

1

栃木県における被覆植物を利用した畦畔管理の省力化に関する検討
高橋行継*・高橋まさみ・高橋美羽・山口則勝・森島規仁・大垣崇
(宇都宮大学農学部附属農場)

Labor-Saving Paddy Levee Management Using Ground Cover Plants in Tochigi Prefecture
Yukitsugu Takahashi, Masami Takahashi, Miwa Takahashi,
Norikatsu Yamaguchi, Norihito Morishima, and Takashi Ogaki
(Research Farm, Faculty of Agriculture, Utsunomiya University)

【はじめに】

わが国の耕地面積は 4300 千 ha あり，うち水田が 2300 千 ha (54.3%) を占めており，さらに畦畔を約 6% が占めている (農林水産省 2023)．畦畔の雑草管理を怠ると雑草の繁茂によって景観を損なう一方，肥培管理作業の妨げになる．さらに病害虫の発生源にもなるため，適切な除草が必要である．農業従事者の高齢化が著しい中，過酷な作業になりがちな水田畦畔の雑草防除の省力化は喫緊の課題である．草種としてペニーロイヤルミントを供試し，育苗後水田畦畔に定植して定植後の生長と被度の推移，越冬後の再生状況と抑草効果などを比較した．2 か年検討し，畦畔管理に適した栽植密度を選定したので報告する．

【材料と方法】

栽培試験は 2009～2010 年宇都宮大学農学部附属農場 (以下農場) 内の水田農道斜面にて実施した．ペニーロイヤルミント (*Mentha plegium*) を供試し，2009 年 3 月 23 日に 200 穴セルトレイに 1 穴 2 粒播種した．5 月 12 日に 2 株ずつ 9 号ポットに鉢上げを行い，定植まで管理した．定植は 6 月 4 日に実施，栽植密度は標準区 (25 株/m²，20×20 cm)，疎植区 (16 株/m²，25×25 cm)，密植区 (42 株/m²，15×15 cm) の 3 段階とした．2010 年は前年の越冬した植栽をそのまま調査した．試験区の配置を第 2 図に示す．調査項目は発生雑草の種類および本数，被覆植物の被度 (%) とした．発生雑草の種類および本数は 2009 年のみ実施した．具体的には 1 m² の正方形に設定した定植区画内に 25 cm 四方の枠を左上，中央，右下の対角線上 3 箇所 に設け，この枠内に発生した雑草の種類と本数を計測し，1 m² に換算した (Fig. 1, 2)．被度は 1 m² 内を 100 等分し，1 マスを 1% として求めた．

【結果と考察】

2009 年は定植時の栽植密度の差によって生育に伴う被度の変化が異なった．3 区の中では密植区が植被の形成は速く，定植後 28 日目には被度 100% に達する区があり，区全体では最高被度 120% であった．疎植区は同 83 日目に 111% になる区があったが，区全体では同 95% に留まった．標準区は同様に 104% であった (Fig. 3)．2010 年の越冬後は 5 月頃から再生が本格化した．試験区ごとの被度の変化は 2009 年とほぼ同様の推移を示したが (Fig. 4)，密植区の再生が速かった．定植後の生長と被度の推移，越冬後の再生状況と抑草効果などを比較し，畦畔管理に適した栽植密度を選定した結果，生育の速さからみて，あえて密植にする必要はなく，定植後の水管理などの肥培管理がきちんとできれば，疎植でも初年目から雑草防除効果を十分に発揮できることが明らかになった．導入コストの低減も考慮すれば，栽植密度は 16 株/m²，栽植間隔で 25×25 cm 程度で十分であると考えられる．

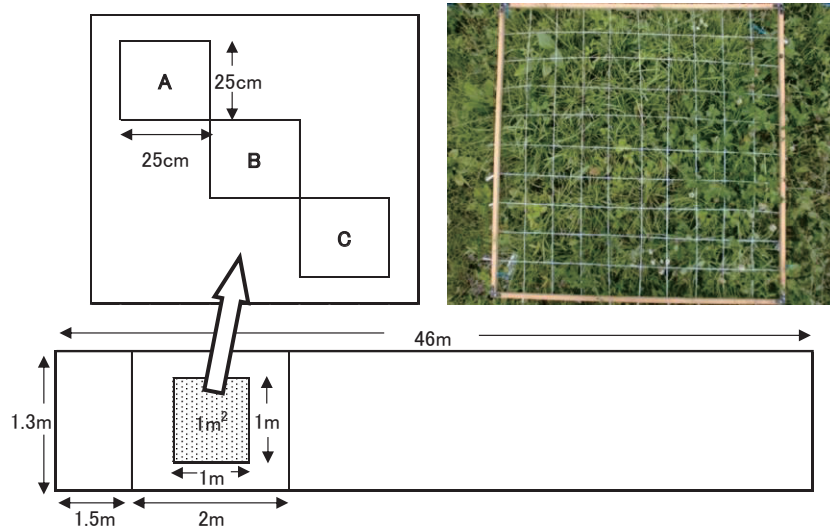


Fig.1 Diagrams and photo of an experimental plot.

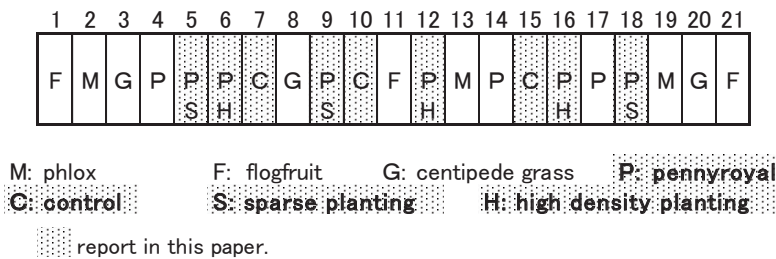


Fig.2 Layout of experimental plots.

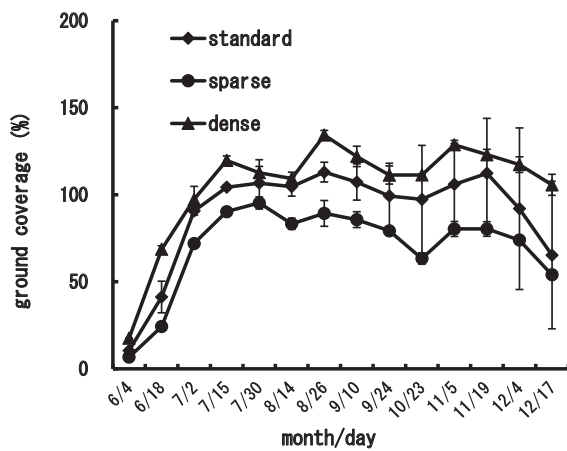


Fig. 3 Change over time in coverage by different plant density (2009).
Error bars represent standard deviation.

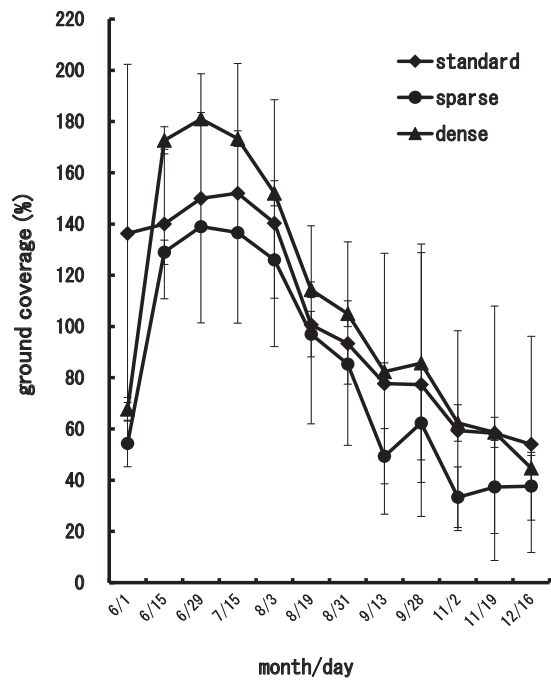


Fig.4 Change over time in coverage by different plant density (in plot and out of plot 2010).
Error bars represent standard deviation.

2

育苗箱全量基肥栽培における異なる肥効が水稻生育に及ぼす影響(第2報)

加藤誠^{1*}・高橋行継^{1,2}・滑川裕之³・大山龍之介⁴

(¹東京農工大学大学院連合農学研究科・²宇都宮大学農学部附属農場・
³ヤンマーアグリジャパン株式会社・⁴ジェイカムアグリ株式会社)

Effects of Different Fertilizer Effects on Paddy Rice Growth in Seedling box Whole Basal Fertilizer Cultivation
(2)

Makoto Kato^{1*}, Yukitsugu Takahashi^{1,2}, Hiroyuki Namekawa³, Ryunosuke Oyama⁴

(¹Grad. Sch. of Agri. Sci. Tokyo Univ. of Agri. and Tech., ²Research Farm, Fac. Agri. Utsunomiya Univ.,
³YANMAR AGRI JAPAN Co. Ltd., ⁴JCAM AGRI Co. Ltd.)

1. はじめに

水稻育苗箱全量基肥栽培(以下、箱全量)は栽培期間に必要な専用肥料「苗箱まかせ」を育苗箱内に全量充填し、本田栽培における施肥作業の省力化が可能な技術である。また、高い肥料利用率から10~40%減肥による低コスト化が可能である。更なる作業の低コストと省力化の技術として、高密度播種栽培(「密苗」:ヤンマー株式会社,商標登録第5864399号)による技術融合も報告されている。この栽培に用いられる専用肥料は温度に依存した肥効調節型肥料であり、東日本の4月下旬から5月上旬の移植に100日タイプの専用肥料が広く使用されている。群馬県稲麦二毛作地帯における育苗期間と移植後の気温は比較的高く推移し、また、麦わらすきこみ後の本田条件によっては腐熟に伴うガスが多い年もある。そこで、本試験では肥効タイプ別の初期生育を考える上で、箱全量専用肥料による溶出抑制期間の苗生長と苗質、本田移植後の初期生長について比較検討を行った。

2. 材料と方法

2024年5月27日に宇都宮大学農学部附属農場にて「あさひの夢」を播種、平置き出芽後に露地プールで育苗を行った。播種量は乾粳250g/箱の密苗とし、育苗時に箱全量専用肥料「苗箱まかせ」N400-60(シグモイド型60日タイプ)、N400-100B30(同60日と100日の混合タイプ)、N400-100(同100日タイプ)、N400-120(同120日タイプ)を供試し、60区、60・100区、100区、120区の処理区を設定した。育苗箱の箱底に1350g/箱、その上に育苗用粒状培土を用いて床土1150g/箱、対照区の培土区は箱全量専用肥料なしの床土2500g/箱を充填し、さらにその上に播種を行い、覆土1000g/箱を共通とした。本田移植の約1週間前に群馬県館林市へ移動し、稲麦二毛作である現地圃場近傍にて馴化させた苗を6月17日に全量基肥肥料による側条施肥の慣行区と無施肥区を加えて移植した。播種後12日と移植翌日の育苗完了時に同農場にて苗生長と苗質調査、現地試験圃場にて本田移植後21日と42日に草丈と茎数の生育調査を行った。

3. 結果および考察

播種後12日において対照区は草丈9.0cm、葉齢3.1、葉色27.4に対し、処理区は草丈8.0~9.2cm、葉齢3.1~3.3、葉色31.7~33.1であった。また、育苗完了時において対照区は草丈10.7cm、葉齢3.7、葉色23.0に対し、処理区は草丈13.7~14.9cm、葉齢4.0~4.4、葉色30.2~32.1であった(第1表)。苗質における対照区は全乾物重19.9mg/本、充実度1.33mg/cm、マット強度115Nであった。これに対し、処理区は全乾物重16.0~17.1mg/本、充実度0.82~0.92mg/cm、マット強度53~73Nであり、対照区に対して有意に低かった(第2表)。移植後の本田栽培において2023年は水田に足を踏み込むとわずかに気泡の発生がみられる程度であったが、2024年は同様の方法で盛んに気泡の発生が観察された。肥効タイプ別の草丈と茎数は2023年において大きな差がなかったものの、2024年の移植後21日は慣行区の茎数207本/m²に対し、60・100日区は243本/m²、移植後42日は無施肥区の茎数475本/m²に対し、100日区は476本/m²と慣行区または無施肥区と同等以上であった(第3表)。

播種後12日は葉色、育苗完了時には草丈と葉齢の苗生長と苗質に箱全量専用肥料の有無による相違がみられたものの、草丈の伸長とマット強度の低下は移植機に対応可能な範囲であることが示唆された。また、2024年において60・100日タイプと100日タイプは本田での初期生育が優っていたことから、分けつ期における稲麦二毛作地帯の普通期栽培に適した肥効タイプであると考えられた。

第1表 異なる箱全量専用肥料が苗生長に及ぼす影響（2024：館林市下三林）。

区名	播種後12日			育苗完了時（播種後22日）			
	草丈 (cm)	葉齢	葉色 (SPAD)	草丈 (cm)	葉齢	葉色 (SPAD)	第1葉葉鞘高 (cm)
60	8.0b	3.2bc	31.7b	13.7ab	4.2ab	31.4ab	2.0ab
60・100	9.2a	3.1cd	32.7ab	14.9a	4.4a	30.2b	2.1ab
100	8.5ab	3.3a	33.0a	14.5a	4.3ab	32.1a	2.0ab
120	8.8ab	3.3ab	33.1a	14.1a	4.0bc	31.2ab	1.9b
培土	9.0ab	3.1d	27.4c	10.7c	3.7c	23.0c	2.2a

※各数値右側の英小文字は Tukey の多重検定により、同一文字間には5%水準で有意な差がないことを示す。

第2表 育苗完了時における異なる箱全量専用肥料が苗質とマット強度に及ぼす影響（2024：館林市下三林）。

区名	苗乾物重			地上/地下部 (比)	充実度 (mg/cm)	マット強度 (N)
	地上	地下 (mg/本)	全体			
60	12.6b	4.2b	16.8b	3.01a	0.92b	63b
60・100	12.4b	4.6ab	17.1b	2.73a	0.84b	55b
100	11.9b	4.1b	16.0b	2.90a	0.82b	53b
120	12.3b	4.3b	16.6b	2.90a	0.87b	73b
培土	14.3a	5.6a	19.9a	2.58a	1.33a	115a

※各数値右側の英小文字は Tukey の多重検定により、同一文字間には5%水準で有意な差がないことを示す。

第3表 麦わらすきこみ後の異なる施肥条件における本田移植後21日と42日の草丈と茎数（2023・2024：館林市下三林）。

区名	2023				2024			
	移植後21日		移植後42日		移植後21日		移植後42日	
	草丈 (cm)	茎数 (本/㎡)	草丈 (cm)	茎数 (本/㎡)	草丈 (cm)	茎数 (本/㎡)	草丈 (cm)	茎数 (本/㎡)
60	34.1 a	195 a	71.0 a	444 a	28.2 b	127 b	61.0 ab	342 b
60・100	33.8 a	199 a	71.7 a	438 a	29.4ab	243 a	63.1 ab	402 ab
100	34.0 a	235 a	73.8 a	475 a	29.9ab	176 ab	63.2 ab	476 a
120	32.3 a	196 a	71.3 a	389 a	29.7ab	161 ab	59.1 b	403 ab
慣行	—	—	—	—	32.1 a	207 ab	64.9 a	425 ab
無施肥	—	—	—	—	27.1 b	221 ab	61.6 ab	475 a

※各数値右側の英小文字は Tukey の多重検定により、同一文字間には5%水準で有意な差がないことを示す。

3

水稻，コムギ，トウモロコシと比較したダイズの低収要因

福島陽

農研機構中日本農業研究センター

Factors of Low Yield of Soybean: Comparison with Rice, Wheat and Corn

Akira Fukushima

(Central Region Agricultural Research Center, NARO)

ダイズは、水稻，コムギ，トウモロコシと比較して収量が低い。その要因を乾物生産の視点から解析した。

材料と方法

茨城県つくばみらい市の谷和原水田圃場におけるダイズ，水稻，コムギ，トウモロコシの栽培試験の結果を比較した。いずれも複数の処理区の試験であったが，その平均値を用いた。水稻：2023年，2024年に栄養成長期，および登熟期間3回，各12.2 m²を抜き取り，根を切断し，乾燥重を測定した。コムギ：2024年に茎立ち期，および登熟期間5回，各9.0 m²を地際から刈り取り，乾物重を測定した。トウモロコシ：2024年に登熟期間3回，各18.0 m²を地際から刈り取り乾物重を測定した。ダイズ：2022年に開花盛期，および子実肥大期3回，各18.0 m²を，2024年に開花盛期，および子実肥大期5回，各10.8 m²を，子葉節から刈り取り，乾物重を測定した。

結果

1) 各作物の乾物生産特性

水稻：開花期までのCGRは25~28と高かったが，それと比べて登熟期間のCGRは次第に低下した。しかし，開花後5~20日に，SLGRが-16~-13と低下し，GGRは29~34と極めて高かった。

小麦：開花期までのCGRが低かったが，開花後20日までのCGRは23~26と高く，開花20日以降，CGRは顕著に低下した。しかし，開花21~30日後にSLGRが-18と低下し，この間のGGRが22と高く維持された。

トウモロコシ：開花後42日間のCGRが37と極めて高く，GGRも20~24と高かった。他作物と比べて，特に開花20日以降のCGR，GGRが高かった。

ダイズ：開花期から子実重が50g/m²以上となるまで25日以上を要した。子実肥大期までのCGRは15~19と水稻より低いコムギより高く，また子実肥大が始まる時期の全重は，水稻よりは明らかに軽い，コムギやトウモロコシより明らかに軽いことはなかった。子実肥大期間のCGRは低く，GGRは最大で9~10と低い，子実の肥大期間は短くはないと見られた。

2) 収量

坪刈収量は，水稻：2023年778 g/m² 2024年676 g/m²，コムギ：664 g/m² トウモロコシ：907 g/m²，ダイズ：2022年357g/m²，2024年調査中であつた。

考察

ダイズの低収要因として，子実肥大期間のCGRが低いことが示された。その原因としては，開花期あるいは葉の展開終了から子実肥大期までの期間が長く，子実肥大期には葉の老化が始まっていること，子実肥大期の9月は日射量が少ないことが挙げられる。さらに，水稻は，開花後5~20日の間に茎葉部から物質の転流が多いため，この間のGGRが極めて高い特性，コムギは，開花後20~30日の間にCGRが低下しても茎葉部から物質の転流が多いため，この間のGGRが高く維

持される特性，トウモロコシは登熟期間のCGRが極めて高く，かつ長く維持される特性を備えているのに対して，ダイズはそれらに代替する特性を備えていないことが考えられる．

第1表 水稲，コムギ，トウモロコシ，およびダイズの乾物生産特性．

	年次	乾物 調査日	開花後 日数	茎葉重 g/m ²	莢穂重 g/m ²	全重 g/m ²	SLGR g/m ² /日	GGR g/m ² /日	CGR g/m ² /日
水稲	2023	7月3日	-35			360			
		8月4～11日	5	1046	194	1240			25
		8月19～26日	20	850	704	1555	-13	34	21
		9月8～15日	40	897	942	1840	2	12	14
	2024	7月1日	-35			314			
		8月2～8日	5	1089	200	1289			28
		8月17～23日	20	843	633	1475	-16	29	12
		9月6～12日	40	871	865	1736	1	12	13
コムギ (播種年)	2023	3月13日	-39			265			
		4月19日	-2	587	139	726			12
		5月1日	10	742	263	1006	13	10	23
		5月11日	20	765	502	1267	2	24	26
		5月21日	30	589	726	1315	-18	22	5
		5月30日	39	545	797	1341	-5	8	3
トウ モロコシ	2024	7月4日	2	527	42	569			
		7月22日	20	837	401	1238	17	20	37
		8月13日	42	1109	933	2041	12	24	37
ダイズ	2022	8月12日	2			275			
		9月5日	26	565	68	633			15
		9月16日	37	616	179	795	5	10	15
		9月26日	47	545	243	788	-7	6	-1
	2024	8月7日	-3			160			
		9月4日	25	633	51	684			19
		9月14日	35	640	141	782	1	9	10
		9月24日	45	582	233	816	-6	9	3
		10月4日	55	562	307	868	-2	7	5
		10月14日	65	486	396	882	-8	9	1

水稲は出穂期，コムギは開花期，トウモロコシは絹糸抽出期，ダイズは開花盛期(R2)，をそれぞれ開花期とした．SLGR：茎葉成長速度，GGR：子実(莢穂)成長速度，CGR：作物(茎葉+莢穂)成長速度，いずれも前回の調査日からの速度．

4

高窒素鶏ふんペレット肥料が多古町の水稲移植栽培における収量及び玄米品質に及ぼす影響

奥畑徹之^{*1}・鈴木康平¹・石澤直士²

(1 千葉県香取農業事務所・2 株式会社クレスト)

Effect of High Nitrogen Poultry Manure Pellet Fertilizer on Yield and Brown Rice
Quality of Transplanted Paddy Rice in Tako-Town

Tetsushi Okuhata^{*1}・Kohei Suzuki¹・Tadashi ishizawa²

(1 Katori Agricultural Office of Chiba, 2 CREST CO.,LTD)

【目的】多古町は、畜産農家が多く家畜ふんの有機資源が豊富であるものの、水田農業における家畜ふんの利用が進んでいない。一方、2018年に高窒素鶏ふんペレット肥料（千葉県肥料登録番号：1266号、以下鶏ふんペレット肥料とする）の製造が可能な養鶏場が建設されたことで、堆肥よりも扱いやすいペレット状の肥料が利用可能となり、本町が推進する有機栽培への活用も期待される。普及にあたり、本県の「コシヒカリ」栽培では堆肥を含めた有機肥料で窒素成分の3割以上を代替する技術が確立されておらず、技術確立が求められる。そこで、本発表では技術確立に向けて取り組んだ現地栽培試験について、一年目の試験結果を報告する。

【材料および方法】イネ品種「コシヒカリ」を供試し、隣接する3枚の水田圃場で鶏ふんペレット肥料を供した肥料試験を実施した。試験区は、農家慣行の施肥設計を慣行区として、慣行区の窒素施用量に対して鶏ふんペレット肥料（4.9-3-2.7、商品名：ソイルボーン、(株)京葉ポトリ製）（以下、窒素-りん酸-加里の成分量（%）とする）で半量を代替した区を半量代替区、全量を代替した区を全量代替区とした（1反復）。このとき、鶏ふんペレット肥料の肥効率は窒素60%、りん酸80%、加里90%として算出し、りん酸及び加里は試験区間で同量となるように過リン酸石灰（0-17.5-0）及び塩化カリ（0-0-60）を施用した。慣行区の施肥設計は、有機化成肥料（8-12-10、全窒素のうち有機窒素3%）及び微量元素含有の有機化成肥料（3.9-4-0.7、全窒素の全て有機窒素）を窒素4.8kg/10a、りん酸6.4kg/10a、加里4.3kg/10aの基肥一発施用である。圃場条件はグライ土、前作は水稲であった。栽培概要は、施用日は2024年3月19日、代かきは4月18日、移植日は4月26日、栽植密度は45～46株/坪、移植した苗の草丈は16.4cm、葉齢は1.9葉であった。移植後の圃場管理は農家慣行とし、中干しは6月15～30日、成熟期は8月16日であった。

調査内容は、土壌分析調査として、施肥前及び収穫時に対角線採土法で土壌を採取して、pH、EC、CEC、各成分量を測定した。生育調査として、移植1か月後及び幼穂形成期に草丈、茎数、葉色を測定し、出穂期10日後に稈長、穂長、穂数、葉色（SPAD）を測定した。8月24日に倒伏発生程度調査（0（無）～5（甚）の6段階）及び坪刈りを3地点で実施し、収穫物の収量、タンパク質含有率、整粒歩合を調査した。さらに、1地点につき生育が中庸な3株を採集し、節間長、一穂粒数、登熟歩合、不稔歩合を調査した。測定したデータは、分散分析により5%水準の有意差を検定した。

【結果および考察】土壌分析結果について、収穫時のアンモニア態窒素及び加里は全ての区が同等で、りん酸は代替率が高い区ほど少なかった（表1）。移植後の生育について、病害虫及び雑草による影響はほぼなかったが、半量代替区は達観で水が抜け易い圃場であり、茎数及び穂数に影響

を及ぼしたと推察された。草丈は全ての区が同等に推移し（表2）、幼穂形成期の茎数×SPAD値が高く、稈長は90cmを上回った。倒伏程度は3.0～3.7と大きく、全量代替区の数値が最も大きかった（表3）。葉色は全ての区が出穂期10日後まで30後半と高く推移した。㎡あたり茎数は、移植1か月後は代替率が高いほど少ない傾向があった。幼穂形成期は全量代替区が慣行区と比べて少なかったものの、出穂10日後の㎡あたり穂数は同等であった。このとき、㎡あたり穂数は千葉県の子育目標値400本に達した。精玄米重は全量代替区と慣行区は同等で、600kgを上回った（表4）。しかし、全量代替区は慣行区と比べて、㎡あたり粒数が3.5万粒と多く、千粒あたり収量が低く、屑米重が多かった。玄米品質について、タンパク質含有率は全ての区が標準範囲であったが、全量代替区は7.8%と他の試験区より0.4ポイント高かった。また、整粒歩合は全ての区が同等であった（データ省略）。なお、10a当たりの肥料代は、慣行区が13,288円、半量代替区が12,362円、全量代替区が11,561円であった（令和5年春肥価格）。以上のことから、本県では中間型の草型を示す「コシヒカリ」の移植栽培では、慣行の有機化成肥料から鶏ふんペレット肥料に基肥を代替した場合、茎数が生育初期から少ないものの、全量代替でも同等の収量が得られることが示された。一方、後半の生育が過剰となり、倒伏の増加、千粒あたり収量の低下による減収及び玄米タンパク質増加の可能性が示唆された。

表1 土壌分析結果

採取日 (年、月、日)	試験区	pH	EC	CEC	アンモニア態窒素	りん酸	加里	苦土	石灰	ケイ酸	腐植
					(mg/100g)	(mg/100g)	(mg/100g)	(mg/100g)	(mg/100g)	(mg/100g)	(%)
2023. 12. 22	慣行区	5.63	0.07	18.9	0.6	16.9	36.9	45.2	201	17.4	2.8
	半量代替区	5.63	0.07	16.3	0.7	11.8	28.4	43.7	155	18.0	2.6
	全量代替区	5.41	0.06	17.7	0.5	17.6	30.8	39.7	162	17.1	2.6
2024. 8. 24	慣行区	5.99	0.07	17.5	1.8	18.7	13.3	59.3	262	19.5	2.7
	半量代替区	5.72	0.09	15.6	2.0	12.6	9.2	41.9	219	18.5	2.8
	全量代替区	5.69	0.06	14.6	1.6	10.2	15.4	44.8	187	17.4	2.7

(注) JA全農ちば営農技術センターによる分析結果。

表2 茎数、草丈、葉色の推移

試験区	草丈・稈長 (cm)			茎数・穂数 (本/㎡)			葉色 (SPAD)			茎数×SPAD 6/25
	5/27	6/25	7/20	5/27	6/25	7/20	5/27	6/25	7/20	
慣行区	28	71	95	212	642	414	38	39	36	24,923
半量代替区	27	69	93	198	517	377	38	38	37	19,900
全量代替区	31	68	95	188	548	414	38	38	36	20,722
分散分析	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

注1) 幼穂形成期は6月23日、出穂期は7月11日。

2) SPAD(葉色)は葉緑素計(型式:SPAD-502Plus, コニカミノルタ(株)製)による測定値。

3) 7月20日の草丈は稈長、茎数は穂数を示す。

表3 稈長、節間長、穂長、倒伏程度

試験区	節間長						穂長 (cm)	倒伏 程度
	稈長 (cm)	1節 (cm)	2節 (cm)	3節 (cm)	4節 (cm)	5節 (cm)		
慣行区	95	38	21	19	11	5	19.6	3.0
半量代替区	93	-	-	-	-	-	19.3	3.0
全量代替区	95	38	21	19	11	4	19.4	3.7
分散分析	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

注1) 倒伏程度は0(無)～5(甚)の6段階評価。

2) 稈長及び穂長は7月20日、節間長は収穫後の測定値。

3) 節間長は1株3本、3反復で調査した測定値。

4) 全量代替区の節間長は2反復の測定値。

表4 収量、収量構成要素、玄米品質

試験区	収量				収量構成要素							玄米品質
	わら重 (kg/10a)	わら比	精玄米重 (kg/10a)	屑米重 (kg/10a)	穂数 (本/㎡)	一穂 粒数 (粒/穂)	粒数 (千粒/㎡)	千粒 収量 (g/千粒)	登熟 歩合 (%)	不稔 歩合 (%)	玄米 千粒重 (g)	粗タンパク 含有率 (%)
慣行区	785	1.05	626	41	414	81	33.4	20.0	75	6.3	21.4	7.4
半量代替区	733	0.95	535	38	377	87	32.9	17.4	77	5.1	21.3	7.4
全量代替区	782	0.99	610	59	414	86	35.5	18.9	77	6.3	21.5	7.8
分散分析	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

注1) 成熟期は8月16日、収穫日は8月24日。わら重は風乾重。

2) 精玄米重は、ふるい(1.8mm網目)後の玄米重量を含水率15%に換算した数値。玄米千粒重は含水率15%換算した数値。

3) 粗タンパク質含有率は、近赤外分析計(型式:SRE, 静岡製機(株)製)を用いた乾物の測定値。当分析計の標準範囲は7～8%。

4) 分散分析は、**は1%水準で有意差あり、*は5%水準で有意差あり、nsは有意差なしを示す(Tukey-Kramer法, 表2, 3も同様)。

5

スマートフォンカメラを用いた中干し開始適期診断システムの構築

青木優作*・望月篤・中村充明・中村耕士
(千葉県農林総合研究センター)

Development of a Diagnosis System for Optimal Timing of Midseason Drainage Using a Smartphone Camera

Yusaku Aoki*, Atsushi Mochizuki, Mitsuaki Nakamura and Koshi Nakamura
(Chiba Prefectural Agriculture and Forestry Research Center)

温暖地早期栽培の千葉県では、近年、移植直後の5月が高温となる年が頻発しており、このことが茎数、穂数、籾数の過剰を招き、品質を低下させる要因になっている。こうした生育前半の過繁茂を抑えるためには、一定の生育を確保した後の中干しが有効である。また、中干しの延長は水田からのメタン発生量を削減できることが知られ、毎年異なる中干し開始時期を生産者が簡易に判断できる技術の開発が期待されている。

千葉県では、スマートフォン搭載カメラで撮影した水稻群落画像から植被率（茎葉の被覆割合）を算出し、植被率と茎数との関係から中干しの開始適期を診断できる技術を開発した（望月ら 2022）。一方で、本技術は品種別の判定には未対応であることに加え、現地での活用段階に至っておらず、実用化を視野に入れた場合、生産者がより手軽に使える方式での提供が求められる。

そこで、本試験では、スマートフォンに搭載されているカメラで撮影した画像から茎数を推定し、中干しの開始適期を品種別に診断できる機能を追加したウェブアプリケーション（以下、本アプリ）を構築した。また、現地圃場において、本アプリの中干し適期の診断技術としての適応性を検討した。

【材料および方法】

2024年に君津地域（壤土）の現地圃場で、「ふさおとめ」（4/5移植，栽植密度18.2株/m²）、「コシヒカリ」（4/25移植，栽植密度18.2株/m²）、「ふさこがね」（5/2移植，栽植密度18.2株/m²）を対象として、地上約1.5mからスマートフォン（Xiaomi Mi 11 Lite 5G）を用いて、真上から水稻群落を撮影し、前述のプログラムから算出された「推定茎数」と撮影した画像内に映り込んだ16株（4条×4株）を実測調査した「実測茎数」を比較し、モデルの推定精度を検証した。なお、撮影は品種ごとに時期を変えて計3回とした。

【結果および考察】

HTML5のcanvas要素とJavaScriptを組み合わせ、真上から撮影した水稻群落画像から各ピクセルデータを解析し、赤、緑のRGB値を基に茎葉を判断させ、茎葉のピクセル数/全ピクセル数より「植被率」を計算した。望月ら（2022）の茎数推定モデルより「推定茎数」を算出・表示するプログラムを「Google Apps Script」上で作成し、中干し適期を診断する本アプリを構築した。本アプリは、アップロードされた水稻群落の画像を解析して、「植被率」および「推定茎数」を計算し、これを品種別の「目標茎数」と比較して「中干し適期」か「茎数不足」かを判断する機能を実装した（第1図）。

現地圃場における「推定茎数」と「実測茎数」の差を比較したところ、「ふさおとめ」は-8.9本/m²~-48.7本/m²、「コシヒカリ」は-21.0本/m²~-36.9本/m²、「ふさこがね」は-24.7本/m²~-61.9本/m²であった（第1表）。中干し開始適期前後の茎数増加速度は12.0~24.3本/m²/日であり、推定誤差は中干し開始適期前後の約2日分の茎数増加量に相当することから、概ね2日の誤差範囲内で推定が可能であると考えられた。また、いずれの圃場でも推定茎数と比較して実測茎数が多い傾向であった。これは、真上の画像から判断が難しい稲株際にある小さな分けつが判定できていないことや、現地圃場における植付深度が深いため真上から撮影した水稻群落画像の株が開いておらず、茎葉の数と判断されたピクセルデータが少ないことから、「推定茎数」が少なくなったと考えられた。

以上のことから、スマートフォンに搭載されているカメラで撮影した画像を用いて茎数を推定し、中干しの開始適期を品種別に診断できるウェブアプリケーションを構築し、概ね2日の誤差範囲内での中干し適期が判定できることを確認した。引き続き、より多くの現地圃場で調査を行い、現地実装を目指す。

第1表 各品種における推定茎数と実測茎数との差

品種	移植日 (月/日)	栽植密度 (株/m ²)	確認日 (月/日)	推定茎数 (本/m ²)	実測茎数 (本/m ²)	差 (本/m ²)
ふさおとめ	4/5	18.2	5/16	187.7	236.4	-48.7
			5/23	318.4	327.3	-8.9
			6/4	435.5	448.9	-13.4
コシヒカリ	4/25	18.2	5/23	153.5	185.2	-31.7
			6/4	273.3	310.2	-36.9
			6/10	443.8	464.8	-21.0
ふさこがね	5/2	18.2	6/4	198.0	245.5	-47.5
			6/10	329.8	354.5	-24.7
			6/17	424.5	486.4	-61.9

注) 中干し適期の開始茎数は「ふさおとめ」400本/m², 「ふさこがね」360本/m², 「コシヒカリ」320本/m²

地上約1.5mからスマートフォン 16株(4条×4株)の写真撮影



画像送信

画像の
RGB値より
茎葉の割合
を計算

茎葉の割合を
植被率と
推定茎数に
変換

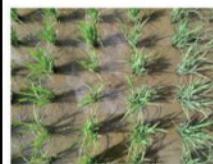


Google Apps Script

中干し診断アプリ

品種を選択

田んぼの写真を選択



この田んぼは茎数不足です
目標値：
「コシヒカリ」320本/m²

予測茎数: 273.3本/m²

目標値との差: -46.7本/m²

植被率: 25.2%

中干し適期の
診断結果を表示

第1図 中干しの開始適期を診断できるアプリの概要と画面例

【引用文献】

望月篤, 榎本真貴, 濱侃, 草川知行 (2022) スマートフォン用 Web アプリを用いた中干し開始適期診断. 日本作物学会第253回講演会要旨集60.

6

千葉県における「メッシュ農業気象データ」を利用した水稻の発育予測

第4報 差分進化法を用いた出穂期予測モデルのパラメータ設定

青木優作^{1*}・木村建介²・佐々木華織²・丸山篤志²・

望月篤¹・中村充明¹・佐川健吾¹・中村耕士¹

(¹千葉県農林総合研究センター・²農研機構)

Prediction of the Rice Growth Stage with Mesh Agricultural Meteorological Data in Chiba Prefecture: IV

Parameter settings for heading date prediction model using differential evolution method

Yusaku Aoki^{1*}, Kensuke Kimura², Kaori Sasaki², Atsushi Maruyama²,

Atsushi Mochizuki¹, Mitsuki Nakamura¹, Kengo Sagawa¹ and Koshi Nakamura¹

(¹Chiba Prefectural Agriculture and Forestry Research Center,

²National Agriculture and Food Research Organization)

近年の地球温暖化に伴い水稻の発育ステージは大きく変動している。このため、当年の気象データを基に発育ステージを予測し、それに基づいて適切な栽培管理を行うことが水稻の安定生産にはより重要となっている。第2報では、千葉県の主要3品種（「ふさおとめ」、「ふさこがね」、「コシヒカリ」）の出穂期予測モデル（以下、本モデル）を作成し、説明変数として用いる気温データと日長データを農研機構が開発したメッシュ農業気象データ（以下、メッシュデータ）から収集することによって、発育ステージの推定精度が向上することを報告した（望月ら 2017）。

千葉県では、本モデルを活用して Web 上で予測結果を閲覧できる水稻生育予測システム「でるたTM」を開発し、生産者の利用に供している（青木ら 2023）。他方で、現在は6品種に対応しているものの、現地からは他の奨励品種等、対応品種の拡大を望む声があり（鶴岡ら 2023）、最適な値での品種パラメータの設定が求められていた。また、本モデルのパラメータ推定手法として、望月ら（2017）はシンプレックス（Nelder-Mead）法を用いていたが、本手法では、適切な初期値の設定が必要であることや、局所最適解でパラメータの探索が止まる可能性があるという課題を抱えていた。

そこで本報では、パラメータが未設定の糯奨励品種「ふさのもち」について、ランダムな初期解からスタートし複数の解を並行して探索する手法である差分進化（Differential Evolution）法を用いた出穂期予測モデルのパラメータ設定を行った。加えて、現地での出穂期の推定精度の比較を行い、モデルの適応性の検証を試みたので報告する。

【材料および方法】

2010～2024年に千葉県農林総合研究センター水稻温暖化対策研究室（千葉市・壤土，n=21）、水田利用研究室（香取市・砂壤土，n=6）および成東育成地（山武市・壤土，n=27）で行った栽培試験の結果を基に、日平均気温と日長を説明変数、移植日から出穂期までの日数を目的変数とした出穂期予測モデルを作成した。なお、本モデルでは堀江・中川（1990）の発育予測モデルの構造を基に、移植時の発育指数（以下、DVI）を0.2、出穂期のDVIを1と定め、発育速度（以下、DVR）を2つの説明変数（日平均気温、日長）と5つのパラメータで決定する式を用いた（第1式、第1表）。

また、本モデルを用いて2023～2024年に長南町（壤土，n=4）で行った現地栽培試験のデータの出穂期を推定し、モデルの適応性について検証した。

【結果および考察】

差分進化法で決定されたパラメータを用いて推定した「ふさのもち」の出穂期の二乗平均平方根誤差（以下、RMSE）は、2.77日であった（第1表）。また、2024年の気象データを用いて、本モデルで推定した「ふさのもち（4/20移植）」の千葉県内の出穂期は7/8～7/24の範囲で分布していた（第1図）。また、現地栽培試験における出穂期のRMSEは1.12日であり、約3日の範囲で予測可能であった（第2図）。青木ら（2023）の報告では、生産者か

ら求められている出穂期の推定精度は約3日であることを確認しており、「ふさのもち」のRMSEから約3日の範囲で予測可能であることが示唆された。

以上のことから、差分進化法を用いて「ふさのもち」のパラメータ設定を行い、概ね3日の誤差範囲内での出穂期推定が可能であることが示唆された。今後も、他地区での現地圃場での実証を通じて、適応性を確認し、現地実装を目指す。

第1式 日平均気温と日長を説明変数とした出穂期予測モデル

$$DVI(n) = \sum_{i=0}^n DVRi$$

($L < Lc$ の場合)

$$DVRi = \frac{1}{G} \cdot \frac{1 - \exp\{B(L - Lc)\}}{1 + \exp\{-A(T - Th)\}}$$

($L \geq Lc$ の場合)

$$DVRi = 0, \quad DVI(0) = 0.2$$

(移植後 h 日で出穂期)

$$DVI(h) > 1 > DVI(h - 1)$$

n : 移植後日数, DVI : 発育指数, DVR(n) : 移植後 n 日目の発育速度,

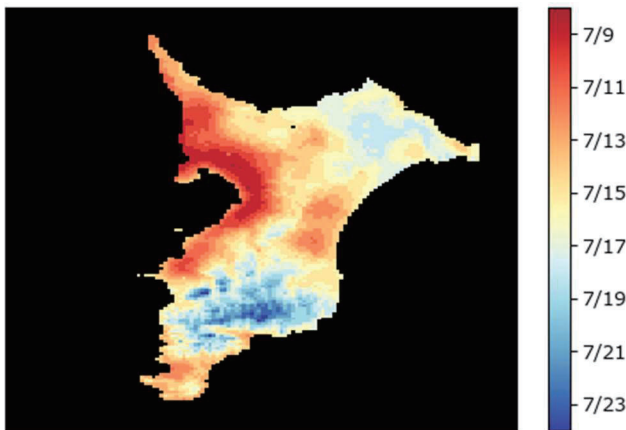
L : 日長時間(時間), T : 日平均気温(°C), G : 播種～出穂期の最小日数,

Th : DVR が最大値の半になる気温, Lc : 限界日長, A : 温度係数, B : 日長係数

第1表 出穂期予測モデルにおける「ふさのもち」のパラメータと RMSE

品種	パラメータ					RMSE
	G	A	Th	B	Lc	
ふさのもち	50.7	0.25	20.4	0.83	16.8	2.77

注) パラメータの表記は第1式と同じ



第1図 「ふさのもち」のパラメータを用いた4/20移植での出穂期推定日の分布図

注) 2024年の気象データからの推定日

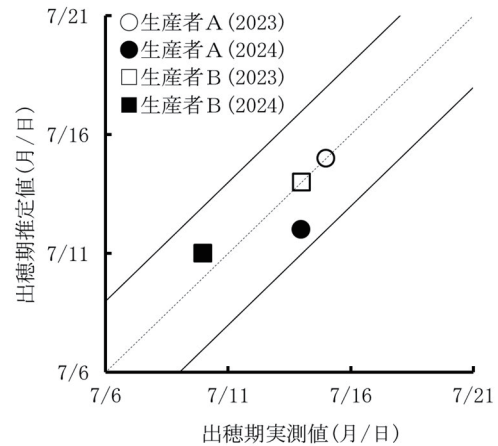
【引用文献】

望月篤, 吉田ひろえ, 鶴岡康夫 (2017) 日本作物学会関東支部会報第32号 : 26-27.

青木優作, 望月篤, 鶴岡康夫 (2023) 農業情報研究第32巻(2) : 38-45.

鶴岡康夫, 青木優作, 望月篤 (2023) 農業情報研究第32巻(2) : 46-56.

堀江武, 中川博視 (1990) 日本作物学会紀事59(4) : 687-695.



第2図 出穂期の推定精度

注) 実線は±3日の範囲,
破線はy=xを示す。

長野県準高冷地を中心とした
ベニバナインゲン在来系統の遺伝的類縁関係

小泉百恵^{1*}・橋田庸一²・廣瀬竜郎^{1,2}・岡部繭子^{1,2}

(¹高崎健康福祉大学大学院農学研究科・²高崎健康福祉大学農学部)

**Genetic Relationship of Runner bean in
Semi-Cool Upland Regions of Nagano Prefecture, Japan**

Momoe Koizumi^{1*}, Yoichi Hashida², Tatsuro Hirose^{1,2} and Mayuko Okabe^{1,2}

(¹Graduate School of Agricultural Science, Takasaki University of Health and Welfare,

²Faculty of Agriculture, Takasaki University of Health and Welfare)

【背景と目的】 ベニバナインゲン (*Phaseolus coccineus*.L) は標高 2000m の中央アメリカを原産とする作物であり、国内では北海道や長野県野辺山地域、群馬県嬭恋村など冷涼な地域で栽培されている。国内品種は 4 品種とわずかで、農家が独自に選抜してきた在来系統が多く栽培されているのが現状である。このような状況下で、在来系統の遺伝的資源の多様性を把握することは重要であるが、国内のベニバナインゲンの品種および在来系統の遺伝的関係に関する研究報告は少ない。また、鈴木 (2000) により、長野県では古くから在来種の栽培が多く、険しい山岳が連なっているため、地域ごとに分化が進んでいる可能性があることが報告されている。そこで、本研究ではベニバナインゲン在来系統の遺伝資源としての評価を目的とし、長野県産在来系統を中心に遺伝的類縁関係について検討した。

【材料と方法】 供試品種は、長野県産在来系統を中心に収集した 2 品種 88 系統と海外産 3 系統とした。DNA 抽出は、2022 年に採取した幼葉を NucleoSpin II (MACHERY-NAGEL) のプロトコルを一部 CTAB 法に改変した手法で抽出した。先行研究により選抜した 5 種類の SSR マーカーを使用し、小西ら (2015) の BStag 法を用いてマルチプレックス PCR を行い、PCR 産物をフラグメント解析に供試した。解析結果から PeakScanner (Thermo Fisher Scientific) を用いて各個体の多型情報を取得した。得られた多型情報から多型解析ソフト GenAIEx6.5 (Peakall and Smouse, 2012) を用いて遺伝距離を算出し、系統解析ソフトウェア MEGA11 (Tamura et al, 2021) を使用して UPGMA 法により分子系統樹を作成した。種子の縦と横の断面調査は農林水産植物種類別審査基準に従い目視で行った。

【結果と考察】 試験の結果、大きく分けて 4 つの Cluster に分類された (図1)。Cluster 1 に分類された 30 系統には、山梨県 5 系統と栃木県、中国、フランスの各 1 系統が含まれていた。また、長野県の中信地域産の塩尻市周辺 4 系統、伊那市周辺 2 系統が他の Cluster と比べて多く含まれていた。種子の縦断面の形は腎臓形の系統が他の Cluster より多かった。Cluster 2 は北海道 3 系統、山梨県 3 系統、中国 1 系統を含む 26 系統で、北海道の系統は全て Cluster2 に分類された。Cluster 3 は 7 系統で、群馬県育成品種「紅秋麗」が分類された。Cluster 4 は 30 系統で、長野県の中でも野辺山などの高冷地産の系統が他の Cluster と比べて多く分類された。

以上の結果より、Cluster 1 は中信地域または高冷地より気温の高い地域で栽培された系統が多く分類されたため、耐暑性を有している可能性が考えられた。Cluster 2 は、北海道産の系統をルーツに持つ系統が分類された可能性が考えられた。Cluster 3 は六合村の在来種をもとに品種育成された群馬県育成品種「紅秋麗」が含まれており、比較的標高の高い地域の在来系統が分類されたと考えられた。Cluster 4 は野辺山在来系統が多いため、高冷地の環境に適した系統が分類されたと考えられた。このように、在来系統において系統分化がみられ、栽培環境や種子形態、種子由来などと関連した遺伝的類縁関係が示された。本研究に供試した在来系統は新品種の育成において重要な遺伝資源になり得ると考えられた。

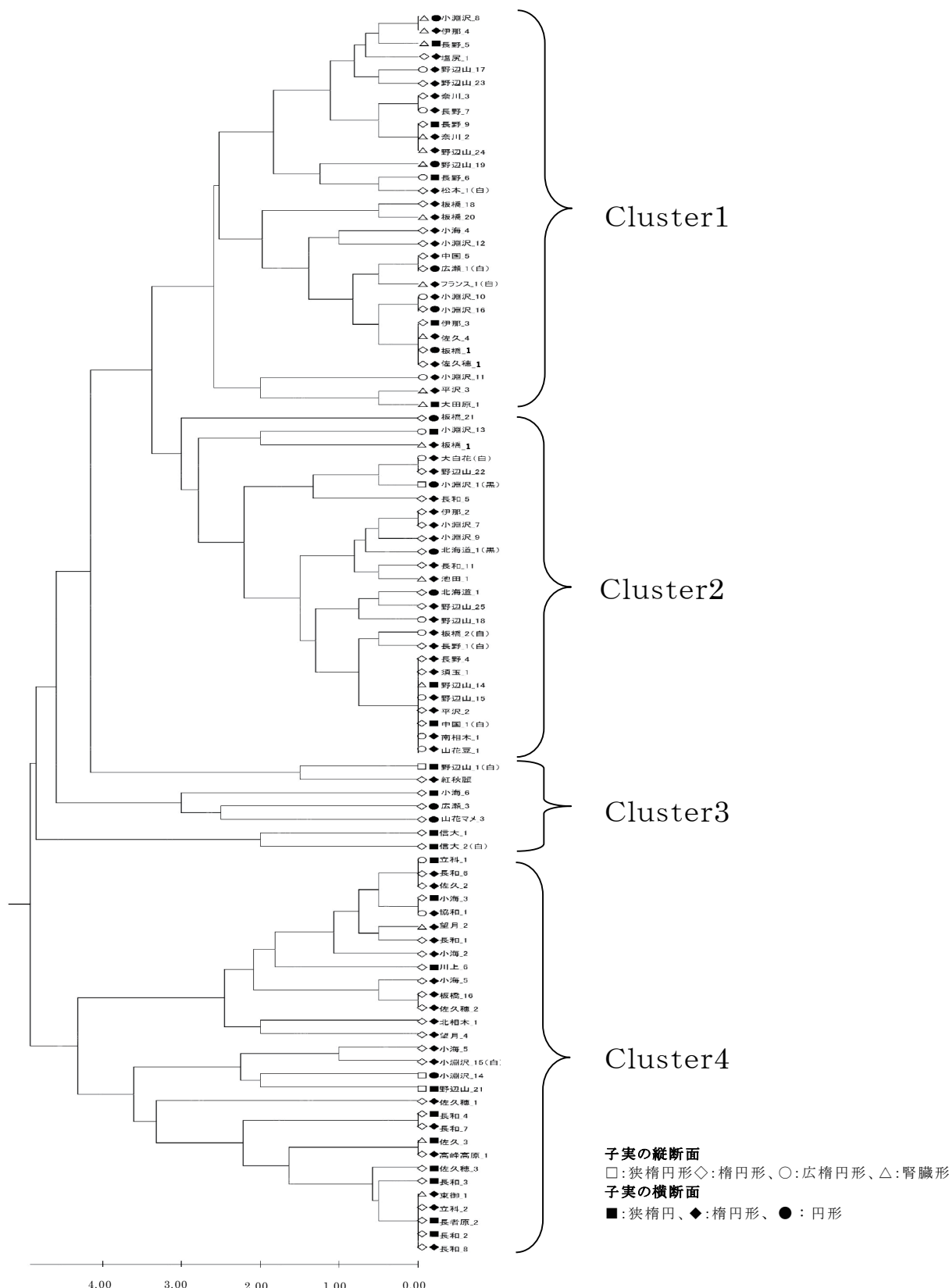


図1 UPGMA 法により作成したベニバナインゲンの分子系統樹

(系統名は産地名と整理番号からなり、系統名左側の記号は、枠内に示したように分類した子実の形態を表わしている)

【謝辞】 農研機構農業生物資源遺伝子バンクよりベニバナインゲン種子の分譲を受けました。

須藤璃音氏、太刀川尚成氏にマーカー選抜をご協力頂きました。

日本の菌根菌資材の評価に関する事例研究

土田修平^{1*M2}・請川弘次朗¹・サリ アリ¹・大友量²・イ フォウラ¹・鴨下顕彦¹

(1 東京大学農学生命科学研究科; 2 農研機構)

A case study for assessment of commercial mycorrhizal inoculants in Japan

Shuhei Tsuchida^{1*M2}, Kojiro Ukegawa¹, Alice Sari¹,Ryo Ohtomo², Phoura Y¹, Akihiko Kamoshita¹

(1 Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo;

2 National Agriculture and Food Research Organization)

みどりの食料システム戦略(2021年)の環境保全のためのKPI(key performance indicator; 重要達成度指標)として、化学肥料の削減を、2030年までに20%、2050年までに30%減らして63万トンまでに抑えることや、有機農業の耕地面積に占める割合を2050年までに25%(100万ha)に増やすことが掲げられている。この目標達成のためには、土壌微生物の機能解明と生産力強化のネクサスが必須であり、土壌中の糸状菌であるアーバスキュラー菌根菌の活用も検討されている。土着のアーバスキュラー菌根菌を、作付け体系の中で管理する戦略と、菌根菌資材を開発する戦略とが考えられている。本研究は、後者についての事例報告である。

菌根菌資材は、土壌改良資材の1つで、一般的には、温室で植物の根に菌を感染させて増殖したものを土壌基質ごと回収し製造される。菌体と担体の混合物であり、菌根菌の種やプロパギュール(あるいは感染源)密度、担体として使用される物質(泥炭、バーミキュライト、ゼオライト、砂、粘土、ゲル等)、推奨使用量などは様々である。「VA菌根菌資材」として政令指定されており、1984年に制定された地力増進法により、資材品質表示基準が定められている(原料、共生率、用途(主たる効果)、施用方法、保管条件、保存期限)。共生率は染色後の格子交点法による100箇所以上、3反復以上での光学顕微鏡観察により、表示率のマイナス15%までが許容されている。土壌のりん酸供給能を改善する効果が期待されるが、有効態りん酸の含有量の高い土壌や、作物種によっては、効果の発現が期待できないと注意されている(https://www.maff.go.jp/j/kokuji_tuti/kokuji/k0000035.html)。

菌根菌資材の利用報告は、ヨーロッパ、北米、オーストラリア、ブラジル、インドなどで多い。しかし、資材の効果が見られないこともあり(Salomon et al. 2022)、国際会議(10th International Conference on Mycorrhiza, 2019)でも、市販のバイオ肥料の誇大宣伝への注意が促された(Pickles et al. 2020)。菌根菌資材の使用は感染率を増加させるが、作物の成長への効果は大きくない場合も多い。その効果は、土着の菌根菌との競合がある圃場と、滅菌した土壌を使ったポットで、検証される。

日本で流通されている菌根菌資材は、出光興産製造のDr.キンコンがよく知られているが、近年イスラエルのGroundwork社によるRootellaシリーズ(販売会社島貿易)や、スペインのKimitec社によるMycogel、アメリカのXtreme GardeningによるMykos(販売会社Norina)が導入されている。そのほかにも、キンコンバッキー(セイコーステラ)やIGK-Bio(バイオシード・テクノロジーズ)も、菌根菌資材として日本で利用されている(表1)。本研究では、Dr.キンコンとRootellaシリーズの資材の添加効果を、赤玉土と黒ボク土で、イネ、トウジンビエ、ダイズについて、感染率や作物成長量等を指標として評価した(表2)。また資材に含まれる孢子数(図1)や化学成分についても、簡易評価した。資材に含まれる菌の種類についても調査を進めている。

謝辞: 本研究は科学研究費補助金(20K05995, 23H02192)によって行われた。東京大学大学院農学生命科学研究科附属生態調和農学機構技術職員に圃場管理支援を受けた。菌叢解析は農研機構作物研究部門のゲノム解析支援(課題番号: 21A17, 23D03, 24D03)により実施した。

商品名	販売会社	製造会社	菌種	propagule数	形態	施用方法	URL
Dr.キンコン	アグロカネショウ・グリーン ジャパン・アマゾン・楽天	出光興産(日本)	<i>Glomus</i> sp. strain R-10* ¹	14個/g* ¹	粒状	土壌混和	https://www.idemitsu.com/jp/content/100030370.pdf
Rootella-G	島貿易	Ground Work(イスラエル)	<i>Rhizophagus intraradices</i> * ²	2,500個/g* ²	粒状	土壌混和	https://groundworkbioag.com/products/
Rootella-F	島貿易	Ground Work(イスラエル)	<i>Rhizophagus intraradices</i> * ²	20800個/g* ²	微粉末	種子粉衣/水希釈散布	
Rootella-P	島貿易	Ground Work(イスラエル)	<i>Rhizophagus intraradices</i> * ²	2500個/g* ²	無塵粉末	土壌混和	
Mycogel	ハイボネックスジャパン・た まごや商店・楽天他	kimitec(スペイン)	<i>Rhizophagus irregularis</i> * ²	1.4x10 ⁷ 個/L* ²	ジェル	水希釈散布	https://kimitec.com/en/portada_en/
キンコンバックキー	セイコーステラ	Ground Work(イスラエル)	<i>Rhizophagus intraradices</i> * ²	20000個/g* ²	粒状	土壌混和	https://ecologia.100nen-kankyo.jp/agn/kinkonbucky.html
マイコスDDSR	NORINA	Xtreme Gardening (アメリカ)	<i>Rhizophagus intraradices</i> * ²	300個/g* ²	粒状	土壌混和	https://www.norina.co.jp/products/mykos-ddsr https://www.xtreme-gardening.com/mykos-mycorrhizae
機能性鉄細粒剤アイ アンK (IGK) Bio* ³	バイオシード・テクノジーズ (日本)	Xtreme Gardening (アメリカ)	<i>Rhizophagus intraradices</i> * ²	300個/g* ²	粒状	土壌混和	https://bioseed.co.jp/

1. 丹羽, 2018 より参照 2. 企業が公表している情報 3. 米国製菌根菌配合

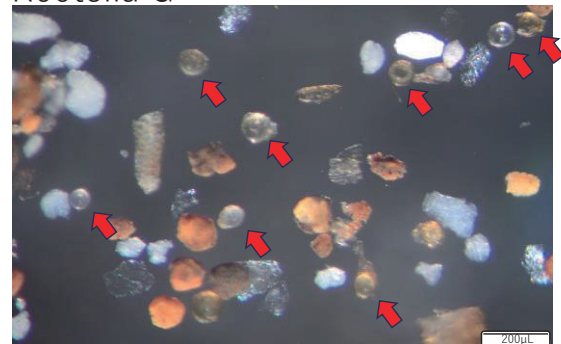
年	土	作物	資材	効果概要
2020	赤玉土混合土 (ポット)	トウジンビエ (ICMB89111, ICMB95444) イネ (コシヒカリ、とうごう4号)	Dr.キンコン Rootella F Rootella P	P>F>Dr.キンコンの資材の順に感染率は増加した。Rootellaシリーズでは、葉齢が漸減し、乾物重はやや低下したが、Dr.キンコンでは低下しなかった。
2021	赤玉土混合土 (ポット)	トウジンビエ (ICMB89111, ICMB95444) イネ (コシヒカリ、とうごう4号)	Dr.キンコン	感染率、乾物重ともに漸増した。
2020	黒ボク土(圃場)	トウジンビエ (ICMB89111, ICMB95444) イネ (コシヒカリ、とうごう4号)	Dr.キンコン	コントロール区での土着菌の感染率は高く、資材による感染率への効果はなかった。
2021	黒ボク土(圃場)	トウジンビエ (ICMB89111, ICMB95444) イネ (コシヒカリ、とうごう4号)	Dr.キンコン	コントロール区での土着菌の感染率は低く、資材による感染率は増加し、乾物重も増加した。
2022	黒ボク土(圃場)	イネ(ヒタチハタモチ)	Dr.キンコン Rootella G	前年にDr.キンコンを施用した圃場に再度施用すると、乾物重と収量は増加した。Dr.キンコンの施用により、菌根菌の種の多様性が低下する傾向であった。Rootella Gにより乾物重は変化せず、菌叢や多様性への影響も小さかった。
2023	黒ボク土(圃場)	ダイズ(サヤムスメ)	Dr.キンコン Rootella G	Dr.キンコンは高いリン施肥量で感染率と根の菌叢の多様性を高めた。資材に含まれる菌根菌のOTUが成熟期初期の根で増加していた。Rootella Gは感染率と根の菌叢の多様性を高め、2種類のOTUが増加した。ダイズの生育、乾物重、収量への影響は表れなかった。
2024	赤玉土(ポット)	ダイズ(サヤムスメ)	Dr.キンコン Rootella G	滅菌した赤玉土では2種類の資材がどちらも感染を確立し、播種40日後の乾物重は増加した。
2024	黒ボク土(ポット)	ダイズ(サヤムスメ)	Dr.キンコン Rootella G	感染率と乾物重に資材の効果は見られなかった。

Dr.キンコン



孢子密度：資材1gあたり0.37個<

Rootella G



孢子密度：資材1gあたり199個

図1 Dr.キンコンと Rootella G から抽出した孢子(矢印)と推定密度

9

開花期後の気象条件がラッカセイ「千葉P114号」の莢の裏側の褐変程度に及ぼす影響

小林孝太郎^{1*}・桑田主税²

(¹担い手支援課, ²千葉県農林総合研究センター)

Effect of post-flowering weather conditions on the degree of browning of the inner pods in peanut cultivar 'Chiba P114'

Koutaro Kobayashi^{1*} and Chikara Kuwata²

(¹Agricultural Extension Division ²Chiba Prefectural Agriculture and Forestry Research Center)

【目的】 演者らはラッカセイの安定生産に向けて、気象データと生育、収量及び品質に係る研究に取り組んでいる。ラッカセイの収穫適期は品種ごとに開花期後日数で判断するが、本県の栽培技術資料では、「千葉P114号(商標名:Qなっつ)」は莢の裏側の褐変程度(以下、褐変程度)を用いた、収穫適期の目安を示している。ただし、開花期後の気象条件が褐変程度に及ぼす影響を解析した事例は少ないため、複数年の調査データを用いて開花期後の気象条件と「千葉P114号」の上莢の褐変程度の関係性を解析したので報告する。

【材料および方法】 千葉県農林総合研究センター(千葉市緑区)の露地圃場(腐植質普通黒ボク土)で行った。試験は2020~2023年に標準播(5月22~27日)および晩播(6月6~15日)で実施し、供試品種は「千葉P114号」とした。基肥の施肥分量はN:P₂O₅:K₂O=3:10:10kg/10aとし、播種前に土壌混和した。栽植密度5,128株/10a(株間30cm,平均畝間65cm)でマルチ栽培し、開花期後にマルチを除去した。試験規模は2020年が168株/区,2021年が162株/区,2022年および2023年が46株/区とし、各年次とも3反復とした。生育および収量調査は2020年および2021年が開花期後60~90日,2022年および2023年が60~80日を目安に行った。上莢は1粒莢が1.0g,2粒莢が2.0g,3莢が3.0g以上を目安に外観で区分した。上莢の褐変程度は、鈴木(1998)を参考に0:白色,1:淡褐色,2:褐色,3:黒褐色の4段階評価とし、各年とも20~30莢を目標に調査した。日平均気温の積算温度(以下、積算温度)、日照時間および降水量はアメダス千葉の値を用いた。

【結果および考察】 6月から10月までの気象状況について、平均気温は各年次ともおおむね平年並みで推移したが、降水量では2020年が8月第1~第4半旬,2023年が7月第3~8月第1半旬で5mm以下の日が続いた(データ略)。これは2020年6月11日播種の開花期後3~5週目,2023年5月22日播種の開花期後2~5週目,6月6日播種の1~4週目に該当する(表1)。年次や播種時期に関係なく、開花期後日数が進むほど莢実重は増え、上莢率が高まる傾向がみられたが、2020年6月11日,2023年5月22日および6月6日播種では、他の播種日と比べて上莢率が極端に低く推移した(表2)。十分な褐変調査を行えた2021年の結果では、開花期後60日で褐変程度が淡褐色の割合が8割を占め、日数とともに褐色、黒褐色の割合が増加し、褐変指数が高まる傾向がみられた。「千葉P114号」の煎り莢・煎り豆栽培の収穫適期である開花期後80日では、標準播の平均が淡褐色で22%,褐色で41%,黒褐色で37%,褐変指数2.14に対して、晩播が淡褐色で18%,褐色で57%,黒褐色で24%,褐変指数2.06となった。この時の気象条件の違いは、標準播が晩播と比べて積算温度が55℃高く、積算降水量が57mm多かった点である。

本県の栽培技術資料では、収穫適期の目安を「生育が中庸な4株を選び、各株から株元の5莢を取った莢裏の半数以上が淡褐色(やや未熟)以上で、黒褐色(過熟)の莢が1つでも見いだされた時」としている。本試験の調査方法では、開花期後の積算温度が2,170℃,積算日照時間が480時間,淡褐色が1~2割,褐色が4~5割,黒褐色が2~3割程度であり、褐変指数が概ね2.0を超えると収穫に適すると推察された。ただし、2020年6月11日,2023年5月22日および6月6日播種のように、開花期後1週~5週目で降雨がほとんどなかった場合は、他の試験区より上莢率が極端に低く褐変程度が遅れたことから、開花期後の干ばつ害が子実肥大を阻害して褐変程度に影響を及ぼしていると考えられた。干ばつ害被害も併せて考慮することで、上莢の褐変程度を用いた収穫適期の判定が可能と考えられた。

【引用文献】 鈴木一男 (1998) 日作関東支部報 13:46-47.

千葉県 (2018) 落花生栽培の手引き. 1-20. 千葉県農林水産技術会議. 千葉.

表1 標準播および晩播における開花期後の合計降水量の推移 (mm/週)

播種期	年次	播種期 (年) (月/日)	開花期 (月/日)	開花期後日数 (週目)											
				1週	2週	3週	4週	5週	6週	7週	8週	9週	10週	11週	12週
標準播	2020年	5/27	7/1	110	36	121	106	1	0	1	51	19	110	26	24
	2021年	5/24	6/29	268	26	28	23	53	135	96	33	0	70	35	27
	2022年	5/24	7/1	2	130	23	14	52	4	82	3	78	8	2	92
	2023年	5/22	7/1	22	0	4	0	5	14	30	9	5	261	1	31
	平年値	6/6	7/8	39	37	27	22	17	20	28	32	34	45	51	52
晩播	2020年	6/11	7/15	121	106	1	0	1	51	19	110	26	24	52	5
	2021年	6/15	7/19	2	73	135	95	34	0	70	14	48	1	101	1
	2022年	6/13	7/12	145	14	0	53	80	9	31	48	9	87	64	1
	2023年	6/6	7/8	0	4	0	5	14	30	9	5	261	1	31	0
	平年値	6/11	7/13	28	23	17	19	27	32	34	43	51	52	50	56

注1) 平年値の播種日と開花期は4か年平均値 (2020年~2023年) とした.

注2) 平年値の降水量はアメダス千葉の30年平均値 (1991年~2020年) を用いた.

表2 「千葉 P114 号」の生育, 収量および上莢の褐変程度 (2020~2023年)

年次	播種日 (年) (月/日)	開花期 (月/日)	開花期後 日数 (日)	積算値			莖葉 乾物重 (g/株)	莢実数 (個/株)	莢実重 (kg/10a)	上莢 率 (%)	莢裏の褐変程度 (%)				褐変 指数
				平均 気温 (°C)	日照 時間 (hr)	降水 量 (mm)					白色 (0)	淡褐色 (1)	褐色 (2)	黒褐色 (3)	
2020年	5/27	7/1	61	1,665	339	448	68	55	303	33	-	-	-	-	-
			70	1,920	392	575	72	68	368	43	0	11	48	41	2.30
			79	2,151	422	601	62	63	410	55	0	8	20	72	2.64
			90	2,386	442	677	54	64	401	51	0	6	13	81	2.76
2021年	5/24	6/29	57	1,565	335	693	86	47	168	16	7	85	8	0	1.02
			68	1,835	376	763	87	47	252	40	0	45	48	7	1.62
			79	2,090	417	801	95	57	354	63	0	40	38	22	1.82
			89	2,326	477	825	77	63	413	66	0	20	50	30	2.10
2022年	5/24	7/1	61	1,709	348	347	88	54	320	37	0	40	60	0	1.60
			70	1,942	374	395	87	55	405	57	0	18	77	5	1.87
			81	2,224	431	483	82	62	485	68	0	5	47	48	2.43
			90	2,351	655	378	115	90	352	13	0	37	58	5	1.68
2020年	6/11	7/15	61	1,690	375	433	110	29	61	0	-	-	-	-	-
			70	1,908	399	463	122	38	92	1	-	-	-	-	-
			79	2,089	433	519	114	39	105	2	-	-	-	-	-
			90	2,309	452	653	100	45	125	6	-	-	-	-	-
2021年	6/15	7/19	60	1,599	342	446	83	52	266	38	3	88	8	0	1.05
			70	1,835	402	470	73	57	331	48	0	22	68	10	1.88
			80	2,060	463	571	66	61	394	61	0	18	47	35	2.17
			92	2,302	515	607	51	60	438	64	0	18	37	45	2.27
2022年	6/13	7/12	58	1,622	303	393	72	51	284	19	5	70	25	0	1.20
			70	1,928	363	481	67	57	378	48	0	35	65	0	1.65
			79	2,133	402	546	67	57	424	69	0	7	62	32	2.25
			90	2,305	483	630	75	52	281	35	0	18	37	45	2.27
平均	標準播	7/1	70	1,948	432	527	86	62	322	37	0	41	45	13	1.72
			80	2,204	481	566	89	68	401	50	0	22	41	37	2.14
			90	2,356	459	751	66	63	407	59	0	13	32	56	2.43
			70	1,923	435	435	90	56	275	29	0	46	50	4	1.58
晩播	7/8	80	2,149	482	498	86	58	329	40	0	18	57	24	2.06	
		90	2,305	483	630	75	52	281	35	0	18	37	45	2.27	

注1) 調査できなかった日はハイフン (-) で示した.

注2) 2023年は生育不良でサンプルを十分に確保できなかったため, 5月22日播種の開花期後72日調査が23莢/3反復, 81日調査が38莢, 6月6日播種の69日調査が56莢の調査とした.

注3) 褐変指数 = $(0 \times n_0 + 1 \times n_1 + 2 \times n_2 + 3 \times n_3) \div (n_0 + n_1 + n_2 + n_3)$ から算出した.

10

リン酸局所施肥位置へのコムギの根の物理的誘導が収量に及ぼす影響

藤元琴羽^{*1)}・橋本叡信²⁾・青木博光²⁾・田島亮介³⁾・神山拓也^{1),2)}

(¹⁾ 宇都宮大学農学部, ²⁾ 宇都宮大学大学院地域創生科学研究科,

³⁾ 東北大学大学院農学研究科)

Effect of physical root guidance to local phosphorus placement on wheat yield

Kotoha Fujimoto^{*1)}, Masaaki Hashimoto²⁾, Hiromitsu Aoki²⁾,

Ryosuke Tajima³⁾ and Takuya Koyama^{1),2)}

(¹⁾ School of Agriculture, Utsunomiya University, ²⁾ Graduate School of Regional Development and Creativity, Utsunomiya University, ³⁾ Graduate School of Agricultural Science, Tohoku University)

【背景および目的】 リン酸肥料は中国の輸出規制などの影響を受け、価格が高騰している。そのため、効率的な利用が求められる。コムギにおいては、リン酸を局所施肥すると局所施肥位置で根が繁茂し、全層施肥に比べ収量を増加させることが知られている。そこで本研究では、リン酸局所施肥位置へ遮根シートにより物理的にコムギの根を誘導することで根長および収量が増加するのかを調査した。

【材料および方法】 コムギ品種「農林 61 号」を条間 150cm, 株間 3cm で栽培した。長さ 3m の一条に対して、リン酸施肥方法 {全層(全)もしくは局所(局)} と遮根シートによる誘導の有無 {誘導あり(有)もしくは誘導なし(無)} を組み合わせた 4 つの処理 (全有, 全無, 局有, 局無) を実施し、4 反復の乱塊法で試験した。全層施肥区では窒素, リン酸, カリを 6, 12, 6g m⁻² で施用し, 局所施肥区では条直下にリンのみ同量を深さ 8cm の位置に幅 12cm, 高さ 5cm の帯状に局所施用した。遮根シートは条播したすじから左右 7.5cm の位置に深さ 25cm まで埋めた。根系は以下の手順で調査した。全ての処理区で直径 7cm の透明なチューブを深さ 40cm まで, 条上に垂直に挿入した。全無と局無では条から 15cm 離れた位置にも 1 本挿入した。挿入した透明なチューブにスキャナーを備えた根系撮像装置 (CI-600 In-Situ Root Imager, CID Bio-Science 社) を挿入し, チューブに沿った根および土壌の画像を取得した。深層学習を用いて画像内の根をセグメンテーションするソフト (RootPainter) で根の抽出画像を作成した。その画像を画像解析ソフト (WinRHIZO) を用いて根長を解析した。分けつ期, 出穂期, 収穫期に 50cm 内の個体をサンプリングし, 地上部乾物重を調べた。収穫後, 収量および収量構成要素を計測した。

【結果および考察】 収量は局無, 局有, 全無, 全有の順に大きく, 250, 194, 186, 138g m⁻¹ となった。二元配置分散分析の結果, 施肥方法と誘導による有意な効果はそれぞれ認められたが, 有意な交互作用は認められなかった。これらの結果から, 収量は局所施肥によって有意に増加するが, 遮根シートにより有意に減少する, つまり, 遮根シートによって根をリン酸局所施肥位置へ誘導しても, 相乗効果は得られないことが示唆された。条上に挿入したチューブの画像を解析した結果, 遮根シートを用いた誘導により根が増加する様子が観察できた。さらに, 局所施肥した処理区では, 局所施用された肥料の周辺で根が繁茂する様子を観察できた。現在, 取得した根の画像解析を進め, 収量との関係を調べている。



図1 リン酸局所施肥と遮根シートが生育に及ぼす影響. 手前から局有, 全有, 局無, 全無.

11

コムギ穂の外観形質と穀粒水分の関係

丹野和幸* 駒井寛也

(埼玉県大里農林振興センター)

Relationship between External Traits of Wheat Spikes and Grain Moisture Content

Kazuyuki Tanno* Tomoya Komai

(¹Saitama Prefectural Osato Agriculture and Forestry Promotion Center)

コムギの収穫適期は一般に穀粒水分 25~20%のときで、早いと損傷粒発生や乾燥費用増加が、遅いと退色や穂発芽による品質低下が懸念される。発育予測モデル等で大まかな時期は推定できるが、栽培法次第では誤差が大きく、局所的な気象の違いへの対応も難しい。また、営農指導において播種期や施肥等の耕種概要が不明な状況で収穫適期を判定する場面も多い。穀粒水分の計測は確実な方法であるが、圃場内に成熟程度の異なる穂が混在する場合や、多くの圃場を短時間で判定する場合には手間が大きい。そこで、最も簡便な方法である「見るだけ」の調査から、どの程度穀粒水分を推定できるかを明らかにするため、穂の外観形質と穀粒水分の関係を解析した。

【材料及び方法】

2024年の5月29日、6月4, 7, 11, 12日に熊谷市の圃場から褐ふの「さとのそら」(計56点)と黄ふの「あやひかり」(計68点)の穂を穂首節から5cm程度で切断し、黒合皮の背景でスマートフォン(A5 2020, OPPO)で撮影後速やかに脱粒し、穀物水分計(コメット CD-6, 静岡製機)で水分を測定した。画像解析にはImage Jを用い、RGB画像をLab変換し、L*60以上、b*10以上で閾値として穂部分を抽出し平均値を求めた。a*は穂の状態や部位で正負が異なったため、a*が5以上および-5以下のピクセル数を求め、L*60以上のピクセル数で割って割合を求めた(1を超えた場合は1とした)。穂角度は、屈曲している場合に穂先端Aと穂首節Bを結ぶ直線を平行移動して穂軸と1点で接した点をCとし、∠ACBを求めた。穂首角度は、穂首節から1cm下をDとし、∠ABDを求めた。芒の開帳角度は、穂片側の芒基部から幅x(0.5~2.5cm程度)で長方形に画像を切り取り、画像内の芒平均長yを計測し、角度法で $90 - \arccos(x/y)$ とした。統計解析にはRを用い、決定木分析はrpartパッケージでxerrorが最小になる変数まで決定木の剪定を行った。

【結果及び考察】

Lab色空間は人間の視覚に近い形で設計され、明度をL*、色度をa*、b*で表す。a*は正で赤方向、負で緑方向、b*は正で黄方向、負で青方向を示す。絶対値が大きいと鮮やかで、小さいとくすんだ色になる。穂の外観形質と穀粒水分の関係をみると、L*は両品種とも負の相関があり、成熟に伴い穂色は明るくなる傾向にあった(図1A)。b*は両品種とも正の相関があり、成熟に伴い黄色の鮮やかさが低下する傾向にあり、特にb*約30以上ではほぼ35%以上の高水分となった(図1B)。a*5以上や-5以下の割合とは正の相関があり、成熟に伴い赤や緑の鮮やかな部分が減少する傾向にあった(図1C, D)。穂や穂首の屈曲は成熟期以降にしばしば観察され、屈曲した穂の水分は低いが、屈曲していないからといって水分が高いとは限らなかった(図1E, F)。芒の開帳角度は約30°以下では高水分穂と見なせるが、それ以上では明瞭な関係は見られなかった(図1G)。

いずれの形質も多少の相関は見られたが、単一の形質で穀粒水分を推定するのは困難と考えられたため、穀粒水分を応答変数、各外観形質を説明変数として決定木分析を行った。その結果、 $L^*a^*b^*$ を組み合わせればある程度穀粒水分を推測できると考えられ(図2)、解析結果をもとに穂画像を比較し、数値ではなく遠観で判断可能な基準に直して作成した判定法を図3に示した。

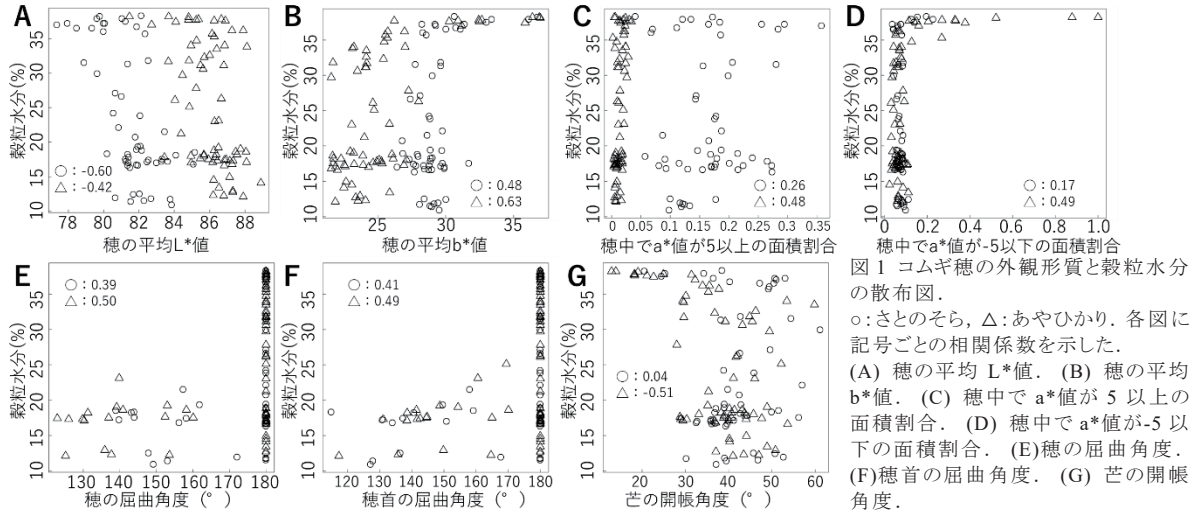


図1 コムギ穂の外観形質と穀粒水分の散布図。
○:さとのそら, △:あやひかり. 各図に記号ごとの相関係数を示した.
(A)穂の平均L*値. (B)穂の平均b*値. (C)穂中でa*値が5以上の面積割合. (D)穂中でa*値が-5以下の面積割合. (E)穂の屈曲角度. (F)穂首の屈曲角度. (G)芒の開帳角度.

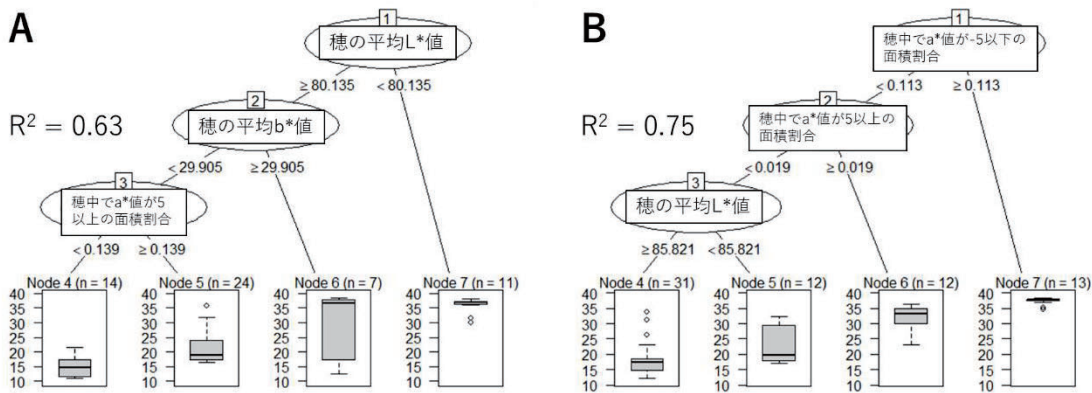


図2 外観形質からコムギの穀粒水分を推定するための決定木分析。
(A) さとのそら. (B) あやひかり.

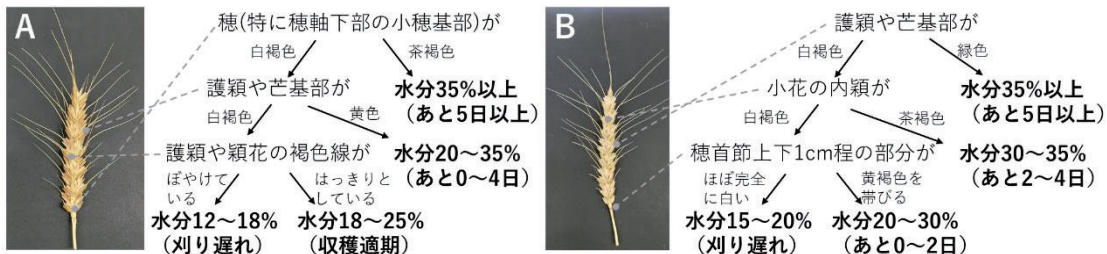


図3 分析結果に基づくコムギ穂の外観から穀粒水分や収穫適期を推定する方法。
単一の穂では誤差が大きいため、群落内の複数穂を見比べて判断する。また、穂が大きく曲がっていれば刈り遅れと判断できる。井上 2007に基づき、穀粒水分40%~20%では3.3%/日の速度で水分が低下すると仮定した。なお、採種栽培では穀粒水分20%以下のほうが発芽率低下を回避できる(片山・中川 2016)ため、示した日数からさらに2~3日遅らせる必要がある。(A) さとのそら(褐ふ品種). (B) あやひかり(黄ふ品種).

【引用文献】

井上一博 2007. 東北農業研究 60: 47-48. 片山寿人・中川淳也. 2016. 作物研究 61: 51-54.

12

コーヒー残渣の散布が雑草の生育およびササゲの収量に及ぼす影響

本間美穂*^{B4}・塩津文隆

(明治大学農学部)

Effect of Spent Coffee Grounds application on weed growth and cowpea yield

Miho Homma* and Fumitaka Shiotsu

(School of Agriculture, Meiji University)

【背景および目的】

コーヒーは世界で最も人気のある飲料のひとつであり、石油に次いで二番目に多く取引されている商品であり、2023年度では世界で約1億7,900万個の60kg袋が生産された。近年のコーヒー消費量の拡大とともに副産物であるコーヒー残渣(以下、SCG)の量も増加している。また、SCGにはコーヒー粉の重さと同量の水分が含まれるため、実際にはその2倍の量のごみが発生していると推定される。このようなことから、廃棄物削減と資源としての有効活用の観点からSCGの利用について検討する必要がある。これまでの既往の研究ではSCG散布による雑草防除の可能性は指摘されているが、研究は限られている。

そこで本試験では、ササゲ栽培時におけるSCGの雑草の生育および収量への影響について評価した。

【材料および方法】

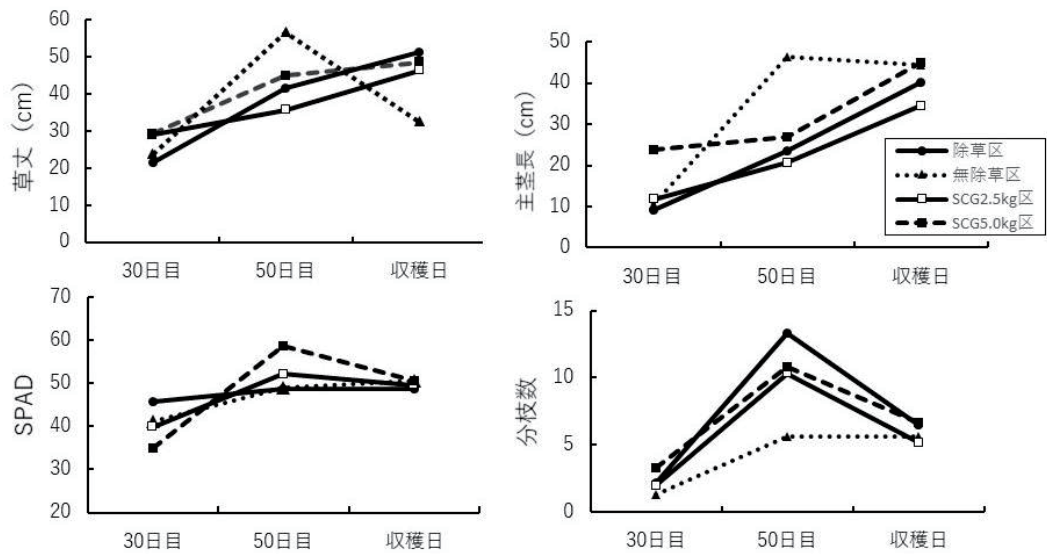
2024年5~8月に明治大学生田キャンパス南圃場で試験を行った。供試品種はIT97-1042(矮性品種)を用いた。SCGは大学周辺のコーヒースタンドから収集し、80°Cで5日間乾燥後に風乾で保存した。施肥は基肥をN:P:K=4:9.3:13.3 g/m²施用した。処理区は除草区(対照区)、無除草区、SCGによる雑草防除の効果をみるために、SCG2.5 kg/m²区、SCG5.0 kg/m²区の4処理区を設けた。ササゲは5月15日に直播し、SCG施用は播種後14日後に行った。調査は生育特性、収量構成要素、土壌水分量、pH、NO₃⁻、雑草バイオマス量等を測定した。除草区では6月5日、6月14日の2回手取り除草を行った。また、SCG2.5 kg区、SCG5.0 kg区では6月19日に雑草が処理区を完全に被覆したため、1回手取り除草を行った。優占雑草種は目視で同定し、これらの雑草の地上部バイオマスは収穫時に雑草種別に分類した。

【結果および考察】

草丈、主茎長は無除草区が播種後50日目で高かった(第1図)。これは雑草との光競合による茎が徒長したためと考えられる。SPADは処理区間で差は認められなかった。分枝数は除草区が最も高く、無除草区が最も低かった。収量は除草区が最も高く無除草区が最も低かった(第1表)。SCG5.0kg区は除草区と同程度であった。SCG散布処理区において土壌pHは弱酸性に傾いた(図略)。

試験期間中の雑草総重量をみると、無除草区、SCG5.0kg区、SCG2.5 kg区、除草区の順で多く、SCG散布処理区では、無除草区に比べ、雑草量が減少した。SCG2.5 kg区とSCG5.0kg区では差は認められなかったSCGの散布は雑草発生量を抑制していることが確認された(第3図)。今回の圃場では、雑草が14種確認された。処理区(重量割合)ごとに優占種は異なり、除草区ではメシバ、ハマスゲ、カタバミ、無除草区ではメシバ、アオゲイトウ、ホナガイヌビユ、SCG2.5 kg区 およびSCG5.0 kg区ではメシバ、カタバミ、オヒシバが確認された。共通して、どの処理区でもメシバが最も多く見られた。

以上から、SCG散布は雑草抑制の効果が認められ、収量も除草区と同程度であった。除草にかかるコストを考慮する必要はあるが、コーヒー残渣の有機除草剤としての再利用は持続可能な農業の貢献が期待できると考えられる。

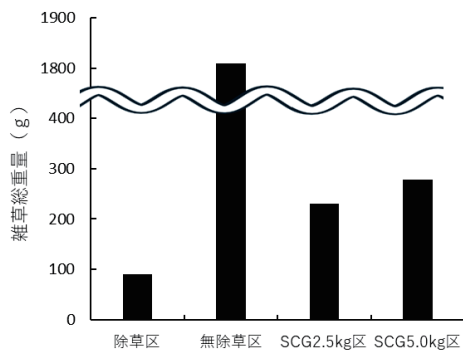


第1図 処理区別のササゲの草丈, 主茎長, SPAD, 分枝数の推移.



第2図 播種後30日目の各処理区の生育状況.

A: 除草区, B: 無除草区, C: SCG2.5kg区, D: SCG5.0kg区.



第3図 処理区別の雑草総重量.

第1表 ササゲの収量構成要素.

処理	成熟莢数 (個)	未成熟莢数 (個)	一莢粒数 (粒)	百粒重 (g)	子実収量 (g/株)
除草区	42.8	5.3	6.7	10.68	29.21
無除草区	1.5	0.8	0	0	0
SCG2.5kg区	28.2	5.2	5.4	9.81	15.69
SCG5.0kg区	35.3	1.7	6.4	10.69	24.15

13

水稻再生二期作栽培における非構造性炭水化物の差異が再生茎の萌芽，生育に及ぼす影響

松田あずさ*^{B4}・堀井優希・塩津文隆

(明治大学農学部)

Effects of non-structural carbohydrate on tiller regeneration in ratoon rice

Azusa Matsuda*, Yuki Horii and Fumitaka Shiotsu

(School of Agriculture, Meiji University)

【背景および目的】

多収・低コスト稲作栽培技術のひとつとして，一期作目の刈り株に発生する再生茎から籾を収穫する水稻再生二期作栽培が熱帯アジア・アフリカを中心に注目されている．再生二期作目のさらなる収量向上には，再生茎の萌芽・生育の良否が重要である．この良否には一期作目の刈り株に残存する非構造性炭水化物(NSC)の含有量が強く影響することが指摘されているが，NSC含有量の差異(量・時期)が再生茎の萌芽・生育への影響については十分に検討されていない．

そこで本試験では，一期作目の刈り株の NSC 含有量を時期別に増減させ，再生茎の生育にどのように影響するのかを明らかにすることを目的とした．

【材料および方法】

2023年(試験1)，2024年(試験2)に明治大学生田キャンパス網室内のビニル水田でポット試験を行った．両年に共通する栽培方法は次の通りである．供試品種はあきたこまちを用いた．施肥は一期作目では基肥をN:P:K=6:6:6 g/m²，追肥を移植50日後と一期作目収穫直後にN(硫酸)=3 g/m²を施用した．一期作目の刈り高は30 cmとした．

試験1: NSC含有量に差をつけるため，対照区，遮光区，高CO₂区の3処理区を設けた．処理は一期作目収穫前10日間に行った．遮光区は遮光率約75%の遮光ネットで覆った．高CO₂区はCO₂濃度を800 ppmに維持した自然光型グロースチャンパー内で栽培した．一期作目，再生二期作目ともに，生育関連特性，収量構成要素，再生茎率(再生茎数/刈り株茎数)を調査し，刈り株内のNSC含有量をアンスロン硫酸法で測定した．

試験2: 対照区，高CO₂+20日区(出穂20-25日に5日間処理)，高CO₂+25日区(出穂25-30日)，高CO₂+30日区(出穂30-35日)の4処理区を設けた(第1表)．高CO₂区はCO₂濃度を600 ppmに維持し栽培した．調査項目は前年度とほぼ同様である．

【結果および考察】

試験1: 一期作目収穫時のNSC含有量は再生茎の萌芽，生育に大きな影響を与え，その量により，再生茎数(穂数)を変化させて，収量を変動させることが示唆された(図表略)．

試験2: 再生二期作目の出穂期が異なっており，+20日区が最も早く，対照区が最も遅かった(第1表)．1期作目の収量構成要素は処理区間で有意差は認められなかった(第2表)．刈り株NSC含有量に有意差は認められなかったものの，一期作目収穫3週間後の再生茎率は+20日区が対照区と比べて有意に高かった(第1図，第3表)．再生二期作目の収量をみると，+20日区が最も高かったものの，有意差は認められなかった．また，収量構成要素では，+20日区の穂数が他の処理区よりも明らかに高かったが，他の要素には有意差は認められなかった(第4表)．

以上より，水稻再生二期作栽培の刈り株内のNSC含有量の多寡は，再生茎の発生に寄与すること．また，登熟中期のNSC含有量が再生茎(穂数)の生育に大きく影響することが明らかとなった．今後は，一期作目の収量形成と再生茎の生育を両立させる刈り株内NSC含有量の増加方法と分配バランスを明らかにする必要がある．

第1表 一期作目, 再生二期作目の栽培日数.

処理区	一期作目			再生二期作目	
	移植日	出穂期	収穫日	出穂期	収穫日
対照区				9月8日【34】	
高CO ₂ +20日区 (7/21~7/26)				8月31日【26】	
高CO ₂ +25日区 (7/26~7/31)	4月24日	7月1日 (68)	8月5日 (103)	9月2日【28】	10月18日【74】
高CO ₂ +30日区 (7/31~8/5)				9月3日【29】	

第2表 一期作目の収量構成要素および収量.

処理区	穂数 (本)	一穂粒数 (粒/本)	登熟歩合 (%)	千粒重 (g)	収量 (g/ポット)
対照区	26.3 a	84.5 a	33.0 a	20.9 a	15.4 a
高CO ₂ +20日区	26.5 a	75.3 a	47.5 a	21.5 a	21.0 a
高CO ₂ +25日区	25.3 a	76.8 a	49.2 a	21.7 a	20.8 a
高CO ₂ +30日区	24.8 a	78.7 a	35.9 a	22.4 a	15.5 a

Tukey の HSD 検定により, 異なるアルファベット間には 5%水準で有意差ありを示す.

第3表 刈り株内のNSC含有量および再生茎率.

処理区	刈り株NSC 含有量 (g/株)	1期作目収穫 3週間後の 再生茎数(本/株)	再生茎率 (%)
対照区	0.95 a	18.5 b	65.8 b
高CO ₂ +20日区	2.59 a	26.3 a	105.3 a
高CO ₂ +25日区	2.42 a	20.5 ab	78.0 ab
高CO ₂ +30日区	1.58 a	23.0 ab	83.3 ab



第1図 再生茎発生.
左から対照区, +20日区,
+25日区, +30日区.

第4表 再生二期作目の収量構成要素および収量.

処理区	穂数 (本)	一穂粒数 (粒/本)	登熟歩合 (%)	千粒重 (g)	収量 (g/ポット)
対照区	15.8 c	29.2 a	86.9 a	23.1 a	9.1 a
高CO ₂ +20日区	24.3 a	27.4 a	81.8 a	24.5 a	13.5 a
高CO ₂ +25日区	21.0 ab	26.2 a	89.6 a	23.1 a	11.4 a
高CO ₂ +30日区	18.0 bc	29.3 a	83.7 a	23.9 a	10.7 a

温帯ジャポニカイネ品種群を用いた葉の元素含量と光合成速度との関係

飛田結衣*^{1,M1}・本田爽太郎^{1,D3}・新垣篤史²・杉原創¹・大川泰一郎¹・安達俊輔¹

(¹東京農工大学大学院農学府・²東京農工大学大学院工学府)

**Ionome analysis toward understanding genetic variation of leaf photosynthesis
among temperate japonica rice varieties**

Yui Tobita *^{1,M1}, Sotaro Honda^{1,D3}, Atsushi Arakaki²,

Soh Sugihara¹, Taiichiro Ookawa¹, Shunsuke Adachi¹

(¹Graduate School of Agriculture, Tokyo University of Agriculture and Technology,

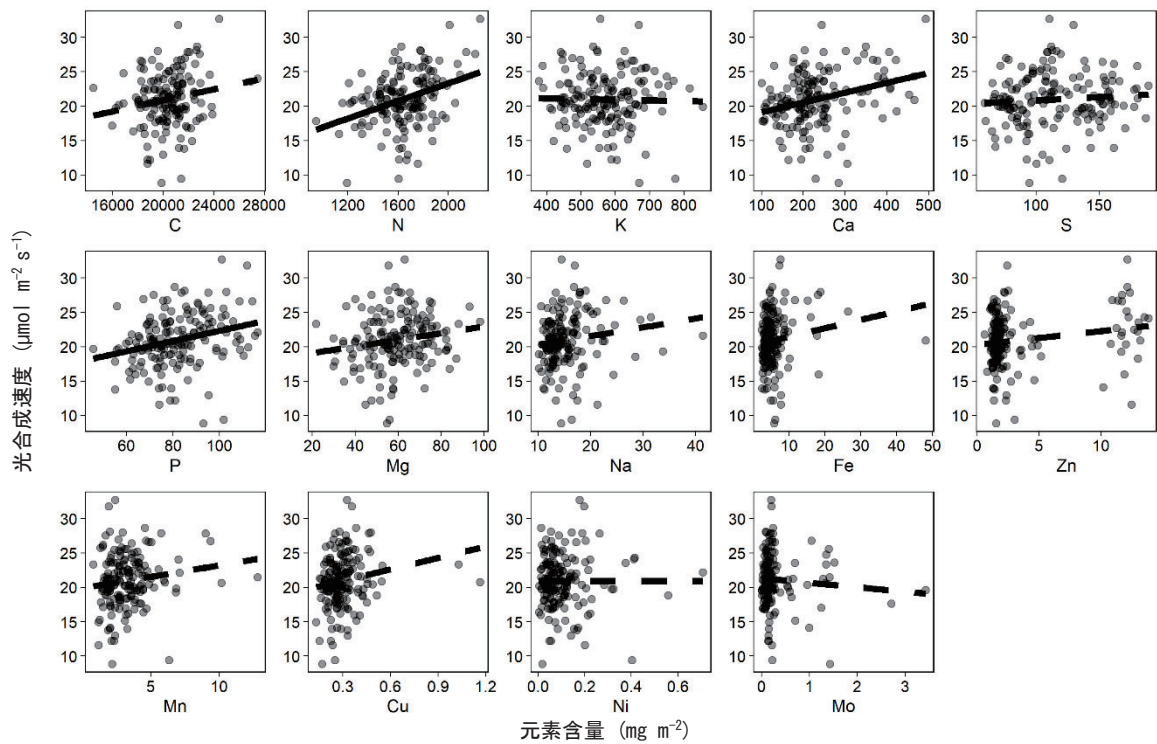
²Graduate School of Technology, Tokyo University of Agriculture and Technology)

【緒言】イネの葉の光合成速度には品種間差が認められており、その変異幅は 2~3 倍になる (Kenemura et al. 2007; Honda et al. 2024). 葉の光合成タンパク質含量と窒素含量には密接な関係があることから、光合成速度の品種間差をもたらす主な要因は葉の窒素含量の違いであると考えられてきた (Evans et al. 1989; Ohsumi et al. 2007). 一方、K イオンの含量が気孔開度に影響することや (Humble and Hsiao 1970), Mg イオンの動態が光合成速度の変動に影響することも報告されている (Li et al. 2020). このように窒素以外の元素もまた光合成速度に影響すると考えられるが、各種元素と光合成速度との関係を網羅的に解析した例はこれまでにない. 本研究では、169 のジャポニカイネ品種群の止葉に対してイオノーム解析を実施し、各元素量と光合成速度との関係を評価し、さらにその遺伝要因の解析を行った.

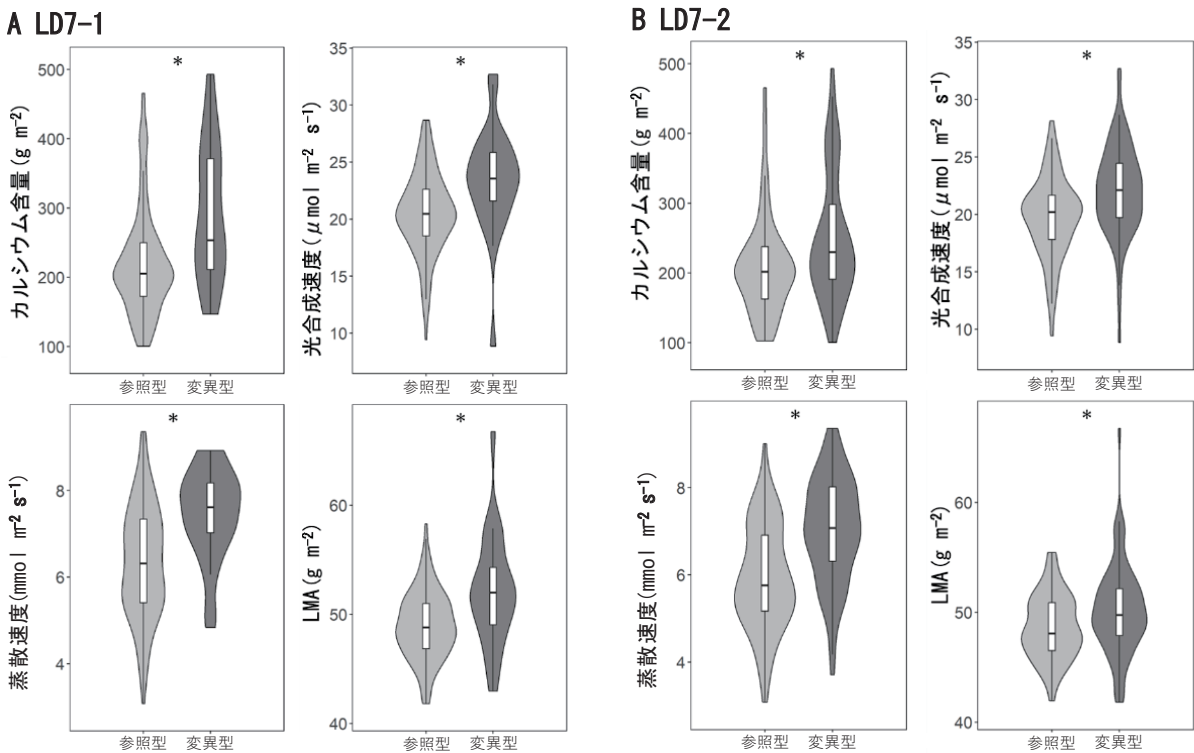
【材料および方法】日本で育成された温帯ジャポニカイネ 169 品種を東京農工大学 FM 府中本町水田圃場において 2021 年に栽培した. 光合成測定装置 (LI-6400, LI-COR 社) を用いて穂揃期の止葉の光合成速度を測定したのち、測定部約 3cm の葉の切片を乾燥サンプルとして保存した. このサンプルに対して濃硝酸と過酸化水素を用いて湿式分解を行い、12 元素 (Ca, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, S, Zn) の含量を ICP-OES (iCAP PRO XP Duo, Thermo Fisher Scientific 社) によって定量した. 窒素 (N) と炭素 (C) の含量は CN コーダー (MT-700II, Yanaco) によって測定した. 遺伝要因の解析のため、ゲノムワイド関連解析 (GWAS) を Yano et al. (2016) の方法で実施した.

【結果および考察】測定した元素含量を葉面積当りに換算し、光合成速度と各元素との関係を調べた (第 1 図). 窒素含量と光合成速度は有意な正の相関 ($r=0.37$) を示した. また、カルシウム含量 ($r=0.33$), リン含量 ($r=0.27$) それぞれと光合成速度との間にも相関が認められた. 光合成速度を対象とする GWAS の結果、第 7, 8 染色体に候補ゲノム領域が検出された. このうち第 7 染色体の候補領域はカルシウム含量に関わる候補領域と重複していた. 候補領域には 2 個の連鎖不平衡 (LD) ブロックが存在したため、各 LD ブロックに対してハプロタイプ別の表現型値を比較したところ、いずれの LD ブロックにおいてもカルシウム含量、光合成速度、蒸散速度、比葉重が参照型 (日本晴型) に比べ変異型で有意に高かった (第 2 図). 以上より、葉のカルシウム含量と光合成関連形質は同じ遺伝要因により制御されている可能性が示唆された.

* 本研究の一部は科学研究費補助金 (24K01740) ならびに福島国際研究教育機構 (F-REI) の委託研究費 (JPFR24030101) の支援を受けて実施した.



第 1 図 葉面積あたりの光合成速度と元素含量の関係. ボンフェローニ検定によって $p < 0.05$ の回帰直線は実線で, $p \geq 0.05$ の回帰直線は点線で示した.



第 2 図 第 7 染色体に存在する連鎖不平衡 (LD) 領域のハプロタイプ別のカルシウム含量, 光合成速度, 蒸散速度, 比葉重 (LMA) の比較. 有意差検定はウィルコクソンの順位検定によって行い, $p < 0.05$ のものは * で示した.

15

水稻育成系統「モンスターライス7号」の陸稲栽培適性

小林勇太^{*B4}・由良桃子^{*B4}・安達俊輔・大川泰一郎

(東京農工大学大学院農学府)

Cultivation Suitability of the rice breeding line 'Monster Rice 7' in upland fields

Yuta Kobayashi^{*B4}, Toko Yura^{*B4}, Shunsuke Adachi and Taiichiro Ookawa

(Graduate School of Agriculture, Tokyo University of Agriculture and Technology)

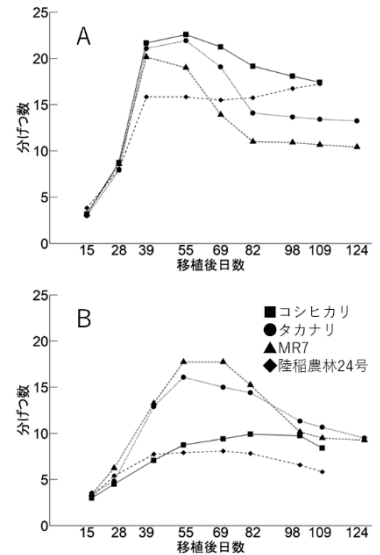
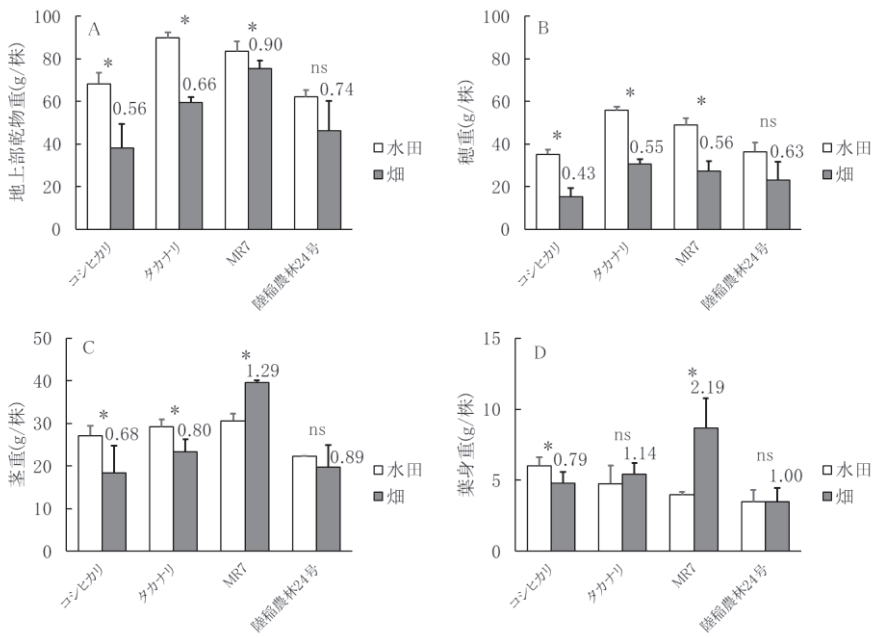
【緒言】近年、世界的な気候変動の影響で、我が国では夏季に取水が制限され水田での渇水が大きな問題となっている。令和五年に発生した新潟での夏季高温・渇水のように、枯死、あるいは白未熟粒の増加などの生育阻害が発生している。現状のままでは、水資源の豊富な日本においても、これまでの収量、品質で水稻栽培を維持するのが困難な地域の拡大が懸念される。イネの節水栽培法の一つとして陸稲栽培があげられる。しかしながら、陸稲栽培は水稻栽培に比べて一般的に収量が半分以下と低いことが課題となっている。更に、我が国においては陸稲粳米品種の栽培はごくわずかで、現在日本で栽培されている陸稲の約99%が糯品種であり、戦後品種育成がされてこなかった陸稲粳米品種の多収・高品質品種の改良が必要となる。加藤ら(2009)は、多収性の水稻粳米品種であるタカナリを灌水畑と湛水田で生育、収量を比較し、畑でも水田とほぼ同等の収量を得ることが可能であることを報告している。タカナリを交配親に用いて本学で育成したモンスターライスは、水田において高い収量とバイオマス生産量を持つ(Nomura et al, 2016)ため、陸稲栽培においても高い収量が期待される。本研究ではまずモンスターライス新系統「モンスターライス7号」の天水畑での陸稲適性について、水田と天水畑のモンスターライス7号の収量およびバイオマス生産量を水稻品種、陸稲品種と比較検討を行った。

【材料と方法】東京農工大学農学部フィールドサイエンス教育研究センターFM 府中の畑(火山灰土壌)にて天水での陸稲栽培区(以下畑区)、同 FM 本町水田(多摩川沖積土壌)にて湛水田栽培区(以下水田区)の2地点の圃場において、コシヒカリ、タカナリ、モンスターライス7号(以下MR7)、陸稲農林24号の計5品種を3反復、1株3本植の同じ移植で栽培した。施肥は基肥のみを P_2O_5 、 K_2O を成分で6kg/10aずつ、窒素は成分で3kg/10a施用した。除草、病虫害防除は適宜行った。各反復の4株について移植から2週間おきに草丈、分げつ数、SPAD値を測定した。また、移植期、最高分げつ期、出穂期、収穫期の計4回、各プロットから8株を抜き取り、うち生育中庸な4株について器官別の乾物重、緑葉面積を測定した。また、収穫期に各プロット20株について収量調査を行った。

【結果と考察】水田区と畑区の収穫期地上部乾物重を処理区間で比較した結果、コシヒカリ、タカナリ、陸稲農林24号の畑区では水田区の56~74%の乾物重であったが、MR7は畑区でも水田区の90%と地上部乾物重が大きかった(第1図A)。MR7の器官別の乾物重をみると、とくに畑区の茎、葉身の乾物重が水田区よりも大きかった(第1図C,D)。しかしながら、MR7の畑区の穂の乾物重は他の品種と同様に、水田区の半分程度であった(第1図B)。地上部乾物重が異なる要因を検討するため成長解析を行った結果(第2,3図)、MR7の出穂期から収穫期までのCGRは水田区と同様に高く、とくに出穂期から収穫期の間でLAIが高く維持されていることが要因であった(第2図)。MR7は畑区でも分げつ数が高く維持され(第4図)、葉の老化も遅く、LAIが高く維持された要因と考えられた。

今後、灌漑畑での比較を行うとともに、葉面積の維持の要因、干ばつ回避に関わる深根性に着目して検討する予定である。

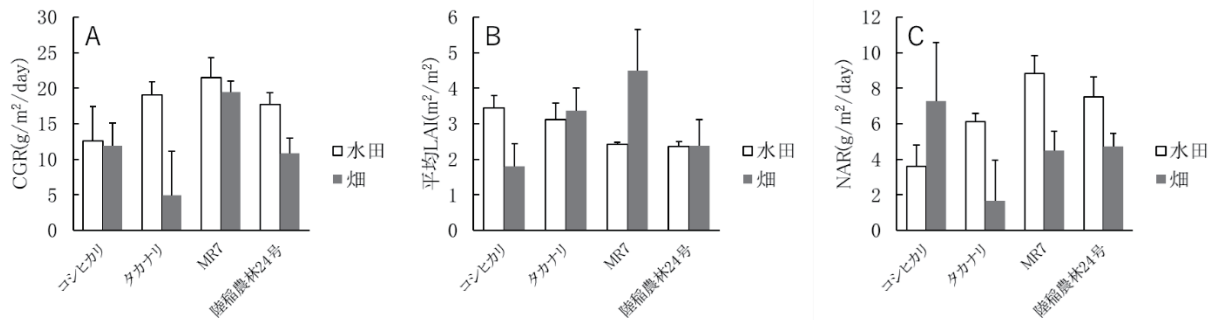
*本研究は、JST COI-NEXT (JPMJPF2104) で得られた成果である。



第4図 分け数推移。
(A)水田区, (B)畑区

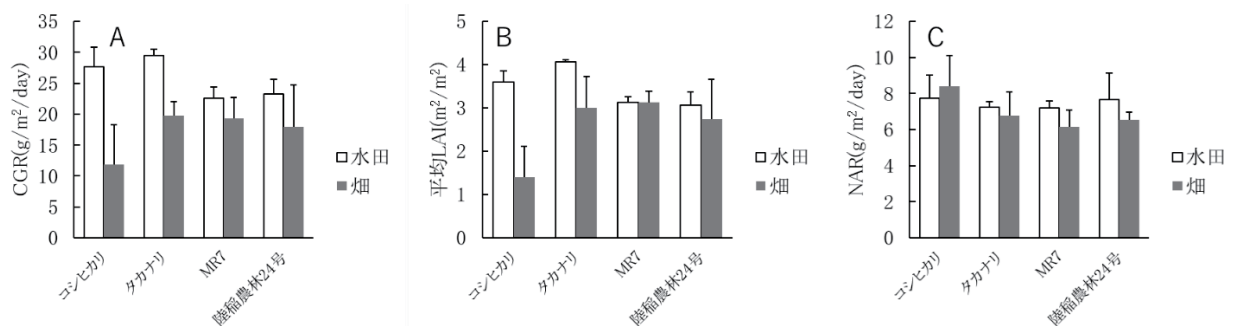
第1図 水田と畑での地上部乾物重の相違.

(A)地上部, (B)穂, (C)茎, (D)葉身. 棒グラフ上の数値は水田区を1とした時の畑区の割合(小数点第3位切り捨て). *は処理区間において5%水準で有意差があることを示す(n=3, t検定)



第2図 出穂期から収穫期間の成長解析.

(A) 個体群成長速度 (CGR), (B) 平均葉面積指数(平均 LAI), (C) 純同化率 (NAR)



第3図 最高分けつ期から出穂期間の成長解析. (A)平均葉面積指数(LAI), (B)純同化率(NAR), (C)個体群成長速度(CGR)

16

水稻多収品種「北陸 193 号」の気孔開度上昇による光合成能力強化の可能性

岡田有美^{*M1}・本田爽太郎^{D3}・大川泰一郎・安達俊輔

(東京農工大学大学院農学府)

Potential to improve photosynthetic capacity by promoting stomatal opening in high-yielding rice variety "Hokuriku 193"

Yumi Okada^{*M1}, Sotaro Honda^{D3}, Taiichiro Ookawa, Shunsuke Adachi

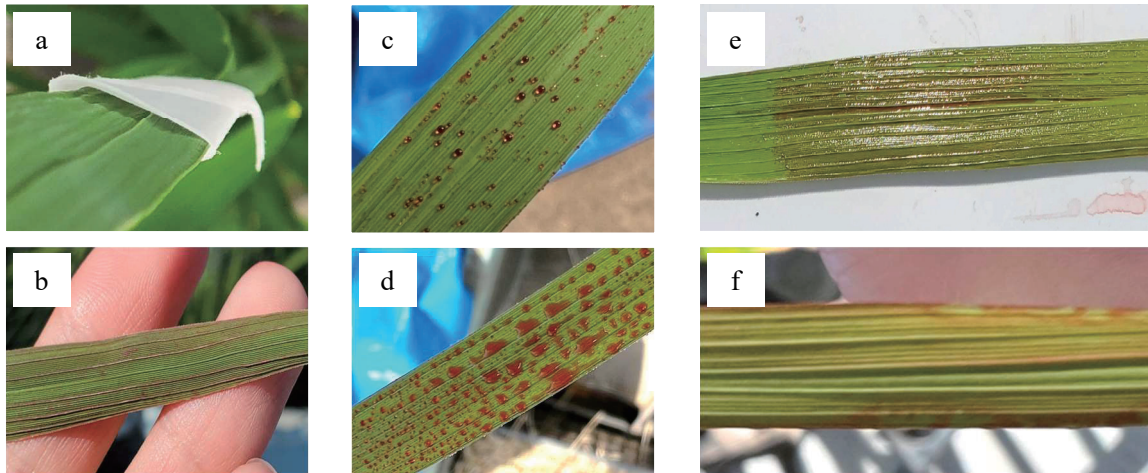
(Graduate School of Agriculture, Tokyo University of Agriculture and Technology)

【緒言】日本で育成された飼料用インド型水稻品種「北陸 193 号」は、慣行栽培においてしばしば 800 kg/10 a を超える玄米収量を示す (Tsukaguchi ら 2016; Okamura ら 2018)。「北陸 193 号」を育種母本に用いることにより、更なる水稻のバイオマス生産量や収量向上が期待される。Zhang ら (2021) は、細胞膜 H⁺-ATPase をコードする遺伝子 *OSA1* の過剰発現実験を行うことで、日本型水稻品種「日本晴」の葉の気孔開度や光合成速度、根からの養分吸収を上昇させ、収量を約 30%増加させた事例を示した。この成果を「北陸 193 号」に応用できれば、更なる収量増加を実現できる可能性がある。一方、「北陸 193 号」の光合成能力は「日本晴」と比較して著しく高く、細胞膜 H⁺-ATPase 活性上昇による一層の光合成能力改良の余地があるか否かは不明である。そこで本研究では、細胞膜 H⁺-ATPase 活性化作用を持つ薬剤 (フシコクシン) 等の処理により、「北陸 193 号」の光合成能力強化の可能性を検討した。

【材料と方法】実験は 2023 年および 2024 年に東京農工大学府中キャンパスにて実施した。「北陸 193 号」の 3 葉期の苗を 2L のディスプレイカップに 1 個体ずつ移植した。基肥として N, P, K がそれぞれ 0.4 g/pot になるよう化成肥料 (14-14-14) を施用した。分けつ期の最上位展開葉を表現型解析に用いた。薬剤処理試験として、展着剤 (まくぴか, 石原バイオサイエンス) を添加したフシコクシン溶液を用いた。薬剤処理は早朝に行い、附着液乾燥後速やかに、光合成蒸散測定装置 (LI-600 ならびに LI-6800, いずれも LI-COR 社) を用いて気孔コンダクタンス (g_s) を測定した。このほか、気孔開度を上昇させる実験として、LI-6800 の同化箱に挟んだ葉のガス交換速度が定常状態に達した後、葉身基部を鋏で切断して g_s ならびに光合成速度の推移を調べた。

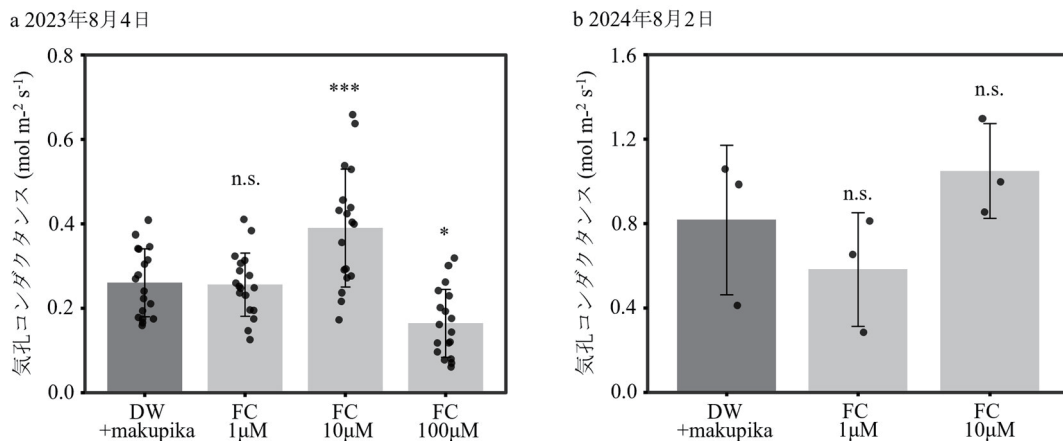
【結果と考察】フシコクシン溶液の処理方法を検討したところ、処理道具として、濾紙、注射、霧吹きを用いた場合には濃度ムラが生じた一方、筆を用いることで均一に塗布できることが分かった (第 1 図)。この方法により「北陸 193 号」の葉にフシコクシン溶液を処理したところ、1 μ M 処理区では対照処理区との間に g_s の違いがなく、10 μ M 処理区においては g_s が約 30%上昇した (第 2 図)。なお、100 μ M 処理区では g_s が低下する傾向が見られた。確認実験においても、有意ではないものの、10 μ M 処理区における g_s が対照処理区と比較して約 20%上昇することを認めた (第 2 図)。この結果は、フシコクシン添加が「北陸 193 号」の気孔開度を上昇させると同時に、過剰害をもたらす可能性を示すものである。また、「北陸 193 号」の葉の基部を切断したところ、 g_s ならびに光合成速度が一時的に上昇することを見出した (第 3 図)。以上より、気孔開度の上昇を通じて「北陸 193 号」の光合成能力を強化できる余地があると結論された。今後は「北陸 193 号」の遺伝的改変による気孔開口促進を試みる。

*この成果は、NEDO の委託業務 (JPNP18016) の結果得られたものです。



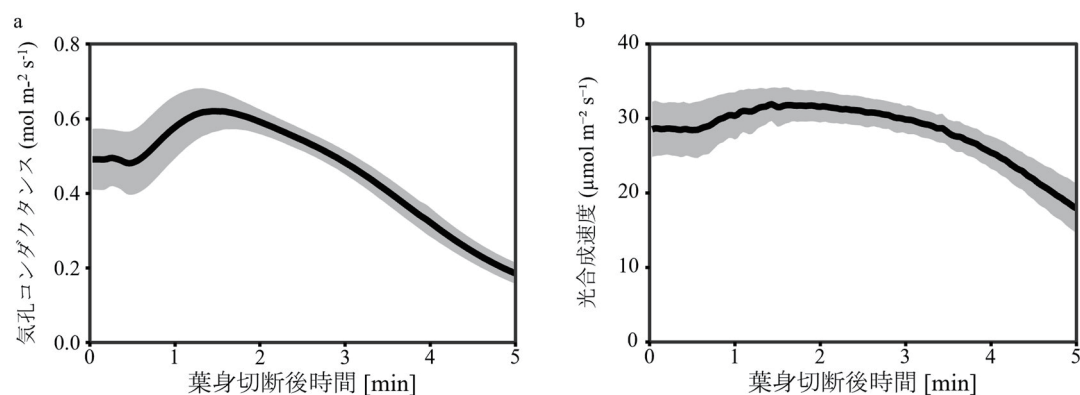
第1図 フシコクシン溶液処理方法の検討結果。

赤色切り花着色剤に展着剤を添加した溶液を、濾紙での挟み込み (a)、維管束への注射 (b)、霧吹き (展着剤無 c, 有 d)、筆 (直後 e, 乾燥後 f) によって処理し、着色具合を観察した。



第2図 フシコクシン (FC) 溶液処理が気孔コンダクタンスに及ぼす影響。

晴天日の午前7時頃、展着剤を加えたフシコクシン溶液を筆を用いて最上位展開葉の両面に塗布し、光合成蒸散測定装置 (LI-600 (2023年 a)・LI-6800 (2024年 b)) を用いて測定した。図中の*, ***は、対照処理区 (DW+makupika) と比較してそれぞれ5%, 0.1%水準で有意差があることを, n.s.は有意差が無いことを示す (Dunnnett's test)。



第3図 葉身切断後の気孔コンダクタンス (a) と光合成速度 (b) の推移。

光合成蒸散測定装置 (LI-6800) を用いて環境制御を行い、北陸193号の葉におけるガス交換が定常状態に達したことを確認してから鉋で葉身基部を切断した。黒線は平均値を, 灰色部は標準偏差の範囲を示す (n=3)。

17

イネ品種「愛国もち」/「日本晴」組換え自殖系統群を用いた光合成誘導関連形質の QTL 解析

川口喜暉^{1*M1}・本田爽太郎^{1,D3}・谷口亮太²・谷吉和貴³・千装公樹⁴・大川泰一郎¹・田中佑⁵・安達俊輔¹

(¹東京農工大学大学院農学府, ²東京農工大学農学部,

³京都大学大学院農学研究科, ⁴農研機構作物研究部門, ⁵岡山大学大学院環境生命自然科学研究科)

QTL analysis for photosynthetic induction using recombinant inbred lines

from a cross between rice varieties ‘Aikokumochi’ and ‘Nipponbare’

Yoshiki Kawaguchi^{1*M1}, Sotaro Honda^{1,D3}, Ryouta Taniguchi², Kazuki Taniyoshi³,

Koki Chigira⁴, Taiichiro Ookawa¹, Yu Tanaka⁵, Shunsuke Adachi¹

(¹Grad. Sch. Agr., Tokyo Univ. Agr. Tech., ²Fac. Agr., Tokyo Univ. Agr. Tech.,

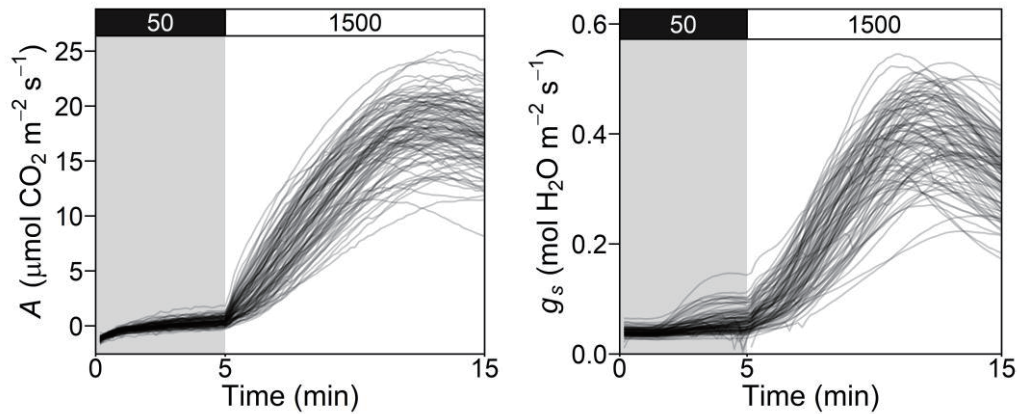
³Grad. Sch. Agr., Kyoto Univ., ⁴Inst. Crop Sci., NARO, ⁵Grad. Sch. Environ. Life Nat. Sci. Tech., Okayama Univ.)

【緒言】作物に到達する太陽光の強度は、雲の動きや葉同士の遮蔽によって秒単位でダイナミックに変化する。一方、葉の光合成速度の光応答は極めて緩慢であり、たとえば光強度が急激に上昇した場合、光合成速度が上昇して安定化するまでに数分から数十分の時間を要する。この光による光合成速度の上昇を光合成誘導と呼ぶ。光合成誘導が迅速であるほど光エネルギーのロスが小さくなり、作物の生産性向上に結びつく (Taylor & Long 2017)。日本で育成されたイネ 166 品種の強光照射後の光合成誘導を比較したところ、在来品種「愛国もち」が突出して迅速な光合成誘導を示すことを見出した (谷吉ら 2022)。この迅速な光合成誘導には、葉内活性および気孔伝導度の迅速な上昇が関わっていた (川口ら 2024)。「愛国もち」の迅速な光合成誘導に関わる遺伝要因を解明すれば、光の利用効率に優れたイネ育成に貢献する。本研究では、「愛国もち」/「日本晴」の交配に由来する組換え自殖系統群を作成し、量的形質遺伝子座 (QTL) 解析を実施した。

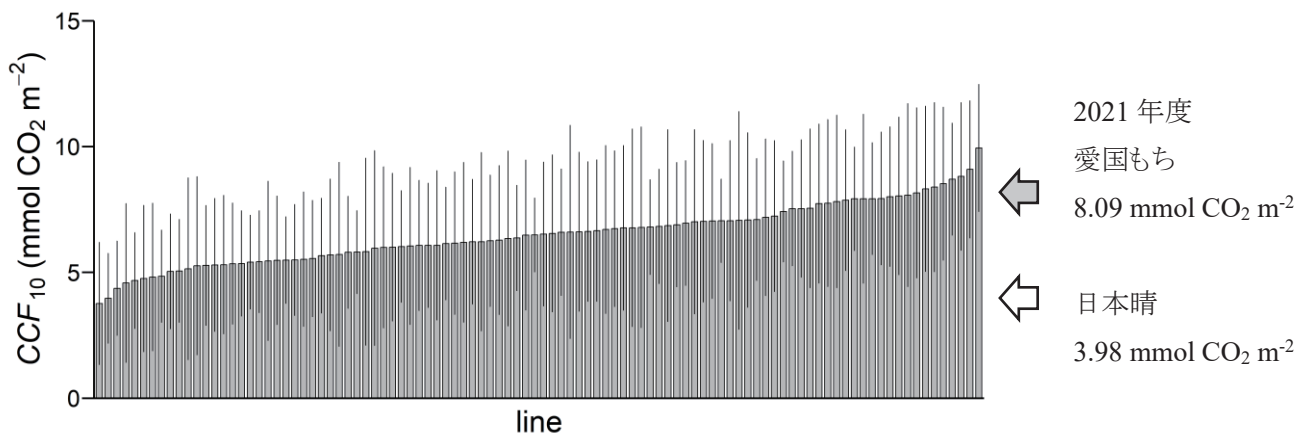
【材料と方法】「愛国もち」/「日本晴」組換え自殖系統群 (F₇ 世代) 100 系統を、東京農工大学府中キャンパスにおいて 2024 年にポット栽培した。なお、実験は 2 回に分けて実施し、それぞれ 3 反復の計 6 反復を準備した。光合成測定は、移植後 3 週間が経過した植物体の最上位展開葉に対して行った。一晩暗室に静置した植物体の葉に対して、50 μmol photon m⁻² s⁻¹ の弱光を 5 分間照射した後、飽和光 1500 μmol photon m⁻² s⁻¹ を照射し、光合成測定装置 LI-6400 (LI-COR 社) 用いて 10 秒おきに光合成パラメータを取得した。遺伝子型データとして 337 ヶ所の SNP マーカーにおける遺伝子型を次世代シーケンサー iSeq100 (Illumina 社) で判定した。QTL 解析には R/qtl を用いた (Broman et al. 2003)。

【結果と考察】飽和光照射後の光合成速度 (A) や気孔コンダクタンス (g_s) に大きな系統間差が見られた (第 1 図)。また光合成誘導中の平均 A と平均 g_s との間には有意な相関が認められた ($r = 0.83$)。光合成誘導の指標である飽和光照射後 10 分間の積算光合成量 (CCF_{10}) には約 3 倍の差が認められた (第 2 図)。 CCF_{10} を対象とした QTL 解析の結果、第 2 染色体長腕上に相加効果 5.79 mmol CO₂ m⁻²、寄与率 16.33% の QTL ($qAPI2$) を検出した。 $qAPI2$ のハプロタイプ別に品種を分類すると、「愛国もち」型のアリルを有する系統群は光合成誘導が迅速であることが確認された (第 3 図)。また、平均 g_s を対象とした QTL 解析において同じ位置に相加効果 0.02 mol H₂O m⁻² s⁻¹、寄与率 16.02% のピークが検出された。この領域には過去に光合成誘導に関わる QTL は報告されておらず、新規の QTL であると考えられる。今後は $qAPI2$ の原因遺伝子ならびに生理機能の解明を目指す。

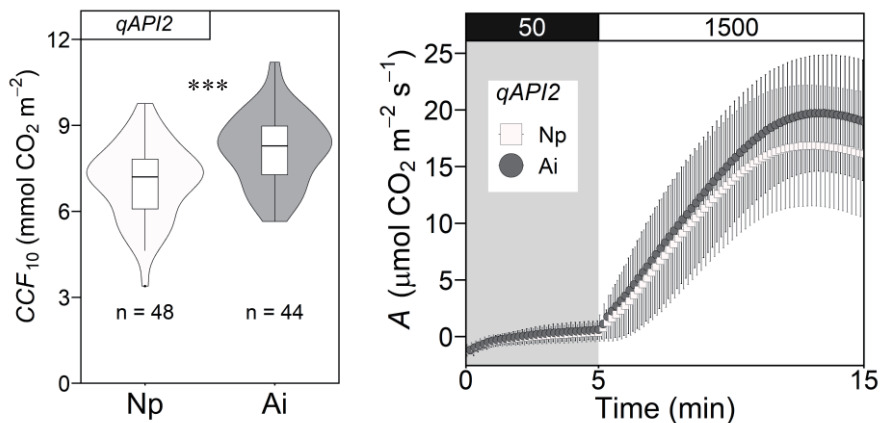
*本研究の一部は科学研究費補助金 (21K1910424, K01740) ならびに福島国際研究教育機構(F-REI)の委託研究費 (JPFR24030101) の支援を受けて実施した。



第1図 飽和光照射後の光合成速度(A , 左図), 気孔コンダクタンス(g_s , 右図)の変化



第2図 「愛国もち」/「日本晴」組換え自殖系統の飽和光照射後10分間の積算光合成量(CCF_{10})



第3図 $qAPI2$ 周辺のハプロタイプごとの積算光合成量(CCF_{10})および光合成速度(A)の変化. Np(白色)は「日本晴」型, Ai(灰色)は「愛国もち」型をそれぞれ示す. ***は1%水準で有意であることを示す(Welch の t 検定).