

富山県農林水産総合技術センター 農業研究所研究報告

第 10 号

令和 8 年 6 月

富山県農総セ農研研報

Bull. Toyama Agr. Res. Inst.

No. 10 Jun. 2026

富山県農林水産総合技術センター
農業研究所
(富山市吉岡)

富山県農林水産総合技術センター農業研究所研究報告 第10号 (1~50頁)

目 次

- 1 富山県に適した飼料用米専用の早生多収品種の選定
北崎颯汰・村田和優・高松寛朗・小島洋一朗 1
- 2 富山県に適した稲発酵粗飼料（稲WC S）用品種「つきはやか」の選定
北崎颯汰・村田和優・板谷恭兵・小島洋一朗 7
- 3 稲発酵粗飼料（稲WC S）用品種「つきはやか」の採種向け栽培法
村田和優・北崎颯汰・板谷恭兵・長岡 令・小島洋一朗 13
- 4 高糖分茎葉型水稻品種「つきはやか」の良質な稲発酵粗飼料に向けた水管理法と収穫時期
東 英男・板谷恭兵・北崎颯汰・鍋島裕佳子 19
- 5 大麦の全量基肥肥料におけるプラスチックフリー化の検討
高橋正樹・山田宗孝・稲原 誠・野村幹雄 27
- 6 ダイズ黒根腐病に対する生育期の殺菌剤散布の防除効果
三室元気・山本知里・越智 直 39

富山県に適した飼料用米専用の早生多収品種の選定

北崎颯汰・村田和優・高松寛朗*・小島洋一朗

Sota KITASAKI, Kazumasa MURATA, Hiroo TAKAMATSU* and Yoichiro KOJIMA
: Selection of Early Maturing Forage-Rice Varieties Suitable for Cultivation in Toyama Prefecture

I 緒言

飼料用米は、飼料原料の多くを輸入穀物に依存している我が国の畜産業において、地域の貴重な飼料資源であり、飼料の安定確保や飼料自給率の向上に資するとともに、耕畜連携ひいては堆肥還元による資源循環の面でも重要である。また、米の一人当たりの消費量や人口の減少に伴い主食用米の需要が減少していくと見込まれる中で、非主食用米への転換など、需要に応じた米生産に対応した水田フル活用が求められており、飼料用米の安定生産は喫緊の課題である。

本県の飼料用米の作付については、かつては「コシヒカリ」などの食用として一般的に作付する品種が中心であったが、2015年以降は業務用多収品種である「やまだわら」（農業・食品産業総合技術研究機構（以下、農研機構）育成）を飼料用の特認品種として定め、生産拡大を進めてきた（富山県農林水産総合技術センター2018a、2018b）。このような中、2024年4月改正の経営所得安定対策等実施要綱において、国の定める多収品種または各県の特認品種を用いない場合は、水田活用の直接支払交付金における支援水準を2024年産から段階的に引き下げられることが示された。すなわち、飼料用米として一般品種を使用する場合には、2023年産まで数量に応じて5.5～10.5万円/10aが支払われるが、2024年産から2026年産にかけて、上限額がそれぞれ9.5万円、8.5万円、7.5万円に引き下げられることになった（農林水産省2023）。そのため、「やまだわら」を含め、国が認める多収品種の作付がより推進されることとなった。

しかしながら、「やまだわら」は晩生品種であることから、秋の長雨に遭うリスクや大豆刈取り

作業と競合する恐れがあり、一部の生産者においては「てんたかく81」などの食用の早生品種を用いる事例もみられた。このことから、生産現場からは収量性の高い早生の飼料用米専用品種の選定に対する強い要望が示された。

我々は、これまでに国や他県が育成した多収品種について、県奨励品種決定調査に基づく生産力検定を実施し、本県での収量や栽培適性を検証してきた。しかし、近年は地球規模の温暖化が進み、本県の稲作期間における気象条件も変貌しているため、あらためて各品種の栽培適性を確認し、本県に適した早生の飼料用米専用品種を選定したので報告する。

II 材料および方法

1) 供試品種

1999～2022年度の生産力検定成績（表1）より、8月中に成熟期を迎える早生熟期でありながら収量が良好な品種である「べこごのみ」、「ふくひびき」、「アキヒカリ」の3品種に、農研機構が新たに育成した早生品種である「いわいだわら」を加えた4品種を供試した（表3）。

2) 生産力検定および特性検定

供試する4品種に加え、早生の標準品種として県奨励品種である「てんたかく81」を、さらに参考品種として「コシヒカリ」および飼料用の特認品種「やまだわら」を加え、生産力検定を実施した。2023年5月24日に、富山県農林水産総合技術センター農業研究所ほ場にて、条間30cm・株間15cm間隔で4本/株を手植えた。基肥は窒素11.4kg/10a、穂肥は同4.0kg/10aと、農業研究所内慣行栽培の1.5倍の窒素量を施用した多肥栽培を行った（表2）。達観調査により倒伏程度や

* 現 高岡農林振興センター

表1 1999～2022年度における多収品種の生産力検定成績(平均値)

栽培 適地	品種名	供試 年数	成熟期 (月/日)	精玄米重 (kg/a)	障害(0無～5甚)				備考	2023 供試
					倒伏	紋枯	葉いもち	穂いもち		
広域	べこごのみ	1	8/27	65.0	0.0	1.3	1.7	0.0	—	○
	ふくひびき	4	8/28	69.4	0.0	0.7	0.7	0.0	—	○
	べこあおば	1	9/5	74.7	0.0	0.0	0.7	0.0	稲WCS用	—
	夢あおば	6	9/4	68.0	0.0	1.0	0.6	0.0	稲WCS用	—
	オオナリ	1	9/13	62.6	0.0	1.5	0.0	0.0	—	—
西日本	ホシアオバ	2	9/12	68.4	0.0	0.9	0.4	0.0	—	—
	亜細亜のかおり	2	9/19	67.8	0.0	0.3	0.0	0.0	米粉(麺用)	—
	北陸193号	3	10/1	79.1	0.1	1.0	0.3	0.3	—	—
	もちだわら	2	10/3	90.0	0.2	0.3	0.3	0.3	—	—
	モミロマン	4	10/3	86.1	0.6	0.8	0.8	0.1	稲WCS用	—
九州	クサホナミ	5	10/12	42.5	0.0	1.0	0.3	0.0	稲WCS用	—
	ミズホチカラ	1	10/17	82.2	0.1	2.5	1.0	1.0	米粉(パン用)	—
県特認	アキヒカリ	3	8/22	65.0	1.2	1.0	1.9	2.2	福島、千葉、新潟、岐阜	○
	やまだわら	7	9/24	75.2	0.1	0.6	0.1	0.0	富山、三重	○

注1) 精玄米重(kg/a)は、1.7mm篩上

注2) 障害は0(無)～5(甚)で評価

表2 耕種概要

栽培方法	試験圃場	反復数	播種日 (月/日)	田植日 (月/日)	栽植密度 (株/m ²)	施肥量(成分kg/10a)		
						N	P ₂ O ₅	K ₂ O
多肥	318号田	2	5/1	5/24	23	15.4	12.0	13.2

紋枯病等病害の発生程度を評価するとともに、いずれの品種も糊化率85%に達した時期に80株を収穫し、収量および収量構成要素の調査を山本ら(1996)の方法に従って行った。特性検定では、葉いもち・穂いもち抵抗性(山本ら1996)および穂発芽耐性(山本ら1996)について評価した。

Ⅲ 結果と考察

1) 飼料用米専用としての早生多収品種の選定

本県において2023年の稲作期間は非常に気温が高く推移し、特に「てんたかく81」が出穂期を迎える7月中旬から9月上旬にかけての平均気温は観測史上最高であったことから(気象庁 富山観測地点データ)、各地で高温による収量・品質の低下が報告された。このような厳しい登熟環境下での生産力検定の結果を表3に示す。

供試品種のうち、「べこごのみ」は、「てんたかく81」との比較で6日早く出穂したが、成熟期はほぼ同時期であった。穂長は「てんたかく81」よりやや長い、穂数は明らかに少なく、飼料用米としての利用形態である粗玄米重は「てんたかく81」対比で98となった(表3)。

「アキヒカリ」は、「てんたかく81」とほぼ同時期に出穂したが、成熟期は「てんたかく81」より8日遅くなった。穂長や穂数は「てんたかく81」とほぼ同等であるが、粗玄米重は70kg/a以上で、対比で107となった。若干の倒伏が確認されたが、「てんたかく81」よりも軽微なものであった(表3)。

「いわいだわら」も、「てんたかく81」とほぼ同時期に出穂したが、成熟期は「てんたかく81」より11日遅くなった。穂長は「てんたかく81」より明らかに長くなるが、一方で穂数は明らかに少なくなった。粗玄米重は「てんたかく81」対比で109となったが、一部で倒伏が確認された(表3)。

「ふくひびき」は「てんたかく81」より出穂が2日程度遅く、成熟期は8日遅くなった。穂長は「てんたかく81」よりやや長い、穂数は少なくなった。粗玄米重は「てんたかく81」対比で111となり、供試した4品種の中では最も収量が高かった。「ふくひびき」においても、若干の倒伏が確認されたが、「てんたかく81」よりも軽微なものであった(表3)。

以上から、「べこごのみ」は出穂期が早く鳥害

表3 2023年度生産力検定（5月24日植え、多肥栽培）

品種・系統名	出穂期	成熟期	稈長	穂長	穂数	全重	粗玄米重	標準	千粒重	玄米蛋白	障害（0無～5甚）	
	（月/日）	（月/日）	（cm）	（cm）	（本/㎡）	（kg/a）	（kg/a）	対比	（g）	含有率	倒伏	紋枯
べこごのみ	7/16	8/25	77.3	20.6	276	138	64.6	98	22.1	7.9	0.0	0.0
アキヒカリ	7/22	9/2	74.7	18.5	452	151	70.8	107	21.6	7.3	0.5	0.0
いわいだわら	7/22	9/5	80.1	21.3	301	162	71.9	109	24.3	7.1	1.0	0.0
ふくひびき	7/24	9/2	73.2	20.6	360	160	73.5	111	23.5	6.5	0.5	0.0
（標） てんたかく81	7/22	8/25	76.5	18.5	482	151	66.0	100	22.6	7.1	1.0	0.0
（参） コシヒカリ	8/3	9/5	83.5	18.9	412	158	66.3	—	22.6	6.7	1.0	0.0
（参） やまだわら	8/7	9/18	75.9	19.7	369	194	77.5	—	23.5	6.4	0.0	1.0

注1) 成熟期に各区80株を手刈りし、陰干しで乾燥後、脱穀、籾摺り後1.90mmの篩で調製した。収量および千粒重は水分15%換算値。

注2) ほ場達観により倒伏程度、病害発生程度を、0（無）～5（甚）の5段階で評価

注3) 黒枠は不良形質

「べこごのみ」、「いわいだわら」（いずれも農研機構東北農業研究センター育成）

「ふくひびき」（農林水産省東北農業試験場育成）

「アキヒカリ」（青森県農業試験場藤坂支場育成）

表4 種子場（砺波）での生育期（2019～2023年平均）

品種名	移植日 （月/日）	出穂期 （月/日）	成熟期 （月/日）
アキヒカリ	5/3	7/16	8/22
てんたかく81	5/1	7/16	8/20

が懸念されることと収量性の点から、「いわいだわら」は成熟期と倒伏程度の点で、好ましくないと判断した。「アキヒカリ」および「ふくひびき」は、早生にもかかわらず収量が確保できる品種と判断したが、「ふくひびき」は、特に穂数が「てんたかく81」よりも少ないことから、品種特性に応じた施肥体系の検討、もしくは溶出パターンを持った肥効調節型肥料の開発の必要性が示唆された。一方の「アキヒカリ」は、既に本県で栽培実績もあり種子生産も行われていることから、作付にあたっては県産種子の活用が可能である。砺波地区の種子場からの聞き取りでは、「アキヒカリ」を5月上旬に移植すると、成熟期は「てんたかく81」より2日ほど遅くなっている（表4）。「アキヒカリ」は穂長や穂数が「てんたかく81」とほぼ同等であることから、砺波地区の種子場での栽培においては「てんたかく81」に準じた施肥体系が実施されているが、表2の耕種概要に基づく多肥栽培においては、着粒数が増えることにより成熟期がさらに遅くなると考えられた（表3）。

2) 「アキヒカリ」のその他の品種特性

「アキヒカリ」の病害抵抗性として、葉いもちおよび穂いもちの耐病性は「やや強」であるが（表5）、真性抵抗性遺伝子の有無は不明である。紋枯病について、2023年度調査で発生はみられなかったが（表3）、1999～2001年に実施した生産力検定では、少程度の紋枯病の発生が確認されている（表1）。また、倒伏については、1999～2001年に実施した生産力検定や、2023年度調査においても若干確認されている（表1、3）。前述の成熟期の遅れと合わせ、紋枯病の発生や倒伏のリスクを避けるためにも過度な施肥は避けた方がよい。「アキヒカリ」の耐冷性は「やや弱」とされており（千葉県2019）、穂ばらみ期あるいは開花期に日平均気温17℃以下で低日射に遭遇した場合は、不稔籾が多発し減収する可能性があるため注意が必要である。また、穂発芽は、稲品種登録における「やや易」の基準品種に定められており（農林水産省2024）（図1）、比較的穂発芽しやすいことから、乾燥作業の省力化をねらい立毛中の乾燥を進めた後は速やかな収穫が望ましい。

表5 「アキヒカリ」のいもち病抵抗性

試験年次	葉いもち (0強～10弱)	穂いもち (0強～10弱)
1999	3.3	2.5
2000	1.8	1.5
2001	2.5	4.0
平均	2.5 (やや強)	2.7 (やや強)

注) 罹病ワラを散布して発病を促進

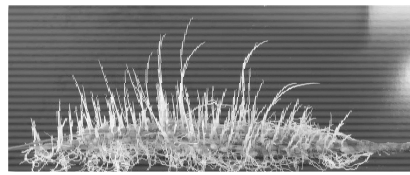
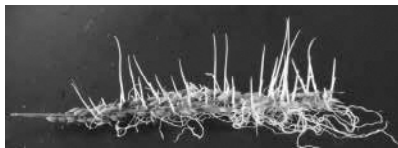
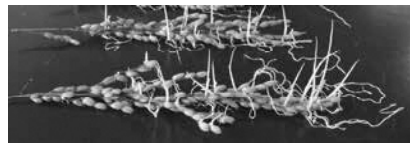
こがねもち
(3 易)アキヒカリ
(4 やや易)能登ひかり
(5 中)あきたこまち
(6 やや難)とがおとめ
(7 難)

図1 「アキヒカリ」の穂発芽耐性

() 内は登録審査における階級区分(寒冷地南部一極早生・早生)

以上を踏まえ、本県に適した早生の飼料用米専用品種として「アキヒカリ」を選定し、2024年1月に、北陸農政局に飼料用米専用の多収品種として申請した。2024年度の本県における飼料用米作付面積は約1,900haであるが、そのうちの3.8%にあたる73haで「アキヒカリ」が作付されており、今後も普及が進むと見込まれる。

IV 謝辞

供試品種である「べこごのみ」、「いわいだわら」および「ふくひびき」の種子は、農研機構東北農業研究センターより分譲いただいた。また、「アキヒカリ」は富山県種子協会より分譲いただいた。ここに感謝の意を表す。

V 摘要

生産現場からの強い要望を受け、本県での栽培に適した早生の飼料用米専用品種として、「アキヒカリ」を選定した。「てんたかく81」と同様の施肥体系において、「アキヒカリ」の出穂期は「てんたかく81」と同時期となるが、成熟期は「てんたかく81」よりやや遅い。多肥栽培において粗玄米重は「てんたかく81」対比で107と多収となるが、倒伏のリスクは小さい品種である。

VI 参考文献

千葉県(2019) 試験研究成果普及情報「倒伏に強く安定多収な飼料用米多収品種「アキヒカリ」、 「夢あおば」の特性と基本的栽培法」。
<https://www.pref.chiba.lg.jp/ninaite/>

shikenkenkyuu/documents/06r1-07ab.pdf

(2025年12月12日閲覧)

農林水産省(2023) 経営所得安定対策等実施要綱ー水田活用の直接支払交付金.

https://www.maff.go.jp/j/kobetu_ninaite/keiei/pdf/attach/pdf/pamph-24.pdf

(2025年12月12日閲覧)

農林水産省(2024) 品種登録審査基準「稲種」.

<https://www.maff.go.jp/j/shokusan/hinshu/info/kijun/1440.pdf>

(2025年12月12日閲覧)

富山県農林水産総合技術センター(2018a) 水稻「やまだわら」の栽培特性と飼料用安定生産のための施肥法. 平成29年度農業分野の成果と普及:45-46.

富山県農林水産総合技術センター(2018b) 水稻「やまだわら」の飼料用生産における省力栽培技術. 平成29年度農業分野の成果と普及:47-48.

山本隆一・堀末登・池田良一(1996) イネ育種マニュアル. 養賢堂, 東京:1-309.

(2025年12月13日受付. 2026年2月27日受理)

Selection of Early Maturing Forage-Rice Varieties Suitable for Cultivation in Toyama Prefecture

Sota KITASAKI, Kazumasa MURATA, Hiroo TAKAMATSU* and Yoichiro KOJIMA

Summary

In response to strong requests from farmers, “Akihikari” was selected as an early maturing forage-rice variety suitable for cultivation in Toyama prefecture. “Akihikari” heads at the same time as “Tentakaku-81” but matures later. Under growing conditions with high nitrogen fertilizer content, the yield for “Akihikari’s” unrefined brown rice is 7% higher than that of “Tentakaku-81” with low risk of lodging.

*Present Address: Toyama Prefectural Takaoka Agriculture and Forestry Promotion Center, Takaoka City, Toyama Prefecture, 933-0806

富山県に適した稲発酵粗飼料（稲 WCS）用品種 「つきはやか」の選定

北崎颯汰・村田和優・板谷恭兵*・小島洋一朗

Kazumasa MURATA, Sota KITASAKI, Kyohei ITAYA* and Yoichiro KOJIMA : Selection of Rice Varieties 'Tsukihayaka' for Whole Crop Silage Suitable for Cultivation in Toyama Prefecture

I 緒言

本県における2023年の畜産物産出額は93億円で、県農業産出額（588億円）の約15.8%を占めている（農林水産省2025）。この畜産業を支える飼料生産においては、水田転作による飼料用米や稲発酵粗飼料（以下、稲WCS）の生産が大きな割合を占めている。本県では2001年から稲WCSの生産・利用が始まり、開始当初の作付面積は約7haに過ぎなかったが、2008年に県内初の稲WCS生産コントラクター組織が設立されるなど普及が進み、2011年には109haまで拡大した。近年では、飼料価格の高騰による国産飼料増産の機運や米政策改革に伴う生産調整の見直しなどを背景として、2024年には作付面積が538haにまで達している（図1）。

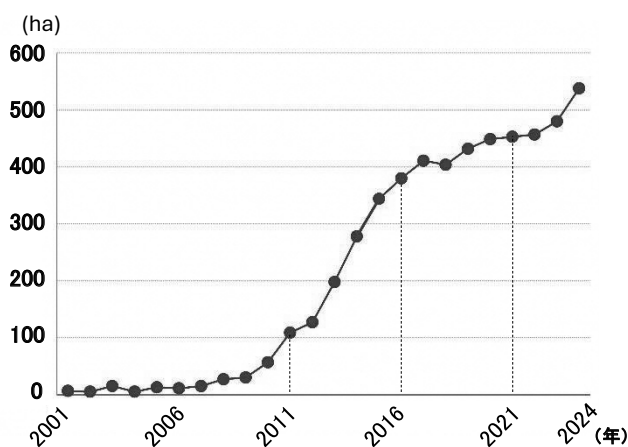


図1 本県における稲WCS作付面積の推移

これまで本県では稲WCS用に「コシヒカリ」などの食用品種が用いられてきたが、これらの品種は消化性に劣る穂の割合が大きく消化性に優れた栄養部の割合が小さい（新出2010）、サイレーヅ調製に必要な糖の含有率が低い（河野2016）等の課題を抱えている。これらの課題解決に向け、農業・食品産業総合技術研究機構（以下、農研機構）は、2010年に茎葉部多収、極晩生、極短穂の高糖分茎葉型稲 WCS 専用品種「たちすずか」を育成し（松下ら2012）、2016年には、同様の特性を持ちながら、縞葉枯病に抵抗性のある「つきすずか」を育成した（農研機構2017）。これらの品種は、①多肥栽培で収量が増えるが、穂が少ないため倒伏しにくい、②強い感光性を持ち、移植時期が異なってもおおよそ同時期に出穂する、③茎葉多収で不消化の粗が少なく、消化性が高い、④茎葉が高糖分であり、栄養性が高い、等の特性を示すことから、高糖分茎葉型の稲 WCS 専用品種として、育成元である農研機構を含め各地域で栽培マニュアルが整備され、普及が推進されてきた（農研機構近畿中国四国農業研究センター2013、茨城県農業総合センター2020）。しかしながら、本県では「たちすずか」および「つきすずか」ともに出穂が極めて遅いことから秋の長雨に遭うリスクが高く、また耐病性も低いことから普及が難しい状況にある。

このような中、農研機構は「つきすずか」よりも早生で穂もち等の病害抵抗性を強化した稲WCS用の高糖分茎葉型品種として、「つきあやか」および「つきはやか」を育成した（農研機構2020）。これらは「つきすずか」よりも早生化していることから、本県での栽培適性がより高いと考えられる。しかし、これらの高糖分茎葉型品種

* 現 広域普及指導センター

は種子を県外から入手する必要がある。全国一の種もみ出荷県である本県では水稲種子生産ほ場が多く存在するため、高糖分茎葉型品種においても種子伝染性の病害の持ち込みリスクがあることから、徹底した病害対策を施した県産種子を用いることが望ましい。このような状況を踏まえ、農研機構が育成した「つきあやか」および「つきはやか」のうち、本県での稲WCSおよび種子生産の両面に適した品種として「つきはやか」を選定したのでここに報告する。

II 材料および方法

1 供試品種

「つきあやか」および「つきはやか」は、ともに農研機構 西日本農業研究センターにおいて育成された高糖分茎葉型の稲WCS用品種である。これまでに中生の高糖分茎葉型稲WCS用品種として「たちあやか」が育成され（農研機構2012）、北陸・関東から九州までを栽培適地として普及されてきたが、この品種は縞葉枯病に罹病性であり、とくに太平洋側の縞葉枯病多発地帯での普及が困難であった。そこで、「たちあやか」に縞葉枯病抵抗性遺伝子*Stvb-1*を付与した系統の育成を目的とした“ホシアオバ/関東PL13// (05多予II-15/中国飼189号)F₄/03多系選96”の交配組み合わせから、「つきあやか」（2020年3月16日出願 第34562号、2024年11月25日登録第30592号）および「つきはやか」（2020年3月16日出願 第34561号、2024年11月25日登録第30591号）が選抜、育成された。

「つきあやか」は出穂期が「たちあやか」より2日ほど早い、その他の特性は「たちあやか」と同等であり、株全体に占める籾重割合は4.4%と極めて小さいことから、消化性に優れる茎葉部の収量が極めて多い品種である（農研機構2020）。一方、「つきはやか」は、「つきすずか」など従来の晩生の稲WCS用品種が栽培困難であった東北地域での普及を念頭に、「たちあやか」より出穂期が12日程度早い早生品種として育成された。「つきはやか」の株全体に占める籾重割合は23.1%と小さく、消化性に優れる茎葉部の収量が多い品種である（農研機構2020）。以上のことから、「つきあやか」と「つきはやか」が本県での栽培適性が高いと推測し、供試品種として用いた。

2 栽培試験

「つきあやか」および「つきはやか」の籾重割合は小さいが、この要因はそれぞれの品種に共通して導入された短穂遺伝子*sp1*のはたらきによるものである（Iwata and Omura 1971）。*sp1*は①幼穂形成期前の気温が低い、②（基肥等の施用量が多く）稲体の窒素含有量が多い、③密植等の条件でより強く発現し、その発現量に伴って小さな穂を形成することが報告されている（Li *et al.* 2009、保科・上藤2011、保科2014）。

これらの知見を踏まえ、栽培試験は、農業研究所内圃場(富山市)において、2022年4月25日に栽植密度70株/坪で基肥窒素量を8 kg/10a、穂肥無施用として、また同年6月6日栽植密度に50株/坪で基肥無施用、穂肥窒素量を4 kg/10aとして、いずれも機械移植で行った。調査項目は、出穂期、成熟期、地上部（茎葉部・穂部）の乾物重および含水率とした。刈取時期は幼穂形成期から出穂期を予見し、出穂10日前、出穂日、出穂10日後、出穂30日後、出穂45日後を設定した。

III 結果と考察

「つきはやか」および「つきあやか」を4月25日に移植した場合、それぞれ出穂期は7月24日および7月31日となり、成熟期は8月28日および9月4日となった。また、6月6日に移植すると、それぞれ出穂期は8月9日および8月14日となり、成熟期は9月16日および9月22日となった（2022年結果）（表1）。両品種ともに、成熟期において「コシヒカリ」よりも茎葉部の割合が極めて大きい一方で、穂部の割合が非常に小さくなり、本県においても稲WCSとして難消化性の穂部の割合を減らし、易消化性の茎葉部に特化した草姿になることを確認した（表1、図2、3）。また、いもち病や紋枯病などの目立った病害や、漏生籾の発生要因となる脱粒性は見られなかった。

両品種ともに6月上旬に基肥を施用せずに移植すると、4月下旬に基肥を施用して移植した場合よりも精籾重が多くなった。また、「つきはやか」はいずれの移植期においても「つきあやか」との比較で穂数は少ないが、1穂籾数が2倍以上多く精籾重も多くなることから、種子を確保しやすいことがわかった（表1）。また、6月上旬に基肥を施用せずに移植した「つきはやか」の発芽勢お

よび発芽率は、いずれも97%を超え、「つきあやか」に比べ高く、ばらつきも小さかった（表2）。

稲WCSは、水分60~70%がサイレージ発酵に適当な水分範囲とされている（高栄養飼料生産コンソーシアム2020）。高水分では十分な乳酸発酵ができず、サイレージ品質が低下し、逆に低すぎても発酵不良となる。4月25日に移植し、幼穂形成期から出穂期以降20日間までを飽水管理、以降は間断かん水の水管理を行った場合、両品種とも

に稲体の含水率は経時的に低下し、立毛状態においてサイレージ発酵に適する70%を下回るのは、「つきはやか」で出穂8日後頃、「つきあやか」で出穂29日後頃であった。このことから、「つきはやか」の方がやや早く刈り始めることができ、刈取適期幅が広いことがわかった（図4）。

以上から、「つきはやか」は「つきあやか」との比較で種子生産の面では精粒重が多く発芽能が高い良質な種子を確保しやすいこと、また、稲

表1 供試品種の生育ステージおよび収量

品種	移植日 (月/日)	基肥 窒素量 (kg/10a)	穂肥 窒素量 (kg/10a)	出穂期 (月/日)	成熟期 (月/日)	稈長 (cm)	穂数 (本/m ²)	1穂粒数 (/本)	全量 (kg/10a)	わら量 (kg/10a)	粗粒重 (kg/10a)	精粒重 (kg/10a)	千粒重 (g)
つきはやか	4/25	8	0	7/24	8/28	100.2	351	30.4	1850	1649	242	207	25.3
つきあやか				7/31	9/4	97.3	399	14.5	1794	1686	126	92	29.5
つきはやか	6/6	0	4	8/9	9/16	88.9	193	94.6	1239	748	491	466	28.3
つきあやか				8/14	9/22	87.6	299	45.3	1389	1042	348	272	31.1

注) 種子基準として篩目2.2mm以上の籾を精粒とし、精粒重および千粒重は水分15%換算値。

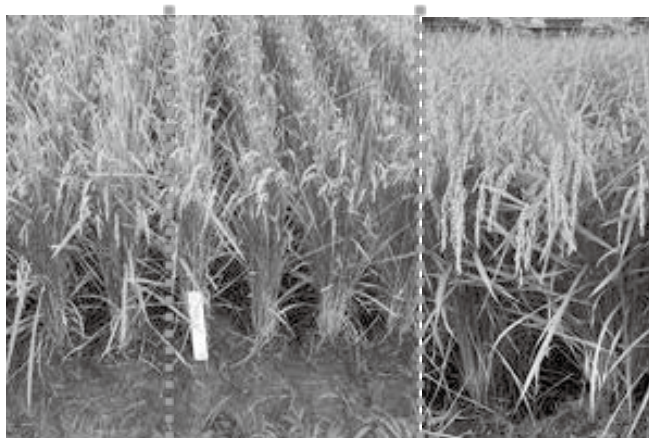


図2 稲WCS専用品種の成熟期の草姿
(左) つきはやか (中) つきあやか (右) コシヒカリ
2022年4/25移植 基肥窒素量8kg/10a

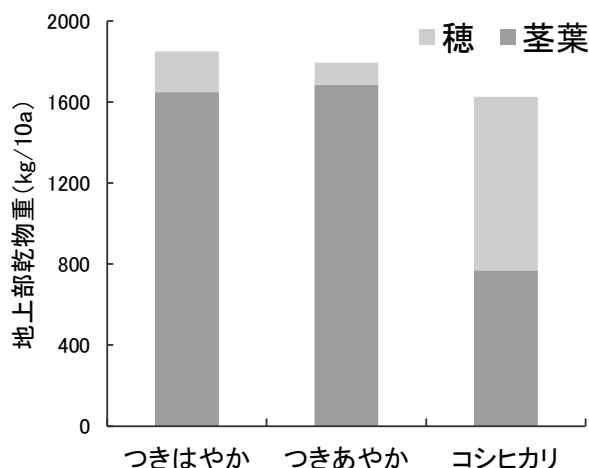


図3 成熟期の地上部乾物重の比較
2022年4/25移植、基肥窒素量8kg/10a

表2 供試品種の発芽勢および発芽率

品種	発芽勢 (%)	発芽率 (%)
つきはやか	97.0 ± 0.8	97.9 ± 1.0
つきあやか	89.6 ± 6.3	92.4 ± 4.0

注1) 6/6移植サンプルの平均値
注2) 発芽勢は催芽後4日、発芽率は催芽後7日時点で、芽及び根が健全に(0.5mm以上)生長した種子の割合

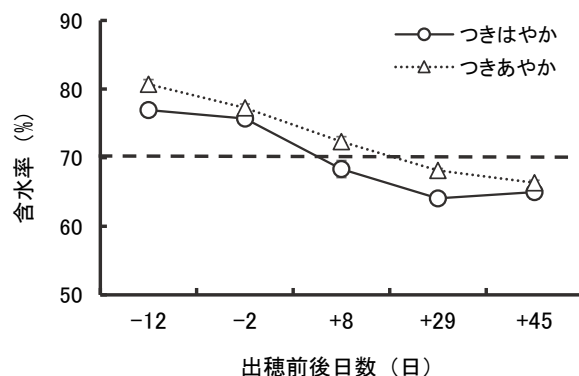


図4 稲体の含水率の推移
2022年4/25移植、基肥窒素量8kg/10a

WCS生産の面では難消化性の穂の割合がやや大きいものの刈取適期幅が広いことから、本県に適した高糖分茎葉型稲WCS用品種として選定した。今後は、稲WCS用途により適した栽培体系や刈取適期について、飼料としての栄養性も踏まえながら検討するとともに、実際に「つきはやか」のWCSを用いた牛への給与試験を実施する必要がある。また、本試験では4月下旬よりも6月上旬に移植した方が種子生産量は多くなったが、より効率的な種子の生産体系も精査する必要がある。

IV 謝辞

供試品種である「つきはやか」および「つきあやか」の種子は、農研機構西日本農業研究センターより分譲いただいた。ここに感謝の意を表する。

V 摘要

- 1 「つきはやか」および「つきあやか」を4月下旬に移植した場合、立毛状態においてサイレージ発酵に適する70%を下回るのは、「つきはやか」で出穂8日後頃であり、「つきあやか」よりもやや早く刈り始めることができるため刈取適期幅が広い。
- 2 「つきはやか」は「つきあやか」よりも総粒重が多くなり種子を確保しやすい。また、6月上旬に移植した「つきはやか」の種子の発芽勢および発芽率は90%を超え十分に高く、良質な種子を確保しやすい。

以上から、「つきはやか」を本県に適した高糖分茎葉型稲WCS用品種として選定した。

VI 引用文献

保科亨・上藤満宏(2011) イネ発酵粗飼料用品種「たちすずか」の収量 および収量構成要素に及ぼす施肥の影響. 日作紀80(別1):260-261.
 保科亨(2014) WCS 専用水稻品種「たちすずか」の子実収量に及ぼす 晩植条件での栽植密度および窒素施用の影響. 日作紀83(別1):38-39
 茨城県農業総合センター(2020) 稲発酵粗飼料用稲「つきすずか」・「たちすずか」栽培の手引き(栽培マニュアル)(移植栽培).
<https://www.maff.go.jp/j/seisan/gizyutu/>

[hukyu/h_zirei/brand/attach/pdf/201023_1-1.pdf](https://www.naro.go.jp/publicity_report/publication/files/ineWCSmanual200324_HP.pdf)

(2026年1月30日閲覧)

Iwata, N. and T. Omura (1971) Linkage analysis by reciprocal translocation method in rice plants (*Oryza sativa* L.). II. Linkage Groups corresponding to the chromosome, 5, 6, 8, 9, 10 and 11. *Sci. Bull. Fac. Agr. Kyushu Univ.*, 25:137-153.

高栄養飼料生産コンソーシアム(2020) 高糖分高消化性イネホールクロップサイレージ生産・利用の手引き.

https://www.naro.go.jp/publicity_report/publication/files/ineWCSmanual200324_HP.pdf

(2026年1月30日閲覧)

河野幸雄(2016)極短穂型品種(高糖分高消化性稲発酵粗飼料専用品種)の飼料特性と牛への給与. 畜産技術(7):21-24.

Li S., Q. Qian, Z. Fu, D. Zeng, X. Meng, J. Kyojuka, M. Maekawa, X. Zhu, J. Zhang, J. Li and Y. Wang (2009) Short panicle 1 encodes a putative PTR family transporter and determines rice panicle size. *Plant J.*, 58:592-605.

松下景・飯田修一・出田収・春原嘉弘・前田英郎・田村泰章(2012) 茎葉多収で消化性に優れ高糖分含量の飼料用水稲品種「たちすずか」の育成. 近畿中国四国農業研究センター研究報告11:1-13.

農研機構近畿中国四国農業研究センター(2013) 高糖分飼料イネ「たちすずか」栽培技術マニュアル.

https://www.naro.go.jp/publicity_report/publication/files/warc_manual_tachisuzuka_cultivation_technical_manual.pdf

(2026年1月30日閲覧)

農研機構プレスリリース(2012) 茎葉が多収で、糖含量が高く、倒れにくい 稲発酵粗飼料用水稲新品種「たちあやか」.

https://www.naro.go.jp/publicity_report/press/laboratory/warc/044352.html

(2026年1月30日閲覧)

農研機構プレスリリース(2017) 縞葉枯病に強い発酵粗飼料用イネ新品種「つきすずか」.

https://www.naro.go.jp/publicity_report/

[press/laboratory/warc/077595.html](https://www.naro.go.jp/press/laboratory/warc/077595.html)

（2026年1月30日閲覧）

農研機構プレスリリース（2020）縞葉枯病に強いイネ発酵粗飼料専用品種の育成 早生の「つきはやか」と中生の「つきあやか」.

https://www.naro.go.jp/publicity_report/press/laboratory/warc/137110.html

（2026年1月30日閲覧）

農林水産省（2025）生産農業所得統計-令和5年.

https://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/nougyou_sansyutu/

（2026年2月12日閲覧）

新出昭吾 2010.乳牛における飼料イネWCS給与と課題. 日草誌55:365-372.

（2025年12月15日受付. 2026年2月27日受理）

Selection of Rice Varieties ‘Tsukihayaka’ for Whole Crop Silage Suitable for Cultivation in Toyama Prefecture

Kazumasa MURATA, Sota KITASAKI, Kyohei ITAYA* and Yoichiro KOJIMA

Summary

When “Tsukihayaka” and “Tsukiayaka” were transplanted in late April, the moisture content of standing crop for “Tsukihayaka” had dropped below 70% around eight days after heading, a level suitable for silage fermentation, allowing for harvesting to be able to begin slightly earlier than for “Tsukiayaka,” and thus providing a wider range of suitable harvesting periods.

“Tsukihayaka” had a higher total grain weight than “Tsukiayaka,” making it easier to secure seeds. Furthermore, the germination vigor and germination rate of “Tsukihayaka” seeded transplanted in early June both exceeded 90%, which also allowed ease in securing high-quality seeds.

Based on the above, “Tsukihayaka” has been selected as the high-sugar, stem-and-leaf rice WCS variety suitable for Toyama Prefecture.

*Present Address: Toyama Prefectural Agricultural Technology Division, Toyama City, Toyama Prefecture 930-8501

稲発酵粗飼料（稲 WCS）用品種「つきはやか」の 採種向け栽培法

村田和優・北崎颯汰・板谷恭兵*・長岡令・小島洋一朗

Kazumasa MURATA, Sota KITASAKI, Kyohei ITAYA*, Rei NAGAOKA and Yoichiro KOJIMA
: Cultivation Method for Seed Production of "Tsukihayaka", a Rice Cultivar for Fermented Rice
Forage (Rice Whole Crop Silage)

I 緒言

輸入飼料の価格が高騰している現状において、我が国の畜産農家から国産飼料の供給が望まれている。このような中、本県では、水田の有効活用の観点も踏まえ、飼料用米や稲発酵粗飼料（以下、稲WCS）の生産が進んでいる。これまで本県では稲WCS用として種子を調達しやすい「コシヒカリ」などの主食用品種が用いられてきたが、これらの品種は消化性に劣る穂の割合が大きい（消化性に優れた茎葉部の割合が小さい）、サイレージ調製に必要な糖の含有率が低い等の課題を抱えている。

農業・食品産業総合技術研究機構（以下、農研機構）は、茎葉部多収、極短穂の高糖分茎葉型稲WCS 専用品種を数多く育成してきた。近年では、いずれも縞葉枯病抵抗性をもちつつ、本県では早生熟期となる「つきはやか」、中生熟期となる「つきあやか」、極晩生熟期となる「つきすずか」を育成している（農研機構2017、農研機構2020）。これらの品種は、すべて①高糖分で栄養価に優れた茎葉部の収量が大きい、②不消化の粗が少なく消化性が高い、③茎が頑強で穂が小さいため倒伏しにくい、等の稲WCS用として特長的な草姿をとるが、この主要因はそれぞれの品種に共通して導入された短穂遺伝子 $sp1$ の機能によるところが大きい（Iwata and Omura 1971）。 $sp1$ は①幼穂形成期前の気温が低い、②（基肥等の施用量が多く）稲体の窒素含有量が多い、③密植等の条件でより強く発現し、その発現量に伴って小さな穂を形成することが報告されている（Li *et al.* 2009、

保科・上藤2011、保科2014）。

農研機構が育成した高糖分茎葉型品種を本県で栽培する場合、これまでは県外から種子を入手する必要があったが、全国一の種もみ出荷県である本県では、種子伝染性病害の持ち込みリスクをできる限り回避するためにも、徹底した病害対策が施された県産の種子を用いることが望ましい。これまでに我々は、「つきはやか」と「つきあやか」の栽培試験を行い、本県での稲WCS用としての栽培体系に適するとともに、 $sp1$ の発現様式を踏まえ、種子を確保しやすい高糖分茎葉型品種として「つきはやか」を選定している（富山県農林水産総合技術センター農業研究所2026）。そこで、「つきはやか」種子の安定生産に向けた栽培体系を検討したので、ここに報告する。

II 材料および方法

1 供試品種

短穂遺伝子 $sp1$ の発現様式を踏まえて栽培体系を検討するために、供試品種には「つきはやか」と同じく $sp1$ をもつ「つきあやか」も合わせて供試した。「つきはやか」は、農研機構西日本農業研究センターにおいて育成された高糖分茎葉型の稲WCS用品種であり、「つきすずか」など従来の晩生の稲WCS用品種が栽培困難であった東北地域での普及を念頭に育成された。“ホシアオバ/関東PL13//（05多予Ⅱ-15/中国飼189号）F4/03多系選96”の交配組み合わせから、縞葉枯病抵抗性遺伝子 $Stvb-1$ をもつとともに、中生の「たちあやか」に比べ出穂期が12日程度早い早生品種として選抜、育成されている（2020年3月16日出願第

* 現 広域普及指導センター

34561号、2024年11月25日登録第30591号)。また、「つきあやか」は「たちあやか」に縞葉枯病抵抗性遺伝子*Stvb-1*を導入した品種であり、出穂期は「たちあやか」に比べ2日程度早い、他の特性は「たちあやか」とほぼ同様の特性を持つ品種である(2020年3月16日出願 第34562号、2024年11月25日登録第30592号)。

2 耕種概要

*sp1*を持つ品種において、採種を目的により長い穂を確保するためには、*sp1*の発現を抑制する必要がある。そこで、前述の*sp1*が強く発現する条件を逆手に取り、①移植時期を遅くしてより暑い時期に幼穂形成期を迎える、②基肥窒素を施用しない、③疎植栽培を行う等が有効とされている(藤本ら2016)。そこで、「つきはやか」および「つきあやか」を農業研究所内圃場(富山市)において、2022年6月6日に50株/坪で機械移植し、基肥や穂肥の窒素施用量を変えた試験区を設けた(表1)。また、参考として、2022年4月25日に70株/坪で機械移植し、基肥窒素施用量を8 kg/10a、穂肥窒素無施用とした試験区も設けた。基肥には「基肥206」を、穂肥には「追肥3号」を施用した。6月6日移植の試験区において、1回目の追肥は幼穂形成期頃、2回目は幼穂形成期の10日後頃を目安に施用した。それぞれの区で幼穂形成期、出穂期、成熟期を確認した。成熟期に坪刈りを行い、収量として精糶重を、収量構成要素として、1穂糶数、総糶数、登熟歩合、千糶重を調査した。調査データは2反復の平均値とした。

Ⅲ 結果と考察

4月25日に移植し、基肥窒素施用量を8 kg/10a および穂肥窒素無施用で栽培した「つきはやか」および「つきあやか」では、幼穂形成期はそれぞれ6月28日および7月5日となった。一方、6月6日に移植し、基肥窒素無施用および穂肥窒素施用量4 kg/10aで栽培した「つきはやか」および「つきあやか」では、幼穂形成期はそれぞれ7月19日および7月24日となった(表2)。いずれの品種においても6月6日に移植した株は4月25日に移植した株に比べ明らかに穂が大きくなった(図1)。このことは、*sp1*を持つ両品種では、幼穂形成期前の低温環境によって*sp1*の発現が助長され穂が小さくなり、一方で幼穂形成期に入るまでの気温を高くすることで穂が大きくなることを示唆していた。

「つきはやか」の6月6日移植において、基肥窒素施用量を4 kg施用することにより稈長が有意に長くなった。しかし、稈質が頑強であり倒伏リスクは懸念されなかった。穂数も有意に増加したが、1穂糶数が有意に減少することにより、総糶数および精糶重は基肥窒素無施用区と有意な差はみられなかった。また、穂肥の増施による精糶重の有意な増加は認められなかった(表3)。

「つきあやか」の6月6日移植において、基肥窒素施用量を4 kg施用することにより稈長が有意に長くなったが、「つきはやか」と同様に倒伏リスクは確認されなかった。穂数も増加する傾向にあったが、1穂糶数が有意に減少することによ

表1 耕種概要

試験区	移植日 (月/日)	基肥窒素施用量 (kg/10a)	穂肥窒素施用量 (kg/10a)		合計 (kg/10a)
			1回目	2回目	
040	6/6	0	4	0	4
044	6/6	0	4	4	8
440	6/6	4	4	0	8
444	6/6	4	4	4	12
800	4/25	8	0	0	8

注1) 試験区の数字は左から基肥、穂肥1回目、穂肥2回目の窒素施用量を表す

注2) 基肥の施用には「基肥206」、追肥の施用には「追肥3号」を使用

注3) 追肥の1回目は幼穂形成期頃、2回目は幼穂形成期の10日後頃を目安に施用

り、総粒数および精粒重は基肥窒素無施用区に比べ減少する傾向にあった。また、穂肥の増施による精粒重の有意な増加は認められなかった（表3）。

以上の結果から、*sp1*を持つ「つきはやか」お

よび「つきあやか」は熟期が異なるものの、ともに採種を目的とした場合には、①移植時期を遅くすること、②基肥窒素は不要であることがわかった。また、③穂肥は幼穂形成期頃に4 kg/10aの窒素を施用すれば十分であることがわかった。し

表2 生育ステージおよび追肥時期

品種	移植日 (月/日)	幼穂形成期 (月/日)	穂肥施用日 (月/日)		出穂期 (月/日)	成熟期 (月/日)
			1回目	2回目		
つきはやか	4/25	6/28	-	-	7/24	8/28
	6/6	7/19	7/20	7/29	8/9	9/16
つきあやか	4/25	7/5	-	-	7/31	9/4
	6/6	7/24	7/25	8/3	8/14	9/22

注) 両品種とも、4月25日移植：試験区800、6月6日移植：試験区040のデータ

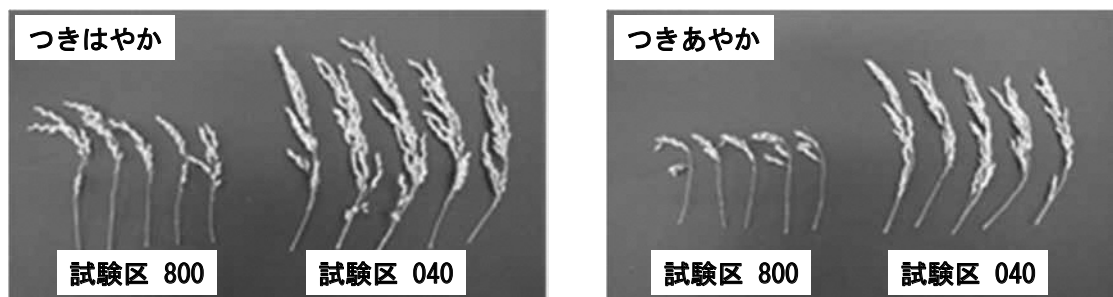


図1 移植時期別の穂の形態
試験区800:4月25日移植、040:6月6日移植

表3 収量および収量構成要素

品種名	試験区	移植日 (月/日)	稈長 (cm)	穂数 (本/m ²)	1穂粒数 (粒/穂)	総粒数 (x100粒/m ²)	登熟歩合 (%)	精粒重 (kg/10a)	屑粒重 (kg/10a)	千粒重 (g)
つきはやか	040	6/6	88.9	193	94.6	182	90.4	466	25	28.3
	044	6/6	87.8	182	101.9	184	91.8	472	22	27.9
	440	6/6	101.2	246	77.9	191	88.7	470	29	27.7
	444	6/6	99.1	248	80.3	199	89.6	489	33	27.5
	800	4/25	100.2	351	30.4	106	76.0	207	35	25.3
	分散分析	基肥	***	***	**	n. s.	n. s.	n. s.	*	*
		穂肥	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.
	基肥×穂肥	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	
つきあやか	040	6/6	87.6	299	45.3	135	64.7	272	75	31.1
	044	6/6	87.0	312	45.6	142	66.5	294	78	31.1
	440	6/6	99.2	332	37.4	124	62.6	239	73	30.8
	444	6/6	99.1	334	38.1	127	64.5	251	75	30.6
	800	4/25	97.3	399	14.5	58	52.1	92	34	29.5
	分散分析	基肥	***	*	**	*	n. s.	*	n. s.	*
		穂肥	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.
	基肥×穂肥	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	

注1) 試験区および窒素施用量は表1に基づく。
 注2) 種子基準として篩目2.2mm以上の粒を精粒とし、精粒重(水分15%換算)、登熟歩合、登熟歩合および千粒重を求めた。
 注3) 分散分析は6/6移植の試験区で行い、*、**、***はそれぞれ5%、1%、0.1%水準で有意であることを示し、n. s.は5%水準で有意でないことを示す。

表4 種子生産における「つきはやか」栽培の目安

	移植日	栽植密度	幼穂形成期	穂肥時期	出穂日	成熟期
時期	6月上旬	50株/坪	7月中旬	幼穂形成期頃	8月上旬	9月中旬
窒素施用量	基肥なし		4kg/10a			

注) 植付本数は3~4本とする

たがって、「つきはやか」の種子生産に向けた栽培体系は表4の通りとなる。

表4の栽培体系に従い、農業研究所では、2024年度から「つきはやか」の種子生産を開始しているが、種子生産においては以下の点にも留意する必要がある。

- 1 「つきはやか」は茎が太く長程で茎葉の生育が旺盛なため、自脱コンバインによる収穫時に排わら処理部が詰まらないように、地際から20cm程度の高さで刈り取る。
- 2 種子生産では基肥を施用せずに栽培するため、栽培圃場を固定する場合にはリン酸および加里等を補給する必要がある。
- 3 「つきはやか」の種子は休眠が深い傾向にあることから、浸種期間を十分に確保する必要がある。また、葉鞘から出すくむ穂が多く、種子の表面にカビが繁殖しやすいことから、種子生産にあたっては出穂後の防除、調製する際の色彩選別および育苗時の消毒や水交換を徹底する。

IV 謝辞

供試品種である「つきはやか」および「つきあやか」の種子は、農研機構西日本農業研究センターより分譲いただいた。ここに感謝の意を表す。

V 摘要

「つきはやか」の種子生産に適した栽培体系は、6月上旬に基肥窒素を施用せずに、栽植密度50株/坪程度の疎植で栽培し、穂肥として幼穂形成期頃に4kg/10aの窒素を施用して栽培し、9月中旬に迎える成熟期に収穫するものである。

VI 引用文献

- 藤本寛・松下景・中込弘二・森伸介(2016) 短穂飼料用イネ品種の効率的種子生産方法の検討. 近畿中国四国農業研究センター研究報告16:13-27.
- 保科亨・上藤満宏(2011) イネ発酵粗飼料用品種「たちすずか」の収量 および収量構成要素に及ぼす施肥の影響. 日作紀80(別1):260-261.
- 保科亨(2014) WCS 専用水稲品種「たちすずか」の子実収量に及ぼす 晩植条件での栽植密度および窒素施用の影響. 日作紀83(別1):38-39.
- Iwata, N. and T. Omura (1971) Linkage analysis by reciprocal translocation method in rice plants (*Oryza sativa* L.). II. Linkage Groups corresponding to the chromosome, 5, 6, 8, 9, 10 and 11. *Sci. Bull. Fac. Agr. Kyushu Univ.*, 25:137-153.
- Li S., Q. Qian, Z. Fu, D. Zeng, X. Meng, J. Kyojuka, M. Maekawa, X. Zhu, J. Zhang, J. Li and Y. Wang (2009) Short panicle 1 encodes a putative PTR family transporter and determines rice panicle size. *Plant J.*, 58:592-605.
- 松下景・飯田修一・出田収・春原嘉弘・前田英郎・田村泰章(2012) 茎葉多収で消化性に優れ高糖分含量の飼料用水稲品種「たちすずか」の育成. 近中四農研報11:1-13.
- 村田和優・北崎颯汰・板谷恭兵・小島洋一朗(2026) 富山県に適した稲発酵粗飼料(稲WCS)用品種「つきはやか」の選定. 富山農総セ農研報10:7-12.
- 農研機構プレスリリース(2017)(研究成果) 縞葉枯病に強い発酵粗飼料用イネ新品種「つきすずか」.
https://www.naro.go.jp/publicity_report/press/laboratory/warc/077595.html
 (2025年12月5日閲覧)
- 農研機構プレスリリース(2020) 縞葉枯病に強

いネ発酵粗飼料専用品種の育成 早生の「つきはやか」と中生の「つきあやか」.

https://www.naro.go.jp/publicity_report/press/laboratory/warc/137110.html

(2025年12月5日閲覧)

(2025年12月9日受付. 2026年3月9日受理)

Cultivation Method for Seed Production of "Tsukihayaka", a Rice Cultivar for Fermented Rice Forage (Rice Whole Crop Silage)

Kazumasa MURATA, Sota KITASAKI, Kyohei ITAYA*, Rei NAGAOKA and Yoichiro KOJIMA

Summary

The cultivation system suitable for the seed production of "Tsukihayaka" is as follows: in early June, without applying basal nitrogen fertilizer, the cultivar planting is sparsely planted at a density of about 15 plants per m² at a spot with 3 to 4 seedlings. Following this, about 4 kg/10a of nitrogen fertilizer is applied at the juvenile panicle formation stage, allowing harvesting to take place at its maturity in mid-September.

*Present Address: Toyama Prefectural Agricultural Technology Division, Toyama City, Toyama Prefecture 930-8501

高糖分茎葉型水稻品種「つきはやか」の良質な稲発酵粗飼料に向けた水管理法と収穫時期

東 英男・板谷恭兵¹・北崎颯汰・鍋島裕佳子²

Hideo AZUMA, Kyohei ITAYA, Sota KITASAKI, Yukako NABESHIMA: Effects of water management and harvesting timing after heading on stable production in rice whole crop silage of the "Tsukihayaka" high-sugar foliage rice cultivar

が得られたので報告する。

I 緒言

本県での稲発酵粗飼料（以下稲WCS）の利用が広がっているが、これまでは、稲WCS専用品種の県内産種子の供給体制や、それらの栽培体系が未確立だったことから、主に「コシヒカリ」などの主食用品種が用いられてきた。しかし、それらは、飼料としての消化性が悪い籾の割合が高い（新出、2010）、サイレージ調製に必要な糖の含有率が低い（河野、2016）などの課題があった。また、現地生産において、主食用品種をWCS用途として利用する際には、籾の割合を減らすために出穂期頃に収穫することから、早期に落水する栽培体系が一般的である。この体系により、土壌硬度を保ち、収穫機等の大型機械の作業効率を高めることが可能となる。一方、中干し以降はほぼ天水管理となることから、稲体の地上部乾物重が小さくなり、また、稲体の糖含有率が低下し、サイレージ品質や嗜好性が低下するなどの問題が生じている。

近年、従来品種に比べ籾の割合が低く、茎葉部の糖含量の高い高糖分茎葉型の稲WCS専用品種が農業・食品産業総合技術研究機構（以下農研機構）にて開発されている（農研機構、2022）。それらの中から、本県での栽培に適し収量性に優れた品種として「つきはやか」が選抜された（北崎ら、2026）。そこで、本研究では、「つきはやか」を用いた稲WCSの乾物重の最大化と糖含有率の向上及び収穫期の地耐力の確保を目的とし、落水時期及び収穫時期を検討したところ、有用な結果

II 方法

1 土壌条件、栽培管理法

本試験は、富山県農林水産総合技術センター農業研究所内の水田（2023年:212A、Bほ、2024年:213Aほ）で実施した。土壌群は普通灰色低地土砂礫質、土性は砂壤土（SL）である。

稲WCSにおいて、施肥窒素量の増加により乾物生産量は増加するが（草ら、2018）、WCS生産に伴う窒素の持出量（日本草地畜産種子協会、2020）や、田植機の肥料ホップの積載量及び耕畜連携による堆肥からの窒素の供給量を勘案して、施肥窒素量を12 Ng/m²とした。先ず、両年とも2000g/m²程度の牛ふん堆肥（水分65%、全窒素濃度0.6% ;富山県農林水産部、2025）の散布を想定して、窒素4 g/m²相当のLP100を春耕起前に全層施肥した。次に、窒素は速効性のみを含む基肥206（N 12%-P₂O₅ 20%-K₂O 16%）で2023年は67.0 g/m²（8.0Ng/m²）、2024年は70.4 g/m²（8.5Ng/m²）を側条施肥した。

移植は、2023年は4月25日、2024年は4月26日に実施した。栽植密度は、2023年は19.3株/m²、2024年は20.4株/m²で、植付本数は、2023年は未調査、2024年は3.9本/株であり、2023年は草丈14.1cm、葉齢2.1L、2024年は草丈18.0cm、葉齢2.3Lの稚苗を機械移植した。

病害虫防除は、主食用水稻の体系に準じて、移植時に病害虫防除用剤を苗箱施薬し、本田防除は、出穂期前後に1回ずつ病害虫防除を行い、傾

1) 現 農業技術課
2) 現 食品研究所

穂期に虫害防除を行った。また、本田除草剤は、移植数日後に初期剤、移植約2週間後に体系是正剤を散布した。

2 水管理と落水時期の検討

移植後の水管理は、移植後40日頃に約5日間程度の落水期間を設けた中干しを実施し、その後は間断かん水で管理した。

落水時期の試験処理として、幼穂形成期、幼穂形成期15日後(2024年は14日後)、出穂期の3時期に落水を開始する処理区を設け、落水開始までは間断かん水を継続した。落水後は収穫まで天水管理を継続した。

3 生育調査及び地上部乾物重の検討

「つきはやか」の生育について、出穂期落水処理区の葉齢、草丈、茎数及び葉色(SPAD値)を調査した。

地上部の収穫時期の試験処理として、乳熟期の出穂期10日後、黄熟期の出穂期30日後、完熟期の出穂期50日後の3回に分けて実施した。処理区ごとに2023年は40株、2024年は15株を地際から刈り取り、80℃の乾燥機で2日間乾燥させて乾物重を求めた。

調査及び収穫は、処理区当たり2連で実施した。

4 土壌硬度の測定

土壌硬度は、山中式硬度計を作土表面に鉛直方向に差し込んで測定した。1か所につき3回の測定を3か所で行い、平均値を各処理区の土壌硬度とした。

5 単糖・二糖含量の分析

2024年の出穂期落水処理区において、出穂期10日後、30日後、50日後に地上部乾物重を求めするために収穫した試料を穂と茎葉部に分けて粉碎し、サンプルの乾物重の割合に応じて配合し、地上部全体の試料とした。分析サンプルの調製は2連で行った。

糖分析は、日本食品標準成分表2015年版(七訂)の分析法(安井ら、2015)に準じて、75%熱エタノールで抽出し、高速液体クロマトグラフィーで分析した。

III 結果及び考察

1 生育

4月25日頃に移植した「つきはやか」の生育ステージは、2023年は幼穂形成期が6月28日、出穂期が7月25日となり、2024年はそれぞれが6月29日、7月26日であり、2か年でほぼ同じであった。

出穂期落水処理区の草丈は、両年とも移植1か月後に30cm程度、幼穂形成期頃に80cm程度、穂揃期頃に115cm程度と長く、穂数は308と268本/m²であり、本県の主食用品種「コシヒカリ」の目標穂数400本/m²に比べて少なくなった。SPAD値は、6~7月にかけて44.0~49.9と濃く推移し、出穂期頃は38前後となった(表1)。また、葉鞘部分が硬く、穂重も軽かったことから、倒伏はみられなかった。

表1 「つきはやか」の草丈、茎数、SPAD値及び葉齢

年次		5/30	6/10	6/27	7/27
2023	草丈(cm)	31.9	61.3	82.3	116.8
	茎数(本/m ²)	128	354	358	308
	SPAD値	41.1	49.9	48.4	38.6
	葉齢(L)	8.3	9.9	11.4	—
年次		5/23	6/7	7/1	7/31
2024	草丈(cm)	30.0	45.4	82.1	113.7
	茎数(本/m ²)	108	238	335	268
	SPAD値	—	45.1	44.0	37.8
	葉齢(L)	5.2	8.5	12.4	15.0

注1) 調査は出穂期落水処理区で実施

注2) 2023年の最終葉齢は未調査

注3) 2023年の7/27、2024年の7/31の茎数は穂数

2 乾物重及び含水率

茎葉乾物重及び茎葉と穂の総乾物重(茎葉及び総乾物重)について、試験処理の効果は年次により異なる傾向を示したが、2か年を通じて、出穂期落水処理区で収穫時期を出穂後30日とした場合に両乾物重が最大となった(図1)。

乾物重に対する落水時期の影響について、2023年では、幼穂形成期落水処理区と幼穂形成15日後落水処理区に対し、出穂期落水処理区で茎葉及び総乾物重が大きくなり、2024年では、出穂期落水処理区の内、収穫時期が出穂後30日の条件で両乾物重が大きくなった(図1)。本試験では登熟期間中は天水管理であることから、2023年のよ

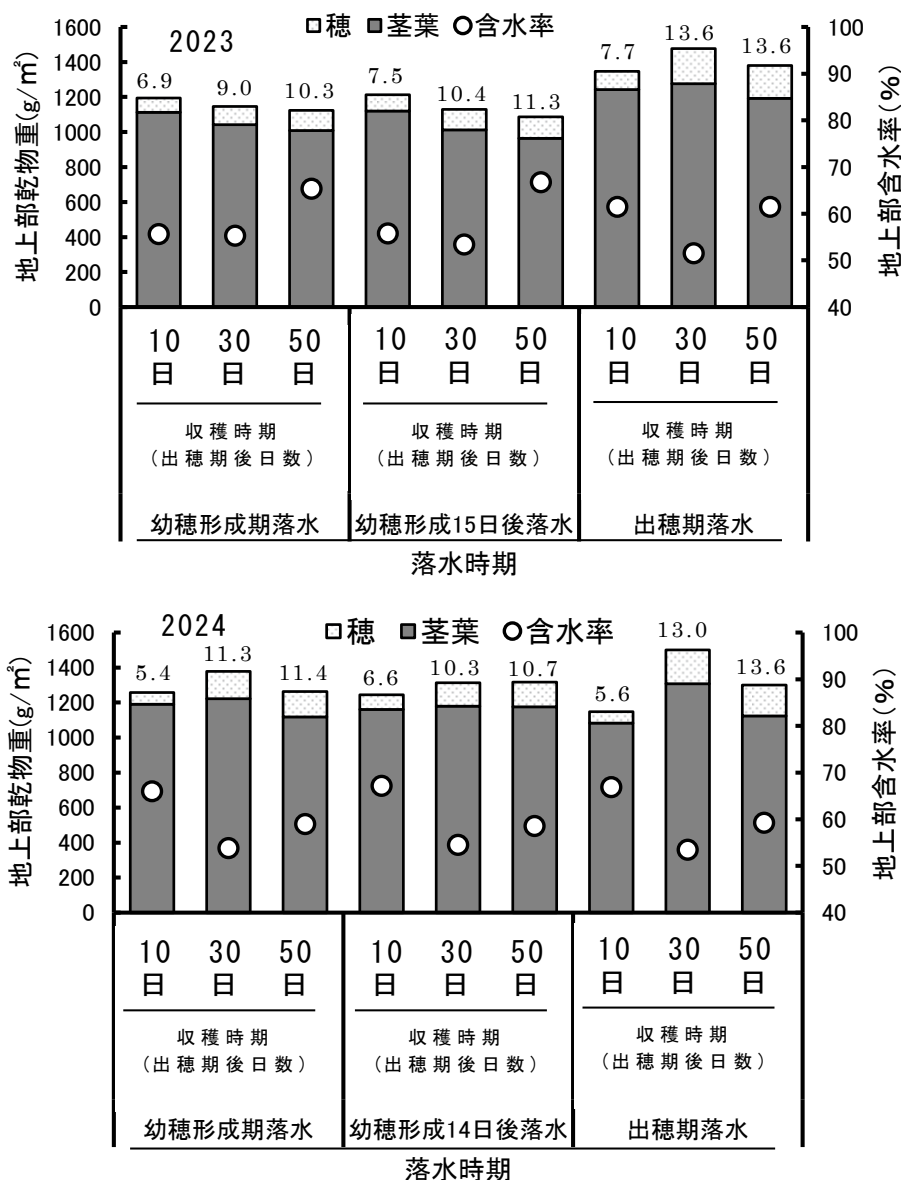


図1 落水時期及び収穫時期（出穂期後日数）と「つきはやか」の地上部乾物重及び地上部含水率の関係（上：2023年、下：2024年）

注) 図中の縦棒上の数字は全体の乾物重中の穂の乾物重の割合

うに7月21日から25日間連続で1mm/日以上 of 降雨が無い（図3）と、出穂前に落水した処理区での枯れ上がりによる同化能力が著しく低下すると考えられた。

乾物重に対する収穫時期の影響については、2023年の幼穂形成期落水処理区と幼穂形成期15日後落水処理区において、収穫時期を遅らせると茎葉及び総乾物重が漸減した（図1）。一方、2024年は、落水時期に関わらず、出穂期30日後

に収穫することで茎葉及び総乾物重が最も大きくなった（図1）。「つきはやか」の出穂後の乾物収量の推移について、小林ら（2021）や中込ら（2022）は、出穂後30～40日にかけて増加し、その後は同程度で推移すると報告している。ただし、本試験は先述のとおり落水以降天水管理としていることから、2023年の7月4半旬～8月5半旬までの降水量（富山地方気象台）が40.5mm（平年比15.6%）とかなり少なく、2024年の同期間の降水

量150.0mm(平年比57.6%)に比べ乾物重の減少に強く影響していると考えられた。また、2023及び2024年の8月の平均気温は平年に比べ3.7℃及び1.5℃高かった(データ略)ことから、稲体の呼吸活性が高まり、乾物生産の制限因子として関与していると考えられた。近年は6月~7月にかけて平年に比べ高温となる日が多く、出穂期より早く落水することによる乾物重の減少リスクが高まると考えられた。

これらのことから、「つきはやか」の乾物重をより多く確保するためには、移植後1か月頃からの中干しやその後の間断かん水を実施した上で、出穂期に落水し、出穂期30日後頃に収穫することが望ましいと考えられた。

総乾物重中に占める穂の乾物重の割合は、10%程度であり、収穫時期を遅らせることで2~8ポイント程度高くなり、落水時期に関わらず出穂期50日後の比率が最も高くなった(図1)。また、落水時期の影響としては、籾の登熟条件がより良好となる出穂期落水処理区の出穂期30日後及び50日後収穫において穂の乾物重の比率が高くなった(図1)。

穂の乾物重の比率を制限する場合は、幼穂形成期や幼穂形成期15日後に落水して収穫時期を出穂期10日後とする条件が適当と判断されるが、これは、茎葉及び総乾物重を最大化する管理条件と相反する。しかし、「つきはやか」の総乾物重中に占める穂の乾物重の割合は、「コシヒカリ」等主食用品種に比べていずれも低く、飼料価値は高いと評価できることから、落水時期や収穫時期については、茎葉及び総乾物重を最大化する条件を選択することが妥当と考えられた。

地上部の含水率は、両年の全ての落水処理区、収穫時期においても70%未満となり、いずれの処理区でも出穂期30日後の含水率が最も低くなった。また、含水率には収穫時期の影響が大きく、落水時期の違いに関して一定の傾向はみられなかった。川村(2012)は、原料草の水分が高くとラッピングしたWCS中の不良発酵を起こしやすいため、原料草の水分は70%以下であることが望ましいとしている。また、稲WCS用のダイレクト収穫体系での目標値として、水分65%前後が提示されている(日本草地畜産種子協会2020)。県内の稲WCS生産では、刈り倒した後に、ほ場内で予乾し、その後、集草・ラッピングする体系が一般的ではあるが、出穂期30日後であれば、い

ずれの収穫体系においても、目標の含水率以下で収穫が可能になると考えられた。一方、いずれの処理区でも出穂期30日後に比べ同50日後の地上部含水率が高くなった。達観ではあるが、「つきはやか」は出穂期30日後頃までにほとんどの籾が黄化して成熟期を迎えており、その後に上位節から生じた茎葉部が、出穂期50日後までに生長したため、地上部含水率が高くなったのではないかと考えられた。

3 単糖・二糖含有率

出穂期落水処理区の「つきはやか」の地上部全体の単糖・二糖含有率は、乾物重割合で出穂期後30日頃に最も高い7.0%となった(図2)。出穂期30日後のサンプルでは、出穂期10日後、50日後のものに比べ、シュクロース含有率が3ポイント程度高かった。また、成熟期の「コシヒカリ」の単糖・二糖含有率は4.2%と低く、「つきはやか」の含有率は「コシヒカリ」の1.7倍相当であり、その含有率の差は単糖の割合の差に起因するものだった。一般的に、高品質な牧草サイレージの調製には単糖・二糖の割合を主とする水溶性炭水化物含量が6.5%以上必要と報告されており(増子、1999)、水溶性炭水化物含量が低い稲を用いたWCSでは、嫌気条件下の乳酸発酵が不十分となり、品質が劣化すると報告されている(蔡ら、2003)。これらのことから、本試験における最適な収穫時期は出穂期30日後頃と考えられた。小

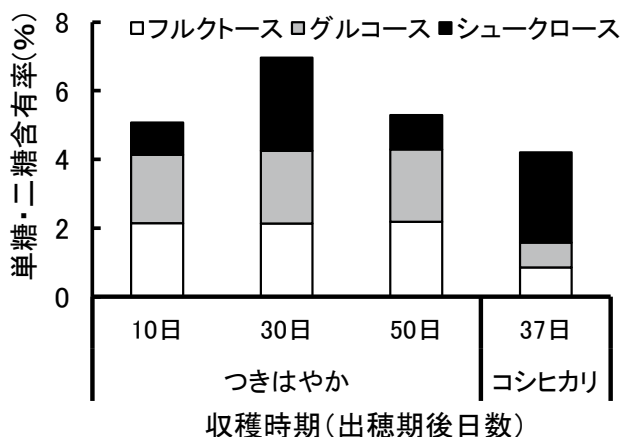


図2 出穂期落水処理区の単糖・二糖含有率の推移(2024年)

注1) 「コシヒカリ」は移植日が5/1、出穂期7/24、慣行の水管理で栽培した試験でのデータ

注2) 単糖・二糖含有率は乾物当たり

林ら（2021）は、窒素肥料と汚泥発酵肥料を窒素成分でそれぞれ14Ng/m³、31Ng/m³を施肥して「つきはやか」を栽培した際、出穂期後の茎葉部の単少糖含有率が10%を超えたと報告している。一方、収量向上のために窒素施肥量を増やすと、稲体の窒素濃度が上昇し、発酵品質が低下するとの報告もある（草ら、2018）ことから、今後、水溶性炭水化物量をさらに向上させるためには、本試験よりも窒素供給量を増加させた上で、発酵品質も保てる範囲での窒素供給量を検討する必要があると考えられた。

4 土壌硬度

2023年は、中干し以降の6月3半旬～7月3半旬にかけての降水量が平年比180%（482mm）と多く、中干し以降に間断かん水で管理しても、土壌硬度は10mm未満と軟らかく推移した(図3)。その後は9月1半旬までの降水量がかなり少なかったことから、いずれの処理区においても、落水後、無降雨日が4日程度続くことで15mm以上の土壌硬度となり、無降雨日が10日程度続いた後は20mm程度で安定して推移した。一方、2024年は、中干し以降の6月3半旬～7月2半旬にかけての

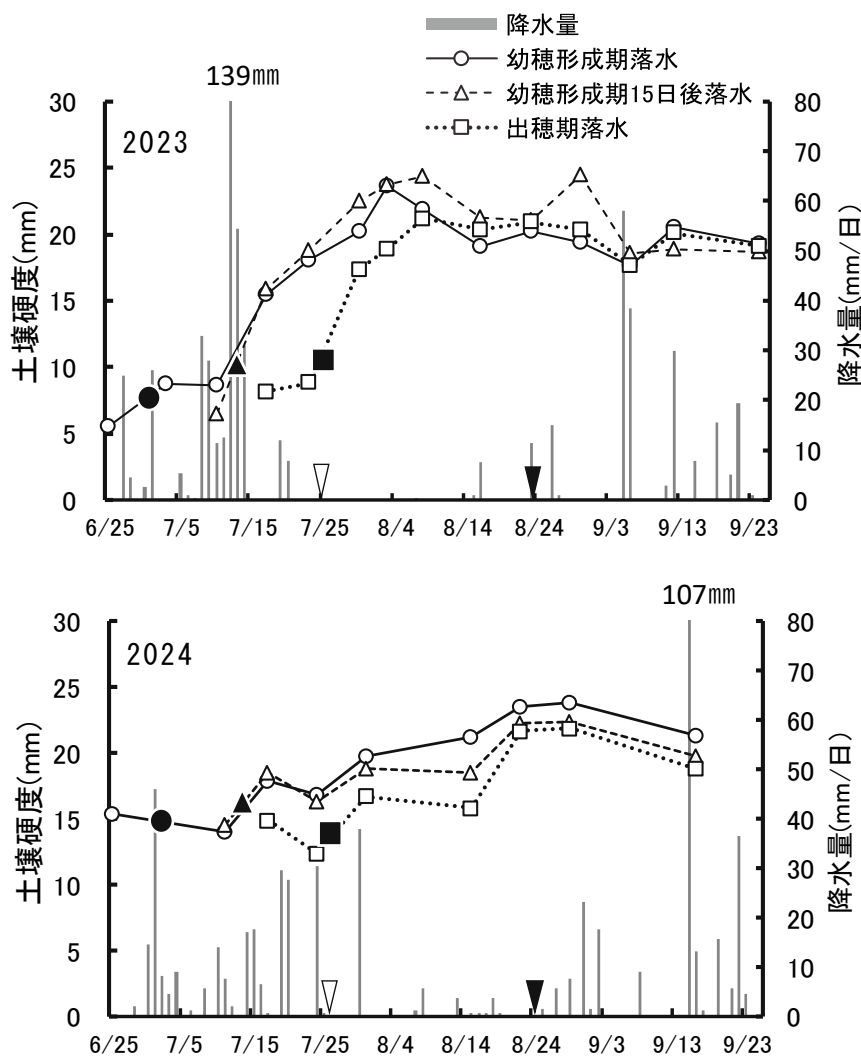


図3 落水時期の違いによる土壌硬度の推移及び降水量
(上：2023年、下：2024年)

注1) 降水量は富山地方気象台
 注2) 図中の▽は出穂期、▼は出穂30日後
 注3) 黒色の塗りつぶしのシンボルは落水日

降水量が平年比96% (257mm) であり、中干し以降の間断かん水期間中に土壌硬度は15mm程度となり、落水後は2日以上は無降雨日があれば、土壌硬度は3ポイント程度上昇し、8月以降は16~24mmの範囲で推移した。いずれの年も8月の降水量は平年の2割程度と少なかったことから、落水後の土壌硬度に大きな低下はみられず、出穂期30日後には20mm以上の土壌硬度が確保された(図3)。農業研究所のほ場は常願寺川扇状地上にあり、地下水位が低く、粘土含量が少ない砂壤土であることから、中干しや間断かん水により足が沈まない程度まで土壌を固めることにより、落水以降の土壌硬度が硬く維持されやすいと考えられた。

一般的に、大型機械の安全な作業が可能な貫入抵抗値はロータリー耕で $5.0\text{kg}/\text{cm}^2$ 、プラウ耕で $6.5\text{kg}/\text{cm}^2$ 程度と言われている(福田、1998)。在原・渡辺(1993)は、貫入硬度計の抵抗値を表すコーン指数の常用対数と山中式硬度計との間に正の相関関係を明らかにしており、その関係式に 5.0 及び $6.5\text{kg}/\text{cm}^2$ を代入すると、山中式硬度計での土壌硬度はそれぞれ 13.6 、 15.0mm 程度と算出される。また、2023年の細粒質普通疑似グライ土の現地ほ場において、ロールベラーを装着した155馬力の大型トラクタによる作業が実施され、トラクタの浅いタイヤ跡の周辺で未攪乱の作土表面の土壌硬度を測定したところ、 15mm 程度であった(データ略)。このことから、 15mm 以上の土壌硬度の確保が、大型トラクタ等で安定した作業を実施するための一つの目安として有用と考えられた。この目安によると、本試験では、落水時期に関わらず出穂期30日後までには山中式硬度計で 15mm を超える土壌硬度に達しており(図3)、一定の地耐力が期待できる程度まで土壌のち密化が進行していたと考えられた。

気象データによると、富山地方気象台の8月上旬の平年の降水量は、7~9月の旬ごとの降水量の中で最も少なく、気温も高いことから、この時期を中心にほ場の地耐力を高めることが効率的と考えられる。また、「つきはやか」の茎葉及び総乾物重を大きくするとともに糖含量を高めるためにも、7月下旬の出穂期に落水し、出穂期後30日に収穫する体系が有効であると考えられる。

ただし、粘質なほ場や地下水位の高いほ場、耕盤が軟らかいほ場等においては、降雨後に土壌が軟らかくなりやすく(松浦ら、1971)、表層

から 20cm 以内の土壌硬度が軟らかくトラクタの沈下量が大きくなる場合がみられること(新村、1991)に留意する必要がある。このようなほ場では、中干し期間の延長や間断かん水時の落水期の延長、中干し前後の溝掘り等により、十分な地耐力を確保することが望ましいと考えられる。

IV 摘要

2023及び2024年の2か年にわたり、高糖分茎葉型品種「つきはやか」を4月25日頃に移植したところ、7月25日頃に出穂した。両年とも登熟期の降水量が少ない年であったが、より多くのWCSを確保するためには、移植後40日頃の中干しの実施により地耐力を確保するとともに、出穂期頃まで間断かん水を実施し乾物重の増加を図り、その後に落水することが望ましい。このような水管理では、乾物重、地上部全体の糖含量及びサイレージ発酵に適した含水率を考慮すると、最適な収穫期は出穂期30日後頃と考えられる。また、上記の水管理により、作業性の高いほ場表層の土壌硬度が確保された。

引用文献

- 在原克之・渡辺春朗(1993) グライ層の位置と土性からみた耕盤形成の実態 千葉県の水田における実態. 土肥誌、64、623-629.
- 福田 敬(1998) 新版 土壌肥料用語辞典(藤原俊六郎・安西徹郎・小川吉雄・加藤哲郎編)、農村漁村文化協会、東京. p22-28
- 蔡 義民・藤田泰仁・村井 勝・小川増弘・吉田宣夫(2003) 飼料イネサイレージ調製への乳酸菌(*Lactobacillus plantarum* 畜草1号)の利用. 日草誌、49、p477-485.
- 川村 修(2012) 原料作物のサイレージ適性. 最新サイレージバイブル(安宅一夫監修)、酪農学園大学エクステンションセンター、江別. p55-61.
- 小林英和・中込弘二・千田雅之(2021) 早晩性の異なる極短穂型WCS用イネの同一収穫日における乾物収量及び飼料成分の比較. 日作紀、90、83-91.
- 河野幸雄(2016) 極短穂型品種(高糖分高消化性稲発酵粗飼料専用品種)の飼料特性と牛への給与. 畜産技術、7月号、21-24.

- 草 佳那子・上垣隆一・木村俊之（2018）窒素施肥と収穫時期が稲発酵粗飼料用品種「たちすずか」の材料草及びサイレージの化学成分と発酵品質に及ぼす影響. 日草誌.64.7-17.
- 松浦欣哉・青木研一・前原貞一（1971）湿田地帯における機械収穫に関する研究 第1報 小型機収穫作業におよぼす表面土壌硬度と降水量の関係. 農作業研究、11、61-64.
- 増子孝義（1999）サイレージの発酵. サイレージ科学の進歩（内田仙二編）、デーリィ・ジャパン社、東京. p86-131.
- 北崎颯汰・村田和優・板谷恭兵・小島洋一朗（2026）富山県に適した稲発酵粗飼料（稲WCS）用品種「つきはやか」の選定. 富山農研報告、10、7-12.
- 中込弘二・藤本 寛・石岡 巖・笹原英樹・重宗明子・出田 収（2022）西日本地域における極短穂性を有するイネ品種の出穂期後の飼料成分含有率の変動とその要因. 日昨紀.91.59-66.
- 日本草地畜産種子協会（2020）稲発酵粗飼料生産・給与技術マニュアル第7版. p1-221.
https://souchi.lin.gr.jp/skill/pdf/manual_vol7.pdf
- 新出昭吾（2010）乳牛における飼料イネWCS給与と課題. 日草誌、55、365-372.
- 農研機構プレスリリース（2022）（研究成果）縞葉枯病に強いイネ発酵粗飼料専用品種の育成 早生の「つきはやか」と中生の「つきあやか」.
https://www.naro.go.jp/publicity_report/press/laboratory/warc/137110.html
- 新村善男（1991）水田土層の硬度測定による機械の作業性判定基準の設定. 農業技術、46、p6-9.
- 富山県農林水産部（2025）令和7年度 水稻・大豆・大麦栽培技術指針. p13.
- 安井明美・渡邊智子・中里孝史・瀧上賢一編（2016）日本食品標準成分表2015年版(七訂)分析マニュアル・解説、第6章 炭水化物及び有機酸、p174-183.建帛社、東京.

（2025年12月18日受付 2026年3月27日受理）

Effects of water management and harvesting timing after heading on stable production in rice whole crop silage of the “Tsukihayaka” high-sugar foliage rice cultivar

Hideo AZUMA, Kyohei ITAYA¹, Sota KITASAKI, Yukako NABESHIMA²

Summary

This study aims to maximize the dry matter weight of whole crop, improve the sugar content of the rice, and secure the soil bearing capacity at harvest time when we plant the “Tsukihayaka” rice cultivar, in order to change the timing of irrigation-drainage schedules and harvesting after heading. In 2023 and 2024, “Tsukihayaka” was transplanted around April 25th, and heading occurred around July 25th. In this study, it was thought that we could ensure a higher weight of WCS by carrying out mid-drying after 40 days from transplanting, followed by intermittent irrigation until the draining around the heading stage. Furthermore, when we cultivated the aforementioned irrigate treatment, the dry weight of the whole crop was the highest, the moisture content was the lowest, and the sugar content was also the highest at 30 days after heading. Because of this, it was thought that the optimal harvest day would be around 30 days after heading. Through the same irrigation treatment, we were able to ensure the soil surface hardness in a rice paddy field that could be worked upon by a large agricultural machine.

1) Toyama Prefectural Agricultural Technology Division, 2) Food Research Institute

大麦の全量基肥肥料におけるプラスチックフリー化の検討

高橋 正樹・山田 宗孝¹・稲原 誠・野村 幹雄²

Masaki TAKAHASHI, Munetaka YAMADA¹⁾, Makoto INAHARA and Mikio NOMURA²⁾
: Evaluation of plastic-free based fertilizer for barley cultivation

II 材料および方法

I 緒言

富山県内の大麦栽培では、肥効調節型全量基肥肥料が広く使用されており、その多くはプラスチック樹脂製被膜（以下プラ被膜）を含んでいる。この肥料は、徐々に肥料成分が溶出する（小林ら、1995）ことから、追肥の手間が省け省力化につながるとともに、作物の生育に合わせた肥料成分の溶出により肥料の使用量を低減させることが可能であり、地下水域への養分流出も抑えられるため環境負荷も低減できるとされている（足立、2000）。一方で、この窒素成分溶出後の樹脂製被膜が水稲作の落水等で農地から流出し、プラスチックによる海洋汚染問題の一因となることが指摘されており（勝見ら、2022）、プラスチックを含まない肥料への転換が求められている。そこで、被膜にプラスチック成分を含まない硫黄被覆肥料（以下、SCU）や、化学合成樹脂肥料を配合した全量基肥肥料について、大麦の生育、収量および品質を調査し、その適用性を検討した。併せて、従来のプラ被膜の緩効性窒素肥料とSCUの一部を置き換えた肥料の適応性や、プラスチックフリー肥料への追肥の効果を検証した。

また、肥料の肥効特性を判断するために窒素溶出の確認が必要となるが、SCUはプラ被膜の緩効性窒素肥料に比べ被膜の崩壊性が高いため、従来の埋込法による溶出特性の把握が困難である。このため、植物体地上部の窒素吸収量と生育量による肥料特性の把握について併せて検討した。

(1) プラスチックフリー肥料による大麦栽培試験

富山県農林水産総合技術センター農業研究所内の沖積砂壤土ほ場において、2021~2023年産の3年間、大麦「ファイバースノウ」を用いて栽培試験を行った。供試肥料は、プラ被覆肥料であるJコート50（地温25℃の条件で約50日で窒素成分の80%が溶出）肥料配合の全量基肥（以下、J50）を対照とし、SCUのうち、短期溶出型（以下、SCU-S）、中期溶出型（以下、SCU-M）、中長期溶出型（以下、SCU-L）、長期溶出型（以下、SCU-LL）肥料配合の全量基肥、化学合成樹脂肥料であるウレアホルム（以下、UF）およびイソブチルアルデヒド縮合尿素（以下、IB）肥料配合の全量基肥を用いた試験区を設けた（表1）。試験区1区あたり26.25㎡（2021年産）、12.25㎡（2022年産）および15.75㎡（2023年産）とし、各区窒素施用量が13.5kg/10aとなるよう播種同時で側条施用した。播種量は6.5kg/10aとし、条間25cmでドリル播種した。リン酸および加里は全量基肥とは別にあらかじめ10kg/10aを全層で施用した。

表1 試験構成

肥料	年産		
	2021	2022	2023
J50(対照)	○	○	○
SCU-S	○	—	—
SCU-M	○	○	○
SCU-L	—	○	○
SCU-LL	—	○	—
UF	—	○	—
IB	—	○	○

1) 現 富山県薬事総合研究開発センター

2) 現 富山県農業技術課

表2 試験肥料の配合(2021年産)

処理区	成分(%)						リン酸	加里
	窒素					速効性		
	全窒素	内訳						
		J50	SCU-S	SCU-M				
J50(対照区)	30	6.2	23.8				9.0	9.0
SCU-S	30	2.2		27.8			5.0	9.0
SCU-M	30	2.2			27.8		5.0	9.0

表3 試験肥料の配合(2022年産)

処理区	成分(%)								リン酸	加里
	窒素							速効性		
	全窒素	内訳								
		J50	SCU-M	SCU-L	SCU-LL	UF	IB			
J50(対照)	30	6.2	23.8						9.0	9.0
SCU-M	30	2.2		27.8					2.0	7.0
SCU-L	30	2.2			27.8				2.0	7.0
SCU-LL	30	2.2				27.8			2.0	6.0
UF	30	2.2					27.8		6.0	9.0
IB	30	2.2						27.8	2.0	4.0

表4 試験肥料の配合(2023年産)

処理区	成分(%)						リン酸	加里
	窒素					速効性		
	全窒素	内訳						
		J50	SCU-M	SCU-L	IB			
J50(対照)	30	6.3	23.7				9.0	9.0
SCU-M	30	2.2		27.8			2.0	7.0
SCU-L	30	2.2			27.8		2.0	7.0
IB	30	2.2				27.8	2.0	4.0

試験区の反復は、2021年産は2反復、2022および2023年産は3反復とした。各試験肥料の供試年次は表1のとおりとし、試験肥料の配合は表2、表3および表4に示したとおりとした。調査項目は大麥の生育(草丈、莖数、葉色)、窒素吸収量、収量、収量構成要素および品質を調査した。

(2) プラ被膜肥料のSCUへの一部置き換え試験および窒素追肥試験

(1)と同所内の沖積砂壤土ほ場において、2021および2023年産の2年間、大麥の栽培試験を行った。大麥の品種および播種条件は(1)と同様とし、供試肥料は、J50を対照として、SCU-SとJ50の混合区(以下、SCU-S+J50)、SCU-MとJ50の混合区(以下、SCU-M+J50)、SCU-Mを基肥として硫酸を追肥する試験区を設けた(表

5)。試験区1区あたり26.25㎡(2021年産)および15.75㎡(2023年産)とし、試験区の反復は、2021年産は2反復、2023年産は3反復とした。各試験肥料の供試年次は表5のとおりとし、試験肥料の配合は表6および表7に示したとおりとした。調査項目は(1)と同様とした。

(3) 肥料溶出特性把握試験

(1)と同所内の沖積砂壤土ほ場において、2022および2023年産の2年間、大麥の地上部の窒素吸収量および生育調査を行った。大麥の品種は(1)と同様とした。

各試験区の播種面積は2㎡(1.4m×1.4m)とした。2022年産はJ50、SCU-Mの2種類の肥料を各N10g/㎡全層施肥し、肥料から溶出した窒素を十分に植物体が吸収する播種量を検討するため、

12g/m²（播種粒数333粒/m²）および17g/m²（播種粒数472粒/m²）の2水準として均一に手播きした（表8）。2023年産はJ50、SCU-M、IBの3種類の肥料を各N10g/m²全層施肥し、播種量は12g/m²（播種粒数338粒/m²）の1水準として、2022年産と同様に手播きした（表9）。播種後、加工床土を約1cmの厚さで覆土した。

大麦地上部のサンプリングは播種2か月後、茎立期および成熟期に実施した（表8、表9）。生育調査については、2023年産は播種2か月後、茎立期および成熟期に草丈、茎数および葉色を調査項目とした。大麦地上部のサンプリング面積は各試験区1m²とし、窒素吸収量を測定した。

表5 試験構成

肥料	年産	
	2021	2023
J50(対照)	○	○
SCU-S + J50	○	—
SCU-M + J50	—	○
SCU-M + 追肥	—	○

表6 試験肥料の配合（2021年産）

処理区	成分(%)					
	全窒素	窒素			リン酸	加里
		速効性	J50	SCU-S SCU-M		
J50(対照)	30	6.2	23.8	—	9.0	9.0
SCU-S+J50	30	2.2	12.8	15.0	5.0	9.0

表7 試験肥料の配合および窒素追肥量（2023年産）

処理区	成分(%)						窒素追肥量 (g/m ²)
	全窒素	窒素			リン酸	加里	
		速効性	J50	SCU-M			
J50(対照)	30	6.3	23.7	—	9.0	9.0	—
SCU-M + J50	30	2.2	12.8	15.0	5.0	9.0	—
SCU-M + 追肥	30	2.2	—	27.8	2.0	7.0	2.0

注)SCU-M + 追肥区は、硫安を用い茎立期(3/7)に追肥。

表8 サンプリング実施時期（2022年産）

肥料	播種量12g/m ² (播種粒数333粒/m ²)			播種量17g/m ² (播種粒数472粒/m ²)		
	播種2か月後	茎立期	成熟期	播種2か月後	茎立期	成熟期
J50	○	○	○	○	○	○
SCU-M	○	○	○	○	○	○
無肥料	○	○	○	○	○	○

表9 調査およびサンプリング実施時期（2023年産）

肥料	播種量12g/m ² (播種粒数338粒/m ²)		
	播種2か月後	茎立期	成熟期
J50	○	○	○
SCU-M	○	○	○
IB	○	○	○
無肥料	○	○	○

注)生育調査項目(草丈、茎数、葉色)

III 結果および考察

(1) プラスチックフリー肥料による大麦栽培試験

SCU-M (2021、2022、2023年産) について、精子実重は、J50に比べ4%減～6%増となり(表10、表11、表12)、収量に有意差はみられず同等であった(表13)。一方、茎数および葉色に年次変動がみられ(表14、図1、図2、図3、図4、図5、図6)、穂数はJ50に比べてやや少ない傾向があるが、歩留で収量が補完されたと考えられた。また、品質のうち、千粒重および容積重は同等で、硝子率はやや低くなった(表10、表11、表12)。

以上のことからSCU-MはJ50と収量、品質とも同等で、J50の代替として適用可能であると考えられた。

この他、供試した試験区の結果は以下のとおりである。

SCU-S (2021年産) について、精子実重はJ50に比べ9%減と(表10)、収量性が低かった。播種後から年内の茎数はJ50に比べ多かったが、茎立期以降は少なくなったことが収量性低下の要因と考えられた(図1)。

SCU-L (2022、2023年産) について、精子実重はJ50に比べ12～16%減となり(表11、表12)、収量性が低かった。茎数および葉色に年次変動がみられ(表14、図3、図4、図5、図6)、特に

2023年産においては生育期間を通して葉色が淡く推移したことが、収量性が低くなった要因と考えられた。

SCU-LL (2022年産) について、精子実重はJ50に比べ24%減となり(表11)、J50に比べ収量性が低かった。年内の葉色が淡く(図4)、生育前半の窒素吸収量は少なかったと考えられた。

UF (2022年産) について、精子実重はJ50に比べ39%減となり(表11)、J50に比べ収量性がかなり低かった。UFの葉色は大麦の生育期間を通してかなり淡く(図6)、施肥効率が低いと考えられた。

IB (2022、2023年産) について、2022年産では葉色はJ50と同等に推移したが、2023年産では生育期間を通してかなり淡く推移した(図6、図7、図8)。精子実重はJ50に比べ同等～16%減となり(表11、表12)、J50に比べ収量の変動が大きく、生産性の安定に欠けることが明らかになった。

高山らは、水田転換畑における小麦栽培において、硫黄被覆肥料を含む全量基肥栽培用の肥料(以下、プラスチックレス肥料)の施用効果を検証し、プラスチックレス肥料を施用した小麦の生育は、樹脂被覆肥料を含む対照肥料と比べ同程度から優り、収量は気候や土壌が異なる条件においても対照肥料と同程度を確保でき、子実外観品質は同程度であるが、容積重や子実蛋白含量は低い

表10 大麦の収量および品質 (2021年産)

試験区	全重 (g/m ²)	稈重 (g/m ²)	穂数 (本/m ²)	粗子実重 (g/m ²)	精子実重 (g/m ²)	整粒割合 (%)	細麦率 (%)	千粒重 (g)	容積重 (g/l)	硝子率 (%)
J50(対照)	1481	798	551	498	377	75.6	13.4	33.2	693	88
SCU-S	1377	788	530	443	344	77.7	11.4	32.6	687	86
SCU-M	1336	724	499	457	362	79.5	10.5	33.1	688	79

注1) 穂数は坪刈の値

注2) 粗子実重, 精子実重, 千粒重は水分13%換算.

注3) 整粒割合は粒厚2.3mm以上. 細麦率は2.2mm未満.

注4) 硝子率はRN-840Iにより測定.

表11 大麦の収量および品質 (2022年産)

処理区	全重 (g/m ²)	稈重 (g/m ²)	穂数 (本/m ²)	粗子実重 (g/m ²)	精子実重 (g/m ²)	整粒割合 (%)	細麦率 (%)	千粒重 (g)	容積重 (g/l)	硝子率(%)	
										目視	機器
J50(対照)	1274	661	383	465	434	93.0	5.2	36.5	659	54	59
SCU-M	1207	632	393	445	416	93.4	4.8	36.3	657	50	52
SCU-L	1157	609	389	416	382	92.0	5.8	35.9	658	51	52
SCU-LL	1011	531	311	348	329	94.3	3.8	36.5	663	52	53
UF	849	468	282	282	264	93.5	4.9	37.0	657	51	51
IB	1338	700	414	460	431	93.6	5.3	36.6	662	53	56

注1) 穂数は坪刈の値

注2) 粗子実重, 精子実重, 千粒重は水分13%換算.

注3) 整粒割合は粒厚2.3mm以上. 細麦率は2.2mm未満.

注4) 硝子率(機器)はRN-840Iにより測定.

表12 大麦の収量および品質（2023年産）

処理区	全重 (g/m ²)	稈重 (g/m ²)	穂数 (本/m ²)	粗子実重 (g/m ²)	精子実重 (g/m ²)	整粒割合 (%)	細麦率 (%)	千粒重 (g)	容積重 (g/L)	硝子率(%)	
										目視	機器
J50(対照)	1061	478	395	473	411	87.0	8.0	35.5	727	61	72
SCU-M	1067	480	378	478	435	91.1	5.6	35.9	733	46	55
SCU-L	837	370	321	384	346	90.1	4.9	35.1	721	46	54
SCU-M + J50	1049	504	391	442	387	87.6	6.7	35.4	703	53	60
SCU-M + 追肥	1313	557	445	632	538	85.2	8.8	36.0	755	65	72
IB	819	345	297	389	344	88.4	7.4	35.9	727	46	55

注1) 穂数は坪刈の値
 注2) 粗子実重, 精子実重, 千粒重は水分13%換算.
 注3) 整粒割合は粒厚2.3mm以上, 細麦率は2.2mm未満.
 注4) 硝子率(機器)はRN-840により測定.

表13 SCU-M区の収量および品質(2021年産~2023年産)

年産	処理区	穂数 (本/m ²)	精子実重 (g/m ²)	整粒割合 (%)	千粒重 (g)	容積重 (g/L)	硝子率(%)	
							目視	機器
2021	SCU-M	499	362	79.5	33.1	688	—	79
	J50(対照)	551	377	75.6	33.2	693	—	88
2022	SCU-M	393	416	93.4	36.3	657	50	52
	J50(対照)	383	434	93.0	36.5	659	54	59
2023	SCU-M	378	435	91.1	35.9	733	46	55
	J50(対照)	395	411	87.0	35.5	727	61	72
平均	SCU-M	423	404	88.0	35.1	693	48	62
	J50(対照)	443	407	85.2	35.1	693	57	73
分散分析	年度	**	n.s.	**	**	**	n.s.	**
	肥料	n.s.	n.s.	*	n.s.	n.s.	**	**
	年度×肥料	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

注1) 精子実重、整粒割合、千粒重、容積重、硝子率：粒厚2.3mm以上の値
 注2) **: P<0.01で有意差あり、*: P<0.05で有意差あり、†: P<0.1で有意差あり、n.s. : 有意差なし

表14 大麦の茎数および穂数

年産	処理区	12月上旬の茎数		穂数	
		(本/m ²)	(対照比)	(本/m ²)	(対照比)
2021	J50(対照)	996	(100)	551	(100)
	SCU-M	946	(95)	499	(91)
2022	J50(対照)	780	(100)	383	(100)
	SCU-M	751	(96)	393	(103)
2023	J50(対照)	813	(104)	389	(102)
	SCU-M	799	(100)	395	(100)
2023	SCU-M	901	(113)	378	(96)
	SCU-L	767	(96)	321	(81)

注) 表中の()内の数値は対照を100とした場合の割合

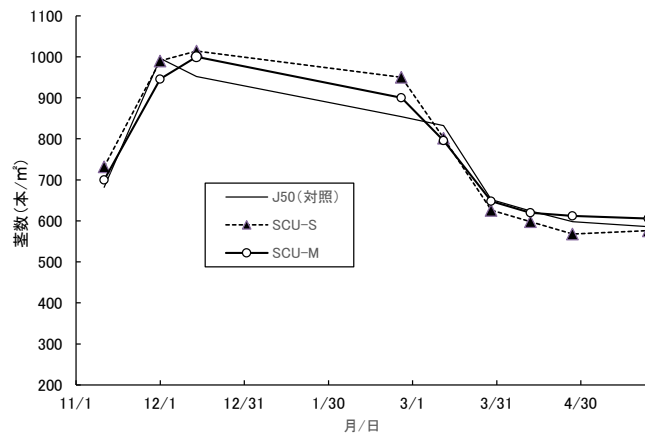


図1 茎数の推移 (2021年産)

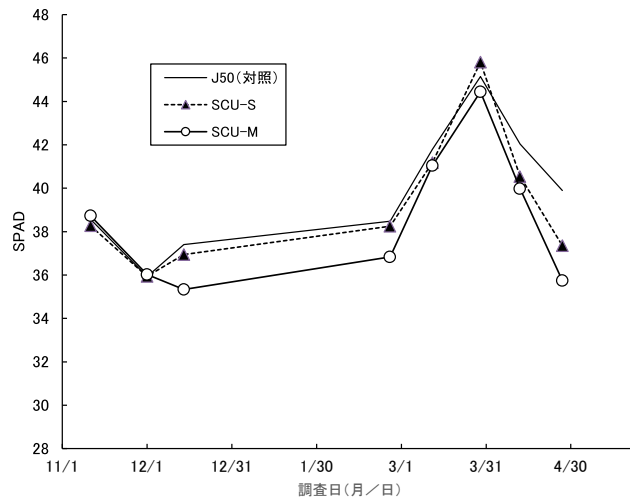


図2 葉色の推移 (SPAD502) (2021年産)

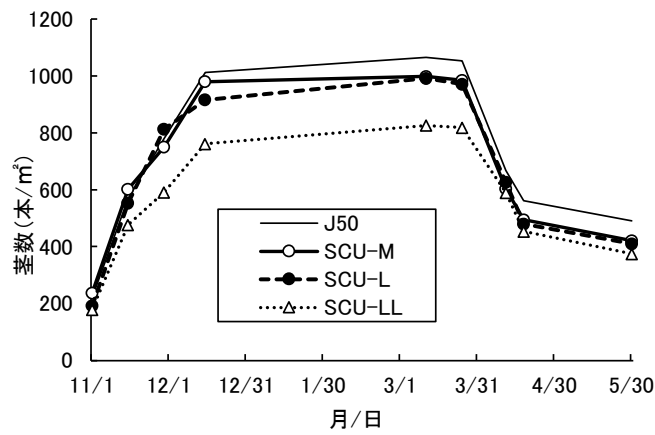


図3 茎数の推移 (2022年産)

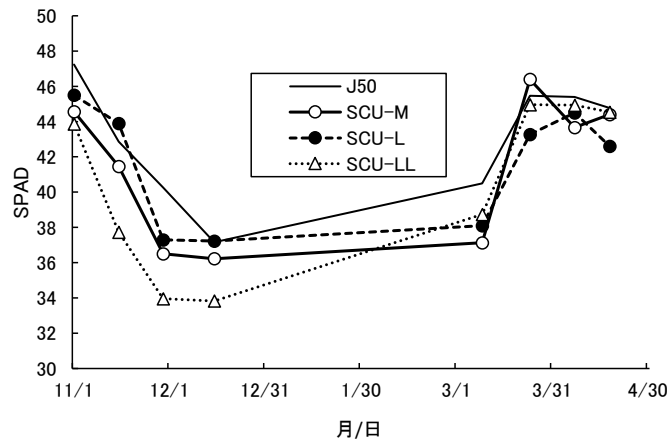


図4 葉色の推移 (SPAD502) (2022年産)

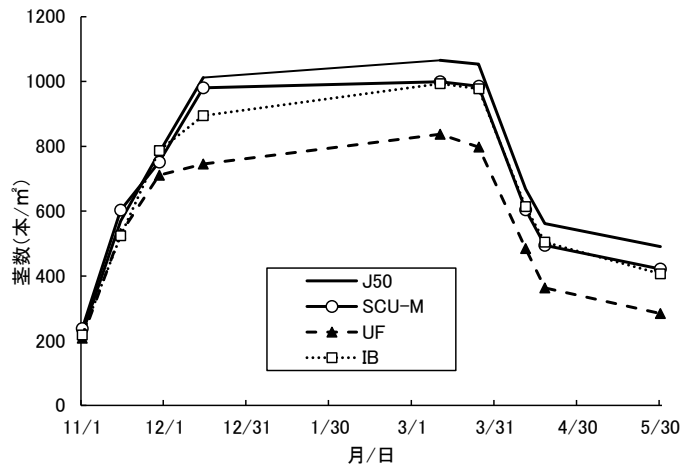


図5 茎数の推移 (2022年産)

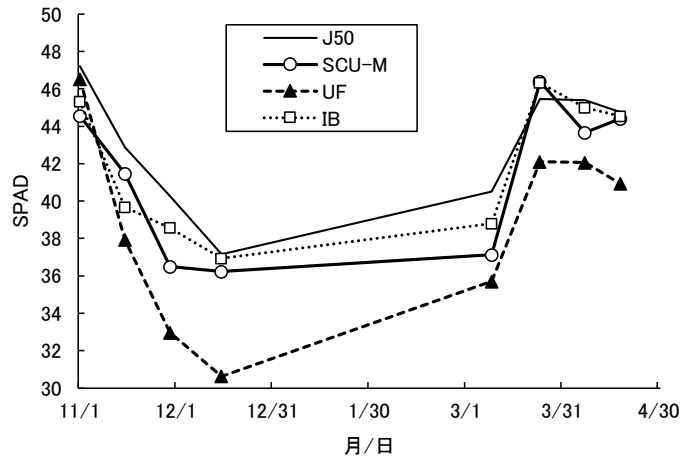


図6 葉色の推移 (SPAD502) (2022年産)

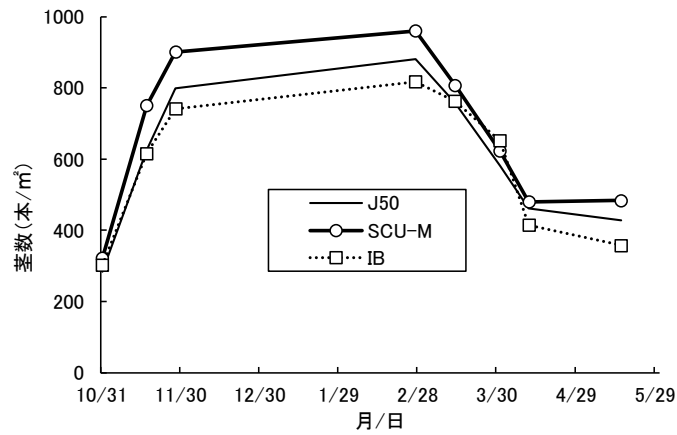


図7 茎数の推移 (2023年産)

と報告している。本研究において、SCU-Mを施用した大麦の生育はJ50と概ね同程度で、精子実重、千粒重および容積重も同程度であり、硝子率は2023年産において有意に低くなり、SCU-Mの有効性が確認できた。

(2) プラ被膜肥料のSCUへの一部置き換え試験
および窒素追肥試験

プラ被覆肥料の一部をSCUに置き換えたSCU-S+J50(2021年産)について、精子実重はJ50に比べ12%減となり(表15)、J50に比べ収量性が低かった。

一方、SCU-M+J50(2023年産)について、精子実重はJ50に比べ6%減と同等となり、品質の

うち硝子率はJ50に比べ低かった(表16)。

また、SCU-Mにおいて、茎立期追肥により収量は24%増と、増収への効果が大きかった(表16)。一方で品質のうち硝子率については追肥により高くなり、追肥の量および時期については検討が必要と考えられた。

(3) 肥料溶出特性把握試験

大麦の播種2か月後、茎立期および成熟期の1㎡あたりの窒素吸収量は、総じて播種量17g/㎡よりも12g/㎡で多く、本試験における肥料溶出特性を推定するための大麦播種量は12g/㎡を用いることにした(図9)。

播種量12g/㎡でJ50、SCU-M、IBを用い、大麦

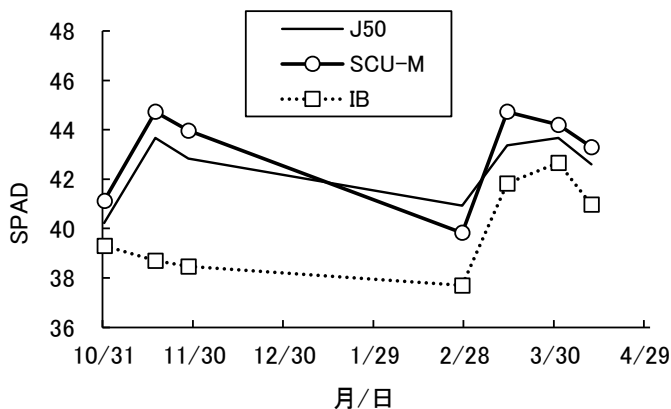


図8 葉色の推移 (SPAD502) (2023年産)

表15 大麦の収量および品質 (2021年産)

試験区	全重 (g/㎡)	稈重 (g/㎡)	穂数 (本/㎡)	粗子実重 (g/㎡)	精子実重 (g/㎡)	整粒割合 (%)	細麦率 (%)	千粒重 (g)	容積重 (g/L)	硝子率 (%)
J50(対照)	1481	798	551	498	377	75.6	13.4	33.2	693	88
SCU-S+J50	1248	665	466	419	331	79.1	10.8	33.3	692	80

注1) 穂数は坪刈の値
 注2) 粗子実重, 精子実重, 千粒重は水分13%換算.
 注3) 整粒割合は粒厚2.3mm以上. 細麦率は2.2mm未満.
 注4) 硝子率はRN-840により測定.

表16 大麦の収量および品質 (2023年産)

処理区	全重 (g/㎡)	稈重 (g/㎡)	穂数 (本/㎡)	粗子実重 (g/㎡)	精子実重 (g/㎡)	整粒割合 (%)	細麦率 (%)	千粒重 (g)	容積重 (g/L)	硝子率(%)	
										目視	機器
J50(対照)	1061	478	395	473	411	87.0	8.0	35.5	727	61	72
SCU-M	1067	480	378	478	435	91.1	5.6	35.9	733	46	55
SCU-M + J50	1049	504	391	442	387	87.6	6.7	35.4	703	53	60
SCU-M + 追肥	1313	557	445	632	538	85.2	8.8	36.0	755	65	72

注1) 穂数は坪刈の値
 注2) 粗子実重, 精子実重, 千粒重は水分13%換算.
 注3) 整粒割合は粒厚2.3mm以上. 細麦率は2.2mm未満.
 注4) 硝子率(機器)はRN-840により測定.

播種後の積算気温と窒素吸収量の関係を確認したところ、肥料により異なる吸収量となり（表17）、異なる種類の肥料の肥効について相対評価ができる可能性が示唆された。

播種2か月後および茎立期における生育データと窒素吸収量の関係をみたところ、草丈、草丈×茎数、草丈×葉色および生育量指数（草丈×茎数×葉色）との相関が高く（表18）、播種2か月後および茎立期において生育調査を行うことで窒素

吸収量を含めて肥料の溶出特性を評価できる可能性が示唆された。

なお、成熟期では葉身が枯死して葉色のデータが得られないため、生育後半の肥料の肥効の評価については、茎立期から出穂期頃までの葉色が低下する前の生育ステージでの調査を行い、別途検討する必要があると考えられた。

表17 肥料別の播種後積算気温ごとの肥料由来窒素吸収量（2023年産）

播種後積算気温(°C)	J50		SCU-M		IB	
	772	1371	772	1371	772	1371
肥料由来窒素吸収量(g/m ²)	2.3	4.7	2.8	5.2	1.4	4.1

表18 生育データと肥料由来窒素吸収量の相関係数（2023年産）

生育データ	播種2か月・茎立期
	相関係数
草丈(cm)	0.960
茎数(本/m ²)	0.824
葉色(SPAD)	0.565
草丈×茎数	0.973
草丈×葉色	0.977
茎数×葉色	0.817
生育量指数(草丈×茎数×葉色)	0.965

注1) n=6

注2) 生育量指数=草丈(cm)×茎数(本/m²)×葉色(SPAD502)

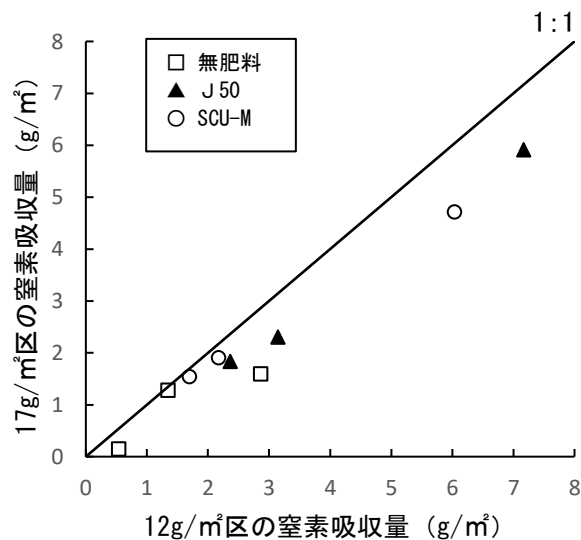


図9 播種量が異なる試験区間での窒素吸収量の関係（2022年産）

注) 肥料は3区（無肥料、J50、SCU-M）、サンプリングは3時期（播種2か月後、茎立期、成熟期）に実施

IV 摘要

砂壤土における大麦の全量基肥栽培において、プラスチック成分を含まない硫黄被覆肥料であるSCU-Mを施用した大麦の収量性はプラスチック樹脂製被膜肥料であるJ50と同程度であり、プラスチックフリー化は可能である。また、従来プラスチック樹脂製被膜の緩効性窒素肥料において実施されている埋込法では、肥料の溶出特性の把握が困難である硫黄被覆肥料および化学合成樹脂肥料について、播種量 $12\text{g}/\text{m}^2$ (播種粒数約 $330\text{粒}/\text{m}^2$)で草丈、茎数、葉色を調査することで、肥料の溶出特性を評価できる可能性が示唆された。

V 引用文献

- 足立浩一(2000) 環境負荷低減のための徐放性肥料、膜 25:255-256
- 勝見尚也ら(2023) 農耕地土壌におけるプラスチック問題の解決をめざして、日本土壌肥料学雑誌 94(4) .312-317.
- 小林 新、藤澤英司、羽生友治、日本土壌肥料学雑誌 68(1) .14-22.
- 高山尊之ら(2021)、小麦栽培におけるプラスチックを利用しない被覆肥料の施用効果、滋賀県令和3年度主要研究成果。

(2025年12月25日受付、2026年3月27日受理)

Evaluation of plastic-free based fertilizer for barley cultivation

Masaki TAKAHASHI, Munetaka YAMADA¹⁾, Makoto INAHARA and Mikiyo NOMURA²⁾

Summary

For barley cultivation using full basal dressing in sandy loam soil, the yield of barley applied with SCU-M, a sulfur-coated fertilizer that does not contain plastic components, was comparable to that of J50, a plastic resin-coated fertilizer, making it possible to go plastic-free.

Furthermore, for sulfur-coated fertilizers and synthetic resin fertilizers, it is difficult to grasp the leaching characteristics of the fertilizer using the embedding method conventionally used for slow-release nitrogen fertilizers coated with plastic resin. However, it was suggested that it may be possible to evaluate the leaching characteristics of the fertilizer by investigating the plant height, number of stems, and leaf color at a sowing rate of 12 g/ m² (approximately 330 seeds/m²).

1) Toyama Prefectural Institute for Pharmaceutical Research,

2) Toyama Prefectural Agricultural Technology Division

ダイズ黒根腐病に対する生育期の殺菌剤散布の防除効果

三室元気、山本知里¹、越智直²

Genki MIMURO, Chisato YAMAMOTO¹, Sunao OCHI²

: Evaluation of Fungicides Applied to Early Vegetative Stage Soybean for Red Crown Rot Control

I 緒言

ダイズ黒根腐病 (RCR) は、*Calonectria ilicicola* Boedijn and Reitsmaによって引き起こされる土壌伝染性の糸状菌病である。本病害は1968年に日本で初めて報告されて以来 (Misonou, 1973)、米国、韓国、カメルーン、中国、台湾でも*C. ilicicola*のダイズに対する病原性が記録されている。近年では、RCRの発生が米国中西部で拡大しており、一部の圃場では収量に甚大な被害をもたらしている (Kleczewski et al., 2019)。

*C. ilicicola*に感染したダイズは、開花開始以降に葉に葉脈間クロロシス及びネクロシスを生じ、特に側根で根の腐敗が発生する。これにより、収量 (Berner et al., 1988; Kleczewski et al., 2019; Akamatsu et al., 2020; Ochi et al., 2022) と品質 (Ochi et al., 2022) の両方が著しく減少する。

*C. ilicicola*は発芽後のどのステージでもダイズに感染する可能性があるが (Nishi et al., 1987; Kuruppu et al., 2004)、症状は通常、開花期以降から現れる。感染した根に形成される多数の微小菌核は、翌年の主要な感染源となり、土壌中で7年以上生存できるため (Nishi and Sato, 1994)、防除は極めて困難である。RCRの防除に関して、晩播 (Ochi et al., 2013; Kuruppu et al., 2004)、畝立て播種 (Sato et al., 2010) など、いくつかの研究が行われてきたが、未だに高い有効性を持つ防除法は確立されていない。

ダイズ炭腐病やRCRのような土壌伝染性病害は、抵抗性品種の選択の費用対効果が高いとされているが (Mueller, 2025)、RCR抵抗性のダイズ品種は現在までに開発されておらず (Nakajima et al., 1994)、またRCRに対する抵抗性反応は不安

定であり、研究間で変動することがしばしばある (Nakagawa et al., 1990; Nakajima et al., 1994)。近年、RCRに抵抗性を示す*Glycine soja*由来の雑種系統が明らかとなり (Taguchi et al., 2025)、抵抗性品種の開発が進んでいるが、その効果は圃場抵抗性に由来するため、実用的な有用性は限定的であることから、有効な化学的防除技術の開発が求められている。

RCRの化学的防除法を開発するため、Nakagawa and Ochi (2006) 及び Wu et al. (2023) は、種子処理及び生育期散布に有効な殺菌剤のスクリーニングを行った。現在、日本では、フルジオキシソニル成分を含む種子処理剤と、発芽後4週間以降に使用するための登録されたテブコナゾール剤がRCR防除剤として市販されているが、フルジオキシソニルは浸透移行性が不足しているため (Hilber et al., 1995)、その有効性は初期段階の病害防除に限られ、全生育期間を通じた包括的な病害管理には不十分である。出芽後4週間目のテブコナゾール散布は有望であることが示されているが (Matsuda et al., 2020)、節間伸長抑制作用があるため (Nakagawa and Ochi, 2006; Matsuda et al., 2020)、潜在的に収量減少につながる可能性があることから、慎重な対応が求められる。米国では、温度と光が制御された試験条件下で、フルジオキシソニルに加えてピジフルメトフェン及びフルオピラムの種子処理を用いた初期生育段階の病害防除試験例がある (Kleczewski and Geisler, 2022) もの、今日まで、ダイズの全生育期間を通じて一貫したRCR防除を可能にする方法は確立されていない。

植物病害防除における殺菌剤の有効性を確認するためには、複数年にわたる試験を実施する必要がある。したがって、過去の研究で同様の条件下

1) 富山県農業技術課、〒930-8501 富山県富山市吉岡1124-1

2) 農研機構 植物防疫研究部門、〒305-8666 茨城県つくば市観音台2-1-18

で実施された統合分析は、コストと労力の点で大きな利点がある。複数の研究を統合するメタアナリシス及び、ネットワークメタアナリシス(NMA)は、医療分野で新規薬剤と既存薬剤の効果を比較するために用いられており(Pignon and Hill 2001, Crowther et al. 2010)、近年では植物病理学でも使用されている(Rosenberg et al. 2004)。メタアナリシスは、個々の試験間の異質性が少ない試験で、2つの処理の効果を比較するために用いられるが、更に3つ以上の処理の効果を比較することはできない。

一方、NMAは、3つ以上の処理間の比較や各研究間で同一の処理を共通の参照点として使用することで直接比較されていない処理間の間接的な比較を可能にし、また、処理の順位付けも可能である(White, 2015)。ただし、メタアナリシスと同様に、NMAが適用される研究全体において処理が十分に類似している必要があり、さらに、異なる試験結果を統合するためには直接比較と間接比較の結果が矛盾していないことに留意する必要がある(White, 2015)。NMAは医療分野で適用が拡大しているが(Carroll and Hemmings, 2016)、植物病理学での報告はほとんどなく、最近では、Kawaguchi et al. (2023) が、13年間にわたる複数のブドウ園で複数の生物的防除剤を比較するためにNMAを実施し、ブドウ根頭がんしゅ病に最も効果的な生物的防除剤を選抜した報告のみである。そこで、本研究ではダイズの全生育期間を通じたRCR防除体系の構築を目指し、生育期

における殺菌剤の株元散布による防除効果を検証した。具体的には、複数の殺菌剤および散布体系について、NMAを用いることで、異なる試験条件下のデータを統合し、最適な薬剤と散布方法のスクリーニングを試みた。

II 材料および方法

圃場試験はRCRが常発する富山県の富山県農林水産総合技術センター内の5つの圃場で、2022年から2024年にかけて実施した。試験した殺菌剤は、RCR防除用に登録されているテブコナゾール(シルバキュアフロアブル、バイエルクロップサイエンス社製)に加え、フルオピラム(オルフィンフロアブル、バイエルクロップサイエンス社製)およびピジフルメトフェン(ミラビスフロアブル、シンジェンタ社製)を用いた。このうち、フルオピラム及びピジフルメトフェンは、米国等において種子処理剤(前者はIleVO: BASF社製、後者はSaltro: Syngenta社製)としての有効性が報告されているが(Sjarpe et al., 2015; Kleczewski and Geisler, 2022)、生育期のダイズ株元への散布適用による防除効果については検討例がない。これらの殺菌剤について、RCRに対するダイズ3葉期以降の地際部の茎への散布適用における有効性を調査した。

試験計画(試験年、散布量、散布回数、濃度など)は表1に要約した。すべての試験区において、畝間は80 cmとし、手散布試験では、約4 mの長さ

表1 殺菌剤散布の概要、および無処理区と比較した相対リスクと平均差

処理番号	供試薬剤			希釈倍率	薬液量(L/10a)	散布回数	散布方法	試験番号	相対リスク ^a		平均差 ^b
	成分名	有効成分の割合(%)	薬剤量(ml/10a)						発病株率	重症株率 ^c	精子実重(kg/ha)
1	テブコナゾール	40	500	200	100	2	手散布	2022_A, 2023_A, 2024_A	0.823	0.223	41.2 ^f
2	テブコナゾール	40	500	200	100	1	手散布	2023_A, 2024_B	0.689	0.141 ^e	57.0 ^f
3	フルオピラム	41.7	500	200	100	2	手散布	2022_A, 2023_A	0.592 ^d	0.025 ^e	66.9 ^f
4	フルオピラム	41.7	500	200	100	1	手散布	2023_A, 2024_B	0.67	0.236 ^e	88.9 ^f
5	フルオピラム	41.7	150	1000	150	1	手散布	2023_A, 2024_B	0.853	0.672	64.0 ^f
6	ピジフルメトフェン	18.3	500	200	100	2	手散布	2022_A, 2023_A	0.537 ^d	0.042 ^e	101.1 ^f
7	ピジフルメトフェン	18.3	100~500	1000	100~150	1	手散布	2023_A, 2024_B	0.588 ^d	0.165 ^e	77.6 ^f
8	ピジフルメトフェン	18.3	500	200	100	1	ブームスプレーヤー	2023_B, 2023_C	0.992	0.102 ^e	64.3 ^f
9	ピジフルメトフェン	18.3	100	1500	150	2	ブームスプレーヤー	2024_C, 2024_D, 2024_E	0.815	0.122 ^e	25.7
10	無処理	-	-	-	-	-	-	(すべての試験に含まれている)	1	1	0

a NMAによって算出された、各殺菌剤処理の無処理区に対する効果の大きさ(=相対リスク: 無処理区の発病・重症株率に対する各処理区の発病・重症株率の割合)

b NMAによって算出された、各殺菌剤処理の無処理区に対する効果の大きさ(=平均差: 各処理区の収量と未処理対照区の収量との差(kg/10a))

c NMAの結果、試験内および試験間の異質性は検出されなかった。

d NMAにおいて試験間の異質性が存在していたが、95%信頼区間が1.0未満になり、無処理区と比較して有意な防除効果が認められた処理区

e NMAにおいて、95%信頼区間が1.0未満になり、無処理区と比較して有意な防除効果が認められた処理区

f NMAにおいて試験間の異質性が存在していたが、95%信頼区間が0を上回っていることから、無処理区と比較して有意な増収効果が認められた処理区

で単一畝を設定し、機械散布試験では、約10 mの長さの3畝を設定した。各処理は3回以上の反復試験となっている。希釈倍率及び散布量は、登録情報及び現地慣行を参考にした。各圃場には、殺菌剤処理区と無処理区を設けた。最初の殺菌剤散布は、本葉が3葉～4葉展開した頃に実施し、畝間の中耕培土作業と時期を合わせた。2回目の散布は、1回目の散布から概ね2週間後に実施した。散布方法は、ミストノズル(PA-292、工進社製)を使用し、散布圧力0.26 MPaで手散布する方法と、ブームスプレーヤ(BSA-531L、丸山 MFG社製)に吊り下げ式フラットファンノズル(エポックノズル、サンエー社製)を装着して機械散布する方法の両方で、地際部の茎に帯状に散布した。機械散布では、散布速度は1.4 km/hに設定し、ノズルは畝間に配置し、地面から約35 cmの高さで、両側のダイズの地際部の茎を狙うように角度をつけた。散布圧力は0.4 MPaに設定した。供試種子は、チアメトキサム(クルーザー FS30、シンジェンタ社製)を塗抹処理した「えんれいのそら」を用い、地域の慣行に従って栽培した。播種は6月上旬にトラクターとシーダーを用いて行

い、播種量は16,800～17,900粒/10aであった。RCRの発病調査は黄葉期頃の9月下旬に実施し、1反復区あたり8～22株を調査に供した。病害の発病程度は、Akamatsu et al. (2020)に基づく評価方法を用いて調査し、根の状態は図1のように分類した。なお、評価が3以上の株は重症株に分類した。各反復区においては、14株以上を手作業で収穫し、収量調査に供した。これらの2022年～2024年の全試験圃場の調査データは補足表に記載した。

Ⅲ データ解析

RCR発病株率、重症株率及び収量に対する殺菌剤処理の効果を比較するため、オープンソース統計ソフトウェアRバージョン4.4.3(R Core Team, 2024)と「NMA」パッケージ(Noma et al., 2024)を使用して、NMAを実施した。試験関係を図示するネットワーク図は、「netplot」関数(参考図)によって作成し、無処理区が共通の参照点として使用した。試験における変動性を最小限に抑えるため、各処理に対して3つ以上の反復

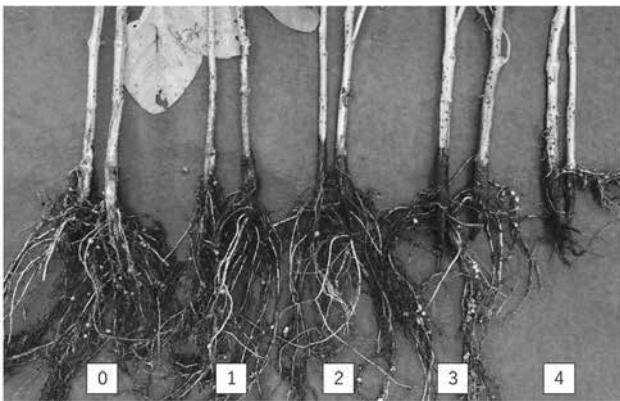
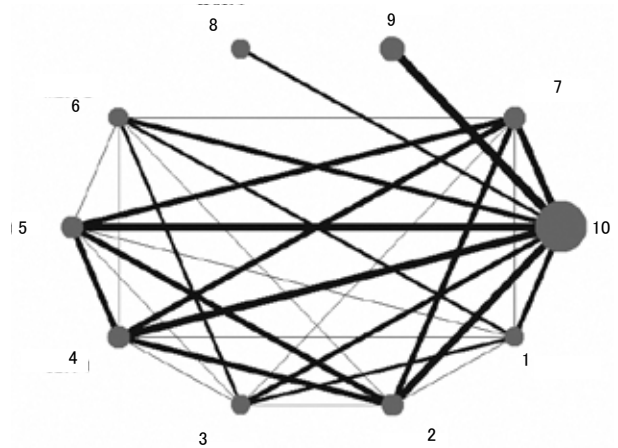


図1 本研究におけるダイズ黒根腐病の被害程度

- 0: 健全な根系
- 1: 軽度に腐敗した主根と少数の側根の消失を伴う
(主根表面の罹病面積が33%未満)
- 2: 側根の消失を伴う腐敗した主根
(主根表面の罹病面積が33%～67%)
- 3: 多数の側根の消失を伴う大部分が腐敗した主根
(主根表面の罹病面積が67%以上)
- 4: ほぼ側根がなく、「ごぼう根」として知られる、著しく腐敗し黒変した主根
(補足) 評価が3以上の株は、重症株として分類した。



参考図ネットワークメタアナリシス(NMA)のネットワーク図

- 注1) 線で結ばれたノード(円)は処理間の直接比較を表し、線がない場合は間接比較のみが行われたことを示し、線の太さは直接比較した試験数を表す。
- 注2) ノードのサイズは各処理群のサンプルサイズに比例しており、分析における相対的な重み(寄与度)を視覚的に示している。
- 注3) ノード名には、表1の処理番号が示されている。

表2 圃場試験の概要(2022-2024年)

年次	圃場名	試験番号	表1の処理 番号 ^a	薬剤名 ^b (成分名)	調査株数 ^c	発病株数	重症株数	収量 (kg/10a)	反復数	
2022	310	2022_A	1	テブコナゾール	32	31	10	308.0	3	
			3	フルオピラム	33	26	0	385.2	3	
			6	ピジフルメトフェン	35	28	1	354.3	3	
			10	無処理	32	32	30	215.5	3	
2023	311	2023_A	1	テブコナゾール	37	35	0	223.2	3	
			2	テブコナゾール	34	22	0	274.1	3	
			3	フルオピラム	38	18	0	278.7	3	
			4	フルオピラム	34	24	3	324.7	3	
			5	フルオピラム	37	32	9	301.1	3	
			6	ピジフルメトフェン	33	10	0	308.7	3	
			7	ピジフルメトフェン	37	14	1	353.9	3	
			10	無処理	76	64	17	273.1	6	
	313A	2023_B	8	ピジフルメトフェン	60	59	0	337.9	3	
			10	無処理	61	61	21	264.9	3	
	117	2023_C	8	ピジフルメトフェン	63	63	3	332.9	3	
			10	無処理	59	59	19	294.6	3	
	2024	117-1	2024_A	1	テブコナゾール	48	23	1	N/A ^d	5
				10	無処理	48	46	14	N/A	5
310-1		2024_B	2	テブコナゾール	101	56	3	279.7	5	
			4	フルオピラム	96	46	2	298.3	5	
			5	フルオピラム	97	61	8	275.2	5	
			7	ピジフルメトフェン	97	57	3	278.8	5	
007		2024_C	10	無処理	100	90	22	251.1	5	
			9	ピジフルメトフェン	78	65	5	344.3	4	
			10	無処理	72	71	25	321.9	4	
117-2		2024_D	9	ピジフルメトフェン	54	40	1	327.1	3	
			10	無処理	47	43	23	290.9	3	
310-2		2024_E	9	ピジフルメトフェン	57	37	3	282.0	3	
			10	無処理	51	42	22	258.9	3	

a 同一の番号は同一の処理方法を示す。

b すべての薬剤は株元散布によって行った。

c 調査株数は、すべての反復の合計。

d N/Aはデータがないことを示す。

を設定した。これらの反復データをプールし、統計分析のために単一のデータセットとした(表2)。

RCR発病株率及び重症株率に関する処理間の比較は、処理区の発病率または重症株率を無処理区の発病率で割って算出された「相対リスク」を用いて実施した。一方、収量に関する処理間の比較は、無処理区からの「平均差」を用いて実施した。試験間の結果の「不一致性(直接比較と間接比較の結果が不一致であるか)」は、「global.ict」関数を用いて確認した。さらに、「nma」関数を用いて、各試験内の「異質性」を確認し、RCR発病株率、重症株率及び収量に関して処理間を比較した。

IV 結果

RCR発病株率、重症株率(重症度レベル3以上)及び収量調査の結果は表1及び表2に記載した。品種や栽培方法は各年次で一貫していたにもかかわらず、無処理区におけるRCRの重症株率は、年次及び圃場によって異なった。ほとんどの殺菌剤処理区において、調査株の半数以上でRCRの発生を認めたが、重症株率は無処理区よりも低くなり、また、殺菌剤処理間で異なる傾向を示した。

NMAの結果、発病株率の解析では試験間に高い異質性が認められ、不一致性の検定も有意であった(表3)。NMAにおける不一致性の検定は、ネットワークを構成する比較ループ内に直接比較と間接比較の相違があるかを判定するものである。したがって、本解析の発病株率においては、

表3 各殺菌剤処理の発病株率、重症株率及び収量に関するネットワークメタアナリシス (NMA) の結果

項目	個々の試験間の異質性				試験ネットワーク全体の不一致性			備考
	Q values ^a	df	p-value ^b	I ² ^c	χ ² -statistic ^d	df	p-value ^e	
発病株率	57.28	11	0	91.3%	56.22	8	2.5 × 10 ⁻⁹	・個々の試験間の異質性が高く、ネットワーク全体の不一致性が高いため、NMAによる推定結果の信頼性は低いと考えられる。
重症株率	14.52	11	0.21	42.5%	11.00	8	0.20	・個々の試験間の異質性が低く、試験間の不一致性が低いことから、NMAによる推定結果の信頼性は高い。
収量	36.32	10	0.0001	17.7%	35.51	7	9.0 × 10 ⁻⁶	・個々の試験間の異質性は低かったものの、試験ネットワーク全体で観察された不一致性は、NMAによる推定結果の信頼性を損なう可能性がある。

a NMAに含まれる個々の試験の結果のばらつき (異質性) を定量的に示すための検定統計量 (値が大きいとばらつきが大きい)

b p-valueが低い場合、Q valuesが大きいくことを意味し、異質性が統計的に有意であると判断される。

c NMAに含まれているすべての試験の結果のばらつきのうち、真の異質性が占める割合をパーセンテージで表す。

(観測された試験結果の差が、単なる偶然の誤差によるものなのか、それとも試験間の根本的な違い (例: 圃場条件、気候、散布精度など) によるものなのかを推定する指標)

d ネットワーク全体における「不一致性 (直接比較と間接比較の結果が不一致であるか)」の程度を評価するために使用される (大きいと不一致であると判定される)。

e χ²-statisticの有意性 (直接比較と間接比較の結果の間に統計的に有意な不一致が存在するか) を判断

表3の不一致性の検定のp値が有意 (p < 0.05) であることから、直接比較と間接比較の結果の間に少なくとも一箇所結果に矛盾が生じていることが示され、統計的な信頼性は低下した。しかし、特定の処理、すなわちピジフルメトフェン 500mL/10aの2回散布 (処理番号6)、ピジフルメトフェン 100-500 mL/10aの1回散布 (処理番号7)、及びフルオピラム 500mL/10aの2回散布 (処理番号3) は、無処理区よりも一貫して発病株率が低く、相対リスクは試験全体で0.6未満であった。相対リスクの95%信頼区間が1.0未満であることは、有意に防除効果が認められることを示している (表1)。

重症株率については、試験間の異質性や不一致性が検出されず、この分析の信頼性は高いことが示唆された (表3)。テブコナゾール500mL/10aの2回散布 (処理番号1) 及びフルオピラム150 mL/10aの1回散布 (処理番号5) を除くすべての処理は、無処理区と比較して重症株率の割合を有意に減少させた (表1)。

収量分析では、異質性は低かったものの、試験ネットワークにおいて少なくとも1つの不一致性があり (表3)、結果の信頼性は低下したが、ピジフルメトフェン100 mL/10aの2回散布 (機械散布) (処理番号9) を除くすべての処理は、いずれも収量が改善される傾向が認められた (表1)。特に、ピジフルメトフェン 500 mL/10aの2回散布 (処理番号6) は、無処理区と比較して100 kg/10a以上収量が増加した。

V 考 察

本研究は、ダイズの生育期間を通じたRCRの防除、特に収量に大きな影響を及ぼす開花期以降の発病抑制を目的とし、効果的な生育期散布のための殺菌剤スクリーニングを目指した。これまで、最適な殺菌剤と散布体系を特定するために、複数の殺菌剤によるさまざまな処理方法を複数年にわたり調査してきた。しかしながら、これらの圃場試験は、圃場規模や年次ごとの処理区の数に制約があり毎年試験条件が完全に同一ではないため、全ての処理区間での直接的な効果比較が困難となる場合が多かった。そこで本研究では、従来の圃場試験の制約を克服し、生育期散布として最も効果的な殺菌剤と散布体系を客観的に評価するため、NMAを導入した。NMAを用いることによって、直接比較がされていない処理区間についても既存のデータを統計的に統合・解析し、相対的な効果を推定することが可能となり、これにより効果的な殺菌剤と最適な散布方法を効率的にスクリーニングすることが可能となった。まず、本研究では、FRACグループ3 (トリアゾール系化合物) に属するテブコナゾール、及びFRACグループ7 (SDHIグループ) に属するフルオピラムとピジフルメトフェンを含む、いくつかの殺菌剤の散布処理における有効性を評価した。メトコナゾール (FRACグループ3) や、フルジオキシニル (FRACグループ12) などの他の殺菌剤も供試したが、RCRの防除における有効性が低かったため、限られた試験スペースの都合により、これらの殺菌剤は以降、試験から除外した。今回、試験したほと

んどの殺菌剤において散布回数が発病株率に及ぼす影響は認められなかったが、これらの殺菌剤は重症株率に対して明らかな抑制効果を示した。本病菌は土壤中に広く分布し、生育期間を通じて根に感染を繰り返すため、発病を完全に抑えることは困難である。しかし、本研究で示したように、株元への的確な薬剤処理によって感染後の発病進展を遅延させることが可能であり、それが重症株率の低減に寄与したと考えられる。以下、この感染生態と防除効果の関連について詳述する。先行研究(Nishi et al., 1987; Kuruppu et al., 2004)が示すように、*C. ilicicola*は播種直後の早い時期からいずれの生育ステージでも感染する。本試験における殺菌剤処理は、本葉3~4葉期頃に行っていることを踏まえると、殺菌剤が散布される前に、病原菌はすでにダイズの根に感染を成立させる十分な機会があったと考えられる。この早期感染の可能性が、殺菌剤処理区において一定程度の発病株率が維持された主な理由であると推察される。すなわち、殺菌剤の散布は病原菌の初期感染を防ぐ(予防効果)というよりも、感染がすでに成立した後に、病原菌の組織内でのさらなる増殖や進展を防ぐ(治療的・進行抑制効果)作用に優位性があったと捉えるのが自然である。結果として、これらの殺菌剤は、感染の有無(発病株率)ではなく、病害の重症度を軽減するのに特に有効性を示したと考えられた。

収量は、使用した殺菌剤の種類に関係なく、殺菌剤処理区のすべてで無処理区より総じて高くなった。テブコナゾールの場合、ダイズの生育抑制効果があるため(Matsuda et al., 2020)、収量の増加程度は比較的小さかったと考えられた。

NMAでは、異質性を排除し、試験間の結果の一貫性を確保することが不可欠であるが、土壤伝染性病害の防除試験では、すべての試験区に均一な病害発生を誘発することが困難であることが多い。本研究では、同一の処理であっても、年次及び圃場間でかなりの変動を認めた。結果として、NMAは発病株率と収量のデータにおいて、異質性及び試験間の不一致性を検出し、統計的な解析を妨げた。一方で、NMAは重症株率の減少において処理間に一貫した差を検出したことから、殺菌剤散布は、重症株率を減少させる上で安定した効果を発揮することを裏付けた。テブコナゾール500mL/10aの2回散布(処理番号1)がテブコナゾール500mL/10aの1回散布(処理番号2)より

も重症株率が高かった点については、表1にあるように、処理番号1の方は発病株率が高く、試験を実施した年次や圃場における薬剤散布前の感染圧の差が影響したものと考えられた。

殺菌剤がダイズの収量に及ぼす影響は統計的に有意ではなかったが、重症株率を減らすことは、伝染源となるダイズ根残渣上の病原菌の密度を低下させることにもつながるため、次作の大豆作付け時の圃場菌密度の低減に寄与すると考えられる。ほとんどの処理が重症株率の減少において有意に発病を抑制し、中でもフルオピラム500mL/10aの2回散布(処理番号3)とピジフルメトフェン500mL/10aの2回散布(処理番号6)は、安定して高い抑制効果を示した。ピジフルメトフェンは以前、RCRに対する種子処理として有効であることが報告されていたが(Kleczewski and Geisler, 2022)、本研究では生育ステージでの散布処理としても高い有効性を実証した。今後、フルジオキシニルによる種子処理とピジフルメトフェンの生育期散布を組み合わせることで、ダイズの全生育期間を通じた効果的なRCR管理が可能になる可能性も期待できる。また、フルオピラムは、種子処理として使用された場合、*Fusarium virguliforme*によるダイズ突然死症候群に対して強い有効性を示すことが明らかにされているが(Sjarpe et al., 2015)、RCR管理における散布殺菌剤としてのその有用性も確認された。

今回試験した生育期散布の用法は種子処理法と比べて散布回数・時期の自由度が高く、発病リスクに応じた防除レベルの調整が可能である。圃場の病害発生履歴をもとに、種子処理のみで十分か追加散布が必要かを柔軟に判断できる点で、実用上の重要なツールになりうると考えられた。

以前の研究では、繁茂した大豆作物へのブームスプレーヤーによる上からの薬剤散布は、手散布と比較して、群落内への薬剤の到達性が悪く、葉裏への殺菌剤の付着が減少する可能性が指摘されているが(Yoshinaga et al., 2017)、本研究で用いた、吊り下げノズルを使用した機械散布(処理番号8,9)は、今回の試験条件において、手散布区と同様に重症株率を低減させる傾向を示した。このことは、これらの殺菌剤の吊り下げノズルを使用した機械散布が、実際の大豆生産現場でのRCR防除に実用的であることを示している。ただし、殺菌剤の散布は、濃度、散布量及び散布回数によって費用が異なるため、将来の殺菌剤登録に備え

て、予想される収量を考慮に入れ、適切な処理方法を慎重に評価する必要がある。さらに、本研究で供試した殺菌剤はSDHIグループに属しているものもあることから、耐性菌の発生リスクも考慮した異なる作用機序を持つ代替殺菌剤や、より長期持続型の種子処理剤等のスクリーニングといった課題に取り組む必要がある。

VI 謝辞

NMA分析に関する有用なアドバイスをいただいた農研機構・西日本農業研究センターの川口章博士 (Dr. A. Kawaguchi) に感謝する。

VII 摘要

ダイズ黒根腐病 (RCR) は、*Calonectria ilicicola* によって引き起こされる重要な土壌伝染性病害であり、主に開花期以降に地上部が黄化し、早期の落葉などにより収量や品質の低下をもたらす。現在、種子処理による防除が行われているが、生育期間中の実用的な防除方法は確立されていない。本研究では、2022年から2024年にかけて富山県農業研究所内のRCR常発圃場において、ダイズ株元への殺菌剤散布の効果を検討した。防除効果の検証は、圃場条件や年次による影響を考慮し、ネットワークメタアナリシスを用いて異なる試験結果を統合・比較した。その結果、テブコナゾール500mL/10aの2回散布及びフルオピラム150mL/10aの1回散布を除くすべての処理で重症株率を有意に低下させることが示された。特に、フルオピラム500mL/10aの2回散布およびピジフルメトフェン500mL/10aの2回散布は高い効果を示し、無処理区に対する相対リスクはそれぞれ0.025および0.042となった。これら薬剤の生育期の株元散布はRCRの生育期間を通じた防除体系を構築する上で有効な手段となり得ることが示唆された。

VIII 参考文献

Misonou, Y. 1973. New disease of soybean and peanut caused by *Calonectria crotalariae*, "Black root rot". *Plant Prot.* 27: 77-82. (in Japanese)

Kleczewski, N., Plewa, D., Kangas, C., Phillippi,

E., and Kleczewski, V. 2019. First report of red crown rot of soybeans caused by *Calonectria ilicicola* (anamorph: *Cylindrocladium parasiticum*) in Illinois. *Plant Dis.* 103: 1777.

Akamatsu, H., Fujii, N., Saito, T., Sayama, A., Matsuda, H., Kato, M., Kowada, R., Yasuta, Y., Igarashi, Y., Komori, H., Tanji, K., Kuroda, T., Fujita, Y., Hattori, M., Kawakami, O., Hori, T., Mimuro, G., Morikawa, T., Murasaki, N., Aoki, Y., Sekihara, J., Iyama, Y., Nakada, H., Iwata, T., Kichishima, T., Ebitani, T., Numada, F., Manta, H., Nakajima, H., Yamashita, T., Miyahara, K., Toyoshima, G., Yamada, K., Yamamoto, R., and Ochi, S. 2020. Factors affecting red crown rot caused by *Calonectria ilicicola* in soybean cultivation. *J. Gen. Plant Pathol.* 86: 363-375.

Ochi, S., Mimuro, G., and Kishi, S. 2022. Effect of red crown rot of soybean on occurrence of wrinkled seeds. *J. Gen. Plant Pathol.* 88: 232-238.

Nishi, K., Sato, F., Karasawa, T., and Takahashi, H. 1987. Infection and microsclerotia formation of *Calonectria crotalariae* in soybean under field condition. *Ann. Rep. Kanto-Tosan Plant Prot. Soc.* 34: 38-39. (in Japanese)

Kuruppu, P. U., Schneider, R. W., and Russin, J. S. 2004. Factors affecting soybean root colonization by *Calonectria ilicicola* and development of red crown rot following delayed planting. *Plant Dis.* 88: 613-619. doi: 10.1094/PDIS.2004.88.6.613.

Nishi, K., and Sato, T. 1994. Changes in inoculum potential of *Calonectria crotalariae* in artificially infected soil kept in natural condition. *Ann. Rep. Kanto-Tosan Plant Prot. Soc.* 41: 45-46. (in Japanese)

Ochi, S., Saito, T., Anazawa, T., Nihei, N., Endo, A., Anazawa, T., Nakagawa, A., Kato, M., and Arai, Y. 2013. Validation of effect of the combination of late sowing and winter flooding on red crown rot of soybean. *Ann. Rept. Plant Prot. North Japan* 64: 46-51. (in Japanese)

Sato, K., Matsumoto, S., Kitagawa, E., and

- Murakami, A. 2010. Control of soybean root necrosis disease by ridging at sowing time. *Tohoku Agric. Res.* 63: 57–58. (in Japanese)
- Mueller, J. D. 2025. Soybean disease control. *South Carolina pest management handbook for field crops*. [https://www.clemson.edu/extension/agronomy/_files/pest-management-handbook-clemson-extension.pdf], pp. 297. (Accessed 8 May 2025)
- Nakajima, T., Sakai, S., Gomi, T., and Kikuchi, A. 1994. Development of methods for assessing resistance to black root rot caused by *Calonectria crotalariae* in soybean and screening for resistant germplasm. *Bull. Tohoku Nat. Agric. Exp. Stn.* 88: 39–56. (in Japanese with English summary)
- Nakagawa, A., Shimada, S., and Yamaguchi, T. 1990. Studies on soybean root necrosis caused by *Calonectria crotalariae* 3. Varietal differences of growth and yield component of soybean under pathogen inoculated condition. *Proc. Kansai Pl. Prot.* 32: 1–8. (in Japanese with English summary)
- Taguchi-Shiobara, F., Mimuro, G., Hishinuma, A., Kobayashi, M., Yano, R., Mizubayashi, T., Xu, D., Kaga, A., Takahashi, K., Nanjo, Y., and Jiang, C.-J. 2025. Identification and field validation of QTLs for soybean red crown rot resistance from wild soybean accessions. *Theoretical and Applied Genetics* 138: Article 274.
- Nakagawa, A., and Ochi, S. 2006. Control effect of some chemicals on the incidence of soybean root necrosis caused by *Calonectria ilicicola*. *Ann. Rep. Kanto-Tosan Plant Prot. Soc.* 53: 13–21. (in Japanese)
- Wu, P. H., Tseng, M. N., Lin, Y. H., Kuo, C. H., and Chang, H. X. 2023. Identification of cyprodinil + fludioxonil to manage soybean red crown rot using the microplate-based high-throughput screening and pot assay. *Plant Dis.* 107: 1481–1490.
- Kleczewski, N., and Geisler, S. 2022. Assessment of selected commercially available seed treatments on suppressing the effects of red crown rot on soybeans under a controlled environment. *Plant Dis.* 106: 2060–2065.
- Hilber, U. W., Schwinn, F. J., and Schuepp, H. 1995. Comparative resistance patterns of fludioxonil and vinclozolin in *Botryotinia fuckeliana*. *J. Phytopathol.* 143: 423–428.
- Matsuda, H., Fujii, N., Saito, T., and Sayama, A. 2020. Field survey and control of red crown rot of soybean caused by *Calonectria ilicicola* in soybean fields in Akita prefecture, Japan. *Plant Prot.* 74: 568–572. (in Japanese)
- Pignon, J. P., and Hill, C. 2001. Meta-analyses of randomised clinical trials in oncology. *Lancet Oncol.* 2: 475–482. doi: 10.1016/S1470-2045(01)00453-3.
- Crowther, M., Lim, W., and Crowther, M. A. 2010. Systematic review and meta-analysis methodology. *Blood* 116: 3140–3145.
- Rosenberg, M. S., Garrett, K. A., Su, Z., and Bowden, R. L. 2004. Meta-analysis in plant pathology: Synthesizing research results. *Phytopathology* 94: 1013–1017.
- White, I. R. 2015. Network meta-analysis. *Stata J.* 15: 951–985.
- Carroll, K., and Hemmings, R. 2016. On the need for increased rigour and care in the conduct and interpretation of network meta-analyses in drug. *Pharm. Stat.* 15: 135–142.
- Kawaguchi, A., Kirino, N., and Inoue, K. 2023. Biological control for grapevine crown gall evaluated by a Network Meta-Analysis. *Plants* 12: 572. doi: 10.3390/plants12030572.
- Sjarpe, D. A., Kandel, Y. R., Chilvers, M. I., Giesler, L. J., Malvick, D. K., McCarville, M. T., Tenuta, A. U., Wise, K. A., and Mueller, D. S. 2015. Multi-location evaluation of fluopyram seed treatment and cultivar on root infection by *Fusarium virguliforme*, foliar symptom development, and yield of soybean. *Can. J. Plant Pathol.* 42: 192–202.
- R Core Team. 2024. R: A language and environment for statistical computing. (Version 4.4.3) [Computer software] [<https://www.r-project.org/>].
- Noma, H., Maruo, K., Tanaka, S., and Furukawa, T. A. 2024. NMA: Network Meta-Analysis based on multivariate Meta-Analysis models.

[<https://cran.r-project.org/web/packages/NMA/index.html>].

Ochi, S. 2017. Studies on ecology and control of red crown rot of soybean. *J. Gen. Plant Pathol.* 83: 427-428.

Yoshinaga, K., Nakayama, N., Loan, N. T., Hayashi, S., Kubota, Y., Hiyoshi, K., and Tsukazawa, K. 2017. Study on utility improvement of air-assisted electrostatic sprayer. *J. Jpn. Soc. Agric. Mach. Food Eng.* 79: 169-178. (in Japanese with English summary)

(2025年12月17日受付. 2026年3月27日受理)

Evaluation of Fungicides Applied to Early Vegetative Stage Soybean for Red Crown Rot Control

Genki MIMURO, Chisato YAMAMOTO¹, Sunao OCHI²

Summary

Red crown rot (RCR) in soybeans, caused by *Calonectria ilicicola*, is a significant soilborne disease that typically manifests during soybean flowering growth stages. Although seed treatment has been employed for RCR control, no methods have yet been developed to provide protection throughout the entire soybean cultivation period. To address this gap, field trials were conducted in soybean fields in Toyama Prefecture where RCR has occurred frequently, from 2022 to 2024. The experiments were undertaken to assess the efficacy of fungicide applications to the basal stem region of soybean plants during the three- to -four-true-leaf developmental stage, with the aim of establishing the optimal fungicide type, application rate, and application frequency. Owing to limitations in field size and logistical constraints, identical trials cannot be repeated annually, resulting in limited direct comparability across experiments. Therefore, a network meta-analysis was conducted to integrate and compare the results of different trials. The analysis revealed that all tested fungicides significantly reduced the incidence of severely diseased plants. Notably, two treatments—fluopyram 500mL/10a applied twice and pydiflumetofen 500mL/10a applied twice—demonstrated particularly strong efficacy. Their relative risks, calculated as the ratio of the severely disease rate in each treatment group to that in the untreated control group, were 0.025 and 0.042 respectively. These findings suggest that further investigation into the optimal application methods and timing could facilitate the development of a comprehensive disease management strategy for RCR throughout the soybean cultivation period.

Keywords: red crown rot, *Calonectria ilicicola*, soybean, chemical control, network meta-analysis

- 1) Toyama Prefectural Agricultural Technology Division, Toyama, 930-8501
- 2) National Agriculture and Food Research Organization, Institute for Plant Protection, Ibaraki, 305-8666

補足表 2022年～2024年の圃場試験の全データ

年	圃場名	試験番号	表1の 処理番号 ^a	殺菌剤名	反復数	発病株の評価					収量性の評価					
						調査 株数	発病 株数	発病 株率(%)	重症 株数	重症 株率(%)	調査 株数	収量 (kg/10a)				
2022	310	2022_A	1	テブコナゾール	1	13	12	92.3	1	7.7	15	267.2				
					2	9	9	100	5	55.6	15	336.1				
					3	10	10	100	4	40.0	14	320.7				
			3	フルオピラム	1	10	9	90.0	0	0	15	303.9				
					2	12	9	75.0	0	0	15	466.5				
					3	11	8	72.7	0	0	15	385.3				
			6	ビジフルメトフェン	1	12	8	66.7	0	0	15	311.4				
					2	11	9	81.8	0	0	15	400.4				
					3	12	11	91.7	1	8.3	15	351.1				
			10	無処理	1	11	11	100	9	81.8	15	198.7				
					2	10	10	100	10	100	15	222.1				
					3	11	11	100	11	100	15	225.6				
			2023	311	2023_A	1	テブコナゾール	1	13	13	100	0	0	15	220.2	
								2	12	11	91.7	0	0	15	270.7	
								3	12	11	91.7	0	0	15	178.8	
2	テブコナゾール	1				11	10	90.9	0	0	15	275.0				
		2				12	6	50.0	0	0	15	299.6				
		3				11	6	54.5	0	0	15	247.7				
3	フルオピラム	1				12	6	50.0	0	0	15	273.1				
		2				14	5	35.7	0	0	15	260.1				
		3				12	7	58.3	0	0	15	303.0				
4	フルオピラム	1				11	4	36.4	1	9.1	15	234.8				
		2				12	12	100	2	16.7	15	350.8				
		3				11	8	72.7	0	0	15	388.4				
5	フルオピラム	1				13	12	92.3	1	7.7	15	233.0				
		2				11	8	72.7	5	45.5	15	285.0				
		3				13	12	92.3	3	23.1	15	385.3				
6	ビジフルメトフェン	1				12	4	33.3	0	0	15	360.1				
		2				13	4	30.8	0	0	15	272.7				
		3				8	2	25.0	0	0	15	293.5				
7	ビジフルメトフェン	1				11	1	9.1	0	0	15	311.9				
		2				13	7	53.8	1	7.7	15	408.8				
		3				13	6	46.2	0	0	15	340.9				
10	無処理	1				12	7	58.3	4	33.3	15	166.9				
		2				13	13	100	2	15.4	15	237.9				
		3				12	11	91.7	2	16.7	15	339.5				
2024	313A	2023_B				8	ビジフルメトフェン	1	20	20	100	0	0	15	353.3	
								2	20	20	100	0	0	15	342.0	
								3	20	19	95.0	0	0	15	318.3	
						10	無処理	1	21	21	100	4	19.0	15	254.5	
								2	20	20	100	8	40.0	15	309.0	
								3	20	20	100	9	45.0	15	231.2	
			117	2023_C	8	ビジフルメトフェン	1	21	21	100	0	0	15	387.9		
							2	21	21	100	1	4.8	15	255.4		
							3	21	21	100	2	9.5	15	355.3		
			10	無処理	1	19	19	100	16	84.2	15	283.3				
					2	20	20	100	3	15.0	15	353.1				
					3	20	20	100	0	0	15	247.4				
			117-1	2024_A	2024_A	1	テブコナゾール	1	16	2	12.5	0	0	N/A ^b	N/A	
								2	16	7	43.8	0	0	N/A	N/A	
								3	16	14	87.5	1	6.3	N/A	N/A	
	10	無処理				1	15	13	86.7	0	0	N/A	N/A			
						2	18	18	100	8	44.4	N/A	N/A			
						3	15	15	100	6	40.0	N/A	N/A			
	310-1	2024_B				2024_B	2	テブコナゾール	1	22	8	36.4	0	0	14	261.0
									2	20	8	40.0	0	0	15	302.5
									3	20	11	55.0	0	0	15	294.0
							4	フルオピラム	4	20	10	50.0	0	0	15	261.8
									5	19	19	100	3	15.8	15	274.7
									1	18	4	22.2	0	0	15	331.7
							2	フルオピラム	2	21	8	38.1	0	0	15	224.8
									3	17	10	58.8	0	0	15	377.5
									4	20	14	70.0	2	10.0	15	234.6
			5	フルオピラム	5		20	10	50.0	0	0	15	322.9			
					1		19	10	52.6	0	0	12	337.0			
					2		19	9	47.4	0	0	15	263.2			
3	フルオピラム	3	20	14	70.0	5	25.0	15	241.2							
		4	20	14	70.0	2	10.0	15	313.6							
		5	19	14	73.7	1	5.3	15	220.9							
7	ビジフルメトフェン	1	20	8	40.0	0	0	15	318.0							
		2	19	6	31.6	0	0	15	260.7							
		3	19	11	57.9	0	0	16	304.8							
4	フルオピラム	4	19	18	94.7	3	15.8	15	276.3							
		5	20	14	70.0	0	0	15	238.5							
		1	20	20	100	3	15.0	15	185.2							
2	フルオピラム	2	22	19	86.4	5	22.7	15	231.0							
		3	18	16	88.9	2	11.1	15	308.6							
		4	21	19	90.5	3	14.3	16	262.3							
007	2024_C	2024_C	9	ビジフルメトフェン	1	20	17	85.0	0	0	15	381.0				
					2	19	16	84.2	2	10.5	16	322.4				
					3	20	17	85.0	2	10.0	15	345.6				
			10	無処理	4	19	15	78.9	1	5.3	15	328.2				
					1	20	19	95.0	6	30.0	15	382.8				
					2	17	17	100	3	17.6	15	308.4				
			3	フルオピラム	3	16	16	100	14	87.5	15	315.3				
					4	19	16	84.2	9	47.4	15	268.5				
					1	19	19	100	2	10.5	16	281.3				
			117-2	2024_D	2024_D	9	ビジフルメトフェン	1	19	14	73.7	0	0	15	296.6	
								2	19	15	78.9	1	5.3	15	373.3	
								3	16	11	68.8	0	0	16	311.4	
						10	無処理	1	15	14	93.3	11	73.3	15	252.4	
								2	17	15	88.2	3	17.6	15	314.3	
								3	15	14	93.3	9	60.0	16	306.0	
310-2	2024_E	2024_E				9	ビジフルメトフェン	1	19	15	78.9	0	0	15	303.6	
								2	18	8	44.4	1	5.6	15	282.8	
								3	20	14	70.0	2	10.0	15	259.5	
10	無処理	1				17	17	100	8	47.1	15	258.5				
		2				16	11	68.8	4	25.0	15	257.6				
		3				18	14	77.8	10	55.6	15	260.5				

a 同じ番号は同じ処理を示す。
b N/Aは、未調査を示す(2024_A試験の収量データ)。

富山県農林水産総合技術センター農業研究所研究報告 第10号

富山県農林水産総合技術センター農業研究所研究報告 第10号

令和8年6月

編集 富山県農林水産総合技術センター 農業研究所

発行 富山県農林水産総合技術センター所長

雄川 洋子

富山市吉岡1124-1 〒939-8153

電話 076-429-2111

印刷所 いおぎ印刷株式会社

**Bulletin of The Agricultural Research Institute, Toyama Prefectural
Agricultural, Forestry and Fisheries Research Center**

CONTENTS

Sota KITASAKI, Kazumasa MURATA, Hiroo TAKAMATSU and Yoichiro KOJIMA : Selection of Early Maturing Forage-Rice Varieties Suitable for Cultivation in Toyama Prefecture	1
Kazumasa MURATA, Sota KITASAKI, Kyohei ITAYA and Yoichiro KOJIMA : Selection of Rice Varieties 'Tsukihayaka' for Whole Crop Silage Suitable for Cultivation in Toyama Prefecture	7
Kazumasa MURATA, Sota KITASAKI, Kyohei ITAYA, Rei NAGAOKA and Yoichiro KOJIMA : Cultivation Method for Seed Production of "Tsukihayaka", a Rice Cultivar for Fermented Rice Forage (Rice Whole Crop Silage)	13
Hideo AZUMA, Kyohei ITAYA, Sota KITASAKI, Yukako NABESHIMA : Effects of water management and harvesting timing after heading on stable production in rice whole crop silage of the "Tsukihayaka" high-sugar foliage rice cultivar	19
Masaki TAKAHASHI, Munetaka YAMADA, Makoto INAHARA and Mikio NOMURA : Evaluation of plastic-free based fertilizer for barley cultivation	27
Genki MIMURO, Chisato YAMAMOTO, Sunao OCHI : Evaluation of Fungicides Applied to Early Vegetative Stage Soybean for Red Crown Rot Control	39