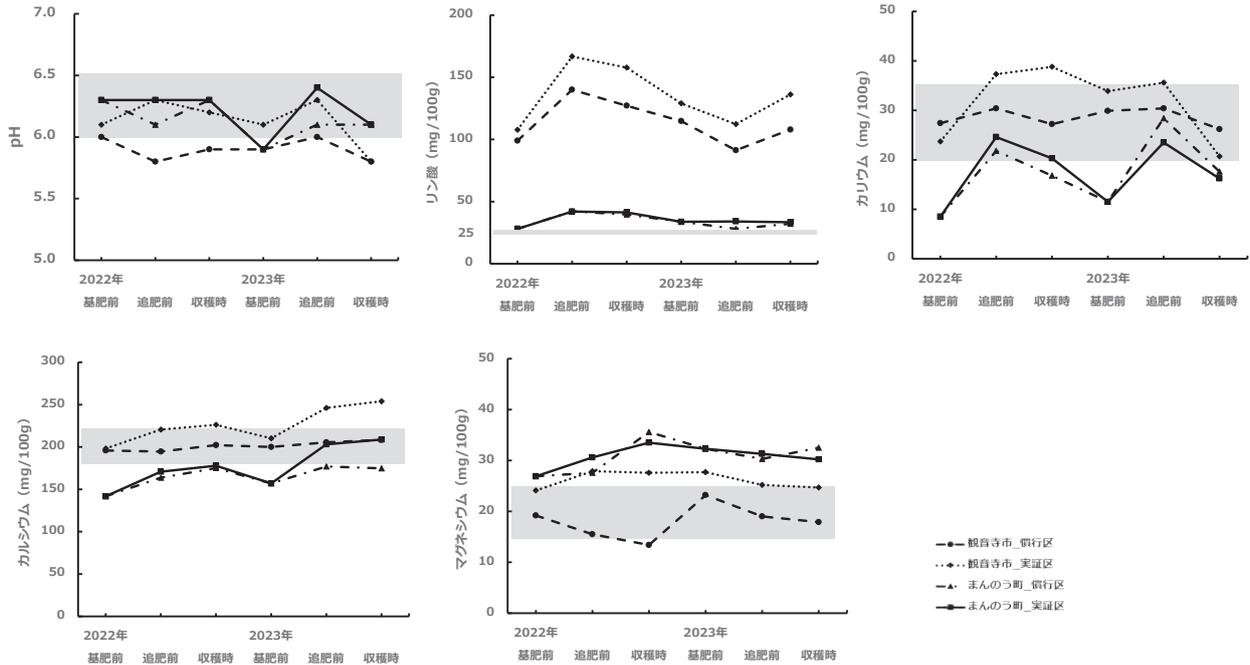


図-2 土壌分析の結果（まんのう町，観音寺市（2年間））  
 ※網掛け部分は，香川県が設定している土づくり目標基準値（香川県<sup>(4)</sup>）

4. 総括

2023年播きの試験では，実証区においても慣行区と同等の収量・品質であった。一方で，基肥として，硫安を施用していない区も慣行区と同等な収量となり，2022年播きとは異なる結果となった。製造ロットによって鶏ふんペレットの成分含有率が異なり，2023年播きの窒素含有率が高く，窒素供給率が高かった可能性が考えられた。しかし，2022年播きの結果を考慮すると，安定した生育，収量を確保するためには，基肥の鶏ふんペレット300kg/10aに硫安を窒素成分で3.0kg/10a程度を混和し施用するのが有効であると考えられた。その場合，農業試験場内試験における慣行区（分施体系，基肥一発体系）と比べた鶏ふんペレットを施用した区の化学窒素肥料の削減率は60～64%であった（表-19）。

センシングによる生育診断では，精玄麦重に対しては有効性が認められたが，タンパク質含有率に対しての有効性については明らかにできなかった。また，NDVI値

の測定時に，小麦の植物体が小さいとほ場内の雑草から反射する波長も測定してしまい，正確に測定することが難しかった。そのため，NDVI値を利用し生育診断する場合は，測定前の除草が必要であると考えられた。

2022年播き及び2023年播きの2年間，鶏ふんペレット300kg/10aを投入した現地実証試験ほ場（まんのう町，観音寺市）の土壌成分の結果を図-2に示した。慣行区に比べ，実証区の交換性カルシウム含有量が高くなる傾向がみられた。前述のとおり，施用量と吸収量の差が大きいこと，また，2023年播きで使用した鶏ふんペレットは，2022年播きで使用したものに比べ，実測値では，カルシウム含有率が高い鶏ふんペレットであったため，2023年播きの増加率が高くなった。この他，慣行区と実証区による明瞭な変化は認められないものの，リン酸の場合，慣行区の化学肥料による供給量は，4.9～7.6kg/10aであるのに対して，実証区は，鶏ふんペレットによる供給量15.6kg/10aと化学肥料の追肥量1.4～

表-20 10a当たりの収益性評価 (2022年播き農業試験場内試験)

	肥料費 A (円)	売上 B (円)	売上-肥料費 B-A (円)	対比 (%)
慣行区 (分施体系)	12,524	98,668	86,145	(100)
慣行区 (基肥一発体系)	20,269	91,784	71,516	(100)
実証区 (鶏ふんペレット)	6,794	71,745	64,951	75 91

令和4年春肥を基に試算

売上：単収×(指標価格+畑作物の直接支払交付金)

単収：精玄麦重

指標価格：48,006円/トン(税抜) = 52,807円/トン(税込)

畑作物の直接支払交付金：6,010円/60kg(1等・Bランク)

表-21 10a当たりの収益性評価 (2023年播き農業試験場内試験)

	肥料費 A (円)	売上 B (円)	売上-肥料費 B-A (円)	対比 (%)
慣行区 (分施体系)	21,013	68,040	47,027	(100)
慣行区 (基肥一発体系)	24,082	72,723	48,641	(100)
実証区 (鶏ふんペレット+硫酸3N)	11,182	66,342	55,160	117 113

令和5年春肥を基に試算

売上：単収×(指標価格+畑作物の直接支払交付金)

単収：精玄麦重

指標価格：57,486円/トン(税抜) = 63,235円/トン(税込)

畑作物の直接支払交付金(課税事業者向け単価)：5,060円/60kg(1等・Bランク)

3.6kg/10a, あわせて17~19.2kg/10aとなる。一方, 植物体分析結果から推定される小麦による吸収量は, 3.5~9.5kg/10aであり, 供給量の2~6割程度と小さい。2年間の鶏ふんペレット施用による生育等の影響はみられなかったが, 堆肥等の有機質肥料の連年施用により, 塩基類等が過剰に集積する可能性があるため, 連年施用する場合は定期的に土壌診断を実施し(中西・河田<sup>33)</sup>), その結果に基づいて鶏ふんペレットの施用量を決定する必要がある。10a当たりの収益性評価を比較すると, 2022年播き農業試験場内試験では, 実証区の収量が低く, 慣行区の75~91%に収益性は低下した(表-20)。2つの慣行区と同等の収量であった場合, 収益性は, 慣行区(分施体系)の99%, 慣行区(基肥一発体系)の128%となり, 同等もしくは高くなると試算された。2023年播き農業試験場内試験においては, 実証区の収量がやや低くなったが, 肥料費の低減により, 収益性は慣行区の113~117%となり高くなった(表-21)。

## 謝 辞

本研究は, 2022年度から2024年度にかけて実施された農林水産省委託プロジェクト研究「輪作体系における持

続的な小麦生産の実現に向けた減化学肥料・減化学農業栽培技術の確立(JPJ011297)」の補助を受けて行った。本研究の遂行にあたり国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構中日本農業研究センターの方々には多くのご指導ご協力をいただいた。また, 生産者の皆様には, 現地実証試験にご協力いただき, 香川県東讃, 中讃, 西讃農業改良普及センター集落営農・農畜産部門の普及指導員の方々には, 現地実証試験ほ場の選定を行っていただいた。ここに記して深く感謝の意を表する。

## 参考文献

- 1) 小野芳郎・平岡正夫・川中弘二(1989): 岡山県南部水田における稲わら連用効果, 岡山県農業試験場研究報告, 7, 18-24.
- 2) 香川県・香川県環境保全型農業推進協議会(1994): 有機農産物等栽培技術手引書, 5-9.
- 3) 大段秀記(2023): 農業生産におけるドローンリモートセンシング. 日本画像学会誌 第62巻 第3号, 219-224.
- 4) 河田和利・中西 充(2020): 小麦「さぬきの夢2009」の携帯型NDVIセンサーによる生育診断の可能

- 性, 香川県農業試験場研究報告, 71, 1-10.
- 5) 村田資治・稲村達也 (2021): 携帯型NDVIセンサーによるダイズ群落の受講率の推定, 日作紀, 90 (4), 444-450.
  - 6) 農林水産技術会議事務局 (1963): 小麦品質検定方法-小麦育種試験における-, 研究成果シリーズ, 35, 1-70.
  - 7) 土壤環境分析法編集委員会 (1997): 土壤環境分析法, 博友社, 427pp.
  - 8) 中野政詩・宮崎 毅・塩沢 昌・西村 拓 (1995): 土壤物理環境測定法, 東京大学出版会, 148-151.
  - 9) 水野直治・南 松雄 (1980): 硫酸-過酸化水素による農作物中N, K, Mg, Ca, Fe, Mn定量のための迅速前処理法, 土肥誌, 51 (5), 418-420.
  - 10) 日本土壤協会編 (2001): 土壤, 水質及び植物体分析法, 財団法人 日本土壤協会, 121-132.
  - 11) 瀧 典明・熊谷千冬・齋藤公夫 (2009): リン酸緩衝液抽出による水田での各種堆肥の窒素分解パターン予測とその検証, 土肥誌, 80, 575-582.
  - 12) 河田和利・藤井美鈴 (2017): 香川県で栽培された小麦「さぬきの夢2009」の粉色に及ぼす諸要因の影響, 香川県農業試験場研究報告, 67, 17-22.
  - 13) 中西 充・河田和利 (2019): 日本麵用小麦「さぬきの夢2009」の生育・収量と土壤理化学性との関係, 香川県農業試験場研究報告, 70, 9-17.
  - 14) 香川県 (2022): 土づくりの手引き2022改訂版, 59pp.

# 瀬戸内地域での茎枯病抵抗性アスパラガス「あすたまJ」の 生育・収量特性

村上 裕一<sup>a)</sup>・中村 智哉<sup>a)</sup>・池内 隆夫<sup>a)</sup>

キーワード：アスパラガス, 露地, 茎枯病

## Growth and yield characteristics of stem blight resistant asparagus 'Asutama J' in the Setouchi region

Yuichi MURAKAMI<sup>a)</sup>, Tomoya NAKAMURA<sup>a)</sup>, Takao IKEUCHI<sup>a)</sup>

Key words: *Asparagus officinalis* L., open field, stem blight

### Abstract

We investigated the growth and yield characteristics of the new asparagus cultivar 'Asutama J' in the Setouchi region. An outdoor field that has not been treated with fungicide at the Kagawa Prefecture Agricultural Experimental Station was used and 'Welcome' was used as a reference cultivar for comparison.

1. Compared to 'Welcome', 'Asutama J' showed greater stem survival and lower incidence of stem blight during the growing period. In addition, there was no plant loss due to stem blight, indicating that 'Asutama J' is resistant to the disease.
2. Three-year-old and older 'Asutama J' plants exhibited vigorous growth, with the maximum stem diameter at the end of harvest being 6 to 7 mm, which was thicker than the 5 to 6 mm for 'Welcome'. 'Asutama J' yield increased with plant age, with the that of 4-year-old plants reaching 470 kg/10 a.

### 摘 要

アスパラガス新品種「あすたまJ」の瀬戸内地域での生育と収量特性を把握するため、香川県農業試験場の殺菌剤無散布の露地圃場において「ウエルカム」を対照として比較検討を行った。

1. 「あすたまJ」は、「ウエルカム」と比較して、生育期間中の生存茎数が多く、茎枯病の発病度が低く推移し、茎枯病による株の欠株は皆無であり、「あすたまJ」は茎枯病に抵抗性を示すことが認められた。

2. 3年生株以降、収穫終了後の最大茎径は、「あすたまJ」は6～7mmと「ウエルカム」の5～6mmに対して太く、生育は旺盛であった。また収量性は、「あすたまJ」では株年生が進むとともに増加し、4年生株の収量は470kg/10aであった。

### 緒 言

香川県において、アスパラガス (*Asparagus officinalis* L.) は、昭和40年代に露地の水田転作作物として導入され、その後、作型の拡大に伴い面積が増大し、ピーク時

a) 野菜・花き研究課

受理日：2024年11月1日

には300haを超えていた。しかし、アスパラガス茎枯病（病原糸状菌：*Phomopsis asparagi*）の発生が多く、現在ではハウス栽培を中心に面積は65ha程度となっている。茎枯病は、アスパラガスに甚大な被害をもたらす深刻な病害であり、これまで、アスパラガス種内には茎枯病に実用的な抵抗性を示す品種や育種素材がなかったことから、抵抗性品種の育成は困難であった。近年、アスパラガスと同属で日本固有種であるハマタマボウキ（*Asparagus kiusianus Makino*）に関する研究が進展し、東北大学がアスパラガスとの交雑が可能なこと（Ito et al<sup>1)</sup>）を、九州大学がハマタマボウキ及びアスパラガスとの種間交雑により茎枯病抵抗性を有すること（Iwato et al<sup>2)</sup>）を明らかにしている。そのような中、東北大学及び九州大学と、農業・食品産業技術総合研究機構（以下、農研機構）、アスパラガスの品種育成の実績を有する香川県の共同で、農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業「日本固有種で実現させる世界初のアスパラガス茎枯病抵抗性系統育成とマーカーの開発」の研究支援を受けて種間交雑による抵抗性品種育成の取組みが開始された。そして、公設試験研究機関や民間企業も加わる形で引き続き、イノベーション創出強化研究推進事業（JPJ007097）「世界初のアスパラガス茎枯病抵抗性品種育成と世界標準品種化への育種技術開発」の研究支援を受けて有望系統の特性評価等を行い、茎枯病に対して抵抗性を有するアスパラガス品種「あすたまJ」を育成し、2023年7月19日に品種登録の出願が公表された。

本報では、育成された新品種「あすたまJ」について、瀬戸内地域の香川県農業試験場での生育や収量特性等を調査したので報告する。

## 材料および方法

香川県農業試験場（香川県綾歌郡綾川町）の露地圃場（水田転換畑、茎枯病発生圃場）に2019年5月20日に「あすたまJ」、「ウェルカム」を株間30cm、畝間180cmで定植した。調査株数は、1区8株、3反復とし、定植2年目以降、「あすたまJ」は株の生育量が大きくなったタイミングでその年の調査を1区4株、3反復とした。定植前に化成肥料を用いて、 $N : P_2O_5 : K_2O = 20.0 : 16.0 : 12.0$ kg/10aの量を施用混和し、追肥として、2年目以降は、各年5月に緩効性肥料、 $N : P_2O_5 : K_2O = 10.0 : 5.0 : 5.0$ kg/10aの量を畝表面散布で施用した。栽培管理は、定植以降、殺菌剤を散布せず、殺虫剤は2019年に3回散布し、2020年以降は無防除とした。2019年の定植以降、生存茎数、最大茎径、茎枯病発病度を4年生株（2022

年）まで調査した。

生存茎数は、径1mm以上の側枝が伸長している生存茎を調査対象とした。また、調査対象の茎が生育している株を生存株として、集計した。最大茎径は、側枝が伸張している茎のうち、最も太い茎の地際から2～3cmの長径を調査した。

茎枯発病度は、1反復8株のうち中央の4株を調査対象とし、中央の4株に欠株が生じた調査区は、隣接した株を調査した。病斑上の柄子殻（小黑点）のあるものを茎枯病斑とし、病斑が認められた初発後、1か月に1回程度調査した。茎枯病の発病指数は、0～4とした（0：発病なし、1：茎の一部に病斑が認められる、2：茎の数か所に病斑が発生する、3：茎の複数の病斑が拡大・融合する、4：茎全体に病斑が拡大し、茎が黄化、枯死する。）。発病度は、次の式で求めた（発病度 =  $\sum$ （程度別発病茎数 × 発病指数） × 100 / （調査茎数 × 4））。

収量調査は、定植3年目（3年生株、2021年）から行い、長さ25cmに調整した若茎を対象に4年生株（2022年）まで2か年調査した。

## 結果および考察

供試材料の生存茎数を図-1に示した。定植年（2019年）の7月中旬までは「あすたまJ」と「ウェルカム」は、同様に増加した。2年生株（2020年）以降は、「あすたまJ」が「ウェルカム」に比べ明らかに多くなった。「あすたまJ」の生存茎数は、いずれの年次でも6～9月まで増加または維持傾向であるものの10月以降は減少に転じたことから、この時期に萌芽本数と枯死本数の増加速度が入れ替わったことが推察された。生存株数は、「あすたまJ」では調査期間を通じて生存株数に変化がなかったのに対し、「ウェルカム」では、年次経過に伴い生存株数が減少する傾向であった（図-2）。

供試材料の茎枯病発病度を図-3に示した。「あすたまJ」は、「ウェルカム」よりも低く推移し、茎枯病による株の欠株は皆無であったことから、「あすたまJ」は茎枯病に抵抗性を有することが示唆された。本試験の生育の様相は、図-4、図-5のとおりである。両供試材料は、6、7月の梅雨時期の降雨量の増加に伴い発病度が増加したと考えられた（図-3、図-6）。

供試材料の最大茎径を図-7に示した。定植年は、「ウェルカム」は8mmと「あすたまJ」の4mmより太かった。2年生株は、6月までは、「あすたまJ」は、7mmと「ウェルカム」の6mmより太く、7月以降は「あすたまJ」が「ウェルカム」より細くなった。3年生株

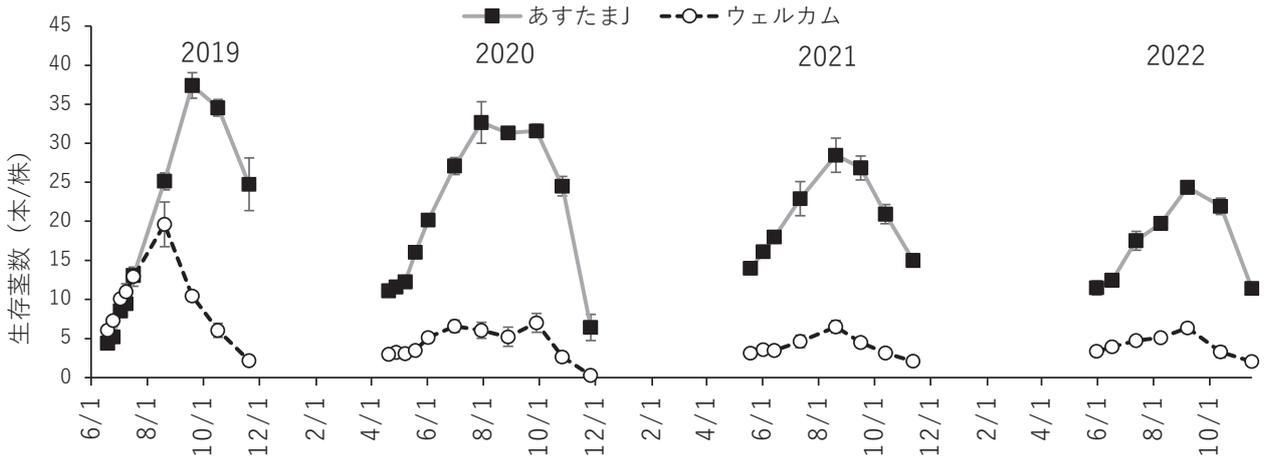


図-1 あすたまJ及びウェルカムの生存茎数の推移  
 バーは、標準誤差、1区8株3反復の平均、  
 あすたまJは、各年次の月日以降は1区4株3反復、2020年7月30日、2021年9月16日、2022年9月7日

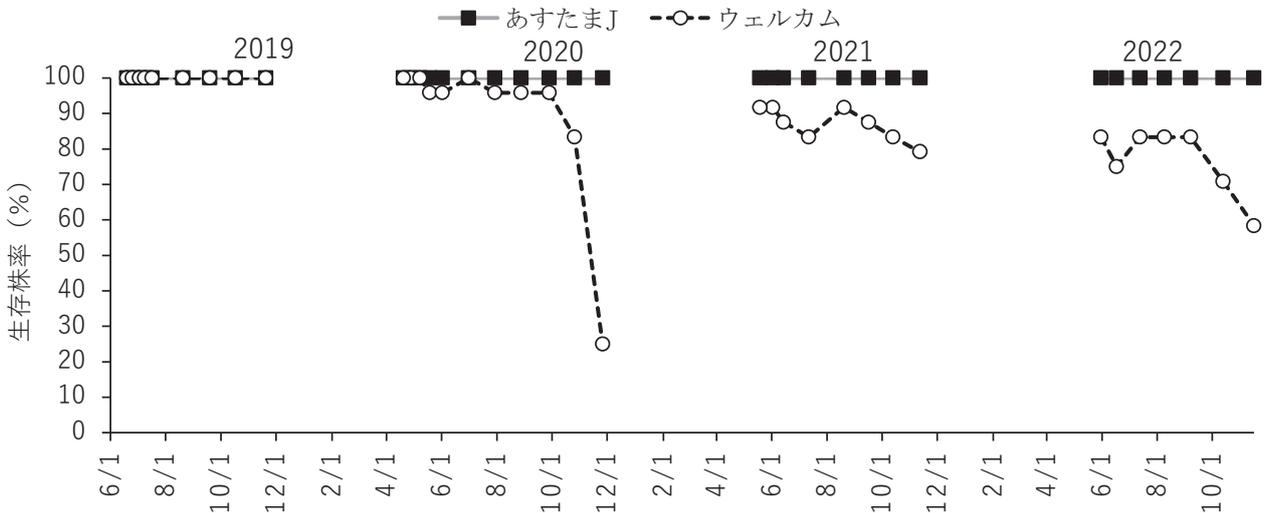


図-2 あすたまJ及びウェルカムの生存株数の割合の推移 (2019~2022年)  
 生存株は、上部に生育調査対象の茎が生育している株とした、1区8株3反復  
 あすたまJは、各年次の月日以降は1区4株3反復、2020年7月30日、2021年9月16日、2022年9月7日

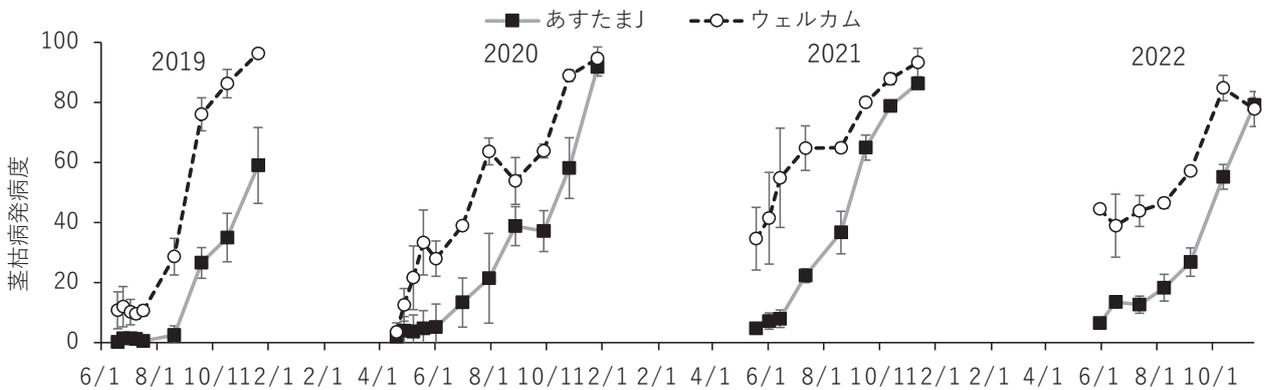


図-3 あすたまJ及びウェルカムの茎枯病発病度の推移 (2019~2022年)  
 バーは、標準偏差、1区8株3反復の平均、  
 あすたまJは、各年次の月日以降は1区4株3反復、2020年7月30日、2021年9月16日、2022年9月7日



図-4 あすたまJの生育



図-5 ウェルカムの生育

※図-4, 5は2022年9月28日撮影(4年生株)

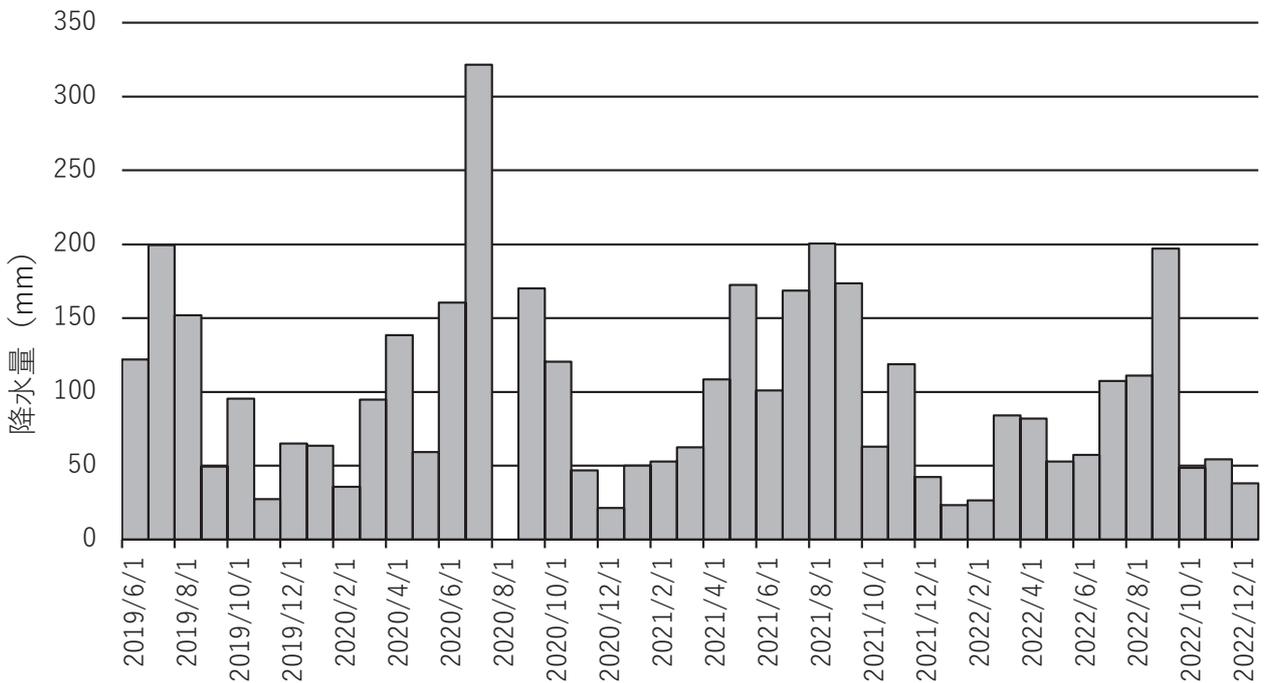


図-6 月別降水量の合計(香川県滝宮アメダス)

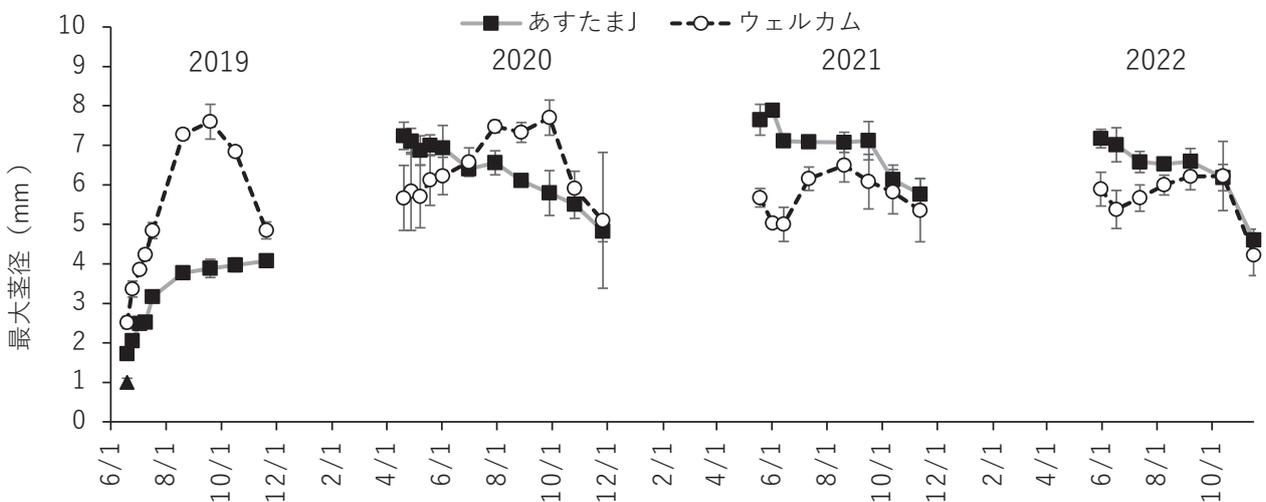


図-7 あすたまJ及びウェルカムの最大茎径の推移(2019~2022年)

バーは、標準誤差、1区8株3反復の平均

あすたまJは、各年次の月日以降は1区4株3反復、2020年7月30日、2021年9月16日、2022年9月7日

表-1 あすたまJの収量調査結果

株年生 (調査年)	品種	可販若茎				穂先締 まり	可販率 (%)
		一茎重 (g)	収穫本数 (本/株)	収量			
				(g/株)	(kg/10a)		
3年生株 (2021年)	あすたまJ ウエルカム	7.6 -	22.1 -	168.5 -	312.0 -	3.5 -	88.9 -
4年生株 (2022年)	あすたまJ ウエルカム	7.5 -	33.7 -	253.9 -	470.1 -	3.7 -	90.9 -

1区8株3反復の平均値

ウエルカムは、収穫データ無し

収穫期間は、3年生株は、3/22～4/21(31日)、4年生株は、4/2～5/13(42日)

可販若茎：5g以上の若茎のうち、穂先開き、穂先曲がり、茎曲がり等の外品を除いたもの  
穂先締まりは、5(良)～1(不良)の5段階で評価

可販率(%)=(5g以上の可販若茎収量)/(5g以上の若茎の総収量)×100

以降は、「あすたまJ」が、6～7mmであり、「ウエルカム」の5～6mmより太かった。「あすたまJ」の最大茎径が太くなった要因は、病気の発病度の進展が遅く、生存茎数が多く推移したことが影響していると考えられた。また、9月以降、茎枯病の進展とともに両供試材料の最大茎径は減少し、その差は小さくなった。

供試材料の収量性を表-1に示した。「あすたまJ」は、株年生に伴い増加し、4年生株では470kg/10aであった。「ウエルカム」は、収穫調査が出来なかった。これは、茎枯病の発病度が高く、生存茎数が少なくなり、株が衰弱していたことが原因であると考えられる。また、本試験と同年に、茎枯病のため通常は営利的な露地栽培が困難な暖地に位置すると考えられる農研機構九州沖縄農業研究センター(福岡県久留米市)において、殺菌剤無散布の露地条件下で栽培した「あすたまJ」の収穫調査の報告では、収量が年々上昇する傾向が確認されており(渡辺<sup>3)</sup>)、本試験の「あすたまJ」の収量性調査と同様な結果であった。

以上のことから、瀬戸内地域の香川県において、殺菌剤無散布の露地圃場で栽培した「あすたまJ」は、茎枯病の欠株が皆無であり、安定した収量が見込めることから、露地での経済栽培が可能であると考えられた。

## 謝 辞

本研究を行うにあたり、農研機構九州沖縄農業研究センター渡辺慎一様には多大なるご協力をいただきました。深く御礼申し上げます。

## 引用文献

- 1) Ito, T. et al. (2011): Production and characterization of interspecific hybrids between *Asparagus kiusianus* Makino and *A.officinalis* L.. *Euphytica*, 182 : 285～294.
- 2) Iwato, M. et al. (2014): Stem blight resistance of *Asparagus kiusianus* and its hybrid with *A.officinalis*. *Advances in Horticultural Science*, 28, : 202～207.
- 3) 渡辺慎一(2024): 茎枯病抵抗性のアスパラガス新品種「あすたまJ」を育成-茎枯病発生圃場でも高い収量が見込める革新的な抵抗性品種- *Bio九州*, 239 : 18～23

# 香川県におけるキウイフルーツかいよう病biovar3 (Psa3) の 発生推移と品種, 防除との関係

生咲 巖<sup>a)</sup>・遠藤 温子<sup>b)</sup>・藤村 俊夫<sup>b)</sup>・氏家 章雄<sup>b)</sup>

キーワード: キウイフルーツ, かいよう病, Psa3, 品種, 殺菌剤

Relationship between the occurrences of bacterial canker of kiwifruit caused by *Pseudomonas syringae* pv. *actinidiae* biovar3 (Psa3) in Kagawa, cultivars, pest control.

Gan KISAKI<sup>a)</sup>, Atsuko ENDO<sup>b)</sup>, Toshio FUJIMURA<sup>b)</sup> and Akio UJIKE<sup>b)</sup>

Keywords: kiwifruit, bacterial canker, Psa3, varieties, bactericide

## Abstract

We investigated the relationship between the trends-over-time in the occurrence of bacterial canker of kiwifruit caused by biovar 3 among different kiwi cultivars in Kagawa Prefecture and protection against the disease.

1. Since first being detected in Kagawa Prefecture in 2015 up to 2018, biovar 3 has been observed in 20 out of approximately 350 orchards in the prefecture. However, the number of affected fields has decreased year by year, with only two fields being affected in 2019, indicating that progress is being made toward containment.
2. In fields where outbreaks have occurred, symptoms that directly result in reduced yield (flower bud rot, bud withering, oozing, and new shoot dieback) were frequently observed in *Actinidia chinensis* cultivars such as 'Rainbow Red' and 'Sanuki Angel Sweet.' However, tetraploid *A. chinensis* cultivars such as 'Sanuki Angel Sweet' could continue to be cultivated without pruning down to the rootstock by implementing protective measures such as treatment with a bactericide. In hexaploid *A. deliciosa* cultivars such as 'Kōryoku' and hybrid cultivars such as 'Kagawa UP-Ki 1' (*A. rufa* × *A. chinensis*), symptoms were limited to minor leaf lesions.
3. In the infected fields, effective protection was achieved, depending on disease status, by pruning or removing infected trees or by applying wettable inorganic copper compounds once or twice in winter or streptomycin wettable powder, kasugamycin liquid formulation, or wettable inorganic copper one to five times in winter according to guidelines in the *Kiwi Fruit Canker Disease Psa3 Control Manual* (Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries) and the *Control Manual for New Strain (Psa3) of Kiwi Fruit Canker Disease in Kagawa Prefecture*. In some resistant cultivars, disease was no longer observed in subsequent years.

---

a) 府中果樹研究所 b) 病害虫防除所

受理日: 2024年11月1日

## 摘要

香川県におけるキウイフルーツかいよう病biovar3の品種別の発生推移と防除状況を調査し、それらの関係について検討した。

1. 香川県においてbiovar3の発生は、2015年に初発を認め、2018年までに県内約350圃場の栽培圃場中20圃場で発生が確認されたものの、年々発生確認圃場数は減少し、2019年では2圃場に止まり、終息傾向が認められた。
2. 発生圃場における品種別の発生状況では、直接減収につながるような症状（花蕾腐敗、芽枯れ、樹液漏出、新梢枯死）は、「レインボーレッド」や「さぬきエンジェルスイート」などの*Actinidia chinensis*種で多く確認されたが、「さぬきエンジェルスイート」などの4倍体*Actinidia chinensis*種は薬剤散布等の防除対策を行うことによって、台木部分までの伐採をすることなく栽培を継続できている。「香緑」などの6倍体*Actinidia delisiosa*種や「香川UP-キ1号」などの*Actinidia rufa*×*Actinidia chinensis*種では軽微な発生である葉の症状に止まった。
3. 発生圃場においては、発病状況に応じた感染樹の切除・伐採や農林水産省が示した「キウイフルーツかいよう病のPsa3系統の防除マニュアル」および「香川県キウイフルーツかいよう病の新系統（Psa3）対応マニュアル」に即して、冬期に無機銅水和剤を1～2回程度、開花期以降にストレプトマイシン水和剤、カスガマイシン液剤および無機銅水和剤を1～5回程度散布することによって実用的な防除効果が得られ、抵抗性を有する栽培品種によっては次年度以降の発病が認められなくなった。

## 緒言

キウイフルーツかいよう病（以下、Psa）は、1984年に日本で初めて報告された細菌性の病害で（Serizawa et al.<sup>28）, Takikawa et al.<sup>34）</sup>、ニュージーランド、イタリア、スペイン、チリ、中国などの国で発生が確認されているキウイフルーツの重要病害である（Balestra et al.<sup>2）, Cameron and Sarojini<sup>3）</sup>、Chapman et al.<sup>4）</sup>、農林水産省<sup>20）</sup>、Scortichini et al.<sup>27）</sup>、Vanneste<sup>35）</sup>、Vanneste et al.<sup>36）</sup>）。Psaの病原菌は*Pseudomonas syringae* pv. *actinidiae*で、病原性の異なる5系統（biovar1, 2, 3, 5, 6）が存在している（Chapman et al.<sup>4）</sup>、澤田ほか<sup>24）</sup>、澤田ほか<sup>26）</sup>）。</sup></sup>

香川県では1980年代より、全国に先駆けてキウイフルーツの育種に取り組み、これまでに「香緑」（Suezawa et al.<sup>31））、「讃緑」（片桐・末澤<sup>12））、「香粹」（片桐・末澤<sup>12））、「さぬきゴールド」（福田ほか<sup>5）</sup>、Fukuda et al.<sup>6））、「さぬきエンジェルスイート」（福田ほか<sup>7））、「さぬき花粉力」（福田ほか<sup>8））、「香川UP-キ1～5号（さぬきキウイっこ<sup>®</sup>）」（山下ほか<sup>37））等のバラエティ豊かなオリジナル品種を育成しており、香川県の果樹生産においてキウイフルーツは作付面積が増加傾向にある重要な品目の一つとなっている（香川県<sup>9））。</sup></sup></sup></sup></sup></sup></sup></sup>

そのような中、Psaは香川県でも発生が確認されており、1990年7月にbiovar1（以下、Psa1）が発生し（香川県病害虫防除所<sup>10）</sup>）、その後一旦終息していたが1995年に再びPsa1の発生が確認された。さらに2015年4月にbiovar3（以下、Psa3）の発生が確認され（香川県農業試験場病害虫防除所<sup>11）</sup>）、樹の伐採を余儀なくされた圃場もあった。

Psa3の発生をうけて、本病に対する品種の抵抗性について検討を行った結果、Psa3に対しては品種により抵抗性に差が見られ、2倍体の*Actinidia chinensis*種（以下、*A. chinensis*種）は本病に弱く、一度発病してしまうと重症化し適切な防除を行っても栽培を維持することができず十分な収量が見込めない。一方、6倍体*Actinidia delisiosa*種（以下、*A. delisiosa*種）、4倍体*A. chinensis*種、6倍体*A. delisiosa*種と4倍体*A. chinensis*種の交配種、*Actinidia rufa*種（以下、*A. rufa*種）およびその交配種は本病への抵抗性が比較的強く、薬剤散布などの適切な防除がされていれば重症化せずに収量を確保できるとされており、本県育成の「香緑」は6倍体*A. delisiosa*種、「さぬきゴールド」、「さぬきエンジェルスイート」は4倍体*A. chinensis*種、「讃緑」は6倍体*A. delisiosa*種と4倍体*A. chinensis*種の交配種、「香粹」、「香川UP-キ1～5号（さぬきキウイっこ<sup>®</sup>）」は*A. rufa*種の交配種であり、一定の抵抗性を有している。（Kisaki et al.<sup>16）</sup>、Kisaki et al.<sup>17）</sup>、生咲<sup>18）</sup>）。

本調査では、香川県でのPsa3の発生推移と発生圃場における栽培品種と防除状況を把握し、発生推移に与えた影響について知見が得られたので報告する。

## 材料および方法

### 1. 香川県内の営利栽培圃場におけるPsa3発生状況調査

2015年5月～2019年10月に、香川県内で営利栽培されているキウイフルーツ圃場において、Psaと思われる症状（葉の斑点症状、花蕾腐敗、芽枯れ、新梢の萎凋・枯

死、樹液の漏出)について目視にて確認し、疑わしい症状については、サンプルを持ち帰り、2015年～2017年および2019年はすべてPCR法、2018年は表-1に示す圃場番号4, 13, 14, 16, 18, 20をLAMP法 (Suzaki et al.<sup>32)</sup>、それ以外の圃場はPCR法によってPsa3であることを確認した。なお、PCR法のPCR反応にはAmpliTaq Gold 360 Master Mix (Applied Biosystems) を使用し、病斑を打ち抜いたリーフディスクの水浸漬によって抽出した細菌懸濁液1 $\mu$ Lを鋳型として用い、全反応液量を10 $\mu$ Lとした。プライマーセットはPO (hopA) -F1/P3 (hopA) -R2 (清水ほか<sup>29)</sup>) (以下、hopAプライマー) を用いた。PCR条件は、hopAプライマーは 95 $^{\circ}$ C・10分、(95 $^{\circ}$ C・30秒、60 $^{\circ}$ C・30秒、72 $^{\circ}$ C・45秒) を35回繰り返し、72 $^{\circ}$ C・7分とした。LAMP法は、LAMP反応液25 $\mu$ L (Bst DNA polymerase, reaction buffer, dNTP (ニッポンジーン) およびプライマー) に硫酸マグネシウム (MgSO<sub>4</sub>) とHydroxy Naphthol Blue (HNB) をそれぞれ4mMと0.12mMになるように添加し、反応チューブに分注した後、病斑を打ち抜いたリーフディスクの水浸漬によって抽出した細菌懸濁液1 $\mu$ L加え、63 $^{\circ}$ Cのヒートブロック上で45分間反応させた。プライマーセットはLAMP-Z5 (Suzaki et al.<sup>32)</sup>) を用いた。

2015年と2016年はそれぞれ348カ所と345カ所の圃場、2017年、2018年および2019年は既発生圃場とその周辺圃場および「レインボーレッド」等のPsa3に弱いとされる品種の栽培園を中心にそれぞれ92カ所、94カ所および89カ所の圃場について、圃場面積、栽植品種、Psa3発生時の対応状況、伐採を行った後の対応状況、Psa3初発時の症状および花粉の使用状況の聞き取りを行った。

## 2. Psa3の防除対策を行った濃密調査圃場における品種別の発病推移調査

Psa3発生圃場のうち、表-1に示す圃場番号2, 3, 4の3圃場を選定し、圃場2は「香緑」, 「さぬきゴールド」, 圃場3は「レインボーレッド」, 「香緑」, 「さぬきゴールド」, 圃場4は「さぬきエンジェルスイート」を調査した。なお、圃場3の「レインボーレッド」は2016年の収穫終了後にすべて伐採された。

調査は2015～2018年の4月～10月 (2015年は6月から) に月1回行い、各品種2～6樹について目視にて1樹あたり20新梢、1新梢あたり10葉の割合で発病の有無を確認し、適宜、斑点症状のある葉を持ち帰り、PCR法によってPsa3であることを確認し発病率を算出した。また、各圃場のPsa3を対象とした薬剤散布の状況の聞き取りを行った。

表-1 Psa3発生圃場の概要

地区名	圃場番号	生産者	圃場面積 (a)
東讃	1	A	45
	2	B	6
	3	C	45
	4	D	8
	5		7
	6	E	15
小豆	7	F	7
	8	G	72
中讃	9	H	30
	10		10
	11		54
	12	I	30
	13		18
	14		30
	15		32
	16	J	7
	17	K	50
	18	L	45
	19	M	10
西讃	20	N	18
合計	20圃場	14名	539

## 結果

### 1. 香川県内の営利栽培圃場におけるPsa3発生状況調査

香川県内のPsa3の発生は、2015～2019年の5年間に14名の栽培者の合計20圃場の539aで確認された (表-1)。発生圃場数は2016年が最大で15圃場となり、2017年以降は再発および新規発生があるものの年々発生圃場数は減少し、2019年は再発圃場が2圃場のみとなった (表-2)。

表-2 Psa3発生圃場の推移

	調査圃場数	新規発生圃場数	再発生圃場数	発生圃場数合計
2015年	348	9	—	9
2016年	345	7	8	15
2017年	92	2	9	11
2018年	94	2	7	9
2019年	89	0	2	2

香川県内で栽培されており、発病が確認された品種の種名と倍数性、並びにPsa3に対する抵抗性程度を表-

表-3 香川県内のPsa3発生圃場で発病が確認された栽培品種の概要

品種	種	倍数性	Psa3抵抗性程度
香緑	<i>Actinidia deliciosa</i>	6倍体	中
ハイワード	<i>Actinidia deliciosa</i>	6倍体	中
レインボーレッド	<i>Actinidia chinensis</i>	2倍体	弱い
さぬきゴールド	<i>Actinidia chinensis</i>	4倍体	中
さぬきエンジェルスイート	<i>Actinidia chinensis</i>	4倍体	中
讃緑	<i>Actinidia deliciosa</i> × <i>Actinidia chinensis</i>	4倍体	中
香川UP-キ1号	<i>Actinidia rufa</i> × <i>Actinidia chinensis</i>	2倍体	強い
香川UP-キ2号	<i>Actinidia rufa</i> × <i>Actinidia chinensis</i>	2倍体	中
香川UP-キ3号	<i>Actinidia rufa</i> × <i>Actinidia chinensis</i>	2倍体	強い
香川UP-キ4号	<i>Actinidia rufa</i> × <i>Actinidia chinensis</i>	2倍体	強い
香川UP-キ5号	<i>Actinidia rufa</i> × <i>Actinidia chinensis</i>	2倍体	中
雄品種1 (品種名不明)	-	-	-
雄品種2 (品種名不明)	-	-	-
雄品種3 (品種名不明)	-	-	-
雄品種4 (品種名不明)	-	-	-

3に示した。また、抵抗性程度が強い(生咲<sup>18</sup>)「香粹(*A. rufa*×*A. chinensis*)」では発生が認められなかった。

Psa3の発生により圃場内の全ての樹で台木部分までの伐採を余儀なくされた品種は「レインボーレッド」が8圃場、「さぬきエンジェルスイート」が3圃場、雄品種(品種名不明)が3圃場であった。なお、圃場番号9の「讃緑」と「さぬきエンジェルスイート」は生産者の判断により全伐採をおこなったものである。また、圃場4や18の「さぬきエンジェルスイート」のように毎年発病していても薬剤散布等の防除対策を行うことによって、台木部分まで伐採することなく栽培を継続できている事例も見られた。Psa3発生時の対応は、Psa3の発生が拡大している2015年と2016年は主幹部からの樹液の漏出や枝枯れの多発により「台木部分まで伐採」といった減収につながるような対応をしなければならなかった品種が複数あったが、防除対策が行われるようになって、Psa3が減少し始めた2017年からは抵抗性が弱である「レインボーレッド」と「雄品種」以外は、葉の斑点症状のみや一部の枝枯れのみ発生の場合に行われる「発病部位の部分切除」や「抗生物質剤の散布」といった軽度の防除対応が行われた(表-4)。なお、雄品種は花粉が汚染されている恐れがあり、汚染された花粉によりPsa3が拡大する恐れがあるために伐採された。

Psa3の初発は様々な品種で葉の斑点症状で確認されることが多かった。その他の症状は、樹液漏出が9例、花蕾腐敗が6例、新梢枯死が3例、芽枯れが2例であり、「レインボーレッド」、「さぬきゴールド」および「さぬきエンジェルスイート」などの抵抗性程度が弱~中で

ある*A. chinensis*種で見られることが多かった。また、葉の斑点症状は4~7月と長い期間で確認されたが、花蕾腐敗、芽枯れ、新梢枯死および樹液漏出は4~5月のみで確認された(表-5)。

Psa3の発生により伐採を余儀なくされた圃場では、Psa3に対する抵抗性が中または強い「さぬきゴールド」、「香緑」および「香川UPキ-3号」へ改植した圃場が7圃場、改植せずに伐採されたままが6圃場であった。(表-6)

## 2. Psa3の防除対策を行った濃密調査圃場における品種別の発病推移調査

調査した3圃場におけるPsa3に対する薬剤散布は、3圃場とも2015年の発生確認後はストレプトマイシン水和剤を散布し、2015~2016年の冬期に無機銅水和剤を3回散布した。2016年以降は、「キウイフルーツかいよう病のPsa3系統の防除マニュアル」(農林水産省<sup>22</sup>)および「香川県キウイフルーツかいよう病の新系統(Psa3)対応マニュアル」に即して、冬期に無機銅水和剤を1~2回程度、開花期以降にストレプトマイシン水和剤、カスガマイシン液剤および無機銅水和剤を1~5回程度散布した(図-1, 2, 3)。

圃場2は、2015年6月に「香緑」、「さぬきゴールド」で発病が認められ、2品種とも7月に発病葉率は低下して8月には発病が認められなくなった。2016年以降、両品種とも発病は認められなかった(図-1)。

圃場3は、2015年6月に「香緑」、「さぬきゴールド」、「レインボーレッド」で発病が認められた。3品種とも

表－４ Psa3発生圃場における年次別の発生の有無と発生時における対応状況

圃場 番号	栽培品種	2015年				2016年				2017年				2018年				2019年								
		発生の 有無 <sup>a)</sup>	対応 <sup>b)</sup>				発生の 有無	対応				発生の 有無	対応				発生の 有無	対応								
			1	2	3	4		1	2	3	4		1	2	3	4		1	2	3	4					
1	香緑	有	.	.	○	○	有	.	.	○	○	×	.	.	.	○	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.
	レインボーレッド	有	○	.	.	.	有	.	.	.	.	有	.	.	.	.	有	.	.	.	.	有	.	.	.	.
	さぬきゴールド	有	.	.	○	○	有	.	.	○	○	×	.	.	○	○	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.
	香粋	×	.	.	.	○	×	.	.	○	○	×	.	.	.	○	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.
	香川UP-キ1号	有	.	.	○	○	×	.	.	.	○	×	.	.	.	○	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.
	香川UP-キ2号	有	.	.	○	○	×	.	.	.	○	×	.	.	.	○	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.
	香川UP-キ3号	有	.	.	○	○	×	.	.	.	○	×	.	.	.	○	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.
	香川UP-キ4号	有	.	.	○	○	×	.	.	.	○	×	.	.	.	○	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.
香川UP-キ5号	有	.	.	○	○	有	.	.	○	○	×	.	.	.	○	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.	
2	香緑	有	.	.	○	○	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.
	さぬきゴールド	有	.	.	○	○	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.
	香緑	有	.	.	○	○	有	.	.	○	○	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.
	レインボーレッド	有	.	○	.	○	有	.	.	○	○	有	.	.	.	.	有	.	.	.	.	有	.	.	.	.
	さぬきゴールド	有	.	.	○	○	有	.	.	○	○	有	.	.	.	.	有	.	.	.	.	有	.	.	.	.
	香粋	×	.	.	.	○	×	.	.	○	○	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.
	香川UP-キ1号	有	.	.	○	○	×	.	.	.	○	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.
	香川UP-キ2号	有	.	.	○	○	×	.	.	.	○	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.
香川UP-キ3号	有	.	.	○	○	×	.	.	.	○	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.	
香川UP-キ4号	有	.	.	○	○	×	.	.	.	○	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.	
香川UP-キ5号	有	.	.	○	○	×	.	.	.	○	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.	
4	香緑	×	.	.	.	○	有	.	.	○	○	有	.	.	.	○	有	.	.	.	○	有	.	.	.	○
	さぬきエンジェルスイート	×	.	.	○	○	有	.	.	○	○	有	.	.	.	○	有	.	.	.	○	有	.	.	.	○
	香緑	×	.	.	.	.	有	.	.	○	○	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.
7	香緑	×	.	.	.	.	有	.	.	○	○	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.
	さぬきゴールド	×	.	.	○	○	有	.	.	○	○	×	.	.	.	○	有	.	.	○	○	×	.	.	.	.
	さぬきエンジェルスイート	有	○	.	.	.	有	.	.	.	.	有	.	.	.	.	有	.	.	.	.	有	.	.	.	.
	雄1 (品種名不明)	有	○	.	.	.	有	.	.	.	.	有	.	.	.	.	有	.	.	.	.	有	.	.	.	.
	雄2 (品種名不明)	有	.	.	○	○	有	.	.	○	○	有	.	.	.	○	有	.	.	.	.	有	.	.	.	.
8	香緑	有	.	.	○	○	有	.	.	○	○	×	.	.	.	○	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.
	レインボーレッド	有	.	○	.	○	有	.	.	○	○	×	.	.	.	○	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.
	さぬきゴールド	有	.	.	○	○	×	.	.	.	○	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.
	香川UP-キ1号	有	.	.	○	○	×	.	.	.	○	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.
	香川UP-キ2号	有	.	.	○	○	×	.	.	.	○	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.
	香川UP-キ3号	有	.	.	○	○	×	.	.	.	○	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.
	香川UP-キ4号	有	.	.	○	○	×	.	.	○	○	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.
	香川UP-キ5号	有	.	.	○	○	×	.	.	.	○	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.
香粋	×	.	.	.	.	×	.	.	.	○	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.	
9	香緑	×	.	.	.	○	有	.	.	○	○	有	.	.	.	○	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.
	讚緑	×	.	.	.	.	有	.	.	.	.	有	.	.	.	.	有	.	.	.	.	有	.	.	.	.
	さぬきエンジェルスイート	×	○	.	.	.	有	.	.	.	.	有	.	.	.	.	有	.	.	.	.	有	.	.	.	.
10	レインボーレッド	有	.	○	.	○	有	.	.	.	.	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.
	香川UP-キ1号	×	.	.	.	○	×	.	.	.	○	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.
	香川UP-キ2号	×	.	.	.	○	×	.	.	.	○	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.
	香川UP-キ3号	×	.	.	.	○	×	.	.	.	○	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.
	香川UP-キ4号	有	.	.	○	○	×	.	.	.	○	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.
	香川UP-キ5号	有	.	.	○	○	×	.	.	.	○	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.
香粋	×	.	.	.	○	×	.	.	.	○	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.	
11	香川UP-キ3号	×	.	.	.	○	有	.	.	○	○	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.
	香川UP-キ5号	×	.	.	.	○	有	.	.	○	○	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.
	雄3 (品種名不明)	有	○	.	.	.	有	.	.	.	.	有	.	.	.	.	有	.	.	.	.	有	.	.	.	.
12	香緑	×	.	.	.	.	有	.	.	○	○	有	.	.	.	○	○	有	.	.	.	○	有	.	.	.
	レインボーレッド	×	.	.	.	.	有	.	.	○	○	有	.	.	.	.	有	.	.	.	.	有	.	.	.	.
	香川UP-キ1号	×	.	.	.	.	有	.	.	○	○	有	.	.	.	.	有	.	.	.	.	有	.	.	.	.
13	香川UP-キ3号	×	.	.	.	.	有	.	.	○	○	有	.	.	.	.	有	.	.	.	.	有	.	.	.	.
	香川UP-キ5号	×	.	.	.	.	有	.	.	○	○	有	.	.	.	.	有	.	.	.	.	有	.	.	.	.
	香川UP-キ5号	×	.	.	.	.	有	.	.	○	○	有	.	.	.	.	有	.	.	.	.	有	.	.	.	.
14	香緑	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.	有	.	.	.	○	×	.	.	.	.
	レインボーレッド	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.	有	.	.	.	○	×	.	.	.	.
	香川UP-キ1号	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.	有	.	.	.	○	×	.	.	.	.
	香川UP-キ3号	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.	有	.	.	.	○	×	.	.	.	.
	香川UP-キ5号	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.	有	.	.	.	○	×	.	.	.	.
香粋	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.	有	.	.	.	○	×	.	.	.	.	
15	香緑	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.	有	.	.	.	○	×	.	.	.	.
	レインボーレッド	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.	有	.	.	.	○	×	.	.	.	.
	讚緑	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.	有	.	.	.	○	×	.	.	.	.
	香川UP-キ1号	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.	有	.	.	.	○	×	.	.	.	.
	香川UP-キ5号	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.	有	.	.	.	○	×	.	.	.	.
17	さぬきゴールド	×	.	.	.	.	有	.	.	○	○	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.
	香緑	×	.	.	.	.	有	.	.	○	○	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.
	レインボーレッド	×	.	.	.	.	有	.	.	○	○	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.
	さぬきゴールド	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.
	讚緑	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.
	香川UP-キ1号	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.
	香川UP-キ2号	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.
	香川UP-キ3号	×	.	.	.	.	×	.	.	○	○	×	.	.	.	.	有	.	.	.	○	×	.	.	.	.
香川UP-キ4号	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.	×	.	.	.	.	×	.	.	.		

表-5 Psa3初発時における発病品種の症状

圃場 番号	初発年	月	発病品種	Psa3の症状				
				葉の 斑点	花蕾 腐敗	芽枯 れ	樹液 漏出	新梢 枯死
1	2015年	4月	香緑	○	-	-	-	-
		4月	レインボーレッド	○	○	-	-	-
		4月	さぬきゴールド	○	-	-	-	-
		4月	香川UP-キ1号	○	-	-	-	-
		4月	香川UP-キ2号	○	-	-	-	-
		4月	香川UP-キ3号	○	-	-	-	-
		4月	香川UP-キ4号	○	-	-	-	-
		4月	香川UP-キ5号	○	-	-	-	-
2	2015年	4月	香緑	○	-	-	-	-
		4月	さぬきゴールド	○	○	-	-	-
3	2015年	5月	香緑	○	-	-	-	-
		5月	レインボーレッド	○	-	-	-	-
		5月	さぬきゴールド	○	-	-	-	-
		5月	香川UP-キ1号	○	-	-	-	-
		5月	香川UP-キ2号	○	-	-	-	-
		5月	香川UP-キ3号	○	-	-	-	-
		5月	香川UP-キ4号	○	-	-	-	-
		5月	香川UP-キ5号	○	-	-	-	-
4	2015年	6月	香緑	○	-	-	-	-
		5月	さぬきエンジェルスイート	○	-	-	○	-
5	2016年	7月	香緑	○	-	-	-	-
6	2016年	4月	香緑	-	-	○	○	-
7	2015年	4月	さぬきゴールド	○	○	-	-	-
		4月	さぬきエンジェルスイート	○	-	-	-	-
		4月	雄1 (品種名不明)	○	○	-	-	-
		4月	雄2 (品種名不明)	○	-	-	○	-
8	2015年	4月	香緑	○	-	-	-	-
		4月	レインボーレッド	○	○	-	○	○
		4月	さぬきゴールド	○	-	-	-	-
		4月	香川UP-キ1号	○	-	-	-	-
		4月	香川UP-キ2号	○	-	-	-	-
		4月	香川UP-キ3号	○	-	-	-	-
		4月	香川UP-キ4号	○	-	-	-	-
		4月	香川UP-キ5号	○	-	-	-	-
9	2015年	4月	讃緑	○	-	-	○	-
		4月	さぬきエンジェルスイート	○	-	-	-	-
10	2015年	4月	レインボーレッド	○	○	-	-	○
		4月	香川UP-キ4号	○	○	-	-	-
		4月	香川UP-キ5号	○	-	-	-	-
11	2015年	5月	雄3 (品種名不明)	○	-	-	-	-
12	2016年	6月	香緑	○	-	-	-	-
		5月	レインボーレッド	○	-	-	-	-
13	2016年	5月	香緑	○	-	-	-	-
		6月	香川UP-キ1号	○	-	-	-	-
14	2018年	4月	香緑	○	-	-	-	-
		4月	レインボーレッド	○	-	-	-	-
		4月	香川UP-キ3号	○	-	-	-	-
15	2018年	4月	レインボーレッド	○	-	-	○	-
16	2016年	4月	さぬきゴールド	○	-	-	○	-
17	2016年	5月	香緑	○	-	-	-	-
		5月	レインボーレッド	○	-	-	○	-
		6月	讃緑	○	-	-	-	-
		6月	香川UP-キ1号	○	-	-	-	-
		5月	香川UP-キ3号	○	-	-	-	-
18	2017年	5月	香緑	○	-	-	-	-
		5月	さぬきエンジェルスイート	○	-	-	-	-
		5月	雄4 (品種名不明)	○	-	-	-	-
19	2017年	6月	香緑	○	-	-	-	-
20	2016年	4月	さぬきエンジェルスイート	○	-	○	○	○

表-6 伐採を行った後の対応状況

圃場番号	伐採した品種	伐採後の対応
1	レインボーレッド	さぬきゴールドに改植
3	レインボーレッド	さぬきゴールドに改植
	さぬきエンジェルスイート	さぬきゴールドに改植
7	雄1 (品種名不明)	改植等なし
	雄2 (品種名不明)	さぬきゴールドに改植
8	レインボーレッド	改植等なし
9	讃緑	香緑に改植
	さぬきエンジェルスイート	香緑に改植
11	雄3 (品種名不明)	改植等なし
12	レインボーレッド	香緑に改植
14	レインボーレッド	改植等なし
15	レインボーレッド	改植等なし
17	レインボーレッド	香川UP-キ3号に改植
18	雄4 (品種名不明)	改植等なし
20	さぬきエンジェルスイート	さぬきゴールドに改植

7月に発病葉率は低下し、8月以降は発病が認められなくなった。2016年は「香緑」と「レインボーレッド」が5月に、「さぬきゴールド」は6月に発病が認められた。その後「レインボーレッド」の発病葉率は7月に前年の発病葉率の最大値より大幅に高くなったが、「香緑」と「さぬきゴールド」は前年の発病葉率の最大値より微増又は同程度であった。その後8月に発病葉率は低下し、「香緑」は9月に、「さぬきゴールド」と「レインボーレッド」は10月に発病が認められなくなった。「レインボーレッド」は樹勢低下によりこれ以上は栽培不可能との判断から収穫終了後に伐採が行われた。2017年は5月に「さぬきゴールド」で発病が認められたが、6月以降は発病が認められなくなった。「香緑」は発病が認められなかった。2018年は「香緑」、「さぬきゴールド」とともに発病は認められなかった(図-2)。いずれの年も3品種とも新梢の枯死や花蕾腐敗等の症状は認められなかった。

圃場4は、2015年5月に「さぬきエンジェルスイート」で発病が認められ、6月以降に発病葉率は減少し、9月には発病が認められなくなった。「香緑」は発病が認められなかった。2016年は5月に「さぬきエンジェルスイート」で、6月に「香緑」で発病が認められた。その後「さぬきエンジェルスイート」は7月に発病葉率は、2015年の最大値より大幅に高くなったが、その後8月以降は減少し、10月に発病が認められなくなった。「香緑」は6月と7月は同程度の発病葉率となり、8月に発病が認められなくなった。2017年は「さぬきエンジェルスイート」で4月に発病が確認され、5月の発病葉率は2016年の最大値とほぼ同等となった。6月以降に発病葉

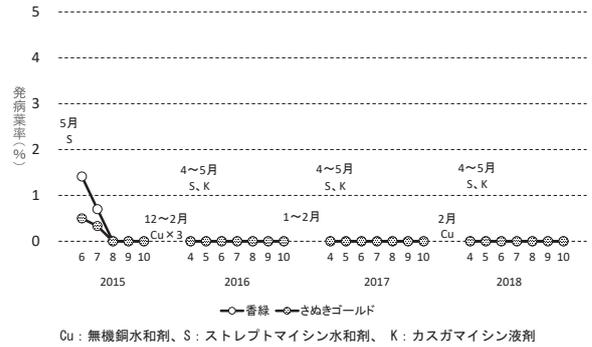


図-1 圃場2におけるPsa3の発病葉率の推移およびPsa3に対する薬剤散布履歴

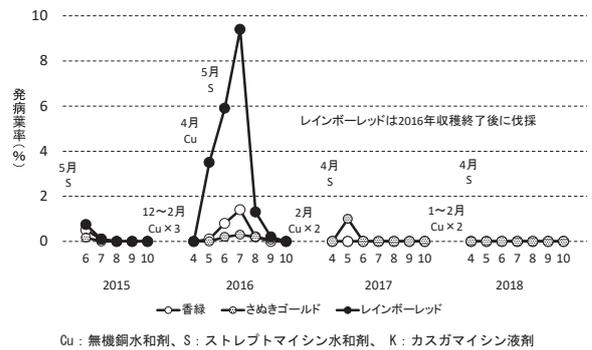


図-2 圃場3におけるPsa3の発病葉率の推移およびPsa3に対する薬剤散布履歴

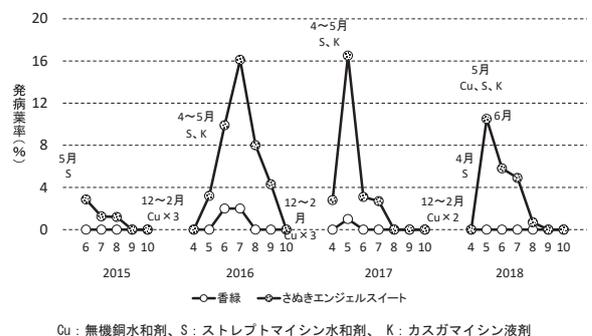


図-3 圃場4におけるPsa3の発病葉率の推移およびPsa3に対する薬剤散布履歴

率は低下し、8月には発病が認められなくなった。「香緑」は5月に発病が認められたが、6月には発病が認められなくなった。2018年は「さぬきエンジェルスイート」で5月に発病が認められたが、発病葉率は2016年と2017年の最大値に比べやや低くなった。6月以降に発病葉率は低下し、9月には発病が認められなくなった(図-3)。「香緑」は3月に枝からの樹液の漏出が確認されたが、展葉後に葉の斑点症状は確認されなかった。なお、圃場4の「さぬきエンジェルスイート」では2016年4月に枝枯れや枝からの樹液の漏出、2017年3月に枝枯れや枝からの樹液の漏出、2018年5月に花蕾腐敗、芽枯れ、新梢枯死が確認された(データ省略)。

## 考 察

香川県内で栽培されているキウイフルーツの品種構成は他県と異なり香川県オリジナル品種の割合が高く（農林水産省<sup>23)</sup>、これらオリジナル品種はPsa3に対して中以上の抵抗性を有している（Kisaki et al.<sup>16)</sup>、Kisaki et al.<sup>17)</sup>、生咲<sup>18)</sup>）が、実際に圃場でPsa3が発生した場合のような被害が出るか不明であった。Psa3初発時は大半の圃場で葉の斑点症状が確認されているのに対して、直接減収につながるような症状（花蕾腐敗、芽枯れ、樹液漏出、新梢枯死）は、Psaに汚染された花粉により被害がさらに拡大する恐れがあるために伐採された「雄品種」を除くと、「レインボーレッド」や「さぬきエンジェルスイート」などの*A. chinensis*種で多く確認され、「香緑」などの*A. delisiosa*種やPsa3抵抗性が中以上である「香川UP-キ1号」などの*Actinidia rufa*×*A. chinensis*種では少なかった。「レインボーレッド」や6倍体*A. delisiosa*種である「香緑」に関しては、静岡県（加藤・景山<sup>13)</sup>）、福岡県（菊原ほか<sup>14)</sup>）、佐賀県（野口ほか<sup>19)</sup>）では「レインボーレッド」、「紅妃」、「Hort16A」などの2倍体*A. chinensis*種はPsa3に対して被害が大きく、「ハイワード」などの6倍体*A. delisiosa*種では比較的被害が少ないという報告と同様であった。4倍体*A. chinensis*種である「さぬきエンジェルスイート」は直接減収につながるような症状が確認されているが、Psa3抵抗性が中であるため薬剤散布などの防除を行うことにより*A. chinensis*種2倍体品種ほどの被害に至っていないと考えられる。「香粋」は他品種でPsa3が発生している中でも発病が認められなかったが、「香川UPキ-1号」などと同じ*A. rufa*×*A. chinensis*種でPsa3に対して抵抗性は強い（生咲<sup>18)</sup>）ことが報告されており、このことが発病していなかった原因と考えられる。

濃密調査圃場における調査では、Psa3の葉の斑点症状は、症状が確認されたのは4～9月であり、特に5～6月頃に発病率が高くなる傾向が見られ、7月は、発病率の高い場合と低い場合が年によって異なっていた。気温が高くなる8～9月はいずれの年も発病率は低下し、発病が見られなくなることもあった。この結果は、愛媛県の2倍体中国系黄色品種について、6月上旬以降は既発病葉での病徴進展および新たな展開葉での発症は認められなかったこと（青野ら<sup>1)</sup>）や、佐賀県においてPsa3の葉での病斑は4～6月に顕著になること（野口ほか<sup>19)</sup>）などの報告と同様な発生状況であるといえる。

また、「レインボーレッド」は台木部分からの伐採を

余儀なくされるほどの発病となったが、「香緑」と「さぬきゴールド」は発病が見られるものの発病率は低く、「さぬきエンジェルスイート」は発病率が高くなったが、3品種とも薬剤散布などの防除を行いながら継続して栽培ができていた。Psa3に対する抵抗性が中以上の「香緑」などの6倍体*A. delisiosa*種や「さぬきゴールド」などの4倍体*A. chinensis*は薬剤散布などの防除を行いながら栽培を継続できていることが分かった。

愛媛県や佐賀県では「冬季の無機銅水和剤および生育期の抗生物質剤や無機銅水和剤の散布」、「発病部位の切除」、「圃場衛生管理などの耕種防除の徹底」などの防除が実施されており、香川県でもPsa3の発生状況は愛媛県や佐賀県と同様な発生状況であることから、圃場2,3,4のように「キウイフルーツかいよう病のPsa3系統の防除マニュアル」（農林水産省<sup>22)</sup>）や「香川県キウイフルーツかいよう病の新系統（Psa3）対応マニュアル」に即した防除を行うことによりPsa3への対応はできるものと考えられる。また、伐採を行った後の対応は伐採したままであるか、抵抗性が中以上の品種への改植がすすめられており、Psa3発生および被害拡大のリスク低減がなされている。

以上のことから、香川県でのPsa3の発生は2015～2019年の5年間で、営利栽培されている約350圃場のうちの20圃場で確認されたが、2017年からは発生圃場数が減少して2019年では2圃場だけになっており、香川県でのPsa3の発生は終息しつつある。これは、Psa3に対して抵抗性を有しているオリジナル品種の栽培面積の割合が高いこと、Psa3に対して弱いとされる「レインボーレッド」などの2倍体*A. chinensis*種の栽培面積の割合が減少したことが、本県でPsa3の発生が終息しつつある理由であると考えられた。

Psa3の発病に与える花粉の影響について、Psa3発生以前の使用花粉は、すべての発生圃場で輸入花粉が使用されており、そのうち圃場番号7、8、9、11、18の5圃場は圃場内に栽植されている雄品種から自家採取した花粉が併用されていた。

Psa3が香川県内で初めて確認された2015年は、西讃地区を除く県内の広範囲でほぼ同時期に散発的に発生が確認された。このことから特定の圃場からの拡大ではなく、共通した資材等から拡大した可能性が高いと考えられる。香川県内のキウイフルーツ栽培の受粉は、大半が輸入花粉に依存しており、2015年にPsa3が発生した圃場では、すべての圃場でPsa3発生以前に輸入花粉による受粉が行われていた。また、香川県内で冷凍保存されていた2014年購入の一部の輸入花粉からPsa3菌が検出

されており（私信）、田淵ほか<sup>33)</sup>は香川県内で分離されたPsa3の菌株とニュージーランドで分離されたPsa3Pac\_ICE1変異型の菌株で比較ゲノム解析を行ったところゲノム配列に大きな差がなかったことを報告している。これらの状況から、篠崎ほか<sup>30)</sup>が指摘しているようにPsa3に汚染された花粉によって香川県内にPsa3が侵入した可能性があると考えられた。

輸入検疫の強化と植物防疫所による国内産キウイフルーツの苗木や花粉の検査の実施（農林水産省<sup>21)</sup>）によりPsaに汚染された花粉が今後流通する可能性はほぼないと考えられる。しかし、栽培者が自家採取して使う花粉については検査が行われてない。菊原<sup>15)</sup>は福岡県内のPsa3汚染圃場で採取した花粉がPsa3に汚染されていたことを報告しており、自家採取花粉についても今後Psaによる汚染のリスクを低減させる消毒技術の開発が必要と考える。

## 謝 辞

本研究を行うにあたり、香川県農業試験場病害虫防除所の前田京子氏、香川県内の各農業改良普及センターおよび香川県農業協同組合の関係者の方々には多大なるご協力を頂いた。ここに記して深く感謝の意を表す。

また、国立大学法人香川大学農学部の秋光和也博士には有意義なご助言をいただいた。ここに記して厚く御礼申し上げる。

本研究の成果の一部は、農林水産省・食品産業科学技術研究推進事業「27008C かいよう病菌Psa3に対して、安心してキウイフルーツ生産を可能とする総合対策技術」（平成27年度～平成29年度）および農研機構生物系特定産業技術研究支援センター「革新的技術開発・緊急展開事業（うち地域戦略プロジェクト）課題番号16822474：野生種遺伝資源を利用したキウイフルーツPsa3系統耐病性付加による競争力強化戦略」（平成28年度～令和元年度）の支援を受けて実施した。

## 引用文献

- 1) 青野光男・清水伸一・三好孝典 (2019): キウイフルーツかいよう病に対する夏季防除の必要性の検討, 日植病報85: 312. (講要)
- 2) Balestra, G.M., Mazzaglia, A., Quattrucci, A., Renzi, M. and Rossetti, A. (2009): Current status of bacterial canker spread on kiwifruit in Italy. Australas. Plant Pathol.4: 34-36.

- 3) Cameron A and Sarojini V (2014): *Pseudomonas syringae* pv. *actinidiae* chemical control, resistance mechanisms and possible alternatives. Plant Pathol 63: 1-11.
- 4) Chapman J R, R K Taylor, B S Weir, M K Romberg, J L Vanneste, J Luck, B J Alexander (2012): Phylogenetic relationships among global populations of *Pseudomonas syringae* pv. *actinidiae*. Phytopathology. 102: 1034-1044.
- 5) 福田哲生・片桐孝樹・末澤克彦 (2006): キウイフルーツ新品種「さぬきゴールド」の育成, 香川農試研報58: 45-50.
- 6) Fukuda T, Suezawa K, Katagiri T (2007): New kiwifruit cultivar 'Sanuki Gold'. Acta Hortic 753: 243-246.
- 7) 福田哲生・片桐孝樹・末澤克彦 (2016): キウイフルーツ新品種「さぬきエンジェルスイート」の育成, 香川農試研報66: 37-43.
- 8) 福田哲生・水谷亮介・濱野康平・坂下 亨・山下泰生・大谷 衛・片桐孝樹・末澤克彦 (2020): キウイフルーツ雄品種「さぬき花粉力」の育成と交配特性, 香川農試研報71: 11-20.
- 9) 香川県 (2021): 香川県農業農村基本計画: 49, [https://www.pref.kagawa.lg.jp/documents/12174/kihonkeikaku\\_all.pdf](https://www.pref.kagawa.lg.jp/documents/12174/kihonkeikaku_all.pdf)
- 10) 香川県病害虫防除所 (1990): 平成2年度病害虫発生予察特殊報第2号.
- 11) 香川県農業試験場病害虫防除所 (2015): 平成27年度病害虫発生予察特殊報第1号.
- 12) 片桐孝樹・末澤克彦 (1997): マタタビ属植物の種間交雑における新系統KC-183及びAM-203の特性, 香川農試研報49: 43-54.
- 13) 加藤光弘・景山智津子 (2018): キウイフルーツかいよう病Psa3発生圃地における発生推移と収量への影響, 日植病報84: 255. (講要)
- 14) 菊原賢次・成山秀樹・石井貴明 (2017): 福岡県における2016年のキウイフルーツかいよう病biovar3 (Psa3) の発生状況, 日植病報83: 236-237. (講要)
- 15) 菊原賢次 (2019): キウイフルーツかいよう病菌 (*Pseudomonas syringae* pv. *Actinidiae* (Psa)) に汚染された花粉からのPsaの検出方法の開発および福岡県内で採取された花粉の汚染状況調査, 福岡県農林業総合試験場研究報告5: 5-10.
- 16) Kisaki G, Tanaka S, Ishihara A, Igarashi C, Hamano K, Endo A, Sugita-Konishi S, Tabuchi M,

- Gomi K, Kataoka I and Akimitsu K. (2018): Evaluation of Resistance to *Pseudomonas syringae* pv. *actinidiae* Causing Kiwifruit Bacterial Canker for Kiwifruit Cultivars and Genetic Sources for Breeding. J. Gen. Plant Pathol. 84 : 399-406.
- 17) Kisaki G, Shimagami T, Matsudaira K, Tsugi Y, Moriguchi K, Nakashima K, Morimoto T, Sugita-Konishi S, Tabuchi M, Gomi K, Ichimura K, Hamano K, Suezawa K, Otani M, Fukuda T, Manabe T, Kataoka I, and Akimitsu K. (2019): A kiwifruit cultivar crossbred with *Actinidia chinensis* and *Actinidia rufa* has practical tolerance to *Pseudomonas syringae* pv. *actinidiae* biovar3. J Plant Pathol. 101 : 1211-1214.
- 18) 生咲 巖 (2024) : キウイフルーツに発生する病害の発生生態と防除について, 植物防疫78 : 473-479.
- 19) 野口真弓・白石祥子・口本文孝 (2020) : 佐賀県におけるキウイフルーツかいよう病biovar3の発生状況, 佐賀果試報18 : 9-17.
- 20) 農林水産省 (2016) : *Pseudomonas syringae* pv. *actinidiae* biovar 3 (キウイフルーツかいよう病菌Psa3) に関する病害虫リスクアナリシス報告書. 農林水産省横浜植物防疫所調査研究部, 横浜, [https://www.maff.go.jp/j/syouan/keneki/kikaku/pdf/2\\_2\\_21\\_pseudom\\_syringa\\_pv\\_actinid\\_biovar3\\_pra.pdf](https://www.maff.go.jp/j/syouan/keneki/kikaku/pdf/2_2_21_pseudom_syringa_pv_actinid_biovar3_pra.pdf).
- 21) 農林水産省 (2018) : キウイフルーツ苗木等検査実施要領, [https://www.maff.go.jp/pps/j/law/houki/yoko/yoko\\_286\\_html\\_286.html](https://www.maff.go.jp/pps/j/law/houki/yoko/yoko_286_html_286.html).
- 22) 農林水産省 (2018) : キウイフルーツかいよう病のPsa3系統の防除マニュアル (第3版), <https://www.maff.go.jp/j/syouan/syokubo/gaicyu/siryoyu2/attach/pdf/index-14.pdf>.
- 23) 農林水産省 (2020) : 特産果樹生産動態等調査 (令和3年産キウイフルーツ), [https://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/tokusan\\_kazyu/index.html#r](https://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/tokusan_kazyu/index.html#r)
- 24) 澤田宏之・三好孝典・井出洋一 (2014) : *Pseudomonas syringae* pv. *actinidiae*の新規MLSAグループ (Psa5系統) によって*Actinidia chinensis*に発生したかいよう病, 日植病報80 : 171-184.
- 25) 澤田宏之・清水伸一・三好孝典・篠崎 毅・楠元智子・野口真弓・成富毅誌・菊原賢次・間佐古将則・藤川貴史・中畝良二 (2015) : わが国で分離された*Pseudomonas syringae* pv. *actinidiae* biovar3の特徴, 日植病報81 : 111-126.
- 26) 澤田宏之・近藤賢一・中畝良二 (2016) : キウイフルーツかいよう病菌 (*Pseudomonas syringae* pv. *Actinidiae*) の新規biovar (biovar6) の特徴, 日植病報82 : 101-115.
- 27) Scortichini M, Marcelletti S, Ferrante P, Petriccione M, Firrao, G (2012): *Pseudomonas syringae* pv. *actinidiae*: a reemerging, multi-faceted, pandemic pathogen. Mol. Plant Pathol. 13 : 631-640.
- 28) Serizawa S, Ichikawa T, Takikawa Y, Tsutsumi S, Goto M (1989): Occurrence of Bacterial Canker of Kiwifruit in Japan: Description of Symptoms, Isolation of the Pathogen and Screening of Bactericides. Jpn. J. Phytopathol. 55 : 427-436.
- 29) 清水伸一・三好孝典・楠元智子・篠崎 毅・澤田宏之 (2015) : マルチプレックス PCRによるキウイフルーツかいよう病菌の系統識別法の改良, 日植病報81 : 76-77. (講要)
- 30) 篠崎 毅・楠元智子・清水伸一・中川雅之 (2015) : 受粉によるキウイフルーツかいよう病菌の感染の可能性, 日植病報81 : 296. (講要)
- 31) Suezawa K, Noda H, Fukuda T (2003): Evaluation of vineyard conditions useful for predicting fruit quality of 'Koryoku' kiwifruit. Acta Hort 610 : 145-151
- 32) Suzaki K, Sawada H, Kisaki G (2021): Loop-mediated isothermal amplification (LAMP) method to detect *Pseudomonas syringae* pv. *actinidiae* biovars 1 and 3 by targeting their pathogenicity-associated genes. J. Gen. Plant Pathol. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10327-021-01030-9>.
- 33) 田淵光昭・生咲 巖・斎藤美桜・藤原祥子・佐々奈於美・五味剣二・杉田 (小西) 左江子・濱野康平・大谷 衛・片岡郁雄・秋光和也 (2018) : 香川県内で分離されたキウイフルーツかいよう病菌のゲノム解析, 日植病報84 : 247. (講要)
- 34) Takikawa Y, Serizawa S, Ichikawa T, Tsuyumu S, Goto M (1989): *Pseudomonas syringae* pv. *actinidiae* pv. nov.: The Causal Bacterium of canker of kiwifruit in Japan. Ann. Phytopath. Soc. Japan. 55 : 437-444.
- 35) Vanneste J L. (2017): The Scientific, Economic, and Social Impacts of the New Zealand Outbreak of Bacterial Canker of Kiwifruit (*Pseudomonas syringae* pv. *actinidiae*). Phytopathology. 55 : 337-399.
- 36) Vanneste J L, Yu J, Cornish D A, Tanner D J, Windner R, Chapman J R, Taylor R K, Mackay J F,

Dowlut S (2013): Identification, virulence, and distribution of two biovars of *Pseudomonas syringae* pv. *actinidiae* in New Zealand. *Plant Disease*. 97 : 708-719.

- 37) 山下泰生・末澤克彦・大谷衛・小野壮一郎・坂下亨・福田哲生・片岡郁雄・別府賢治 (2021): キウイフルーツ新品種「さぬきキウイっこ<sup>®</sup>」の育成, 香川農試研報72 : 11-22.

## キウイフルーツ新品種「さぬきエメラルド」の育成および特性

川北 兼奨<sup>a)</sup>・福田 哲生<sup>a)</sup>・山下 泰生<sup>a)</sup>・村尾 昭二<sup>a)</sup>・水谷 亮介<sup>a)</sup>・濱野 康平<sup>a)</sup>  
真鍋 徹郎<sup>a)</sup>・小野壮一朗<sup>a)</sup>・大谷 衛<sup>a)</sup>・末澤 克彦<sup>a)</sup>

キーワード：キウイフルーツ, 「さぬきエメラルド」, 新品種

### Breeding and cross compatibility of a new kiwifruit cultivar 'Sanuki Emerald'

Kensho KAWAKITA<sup>a)</sup>, Tetsuo FUKUDA<sup>a)</sup>, Taisei YAMASHITA<sup>a)</sup>, Shoji MURAO<sup>a)</sup>,  
Ryosuke MIZUTANI<sup>a)</sup>, Kohei HAMANO<sup>a)</sup>, Tetsuro MANABE<sup>a)</sup>, Soichiro ONO<sup>a)</sup>,  
Mamoru OTANI<sup>a)</sup> and Katsuhiko SUEZAWA<sup>a)</sup>

Key words: kiwifruit, 'Sanuki Emerald', new cultivar

#### Abstract

1. 'Sanuki Emerald' is a cultivar that was bred by cross-pollinating 'Sanryoku,' a cultivar developed by Fuchu Fruit Tree Research Institute within the Kagawa Prefecture Agricultural Experiment Station, with 'Sanuki Kafunriki.' Public announcement of the application to register the cultivar was issued on March 14, 2022, in accordance with the Plant Variety Protection and Seed Act.
2. This tetraploid cultivar grows vigorously. New shoots bear a moderate number of flower clusters, with buds that exhibit intense anthocyanin coloration in the early stages of sepal dehiscence that exhibit intense anthocyanin coloration.
3. At the breeding location (Sakaide, Kagawa Prefecture), bud break and flowering occurred around March 20 and May 5, respectively-in both cases earlier than the reference cultivars 'Sanryoku' and 'Sanuki Gold.' The kiwifruit reached maturity around October 20, approximately 20 days earlier than 'Sanryoku' and 20 days later than 'Sanuki Gold.'
4. The kiwifruit generally weigh around 165 g and are slightly bigger than the typical kiwifruit. The trichomes covering the fruit skin are coarse and short. The fruit generally have high sugar content, ranging from 18 to 20 Brix, and extremely good taste. The fruit are elliptical in shape with yellow-green flesh. The fruit ripens readily, reaching optimal ripeness for eating 10 days after ethylene treatment. The fruit are highly storable and can be stored for approximately 5 months at 5 °C .
5. Although the cultivar can be grown in most kiwifruit production areas in Kagawa Prefecture, given its early germination period (around March 20), it may not be suitable for locations where there is a risk of frost damage. As with other kiwi cultivars, production of high-quality fruit requires cultivation in well-drained soil.

---

a) 府中果樹研究所

受理日：2024年3月29日

## 摘要

1. 「さぬきエメラルド」は、香川県農業試験場府中果樹研究所育成の「讃緑」を種子親に用い、「さぬき花粉力」の花粉を交配して育成した品種である。2022年3月14日に種苗法に基づき、出願公表された。
2. 倍数性は四倍体で、樹勢は強である。1新梢あたりの花穂の着生は中で、がく片裂開初期の蕾のアントシアン着色は極めて強い。
3. 育成地（香川県坂出市）における発芽期は3月20日前後、開花期は5月5日前後といずれも対照品種である「讃緑」や「さぬきゴールド」より早い。成熟期は10月20日前後であり、「讃緑」より20日程度早く、「さぬきゴールド」より20日程度遅い。
4. 果実の重さは概ね165g程度で、一般的なキウイフルーツに比べやや大玉である。果皮表面の毛じの密度は粗で短い。糖度計示度は概ね18~20と高く、食味は極めて良い。果肉の色は緑黄色であり、果形は長楕円形である。追熟は容易で、エチレン処理後10日で可食適期となる。貯蔵性が高く、5℃条件下で5ヶ月程度貯蔵が可能である。
5. 概ね香川県のキウイフルーツ産地に導入可能と考えられるが、発芽期が3月20日前後とやや早いことから、凍霜害の危険性がある地域には適さない。品質の良い果実を生産するためには、他のキウイフルーツ品種同様に排水良好な土壌での栽培が望ましい。

## 緒言

キウイフルーツは世界的に、導入当初から、*Actinidia deliciosa* (A. Cheval) C. F. Liang & A. R. Ferguson (以下、*A. deliciosa*) 種の「ヘイワード」を中心とした果肉が緑色の品種が市場流通のほとんどを占めていた。近年は、消費者の健康志向により豊富な栄養素が含まれるキウイフルーツの消費量が上昇し、人気の高まりとともに、従来の緑色果肉に加え、黄色と赤色果肉などの品種 (*A. chinensis*) や小型キウイ、大玉キウイなど特徴的なものが登場し、品種が多様化してきた(濱野<sup>5)</sup>)。

ニュージーランドでは、糖度が高く酸味が低い黄色果肉種の「ZESY002」が育成され、「サンゴールド<sup>®</sup>」の商標で日本への輸入量が增大している。また、国内産地においても契約園地が拡大し、国産サンゴールドの出荷量は徐々に増加している(宮井<sup>9)</sup>)。

国内では、香川県農業試験場が1980年代から新品種育

成試験に先駆的に取り組んできており(末澤<sup>11)</sup>)、1987年に「香緑」、1999年に「讃緑」、「香粹」(片桐・末澤<sup>6)</sup>)、2005年に「さぬきゴールド」(福田ほか<sup>3)</sup>)、2013年に「さぬきエンジェルスイート」(福田ほか<sup>2)</sup>)、2017年に「さぬき花粉力」(福田ほか<sup>4)</sup>)を育成した。この他、香川大学と共同育種を行い、2014年に「香川UP-キ1号」、「香川UP-キ2号」、「香川UP-キ3号」、「香川UP-キ4号」、「香川UP-キ5号」(山下ほか<sup>13)</sup>)を育成し、5品種を総称して「さぬきキウイっこ<sup>®</sup>」の商標で販売している。県外では、2000年に静岡県県の民間育成による「小林39」が、2008年には神奈川県育成の「片浦イエロー」(鈴木ほか<sup>12)</sup>)、2013年には東京都と民間共同育成の「東京ゴールド」(河野ほか<sup>8)</sup>)、2016年には福岡県育成の「甘うい」(朝隈ほか<sup>1)</sup>)、2018年には静岡県育成の「静岡ゴールド」(静岡県<sup>10)</sup>)が品種登録されるなど、キウイフルーツ主産県では育種の取組みが活発化している。

しかしながら、*A. chinensis*種は酸味が少なく、食味に優れる一方で*A. deliciosa*種に比べ貯蔵性が劣り、5℃の冷蔵庫で1~2ヶ月程度であることから、国産の黄色果肉種の流通期間は年内に限られている。そのため、年明け以降から4月頃までは国産の緑色果肉種が市場を占めていることから、年明け以降も出荷可能な貯蔵性に優れた黄肉色キウイフルーツの開発が強く望まれていた。*A. deliciosa*種は「ヘイワード」を中心に栽培されているが、*A. chinensis*と比べると発芽率が悪く、枝折れしやすいなど栽培面での欠点がみられる。また、樹勢が強く、枝が巻き付きやすいため枝管理作業に多大な時間を要することが問題となっていた。

そこで、香川県農業試験場府中果樹研究所(以下、研究所という。)で育成された*A. chinensis*種と*A. deliciosa*種の種間交雑である「讃緑」を種子親として、同様に当研究所で育成された*A. chinensis*種である「さぬき花粉力」の花粉を交配して、良食味で貯蔵性に優れ、栽培性の高い新品種である「さぬきエメラルド」を育成したので、その経過と特性の概要について報告する。

## 材料および方法

### 1. 「さぬきエメラルド」の育成経過

研究所において、2003年に当研究所で育成した「讃緑」(*A. chinensis*×*A. deliciosa*)を種子親に用い、「さぬき花粉力」(*A. chinensis*)の花粉を交配した(図-1)。得られた交雑実生56個体を育苗後、2007年1月に研究所の圃場に定植し、個体番号「03F/DS・CA6/1~56」を



図-1 「さぬきエメラルド」の育成系統図

付した。

早期結実と圃場の有効活用を図るため、畝に50cm間隔で植栽し、主枝長約3.5mのオールバック一文字仕立てとした。2009年以降、花の観察による雌雄判別および結実した個体については、追熟後、最大10果の各果実重、搾汁した各果汁の屈折糖度計示度（以下、糖度計示度）を測定した。さらに、当研究所の関係者による食味官能評価により選抜を行った。

2. 「さぬきエメラルド」の特性調査

当研究所において、「さぬきエメラルド」の原木および高接ぎによる複製樹を用い、「農林水産植物種別審査基準（マタタビ属）」（農林水産省）の審査基準に従って、2020～2021年に特性を調査した。

なお、対照品種として、種子親である「讚緑」（*A. delicosa* × *A. chinensis*）と大玉で黄色果肉の「さぬきゴールド」（*A. chinensis*）の2品種を選定して比較調査を行った。

結果および考察

1. 「さぬきエメラルド」の育成経過

56個体の実生群のうち、2009年までに結実したのは23個体であった。23個体のうち、2010年に大玉で糖度が高く、食味官能評価が優れた個体の中から9個体を一次選抜した。2014年に果実の貯蔵性や栽培性から、6個体を二次選抜し、「03F/DS・CA6/12（通称：「K-12」）」が安定した食味と高い貯蔵性を有していることが確認されたので、2019年に有望系統として最終選抜した。さらに、この「K-12」について、2020年及び2021年に慣行栽培により特性調査を行い、均一性及び安定性を有することを確認したので、2021年11月19日に「さぬきエメラルド」の名称で種苗法に基づく品種登録の出願を行った。2022年3月14日に出願公表された。

2. 「さぬきエメラルド」の特性の概要

1) 樹勢および生理生態の特性

樹体の特性を表-1に示した。花性は雌である。倍数性は「さぬきゴールド」、 「讚緑」と同様の四倍体である。樹勢は強で、「讚緑」、 「さぬきゴールド」と同等である。新梢の毛じの種類は短い軟毛である。熟梢は紫褐色を呈しており、太さ8.3mmと「さぬきゴールド」と同等で「讚緑」よりやや細く、皮目の多少は中である。熟梢の芽の被覆は無く、芽の開口部の大きさは大である。

葉の特性を表-2に示した。成葉の葉身の形は広卵形

表-1 「さぬきエメラルド」と対照品種の樹体の特性調査<sup>z</sup>（2021）

品種名	花性	倍数性	樹勢	新梢の毛じの種類	熟梢				
					太さ (mm)	色	皮目の多少	芽の被覆の有無	芽の開口部の大きさ
さぬきエメラルド	雌	4	強	短い軟毛	8.3	紫褐	中	無	大
讚緑	雌	4	強	短い剛毛	9.0	淡褐	多	有	小
さぬきゴールド	雌	4	強	極短い軟毛	8.6	赤褐	少	無	極大

z：新梢、熟梢ともにn=10

表-2 「さぬきエメラルド」と対照品種の葉の特性調査<sup>z</sup>（2021）

品種名	成葉			成葉の大きさ <sup>y</sup> (cm <sup>2</sup> )	葉形指数 <sup>x</sup>	葉柄		葉柄比率 <sup>w</sup>
	葉身の形	先端の形	葉脚部の重なり			長さ (cm)	毛じの密度	
さぬきエメラルド	広卵形	鋭尖形	接する	292.9	0.92	11.9	粗～中	0.74
讚緑	短倒卵形	鋭尖形	僅かに重なる	317.6	1.03	13.2	中	0.76
さぬきゴールド	広卵形	鋭尖形	僅かに重なる	260.0	0.93	16.2	粗	1.06

z：n=10, y：葉長×葉幅, x：葉身長／葉身幅, w：葉柄長／葉身長

表-3 「さぬきエメラルド」と対照品種の年次別生育ステージ (2015~2023)

品種	年次	発芽期 (月日)	開花期 (満開) (月日)	成熟期 (月日)
さぬきエメラルド	2015	3月25日	5月8日	10月28日
	2016	3月23日	5月5日	10月19日
	2017	3月27日	5月8日	10月18日
	2018	3月19日	5月2日	10月16日
	2019	3月24日	5月7日	10月30日
	2020	3月17日	5月7日	10月21日
	2021	3月10日	4月30日	10月20日
	2022	3月27日	5月5日	10月21日
	2023	3月17日	5月4日	10月17日
	平均	3月21日	5月5日	10月21日
讃緑	2015	3月28日	5月10日	11月5日
	2016	3月25日	5月10日	11月4日
	2017	4月3日	5月13日	11月13日
	2018	3月28日	5月9日	11月12日
	2019	4月7日	5月15日	11月15日
	2020	3月24日	5月14日	11月13日
	2021	3月24日	5月9日	11月15日
	2022	3月31日	5月10日	11月15日
	2023	3月24日	5月9日	11月14日
	平均	3月28日	5月11日	11月11日
さぬきゴールド	2015	3月27日	5月9日	10月7日
	2016	3月24日	5月7日	10月4日
	2017	4月3日	5月9日	10月4日
	2018	3月27日	5月5日	9月26日
	2019	4月5日	5月9日	10月1日
	2020	3月27日	5月9日	10月1日
	2021	3月24日	5月2日	9月28日
	2022	3月31日	5月7日	10月3日
	2023	3月24日	5月6日	9月28日
	平均	3月28日	5月7日	10月1日

表-4 「さぬきエメラルド」と対照品種の花の特性調査<sup>z</sup> (2021)

品種	花穂の着生数 (節/新梢)	1花穂中の 花蕾数	花の 大きさ (mm)	花卉		花梗の長さ (cm)	花柱			葯	
				枚数 (枚)	色		本数 (本)	姿勢	曲がり	数	色
さぬきエメラルド	6.2	中	59.1	8.3	白	6.5	36.3	やや 直立	弱	66.4	黄
讃緑	5.2	中	58.4	8.1	白	6.4	34.6	やや 直立	弱	133.5	黄
さぬきゴールド	9.0	中	66.4	8.2	白	7.5	40.8	やや 直立	弱	69.5	黄

z : n=10

で、先端の形は鋭尖形で「さぬきゴールド」と同様である。葉脚部の重なりは接している。成葉の大きさは292.9cm<sup>2</sup>と「讃緑」より小さく「さぬきゴールド」より大きい。葉柄の長さは約12cmと対照品種より短い。葉柄比率は0.74と「讃緑」と同程度であり、「さぬきゴ

ルド」より小さい。

年次別の生育ステージを表-3に示した。育成地（香川県坂出市）における9か年（2015~2023）平均の発芽期は3月21日、開花期は5月5日、成熟期は10月21日である。発芽期は対照品種より1週間程度早く、開花期は

「さぬきゴールド」よりやや早く、成熟期は、「讃緑」より20日程度早く、「さぬきゴールド」より20日程度遅い。

## 2) 花の特性

花の特性を表-4、形状を図-2に示した。1新梢当たりの着生数は6.2節と「讃緑」よりやや多く、「さぬきゴールド」より少ない。1花穂当たりの花蕾数は中で、対照品種と同等である。花の大きさは59.1mmであり、「讃緑」と同程度であり、「さぬきゴールド」よりやや小さい。花弁は白色で、枚数は8.3枚で対照品種と同等である。花梗の長さは6.5cmで「讃緑」と同等であり、「さぬきゴールド」よりやや短い。花柱の本数は36.3本で、「讃緑」と同等であり、「さぬきゴールド」よりやや少ない。姿勢はやや直立、曲がり弱で対照品種と同等である。葯の色は黄色で対照品種と同等であり、数は66.4個と「讃緑」より少なく、「さぬきゴールド」と同等である。



図-2 「さぬきエメラルド」の花  
注) K-12が「さぬきエメラルド」である。

## 3) 果実の特性

果実の特性を表-5、6に、果実の形状を図-3、4



図-3 「さぬきエメラルド」の果実  
注) K-12が「さぬきエメラルド」である。

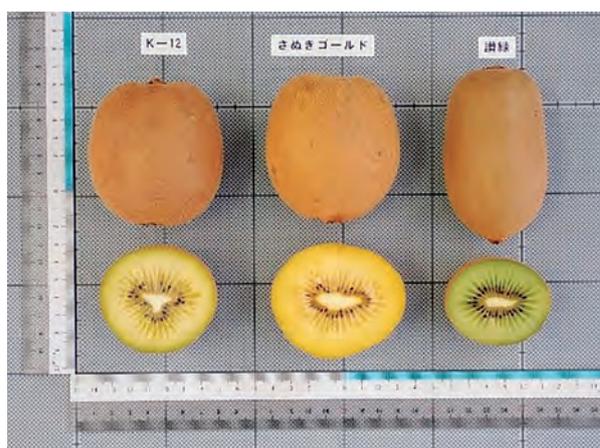


図-4 「さぬきエメラルド」と対照品種の果実  
注) K-12が「さぬきエメラルド」である。

表-5 「さぬきエメラルド」と対照品種の果実の特性調査-1<sup>z</sup> (2021)

品種	果形	果実重 (g)	果皮色	果実表面の毛じ				果梗		相対果梗長 <sup>y</sup>
				密度	長さ	硬さ	脱落の難易	長さ (cm)	太さ (mm)	
さぬきエメラルド	長楕円	193.9	褐色	粗	短	軟	中～難	6.6	3.1	0.80
讃緑	長楕円	148.3	褐色	粗	短	軟	中	6.1	3.5	0.70
さぬきゴールド	扁球	242.4	褐色	粗	短	軟	難	6.9	4.4	0.89

z : n=10, y : 果梗長/果実縦径

表-6 「さぬきエメラルド」と対照品種の果実の特性調査-2<sup>z</sup> (2021)

品種	果肉色		糖度計示度	クエン酸		香気	子室数(室)	追熟の難易	貯蔵性
	外果皮	内果皮		換算含量 (g/100mL)					
さぬきエメラルド	緑黄	緑黄	18.9	0.78	有	38.2	中	長	
讃緑	緑黄	緑黄	13.6	0.72	有	33.1	難	長	
さぬきゴールド	濃黄	濃黄	14.9	0.93	有	41.8	易	短	

z : n=10

表-7 「さぬきエメラルド」と対照品種の年次別果実品質 (2014~2023)

品種	年次	果実重 (g)	糖度計示度	クエン酸換算含量 (g/100mL)
さぬきエメラルド	2014	154.7	18.8	0.31
	2015	154.3	18.9	0.29
	2016	176.8	20.1	1.01
	2017	157.3	19.3	0.18
	2018	130.5	18.8	1.09
	2019	138.7	18.6	0.85
	2020	190.0	20.1	0.68
	2021	193.9	18.9	0.78
	2022	184.6	18.9	0.69
	2023	164.0	20.8	0.48
	平均	164.5	19.3	0.64
讃緑	2014	142.1	15.4	0.35
	2015	127.2	14.2	0.43
	2016	116.1	12.9	1.23
	2017	139.1	13.4	0.72
	2018	130.5	15.5	0.79
	2019	119.3	14.3	0.83
	2020	140.6	12.8	0.86
	2021	148.3	13.6	0.72
	2022	124.7	14.1	1.03
	2023	120.5	12.8	0.9
	平均	130.8	13.9	0.79
さぬきゴールド	2014	229.7	15.9	0.40
	2015	133.6	15.9	1.24
	2016	191.4	14.1	1.44
	2017	177.7	15.6	0.56
	2018	187.5	15.5	0.65
	2019	191.5	14.2	0.74
	2020	196.4	15.0	0.52
	2021	242.4	14.9	0.93
	2022	178.6	17.8	0.93
	2023	215.8	15.7	0.82
	平均	194.5	15.5	0.82

に、年次別の果実品質を表-7に示した。果形は長楕円で、「讃緑」よりも横径が大きく、先端はやや尖る。10か年平均の果実重は164.5gと大果であり、「さぬきゴールド」に次ぐ大きさである。果皮は褐色で対照品種と同様である。果実表面の毛じの密度は粗、長さは短く対照品種と同等であり、硬さは軟らかく「讃緑」と同様であり、脱落の難易は中～難である。果梗の長さは6.6cmと「讃緑」より長く、「さぬきゴールド」と同等である。太さは3.1mmと対照品種より細い。果肉色は外果皮、内果皮ともに緑黄であり、「讃緑」と比較して黄色味が強い。10か年平均の糖度計示度は19.3で対照品種より高い。10か年平均のクエン酸換算含量は0.64g/100mLで、対照品種より低い。追熟の容易性は中で、追熟に必要な日数は

エチレン処理後15℃条件下で約10日程度である。貯蔵性は長で、「さぬきゴールド」より長く、「讃緑」と同等で5℃条件下で5ヶ月程度である。

### 3. 栽培特性・留意点

#### 1) 耐病性

生咲ほか<sup>7)</sup>は、Psa3について切り取り葉を用いた方法により「さぬきエメラルド」のPsa3に対する抵抗性の評価を行った結果、「さぬきエメラルド」は一般的な品種である「ハイワード」と同程度の抵抗性を示したと報告されている。

## 2) 適地条件

概ね香川県のキウイフルーツ産地に導入が可能であると考えられるが、水田転換園のような土壤水分の多いほ場では、他のキウイフルーツ品種同様に追熟後の糖度が低く、食味が不良となる恐れがある。高糖度の果実生産には、温暖で日照条件が良く排水良好な土壌での栽培が望ましい。

新梢生育は*A. chinensis*種同様にしなやかで、風による枝折れが少ないため、「香緑」、「ハイワード」等の*A. deliciosa*種で枝折れが発生する園地でも栽培が可能と考えられる。

## 3) 栽培上の留意点

発芽期が育成地では3月中旬と早いことから凍霜害にあう可能性が高い。これまで、被覆資材などの検討が行われてきたが、棚の形状や資材の経費、労力面で導入は難しい。したがって、凍霜害の危険性が大きい地域での導入は避けることが望ましい。

開花時期については、「マツア」、「トムリ」等の一般の雄品種より10日程度早く当年の花粉では受粉に間に合わないため、前年の冷凍貯蔵花粉や輸入花粉の利用が必要である。

花穂の着生数は「さぬきゴールド」と比較して少なく、摘蕾作業にかかる時間は少なくなるが、大玉果実を生産するためには、摘蕾を実施し養分の消耗を防ぐ必要がある。また、果実横径の肥大が大きいため、果実同士が重なりやすい。果実が接触すると、風ズレやキイロマイコガの被害を受ける可能性があるため、摘果により着果位置の調整を行うことが望ましい。袋掛けにより風ズレや病害虫の対策が可能であるが、慣行の防除を徹底することで無袋栽培が可能である。

新梢管理については、「さぬきゴールド」等の*A. chinensis*種と同様に新梢発芽率が高いため、新梢を残しすぎると過繁茂になり、病害虫の発生や低糖度果実の原因となる。また、樹勢が強いが、枝の巻き付き程度は「香緑」等よりも少ないため、枝管理がしやすい。

収穫時期が早いと追熟後の糖度が低く、遅れると果肉色のクロロフィルが消失し黄色味が強くなり樹上で軟化し始めるため、適期収穫に留意する必要がある。

2) 福田哲生・片桐孝樹・末澤克彦(2006):キウイフルーツ新品種「さぬきゴールド」の育成, 香川農試研報第58号:45-50.

3) 福田哲生・片桐孝樹・末澤克彦(2016):キウイフルーツ新品種「さぬきエンジェルスイート」の育成, 香川農試研報第66号:37-43.

4) 福田哲生・水谷亮介・濱野康平・坂下亨・山下泰生・大谷衛・片桐孝樹・末澤克彦(2020):キウイフルーツ雄品種「さぬき花粉力」の育成と交配特性, 香川農試研報第71号:11-20.

5) 濱野康平(2019):キウイフルーツの品種動向:果実日本74(7):50-55

6) 片桐孝樹・末澤克彦(1997):マタタビ属植物の種間交雑における新系統KC-183及びAM-203の特性, 香川農試研報49:43-54.

7) 生咲巖(2021):キウイフルーツ品種の切り取り葉を用いたPsa3耐病性評価:令和3年度香川県農業試験場府中果樹研究所試験成績:171-172

8) 河野 章・池田行謙・菊池知古・鶴沢玲子(2013):キウイフルーツ「東京ゴールド」の品種特性:園学研12(別冊1)297

9) 宮井浩志(2020):生鮮果実消費減退化における企業主導による国内キウイフルーツ市場の再活性化:関西学院大学産研論集47:47-53

10) 静岡県(2016):年末年始に出荷可能な良食味キウイフルーツ「静岡ゴールド」:静岡県農林技術研究所成果写真集.

11) 末澤克彦(1989):*Actinidia*属植物の種間交雑個体における形態的変異, 香川農試研報40:36-42.

12) 鈴木伸一・浅田真一・真壁敏明・片木新作・恒樹・鈴木誠・佐々木皓二・真子正史・青木隆・川嶋幸喜・松下一興(2010):キウイフルーツ新品種「片浦イエロー」の育成, 神奈川県農業技術センター研究報告153:37-42.

13) 山下泰生・末澤克彦・大谷衛・小野壮一郎・坂下亨・福田哲生・別府賢治・片岡郁雄(2021):キウイフルーツ新品種群「香川UP-キ1~5号(総称:さぬきキウイっこ®)」の育成, 香川農試研報第72号:11-22

## 引用文献

1) 朝隈英昭・藤島宏之・村本晃司・矢羽田二郎・牛島孝策・松本和紀・栗村光男(2014):キウイフルーツ新品種「甘うい」の育成, 福岡農試研報33:24-28.

## 有機物連用圃場における土壌中の炭素・窒素量の変化

阿部 政人<sup>a)</sup>・松野 宏治<sup>a)</sup>・山下 陽子<sup>a)</sup>

キーワード：有機物連用, 土壌炭素, 稲わら, 麦わら, 牛糞たい肥

Changes in carbon and nitrogen levels in the soil of fields with continuous application of organic materials

Masahito ABE<sup>a)</sup>, Koji MATSUNO<sup>a)</sup>, Yoko YAMASHITA<sup>a)</sup>

Key words: continuous application of organic materials, soil carbon, rice straw, wheat straw, cattle manure

## 緒言

土壌への有機物施用は、炭素を土壌中に貯留することで温室効果ガスの一つである二酸化炭素の排出量削減に繋がり、地球温暖化を抑制する効果が期待されている。このことから、2021年に農林水産省が策定した「みどりの食料システム戦略」では、農地への炭素貯留が2050年までに二酸化炭素のゼロエミッションを達成するための主要な取組みの一つに挙げられている。

また、国全体の温室効果ガスの吸収・排出量については、国連気候変動枠組条約において事務局への報告が義務づけられており、各分野において報告に必要なデータを収集するための調査が行われている。

香川県農業試験場では、農林水産省の委託事業である土壌由来温室効果ガス・土壌炭素調査事業（2008年～2012年）、農地土壌温室効果ガス排出量算定基礎調査事業（2013～2014）、農地土壌炭素貯留等基礎調査事業（2015年～現在）に参画して、水稲-小麦および水稲-レタス体系の水田において、わら類と牛糞たい肥の連用試験を行い土壌中の炭素と窒素の含有量を調査している。この結果は、国立研究開発法人農業・食品産業技術

総合研究機構 農業環境研究部門において全国の調査結果とともに取りまとめられて国立研究開発法人国立環境研究所地球環境研究センターに提供され、条約に基づく日本国温室効果ガスインベントリとして国連に報告されている。

今回は、農業試験場が高松市仏生山町から綾歌郡綾川町に移転し新たに試験圃場を設置した2011年から2022年までの12年間を捉えて、有機物連用が全炭素含有量および全窒素含有量に及ぼす影響について取りまとめたので報告する。

## 材料および方法

## 1. 試験区および耕種概要

試験圃場は、香川県農業試験場内の中粒質普通灰色低地土の2圃場を供試し、以下の2試験を行った。

1) 水稲-小麦二毛作圃場における稲・麦わら連用試験  
わら連用試験は水稲「ヒノヒカリ」-小麦「さぬきの夢2009」の二毛作体系で、2011年の水稲から栽培を始め、収穫後の稲わらから連用処理を開始した。試験区毎のわらおよび化学肥料の施用条件は表-1、2のとおりとし、1区当たり50m<sup>2</sup>を供試した。水稲および小麦の

表-1 水稲作におけるわら連用試験の処理区の概要 (2011~2022年)

No.	試験区	わら施用内容 (kg/10a)	化学肥料施肥量 (kg/10a)		
			N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
1	無肥料		0	0	0
2	化学肥料単用		7.5	4.5	4.5
3	稲わら連用 (稲わら600)		7.5	4.5	4.5
4	麦わら連用 (麦わら500)		7.5	4.5	4.5
5	稲・麦わら連用 (稲わら600 麦わら500)		7.5	4.5	4.5

施肥は、次の肥料を全量基肥施用した。

2011~2012年：さぬきの米一発 (20-12-12 苦土5：緩効性割合約56% (LPSS100 42%, LPS120 14%))

2013~2017年：さぬきの米一発 (改) (20-12-12 苦土2：緩効性割合約70% (LPS120 70%))

2018~2022年：さぬきの米一発 (J) (20-12-12 苦土2：緩効性割合約70% (Jコート100日タイプ 20%, 120日タイプ 50%))

表-2 小麦作におけるわら連用試験の処理区の概要 (2011~2022年)

2011~2019年

No.	試験区	わら施用内容 (kg/10a)	化学肥料施肥量 (kg/10a)		
			N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
1	無肥料		0	0	0
2	化学肥料単用		12.4	7.8	7.8
3	稲わら連用 (稲わら600)		12.4	7.8	7.8
4	麦わら連用 (麦わら500)		12.4	7.8	7.8
5	稲・麦わら連用 (稲わら600 麦わら500)		12.4	7.8	7.8

施肥は、さぬきの小麦専用 (19-12-12：緩効性割合約40% (LPコート30 40%)) を全量基肥施用した。

2020~2022年

No.	試験区	わら施用内容 (kg/10a)	化学肥料施肥量 (kg/10a)		
			N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
1	無肥料		0	0	0
2	化学肥料単用		13.0	7.8	7.8
3	稲わら連用 (稲わら600)		13.0	7.8	7.8
4	麦わら連用 (麦わら500)		13.0	7.8	7.8
5	稲・麦わら連用 (稲わら600 麦わら500)		13.0	7.8	7.8

施肥は、さぬきの夢一発 (20-12-12：緩効性割合約55% (Mコート20 30%, グッドIB 25%)) を全量基肥施用した。

表-4 レタス作における牛糞たい肥連用試験の処理区の概要 (2011~2022年)

No.	試験区	たい肥施用内容 (t/10a)	基肥1			基肥2			合計 (kg/10a)		
			N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
1	無肥料		0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	化学肥料単用		22.0	14.0	14.0	4.0	2.4	2.8	26.0	16.4	16.8
3	牛糞たい肥1t	オガクズ牛糞たい肥1t	22.0	14.0	14.0	4.0	2.4	2.8	26.0	16.4	16.8
4	牛糞たい肥2t	オガクズ牛糞たい肥2t	22.0	14.0	14.0	4.0	2.4	2.8	26.0	16.4	16.8
5	牛糞たい肥3t	オガクズ牛糞たい肥3t	22.0	14.0	14.0	4.0	2.4	2.8	26.0	16.4	16.8

基肥1は、らりるれレタス177 (11-7-7：なたね油粕34.6%, フェザーミール15.8%) を施用した。

基肥2は、粒状ジャンプ (10-6-7：魚由来有機質原料21.8% (変動有り)) を施用した。

牛糞たい肥：カウ・コン (原料：牛糞, オガクズ T-N：0.75%, T-C：15.9%, CN比：21.2 (2022年分析値))

全ての試験区に稲わら600kg/10aをすき込んだ。

作物残渣 (地上部) は収穫時に一度持ち出したうえで、稲わらは小麦作の前に、麦わらは水稲作の前に計量・散布してすき込み、栽培管理は地域慣行に従った。

## 2) 水稲-レタス二毛作圃場における牛糞たい肥連用試験

牛糞たい肥連用試験は水稲「ヒノヒカリ」-レタス「シスコ」の二毛作体系で、2011年の水稲から栽培を始め、収穫後に牛糞たい肥の連用処理を開始した。牛糞たい肥は「カウ・コン」(原料：牛糞, オガクズ T-N：0.75%, T-C：15.9% (2022年分析値)) を使用した。化学肥料等の施用条件は表-3, 4のとおりとし、1区当たり50m<sup>2</sup>を供試した。なお、牛糞たい肥はレタス作の前に散布して稲わらと一緒にすき込み、レタスは地上部全てを収穫した。栽培管理は地域慣行に従った。

## 2. 土壌中の全炭素含有量および全窒素含有量分析

試料は、水稲収穫後有機物施用前の10月中旬に、農地管理実態調査の定点調査および基準点調査における土壌

表-3 水稲作における牛糞たい肥連用試験の処理区の概要 (2011~2022年)

No.	試験区	たい肥施用内容 (t/10a)	化学肥料施肥量 (kg/10a)		
			N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
1	無肥料		0	0	0
2	化学肥料単用		7.5	4.5	4.5
3	牛糞たい肥1t (たい肥1t)		7.5	4.5	4.5
4	牛糞たい肥2t (たい肥2t)		7.5	4.5	4.5
5	牛糞たい肥3t (たい肥3t)		7.5	4.5	4.5

肥料は、次の肥料を全量基肥施用した。

2011~2012年：さぬきの米一発 (20-12-12 苦土5：緩効性割合約56% (LPSS100 42%, LPS120 14%))

2013~2017年：さぬきの米一発 (改) (20-12-12 苦土2：緩効性割合約70% (LPS120 70%))

2018~2022年：さぬきの米一発 (J) (20-12-12 苦土2：緩効性割合約70% (Jコート100日タイプ 20%, 120日タイプ 50%))

全ての試験区に稲わら600kg/10aをすき込んだ。

炭素調査実施方法<sup>5)</sup>に従い、対象圃場の代表的な値が得られると想定される1カ所で、作土層全体から1kg程度の土壌を採取した。風乾後に磁製乳鉢で粉碎して1mmの篩に通し、エレメンタル社製Vario MAX CNを用いて測定した。

## 結果および考察

### 1. 土壌中の全炭素含有量の変化

#### 1) 水稲-小麦二毛作圃場における稲・麦わら連用試験

2011年(処理前)から2022年のわら連用圃場における全炭素含有量の推移を図-1に示した。わらを連用した3つの区では、連用開始から2年後の2013年まで全炭素含有量が増加し、その後2年間は減少したが2016年からは再び増加に転じた。わらを施用しない化学肥料単用区と無肥料区では、期間を通して大きな変化は見られなかった。

2022年の全炭素含有量は、稲・麦わら連用区が1.65%で最も多く、10a当たり(作土深10cm, 仮比重1.1(2022稲・麦わら連用区))の含有量に換算すると1,811kgの炭素が貯留されていると推定された。次いで稲わら連用区が1.59%, 麦わら連用区が1.54%, 化学肥料単用区が1.50%であった。11年間の増加量は稲・麦わら連用区が0.40%で、この内わら由来の増加量は化学肥料単用区の0.02%を差し引いた0.38%と考えられ、10a当たりの増加量に換算すると416kgと推定された。稲わら連用区と麦わら連用区の増加量は0.09%で、この内わら由来が約0.07%となり、10a当たりの増加量は約80kgと推定された。施用した稲わらの全炭素含有量を39.1%, 麦わらを42.2%(有機利用農作物栽培手引書<sup>2)</sup>)とすると、11年間に施用された全炭素量は、稲わらから2,581kg/10a, 麦わらから2,321kg/10aの合計4,902kg/10aとなることから、稲・麦わら連用区では施用量の約8%, 稲わら連用区と麦わら連用区では約3%が蓄積していると推定された。

#### 2) 水稲-レタス二毛作圃場における牛糞たい肥連用試験

2011年(処理前)から2022年の牛糞たい肥連用圃場における全炭素含有量の推移を図-2に示した。牛糞たい肥を2~3t連用した区では、全炭素含有量が施用開始4年後の2015年に増加し始め、9年後の2020年まで増加し、その後横ばいとなった。1t連用区では施用開始4年後から増加し始めて11年後の2022年までその傾向が続いた。牛糞たい肥を施用しない化学肥料単用区と無肥料区は僅かな増加に留まった。

2022年の全炭素含有量は、牛糞たい肥3t連用区が2.79%で最も多く、10a当たり(作土深10cm, 仮比重1.1(2022牛糞たい肥連用区))の含有量に換算すると3,068kgの炭素が貯留されていると推定された。次いで2t連用区が2.62%, 1t連用区が2.23%, 化学肥料単用区が1.72%であった。11年間の増加量は3t連用区が1.51%で、この内牛糞たい肥に由来する増加量は化学肥料単用区の0.13%を差し引いた1.38%と考えられ、10a当たりの増加量に換算すると1,521kgと推定された。2t連用区の増加量は1.15%, 1t連用区は0.64%で、牛糞たい肥1t当たりの増加量は約0.5%, 10a当たりで換算すると約550kgと推定された。施用した牛糞たい肥「カウ・コン」の分析値から全炭素含有量を15.9%とすると、11年間に施用された牛糞たい肥1t当たりの全炭素量は1,749kg/10aとなり、いずれの牛糞たい肥連用区も施用量の約30%が蓄積していると考えられた。

これらのことから、水稲-小麦と水稲-レタスのいずれの作付け体系においても、作物残渣(地上部)をすき込む一般的な水田の栽培管理では全炭素含有量は減少しないことが確認できた。また、水稲-レタス作付け体系の圃場では、牛糞たい肥を1~3t/10a連用することによって全炭素含有量が施用量に比例して増加することが認められたが、2~3t/10a連用した圃場では施用開始9年目以降横ばいになった。

水稲-小麦作付け体系のわら連用区では処理開始後4年間の全炭素含有量の増減が顕著であり、その要因として土壌炭素動態に気候や農地管理方法が影響する(白

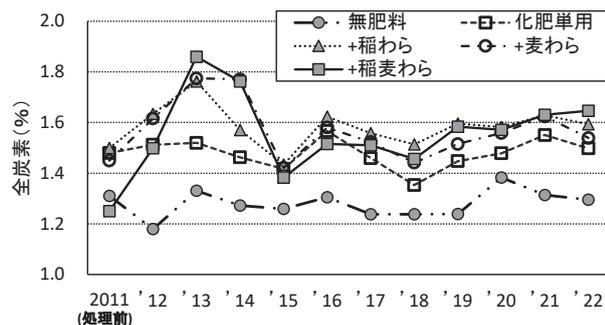


図-1 わら連用圃場における全炭素含有量の推移

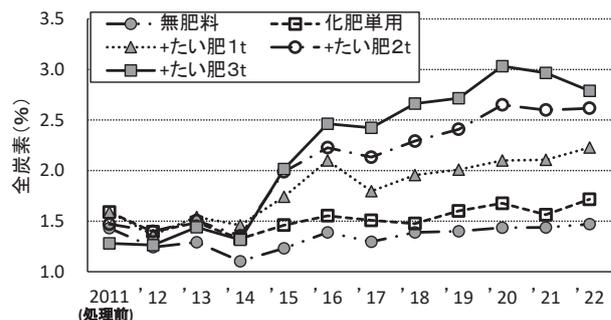


図-2 牛糞たい肥連用圃場における全炭素含有量の推移

戸<sup>7)</sup>ことが考えられるが、これらの関係性については判然としなかった。一方で、全炭素含有量が年毎に増減を繰り返しながら増加傾向を示すことは、香西ら<sup>4)</sup>や関口ら<sup>6)</sup>の報告と一致することから、前述の変化は有機物連用圃場に散見される動態であると考えられた。

なお、試験開始前の全炭素含有量は試験区間に最大で0.3%の差があったが、これは試験圃場の造成に伴い、元は異なる圃場の作土が混合されたことが影響していると考えられた。

## 2. 土壌中の全窒素含有量の変化

2011年(処理前)から2022年の水稲-小麦二毛作のわら連用圃場における全窒素含有量の推移を図-3に示した。全窒素含有量は、無肥料区を含む全区で僅かな増加傾向が見られたが、化学肥料を施用した4つの区の間にはわらの施用方法の違いによる差は見られなかった。

水稲-レタス二毛作の牛糞たい肥連用圃場における全窒素含有量の推移を図-4に示した。全窒素含有量は牛糞たい肥用量に比例して増加した。2~3t連用区では施用開始4年後の2015年に増加し始め、9年後の2020年まで増加傾向が見られ、その後横ばいとなった。1t連用区と化学肥料単用区は施用開始4年後以降僅かな増加傾向が見られた。11年間の全窒素含有量の変化は、3t連用区では0.18%増えて0.29%、2t連用区は0.14%増えて0.27%、1t連用区は0.11%増えて0.24%となった。牛糞

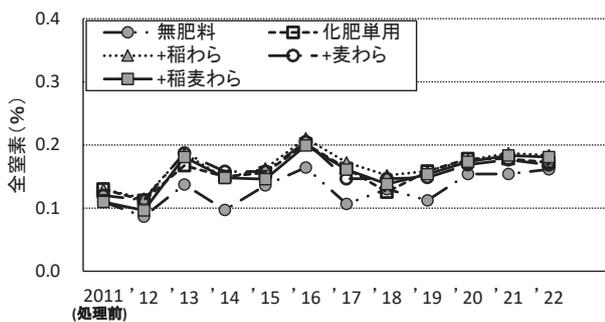


図-3 わら連用圃場における全窒素含有量の推移

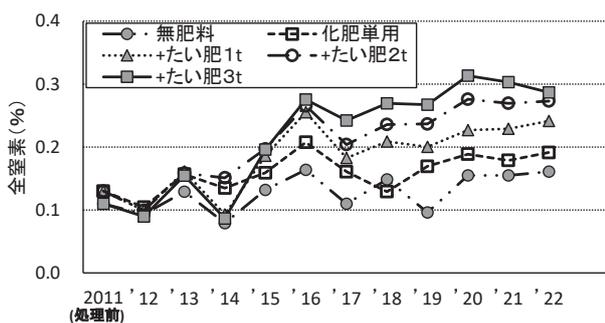


図-4 牛糞たい肥連用圃場における全窒素含有量の推移

たい肥に由来する1t当たりの全窒素増加量は化成肥料単用区の増加量0.06%を差し引いた0.04%となり、10a当たりに換算(作土深10cm仮比重1.1(2022年牛糞たい肥連用区))すると44kgに相当し、11年間に施用された牛糞たい肥1t当たりの全窒素量83kgの約50%が蓄積していると考えられた。

これらのことから、水稲-小麦と水稲-レタスのいずれの作付け体系においても、わらを連用することによる全窒素含有量の増加は認められなかった。一方で、牛糞たい肥を連用する圃場では全窒素含有量が施用量に比例して増加することが確認できたが、2~3t/10a連用圃場では施用開始9年日以降横ばいになっており、全炭素含有量と同様の傾向が見られた。

## 3. まとめ

以上のことから、中粒質普通灰色低地土の水田において水稲-小麦や水稲-レタスの栽培を行った場合、作物残渣(地上部)をすき込む一般的な水田の栽培管理では、一定の全炭素含有量が維持されることが認められた。また、炭素貯留量を増加させるためには、牛糞たい肥等難分解性有機物が多いたい肥は炭素貯留に向く(小柳ら<sup>3)</sup>)の報告のとおり、作物残渣のすき込みに加えて牛糞たい肥を施用することで全炭素含有量が増加し、その量は施用量に比例することが確認できた。このことは、土壌への炭素貯留を維持促進させ、温室効果ガスの一つである二酸化炭素の排出削減に寄与できるものと考えられた。一方で、有機物の投入量を増やして土壌中の炭素量が増加したとしても、有機物の投入は一酸化二窒素の発生を増加させる可能性があり、水田においてはメタンの増加にも留意が必要である(白戸<sup>7)</sup>)ため、これらのトレードオフについて考慮する必要がある。また、稲わら及び牛糞の投入により窒素含有量が増加すると施肥窒素の減肥が必要(出岡ら<sup>1)</sup>)の報告があることから、土壌の理化学性や作物の収量・品質等の調査を継続し、有機物の長期連用が作物の生育や品質に及ぼす影響について検討する必要があると考えられた。

## 引用文献

- 1) 出岡裕哉・宮林威佐夫・山口千香子・中川智仁・石川裕一・安田典夫(1996):三重県の農耕地土壌に関する研究(第6報)有機物連用処理が水田土壌と水稲収量に及ぼす影響,三重農技セ研報,24:87-96.
- 2) 香川県有機利用推進協議会(1989):有機利用農作物栽培手引書.

- 3) 小柳 渉・村松克久・小橋有里 (2011) : 分解特性からみたバイオマスおよび堆肥の利用方向, 新潟畜セ研報17 : 9-14.
- 4) 香西清弘・川田陽子 (2000) : 稲わらの連用が土壌の理化学性に及ぼす影響, 香川農試研報, 52 : 9-14.
- 5) 農研機構 農業環境研究部門 (2013~2022) : 農地管理実態調査の定点調査および基準点調査における土壌炭素調査実施方法 (調査マニュアル).
- 6) 関口景子・鹿沼信行 (2022) : わらすき込みが作物収量および土壌化学性に及ぼす影響, 群馬農技セ研報, 19 : 13-18.
- 7) 白戸康人 (2016) : 家畜ふん堆肥等の有機物施用による土壌の炭素貯留, 畜産環境情報, 64 : 11-22.