

P1

イネ出芽期における鉄過剰耐性の品種間差異および幼苗期耐性との関係

荒谷遥香^{1*D2}・インドラストゥティ ルマンティ²・加藤洋一郎¹

(¹ 東京大学大学院農学生命科学研究科・² インドネシア国立研究革新庁)

Varietal Differences in Iron Toxicity Tolerance in Rice during the Germination Stage and its Relationship with Tolerance during the Seedling stage

Haruka Aratani^{1*D2}・Indrastuti A. Rumanti²・Yoichiro Kato¹

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

² National Research and Innovation Agency of Republic of Indonesia)

【目的】 熱帯沿岸部低湿地では、硫酸酸性土壌に起因する鉄過剰障害がイネの収量低下を招く。そのため、収量安定化のために現地に適した有望系統が求められる。とりわけ、昨今ニーズが高まる農作業の省力化のための直播栽培を想定した出芽期の鉄過剰耐性に関する知見は乏しい。本研究は、出芽期のイネを対象に、異なるストレス強度に対する形質の変化、鉄過剰耐性の品種間差異、および出芽期と幼苗期の耐性の相関に関し調査することを目的として行った。

【材料および方法】

- 異なるストレス強度に対する形質の変化を調査した。Ciherang および Taichung65 (幼苗期においてそれぞれ感受性、耐性; Aratani et al., 2023) を供試し、添加鉄イオン濃度を9段階 (0, 25, 50, 75, 100, 200, 400, 800, 1000 mg L⁻¹ Fe) に設定した水耕液において、播種から2週間栽培した。シュート長・最長根長・シュート乾物重を測定した。
- 原産地や遺伝的背景の多様な20品種を供試し、出芽期における鉄過剰耐性の遺伝的変異を評価した。添加鉄イオン濃度0 (対照区)、100 (弱ストレス区)、500 (強ストレス区) mg L⁻¹ Fe, pH5として、15日間水耕栽培を行った。シュート長、最長根長およびシュート乾物重を測定した。
- 出芽期と幼苗期における耐性の相関を調査した。試験2で供試した20品種のうち、2021年に幼苗期において耐性評価を行った共通する16品種について、試験終了時の平均 Fe toxicity response index (幼苗期) および平均相対シュート長 (出芽期) を品種別に算出し、単回帰分析を行った。500 mg L⁻¹ Fe 下で、幼苗期で14日間、出芽期で15日間栽培後のデータを用いた。

Fe toxicity response index (FTRI)

$$= \frac{\text{Shoot biomass under stress}}{\text{Shoot biomass in control}} \times \frac{9 - \text{leaf bronzing score}}{9}$$

【結果および考察】

- 出芽期には、Ciherang, Taichung65ともに、0 mg L⁻¹ 区と比べ50 mg L⁻¹ 以上のストレス区でシュート長及び最長根長が有意に減少し、鉄処理濃度の増加とともにシュート及び根の伸長抑制の程度が増加した (図1)。2品種間にストレス応答の差異が見られなかった。
- 20品種の鉄過剰ストレス下における相対シュート長 (鉄過剰区/対照区) について分散分析を行った結果、処理および品種と処理の交互作用に有意差が認められた (図2)。このことから、出芽期のシュート長を指標として鉄過剰耐性に有意な品種間差は認められなかったものの、品種によっては弱ストレス区 (100 mg L⁻¹ Fe) と強ストレス区 (500 mg L⁻¹ Fe) で異なるストレス応答を示すことが示唆された。
- 幼苗期の平均 FTRI と出芽期の平均相対シュート長の間には優位な相関関係が見られなかった (図3)。このことから、幼苗期と出芽期では鉄過剰耐性が異なることが示唆された。今後の詳細な解析により、出芽期に重要な耐性メカニズムの解明に取り組みたい。

【謝辞】 本研究の一部は科研費補助金 (22H02322) の助成を受けて実施した。

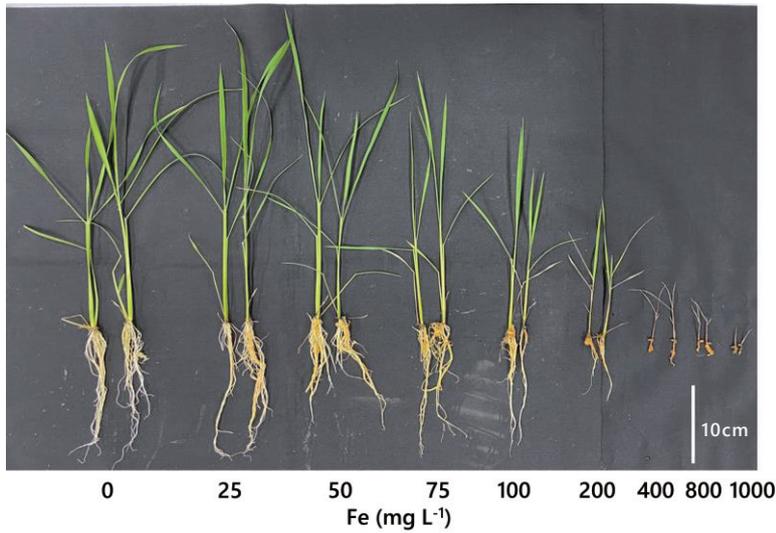


図 1. 異なる鉄過剰ストレス強度下の Taichung65 の生育 (播種後 30 日目)

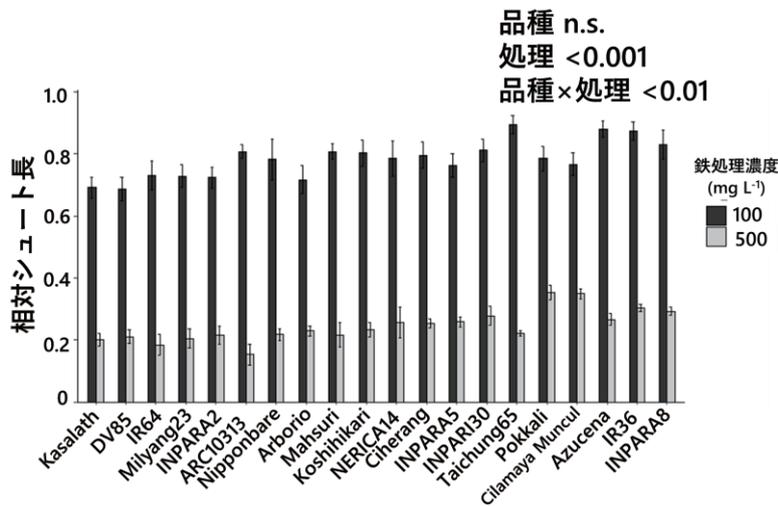


図 2. ストレス強度別の 20 品種の相対シュート長

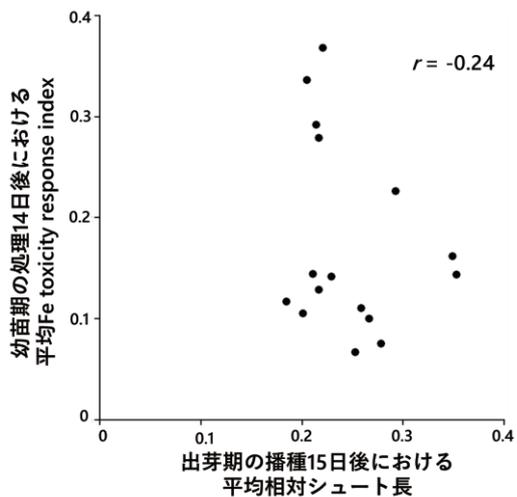


図 3. 16 品種における鉄過剰処理後の平均 Fe toxicity response index (幼苗期) と平均相対シュート長 (出芽期) の相関

P2

イネ幼苗期の鉄過剰ストレスからの成長回復に關与する根形質

藤本理玖 ^{*M2}・荒谷遥香 ^{D2}・若林侑・山崎裕司・神谷岳洋・加藤洋一郎

(東京大学大学院農学生命科学研究科)

Root traits associated with growth recovery from iron toxicity at the seedling stage in rice

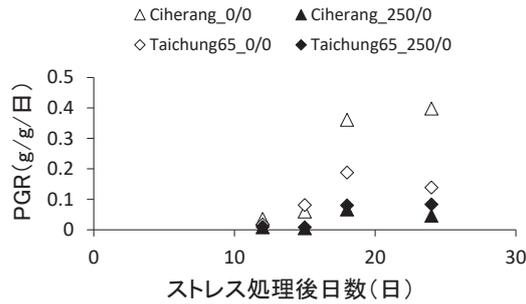
Riku Fujimoto ^{*M2}, Haruka Aratani ^{D2}, Yu Wakabayashi, Yuji Yamasaki, Takehiro Kamiya,
Yoichiro Kato (Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo)

【目的】 熱帯沿岸部の酸性硫酸塩土壌の水田では、鉄過剰障害によるイネ収量低下が頻繁に報告され、鉄過剰耐性系統の開発が求められてきた。これまで、鉄過剰に対するイネの生理応答の研究が精力的に進められてきた一方で、鉄過剰ストレスが緩和された後の成長を追跡した研究は全く存在しない。本研究では、特に根の發育応答に着目して幼苗期の鉄過剰ストレスからのイネの成長回復に關与する形質を明らかにすることを目的とした。

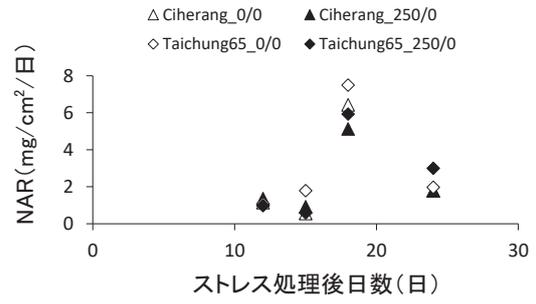
【材料および方法】 2023年の夏季(7~8月)に、東京大学大学院農学生命科学研究科附属生態調和農学機構(東京都西東京市)の温室で既報(Aratani et al., 2023)と同様の方法で水耕栽培実験を行った。イネ2品種(Ciherang、台中65号)を供試した。添加鉄イオン濃度を2段階(0、250 mg L⁻¹)設け、250 mg L⁻¹区のLeaf Bronzingスコア(0~9で評価、0; 無症状、9; 個体全体が壊死)が6に達するまで栽培したのち(ストレス処理期間)、水耕液の添加鉄イオン濃度を0 mg L⁻¹のコンテナに移し替え、12日間栽培した(成長回復期間)(以降、0/0区、250/0区)。ストレス処理開始時と終了時、そして成長回復3、6、12日目に乾物重、根長、根表面積、緑葉面積、Leaf Bronzingスコアを測定した。根長および根表面積は、透過光型スキャナー(GT-X970、エプソン、日本)で得られた根の画像から根系画像解析ソフト(WinRHIZO, Regent Instrument Inc.)で測定した。なお、根直径が0.2 mm以下を細根、0.2 mm以上を太根とした。

【結果および考察】 250/0区の成長回復期間で、台中65号は個体成長速度が0/0区と同程度まで回復し、Ciherangより大きかった(第1図)。また、台中65号の純同化率はCiherangより大きかった(第2図)。ここで、台中65号はストレス終了時に太根長がCiherangより有意に大きかった(第3図)。加えて、ストレス処理終了までに発生した冠根のうち、回復期間中に側根発生した冠根は有意に多く(第1表)、細根長と根表面積は有意に大きかった(第4図)。これより、台中65号は回復期間中の根の養水分吸収に優れると考えられた。また、250/0区の成長回復期間で、台中65号の茎葉/根重比は0/0区と有意差がなかった(第5図A, B)。一方、Ciherangの茎葉/根重比は0/0区より有意に大きかった(第5図C, D)。Ciherangは成長回復過程で個体成長に対し葉面積を拡大する傾向があるが、根の發育が不十分であるため、養水分吸収が制限され、個体成長速度が低くなる可能性が考えられた。以上、本研究から、幼苗期のイネの鉄過剰障害からの成長回復では、ストレス解除時の太根長や、成長回復期間での細根長と根表面積、茎葉/根重比が關係することが示唆された。

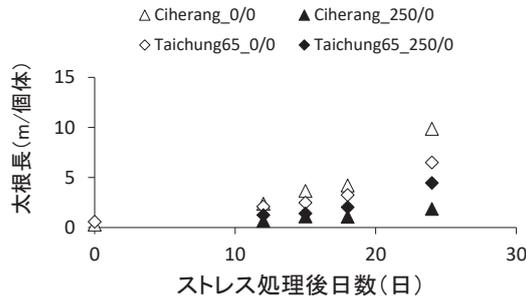
【参考文献】 Aratani et al., 2023. Plant Prod. Sci. (in press) DOI:10.1080/1343943X.2023.2252146.



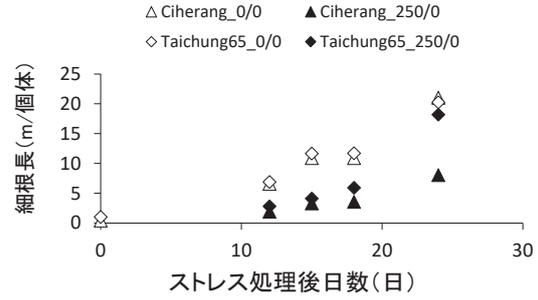
第 1 図 ストレス処理期間および成長回復期間のイネ個体成長速度 (PGR) の変化 (n = 8)



第 2 図 ストレス処理期間および成長回復期間のイネ純同化率 (NAR) の変化 (n = 8)



第 3 図 ストレス処理期間および成長回復期間のイネの太根長変化 (n = 8)

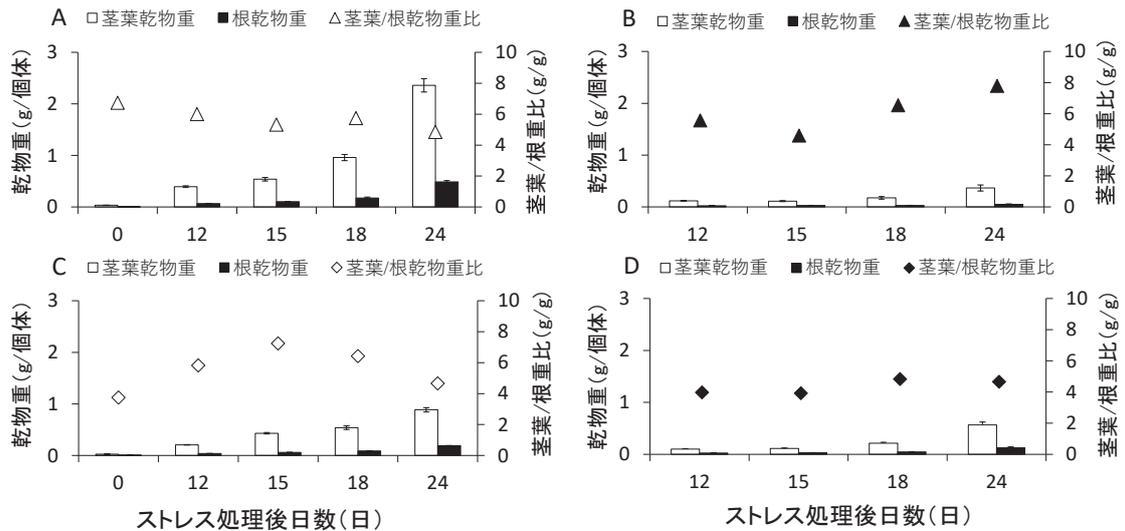


第 4 図 ストレス処理期間および成長回復期間のイネの細根長変化 (n = 8)

第 1 表 250/0 区において鉄過剰ストレス処理終了 12 日後に測定した根形態

試験区	ストレス期間終了まで (1)のうち回復期間中に に発根した冠根 (1)		(1)の総根長 (m/個体)	成長回復期間中に新規 に発根した冠根 (2)		(2)の総根長 (m/個体)
	(本/個体)	側根発生した冠根 (本/個体)		(本/個体)	(本/個体)	
Ciherang	14.4	1.6 ^a	4.2	11.0	5.8 ^a	
Taichung65	14.0	3.1 ^b	5.7	10.8	12.4 ^b	

異なる小文字は、品種間の有意差を示す。



第 5 図 ストレス処理期間および成長回復期間のイネの茎葉・根乾物重、茎葉/根重比変化 (n = 8)
(A) Ciherang 0/0 区。(B) Ciherang 250/0 区。(C) 台中 65 号 0/0 区。(D) 台中 65 号 250/0 区。

【謝辞】 本研究の一部は科研費補助金 (22H02322) の助成を受けて実施した。

P3

群馬県稲麦二毛作地帯に適した香り米品種の探索

橋田庸一^{1*}・猪野塚舞¹・中澤健太¹・岡部繭子^{1,2}・廣瀬竜郎^{1,2}

(¹高崎健康福祉大学農学部・²高崎健康福祉大学大学院農学研究科)

Evaluation of aromatic rice cultivars

in the rice-wheat/barley double cropping area of Gunma Prefecture

Yoichi Hashida^{1*}, Mai Inozuka¹, Kenta Nakazawa¹, Mayuko Okabe^{1,2}, and Tatsuro Hirose^{1,2}

(¹Faculty of Agriculture, Takasaki University of Health and Welfare,

²Graduate School of Agricultural Science, Takasaki University of Health and Welfare)

【背景と目的】 香り米は炊飯時にポップコーンのような独特の香りがするイネであり、アジアで多く栽培されている。日本における香り米の生産は少ないが、古くから在来品種が栽培されてきたほか、サリークイーンやプリンセスサリーといった育成品種が存在する。日本における主食用米の需要が低下する中、香り米を栽培することは主食用米の高付加価値化に有効な可能性がある。本研究では、群馬県稲麦二毛作地帯に適した香り米品種に関する知見を得ることを目的とし、群馬県二毛作地帯において様々な香り米の栽培適性と品質適性の評価を行った。

【材料と方法】 2022年および2023年に高崎健康福祉大学附属農場(群馬県高崎市)の水田にて栽培試験を行った。供試品種は、香り米18品種と普通米1品種とした(表1)。施肥は、2022年は緩効性肥料(水稻一発 IB502、N:P:K =15:10:12)を40kg/10a、2023年は緩効性肥料(米キング、N:P:K =10:10:10)を40kg/10a、ペレット堆肥(息吹、N:P:K=3:2:0.6)を66.7kg/10a、いずれも基肥として施用した。また、裏作としてレンゲを栽培し、鋤き込んだ。水田への移植は2022年6月28日、2023年6月27日(ゆめまつり・プリンセスサリー)・30日(その他)に1株1本植え、栽植密度22.2株/m²で行った。列植えあるいは区画・反復を設けて栽培したが、一様に解析した。生育については、穂ぞろい期の草丈および茎数、収量および収量構成要素を測定した。香りおよび食味の評価は2022年のサンプルを用いて大学生(20代)男女計15名の評価により行った。香り米の簡易評価法であるKOH法は、猪谷ら(2020)を一部改変して行った。葉身を液体窒素で凍結破砕し、蓋つき2mlチューブに約100mg秤量した。1.7%水酸化カリウム溶液を1ml加えて10秒間攪拌し、10分間静置した後、蓋をあけて香りの強さを評価した。白米の香りの官能試験は猪谷ら(2020)の方法に準じて行った。食味官能試験は一般財団法人日本穀物検定協会の方法に準じて行った。いずれの試験においても、普通米のゆめまつりを基準(0)として-3から3の整数値で相対評価した。

【結果と考察】 香り米品種はゆめまつりと比較して草丈が高く(表1)、プリンセスサリーを除く香り米品種では倒伏が見られた。籾収量は品種間で大きな差が見られたが、ゆめまつりと同等の収量を示す品種が多く存在した(表1)。葉身と白米の香りの強さは大半の品種でゆめまつりよりも有意に高く、それぞれ鼠米(神奈川)、鼠米(奈良)が最も高い値を示した。食味官能試験の結果、ひえり①とプリンセスサリーの総合評価がゆめまつりと比較して有意に高かった(表2)。以上から、プリンセスサリーを用いるか施肥量を減らして倒伏を防ぐことで香り米の生産が可能なこと、香りの強さに品種間差があること、香り米は少なくとも20代には一定の需要があることが示唆された。

【謝辞】 農研機構農業生物資源ジーンバンクより香り米種子の分譲を受けました。上州百姓米達磨の山口俊樹氏、山口あきら氏には香り米栽培に関するご指導をいただきました。野澤宏氏、新島弘之氏、新保智久氏、田口克美氏には栽培管理をご協力いただきました。

【引用】 猪谷ら(2020)作物研究 65:43-53.

表 1 生育および収量

品種名	原産地 (育成地)	入手元 ^a	2022年				2023年		
			出穂日	草丈 (cm)	茎数 (本)	収収量 (kg/10a)	出穂日	草丈 (cm)	茎数 (本)
ゆめまつり	愛知県	JA高崎	8/30	103.0	15.1	510.3	8/27	96.0	17.0
ひえり①	高知県	(株)のうけん	9/8	150.6***	9.3***	497.3	9/6	143.5***	9.8***
プリンセスサリー	茨城県	-	9/4	113.5***	16.9	484.4	8/31	104.6***	17.5
SURJAMUKHI	インド	12887	9/2	157.4***	12.9	733.3**	-	-	-
LOCAL BASMATI	インド	13277	10/1	164.4***	13.5	-	-	-	-
BASMATI370	インド	248293	10/1	187.3***	13.5	-	-	-	-
DELLA	アメリカ	84985	9/6	158.6***	11.7	586.1	8/31	125.2***	12.2*
サリークイーン	茨城県	85335	9/15	131.3***	15.3	445.3	9/10	124.4***	18.2
ひえり②	高知県	9799	9/10	148.5***	11.5*	539.4	9/7	136.9***	11.8*
香米	茨城県	5260	8/21	133.3***	13.7	194.6***	8/18	119.5***	16.8
香稻	鹿児島県	10877	9/8	159.5***	10.2***	519.4	9/7	142.8***	9.8***
香稻神力型	不明	272294	9/14	159.6***	11.7	269.9**	9/12	144.1***	10.7**
麝香稻	山形県	6118	9/10	133.6***	12.7	404.4	9/12	130.2***	12.8
麝香早稻	東北	6980	8/21	138.5***	12.5	286.2**	8/18	118.7***	15.3
鼠米(神奈川)	神奈川県	7584	8/13	119.3***	11.5*	497.6	8/12	108.5***	14.0
鼠米(奈良)	奈良県	202056	9/11	165.3***	11.5	462.9	9/7	153.1***	11.8*
かばしこ(大分)	大分県	10833	9/7	161.0***	10.7**	565.0	9/4	142.2***	9.8***
かばしこ(熊本)	熊本県	11385	9/5	156.8***	9.8	586.3	8/31	137.1***	12.7
かばしこ(鹿児島)	鹿児島県	10896	9/23	159.1***	13.5	-	-	-	-

値は平均値(n=5-15)。*、**、***はゆめまつりと比較してそれぞれ5%、1%、0.1%水準で有意差があることを示す(Dunnett 検定)。^a数字は農研機構農業生物資源ジーンバンクのJP番号。

表 2 香りおよび食味官能評価

品種名	香り		食味					
	葉身	白米	総合評価	外観	香り	味	粘り	硬さ
ひえり①	1.2**	1.7**	1.0**	-0.4	1.2***	0.6*	-0.7*	0.5
プリンセスサリー	2.0***	0.7	0.8*	-0.3	1.3***	0.6	0.3	-0.2
SURJAMUKHI	2.3***	1.6***	-1.5***	-1.3***	-0.1	-0.6	-1.2*	0.7
LOCAL BASMATI	1.8***	-	-	-	-	-	-	-
BASMATI370	1.7***	-	-	-	-	-	-	-
DELLA	1.7***	1.1*	-	-	-	-	-	-
サリークイーン	2.1***	1.9***	-	-	-	-	-	-
ひえり②	1.3**	1.7***	-	-	-	-	-	-
香米	1.9***	1.3**	-	-	-	-	-	-
香稻	1.5***	1.4***	-	-	-	-	-	-
香稻神力型	1.0**	1.5***	-	-	-	-	-	-
麝香稻	0.6	1.2***	-	-	-	-	-	-
麝香早稻	1.6***	1.4***	-	-	-	-	-	-
鼠米(神奈川)	2.8***	1.9***	-	-	-	-	-	-
鼠米(奈良)	2.5***	2.3***	-	-	-	-	-	-
かばしこ(大分)	1.2**	1.5***	-	-	-	-	-	-
かばしこ(熊本)	1.6***	1.3**	-	-	-	-	-	-
かばしこ(鹿児島)	0.7	-	-	-	-	-	-	-

値は平均値(n=14-15)。*、**、***はゆめまつりと比較してそれぞれ5%、1%、0.1%水準で有意差があることを示す(Steel 検定)。

P4

水稻品種「ハイブリッドとうごう3号」の後期重点型減窒素栽培における収量性

福島陽

農研機構中日本農業研究センター

Yielding ability of rice variety “Hybrid Togo 3” under the late emphasis low nitrogen application

Akira Fukushima

(Central Region Agricultural Research Center, NARO)

近年、化学肥料を削減した水稻栽培の要望が高まっている。良食味多収品種の「にじのきらめき」は、減窒素栽培では、普及品種「コシヒカリ」の慣行栽培と比べて収量が劣る。インド型極多収品種の「北陸193号」や「オオナリ」は、減窒素栽培でも普及品種の慣行栽培と同等以上の収量が期待できるが、食味が不十分である。これらに対して、ハイブリッド品種である「ハイブリッドとうごう3号」(以下、「とうごう3号」)は極多収・良食味である。これまで、ハイブリッド品種は多肥によって極多収を目指すことが多かったが、減窒素栽培においても多収を実現できる可能性がある。その場合、茎葉より穂の成長に重点を置いた基肥窒素を減らし追肥窒素は減らさない方法が有効ではないかと考えた。そこで、後期重点型減窒素栽培における「とうごう3号」の乾物生産および収量の特性を明らかにしようとした。

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いて、2023年5月11日に、ハイブリッド品種「とうごう3号」、インド型極多収品種「オオナリ」、対照品種「日本晴」を条間30cm株間15cm、1株3本で手植え移植した。3品種×2施肥×3反復=18試験区(施肥を主区、品種を副区とする分割区法)とした。施肥は、少肥区(後期重点型減窒素栽培):基肥2N、追肥7月12日4N、総窒素6g/m²、多肥区:基肥2N、追肥5月26日3N、6月16日3N、追肥7月12日4N、総窒素12g/m²とした。生育調査:出穂前の6月16日、7月3日、品種ごとに出穂5日後、出穂20日後、出穂40日後に試験区当たり15株を抜き取り、乾物重を測定した。成熟期に試験区当たり40株を刈り取り、収量・収量構成要素を調査した。

結果と考察

1) 乾物生産特性

出穂前の全乾物重は、「オオナリ」、「とうごう3号」、「日本晴」の順に大きく、多肥区が少肥区より僅かに大きかった(第1表)。出穂期は、「とうごう3号」8月2日、「オオナリ」7月31日、「日本晴」8月6日であった(第2表)。出穂5日後の全乾物重に大きな品種間差異は認められず、多肥区が少肥区より大きかった。すなわち、「オオナリ」は「日本晴」より出穂期が7日早いにも係わらず、出穂5日後の全乾物重は同等であった。出穂5~20日間の穂重増加量は、「オオナリ」は「とうごう3号」と同程度かやや大きく、これらの品種より「日本晴」は小さく、多肥区が少肥区より大きかった。出穂20~40日間の穂重増加量は「オオナリ」、「とうごう3号」、「日本晴」の順に大きかったが、多肥区と少肥区の差異は認められなかった。出穂5~20日間の茎葉重の減少量は「日本晴」が少ない傾向にあり、出穂20~40日間の茎葉重の再増加は、「日本晴」で認められたが、「オオナリ」と「とうごう3号」ではほとんど認められなかった。

2) 収量特性

粗玄米重は、「オオナリ」、「とうごう3号」、「日本晴」の順に高く、多肥区が少肥区より高く、

多肥区の「オオナリ」は1039g/m²の超多収であった(第2表)。しかし、「オオナリ」と「とうごう3号」の粗玄米重の差は多肥区より少肥区で小さく、また「オオナリ」はくず米が多かった。その結果、少肥区の精玄米重は、「とうごう3号」の811 g/m²が最も高く、これは対照品種「日本晴」の多肥区の精玄米重632 g/m²より明らかに高かった。

3) まとめ

「とうごう3号」の粗玄米重は、多肥区、少肥区ともに、対照品種「日本晴」に優ったが、インド型極多収品種「オオナリ」に及ばなかった。これは、「とうごう3号」は乾物生産能力およびその穂への分配能力が、「日本晴」に優るが「オオナリ」に劣るためと考えられた。しかし、「オオナリ」は食用には不向きである。良食味品種「とうごう3号」の少肥区、総窒素6 g/m²、精玄米重811g/m²という記録は、近年の良食味多収品種の記録:「あきだわら」の総窒素8 g/m²、精玄米重703g/m²(Yoshinagaら2018),「にじのきらめき」の総窒素8g/m²、精玄米重704g/m²(福嶋2022)を明らかに上回っている。このことから「とうごう3号」は後期重点型減窒素栽培で良食味多収を実現できる有望素材であると判断された。

第1表 水稻の乾物生産特性の品種および施肥法による差異。

施肥法	品種	全乾物重(g/m ²)				穂重増加量(g/m ²)		茎葉重増加量(g/m ²)	
		6月16日	7月3日	出穂5日後	出穂40日後	出穂5~20日後	出穂20~40日後	出穂5~20日後	出穂20~40日後
少肥区	とうごう3号	81	311	1169	1736	505	255	-224	32
	オオナリ	90	345	1152	1778	479	354	-185	-21
	日本晴	69	290	1162	1714	440	120	-132	124
多肥区	とうごう3号	81	392	1246	1846	568	205	-192	18
	オオナリ	93	447	1364	2047	608	346	-254	-16
	日本晴	73	375	1348	1916	462	148	-186	145
分散分析	施肥	ns	*	**	ns	*	ns	ns	ns
	品種	**	**	ns	ns	*	**	ns	**
	交互作用	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

第2表 水稻の収量特性の品種および施肥法による差異。

施肥法	品種	出穂期	稈長 (cm)	穂数 (/m ²)	1穂粒数	総粒数 (/m ²)	千粒重 (g)	登熟歩合 (%)	粗玄米重 (g/m ²)	精玄米重 (g/m ²)
少肥区	とうごう3号	8月2日	84	247	152	37600	24.8	86.8	825	811
	オオナリ	7月30日	75	275	157	43054	21.0	87.9	866	794
	日本晴	8月6日	79	338	91	30828	22.9	83.1	606	586
多肥区	とうごう3号	8月2日	90	278	150	41646	24.5	85.6	900	875
	オオナリ	7月30日	82	312	164	51160	21.6	87.8	1039	969
	日本晴	8月6日	86	391	87	34087	22.4	82.4	653	632
分散分析	施肥		**	**	ns	**	ns	ns	*	*
	品種		**	**	**	**	**	ns	**	**
	交互作用		ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns

精玄米重は1.80mmの篩による。

P5

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1報)

加藤誠^{1*}・高橋行継^{1,2}・大橋晃市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
(1)

Makoto Kato^{1*}, Yukitsugu Takahashi^{1,2}, Koichi Ohashi³, 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、本田栽培における基肥と追肥の施肥作業による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、高密度播種移植栽培(「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年によって比較的高く推移することもあり、育苗期間の溶出抑制期間や本田栽培の異なる肥効による比較検討が必要と考えられた。そこで本試験では60日、60日と100日の混合、100日、120日タイプの箱全量専用肥料を用い、育苗調査を行った。

2. 材料と方法

2023年5月31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。播種量は乾籾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、100B30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、その上に播種を行い、覆土1000g/箱共通とした。本田移植の約1週間前に群馬県館林市へ移動し、現地圃場近傍にて馴化させた苗を6月21日に移植した。播種後14日目と移植翌日の育苗完了時に苗生長と苗形質の各項目に加え、期間中における箱全量専用肥料付近の温度を測定した。

3. 結果および考察

苗生長における播種後14日目の対照区は草丈9.7cm、葉齢3.2、葉色27.2に対し、処理区は草丈8.9~9.9cm、葉齢3.4~3.5、葉色30.6~32.3であった(第1表)。葉齢と葉色において、処理区は対照区より有意に高かった。育苗完了時の処理区は草丈13.7~16.8cm、葉齢3.9~4.0、葉色28.5~32.0、第一葉葉鞘高1.9~2.1cmであり、処理区の草丈と葉色は100区、100B30区、120区の順に高い傾向であり、60区は有意に低かった。播種後14日目は箱全量専用肥料の有無、育苗完了時はそのタイプ別による影響が生じたと考えられた。

苗形質における処理区の地上部乾物重は11.1~12.5mg/本、地下部乾物重3.5~3.6mg/本、全乾物重14.6~16.1mg/本、地上部地下部比3.18~3.51、充実度0.71~0.81mg/cm、マット強度37.7~47.3N、下垂程度8.8~12.8mmであった(第2表)。処理区間間の有意な差は認められなかったものの、全乾物重の100区は対照区以上であり、充実度の60区は対照区に近い苗質であった。

育苗完了時における箱全量専用肥料の溶出率は60区、100B30区、100区、120区の順に高い傾向を示しており、標準偏差においても同様であった(第3表)。最も高い60区は苗生長における草丈と葉色、苗形質における全乾物重とともに100区より低く、充実度は高かった。この時点での積算温度は540℃・日に達しており(第1図)、溶出開始時期のばらつきによる可能性が考えられた。

第1表 異なる箱全量専用肥料が苗生長に及ぼす影響（2023：館林市下三林町）。

区名	播種後14日目			育苗完了時（播種後22日目）			
	草丈 (cm)	葉齢	葉色 (SPAD)	草丈 (cm)	葉齢	葉色 (SPAD)	第1葉葉鞘高 (cm)
60	8.9b	3.4a	30.6b	13.7b	4.0a	28.5b	1.9a
100B30	9.4ab	3.5a	30.8b	16.1a	4.0a	30.8ab	2.0a
100	9.9a	3.5a	31.5ab	16.8a	4.0a	32.0a	2.1a
120	9.6ab	3.5a	32.3a	15.7a	3.9a	30.7ab	2.0a
培土	9.7a	3.2b	27.2c	11.1c	3.7a	21.5c	2.1a

※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、下垂程度に及ぼす影響（2023：館林市下三林町）。

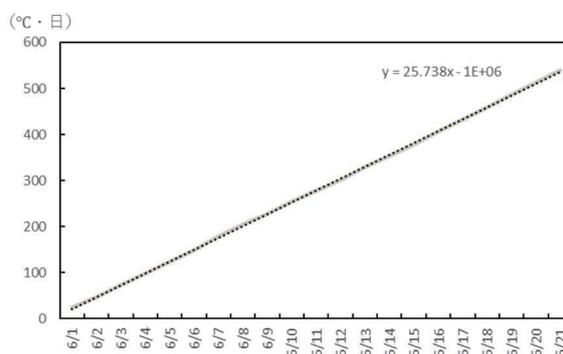
区名	苗乾物重			地上/地下部 (比)	充実度 (mg/cm)	マット強度 (N)	下垂程度 (mm)
	地上	地下	全体				
60	11.1 a	3.5 a	14.6 a	3.18 ab	0.81 b	47.3 ab	8.8 a
100B30	11.5 a	3.5 a	15.0 a	3.27 ab	0.71 b	46.7 ab	10.0 a
100	12.5 a	3.6 a	16.1 a	3.51 a	0.75 b	46.0 ab	10.2 a
120	12.0 a	3.5 a	15.6 a	3.42 ab	0.77 b	37.7 b	12.8 a
慣行	11.1 a	4.1 a	15.2 a	2.71 b	1.00 a	68.3 a	12.3 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。

第3表 育苗完了時における異なる箱全量専用肥料の溶出率（2023）。

区名	溶出率	
	平均 (%)	標準偏差
60	0.8 a	0.72
100B30 (推定)	0.3 a	0.28
100	0.1 a	0.12
120	0.0 a	0.00

※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1図 箱全量専用肥料付近の積算温度（2023）。

P6

水稻-小麦二毛作体系条件下の無コーティング湛水直播栽培の現地実証試験

高橋行継^{1*}・加村政寿²

(¹宇都宮大学・²自営)

Using Root-Elongated Seeds without Coating in Rice Directly Sown in Farmers' Fields on the condition
of rice and wheat double cropping paddy field
Yukitsugu Takahashi^{1*}, Masatoshi Kamura²
(Utsunomiya Univ.¹, Farmer²)

【はじめに】

関東地方は水稻直播栽培の普及が全国的に最も遅れている地域である。2020年から3か年にわたって白土ら(2015)が開発した無コーティング種子湛水直播栽培技術を用い、6月上中旬の埼玉県鴻巣市の現地水田において実証試験を行った。その中で最晩6月17日の播種においても本技術の適応性を確認してきている。今回はさらに考えを推し進め、小麦跡二毛作水田での6月下旬播種を検討した。

この作期は従来考えられてきた湛水直播栽培の播種適期から大きく逸脱するものであるが、現地試験により実用化可能な知見を得たので報告する。今回は日本作物学会第256回講演会に引き続き、出穂期・登熟期以降の結果を中心に報告する。

【材料と方法】

栽培試験は埼玉県鴻巣市内の現地水田10aにて実施した。「彩のかがやき」を供試し、2023年6月20日にハト胸状態にした無コーティング種子6kg/10aを代掻き直後にミスト噴霧器を使用して畦畔から散播を実施した。対角線上に3か所の調査地点を播種後5日目に設定し、播種後5日目と14日目、30日目にあたる6月20日と7月4日、7月20日に苗立ち状況などを調査した。草丈、茎数、葉色等を8月1日(播種後42日目)に調査、以降約1か月おきに生育調査を実施した。収穫は10月11日に実施、風乾後に収量構成要素や成分分析等の調査を行った。

【結果と考察】

過去3か年と同様に播種後の苗立ち期から生育は極めて速く、播種後4日目には出芽始め、同6日目には出芽揃いを確認できた。小麦跡栽培のため麦稈の堆積が著しかった圃場南東部約20m²では出芽は不良であったが、それ以外の部分ではおおむね出芽は良好であった。その後の生育も極めて良好で、生育速度は圃場に発生する諸雑草対比でも圧倒的に速かった(第1表)。このため、除草剤の処理時期の判断も容易でかつ効果も高く、初中期1回処理のみで十分であった。小麦藁残渣も問題は少なかった。出穂期は8月27日で現地慣行の移植栽培による小麦跡水稻栽培作期とほぼ同等の出穂期となった。これらの主な要因として播種密度が圃場と育苗箱内とで大きく異なっている栽培環境に加え、本年の著しい高温多照条件(第1, 2図)が生育をより前進させたことなどが考えられる。

ただし播種量が多かったため、倒伏が9月中旬から始まり収穫時には圃場全体の約40%で発生した。このうち約1/2は倒伏程度3.5(0~5の6段階評価)以上となり、ほとんどが直播特有の転び型倒伏であった。玄米重は507kg/10aであり現地聞き取りによる移植栽培収量と同等になった(第2表)。

第1表 小麦跡二毛作作期に播種した湛水直播栽培の生育状況 (2023:埼玉県鴻巣市).

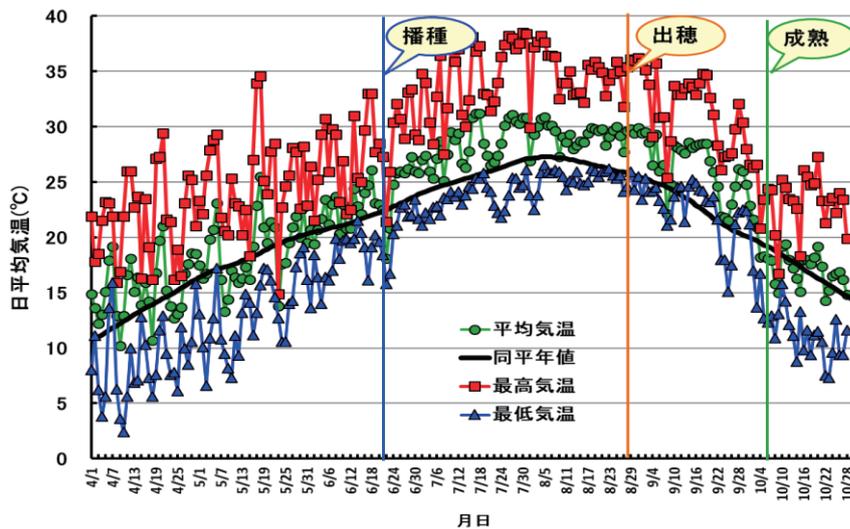
調査箇所	7月20日 (+30)		8月5日 (+46)			出穂期	成熟期	9月14日 (+86)				
	草丈 (cm)	茎数 (本/個体)	草丈 (cm)	茎数 (本/m ²)	葉色 (SPAD)			稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本/m ²)	葉色 (SPAD)	倒伏 (0-5)
A, C (倒伏微)	28.9	4.0	52.1	668	27.9	8.28	10.05	63	17.6	507	28.8	0.8
B (倒伏大)	32.9	5.0	60.2	565	30.7	8.28	10.10	74	19.3	557	32.3	4.0
3か所平均	30.2	4.3	56.1	633	28.8	8.28	10.08	67	18.2	523	29.9	3.0

播種は6月20日, 供試品種は彩のかがやき. 倒伏は0(無)~5(甚)の6段階評価, 10月11日収穫時. 葉色はコニカミノルタ葉緑素計SPAD502による測定値. 各調査日の()内数値は播種日からの日数.

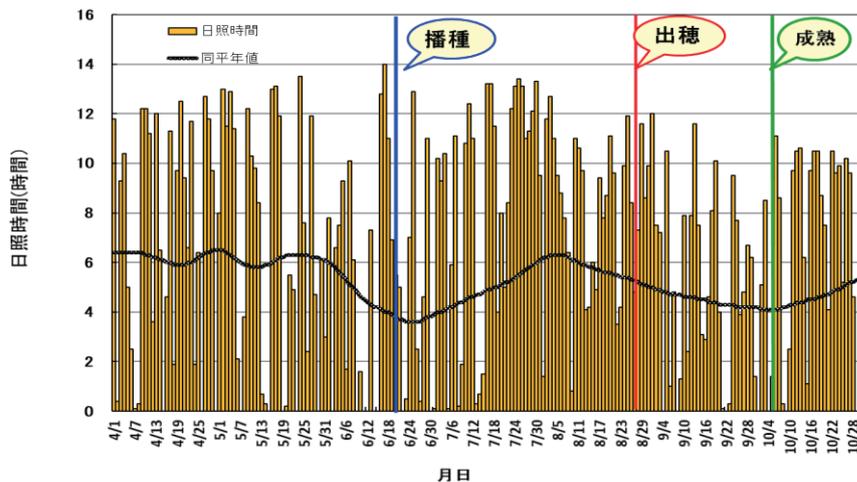
第2表 小麦跡二毛作作期に播種した湛水直播栽培の収量 (2023:埼玉県鴻巣市).

調査箇所	全重 (kg/10a)	精糲重 (kg/10a)	玄米重 (kg/10a)	屑米比 (%)	千粒重 (g)	全粒数 (百粒/m ²)	1穂粒数 (粒)	登熟歩合 (%)	外観品質 (1-5)	タンパク (%)
A, C (倒伏微)	1502	666	508	3.2	21.9	286	56.8	81.1	4.0	6.6
B (倒伏大)	1618	736	504	12.4	21.6	343	61.5	68.1	3.0	7.6
3か所平均	1531	683	507	5.5	21.8	300	58.0	77.8	3.7	6.9

供試品種は彩のかがやき. 全粒数は収量調査用に脱穀した全粒を1/8に均分して求めた. 登熟歩合は玄米粒数から精玄米粒数を換算, 全粒数で除して求めた. 外観品質は品質判別機(静岡製機)による総合評価で1(上)~5(下)の5段階評価. タンパクは近赤外線分析機器(静岡製機)によるタンパク含有率.



第1図 稲作期間中の気温推移 (2023年 久喜アメダス).



第2図 稲作期間中の日照時間の推移 (2022 久喜アメダス).

P7

カバークロープ利用と不耕起処理が有機水稲と雑草の生育に及ぼす影響

中山朋佳*・松林千咲希・加来嵩時・武藤光輝・菅井純・小池雄大・

迫田翠・坂上伸生・浅木直美・小松崎将一

(茨城大学農学部)

Effects of cover crop and no-tillage on growth in weed and organic paddy rice

Honoka Nakayama*, Chisaki Matsubayashi, Takatoki Kaku, Kohki Mutoh, Jun Sugai, Yudai Koike,

Midori Sakoda, Nobuo Sakagami, Naomi Asagi, Masakazu Komatsuzaki

(College of Agriculture, Ibaraki University)

【背景と目的】有機農業では除草剤を使用しないため、除草にかかる労力が大きい。これまでの著者らの調査により、有機水田においてカバークロープ（イタリアンライグラス）のすき込み利用により雑草発生が抑制される傾向が認められた（加来ら 2022）。しかし、有機水稲栽培において、さらなる雑草発生の抑制と収量の向上を目指した取り組みが必要である。カバークロープの一つであるヘアリーベッチは、アレロパシー物質を有しており雑草抑制効果を有する。さらに、マメ科植物であるため窒素固定による窒素養分の供給効果も期待できる。これらの2種類のカバークロープ利用と、耕起を行わず省力的である不耕起処理を組み合わせることが水稲と雑草の生育におよぼす影響を圃場試験により明らかにすることを目的とした。

【材料と方法】カバークロープ（以下、CC）としてイタリアンライグラスとヘアリーベッチを、主作物として水稲「コシヒカリ」を供した。茨城大学農学部附属国際フィールド農学センター内5号水田に、2022年の11月から翌年4月にかけてCCを栽培するCC区とCCを栽培しない休閑区（以下、FA区）を設置した。また、CC区とFA区にそれぞれ、耕起（以下、T）と不耕起（以下、NT）処理を組み合わせ、計4処理区とした（第1表）。CC/T区とFA/T区では、CCまたは雑草地上部を裁断後、耕起により土壌中にそれらをすき込み、湛水後代かきを2回実施した。CC/NT区とFA/NT区では、CCまたは雑草地上部を裁断せずにローラーで踏み倒して不耕起条件で湛水し、代かきは行わなかった。4処理区ともに4月下旬に湛水を開始し、2023年5月29日に水稲を移植した。

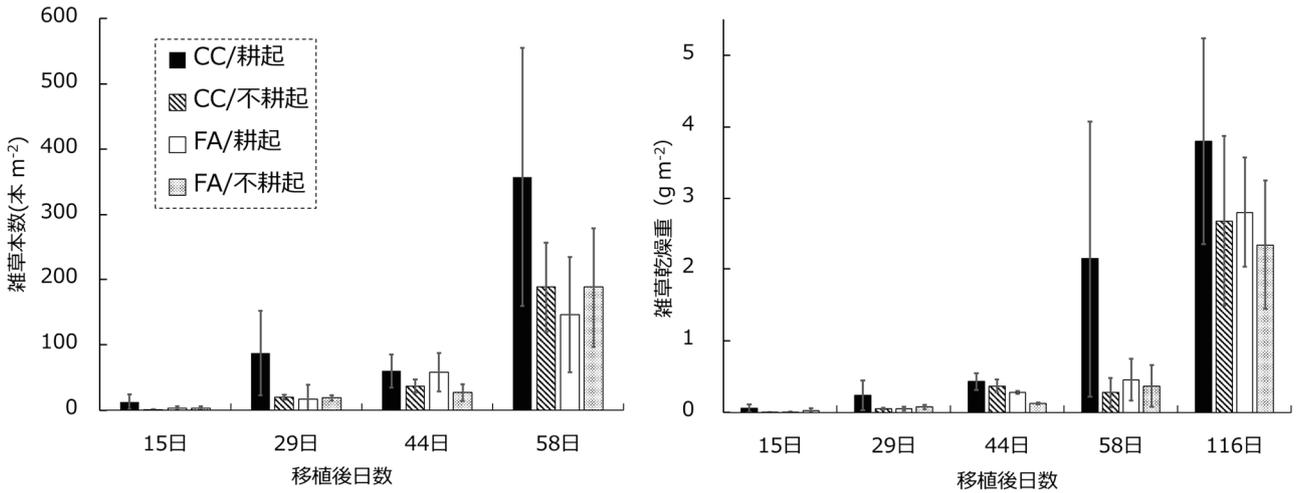
【結果および考察】水稲生育期間中の雑草発生本数と地上部乾物重は、処理区間に有意差はないもののCC/T区で高く推移した（第1図）。過去の報告では、CC/T区でFA/T区よりも雑草発生量は低い傾向をしめしたが、本研究では同様の傾向は認められなかった。水稲の草丈も、生育期間を通してCC/T区で高かった（第2図）。一方、分げつ数は移植後43日目以降、CC/NT区で高かった。葉色値は、処理区間で有意差はないものの生育期間を通してCC/T区で高かった。有効茎歩合は、処理区間に有意差はないものの不耕起区で高い傾向であり、耕起/不耕起処理が分げつ数の増加パターンに影響したと考えられた（第3図）。収穫時の穂重は、二元配置の分散分析の結果、CCの施用により有意に増加した。また、CC/NT区でFA/NT区よりも有意に高かった。収穫指数（穂重/地上部乾物重×100）は、処理区間で有意差は認められなかった。

以上より、CCの利用と不耕起処理は、水稲の生育や収量に影響を及ぼした。今後は、無機態窒素を中心とした土壌養分と雑草や水稲の生育と収量との関係を解析する予定である。

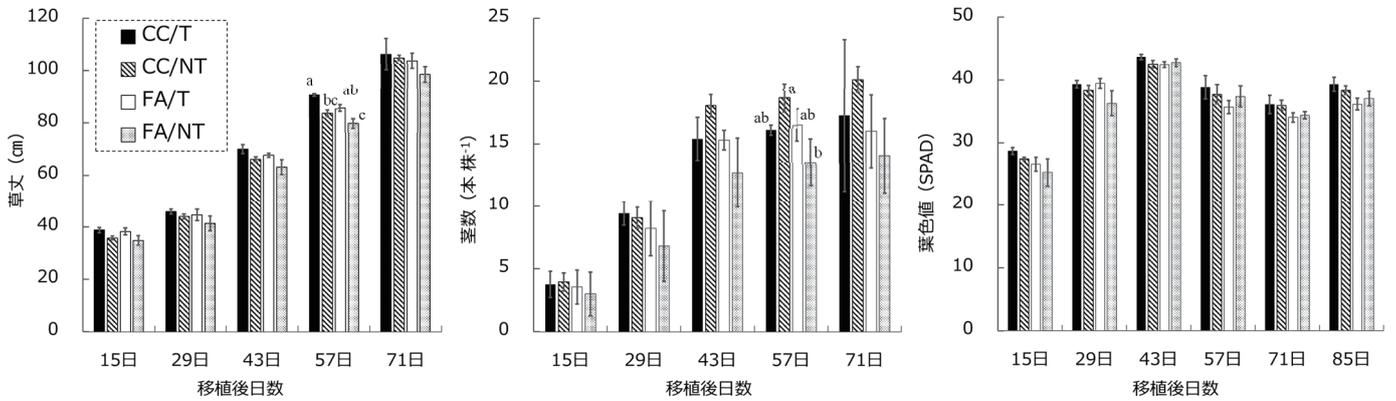
第1表 水稲移植前のカバークロープと雑草地上部乾物重

処理区	地上部乾物重 (g m ⁻²)				
	イタリアンライグラス	ヘアリーベッチ	雑草	稲ワラ	合計
カバークロープ/耕起 (CC/T)	106 a	180 a	0 b	0	286 a
カバークロープ/不耕起 (CC/NT)	64 ab	234 a	0 b	2	300 a
休閒/耕起 (FA/T)	0 b	0 b	64 a	48	112 b
休閒/不耕起 (FA/NT)	0 b	0 b	64 a	48	112 b

異なるアルファベット間に有意差があることを示す (Tukey-Kramer 法, n=4)

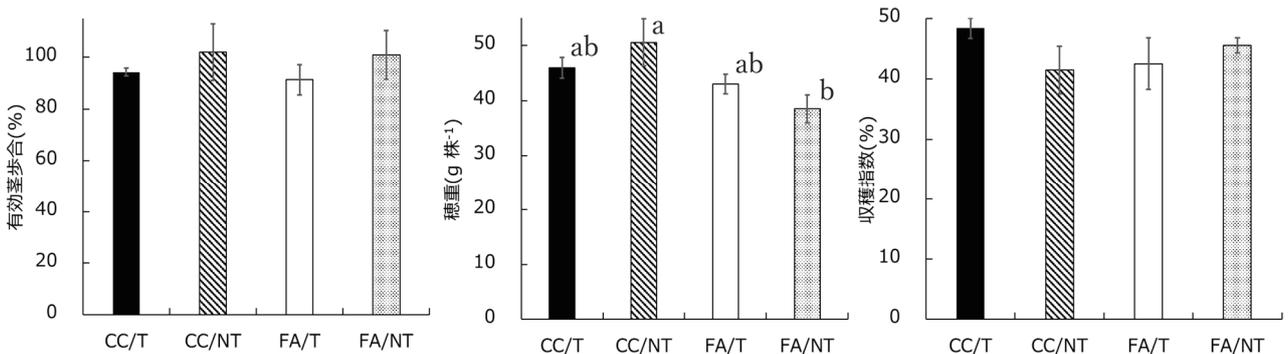


第1図 水稲栽培期間中の雑草本数と雑草地上部乾燥重の推移 処理区間に有意差なし(バー:標準誤差, n=20)



第2図 水稲の草丈, 茎数, 葉色値の推移

異なるアルファベット間に有意差があることを示す (バー:標準誤差, Tukey-Kramer 法, n=20)



第3図 水稲の有効茎歩合, 収穫時の穂重および収穫指数 (穂重/地上部乾物重 × 100)

異なるアルファベット間に有意差があることを示す(バー:標準誤差, n=12)

異なる前土地管理下での 2 つの菌根菌資材の陸稲の接種効果

土田修平^{1*}M1・大友量²・鴨下顕彦¹

(1 東京大学農学部; 2 農研機構)

Effects of 2 arbuscular mycorrhizal inoculants on infection in upland rice under different previous land management

Shuhei Tsuchida^{1*}B4, Ryo Ohtomo², Kamoshita Akihiko¹

(1 Faculty of Agriculture, The University of Tokyo;

²National Agriculture and Food Research Organization)

【目的】アーバスキュラー菌根菌（以下菌根菌）は、陸上植物のうち約 8 割と共生関係を結び光合成産物を受け取る代わりにリンなどの無機養分を植物に供給する。菌根菌の利用方法の一つとして孢子を含んだ菌根菌資材の施用があり、様々な種類の菌根菌資材が市販されている。一方で資材の効果の出方は不安定で、圃場の特性や利用歴、資材の種類の影響を大きく受けると言われている。本研究では前年の土地利用方法が異なる 4 種類の土壌において、2 種類の菌根菌資材が陸稲の生育と菌根菌の感染程度、および土壌や根の菌根菌菌叢に与える効果を比較した。

【材料と方法】圃場試験とポット試験を 2022 年に東京大学農学生命科学研究科附属生態調和農学機構(西東京市)で行った。黒ボク土の畑での圃場試験は、2021 年に菌根菌資材(Dr.キンコン、*Glomus* sp. strain R-10, 出光興産)施用(RI)または無施用(RC)で陸稲栽培をした試験区、または休耕(F)、休耕かつビニールマルチによる太陽熱消毒(FV)の計 4 種類の圃場で行った。それぞれの圃場に、菌根菌資材を施用しない非接種区(C 区)、温室での育苗前と圃場への移植時に菌根菌資材 Dr.キンコンを施用した区画(DK 区)、イスラエル製の菌根菌資材 *Rootella-G*(*Rhizophagus irregularis*, Groundwork 社)を同様に施用した区画(RG 区)の 3 種類を 4 反復完全無作為法で配置した。N-P-K を 5-4-8g/m² (リン施用量のみ慣行の 50%減)で基肥として施与した。4/14 に陸稲糯品種「ひたちはたもち」をセルトレーに播種し、育苗 41 日後(5/24)に各区画に条間・株間 25cm で 1 個体を移植した。菌根菌資材は移植時に施用した。各区画から、播種後 111 日(8/3, 開花期)の根をサンプルして、リアルタイム PCR(qPCR)による菌根菌感染程度の定量と MiSeq による菌根菌菌叢解析を行った。播種後 178 日(10/9, 収穫期)に表土を採取し菌叢解析を行った。播種後 179 日(10/10)に地上部乾物重と玄米収量を測定した。ポット試験では、2021 年の RC 圃場のそのままの土壌と滅菌した土壌それぞれに、C 区、DK 区、RG 区を 5 反復で設けた。「ひたちはたもち」を 8/28 に播種し 39 日後の地上部・根乾物重の測定と qPCR による感染の定量、菌叢解析を行った。

【結果および考察】どの圃場でも菌根菌資材施用による感染率の違いは認められなかった。地上部乾物重は RI 圃場で RG 区では施用の効果が認められなかったものの DK 区は C 区より 50%高かった。また他の圃場では菌根菌資材接種による地上部乾物重の有意な差は認められなかった。各圃場において接種する資材によって根の菌叢に変化が見られ、RI 圃場と FV 圃場では DK 区において資材に含まれる菌根菌が属する *Rhizophagus* 属の割合が C 区と比較して著しく増加した(図 1)。多様性指数には有意な差は見られなかったもののどの圃場でも DK 区で低い値が見られる傾向にあった(図 2)。土壌の菌叢おける *Rhizophagus* 属の割合は根での傾向と概ね一致した(図 3)。一方で多様性指数は RG 区で低い傾向があった(図 4)。ポット試験では、滅菌したポットにおいてはオートクレーブにより利用可能な養分が増加したと考えられ、感染程度が低くなり資材の効果が見られなかったものの、非滅菌のポットで感染率は有意な、地上部・根乾物重には有意ではないが RG-DK-C 区の順に高い傾向が見られ、感染率と地上部・根乾物重には正の相関が認められた。菌叢に関しては非滅菌のポットで滅菌したものより大きな変化が見られたが(図 5)、感染程度の高さによる違いだと考えられる。多様性指数は圃場よりも(図 2)全体を通して高い傾向が見られた(図 6)。

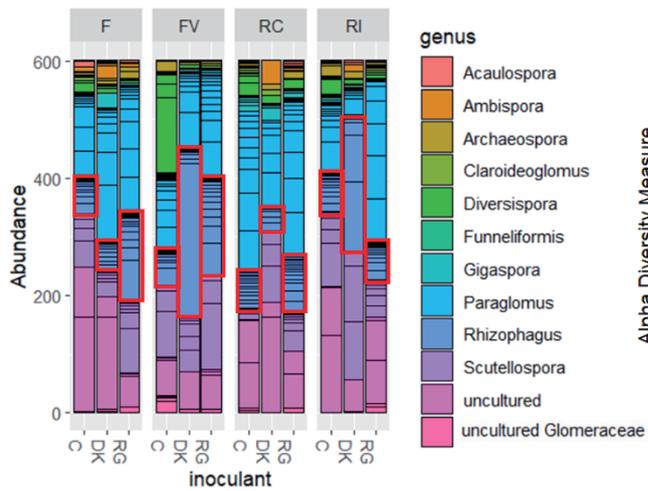


図 1. 圃場試験の根の菌叢

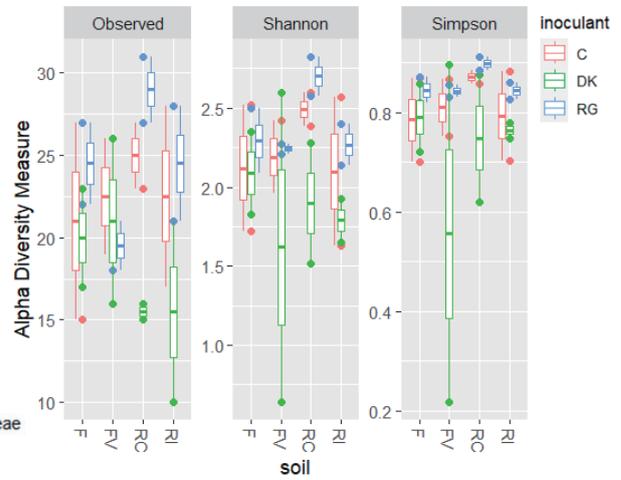


図 2. 圃場試験で根に感染した菌根菌の多様性指数

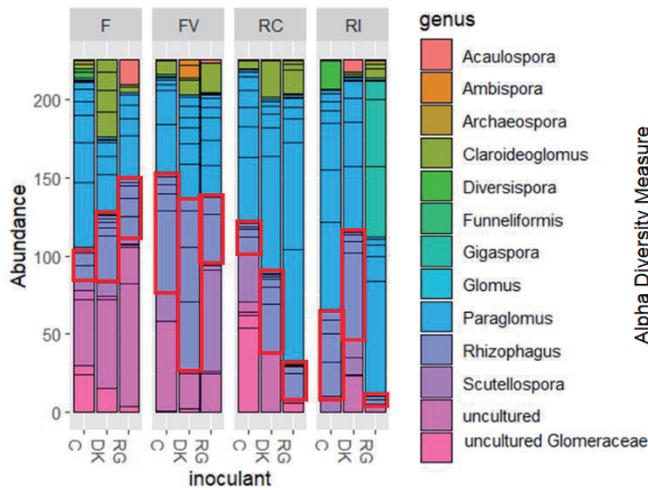


図 3. 圃場試験の土壌の菌叢

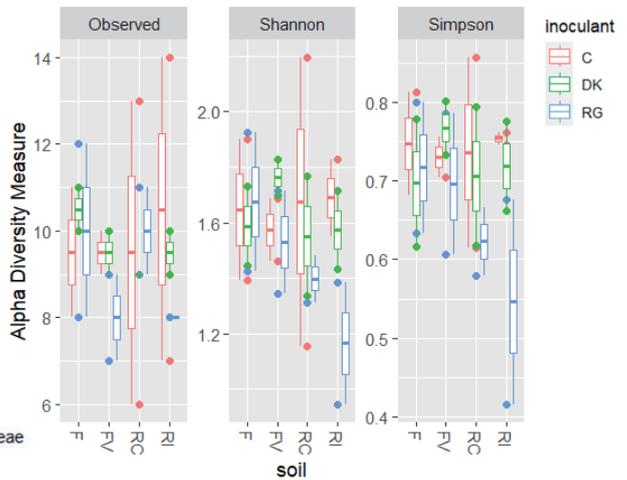


図 4. 土壌の菌根菌の多様性指数

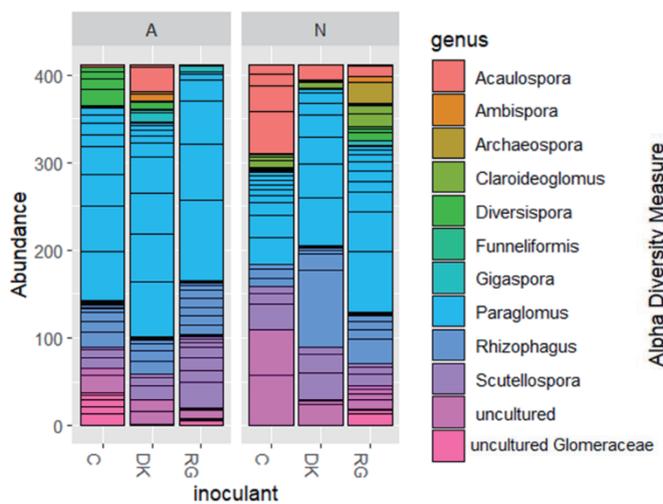


図 5. ポットの根の菌叢

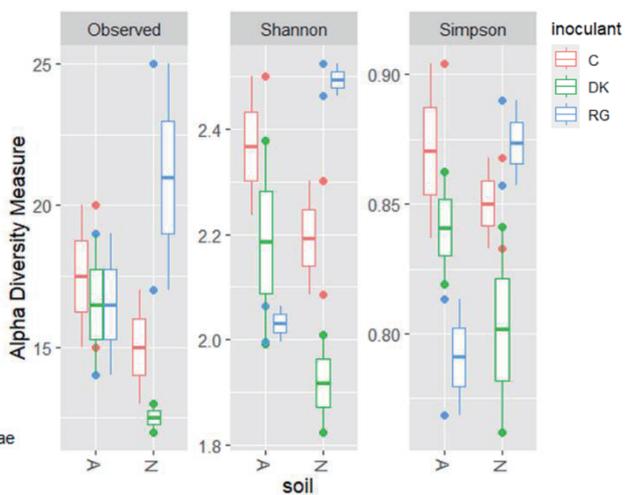


図 6. ポットの根の多様性指数

A: 減菌区 N: 非減菌区

本研究は科学研究費補助金(20K05995)によって行われた。また研究に際して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と気象データの提供を受けたほか、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)により実施したので謝意を表す。

P9

南関東における耕起法の違いが飼料用トウモロコシの養分吸収濃度と収量に及ぼす影響

肥後昌男・山崎彩夏*・齋藤孝太郎・五十嵐早紀・石川稔彦・原田晶子・磯部勝孝

(日本大学生物資源科学部)

Impacts of different tillage practices on the nutrient concentration and yield of maize in South Kanto, Japan

Masao Higo, Ayaka Yamazaki* Kotaro Saito, Igarashi Saki,

Toshihiko Ishikawa, Akiko Harada, Katsunori Isobe

(College of Bioresource Sciences, Nihon University)

【目的】我が国で栽培される飼料作物のうち飼料用トウモロコシは乾物収量と栄養価がともに高く、増産することで、輸入濃厚飼料への依存度を低下させることが可能となる。また、近年、飼料価格の高止まりを背景に土壌侵食防止や耕起作業の省力化、化石エネルギー節減などの面で優れた農法で省耕起栽培が注目されている。しかし、トウモロコシ生産が注目されている一方、国内でのトウモロコシの省耕起栽培はあまり普及が進んでいない。そこで本研究では、南関東でのトウモロコシの省耕起栽培の普及を目指すため、耕起法の違いによる飼料用トウモロコシの養分吸収濃度と収量性について検討した。

【材料と方法】本研究では日本大学生物資源科学部附属農場にて、15m×9mの区画に異なる耕起強度（ロータリ区、ボトムプラウ区、ディスク区、不耕起区）でトウモロコシ（*Zea mays* L., 2022年：P1690, 2023年：P1690 販売終了のため後継品種のP1341）を栽培する試験を2022年、2023年に行った。播種は2022年6月16日、2023年5月26日に75cm×20cmに設定した不耕起対応高速播種機NTP-4（アグリテクノ矢崎）で行った。肥料は基肥として2022年は化成肥料（14-14-14）を22.9 kg/10a, 2023年は化成肥料（14-10-10）22.6kg/10a 施用した。刈取調査は栄養成長期（2022年7月14日、2023年6月29日）に行い、収量調査は黄熟期（2022年9月22日、2023年9月9日）に行った。調査項目は播種前の土壌化学性、栄養成長期の養分吸収濃度、黄熟期の地上部総乾物重、黄熟期刈取後の土壌貫入抵抗値（2023年度のみ）とした。

【結果と考察】栄養成長期の地上部乾物重は耕起強度で有意に異なることが示され（第1表）、ボトムプラウ>ロータリ>ディスク>不耕起区の順で高い値を示した。また、地上部窒素、カリウム、マグネシウム濃度も耕起強度で有意に異なり、地上部乾物重と類似した傾向を示した。黄熟期の地上部総乾物重も栄養成長期と同様の傾向を示し、耕起強度の違いで有意に異なることが明らかとなった（第2表）。トウモロコシは生長と発育のために窒素を大量に必要とする作物であるため、これらの違いは土壌化学性の中でも土壌窒素の影響によるものと推察したが、ロータリ区とボトムプラウ区では硝酸態窒素含量はディスク区や不耕起区に比べ低かった（資料未記載）。このことから、栄養成長期や黄熟期でロータリ区やボトムプラウ区の生育が高まった要因は土壌化学性以外の要因が考えられる。Vanheesら（2021）は土壌硬度が高くなるとトウモロコシ根の伸長が制限されたことを報告している。本研究でも土壌深度0-10cmの土壌貫入抵抗値は不耕起≒ディスク>ボトムプラウ>ロータリ区の順で高かった（第3表）。以上のことから、土壌化学性の違いよりもむしろ土壌硬度が高くなることでトウモロコシ根の伸長の抑制から養分吸収が制限され、ディスク区や不耕起区で生育が抑制されたと考えられる。ただし、省耕起を3~4年間継続した場合、トウモロコシの収量が増加する事例も報告あるため（Rockströmら2009, Ngwiraら2012）、継続して圃場試験を行うことで耕起強度の違いによるトウモロコシの生産性を評価していく必要がある。

【謝辞】本研究の一部は科研費19K06005, JP22K05603の助成を受けたものである。

第1表 耕起強度の違いが飼料用トウモロコシの地上部乾物重と養分吸収量に及ぼす影響（栄養生長期）。

年次	耕起法	地上部乾物重 (g/m ²)	地上部N濃度 (%)	地上部P濃度 (%)	地上部K濃度 (%)	地上部Mg濃度 (%)	地上部Ca濃度 (%)
2022	ロータリ	63.9 ± 5.1	4.0 ± 0.10	0.40 ± 0.01	4.5 ± 0.06	0.19 ± 0.00	0.25 ± 0.01
	ボトムプラウ	77.7 ± 5.1	3.9 ± 0.06	0.38 ± 0.01	4.5 ± 0.09	0.19 ± 0.00	0.22 ± 0.01
	ディスク	45.6 ± 8.6	3.3 ± 0.17	0.32 ± 0.02	4.0 ± 0.12	0.18 ± 0.00	0.24 ± 0.01
	不耕起	22.8 ± 2.3	2.7 ± 0.05	0.27 ± 0.01	3.5 ± 0.08	0.16 ± 0.01	0.23 ± 0.01
2023	ロータリ	71.5 ± 4.7	3.8 ± 0.07	0.38 ± 0.01	5.2 ± 0.19	0.18 ± 0.00	0.28 ± 0.01
	ボトムプラウ	74.9 ± 6.9	3.1 ± 0.09	0.37 ± 0.02	5.0 ± 0.19	0.19 ± 0.01	0.29 ± 0.01
	ディスク	43.6 ± 3.9	2.4 ± 0.05	0.36 ± 0.02	4.3 ± 0.19	0.16 ± 0.00	0.27 ± 0.01
	不耕起	35.4 ± 4.1	2.4 ± 0.15	0.42 ± 0.05	4.2 ± 0.13	0.16 ± 0.01	0.25 ± 0.01
分散分析	耕起(A)	***	***	n.s.	***	***	n.s.
	年次(B)	n.s.	***	**	***	*	***
	A×B	n.s.	**	***	n.s.	n.s.	n.s.

数値は平均値±標準誤差を示す。

***, **, *はそれぞれ0.1%, 1%および5%レベルで有意差があることを示し, n.s.は5%レベルで有意差がないことを示す。

第2表 耕起強度の違いが飼料用トウモロコシの収量に及ぼす影響（黄熟期）。

年次	耕起法	茎葉乾物重 (g/m ²)	子実重 (g/m ²)	地上部総乾物重 (g/m ²)
2022	ロータリ	778.4 ± 32.9	632.4 ± 29.8	1410.8 ± 37.9
	ボトムプラウ	733.0 ± 46.7	532.4 ± 63.9	1265.3 ± 104.3
	ディスク	637.1 ± 59.6	619.9 ± 38.7	1256.9 ± 80.3
	不耕起	591.6 ± 104.1	503.7 ± 72.2	1095.3 ± 175.0
2023	ロータリ	739.6 ± 43.8	692.1 ± 51.4	1431.7 ± 90.4
	ボトムプラウ	756.6 ± 24.4	716.5 ± 49.3	1473.1 ± 69.6
	ディスク	623.1 ± 30.7	687.9 ± 61.0	1311.0 ± 82.8
	不耕起	488.6 ± 44.4	613.7 ± 55.8	1102.3 ± 86.2
分散分析	耕起(A)	***	n.s.	**
	年次(B)	n.s.	**	n.s.
	A×B	n.s.	n.s.	n.s.

数値は平均値±標準誤差を示す。

***, **はそれぞれ0.1%および1%レベルで有意差があることを示し, n.s.は5%レベルで有意差がないことを示す。

第3表 耕起強度の違いがトウモロコシ収穫後の土壌硬度(kPa)に及ぼす影響(2023)。

土壌深度 (cm)	ロータリ	ボトムプラウ	ディスク	不耕起
0-2 cm	232.0 ± 0.0 a	326.0 ± 54.0 a	330.8 ± 57.2 a	344.2 ± 58.1 a
3-4 cm	257.2 ± 20.4 a	515.5 ± 105.8 a	853.9 ± 329.0 a	950.3 ± 115.9 a
5-6 cm	371.7 ± 55.4 c	885.4 ± 218.3 bc	1325.9 ± 211.3 ab	1935.0 ± 143.7 a
7-8 cm	489.6 ± 62.0 c	1237.0 ± 249.7 b	2109.4 ± 105.2 a	2248.1 ± 99.5 a
9-10 cm	551.1 ± 65.6 c	1467.4 ± 214.8 b	2356.5 ± 73.0 a	2346.3 ± 94.7 a
平均	380.3	886.3	1395.3	1564.8

同一アルファベット間には各深度の各試験区でTukey法5%水準で有意差がないことを示す。

P10

異なる耕起管理下での子実用トウモロコシのリン酸吸収、収量と土壤細菌群集の関連性

立脇祐哉*・肥後昌男・磯部勝孝

(日本大学生物資源科学部)

Phosphorus uptake and grain yield of maize in different tillage practices in relation to soil bacterial communities

Yuya Tatewaki*, Masao Higo, Katsunori Isobe

(College of Bioresource Sciences, Nihon University)

【目的】 トウモロコシは養分要求性が高い作物であることから、十分な収量を得るには多量の肥料を投入する必要がある。それゆえ、我が国のトウモロコシ栽培ではこれまでに過剰なリン酸肥料が施肥されてきた背景があり、土壤中に蓄積した難溶性リン酸をリン酸肥料として活用することがトウモロコシの生産性をさらに高めるために重要となる。これらの蓄積したリン酸を溶解する手段の一つとして、リン溶解菌の利用が考えられる。リン溶解菌は難溶性リン酸を可溶化する働きを持つが (Bouizgame ら 2023)、リン酸を溶解する能力は種や菌株によって異なる (El-Hamshary ら 2019, Rezakhani ら 2022)。これまでに、耕起管理の違いによって土壤微生物の群集構造が変化することが報告されているが (Srouf ら 2020)、リン溶解菌も耕起管理の違いによって群集構造が変化するか明らかにした研究事例はない。そこで本研究では異なる耕起管理によってリン溶解菌の群集構造が変化し、子実用トウモロコシの生育、収量、リン吸収に影響を及ぼすか明らかにすることを目的とした。

【材料と方法】 本試験は神奈川県藤沢市にある日本大学生物資源科学部附属農場にて 2019 年 4 月から 2020 年 9 月までの 2 か年に渡って行った。試験区はロータリ区および不耕起区を設け、1 作目の試験のプロットと同じ場所で 2 作目の試験を実施した。ロータリ区はトウモロコシの播種 1 か月前 (2019 年 4 月 16 日, 2020 年 4 月 11 日) と播種前日 (2019 年 5 月 19 日, 2020 年 5 月 13 日) に表層約 20 cm をロータリ耕耘機で耕耘し、不耕起区は試験期間中 (2019 年 4 月~2020 年 9 月) 耕耘を行わなかった。トウモロコシ (*Zea mays* L., 品種: P1690) は 2019 年 5 月 20 日, 2020 年 5 月 14 日に播種し、兩年とも栽植密度は条間 75 cm, 株間 20 cm の 6.7 本/m²とした。刈り取り調査は栄養成長期 (2019 年 7 月 1 日, 2020 年 6 月 25 日) と絹糸抽出期 (2019 年 7 月 25 日, 2020 年 7 月 23 日) に行い、収量調査は成熟期 (2019 年 9 月 19 日, 2020 年 9 月 9 日) に行った。土壤採取はトウモロコシ播種前日 (2019 年 5 月 19 日, 2020 年 5 月 13 日) に行った。調査項目は絹糸抽出期と栄養成長期におけるトウモロコシのリン酸吸収量、成熟期における子実収量、トウモロコシ播種前の土壤化学性、土壤細菌群集とした。

【結果と考察】 本研究の結果、トウモロコシの茎葉におけるリン酸吸収量は兩年とも不耕起区よりロータリ区で高い値を示し、耕起管理の違いで有意差が認められた (第 1 表)。また、成熟期におけるトウモロコシの子実重も兩年とも不耕起区よりロータリ区で高い値を示し、耕起管理の違いで有意差が認められた。さらに、土壤中の可給態リン含量も兩年で不耕起区よりロータリ区で高い値を示し、耕起管理の違いで有意差が認められた (第 1 図)。土壤中の可給態リン酸含有量が増加した要因として土壤細菌によるリン酸の可溶化が影響している可能性がある。そこで、過去の文献においてリン溶解能を持つとされている細菌群を科レベルで調査し、結果を第 2 図に示した。土壤細菌群集全体のうち、5~15%程度がリン溶解細菌に分類される細菌として検出された。これらの細菌群集の相対出現頻度は兩年とも不耕起区よりロータリ区で高い値を示し、耕起管理の違いで有意差が認められた (第 2 図)。過去の文献においてリン溶解能を持つとされている細菌の出現頻度が、本研究においてもロータリ区で増加し、難溶性リン酸をより多く可溶化したと考える。さらにこのような現象が土壤の可給態リン酸含量を高め、トウモロコシのリン酸吸収や生育、収量を改善する要因になった可能性が示唆された。

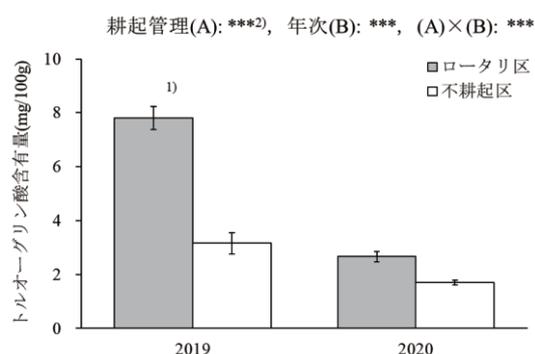
【謝辞】 本研究の一部は科研費 19K06005, JP22K05603 の助成を受けたものである。

第1表 耕起管理が飼料用トウモロコシのリン酸吸収量，収量に及ぼす影響。

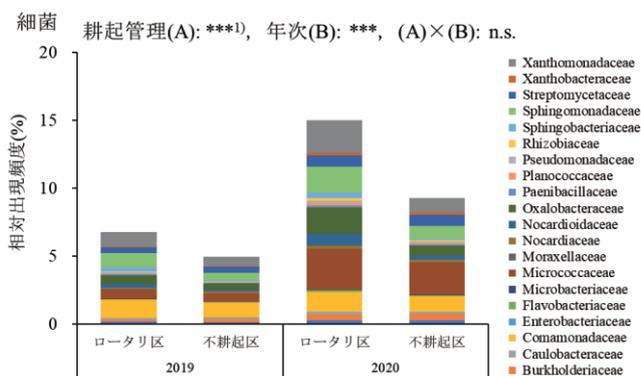
栽培年次	耕起管理	リン酸吸収量 (mg/m ²)		子実重 (g/m ²)
		栄養成長期	絹糸抽出期	
2019	ロータリ区	232.2 ± 19.6 ¹⁾	1013.9 ± 50.8	698.3 ± 46.2
	不耕起区	115.5 ± 14.1	709.4 ± 150.8	541.3 ± 36.7
2020	ロータリ区	277.1 ± 21.0	1326.3 ± 40.6	592.6 ± 23.3
	不耕起区	123.5 ± 5.5	832.2 ± 150.3	577.5 ± 23.5
耕起管理	ロータリ区	254.7 ± 16.3	1170.1 ± 75.7	645.5 ± 33.1
	不耕起区	119.5 ± 7.0	770.8 ± 99.1	559.4 ± 21.1
年次	2019	173.9 ± 28.2	861.7 ± 98.5	619.8 ± 43.9
	2020	200.3 ± 35.7	1079.3 ± 130.6	585.0 ± 15.2
分散分析	耕起管理(A)	*** ²⁾	**	*
	年次(B)	n.s.	n.s.	n.s.
	(A)×(B)	n.s.	n.s.	n.s.

1) 平均値 ± 標準誤差を示す。

2) 二元配置分散分析において*は5%，**は1%，***は0.1%水準で有意差があることを示し，n.s.は有意差がないことを示す。



第1図 耕起管理が土壌中のトルオーグリン酸含有量に及ぼす影響。
1) エラーバーは標準誤差を示す。
2) 二元配置分散分析において***は0.1%水準で有意差があることを示す。



第2図 耕起管理が土壌中のリン溶解菌相対出現頻度(科)に及ぼす影響。
1) 二元配置分散分析において***は0.1%水準で有意差があることを示す。

P11

異なる耕起管理下での子実用トウモロコシのリン酸吸収、収量と土壤細菌群衆の関連性
～【第2報】耕起法の違いがリン溶解菌数とリン溶解量に及ぼす影響～

立脇裕哉・黒木裕人*・肥後昌男・磯部勝孝
(日本大学生物資源科学部)

Phosphorus uptake and grain yield of maize in different tillage practices in relation to soil bacterial communities
～ Effect of different tillage practices on the amount of phosphorus solubilizing bacteria and
its phosphate solubilization amount ～

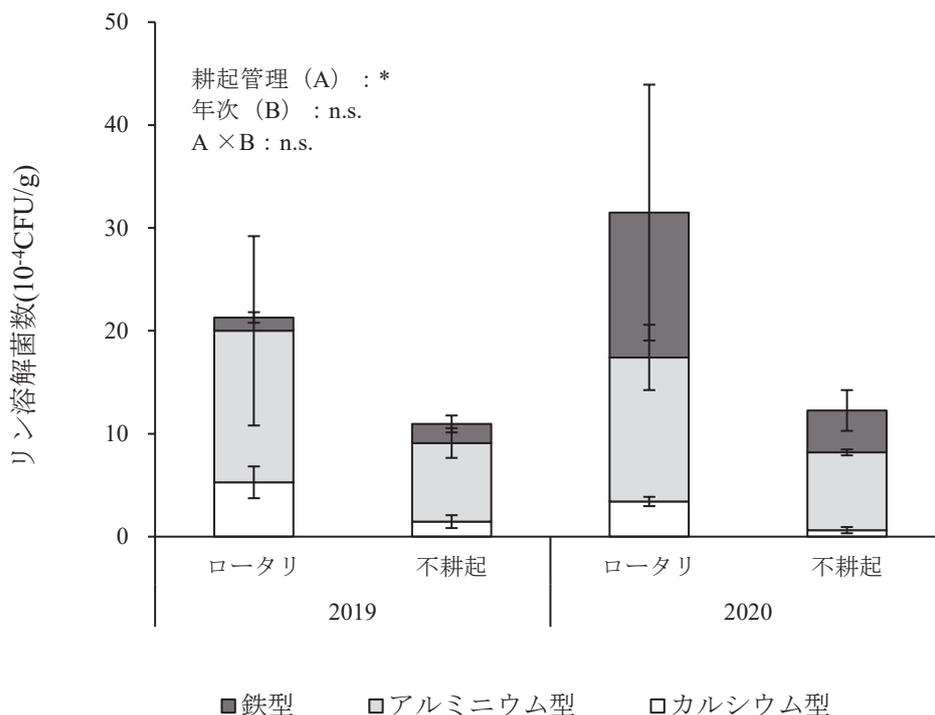
Yuya Tatewaki, Yuto Kuroki*, Masao Higo, Katsunori Isobe
(College of Bioresource Sciences, Nihon University)

【目的】 前報ではトウモロコシを不耕起とロータリ耕起した圃場で栽培した結果、トウモロコシのリン酸吸収量や子実収量は不耕起よりもロータリ耕起した方が高くなることを報告した(立脇ら 2023)。この要因として、耕起による土壤硬度の低下によって根の伸長が促進されたことに起因していると考えられたが、生育後期には区間で根の伸長量に違いがなかったため、他の要因がトウモロコシのリン酸吸収量と生育・収量の違いに関与している可能性が示唆された。実際、この研究では耕起によって土壤の可給態リン酸含量が高まったことも示している。土壤に固定されているリン酸はリン溶解菌によって可溶化されることから、耕起区で可給態リン酸含量が高まったことにはリン溶解菌の関与が考えられる。そこで、本研究ではトウモロコシを不耕起またはロータリ耕起した圃場で栽培し、リン溶解菌数やリン溶解量がトウモロコシの収量性の違いに関与しているか明らかにした。

【材料と方法】 本研究は、神奈川県藤沢市にある日本大学生物資源科学部附属農場(黒ボク土)にてトウモロコシ(*Zea mays* L., 品種:P1690)をロータリ耕起(ロータリ区)または不耕起(不耕起区)で栽培した。各区の区画の大きさは4 m×4.5 mで、各区3反復設けた。土壤採取は2019年、2020年ともにトウモロコシを播種する直前に1区画からランダムに15カ所を直径4 cmのコアサンプラーで採取した。採取した土壤のリン溶解菌の培養はPVK培地を用いた希釈平板法で行った。調査項目はロータリ区と不耕起区における土壤化学性及び形態別(鉄型, アルミニウム型, カルシウム型)無機態リン酸の割合, リン溶解菌数, リン酸溶解量である。

【結果と考察】 土壤化学性においてpH, EC, 交換性カリ含量は耕起間, 年次間ともに有意差がみられなかったが, トルオーグリン含量では有意差がみられ, 2年間を通して不耕起区よりロータリ区で高い値を示した。また, 硝酸態窒素含量でも有意差がみられ, ロータリ区より不耕起区で高い値を示した。カルシウム型リン溶解菌数は区間で有意差がみられ, 2年間を通して不耕起区よりロータリ区で高い値を示した(第1図)。アルミニウム型リン溶解菌数は耕起間で有意差がみられなかったが, 2年間を通して不耕起区よりロータリ区で高い値を示した。鉄型リン溶解菌数も2019年は不耕起区で高い値を示したが, 2020年度はロータリ区で高くなる傾向がみられ, 一定の傾向はなかった。検出されたリン溶解菌のリン酸溶解量を調査するため, カルシウム型, 鉄型, アルミニウム型リン酸が含まれた液体培地を用いて41時間, 240時間培養した結果, リン酸溶解量は耕起間, 年次間で有意差がみられなかった(第1表)。このことから, 検出されたリン溶解菌のリン酸溶解能よりも, リン溶解菌数の違いが区間で可給態リン酸含量やトウモロコシのリン酸吸収量と生育・収量の違いに関与している可能性がある。今後は, 今回単離した菌を同定し, さらにそれら菌種の違いとそのリン溶解能の関係を明らかにする必要がある。

【謝辞】 本研究の一部は科研費19K06005, JP22K05603の助成を受けたものである。



第1図 耕起管理がトウモロコシ播種土壌のリン溶解菌数に及ぼす影響.
二元配置分散分析の結果はカルシウム型のみ記載.

第1表 耕起管理が鉄型リン酸溶解量に及ぼす影響.

栽培年次	耕起管理	pH (H ₂ O)		リン酸溶解量 (mg/L)		リン酸溶解速度 (mg/L/hr)	
		41時間後	240時間後	41時間後	240時間後	41時間後	240時間後
2019	ロータリ	6.1 ± 0.1 ¹⁾	5.1 ± 0.2	3.6 ± 0.8	25.2 ± 4.9	0.09 ± 0.02	0.11 ± 0.02
	不耕起	6.0 ± 0.1	5.2 ± 0.4	1.4 ± 0.5	20.9 ± 3.0	0.03 ± 0.01	0.09 ± 0.01
2020	ロータリ	6.1 ± 0.1	5.3 ± 0.3	2.3 ± 1.3	30.5 ± 1.0	0.06 ± 0.03	0.13 ± 0.00
	不耕起	5.5 ± 0.1	4.7 ± 0.4	4.4 ± 0.5	44.6 ± 1.7	0.11 ± 0.01	0.19 ± 0.01
年次	2019	6.0 ± 0.1	5.2 ± 0.2	2.5 ± 0.6	23.1 ± 2.6	0.06 ± 0.01	0.10 ± 0.01
	2020	5.8 ± 0.1	5.0 ± 0.2	3.4 ± 0.6	37.6 ± 1.3	0.08 ± 0.02	0.16 ± 0.01
耕起管理	ロータリ	6.1 ± 0.1	5.2 ± 0.2	3.0 ± 0.6	27.9 ± 2.8	0.07 ± 0.01	0.12 ± 0.01
	不耕起	5.8 ± 0.1	5.0 ± 0.3	2.9 ± 0.8	32.7 ± 1.9	0.07 ± 0.02	0.14 ± 0.01
分散分析	年次(A)	n.s. ²⁾	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
	耕起管理(B)	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
	(A)×(B)	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	**	n.s.

1) 平均値 ± 標準誤差を示す.

2) 二元配置分散分析において**は1%水準で有意差があることを示し, n.s.は有意差がないことを示す.

* インキュベーション開始時はpHが7.0, リン酸溶解量が0であることを確認した.

P12

開花期後の遮光処理の時期がラッカセイの生育および収量に及ぼす影響（第2報）

小林孝太郎*・桑田主税
(千葉県農林総合研究センター)

Effect of shading after flowering on the growth and yield of peanuts (The 2nd Report)

Koutaro Kobayashi* and Chikara Kuwata
(Chiba Prefectural Agriculture and Forestry Research Center)

【目的】 演者らは、ラッカセイが開花期後の遮光処理により莢実収量の低下をもたらし、中生品種「千葉P114号(商標名:Qなっつ)」では開花期後6週間までの遮光処理で収量低下の影響が大きいことを明らかにした(小林ら, 2022)。前報は露地圃場での試験であり、降雨の影響を受けたため、開花・結実の状況を正確に比較することが難しかった。そこで、土壌水分を一定条件下にコントロールし、開花状況や茎葉部の生育状態を定期的に調査し、知見が得られたので報告する。

【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)のガラス温室で実施した。栽培には1/2000aワグネルポットを用い、基肥の施肥成分量を $N:P_2O_5:K_2O=3:10:10$ kg/10aとした畑地土壌(腐植質普通黒ボク土)に充填した。2023年5月18日に品種「千葉P114号」を各ポットに3粒播種し、出芽後1本立てとした。開花期後の遮光の時期と期間により、試験区には3週間区(1~3週区, 4~6週区)、2週間区(1~2週区, 3~4週区, 5~6週区)および無処理区を設けた。処理区には、遮光率75%の遮光資材(アグリパワーストーン(アイアグリ(株)))を被覆した。試験規模は5ポット/区とし、1ポットを1反復とした。開花期以後は土壌水分を一定に保つため、プラスチック製水槽にポットを置き、地下水位を-10cmとなるよう水位を一定とした。開花調査は毎日、茎葉部の生育調査は6~8日間隔で行った。9月10日(開花期後79日)に収穫し、茎葉乾物重は70°Cで5日程度乾燥させてから測定した。莢実調査は莢長2.0cm以上をすべて脱莢し、自然乾燥後に1粒莢が1.0g、2粒莢が2.0g以上を上莢、子実が0.7g以上を上実として選別調査した。

【結果および考察】 開花期後の気象状況は、平年値と比べて6月下旬~9月中旬まで平均気温が高く、日照時間が多かったことから、天候不順が生育および収量に及ぼす影響は小さかった(データ略)。すべての処理区で遮光開始5日頃から、処理終了後10日頃まで開花がほとんどみられなかった(図1, 2)。各区の開花数の合計値を比較すると、1~3週区は無処理区と比べて開花期後1~6週が16%と最も少なかったが、7~12週が179%と最も多かった(表1)。無処理区、5~6週区、4~6週区は、莢実の形成に関係する有効開花期間の開花期後1~6週で割合が50%より高く、これ以外の区は低かった。すべての処理区で、総分枝数は遮光処理中から処理終了2週間後までほとんど増加しなかった(表3)。収量については、すべての処理区で莢実数、莢実重、上莢重、子実重、上実重は無処理区より有意に少なかった(表4)。遮光処理期間が2週間の3処理区で比較すると、処理時期が遅いほど莢実数は多いが、莢実重、上莢重、子実重、上実重が少なくなり、遮光期間が3週間の2処理区でも莢実数、上莢重、子実重、上実重では同様の傾向がみられた。前報(小林ら, 2022)では、「千葉P114号」は中生で初期の開花数が多く、莢実の形成・充実が早いいため、開花期後6週間までの日照不足が初期の生育および開花・着莢に最も影響を及ぼすと考察した。本試験の結果から、開花期後の日照不足がおおむね1~3週に発生した場合は、有効開花期間に生育が停滞して開花・着莢数が減少し、4~6週の場合は150花以上がすでに開花しており、着莢した莢の子実の充実不良が収量低下に大きな影響を及ぼすと考えられた。

以上のことから、「千葉P114号」の開花期後6週間内のうち2週間以上の日照不足は、処理時期や期間に関係なく一定期間、開花数の減少や茎葉部の生育抑制を招き収量低下させると考えられた。

【引用文献】 小林ら(2022) 日本作物学会関東支部 第111回講演会 P14-15

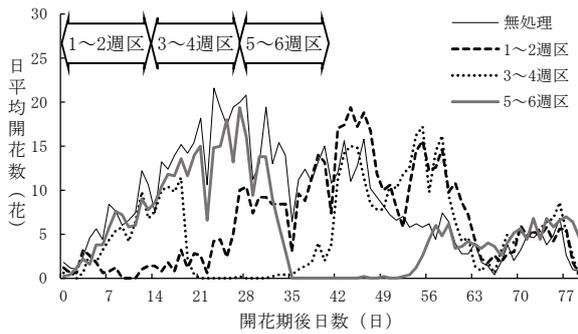


図1 2週間遮光処理した試験区の日平均開花数の推移

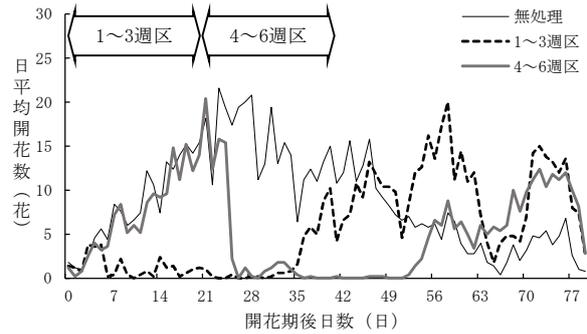


図2 3週間遮光処理した試験区の日平均開花数の推移

表1 遮光処理が「千葉P114号」の開花数の合計値に及ぼす影響

遮光期間 (週)	試験区	開花数の合計値 (花)			無処理区との対比 (%)			期間ごとの内訳 (%)		
		1週~ 6週	7週~ 12週	期間 合計	1週 ~6週	7週 ~12週	合計	1週 ~6週	7週 ~12週	期間 合計
	無処理	495 a	208 bc	704 a	100	100	100	70	30	100
2週間	1-2週	201 c	315 ab	516 b	41	151	73	39	61	100
	3-4週	131 d	290 ab	421 b	26	139	60	31	69	100
	5-6週	317 b	122 c	439 b	64	59	62	72	28	100
3週間	1-3週	77 e	374 a	451 b	16	179	64	17	83	100
	4-6週	226 c	197 bc	422 b	46	94	60	53	47	100
分散分析		***	**	**	-	-	-	-	-	-

注1) 分散分析は***が0.1%, **が1%水準で有意差あり.

注2) 数値横の異なる英文字間には Tukey-Kramer 法により 5%水準で有意差あり.

表2 遮光処理が「千葉P114号」の総分枝数に及ぼす影響

遮光期間 (週)	試験区	総分枝数 (本/株)										
		1週	2週	3週	4週	5週	6週	7週	8週	9週	10週	収穫時
	無処理	9.6	10.6 ab	12.0	15.0 a	16.8 a	17.4	18.8 ab	21.6 abc	23.8 abc	26.2 abc	30.4 ab
	1-2週	9.2	9.2 b	9.2	9.4 c	11.0 ab	16.4	24.6 a	29.2 a	31.8 a	35.8 a	41.0 a
2週間	3-4週	8.6	10.6 ab	11.2	12.2 abc	12.2 ab	12.8	13.0 b	13.8 c	20.2 bc	20.6 bc	28.0 ab
	5-6週	8.8	8.8 b	9.8	10.6 c	12.8 ab	13.6	13.8 b	13.8 c	14.2 c	15.0 c	20.2 b
3週間	1-3週	9.8	10.0 ab	10.0	10.2 c	10.2 b	10.2	15.0 ab	23.4 ab	27.4 ab	29.8 ab	34.2 ab
	4-6週	9.8	11.6 a	11.6	14.2 ab	14.6 ab	14.6	14.8 ab	14.8 bc	15.2 c	16.6 c	28.0 ab
分散分析		ns	**	ns	**	*	ns	ns	**	**	***	*

注1) 週は開花期後週数を表す.

注2) 分散分析は***が0.1%, **が1%, *が5%水準で有意差あり, nsは有意差無し.

注3) 数値横の異なる英文字間には Tukey-Kramer 法により 5%水準で有意差あり.

表3 遮光処理が「千葉P114号」の収穫時の生育および収量に及ぼす影響

遮光期間 (週)	処理区	茎葉					
		乾物重 (g/株)	莢実数 (個/株)	莢実重 (g/株)	上莢重 (g/株)	子実重 (g/株)	上実重 (g/株)
	無処理	141 a	88.8 a	112.0 a	56.6 a	72.5 a	43.3 a
	1-2週	115 ab	48.4 b	65.8 b	31.7 b	42.5 b	20.8 b
2週間	3-4週	97 b	54.6 b	67.5 b	21.0 b	41.8 b	14.4 b
	5-6週	106 b	58.4 b	51.3 bc	16.0 b	33.4 bc	11.5 b
3週間	1-3週	97 b	34.2 c	37.8 c	12.7 b	20.9 c	8.2 b
	4-6週	107 b	58.0 b	50.3 bc	7.5 b	19.3 c	6.0 b
分散分析		**	***	***	***	***	***

注1) 開花期は6月23日, 収穫日が9月10日(開花期後79日).

注2) 分散分析は***が0.1%, **が1%水準で有意差あり.

注3) 数値横の異なる英文字間には Tukey-Kramer 法により 5%水準で有意差あり.

P13

南関東における多収ダイズ品種の遺伝的特徴についての調査

佐々木洋平^{1*}・大網隼輔²・小山翔南²・下妻駿祐²・曾川天広²・星野真穂²・肥後昌男²・磯部勝孝²

(¹日本大学生物資源科学研究科・²日本大学生物資源科学部)

Study on Genetic Characteristics of High-yield Soybean Varieties in Southern Kanto, Japan

Y.Sasaki¹, S.Oami², S.Koyama², S.Simozuma², T.Sogawa², M.Hoshino², M.Higo², K.Isobe²

(¹Graduate School of Bio. Sci., Nihon University, ²Coll. of Bio. Sci., Nihon University)

【背景および目的】

日本のダイズ単収を世界のダイズ生産主要国であるアメリカと比較すると、令和4年度ではおよそ1/2である(USDA 2023)。日本とアメリカで単収に差が生じる理由としてそれぞれの国で栽培される品種の特徴の違いがある(島田ら 2012)。そこで、先行研究では、アメリカ品種 Clark の早晩性や伸育型を決定づける遺伝子が異なる準同質遺伝子系統 Clark-NILs を南関東で栽培し、最も晩生の品種である A 品種が南関東において高い子実収量を示すことが明らかになった(佐々木ら 2022)。本報告では Clark-NILs で A 品種が多収となった要因の更なる探索を行うとともに(実験1)、A 品種を日本で栽培されている品種と比較し(実験2)、南関東のダイズに導入すべき多収要因の探索を遺伝子の観点から推察した。

【材料及び方法】

実験は日本大学生物資源科学部附属農場(神奈川県藤沢市)で、実験は2つ実施した。実験1, 2とも栽植密度は条間60cm, 株間15cm とし、施肥量は N:P:K=3:10:10kg/10a ずつ施用した。

(実験1) Clark-NILs 品種内での多収要因の解明

Clark-NILs 14品種を2023年6月5日に播種し、R5における生育や R2~R5における CGR, 子実収量への開花期関連遺伝子である E 遺伝子(E1, E2, E3)の影響を調査した。

(実験2) A 品種と日本栽培品種との収量比較および多収要因の特定

実験は2022年と2023年の2カ年行い、供試品種は両年ともアメリカ品種は1A, 日本品種はエンレイ, タチナガハ, フクユタカ, サチユタカとした。播種は2022年6月13日, 2023年6月5日とした。調査は生育ステージ調査, R5刈り取り調査, R8刈り取り調査 を行い, 2023年のみ R2~R5の CGR 調査を行った。

【結果及び考察】

実験1において地上部乾物重および LAI の結果から地上部の生育に影響を与える E 遺伝子の探索を行った。調査の結果, E1または E2遺伝子を持つ品種で地上部の生育が旺盛になることが示唆された(第1表)。また, R2~R5間の CGR に対する E 遺伝子の影響を調べた結果, E1または E2遺伝子を持つ品種で CGR が高くなることが示唆された(第2表)。実験2において, 2022年の子実収量データをみると1A およびフクユタカで最も高い収量が得られた(第3表)。これらの品種において子実収量を生育日数で除して求めた「1日あたりの収量増加量」が子実収量増加に影響することが示唆された。そこで, 1日あたりの収量増加量に対する E 遺伝子の影響を見てみると, E2または E3遺伝子を持つ品種において1日あたりの収量が高くなることが示唆された。

以上の結果より, 南関東で栽培されているダイズに E2および E3遺伝子を導入することでより子実収量の高い品種を作出できると考えられる。

第1表 実験1での子実肥大始期での地上部乾物重および、LAIの状況。

年	播種期	品種	開花関連遺伝子			伸育型 (遺伝子型)	地上部乾物重 (g/m ²)		LAI (節/m ²)		
			E1	E2	E3						
2023	6月	1A	E1	E2	E3	無限 (Dt)	990.75 ± 44.50	a	7.91 ± 0.54	a	
		1B	E1	E2	e3		582.07 ± 64.60	b	5.46 ± 0.57	b	
		1C	E1	e2	E3		385.82 ± 29.79	de	3.89 ± 0.30	bcde	
		1D	E1	e2	e3		389.07 ± 21.45	cde	4.22 ± 0.23	bcd	
		1E	e1	E2	E3		470.15 ± 26.05	bcd	4.16 ± 0.49	bcde	
		1F	e1	E2	e3		286.82 ± 25.90	efg	3.47 ± 0.35	cdef	
		1G	e1	e2	E3		260.91 ± 19.12	efg	3.31 ± 0.23	cdef	
		1H	e1	e2	e3		298.67 ± 26.34	ef	3.58 ± 0.29	cdef	
		2A	E1	E2	E3		有限 (dt)	547.60 ± 29.55	bc	4.76 ± 0.36	bc
		2C	E1	e2	E3			283.26 ± 52.31	efg	2.78 ± 0.51	defg
		2D	E1	e2	e3			249.42 ± 18.07	efg	2.44 ± 0.15	efg
		2E	e1	E2	E3			229.33 ± 10.94	efg	1.98 ± 0.11	fg
		2F	e1	E2	e3			225.20 ± 19.91	fg	1.85 ± 0.08	fg
		2G	e1	e2	E3			135.34 ± 17.10	g	1.20 ± 0.16	g
t検定			E1 vs e1			***	***	***	***		
			E2 vs e2			***	***	**	**		
			E3 vs e3			n. s	n. s	n. s	n. s		
			Dt vs dt			***	***	***	***		

t検定の***, **, *はそれぞれ0.1%, 1%および5%レベルで有意差があることを示し、nsは5%レベルで有意差がないことを示す。同一のアルファベット間にはTukey法5%水準で有意差がないことを示す。

第2表 実験1での開花盛期から子実肥大始期までのCGR。

年	播種期	品種	開花関連遺伝子			伸育型	CGR (g/m ² /day)			
			E1	E2	E3					
2023	6月	1A	E1	E2	E3	無限 (Dt)	20.22 ± 1.63	a	a	
		1B	E1	E2	e3		13.73 ± 1.97	b	b	
		1C	E1	e2	E3		10.77 ± 0.99	bcd	bcd	
		1D	E1	e2	e3		11.78 ± 0.79	bc	bc	
		1E	e1	E2	E3		11.58 ± 0.69	bc	bc	
		1F	e1	E2	e3		11.43 ± 1.22	bc	bc	
		1G	e1	e2	E3		9.56 ± 0.75	bcd	bcd	
		1H	e1	e2	e3		11.94 ± 1.21	bc	bc	
		2A	E1	E2	E3		有限 (dt)	8.88 ± 0.65	bcd	bcd
		2C	E1	e2	E3			6.94 ± 1.84	cd	cd
		2D	E1	e2	e3			9.92 ± 0.87	bcd	bcd
		2E	e1	E2	E3			8.65 ± 0.37	cd	cd
		2F	e1	E2	e3			7.72 ± 0.80	cd	cd
		2G	e1	e2	E3			5.51 ± 1.04	d	d
t検定			E1 vs e1			*	*	*		
			E2 vs e2			*	*	*		
			E3 vs e3			n. s	n. s	n. s		
			Dt vs dt			***	***	***		

t検定の***, **, *はそれぞれ0.1%, 1%および5%レベルで有意差があることを示し、nsは5%レベルで有意差がないことを示す。

同一のアルファベット間にはTukey法5%水準で有意差がないことを示す。

第3表 実験2における2022年度の子実収量および1日あたりの増収量の状況。

年	品種	開花関連遺伝子			子実収量 (g/m ²)	1日あたりの増収量 (g/日)		
		E1	E2	E3				
2022	1A	E1	E2	E3	391.53 ± 11.03	a	3.13 ± 0.10	a
	フクユタカ	E1	E2	E3	401.71 ± 19.76	a	2.79 ± 0.15	ab
	サチユタカ	E1	E2	e3	304.05 ± 13.93	b	2.16 ± 0.11	bc
	エンレイ	E1	e2	e3	126.18 ± 26.33	c	1.14 ± 0.27	d
	タチナガハ	E1	e2	e3	186.20 ± 8.49	c	1.54 ± 0.08	cd

t検定の***, **, *はそれぞれ0.1%, 1%および5%レベルで有意差があることを示し、nsは5%レベルで有意差がないことを示す。

同一のアルファベット間にはTukey法5%水準で有意差がないことを示す。

P14

開花節位や乾燥法がゴマの登熟に及ぼす影響

丹野和幸

(埼玉県農業技術研究センター)

Effect of Flowering Node Position and Drying Method on Sesame Ripening.

Kazuyuki Tanno

(Saitama Prefectural Agricultural Technology Research Center)

著者は前報で、ゴマ乾燥時の裂蒴率を経時的にみると直線的ではなく、ある時点を境に急増すること、ハウスに植物体を立てかけて乾燥したほうが脱離蒴果を乾燥機で乾燥するより裂蒴率が高いことを報告した(丹野 2023)。しかし前報では裂蒴数に着目して調査したため、蒴果や子実重の経時的な変化や乾燥法による追熟の有無が不明であった。そこで本研究では、ゴマの蒴果重や子実重も含めた調査を実施し、開花節位や乾燥法がゴマの登熟に及ぼす影響の解明を試みた。

【材料及び方法】

2023年5月16日に「金ゴマ在来」を、7月4日に「にしきまる」を埼玉県農業技術研究センター玉井試験場内圃場条間80cm, 28粒/mで播種した。施肥はN:P₂O₅:K₂O = 6:6:6 kg/10aで全層施用した。「にしきまる」の種子は農研機構から提供を受けた。開花節位と登熟の関係を調査するため、8月16日, 21日, 25日, 30日, 9月4日, 7日, 11日, 14日, 19日, 22日, 25日に「にしきまる」の第1, 15, 30花序の頂果を各5個ずつ採取して封筒に入れ、80°C・48時間以上通風乾燥した後取り出し、全重を計測後全ての子実を蒴果内からかぎ針で掻き出して計量後、粒数カウンター(DC-1M5 (FUJIWARA); 感度設定S)で計数した。そのため、カウンターで計数不能な粒は粒数として計上されていない。乾燥法と登熟の関係を調査するため、裂蒴始頃の8月16日に「金ゴマ在来」を用いて図2に示す実験A,Bを実施し、強制乾燥区に対する、自然乾燥区のゴマ形質値の比を算出した。

【結果及び考察】

ゴマ登熟の経時変化をみると、第1花序の頂果は最終的な重量に達するのに開花後30日程度を要したのに対し、第15, 30花序の頂果では開花後20日程度だった(図1)。気温は第1花序開花頃のほうが高いため、低節位の花序が開花している時期には登熟が進まないような生理的な抑制があり、咲きあがり中期頃に解除され、登熟過程が開始するものと考えられた。

乾燥方法に関しては、全蒴果数はほぼ変わらず、区間のもともとの生育差は無視できると考えられた。裂蒴率や蒴果および子実重、数はどちらの乾燥法でも上回る傾向にあり(表1)、自然乾燥区のほうで追熟程度が大きいと考えられた。千粒重はあまり変わらなかったことから、未熟粒が減少し調製後計数される粒数が増加していると考えられた。また、追熟には植物体に着生しているかどうかは重要ではなく、乾燥温度が比較的低いこと、もしくは乾燥中に光が当たっていることが重要と考えられた。なお、子実重率(子実重/全蒴果重)は実験Aで高く、実験Bでは強制乾燥区と変わらなかったが、これは蒴果脱離によるシンク・ソース関係の変化に起因すると考えられ、脱離した場合は蒴果から子実への、着生している場合は茎から子実への転流が起こったと考えられた。

【引用文献】

丹野和幸(2023) 日作紀 92: 266-267.

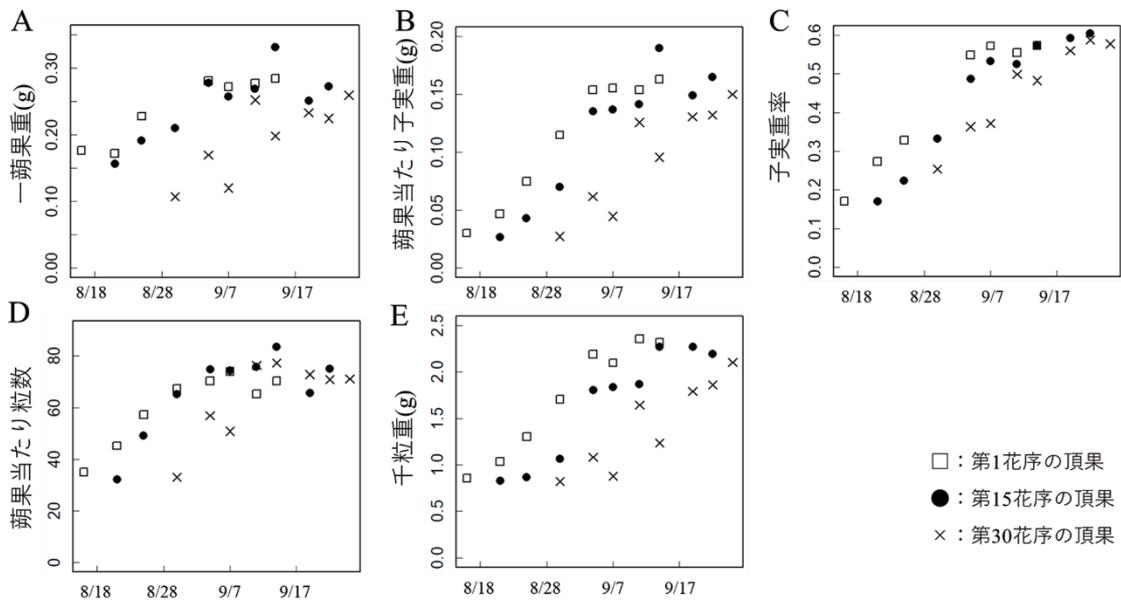


図1 ゴマの登熟関連形質の経時的変化

第1花序の頂果は8月5日頃に、第15花序の頂果は8月16日頃に、第30花序の頂果は8月30日頃に開花した。記号と節位の関係を右下に示した。(A) 一蒴果重 (B) 蒴果当たり子実重 (C) 子実重率 (D) 蒴果当たり粒数 (E) 千粒重

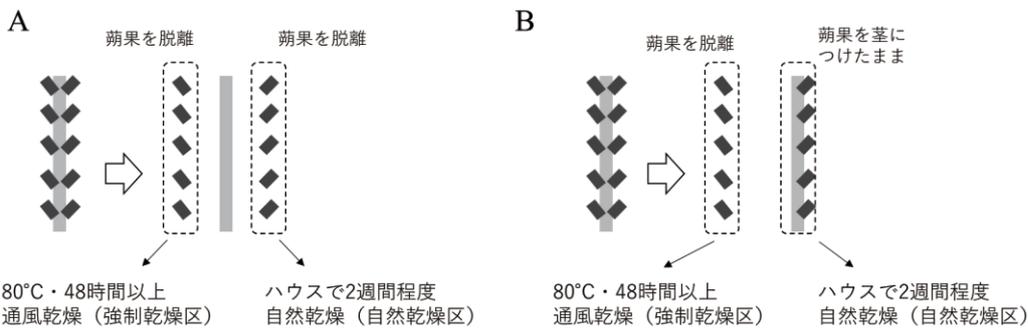


図2 蒴果脱離強制乾燥に対する自然乾燥の比較実験の概要

採取個体の大きさによる影響を排除するため、1個体のゴマの蒴果を茎の片側180°ずつで分け、乾燥後に裂蒴数、非裂蒴数、蒴果全重を調査し、ライスグレーダー(1.8mm目)で脱粒、風選後全粒重を計量し、粒数カウンターで全粒数を計数し、各形質の自然/強制乾燥区比を算出した。各区5個体の反復を設けた。(A) 蒴果を脱離した場合との比較 (B) 蒴果を着生した場合との比較

表1 ゴマの各形質の自然/強制乾燥区比

試験	全蒴果数	裂蒴率	全蒴果重	子実重	子実重率	全粒数	千粒重
実験 A (蒴果脱離)	1.00	1.21**	1.09*	1.46**	1.32**	1.44**	1.01*
実験 B (蒴果着生)	0.97	1.34**	1.13*	1.12*	0.99	1.12*	1.00

比が1を上回る確率が*: 70%以上, **: 90%以上。

P15

野外時系列トランスクリプトームを利用したイネ草丈予測モデルの開発と検証

宮下大輝^{*1, M2}・本田爽太郎^{1, D2}・大久保智司²・鹿島誠³・大川泰一郎¹・永野惇⁴・安達俊輔¹

(¹東京農工大学大学院農学府・²東北大学大学院生命科学研究科・³東邦大学理学部・

⁴龍谷大学農学部)

Development and Validation of Plant Length Prediction Model in Rice

Using Field Time-Series Transcriptome

Daiki Miyashita^{*1, M2}, Sotaro Honda^{1, D2}, Satoshi Ohkubo², Makoto Kashima³, Taiichiro Ookawa¹,

Atsushi J. Nagano⁴ and Shunsuke Adachi¹

(¹Grad. Sch. Agr., Tokyo Univ. Agr. Tech., ²Grad. Sch. Life Sci., Tohoku Univ.,

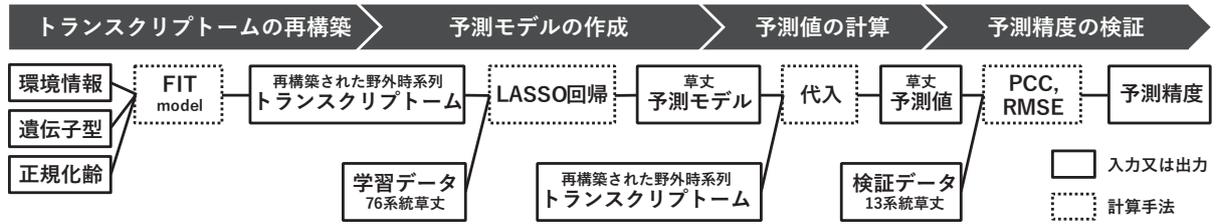
³Col. Sci., Toho Univ. and ⁴Fac. Agr., Ryukoku Univ.)

【目的】筆者らの研究グループは、イネ品種コシヒカリとタカナリの交雑後代系統から取得した網羅的トランスクリプトームを利用して、任意の遺伝子型と環境情報から野外時系列トランスクリプトームを再構築できることを示した（鹿島ら, 2021）。また、再構築したトランスクリプトームを説明変数として用い、上記交雑後代系統の光合成速度を予測するモデルを開発することに成功した（宮下ら, 2022）。野外時系列トランスクリプトームを介した本予測モデル作成手法は、光合成速度以外の農業上重要な様々な形質に適用できる可能性があり、将来的にはイネ生産性の予測にも結びつく。そこで本研究ではイネの草丈を対象とし、野外時系列トランスクリプトームを利用した予測モデルを開発し、その精度を検証した。また、モデルの解釈性について考察した。

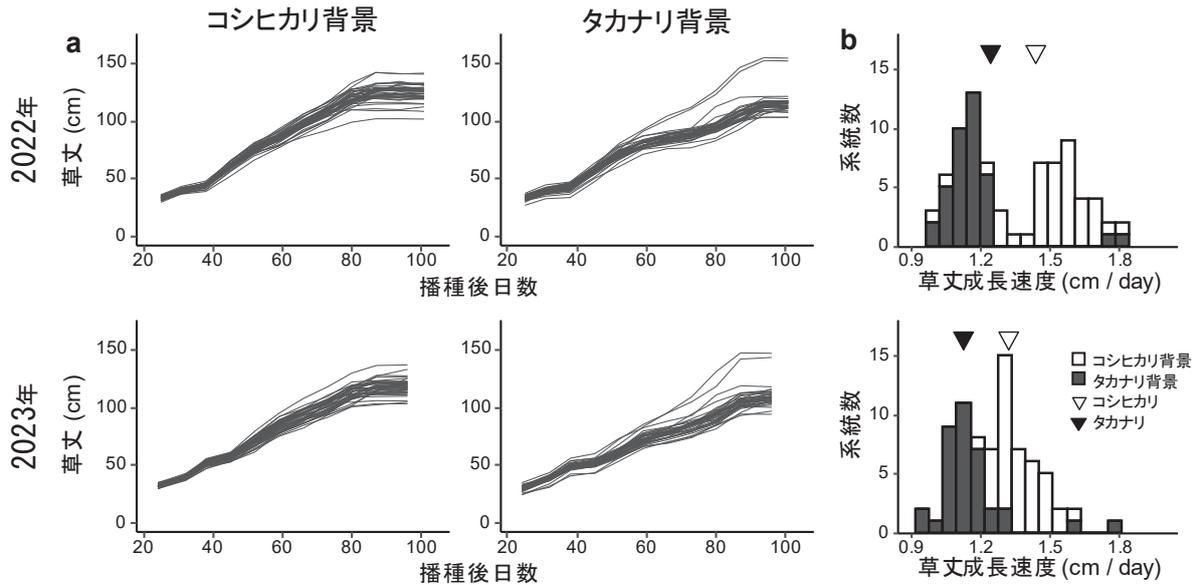
【材料と方法】2022年および2023年に東京農工大学 FM 本町水田圃場で栽培を行った。コシヒカリ、タカナリ、両品種の交雑後代 87 系統を栽植密度 22.2 株 m⁻²、1 株 1 本植え、3 反復として栽培した。播種日は 2022 年 4 月 20 日/2023 年 4 月 19 日であり、基肥として N:P₂O₅:K₂O = 3:6:6 g m⁻²を施肥した。草丈は竹尺を用いて移植後から穂揃い期まで 1 週間ごとに 1 系統 1 反復あたり 2 株測定した。草丈成長速度は移植後から最大の草丈に達するまでの期間で草丈を除いた値とした。野外時系列トランスクリプトームは、鹿島ら (2021) と同様の方法で再構築した。草丈を予測する統計モデルは、学習データ（交雑後代 76 系統の草丈）と時系列トランスクリプトームを回帰することで作成した。モデルの係数を制約するため、目的変数に対して影響の小さい説明変数を削減する手法である LASSO 回帰を用いた。予測精度の検証は、検証データ（親品種と交雑後代 11 系統の草丈）に対する予測誤差によって評価し、実測値と予測値の二乗平均平方根誤差 (RMSE) とピアソンの積率相関係数 (PCC) を予測誤差の指標とした。草丈関連遺伝子の選択には、母集団から標本をランダムに抽出し、その標本からモデリングする過程を繰り返す手法であるブートストラップ法を用いた。

【結果】2 年間にわたる交雑後代 76 系統の草丈と再構築した時系列トランスクリプトームから予測モデルを作成した。LASSO 回帰を用いたことで、全発現遺伝子 30,723 個のうち 324 個の遺伝子パラメータに絞って草丈を説明した。モデルの学習データに対する予測誤差は PCC 0.96, RMSE 2.37cm, 検証データに対しては、PCC 0.91, RMSE 3.82cm であり、モデルの高い予測性能を示した。しかし、一部系統では予測精度の低下がみられ、草丈の特徴を説明する遺伝子パラメータが不足している可能性が示唆された。一方で、草丈に関連する候補遺伝子をブートストラップ法から検討したところ、ジベレリン合成経路に関与する *SD-1* など、草丈に関連する遺伝子パラメータが選択されていた。このことから、ブートストラップ法を用いたモデルの解釈によって草丈に関連する候補遺伝子を選択できる可能性が示された。

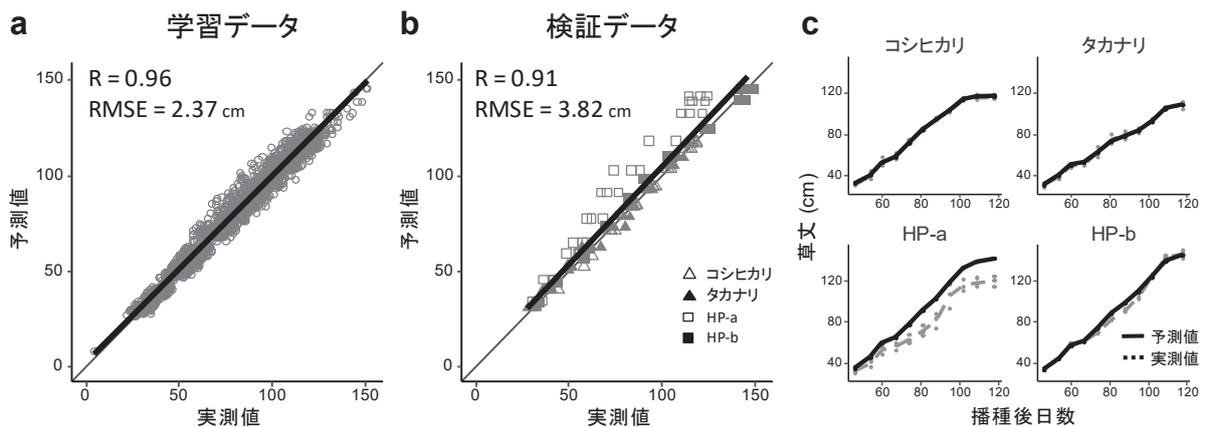
*本研究は科学研究費補助金 (19H02939, 21K19104) の支援を受けて実施した。



第1図 本予測モデルの作成と予測精度の計算フロー図。



第2図 コシヒカリ背景40系統およびタカナリ背景36系統で構成される学習データの概要。
 a. 2022年（上図）および2023年（下図）における時系列草丈散布図
 b. 2022年（上図）および2023年（下図）における草丈成長速度の頻度分布



第3図 学習データまたは検証データにおける草丈予測値の精度。
 a. 76系統で構成される学習データの草丈実測値と予測値の相関図
 b. 4系統で構成される検証データの草丈実測値と予測値の相関図
 c. 検証データ各4系統の実測値と予測値の時系列散布図

P16

深層学習に基づくイネバイオマス推定モデルを用いた生育診断を利用した追肥技術の開発

望月篤^{1*}・中畠洸太²・田中佑³・中村充明¹

(¹千葉県農林総合研究センター・²京都大学大学院農学研究科・

³岡山大学学術研究院環境生命自然科学研究科)

Development of a diagnostic technique for fertilizer application using a rice biomass estimation model based on deep learning

Atsushi Mochizuki^{1*}・Kota Nakajima²・Yu Tanaka³・Mitsuaki Nakamura¹

(¹Chiba Prefectural Agriculture and Forestry Research Center, ²Graduate School of Agriculture, Kyoto University, ³Graduate School of Environmental, Life, Natural Science and Technology, Okayama University)

千葉県の水稻栽培では、近年、生育前半の気温の年次変動が大きくなっており、安定生産を図る上で、生育に合わせた追肥の施用がより重要となっている。これまで、千葉県では幼穂形成期の草丈、茎数、葉色を指標に水稻の生育状況を診断し、追肥窒素の施用時期や施用量を判断する技術(以下、従来の診断方法)を確立しているが、従来の診断方法では、草丈、茎数及び葉色の調査に多大な労力がかかる。そこで本試験では、スマートフォンカメラを用いて撮影した水稻群落の画像から生育診断する手法を開発し、従来の生育量を指標とした診断と同様の診断ができるか検討を行った。

【材料及び方法】

2022年に千葉県農林総合研究センター内圃場で栽培した水稻(3品種)に対して、中干し開始時、幼穂形成期及び出穂期に草高+80~90cmの高さから4種類のスマートフォンカメラで真下に向かって約1m²の水稻群落画像を撮影し、草丈、茎数、葉色、バイオマス(地上部乾物重)及び窒素吸収量を調査した。512×512pxにリサイズした水稻群落画像とバイオマスのデータセット(n=632, 表1)及び、同様の手法で京都大学(16品種, n=4,129)にて撮影した水稻群落の画像とバイオマスのデータセットの内、3,561データを学習データ、600データを検証データ、600データをテストデータとし、中畠ら(2022)が開発したニューラルネットワーク構造を用いて画像からバイオマスを推定する深層学習モデルを構築した。

また、「コシヒカリ」において、バイオマスと窒素吸収量との関係性を明らかにし、すでに明らかとなっている千葉県「コシヒカリ」の幼穂形成期における好適な窒素吸収量から、バイオマスを用いて幼穂形成期の生育診断を行う手法を作成した。開発した手法を用いて、2023年に千葉県農林総合研究センター内圃場で栽培した「コシヒカリ」(4/10~6/5移植, 基肥窒素0~4g/m², n=22)の生育診断を行い、その診断結果と、草丈、茎数、葉色を用いた従来の診断方法で得られた生育診断結果を比較した。

【結果及び考察】

1. 作成したモデルの推定精度をテストデータ600点で検証したところ、その二乗平均平方根誤差(以下、RMSE)は73.4g/m²であった(図1)。この内、千葉県で栽培した「コシヒカリ」、「ふさおとめ」及び「ふさこがね」のRMSEは、それぞれ90.4g/m²、99.2g/m²及び85.6g/m²であった。
2. 2022年に千葉県で栽培した「コシヒカリ」における幼穂形成期のデータ(n=20)から、決定係数0.86のバイオマスを目的変数、窒素吸収量を説明変数とする単回帰式が得られた(図2)。千葉県における「コシヒカリ」の幼穂形成期の適正な窒素吸収量は5.0~5.5g/m²の範囲であり、草丈が70cm以上でない限り、5.0g/m²未満であれば追肥の施用量を標準より増やす、もしくは施用時期を早める、逆に5.5g/m²を超えると追肥の施用量を標準より減らす、もしくは施用時期を遅らせる必要がある。得られた式を用い、窒素吸収量からバイオマスに換算すると幼穂形成期における「コシヒカリ」のバイオマスは285~310g/m²が適正範囲と考えられた。
3. 2023年に千葉県で栽培した「コシヒカリ」について、開発した診断手法を用いて、幼穂形成期の画像から生育診断を行ったところ、73%のデータで、生育量を用いて診断した従来の診断結果と一致した(表2)。

以上より、生育調査を行わなくても、水稻群落の画像から深層学習モデルを用いて生育診断を行えることが示唆された。今後、診断結果と収量・品質等との関係性を明らかにし、診断技術の確立を図る。また、更にデータを蓄積した後、画像から直接、窒素吸収量を推定するモデルの作成にも試み、追肥診断に有用な生育診断技術の確立を目指す。

表1 深層学習モデル構築に利用した画像データ

場所	年次	品種	画像データ数	
千葉	2022	ふさおとめ	264	
		ふさこがね	264	
		コシヒカリ	104	
京都	2021	コシヒカリ	630	
		タカナリ	630	
		TAC1-NIL	315	
		SD1-NIL	315	
		Ma sho	595	
		Jinguoyin	560	
		Co 13	595	
		Khao Nok	315	
		2022	日本晴	18
		タカナリ	24	
		たちすがた	24	
		北陸193号	18	
		JRC12_Oiran	18	
JRC20_Hosogara	24			
JRC34_Kyoutoasahi	24			
JRC43_Akamai	24			
合計			4,761	

注) 千葉では同じ試験区に対して4機種で各1枚撮影, 2021年京都では同じ試験区に対して5枚撮影

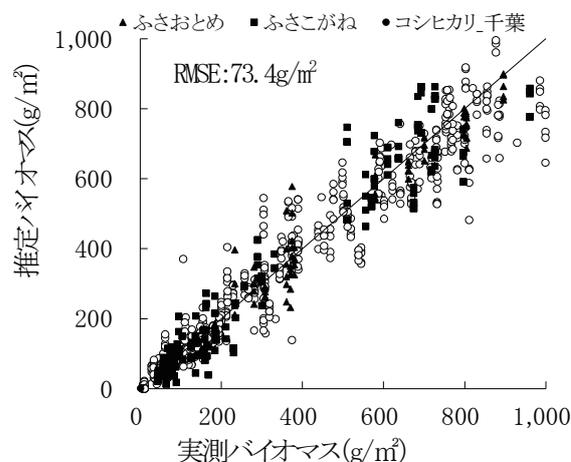


図1 作成したバイオマス推定モデルの推定精度(n=600)
注)○は京都で栽培された試験データ(2021~2022年)

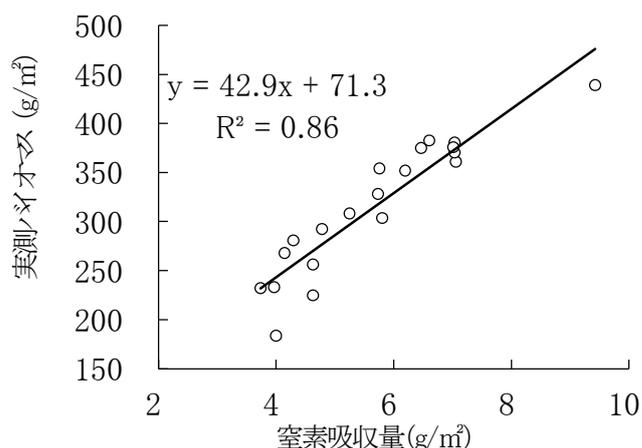


図2 幼穂形成期における「コシヒカリ」の窒素吸収量と実測バイオマスとの関係(n=20)

表2 画像を用いた生育診断手法と従来の生育診断手法で診断した幼穂形成期の「コシヒカリ」の診断結果

	従来の生育診断手法			
	生育不足	生育適正	生育過剰	
画像を用いた生育診断手法	生育不足	11(A)	4(B)	0(C)
	生育適正	0(D)	3(E)	0(F)
	生育過剰	0(G)	2(H)	2(I)
一致率(%, (A+E+I)/(A+B+C+D+E+F+G+H+I) × 100)			73%	

注1) 画像を用いた診断手法:幼穂形成期の群落をスマートフォンで撮影した画像から推定した地上乾物重が285 g/m²以下では「生育不足」, 285~310 g/m²の範囲内は「生育適正」, 310 g/m²以上では「生育過剰」と診断
従来の診断手法:幼穂形成期における茎数×葉色が16,000未満であれば「生育不足」, 16,000~20,000の範囲内は「生育適正」, 草丈が70cm以上, もしくは、茎数×葉色が20,000以上では「生育過剰」と診断
2) 2023年に栽培した「コシヒカリ」の診断結果(移植4/10~6/5, 基肥窒素0~4g/m², n = 22)

P17

水稲出穂期モデルに用いる平均気温の算定年数の違いが予測結果に及ぼす影響

青木優作*・望月篤・桑田主税
(千葉県農林総合研究センター)

Effect of differences in the number of years for calculating average temperature on prediction results of rice heading period

Yusaku Aoki*, Atsushi Mochizuki and Chikara Kuwata
(Chiba Prefectural Agriculture and Forestry Research Center)

水稲経営では、近年、規模拡大が進んでおり、大規模な経営体では事前に綿密な作業計画を立てる必要性から出穂期などの生育予測が重要になっている。千葉県では主要な奨励品種を対象に誤差範囲±3日で予測可能な水稲出穂期予測モデル（以下、本モデル）を開発し（望月ら 2017）、本モデルを搭載した水稲生育予測システム「でるた」を一般公開して生産者の利用に供している（青木ら 2023）。本モデルでは気温データとして、予測実施前日まではアメダスデータの当年値、当日以降は平年値（1990年～2020年の30年平均値）等を利用している。しかし、近年は気温が年々上昇するトレンドにあり、平年値を予測に用いると、平年より高めに気温が推移して予測より出穂が早まることも少なくない。

そこで、本報では、移植1か月後の出穂期予測を想定し、予測実施日から出穂期までの気温を平年値より短い年数の平均値に各種設定して本モデルで出穂期の予測を行い、実測結果と比較検証したので報告する。

【材料及び方法】

検証に用いた移植期と出穂期の実測値は、千葉県農林総合研究センター水稲温暖化対策研究室（千葉市・壤土）、水田利用研究室（香取市・砂壤土）及び成東育成地（山武市・壤土）の圃場で栽培した4/20頃移植の「ふさおとめ」、「ふさこがね」、「コシヒカリ」及び「粒すけ」とした。年次は、気象庁の最新の平年値の算定期間以降である2021～2023年の3か年とした。予測に用いる気温は、調査圃近隣のアメダス地点（佐倉、香取及び横芝光）データとし、予測実施日から出穂期までの気温には、平年値と調査前年までの過去3、5、10、15及び20年間の平均値（以下、3年平均のように表記）をそれぞれ用いた。予測実施日を移植30日後とし、この条件で出穂期の予測をそれぞれ行い、実測値と比較した。

【結果及び考察】

出穂期の予測値は、予測に3、5及び10年平均を用いた場合に実測値と近く、比較的良好な予測結果となった（第1表、第1図）。一方で、15及び20年平均や平年値を用いた場合、予測値よりも実測値が早まる傾向があった（第1表、第1図）。当初の予想どおり、予測に用いた気温より実際の気温が高く推移したことが主な原因であった。

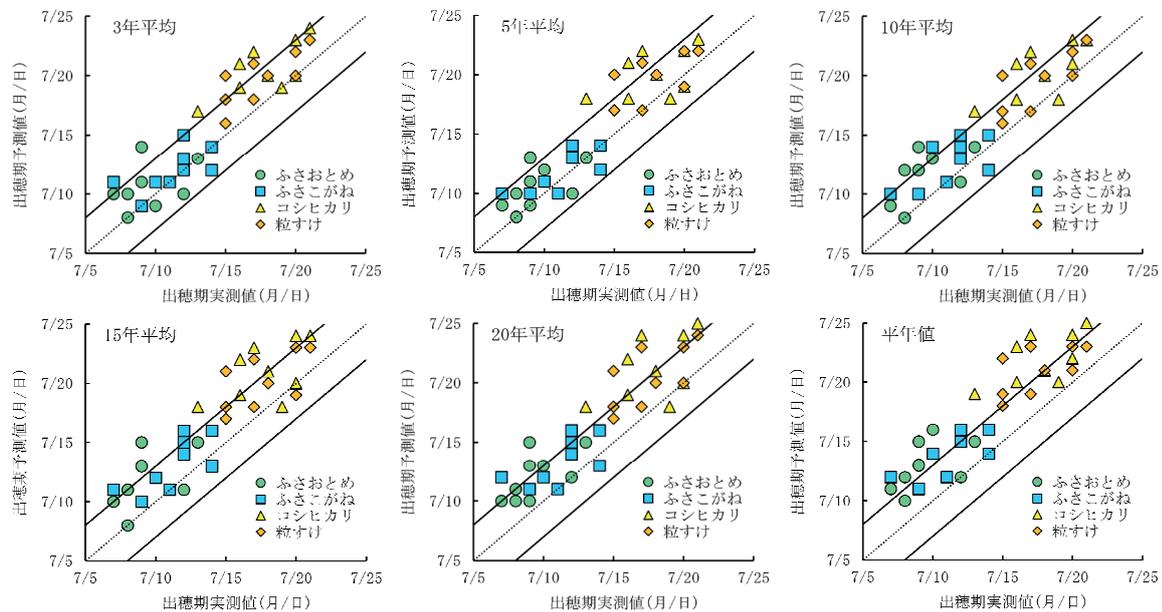
出穂期の予測値と予測値の二乗平均平方根誤差（以下、RMSE）は、「ふさおとめ」が2.00日～3.83日、「ふさこがね」が1.67日～3.18日、「コシヒカリ」が3.14日～4.67日、「粒すけ」が2.56日～3.90日であった（第2表）。品種別にみると、「ふさおとめ」と「ふさこがね」は5年平均、「コシヒカリ」と「粒すけ」は10年平均を用いた場合にRMSEが最低となった。また、10年以内の平均値を用いると、生産者から求められている出穂期の予測精度である約3日の範囲で予測することができた（第1図、第2表）。3年平均は、調査年に最も近い年次の気温であるもののRMSEが最低値ではなかった。これは、3年という短期間の平均値を用いると、極端な気象であった年の影響を大きく受けてしまうことが要因として考えられた。

以上のことから、3年という短い年数分の検証結果であり、さらに検証が必要であるものの、近年の気温の上昇トレンドの中で、出穂期予測に用いる気温データには平年値よりも予測年前5～10年の平均値を採用することが望ましいことが示唆された。

第1表 千葉市における各日平均気温を用いた出穂期の実測値及び予測値

地区	年次	品種	移植日 (月/日)	出穂期						
				実測	予測 3年平均	予測 5年平均	予測 10年平均	予測 15年平均	予測 20年平均	予測 平年値
				(月/日)	(月/日)	(月/日)	(月/日)	(月/日)	(月/日)	(月/日)
千葉市	2021	ふさおとめ	4/20	7/9	7/9	7/9	7/10	7/10	7/10	7/11
		ふさこがね	4/20	7/11	7/11	7/10	7/11	7/11	7/11	7/12
		コシヒカリ	4/20	7/16	7/19	7/18	7/18	7/19	7/19	7/20
		粒すけ	4/20	7/15	7/18	7/17	7/17	7/18	7/18	7/19
	2022	ふさおとめ	4/20	7/7	7/10	7/9	7/9	7/10	7/10	7/11
		ふさこがね	4/20	7/7	7/11	7/10	7/10	7/11	7/12	7/12
		コシヒカリ	4/20	7/19	7/19	7/18	7/18	7/19	7/19	7/20
		粒すけ	4/20	7/17	7/18	7/17	7/17	7/18	7/18	7/19
	2023	ふさおとめ	4/20	7/8	7/8	7/8	7/8	7/8	7/10	7/10
		ふさこがね	4/20	7/9	7/9	7/10	7/10	7/10	7/11	7/11
		コシヒカリ	4/20	7/13	7/17	7/18	7/17	7/18	7/18	7/19
		粒すけ	4/20	7/15	7/16	7/17	7/16	7/17	7/17	7/18

注) 香取市及び山武市における各値は省略とした



第1図 各日平均気温を用いた出穂期の実測値及び予測値

注1) 千葉市, 香取市及び山武市における各年次及び各品種の値を示した

注2) 図中の破線は±0日, 実線は±3日の範囲を示す

第2表 各日平均気温を用いた出穂期予測精度

品種	移植日 (月/日)	RMSE (日)					
		3年平均	5年平均	10年平均	15年平均	20年平均	平年値
ふさおとめ	4/20頃(4/13~4/26)	2.29	2.00	2.71	2.98	3.13	3.83
ふさこがね	4/20頃(4/20~4/26)	1.86	1.67	2.24	2.47	2.73	3.18
コシヒカリ	4/20頃(4/20~4/26)	3.28	3.21	3.14	3.96	4.23	4.67
粒すけ	4/20頃(4/20~4/26)	2.67	2.56	2.54	3.21	3.46	3.90

【引用文献】

望月篤, 吉田ひろえ, 鶴岡康夫 (2017) 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2報 日長を考慮した出穂期予測モデルの開発. 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) 千葉県における気象データとクラウドサービスを利用した水稻生育予測システム「でるた」の構築. 農業情報研究第32巻(2): 38-45.

P18

イネにおけるタンパク質リン酸化酵素 OsCPK12 の生理機能解析

王军潇*・森田隆太郎・青木直大
(東京大学大学院農学生命科学研究科)

Physiological Analysis of a Rice Ca-dependent Protein Kinase, OsCPK12

Junxiao WANG*, Ryutaro Morita, Naohiro Aoki
(Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo)

【目的】 過剰な土壌塩分は、植物の水分・養分吸収を抑制し、発芽、成長、収量形成にマイナスの影響を与える。カルシウム依存性タンパク質キナーゼ (CDPKs) は、細胞中のカルシウム信号を感じ、様々なストレスに対する応答機構に関与する。OsCPK12 はイネ CDPKs の一つであり、先行研究によりイネの塩ストレス応答に関与することが示されているが、その作用機序については明らかになっていない (Wei ら, 2014)。本研究ではイネにおける OsCPK12 の生理機能を明らかにするために、*OsCPK12* 遺伝子破壊系統を用いて塩処理実験を行った。

【材料および方法】 本実験では、水稻品種「日本晴」の *Tos17* レトロトランスポゾン挿入系統 NE1534 (現・農研機構遺伝資源センターより分譲) を供試した。この系統は *OsCPK12* に *Tos17* が挿入された系統であり、ヘテロ接合体 (*CPK12/cpk12*) から分離した野生型系統 (*CPK12/CPK12*; WT) および *OsCPK12* 機能欠損系統 (*cpk12/cpk12*; KO) を用いて、東京大学弥生キャンパス内のガラス温室 (自然光、昼 25°C/夜 30°C) にて以下の塩処理実験を行った。2023 年 5 月 19 日に播種し、三葉期の 6 月 5 日に 1/5000a-ワグネルポットへ移植した。水稻粒状培土「ホーネンス培土 1 号」をポットの約 3 分の 2 まで入れ、育苗したイネを各ポットに 3 本移植した。塩処理は移植直後から開始し、5 つの処理区 (0%, 0.1%, 0.2%, 0.3%, 0.4% NaCl) を設け、各処理区 3 反復とした。移植後 30 日から 10 日ごとに草丈、分けつ数、葉身 SPAD 値を測定し、10 月 13 日に地上部全体を収穫して乾物重を測定した。また、塩ストレスの発芽への影響を調べるために発芽実験も行った。滅菌済みシャーレにろ紙を置き、6 つの処理区 (0%, 0.2%, 0.4%, 0.6%, 0.8%, 1% NaCl) を設けた。各シャーレに NaCl 溶液を 5 ml 加え、種子を 20 粒置いた。シャーレの蓋を閉め、テープで密封し、暗所にて 30°C で 7 日間静置した後、発芽した個体数から発芽率を算出した。

【結果および考察】 ポット試験の結果から、野生型 (WT) と変異体 (KO) のいずれも塩濃度の上昇に伴って草丈、分けつ数、葉身 SPAD 値が低下した (図 1~3)。草丈 (図 1) は調査期間を通じて増加し、塩濃度 0% (無処理区) では WT と KO の間で顕著な差は見られなかったが、塩処理区では調査期間を通じて WT に比べて KO で草丈が低くなる傾向が見られた。分けつ数 (図 2) と SPAD 値 (図 3) は、WT と KO のいずれも移植後 60 日目に最大値に達し、その後低下した。最大分けつ数は、すべての塩処理区において WT より KO で少なかった。最上位葉身の SPAD 値の推移については WT と KO の間で顕著な差はなかったが、高塩濃度処理区では移植後 100 日の止め葉 SPAD 値が KO でやや低い傾向が見られた。最終的な地上部乾物重はすべての塩処理区において WT より KO で低い傾向が見られ、特に穂重において顕著な系統間差が見られた。発芽実験の結果から、WT と KO のいずれも塩処理によって発芽率が低下した。0% と 0.2% の塩濃度下では WT と KO の間に差はなかったが、0.4% から 0.8% の塩濃度下では WT より KO で発芽率が低かった。1% の塩濃度ではどの品種も発芽できなかった。また、塩処理によって浸種開始後 7 日の芽および種子根の長さに系統間差が見られ、WT に比べて KO でより短くなる傾向が見られた。以上の結果により、*OsCPK12* は塩ストレス下における正常な発芽および生育に必要な遺伝子であり、イネにおける CDPK を介した塩ストレス耐性機構に関与していると考えられた。

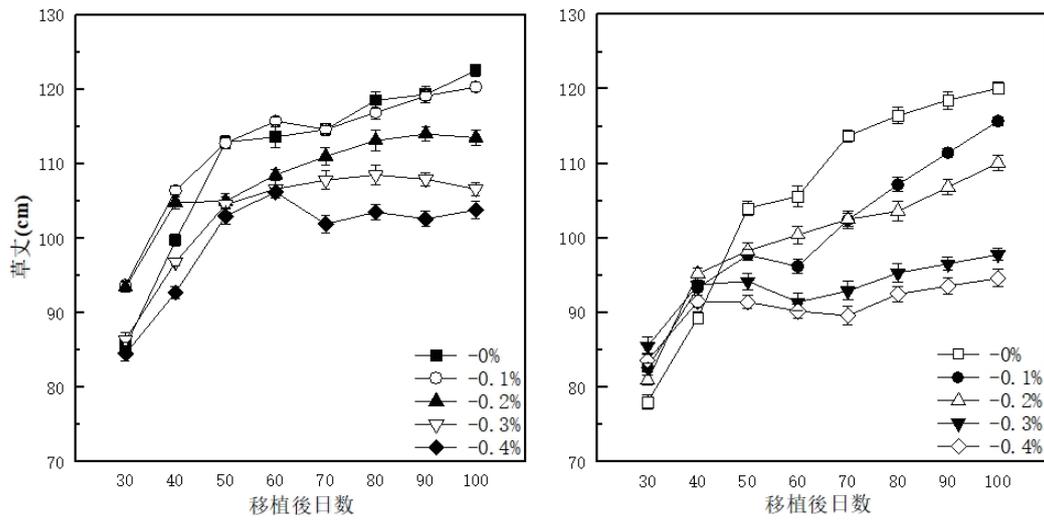


図1. WT (左) と KO (右) における草丈の推移

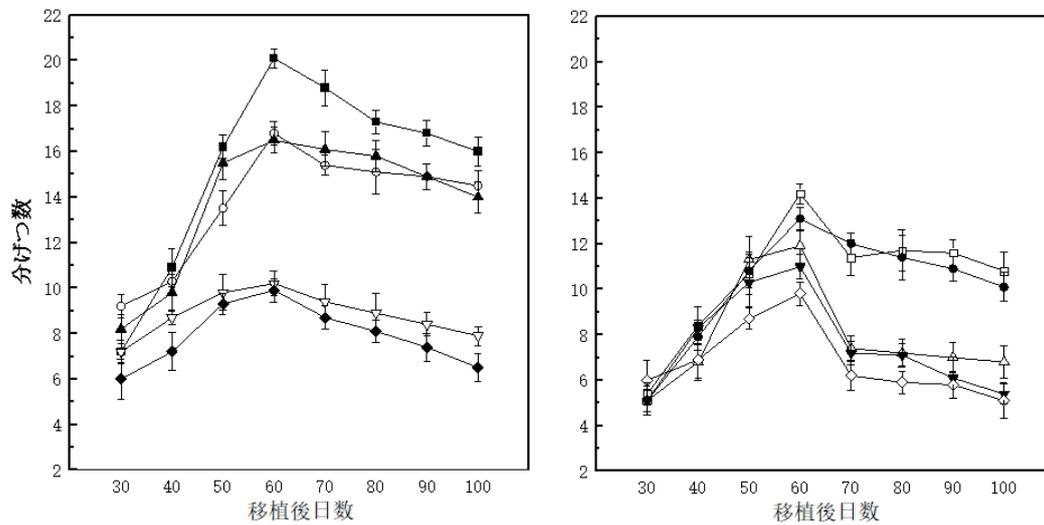


図2. WT (左) と KO (右) における分げっ数の推移

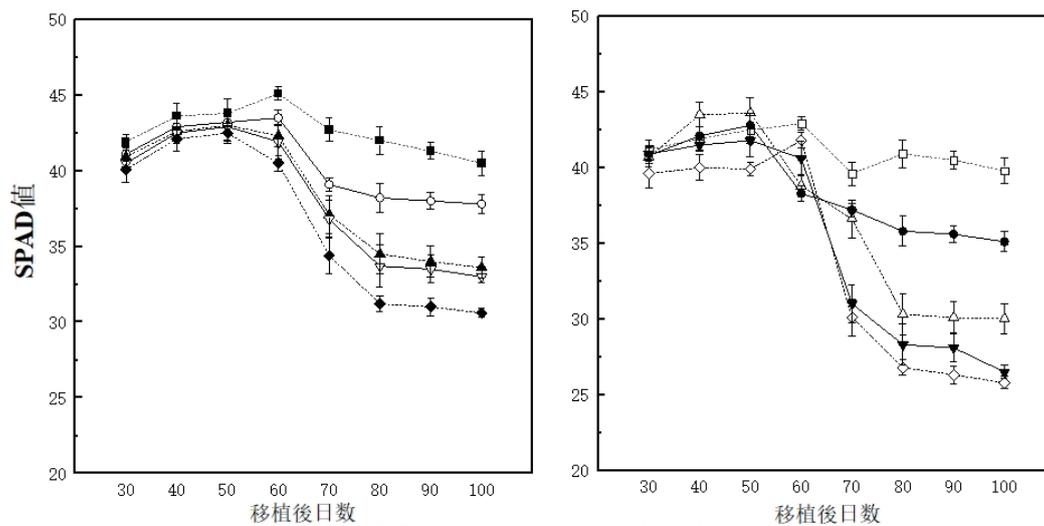


図3. WT (左) と KO (右) におけるSPAD値の推移

【引用文献】 Wei, et al. (2014) BMC Plant Biol. 2014;14:133.

P19

C₄植物とC₃植物のどちらが変動光を有効活用できるのか？

谷川慶一郎^{1*D1}・曲玉辰^{1PD}・勝濱直椰^{1D1}・若林侑¹・矢守航¹

(¹ 東京大学大学院農学生命科学研究科)

Which C₄ plants or C₃ plants can utilize fluctuating light more efficiently?

Keiichiro Tanigawa^{1*D1}, Qu Yuchen^{1PD}, Naoya Katsuhama^{1D1}, Yu Wakabayashi¹, Wataru Yamori¹

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

【目的】自然環境下において、植物は雲の移動、樹冠による被陰、葉の動き等に起因する変動光にさらされている。近年、変動光環境に対する植物の光合成応答に焦点を当てた研究が行われ、C₃植物では気孔の開口速度が光合成誘導を律速することが報告されている。一方、C₄植物の変動光環境下での光合成応答については不明瞭な点が多い。そこで、本研究では、C₄植物特有の性質と変動光環境下での光合成応答の関係を明らかにすることを目的として、双子葉類と単子葉類それぞれのC₃植物とC₄植物の光合成誘導を解析した。また、双子葉類のフラベリアにはC₃型からC₄型まで連続した光合成型を持つ種が存在するため、フラベリア属のC₃からC₄光合成への進化系統を用いて光合成誘導を解析した。

【材料および方法】双子葉類として8種類のフラベリア属 (*Flaveria pringlei* (C₃植物), *F. robusta* (C₃植物), *F. floridana* (C₃-C₄植物), *F. ramosissima* (C₃-C₄植物), *F. brownii* (C₄-like植物), *F. palmeri* (C₄-like植物), *F. bidentis* (C₄植物), *F. trinervia* (C₄植物)) を、単子葉類として2種類のイネ科植物 (*Echinochloa oryzicola* (C₄植物), *Oryza sativa* ‘Koshihikari’ (C₃植物)) を供試した。植物の栽培は、5Lのポットと赤玉土を使用し、4月から8月の間に東京大学 大学院農学生命科学研究科附属 生態調和農学機構の温室内で50~80日間栽培した。測定では、各植物に対して光合成のCO₂応答を測定し、CO₂補償点を算出した。また、CO₂濃度400 ppm及び800 ppmでの光合成誘導を測定し、光合成速度が最大値の90%に達する時間である*t*₉₀を求めた。

【結果および考察】双子葉類と単子葉類のどちらにおいても、C₄植物はC₃植物に対して、CO₂濃度400 ppmにおける定常状態の光合成速度が大きく、気孔コンダクタンスは小さかった (図1)。一方、CO₂濃度800 ppmでは気孔コンダクタンスは小さかったものの、定常状態の光合成速度に差は見られなかった (図2)。また、C₄植物はC₃植物に対して、CO₂濃度400 ppmにおける光合成速度と気孔コンダクタンスの*t*₉₀値が小さく、光合成誘導が素早く行われていた。CO₂濃度800 ppmでは気孔コンダクタンスの*t*₉₀値はC₃植物に対してC₄植物が小さいものの、光合成速度の*t*₉₀値に差がなくなった。次に、フラベリアに注目すると、C₄植物とC₄ like植物の光合成速度と気孔コンダクタンスの*t*₉₀値は、C₃植物とC₃-C₄植物に比べて低い値を示した。さらに、CO₂濃度400 ppmにおける光合成速度の*t*₉₀値は、気孔コンダクタンスの*t*₉₀値、および、CO₂濃縮機能の指標であるCO₂補償点の値と正の相関があった。一方で、CO₂濃度800 ppmではそれらのパラメータに相関は見られなかった。これらの結果から、CO₂濃度400 ppmでは、迅速な気孔応答とCO₂濃縮機能がC₄植物の素早い光合成誘導に寄与することを示す。また、フラベリア属のC₃からC₄光合成への進化系統を用いた研究結果から、C₄植物、C₄ like植物、C₃-C₄中間型、C₃植物

の順で変動光を効率的に活用することができると示された。

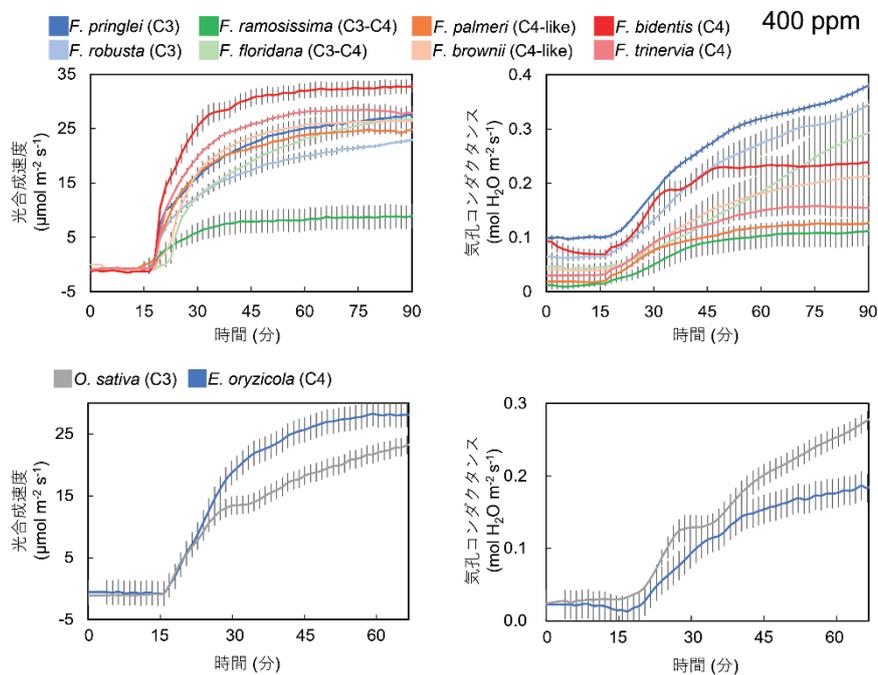


図1 フラベリア属(上)及びイネ科(下)の400 ppmでの光合成誘導と気孔コンダクタンス

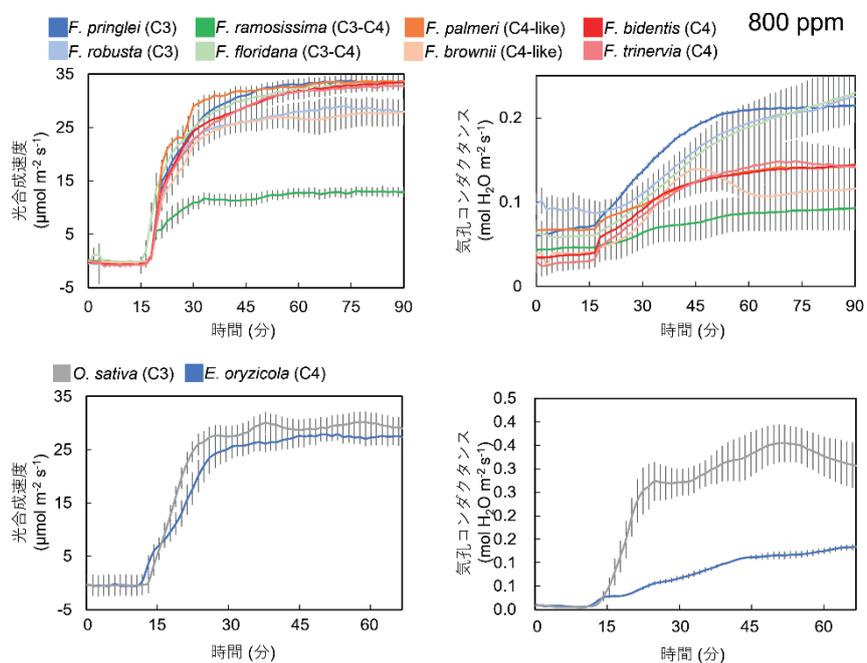


図2 フラベリア属(上)及びイネ科(下)の800 ppmでの光合成誘導と気孔コンダクタンス

P20

アンデス山地に自生する野生種トマトの多様な光合成特性

吉山優吾^{1*M2}・若林侑¹・河鱈実之¹・小林孝至²・田淵俊人²・矢守航¹

(¹ 東京大学大学院農学生命科学研究科・² 玉川大学農学部先端食農学科)

Natural genetic variation in dynamic photosynthesis correlated with stomatal anatomical traits in diverse tomato species across geographical habitats

Yugo Yoshiyama^{1*M2}, Yu Wakabayashi¹, Saneyuki Kawabata¹, Takayuki Kobayashi², Toshihito Tabuchi², and Wataru Yamori¹

(¹Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo, ²Department of Advanced Food Sciences, College of Agriculture, Tamagawa University)

【目的】世界人口は 2050 年までに約 95 億人にまで到達すると予測されており、作物生産性の向上が求められている。葉の光合成能力向上は、光エネルギーをバイオマスに変換することで作物収量を左右する要素であるため、育種開発において特に有用だと考えられてきた(Long *et al.* 2006)。特にイネなどの穀類においては、品種間の光合成特性に関する研究が行われた例があるが(Taniyoshi *et al.* 2020)、野生種トマトの光合成特性に関しては研究例がない。そこで今回、栽培種トマトと野生種トマトを用いて、光合成反応と気孔の解剖学的特徴における種間差を調査した。本研究では、(1)トマト光合成特性の種間差は、定常光下および変動光下で確認できるのか、(2)光合成速度・気孔コンダクタンス・水利用効率の種間差を生み出す要因は何か、の主に 2 点を明らかにすることを目的とした。

【材料および方法】今回の研究では 2 種の栽培種トマト(*Solanum lycopersicum* L. ‘千果’ および ‘オレンジ千果’ タキイ種苗株式会社)と 8 種の野生種トマト(*S. lycopersicum* var. *cerasiforme* Accession Number ‘LS1561’, *S. chmielewskii* ‘LA1327’, *S. chilense* ‘Tomato Wild 94’, *S. habrochaites* ‘LS0503’, *S. pennellii* ‘LS2355’, *S. pimpinellifolium* ‘Bolivia Pim’, *S. peruvianum* ‘LS0499’, *S. cheesmaniae* ‘Galapagos Wild’)を使用した。播種から栽培した各種トマトは本葉 2 枚目展開後に、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のガラス温室内に定植された。ガス交換測定装置 LI-6400XT(LI-COR, Inc.)を用いて、光合成誘導反応・変動光下の光合成反応、および電子顕微鏡 JCM-6000(日本電子株式会社)を用いて、気孔サイズ・気孔密度の測定を行った。

【結果および考察】光合成誘導反応においては、トマト種間で多様な誘導反応を示しており、野生種トマトの中には栽培種よりも誘導反応速度が高い種(LS1561 等)が存在することが分かった。また、光合成誘導反応速度が高いトマト種ほど、定常状態における光合成速度および変動光下での積算光合成量は高い傾向にあったが、平均水利用効率は低くなる傾向も見られた。加えて、光合成誘導反応は気孔の応答速度と密接に関係しており、変動光下での光合成量を最大化させるために、気孔は重要な役割を果たしていることが確認できた。なお気孔においては、気孔サイズと気孔密度との間で負の相関関係($r=-0.79$, $p<0.01$)が見られた。さらに、小さい気孔が高密度で存在している葉は、大きい気孔が低密度で存在する葉よりも、高い光合成反応を示すことが分かった。今回得られた光合成と気孔の関係性は、シロイヌナズナを用いた先行研究と一致していた(Drake *et al.* 2013)。

今回の研究を通して、気孔の応答反応が光合成誘導反応において重要な役割を果たしていることが分かり、小さい気孔が高密度で存在する葉をもつトマト種である程、変動光下での光合成に有利であることが示された。多様な光合成反応や気孔応答を示した野生種トマトらは、圃場環境下での生産・光合成量を強化するための遺伝的資源として活用できる可能性が期待される。

【引用文献】

Long et al. (2006) Plant, Cell & Environment 29, 315-330. Taniyoshi et al. (2020) Plant Production Science 1, 9. Drake et al. (2012) J. Exp. Bot. 64, 495-505.

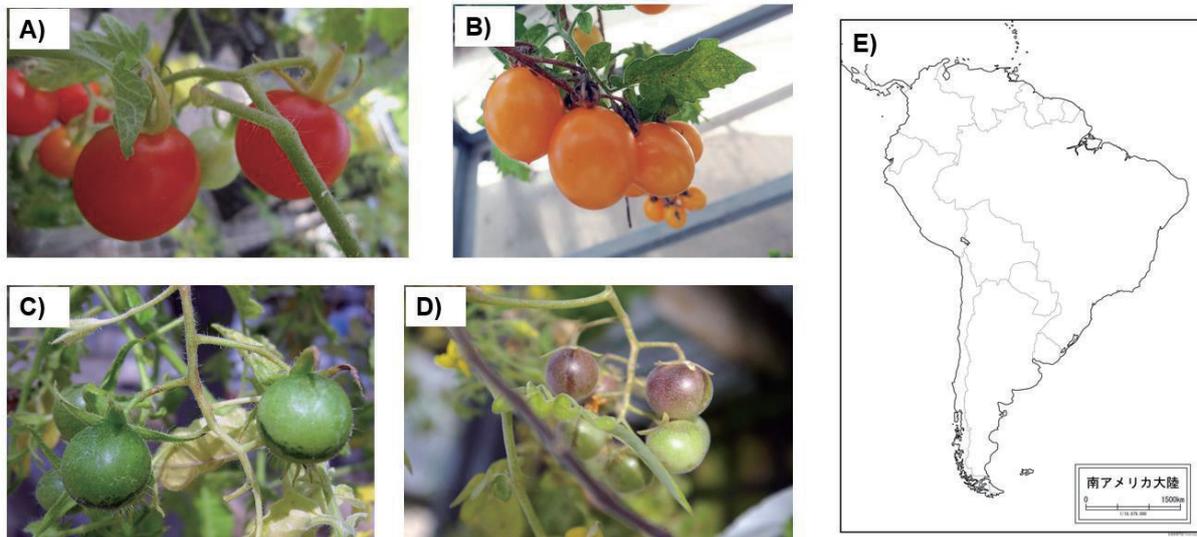


図 1. 野生種トマトの果実写真. A)LS1561 (*S. lycopersicum* var. *cerasiforme*) B)Galapagos wild (*S. cheesmaniae*) C)LS0503 (*S. habrochaites*) D)Tomato wild 94 (*S. chilense*). E)野生種トマトの主な自生地である南米アンデス地方の白地図. 白地図専門店 (<https://www.freemap.jp/listAllItems.html>)より引用.

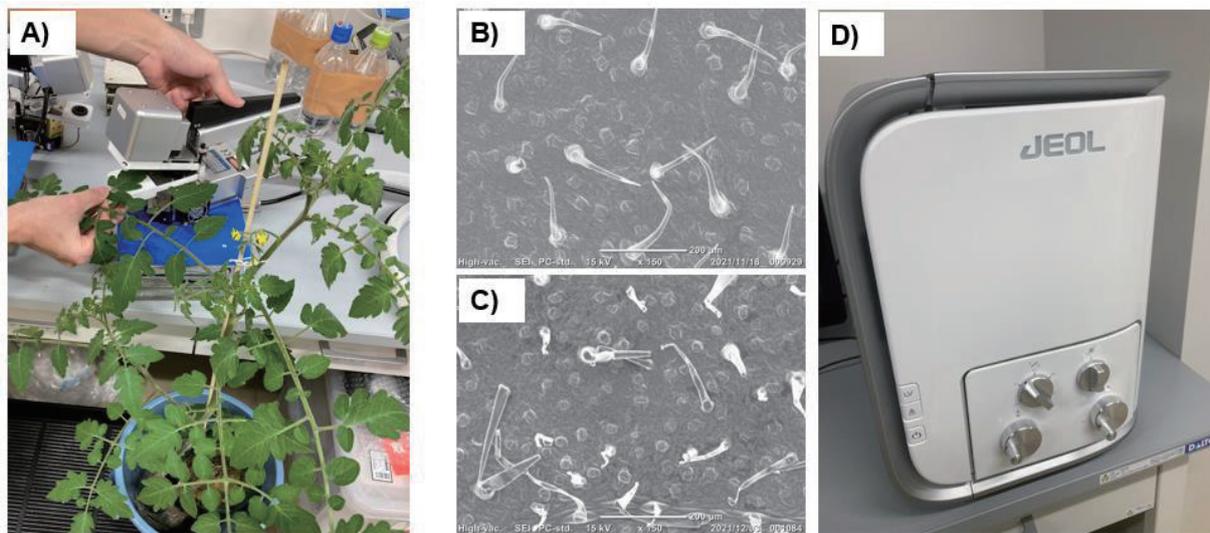


図 2. A)ガス交換測定の様子. ガス交換測定装置は LI-6400XT を使用した. 写真のトマトは LS1561 (*S. lycopersicum* var. *cerasiforme*). B)トマトの気孔画像. 画像のトマトは LS1561 (*S. lycopersicum* var. *cerasiforme*). C)気孔画像のトマトは LS0503 (*S. habrochaites*). D) 電子顕微鏡 JCM-6000 を使用し、気孔画像を撮影した.

P21

水稻品種「北陸 193 号」の低窒素条件でのバイオマス生産特性 —葉面積拡大とその維持に着目して—

川島健太郎^{M2*}・野口洋介・渥美元哉^{B4}・花田龍星^{M1}・安達俊輔・大川泰一郎
(東京農工大学大学院農学府)

Analysis on the properties associated with biomass production under low nitrogen condition in the rice variety, Hokuriku193, focusing on the expansion and maintenance of leaf area

Kentaro Kawashima^{M2*}・Yohsuke Noguchi・Motoya Atsumi^{B4}・Ryusei Hanada^{M1}・
Shunsuke Adachi and Taiichiro Ookawa

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

【緒言】現在、化学肥料の価格高騰や環境負荷の低減のため、その使用量の削減が求められている。我が国における飼料イネ生産では窒素施用量を食用品種の 1.6~2.0 倍にすることが推奨されてきた(農研機構, 2016)が、みどりの食料システム戦略のもと、化学肥料を削減する必要がある。

「北陸 193 号」は農研機構が 2007 年に育成した我が国で最も高い収量を示す多収品種の一つである。低肥沃条件においても高い収量を示すことが示唆されている(Nguyen Quang Co *et al*, 2015; 金子(門倉)綾子ら, 2013)ものの、低窒素条件でのバイオマス生産過程とその生理生態的要因の解析はほとんどされていない。筆者らは、北陸 193 号の低窒素条件での高い乾物生産の要因は最高分げつ期から出穂期までの個体群成長速度(CGR)が高く、平均葉面積指数(meanLAI)が大きいことによることを明らかにした(川島ら, 2023)。しかしながら、北陸 193 号が低窒素条件で葉面積指数が大きい要因は明らかではない。そこで、本研究では、化学肥料削減条件下での北陸 193 号のバイオマス生産特性を葉面積拡大と維持に着目して、北陸 193 号と対照品種のコシヒカリ、日本晴との生育およびバイオマス生産過程、葉面積の拡大と維持に関わる形質の比較検討を行った。

【材料および方法】2022 年と 2023 年に圃場実験を行い、北陸 193 号、コシヒカリ、日本晴(2023 年のみ)の 3 品種を供試した。化学肥料削減処理として、窒素について 0N 区、4N 区、8N 区を設け、3 反復の分割区法で栽培を行った。窒素肥料は成分で 0N 区:4N 区:8N 区=0:4:8 kg/10a となるように、硫安、LP50 と LPS100(共にジェイカムアグリ)を 1:1:1 の割合で施用した。また基肥には P₂O₅、K₂O を成分で 6 kg/10a ずつ施用した。栽植密度 22.2 株/m²、1 株 3 本植で約 4 葉齢の苗を本学フィールドサイエンス教育研究センターFM 本町の水田に移植した。各区から最高分げつ期、出穂期に 16 株、収穫期に 32 株を採取し、そのうちの生鮮重が平均的な 4 株の器官別乾物重および葉面積を調査した。また、出穂期と収穫期には平均的な 4 株のうち、さらに平均的な 1 株の主茎 3 本について、葉位ごとの緑葉面積と生存葉数を測定した。

【結果および考察】北陸 193 号は 2022 年と 2023 年の 2 ヶ年を通じて窒素削減条件で対照品種と比較して高いバイオマス生産を示した(図 1)。また、北陸 193 号の葉面積指数(LAI)は最高分げつ期以降、高く推移し、出穂期以降も維持された(図 2)。移植期から出穂期まで、北陸 193 号の CGR は高く、meanLAI も大きくなった(図 3)。出穂期から収穫期までの CGR は全ての処理区で日本晴が小さかった。北陸 193 号の出穂期での高い LAI は 分げつ数ではなく、茎数当たりの葉面積が大きいことに要因があり(図 4)、さらに茎数当たりの葉面積の大きさは個葉の葉面積が大き(図 5)、茎数当たりの生存葉数が多いことによるものであった(図 6)。登熟期間を通じて北陸 193 号は SPAD を高く維持していた(図 7)。これらの結果から、北陸 193 号は低窒素条件でも出穂期までに個々の葉身の面積拡大によって個体群の葉面積を拡大し、その後も葉身の老化が遅いため LAI が高く維持され、高いバイオマス生産を達成すると考えられる。

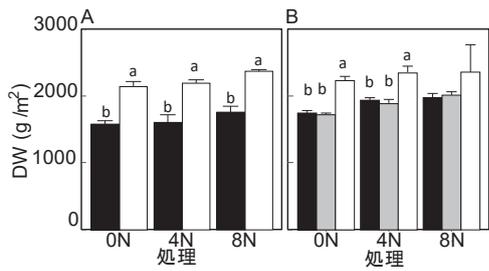


図 1 収穫期の地上部バイオマス量. (A) 2022 年, (B) 2023 年. 異なるアルファベットは 5%水準で処理内の品種間差が有意であることを示す(t 検定 (A), Tukey 法 (B, 以下同様)). ■北陸 193 号, ■日本晴, □コシヒカリ(図 6 まで同様).

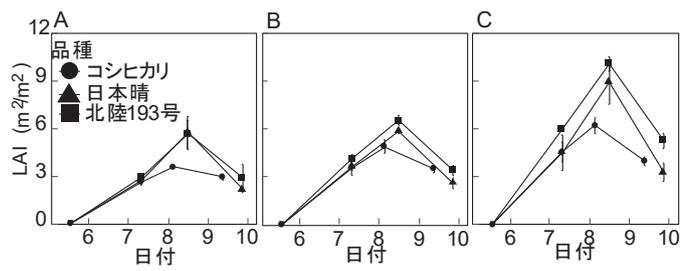


図 2 葉面積指数の推移 (2023 年). (A) 0N 区, (B) 4N 区, (C) 8N 区.

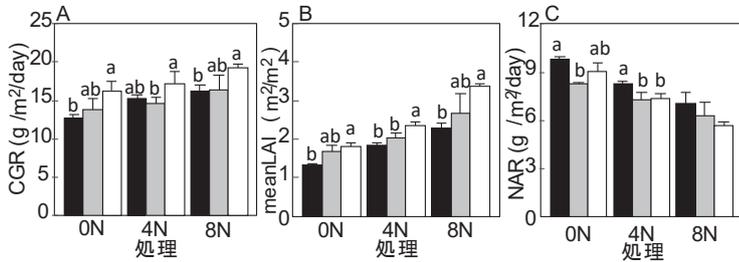


図 3 2023 年度の移植期から出穂期までの成長解析. (A) 個体群成長速度, (B) 平均葉面積指数, (C) 純同化率.

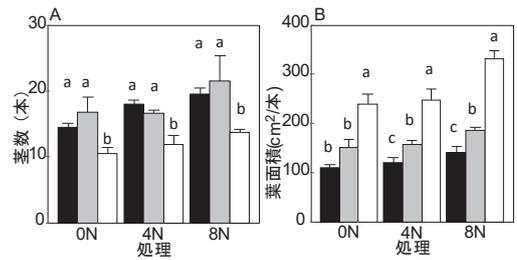


図 4 出穂期の葉面積と茎数の関係. (A) 茎数, (B) 茎数当たりの葉面積.

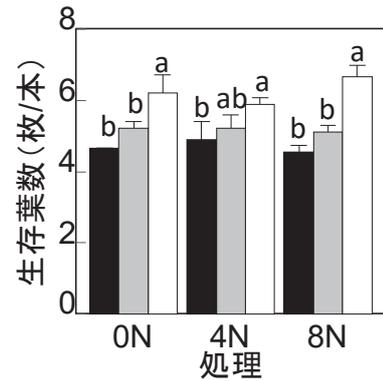


図 6 出穂期の主茎 1 本当たりの生存葉数.

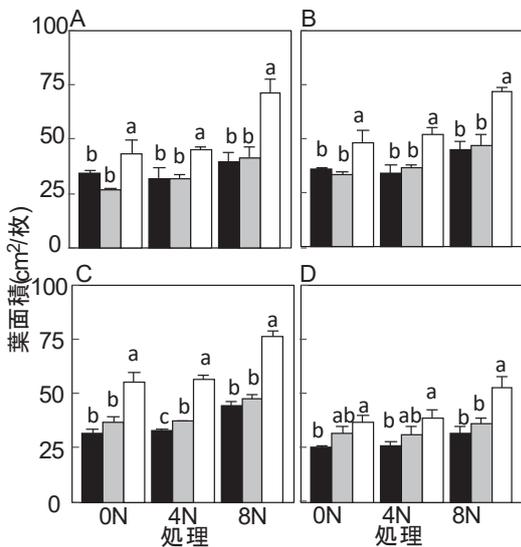


図 5 出穂期における葉位別の葉面積. (A) 止葉, (B) 第 2 葉, (C) 第 3 葉, (D) 第 4 葉以下の下位葉.

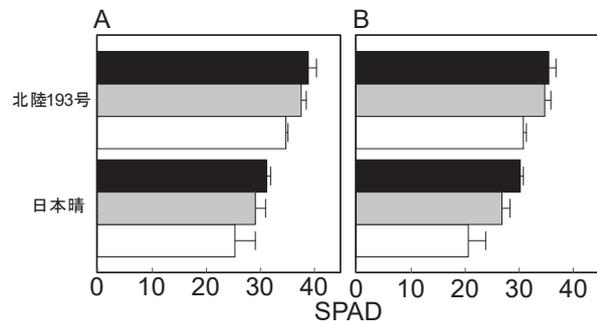


図 7 登熟期の葉位別 SPAD の推移. (A) 出穂後 3 週目, (B) 出穂後 5 週目. ■止葉, ■第 2 葉, □第 3 葉.

P22

***PATROL1* の過剰発現がシロイヌナズナおよびイネの光合成と成長へ及ぼす影響**
勝濱直椰^{*D1}・森田隆太郎・パクサンイル^{D1}・若林侑・青木直大・寺島一郎・矢守航
(東京大学大学院農学生命科学研究科)

Effects of *PATROL1* Overexpression on Arabidopsis and Rice Photosynthesis and Growth

Naoya Katsuhama^{*D1}, Ryutaro Morita, Park Sangil^{D1}, Yu Wakabayashi, Naohiro Aoki,
Ichiro Terashima, Wataru Yamori
(Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo)

【背景】世界人口の増加や気象災害の激化によりひっ迫する食料需要を満たすためには、光合成による炭素固定と根からの養分吸収の協調的な強化を通じた、作物の安定多収の実現が不可欠である(Sinclair *et al.* 2019). シロイヌナズナでは、細胞膜プロトンポンプ(AHA2)の過剰発現によって気孔が大きく開かれることで、光合成速度と乾物重が増加したほか(Wang *et al.* 2014), 根の AHA1 を過剰発現させることで養分吸収が促進された(Monden *et al.* 2022). イネにおいても、細胞膜プロトンポンプ(OSA1)の過剰発現によって光合成速度と根からの無機養分の吸収が強化され、収量が向上した(Zhang *et al.* 2021). また、シロイヌナズナで発見された *PATROL1* が、孔辺細胞や根において AHA1 の細胞膜上への局在制御を担っていることが明らかにされつつある(Hashimoto-Sugimoto *et al.* 2013; Sato *et al.* 2021).

本研究では、*PATROL1* のより一層の機能解明を目的に、シロイヌナズナとイネを用いて灌水と乾燥下における *PATROL1* 形質転換体の光合成と成長を調査した。

【材料および方法】(シロイヌナズナ実験)シロイヌナズナ Col-0 野生型(WT), *PATROL1* 欠損体(*patroll*)および過剰発現体(*PATROL1*-OX)を 380 mL ポットに 1 株ずつ栽培し、灌水を停止することで 21 日間にわたる乾燥処理に供した。処理中は 2-3 日ごとに IMAGING-PAM(Heinz Walz GmbH)を用いてクロロフィル蛍光に基づく光合成活性を、処理後に地上部乾物重を取得した。**(イネ実験)**「日本晴」野生型(WT)を親系統として、*PATROL1* のイネオーソログを対象に RNAi による発現抑制体(*OsPATROL1*-KD)と過剰発現体(*OsPATROL1*-OX)を作出した。葉齢 5 に達したポット苗を 1/10000 a ワグネルポットに定植して、東京大学農学部の隔離温室で栽培した。定植時に RT-qPCR を行い葉身での *OsPATROL1* の相対発現量を解析し、また、最大分けつ期に分げつ数、草丈および個葉の光合成速度(LI-6800, LI-COR, Inc.)を計測した。

【結果および考察】シロイヌナズナを用いた実験では、乾燥処理によって *patroll* の乾物重は WT よりも低下した。一方、*PATROL1*-OX は有意に高い値を示した(図 1)。また、*patroll* の光化学系 II(PSII)の最大量子収率(F_v/F_m)および実効量子収率($Y(II)$)は WT, *PATROL1*-OX と比較して有意に減少した。同時に、*patroll* では PSII における制御された非光化学的消光($Y(NPQ)$)が誘導されることなく、制御されていない非光化学的消光($Y(NO)$)が上昇したことから、乾燥ストレス下での過剰な光エネルギーに対する防御機構が欠如していることが示された。灌水下、*patroll* は WT よりも気孔開度が小さい(Hashimoto-Sugimoto *et al.* 2013)。乾燥によって CO_2 の取り込みがさらに制限され、カルビン回路を始めとする電子のシンク能が減少したことが推察され、光合成電子

伝達反応の滞りによる PSII の光阻害が引き起こされていたと考えられる。さらに、根の AHA1 を過剰発現すると貧栄養下における根の伸長と無機養分の吸収が促進される(Monden *et al.* 2022)。PATROLI-OX は光合成活性に加えて根の生理活性も強化されていたことで、養水分の吸収が制限される乾燥下でWTよりも大きな地上部乾物重を維持していた可能性が示唆される。

イネでは、WT に対する *OsPATROLI* の相対発現量は *OsPATROLI-KD* で 0.12-0.13 倍、*OsPATROLI-OX* で 8.20-10.67 倍であった。なお、最大分げつ期の分げつ数と草丈は *OsPATROLI-OX* において低下した(図 2)。現在、*OsPATROLI-OX* の乾物生産が低下した要因を個葉の光合成速度と収量構成要素から検討している。

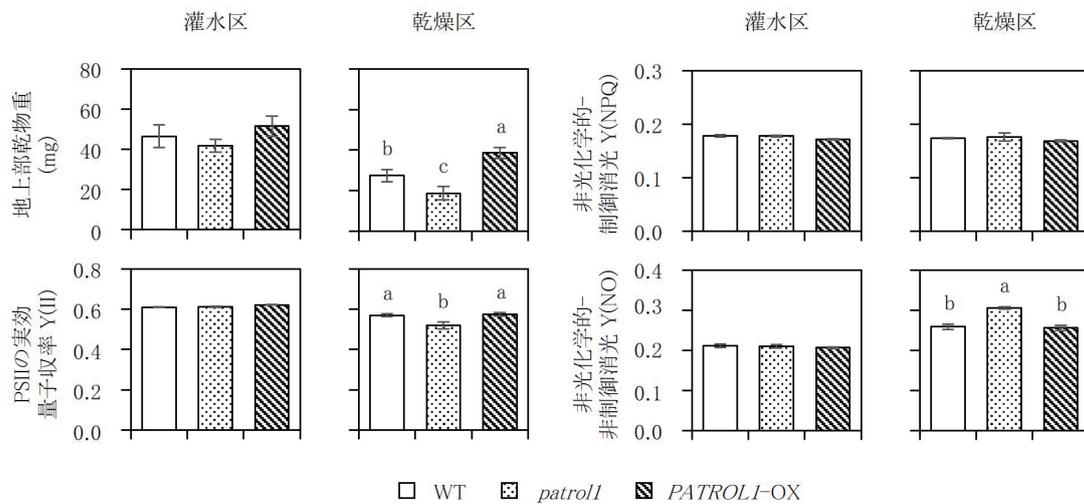


図 1. 処理開始 21 日後の灌水区と乾燥区におけるシロイヌナズナ Col-0 野生型(WT), *PATROLI* 欠損体(*patrolI*)および過剰発現体(*PATROLI-OX*)の地上部乾物重と光合成活性. 異なるアルファベットは Tukey-Kramer 法により 5%水準で有意差が認められることを示す($n = 4-5$).

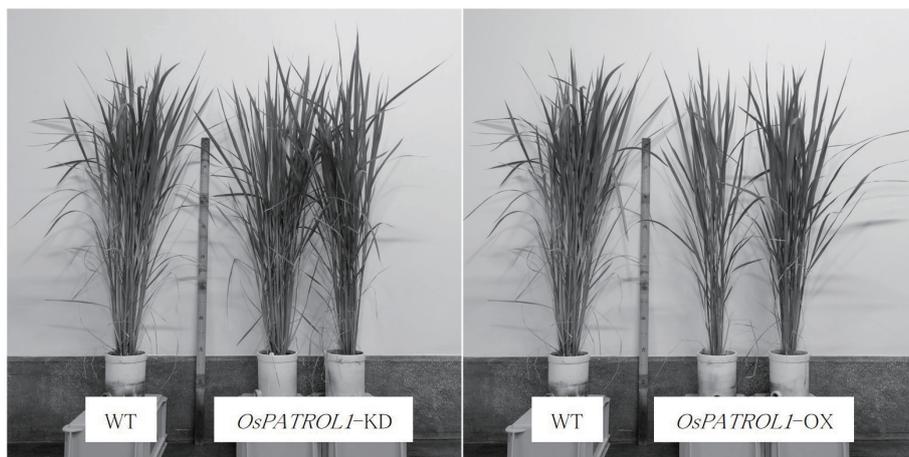


図 2. 最大分げつ期における「日本晴」野生型(WT), *OsPATROLI* 発現抑制体 (*OsPATROLI-KD*)および過剰発現体 (*OsPATROLI-OX*)の成長の様子.

P23

異なる光強度条件における光合成誘導のイネ品種間差異

川口喜暉^{1*B4}・本田爽太郎²・谷吉和貴³・大川泰一郎²・田中佑⁴・安達俊輔²

(¹東京農工大学農学部・²東京農工大学大学院農学府・

³京都大学大学院農学研究科・⁴岡山大学大学院環境生命自然科学研究科)

Varietal difference of photosynthetic induction under different background irradiance in rice

Yoshiki Kawaguchi^{1*B4}, Sotaro Honda², Kazuki Taniyoshi³,

Taiichiro Ookawa², Yu Tanaka⁴, Shunsuke Adachi²

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

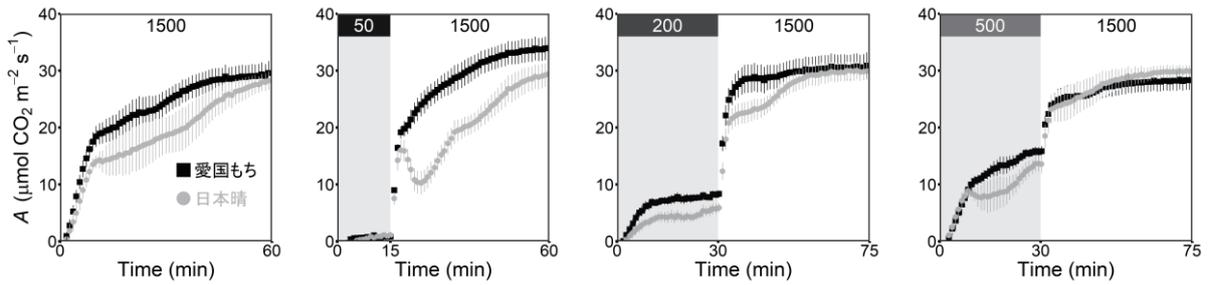
³Grad. Sch. Agri., Kyoto Univ., ⁴Grad. Sch. Env. Life Nat. Sci. Tech., Okayama Univ.)

【緒言】弱光環境から強光環境へ変化した際の葉の光合成速度の上昇（光合成誘導）の程度には品種間差がある（Taniyoshi et al. 2020）. 日本で育成されたイネ 165 品種を対象に、誘導前光 $50 \mu\text{mol photon m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ から飽和光 $1500 \mu\text{mol photon m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ へ変化させたときの光合成誘導を調べたところ、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）. このことは「愛国もち」が光合成誘導に有利な独自形質を有することを示す一方、本実験で設定した光条件が実際の圃場環境でみられることは稀であり、「愛国もち」の迅速な光合成誘導が光環境次第では発揮されない可能性もある. そこで本研究においては、「愛国もち」と「日本晴」を対象に、誘導前光強度を 4 段階設定して光合成誘導を比較した.

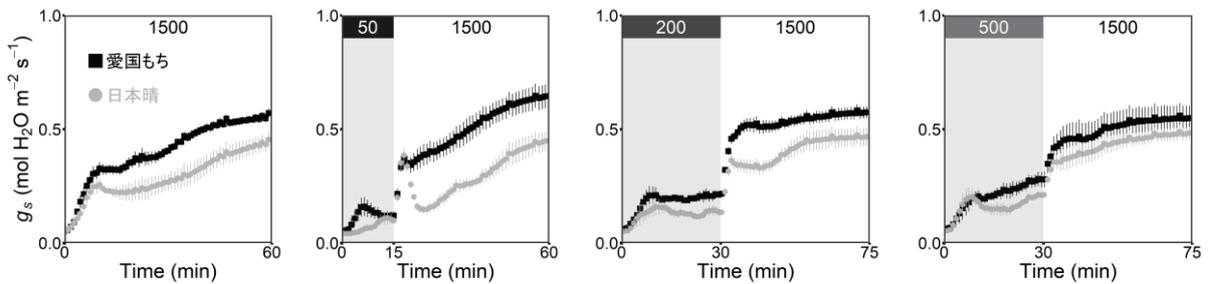
【材料と方法】水田土壌（多摩川沖積土壌）を充填した 2Lポットに「愛国もち」と「日本晴」を 2023年7月27日に移植し、東京農工大学府中キャンパスにて栽培した. 移植後2週間経過した植物体の最上位展開葉に対して、光合成測定装置（LI-6400, LI-COR社）を用いて光合成誘導を測定した. 測定チャンバー内の環境条件はCO₂濃度 $400 \mu\text{mol mol}^{-1}$, 気温 30°C , 相対湿度 50-60% に設定し、誘導前光強度を 0, 50, 200, 500 $\mu\text{mol photon m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ の4段階に設定した（以下, L0, L50, L200, L500 と呼称）. この誘導前光強度に一定時間順化させたのち、飽和光として $1500 \mu\text{mol photons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ の光を照射した. この間、CO₂同化速度ならびに関連形質のデータを10秒毎に取得した.

【結果と考察】飽和光照射後のCO₂同化速度の品種間差はL0, L50で大きく、L200でわずかに認められ、L500で認められなかった. すなわち、誘導前光強度が高くなるほど日本晴の光合成誘導が加速し、品種間差が小さくなることがわかった. 気孔コンダクタンスは、いずれの段階でも飽和光照射後は一貫して日本晴に比較して愛国もちが高かった（第2図）. 細胞間隙CO₂濃度は、愛国もちで高い傾向があったものの、気孔コンダクタンスに見られた差異に比べるとその違いは小さかった. さらに、細胞間隙CO₂濃度を $300 \mu\text{mol mol}^{-1}$ に標準化した際の飽和光照射後のCO₂同化速度の変化は、L0, L50において日本晴に比較して愛国もちが迅速であり、L200でも品種間差が認められ、L500では品種間差が失われた（第4図）. 以上から、光合成誘導の品種間差に対する気孔コンダクタンスの違いの寄与は限定的であり、主として飽和光照射後の迅速な炭酸固定活性の上昇が愛国もちの迅速な光合成誘導に寄与していると考えられた. 誘導前光強度が小さくても、飽和光照射後に愛国もちは速やかにカルビン回路の代謝産物量を増加させる能力を有する一方、誘導前光強度が比較的高い条件においては日本晴の代謝産物量が十分確保され、その結果光合成誘導の品種間差が小さくなると予想された. 本仮説は今後検証する必要がある.

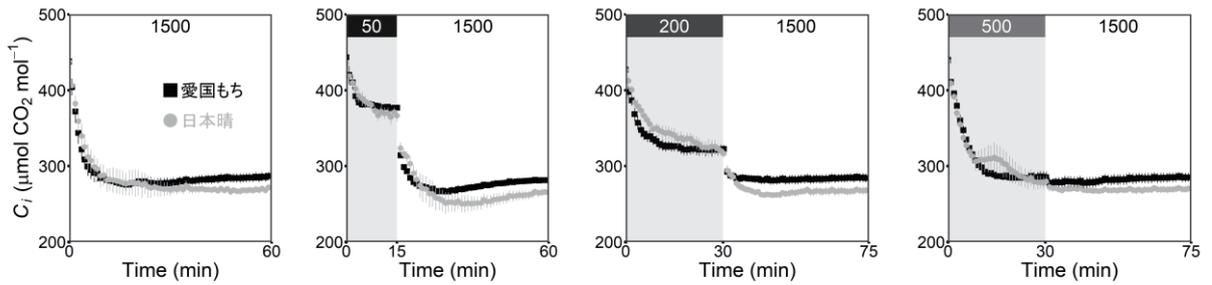
* 本研究は科学研究費補助金 (21K19104) の支援を受けて実施した。



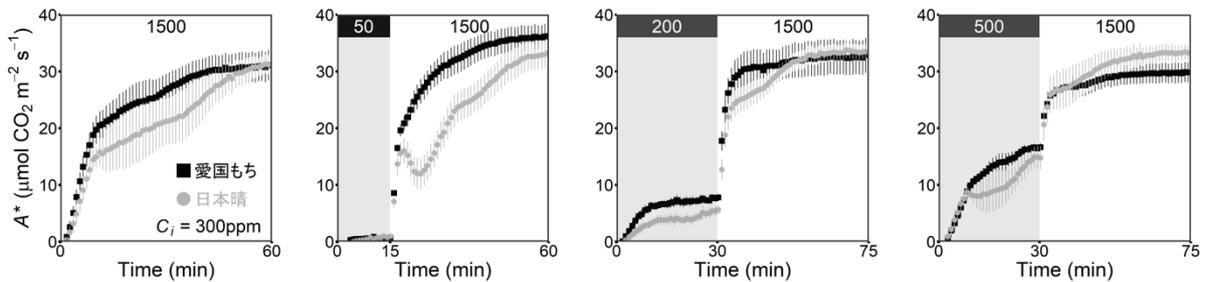
第 1 図 飽和光照射後の CO_2 同化速度 (A) の変化. 異なる誘導前光強度 (左から 0, 50, 200, 500 $\mu\text{mol photon m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) 処理後に飽和光 (1500 $\mu\text{mol photon m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) を照射した. 灰色は日本晴を、黒色は愛国もちを表す. 以下同様.



第 2 図 飽和光照射後の気孔コンダクタンス (g_s) の変化.



第 3 図 飽和光照射後の細胞間隙 CO_2 濃度 (C_i) の変化.



第 4 図 飽和光照射後の標準化 CO_2 同化速度 (A^*) の推移 ($C_i = 300 \text{ ppm}$ として標準化).

P24

多収水稻品種北陸 193 号の日射利用効率と物質生産過程の解析

近藤俊樹^{1*}・池田祐麻²・大川泰一郎¹・田中佑³・安達俊輔¹

(¹ 東京農工大学大学院農学府, ² 京都大学大学院農学研究科,

³ 岡山大学大学院環境生命自然科学研究科)

Analysis of light utilization efficiency and biomass production process of a high-yielding rice cultivar Hokuriku 193

Toshiki Kondo^{*1}, Yuma Ikeda², Taiichiro Ookawa¹, Yu Tanaka³, Shunsuke Adachi¹

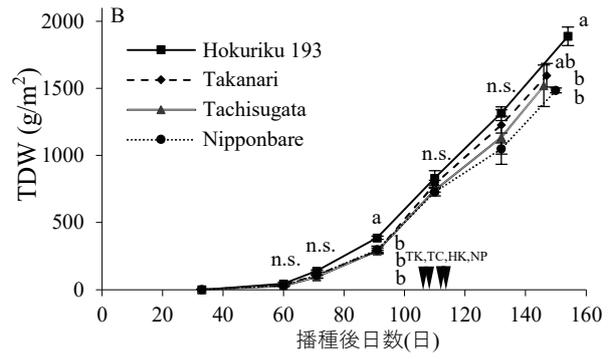
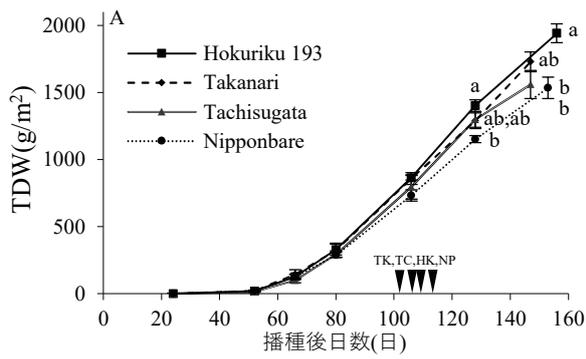
(¹ Graduate School of Agriculture, Tokyo University of Agriculture and Technology, ² Graduate School of Agriculture, Kyoto University, ³ Graduate School of Environmental, Life, Natural Science and Technology, Okayama University)

【緒言】北陸 193 号は、日本で育成された超多収水稻品種の一つであり、慣行栽培において玄米収量が 800kg/10a を超える例がしばしば報告される (Tsukaguchi et al. 2016; Okamura et al. 2018). 主な多収要因として、2t/10a を超える高いバイオマス生産を有することが挙げられるが (Takahashi et al. 2023), 日射利用効率 (RUE) の観点からその生理生態的要因を解析した研究は多くない. 筆者らは昨年、他のインド型多収品種 (タカナリ, たちすがた) と北陸 193 号との比較を行い、生育期間通じて個体群受光率が比較的高いことに加え、RUE が高いことが北陸 193 号の高いバイオマス生産をもたらすことを示した (近藤ら 2023, 池田ら 2023). 本研究では、これら品種の RUE と物質生産過程の年次反復解析を行い、北陸 193 号の高い生産性の要因を明確化することを目的とした.

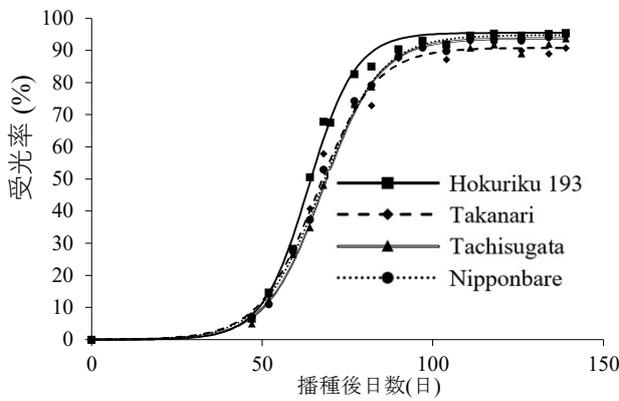
【材料と方法】日本晴, タカナリ, たちすがた, 北陸 193 号を実験に供した. 東京農工大学附属農場水田にて 1 株 1 本植え, 栽植密度は 22.2 株 m⁻², 3 反復で栽培した. 施肥は近藤ら (2023) に準じた. 播種 24 日後 (2022 年) または 33 日後 (2023 年) から収穫期にかけて計 7 回, 24 個体/区の植物体地上部を刈り取り, 地上部全乾物重 (TDW) を測定した. また, 中庸な 4 個体については穂, 葉, 茎部に分解し, うち 2 個体の葉面積を測定するとともに葉面積指数 (LAI) を算出した. 個体群の受光率の測定には LI-2200 (LI-COR 社) を用い, 受光率 = 1-DIFN (日射透過率) と定義した. 個葉光合成速度の測定には LI-6400XT (LI-COR 社) を用いて飽和光条件で測定した.

【結果と考察】北陸 193 号の TDW は両年ともに生育期間を通じて高く推移し, 収穫期乾物重は 4 品種中最大であった (第 1 図). 北陸 193 号の成熟期は両年ともに他の品種に比べ 1 週間ほど遅く, 生育期間の長いことが高い収穫期乾物重の一因と考えられた. 2023 年の北陸 193 号の個体群受光率は移植期から幼穂分化期にかけて他の品種と比較して明らかに高い値で推移した (第 2 図). 同時期の北陸 193 号の LAI は比較的大きい値で推移したものの, 他の品種との違いは明確ではなかった (第 3 図). また有意差は認められなかったものの, 北陸 193 号の RUE は他の品種に比べやや大きな値で推移した (第 4 図). 一方個体群最上部の個葉光合成速度はタカナリやたちすがたと同等か, やや低く推移した (第 5 図). 以上より, 北陸 193 号は長い成熟期間, 高い個体群受光率とやや高い RUE を有することによって高いバイオマス生産能力を発揮すると結論された. 一方, これらの優れた性質の理由を LAI や個葉光合成速度の違いだけでは説明できないため, 葉の空間配置などの個体群構造の差異が関与する可能性を検討する必要がある.

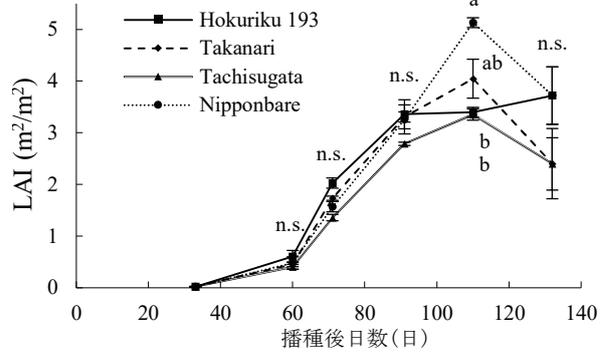
【謝辞】 この成果は, NEDO の委託業務 (JPNP18016) の結果得られたものです.



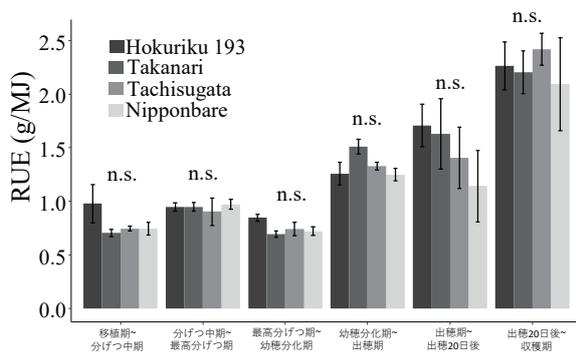
第1図 2022年(A)と2023年(B)における地上部乾物重(TDW)の推移。
矢印で示した時期は出穂日を表す。



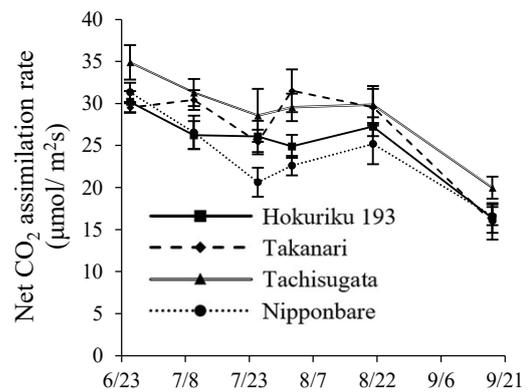
第2図 2023年における受光率の推移。



第3図 2023年におけるLAIの推移。



第4図 2023年における生育期間別のRUEの推移。



第5図 2023年における最大光合成速度の推移。