

茨城農総セ研報
Bull. Ibaraki
Agric. Cent.
No. 6 2024

BULLETIN
OF THE
IBARAKI AGRICULTURAL CENTER
No. 6
March 2024

茨城県農業総合センター研究報告

第6号

2024年3月

目次

レンコン栽培圃場における混種の実態解明

柏木 優・葛谷真輝・・・ 1

イネ、麦類および大豆種子の長期低温貯蔵が発芽率に及ぼす影響

岡野克紀・川崎勝己・飯島智浩・田中研一・・・ 9

センリョウ *Sarcandra glabra* (Thunb.) Nakaiの光合成特性および乾物生産

渡辺賢太・村崎 聡・高木素紀・・・ 17

茨城県農業総合センター

茨城県笠間市安居3165-1

レンコン栽培圃場における混種の実態解明

柏木 優・葛谷真輝¹⁾

(茨城県農業総合センター生物工学研究所)

要約

レンコンの DNA マーカーを用いた品種識別技術により、現地圃場における異品種混入（混種）の実態を調査した。定植前に無作為選抜した個体の肥大茎および圃場内の全個体の葉から DNA を抽出し、DNA マーカーによる品種識別を行った結果、調査した 9 圃場中 4 圃場から各 1~2 個体の異品種を検出し、その混種率は 0.4~1.5%であった。混種の主な要因は、圃場内の品種転換時の前作栽培品種の掘り残しおよび畦畔からの漏生個体であった。また、1 圃場においては、不良形状であるとして達観により選別された肥大茎の検定を行ったところ、全て異品種であった。本研究により、レンコン産地の混種の実態が明らかになるとともに、産地で実施されている混種対策のうち、種レンコンの達観選別の有効性が確認された。

キーワード：レンコン、混種、品種識別、DNA マーカー

1. はじめに

茨城県はハス (*Nelumbo nucifera*) の肥大茎であるレンコンの生産量が日本一であり、霞ヶ浦の周囲に広範囲に広がる大産地を有している。県内の産地では、‘金澄 36 号’、‘ひたちたから’、‘パワー’ など、民間の育種家や生産者が育成した、各産地に適した複数の品種が栽培されている。栄養繁殖性作物のレンコンは、作土中に形成された肥大茎を食用の生産物だけでなく、次作用の種レンコンとしても利用しており、各産地における種レンコンの維持・増殖は、各生産者もしくは産地が設置した種レンコン増殖用圃場（以下、種レンコン圃場）にて行われている。種レンコン圃場は、通常、出荷用の栽培圃場と隣接しているため、品種としての品質維持の観点から、特に異品種混入（以下、混種）を原因とした品質劣化が、常に懸念される状況にある。

採種圃場の混種の現状については、水稻の原原種圃場における報告が多く、自殖性作物である水稻の場合、混種の原因は、自然交雑（鎌形ら、1988；山内・服部、1994）、漏生株（伊藤、1984）等が報告されている。

一方、栄養繁殖性作物のレンコンにおいて混種が発生する要因は、地下茎の伸長による隣接圃場からの侵入や実生（自然交雑もしくは自殖による種子が生長した個体）（以下、実生）とともに、収穫時の圃場内もしくは収穫されにくい畦畔内での掘り残しの発生であると言われている（霞ら、2000；大橋ら、2022）。

レンコン圃場における混種の実態は、栽培品種同士の混種と実生由来の混種の 2 つが混在していると推定されているが、圃場内における詳細な実態は報告されていない。実態が不明である原因として、レンコンの品種もしくは実生が、同一もしくは異品種であることを、水田圃場における生育段階で識別することが一般に困難であることが挙げられる。現段階において、レンコンの品種の同定は、主に肥大茎の形状の達観評価により行っているため、収穫段階までは品種の識別が困難である。

一方で、形質評価による品種識別の困難な作物について、DNA マーカーによる識別技術の活用が試みられている（後藤ら、1997；臼井ら、2006）。レンコンにおいても、DNA を用いた品種識別技術が開発され、より効率的な検査手法としてダイレクト PCR 手法や DNA のバルクサンプリング法が併せて確立されている（国産レンコンのブランド力強化コンソーシアム、2019）。そこで、今後の種レンコン圃場における混種対策に資することを目的に、本研究では DNA マーカーによる品種識別技術を用いて現地の種レンコン増殖圃場（以下、圃場）における混種の実態を解明し、今後の混種対策について考察した。

1) 現 公益社団法人茨城県農林振興公社

2. 材料および方法

2020～2023年の4年間に、9圃場において品種識別技術による混種検定（以下、混種検定）を行った。各圃場の栽培品種は、茨城県の優良選抜系統‘みらい選抜’、‘ひたちたから’、‘パワー’（堀井ら、2016）であり、このうち2圃場（No.1、6）ではこの期間中に同一圃場内における栽培品種の切り替えが行われた（表1）。

表1 調査圃場の栽培歴

圃場 No.	所在地	栽培品種						
		2017年	2018年	2019年	2020年	2021年	2022年	2023年
1	土浦市	金澄20号	みらい選抜	みらい選抜	みらい選抜 ^{a,b)}	ひたちたから ^{b)}	ひたちたから ^{b)}	ひたちたから ^{b)}
2	土浦市	— ^{c)}	パワー	パワー	パワー ^{a)}	—	—	—
3	小美玉市	—	—	パワー	パワー	パワー ^{a)}	—	—
4	小美玉市	—	—	ひたちたから	ひたちたから	ひたちたから ^{a)}	—	—
5	かすみがうら市	—	ひたちたから	ひたちたから	ひたちたから ^{b)}	ひたちたから ^{b)}	ひたちたから ^{b)}	—
6	かすみがうら市	—	—	—	—	—	金澄44号	ひたちたから ^{b)}
7	河内町	—	—	—	(休作)	パワー ^{b)}	—	—
8	河内町	—	—	—	(休作)	ひたちたから ^{b)}	—	—
9	行方市	—	金澄36号	ひたちたから	ひたちたから ^{d)}	—	—	—

- a) 定植前選抜法を実施した圃場を示す。
 b) 定植後全個体法を実施した圃場を示す。
 c) —：栽培品種が不明なことを示す。
 d) 達観選抜された不良形状個体の混種検定を実施した圃場を示す。

2. 1 混種検定用試料の調製

混種検定に供試するレンコンは、現地の状況に応じ、以下の定植前選抜法もしくは定植後全個体法によりサンプリングした。なお、定植前選抜法において混種が確認された圃場 No.1（2020年）は、定植後全個体法も実施した。

2. 1. 1 定植前選抜法

各圃場で収穫された種レンコン中の混種の有無を調査した。各圃場において収穫され、種レンコン用に生産者が選抜した肥大茎を、個体数が概ね同一となるように5～7集団に分け、各集団から無作為に選抜した8～10個体からDNAを採取し、混種検定に供試した。

DNAの抽出は、国産レンコンのブランド力強化コンソーシアム（2019）の方法に準じて行った。圃場 No.1 および2では10本、圃場 No.3 および4では8本の肥大茎をつまようじで3回ずつ突き、1本のチューブに入れたDNA溶解液（TE 900 μ L、1.0%PVP 100 μ Lを混合した）内で10回攪拌し、DNAのバルクサンプルとした。

この方法は2020年および2021年の2か年において、4圃場で行った（表1）。

2. 1. 2 定植後全個体法

定植された圃場内の生育途中の個体について、混種の有無を調査した。定植から約2か月後に圃場内の全ての定植個体の葉からDNAを抽出し、混種検定に供試した。

DNAの抽出は、国産レンコンのブランド力強化コンソーシアム（2019）の方法に準じて行った。個体毎に葉をつまようじで3回突き、サンプル当り30 μ LのDNA溶解液（TE 27 μ L、1.0%PVP 3 μ Lを混合した）内で10回攪拌し、DNAを抽出した。

この方法は2020～2023年の3か年において、延べ10圃場で行った（表1）。

2. 2 DNA マーカーによる品種識別

品種識別には33品種群を9種のマーカーで識別可能なマーカーセット（国産レンコンのブランド力強化コンソーシアム、2019）を用いた（表2）。定植前選抜法および定植後全個体法による調査では、‘パワー’および‘ひ

たちたから’を異品種と識別可能なマーカー01、‘みらい選抜’を異品種と識別可能な04および20、不良形状個体の混種検定では全9種を用いた。

PCRは、2×Ampdirect[®]Plus ((株)島津製作所) 5μL、BIOTAQ[™]HS DNA Polymerase ((株)島津製作所) (5U/μL) 0.05μL、DNA マーカー0.5μL、1.0%PVP 1μL、0.1%牛血清アルブミン (BSA) 1μL、DNA サンプル 2μLを混合し、全量を10μLとした反応液を用いて行った。

PCRの反応条件は、95.0°C10分ののち、94.0°C45秒、54.0°C60秒、72.0°C45秒を10サイクル、94.0°C45秒、45.0°C60秒、72.0°C45秒を35サイクルにより増幅させ、最後に72.0°C7分を行った。その増幅産物を3500xL Genetic Analyzer (Thermo Fisher Life-technologies)を用いて検出し、Gene Mapper[®]Software ver5 (Thermo Fisher Life-technologies)により解析を行った。

表2 レンコンの品種識別に用いたDNAマーカーセット(抜粋)

品種	DNAマーカー																	
	01		04		13		15		16		18		20		24		26	
	294 ^{a)}	305	287	296	295	301	250	256	311	317	305	311	235	239	266	270	254	268
みらい選抜	+ ^{b)}	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	-	+	-
パワー	-	+	+	+	+	-	+	-	+	+	+	+	+	-	+	+	+	-
ひたちたから	-	+	+	+	+	-	+	-	+	+	+	+	+	-	+	+	+	-
金澄20号	+	+	+	+	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	-
金澄34号	+	-	+	+	-	+	-	+	+	-	+	+	+	-	+	-	+	-
金澄36号	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	-	+	-	-

a) 増幅断片長 (bp) を示す。

b) +/-: 解析によるピーク検出の有無を示す。

2. 3 混種率の算出

定植後全個体法による品種識別の結果から、圃場毎の混種率 (%) = (検出した混種個体数 / 圃場内の全個体数) × 100 として算出した。

2. 4 品種識別技術による漏生個体の確認

定植後全個体法により調査した延べ10圃場において、定植から約2か月後に圃場内のレンコンの発生位置を調査した。定植列から外れて発生した株を、前作の収穫時に掘り残された肥大茎由来の漏生個体(以下、漏生個体)として、個体数を確認するとともに、定植後全個体法による調査区と同様に葉からDNAを抽出し、混種検定に供試した。調査が終了した漏生個体は、生産者が圃場より除去した。なお、2021年の圃場No.5では、調査前に畦畔からの漏生個体を生産者が除去したため、調査できなかった。

2. 5 達観選抜された不良形状個体の混種検定

2020年に圃場No.9において生産者が達観により分類した定植前の全ての不良形状の個体(節間長が長い)(図1)の肥大茎から、定植後全個体法による調査区と同様にDNAを抽出し、混種検定に供試した。



図1 達観評価における形状評価基準

3. 結果および考察

3. 1 定植個体の混種検定

調査した9圃場の中で、調査期間内において1作期以上で混種を検出した圃場は、4圃場（No.1、5、6、9）あった（表3）。

定植前選抜法で混種検定を行った4圃場のうち、3圃場においては本法による混種は検出されなかったが、圃場No.1の5バルク中1バルクについては、異品種の混入が明らかとなった。

定植後全個体法による調査の結果、定植前選抜法で2020年に‘みらい選抜’圃場において混種が確認された圃場No.1においては、同じく2020年に、生育途中の個体でも2個体の異品種を確認した。この異品種2個体は、圃場No.1で2018年以前に栽培されていた‘金澄20号’と品種識別マーカー型が一致しなかったことから、それ以前からの掘り残しもしくは実生由来であることが推定された（表2、4）。さらに、圃場No.1では、栽培品種を‘みらい選抜’から‘ひたちたから’に転換した初年目（2021年）および2年目（2022年）には、それぞれ異品種2個体および1個体の異品種を検出した。同様に、栽培品種が転換された圃場No.6では、2023年に異品種2個体を検出した。

一方、2023年に調査した圃場No.1の‘ひたちたから’190個体、2021年に調査した圃場No.7の‘パワー’48個体、圃場No.8の‘ひたちたから’22個体から混種は確認されなかった。

以上の事から、圃場内での混種の発生は、定植前の種レンコンへの異品種の混入、圃場内における掘り残しもしくは実生由来と推定される個体によって生じることが、DNAマーカーを用いた品種識別技術により明確に示された。

表3 試験期間中に1回以上混種を検出した圃場の全検定結果

圃場No.	2020年	2021年	2022年	2023年
1	◎ ^{a)}	○	○	×
5	○	×	○	
6				○
9	●			

a) ◎：定植前選抜法および定植後全個体法で混種を検出、

●：定植前選抜法で混種を検出、○：定植後全個体法で混種を検出、

×：混種を検出しなかったことを示す。

表4 定植後全個体法により検出した混種

圃場 No.	検定年	栽培品種	供試数 (個体)	混種 (個体)	マーカー-01		マーカー-04		マーカー-20	
					294 ^{a)}	305	287	296	235	239
1	2020年	みらい選抜 ^{b)}	195	2			+ ^{c)}	+	+	-
	2021年	ひたちたから	145	2	+	+				
	2022年	ひたちたから	140	1	+	+				
5	2020年	ひたちたから	267	1	+	+				
	2022年	ひたちたから	121	1	+	+				
6	2023年	ひたちたから	135	2	+	+				

a) 増幅断片長 (bp) を示す。

b) ‘みらい選抜’ の遺伝子型はマーカー-04 の 287bp が－、‘ひたちたから’ は 01 の 294bp が－である。

c) +/－：解析によるピーク検出の有無を示す。

d) 表中の空欄は、当該マーカーを供試していないことを示す。

3. 2 品種識別技術による漏生個体の確認

定植後全個体法による調査を行った圃場 No.5 では、調査を行った 3 か年 (2020～2022 年) のいずれにおいても、畦畔に漏生個体を確認し、そのうち 2020 年、2022 年の各 1 個体は異品種であることが DNA マーカー検定によって明らかとなった。これらが確認された畦畔は隣接圃場がないことから、‘ひたちたから’ の栽培を始めた 2018 年以前に栽培されていた異品種もしくは実生由来の畦畔内の掘り残し (自然交雑もしくは自殖による種子由来の実生が生長し、形成された肥大茎が畦畔内に残存した個体) によるものと考えられた。

畦畔からの漏生個体を継続的に除去しているにもかかわらず、圃場 No.5 では、異品種が残存し続けていることが確認された。畦畔からの漏生個体が混種の主要な要因の一つであることが明らかになるとともに、産地で実施されている手作業による抜き取り等の手法では、完全な除去が困難であることが示唆された。

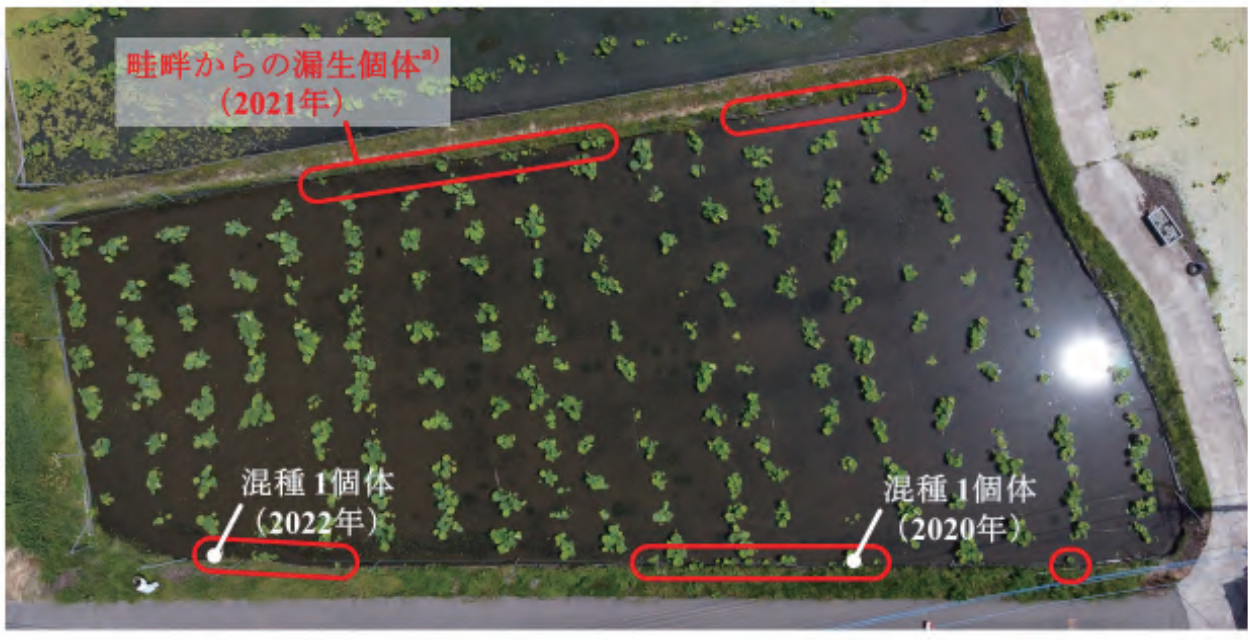


図2 圃場5の畦畔からの漏生する個体 (赤い楕円) および混種検定により検出した混種

a) 写真は茨城県農業総合センター園芸研究所野菜研究室が 2021 年に撮影したものの提供を受けた。

3. 3 達観選抜された不良形状個体の混種検定

達観選抜による不良形状 4 個体は、品種識別により全て異品種個体であることが明らかとなった (表 5)。これら 4 個体の遺伝子型は既知のいずれの品種の遺伝子型とも一致しなかったことから、実生由来であると考え

られた。一方、この検定において対照として供試した同一圃場から採取した‘ひたちたから’の正常形状 10 個体のうち、1 個体は前作に栽培されていた‘金澄 36 号’であった。

肥大茎の形状による達観選別は、生産者が栽培品種の均一性を維持するために行っている混種対策の一つであるが、その効果については未検証であった。本研究では、供試個体数は少ないものの不良形状として達観選抜した個体はすべて実生由来と考えられる異品種であった。産地では、肥大茎の節間長が長い、作土中で肥大茎が形成される位置が深いといった著しい不良形質を持つレンコン（産地により「ヤナギ」、「ヤリ」等、呼称は異なる）がしばしば発生し、栽培圃場では、出荷規格外となる、収穫作業の効率を著しく低下させる等、経営上の問題となる。達観選抜による形状評価は、実生由来の異品種を除去する手法として有効であると考えられた。一方で、達観で正常個体と評価された個体の中にも異品種が含まれていたことから、栽培品種間の識別には適さないことも併せて示唆された。

表 5 ‘ひたちたから’種レンコン増殖圃場 No.9 における不良形状個体の品種識別結果

形状	個体 No.	DNAマーカー																品種識別結果		
		01		04		13		15		16		18		20		24			26	
		294 ^{a)}	305	287	296	295	301	250	256	311	317	305	311	235	239	266	270		254	268
不良	1	+	+	-	+	+	+	+	+	-	+	-	+	-	+	+	+	-	該当なし	
	2	+	+	-	-	+	+	+	+	+	-	+	-	+	-	+	+	+	-	該当なし
	3	+	+	-	+	+	+	+	+	-	+	-	+	-	+	+	+	+	-	該当なし
	4	+	+	-	+	+	+	+	+	-	+	-	+	-	+	+	+	+	-	該当なし
正常	1~9	-	+	+	+	+	-	+	-	+	+	+	+	+	-	+	+	+	-	ひたちたから
	10	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	-	+	-	+	-	金澄36号

a) 増幅断片長 (bp) を示す。

b) +/-: 解析によるピーク検出の有無を示す。

3. 4 混種率

混種が確認された 3 圃場 (No.1、5、6) における混種率は 0.4~1.5% であり、そのうち品種転換初年目の圃場はいずれも 1% 以上の混種率であった (表 6)。

表 6 レンコンの現地圃場における混種率

圃場 No.	検定年	栽培品種	供試数 (個体)	異品種 (個体)	混種率 ^{a)} (%)	備考
1	2020年	みらい選抜	195	2	1.0	
	2021年	ひたちたから	145	2	1.4	品種転換初年目
	2022年	ひたちたから	140	1	0.7	" 2年目
5	2020年	ひたちたから	267	1	0.4	異品種は畦畔からの漏生個体
	2022年	ひたちたから	121	1	0.8	異品種は畦畔からの漏生個体
6	2023年	ひたちたから	135	2	1.5	品種転換初年目

a) 混種率 (%) = (検出した混種個体数 / 圃場内の全個体数) × 100

3. 5 総合考察

本研究における DNA マーカーを用いた品種識別技術により、これまで達観評価により行われていた産地における混種の実態がより明らかになった。圃場内での混種の発生は、定植前の種レンコンへの異品種の混入、圃場内における掘り残しもしくは実生由来と推定される個体によって生じること、品種転換時には混種が発生しやすいことが改めて確認された。従来から産地では、混種対策として、達観評価による不良形状個体の除去および圃場内における漏出個体の除去が実施されてきた。達観評価による不良形状個体の除去は、実生由来の異品種を除去する手法として有効であると考えられた一方、特に形状の類似した栽培品種間の識別には適さないことが

示唆されたことから、品種転換時には、ある程度の混種が生じる危険性は否めない。一方で、圃場 No.1 においては、品種転換後 3 年目の圃場からは混種が検出されなかったことから、種レンコンの時点で混種を除去することで圃場内の混種を回避できる可能性が示された。畦畔からの漏生個体の除去については、圃場 No.5 において、異なる年度で異なる場所に異品種の混入が確認されたことから、混種を防ぐためには、漏出個体を発見したら都度すべての漏出個体を除去する必要があると推定された。

また、DNA マーカーを用いた品種識別技術は高価な試薬や解析機器を要することから、コスト削減・簡易化が課題となっている。大橋ら (2022) は、LAMP 法を用いて愛知県の主要品種の識別技術を開発し、より簡易な爪楊枝懸濁法に供試する部位として、DNA 増幅の阻害物質の少ない側芽が適すると明らかにした。同様の技術を混種検定の全個体調査に適用するためには、阻害物質の多い葉を供試することから、DNA 増幅反応の安定化が課題となる。

4 さいごに

本研究に供試した圃場は、いずれも生産部会や研究組織が共同で管理する種レンコン増殖圃場であり、掘り残しなく収穫し、定植個体の選別や畦畔の補修を行うといった混種対策に多くの労力が割かれている。一方、生産者が個人で管理する一般的な種レンコン増殖圃場では、十分な混種対策が行われず、より多くの異品種が混入している危険性がある。そのため、レンコン生産の品質安定にむけては、既存の混種対策の励行が重要である。さらに、今後は本県の主要品種に適用可能で、安価かつ簡易に混種を検定できる手法を開発していく必要がある。

付記

本研究の一部は、「本県産レンコンブランド力向上のための優良選抜系統の安定生産技術開発試験」により実施した。

引用文献

- 後藤 晋・渡辺敦史・池田浩一 (1997) RAPD マーカーによるハゼノキの品種識別. 日本林学会誌 79 (4) : 229-233.
- 堀井 学・八城和敏・島本桂介・貝塚隆史・金子賢一・石井亮二 (2016) 茨城県における年内掘りに適したレンコン優良系統の選抜. 茨城農総セ生工研研究報告 15 : 41-51.
- 伊藤順之輔 (1984) イネ種子生産圃場における Contamination について. 日本作物学会中国支部研究集録 26 : 25-26.
- 鎌形民子・長谷川理成・畠山富治・藤代 淳 (1988) 水稻採種栽培におけるもち品種のうるち化現象. 千葉県原種農場研究報告 10 : 13-25.
- 霞 正一・八城和敏・佐久間文雄・林 幹夫 (2000) 繊維強化プラスチック製大型容器を用いた食用ハス遺伝資源の簡易保存と交配育種への利用. 茨城農総セ生工研研究報告 3 : 59-65.
- 国産レンコンのブランド力強化コンソーシアム (2019) 品種識別マニュアル レンコン編 2019. 茨城大学農学部 (連絡先: 久保山 勉).
- 大橋博子・市川あゆみ・鈴木良地・水上優子 (2022) LAMP 法による愛知県産レンコンの品種識別技術の開発. 愛知県農業総合試験場研究報告 54 : 103-106.
- 臼井裕一・足立静香・紙谷元一・中島寿亀・山本義久・鈴木忠直・安井明美 (2006) タマネギの品種識別用 DNA マーカーの開発. 日本食品科学工学会誌 53 (9) : 498-504.
- 山内敏美・服部 勲 (1994) 採種圃場におけるこぼれ籾発芽の品種間差異とこぼれ籾発生苗の防除法. 東北農業研究 47 : 11-12.

The Actual Situation of Variety Contamination in Lotus Root Cultivation

Yuu KASHIWAGI¹ and Maki KUZUYA

Summary

We investigated the actual situation of variety contamination in 9 local fields of lotus root (*Nelumbo nucifera*) with DNA marker fingerprinting. DNA was extracted from seed rhizomes and leaves. Variety contamination was confirmed in 4 fields, with incidence rates of 0.4-1.5%. The main causes of variety contamination were unharvested seed rhizomes from fields and ridges during variety conversion. In one field, all poorly-shaped seed rhizomes removed by observation were from different varieties. This study shows the effectiveness of local countermeasures against variety contamination, such as selection by observation of seed rhizomes.

Keywords: lotus root, variety contamination, variety identification, DNA marker

¹ Address: Plant Biotechnology Institute, Ibaraki Agricultural Center, 3165-1 Ago, Kasama, Ibaraki 319-0292, Japan

イネ、麦類および大豆種子の長期低温貯蔵が発芽率に及ぼす影響

岡野克紀¹⁾・川崎勝己²⁾・飯島智浩³⁾・田中研一⁴⁾

(茨城県農業総合センター農業研究所)

要約

9年以上の長期低温貯蔵したイネ、麦類および大豆種子の発芽率を調査するとともに、大豆についてはほ場における出芽率および生育を調査した。庫内温度 13°C、相対湿度 35%の条件下において、いずれも高い発芽率が維持された。また、イネおよび大豆では発芽率の低下に品種間差があった。1~9 年間低温貯蔵した大豆の出芽率はいずれも 90%以上を示したが、貯蔵期間が長いほど出芽揃いまでの期間は長くなった。種子の貯蔵期間と大豆の生育、収量および品質に関連はなく、生産した種子はいずれも高い発芽率を示した。

キーワード：イネ、麦類、大豆、種子、発芽率、低温貯蔵

1 はじめに

イネ、麦類、大豆といった作物の種子は主要農作物種子法により、都道府県にその生産が義務付けられていたが、同法は 2018 年に廃止された。同法廃止後、茨城県では 2020 年に茨城県主要農作物等種子条例を策定し、これまで同様に県が主体となり種子生産を継続しており、他の多くの道県においても同様に条例や要綱・要領等を制定している。種子生産においては、需要を調査・把握したうえで計画的に増産・供給することが必要であるが、種子生産計画は実際の供給の 2 年前に立案するため、市場ニーズや政策の転換により需要と供給のミスマッチが発生することがある。また、気象災害や混種などの種子事故で計画した数量の種子の確保が困難な場合もある。このような場合に備え、各県の種子協会は前年度までの余剰種子を備蓄種子として確保していることが多い。しかし、備蓄種子は発芽率や発芽勢の低下の懸念があることから生産者が進んで利用することは少なく、結果的に処分されることが多い。生産者は備蓄種子の発芽率、発芽勢および生育等が当年産種子より低いと懷疑しており、これを払拭できれば備蓄種子の利用も進み、より計画的な種子の生産が可能となる。

貯蔵種子の発芽率に関する調査はこれまでも行われており、佐藤（1991）は配布用種子貯蔵庫（温度 -1°C、相対湿度 30%）で 16~20 年間貯蔵した大豆、大麦、小麦種子の発芽率は 90%以上を示したと報告している。また椎名ら（2001）は長期保存実験における中間結果としてオオムギ、イネ、コムギ、トウモロコシ、ダイズの順で長期貯蔵に耐え、室温における紙袋保存は発芽率低下が著しいとしている。茨城県の種子生産において、種子は紙袋を包装資材とし低温貯蔵（温度 13°C、相対湿度 35%）されており、遺伝資源の長期保存を目的としたこれら報告に対し、やや高温の貯蔵条件であり、種子の劣化が懸念される。また、大豆はイネ、麦類に比べ発芽率が低下しやすく、毎年全品種の原原種、原種および一般種子の生産を行っていることから、備蓄種子による種子の確保は想定されておらず、災害などで種子生産量が計画に満たない場合、一般生産物の生産量にも影響が及ぶ恐れがある。

そこで、本試験では、低温貯蔵によるイネ、麦類および大豆の発芽率の推移に加え、ほ場における大豆の出芽率や生産力に及ぼす影響を調査した。

2 材料および方法

2.1 材料

発芽試験には収穫調製後、紙袋に入れ種子低温貯蔵庫（小糸製作所）内で庫内温度 13°C、相対湿度 35%で貯蔵したものをを用いた。品種としてイネでは‘あきたこまち’、‘コシヒカリ’、‘マンゲツモチ’および‘トヨハタモチ’、麦類では小麦‘農林 61 号’、大麦‘カシマムギ’および‘ミカモゴールドン’、大豆では大粒品種‘タチナガハ’、‘ハタユタカ’および小粒品種‘納豆小粒’を用いた。表 1 に示す複数産年の種子を用い、イネは低温貯蔵 1 年目から 17 年目、麦類は低温貯蔵 1 年目から 16 年目、大豆は低温貯蔵 1 年目から 10 年目に

1) 現 茨城県農業総合センター生物工学研究所 2) 現 茨城県県南農林事務所経営・普及部門

毎年発芽試験を実施したデータを用いた。

2. 2 低温貯蔵種子の発芽試験

発芽試験は植物種ごとに次のとおり実施した。イネでは種子 100 粒を 0.5%ベノミル・チウラム（商品名「ベンレート T 水和剤 20」）水溶液に室温で 24 時間浸漬し、吸水および表面殺菌処理を行った。処理後、蒸留水ですすいで表面の薬液を落とし、ペーパータオルで表面の水分を除去した。その後、直径 13cm のガラスシャーレに分注した 0.6%寒天培地上に置床し、庫内温度 30℃の恒温器内で発芽処理を行った。鞘葉および種子根が 1cm 以上伸長したものを発芽とし、置床 7 日後にその数を計測した。麦類では種子 100 粒を庫内温度 5℃の恒温器内で 0.1%ベノミル・チウラム水溶液に 24 時間浸漬し、吸水および表面殺菌処理を行った。処理後、蒸留水ですすぎ表面の薬液を落とし、ペーパータオルで表面の水分を除去した。その後、直径 13cm のガラスシャーレに分注した 1.2%寒天培地上に置床し、庫内温度 25℃の恒温器内で発芽処理を行った。イネと同様に鞘葉および種子根が 1 cm 以上伸長したものを発芽とし、置床 7 日後にその数を計測した。大豆は培地として水を混和したオガクズを用いた。オガクズの水分は、やや強く握った際に指の隙間から水が染み出る程度に調整した。直径 13cm のシャーレに厚さ 1cm になるようオガクズを詰め、‘タチナガハ’ および ‘ハタユタカ’ は 50 粒、‘納豆小粒’ は 100 粒を置床した後、さらに種子が隠れる程度にオガクズで覆い、庫内温度 30℃の恒温器内で発芽処理を行った。子葉が展開し、種子根が 1cm 以上伸長したものを発芽とし、置床 7 日目までに発芽した割合を発芽率とした。各品目の発芽率の算出方法は次のとおりとした。産年別の低温貯蔵後の種子発芽率を算出し、複数の産年別発芽率を平均したものを平均発芽率、複数産年のうち、最も発芽率の低かった発芽率を最低発芽率とし、作物および品種毎に低温貯蔵による推移を調査した。発芽試験は各産年それぞれ 3 区制で実施した。なお、複数産年の種子が用意できなかった ‘あきたこまち’ の貯蔵 14 年、15 年、‘コシヒカリ’ の貯蔵 14~16 年、‘カシマムギ’ の貯蔵 13 年、‘ミカモゴールドン’ の貯蔵 13、14 年および大豆の貯蔵 10 年はいずれも単一産年種子のみを供試した。

2. 3 低温貯蔵した大豆種子の出芽率と生育量

試験は 2016 年に実施した。材料には 2007 年から 2015 年に生産した ‘ハタユタカ’ および ‘納豆小粒’ の原原種を用いた。農業研究所転換畑（表層腐食質黒ボク土）に畝間 60cm、株間 15cm の栽植密度で 1 株 2 粒播きとした。子葉が展開したものを発芽とし、播種 4 日後、6 日後および 7 日後に出芽数を計測した。初生葉が展開した後に間引きし、1 株 1 本仕立てとした。成熟後、各区 10 本を抜き取り、主茎長、主茎節数、分枝数、1 株莢数を測定した。測定、風乾後に脱粒し、子実重および百粒重を測定した。収穫した種子は前述の方法で発芽試験に供し、発芽率を算出した。

表 1 発芽試験に供試した原原種種子および産年

品目	区分	品種名	産年
イネ	水稻粳	あきたこまち	1994年、2002年、2006年、2008年、2012年
		コシヒカリ	2000年、2003年、2005年、2008年、2011年、2014年
	水稻糯 陸稻糯	マンゲツモチ	1995年、1999年、2002年、2006年、2009年、2015年
		トヨハタモチ	
麦類	小麦	農林61号	2000年、2001年、2003年~2009年
	六条大麦	カシマムギ	2003年、2004年、2005年、2008年、2010年、2012年、2015年
	二条大麦	ミカモゴールドン	2002年、2004年、2005年、2007年、2009年、2011年、2013年、2014年
大豆	大粒	タチナガハ	
		ハタユタカ	2007年~2016年
	小粒	納豆小粒	

3 結果

3. 1 低温貯蔵した種子の発芽率

イネ発芽試験の結果を図 1 に示す。各品種ともに貯蔵 10 年目までは平均発芽率が 90%以上であり、明確な差はみられなかったが、11 年目に ‘あきたこまち’、12 年目に ‘トヨハタモチ’、14 年目に ‘マンゲツモチ’、15 年目に ‘コシヒカリ’ で平均発芽率が 90%未満となり、品種毎に差があった。また、平均発芽率が 90%未満

となった後には徐々に発芽率が低下し、‘あきたこまち’では11年目に82%、12年目に78%、13年目に65%、‘トヨハタモチ’では12年目に78%、13年目に71%、14年目に51%、‘マンゲツモチ’では14年目に88%、15年目は93%だったが、16年目に73%となった。なお、17年目以降は未調査のため‘コシヒカリ’の発芽率低下の推移は確認できなかった。最低発芽率は‘トヨハタモチ’が貯蔵6年目で一旦89%となり、90%未満に達するのが最も早かったが、他の品種では貯蔵9年目まで90%以上であった。また、他の3品種に比べて最低発芽率の低下も著しく、11年目の87%から12年目には47%となり、14年目以降は30%未満となった。平均発芽率と異なり、9年目以降の発芽率は‘あきたこまち’より‘マンゲツモチ’が低かった。最低発芽率においても‘コシヒカリ’は他の品種に比べ高く、14年目までは90%を下回らなかった。

麦類の結果を図2に示す。供試した3品種とも貯蔵期間においても平均発芽率は90%を下回らなかった。小麦‘農林61号’および二条大麦‘ミカモゴールドン’は97~99%であり、六条大麦‘カシマムギ’は94~97%であった。最低発芽率では‘ミカモゴールドン’は平均発芽率と同様に97~100%と高く、異なる産年でもほぼ同様の発芽率だった。一方、‘カシマムギ’は産年間で差があり86~97%とばらつきが大きくなった。なお、麦類の3品種とも調査した貯蔵期間内における発芽率の明らかな低下は確認できなかった。

大豆の結果を図3に示す。供試した3品種とも貯蔵9年目までの平均発芽率は90%以上であった。‘ハタユタカ’および‘納豆小粒’の最低発芽率は平均発芽率とほぼ同じであったが、‘タチナガハ’では貯蔵5年目および7年目は91%、貯蔵6年目は82%と低下しており、平均発芽率との差があった。貯蔵10年目の発芽率は2007年産のみの結果ではあるが、‘タチナガハ’は72%、‘ハタユタカ’は89%、‘納豆小粒’は96%であり、大粒品種に比べ小粒品種‘納豆小粒’は発芽率が低下しにくい傾向であった。

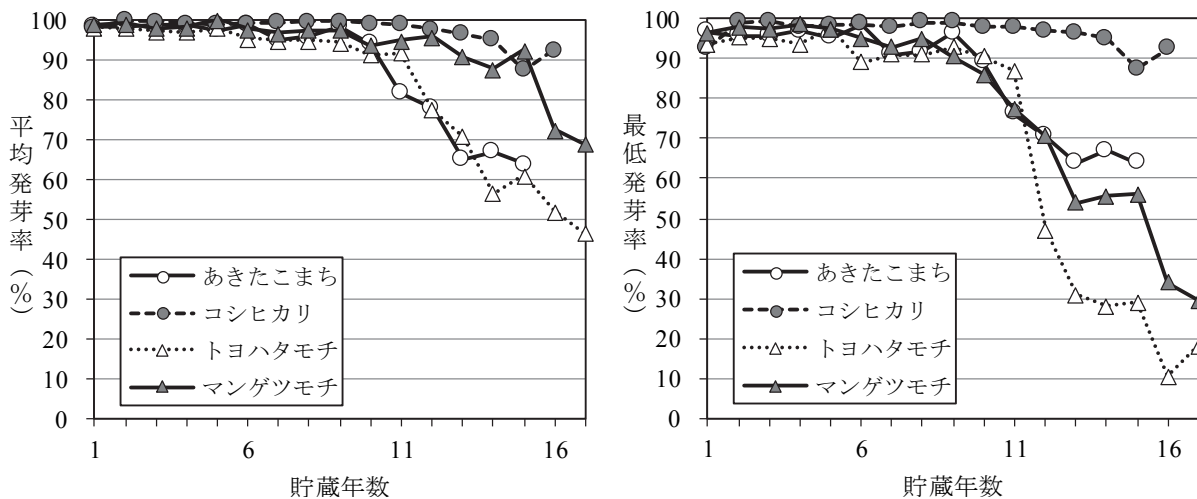


図1 イネ貯蔵種子の発芽率

左：平均発芽率、右：最低発芽率。各品種とも1~6産年の平均値および最低値。

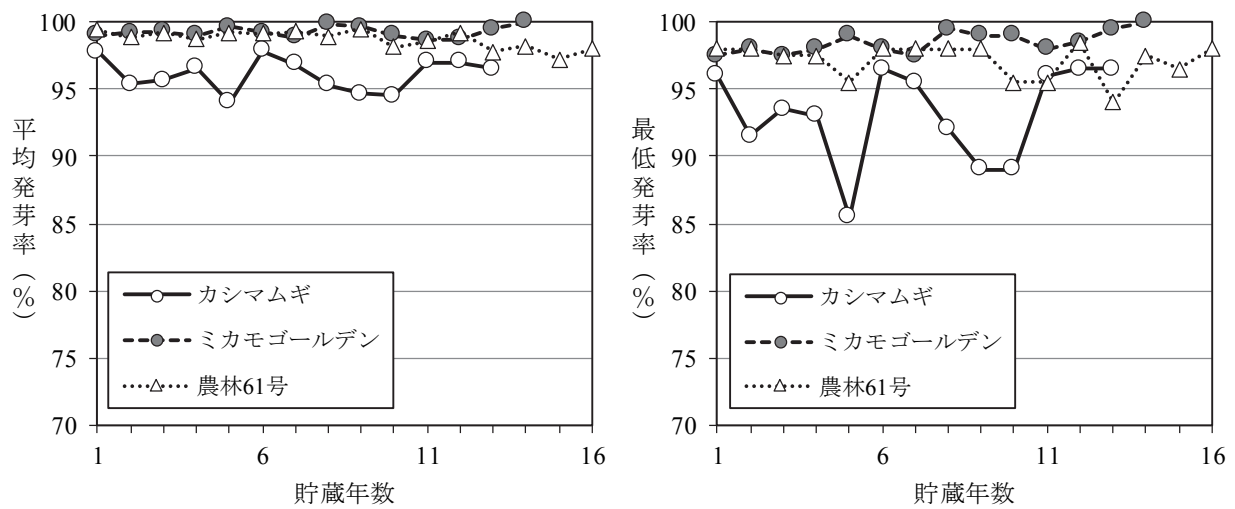


図2 麦類貯蔵種子の発芽率

左：平均発芽率、右：最低発芽率。各品種とも1～9産年の平均値および最低値。

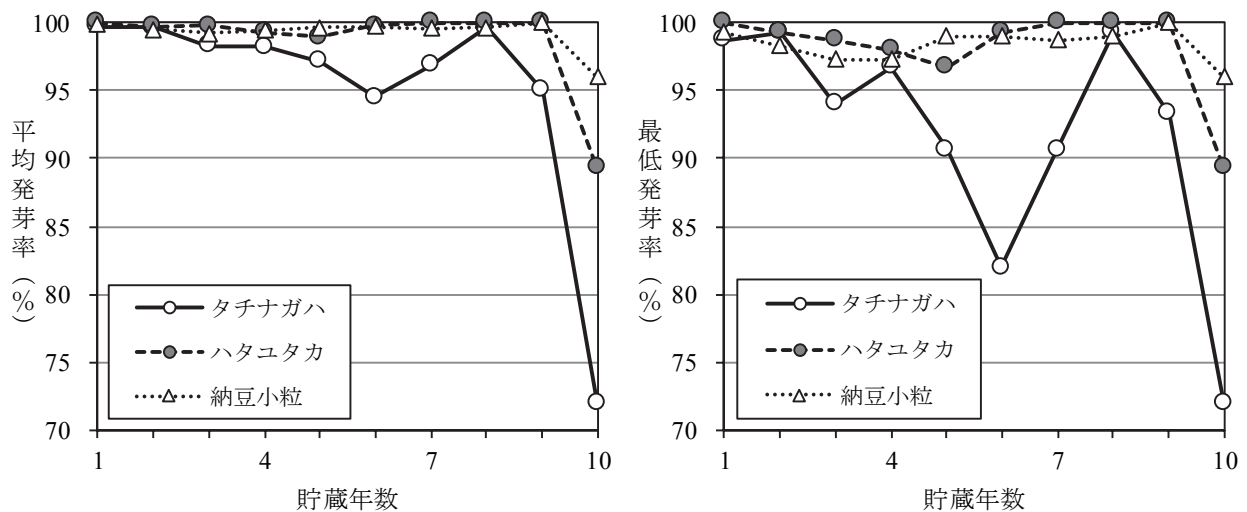


図3 大豆貯蔵種子の発芽率

左：平均発芽率、右：最低発芽率。各品種とも1～9産年における平均値および最低値。

3. 2 低温貯蔵した大豆の出芽率

1～9年間低温貯蔵した種子のほ場における出芽率は‘ハタユタカ’が90～100%、‘納豆小粒’が93～100%と高い値を示した。なお、事前の発芽試験では両品種の出芽率は97～100%であり、発芽率と比べ出芽率は低くなった。出芽勢の把握のため、播種4日後、6日後および7日後の出芽率を計測したところ、‘ハタユタカ’では1～2年の種子で播種4日後の出芽率は85%以上となり、6日後には100%となった。3～5年の種子では、4日後の出芽率は55～73%、6日後には93～98%となりほぼ出芽揃いとなった。6～8年の種子では4日後の出芽率は17～32%と低いが、6日後には88～98%に達した。9年の種子では4日後の出芽率1.7%と著しく低く、6日後に80%、7日後に90%に達した。‘納豆小粒’では貯蔵1～4年目の種子は播種4日後の出芽率が97～100%でほぼ出芽揃いに達していた。また、5～8年の種子では4日後で47～80%、6日後で92～98%に達したが、9年の種子の4日後出芽率は17%と低かったが、6日後で90%、7日後には95%に達した。同一の貯蔵期間において‘納豆小粒’種子の出芽勢は‘ハタユタカ’に比べ高かった(図4)。

3. 3 貯蔵種子の生育および収量

ほ場での貯蔵種子の生育を表2に示す。‘ハタユタカ’では開花期は8月5日～6日であった。生育量について、主茎長は51.3～57.6cm、主茎節数は12.7～13.6節、分枝数は4.2～5.2本であった。株あたりの莢数は52.7～59.4莢、精子実重は22.0～28.9kg/a、百粒重は30.1～32.5gであった。‘納豆小粒’では開花期は8月11日～13日であった。生育量について、主茎長は54.3～63.5cm、主茎節数は16.7～17.3節、分枝数は5.6～7.6本であった。株あたりの莢数は128.7～157.1莢、精子実重は23.8～29.4kg/a、百粒重は10.6～11.4gであった。開花期および精子実重を除き、HSD法により検定を行ったところ、主茎長等の項目で貯蔵期間の違いによる有意差を検出したが、両品種ともいずれの項目においても貯蔵期間の長さとは各項目の間に明らかな傾向は認められなかった。収穫した種子の発芽率を発芽試験により確認したところ、両品種でいずれの区とも99～100%であった(表2)。

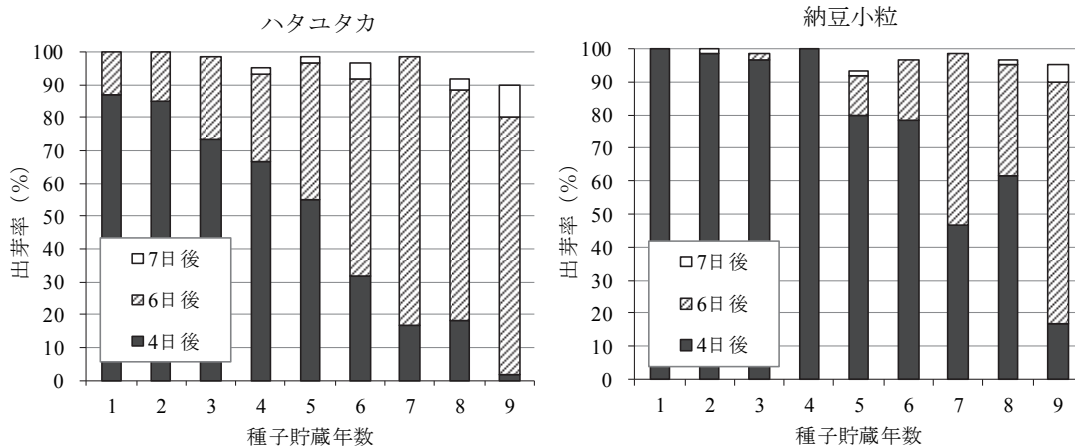


図4 低温貯蔵期間の違いによる大豆種子の出芽率
ほ場に60粒を播種し、子葉が地表に出てきたものを出芽とした。

表2 種子貯蔵期間の違いによる大豆の生育、収量および発芽率

品種名	貯蔵年数	開花期 (月.日)	主茎長 (cm)	主茎節数 (節)	分枝数 (本)	莢数 (莢/株)	粗子実重 (kg/a)	精子実重 (kg/a)	百粒重 (g)	採種種子発芽率 (%)
ハタユタカ	1	8.05	56.8 ^c	13.1	5.2	55.6	30.4	28.1	32.5 ^d	100
	2	8.05	56.9 ^c	13.4	5.2	59.4	31.3	28.9	32.1 ^{cd}	100
	3	8.05	57.6 ^c	13.6	5.0	58.6	25.1	23.4	32.0 ^d	100
	4	8.05	51.3 ^a	12.7	4.2	52.7	24.2	22.0	31.3 ^b	100
	5	8.06	55.5 ^{bc}	13.5	4.4	59.0	26.4	23.9	30.1 ^a	100
	6	8.06	52.3 ^{ab}	13.3	4.8	52.8	25.0	23.1	30.6 ^a	100
	7	8.05	53.7 ^{abc}	13.0	4.6	58.2	26.6	24.8	31.7 ^{bc}	99.3
	8	8.05	54.9 ^{abc}	12.9	4.7	55.9	26.0	23.6	30.6 ^a	98.7
	9	8.05	55.5 ^{bc}	13.5	4.6	54.8	27.4	25.5	31.5 ^{bc}	100
納豆小粒	1	8.12	58.5 ^{abc}	17.1	6.3 ^{ab}	157.2	24.1	22.3	11.4 ^e	100
	2	8.12	63.5 ^c	17.3	5.9 ^a	156.9	28.2	27.0	10.7 ^{ab}	100
	3	8.12	61.0 ^{bc}	17.2	7.6 ^b	146.0	23.8	22.7	10.5 ^a	100
	4	8.12	57.7 ^{abc}	16.8	5.8 ^a	151.0	28.8	26.7	11.2 ^{de}	100
	5	8.12	56.2 ^{abc}	16.9	6.1 ^a	146.7	25.3	22.9	11.0 ^{cd}	100
	6	8.12	58.7 ^{abc}	16.7	6.0 ^a	131.1	24.8	23.8	10.8 ^{abc}	100
	7	8.12	59.7 ^{abc}	17.2	5.6 ^a	140.4	25.4	23.2	10.9 ^{bc}	99.7
	8	8.11	63.0 ^c	17.2	6.3 ^{ab}	157.1	29.4	27.8	10.6 ^{ab}	100
	9	8.13	54.3 ^a	16.8	6.1 ^a	128.7	25.3	23.5	10.8 ^{bc}	100

精子実重は丸目篩(ハタユタカ：粒径7.2mm以上、納豆小粒：粒径4.9mm～6.0mm)調製による異なる英小文字間において5%水準の有意差あり (HSD法)

4 考察

イネ、麦類および大豆の種子の発芽率等の品質基準は主要農作物種子法、その廃止後は種苗法に定められており、この基準を満たすものが流通している。通常はイネ、大豆は前年、麦類は当年に生産された種子が供給されるが、種子需給や生産状況によっては貯蔵した種子が供給される。農作物生産の基礎となることから、生産者の種子の品質に関する意識は高く、貯蔵された種子は発芽率や生育の低下が不安視され、好んで使われることは少ない。しかし、貯蔵種子の利用は計画的かつ効率的な種子生産や備蓄種子の有効活用につながることを期待される。そこで、本試験では貯蔵種子活用に資するため、イネ、麦類および大豆の貯蔵種子の発芽率および大豆貯蔵種子の生産力を調査した。

低温貯蔵した種子の発芽率について、イネでは貯蔵期間 10 年までは平均発芽率は 90%以上を維持していたが、その後低下した。麦類は長期貯蔵後においても発芽率は低下しにくかった。大豆では貯蔵 10 年目に発芽率が顕著に低下した。椎名ら (2001) は 15°C 又は 25°C で貯蔵した場合、イネ等 6 作物の種子の発芽率は貯蔵期間に従い低下し、イネは初期の発芽率は高いが 13 年後にはかなり低下すると報告している。本試験の結果においても発芽率は 10 年を境に低下する傾向があり、調査した 3 作物では麦類、イネ、大豆の順で貯蔵後の発芽率の低下しにくかったことは、これに一致した。また、浅山ら (2015) も 9~20 年貯蔵した遺伝資源種子の発芽率について、水稻では 80%以上の割合が高く、小麦の発芽率の低下はわずかであるが、大豆は水稻や小麦に比べ低下が著しく、経過 9 年目から発芽率が 50%未満の遺伝資源があったとしている。本試験においても大豆の発芽率は貯蔵 10 年目に大きく低下したが、以降のデータが取れなかったため、発芽率の低下の傾向を追うことはできなかったが、10 年目以降は同様に低下すると推察される。各作物の品種別では、水稻では‘マンゲツモチ’および‘トヨハタモチ’の糯品種で最低発芽率の低下が顕著であった。辻本・和泉 (2009) は 1 年間常温貯蔵した種子において、試験年次によっては糯品種および低アミロース品種の発芽率が著しく低下したと報告しており、この結果から糯品種は粳品種に対し発芽率が低下しやすいことが示唆された。麦類では試験を通して大麦の‘カシマムギ’の発芽率が相対的に低くなった。椎名ら (2001) は大麦が小麦に対し発芽率の低下が起りにくくしており、本試験ではこの報告と反する結果が得られたが、これは‘カシマムギ’の品種特性又は採種時の環境要因によるものと思われる。大豆では小粒品種の‘納豆小粒’が大粒品種に比べて貯蔵 10 年後の発芽率低下はわずかであり、種子が小さいことが劣化や急激な吸水による悪影響を防いでいるものと考えられた。

貯蔵により発芽率が最も低下しやすい大豆について、ほ場での出芽率および生産力を調査した。出芽率はいずれの区においても 90%以上に達したが、貯蔵期間が長くなると出芽までに要する期間は長くなり、‘ハタユタカ’では播種 4 日後の出芽率は貯蔵 1~2 年目では 85%を超えていたが、貯蔵 9 年目ではわずか 1.7%であった。‘納豆小粒’においても出芽率は高かったが‘ハタユタカ’同様に長期貯蔵によって出芽揃いまでの日数は長くなった。種子が発芽するためには、まず吸水が行われるが、長期貯蔵した種子では貯蔵中の乾燥により含水率が低下 (大久保・松本、2013) し、播種後発芽に十分な種子水分に達するまで長い期間を要したためと思われる。一方、種子水分が少ないほど種子寿命は長い (二瓶、1992) が、秋田県では播種前に種子水分を 15%前後に調製する調湿種子技術 (国立ら、2006)、と組み合わせることで長期貯蔵した大豆原原種の発芽勢を向上できたとしている (佐藤、2018)。

長期貯蔵した種子の生育について、内川ら (2012) は前年産種子と恒温倉庫で 1 年貯蔵した種子の生育および収量について、調査したいずれの項目についても有意な差はなく、同様に種子として供給可能であることを示唆している。佐藤 (2018) は貯蔵 1 年目、6 年目、7 年目および 8 年目の大豆品種‘リュウホウ’の種子を用いた試験結果として、貯蔵 7 年目の種子では出芽率の低下、8 年目の種子では 1 株子実重の低下により収量が低下したとしている。また Matsue et al. (2005) は発芽率 80%以上の種子を用いた試験において、貯蔵 7 年 7 カ月までは生育や収量は変わらないが、10 年 7 カ月では収量および品質が劣るとしている。本試験では貯蔵 1~9 年目の生育、収量を調査したが、貯蔵期間の違いによる傾向は確認されず、苗立ちが確保できれば生育および収量に影響がないことが示された。また、採種した種子に関しても発芽率は 99~100%であり、種子生産においても貯蔵した原原種および原種使用の可能性が示唆され、大粒品種‘ハタユタカ’は 2 年間、小粒品種‘納豆小粒’は 4 年間の低温貯蔵では種子生産において影響がないことが示された。

以上のことから低温貯蔵した場合、イネ種子は 10 年、麦類種子は 12 年、大豆種子は 9 年にわたり高い発芽率を維持することを明らかにした。また、大豆貯蔵種子では貯蔵期間が長くなると出芽率および出芽勢は低下するが、大豆の生育、収量および採種種子の発芽率に違いはなかった。本試験で得られた貯蔵種子利用の可能性に

関する知見が将来の種子の計画的な生産と安定供給につながることを期待する。

謝辞

本試験では、農業研究所作物研究室原原種調査室で蓄積した発芽率試験の結果を使用した。これまで種子生産の基礎となる原原種生産に携わってきた歴代の担当者および庶務課分室の方々に対し、ここに記して心より感謝の意を表す。

引用文献

- 浅山 聡・鈴木和織・荒木和哉（2015）貯蔵期間と老化処理が主要農作物種子の発芽率へ及ぼす影響. 育種・作物学会北海道談話会会報 56 : 110-111.
- 国立卓生・金谷 豊・梅田直円・長坂善禎・堀金明美・吉田 充（2006）ダイズ出芽安定化のための種子水分調整方法. 関東東海北陸農業研究成果情報 平成 17 年度.
http://naro.go.jp/project/results/laboratory/narc/2005/narc05_19.html（2023 年 8 月 31 日アクセス）.
- Matsue, Y, O.Uchikawa, H.Sato and K.Tanaka (2005) Productivity of Soybean Seeds Stored for Various Periods. Plant Prod. Sci.8(4) : 393-396.
- 二瓶信男（1992）水稻・大豆・麦類種子の貯蔵方法と寿命. 農業および園芸 67 : 779-784.
- 大久保和男・松本一信（2013）黒大豆‘丹波黒’における種子の簡便な長期保存方法. 岡山県農業研報 4 : 33-37.
- 椎名次男・江花薫子・坂口 進（2001）遺伝資源種子の長期保存における貯蔵条件の比較－イネ、コムギ、オオムギ（皮性および裸性）、トウモロコシおよびダイズの 13 年間にわたる生存率－. 農業生物資源研究所研究資料 16 : 1-19.
- 佐藤 馨（2018）調湿処理を用いた大豆原原種の貯蔵期間. 秋田県農業試験場研究報告 56 : 81-87.
- 佐藤 賢（1991）作物種子の長期貯蔵と寿命に関する研究. 農業生物資源研究所報告 6 : 95-110.
- 辻本淳一・和泉 佳（2009）貯蔵条件及び穏当親戚が水稻種子の発芽率に与える影響. 日本作物学会東北支部会報 52 : 5-7.
- 内川 修・田中浩平・岩渕哲也・宮崎真行・平田朋也（2012）大豆種子の貯蔵条件と発芽能力との関係. 福岡県農業総合試験場研究報告 31 : 13-15.

Effects of Long-Term Low-Temperature Storage on Germination Rate of Rice, Barley, Wheat and Soybean Seeds

Katsunori OKANO¹, Katsumi KAWASAKI, Tomohiro IJIMA and Kenichi TANAKA

Summary

In this study, we investigate the germination rate of rice, barley, wheat and soybean seeds stored under low-temperature, humid conditions. A high germination rate was maintained under the conditions of 13°C internal temperature and 35% relative humidity. In rice and soybean, there was a difference in germination rate between varieties.

The emergence rate of soybean seeds stored at low temperature for 1 to 9 years was over 90%, and there was no relationship between the growth and storage periods of seeds. All the soybean seeds produced from stored seeds showed a high germination rate.

Keywords: rice, barley, wheat, soybean, seed, germination rate, low-temperature storage

¹ Address: Agricultural Research Institute, Ibaraki Agricultural Center, 4203 Kamikuniichou, Mito, Ibaraki 311-4203, Japan

センリョウ *Sarcandra glabra* (Thunb.) Nakai の光合成特性および乾物生産

渡辺賢太・村崎 聡¹⁾・高木素紀

(茨城県農業総合センター鹿島地帯特産指導所)

要約

正月飾り用切り枝であるセンリョウ *Sarcandra glabra* (Thunb.) Nakai は陰性植物であるため、竹を編んだ「竹簾 (たけす)」で囲われた遮光施設で栽培されるが、資材不足等により新たな遮光方法、施設が求められている。しかし、遮光栽培試験に取り組むための基礎的知見となる光合成特性や乾物生産に関する知見は乏しい。そこで、本研究では、慣行の竹簾遮光施設の栽培環境について把握するとともに、センリョウ個葉の光-光合成曲線、時期別乾物生産を調査した。慣行の遮光施設の月別の日平均気温は3.4~26.7°Cで、日平均照度は1,371~3,873lx、日最大照度は3,615~12,086lxであった。センリョウの光-光合成曲線を推定した結果、光飽和点は葉温とともに上昇し、20~30°Cの間では144~374 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ であった。また、時期別の乾物生産量は、8~12月、2~4月の間に株全体の乾物重が増加した。乾物生産の成長解析から、4~10月は相対成長速度が速く、10~12月、2~4月はやや低下し、12~翌年2月には負の値を示した。以上から、慣行の竹簾遮光施設はセンリョウの生育に適した栽培環境であること、8~12月、2~4月はセンリョウの乾物生産に重要な時期であることが明らかとなった。

キーワード：陰性植物、光-光合成曲線、光強度、気温、成長解析

1. はじめに

センリョウは茨城県切り枝類の主要品目である。本県では神栖市(旧波崎町)を中心に栽培されており、東京都中央卸売市場における取扱金額は2010年から12年連続1位、2021年については2.1億円で東京都のシェア56%を占める(茨城県営業戦略部東京渉外局県産品販売促進チーム、2022)。センリョウは常緑樹で、果実は11月中旬頃から赤や黄色に着色し、冬でも緑色の葉と果実のコントラストが美しく、名前が富を象徴する「千両」を連想させるため、正月飾り用として安定した需要がある。

センリョウは日陰を好む陰性植物であるため、本県では竹簾で組んだ遮光施設で栽培されている。竹簾とは、モウソウチクを長さ1.8mまたは2.7mに切り、幅2cm程度に割ったものを針金ですだれ状に編んだ竹材である。センリョウは、この竹簾で四方を覆われた遮光施設で栽培される(Fig. 1)。施設内では、株間25~35cmでベッド幅30~45cmに1条もしくは2条植えとし、10a当たり約5,500株の栽植密度で栽培される。センリョウは、毎年春から夏にかけて株元から発生した新梢を、開花結実後の翌年冬に株元から収穫して切り枝とし、同一株から10年以上収穫し続ける永年性作物である。一方、竹簾の耐用年数は6~7年であり、生産者は6~7年おきに新たに竹簾を購入し、張替え作業を実施している。近年、国内の竹簾資材業者が減少してきていることに加え、円安等により中国産の竹簾資材も値上がりしており、センリョウ農家からは、竹簾以外の遮光方法による栽培体系の確立が望まれている。竹簾に代わる新たな遮光方法を確立するためには、それと同等の栽培環境を整える必要があるが、施設内の照度や気温といった栽培環境について詳細に調査した報告はなく、客観的な指標がない。さらに、新たな栽培施設における栽培に必要なセンリョウの養分吸収特性についても不明である。

一方で、施設園芸や畑作物分野では、対象となる作物の個葉の光合成速度を測定し、光飽和点や光補償点を明らかにすることで作物に適した光環境や温度条件の指標としてきた(和田ら、2010; Shimada et al., 2017)。また、個葉だけでなく株単位もしくは群落単位で、光合成産物である乾物生産量を調査し、乾物生産の最大化につながる光環境が研究されている(東出、2018)。さらに、レンコンでは時期別の乾物生産量を把握することで、養分吸収特性に応じた施肥体系が確立されている(小田部・飯村、2015)。

そこで、本研究では竹簾に代わる新たな遮光栽培体系の確立に向けて、慣行の竹簾遮光施設内の栽培環境を把握するとともに、センリョウ個葉における光-光合成曲線や時期別乾物生産量の変化から栽培環境や肥培管理の指標を明らかにすることを目的として試験を実施した。

1) 現 県南農林事務所経営・普及部門



Fig. 1 Exterior view of the shading facility, called as a “takesu” in Japanese, for *Sarcandra glabra* cultivation made by cutting bamboo into fine boards.

2. 方法

2. 1 慣行の竹簾遮光施設内の環境調査

調査は、茨城県農業総合センター鹿島地帯特産指導所（茨城県神栖市息栖；35.887N, 140.626E）の竹簾遮光施設で実施した。調査は2022年4月11日から2023年3月31日まで実施した。調査ほ場の面積は625m²で、ほ場中央部の高さ50cmの位置に照度センサー（RSH-4020、エスベックミック社製）と気温センサー（TR-0106、ティアンドデイ社製）を各2個設置し、1時間毎に自記記録計（RS-13L、RT-14、いずれもエスベックミック社製）により照度および気温を測定し、その平均値を測定値とした。各日について、日最低気温、日平均気温、日最高気温、日平均照度および日最高照度を算出した。なお、日平均照度の算出には、夜間の照度データは使用しなかった。それぞれ月別の平均値を算出した。

2. 2 センリョウ個葉の光—光合成曲線の検討

試験には、当所所有の赤実早生系統の3年生株を供試した。供試株は、神栖市波崎から採集した砂質土壌を充填した直径10.5cmの黒ポリポットで栽培し、所内竹簾遮光施設内で管理した。

光合成速度の測定は、2019年8月に携帯型光合成蒸散測定装置（LI-6400XT、LI-COR社製）を使用し、茨城県農業総合センター園芸研究所（茨城県笠間市）内の人工光人工気象室内で実施した。人工気象室内の気温は、20℃、25℃、30℃となるよう設定し、日照は16L8Dとした。調査前日に、供試株を人工気象室内に置き、観測条件に順化させた。測定は、6cm²のチャンバーで供試株の展開第2葉の中心部分を挟み、葉温が20℃、25℃、30℃になるようチャンバー内の気温を制御しながら実施した。チャンバー内の相対湿度は、50～60%に制御した。チャンバー内の光強度（光合成有効光量子束密度（以下、PPFD））の設定は、1,500μmol・m⁻²・s⁻¹で順化させたのち、1,000、800、500、300、200、100、80、60、40、20、10、0μmol・m⁻²・s⁻¹の順に低下させた。葉温別の各3株について、純光合成速度、気孔コンダクタンスおよび蒸散速度を測定した。各条件での測定は、値が3分以上安定したのちに記録し、1条件当たり照射時間は10分以内とした。純光合成速度については、以下の非直角双曲線（Thornley, 1976；彦坂, 2016）で近似した。

$$A_{net} = \frac{\varphi I_C + A_{max} - \sqrt{(\varphi I_C + A_{max})^2 - 4\varphi I_C A_{max}\theta}}{2\theta} - R$$

A_{net} は純光合成速度、 A_{max} は飽和光下での最大光合成速度、 I_C は葉面積あたりの葉が受けた光強度（PPFD）、 φ は初期勾配（弱光条件での光利用効率）、 R は暗呼吸速度、 θ は曲線の凸度を示す。また、光飽和点として A_{max} の80%に達した時点のPPFDを求めた。なお、数値解析には統計ソフトR（ver.3.0.2; Ihaka and Gentleman, 1996）のnls関数（非線形関数）を用いた。また、光強度別の蒸散速度および気孔コンダクタンスは、葉温間の測定値をTukey-Kramerの多重比較法により検定した。

2. 3 遮光施設内における時期別乾物生産および成長解析

試験には当所所有の赤実早生系統の2年生株を供試した。供試株は、赤土：鹿沼土：ピートモス：パーライトを容積比10：3：2：1で混合した培土を充填した直径12cm高さ13cmの深底黒色ポリポットで管理した。試験は、所内の2.1と同一の竹簾遮光施設内で行い、試験区は地面を防草シートで被覆し、その上にプラスチック製の育苗箱（縦477×横326×高さ76mm）を設置し、そこへ供試株を並べた。灌水は、株元にドリップロが当たるように配置した軟質点滴灌水チューブを用いて、灌水同時施肥により実施した。肥料は、灌水同時施肥用肥料（タンクミックスA&B、OATアグリオ社製）をN-P₂O₅-K₂O = 25.0-12.5-36.0mg L⁻¹の濃度になるよう調整し、株当たり20~60mLを毎日施用した。

試験は、2022年4月8日から実施した。同日に無作為に選んだ16株を対象に、各株の葉面積について緑葉面積計（GA-5、東京光電株式会社製）を用いて測定した。葉面積測定後、葉、茎、根に分けて80℃で48時間以上通風乾燥させ、乾物重を測定した。同様の調査を6月6日、8月1日、10月3日、12月7日、2023年2月13日および4月11日に実施し、各日16株×7回の計112株分を分解調査した。得られた葉面積、葉、茎および根の乾物重を基に、成長解析で用いられる指標（Blackman, 1919; Pandey et al., 2017）を算出した。成長解析とは、単位時間当たりの乾物生産量から植物の成長に関わる特性を把握する方法である（彦坂、2016）。各調査期間の差分の計算には、各調査日ごとに株当たり乾物重で並べ替え、同順位のデータをペアとして計算した。

3. 結果

3. 1 慣行の竹簾遮光施設内の環境調査

調査期間中の月別気温および照度はTable 1のとおりであった。日平均気温、日最高気温、日最低気温は、8月がそれぞれ26.7℃、32.6℃、23.0℃で最も高く、1月が3.4℃、9.4℃、-1.7℃で最も低かった。日最低気温と日最高気温の差は、9月が8.1℃と最も小さく、2月が11.8℃と最も大きかった。

日平均照度は、6月が3,873lxと最も高く、次いで7月、5月が高かった。一方、12月が1,371lxと最も低く、次いで1月、12月であった。日最大照度は、7月が12,086lxと最も高く、12月が3,615lxと最も低かった。

Table 1 Temperature and illuminance of each month in Takesu.

Month	Temperature ^{a)}			Illuminance ^{b)}	
	daily average	daily maximum	daily minimum	daily average	daily maximum
	(°C)			(lx)	
April	14.3	19.7	9.3	3,098	8,531
May	17.9	23.5	13.3	3,707	10,567
June	22.2	27.9	17.8	3,873	10,940
July	26.7	32.6	22.9	3,723	12,086
August	26.7	32.6	23.0	3,596	10,920
September	23.7	28.5	20.5	3,419	9,521
October	16.9	21.6	13.0	2,508	6,715
November	13.3	18.1	8.5	1,825	5,456
December	5.4	10.9	0.7	1,371	3,615
January	3.4	9.4	-1.7	1,630	4,657
February	5.7	12.0	0.2	2,609	8,228
March	11.6	17.1	6.5	3,653	11,740

a) Average, maximum, and minimum temperatures for each day were first calculated, then the averages for each month were determined.

b) Average and maximum illuminance (excluding nighttime periods) for each day were first calculated, then the averages for each month were determined.

3. 2 センリョウ個葉の光—光合成曲線の検討

センリョウ個葉の葉温別光—光合成曲線はFig. 2に示した。光補償点は、葉温20℃では6.4μmol·m⁻²·s⁻¹、25℃では4.6μmol·m⁻²·s⁻¹、30℃では5.4μmol·m⁻²·s⁻¹とほぼ同等の値であった。光飽和点は、葉温20℃では144μmol·m⁻²·s⁻¹

$\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、 25°C では $164\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、 30°C では $374\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ と葉温が高いほど高かった。最大光合成速度は、葉温 20°C では $1.3\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、 25°C では $2.5\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、 30°C では $2.6\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ と葉温が高いほど最大光合成速度は高かった。初期勾配は、葉温 20°C では0.03、 25°C および 30°C では0.05でほぼ同等であった。暗呼吸速度は、葉温 20°C では $0.2\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、 25°C では $0.22\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、 30°C では $0.23\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ で同等であった。また、葉温別の蒸散速度および気孔コンダクタンスについては、葉温別で有意な差は認められなかったが、葉温が高いほどいずれも高まる傾向であった (Fig. 3、Fig. 4)。

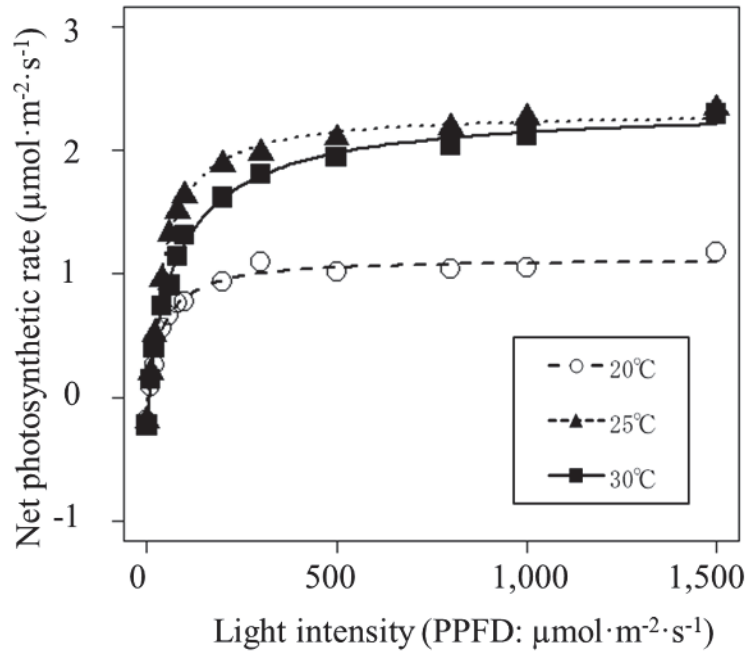


Fig. 2 Photosynthesis irradiance response curves of individual *Sarcandra glabra* leaves at three different leaf temperatures (n=3).

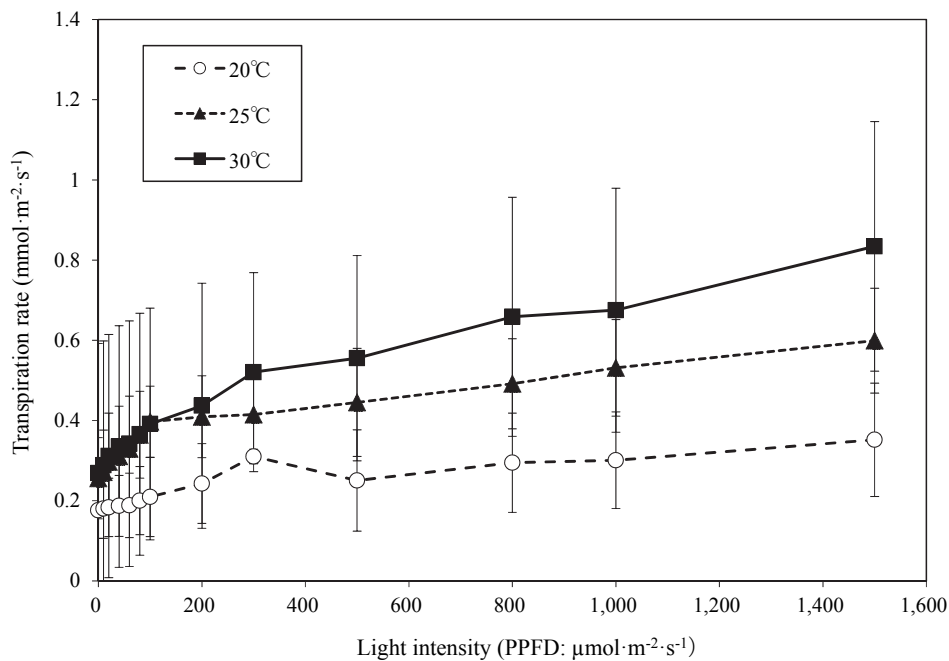


Fig. 3 Transpiration rate of individual *Sarcandra glabra* leaves at three different leaf temperatures. The error bars indicate 95% confidence interval (n=3).

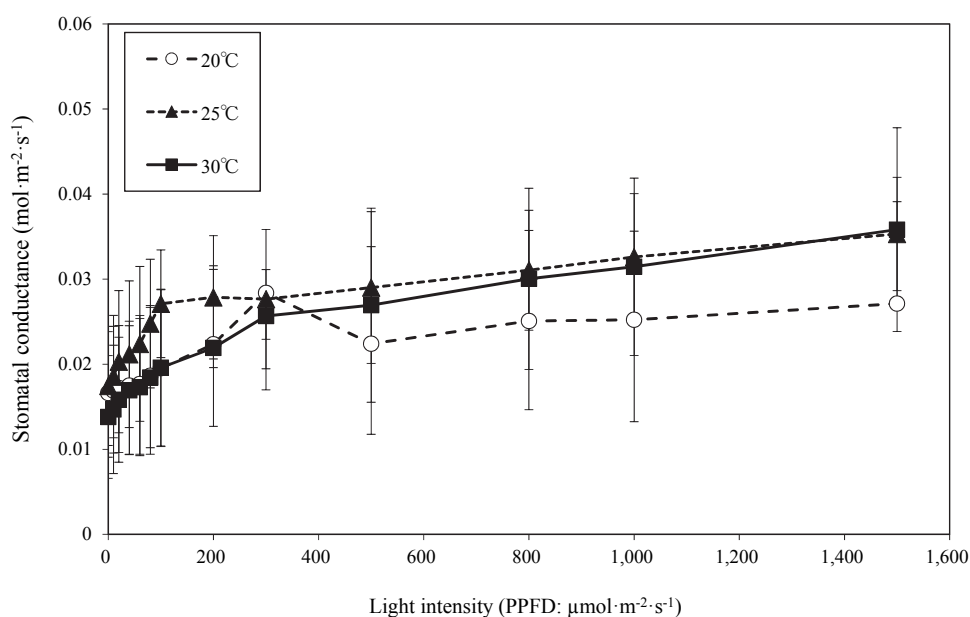


Fig. 4 Stomatal conductance of individual *Sarcandra glabra* leaves at three leaf temperatures. The error bars indicate 95% confidence interval (n=3).

3. 3 竹簾遮光施設内における時期別乾物生産および成長解析

センリョウ2年生株の時期別乾物重および葉面積の推移を Table 2 に示した。株全体では、8~10月、10~12月、2~4月に乾物重が前回の調査日と比較して、有意に増加し、増加率はそれぞれ213%、189%、158%であった。部位別では、葉は8~10月、10~12月および2~4月の3期間、茎および根は10~12月、2~4月に有意に増加し、葉と比較して約2ヶ月遅れて乾物増加が認められた。葉面積は8~10月に有意に増加したが、10~12月、12~2月、2~4月までは有意な増加は認められなかった。

時期別成長解析の結果は Table 3 に示した。相対成長速度は4~6月、6~8月、8~10月までは $1.2 \times 10^{-2} \text{d}^{-1}$ と同程度で、12~2月には $2.0 \times 10^{-4} \text{d}^{-1}$ と著しく低下した。同様に、純同化速度は4~6月、6~8月、8~10月、10~12月までは同程度で、12月~2月には低下した。一方、葉面積比は6~8月が $150.8 \text{cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ と最も高く、その後10~12月、12~2月および2~4月にかけて有意に低下し続けた。葉重比は、6~8月および8~10月が $0.57 \sim 0.58 \text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ と最も高く、12~2月および2~4月が $0.50 \sim 0.50 \text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ と低かった。比葉面積は4~6月、6~8月、8~10月が $254.9 \sim 264.1 \text{cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ と最も高く、2~4月が $159.5 \text{cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ と最も低かった。

4 考察

本研究では、慣行の竹簾遮光施設の栽培環境およびセンリョウ個葉の光飽和点、光補償点を明らかにした。両者を時期別に比較すると、日最高気温が 23.5°C となった5月では、日最大照度はPPFD換算で $197 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ となり、葉温 25°C の光飽和点 $164 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ と同等の値となった。また、日最高気温が 32.6°C だった8月では、日最大照度はPPFD換算で $202 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ となり葉温 30°C の光飽和点 $374 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 以下であった。このことから、慣行の竹簾遮光施設は個葉の光飽和点と同等もしくは光飽和点以下となっており、過度に光飽和点を超えない、センリョウの生育に適した栽培環境になっていることが示唆された。

個葉の光-光合成曲線について本研究では葉温 25°C の光飽和点は $164 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ であり、気温 25°C の光飽和点が $300 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ とした Bae et al. (2016) の報告と比較するとやや低い結果であった。これは、日長、気温といった季節的な変化や生育環境に応じて、光合成特性が変化したために生じた差ではないかと考える。例えば、パッションフルーツでは調査時期により光-光合成曲線の形状が変わること (Shimada et al., 2017) や、クヌギでは低照度条件で栽培すると光飽和点が低下する (徐ら, 1992) ことが報告されている。今回の調査では、竹簾下で管理したセンリョウを8月に供試したが、Bae et al. (2016) の報告では遮光ネットを展張したビニールハ

Table 2 The temporal transition of dry matter weight and leaf area of *Sarcandra grabra* in second year of seeding throughout one year.

Survey date (Y/M/D)	Survey period	No. of plants (No.)	Dry weight						Leaf Area			
			Leaf			Stem			Root		Total	
			Average (g)	Percentage increase ^{b)} (%)	Percentage increase (%)	Average (g)	Percentage increase (%)	Percentage increase (%)	Average (g)	Percentage increase (%)	Average (cm ²)	Percentage increase (%)
2022/4/8	—	16	0.15 a	—	0.04 a	—	0.14 a	—	0.33 a	—	34.6 a	—
2022/6/6	Apr.–Jun.	16	0.42 a	280	0.10 a	250	0.16 a	114	0.67 a	203	112.9 ab	326
2022/8/1	Jun.–Aug.	16	0.69 a	164	0.22 ab	220	0.35 a	219	1.25 a	187	179.9 b	159
2022/10/3	Aug.–Oct.	16	1.64 b	238	0.49 bc	223	0.54 a	154	2.66 b	213	413.1 c	230
2022/12/7	Oct.–Dec.	16	2.45 c	149	0.90 d	184	1.67 b	309	5.02 c	189	492.4 cd	119
2023/2/13	Dec.–Feb.	16	2.45 c	100	0.80 cd	89	1.76 b	105	4.94 c	98	457.5 cd	93
2023/4/11	Feb.–Apr.	16	3.90 d	159	1.40 e	175	2.40 c	136	7.80 d	158	542.1 d	118

a) Different letters in the same column indicates significant differences between the averages at $P < 0.05$ (Tukey–Kramer test).

b) Percentage increase for each tissue = (Dry weight (or Leaf area) of a given sampling data / Dry weight (or Leaf area) of the previous survey date) * 100.

ウス下で管理したセンリョウを 9 月に供試しており、測定に供試する前の栽培環境が異なっている。今後は、センリョウにおいても複数の季節や栽培条件でも個葉の光合成曲線を明らかにする必要がある。

センリョウの光合成速度は葉温の影響を受け、葉温 20 ~ 30°C の範囲では、25°C および 30°C の条件で光合成速度は最も高かった。他の作物においても葉温や気温に光合成速度が影響されることが報告されている。例えば、イチゴ (和田ら、2010) やカンキツ (岩崎・大垣、1985)、アスパラガス (稲垣ら、1989) では、気温の上昇により気孔コンダクタンスおよび蒸散速度が増加するとともに、炭酸ガス交換能が高まることで光合成速度が高まるとされており、センリョウでも同様の機構が関係していると考えられた。

今回作成した光–光合成曲線では、光強度が $1,500 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ でも、光合成速度の顕著な低下は認められなかった。一方、センリョウは屋外 (快晴時には最大 $2,000 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) の直射日光条件で栽培すると葉が黄化して生育遅延が生じ、そのまま長期間栽培すると枯死する。今回、 $1,500 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ の条件下でも光合成速度の低下が認められなかった理由として、本研究では光を照射した時間が 3 ~ 10 分であったためだと考える。一般に、光飽和点を超える光強度 (以下、強光) による葉の障害は光阻害と呼ばれ、強光により光化学系 II が損傷し、葉の光エネルギーを取り込む量子効率が低下する (宮尾 (徳富)・水澤、1999)。一瞬であれば光合成 II 系は自己修復するが、修復能を上回る強光条件に数時間さらされると光化学系 II が破壊され、光合成機能の低下、葉の黄化などの生育障害が発生する (彦坂、2016)。今回、3 ~ 10 分程度の強光では、植物の光化学系 II の修復能力により光合成能力に影響を与えなかったと考えられる。陰性植物である薬用植物オタネニンジンも、光飽和点はセンリョウと同程度の $200 \sim 400 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ であるが (Lee et al., 2012; Zhang et al., 2022)、栽培期間中 $370 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ の光強度で照射し続けると、光阻害の影響により SPAD 値の低下や根の肥大が停止することも報告されている (川勝、2023) ため、遮光の必要が論じられている。そのため、今回、光飽和点は明らかとなったが、今後、光強度と照射時間がセンリョウの光阻害に与える影響を調査していくことが、生育阻害が生じない遮光条件を解明するためには、不可欠である。

センリョウの時期別および部位別乾物調査から、茎および根は、葉と比較して約 2 ヶ月遅れて乾物増加することが明らかとなった。地上部の乾物増加ののちに地下部の貯蔵組織 (根部) の乾物重が増加することはアスパラガスでも報告されている。これは地上部の光合成により得た同化産物の転流によるものと考えられている (日笠・鎌田、1994)。センリョウの茎には、翌年の新梢が発生する地際

部分の肥大茎も含まれており、茎や根が貯蔵組織として機能している可能性も考えられる。今回の結果から、株全体の乾物生産量が増加した8月以降に養分吸収量が高まり、乾物生産量の増加の認められなかった12~2月には養分吸収が停滞する可能性が示唆された。なお、現地慣行の追肥体系では3~4月に施肥する生産者が多く、8月以降の追肥は一般的ではない。今後は、時期別に植物体内の無機成分を調査し、時期別の養分吸収特性を明らかにすることで、効率的な肥培管理の指標とすることが期待される。

Table3 The growth analysis of *Sarcandra glabra* in second year of seedling throughout one year.

Period of growth analysis	Relative Growth Rate ^{a) b)} (RGR) (d ⁻¹)	Net Assimilation Rate ^{c)} (NAR) (g cm ⁻² d ⁻¹)	Leaf Area Ratio ^{d)} (LAR) (cm ² g ⁻¹)	Leaf Mass Ratio ^{e)} (LMR) (g g ⁻¹)	Specific Leaf Area ^{f)} (SLA) (cm ² g ⁻¹)
Apr.–Jun.	1.2×10 ⁻² a	8.4×10 ⁻⁵ a	138.0 a	0.54 a	259.6 a
Jun.–Aug.	1.2×10 ⁻² a	7.9×10 ⁻⁵ a	150.8 b	0.57 bc	264.1 a
Aug.–Oct.	1.2×10 ⁻² a	8.0×10 ⁻⁵ a	147.1 ab	0.58 c	254.9 a
Oct.–Dec.	1.0×10 ⁻² b	7.9×10 ⁻⁵ a	121.8 c	0.54 a	224.4 b
Dec.–Feb.	-2.0×10 ⁻⁴ c	-1.0×10 ⁻⁶ b	96.3 d	0.50 d	194.9 c
Feb.–Apr.	0.8×10 ⁻² b	11.0×10 ⁻⁵ c	80.3 e	0.50 ad	159.5 d

a) Different letters in the same column indicates significant differences between the averages at $P < 0.05$ (Tukey–Kramer test).

b) $RGR = \{\log(\text{present plant dry weight}) - \log(\text{previous plant dry weight})\} / \text{period of analysis}$.

(RGR) indicates the increase in plant mass per period of analysis.

c) $NAR = (\text{present plant dry weight} - \text{previous plant dry weight}) \times \{\log(\text{present leaf area}) - \log(\text{previous leaf area})\} / \{(\text{present leaf area} - \text{previous leaf area}) / \text{periods of analysis}\}$.

(NAR) indicates the increase in plant mass per leaf area per period of analysis.

d) $LAR = (\text{present leaf area} - \text{previous leaf area}) \times \{\log(\text{present plant dry weight}) - \log(\text{previous plant dry weight})\} / \{\log(\text{present leaf area}) - \log(\text{previous leaf area})\} / (\text{present plant dry weight} - \text{previous plant dry weight})$.

(LAR) indicates the efficiency with which a plant uses its leaves to produce plant material.

e) $LMR = (\text{present dry leaf weight} - \text{previous dry leaf weight}) \times \{\log(\text{present plant dry weight}) - \log(\text{previous plant dry weight})\} / \{\log(\text{present dry leaf weight}) - \log(\text{previous dry leaf weight})\} / (\text{present plant dry weight} - \text{previous plant dry weight})$.

(LMR) indicates the allocation of dry matter to leaves.

f) $SLA = \{(\text{present leaf area} - \text{previous leaf area}) \times \{\log(\text{present dry leaf weight}) - \log(\text{previous dry leaf weight})\} / \{\log(\text{present leaf area}) - \log(\text{previous leaf area})\} / (\text{present plant dry weight} - \text{previous plant dry weight})$.

(SLA) indicates how much leaf area could be expanded with 1g of leaf. The lower the value, the thicker the leaf.

成長解析の結果から、4~10月は相対成長速度が $1.2 \times 10^{-2} \text{d}^{-1}$ と同程度で、純同化速度および葉面積比も同程度であった。しかし、10~12月には相対成長速度が $1.0 \times 10^{-2} \text{d}^{-1}$ とやや低下し、純同化速度は4~10月と同程度であった。その理由として、10~12月は4~10月に比べて葉面積への投資が減少したために、純同化速度はそれまでと同程度であっても相対成長速度が鈍化したと考える。一方、純同化速度は維持されたことから、ここで同化から貯蔵へのシフトが起きたと考える。

12月から2月にかけては乾物増加が認められず、相対成長速度や純同化速度も著しく低下していた。12~2月は日平均気温が 4.4°C と最も低く、日平均照度が $1,543 \text{lx}$ と調査期間を通じて最も低かった。3. 2で明らかにした光-光合成曲線から推定した光補償点は 20°C で $6.4 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ であり、照度に換算すると 346lx となる。12月から2月の日平均照度は $1,543 \text{lx}$ であり、 346lx を大きく上回っていることから、この時期は気温が制限要因となり、センリョウの生育が停滞し、乾物生産や同化が認められなかったと推察する。ただし、本研究では 20°C 未満での光-光合成曲線は作成していないため、冬季のセンリョウの乾物生産については、今後さらに検討していく必要がある。

また、2月から4月にはいずれの部位でも乾物重の増加が認められた。また、相対成長速度は12~2月と比較して増加するものの、10~12月と比較すると同程度、4~10月と比較してやや低かった。これは、葉面積比が調

査期間中で最も低下したこと、純同化速度が調査期間中で最も高まったためだと考える。2~4月 は比葉面積が、調査期間中で最も低く、葉が厚くなっていた。牧草のチモシーでは比葉面積は光合成速度と負の相関があり、葉が厚いほど光合成速度が高まることが報告されている(窪田・植田、1977)。センリョウでも同様に、葉の厚みが増すことで葉緑体の含有量が増し、純同化速度が増加したと考える。なお、この時期は日平均気温 12.3℃とやや低い一方、照度は日平均照度が 3,459lx、日最大照度は 11,337lx と期間中最も高かった。これらのことから、日平均気温 12.3℃あれば光合成には十分な光強度であり、センリョウの乾物生産が行われることが示唆された。

一方、本研究で得られたセンリョウ個葉の最大光合成速度は $1.3\sim 2.6\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ であり、イチゴの $15\sim 25\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (和田ら、2010)、パプリカの $10\sim 30\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (橋田ら、2015) などと比較してかなり低かった。また、センリョウ 2 年生株の乾物生産量は、本調査期間の約 1 年で株当たり約 7.5g であった。スギ 2 年生株の乾物生産量は約 20.7~47.9g (松村ら、1996)、モモ 2 年生樹では約 2.42kg (寿松木ら、1986) と報告されており、センリョウは他植物と比較すると乾物生産量が少ない。センリョウの緩慢な乾物生産特性は、個葉の光合成速度が低いことによるものと考えられる。

本研究では、慣行の竹簾遮光施設の栽培環境条件を明らかにするとともに、センリョウ個葉における光飽和点や光補償点といった光合成特性、時期別の乾物生産特性を明らかにした。これらの結果から、竹簾に代わる新たな遮光施設による栽培体系の確立に向けた、光環境や肥培管理の指標となる基礎的データが得られた。また、センリョウは気温や生育時期に応じて光合成速度(純同化速度)が変化するとともに、葉の形態や乾物分配も変化していくことを明らかにし、生育時期に応じた管理技術の重要性が示唆された。なお、本研究は苗木による試験であるため、今後は開花および果実生産を伴う成木での試験を実施していく必要がある。

今後の試験では、照度ではなく、植物の光吸収スペクトルとして重要な光強度(PPFD 等) データを取得し解析していく予定である。これらの結果から、センリョウの光合成や乾物生産を最大化できる栽培指標(光環境、肥料の濃度等)を検討し、新たな遮光施設栽培の確立を目指したい。

謝辞

本研究を推進するにあたり、茨城県農業総合センター園芸研究所野菜研究室には、携帯型光合成蒸散測定装置および人工光人工気象室の使用について、多大なご協力を頂きました。また、鹿島地帯特産指導所の菊池弘子氏ならびに会計年度任用職員の皆様には、センリョウの栽培管理および調査に多大なご尽力を頂きました。ここに記して、深く感謝の意を表します。

引用文献

- Bae E. J., Jin, E. J. J., Bae, J. H., Lee, K. S. and Choi, S. M. (2016) Growth and physiological characteristics of *Sarcandra glabra* and *Ardisia crenata* under different light intensity. *Journal of Korean Society for People, Plants and Environment* 19: 85-93.
- Blackman, V.H. (1919) The compound interest law and plant growth. *Annals of botany* 33: 353-360.
- 橋田祐二・高橋昭彦・下元耕太・高橋憲子・仁科弘重・高山弘太郎 (2015) 高軒高温室における長期の加湿処理による飽差環境の違いがパプリカの葉の形態・光合成機能および収穫物に及ぼす影響. *Eco-Engineering* 27: 91-98.
- 日笠裕治・鎌田賢一 (1994) アスパラガスの周年的養分吸収特性. *日本土壤肥科学雑誌* 65: 34-40.
- 東出忠桐 (2018) 施設トマトの収量増加を目的とした受光と物質生産の関係の利用. *園芸学研究* 17: 133-146.
- 彦坂幸毅 (2016) 植物の光合成・物質生産の測定とモデリング. 共立出版、東京、128pp.
- 茨城県営業戦略部東京渉外局県産品販売促進チーム (2022) 東京都中央卸売市場における花きの取扱数量・価格の推移. pp. 52-53.
- <https://www.pref.ibaraki.jp/eigyoto/kyo/kensan/documents/r4kakihoukoku.pdf> (2023 年 8 月 27 日アクセス).
- Ihaka, R. and Gentleman, R. (1996) R: a language for data analysis and graphics. *Journal of Computer Graphics and Statistics* 5: 299-314.
- 稲垣 昇・津田和久・前川 進・寺分元一 (1989) アスパラガスの光合成に及ぼす光強度、CO₂ 濃度及び温度の影響. *園芸學會雑誌* 58: 369-376.
- 岩崎直人・大垣智昭 (1985) カンキツの種・品種における光合成特性と温度・光条件. *園芸學會雑誌* 54: 315-322.

- 川勝貴史 (2023) オタネニンジン (*Panax ginseng* C.A. Meyer) の養液栽培による苗生産に関する研究. 筑波大学大学院 博士学位論文.
- 窪田文武・植田精一 (1977) チモン一個葉の光合成速度と SLA (比葉面積)との関係. 日本草地学会誌 23 : 101-107.
- Lee, J.S., Lee, D. Y., Lee, J. H., Ahn, I.O. and In, J.G. (2012) Photosynthetic characteristics of resistance and susceptible lines to high temperature injury in *Panax ginseng* Meyer. Journal of Ginseng Research 36: 461-468.
- 松村秀幸・青木 博・河野吉久・伊豆田 猛・戸塚 績. (1996). スギ, ヒノキ, ケヤキ苗の乾物成長とガス交換速度に対するオゾン影響. 大気環境学会誌 31:247-261.
- 宮尾 (徳富) 光恵・水澤直樹 (1999) 強光環境から身を守る植物の防御機構. 化学と生物 37 : 396-400.
- 小田部 裕・飯村 強 (2015) 茨城県におけるレンコン主要品種の乾物生産および養分吸収特性. 日本土壌肥科学雑誌 86(4) :283-289.
- Pandey, R., Paul, V., Das, M., Meena, M. and Meena, R. C. (2017) Plant growth analysis. Physiological Techniques to Analyze the Impact of Climate Change on Crop Plants. (Vijay, P., R. Pandey, Pal Singh M. eds.) ICAR-Indian Agricultural Research Institute, India, pp. 103-107.
- Shimada, A., Kubo, T., Tominaga, S. and Yamamoto, M. (2017) Effect of temperature on photosynthesis characteristics in the passion fruits 'Summer Queen' and 'Ruby Star'. The Horticulture Journal 86: 194-199.
- 寿松木章・佐藤雄夫・佐々木生雄 (1986) モモ樹の乾物重と養分吸収量の 10 年間の増加過程. 園芸学会雑誌 54 : 431-437.
- Thornley, J.H.M. (1976) Mathematical models in plant physiology. Academic Press, London, 318pp.
- 和田義春・添野隆史・稲葉幸雄 (2010) 促成, 半促成栽培におけるイチゴ品種 'とちおとめ' の高 CO₂ 濃度下の葉光合成速度促進に及ぼす光と温度の影響. 日本作物学会紀事 79 : 192-197.
- 徐 国林・二宮生夫・荻野和彦 (1992) 異なった光環境のもとで生育した数種の樹木の光合成能 光-光合成曲線の解析. 日本緑化工学会誌 17 : 94-101.
- Zhang, Y. X., Niu, Y. Q., Wang, X. F., Wang, Z. H., Wang, M. L., Yang, J., Wang, Y. G., Zhang, W. J., Song, Z.P. and Li, L. F. (2022) Phenotypic and transcriptomic responses of the shade-grown species *Panax ginseng* to variable light conditions. Annals of Botany 130: 749-762.

Photosynthetic Characteristics and Dry Matter Production of *Sarcandra glabra* (Thunb.) Nakai

Kenta WATANABE¹, Satoshi MURAZAKI and Motonori TAKAGI

Summary

Sarcandra glabra, a plant that bears many small red fruits and green leaves even in winter, are cultivated for use as traditional New Year's decorations in Japan. The plant was grown in shaded facilities called *takesu* made by cutting bamboo into boards to provide shade, though new shading methods and facilities for the *S. glabra* rearing system are needed, given the high cost and shortage of bamboo. However, there is a lack of basic knowledge regarding the photosynthetic characteristics and dry matter production of *S. glabra* for field trials. Therefore, this study aims to show the cultivation environment of conventional shaded facilities, the light-photosynthesis curve, and season-specific dry matter production of *S. glabra*. The results of this study showed that monthly mean daily temperatures in the shaded facilities ranged from 3.4 to 26.7°C and maximum daily irradiance ranged from 3,615 to 12,086 lx. The estimated light-photosynthesis curve of *S. glabra* indicated that the light saturation point increased with leaf temperature and ranged from 144 to 374 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ between 20°C and 30°C. Dry matter production during one year showed an increase in dry matter weight of the entire plant from August to December and from February to April. Growth analysis of dry matter production showed that the relative growth rate was high from April to October, low from October to December, and returned a negative value from December to February of the following year. These results suggest that the photosynthetic rate of *S. glabra* changes not only with temperature and growth stage but also with leaf thickness and dry matter partitioning.

Keywords: shade plant, photosynthesis irradiance response curves, light intensity, temperature, growth analysis

¹ Address: Kashima Horticultural Research Station, Ibaraki Agricultural Center, 2815 Ikisu, Kamisu City, Ibaraki 314-0133, Japan

本誌に掲載された記事に関しては「茨城県農業総合センター」ホームページ
<https://www.pref.ibaraki.jp/nourinsuisan/nosose/cont/> にてPDFを掲載しております。

編集委員

副センター長兼企画情報部長（総括）	佐川 務
生物工学研究所所長（編集委員長）	西宮 聡
園芸研究所所長（副編集委員長）	菊田 功
農業研究所所長（副編集委員長）	横須賀 知之
山間地帯特産指導所所長	助川 修
鹿島地帯特産指導所所長	小川 孝之
研究管理監	宮本 勝
専門技術指導員室長	草野 謙三
企画調整課係長	齊藤 賀一

各研究所の連絡先

生物工学研究所	笠間市安居 3165-1	0299-45-8330
園芸研究所	笠間市安居 3165-1	0299-45-8340
農業研究所	水戸市上国井町 3402	029-239-7211
山間地帯特産指導所	大子町頃藤 6690-1	0295-74-0821
鹿島地帯特産指導所	神栖市息栖 2815	0299-92-3637

茨城県農業総合センター研究報告 第6号

2024年3月22日発行

発行者 茨城県農業総合センター

〒319-0292 茨城県笠間市安居3165-1

電話 0299-45-8321

FAX 0299-45-8350

印刷者 株式会社佐藤印刷

〒310-0043 茨城県水戸市松が丘2-3-23

電話 029-251-1212

FAX 029-251-1047

本誌に掲載された論文の著作権は、当センターに帰属するものとする

BULLETIN
OF THE
IBARAKI AGRICULTURAL CENTER
No. 6
March 2024

Contents

The Actual Situation of Variety Contamination in Lotus Root Cultivation Yuu KASHIWAGI and Maki KUZUYA	1
Effects of Long-Term Low-Temperature Storage on Germination Rate of Rice, Barley, Wheat and Soybean Seeds Katsunori OKANO, Katsumi KAWASAKI, Tomohiro IJIMA and Kenichi TANAKA	9
Photosynthetic Characteristics and Dry Matter Production of <i>Sarcandra glabra</i> (Thunb.) Nakai Kenta WATANABE, Satoshi MURAZAKI and Motonori TAKAGI	17

Ibaraki Agricultural Center
3165-1, Ago, Kasama, Ibaraki 319-0292, JAPAN