

【認定NPO法人】

特定非営利活動法人 無施肥無農薬栽培調査研究会

2021年度 研究報告会

開催日時：2022年3月13日（日）13:00～

表題・報告者

1. 異なる水田における無施肥無農薬栽培水稻の玄米収量と経年変化
および早期湛水深水管理栽培について（2021年度）
…… 森誠・小林正幸（無肥研） 1
2. 無施肥無農薬栽培水稻の品質評価（資料提供）
…… 丸田信宏（無肥研） 8
3. 中耕除草回数の違いが長期無施肥無農薬栽培水稻の生育・収量・品質に及ぼす影響
…… 丸田信宏¹・白岩立彦^{1,2}（¹無肥研・²京大院農） 12
4. 長期無施肥無農薬栽培水稻における冬期湛水・中干しの有無が生育および
収量に及ぼす影響
…… 家田善太¹・白岩立彦^{1,2}（¹無肥研・²京大院農） 20
5. UAV画像を用いた長期無施肥無農薬水田内の生育・収量変動の評価【第2報】
…… 岩橋優^{1,3}・小林正幸²・森誠²・本間香貴¹（¹東北大院農・²無肥研・³京大院農） 28
6. イネの共生制御因子 CCaMK と共生微生物叢について
…… 切田澄礼、足立旭、Yuniar Devi Utami、藤雅子、西條雄介
奈良先端科学技術大学院大学（植物免疫学研究室） 32
7. 茶園土壤における慣行栽培・有機栽培・無施肥無農薬栽培の比較
…… アンドレ・フレイレ・クルス（京都府立大学生命環境科学研究所） 35
8. 無施肥無農薬栽培連作継続時のジャガイモの生育の調査（2021）
…… 下平訓立・倉島次郎（無肥研） 36
9. 圃場におけるダイズ茎疫病発生機構-植物体上の傷の影響
…… 多田光史¹・正田愛奈²・白岩立彦¹（¹京大院農・²京大農学部） 42
10. 圃場におけるダイズ茎疫病発生機構-植物体上の傷発生要因
…… 正田愛奈¹・多田光史²・白岩立彦²（¹京大農学部・²京大院農） 45

異なる水田における無施肥無農薬栽培水稻の玄米収量と経年変化

および早期湛水深水管理栽培について（2021年度）

森 誠 小林正幸（無肥研）

本会が認証する無施肥無農薬栽培圃場は日本全国に点在し、様々な立地条件の下、環境に適した作物を生産している。近年無施肥無農薬栽培（以下無施肥栽培）の調査研究が進められるようになったが、生育要素の解明や栽培技術の確立にはまだ至っていない。記録は過去にそれほど多く残されておらず、記録を残しておくことは今後の調査研究、無施肥栽培普及に役立つものと考えられる。

本報告では、収量調査の結果および試験的に行った早期湛水深水管理栽培について紹介する。収量調査は福井県、滋賀県、京都府および兵庫県に位置する無施肥栽培水田の結果をまとめた。それらの水田は慣行栽培から無施肥栽培に切り替えて初年の水田から10年以上継続的に栽培を続けている水田など様々である。収量は（1）株刈り法で15圃場（収量構成要素を含む）（2）坪刈り法で5圃場（3）全収量（水田全体から得られた収量）で14場のデータを示した。

早期湛水深水管理栽培は滋賀県野洲市の水田で行い、その方法や収量結果、またその効果や課題について示した。

1. 収量調査

1977年より坪刈り法で収量調査を行い、2003年より収量構成要素を調査する目的で株刈り法でも調査を行っている。全収量と坪刈り・株刈り調査で得た収量は多少の違いはあるものの概ね一致している（図1）。

ここでは多くの圃場からサンプルを集めた株刈り法による調査で圃場や品種の違いを、調査年数が長い坪刈り法による調査では経年変化をそれぞれ示した。

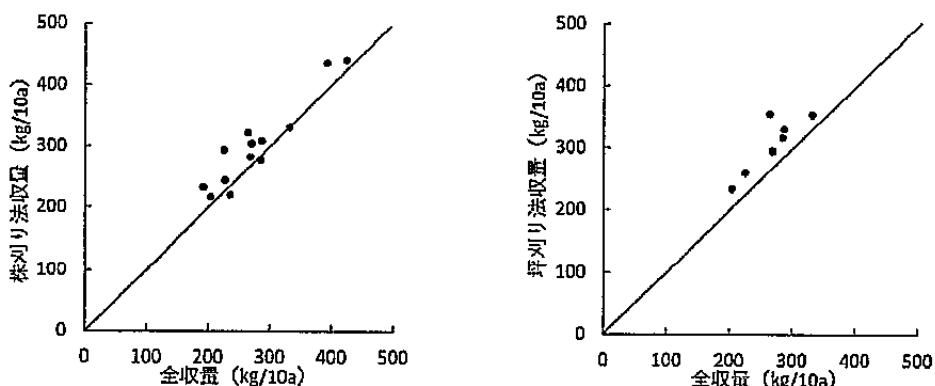


図1 2021年の全収と株刈り法・坪刈り法における収量との関係

(1) 株刈り収量

表1 株刈り法による収量・収量構成要素および全収量と坪刈り収量(2021)

水田	住所	実施開始年	品種	全乾物重 (g/m ²)	総数 (本/m ²)	一穂粒数 (粒/個)	登熟歩合 (%)	1000粒重 (g)	収量 (kg/10a)	全収量 (kg/10a)	坪刈り 収量 (kg/10a)
亀岡 I	京都府亀岡市	1994	コシヒカリ	622 ±25.1	190 ±8.1	77.4 ±2.6	85.2 ±3.4	21.4 ±0.1	216 ±11.5	204	233
福井 F	福井県越前市	1997	コシヒカリ	811 ±30.2	218 ±8.4	81.3 ±2.2	88.5 ±0.5	22.2 ±0.2	330 ±13.0	331	353
中道 I	滋賀県野洲市	2007	コシヒカリ	729 ±42.5	193 ±12.6	80.8 ±1.0	85.2 ±0.9	20.7 ±0.1	232 ±13.5	192	
中村	福井県大野市	2008	コシヒカリ	751 ±37.1	207 ±8.5	89.9 ±2.2	87.9 ±1.0	21.6 ±0.2	328 ±14.6		
亀岡 II	京都府亀岡市	2009	コシヒカリ	785 ±34.8	230 ±11.5	78.9 ±2.6	85.2 ±2.3	21.4 ±0.1	244 ±16.2	227	
牧野	福井県福井市	2009	コシヒカリ	602 ±26.9	142 ±6.0	108.1 ±3.5	87.7 ±0.0	20.2 ±0.1	220 ±10.8	236	
尾形	福井県越前市	2017	コシヒカリ	1090 ±54.5	255 ±13.9	97.3 ±3.3	87.3 ±0.9	20.8 ±0.1	435 ±21.5	393	
野洲 II	滋賀県野洲市	1995	秋の詩	788 ±68.2	201 ±13.1	80.8 ±3.2	88.4 ±1.1	22.3 ±0.1	278 ±18.1	285	316
野洲 III	滋賀県野洲市	1995	秋の詩	828 ±25.1	157 ±8.1	102.2 ±4.3	92.0 ±0.4	23.0 ±0.1	322 ±22.2	264	354
小倉 R	京都府宇治市	2003※	ベニアサヒ	860 ±34.1	158 ±7.1	96.1 ±5.4	87.9 ±1.7	22.8 ±0.0	283 ±11.9	269	295
小倉 O	京都府宇治市	2003	ベニアサヒ	836 ±32.8	171 ±6.1	95.0 ±3.9	90.5 ±0.8	22.7 ±0.1	308 ±12.6	287	329
上田	京都府京都市	2021	農林16号	1166 ±62.0	179 ±9.3	120.1 ±4.1	92.6 ±2.0	23.5 ±0.1	440 ±23.0	424	
野洲 I	滋賀県野洲市	1989	新羽二重	820 ±68.2	227 ±13.1	71.1 ±4.7	90.6 ±1.2	21.4 ±0.0	294 ±17.6	226	259
成田	兵庫県豊岡市	2018	新羽二重	744 ±28.2	241 ±12.1	65.3 ±2.5	92.9 ±0.8	22.3 ±0.0	304 ±11.1	270	

※2006年に表層土約15cmを跡取り耕作の畑へ盛土し、跡取った所へ1951年から実施してきた栗東水田の表層土約15cmを運搬し移設平均植土標準誤差

水田の対角を4等分して3か所から各連続10株、計30株を刈り取り収量および収量構成要素を調査した。異なる4府県7地域の14圃場で栽培された5品種(コシヒカリ、ベニアサヒ、農林16号、秋の詩、新羽二重)の調査を行った(表1)。

2021年に調査を行った全水田の平均収量は303 kg/10aで前年の261 kg/10aと比べると16%増加した。このことから2021年は前年と比べると天候は概ね良好だったことが影響したと考えられる。

品種別に見てみると、調査圃場で一番多く作られている早生品種のコシヒカリの収量は2020年と比べて同程度もしくは高く、216 kg/10a~440 kg/10aであった。収量の高かった尾形水田は例年収量の高い水田であるが、除草が十分に行われた事も、多収量の一因だと思われる。中村水田は雑草が昨年より抑えられたが十分に除草が出来たとは言えず、除草が十分行われれば、高収量の可能性がある。亀岡I、中道I、亀岡II、牧野水田は250 kg/10a未満の収量であったが、前年と比べそれぞれ亀岡Iは30%，亀岡IIは19%，牧野は255%とそれぞれ増収した。前年と比べ亀岡Iは穂数、1穂粒数、1000粒重が増加し、亀岡IIでは登熟歩合、1000粒重が増加した。牧野水田は穂数、1穂粒数、1000粒重が増加した。本水田では2020年は生育初期の除草に失敗し、雑草の影響を受けかなりの低収であったが、2021年は除草回数を増し生育初期は昨年より除草でき、増収となったがまだまだ除草が十分行われたとは言えず今後さらに抑草できれば収量が増える可能性がある。今後除草、抑草技術の確立は重要である。

野洲II、IIIでは中生品種の秋の詩を栽培した。この地域では3年に一度転作が強いられ、

転作の翌年は高い収量を得られるが、転作後 2 年目の収量が約 20% 減少する傾向が過去 13 年の結果から確認されている。2021 年は転作後 2 年目である。野洲Ⅱは 2020 年とは栽培品種が異なるので比較できないが、野洲Ⅲの収量は 322 kg/10a (前年比 11% 減) であったことからも本年は比較的生育良好であったと考えられる。

小倉 R, O では晚生品種のベニアサヒを栽培した。収量は昨年と比べ R 水田は 42%, O 水田では 29% 増加した。前年と比べ穂数は R 水田 20%, O 水田は 12% それぞれ減少したが 1 穂粒数が R, O 水田それぞれ 48% と 29% 増加した。上田水田は本年より新たな圃場で無施肥栽培に転換され、晚生品種の農林 16 号を栽培した。2021 年は 440 kg/10a と高い収量であったが、無施肥栽培に転換後どのように収量が推移していくかを見ていきたい。

野洲 I, 成田水田では新羽二重モチを栽培した。野洲 I の収量は昨年と比べ 16% 増の 294 kg/10a であった。穂数が前年比 13% 減少したが、1 穂粒数は 10% 増加した。2021 年はアイガモロボットを用いた田植えから 1 ヶ月間、雑草の抑制を試みた。アイガモロボットはコンピュータ制御で動きソーラーパネルで発電し、本体に設置されたスクリューを回すことでも土を攪拌し水を濁らすことで日光を遮り雑草を抑草するロボットである。本年は 1 日の稼働時間が午前 30 分間、午後 30 分間と設定がされており、稼働時間が十分でなかった為あまり水が濁らず雑草が繁茂した。アイガモロボット使用後、手取り除草を 2 回徹底して行うことになったが収量は前年より増加した。成田水田の収量は前年に比べ 17% 減少した。穂数、1 穂粒数が前年比約 10% 減少した。成田水田は無施肥に切り替えて 4 年目で毎年残肥が少しづつ減っているためと考えられる。

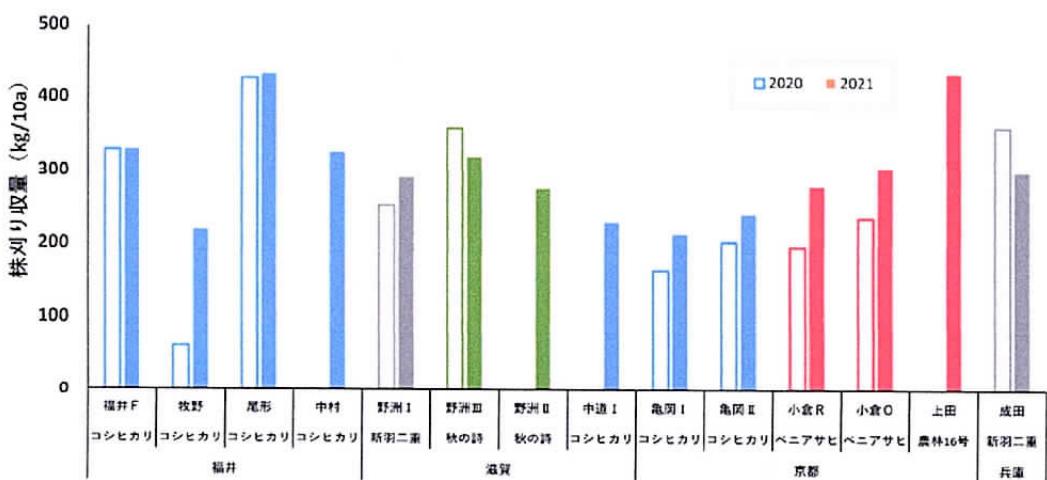


図 2 株刈り法の収量 (2020.2021)

地域間の平均収量を比べると福井県 329 kg/10a, 滋賀県 281 kg/10a, 京都府 298 kg/10a, 兵庫県 304 kg/10a であった。福井県の収量は雑草の管理で大きく増収となった牧野水田を除くと前年と同程度であり、生育は良好であったと考えられる。滋賀県の収量は前年と比べると 9% 増加した。野洲水田は転作後の収量の増減がみられるが、2021 年の転作後の収量の増減が平均で 1% であったことから、生育は良好であったと考えられる。京

都府は前年の平均収量と比べ30%増加し、生育が良好であったと考えられる。兵庫県の成田水田は残肥の減少であることが主因と考えられる。

(2) 坪刈り収量

表2 坪刈り法による収量

水田	実施場所	実施開始年	品種	過去10年の 平均収量 (kg/10a)				備考
				全乾重 (g/m ²)	藁乾重 (g/m ²)	粗粒重 (g/m ²)	粗玄米重 (kg/10a)	
野洲I	滋賀県野洲市	1989	新羽二重	707	392	314	251	259 261 ±63.0
亀岡I	京都府亀岡市	1994	コシヒカリ	576	296	280	227	233 212 ±41.1 注1
福井F	福井県越前市	1997	コシヒカリ	852	424	428	347	353 371 ±51.3
小倉R	京都府宇治市	2003	ベニアサヒ	857	497	359	294	295 284 ±51.9 注2
小倉O	京都府宇治市	2003	ベニアサヒ	864	469	396	326	329 306 ±37.0

推定玄米重は水分15%で補正した。

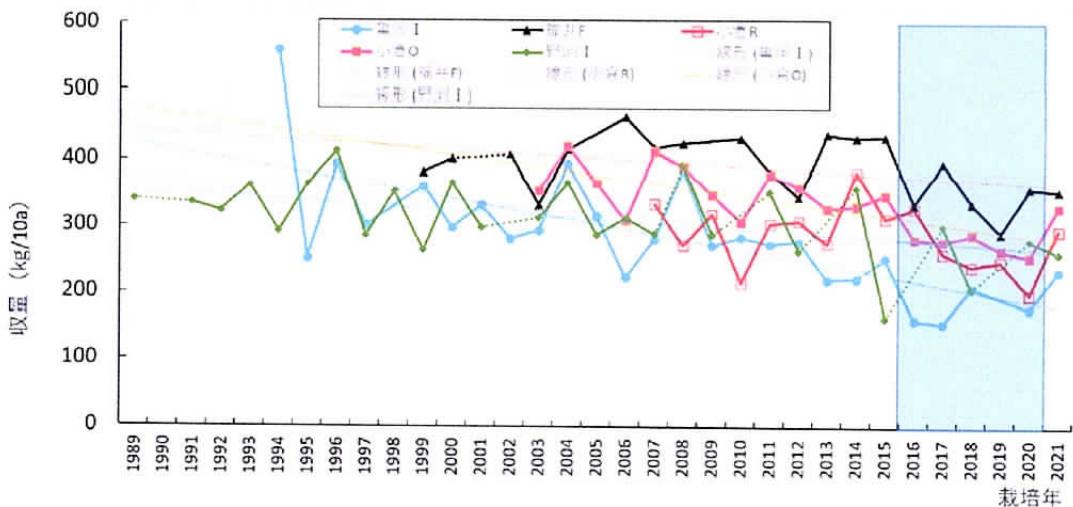
注1 2019年は病害があったので除外した。

注2 2003年より無施肥栽培していた水田の表層土約15cmをスキ取り、そこへ1951年より無施肥栽培を継続していた水田(栗東市辻)の表層土約15cmを2006年12月に移設した。

坪刈り収量は3府県4地域の栽培品種の5水田で調査した。最も長く調査を行っている水田は2021年で33年目である。品種は新羽二重、コシヒカリ、ベニアサヒの3品種である(表2)。

実施場所ごとの特徴をまとめると、野洲Iがあるこの地域は3年毎に転作があり、転作翌年の収量は上がるが転作2年目の収量が前年比約30%減少する傾向が見受けられる。転作時は無施肥栽培で蔬菜を栽培している。転作時以外は継続して新羽二重を栽培している。2021年の収量は259 kg/10aで前年比7%減収にとどまり、2021年は比較的収量が良かったと考えられる。

亀岡I水田は2020年よりコシヒカリを栽培しているが、これまでの栽培品種はベニアサヒと秋の詩である。過去10年間の平均収量が210 kg/10a前後の水田で、直近5年の平均収量は200 kg/10aを下回る。2021年は233.3 kg/10aとやや収量が高かった。福井F水田ではコシヒカリを栽培し続けており、7aと小面積であるが除草や水管管理など栽培管理が十分行われている。過去10年間の平均収量は371 kg/10aと調査を行っている水田では比較的高収量を維持している。1951年から無施肥を継続していた滋賀県栗東水田の土壤を移設した京都府宇治市小倉R水田と2003年から継続して水稻栽培を行っている小倉O水田ではどちらも晩生品種のベニアサヒを栽培し続けている。R・O水田それぞれ過去10年間の平均収量と本年を比べるとそれぞれ4%, 8%収量が高かった。



亀岡 I・福井 F・野洲 I の点線は転作時を表す

図3 坪刈り収量の変遷

収量の変遷(図3)では各圃場から得られる収量の下限値がある程度推測出来る。2016～2020年の5年間は2015年以前の収量の低下度合いよりも、さらに収量の低下度合いが進んでいる。無肥研の管理水田では収穫時の作業性の為に中干しを実施したが、2021年は中干しを行わなかった。中干しを行うことで収量低下の度合いが進んだ可能性が示唆された。家田(2021)も中干しによる収量の低下を報告している。しかし中干しを実施しないことにより収穫時の作業性の悪化の可能性があるので、労力が増える事がある。

今後も長期間調査を続けることで収量の低下の原因(水管理、雑草処理等)究明や無施肥栽培に適合した栽培管理の確立をめざしたい。

(3) 全収量

产地、品種、実施開始年の異なる14圃場の収量を参考資料としてまとめた。収量は登録面積と収穫量を聞き取り調査から求めたものである。

表3 無施肥栽培水田の全収量(2021)

水田	产地	実施開始年	品種	収量 (kg/10a)	過去5年の 平均収量 (kg/10a)	備考
亀岡 I	京都府亀岡市	1994	コシヒカリ	204.3	160.0 ±34.1	注1
福井F	福井県越前市	1997	コシヒカリ	331.4	340.5 ±48.6	
中道 I	滋賀県野洲市	2007	コシヒカリ	192.0	271.3 ±68.9	注2
亀岡 II	京都府亀岡市	2009	コシヒカリ	227.4	192.8 ±52.1	
牧野	福井県福井市	2009	コシヒカリ	235.6	181.0 ±57.2	
牧野 II III	福井県福井市	2010	コシヒカリ	222.3	175.3 ±49.2	
平田	京都府南丹市	2012～2015	コシヒカリ	329.3	308.0 ±30.3	
尾形	福井県越前市	2017	コシヒカリ	392.7	466.9 ±94.6	
野洲 II	滋賀県野洲市	1995	秋の詩	285.0	255.4 ±66.3	注3
野洲 III	滋賀県野洲市	1995	秋の詩	264.3	288.0 ±67.0	注3
小倉OR	京都府宇治市	2003	ベニアサヒ	287.7	245.1 ±32.8	
中道 II	滋賀県野洲市	2010	朝日	228.0	247.2 ±36.0	
野洲 I	滋賀県野洲市	1989	新羽二重	225.6	204.6 ±38.3	注3
成田	兵庫県豊岡市	2018	新羽二重	269.9	266.7 ±24.7	注3

注1 2019年は病気が発生したので、除外して過去4年間で計算した。

注2 過去3年間で計算した。

注3 過去4年間で計算した。

2. 早期湛水深水管理

NTT ドコモ東北復興新生支援室の堆英明氏が提唱された水稻栽培の管理法である。この栽培管理法は田植え前の深水管理による多数回の代掻きにより埋土雑草種子を削減し移植後の深水管理による抑草と稻が秋勝り型になり増収に繋がるというものである。

2021年は野洲Ⅲでこの栽培管理法を試みた（表4）。栽培品種は秋の詩である。

表4 野洲Ⅲ水田栽培管理

日時	1/21	3/27	4/7	4/22	5/6	5/9	5/25	7/22	9/6	10/1
作業内容	冬耕	春耕	荒代掻き	代掻き①	代掻き②	田植え	水深14cm	水深7cm	落水	稻刈り
水深			14cm	14cm	14cm	2~3cm	14cm	7cm		

水尻部を畦畔板で区切り、常時水深7cmの水管理で栽培する区（浅水）を設け深水管理する区（深水）と比較した（図4）。

（1）生育期間

深水区は田植え後、水深に対して苗が小さく水没して消えてしまうことがあった。本水田は長期間（26年間）無施肥栽培を継続し、除草が十分行われていたので雑草が少ない水田である。深水管理による抑制効果もあり雑草が例年に比べ少なく、手取り除草を1回行ったが労力は少なかった。浅水区は例年と同様に手取り除草を3回行い、労力は例年と変わらなかった。本水田ではコナギ、ホタルイ、ヒエが主な雑草であるが、8月に入ると水田一面にキクモが繁茂するようになり、収量に影響があった可能性がある。また本水田は水捌けが悪く収穫時の機械作業が円滑に行える事を考え、水田の周囲を掘り、水田を乾かす為の労力が大きかった。

（2）収量

表5 株刈り法の収量・収量構成要素

調査株数	全乾物重 (g/m ²)	穗数 (本/m ²)	一穂粒数 (粒/穂)	登熟歩合 (%)	1000粒重 (g)	収量 (kg/10a)
深水	30	828 ± 25.1	157 ± 8.1	102.2 ± 4.3	92.0 ± 0.4	23.0 ± 0.1
浅水	10	781	147	98.7	92.2	22.7
平均値±標準誤差						

収量（表5）は深水区322 kg/10a、浅水区は337 kg/10a、浅水区が深水区よりも5%多く、水管理の違いで収量の差は現れなかった。穗長は深水区が19.3 cmあり、浅水区は18.5 cmであった。穗数は深水区が157本/m²であり、浅水区は147本/m²であった。1000粒重は深水区が23 gあり、浅水区は22.7 gであった。前年の穗長は17.6 cm、1000粒重は21.2 g、穗数は270本/m²であり、深水管理によるものと思われる穗数の減少も見られ、秋勝り型である穗長・1000粒重の増加も見られたが、浅水区も深水区と同等の結果になった。

また穀粒判別器を使った米の評価（丸田 2021）では早期湛水深水管理を実施しなかった野洲Ⅱの玄米よりも整粒の割合が高く、着色米・碎米・白未熟米が少なく玄米の粒質が高か

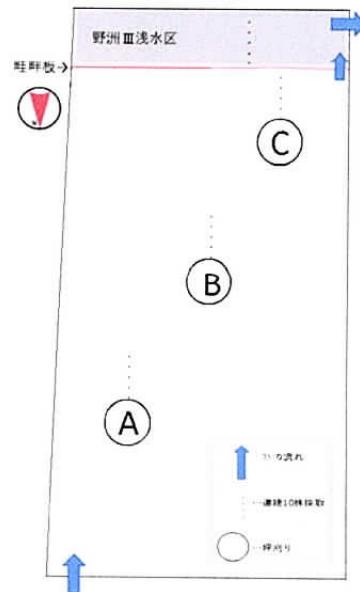


図4 野洲Ⅲ水田

ったが、食味計のスコアは例年の栽培管理を行った野洲Ⅱの方が高かった。

(3) 考察

浅水区も田植え前迄の作業工程は同じであり、早期湛水による代搔きの効果なのか、浅水区の水深 7 cmでは深水と同じ効果があつたのかも分からぬが、雑草の生え方には差が見られ、除草の労力は深水区の方が少なかつた。

この栽培管理法を行うには深水に耐えうる堅牢な畦と中干しを行わないと水捌けがよい水田が好ましく、大きい苗を使用する事で苗の水没を防ぐ。早期湛水深水により雑草が抑制できれば労力は少なくなる。深水管理による秋勝り型の稻になれば収量が増加する可能性があると考えられ、無施肥栽培の栽培管理法に適していると思われる。

3.まとめ

無施肥栽培においては特に土壤養分を奪う雑草の抑制と水管理は重要であり、水田を良く観察し、稻の生育状況に合わせて除草に入ることも必要である。早期湛水深水管理などの栽培管理方法やアイガモロボットの様な新しい技術の導入なども検討し、今後も長期間調査を続けることで水管理や除草方法による収量の影響の究明や無施肥栽培に適合した栽培管理の確立をめざしたい。

引用文献

- 丸田 (2021) 無施肥無農薬栽培水稻の品質評価
家田 (2021) 長期無施肥無農薬栽培水田における冬期湛水・中干しの有無が生育および収量に及ぼす影響

無施肥無農薬栽培水稻の品質評価（資料提供）

丸田信宏（NPO 無肥研）

無施肥無農薬栽培水稻の品質評価を以下の3つの方法で試みた。

1. 玄米の食味値

静岡製機株式会社 TM-3500 を用いて水分、タンパク質、アミロース、脂肪酸度およびスコアを求めた。各指標は3回測定の平均値を求めた。

(1) 2021年の結果

表1. 玄米における食味値（2021年調査分）

生産者 (敬称略)	栽培地	実施開始年	品種	水分 (%)	タンパク質 (%)	アミロース (%)	脂肪酸度	スコア
阿部	岩手県奥州市	2007	ササニシキ	14.3	5.7	19.0	18.0	88
阿部	岩手県奥州市	2011	コシヒカリ	14.6	5.6	19.4	18.0	89
堀	長野県木島平	1998	コシヒカリ	14.1	5.5	18.8	15.0	92
丸山	福井県越前市	1997	コシヒカリ	15.0	6.4	18.5	20.0	80
尾形	福井県越前市	2017	コシヒカリ	14.9	7.0	17.9	18.0	78
中村	福井県大野市	2003	コシヒカリ	13.7	7.1	17.6	14.0	79
牧野	福井県福井市	2009	コシヒカリ	13.6	5.6	18.6	13.0	91
中道	滋賀県野洲市	2010	コシヒカリ	13.4	5.8	17.6	13.0	92
無肥研	京都府亀岡市(K1)	1993	コシヒカリ	15.3	5.4	16.8	17.0	92
無肥研	京都府亀岡市(K2)	2009	コシヒカリ	15.3	5.4	16.9	17.0	92
成田	兵庫県豊岡市	2018	コシヒカリ	13.6	6.4	18.2	13.0	85
無肥研	滋賀県野洲市(Y2)	1995	秋の詩	14.3	5.5	18.0	16.0	91
無肥研	滋賀県野洲市(Y3)	1995	秋の詩	14.1	5.8	18.8	17.0	87
越田	石川県羽咋市	2016	日本晴	12.7	6.0	20.3	14.0	86
尾形	福井県越前市	2017	日本晴	13.4	6.3	17.7	14.0	87
平田	京都府南丹市	2015	日本晴	13.5	6.2	17.7	14.0	87
越田	石川県羽咋市	2020	銀坊主	12.8	6.2	19.6	14.0	85
中道	滋賀県野洲市	2010	朝日	13.7	6.3	19.1	17.0	84
無肥研	京都府宇治市(O)	2003	ベニアサヒ	14.2	6.2	18.7	17.0	85
無肥研	京都府宇治市(R)	2003	ベニアサヒ	15.4	5.9	18.8	23.0	85
上田	京都府京都市	2021	農林16号	14.1	5.6	18.1	15.0	92
			平均	14.1	6.0	18.4	16.0	87.0

参考データ（2021年栽培米）

中道	滋賀県野洲市	コシヒカリ（オーガニック1年目）	69
中道	滋賀県野洲市	コシヒカリ（オーガニック10年目以上）	88
中道	滋賀県野洲市	きぬむすめ（慣行栽培）	68

7府県、8品種、21供試体のデータを測定した。（参考として滋賀県の中道氏より提供いただいた、オーガニック、慣行栽培の3供試体の食味スコア掲載した。）全体的にタンパク含量が低く、いずれの産地、品種とともに概ねメーカーが示している指標（図1）と照らし合わせると高いスコアとなった（表1）。図1. 測定値の目安（静岡製機（株）2012）

玄米水分	適正				
	14.5	16.0			
タンパク質	適正				
	8	9			
アミロース	良い	普通	劣る		
	18	22			
脂肪酸度	良い	普通	劣る		
	16	20			
スコア	劣る	やや劣る	普通	やや良い	良い
	50	60	70	80	

日本米産では 65—75 点が基準になっており、70—80% の人が美味しいと認める 70 点以上の良質米作りを目指す（米・食味検定士協会）という考え方や、（株）つくば分析センターの 2012—2019 年に調査が

行われた 3149 サンプルの平均値が 77 であったこと、米・食味鑑定士協会が主催する新米の食味鑑定による国際コンクールの一次審査は同機を使用して 85 点以上が通過するなどということを考慮すれば、平均 87.0 というスコアは高いと言える。

福井県産コシヒカリでスコアが低いものがいくつか見られたが、これは 2021 年のその地域の気候が影響したと考えられる。京都府、滋賀県のコシヒカリは概ね高い値となった。京都府宇治市 R 水田の脂肪酸度が高かったが、その要因はわからない。

(2) 経年比較

2019—2021 年までの食味スコアを比較した。

2019 年 5 府県 11 品種 28 供試体

2020 年 6 府県 8 品種 21 供試体

2021 年 7 府県 8 品種 21 供試体

2020 年の 100 点は外れ値となった。年次に多少の差はあるものの、平均約 83.4—87.7 が高いスコアになった。このことから、無施肥無農薬栽培米は気候などの影響を受けるものの、産地、品種に関わらず概ね高いスコアであると言える。

2. 炊飯米食味

表 3. 炊飯米における食味値（2021 年調査分）

栽培地	実施開始年	品種	外観評価	硬さ評価	粘り評価	鮮度評価	食味鑑定値
京都府亀岡市(K1)	1993	コシヒカリ	8.79	2.18	8.16	10	85.58
京都府亀岡市(K2)	2009	コシヒカリ	8.72	2.42	7.68	10	84.71
滋賀県野洲市(Y2)	1995	秋の詩	8.22	2.51	7.98	10	81.20
滋賀県野洲市(Y3)	1995	秋の詩	7.63	2.69	6.96	10	76.74
京都府宇治市(O)	2003	ベニアサヒ	6.03	3.43	5.52	10	66.30
京都府宇治市(R)	2003	ベニアサヒ	6.51	3.15	6.72	10	69.86

表 2. (株) つくば分析センターによる食味成分試験結果のまとめ（2012—2019 年）

試験成分	平均値	最小値	最大値	n=3149
水分	14.6	11.2	17.8	
タンパク	7.3	5.1	11.6	
アミロース	18.3	13.2	22.3	
脂肪酸度	18.5	5.0	29.0	
スコア（食味値） ^{a)}	77	44	95	

^{a)} 精米のデータを含む

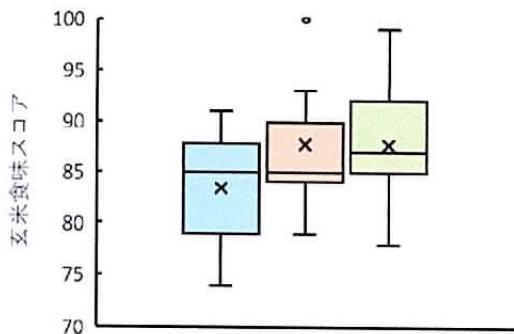


図 2. 年次間の玄米食味値（2019—2021）

京都府および滋賀県の NPO 直轄圃場 3 か所 6 水田 3 品種 6 供試体の炊飯食味値を外観、硬さ、粘りより求めた。（新鮮度は新米として統一的に見るため 100 点とし、計測していない。）測定は佐々木研究所農業経営技術コンサルタント佐々木氏に依頼した。測定には（株）サタケ食味鑑定団を用いた。同機での点数の上限は 99 点である。以下は測定者佐々木氏よ

り教えて頂いた同機に関する知見である。

- ・同機ではご飯の外観と硬さ、粘り、柔らかさのバランスでみられるので、水をしっかり吸っても柔らかくなりにくいお米で点数が高い。
- ・コシヒカリで80点～85点が多く、良食味米は90点以上、コンクール入賞品は93点くらいである。（入賞は810サンプル中、3サンプル位の確率）
- ・コンクール高得点の米の硬さは全平均2.46に対し、1.3～1.8、粘りは8.44に対し9.11以上である。
- ・品種により高スコアのもの、そうでないものがある。（みずかがみは80点を超えるのは少ない、きぬむすめは90点以上もよく出るが、朝日（旭）はやや黄ばんで外観が良くなないので点数は上がらないなど）

食味鑑定値は、コシヒカリ、秋の詩、ベニアサヒの順に高くなり、品種の特性がスコアに表れた。観点別でも、外観はこの順になり、硬さはこの順に柔らかく、粘りはこの順に粘りがある結果となっていた。

玄米食味値と炊飯食味値には強い正の相関($r=0.966$)がみられた（図3）。コシヒカリは両スコアは近い値になったが、秋の詩、ベニアサヒは玄米食味値よりも炊飯食味値が低いスコアとなった。これは、両測定器ともコシヒカリを基準に作られていること、炊飯することにより実際に食べる状態に近づき、品種の特性が玄米よりも炊飯の方がよりはつきり表れたことが要因だと考えられる。

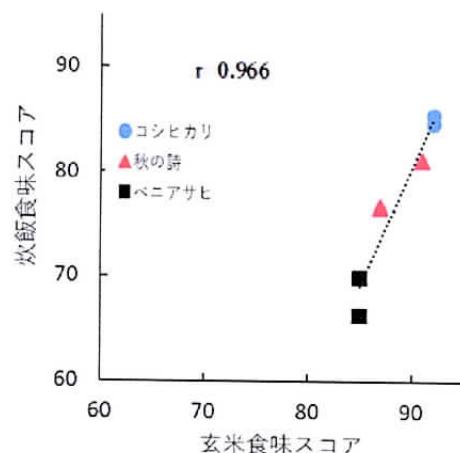


図3. 玄米食味値と炊飯食味の関係

3. 穀粒判別

表4. 穀粒判別器による米の評価と等級

栽培地	実施開始年	品種	整粒	計	死米	着色粒	胴割粒	碎粒	白未熟	等級
京都府亀岡市(K1)	1993	コシヒカリ	60.0	12.8	2.0	1.6	0.5	0.6	8.1	
京都府亀岡市(K2)	2009	コシヒカリ	62.0	13.4	1.8	1.8	0.9	0.5	8.4	
滋賀県野洲市(Y2)	1995	秋の詩	71.2	8.6	1.7	0.4	3.6	0.8	2.1	3等
滋賀県野洲市(Y3)	1995	秋の詩	76.0	6.3	0.6	0.3	3.4	0.5	1.5	2等
京都府宇治市(O)	2003	ベニアサヒ	66.8	23.8	0.7	0.4	16.7	3.5	2.5	3等
京都府宇治市(R)	2003	ベニアサヒ	73.9	15.1	0.5	0.3	8.8	3.0	2.5	2等
京都府京都市	2021	農林16号	66.7	18.9	1.1	0.3	6.5	1.7	9.3	2等
全て%										

表5. 玄米の検査規格（農水省）

項目 等級	最 低 限 度		最 高 限 度							
	整 粒 (%)	形 質	水 分 (%)	被 害 粒、死 米、着 色 粒、異 種 穀 粒 及 び 異 物					異 種 穀 粒 (%)	異 物 (%)
				計 (%)	死 米 (%)	着 色 粒 (%)	もみ (%)	麦 (%)	もみ及び麦を除いたもの(%)	
1 等	70	1等標準品	15.0	15	7	0.1	0.3	0.1	0.3	0.2
2 等	60	2等標準品	15.0	20	10	0.3	0.5	0.3	0.5	0.4
3 等	45	3等標準品	15.0	30	20	0.7	1.0	0.7	1.0	0.6

株式会社サタケ製の穀粒判別器 RGQI 100B を用い、NPO 直轄圃場の米を中心に 4 品種 7 水田で収穫した米の整粒、着色粒、死米、胴割粒、碎粒、白未熟の割合を求め、農林水産省の企画と照らし合わせて等級を判別した。

農水省の基準では死米率の上限が 1 等で 7%に対し、無施肥米は 0.5%~2.0%と顕著に低く、無施肥米の特徴であると言える。これは施肥を行わないため、稲が無駄な穂や穀をつけず、登熟させていることが理由として考えられる。

一方、無施肥米の着色粒の割合が農水省の基準値に比してやや高い。この基準値に関しては、健康や味に影響はないが、1 等米の基準は、着色粒の混入をほぼゼロにするよう求めていて、見た目を重視するあまり、過剰な農薬散布につながっているとして、一部の農家や消費者からは規定の廃止を求める声が上がっているとの報告がある（小林 2019）。見た目のみ重視して、成分検査もほとんど行われていない今の制度は安全性を求める消費者ニーズに逆行しているとの声もある。京都府亀岡市 K1, K2 水田のコシヒカリはカメムシによる害だと考えられる着色粒率が高く、品質は下がるがとしても、他の米は 0.3%~0.4%と低い値であり、農薬を使用しない無施肥栽培ではしっかり栽培管理された米であると考えられる。

（この着色粒率の基準を除外すると、秋の詩は 1 等となるなど等級が上がるものがある。）

京都府宇治市のベニアサヒに胴割粒が多いのは、収穫期を過ぎて収穫したこと、さらに〇水田については乾燥機のかけすぎなど人為的な要因と考えた。

4. まとめ

様々な角度から無施肥無農薬栽培米の品質評価を行ったが、最も大切なのは機械による評価ではなく、舌で味わうことである。おいしさに加え無農薬で安心して食べることが出来るということも消費者にとって大切なことである。実際に化学物質に対して過敏な人が無施肥無農薬米を食べられるという報告もされている。まだまだ無施肥無農薬栽培米の流通量は少ないが、今後も調査を続けて品質に関するデータを蓄積していきたい。

謝辞：本研究を行うのにあたり、中道農園の中道唯幸氏、佐々木農業研究会の佐々木茂安氏には食味計、粒質判別機の使用を快諾いただいたり、炊飯食味の分析に協力いただいたりしてただけでなく、それぞれご自身の経験から食味に関する知見やデータを教えて頂き、ご意見、ご助言もいただきました。ここに記して深く感謝いたします。

【引用文献】

- ・静岡製機（株）（2011）食味分析資料 お米の成分・特性と品質
- ・米・食味検定士協会 お米豆知識 食味スコアについて 米・食味検定士協会ホームページ
<https://www.syokumikanteisi.gr.jp/sample/bootstrap/Initio/chishiki-syokumi.html#ac>
- ・株式会社つくば分析センター 解説資料 食味品質評価票について
- ・農林水産省 政策統括官（2019）穀粒判別器の概要
- ・小林由比（2019）米の等級下げる「着色粒」規定廃止求める声上がる 東京新聞 web
<https://www.tokyo-np.co.jp/article/12167>

中耕除草回数の違いが長期無施肥無農薬栽培水稻の生育・収量・品質に及ぼす影響

丸田信宏^{1O}・白岩立彦^{1, 2}(¹NPO 無肥研・²京大院農)

【背景および目的】

慣行栽培・有機栽培・無施肥栽培などあらゆる農法において、農作物と養分を競合する雑草の処理は収量確保の観点から重要だと考えられる。殊に人为的に肥料などの有機物を投入せず、除草剤などを用いない無施肥無農薬栽培においては雑草管理は重要であると考えられる。しかし近年、水田内の生物が雑草を食すため雑草が抑えられており、除草作業をほとんど行う必要がないが収量が思わしくない圃場がある。

山形県にある無施肥栽培4年目の圃場で行われた先行研究では、水稻栽培において中耕除草作業は土壤の養分を奪う雑草の除去という利点よりも、土壤の攪拌により土壤に酸素を供給する効果を認め、增收につながることを報告している(粕渕・荒生2021)。

しかし、10年以上の長期間、継続的に無施肥栽培を行い、収穫後稈わらも水田から持ち出している圃場においての報告例はない。東北地方以外の異なる地域、実験に用いられたササニシキとは異なる品種でも同様のことが言えるのかを確かめることにした。そこで本研究の目的は、水稻增收のために適切な中耕除草の時期、回数を明らかにすることとした。そのために、0回、2回、6回除草区を比較し、3水田で早生のコシヒカリもしくは晩生のベニアサヒを栽培して、生育、収量、品質を調査した。

【材料および方法】

表1. 供試水田の概要

1. 供試水田について

実験は、京都府亀岡市のおたがい接する2水田(K1, K2)、京都府宇治市

水田名	場所	環境	土壌分類	水源	無施肥栽培開始
K1	京都府亀岡市	盆地	灰色低地土	貯水池および井戸	1994
K2	京都府亀岡市	盆地	灰色低地土	貯水池および井戸	2009
R	京都府宇治市小倉	干拓地	強グライ士	宇治川	2003*

土壌分類は農業環境技術研究所「土壤情報閲覧システム」より

*2006年に表層土約15cmをスキ取り隣接の畑に盛土し、スキ取ったところへ1951年より実施してきた栗東水田の表層土約15cmを運搬し移設

小倉の1水田(R)の3筆で行った。それぞれの水田の概要は表1に示した。いずれの供試水田も、無施肥栽培開始年から1年も途切れることなく継続的に水稻栽培を行っている。収穫後、刈り株以外は圃場から持ち出し、有機質資材を含め全くの無肥料・無農薬条件で栽培を継続している。耕起は1月に冬耕、田植え前約1ヶ月前に春耕、田植え前に荒代掻きと本代掻きを行った。用排水は分離されていて、上流にある水田からの排水は入っていない。

2. 供試品種と栽培概要

供試品種はコシヒカリ(K1, K2水田)とベニアサヒ(R水田)を用いた。糊種はそれぞれの圃場、もしくは近隣のNPO直轄圃場で前年に収穫した糊を翌年に栽培することを

継続的に行っているものを用いた。ポット育苗箱（ミノル産業製）に1ポット3粒で播種し、ハウス内の畑苗代で約35日間育苗した後、1株あたり3本を手植えで本田に移植した。栽植密度は16.8株/m²（株間33cm×条間18cm）。中干しは行わず、収穫約2~3週間前まで常時湛水状態を維持した。

3. 除草方法と試験区の設定

中耕除草はエンジン付き水田用小型管理機ミニエース（太昭農工機TG-ES.図1）で行った。2条分の除草ができる機械で、それぞれの除草時に同じ場所を往復

表2. 各水田の除草日

除草日	K1, K2水田			R水田		
	0回	2回	6回	0回	2回	6回
5/22		+6		6/1		+9
5/29		+13		6/8		+16
6/6	+21	+21		6/14	+22	+22
6/13		+28		6/22		+30
6/20		+35		6/29		+37
6/26	+41	+41		7/6	+43	+43

数字は本田移植後の日数

数字は本田移植後の日数

して除草した。各圃場に除草回数の違う3区（0回：A区、2回：B区、6回：C区）をそれぞれ3反復ずつ設置した（図2）。それぞれの除草日は表2の通りである。中耕除草期間は、最高分蘖期頃になる移植6週間後までに、2回区はおよそ3週間隔、6回区はおよそ1週間隔で行った。それぞれの調査区内には、生育調査および収量調査を行う10株と収量調査のみを行う10株を設けた（図2）。



図1. 小型管理機ミニエース

4. 調査項目

①生育調査：本田移植後2週間目より、生育調査株について、茎数・草丈・SPAD値（ミノルタSPAD-502を使用）を1~2週間ごとに測定した。雑草の発生程度の観察は、7月上旬の6回目除草約2週間後と収穫日を行い、写真で記録した。

②収量調査：収穫後は、ビニールハウスで約2~4週間乾燥させた後、生育調査した全株について、収量構成要素を計測

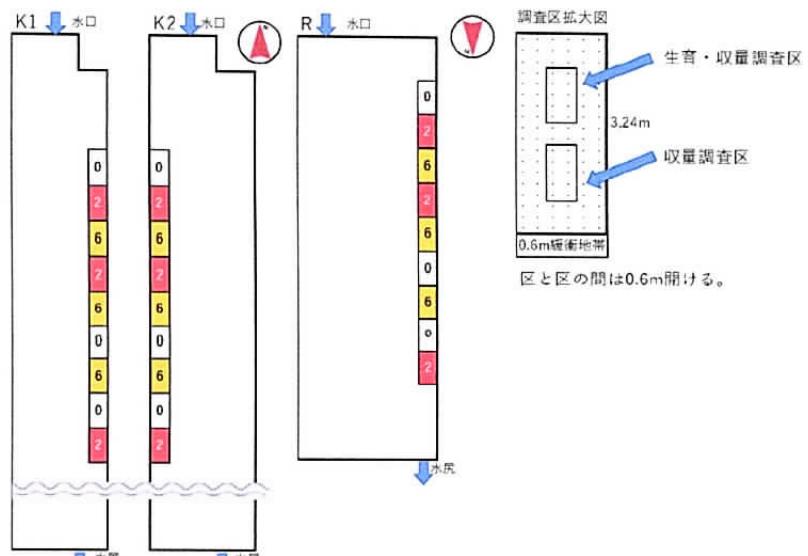


図2. 各水田の調査区の配置

した。各10株の平均的な穗数の3株について粒数、不稔粒数および精穀重を測定した。

区ごとに粗玄米重、玄米重（粒径1.8mm以上の玄米）、20g粒数（千粒重への換算）および水分率を計測した。得られた玄米重量は15%水分に換算して収量とした。また、収

量調査区の10株において、粒重、粗玄米重および水分率を計測した。統計処理は要因の効果を判定するには分散分析、試験区間の差の比較にはTukeyの多重比較を用いた。

③食味調査：玄米食味値は、静岡製機株式会社の食味分析計TM-3500を用い、3回の測定結果の平均値を求めた。

【試験結果および考察】表3. 栽培概要

1 生育調査

出穂は除草回数が多いほどやや遅くなる傾向がみられた(表3)。

(1) 調査結果

1) 雜草の発生程度

水田	品種	区(除草回数)	播種日	本田移植日	最高分蘖期	出穂期	収穫日
K1	コシヒカリ	A(0回)	4/11	5/16	6/25頃	7/24頃	9/4
		B(2回)	4/11	5/16	6/26頃	7/24頃	9/4
		C(6回)	4/11	5/16	6/24頃	7/27頃	9/4
K2	コシヒカリ	A(0回)	4/11	5/16	6/24頃	7/22頃	9/4
		B(2回)	4/11	5/16	6/26頃	7/24頃	9/4
		C(6回)	4/11	5/16	6/21頃	7/24頃	9/4
R	ベニアサヒ	A(0回)	4/17	5/23	7/4頃	8/29頃	10/12
		B(2回)	4/17	5/23	7/5頃	8/30頃	10/12
		C(6回)	4/17	5/23	7/5頃	9/1頃	10/12

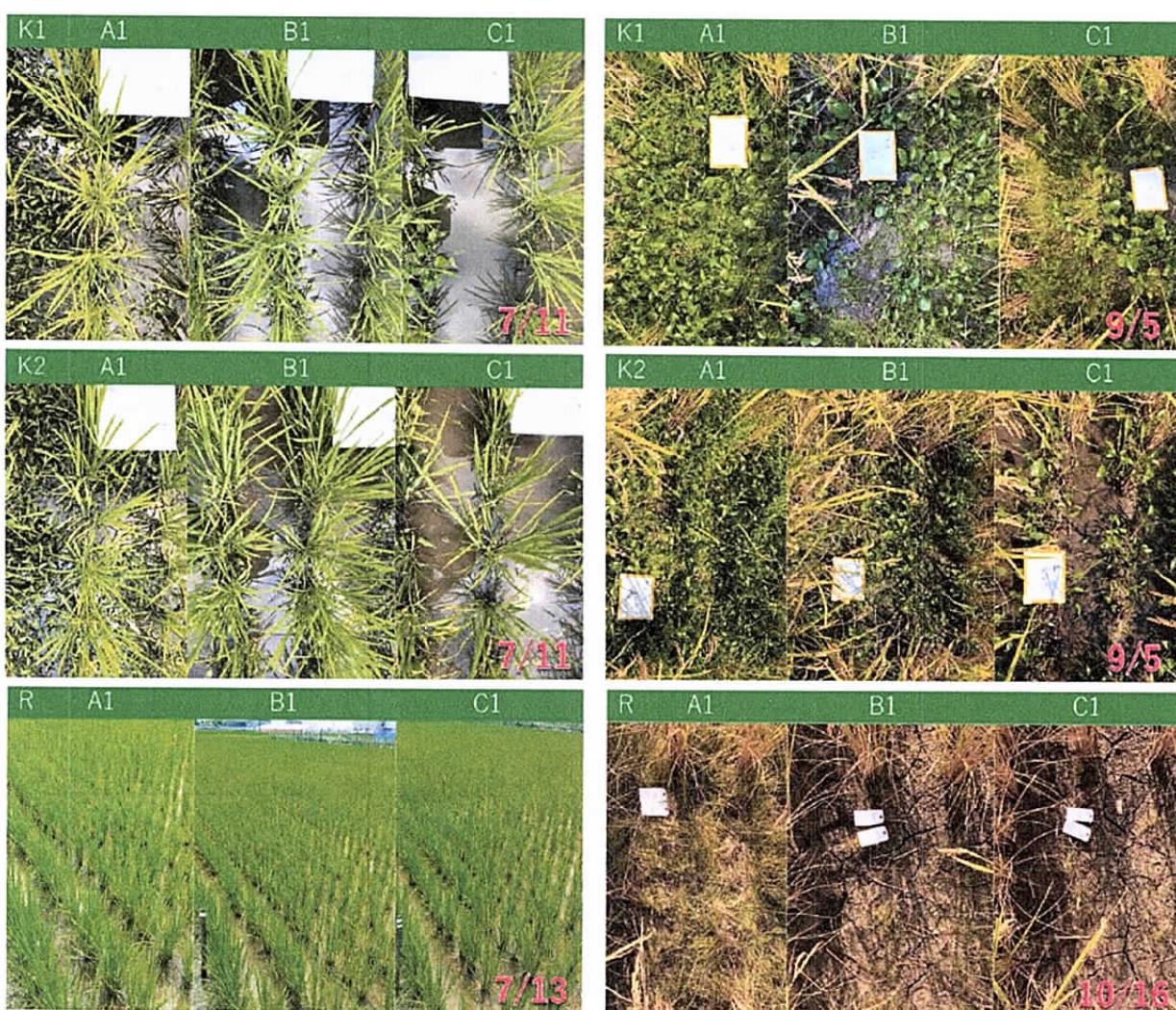
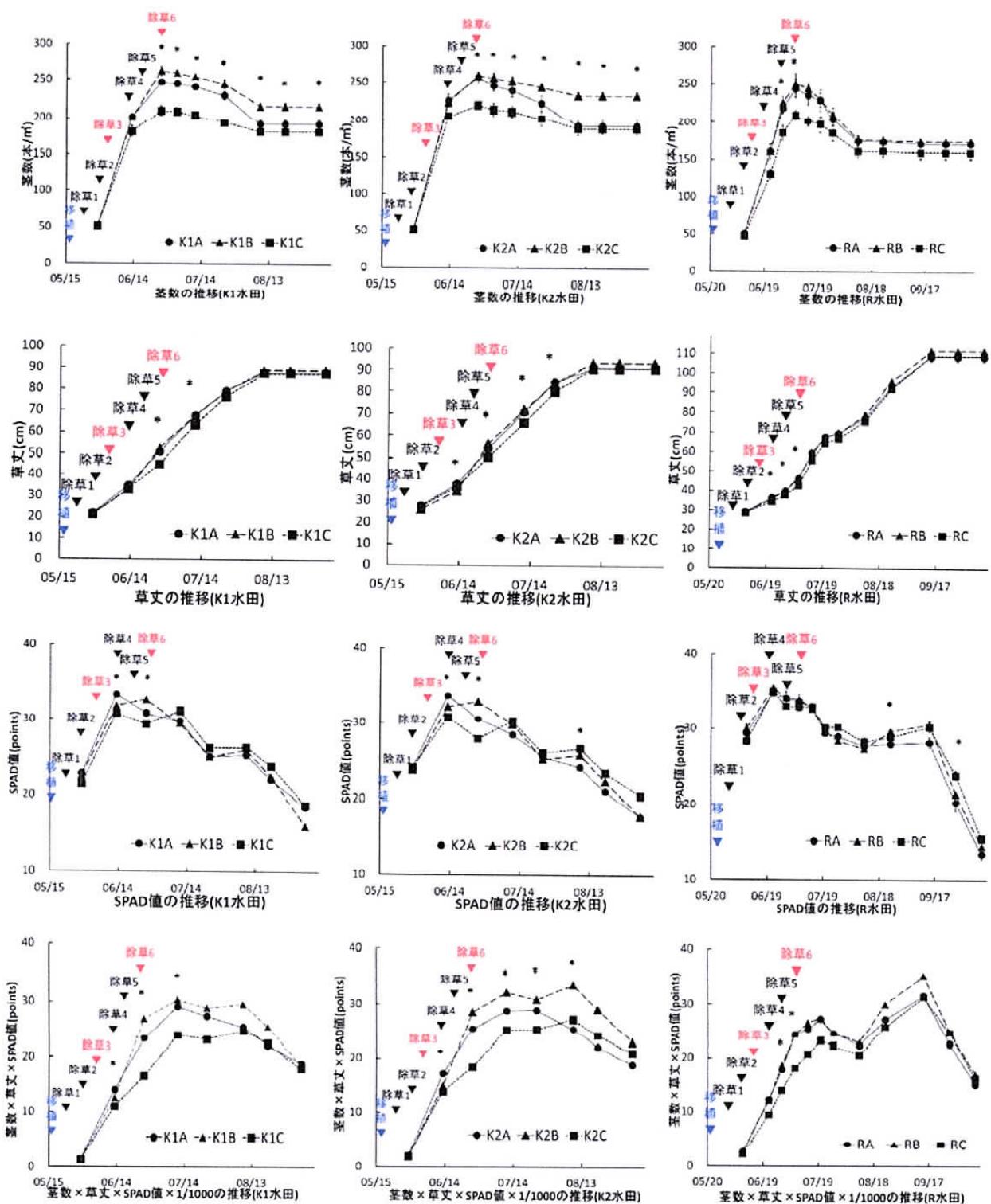


図3. 7月上旬と収穫日の地表の様子(写真)



*:分散分析の結果、同水田内で処理区間に5%水準で有意に差があることを示す。

図4. 各水田の生育調査結果

記録写真では7月も収穫日も、除草回数が多いほど雑草が抑えられているようであった(図3)。両撮影日ともB区とC区の差は限定的であったが、A区とB区の差は大きく、2回の除草で最高分けつ期から収穫期にかけて雑草はある程度抑えられていた。雑草の種類は、K1, K2ではコナギ、Rではホシクサが主であった。

2) 茎数の推移

最高分けつ期は同水田内で処理区間差は小さかった。茎数推移の傾向は水田により異なっていた。茎数は3水田全てで移植4週間後には、C区がA・B区よりも少ない傾向がみられた(図4)。K1, K2水田では移植6週間後にはC区がA・B区より有意に少なくなったが、その後A区の無効分けつ数が増え、8月中旬頃にはA・C区<B区となった。R水田ではK1, K2水田よりも茎数の区間差は小さく、移植5週間後と7週間後にはC区<B区と有意差が確認され、全生育期間を通してC区が少ない傾向であり、A区とB区の茎数は概ね同じ値で推移した。

3) 草丈の推移

3水田共、生育期間全体を通してB区の値が大きく、C区が小さい傾向が見られた。区間に有意差が確認された時期は水田により異なった。K1水田では移植6から8週間後にC区<A・B区と有意差が確認され、その頃が最も区間差が大きかったが、その後差は小さくなり、収穫期には区間差はほとんど見られなかった。K2水田では、移植4週間後にはA区>B・C区、6週間後はB>A>C区、8~10週間後にはA・B区>C区と有意差がみられたが、その後は収穫期まで有意差は確認されなかった。R水田では、移植4週間後にはA区>C区、5, 6週間後にはA・B区>C区と有意差が確認されたが、他の期間には有意差は確認されなかった。

4) SPAD値の推移

K1, K2水田とR水田では傾向が異なった。K1, K2水田では、B区のピークはA・C区と比べて2週間遅く、その後減少し、8月初旬に増加が見られた。R水田は各区とも概ね似た推移をたどったが、8月上旬から9月初旬の増加はA区はB・C区に比べて緩やかであった。3水田で出穗後のA区の値の増加がB・C区に比べて小さいのは、雑草に土壤養分を奪われたためと考えられた。

5) 茎数×草丈×SPAD値/1000 (N吸収インデックス)

稲の推定窒素保有量の指標としたN吸収インデックスの推移は、K1, K2水田とR水田では傾向が異なった。K1, K2水田では、移植4週間後はA・B・Cの順に高く、区間により有意差が確認されたところもあった。移植6週間後には区間差が最大となりB・A・Cの順に大きかった。その後は収穫期まで区間差は小さくなっていき、8月中旬以降は区間に有意差は確認されなかった。区間により最高値の時期やピークを示す時期の回数も異なった。

R水田では、移植4週間~6週間までC区の値は有意に小さかった。収穫期には区間差はほとんどなかった。推移の傾向は区間に大きな差はなかった。

(2) 考察

茎数やN吸収インデックスの推移は、移植4週間後までは除草回数が少ないほど生育がよいことから、中耕除草はその時点までの稲の生育に負の影響を与えたと考えられる。しかし、移植6週間後にはBの値がAを上回ることから、移植3週間後に行った除草作業が稲の生育に正の影響を与えたと考えられた。中耕除草により、土壤の搅拌による生育の促進、雑草処理による効果、あるいはそのいずれもあると考えた。しかし、C区は茎数、草丈、N吸収インデックスとともに概ね全生育期間を通して低い値であった。この要因として、除草時に除草機を往復で走らせたことから過度な断根を行ったこと、除草開始時期が早すぎることが考えられるが、はつきりしたことはわからない。

0回除草のA区の茎数やN吸収インデックスの推移はK1、K2とRとでは異なる傾向がみられたが、これはそれぞれの水田で栽培した品種、発生した雑草の種類、量の違いが影響を及ぼしたと考えた。

2 収量および収量構成要素

(1) 調査結果

表 4. 収量構成要素

水田	区	全乾物重(g/株)	穂数(本/穂)	一穂粒数(粒/穂)	登熟歩合(%)	千粒重(g)	玄米収量(g/m ²)
K1	A	35.7 ±01.3 cd	186.9 ±04.7 bc	67.5 ±03.2 b	90.4 ±2.2 a	21.1 ±00.1 bc	209.7 ±23.8 c
	B	39.4 ±01.1 cd	209.9 ±04.9 ab	66.0 ±01.7 b	90.3 ±1.8 a	21.3 ±00.1 bc	246.6 ±05.7 bc
	C	31.6 ±01.0 d	175.6 ±04.7 cd	64.5 ±01.8 b	94.7 ±0.3 a	21.3 ±00.1 bc	203.5 ±13.8 c
K2	A	37.5 ±01.4 cd	190.8 ±06.2 bc	67.2 ±01.7 b	90.0 ±1.2 a	20.9 ±00.0 c	216.9 ±13.5 c
	B	44.2 ±01.2 bc	231.8 ±05.7 a	68.2 ±02.1 b	86.0 ±3.3 a	21.2 ±00.0 bc	264.2 ±10.2 abc
	C	36.3 ±01.0 cd	190.2 ±03.5 bc	66.0 ±02.0 b	91.5 ±1.8 a	21.6 ±00.0 b	237.1 ±12.7 bc
R	A	53.7 ±02.1 ab	174.0 ±06.5 cd	87.2 ±03.0 a	92.1 ±0.7 a	22.3 ±00.0 a	302.5 ±23.8 ab
	B	56.1 ±01.4 a	175.6 ±05.0 cd	96.9 ±05.0 a	91.4 ±1.7 a	22.5 ±00.0 a	332.3 ±12.2 a
	C	51.0 ±02.2 ab	158.8 ±07.7 d	98.6 ±01.9 a	90.9 ±1.1 a	22.7 ±00.1 a	296.0 ±12.7 ab
除草回数		**	***	N.S.	N.S.	***	*
水田		***	***	***	N.S.	***	***
除草回数×水田		N.S.	*	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.

平均値±標準誤差

数字のあと同じアルファベットは、Tukeyの多重比較検定(5%水準)により、有意差なしを示す。

*** p<0.001 ** p<0.01 * p<0.05

玄米収量はB区>A・C区と有意に多かった(表4)。収量構成要素では穂数がB区>A・C区と有意に高くなった。一穂粒数・登熟歩合では区間差は認められなかった。千粒重はC区>A・B区と有意に高かった。

水田間の収量比較ではR>K1, K2と有意に多く、収量構成要素では一穂粒数、千粒重においてR>K1, K2となった。

(2) 考察

B区の収量がA, C区と比べて有意に高い結果となったが、その要因となる収量構成要素の割合はK1, K2とR水田とは異なった。これは水田の違いもあるが、品種の違いによ

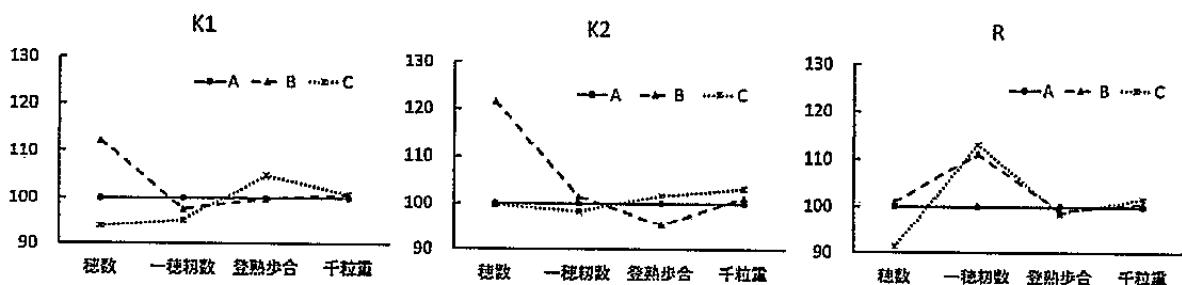


図5. 水田ごとの各区の収量構成要素割合（それぞれA区の値を100とした）

る差が大きいと考えた。穗数、一穂粒数、登熟歩合、千粒重をA区を基準にB、C区と比較した（図5）。K1、K2では、B区の収量が高いのは穗数に起因する部分が大きかった。生育調査より、B区の茎数は最高分蘖数が多かっただけでなく、無効分けつ数が少なかったことにより穗数を確保したことがわかる。これは中耕除草の攪拌効果による生育促進に加えて、雑草処理による効果が影響したと考えられる。R水田では、穗数はA区とB区とは同程度であったが、一穂粒数でB区が優り、収量が高くなった。これはA区の無効分けつが多かったため、土壤養分を無駄に消費したことと生育後期は雑草との養分競合により、Aが生育後期で息切れしたためと考えた。2回除草区Bが無除草区Aよりも収量が高かったのは明らかに除草の効果であると言えるが、6回除草区Cの収量がA区と有意な差が無かつたことから、適切な除草の方法、時期、回数については今後も調査の必要がある。今後は1回あたりの中耕除草の強度を小さくして実験を行い、雑草量、種類の比較を行ってさらに考察を深めたい。

また、先行研究においては除草回数が多いほど雑草量が減ることを報告しており、1回除草区の雑草乾物量は4回除草区の約400%、収量は約60%であった。それに対して本試験では、除草回数の違いによる収量差は比較的小さい。これは試験圃場が10年以上の長期無施肥田であるため、相対的に雑草量が少なく、雑草の収量への影響も限定的であったことが推察される。あるいは先行研究の収量は4回除草区で500 g/m²であるに対し、本実験で今回の得られた収量は2回除草区で240–330 g/m²であったことから、圃場の作物生産のポテンシャルに違いがある可能性がある。そのため、先行研究では生育前期の除草で受けたダメージを生育後期で挽回することができたことも考えられるが、はつきりしたことはわからない。また、無除草区Aの収量の誤差がB、C区と比べて大きいのは、無除草区は雑草量が多く、その量も反復間に差があるためだと考えられ、逆にBの誤差が小さい

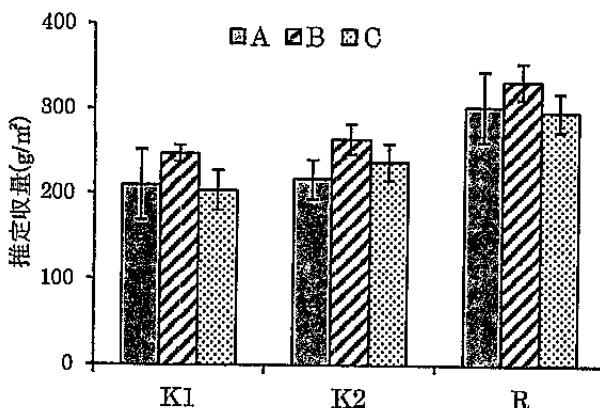


図6. 水田ごとの各区の収量

のは、適度な雑草処理ができ、除草作業による稲の生育へのダメージも少なかったことが要因だと推察した。

3 食味検査

(1) 調査結果

除草回数と食味値の関係は、K1, K2 と R とでは異なる傾向が見られた。K1, K2 では、除草回数が多いほど食味値が高かった。除草回数が少ないほど、タンパク含量、脂肪酸度が高かった。一方、R は 0 回除草の A が最もスコアが高く、タンパク含量も脂肪酸度も低かった。

表 6. 食味計によるスコア

水田 区	水分 (%)	タンパク質 (%)	アミロース (%)	脂肪酸度	スコア
K1	A 14.5	6.0	17.8	16	84
	B 14.0	5.7	17.7	13	87
	C 13.7	5.8	17.8	12	88
K2	A 14.1	6.1	17.7	15	84
	B 13.6	5.9	17.9	13	86
	C 13.9	5.7	17.7	13	89
R	A 13.2	5.5	18.6	12	93
	B 13.7	6.0	18.5	14	87
	C 13.5	5.8	18.9	14	89

2) 考察

スコアの違いは、水田の違い、品種の違い、生育期間の長さの違いなどの要因が考えられるが、はつきりしたことはわからない。B 区と C 区を比較すると、6 回除草の C 区の方が高スコアであったことから、中耕除草は食味に影響を与える可能性がある。

【結論】

本研究においては B 区（2 回除草区）が収量では 0 回、6 回除草区よりも高かった。中耕除草による抑草の効果はある程度認められたが、過度の断根の可能性も考えられた。食味値は 2 回除草区よりも 6 回除草区の方が高い傾向がみられたが、収量、除草にかかる労力を合わせて考えると、本試験からは中耕除草回数が多いほど良いとは言い難い。

謝辞：本研究を行うのにあたり、中道農園の中道唯幸氏には食味計の使用を快諾いただいただけでなく、ご自身の経験から栽培面、食味に関するご意見、ご助言もいただきました。ここに記して深く感謝いたします。

【引用文献】

- 荒生秀紀 2016. 無肥料・無農薬水田における多数回中耕除草とその効果.
柏原辰昭・荒生秀紀 2021. 自然との共生をめざすコメ作りー江戸時代に学ぶ新農相一. 新農書 118-120

長期無施肥無農薬栽培水田における 冬期湛水・中干しの有無が生育および収量に及ぼす影響

家田善太^{1〇}・白岩立彦^{1, 2}（¹NPO 無肥研・²京大院農）

1. 緒言

一般的に無施肥無農薬栽培（以下、無施肥栽培）を長く行う水田は収量が少ない傾向がある。これは土壌養分、特に収量に影響すると知られている窒素量が乏しいためか、あるいは土壌養分を有効に利用していないためかなど要因は明らかにされていない。また、無施肥栽培では土壌に人為的な異物投入を行わないため、かんがい水による養分供給が必須であり、そのために水管理が重要となる。

そこで、慣行栽培で水管理による土壌養分が増加した事例：冬期湛水、および土壌養分を有効利用した事例：中干しに着目した。

冬期湛水：土壌や田面水中の窒素量が増加する（細川ら、2012），水稻生育期間中の窒素肥沃度が高まる（大森ら、2013）。

中干し：草型が改善され水稻の収量が増加することが知られている（田村）、土壌中の養分を有効化して吸収しやすいかたちに変える効果がある（堀江、2004）。

しかし、無施肥栽培にて冬期湛水・中干しを実施している事例はあるが、それらの実施の有無について養分利用や収量を比較調査した事例は極めて少ない。無施肥栽培にて、これら水管理による増収の効果を明らかにすることが現状の課題である。

そこで本試験では、長期無施肥水田にて冬期湛水と中干しを実施し窒素利用量および収量の増加を目的とした。その影響を明らかにするために、異なる2筆の長期無施肥水田にて冬期湛水と中干しの有無を組み合わせた栽培比較試験を行い生育および収量を調査した。

2. 試験方法

2 (1) . 供試水田、品種、処理

滋賀県野洲市無施肥栽培試験水田（野洲II 1995年より無施肥栽培；以下、野洲）および京都府宇治市小倉無施肥栽培試験水田（〇水田 2003年より無

施肥栽培：以下、小倉）を供試水田とした。6条9株（条間33cm 株間18cm 栽植密度16.8株/m²）を調査区とし中央の2条3株の計6株を測定株とした。

供試品種は秋の詩を用いた。

冬耕後の1月22日から4月15日（小倉は4月25日）まで、湛水区と落水区（冬期湛水の有無の区）を設けた。また、6月20日から6月30日まで、湛水区と落水区（中干し、その後もう一度土壤表面が見えるまで落水の有無の区）を設けた。

上記2種の水管理を組み合わせ4区（表1）

表1. 調査区概要

区	冬期湛水	中干し
干干区	無し ○	有り ○
干水区	無し ○	無し ●
水干区	有り ●	有り ○
水水区	有り ●	無し ●

●：湛水状態 ○：落水状態 を示す

を4反復設けた。

冬耕から成熟期までの水管理（水深の推移）

を図1、2に示した。供試水田の慣行において調査区以外は冬期湛水、中干しともに実施しな

いため、試験区における冬期湛水、中干しは区内を畦畔板で囲み動力ポンプにより水管理（入水、排水）を行った。冬期湛水の入水について野洲は2週間ごとの実施で湛水を維持できたが、小倉は1週間ごとでも落水し表土が露わになることがあり、水田により畦畔板で囲った冬期湛水区の保水能力に違いがあった。

2 (2) . 生育ステージ

小倉の移植日は5月23日、野洲の移植日は5月9日であり、小倉の出穂期は野洲より4日～6日遅かった（移植から出穂期までの期間では小倉の方が野洲より10日間短かった）（表2）。

表2. 生育ステージ日程

区	移植日	有効整数決定期	最高分けつ期	出穂期	成熟期	収穫日
野洲干干区	05月09日	07月04日	07月11日	08月13日	09月24日	09月30日
野洲干水区	05月09日	07月04日	07月09日	08月15日	09月26日	09月30日
野洲水干区	05月09日	07月11日	07月16日	08月14日	09月26日	09月30日
野洲水水区	05月09日	07月05日	07月13日	08月14日	09月26日	09月30日
小倉干干区	05月23日	06月24日	07月08日	08月19日	09月29日	10月03日
小倉干水区	05月23日	06月22日	07月02日	08月19日	09月29日	10月03日
小倉水干区	05月23日	06月23日	07月05日	08月18日	09月29日	10月03日
小倉水水区	05月23日	06月25日	07月07日	08月19日	09月30日	10月03日

成熟期は出穂期からの積算温度1030℃到達日とする。

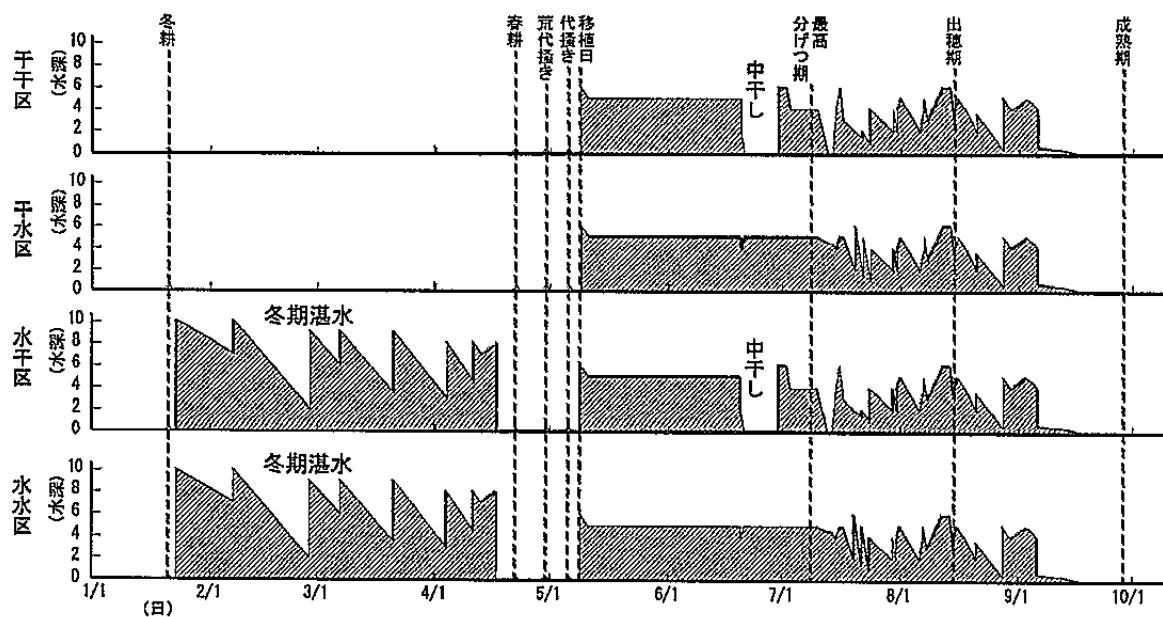


図1. 水深の推移(野洲)

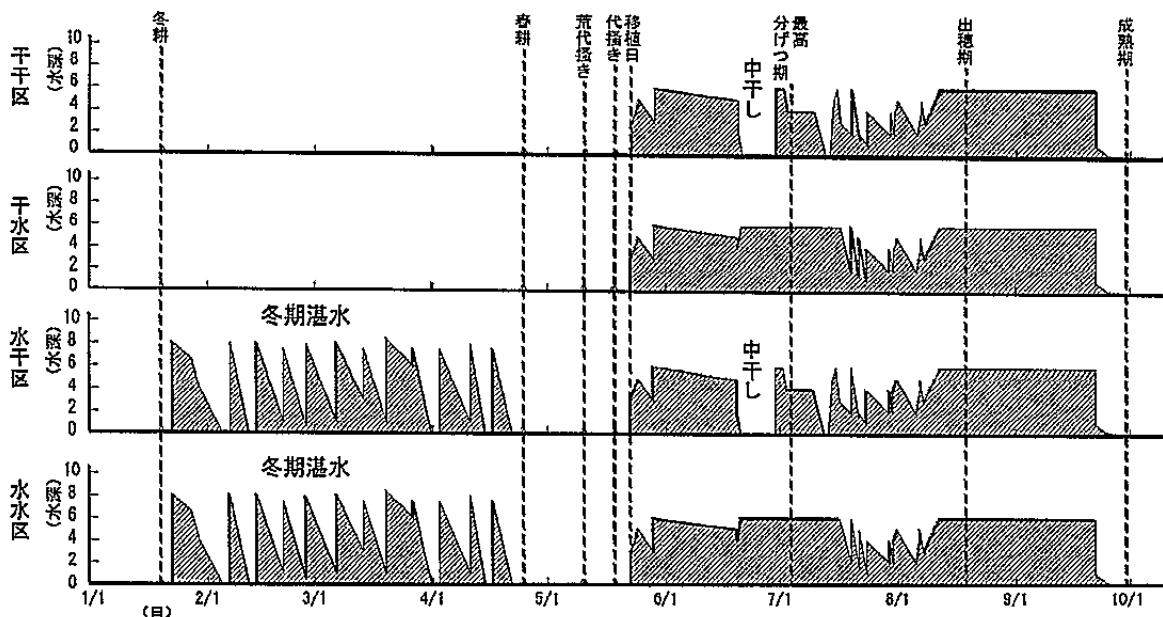


図2. 水深の推移(小倉)

3. 調査項目

3 (1). 生育調査項目

移植から出穂 1 週間前まで 1 週間ごとおよび出穂 1 週間後、2 週間後に茎数および草丈を、また移植から収穫まで 1 週間ごとに SPAD 値（ミノルタ SPAD-502 を使用）を測定した。

3 (2). 収量・形質調査項目

生育調査した株は、収穫後に穂数、稈長、穂長、節間長、全乾物重、穂重および粒重を測定した。各区の平均的な穂数の3株について粒数、不稔粒数および精穀重を測定した。また、区ごと（6株の集計）に粗玄米重、玄米重（粒径1.8 mm以上の玄米）、20 g粒数（1000粒重への換算）および水分率を計測した。

処理効果の検定は分散分析により、処理区間差の検定はTukeyの多重比較により行い、ともに統計ソフト「R 3.3.2」を用いた。

4. 結果

4 (1). 水管理の効果

本試験の目的である窒素利用量と収量の増加について述べていくが、窒素栄養状態は、窒素保有量とその持続期間にも現れる、このような期間を考慮した。窒素栄

表3. 窒素×期間の分散分析

養状態の指標	変数因子	自由度	平方和	平均平方和	F値	P値
とした茎数 ×	水田	1	1390	1390	0.463	0.503 ns
草丈 × SPAD	水管理	3	107284	35761	11.918	5.63E-05 ***
値の値の期間	水田×水管理	3	13490	4497	1.499	0.240 ns
	誤差	24	72012	3000		

ns,*,**,*** 分散分析により、それぞれ有意差なし, 5%, 1%, 0.1%水準で有意差ありを示す。

積算値（以下、窒素×期間）が水管理により有意に異なり、水田と水管理の交互作用が無かった（表3）。また収量も水管理により有意に異なり、水田と水管理の交互作用が無かった（表4）。これら両水田とも同様の傾向を示したのでこれ以降、両水田の平均で表す。

表4. 収量および収量構成要素

区	穂数(本/m ²)	一穂粒数(粒/穂)	登熟歩合	1000粒重(g)	収量(g/m ²)
野洲干干区	250.4 ± 10.6 b	59.5 ± 4.5 ab	0.822 ± 0.013 d	21.42 ± 0.04 c	314.3 ± 5.2 b
野洲干水区	275.0 ± 9.6 ab	62.2 ± 2.1 ab	0.839 ± 0.021 cd	21.74 ± 0.24 abc	353.6 ± 25.6 ab
野洲水干区	263.0 ± 22.7 ab	71.3 ± 5.7 a	0.853 ± 0.019 abcd	21.60 ± 0.20 bc	360.5 ± 12.8 ab
野洲水水区	314.3 ± 11.8 a	62.2 ± 3.8 ab	0.842 ± 0.027 bcd	21.42 ± 0.16 c	407.8 ± 9.9 a
小倉干干区	257.4 ± 11.1 b	60.0 ± 0.3 ab	0.912 ± 0.008 ab	22.37 ± 0.04 a	345.0 ± 11.7 ab
小倉干水区	246.2 ± 4.0 b	70.9 ± 1.0 ab	0.921 ± 0.005 a	22.39 ± 0.15 a	372.4 ± 9.5 ab
小倉水干区	269.4 ± 4.7 ab	56.4 ± 2.9 b	0.917 ± 0.007 a	22.12 ± 0.08 ab	328.1 ± 7.0 b
小倉水水区	269.4 ± 10.3 ab	68.7 ± 0.6 ab	0.905 ± 0.008 abc	22.31 ± 0.10 a	379.5 ± 19.5 ab
水田	ns	***	***	***	ns
水管理	*	ns	ns	ns	**
水田×水管理	ns	ns	ns	ns	ns

平均値±標準誤差

数字のあとと同じアルファベットはTukeyの多重比較検定(5%水準)により、有意差なしを示す。

ns,*,**,*** 分散分析により、それぞれ有意差なし, 5%, 1%, 0.1%水準で有意差ありを示す。

4 (2). 生育過程における茎数×草丈×SPAD値の推移

植物体(稲)の窒素保有量の指標として茎数×草丈×SPAD値の推移を比較すると、移植から63日目から収穫まで有意な差が見られ、77日目以降は水水区>干水区>水干区>干干区の順で推移した(図3)。

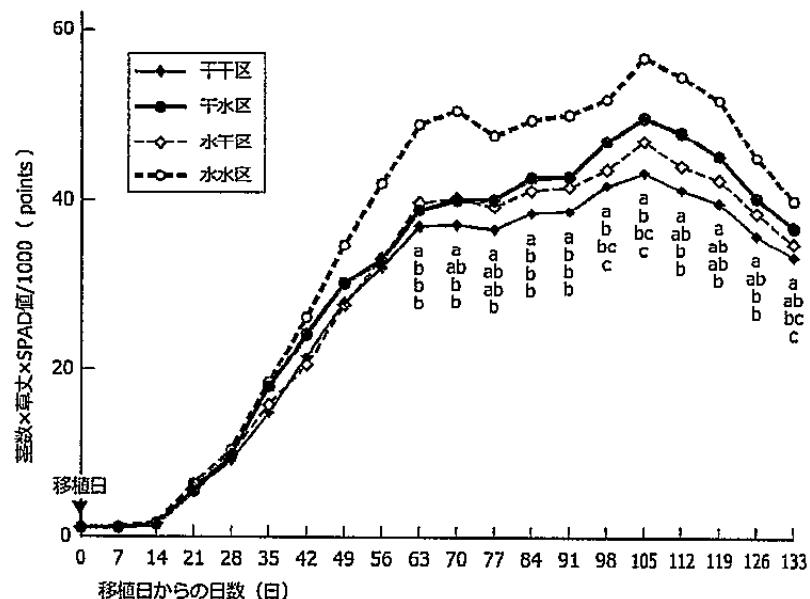
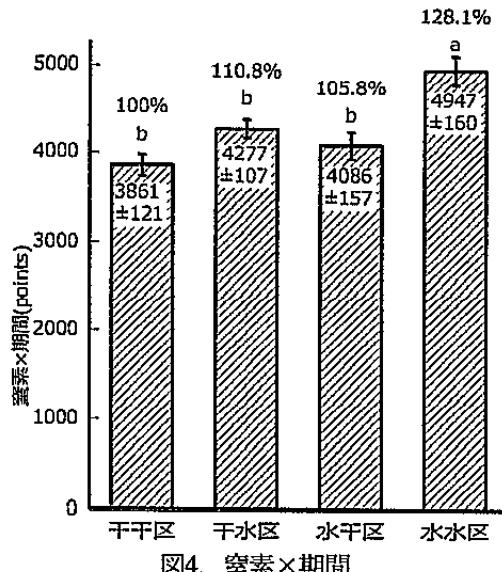
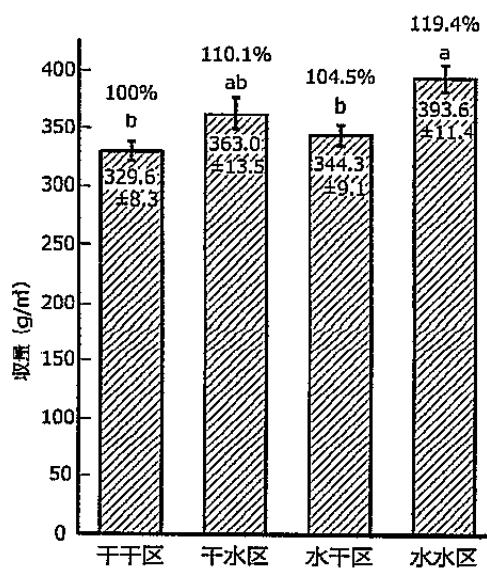


図3. 茎数×草丈×SPAD値/1000の推移

同じアルファベットはTukeyの多重比較検定(5%水準)により、有意差なしを示す。区間に有意差なしは無記入。



窒素×期間は水水区>干水区>水干区>干干区の順で高く、水水区は他の3区全てと有意な差があった(図4)。



4 (3). 収量

収量を比較すると、水水区>干水区>水干区>干干区の順で高くなった、これは生育後期の茎数×草丈×SPAD値の推移および窒素×期間と

同じ順序であった。

水水区－干干区間、水水区－水干区間には有意な差があった（図5）。

5. 考察

本調査の目的であった冬期湛水と中干しにより土壤養分を多く利用する効果があったかを考察した、窒素×期間が水水区>干水区>水干区>干干区の順で高かったことから、長期無施肥田では冬期湛水を実施し、中干しを実施しない方が生育期間中の窒素利用量が多くなる傾向があると考えた。

ここで慣行栽培の標準的な水管理（冬期湛水無し、中干し有り）に相当する干干区の収量と比較して水干区は4.5%，干水区は10.1%多かったことから、共に有意差は無いが冬期湛水を実施するよりも中干しを実施しない方が増収の効果があると考えられた（図5）。慣行栽培では酸欠による根腐れ防止のため中干しを奨励し、また、根を健全に保つ効果があるとされているが、長期無施肥栽培では逆に中干しを実施しない方が中干しを実施するよりも生育末期まで窒素利用が順調に行え、増収につながったと考えられた。これは、長期にわたって糞も含めて人為的な投入を行わない長期無施肥栽培水田では、土壤の炭素含有量が低いために夏期の湛水による土壤還元が起こりにくくなり、酸素を取り入れなくとも生育末期まで根を健全に保てたためと考えられた。

干干区と比較して水水区の収量は19.4%有意に高く、且つ最も収量が高かったことから、土壤に水分を長期間供給する方が窒素利用量が多くなり増収となると考えられた。

次年以降も本試験と同じ傾向がみられるか、冬期湛水の期間、時期を比較する、冬耕や春耕の有無を比較するなど、今後も冬期（休田期）水管理の調査（湛水の効果）を継続していきたい。

また、冬期湛水は現状では冬期のかんがい水を取り入れることができない水田がある、中干しを実施しない場合は土壤が硬くならず刈り取りなどの作業性が低くなるなどの課題もある。

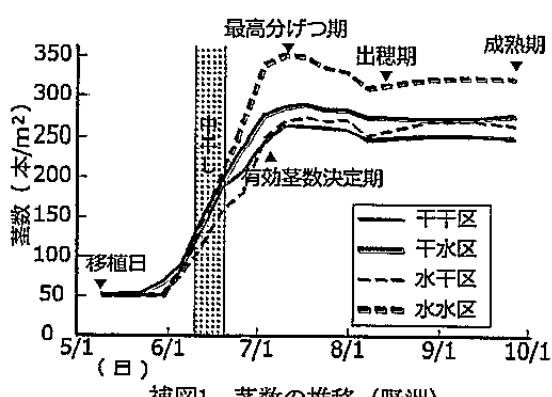
6. 結論

本試験により、長期無施肥栽培水田では冬期湛水を実施すれば、窒素を生育後期まで高く保有し、増収となる傾向があることが示されたが、土壤や水

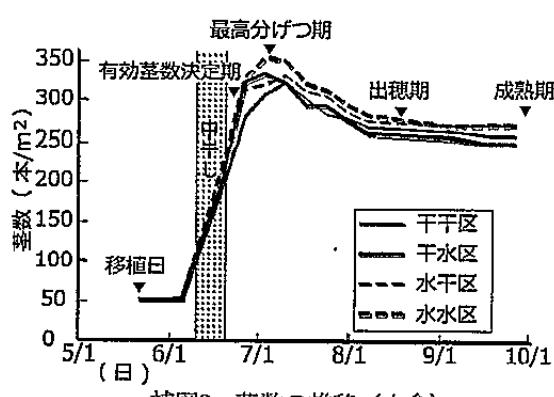
中の窒素量が増加したかは不明である。また、中干しを実施しない方が窒素を生育後期まで高く保有し、增收となる傾向があることが示された。更に冬耕後から生育後期まで湛水状態にすれば增收となる可能性が示されたが、冬期湛水の開始時期の比較、つまり湛水状態が長ければ長いほど增收の効果があるかを調査することが今後の課題である。

引用文献

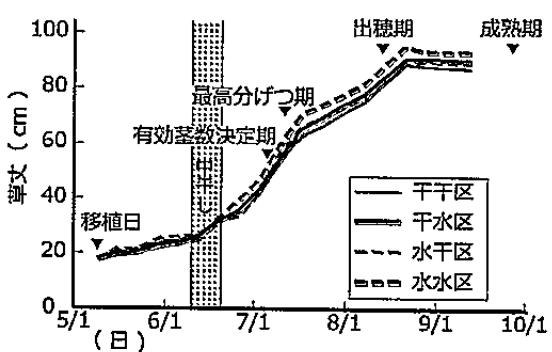
- 細川幸一・佐々木秀隆・小林芳恵（2012）冬期湛水によるコシヒカリの窒素肥料減肥栽培の一例と減肥の要因解析。日本土壤肥料学雑誌, 83巻 (2012) 6号:700, 701.
大森善紀・横田仁子・武智和彦（2013）冬期湛水田における有機栽培水稻の生育、収量に対する施肥の影響。四国支報 50: 11.
堀江武（2004）新版 作物栽培の基礎。農山漁村文化協会:101.
田村克明（不明）水稻の生育・収量から見た中干しの必要性。



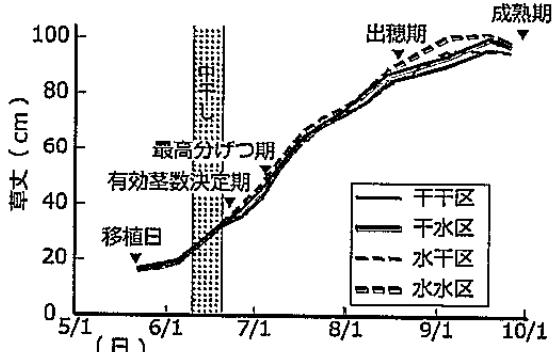
補図1. 茎数の推移 (野洲)



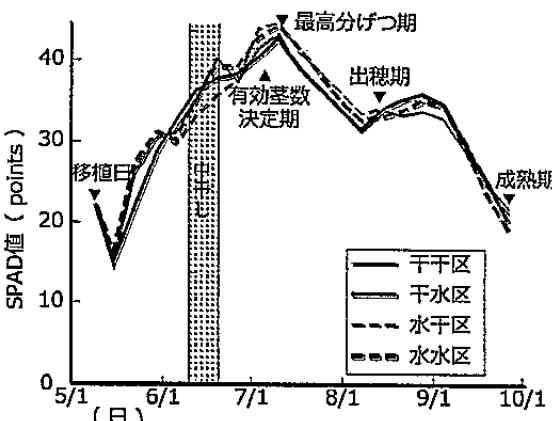
補図2. 茎数の推移 (小倉)



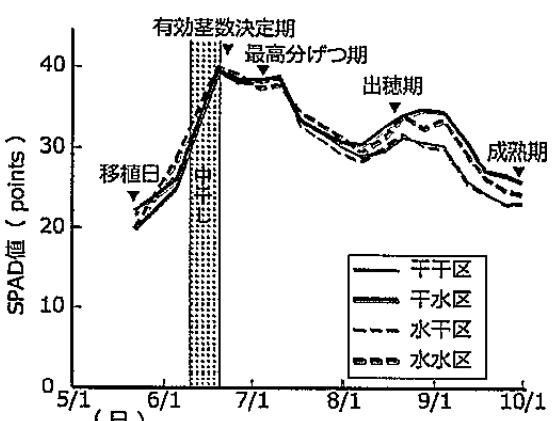
補図3. 草丈の推移 (野洲)



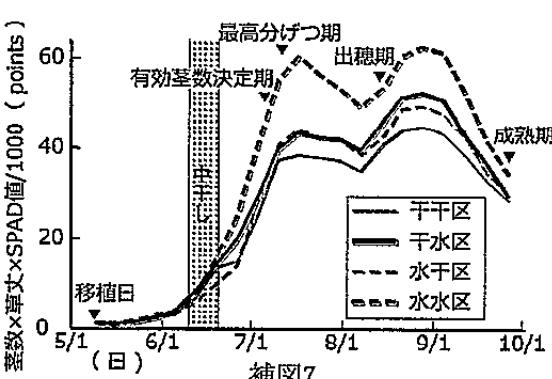
補図4. 草丈の推移 (小倉)



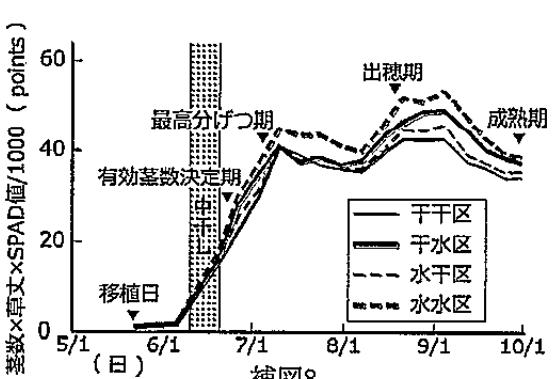
補図5. SPAD値の推移 (野洲)



補図6. SPAD値の推移 (小倉)



補図7. 茎数×草丈×SPAD値/1000の推移 (野洲)



補図8. 茎数×草丈×SPAD値/1000の推移 (小倉)

UAV 画像を用いた長期無施肥無農薬水田内の生育・収量変動の評価【第 2 報】

岩橋優^{1,3}・小林正幸²・森誠²・本間香貴¹

(¹東北大学院農, ²NPO 無肥研, ³京都大学院農)

無施肥水田において、灌水深や耕起深度が収量に影響を及ぼすことが知られている(家田・葉田 2016 等)。また、灌漑水等に由来する圃場内の生育変動もみられ、圃場全体で最適な栽培管理を目指す試みが続けられている(伊吹ら 2018 等)。

昨年度 UAV 画像を用いて無施肥水田の圃場内生育および収量変動の評価を試みた(岩橋ら 2021)。収穫時の UAV 画像の色情報を用い、圃場内の収量変動が把握できる可能性が示され、圃場内の高低差との関連が示唆された。しかし UAV 画像をもとにした DEM(Digital Elevation Model)は実測値とやや乖離しており、精度の向上が必要とされた。また、出穂期やそれ以前の UAV 画像と収穫期の乾物重や収量との関連については不明であった。

これらを踏まえ本年度は、出穂前、出穂期、収穫期に UAV 画像を撮影し、収穫期の乾物重および収量との関連を調査した。また、昨年と異なる方法で測量を行い圃場内の高低差との関連を評価した。

【調査概要】

対象圃場: NPO 無施肥無農薬栽培調査研究会(無肥研)の管理する水稻栽培圃場 (表 1)

調査日: (出穂前)2021 年 7 月 16 日, 31 日 (出穂期)7 月 31 日, 8 月 25 日, 9 月 4 日

(収穫期)9 月 4 日, 25 日, 10 月 15 日 (測量)11 月 23 日 (表 1)

調査項目: UAV(Mavic2 Enterprise Dual. DJI 社)による圃場全体の RGB 画像(高度 30m)および測量

各圃場の坪刈り収量(図 1)

表 1 調査水田と調査日。

圃場	品種	分けつ期	出穂期	収穫期
亀岡(K1・K2)	コシヒカリ	7 月 16 日	7 月 31 日	9 月 4 日
小倉(O・R)	ベニアサヒ	7 月 16 日, 31 日	9 月 4 日	10 月 15 日
野洲(Y2・Y3)	秋の詩	7 月 16 日	8 月 25 日	9 月 25 日

【解析方法】

1. 坪刈り収量および全乾物重と UAV 画像の関係

UAV 画像は Metashape(Agisoft 社)を用いて圃場全体のオルソ画像を合成した。坪刈り位置の RGB 画像を QGIS(Quantum Geographic Information System)を用いて抽出し、ImageJ を用いて RGB 画像から白岩ら(2011)の手法により植被率を算出した。また収穫期の画像は昨年度と同様 Lab 色空間へ変換し、

画像の L, a, b それぞれについて閾値を設定し高値(aのみ低値)領域の割合(%)と平均値も算出した。これらのデータと収量の相関を調べた。(※Lab 色空間：明度を L, 色相と彩度を示す色度を a, b で表す)

2. 圃場内の生育および収量変動と高低差

各調査地について、収量または全乾物重と最も相関の強かった指標を用い、圃場内変動を調べた。また、各圃場の出穂期や出穂期以前の UAV 画像から、栄養成長～出穂期にかけての圃場内の生育変動の評価を試みた。

収穫後(11月23日)に圃場内に12～30個の標識を設置し、各標識の緯度経度および標高を記録した。同時に標識を設置した圃場を UAV で撮影し、Metashape (Agisoft 社)を用いて Digital Elevation Model (DEM)を構築した。

【結果】

1. 坪刈り収量および乾物重と UAV 画像の関係

全坪刈り調査地点の全乾物重および推定玄米重は図1の通りであった。亀岡(K1, K2)および小倉のR水田には多数回除草区の結果も含まれているものの、亀岡水田(K1)は野洲(Y1, Y2, Y3)や小倉(O, R)と比べ収量や全乾物重の変動は小さい傾向があった。各圃場の坪刈り収量の圃場内における大小関係は昨年と同様の傾向を示した。

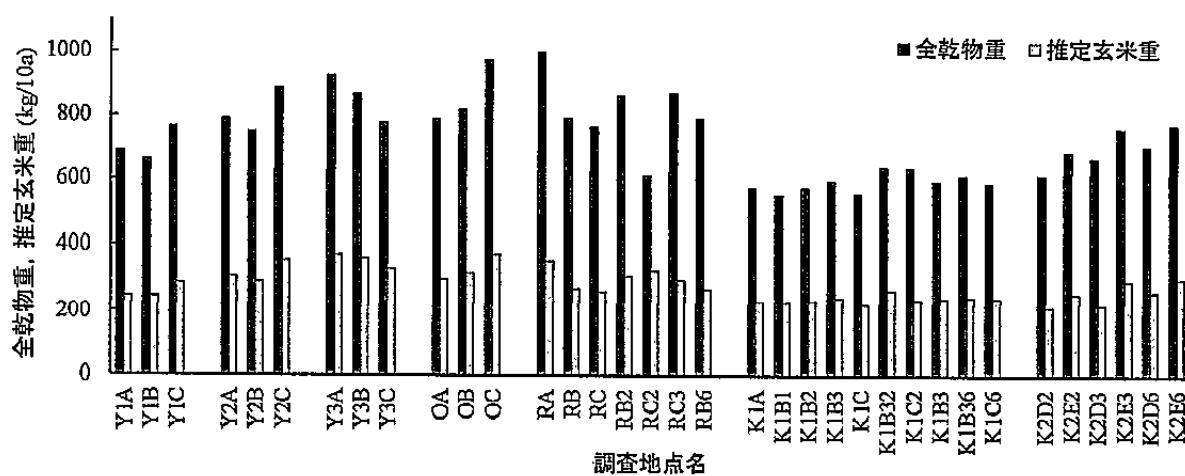


図1 坪刈り地点の全乾物重および推定玄米重。

昨年度、坪刈り収量および全乾物重と正の相関を示した L 値(明度)や b 値(黄色みを表す)およびその高値領域は、本年度の結果では調査水田ごとに傾向が異なった。亀岡(K1, K2)では L 値や b 値と比べ、a 値の低値領域(緑色に近い)と正の相関を示した。他の調査地(小倉、野洲)では a 値とは負の相関またはその傾向を示した。野洲(Y2, Y3)では b 値の高値領域の平均値と正の相関を示したが、その割合とは負の相関を示し昨年と異なる結果となった。小倉では明瞭な相関を示した指標が得られなかった。

亀岡においては出穂期および出穂期以前の画像から算出した植被率と、坪刈りによる全乾物重が正の相関を示したが、収量との相関はなかった。小倉においては出穂期約1か月前の植被率と全乾物重および収量が高い正の相関を示した。一方、野洲(Y2およびY3)については明瞭な関係はみられなかった。

2. 圃場内の生育および収量変動と高低差

DEMによる標高値と標識位置の実測値との間のRMSE(Root Mean Square Error: 平均二乗偏差)は約2.7cmであった。調査水田のDEMを図2に示した。K1はK2より全体的に高い傾向にあり、RはOより低い傾向にあった。また、O水田は図の右下(東角)が高い傾向を示した。野洲ではY1は中心部が相対的に低く、Y3も同様であった。

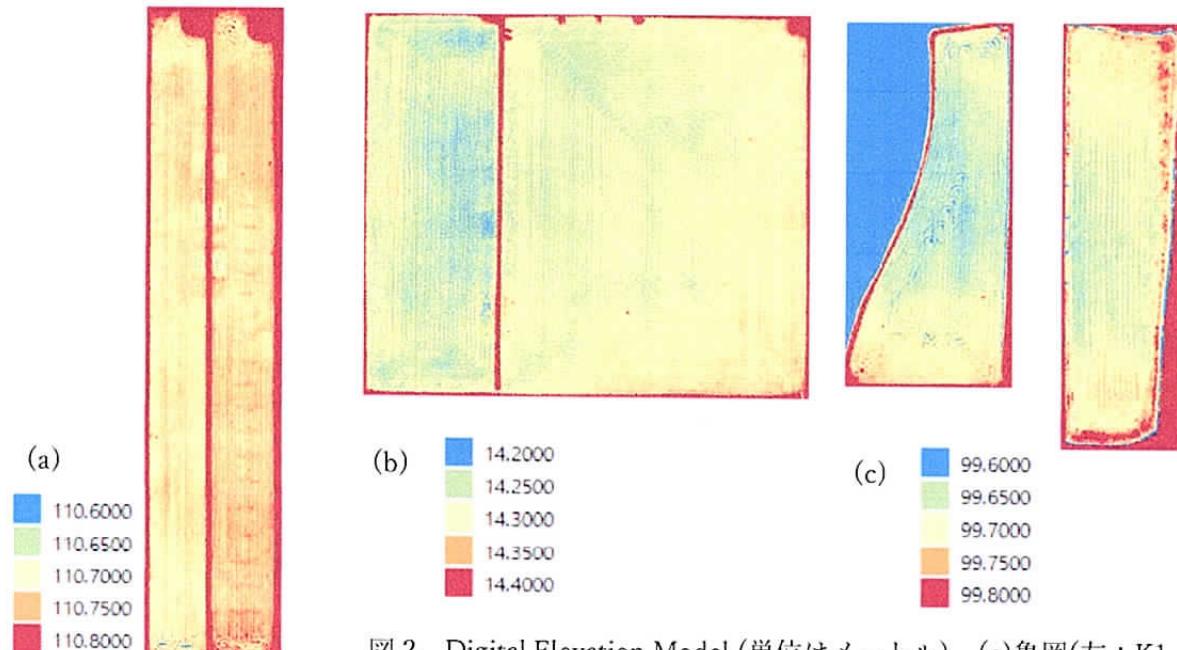


図2 Digital Elevation Model (単位はメートル), (a)亀岡(左:K1, 右:K2), (b)小倉(左:R, 右:O), (c)野洲(左:Y1, 右:Y3)

収穫期のUAV画像をRGBからLab色空間へ変換し値の圃場内変動を調べたが、小倉(O, R)を除き明瞭な傾向はみられなかった。小倉のO水田およびR水田については、出穂期までの3時期について、RGB画像をHSB画像へと変換し、Hue値(色相)を緑色の範囲(40~60)のスケールで表示したところ、7/16および31は中心部の値が高かったが、9/4には逆に中心部が低くなっていた(図3)。収穫期のLab画像におけるa値およびb値の圃場内変動より、O水田では中心部の生育や収量が周辺部より劣っていることが示唆された(図省略)。またR水田ではO水田側の長辺に沿ってやや値が低く、圃場内の地表面の高さが低い位置と一致していた。

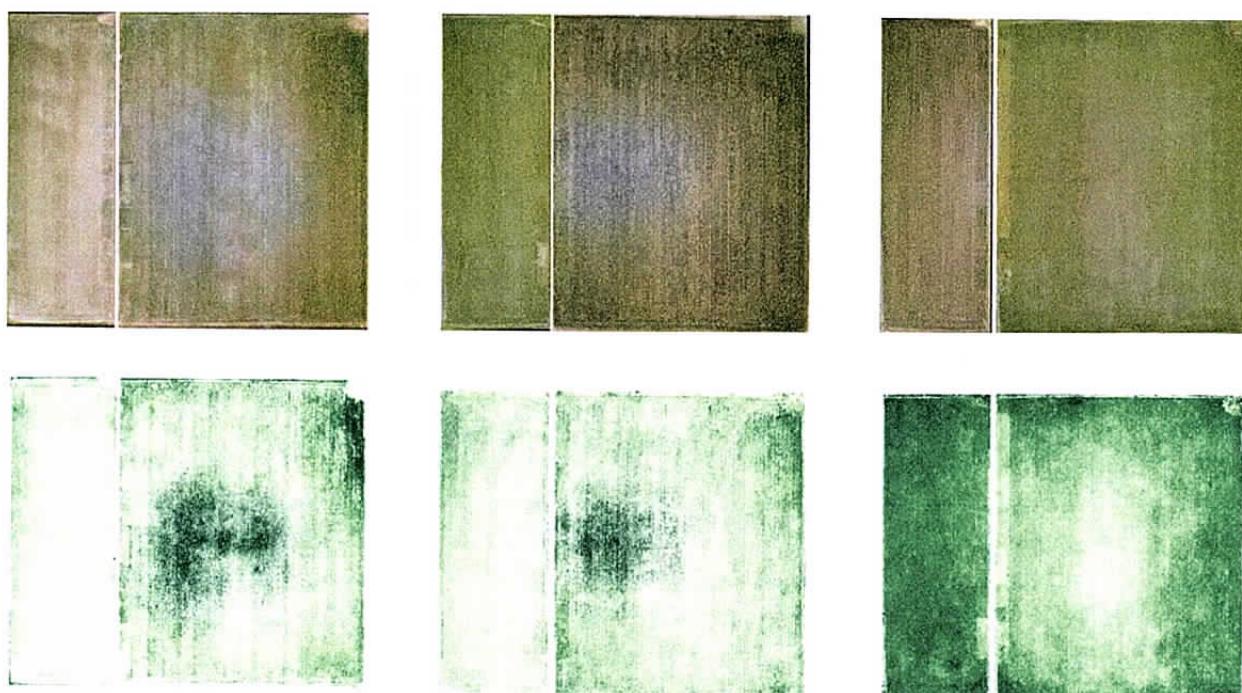


図3 小倉圃場(O, R 水田)の HSB 画像における Hue 値を 40~60 のスケールで表示した画像
(左 : 7/16, 中 : 7/31, 右 : 9/4). 色が濃いほど値が高いことを示す.

【考察】

本年度は、小倉圃場を除き収穫期の Lab 画像から圃場内の生育変動を捉えることは困難であった。生育量の差が画像の色情報に反映していなかった可能性はあるが、昨年度のデータと合わせて再検討する必要がある。一方、坪刈り収量や乾物重と出穂期やそれ以前の RGB 画像の植被率が相関を示したことから、群落が閉鎖するまでの栄養成長量を UAV 画像によって捉えられていることが示唆された。一方、O 水田の生育初期の画像では中心部の Hue 値が高くなり、RGB 画像の緑色の濃淡とは一致していなかった。植被率を計算する場合には解像度を上げるため高度を 30m より下げる必要があるかもしれない。

DEM の精度は標識の正確な緯度経度を測定し入力することで改善したと考えられる。昨年と異なる傾向を示した水田もあったが、概ね実測値と一致しており信頼に値すると考えられた。小倉圃場では圃場内の地表面高低差と生育や収量が関係している可能性もあったが、詳細は明らかではなかった。

作物の生育評価には、近赤外光等の反射率を用いた植生指数が広く用いられるが、圃場内生育変動の評価等において安価で簡単な RGB 画像を用いた手法を今後も検討する必要がある。

【参考文献】

- 家田・菜田 2016. 分げつ数の抑制が無施肥栽培水稻の生育に及ぼす影響. NPO無施肥無農薬栽培調査研究会 2015 年度研究報告
- 伊吹・家田・菜田・白岩 2018. 無施肥無農薬栽培水田における収量形成に及ぼす土壤とかんがい水の影響（第 6 報）. NPO無施肥無農薬栽培調査研究会 2017 年度研究報告
- 岩橋・小林・森・丸田・白岩・本間 2021. UAV 画像を用いた長期無施肥無農薬水田内の生育・収量変動の評価. NPO無施肥無農薬栽培調査研究会 2020 年度研究報告
- 白岩・川崎・本間 2011. 作物群落の日射利用効率の推定. 日本作物学会紀事 80(3): 360-364.

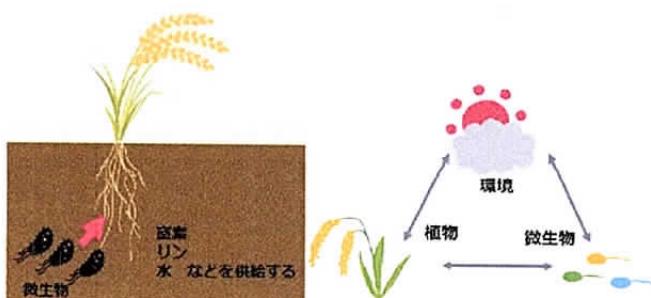
イネの共生制御因子 CCaMK と共生微生物叢について

奈良先端科学技術大学院大学（植物免疫学研究室）

切田澄礼、足立旭、Yuniar Devi Utami、藤雅子、西條雄介

1. 植物と微生物の関係

植物は、病原微生物を認識して的確に免疫応答を誘導する仕組みを備えている一方で、体内に常に無数の微生物の集団を宿しており、環境に応じてその組成を変化させている。共生微生物集団の中には、植物の栄養吸収、成長や環境適応に寄与する有用菌もいる。しかし、環境に応じた共生微生物集団の組成変化がどのような役割を果たしているのか、さらには植物がどのようにしてそれを調節しているかについては不明な点が多く、植物の環境適応の仕組みの解明に向けて最重要課題の一つである。



2. 植物による共生菌の制御機構の解明に向けて

近年、農薬や化学肥料の過使用による土壤劣化や環境汚染問題への懸念が高まっている。解決策として、植物に共生する微生物を活用することで減農薬・減肥料の環境保全型農業を推進しようとする機運が高まっている。肥料条件によって根の共生菌叢は変化することが知られており、本研究では、イネにおいて優良無施肥圃場で成立し、イネの栄養獲得を支える共生菌叢の実態を明らかにするとともに、菌根共生制御遺伝子 *CCaMK* の役割も調べることで、イネによる共生制御機構に迫っていこうと考えた。*CCaMK* は、種子植物に広く見られるアーバスキュラー菌根共生やマメ科植物の根粒共生に共通して必要な植物遺伝子である。イネにおいても菌根共生に必要であるものの、水田では菌根共生は成立しないため、無施肥圃場での微生物共生にどのような役割を果たしているかに興味が持たれた。そこで、肥料条件を変えた水田・湛水栽培において野生型と *ccamk* 変異体を比較することで、イネの貧栄養環境への適応に *CCaMK* 遺伝子が果たす役割について調査した。

3. 共生微生物集団の成立とイネ *CCaMK* 遺伝子の関係

野外圃場試験

本研究では、京都府宇治市小倉の無施肥無農薬圃場と隣接する有施肥圃場において、2018年からイネの生育並びに共生菌叢の調査を行った（図1）。年5-8回、2018-2021年度の4年にわたる調査の結果、イネの共生微生物集団の菌組成は、施肥の有無によって差が生じること、及び施肥の有無に比べると *ccamk* 変異による影響は小さいことが示された（図2）。



図1 野外無施肥・有施肥圃場におけるイネ栽培の様子
隣接する有施肥（慣行）圃場および無施肥圃場（2006年から無施肥無農薬栽培を継続）における、播種後14週目の圃場とイネ（日本晴）の様子（2020年度）。

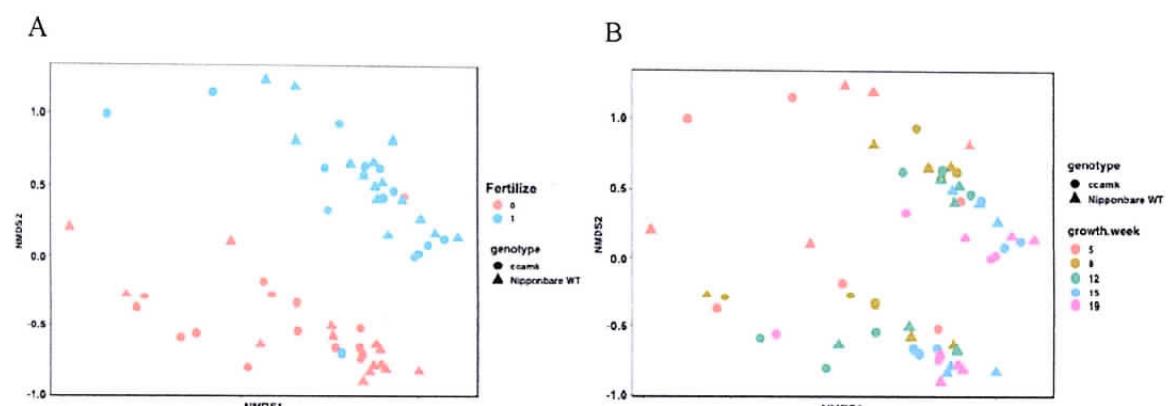


図2 野外圃場における施肥・生育ステージに依存した根の共生菌叢の変化
2021年度のサンプルを用いてメタ16S解析を行い、共生微生物叢の類似性を解析した。各サンプル（シンボル）の距離が近いほど、共生微生物集団全体の様子が類似していることを示す。（Fertilised0、無施肥区；Fertilised1、有施肥区；WT、野生型；Week、播種後の週。n = 3）

(A) 共生微生物叢の施肥・品種依存性

(B) 生育ステージの進行に伴う共生微生物叢の群集構造（菌組成）の変化

温室ポット栽培試験

野外圃場試験では、*ccamk* 変異による共生菌叢への影響は弱かった。そこで、2021 年度に、屋内でもポット栽培試験も実施した。本試験では、市販の培土を用いて、栄養欠乏土壤と栄養十分土壤での比較解析を行った。その結果、野外圃場試験とは異なり、野生型（日本晴）と *ccamk* 変異体の間に大きな違いが見られた。（図 3）。

したがって、屋内のポット栽培試験ではイネ共生細菌叢の成立における CCaMK への依存性（同遺伝子の貢献度）が強くなることがわかった。その要因候補として、両者の相違点がいくつか挙げられる。野外圃場では気候や水抜きなどの複雑な環境変化を受ける一方で、屋内のポット栽培では比較的安定した環境にある。また、ポット栽培では野外圃場に比べて根の伸長が制限されるため、共生微生物への依存度がより強まる可能性も考えられる。

今後は、ポットの大きさを変化させた栽培条件など、屋内栽培実験を野外圃場に近い条件で行うことで上記の可能性を検証するとともに、野生型と *ccamk* 変異体で存在比にちがいが生じた共生菌種（グループ）の役割も調査していく予定である。

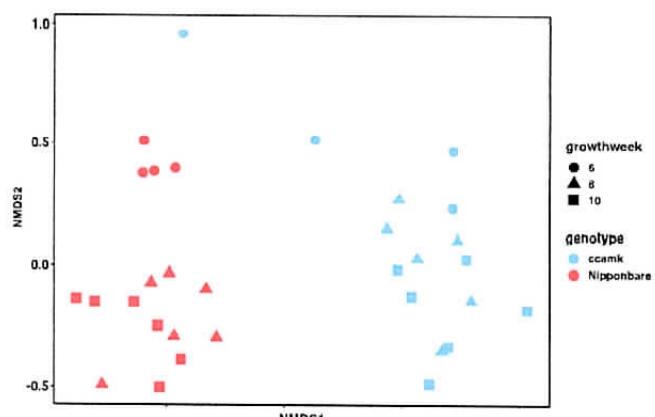


図 3 ポット栽培試験における根の共生菌叢の群衆構造の比較

分けつ期(播種後 6 周目、8 周目、10 周目)のサンプルを用いてメタ 16S 解析を行い、座標分析により、野生型と *ccamk* 変異体について根の共生菌叢の群集構造（菌組成）のを比較した。各サンプル（シンボル）の距離が近いほど、共生微生物集団全体の様子が類似していることを示す。（WT、野生型 : Week、播種後の週。n = 4-6）

4. 謝辞

本研究は、キヤノン財団「理想の追求」およびエリザベス・アーノルド富士財団等からの研究支援にもとづいて実施した。無施肥無農薬栽培調査研究会の皆様方におかれましては、京都小倉圃場での調査にあたり、これまでのご親切に厚く御礼申し上げます。今後もご支援のほど、どうぞよろしくお願いいたします。

茶園土壌における慣行栽培・有機栽培・無施肥無農薬栽培の比較

アンドレ・フレイレ・クルス 1

1 京都府立大学生命環境科学研究科

微生物は土壌の栄養生物循環に強く影響する可能性があるため、細菌群集の特性評価は生態学的観点から不可欠である。この影響は、窒素、リン、炭素、pHなどの土壌の化学的性質特に関係が深い。土壌サンプルは、京都府および滋賀県の3つの茶園の表層（0~20 cm）から、慣行栽培・有機栽培・無施肥無農薬栽培の3つのシステムに分けて収集された。これらのサンプルから、細菌群集と施肥に関連して特性化された土壌化学物質を測定した。16S rDNA 遺伝子に基づき、イルミナ MiSeq250bp シーケンスを使用して土壌細菌群集を調査した。ほとんどのサンプルに存在する主要な綱は、*Alphaproteobacteria*, *Betaproteobacteria*, *Spartobacteria*, *Bacilli* および *Acidobacteria* であった。上記のような分類群が多く発生したが、細菌群集の割合と多様性は、各システムによって違いが認められた（Fig. 1）。特に、慣行栽培土壌において、*Clostridia* と *Bacilli* の二種類に関して割合が高かった。細菌の多様性は、無施肥無農薬栽培システムにおいて一番高いことが明らかになった。土壌の化学的性質に関しては、有効態リン酸、全窒素、アンモニア態窒素、およびリン酸吸収係数は、有機栽培システムで高かった。しかし、 α -グルコシターゼ活性は、慣行栽培システムで高く、続いて無施肥無農薬栽培システム、有機栽培システムの順となった。このようなデータは、土壌特性を維持しつつ、無施肥茶園の生産量を確保できることが判明した。

キーワード：細菌； お茶； イルミナ； メタゲノム； 土壌； 化学

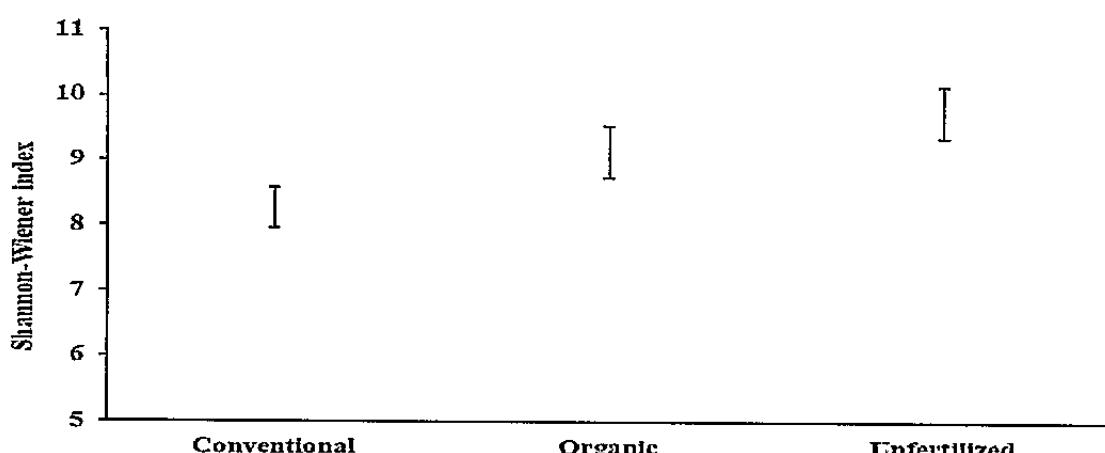


Fig. 1 – 茶園栽培システムにおける細菌多様性（Shannon-Wiener index）.

無施肥無農薬栽培連作継続時のジャガイモの生育の調査（2021）

NPO 無肥研 下平訓立・倉島次郎

栽培調査の目的

一般的な作物栽培に於いて、同一圃場で同一又は同じ科の作物の栽培を連續して行う時に、収量の低下や病害の発生等の「連作障害」が起こる場合があることが知られている。無施無農薬栽培を継続して行う場合の畑作に於いても、品種や栽培条件によって同現象が認められることがあるが、種子や栽培環境の違いもあり原因や仕組みがはっきりしていない。水稻や果樹、一部の畑作品種の栽培では、人為的に有機物を投入しない無施肥栽培でも継続的に一定の収量を確保し高品質な作物を生産している事例があるが、「連作障害」の起こりやすいといされている科の作物を無施肥条件下で長期間連作を継続した時の生育や収量、土中の微生物や菌類の環境の変化を観察し生産性の向上を図ることを目的とし、連作障害が発生しやすいと思われるナス科植物の中からジャガイモを探り上げ、2019年に予備試験として栽培を開始し一部条件を調整しながら3年目の栽培調査を行った。

調査の方法

滋賀県野洲市の無肥研圃場と長野県東筑摩郡朝日村の2ヶ所で、一部共通の複数の品種の栽培を行っている。2019年の予備調査開始以後、化成・有機肥料等の人為的な投入は行わず基本的に年間を通じて1作のみで裏作は行わず収穫後は休耕とした。同畠に同品種の栽培継続を計画したが、品種の追加や反復区画の設定などで圃場内での植え付けの位置を変更した部分もある。両圃場で、種イモの総重量と1株毎のイモの収量・個数、加えて野洲圃場では草丈の推移と収穫時の地上部の乾燥重量を計測した。(表1・図4・5)

品種毎に収穫したイモを貯蔵し次の作付けにも使用。一期作・二期作区の種芋は別に管理を行っている。

2019年（予備調査）

- ・野洲圃場／他圃場で少なくとも1年間無施肥栽培された食用の男爵・デジマ・キタアカリの3品種を栽培。秋からは二期作が可能な暖地向き品種のデジマを年2回栽培する区を設け、単作区との生育の相違を観察することとした。
- ・朝日村圃場／野洲と同様の3品種に加えて市販芋を5品種（ホッカイコガネ・ピルカ・とうや・こがね丸・アンデス赤）栽培して上記品種との比較を行った。

2020年

- ・野洲圃場／2019年の予備調査の結果に基づき、気候などを考慮し栽培品種を一部変更した。調査をより均一化するためキタアカリ区を廃止し男爵・デジマ単作・デジマ二期作の3区画×3反復とした。
- ・朝日村圃場／基本的に同品種を同区画での栽培を計画したが栽培管理の都合上畠を移動した品種があった。

2021年

- ・野洲圃場／2020年より変更なく連作を継続。
- ・朝日村圃場でも反復区画化した。更に無施肥栽培への適性を検証するため一般市場で病害に強い或いは連作が可能とされる品種（グランドペチカ等の俵氏育成5品種とマチルダ）を追加した。隣接の一般栽培農家との間に緩衝地として設定していた草置き場を耕起し、比較区として化成肥料を施肥する区を設けた。

圃場について

野洲市圃場は一般施肥栽培の後の休耕地を2019年の開始時点で無施肥栽培（サツマイモ）に切り替えて1年経過した圃場。排水性がやや悪いため高畠管理の必要から初期の畠幅やり拡張ため前年と位置のずれが発生した。(図6)

朝日村圃場は一般施肥栽培（高原野菜等）の後、約10年間少なくとも1回以上は堆肥を投入され、所有者により毎年耕起管理のみが行われていた。火山灰土で排水性は良好。(図7)

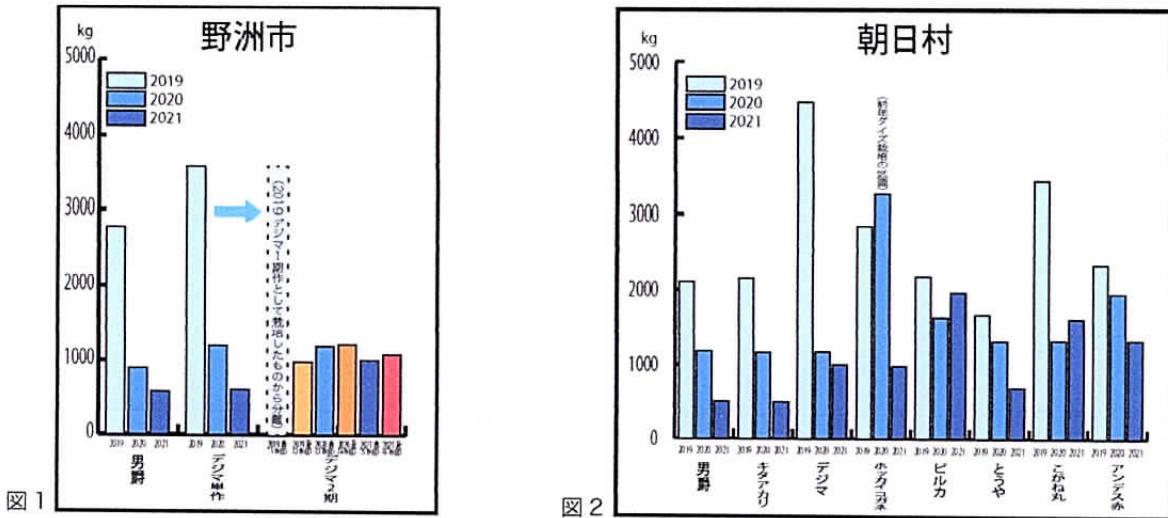


図 1 2019-2021【3年間】の単位面積当たり収量／10a

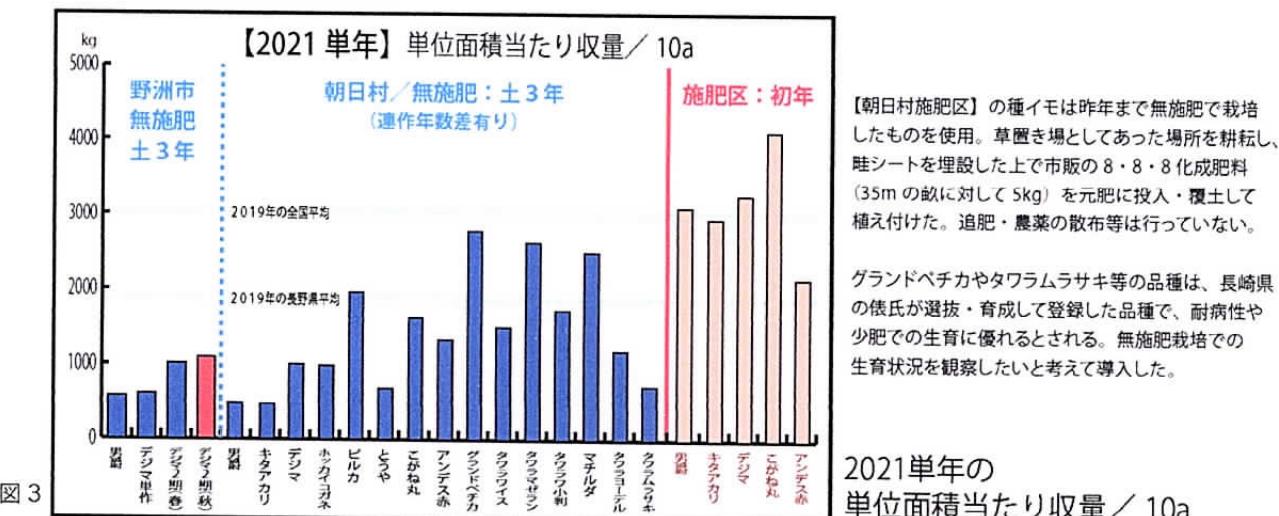


図 3 2021単年の
単位面積当たり収量／10a

圃場	年数	肥料	品種	反復数	有効株数	有効莢総重量(g)	莢個数(数/株)	莢重量(g/株)	単位面積収量(kg/10a)	種付日	熟期
野洲	3年目	無施肥	男爵	3	51	11,435.0	7.5 ± 0.3	224.2 ± 11.5	533.8	3月4日	早生
野洲	3年目	無施肥	デジマ単作	3	51	12,636.0	5.4 ± 0.4	247.8 ± 20.6	589.9	3月4日	晚生
野洲	3年目	無施肥	デジマ2期春	3	51	20,749.0	2.9 ± 0.2	406.8 ± 22.7	968.7	3月7日	晚生
野洲	3年目	無施肥	デジマ2期秋	3	51	23,409.0	3.5 ± 0.1	459.0 ± 16.9	1,092.9	9月5日	晚生
朝日	3年目	無施肥	男爵	3	69	13,158.0	3.9 ± 0.1	190.7 ± 7.2	508.5	4月22日	早生
朝日	3年目	無施肥	キタアカリ	3	69	12,266.0	4.4 ± 0.1	180.4 ± 7.6	474.0	4月22日	早生
朝日	3年目	無施肥	デジマ	3	69	25,926.0	4.3 ± 0.1	375.7 ± 25.2	1,002.0	4月22日	晚生
朝日	3年目	無施肥	ホッカイコガネ	3	27	9,002.5	4.0 ± 0.3	333.4 ± 31.8	889.1	4月25日	中晚生
朝日	3年目	無施肥	ビルカ	3	27	19,325.0	6.5 ± 0.6	715.7 ± 111.7	1,908.6	4月25日	中早生
朝日	3年目	無施肥	とうや	3	27	6,872.5	4.3 ± 0.2	254.5 ± 23.2	678.8	4月25日	早生
朝日	3年目	無施肥	こがね丸	3	27	16,358.0	3.4 ± 0.3	605.9 ± 40.9	1,615.6	4月25日	中晚生
朝日	3年目	無施肥	アンデス赤	3	27	13,286.5	6.2 ± 0.4	492.1 ± 50.9	1,312.2	4月25日	中生
朝日	3年目	無施肥	グランドベチカ	2	18	17,140.0	9.3 ± 1.1	952.2 ± 112.7	2,539.3	4月27日	中生
朝日	3年目	無施肥	タワラワイズ	2	18	10,874.0	4.8 ± 0.3	604.1 ± 44.4	1,611.0	4月27日	中生
朝日	3年目	無施肥	タワラマゼラン	2	18	16,940.0	9.1 ± 0.7	941.6 ± 85.5	2,511.0	4月27日	中生
朝日	3年目	無施肥	タワラ小判	2	18	11,826.5	7.8 ± 0.7	657.0 ± 70.6	1,752.1	4月27日	中生
朝日	3年目	無施肥	マチルダ	2	18	17,308.0	10.3 ± 0.5	961.6 ± 70.1	2,564.1	4月27日	中生
朝日	3年目	無施肥	タワラヨーデル	1	13	6,485.5	6.5 ± 0.7	498.9 ± 54.2	1,330.4	5月13日	中晚生
朝日	3年目	無施肥	タワラムラサキ	1	13	3,727.5	3.0 ± 0.5	286.7 ± 60.2	764.6	5月13日	中生
朝日	1年目	施肥	男爵	1	23	26,259.5	9.2 ± 0.7	1,141.7 ± 65.5	3,044.6	5月9日	早生
朝日	1年目	施肥	キタアカリ	1	23	24,273.5	9.2 ± 0.6	1,055.4 ± 93.3	2,814.3	5月9日	早生
朝日	1年目	施肥	デジマ	1	23	27,652.5	7.2 ± 0.5	1,256.0 ± 82.4	3,206.1	5月9日	晚生
朝日	1年目	施肥	こがね丸	1	9	12,372.0	12.6 ± 1.0	1,374.7 ± 98.8	3,665.8	5月9日	中晚生
朝日	1年目	施肥	アンデス赤	1	9	7,717.5	8.6 ± 0.9	857.5 ± 105.5	2,286.7	5月9日	中生

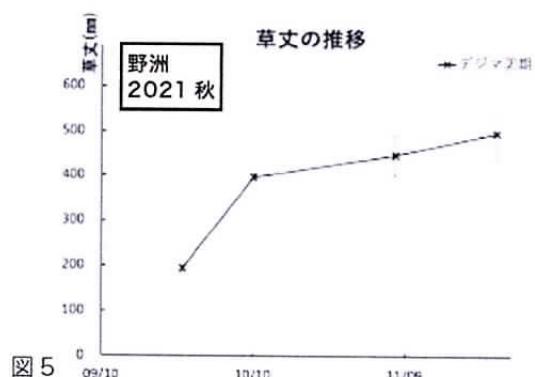
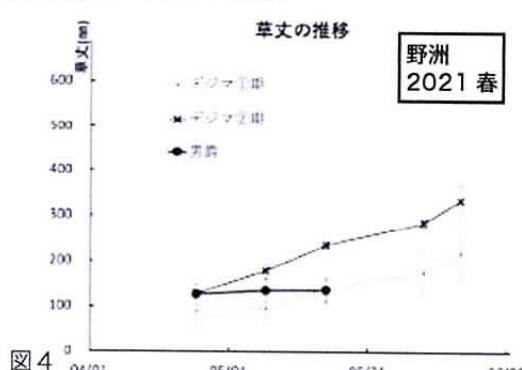
表 1 2019-2021【3年間】の単位面積当たり収量／10a

野洲市圃場での生育の様子



2021年は植え付け時から雨が多く、水はけの悪い土地の為、生育に影響があったと考えられる

野洲圃場 草丈の推移



朝日村圃場での生育の様子



結果と考察

調査開始にあたり、過去のジャガイモや他の作物の無施肥栽培の経験から数年程度は次第に収量が減少して行くと想定しており、今後の経過を引き続き観察したい。栽培初年度と比較すると減収となっている品種が多いが2年目から3年目の減収の割合が少ない品種がある。前年未耕作の区画も一部含んでおり、また雨の多い気候による湿害や獣害などの影響もあり単純比較は出来ないが品種によって無施肥・連作環境への適応性が異なる可能性があると考えられる。

野洲圃場では男爵は大幅に減収している。デジマは年1回栽培を行い半年間休耕している一期作区は減収しているが年2回連続して栽培する二期作区では一期作よりも減収の幅が少なく2作目から収量が比較的安定した結果になっている。種芋の貯蔵時の劣化や齢などが影響している可能性もある。

朝日圃場では男爵・キタアカリは大幅な減収となっているがデジマは減収の幅が小さかった。男爵・キタアカリは着花後しばらくして枯れ始めたが、デジマは収穫期まで地上部が残っていた。生育期間を長く保てる品種の方が収量も多い傾向にある。水稻等と同様にじっくり生育するタイプが無施肥栽培に向いている可能性も考えられる。

施肥区については草置き場を耕起して植え付けした初年度の区画でもあり、有機物や肥料分も有るため収量が多いのは当然だと考えられる。なお品種間の収量の順は無施肥区と同じになっている。位置的に隣接農家が施す除草剤の影響を受けているが消毒薬は使用していないため今後は病害の発生などにも留意して観察して行きたい。また、無施肥区との食味の比較調査も検討したい。

試験的に栽培した、長崎県の俵氏が天然の変異種から育種したグランドペチカやタワラマゼラン、また海外より導入されたマチルダ等の一般に病害に抵抗性が強いとされる品種は無施肥栽培での生育状況を観察したいと考えて植え付けたものであり、一部他の作物を栽培していた区画や前作が他品種のジャガイモ栽培の区画も含むが、地上部がよく繁茂し収量も多く良好な生育だった。

無施肥無農薬でのジャガイモの栽培にあたって基本的に地域の気候・気温に適する品種を選定する事が重要と考えるが、現在市販されている一般栽培向け品種は施肥・農薬の使用を前提に開発にされたものであるため、必ずしも無施肥栽培に適合していない可能性も考えられる。日本に江戸時代に渡來した在来種が山村などでウィルスや病害もありながら現在まで100年以上継続して栽培されている例もあり、現在無施肥栽培している品種についても連作を続ける中で有る程度環境に対応し変化していく可能性もあるのではないだろうか。

本年は昨年と同様の内容と朝日村圃場で1~2品種加えての調査を計画している。

2019～2021年

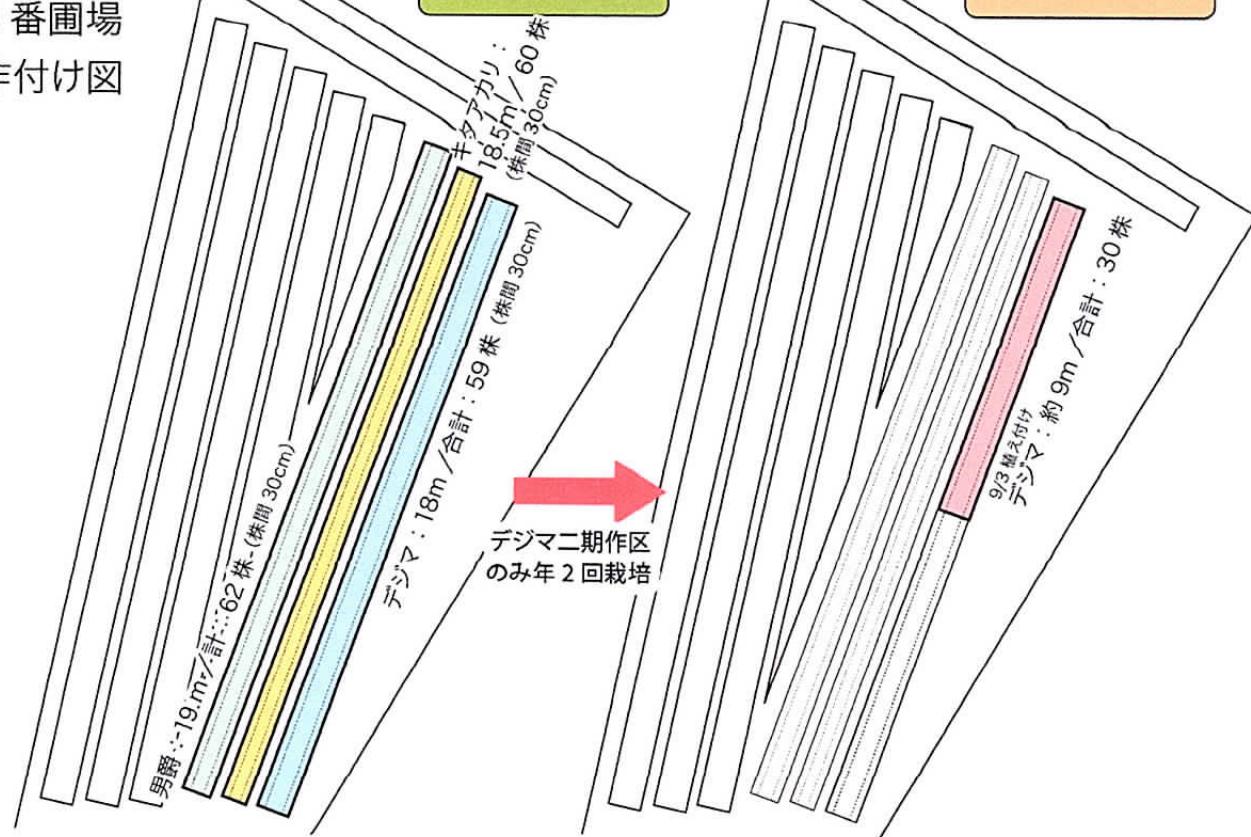
滋賀県野洲市

8番圃場

作付け図

2019年 - 春作

2019年 - 秋作



2020年 - 春作
2021年も同様

2020年 - 秋作
2021年も同様

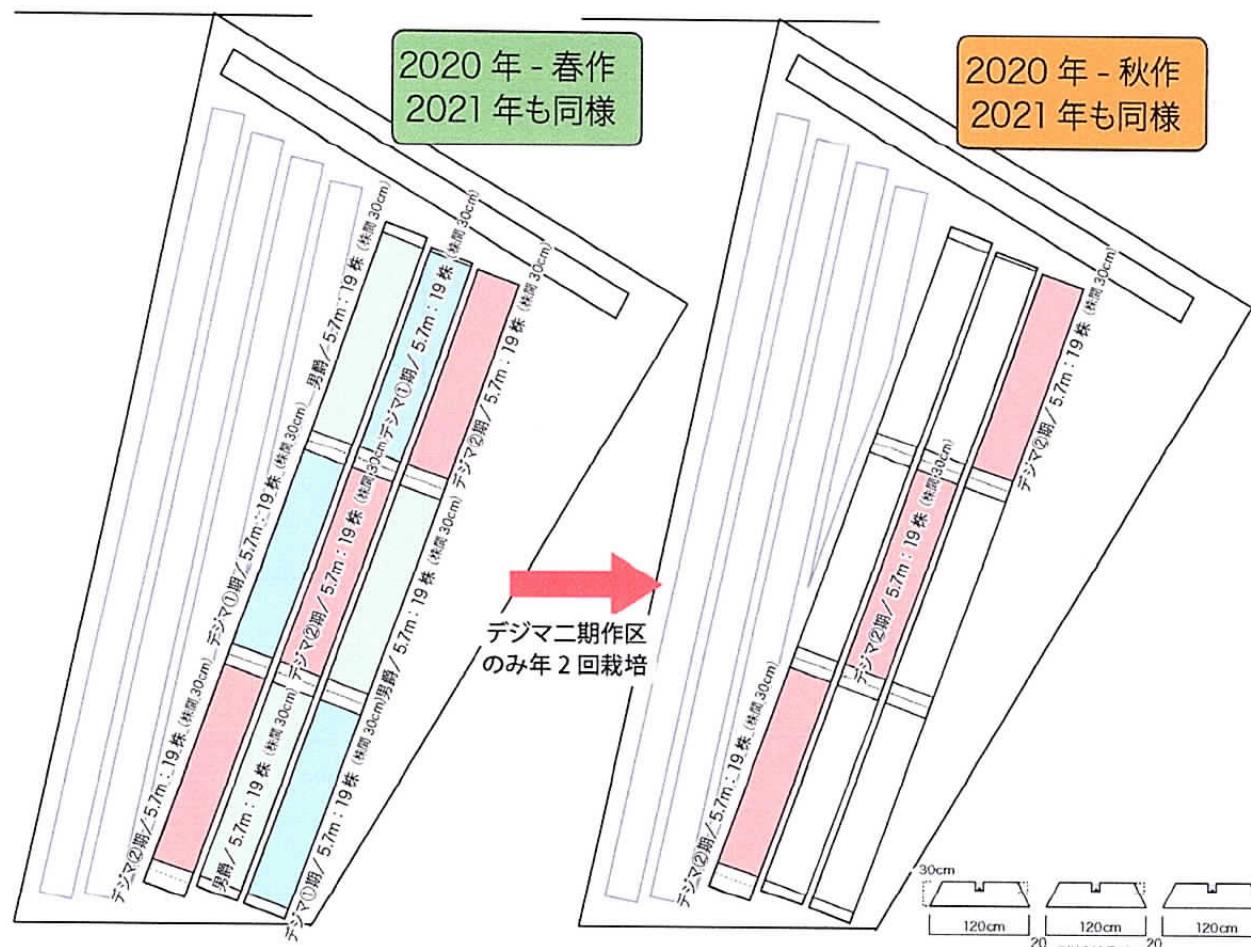
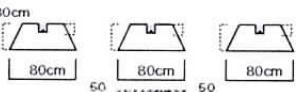


図 6

2022年も2021年と同様の区割りで栽培調査を行う予定です。

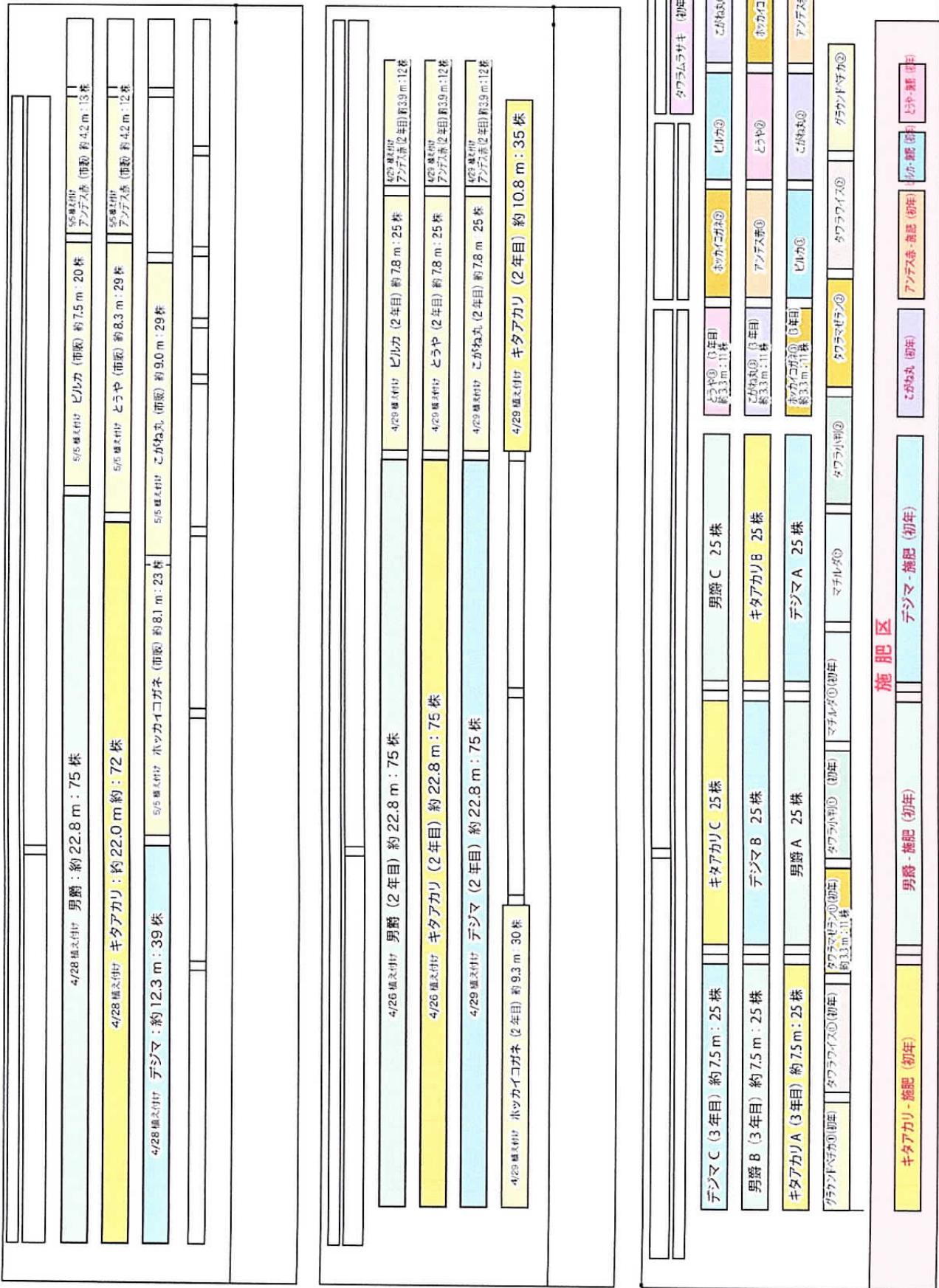
2019~2021年 長野県東筑摩郡朝日村圃場作付け図



2019 年

2020 年

2021年



圃場におけるダイズ茎疫病発生機構—植物体上の傷の影響

多田光史^{1*}・正田愛奈²・白岩立彦¹

(¹京都大学大学院農学研究科, ²京都大学農学部)

緒言

ダイズ (*Glycine max*) は国内において 8 割以上は水田転換畠で栽培されているため、降雨が続く場合は土壤の過剰水分にともなう被害（湿害）を受けやすい。湿害には、出芽不良や根の養水分吸収力の低下などがあるが、加えて土壤病害の増加も深刻とされている。特に土壤病原菌の一種であるダイズ茎疫病菌 (*Phytophthora sojae*, 以下、茎疫病菌) によるダイズ茎疫病（以下、茎疫病）は防除困難にして全国各地で発生が増加傾向にあり、早急な解決が求められている (Sugimoto et al., 2012)。

現在茎疫病対策としては、農薬を用いる化学的防除か、茎疫病の抵抗性品種の利用が一般的であるが、薬剤耐性と抵抗性品種を侵す病原型の出現が懸念され (藤田, 2013)，それらのみによる持続的防除は困難である。持続的防除には敵立栽培や明渠などの過湿条件回避を主とする耕種的防除と組み合わせることが推奨されているが、効果的な耕種的防除は確立されていない。そして、無施肥無農薬栽培においては耕種的防除法が非常に重要である。

ところが、耕種的防除の基礎となる栽培学的知見は限られ、とくに植物体の健全さが茎疫病発生に及ぼす影響を示した研究例は少ない。演者のこれまでの研究から、茎疫病発生を助長するとされてきた湛水の効果は限定的であったが (Tada et al., 2021a)，その一方で植物体胚軸の傷が茎疫病発生における重要な助長要因であることが示唆された (多田ら, 2020 年度 NPO 無施肥無農薬栽培研究報告会)。しかし、再現性が確認できていおらず、また深い傷がなぜ高い枯死率をもたらすかについては不明であった。

そこで本研究は、生育初期のダイズ胚軸の傷が茎疫病発生に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。その影響を明らかにするため、異なる深さの傷処理に対して茎疫病菌接種を行い、その後 7 日間栽培し、枯死率をおよび胚軸内部の褐変程度を調査した。

材料・方法

バーミキュライトを詰めた 360 mL ビニールポットにダイズ品種 ‘エンレイ’ を播種し (6 粒/ポット, 4 ポット/傷処理)，播種後 7 日目に注射針とカッターパーク 2 種を用いて合計 4 種類の傷処理を行った [貫通傷、傷《深》 ($764.0 \pm 166.9 \mu\text{m}$)、傷《中》 ($429.6 \pm 74.4 \mu\text{m}$)、傷《浅》 ($182.0 \pm 37.0 \mu\text{m}$)] (図 1)。

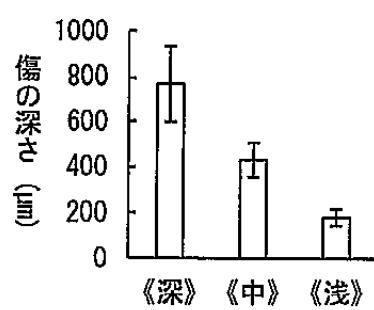


図 1 傷《深》～《浅》の深さ

茎疫病菌は Ps060626-4-1 および Ps060710-3-1 の 2 系統（いずれもエンレイに病原性を有する）を供試し、CV8 寒天培地を用いて 25°C 暗所で 2 週間培養した菌培養プレートの破碎物を接種した。その後 3 日間高湿区、1 日間高湿区、対照区、1 日間低温区および 3 日間低温区の 5 種類の処理区で栽培を行った（図 2）。接種後 7 日目まで枯死率を毎日調査した。なお、茎疫病菌接種を行わない場合は、いずれの傷処理によっても障害や枯死はみられなかった。

その後、子葉節直下の胚軸断面の写真を撮影し、内皮内部の褐変部分とそれ以外の部分を ImageJ によって二値化し、褐変部分の割合（褐変割合）を算出した。

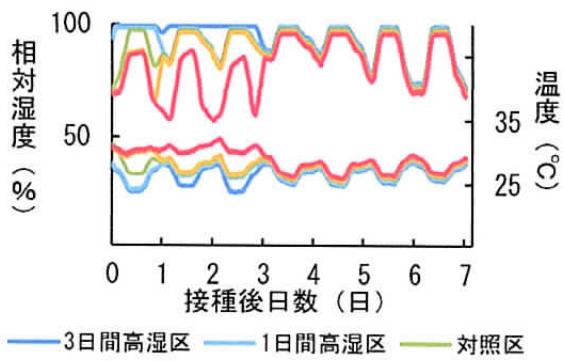


図 2 相対湿度および温度の推移

結果・考察

接種後 7 日目における枯死率は貫通傷で 91%，傷《深》で 18%，傷《中》で 1.7%，傷《浅》で 2.5%，無傷で 0% となり、枯死率は傷が深いほど概ね高くなかった（図 3 上）。一方で、既報の調査における枯死率は、貫通傷で 99%，傷《深》で 52%，傷《中》で 38%，傷《浅》で 20%，無傷では 1% であった（図 3 下）。

以上より、貫通傷をともなう菌接種では、ほぼすべての個体が枯死に至り、無傷の場合にはほとんどの個体が枯死に至らないことが確認された。また、中間の傷（傷《深》～《浅》）では、傷が深くなるほど枯死率が高くなる傾向は確認されたが、その程度は実験ごとに異なっていた。これは今年度の実験において、傷処理までの温度が高かったことにより（今年度：27.3°C；昨年度：22.9°C），茎の太さが太くなったことが影響していると考えられた。

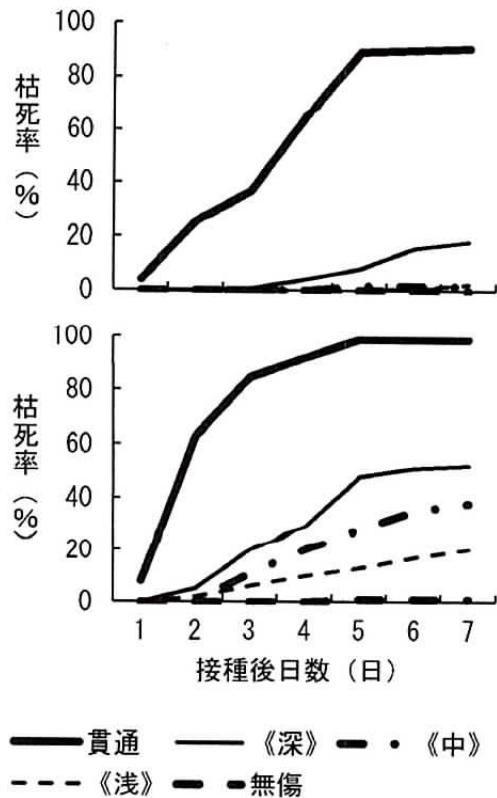


図 3 深さの異なる傷に茎疫病菌接種を行った際の枯死率の推移（上：今年度の結果；下：昨年度の結果）

なお接種後 7 日目の枯死率は、3 日間高湿区、1 日間高湿区、対照区で高く、1 日間低湿区および 3 日間低湿区では低い傾向がみられ、特に中間の傷においてその傾向が顕著であった（図 4）。高湿条件で枯死率が高くなかったことは、既報の結果と一致していた。しかし、今回の実験では対照区でも高い枯死率がみられた。これは湿度制御が不安定であり、高湿条件に近かったためだと考えられる（図 2）。

子葉節直下の胚軸断面における褐変割合は、傷が深いほど大きくなり、高湿条件下においてより高くなる傾向がみられた（図 5）。

茎疫病菌は内皮内部に侵入後、維管束にコロニーを形成し、維管束を詰まらせる（Enkerli et al., 1997）。また筆者の過去の観察において、子葉節より上部の導管に褐変が達していることが確認されている。これらと今回の結果より、植物体上の傷が深いほど菌は内皮内部へ容易に侵入し、導管を中心に維管束を閉塞し、その結果、枯死に至りやすくなると考えられる。

結論・今後の展望

本研究により、生育初期の茎疫病発生において、植物体上の傷が重要な助長要因であることが示された（Tada et al., 2021b）。今後は、癒傷反応に着目し、なるべく早く傷が癒える条件を探索することで、現場に応用可能な発生抑制技術の開発に繋げたい。

【引用文献】

Tada et al. (2021a). *Plant Production Science* 24: 433–439.

<https://doi.org/10.1080/1343943X.2021.1881408>

Tada et al. (2021b). *Physiological and Molecular Plant Pathology* 116: 101737.

<https://doi.org/10.1016/j.pmpp.2021.101737>

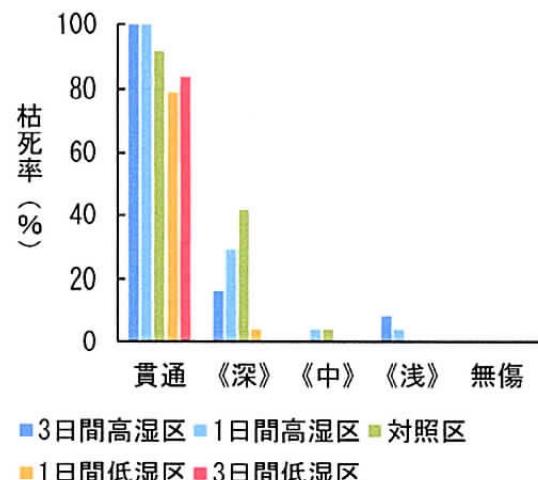


図 4 菌接種後 7 日日の枯死率に及ぼす相対湿度および傷の深さの影響

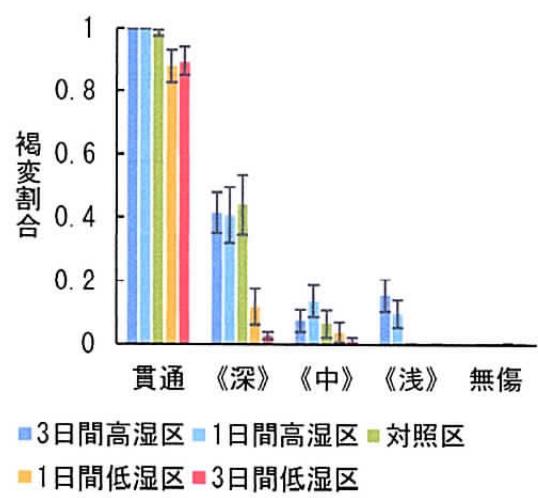


図 5 菌接種後 7 日日の褐変割合に及ぼす相対湿度および傷の深さの影響
エラーバーは標準誤差を表す (N = 24)。

圃場におけるダイズ茎疫病発生機構—植物体上の傷発生要因

正田愛奈^{1*}, 多田光史², 白岩立彦²

¹京都大学農学部, ²京都大学大学院農学研究科

【緒言】

国産大豆の約 80%は水田転換畠で栽培されており、湿害や土壤病害による被害を受けやすい状況にある。特にダイズ茎疫病（茎疫病）は卵菌類の *Phytophthora sojae*（茎疫病菌）により引き起こされる重要な土壤病害であり、世界中で増加傾向にある（Schmitthenner, 1999）。罹病植物には多数の遊走子のうが形成され、そこから放出された遊走子が降雨や灌水によって水媒伝染することから被害が容易に拡大し、大幅な減収となる圃場もみられる。現在も発生拡大が進んでいるため、茎疫病に対する早急な対策が必要である（Sugimoto et al., 2012）。

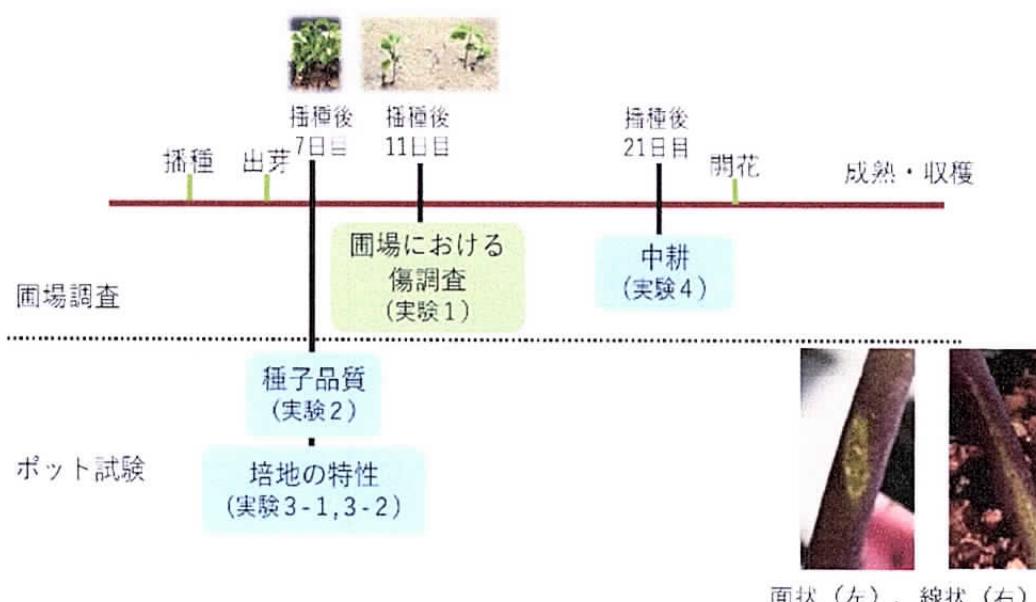
先行研究よりダイズ胚軸の傷が茎疫病発生に影響を及ぼすこと、傷が深いほど茎疫病が発生しやすいことが明らかとなった（Tada et al., 2021, 多田らの報告書参照）。しかし、圃場における傷発生の実態、傷発生の主要因は明らかになっていない。そこで、傷発生要因を解明するために自然に生じる傷の頻度および深さを調査するとともに、想定されるいくつかの傷発生要因（種子品質、培地の特性、中耕）についてその効果を検討する実験を行った。

【材料および方法】

傷調査方法

明条件で茎表面に傷（面状および線状）を有する個体の数を記録した。破壊調査が可能な個体は、胚軸断面を実体顕微鏡で観察し、傷の深さを測定した。

なお、本実験における傷の調査は胚軸部分を観察した。調査時期については、実験1は播種後11日目、実験2、3-1、3-2は播種後7日目、実験4は播種後21日目である。



面状（左）、線状（右）の傷

実験1 園場に播種された個体の傷調査

京都農場、木津農場のダイズ試験区の一部について、播種後 11 日目に傷調査を行った。

実験2 品質の劣る種子（しわ・裂皮粒など）を用いた傷調査

培地にはバーミキュライトを使用し、2020 年度に購入したエンレイ（出芽率が著しく低いことが確認されている）を健全粒としわ、裂皮、浮き皮がみられる種子にそれぞれ分けて深さ 3 cm, 8 粒/ポットとなるように播種し、播種後 7 日目に傷の調査を行った。種子の品質の代替指標として発芽率を用いることができると考え、発芽試験を行った。

実験3 土の物理性による傷の調査（実験3-1 磯の割合・実験3-2 土塊の大きさ）

実験3-1 では、8 種類の培地を集め、土塊は全て碎いた上で磯の割合を調べた。それぞれの培地にエンレイを深さ 3 cm, 8 粒/ポットとなるように播種し、播種後 7 日目に傷の調査を行った。

また、実験3-2 では、木津農場の土を用いて、その土塊を 4 段階（[小]~4 mm, [中]4~16 mm, [大]16~40 mm, [特大]40 mm~）にふるい分け、6 号素焼きポットにそれぞれの土を入れ、およそ 4 cm の深さ、25 粒/ポットとなるように播種した。ただし、[大], [特大]には空隙がある程度埋めるため、4 mm 未満の土を 200 mL ずつ追加した。播種後 7 日目に傷の調査を行った。

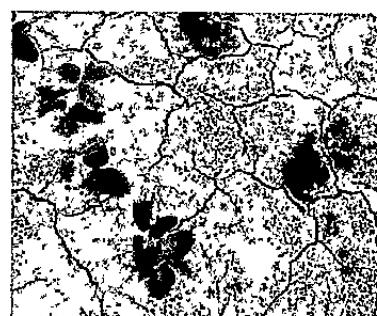
実験4 中耕による傷の調査

土耕温室（2.5 m × 25 m, 栽培枠 1.5 m × 22 m, TGC）2 棟にて、畝幅・管理機の進む速度・横板の位置（上・下）により 8 処理区を設けて播種後 21 日目に中耕を行い、傷の調査を行った。中耕の前後に茎の写真を撮影し、中耕の前後の状態を比べることにより中耕による傷の発生を確かめた。

【結果と考察】

園場における傷発生（実験1）

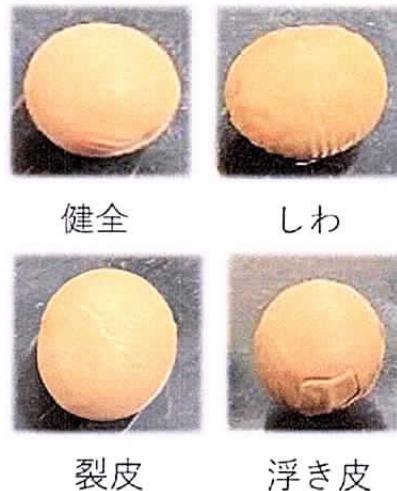
園場に播種された個体には、1.57~8.57 % の割合で傷個体がみられた。観察個体数が 100 を超えるような規模の実験では、傷個体数がゼロになることはなかった。木津農場での調査では、京都農場よりも多くの傷が観察された。木津農場においては乾いた地表面に土壤クラストが形成しており、京都農場とは土の性質がかなり異なることが予想された。土壤クラストもしくは土壤クラストを生じやすい土の性質が傷の発生を助長している可能性がある。



木津農場の様子

種子品質（実験2）

しわ・裂皮・浮き皮がみられる種子では傷が多い傾向があり、種子の品質が傷個体割合に影響を与える可能性がある。発芽試験の結果、健全粒としわ・裂皮粒の間に有意差はなかったが、しわ・裂皮・浮き皮のみられる種子は健全粒よりも発芽率が低い傾向にあった。種子の外観品質と発芽との関係について、先行研究により縮緬じわが生じた種子は外観品質が損なわれているのみならず、吸水特性が変化しているとともに、整粒に比べて冠水障害を受けやすいとされている。種子の不均等な膨潤により種子組織の物理的な破壊が助長された可能性や、縮緬じわ粒の種子活力を低下させる何らかの要因が関与している可能性が挙げられている（中山ら、2014）。裂皮、浮き皮粒においても、しわ粒と同様、冠水障害を受けやすく、これが傷の発生を助長している可能性がある。



培地の特性（実験3）

実験3-1より全培地区を通して傷個体が観察された個体は篠山土壤における2つのみであった。この結果からは、礫が多いと傷発生が多くなるとはいえない。本実験では観察個体数が少ないので、検討のためには数を増やして追試を行う必要がある。

また、実験3-2にて木津土壤を用いて土塊の大きさと傷のつきやすさとの関連を調べたところ、[小]で傷が多くかった。細かい粒子が多く、水はけが悪くなっていることが影響している可能性がある。水はけが悪いことによって表土・種子周りの水量が多くなり、しわ粒と同様、冠水障害を受け、これが傷の発生を助長している可能性が考えられる。ただし、統計検定では各処理区の傷個体割合の間に差はなかった。観察個体数が十分であったとはいえないため、土塊の大きさと傷との関連を明確にするには数を増やした実験を行う必要がある。



中耕（実験4）

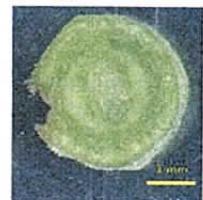
判別可能な写真を用いて中耕前後の傷の数を計測したが、中耕による新たな傷はみられなかった。ただし、土壤の性質によっては中耕によって傷が発生する可能性はあると考えられるため、他の圃場でも実験を行う必要がある。

傷の深さ（実験1～3）

実験1～3において観察された傷のおよそ7割が傷《浅》以上の深さであった。人為的な傷と自然の傷の発病への影響力が同等かどうかは不明だが、本調査により、発病促進要因になりうる深さの茎表面の傷が自然に発生していることがわかった。



中耕の様子



実体顕微鏡で観察した断面

【まとめ】

圃場に播種された個体には、1.57～8.57%の割合で傷個体がみられた。傷の深さについては、発病促進要因になると考えられる深さの茎表面の傷が自然に発生することがわかった。傷の発生要因については、種子の外観品質に関してしわ・裂皮・浮き皮のみられる種子で傷が多い傾向がみいだされた。しかし、培地の特性、中耕による傷の発生調査では明確な結果が得られなかつた。その理由は、実験規模すなわち調査数が上述の自然の傷発生頻度と比較して少なかつたことが考えられる。また、本研究で想定した要因が重要な傷発生要因でなかつた可能性がある。今後の課題として、傷発生要因について観察個体数を増やした検証、重要な傷発生要因の探索を行うとともに、自然の傷とダイズ茎疫病発生との関連を確かめる必要がある。