

【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

2020年度 研究報告会

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（2020年度）  
…………… 森誠・小林正幸（無肥研） 1
2. 長期無施肥無農薬栽培田における湛水直播栽培の生育および収量（予備調査）  
〔資料提出〕無施肥無農薬栽培小倉試験水田におけるベニアサヒの収量  
…………… 家田善太<sup>1</sup>・白岩立彦<sup>1,2</sup>（<sup>1</sup>無肥研・<sup>2</sup>京大院農） 10
3. 耕起回数の違いが無施肥無農薬栽培水稻の生育・収量に及ぼす影響（第2報）  
…………… 丸田信宏<sup>1</sup>・白岩立彦<sup>1,2</sup>（<sup>1</sup>無肥研・<sup>2</sup>京大院農） 17
4. 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  
…………… 岩橋優<sup>1</sup>・小林正幸<sup>2</sup>・森誠<sup>2</sup>・丸田信宏<sup>2</sup>・白岩立彦<sup>2,3</sup>・本間香貴<sup>1</sup>  
（<sup>1</sup>東北大院農・<sup>2</sup>無肥研・<sup>3</sup>京大院農） 27
5. イネの共生微生物と施肥量の関係性について  
…………… 有年由紗・切田澄礼・今井俊介・Yuniar Devi Utami・藤雅子・西條雄介  
（奈良先端科学技術大学院大学） 31
6. 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（2020年）  
…………… 下平訓立・倉島次郎（無肥研） 38
7. ダイズ茎疫病発生を助長する栽培要因に関する研究  
（ダイズ栽培圃場内・圃場間にみられるダイズ茎疫病発生の変異を左右する要因の解明）  
…………… 加藤もも・多田光史・白岩立彦（京大院農） 44
8. ダイズ茎疫病発生を助長する栽培要因に関する研究—苗を用いた室内実験  
（ダイズ茎疫病によるダイズ生育阻害程度に及ぼす湛水と傷の影響）  
…………… 多田光史・加藤もも・白岩立彦（京大院農） 49

## 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

(2020 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、福井県、滋賀県、京都府および兵庫県に位置する無施肥無農薬栽培水田の2020年の収量結果をまとめた。それらの水田は慣行栽培から無施肥栽培に切り替えて3年目になる水田や10年以上継続的に調査を続けている水田など様々である。

水稻収量は(1)株刈り法によるもの16圃場(収量要素を含む)(2)坪刈り法によるもの8圃場(3)全刈り法によるもの16圃場を示した。また(4)食味計による分析資料として14供試体の結果を示した。

最後に参考として2020年の気象庁発表の京都市気象データを示した。

### 水稻収量

#### (1) 株刈り法 (表1) (図1)

水田の対角を4等分して3か所から各連続10株、計30株で収量および収量要素を調査した。異なる8地域の16圃場で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。それぞれの水田間には大きな差が見られた。

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2019年と比べて同程度もしくは高くなった。尾形水田が最も収量が高く、次いで野洲Ⅶ水田、福井F水田となった。この3水田は除草が十分に行われた事も、多収量の一因だと思われる。福井F水田は前年に比べ38%増加した。尾形水田は2019年に比べ13%減、2018年と比べ17%減で年々収量が低下しているが、無施肥に切り替えて4年目で残肥が減った為と思われる。中村水田、中道水田では前年と比べ、中村水田は2%減、中道水田は42%増であった。両水田とも乗用型の機械で除草を行っているが、十分に雑草が抑制出来ていない。今少し雑草がおさえられていれば、さらに収量が高くなる可能性がある。亀岡Ⅰ水田と亀岡Ⅱ水田および、牧野水田は雑草が多く見られたこともあり、低収量であった。ことに牧野水田では代掻き後10日後の田植で、初期除草に失敗し雑草に負けてしまった事が収量に大きく影響したと思われる。前年比で収量の高かった福井水田、中道水田は前年に比べ、穂数、一穂粒数共に増加した。2020年は田植え後から最高分げつ期までの5月中旬から6月下旬までの平均気温は例年と比べて福井では1.4℃、滋賀県では1.6℃高く、分げつが多くなったと考えられる。

野洲Ⅲ水田では中生品種の秋の詩を栽培している。2019年は3年に一度回ってくる転作の年で無施肥で蔬菜を栽培した。転作の翌年は収量がやや高い傾向がみられるが、2020年もその傾向が見られた。

小倉R・O水田、上田I・II水田では晩生品種のベニアサヒ、農林16号を栽培している。収量は前年に比べて同程度もしくは低くなった。穂数×一穂粒数は前年とほぼ変わらなかったが、登熟歩合×1000粒重の値が前年に比べR水田が15%、上田II水田4%、O水田は21%、上田I水田は9%低かった。5月中旬から6月下旬迄の平均気温は2019年と比べて1.2℃高かったので、分けつは多かったが、7月の日照不足、出穂期、登熟期の高温が登熟歩合、1000粒重の低下につながり、収量が低くなった要因と考えられる。

もち米新羽二重は野洲I水田、野洲II水田、成田水田の3個所の調査を行った。野洲I、II水田は3年毎に転作を強いられ2019年は無施肥でダイズを栽培した。稗の種が多くこぼれ本年は除草に苦勞した。成田水田は2019年と比べて6%増収したが、2018年より慣行栽培から無施肥栽培に切り替えた3年目の水田なので今後もどのような推移をするのか調査を続けて行きたい。

表1 2020年水稲収量要素調査結果(株刈り法)

水田	住所	実施開始年	品種	全乾物重(g/m <sup>2</sup> )	穂数(本/m <sup>2</sup> )	一穂粒数(粒/穂)	登熟歩合	1000粒重(g)	収量(g/m <sup>2</sup> )	収穫係数
亀岡I	京都府亀岡市	1993	コシヒカリ	532.8 ± 36.1	177.1 ± 11.5	67.8 ± 2.5	87.1% ± 2.6%	19.6 ± 0.1	167.3 ± 11.9	46.2% ± 0.5%
福井F	福井県越前市	1997	コシヒカリ	795.2 ± 31.0	226.6 ± 10.1	80.1 ± 2.5	91.6% ± 0.5%	21.4 ± 0.1	329.5 ± 14.3	53.5% ± 0.6%
亀岡II	京都府亀岡市	2009	コシヒカリ	704.8 ± 31.3	210.3 ± 10.4	78.6 ± 4.4	75.7% ± 5.2%	20.1 ± 0.1	205.8 ± 9.3	43.8% ± 0.9%
野洲Ⅲ	滋賀県野洲市	2003	コシヒカリ	969.6 ± 56.4	253.3 ± 14.7	78.9 ± 4.0	91.5% ± 3.2%	20.9 ± 0.1	393.4 ± 22.1	52.0% ± 0.5%
中村	福井県大野市	2003	コシヒカリ	574.6 ± 31.0	156.7 ± 6.6	94.5 ± 5.1	92.9% ± 0.5%	20.9 ± 0.1	265.2 ± 13.5	61.0% ± 0.8%
牧野	福井県福井市	2009	コシヒカリ	201.1 ± 12.3	86.7 ± 4.7	53.2 ± 2.7	91.1% ± 0.9%	17.9 ± 0.1	62.1 ± 4.3	48.6% ± 0.8%
中道II	滋賀県野洲市	2010	コシヒカリ	751.1 ± 44.2	190.3 ± 12.2	80.3 ± 2.3	92.9% ± 1.5%	20.5 ± 0.1	279.3 ± 16.0	49.7% ± 0.9%
尾形	福井県越前市	2017	コシヒカリ	1047.0 ± 39.6	268.0 ± 13.9	85.3 ± 4.1	91.1% ± 0.8%	21.3 ± 0.1	427.7 ± 16.2	53.3% ± 0.8%
野洲Ⅲ	滋賀県野洲市	1995	秋の詩	1063.0 ± 36.1	269.9 ± 11.5	81.9 ± 2.5	91.4% ± 2.6%	21.2 ± 0.1	360.3 ± 11.9	44.9% ± 0.5%
小倉R	宇治市小倉	1951	ベニアサヒ	829.1 ± 30.8	196.9 ± 8.2	65.8 ± 2.2	81.6% ± 2.1%	20.7 ± 0.1	198.8 ± 7.6	33.7% ± 0.4%
上田II	京都市山科	1965	ベニアサヒ	706.3 ± 40.4	122.6 ± 7.9	98.3 ± 3.9	96.0% ± 0.4%	22.4 ± 0.0	259.9 ± 14.5	47.4% ± 0.7%
小倉O	宇治市小倉	2003	ベニアサヒ	835.8 ± 46.0	193.1 ± 10.1	74.2 ± 2.3	83.4% ± 1.4%	21.4 ± 0.0	238.8 ± 36.8	39.3% ± 0.4%
上田I	京都市山科	1965	農林16号	611.4 ± 42.9	120.3 ± 9.2	90.1 ± 4.0	91.5% ± 1.2%	22.1 ± 0.0	218.8 ± 16.8	45.7% ± 0.7%
野洲I	滋賀県野洲市	1989	新羽二重	884.9 ± 56.4	261.3 ± 14.7	64.5 ± 4.0	90.4% ± 3.2%	21.0 ± 0.1	255.6 ± 22.1	46.9% ± 0.5%
野洲II	滋賀県野洲市	1995	新羽二重	956.0 ± 56.4	272.1 ± 14.7	61.7 ± 4.0	91.9% ± 3.2%	21.4 ± 0.1	281.5 ± 22.1	44.3% ± 0.5%
成田	兵庫県豊岡市	2018	新羽二重	983.3 ± 31.8	278.7 ± 9.9	70.6 ± 2.7	90.8% ± 0.7%	21.0 ± 0.1	365.0 ± 12.1	50.2% ± 0.5%

平均値 ± 標準誤差

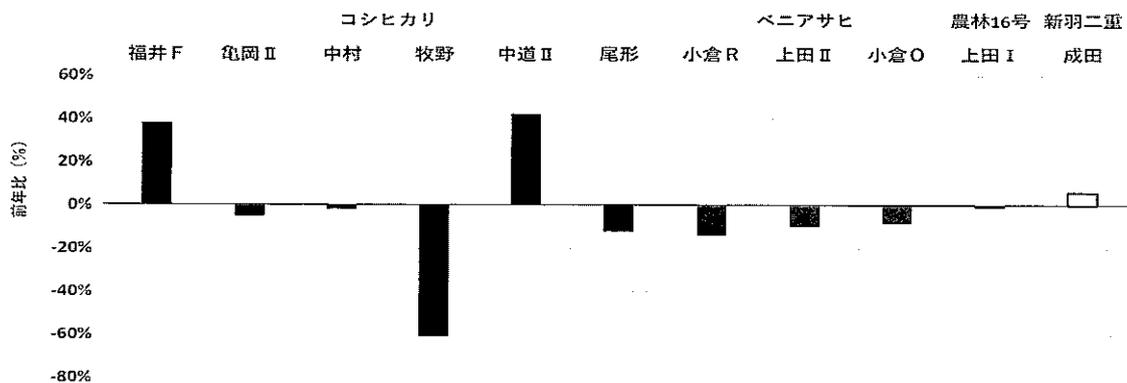


図1 株刈り法における2019年収量との比較

(2) 坪刈り法 (表 2) (図 2)

1977年より坪刈り調査を行っており、本年で55年目である。本年は栽培地や栽培品種の異なる8水田で調査した。栽培品種はコシヒカリ、ベニアサヒ、農林16号、新羽二重の4品種である。実施場所ごとの特徴をまとめると、亀岡I水田は1993年から2008年まではベニアサヒ、2008年から秋の詩を連作していたが、周囲の水田が早生品種を栽培している為、それらが収穫後は本水田だけが残り、度々獣害に遭うので、2020年は早生品種のコシヒカリを作付けした。過去10年間の平均収量も低収量でバラツキがある水田である。

福井F水田ではコシヒカリを栽培しており、7aと小面積であるが除草や水管理など栽培管理が充分行われている。過去10年間の平均収量は $381.5 \pm 53.7\text{kg}/10\text{a}$ と調査を行っている水田では比較的高収量である。

野洲VII水田ではコシヒカリを栽培した。この圃場は3年毎の転作となり、2018年は無施肥で野菜の栽培を行った。作付け品種は年により様々であるが過去10年間の平均収量は $382.3 \pm 35.3\text{kg}/10\text{a}$ と比較的高い収量を得ている。

1951年から無施肥を継続していた滋賀県栗東水田の土壌を移設した宇治市小倉R水田と2003年から継続して水稻栽培を行っているO水田ではどちらも晩生品種のベニアサヒを栽培した。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31%、20%の減収になった。

上田I水田と上田II水田ではそれぞれ晩生品種の農林16号とベニアサヒを栽培している。2020年は過去10年間の平均収量と比べて平年作であった。残念ながら55年間続けてきた水田は2020年度の栽培を最後に稲作から畑作に切り替えることになった。

野洲市の野洲I水田ではもち米新羽二重を栽培している。この圃場も3年毎に転作となる。過去10年間の平均収量は $273.3 \pm 78.4\text{kg}/10\text{a}$ と変動が大きい水田である。

表2 2020年水稻収量調査(坪刈り法)

水田	実施場所	実施 開始年	品種	全乾重 (g/m <sup>2</sup> )	莖乾重 (g/m <sup>2</sup> )	精秈重 (g/m <sup>2</sup> )	精玄米重 (g/m <sup>2</sup> )	推定玄米重 (kg/10a)	過去10年の 平均推定収量 (kg/10a)	備考
亀岡 I	京都府亀岡市	1993	コシヒカリ	541	313	228	178	177.3	228.0 ±47.9	注1
福井 F	福井県越前市	1997	コシヒカリ	829	393	436	353	356.6	381.5 ±53.7	
野洲 VII	滋賀県野洲市	2003	コシヒカリ	888	443	444	359	360.1	382.3 ±35.3	
小倉 R	宇治市小倉	1951	ベニアサヒ	788	537	251	198	198.4	286.8 ±49.2	注2
上田 II	京都市山科区	1965	ベニアサヒ	737	422	315	247	246.4	240.4 ±39.3	注3
小倉 O	宇治市小倉	2003	ベニアサヒ	864	548	317	253	254.1	315.8 ±38.6	
上田 I	京都市山科区	1965	農林16号	687	409	277	225	223.7	249.2 ±31.5	注3
野洲 I	滋賀県野洲市	1989	新羽二重	810	456	354	278	278.4	273.3 ±78.4	

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。

注3 市街地にあり生育期間中、住宅の陰になることが多い。

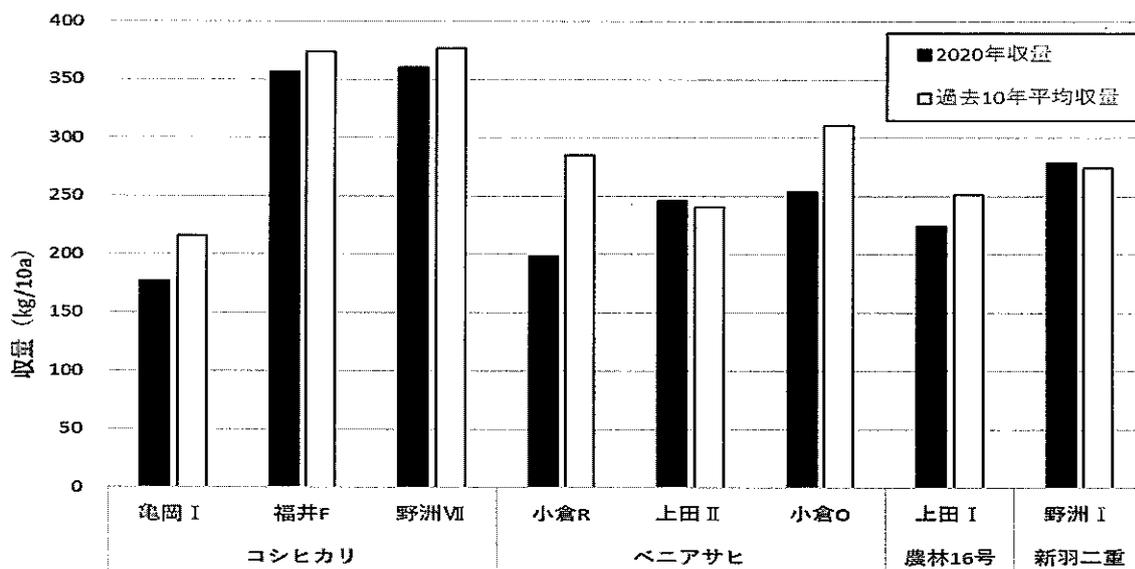
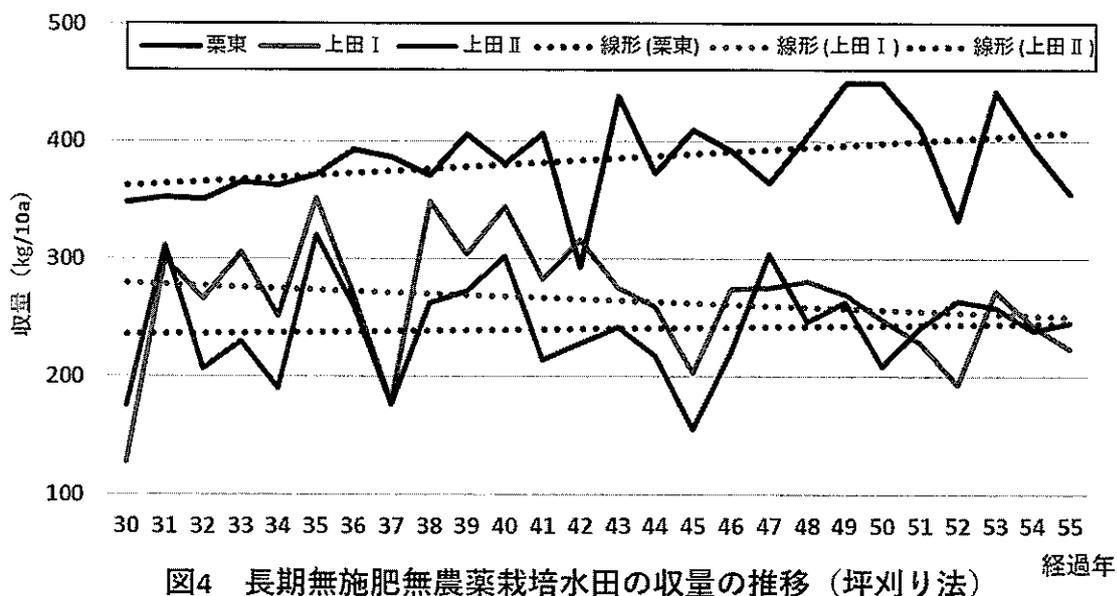
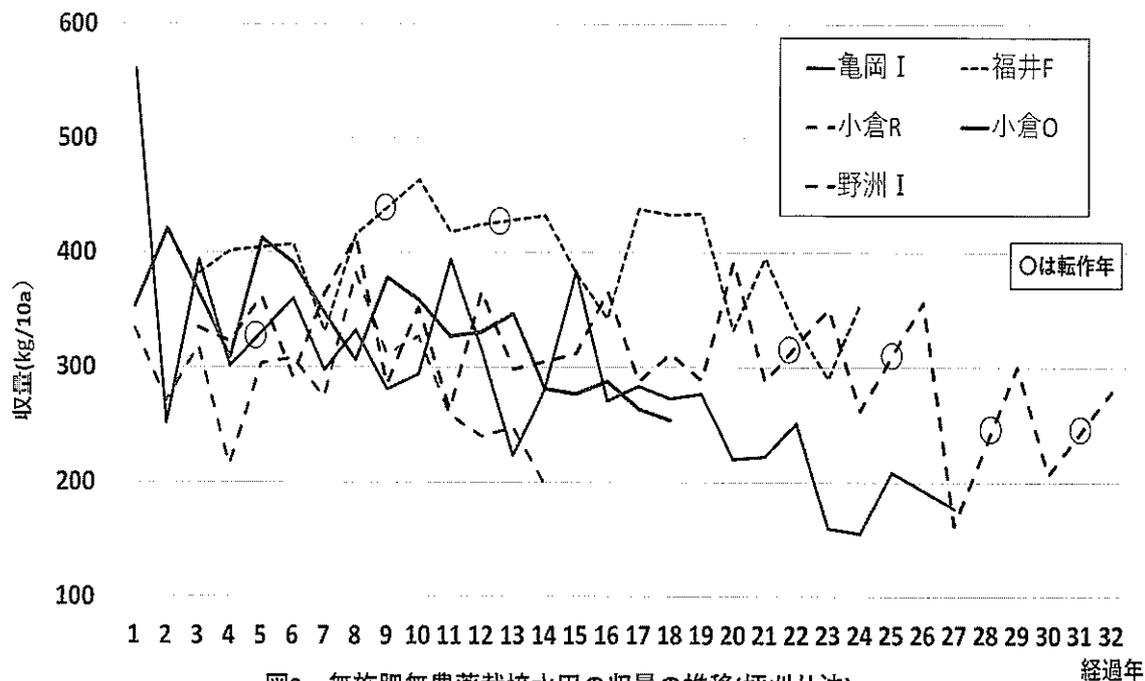


図2 坪刈りによる収量

無施肥に切り替えてからの収量の経年推移(図 3、図 4)では、どの水田も年ごとの増減が見られる。亀岡 I 水田の初年度の収量が高いのは圃場整備が行われて初年の栽培であったからである。それ以外の 4 水田は慣行栽培からの切り替えである。野洲 I 水田は転作後に収量上がるが次年に平均 30%落ちる事が確認されている。無施肥に切り替えた数年は使用

していた、肥料分が少しずつ無くなって行くことで、収量が徐々に落ちていく。しかし長期無施肥栽培を続けている、上田Ⅰ・Ⅱ水田、滋賀県の栗東水田は無施肥栽培開始30年以降のデータ推移を見てみると、年ごとの増減はあるものの、近似曲線で250~400 kg/10aでほぼ平行か、微増している水田もある。このことから除草をしっかり行い、水管理がしっかりできれば、長期的に安定した収量が見込める水田例もある。



(3) 全刈り法(表 3)

産地、品種、実施開始年の異なる 18 圃場の収量を参考資料としてまとめた。収量(kg/10a)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 2020年無施肥無農薬水田収量(全刈り法)**

水田	産地	実施開始年	品種	収量 (kg/10a)	過去5年間平均 (kg/10a)	備考
亀岡 I	京都府亀岡市	1993	コシヒカリ	158.9	159.2 ±32.7	注1
福井F	福井県越前市	1997	コシヒカリ	345.9	345.7 ±48.8	
野洲VII	滋賀県野洲市	2003	コシヒカリ	315.5	340.8 ±39.0	注2
中村	福井県大野市	2003~2011	コシヒカリ	356.9	311.8 ±50.8	注2
亀岡 II	京都府亀岡市	2009	コシヒカリ	232.3	196.4 ±55.5	
牧野	福井県福井市	2009	コシヒカリ	86.0	178.2 ±54.2	
牧野 II III	福井県福井市	2010	コシヒカリ	96.2	176.5 ±50.7	
中道 II	滋賀県野洲市	2010	コシヒカリ	240.0	264.9 ±45.0	
平田	京都府南丹市園部	2012~2015	コシヒカリ	271.4	306.4 ±29.0	
尾形	福井県越前市	2017	コシヒカリ	365.5	485.4 ±98.2	注2
成田 II	兵庫県豊岡市	2019	コシヒカリ	265.9	334.6 ±97.2	注3
野洲 III	滋賀県野洲市	1995	秋の詩	259.0	295.9 ±79.8	注4
上田 II	京都市山科区	1965	ベニアサヒ	207.2	236.9 ±38.0	
小倉OR	京都府宇治市	2003	ベニアサヒ	202.9	244.8 ±32.3	
上田 I	京都市山科区	1965	農林16号	249.6	245.4 ±20.9	
野洲 I	滋賀県野洲市	1989	新羽二重	228.9	197.7 ±43.7	注4
野洲 II	滋賀県野洲市	1995	新羽二重	205.2	245.5 ±77.5	注5
成田	兵庫県豊岡市	2018	新羽二重	231.5	265.6 ±30.1	注4

注1 2019年は病気が発生したので、除外して計算した。

注2 過去4年間で計算した。

注3 過去2年間で計算した。

注4 過去3年間で計算した。

注5 17、18年は秋の詩の収量の3年で計算した。

(4) 食味分析資料 (表 4)

無施肥無農薬栽培農産物は慣行栽培の物より美味であることが、強みであり特徴である。そこで無施肥無農薬栽培米を食味計(静岡製機株式会社 TM-3500)を用いて 14 供試体のスコアによる評価を試みてみた。品種はコシヒカリ、秋の詩、ベニアサヒ、農林 16 号の 4 品種である。水分が 13%台と低くなったのは籾摺り後計測迄の保管状態が悪かったためと考えられる。タンパク質、アミロース、脂肪酸度それぞれが低く、それが高いスコアになったものと考えられる。2019 年と比べて、収量の高かった早生品種のコシヒカリのスコアが高く、収量の低かった晩生品種のベニアサヒはスコアが低かった。

表4 2020食味分析

食味分析計		静岡製機株式会社 TM-3500		2020.11.22実施					
それぞれ3回計測した平均									2019年
生産者	栽培地	開始年	品種	水分(%)	タンパク質(%)	アミロース(%)	脂肪酸度	スコア	スコア
亀岡 I	京都府亀岡市	1993	コシヒカリ	14.1	5.9	16	11	89	※
福井 F	福井県南越前市	1997	コシヒカリ	14.0	5.6	16.2	10	93	74
野洲 VII	滋賀県野洲市	2003	コシヒカリ	12.4	6.5	18.6	9	85	※
中村	福井県大野市	2003	コシヒカリ	13.5	6.8	17.7	14	82	75
中道	滋賀県野洲市	2007	コシヒカリ	13.3	5.1	15.6	6	100	88
亀岡 II	京都府亀岡市	2009	コシヒカリ	14.4	6.4	16.5	13	84	79
牧野	福井県福井市	2009	コシヒカリ	13.8	4.9	16.4	8	100	91
尾形	福井県南越前市	2017	コシヒカリ	12.6	6.1	17	7	90	82
成田 II	兵庫県豊岡市	2019	コシヒカリ	13.6	6	16.9	10	90	77
野洲 III	滋賀県野洲市	1995	秋の詩	13.7	6.4	17.5	12	85	※
小倉 R	京都府宇治市	1951	ベニアサヒ	14.6	7	17.1	15	79	85
上田 II	京都市山科区	1965	ベニアサヒ	14.1	6.1	19.3	17	85	86
小倉 O	京都府宇治市	2003	ベニアサヒ	15.2	7.1	16.3	15	79	85
上田 I	京都市山科区	1965	農林16号	14.4	6.2	19	17	84	88

※品種違い、転作の為無し

測定値の目安(望ましい値)本機械に関して

水分(%)	14.5-16.0
タンパク質(%)	8.5以下
アミロース(%)	20.0以下
脂肪酸度	20mgKOH/100g以下
スコア	70以上

参考 気象概要 (図5、表5)

一般的に作物の生育と収量に影響を及ぼす要因の一つとして天候が上げられる。以下京都市に於ける気象の概要をまとめた。

気温

2020年は年間の日平均気温が高かった。例年に比べて0.6℃平均気温が高くなった。1、2月の平均気温は例年より2.2℃高く、記録的な暖冬となった。6月10日から8月1日まで梅雨が続き、7月は平年に比べ平均気温が2.1℃低かった。8月中旬、下旬の日最高気温の平均がそれぞれ37.4℃と36.1℃を記録し、例年より3.0℃高かった。9月も中旬迄引き続き平均気温は高く例年と比べ1.5℃高かった。10月は雨や曇りが多く、平均気温は例年に比べ1.0℃低かった。年々夏特に8月の気温が異常ともいえる高温になり、9月中旬迄暑さが続き、稲の生育後期に影響を与えていると思われる。

日照時間

1月~6月まではほぼ例年並みであったが、7月は記録的多雨になり7月の総日照時間は61.6hと短く例年の55%となった。また梅雨が明けた8月は少雨で総日照時間が236.6hとなり特に中旬で89.2h、下旬は81.2hとなり例年と比べそれぞれ52%、47%増になった。9月下旬から10月上旬は、雨や曇りが多く、9月下旬が44.3h、10月上旬は35.0hと例年に比べ-13%と-31%と短かった。

降水量

2020年は梅雨入りが6/10とほぼ平年と変わらなかったが梅雨明けが8/1と平年と比べ10日遅く、7月は記録的に降水量が多かった。6月の降水量250.5mmで例年に比べ29%増、7月は552.0mmで131%増であった。8月~9月中旬までは少雨で降水量は95.5mmで例年と比べ-74%少なかった。9月下旬~10月上旬は雨が多く降水量が170.0mmで例年と比べ76%多かった。2020年の1年間の降水量は1664.5mmで過去10年間の平均降水量の1663.8mmでほぼ変わらなかった。また2020年は2008年以来、台風が日本本土に上陸しなかった。

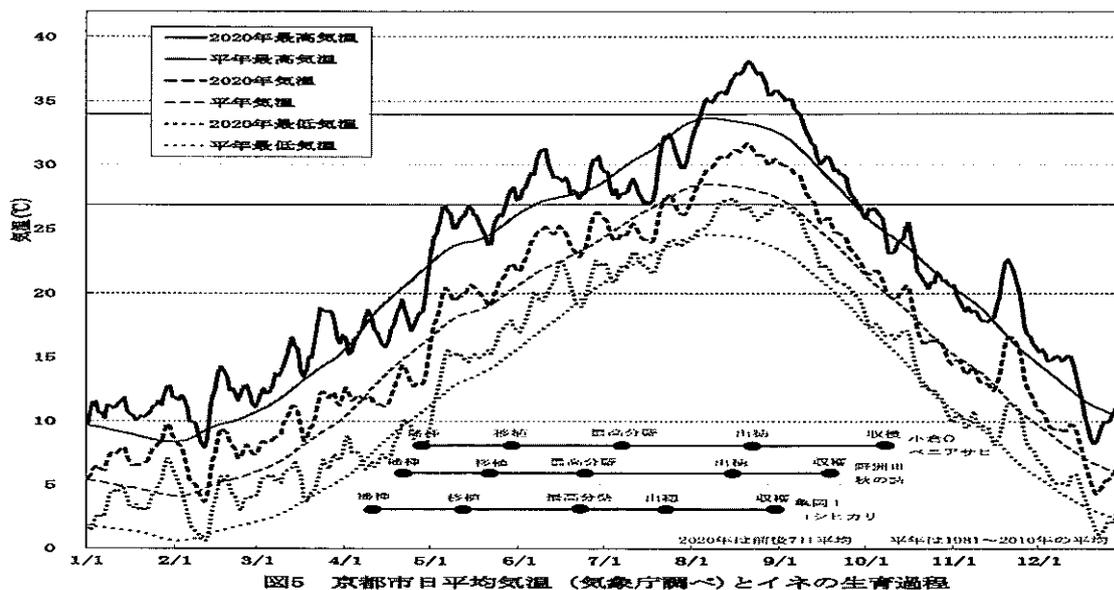


表5 2020年京都市気象データ

		気温(°C)						日照時間(h)		降水量(mm)	
		日平均		日最高		日最低					
1月	上旬	7.1	(4.8)	11.1	(9.1)	3.8	(1.5)	32.6	(43.0)	27.5	(11.6)
	中旬	6.8	(4.3)	10.6	(8.6)	3.2	(0.9)	39.1	(43.8)	1.0	(15.6)
	下旬	8.6	(4.3)	11.7	(8.5)	5.8	(0.9)	23.7	(44.8)	35.5	(21.2)
2月	上旬	4.7	(4.7)	9.2	(9.0)	1.1	(1.4)	53.9	(39.8)	0.5	(19.6)
	中旬	8.5	(4.8)	13.3	(9.2)	4.7	(1.3)	35.2	(41.6)	29.0	(32.3)
	下旬	7.6	(7.5)	11.5	(12.5)	4.1	(3.3)	35.8	(41.1)	26.0	(21.6)
3月	上旬	9.9	(8.0)	14.7	(12.7)	6.3	(4.2)	48.4	(39.7)	41.5	(47.5)
	中旬	9.9	(9.1)	15.3	(14.9)	4.9	(4.1)	71.2	(53.1)	11.5	(28.5)
	下旬	11.9	(9.9)	17.2	(15.6)	7.3	(5.0)	57.6	(66.7)	39.0	(33.1)
4月	上旬	11.9	(12.7)	17.6	(18.5)	6.9	(7.7)	77.4	(55.6)	28.5	(43.5)
	中旬	12.8	(14.1)	17.4	(19.9)	8.7	(9.1)	46.1	(59.2)	91.5	(46.9)
	下旬	14.0	(16.3)	20	(22.1)	8.6	(11.1)	74.6	(62.3)	1.5	(44.8)
5月	上旬	19.9	(18.3)	25.8	(24.2)	15.3	(13.1)	59.7	(66.2)	7.5	(26.7)
	中旬	20.2	(19.8)	25.8	(25.8)	15.5	(14.5)	51.5	(69.9)	96.0	(48.7)
	下旬	21.5	(21.4)	27	(27.2)	17	(16.5)	58.9	(67.9)	10.5	(63.8)
6月	上旬	25.0	(22.3)	30.7	(27.5)	19.9	(17.9)	75.7	(56.2)	0.5	(40.3)
	中旬	23.7	(23.3)	27.5	(28.0)	20.9	(19.4)	30.6	(42.2)	185.0	(66.1)
	下旬	25.6	(24.7)	29.9	(29.5)	21.5	(21.1)	45.6	(37.3)	65.0	(88.1)
7月	上旬	24.8	(26.4)	28	(30.8)	22.3	(23.0)	10.7	(36.4)	321.0	(101.9)
	中旬	25.3	(28.1)	29.1	(33.0)	22.5	(24.4)	28.1	(53.3)	94.5	(101.6)
	下旬	26.9	(28.9)	31.2	(34.2)	24.2	(25.1)	24.8	(62.3)	136.5	(35.1)
8月	上旬	30.0	(29.7)	35.2	(35.2)	26.1	(25.9)	66.2	(68.0)	2.0	(47.2)
	中旬	31.3	(29.1)	37.4	(34.4)	26.7	(25.3)	89.2	(58.6)	12.5	(86.1)
	下旬	30.3	(28.1)	36.1	(33.1)	26.4	(24.5)	81.2	(55.1)	31.0	(59.3)
9月	上旬	28.4	(26.2)	33.1	(31.0)	25.3	(22.7)	43.6	(47.1)	39.5	(92.2)
	中旬	25.5	(24.7)	30.2	(29.5)	21.8	(21.1)	42.8	(49.9)	10.5	(89.3)
	下旬	22.6	(22.8)	27	(27.6)	19.1	(18.9)	44.3	(50.8)	64.0	(59.6)
10月	上旬	20.3	(21.4)	24.4	(26.2)	16.9	(17.5)	35.0	(50.7)	106.0	(37.0)
	中旬	18.1	(18.8)	23.2	(23.4)	14.6	(14.9)	57.0	(47.9)	26.0	(50.3)
	下旬	15.5	(16.8)	20.9	(21.5)	11.3	(12.8)	72.0	(52.1)	39.5	(68.9)
11月	上旬	13.9	(14.7)	18.4	(19.4)	10.2	(10.6)	48.4	(50.8)	37.5	(16.1)
	中旬	15.2	(12.4)	21.2	(16.9)	10.4	(8.6)	65.9	(46.2)	2.5	(34.6)
	下旬	11.8	(10.8)	16.2	(15.3)	7.6	(6.9)	51.4	(44.8)	1.0	(16.2)
12月	上旬	9.4	(8.5)	14.9	(12.9)	5.1	(4.6)	73.6	(48.1)	0.0	(15.6)
	中旬	6.3	(6.8)	10.1	(10.8)	3.4	(3.4)	45.8	(37.5)	0.0	(24.8)
	下旬	6.0	(6.0)	10.8	(10.0)	2.3	(2.7)	54.3	(44.4)	23.0	(28.1)

気象庁発表の京都市の気象データをもとに作成。( )は2010年～2019年の平均値

## まとめ

近年毎年のように異常気象を言われているが2020年は7月の多雨、その後の高温続きにより晩生品種は高温障害を受け、このような異常気象下において収量だけでなくそれらの品質についても問題があり、今後は無施肥無農薬栽培米の品質を慣行栽培米と比較し調査する必要がある。栽培品種については慣行栽培でも言われているように、天候の変化に伴うリスクを避けるためと消費者のニーズに合わせることも考慮し、早生、中生、晩生の品種を使い分けて栽培することが望ましく思われる。また無施肥栽培においては特に土壌養分を収奪する雑草の抑制と水管理は重要であり、水田を良く観察し初期除草を怠らず、稲の生育状況に合わせて除草に入ることが必要である。今後も記録を残して行く事で無施肥に切り替えてどのような収量の推移をしていくのか、見ていきたい。

# 長期無施肥無農薬栽培田における湛水直播栽培の 生育および収量(予備調査)

家田善太<sup>1</sup>・白岩立彦<sup>1, 2</sup>(<sup>1</sup>NPO 無肥研・<sup>2</sup>京大院農)

## 1. 主旨

直播栽培は移植栽培と比較して労力節減に大きな効果を挙げている(水多.2015)。無肥研直轄の試験水田では育苗土も移植する本田土壌を乾かし用いるので、(慣行栽培より更に)育苗に多くの労力と時間を要する。

また、直播では移植時の根を損傷がないため「末期まで作物の根が健全に機能して養分を吸収する」(竹内.1979)無施肥の特徴をより顕著に発現する可能性を考えた。

しかし、「発芽率が低い」「雑草が多い」「収量が低い」等の懸案もある。

そこで、無施肥栽培で直播栽培を試行し収量性、除草回数・時間や栽培上の問題点を調査した。

## 2. 試験方法

### 2-A. 本田調査

野洲市無施肥栽培試験水田の隣合う2水田(野洲Ⅱ, 野洲Ⅲ)に6条9株(条間33cm 株間18cm 栽植密度16.8株/m<sup>2</sup>)を調査区とし移植区, 直播区(除草5回), 直播区(除草1回)の3区を2水田にそれぞれ3反復設置した(表1, 図1)。

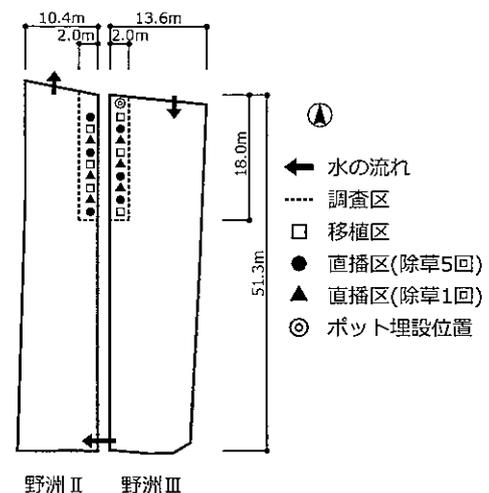


図1. 調査区位置

表1. 本田調査区概要

区	水田	播種	移植	補植	除草
移植区	野洲Ⅱ, 野洲Ⅲ	04月12日	05月17日	-	3回
直播区(除草5回)	野洲Ⅱ, 野洲Ⅲ	05月17日	-	06月21日	5回
直播区(除草1回)	野洲Ⅱ, 野洲Ⅲ	05月17日	-	06月21日	1回

代かき, 入水などの水田管理を本田と合わせるため移植区の移植日と直播区の播種日を同一とした。

移植区の育苗はポット育苗箱を用い, ビニールハウス畑苗代でおこなった。本田への移植は1株3本の苗を手植えした。

直播区の播種は1ヶ所(1株相当)5粒を播種深度2cmにて手播きした。

雑草の抑制と鳥害対策のため直播区は畦畔版で囲み播種から 28 日間は水深を 3cm 程度に維持した。

除草について、移植区は 3 回(5/30, 6/6, 6/21), 直播区(除草 5 回)は(6/21, 6/27, 7/4, 7/12, 7/18), 直播区(除草 1 回)は(6/27)に行った。

供試品種は直播区の播種時期が遅いことを考慮し栽培期間の長い晩生品種:ベニアサヒを用いた。

## 2-B.ポット調査

1/2000a ポットに(野洲Ⅲ)の土壌を充填し移植区(播種:4 月 11 日,移植:5 月 17 日),(本田調査では出来ない移植栽培と播種日を同一にした)早播区(播種:4 月 11 日),晩播区(播種:5 月 17 日)の 3 区を設け、それぞれ 10 ポット野洲Ⅲに埋設した(表 2, 図 1)。移植区の苗は水田調査と同様の育苗とし、ポットへの移植は 1 株 3 本の苗を手植えした。

表2.ポット調査区概要

区	土壌	播種	移植	本田への埋設
移植区	野洲Ⅲ	04月11日	05月17日	05月17日
早播区	野洲Ⅲ	04月11日	-	05月17日
晩播区	野洲Ⅲ	05月17日	-	05月17日

早播区, 晩播区の播種は 4 か所/ポット, 1ヶ所(1株相当)5粒を播種深度 2cm にて手播きした。播種 28 日後に 1ヶ所(1株相当)以外の稲を除去した。

また, 収穫後に全根重, 最長根長を測定した。供試品種はベニアサヒを用いた。

## 3.調査項目

### 3-1.生育調査項目

各区中央 2 条 5 株の計 10 株を定めて移植から出穂 2 週間後まで 1 週間毎に茎数および草丈を, また移植から収穫まで 1 週間毎に SPAD 値(ミノルタ SPAD-502 を使用)を測定した(出穂~出穂 1 週間後を除く)。

### 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, 穂重および籾重を測定した。各区の平均的な穂数の 3 株(ポット調査はポット毎)について籾数, 不稔籾数および精籾重を測定した。また, 区ごと(10 株の集計)に粗玄米重, 玄米重(粒径 1.8mm 以上の玄米), 20g 粒数(千粒重の換算)

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チューキー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-A.本田調査

##### 4-A-1.欠株

欠株率は極めて高かった(表 3)。この要因としては播種深度が 2cm と深く、水深を 3cm に保ったために酸欠になったと考えた。

欠株部には直径約 30cm、深さ約 15cm の穴を掘り、調査区内(調査株以外)の直播個体から発芽した苗を土ごと(直径約 30cm、深さ約 15cm)6月 21日に補植した。また、調査株周囲の欠株部および補植に使った苗の跡にもハウス育苗した苗を補植した。

表3.欠株率

区	欠株率
II 直播区(除草5回)	83.3% ±8.8%
II 直播区(除草1回)	66.7% ±6.7%
III 直播区(除草5回)	40.0% ±5.8%
III 直播区(除草1回)	53.3% ±17.6%
平均値±標準誤差	

##### 4-A-2.生育

茎数は、水田 II 移植区 > 水田 III 移植区 > 水田 III 直播区 > 水田 II 直播区の順で多く推移した{ほぼ同様に推移した直播区(除草 1 回),(除草 5 回)は分けずに直播区と表した}(図 2)。

水田 II、水田 III とも直播区より移植区の方が多く推移し、最高分蘗数、穂数(有効茎数)とも分散分析で[栽培]に有意な差があり(表 4)、移植の方が直播より有意に多かった。

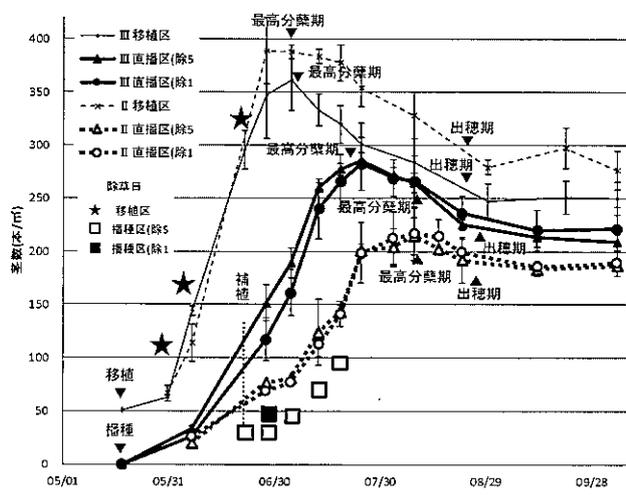


図2. 本田調査 茎数の推移

表4.本田調査 最高分蘗数と穂数

区	最高分蘗期	最高分蘗数(本/m <sup>2</sup> )	穂数(本/m <sup>2</sup> )	有効登歩合
II 移植区	7月06日 ± 1.9日	432.1 ± 16.7 a	276.7 ± 11.5 a	0.649 ± 0.022 b
II 直播区(除草5回)	8月08日 ± 3.9日	229.0 ± 16.3 c	186.6 ± 12.7 b	0.826 ± 0.023 a
II 直播区(除草1回)	8月06日 ± 2.9日	236.8 ± 16.4 c	189.1 ± 12.8 b	0.820 ± 0.027 a
III 移植区	7月04日 ± 1.3日	373.7 ± 14.2 ab	249.7 ± 10.7 ab	0.669 ± 0.016 ab
III 直播区(除草5回)	7月22日 ± 1.6日	303.6 ± 15.3 bc	208.8 ± 12.0 ab	0.694 ± 0.024 ab
III 直播区(除草1回)	7月23日 ± 1.3日	292.9 ± 26.0 bc	221.1 ± 20.3 ab	0.758 ± 0.017 ab
水田栽培		ns	ns	ns
水田除草		***	***	**
水田×栽培		ns	ns	ns
水田×除草		**	ns	ns
水田×栽培×除草		ns	ns	ns

平均値±標準誤差

数字のあとの同じアルファベットは、チューキーの多重比較検定(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-A-3. 除草

移植区は3回の手取り除草で殆ど雑草を処理した。

直播区は播種から14日間は全く雑草が無く、21日目に薄っすらと雑草が目視確認され、これは水深を3cmとしたことが雑草抑制の効果があったと考えた。

直播区(除草5回)は雑草を殆ど処理するには5回の手取り除草が必要であった、これは初回の除草が移植区では移植後13日後(5月30日)だったが、直播区(除草5回)は除草による発芽への障害を考慮し直播35日後(6月21日)と遅れたことが要因であると考えた。

また、除草時間も

移植区は延べ9.9分/m<sup>2</sup>であったが、直播区(除草5回)は初回の除草時間が9.3分/m<sup>2</sup>

表5.手取り除草に費やした時間

除草日	5月30日	6月6日	6月21日	6月27日	7月4日	7月12日	7月18日	延べ
移植区	3.5	3.5	2.9	-	-	-	-	9.9
直播区(除草5回)	-	-	9.3	7.7	4.6	3.5	2.9	28.0
直播区(除草1回)	-	-	-	12.3	-	-	-	12.3

単位:分/m<sup>2</sup>

m<sup>2</sup>で延べ時間も28.0分/m<sup>2</sup>であった(表5)。直播区(除草1回)は直播41日後(6月27日)に除草し雑草が大きく成長したため除草時間が12.3分/m<sup>2</sup>であった。

#### 4-A-4. 収量および収量構成要素

穂数ではII移植区がII直播区より有意に多かったが、他の収量構成要素には有意な差は無く、収量にも有意な差は無かった(表6)。

野洲II, IIIとも直播区(除草5回)と直播区(除草1回)に収量および収量構成要素に有意な差が無かったことから、これらの水田では1回除草すれば収量に劣ることはないと考えた。

表6.本田調査 収量および収量構成要素

区	穂数(本/m <sup>2</sup> )	一穂穂数(粒/穂)	登熟歩合	千粒重(g)	収量(g/m <sup>2</sup> )
II移植区	276.7 ± 11.5 a	91.5 ± 4.9 a	0.840 ± 0.024 a	22.1 ± 0.1 a	436.7 ± 38.6 a
II直播区(除草5回)	186.6 ± 12.7 b	117.4 ± 5.4 a	0.860 ± 0.015 a	21.4 ± 0.3 a	361.7 ± 41.6 a
II直播区(除草1回)	189.1 ± 12.8 b	102.9 ± 6.8 a	0.868 ± 0.028 a	22.2 ± 0.1 a	353.5 ± 2.2 a
III移植区	249.7 ± 10.7 ab	76.9 ± 2.2 a	0.898 ± 0.015 a	21.9 ± 0.1 a	358.4 ± 38.0 a
III直播区(除草5回)	208.8 ± 12.0 ab	90.6 ± 3.4 a	0.857 ± 0.015 a	22.6 ± 0.1 a	319.5 ± 4.9 a
III直播区(除草1回)	221.1 ± 20.3 ab	90.6 ± 4.3 a	0.874 ± 0.012 a	22.7 ± 0.1 a	350.3 ± 27.8 a
水田	ns	ns	ns	ns	ns
栽培	***	*	ns	ns	ns
除草	ns	ns	ns	ns	ns
水田×栽培	ns	ns	ns	ns	ns
水田×除草	ns	ns	ns	ns	ns

平均値±標準誤差

数字のあとの同じアルファベットは、チューキーの多重比較検定(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-B.ポット調査

4-B-1.生育

茎数は早直播区，移植区，晩直播区の順で多く推移し(図3)，最高分蘗数は早播区が晩播区の182.7%と大きな差となったが，出穂期付近から差は小さくなり穂数は移植区が晩播区より有意に多いが割合

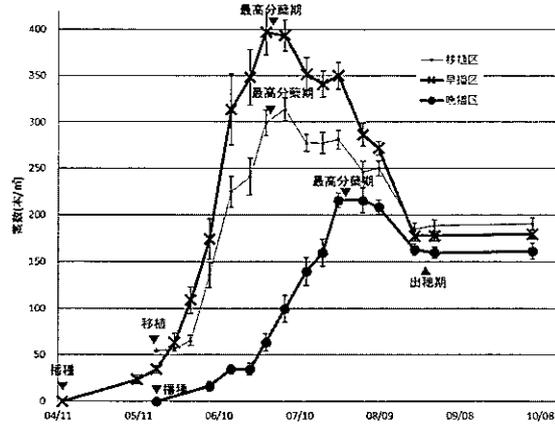


図3.ポット調査 茎数の推移

的には118.0%

であった(表7)

ことから，土壤

養分量が限定さ

れたポットでは，穂を着生できる分蘗数には限りがあると考えた。

表7.ポット調査 最高分蘗数と穂数

区	最高分蘗期	最高分蘗数	穂数	有効茎歩合
移植区	7月01日 ± 1.5日	284.2 ± 10.6 b	137.8%	170.5 ± 6.1 a 118.0% 0.602 ± 0.016 a 83.5%
早播区	6月29日 ± 2.9日	376.8 ± 14.7 a	182.7%	160.8 ± 4.5 b 111.2% 0.432 ± 0.019 b 59.9%
晩播区	7月26日 ± 2.3日	206.3 ± 11.6 c	-	144.5 ± 7.8 b - 0.721 ± 0.058 a -

平均値±標準誤差  
数字のあとに同じアルファベットは，チューキーの多重比較検定(5%水準)により，有意差なしを示す。  
%は晩播区を100とした値を示す。

4-B-2.収量および収量構成要素

穂数は移植区>早播区>晩播区の順で多く，一穂粒数と千粒重は逆に移植区<早播区<晩播区の順となった(表8)。精粒重は3区間に有意な差が無かった。

表8.ポット調査 収量および収量構成要素

区	穂数(本/m²)	一穂粒数(粒/穂)	登熟歩合	千粒重(g)	精粒重(g/m²)	最長根長(cm)	全根重(g)
移植区	170.5 ± 6.1 a	60.8 ± 3.2 b	0.920 ± 0.010 a	22.3 ± 0.1 c	257.3 ± 8.1 a	44.9 ± 3.5 a	19.9 ± 2.4 a
早播区	160.8 ± 4.5 ab	69.9 ± 1.8 ab	0.914 ± 0.019 a	22.5 ± 0.0 b	280.8 ± 8.1 a	45.9 ± 1.0 a	23.3 ± 1.0 a
晩播区	144.5 ± 7.8 b	75.6 ± 4.2 a	0.871 ± 0.033 a	23.0 ± 0.0 a	259.4 ± 11.8 a	44.8 ± 2.4 a	12.7 ± 1.6 b

平均値±標準誤差  
数字のあとに同じアルファベットは，チューキーの多重比較検定(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。

晩播区の全根重は移植区，早播区のそれよりも有意に軽かったことが最高分蘗数が少なかったことに影響したと考えた。最長根長には有意な差が無かった。

5.まとめ

直播区は雑草が多く除草に，直播区(除草5回)は移植区の約3倍の延べ時間を費やした。除草を1回すれば減収にはならなかったが，雑草が成長してからだと時間と労力を費やし，次年度以降に雑草の種が残る不安もある。直播栽培では(雑草が成長する前に)早期の除草が必要であり，そのためには早期

の発芽が必要と考えた。

本田調査の直播区は、移植区より生育期間(播種～収穫)が短かった。

コシヒカリを無施肥栽培した場合、生育期間が標準より35日程度短い(移植時期を遅らせる)と減収した(家田.2020)。本田調査では直播区の方が移植区より(最高分蘗期が18日～33日間遅く)後期生長の期間が短かったが生長に有意な差が無かったことは、根の損傷が無くより機能したのか、無施肥栽培におけるベニアサヒの特徴なのかは不明である。

直播区は欠株が多かったが苗立ち100%の仮定では、移植区と直播区の収量に有意な差が無かった。

また、過去の調査からベニアサヒは栽植密度を変えても収量に有意な差がないことが認められている(家田.2021)ので、集中的な欠株がなく、(本調査の)栽植密度16.8株/m<sup>2</sup>で25%程度の欠株、栽植密度25株/m<sup>2</sup>程度で50%程度の欠株であれば減収にならない可能性があるとも考えた。

播種深度、水管理、栽植密度、直播時期などの課題があるが、無施肥の直播栽培を今後も調査する価値があると考えた。

## 引用文献

- 竹内史郎・奥村俊勝・長谷川浩(1979)無施肥田と施肥田における水稻の生育反応差異。近畿大学農学部紀要,12。
- 水多昭雄(2015)宮城県における水稻直播の状況と栽培事例。日作東北支部報No.58(2015)。
- 家田善太(2020)長期無施肥無農薬栽培の異なる移植時期における水稻の生育および収量。NPO無施肥無農薬栽培調査研究会,2019年度調査報告会。
- 家田善太(2021)[資料提出]無施肥無農薬栽培小倉試験水田におけるベニアサヒの収量。NPO無施肥無農薬栽培調査研究会,2020年度調査報告会。

[資料提出]

無施肥無農薬栽培小倉試験水田におけるベニアサヒの収量

家田善太(NPO 無肥研)

2008,2009,2010,2012,2013年に宇治市小倉にある無施肥無農薬栽培(以下、無施肥栽培)試験水田(O水田:2003年より無施肥栽培,R水田:1952年より無施肥栽培継続土壌を2007年に客土)にてベニアサヒ(晩生品種,長稈,穂重型)の比較栽培を行なった(表1).

収量について、年ごと水田ごとの栽植密度、移植時期に(2013年のR水田を除き)有意な差は無かった。

表1.多年にわたるベニアサヒの収量および収量構成要素

年	水田	品種	栽植密度 株/m <sup>2</sup>	移植時期	収量 (g/m <sup>2</sup> )	穂数 (本/m <sup>2</sup> )	一穂粒数 (粒/穂)	登熟歩合 (%)	千粒重 (g)
2008年	O水田	ベニアサヒ	密植 18.9	晩植 6/01	461.8 ± 11.6 a	246.2 ± 10.9 a	83.8 ± 2.5 a		21.9 ± 0.1 b
2008年	O水田	ベニアサヒ	標準 16.8	晩植 6/01	479.4 ± 12.6 a	260.9 ± 8.0 a	82.0 ± 2.0 a		21.9 ± 0.1 b
2008年	O水田	ベニアサヒ	疎植 15.2	晩植 6/01	467.0 ± 13.4 a	249.5 ± 7.4 a	83.7 ± 2.0 a		21.9 ± 0.1 b
2008年	R水田	ベニアサヒ	密植 18.9	晩植 6/01	331.3 ± 8.5 b	165.4 ± 2.3 b	87.5 ± 3.7 a		22.4 ± 0.0 a
2008年	R水田	ベニアサヒ	標準 16.8	晩植 6/01	318.8 ± 13.9 b	166.1 ± 4.6 b	84.3 ± 4.7 a		22.3 ± 0.1 ab
2008年	R水田	ベニアサヒ	疎植 15.2	晩植 6/01	324.4 ± 8.2 b	169.7 ± 3.0 b	83.5 ± 1.2 a		22.4 ± 0.1 ab
2009年	O水田	ベニアサヒ	密植 33.7	早植 5/16	456.3 ± 17.2 a	282.8 ± 6.5 a	69.4 ± 1.8 a	93.4% ± 0.7% a	22.8 ± 0.1 a
2009年	O水田	ベニアサヒ	標準 16.8	早植 5/16	445.1 ± 8.8 a	232.3 ± 9.3 bc	82.0 ± 5.2 a		23.1 ± 0.1 a
2009年	O水田	ベニアサヒ	疎植 11.2	早植 5/16	443.6 ± 7.6 a	246.2 ± 10.8 ab	75.7 ± 2.2 a		23.2 ± 0.0 a
2009年	O水田	ベニアサヒ	標準 16.8	晩植 5/30	459.5 ± 3.9 a	245.8 ± 1.7 ab	77.0 ± 1.4 a	93.4% ± 0.7% a	23.6 ± 0.1 a
2009年	R水田	ベニアサヒ	密植 33.7	早植 5/16	336.1 ± 11.7 b	202.0 ± 5.8 cd	70.2 ± 1.5 a	95.6% ± 0.6% a	23.3 ± 0.2 a
2009年	R水田	ベニアサヒ	標準 16.8	早植 5/16	339.0 ± 40.2 b	179.0 ± 11.3 de	79.6 ± 4.8 a		23.1 ± 0.1 a
2009年	R水田	ベニアサヒ	疎植 11.2	早植 5/16	308.9 ± 9.5 b	157.9 ± 2.0 e	82.2 ± 2.9 a		23.1 ± 0.1 a
2009年	R水田	ベニアサヒ	標準 16.8	晩植 5/30	316.1 ± 8.0 b	176.8 ± 3.9 de	75.6 ± 3.0 a	94.7% ± 1.3% a	23.1 ± 0.1 a
2010年	O水田	ベニアサヒ	標準 16.8	早植 5/16	433.1 ± 17.0 a	209.9 ± 3.7 a	93.4 ± 3.2 a	94.8% ± 0.7% a	22.2 ± 0.1 a
2010年	O水田	ベニアサヒ	密植 21.6	晩植 5/31	414.4 ± 16.3 a	230.2 ± 14.4 a	82.0 ± 2.1 a		22.3 ± 0.0 ab
2010年	O水田	ベニアサヒ	標準 16.8	晩植 5/31	388.3 ± 12.6 a	214.9 ± 2.0 a	85.9 ± 1.1 a	95.3% ± 0.5% a	22.5 ± 0.1 a
2010年	O水田	ベニアサヒ	疎植 13.8	晩植 5/31	393.5 ± 19.4 a	217.2 ± 2.8 a	84.8 ± 2.8 a		22.5 ± 0.2 a
2010年	R水田	ベニアサヒ	標準 16.8	早植 5/16	290.4 ± 14.3 b	150.4 ± 2.4 b	97.4 ± 4.5 a	95.2% ± 0.2% a	21.7 ± 0.1 c
2010年	R水田	ベニアサヒ	密植 21.6	晩植 5/31	265.6 ± 9.1 b	162.3 ± 10.7 b	82.5 ± 8.3 a		21.5 ± 0.1 c
2010年	R水田	ベニアサヒ	標準 16.8	晩植 5/31	263.4 ± 8.2 b	165.5 ± 14.6 b	79.2 ± 9.9 a	94.4% ± 0.6% a	21.7 ± 0.2 c
2010年	R水田	ベニアサヒ	疎植 13.8	晩植 5/31	257.4 ± 16.0 b	151.1 ± 7.8 b	82.0 ± 3.0 a		21.9 ± 0.1 bc
2012年	O水田	ベニアサヒ	密植 25.3	早植 5/19	467.8 ± 6.8 a	213.0 ± 5.1 bc	91.8 ± 1.5 abc	97.5% ± 0.9% a	23.1 ± 0.1 a
2012年	O水田	ベニアサヒ	標準 16.8	早植 5/19	475.3 ± 7.5 a	198.7 ± 6.4 bcd	101.2 ± 3.4 ab	97.8% ± 0.4% a	22.8 ± 0.2 a
2012年	O水田	ベニアサヒ	疎植 12.6	早植 5/19	469.7 ± 27.1 a	194.0 ± 3.4 cd	102.6 ± 3.9 a	96.1% ± 0.6% a	22.7 ± 0.1 a
2012年	O水田	ベニアサヒ	密植 25.3	晩植 6/02	470.3 ± 11.2 a	271.0 ± 12.6 a	73.0 ± 3.8 de	97.9% ± 1.1% a	22.9 ± 0.1 a
2012年	O水田	ベニアサヒ	標準 16.8	晩植 6/02	444.7 ± 5.9 a	218.9 ± 1.0 bc	85.6 ± 1.5 bcd	95.9% ± 0.6% a	22.8 ± 0.1 a
2012年	O水田	ベニアサヒ	疎植 12.6	晩植 6/02	439.5 ± 13.5 ab	217.6 ± 2.3 bc	85.2 ± 2.3 cd	97.6% ± 0.2% a	22.7 ± 0.1 a
2012年	R水田	ベニアサヒ	密植 25.3	早植 5/19	330.0 ± 12.7 c	176.8 ± 7.6 d	79.9 ± 5.8 cd	97.8% ± 0.2% a	22.8 ± 0.2 a
2012年	R水田	ベニアサヒ	標準 16.8	早植 5/19	354.0 ± 9.5 c	168.4 ± 9.3 d	89.2 ± 3.7 abc	97.1% ± 0.3% a	22.9 ± 0.1 a
2012年	R水田	ベニアサヒ	疎植 12.6	早植 5/19	373.1 ± 9.0 bc	165.4 ± 3.3 d	94.9 ± 2.6 abc	96.9% ± 0.4% a	22.9 ± 0.1 a
2012年	R水田	ベニアサヒ	密植 25.3	晩植 6/02	335.7 ± 21.7 c	231.5 ± 9.3 b	60.9 ± 1.2 e	94.6% ± 2.0% a	23.0 ± 0.1 a
2012年	R水田	ベニアサヒ	標準 16.8	晩植 6/02	334.8 ± 8.9 c	195.8 ± 3.9 cd	71.6 ± 2.6 de	97.6% ± 0.7% a	23.0 ± 0.1 a
2012年	R水田	ベニアサヒ	疎植 12.6	晩植 6/02	319.7 ± 11.8 c	167.1 ± 6.4 d	80.5 ± 1.3 cd	97.4% ± 0.8% a	22.9 ± 0.1 a
2013年	O水田	ベニアサヒ	密植 25.3	早植 5/18	376.3 ± 21.0 ab	202.9 ± 14.6 abcd	89.3 ± 3.0 abcd	96.6% ± 1.0% a	22.5 ± 0.2 b
2013年	O水田	ベニアサヒ	標準 16.8	早植 5/18	364.2 ± 12.5 abc	193.0 ± 11.9 bcd	92.1 ± 4.0 ab	93.6% ± 3.4% a	22.5 ± 0.0 b
2013年	O水田	ベニアサヒ	疎植 12.6	早植 5/18	372.8 ± 8.6 ab	194.4 ± 16.0 bcd	97.8 ± 4.1 a	95.5% ± 1.0% a	22.5 ± 0.1 b
2013年	O水田	ベニアサヒ	密植 25.3	晩植 6/01	370.5 ± 11.0 abc	255.9 ± 11.8 a	73.7 ± 2.1 ef	94.9% ± 1.3% a	22.3 ± 0.2 b
2013年	O水田	ベニアサヒ	標準 16.8	晩植 6/01	379.8 ± 14.5 abc	236.8 ± 14.9 ab	75.4 ± 4.1 def	97.1% ± 0.6% a	22.7 ± 0.2 b
2013年	O水田	ベニアサヒ	疎植 12.6	晩植 6/01	358.2 ± 5.5 abcd	218.4 ± 9.0 abc	76.1 ± 4.7 cdef	96.4% ± 0.2% a	23.9 ± 0.5 a
2013年	R水田	ベニアサヒ	密植 25.3	早植 5/18	304.2 ± 9.9 ce	200.3 ± 8.3 abcd	75.5 ± 1.0 f	88.4% ± 7.3% a	21.8 ± 0.1 b
2013年	R水田	ベニアサヒ	標準 16.8	早植 5/18	287.5 ± 16.7 e	171.2 ± 14.1 cd	79.9 ± 3.0 ef	95.1% ± 1.4% a	22.0 ± 0.3 ab
2013年	R水田	ベニアサヒ	疎植 12.6	早植 5/18	278.8 ± 7.5 e	149.0 ± 10.7 d	91.5 ± 3.3 bcde	92.1% ± 4.0% a	22.0 ± 0.0 b
2013年	R水田	ベニアサヒ	密植 25.3	晩植 6/01	293.2 ± 8.4 de	203.7 ± 8.8 abcd	64.8 ± 1.2 def	94.6% ± 3.4% a	22.2 ± 0.2 b
2013年	R水田	ベニアサヒ	標準 16.8	晩植 6/01	283.8 ± 6.1 e	182.4 ± 4.9 bcd	68.6 ± 1.0 bcdef	95.6% ± 1.0% a	22.9 ± 0.3 b
2013年	R水田	ベニアサヒ	疎植 12.6	晩植 6/01	310.9 ± 23.2 bc	167.9 ± 9.5 cd	80.7 ± 1.8 abc	97.1% ± 0.3% a	22.7 ± 0.1 b
年					***	***	***	ns	***
水田					***	***	***	***	***
栽植密度					ns	***	***	ns	ns
移植時期					ns	***	***	ns	ns
年 x 水田					***	***	ns	ns	ns
年 x 栽植密度					ns	***	***	ns	*
年 x 移植時期					ns	ns	***	ns	ns
水田 x 栽植密度					ns	ns	***	ns	ns
水田 x 移植時期					ns	ns	***	ns	ns
栽植密度 x 移植時期					ns	ns	*	ns	ns
年 x 水田 x 栽植密度					ns	ns	ns	ns	ns
年 x 水田 x 移植時期					ns	ns	ns	ns	ns
年 x 栽植密度 x 移植時期					ns	*	***	ns	*
水田 x 栽植密度 x 移植時期					ns	ns	ns	ns	ns
水田 x 年 x 栽植密度 x 移植時期					ns	ns	ns	ns	ns

平均値±標準誤差

数字のあとに同じアルファベットは、年ごとのチユークの多重比較検定(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。

# 耕起回数の違いが無施肥無農薬栽培水稻の生育・収量に及ぼす影響 (第2報)

丸田信宏<sup>1</sup>・白岩立彦<sup>1, 2</sup>(<sup>1</sup>NPO 無肥研・<sup>2</sup>京大院農)

## 【背景および目的】

無施肥無農薬栽培においては、人為的に圃場に肥料などの養分を投入しないため、作物が土壌の養分を効率よく吸収できるようにすることが収量確保につながると考えられる。水稻栽培における土壌管理面での収量確保の方策として、作付け前の耕起、移植後の中耕除草による土壌の攪拌、中干しなどが挙げられるが、今回は作付け前の耕起に着目し調査を行った。一般的に耕起のメリットとして乾土効果、有機物の土壌への鋤きこみ、根張りを促す作土確保などが挙げられる一方、デメリットとして土壌養分の流出や農業機械などによる作業のコストなども挙げられる。耕起回数の違いが無施肥無農薬栽培水稻においてどのような影響を与えるかを明らかにした実験例は少なく、さらに収穫後、稲わらを水田から取り除く圃場での実験例は極めて少ない。

2019年の実験では、生育過程において耕起回数が多い区が少ない、もしくは無耕起の区よりも全生育期間を通して茎数・草丈は勝ることが示唆された。収量においては区間に有意差は認められなかったものの耕起回数の多いほど高い傾向が見られた。収量構成要素の比較から、耕起が少ない区の方が茎数は少ないが、生育後期で一穂粒数や千粒重が多くなり、区間の収量差を縮めていたことから、生育期間が短い品種であると区間の収量差は大きくなるのではないかと考えた。

そこで2020年は、①2019年のような結果が継続して見られるのか、②生育期間が異なる品種でも同様の結果が得られるのかなどを明らかにするために本調査を行った。

## 【材料および方法】

### 1. 供試水田と試験区の設定

実験は京都府宇治市小倉の無肥研直轄水田(巨椋池の干拓地にあり、2003年よ

表1. 調査区の耕起回数と時期(2020)

	冬耕 (2/3)	春耕 (4/29)	荒代掻き (5/13)	本代掻き (5/20)
A区(耕起2回)	○	○	○	○
B区(耕起1回)		○	○	○
C区(耕起0回)			○	○

り無施肥無農薬栽培を継続)で行った。耕起は乗用型トラクター(ヤンマーEF220)で行い、冬耕(深さ約15cm)と春耕(深さ約8cm)は標準ロータリー、荒代掻きと本代掻きはドライバロー(深さ約8cm)をそれぞれ使用して行った。



## 【試験結果および考察】

### 生育経過

表 2. 調査区の生育概要

品種	調査区	播種日	本田移植日	最高分蘗期	出穂期	収穫
ベニアサヒ	A区	4/18	5/24	7/5頃	8/16	10/4
ベニアサヒ	B区	4/18	5/24	7/5頃	8/18	10/4
ベニアサヒ	C区	4/18	5/24	7/5頃	8/21	10/4
ヒノヒカリ	A区	4/18	5/24	7/5頃	8/12	10/4
ヒノヒカリ	B区	4/18	5/24	7/5頃	8/12	10/4
ヒノヒカリ	C区	4/18	5/24	7/5頃	8/13	10/4

最高分蘗期は、品種・調査区間に差はなかった（表 2）。出穂期はベニアサヒで A→B→C 区の順となり、耕起回数が多い区ほど早い傾向が見られた。2020 年の出穂期は同水田の過去 4 年間よりも 5～7 日早かった。収穫日は 10 月 4 日で、ベニアサヒは過去 4 年間と比較すると約 7 日早かった。収穫期頃に C 区は稲の傾きが確認された。

#### 1. ベニアサヒ (2020) の生育経過

##### ・茎数

移植 2 週間後の最初の測定時には A・B 区が C 区より有意に多かった。（図 2）。移植 6 週間後の最高分蘗期頃でその差は最も大きくなった。その後、A>B>C の順に無効分蘗数も多くなったため、区間差は小さくなったが、移植 9 週間後から収穫期まで A 区>C 区と有意に多かった。ほぼ全生育期間を通して、耕起回数が多いほど茎数が多かった。

##### ・草丈

移植 2 週間後には A・B 区は C 区よりも有意に草丈が高かった。移植 4 週間後には一旦区間に有意差は認められなくなったが、移植 6 週間後から収穫期まで A>C の有意差が認められた。概ね全生育期間を通して草丈は A>B>C の順に高かった。

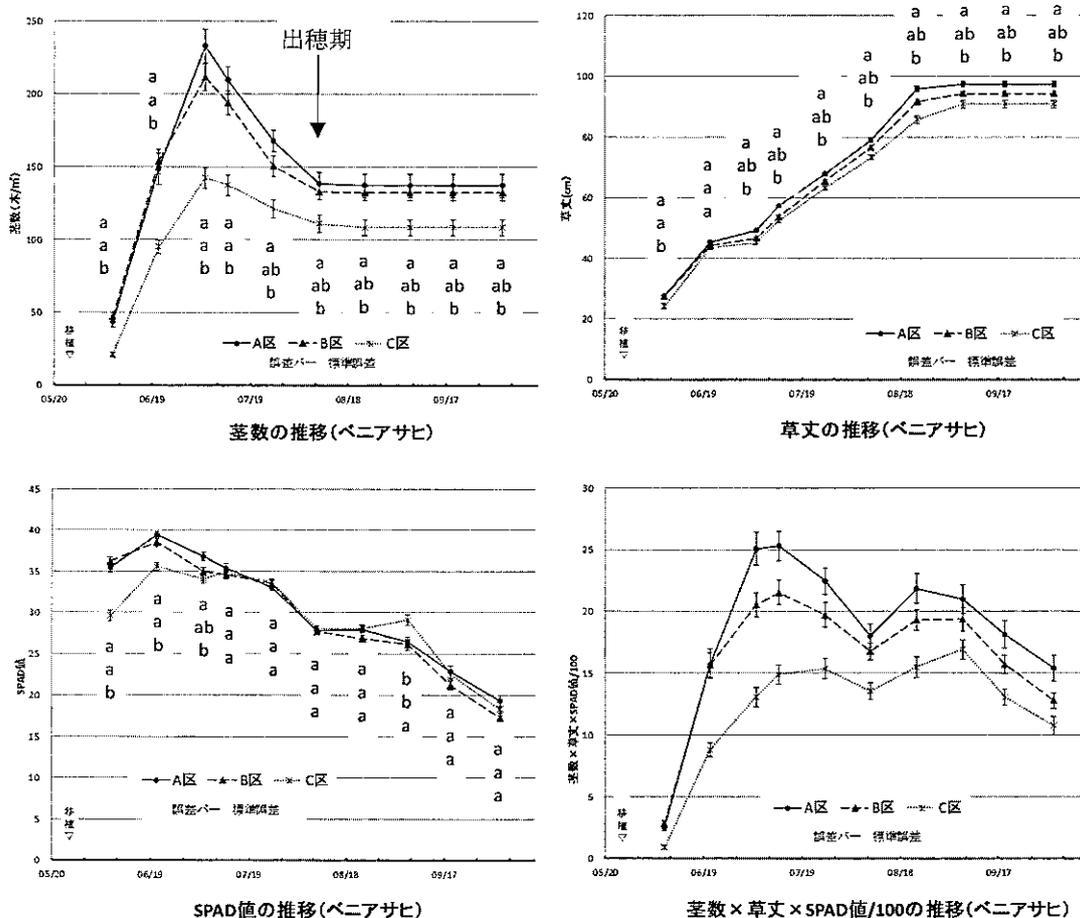
##### ・SPAD 値

移植 2 週間後に A・B 区が C 区より有意に高く、移植 6 週間後には A は C 区より有意に高かった。その後、移植 15 週間後には C 区が A・B 区よりも有意に高くなったのを除くと、移植後 7 週間後から収穫期までは区間に有意差は確認されなかった。出穂期は A→B→C 区の順に早く、移植 15 週間後頃に見られる SPAD 値の逆転は、出穂期の違いに伴う葉身の老化の進行の違いによるものだと考えられた。

##### ・茎数×草丈×SPAD 値/100 (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、ピークを示す時期が 2

回確認されたことは各区同じであるが、その時期には多少の違いが見られ、耕起回数が多いほどそのピークの時期が早い傾向が見られた。



グラフの内の同じアルファベットは、チューキーの多重比較検定(5%水準)により有意差なしを示す。(上からA, B, C区)

図 2. ベニアサヒの茎数・草丈・SPAD 値・N 吸収インデックスの推移

## 2. ベニアサヒの前年との生育経過比較

出穂期は両年とも A→B→C の順となり、耕起回数が多い区ほど早い傾向が見られた。

### ・茎数

区間に有意差が確認される時期は異なったが、2019 年の茎数は 2020 年と同様に全生育期間を通して耕起回数が多いほど茎数が多い傾向が見られた。2020 年は 2019 年と比較して全ての区で最高分蘖数は多くなったが、最終的な茎数は全ての区において 2019 年の同調査区より少なく、その差はそれぞれ 10% から 18% であった。

### ・草丈

推移の傾向は概ね 2019 年と同様で、全生育期間を通して耕起回数が多いほど草丈が高い傾向が見られた。区間差は 2019 年よりも大きかった。最終の草丈は、2019 年の同調査

区の値よりそれぞれ低かった。2019年は9月初めから収穫期には有意差は認められなくなったのに対し、2020年は移植6週間後から収穫期までA>Cの有意差が確認された。

・SPAD値

推移の傾向は2019年と類似し、生育初期にはA>B>Cの順に高く、その後一度区間差は認められなくなり、出穂期頃にC>B>Aの順になるが、収穫期頃には有意差がなくなるという結果が両年に見られた。

・茎数×草丈×SPAD値/100 (N吸収インデックス)

値のピークが生育期間中2回現れることは2019年と同様であった。しかし、2019年はピーク時期は各区同じであったのに対し2020年はピークの時期に区間差が見られた。また、2019年はABC全ての区において2回目のピーク時の方が1回目よりも高かったのに対し、2020年のA・B区は7月中旬の1回目のピークの方が9月初旬の2回目のピークより値が大きかった。

### 3. 品種間生育経過比較(ベニアサヒとヒノヒカリ)

茎数・草丈・SPAD値・N吸収インデックスの推移傾向はヒノヒカリと概ね同じであった。茎数と草丈は全生育期間を通して耕起回数が多い区ほど高い値となった(図3)。最終的な茎数はヒノヒカリの方がやや多く、草丈はベニアサヒの方がやや高かった。

### 4. 生育経過に関する考察

調査を行った全ての区において、生育初期より耕起の有無による生育差が認められ、茎数・草丈・N吸収インデックスは耕起回数が多い区程全生育期間を通して高い値で推移した。N吸収インデックスは最高分蘖期頃に処理区間差が最も大きくなり、収穫期頃にはその差は比較的小さくなったが逆転することはなかった。以上のことより、生育に関しては耕起を行わないよりも行った方が良く、その耕起回数は1回よりも2回行った方が良いと考えられた。ベニアサヒのN吸収インデックスは、2019年は2回目のピーク時の方が1回目よりも高かったのに対し、2020年は1回目のピークの方が9月初旬の2回目のピークより値が大きかったことから、生育後期は2019年の方が良かったと考えられた。

2019年には、本実験では耕起回数が多いほど初期の生育(特に分蘖)が良かったのは乾土効果だと考えた。しかし、その効果が生育後期まで続くとは考えにくく、生育後期の差は生育初期からの根の生育の差だと考えた。そのため、収穫期頃に確認されたC区の稲の

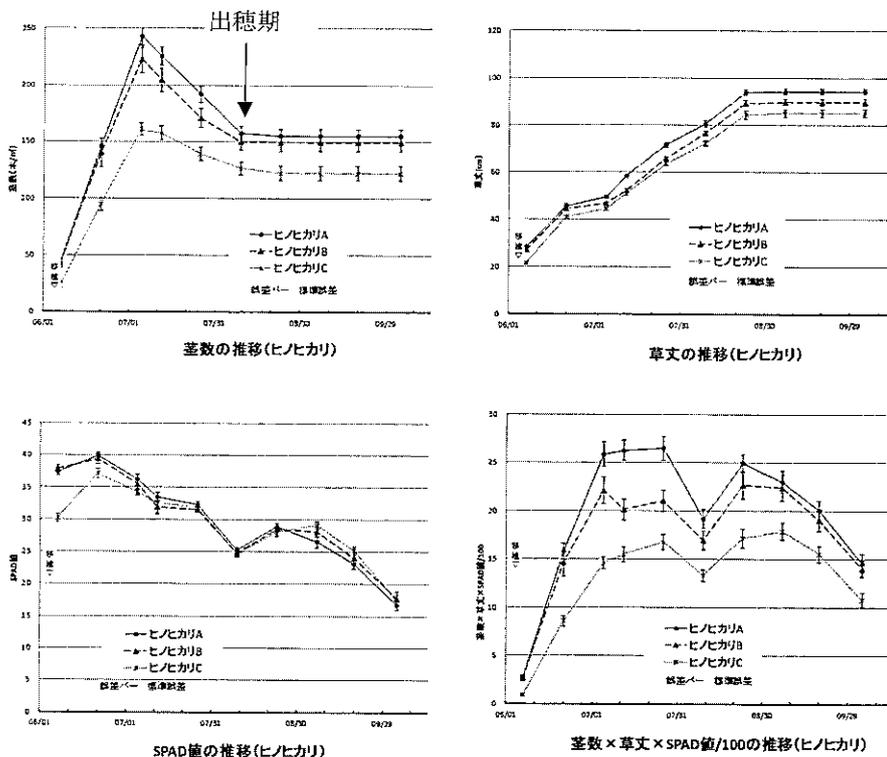


図3. ヒノヒカリの茎数・草丈・SPAD値・N吸収インデックスの

傾きは、耕起を行わないことにより根量が少ないもしくは土壌の比較的浅いところに根が伸長したためと考えた。

(2019年の考察でも述べたが)大森ら(2013)の耕起回数の違いが水稻の生育・収量に及ぼす影響の実験では、生育期間中、草丈、茎数、SPAD値、N吸収インデックスは栽培期間を通して耕起回数の違いに有意差を認めなかったのに対し、本試験ではそれぞれの調査項目において、有意差が認められる時期があった。それは、慣行の水稻栽培においては肥料に大きく影響を受け、作物や土壌が本来持つ性質の特徴が限定的にしか確認できない、もしくは特徴が現れないとも考えられた。慣行栽培で見られる特徴などが、無施肥栽培では確認されない可能性もあり、無施肥栽培において検証していく必要があると考えられる。

## 収量および収量構成要素

### 1. 収量および収量構成要素の結果

精玄米重は調査を行った両年とも、またベニアサヒ、ヒノヒカリの両品種ともに A>B>Cの順に多く、有意差も認められた(表3)。また、ベニアサヒにおいては年次間差も認められた。収量差がどの収量構成要素に影響を受けているかを見るために、各区の収量構成要素の割合をA区を基準に比較した(図4)。収量に影響を及ぼした構成要素・その割合は

表 3. 各区の収量構成要素(2019-2020)

年	区	全乾物重 (g/株)	穂数 (本/m <sup>2</sup> )	一穂粒数 (粒/穂)	登熟歩合 (%)	千粒重 (g)	精玄米重 (g/m <sup>2</sup> )	収穫係数 (%)
2019 ベニアサヒ	A	50.2 ±02.2 a	164.2 ±08.7 a	76.2 ±05.7 a	94.6% ±0.5% a	22.7 ±00.2 b	258.2 ±13.9 a	41.4% ±1.1% ab
	B	47.9 ±02.0 ab	148.9 ±06.7 ab	77.0 ±04.9 a	94.4% ±0.5% a	23.1 ±00.2 ab	251.4 ±15.7 a	41.9% ±1.1% ab
	C	41.8 ±03.3 bc	131.3 ±08.7 bc	83.7 ±04.7 a	94.2% ±0.7% a	23.5 ±00.1 a	238.4 ±15.3 a	44.5% ±1.2% a
2020 ベニアサヒ	A	40.4 ±00.6 c	135.8 ±06.0 c	78.1 ±05.5 a	83.2% ±1.9% b	21.3 ±00.3 c	179.0 ±09.8 bc	36.7% ±1.5% cd
	B	37.6 ±00.8 c	132.8 ±03.7 c	75.8 ±06.3 a	84.9% ±1.5% b	20.8 ±00.2 c	163.7 ±09.6 bc	35.7% ±1.3% cd
	C	31.0 ±01.1 d	108.5 ±06.4 d	85.8 ±05.1 a	86.6% ±1.6% b	21.3 ±00.2 c	148.8 ±07.1 cd	39.5% ±1.0% bc
2020 ヒノヒカリ	A	41.7 ±02.0 bc	154.9 ±05.1 bc	77.8 ±06.7 a	84.3% ±2.9% b	20.9 ±00.0 cd	195.3 ±10.6 b	39.0% ±0.5% bc
	B	35.4 ±01.9 cd	148.1 ±06.7 cd	66.5 ±04.5 a	84.4% ±1.9% b	20.2 ±00.3 d	157.2 ±13.1 bc	37.0% ±2.0% bcd
	C	29.4 ±01.3 d	122.1 ±02.5 d	69.1 ±01.1 a	72.8% ±1.8% c	20.3 ±00.2 d	114.3 ±07.7 d	32.7% ±0.7% d
耕起回数	***	***	N.S.	**	*	***	N.S.	
年	***	***	N.S.	***	***	***	***	
品種	N.S.	**	*	***	***	N.S.	N.S.	
耕起回数×年	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	***	N.S.	N.S.	
耕起回数×品種	N.S.	N.S.	N.S.	***	N.S.	**	***	

平均値±標準誤差

数字のあとの同じアルファベットは、チューキーの多重比較検定 (5%水準) により、有意差なしを示す。

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

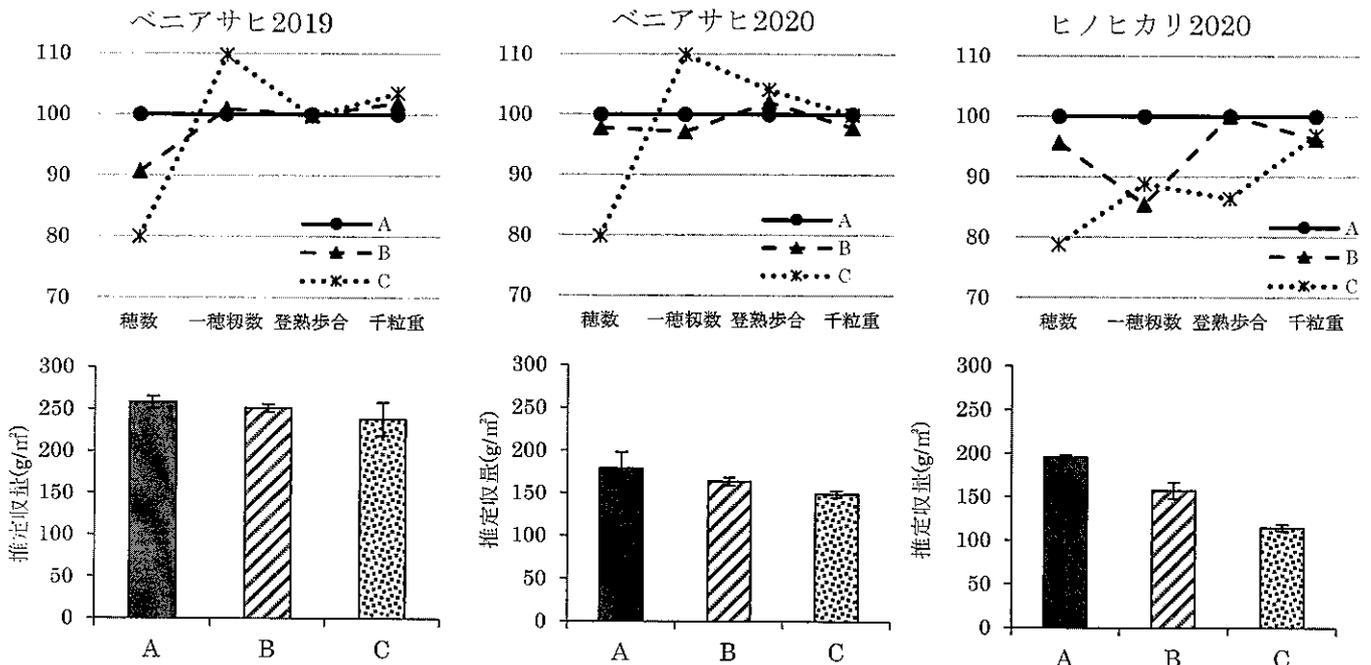


図 4. 各区の収量構成要素の割合比較および収量 (収量構成要素はそれぞれ A の値を 100 とする)

年度により、また品種により異なった。

2019 年のベニアサヒにおいては、穂数に区間差が最も大きく現れたが、他の構成要素である程度相殺され、収量の順は穂数と同様に A>B>C となったものの、収量差の割合は穂数の差のそれより小さくなった。2020 年のベニアサヒの A と B 区の比較では、穂数に大きな違いがなかったものの登熟歩合以外の構成要素においても A>B となったため、穂数差の割合よりも収量差の割合が大きくなった。C は A・B 区より穂数が顕著に少なかったことが収量差につながった。

2020 年のヒノヒカリにおいては、A が B・C 区と比べて穂数だけでなく他の収量構成要

素全てにおいて上回るもしくは同程度であったため、A 区の収量が B・C と比べて顕著に多くなった。B と C 区の比較においても、B が穂数を含む他の構成要素において上回るもしくは同程度であったため B と C 区の収量差も大きかった。

2020 年、ヒノヒカリはベニアサヒよりも収量の区間差が大きかったが、収量構成要素の割合は品種間で違う傾向も見られた。A と C 区を比較すると、A が C 区よりも穂数が多かったことは両品種とも同じだが、ベニアサヒは穂数以外は A より C 区が上回ったのに対し、ヒノヒカリにおいては全ての構成要素において A が C 区を上回った。

## 2. 収量および収量構成要素に関する考察

2019 年及び 2020 年の実験結果より、収量は耕起を行わないよりも行った方が多く、耕起回数は 1 回よりも 2 回行った方が多かった。(そのことは全乾物重の比較からも同様のことが言えた。)収量差の要因となる収量構成要素としては、概ね穂数の影響が大きかった。2020 年のベニアサヒは、A と B 区の穂数はほぼ同じであったが、B は一穂粒数、千粒重が A 区と比較して低い値となり、その差は収量差に現れた。このことから、耕起回数の違いが水稻の穂数を決める栄養成長期に影響を及ぼすだけでなく、生殖成長期を含む収穫までの生育過程全てに影響を与えると考えられた。それは、生育過程でも述べた根の生育の差によるものと考えた。生育経過で述べた収穫期の C 区の稲の傾きは根量不足や根伸びの浅さが原因だと考えたが、C の収量が A・B 区と比べて低いのは根の生育の違いが大きく影響を与えたと考えた。

ベニアサヒにおいて 2019 年より 2020 年の方が収量の区間差が大きかった。その原因として考えられるのは、生育過程の考察で述べた N 吸収インデックスが示す 2020 年の後期生育の悪さだと考えた。耕起の違いにより穂数に差が生じるが、後期生育が順調であると耕起を行わない区は窒素の後効きにより穂数以外の構成要素で収量の区間差をある程度縮めるが、2020 年はその現象が現れにくかったと考えた。

また、ベニアサヒと比べてヒノヒカリの方が耕起の違いによる収量差が大きかった。2020 年は両品種とも同じ時期に収穫を行ったが、例年であればヒノヒカリの方が収穫期は早い。出穂期もヒノヒカリの方が早いことから、ベニアサヒよりも生殖成長期は短い。このことから、生育期間の長い品種の方が後期の生育で収量差を縮めることができるが、生育期間が短い方が生育初期に表れた生育の差を縮めにくいと考えられた。生育期間がさらに短い早生品種はさらに収量差が現れる可能性あると考えた。

本林ら(2004)が行った慣行栽培における不耕起・無代掻き栽培と耕起・代掻き栽培水田の比較実験では、生育前期は耕起区が不耕起区より生育が勝るが、生育後期は不耕起区の生育が勝り、最終的な乾物生産量には差を認めなかった。しかし、本実験においては、CがA区に収量面で追いつかなかった。不耕起栽培の特徴として、金田(1992)は、慣行水稲に比べ生育後半でも根の活力が保たれ、葉身の窒素濃度も高く保たれ登熟歩合や千粒重が高くなりやすいことを報告しているが、本試験で耕起を行ったA・B区も生育期間中SPAD値がC区と同等に保たれていることから、無施肥栽培では耕起を行っても根の活力が収穫期まで保たれていたと考えられる。この無施肥栽培における根に関しては、竹内ら(1979)や片野(1983)が収穫期に慣行農法の節根には根腐れが認められたが、無施肥栽培では生育後期まで根が健全であったことなどを報告している。これらのことより、本試験においては耕起による乾土効果で初期生育を活発にし、収穫期まで根が健全に保たれる無施肥栽培の特徴を活かせば、耕起を行わないよりも行う、耕起回数は1回よりも2回行った方が高収量と考えられた。

#### 【今後の研究課題】

今後は以下の4点において考察を深めたい。

- ①気象の影響などもあり、供試水田における水稲の収量は、2019、2020年ともにここ数年の中では少なかった。収量が高い年では、区間差がどのように現れるのか。
- ②ベニアサヒに比べると生育期間の短いヒノヒカリの処理区間差が大きかったが、さらに生育期間の短い品種を調査すれば、収量差はどうなるのか。
- ③食味の検定など、品質には違いが現れるのか。
- ④予備実験として冬耕を浅く行った区を設けたが、その収量は普通深度の区と同程度であった。耕起の深度を浅くして省力化を計れるのか。

#### 【引用文献】

- 丸山明日香・当真要・上野秀人・永田修 2012. 耕起回数が水稲の生育・収量および水田のメタン発生に与える影響. 日本作物学会四国支部会報 49:52-53
- 大森信吾・丸山明日香・当真要・上野秀人・永田修 2013. 耕起回数と肥料の種類が水稲の生育・収量および水田のメタン発生に与える影響. 日本作物学会四国支部会報 50:62-63
- 本林隆・成岡由規子・和田誉・平沢正 2004. 不耕起・無代掻き水田で栽培された水稲の乾物生産特性—耕起・代掻き水田で栽培された水稲との比較—. 日本作物学会紀事 73:148-156

- 竹内史郎・奥村俊勝・長谷川浩 1979. 無施肥田と施肥田における水稲の生育反応の差異 近畿大学農学部紀要, 12 135-140
- 片野学 1983. 日本作物学会東北支部会報 26:1-4
- 金田吉弘 1994. 農業技術 47:215-219

## 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

岩橋優<sup>1</sup>・小林正幸<sup>2</sup>・森誠<sup>2</sup>・丸田信宏<sup>2</sup>・白岩立彦<sup>2,3</sup>・本間香貴<sup>1</sup>  
(<sup>1</sup>東北大学院農, <sup>2</sup>NPO 無肥研, <sup>3</sup>京都大学院農)

無施肥水田では湛水深や耕起深度が収量を左右する要因となっており、最適な栽培法を目指した試みが続けられている(家田・栗田 2016 等)。また灌漑水等に由来する圃場内の生産性変動も栽培管理の際の検討事案となっている(伊吹ら 2018 等)。特に圃場内の生産性変動については、収穫量の問題だけでなく米品質とも関連するため重要である(鳥山 2001)。一方、近年ドローンなどの UAV(Unmanned Aerial Vehicle)を用いた圃場全体の生育状態の把握や情報収集技術の開発が進み、それらに基づいた圃場の局所管理を行う精密農業が注目を集めている。そこで本研究は NPO 法人無施肥無農薬栽培調査研究会の長期無施肥無農薬栽培水田を対象に、UAV による RGB 画像を用いて生育および収量の圃場内変動評価を試みた。

### 【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～登熟期)2020 年 8 月 17, 20 日 (収穫期)9 月 17, 26, 10 月 2 日  
(測量)10 月 12 日 (表 1)

調査項目: UAV(Mavic Pro, DJI 社)による圃場全体の RGB 画像(高度 15, 30m)および測量  
各圃場 3 カ所の坪刈り収量(図 1)および小倉耕起試験の収量データ(図 2)

表 1 調査圃場および調査日。コシヒカリ圃場については収穫期の UAV での撮影および測量は行っていない。( )内は収穫日。

圃場	場所	開始年	品種	出穂～登熟期 調査	収穫期調査	測量
野洲1	滋賀県野洲市	1989	新羽二重糯	8月20日	9月17日	10月12日
野洲2	滋賀県野洲市	1995	新羽二重糯	8月20日	9月17日	10月12日
野洲3	滋賀県野洲市	1995	秋の詩	8月20日	9月26日	10月12日
野洲4	滋賀県野洲市	2003	コシヒカリ	8月20日	(9月5日)	—
小倉	京都府宇治市	2003	ベニアサヒ	8月17日	10月2日	10月12日
栗東	京都府宇治市	2003	ベニアサヒ	8月17日	10月2日	10月12日
亀岡	京都府亀岡市	1994	コシヒカリ	8月17日	(8月31日)	—

### 【解析方法】

#### 1. 坪刈り位置の空撮 RGB 画像と収量の関係

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。5 圃場各 3 カ所の坪刈り位置の RGB 画像を QGIS(Quantum Geographic Information System)を用いて抽出し、Image J を用いて RGB 画像を Lab 色空間<sup>\*</sup>へ変換した。画像の R, G, B, L, a, b それぞれの輝度値の平均値、標準偏

差を抽出した。また各要素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、収量との相関が高い指標を圃場内の収量変動の評価に用いた。

※Lab色空間：明度をL、色相と彩度を示す色度をa、bで表している。

## 2. 圃場内の生育・収量変動の評価

2.1. 圃場内の凹凸 各圃場 8~17 点の測量値と UAV 画像から Metashape を用いて DEM(Digital Elevation Model)を作成した。基準点の標高は国土地理院のウェブサイト「地理院地図 (<https://maps.gsi.go.jp/>)」から入手した。

2.2. 出穂～登熟期・収穫期 植物が光合成のために吸収する赤色波長帯(R)と反射する緑色波長帯(G)の比である G/R 値を指標とし圃場全体の分布を示した。収穫期については1で収量と相関が高かったb値の各圃場(野洲および栗東の4圃場)全体の分布を示した。さらに両者の対応および圃場内の凹凸、水口・水尻の位置との関連を考察した。

## 3. 小倉圃場耕起試験区の評価

各試験区(A: 冬耕+春耕+荒代掻き+代掻き, B: 春耕+荒代掻き+代掻き, C: 荒代掻き+代掻き)3反復のプロットを QGIS 上で RGB 画像から抽出し(図 4a), 収穫時は L および b 値の高値領域の平均値と割合, 収穫 46 日前(8月17日)は G/R 値の平均値, 標準偏差, 高値領域の平均値と割合をもとに評価した。収量データは各プロット 5 株ずつを北, 中, 南の三カ所から得た。

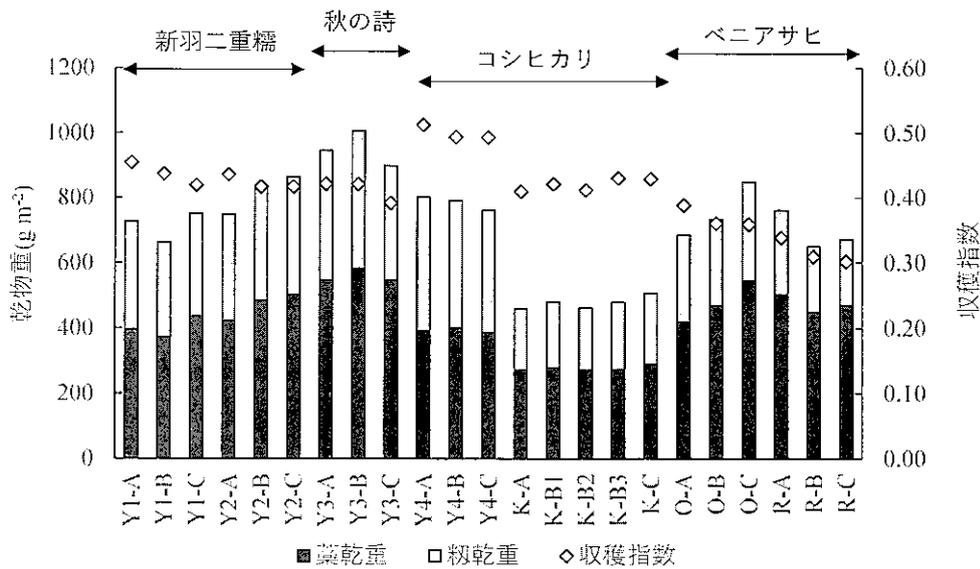


図1 各圃場3カ所の坪刈り(3m<sup>2</sup>)による籾および藁の乾物重と収穫指数。

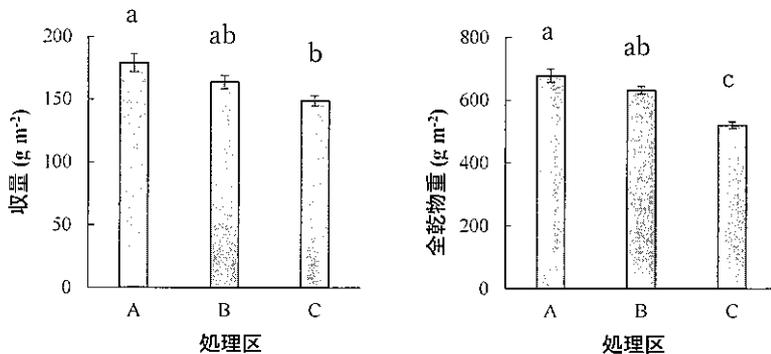


図2 耕起試験処理区ごとの収量および全乾物重(n=9)。誤差バーは標準誤差を、異なるアルファベットは Tukey の多重比較検定より5%水準(収量)および1%水準(全乾物重)の有意差を示す。

## 【結果と考察】

### 1. 坪刈り位置の空撮 RGB 画像と収量の関係

R, G, B, L, a, bそれぞれの平均値, 標準偏差と収量の相関係数および高値(aのみ低値)領域の割合(%)および平均値と収量の相関係数のうち, 高い相関を示したのはL(明度)の高値領域の平均値( $r=0.71$ )と, bの高値(黄色)領域の面積( $r=0.68$ )であった(図3). 収穫期の画像を用いたため, 穂や植物体の黄色を反映していると考えられた.

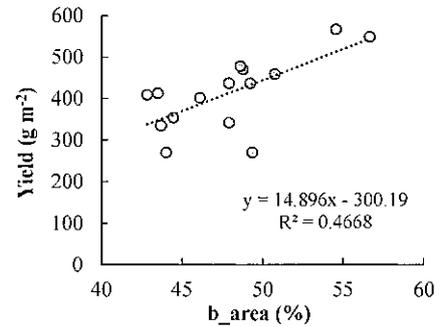


図3 bの高値領域の割合と収量

### 2. 圃場内の生育・収量変動の評価

**2.1 圃場内の凹凸** DEMによる圃場内の高低差は野洲1圃場で最大約20cm, その他の圃場では10~15cm程度であった(図省略). 野洲1圃場では水路から離れた位置(南西側), 野洲2, 野洲3圃場ではハウス(南東)側, 栗東, 小倉圃場では南西側が高くなる傾向にあった. 実測値の高低差は最大約3~4cm程度であったことからDEMによる高低差の絶対値に関しては再検討が必要であるが, 傾向はつかむことができたと考えられた.

**2.2. 出穂~登熟期・収穫期** b値とG/R値の変動は全圃場で両端(短辺)の値が高い傾向がみられ, 野洲1圃場と栗東圃場で顕著だった(図省略). 栗東圃場ではb値, G/R値の高い場所はDEMより圃場内で高いという傾向が観察されたが, 野洲1圃場では逆の傾向がみられた. 野洲1圃場は水口, 水尻の位置から灌漑水の流れも関連している可能性が考えられた. 野洲2, 野洲3圃場は圃場内全体でb値に変動があり, その要因は明らかではなかった.

### 3. 小倉圃場耕起試験区の評価

3つの試験区のうちAとCの間には, 収量について処理間に5%水準の有意差があった(図2). 収穫時の全乾物重についてはAとC, BとCの間にそれぞれ1%水準の有意差が, AとBの間には10%水準の有意差があった. 各プロットの収量, 全乾物重は収穫46日前(8月17日)のRGB画像より算出したG/R値と相関があり(図5), 生育および収量の差が反映していると考えられた. 一方, 坪刈り収量と正の相関があった収穫時画像のb値高値領域の割合は各プロット5株×3点の平均収量とは負の相関を示した(図6). これは坪刈り収量が画像内全体の収量を反映しているのに対し, 耕起試験区に関しては試験区内の限られた個体の生育から得た収量データであったことが関連していると考えられた.

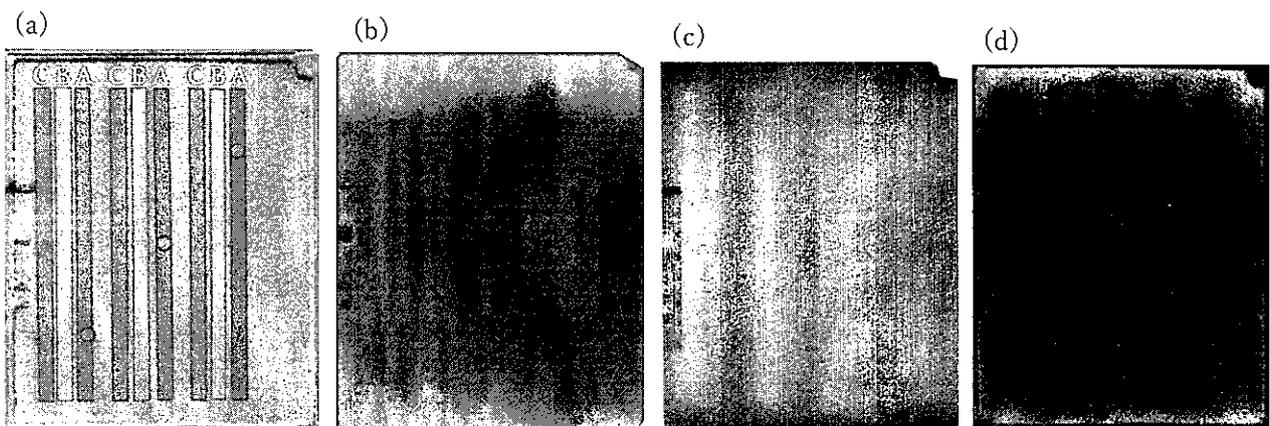


図4 (a)データ抽出を行った試験区(円は坪刈り位置), (b)収穫期のb値, (c)モノクロに変換したRGB画像, (d)出穂期のG/R値. b値とG/R値は白に近いほど高値を示す.

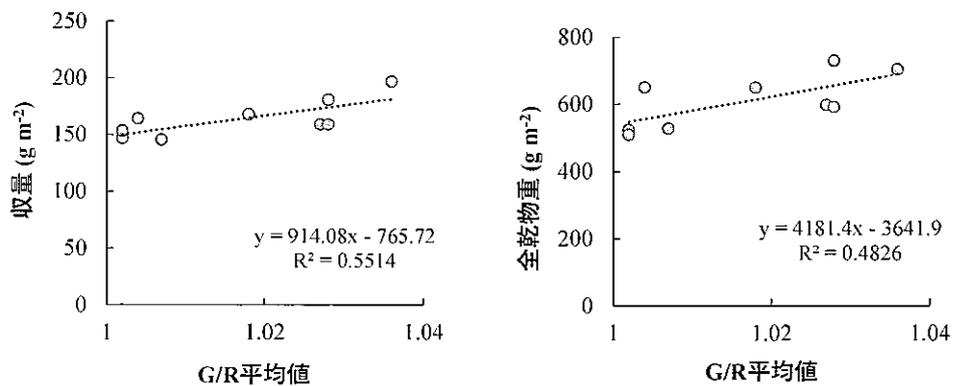


図5 各処理区、反復ごとに抽出した G/R 平均値と収量(左)および全乾物重(右)との関係(n=9).

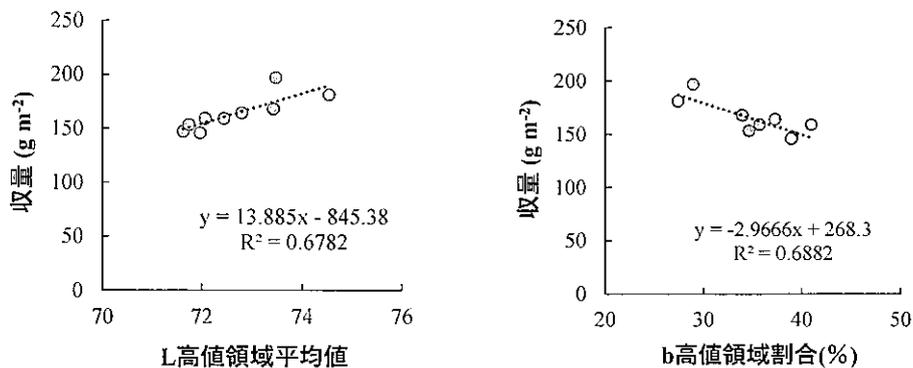


図6 各処理区、反復ごとに抽出した L 高値領域の平均値と収量(左)および全乾物重(右)との関係(n=9).

### 【結論】

圃場により刈り収量に圃場内変動がみられ、UAVによるRGB画像から得たL値およびb値と高い相関があった。収穫期のb値と出穂～登熟期のG/R値の圃場内の変動はおおむね一致する傾向がみられた。さらにそれらの指標がDEMによる圃場内の高低差と関連している可能性もあり、野洲1圃場では水口・水尻の位置と圃場内の高低差から灌漑水の流れや湛水深が生育に影響した可能性も考えられた。また、小倉圃場において耕起回数の違いによる最終的な生育および収量の差が、収穫46日前のG/R値に反映していることが示唆された。耕起により初期生育が良くなることが報告されており(丸田・白岩, 2020)、より早い時期の生育差も検出できる可能性がある。一方、収穫期の画像に関しては試験区の収量と相関が高い指標があったものの刈り収量とは異なる関係がみられ、刈取り個体数に対して画像の抽出範囲が広がったことが原因と考えられた。

DEMの絶対値に関しては再検討が必要であるものの、UAVを用いてRGB画像を撮影することで生育および収量変動を評価できる可能性が示された。したがってより早い段階での撮影やその他の条件を考慮することで生育、収量の変動に関しさらに詳細な情報が得られると考えられる。

### 【引用文献】

- 鳥山 2001. 大区画水田における地力窒素ムラと水稲生育. 日本土壤肥料学雑誌第72巻第3号 p. 453~458
- 家田・栗田 2016. 分けつ数の抑制が無施肥栽培水稲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・栗田・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壌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
- 丸田・白岩 2020. 耕起回数が無施肥無農薬栽培水稲の生育・収量に及ぼす影響. NPO無施肥無農薬栽培調査研究会 2019年度研究報告

# イネの共生微生物と施肥量の関係性について

奈良先端科学技術大学院大学（植物免疫学研究室）

有年由紗、切田澄礼、今井俊介、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と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いる。それらの中には、植物の栄養吸収、成長や環境適応に寄与する共生微生物もいる。しかし、環境変動に応じた共生微生物集団の菌組成や働きの変化、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わかっておらず、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. 共生菌の農業への活用に向けて

近年、農薬や化学肥料の過使用による土壌劣化や環境汚染問題への懸念が高まっている。その解決策として、植物に共生する微生物の活用により減農薬・減肥料の環境保全型農業を推進する機運が高まっている。しかし、植物と微生物の共生関係は環境条件や植物の生理状態次第で容易に変動する。このため共生効果が不安定になりがちで、期待通りに農業への実用化が進んでいない。本研究では、土壌栄養条件（すなわち肥料の有無）が、野外圃場において植物の微生物共生に及ぼす影響について明らかにすることで、環境保全型農業の推進に有効な情報を得たいと考えている。

## 3. 共生微生物と施肥量の関係

### 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年からイネの生育調査を行っている（図1）。年8回、2018-2020年度の3年にわたる実地調査の結果、施肥によりイネの共生微生物集団の菌組成に差が生じることを確認した（図2）。また、2020年の4週目から17週目における共生菌の相対存在量を網レベルで比較した。無施肥圃場と有施肥圃場で優占的に存在している網を発見した（図3）。

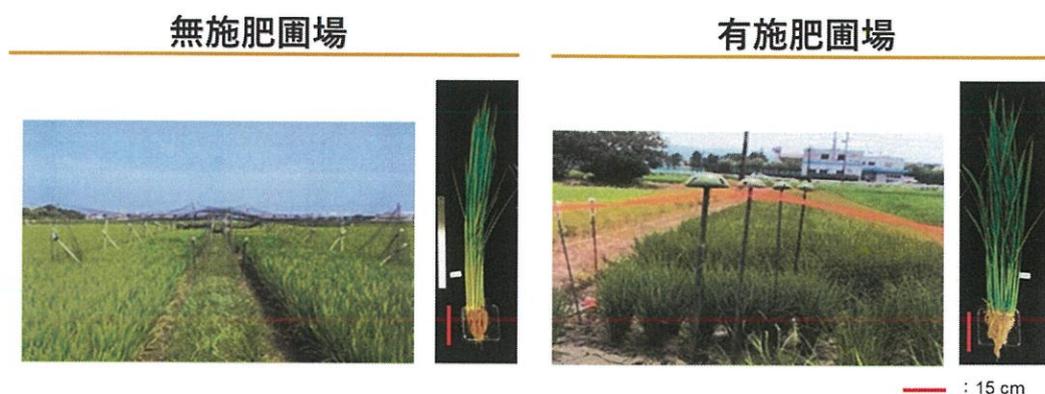


図1 野外無施肥・有施肥圃場におけるイネ栽培の様子

京都府の隣接する有施肥（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週目の圃場の様子と栽培したイネ（ヒノヒカリ）の様子（2020年度）。肥料の有無により地上部と根の色などが異なっていた。

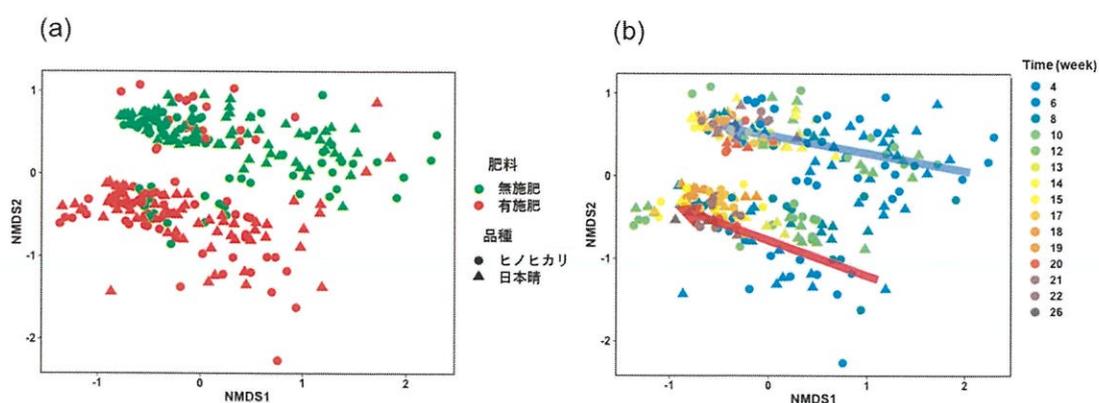


図2 施肥・生育ステージ依存的な根の共生微生物集団の菌組成の変化

施肥の有無で微生物集団の菌組成は異なり（a）、さらにイネの植物の生育ステージが進むほど施肥の有無による差が顕著に表れた（b）。各点は各サンプルに該当し、点と点の距離が離れるほど微生物の集団組成の差が大きくなることを表している。

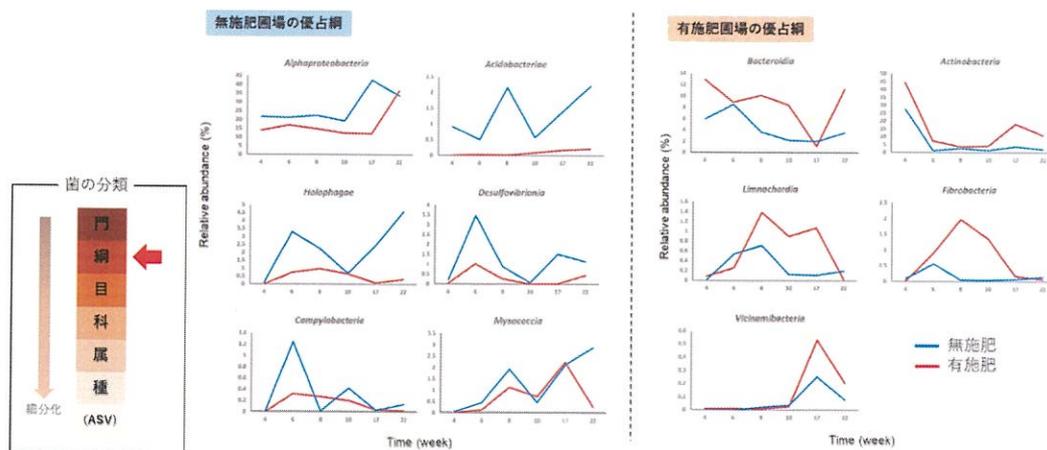


図3 無施肥圃場と有施肥圃場における優占綱の代表例

無施肥圃場と有施肥圃場のそれぞれの圃場において、全体に占める割合（すなわち相対存在比）が高い傾向を示す微生物の綱を示した。例えば、低栄養要求性である *Alphaproteobacteria* は無施肥圃場において、一方、高栄養要求性である *Bacteroidia* は有施肥圃場で相対存在比が高い傾向にあった。

このように、イネの共生微生物叢において施肥量により綱レベルの相対存在比という観点で違いが生じることが分かった。そこで、無施肥環境において特徴的な菌を特定することで、イネにとって有用な共生菌種を絞り込むことが可能になると考えた。したがって、Boruta という特徴量選択の機械学習プログラム（機械学習）を利用して、無施肥圃場あるいは有施肥圃場を特徴づける重要菌種の候補を絞り込んだ。その結果、72 候補菌株が選出され、それらを属レベルで分類したものを円グラフで示した（図4）。この重要菌株候補リストのうち、これまでに植物の成長促進効果や窒素固定能に関して報告がある属をリストアップした。

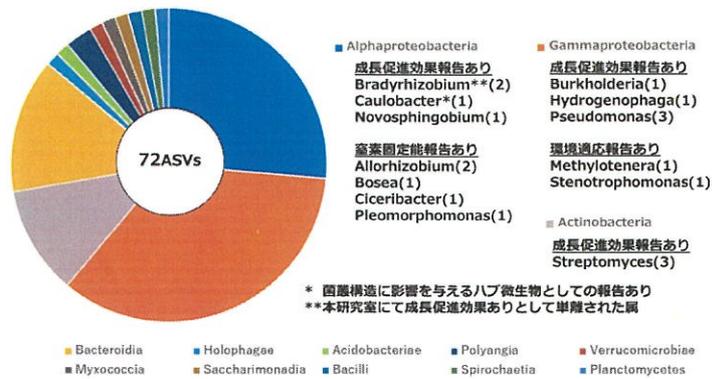


図4 重要指標菌（候補）リスト

*Alphaproteobacteria* が一番多く存在し、続いて *Gammaproteobacteria*、*Actinobacteria* と続いていた。

### ポット栽培試験

野外圃場試験では土壤栄養条件の他にも様々な環境変化が影響していることが予想された。土壤栄養条件の違いでどこまで共生菌叢の変化を説明できるか、2020年度に屋内でのポット栽培試験を行い検証した。また、野外圃場では肥料の有無2種類のみデータしか得られていない一方で、本試験では肥料濃度を4段階に分け、共生微生物集団の菌組成変化を調査した。その結果、野外圃場試験と同様に、イネの生育ステージと施肥量により、微生物集団の菌組成が段階的に変化していた（図5）。したがって、肥料条件の違いがイネの微生物共生に大きく影響を与えることがわかった。

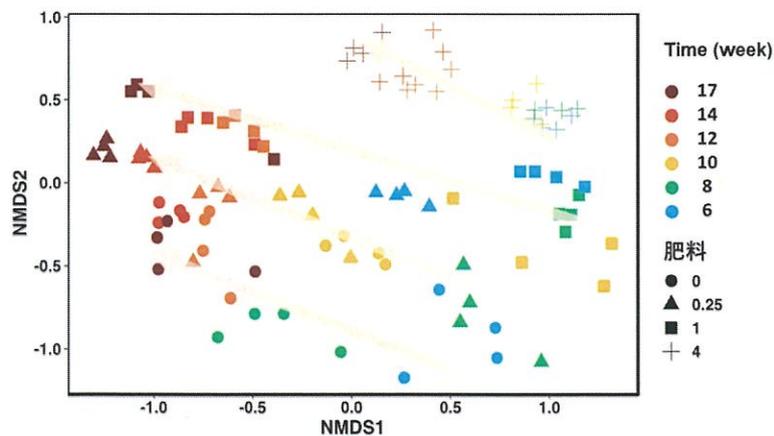


図5 ポット栽培試験における根の微生物集団の菌組成変化

6週目から17週目のサンプルを用いて、肥料4区画（0、無施肥；0.25倍・1倍・4倍単位の施肥区）において生育ステージの進行に伴う共生微生物集団の菌組成変化とその肥料依存性を調べた。（サンプル：根、生育ステージを通してサンプリング、n = 4）

#### 4. 機械学習を用いた施肥の有無判別手法の構築

省施肥栽培を進めるためには土壌の栄養状態を把握し、適切なタイミングで適量の施肥を行う必要がある。しかし、通常は土壌栄養は圃場内で不均一に散在するため、正確に土壌栄養成分の分析を行うことは困難である。そこで、おそらく作物の栄養状態により直接的に関わっている共生微生物に着目して、植物の栄養・健康状態の診断については施肥の至適化を図ることができないかと考えた。上記の通り、無施肥圃場と有施肥圃場におけるイネの共生微生物の比較からそれぞれの土壌栄養条件に特徴的な微生物集団組成が成立していることに加えて指標菌株が浮かび上がった。そこで、共生微生物の差異を上記の判断基準として活用できるかどうか検討した。図2のデータセットを教師データとして使用し、機械学習を行ったところ、特定のイネ根サンプルが無施肥圃場由来か有施肥圃場由来かを共生菌叢のメタ 16S 解析プロファイルにもとづき判別するモデルを構築することに成功した(図6)。しかしながら、本モデルを構築する際に用いた元となるデータと判別対象としたデータは同一の野外圃場(小倉圃場)で得たものであり、本モデルはあくまで小倉圃場のみでしか有効ではない可能性も否定できない(これをオーバーフィッティングと呼ぶ)。そこで、次に他の栽培条件で得た共生菌叢データに対しても有効に働くか検証した。2018年から2020年度の野外圃場菌叢データを教師データとして用いてモデルを構築し、そのモデルを2020年度に実施したポット栽培試験の菌叢データに対して適用して施肥量の判定ができるかどうかを検証した。その結果、共生菌叢の組成を科レベルで表したデータを用いると、統計上有意とされる一定の精度で判定が可能になった(図7)。

本研究により、イネ根の共生菌叢プロファイルが得られれば、少なくとも同じ圃場において施肥の有無を高精度で判別できるモデルの作出に成功した。また、異なる栽培環境で育てたイネの判別についても、共生菌叢データを科レベルで集計して用いることで施肥有無の判別が可能になることがわかった。今後は、他の圃場で栽培したイネに対しても、あるいは他の作物に対しても有効であるかを検証するとともに、さらに判定精度の向上並びに調査コストの軽減を目指していく所存である。

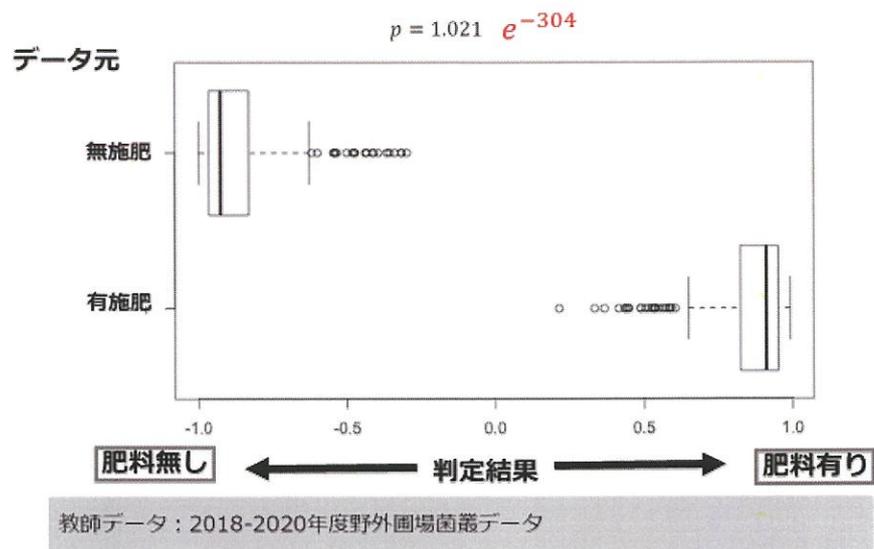


図6 無施肥圃場と有施肥圃場を判別するモデルの構築

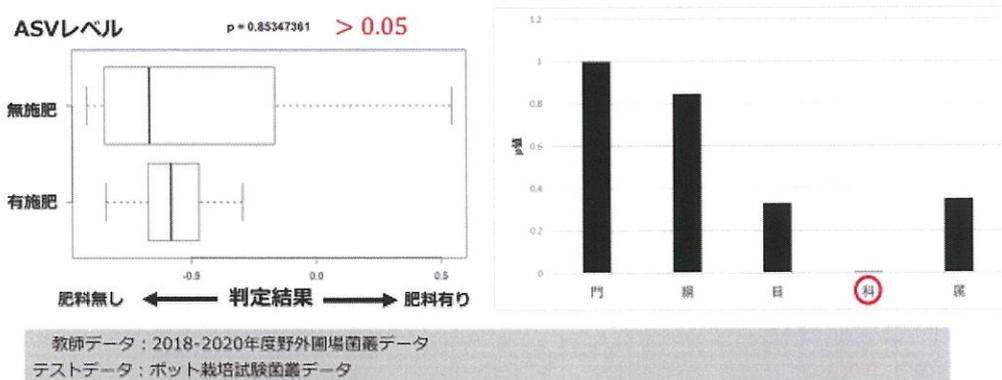


図7 菌叢の菌組成データを機械学習に用いる際に、どのレベルで分類すると有効かを検証した。左：ASVで分類したデータを用いた場合、無施肥・有施肥の判定が不正確であった。右：門、綱、目、科、属レベルで分類したデータを用いた場合の判定精度（p値）。小さいほど判定が正確であることを示す。メタ 16S rRNA シークエンス解析では、多様な菌種・菌株からなる微生物集団に存在する rRNA 遺伝子の DNA 配列をまとめて解読し、異なる菌種・菌株 DNA 配列ごとにリード数を計測することで、どのような微生物種がどのような割合で存在するかを算出する。しかし、実際には特定の DNA 配列がどの微生物種に由来するかは不明であるため、ASV（amplicon sequence variants）と呼ばれる仮想微生物種を想定して集計を行っている。なお、圃場（土壌）ごとに菌種（菌株）が特化し、仮に同じ役割を担っていても往々にして異なる ASV となっている可能性が考えられる。実際に、小倉の無施肥・有施肥圃場にそれぞれ特徴的な ASV を指標としたモデルでは、ポット栽培試験における施肥条件を判定することが

できなかったが、それらの ASV が属する科レベルで共生微生物叢の菌組成情報を解析し直すと、うまく有施肥・無施肥の違いを判別することが可能になった。すなわち、イネの共生微生物を科レベルで比較すれば、圃場（土壌）が異なっても、土壌の栄養状態を反映した特徴が抽出できると考えられた。

## 5. 謝辞

本研究は、キヤノン財団およびエリザベス・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。今後ともご支援のほど、どうぞよろしくお願い致します。

# 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 (2020)

NPO 無肥研 下平訓立・倉島次郎

## 栽培調査の目的とねらい

一般的な作物栽培に於いて、同じ圃場で同一又は同じ科の作物の栽培を連続して行う場合、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。無施肥無農薬栽培を継続して行う場合の畑作に於いても、ナス科等の品種や栽培条件によっては連作2年目以降に生育が低下する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がはっきりしていない。水稻や果樹や一部の畑作物種などの栽培では、人為的に有機物を投入しない無施肥栽培で継続的に一定の収量を上げている事例があるが、「連作障害」の起こりやすいといわれている作物においても無施肥条件下で種の採取と同一の土壌での栽培を継続することにより、作物や土中の微生物や菌類の環境に何らかの変化が起きる可能性があるかもしれない。

そこで、長期間連作を継続した場合の生育や収量の変化の調査を目的とし、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採り上げ、2019年に予備試験として栽培を開始し、2020年も条件を調整しながら栽培調査を行った。

## ジャガイモの特性

多くの品種は比較的冷涼な気候を好む。生育の適温は約10°C~23°C程で、冷涼な期間が長いと収量も多くなる。発芽しない休眠期間が2~4ヶ月間あり、その期間が短い品種は温暖な地域での二期作が可能。湿害に弱い。

## 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ヶ所で共通の品種を栽培することとし、2019年の予備調査開始当初、無施肥栽培された芋で入手可能なものとして男爵・デジマ・キタアカリの3品種を選択し、その時点で少なくとも1年間無施肥栽培された食用の市販品を入手し用いた。朝日村圃場では上記3品種以外にホームセンターで一般の種芋から比較的そうか病などに耐性があるとされる品種を中心に5品種購入して上記品種との比較のため栽培した。(ホッカイコガネ・ピルカ・とうや・こがね丸・アンデス赤)

翌2020年は2019年の予備調査に基づき、地域の気候に合わせて両圃場で栽培品種を一部変更して収量等の調査を行った。

基本的には年間を通じて1作のみで裏作は行わず収穫後は休耕とした。2019年秋からは野洲市圃場のみで二期作が可能な暖地向き品種のデジマを年2回栽培する二期作を行う区を設け、年1回栽培の一期作区との生育の相違を観察する事とした。その後2020年から野洲市圃場では、調査をより均一化するため、デジマ一期作/デジマ二期作/男爵の3区画×3反復として生育と収量の調査を行っている。(図4)

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。(図1・2/表1・2/図3・4)

2019年の春作では収穫後の種芋は比較的涼しい室内又は倉庫内で常温で保管した。

2019年の秋作から開始した野洲圃場のデジマの二期作区では、7/15に収穫したイモを芽出しし9/3の秋植えに用いた。その後収穫したイモを次の春作にも使用し一期作区の種芋とは別に管理を行っている。

## 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畝の高さを植え付け時に約30cmにして管理を行った。2019年には茎・イモ共に湿気を好むと言われるダンゴ虫の食害により被害があったため、それを避けるべく2020年はさらなる高畝管理の目的から初期の畝幅を広く設定したため前年と位置のずれが発生した。(図5)

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6)

## 結果と考察

無施肥栽培 1 年目・2 年目では以前に土壤中に投入された有機物がまだある程度残留しているのではないかと予想されるが、栽培初年度と比較すると 2 年目は大幅な減収になる品種が多かった。(図 1・2)

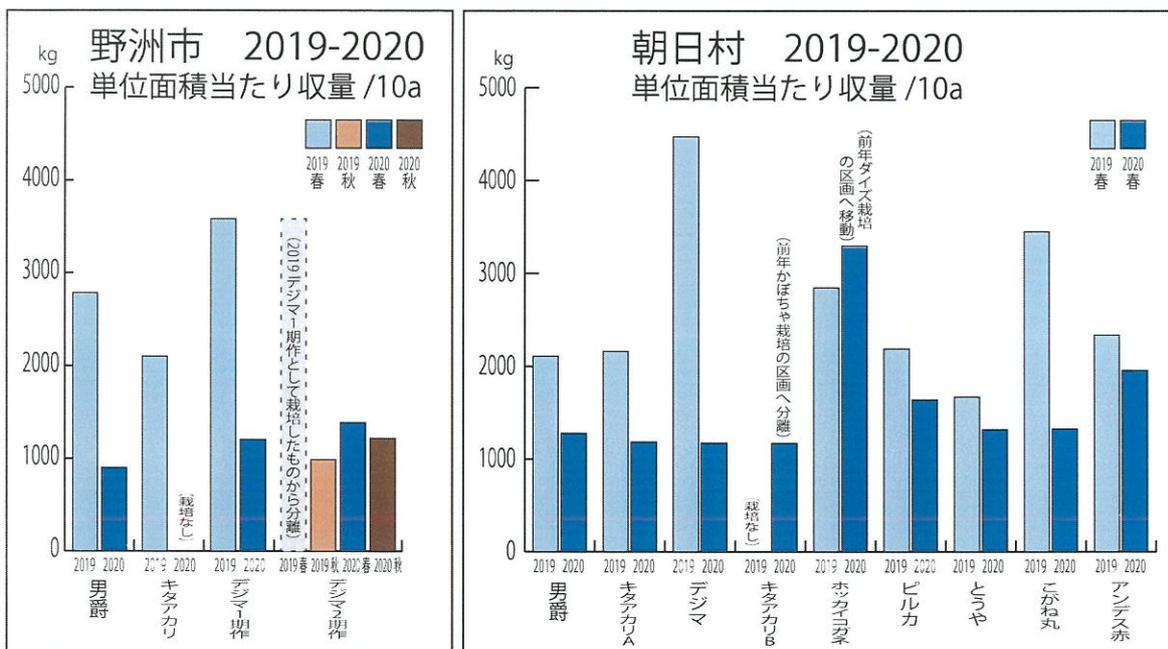


図 1

図 2

2019 年と 2020 年の同時期の単位面積当たり収量を単純比較すると、野洲圃場では「デジマ二期作区」のみ 2020 年の収量が多い結果となった。両圃場間の同品種の比較では 2020 年は朝日村圃場の「男爵」の収量が多かった。同圃場では「アンドレス赤」は 2020 年の減収の割合が小さかった。前年大豆栽培の区画で栽培した「ホッカイコガネ」は増収となった。(表 1)

2019 年の収量を 100 とした時の 2020 年の収量の割合 (単位面積当たり：%) ※二期作は同季節のみの比較

	男爵	キタアカリA	キタアカリB	デジマ1期(春作)	デジマ2期(秋作)	ホッカイコガネ	ピルカ	とうや	こがね丸	アンドレス赤
野洲市圃場	32.4	---	---	33.6	123.3	---	---	---	---	---
朝日村圃場	56.2	54.2	57.0	26.3	---	115.2	74.9	78.9	38.5	83.8

表 1

野洲市圃場では品種の調整や栽培管理上の問題から、畝の位置と幅が 2019 年時と多少ずれた場所があり、収量等の比較については参考としたい。今後は畝の位置を固定して調査を継続する。2020 年は梅雨時期の長雨があり、日照不足と圃場の高水位によるイモの腐敗の影響があった。

主に野洲市圃場分の 2019 年秋期の種芋貯蔵の温度管理に問題があり、発芽して消耗した種芋を植えざるを得なかった事、植え付け時期が天候等の理由で昨年より約 2 週間遅かった事、梅雨時期の長雨・日照不足、更に水はけの悪い圃場で冠水した部分での腐敗等、悪条件下での栽培も一因の可能性があり、次作は改善したい。

野洲圃場のデジマ栽培区では発芽した株数などの諸条件は異なるが 2020 年は年間 1 回栽培の一期作区と二期作区の単位面積当たりの収量がほぼ同等の結果となった。貯蔵した種芋と比較的新鮮な種芋の状態の差も考えられるが今後の推移を見たい。

朝日村圃場では、畝の位置と幅は多くの場所で昨年と同様に設定したが、品種により移動したのものもあり、その影響で同品種間での収量に一部変化があったと考えられる。また、一般に病害に強いとされる市販品種を連作したが、減収の度合いが少ないものがあった。2 年間の結果では不明だが品種により環境への適応の期間や能力の差があると考えられる。

無施肥栽培ではないが、在来種や突然変異株からの固定種等の連作に比較的強いとされる種で栽培している生産者もあるので、当調査でも、対象株が少量ではあるがより無施肥栽培の条件に適応した種を選抜する方法も合わせて検討したい。

2019年の種芋の貯蔵時の温度管理の失敗から、2020年秋に保冷库を購入し発芽しにくい2°C~5°C程度での管理が可能となった。今後も種芋の貯蔵方法や栽培管理の条件を整えて栽培の経過を調査して行きたい。

2021年は野洲市圃場では昨季同様、朝日村圃場では一部を3反復に変更して調査を行う。  
(図7・8)

野洲市圃場 2019 春作

品 種	種芋重量 (kg)	株数(欠株数)	芋総収量 (kg)	1株平均芋重量 (g)	単位反収重量 (kg/10a)	植付け～収穫
男 爵	4.54	62	57.78	0.93	2,781.2	3/2~6/21 (111日間)
キタアカリ	4.45	60	42.66	0.71	2,103.5	3/2~6/21 (111日間)
デジマ	5.30	59	71.54	1.21	3,581.6	3/9~7/15 (129日間)

野洲市圃場 2019 秋作

デジマ②期作	--	30(3)	10.21	0.38	990.8	9/3~12/1 (90日間)
--------	----	-------	-------	------	-------	-----------------

野洲市圃場 2020 春作

品 種	種芋重量 (kg)	株数(欠株数)	芋総収量 (kg)	1株平均芋重量 (g)	単位反収重量 (kg/10a)	植付け～収穫
男 爵	6.16	57	21.87	0.38	899.8	A・B区 3/15~6/21 (98日間) C区 3/15~7/12 (119日間)
デジマ①期作	5.81	57	30.55	0.54	1,205.0	3/15~7/12 (119日間)
デジマ②期作	5.67	57	33.89	0.59	1,390.8	A区 3/15~7/12 (119日間) B・C区 3/15~7/19 (126日間)

野洲市圃場 2020 秋作

デジマ②期作	8.15	57(6)	31.26	0.61	1,221.3	8/30~12/4 (97日間)
--------	------	-------	-------	------	---------	------------------

朝日村圃場 2019 春作

品 種	種芋重量 (kg)	株数(欠株数)	芋総収量 (kg)	1株平均芋重量 (g)	単位反収重量 (kg/10a)	植付け～収穫
男 爵	4.59	75	61.84	0.82	2,110.3	4/28~7/27 (91日間)
キタアカリ	4.30	72	60.81	0.85	2,160.8	4/28~7/27 (91日間)
デジマ	5.60	39	66.92	1.72	4,472.8	4/28~8/20頃(約115日間)
ホッコイコガネ	2.00	23	25.87	1.12	2,842.3	5/5~8/1頃(約87日間)
ビルカ	1.00	20	18.20	0.91	2,188.3	5/5~8/1頃(約87日間)
とうや	1.00	21	13.78	0.56	1,671.8	5/5~8/1頃(約87日間)
こがね丸	2.00	29	37.73	1.30	3,446.1	5/5~8/1頃(約87日間)
アンデス赤	1.00	25	24.34	0.97	2,336.5	5/5~8/1頃(約87日間)

朝日村圃場 2020 春作

品 種	種芋重量 (kg)	株数(欠株数)	芋総収量 (kg)	1株平均芋重量 (g)	単位反収重量 (kg/10a)	植付け～収穫
男 爵	6.17	75	36.70	0.49	1,185.4	4/26~8/23 (120日間)
キタアカリ A	6.63	75	34.01	0.45	1,171.6	4/26~8/29 (126日間)
キタアカリ B	3.80	35	15.75	0.45	1,231.8	4/29~9/5 (130日間)
デジマ	8.78	75(8)	33.31	0.48	1,174.9	4/29~8/29 (123日間)
ホッコイコガネ	2.74	30	37.01	1.24	3,274.3	4/29~9/5 (130日間)
ビルカ	2.47	25	18.19	0.73	1,639.4	4/29~9/5 (130日間)
とうや	2.52	25	12.33	0.49	1,318.5	4/29~9/5 (130日間)
こがね丸	2.64	25	12.97	0.52	1,328.1	4/29~9/5 (130日間)
アンデス赤 ABC	2.97	36	25.81	0.72	1,958.3	4/29~9/12 (137日間)

表 2

## 2020年野洲市圃場での草丈の推移

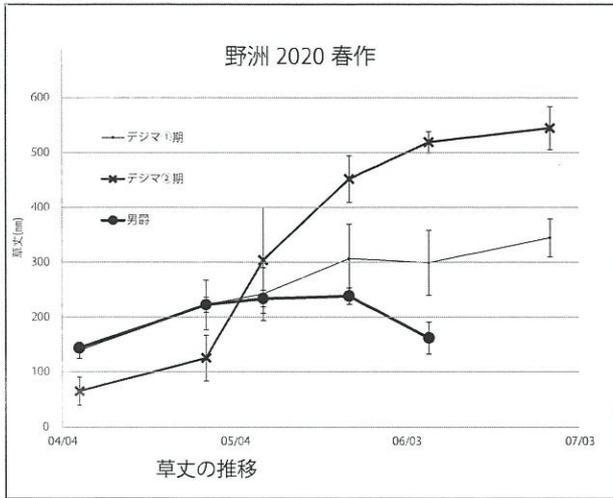


図 3

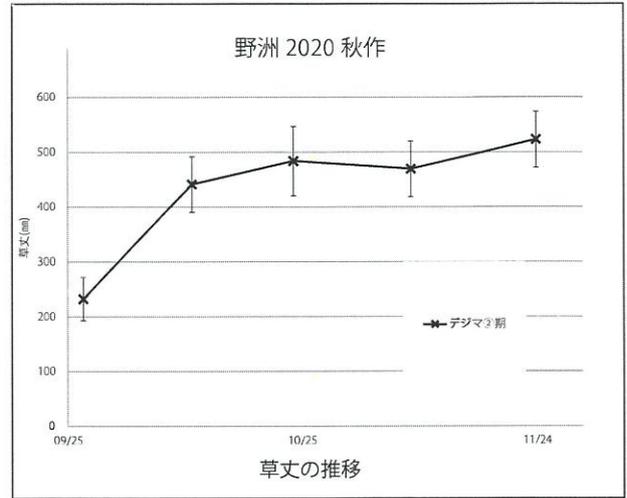
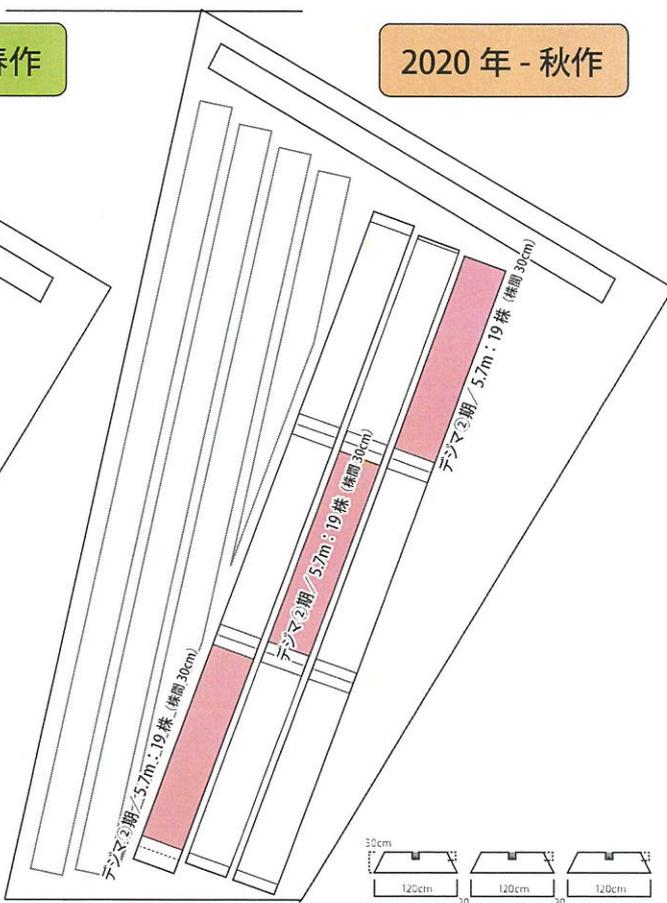
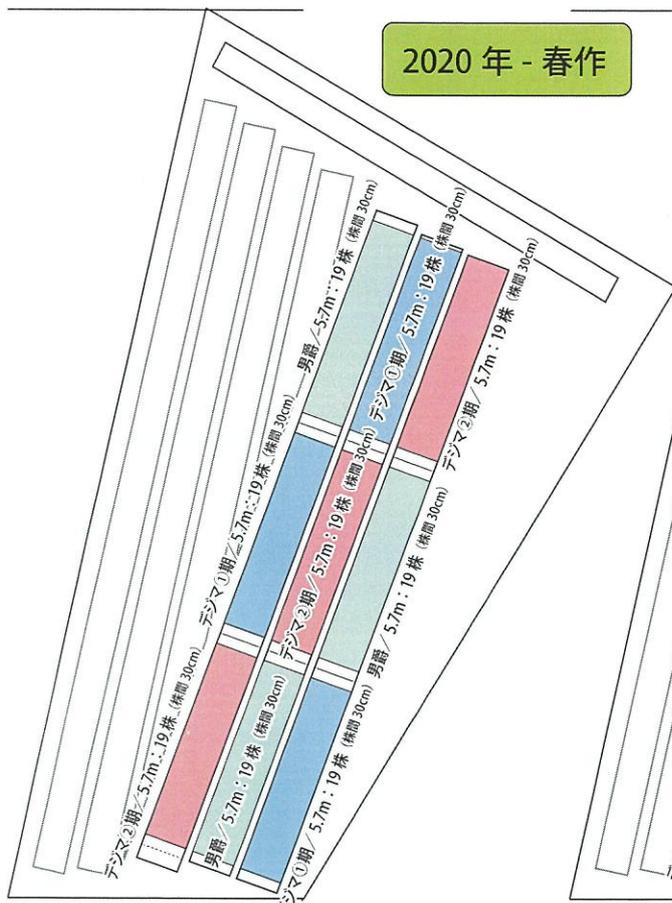
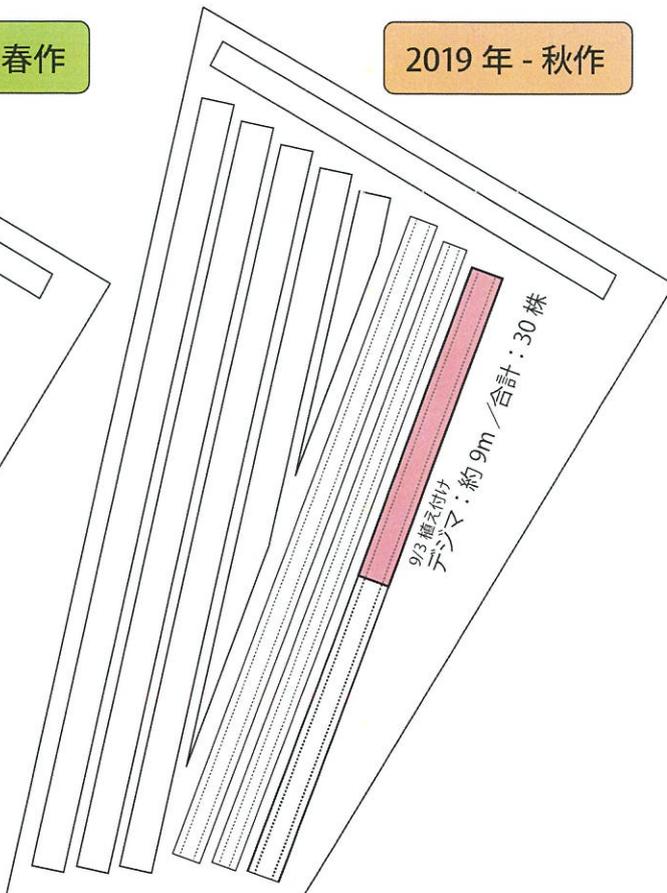
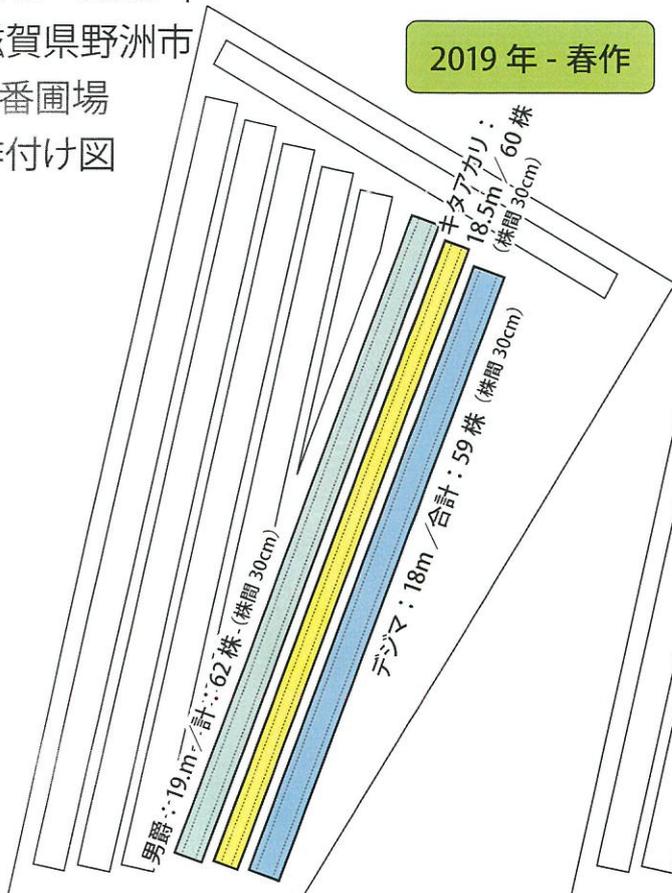


図 4

## 野洲市圃場での生育の様子

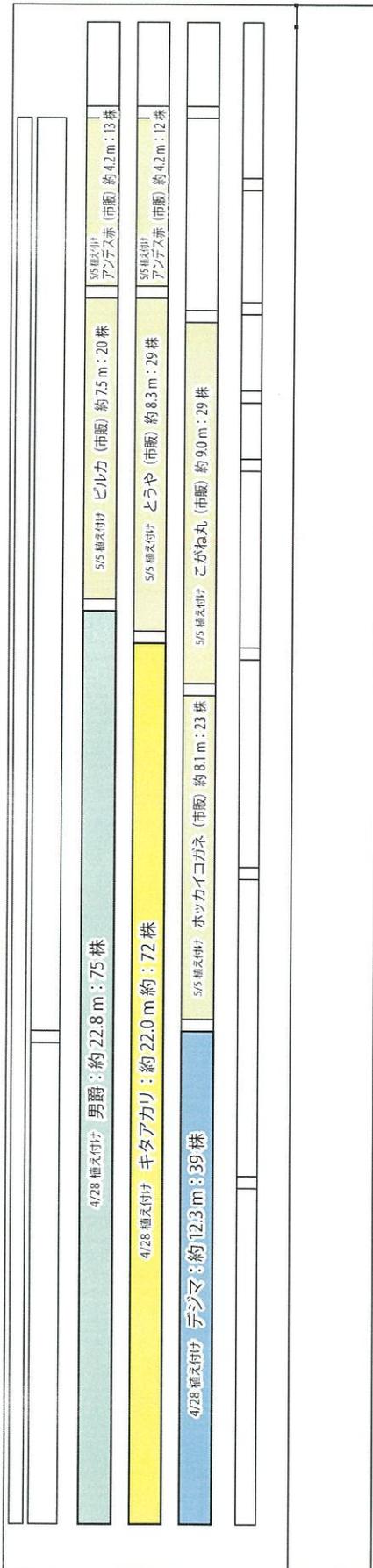


2019~2020年  
滋賀県野洲市  
8番圃場  
作付け図

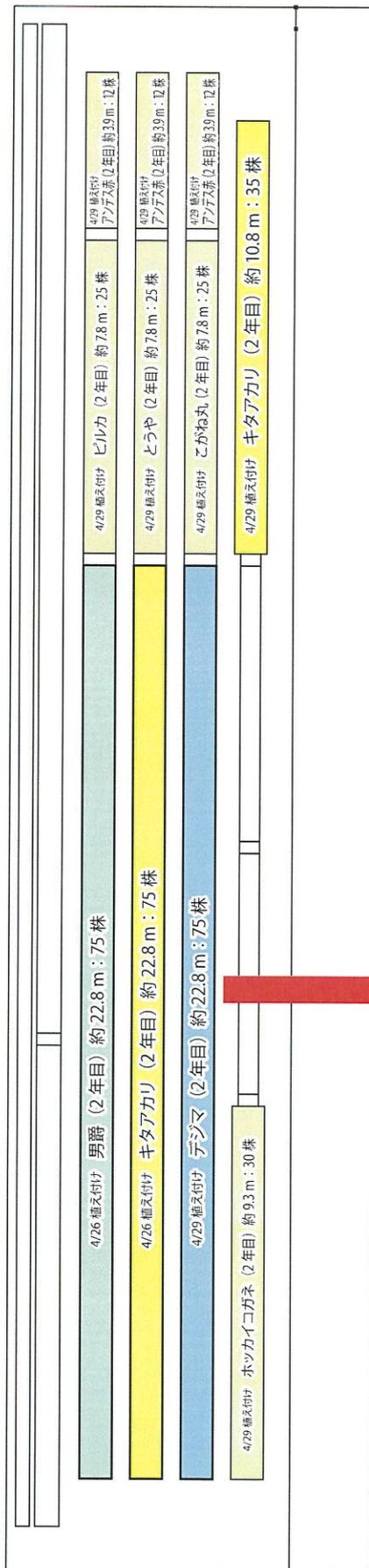


2021年も2020年と同様の区割りで栽培調査を行う予定です。

2019年 - 春作



2020年 - 春作



2019～2020年  
 長野県東筑摩郡  
 朝日村圃場  
 作付け図及び  
 2021年の変更予定

2021年 - 春作

※男爵・キタアカリ・  
 デジマの3品種  
 については、より  
 調査を平均化する  
 ため3反復に変更  
 する。

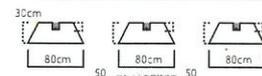


図 6

## ダイズ茎疫病発生を助長する栽培要因に関する研究

### —現地圃場調査—

加藤もも・多田光史・白岩立彦（京都大学大学院 農学研究科）

【緒言】国内のダイズ栽培は約80%が水田転換畑で行われており、排水性が悪く、湿害や土壤病害が起こりやすい。その中でも、ダイズ茎疫病（以下茎疫病）は世界中で増加傾向にあり（Hildebrand et al., 1959）、防除が困難な土壤病害の一つである。茎疫病は卵菌類であるダイズ茎疫病菌 *Phytophthora sojae*（Kauffmann and Gerdemann, 以下 *P. sojae*）によって引き起こされる。水中を遊泳する遊走子により感染が拡大することから、茎疫病は、排水の悪い圃場や降水量が多い年に多発するとされてきた（加藤, 2010）。しかし、その関係はあまりにも自明であることから茎疫病的発生を促進する土壤水分条件を明らかにした研究が多くなされてきたわけではない。また、茎疫病発生への湛水の影響は限定的であったことから（Tada et al., 2021）、水分条件以外にも茎疫病発生の要因は考えられる。実際、カルシウム施用が茎疫病発生を低減させる効果があること（杉本, 2009）や、亜リン酸肥料が茎疫病発生に及ぼす影響（前川ら, 2006）などについて報告されている。

そこで、本研究では、(1) ダイズ栽培圃場にみられるダイズ茎疫病発生の変異と、それを左右する可能性の高い水分条件との関連を明らかにするとともに、(2) 先行研究で報告されている土壤化学特性値などを中心とした発病に関わる可能性のある他要因を探索することを目的とし、以上を圃場内変異・圃場間変異の両面から明らかにすることを試みた。

【調査地および調査概要】圃場内変異調査地として兵庫県丹波篠山市八上上にある水田転換畑一筆（以下篠山圃場）を対象とした。篠山圃場と圃場間変異調査として比較する圃場として、京都府綾部市新庄町の、NPO 法人無施肥無農薬栽培調査研究会の常畑一筆（以下綾部圃場）を対象とした。両圃場とも栽培品種は‘丹波黒’であった。篠山圃場は水田転換畑であるが、2019年、2020年はダイズ栽培であった。綾部圃場は2007年より長期無施肥無農薬栽培を行っており、栽培は13年間ダイズであった。



調査概要として、(1) 茎疫病発生と水分条件との関連、(2) 茎疫病発生と他要因との関連のように2つに分けて論じていく。

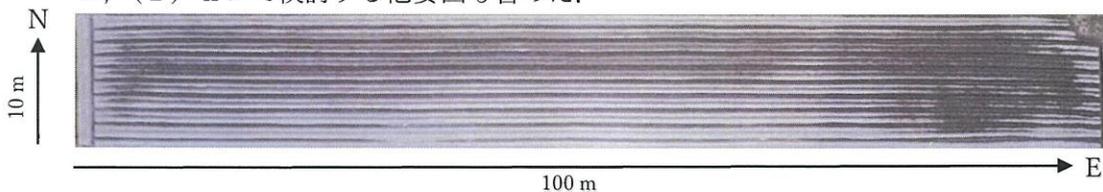
## (1) 茎疫病発生と水分条件との関連

### I. 圃場間変異調査

2019年の現地調査において、綾部圃場の発病率は篠山圃場のそれよりも低かった。これを受けて、綾部圃場が発病が抑えられ、篠山では多発するのは、常畑と転換畑の違いによる圃場の水分条件の違いによるものであると考え、同一水分処理を栽培実験により施し、両圃場の発病率(枯死個体率)に違いが生じるのかを確かめることにした。それぞれの圃場から土壌を採取し持ち帰り、エンレイを播種した。同一水分条件とするため、湛水処理を行い、その後の枯死個体を記録した。それぞれの圃場の土壌における枯死個体率、最長根長を記録した。

### II. 圃場内変異調査

圃場内における発病株の位置を記録した(2019年:9月27日~11月8日,2020年:7月2日~11月6日)。なお、急性萎凋を引き起こした株を茎疫病による発病株とした。水分条件の指標として、土壌含水率を測定した。降雨後の2020年7月31日に、圃場(10m×100m)を2m×6.7mごとの75区画に分け、それぞれの区画において測定した。区画内3回の測定結果を平均した値を、それぞれの区画のデータとした。それぞれの区画におけるデータを用いて、空間変動解析によりそれぞれの項目の空間依存性を把握し、地図化を行った。また、発病の有無を目的変数としたロジスティック回帰分析を行った。このロジスティック回帰分析の説明変数には土壌含水率に、(2)IIにて検討する他要因も含めた。



篠山圃場内における排水性のムラ(色が濃いほど排水が悪いことを示す)

## (2) 茎疫病発生と他要因との関連

### I. 圃場間変異調査

綾部圃場と篠山圃場において、土壌化学特性値(全窒素、全炭素、交換性塩基、可給態リン酸含量)、礫(石)の割合、伝染源ポテンシャルを調べた。伝染源ポテンシャルとは、伝染源密度とその活性の総和が感染の成否を決定すると仮定してつくられた概念であり、茎挿法というバイオアッセイにより評価した。それぞれの項目において、Welchのt検定により、圃場間における有意差検定を行った。

### II. 圃場内変異調査

篠山圃場内において、発病がみられる箇所に特徴的な他要因を探索するため、土壌化学特性値、礫の割合、伝染源ポテンシャルについて調査した。統計解析手法につい

ては(1)の圃場内変異調査と同様に、地図化を行い、発病の有無を目的変数としたロジスティック回帰分析を行い、発病に影響を与える要因を探索した。

## 【結果】

### (1) 茎疫病発生と水分条件との関連

#### I. 圃場間変異調査

採取土壌による栽培実験により、綾部土壌の枯死個体数は篠山土壌のそれよりも有意に少なかった(第1図)。このことは、2019年の調査において綾部圃場の発病率が篠山圃場の発病率よりも抑えられていたことと一致する結果となった。さらに、この結果により、茎疫病発生に対する水分条件は支配的要因ではないことが明らかとなった。そのため、茎疫病発生に対する他の要因が存在する可能性が示唆された。

また、最長根長について、綾部土壌の生残個体の最長根長よりも篠山土壌のそれが有意に短かった(第2図)。

#### II. 圃場内変異調査

発病率に関して、解析の精度上の問題より、2020年の結果に加えて2019年の発病株も含めたものを解析に用いた。土壌含水率に関しては、2020年のデータのみを解析に用いた。発病率、土壌含水率どちらも高い空間依存性が認められ、地図は第3図のようになったが、発病率に土壌含水率が直接影響するかは地図からは判断できなかった。ロジスティック回帰分析の結果、土壌含水率が低い箇所で発病がみられる傾向があることがわかった。以上の結果についてのデータは省略する。

### (2) 茎疫病発生と他要因との関連

#### I. 圃場間変異調査

篠山圃場と綾部圃場のそれぞれの土壌の分析の結果、土壌化学特性値に有意な差が認められた。すなわち、発病が多く見られた篠山土壌は少ない綾部土壌よりもpHが高く、全窒素含量、全炭素含量、カルシウム含量、可給態リン酸含量が有意に高く、マグネシウム含量が有意に低いことがわかった。また、礫の割合についても篠山土壌の方が綾部土壌よりも有意に高いという同様の結果が得られた。一方で、伝染源ポテンシャルにおいても、篠山土壌の方が綾部土壌に比べて有意に高いことがわかった。以上の結果についてのデータは省略する。

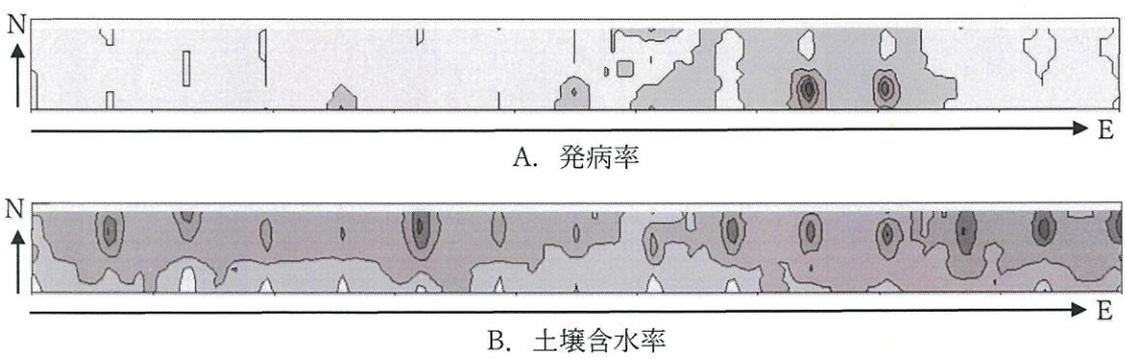
#### II. 圃場内変異調査

全窒素含量、全炭素含量、カルシウム含量、マグネシウム含量、カリウム含量、可給態リン酸含量、礫の割合(4mm以上、2-4mm)に高い空間依存性が認められ、地図化を行ったが、発病に影響する要因までは判断できなかった。ロジスティック回帰分析の結果、マグネシウム含量が高い箇所、また、礫の割合(4mm以上)が高い箇所で発病がみられる傾向があることがわかった。以上の結果についてのデータは省略する。



第1図 採取土壌による栽培実験における両圃場の枯死個体率。  
\*\*は処理間に1%水準で有意差があることを示す。

第2図 採取土壌による栽培実験における両圃場の最長根長測定結果。  
\*は処理間に5%水準で有意差があることを示す。



第3図 篠山圃場（南北10m東西100m）における発病率と土壌含水率の空間変動の地図化。  
色が濃いほど、高い値を示す。

【考察】茎疫病発生には必須である圃場間変異、圃場内変異の両調査より、圃場の過湿は茎疫病発生のための支配的な要因ではない可能性、むしろ土壤含水率が低い箇所での発病がみられる可能性が示唆された。これらは過湿が茎疫病発生を促進するという既往の知見と矛盾する結果であった。これにより、水分は茎疫病発生には必須であると考えられてきたが、単に圃場の過湿を抑え、水分条件を管理するだけでは茎疫病発生を抑えられない可能性が示唆された。このことに関連して、他の疫病菌 (*Phytophthora capsici* 以下 *P.capsici*) について単なる灌水よりも間欠灌水の方が発病を多くするとの報告がなされている (Bowers and Mitchell, 1990)。一方で、土壤乾燥後の降雨により、茎疫病発生の拡大が顕著にみられるという観察も一部では得られている (赤松, Personal Communication)。これらを踏まえると茎疫病発生においては単なる過湿だけでなく、過湿と乾燥の影響が発病に影響する可能性も考えられる。つまり、茎疫病が発生し拡大するには単なる過湿ではなく、土壤の乾湿の変動が重要であるのかもしれない。

また、茎疫病発生に関わる他要因として、圃場間変異調査、圃場内変異調査において共通して、礫 (4 mm 以上の石) が多い箇所で茎疫病発生が多い傾向が得られた。ここで、土壤の礫による植物体への損傷の可能性を考えた。本研究で対象とした丹波地域はダイズ栽培を移植で行うことが多く、移植による苗の損傷は考えられる。損傷部分からの *P.sojae* の侵入が容易になり、感染を招きやすかったのかもしれない。移植時以外にも、培土による損傷も考えられ、生育初期だけでなく生育後期にも茎疫病発生が見られることは、その期間において継続的に行われる培土が影響している可能性も否定できない。実際、植物体への傷が茎疫病発病に重要であることは示唆されている (多田 2021 未発表) が、今後より一層検討を進めていくべき内容である。

一方で、圃場間変異調査、圃場内変異調査の両調査により、共通して全窒素含量、全炭素含量の多いと伝染源ポテンシャルが高いという傾向が得られた。一般的知見として、静菌作用が土壤において働く場合、その土壤は貧栄養であることがある。静菌作用とは、病原菌にとって栄養ストレスが長期にわたる場合には、内在性栄養物質の喪失に伴い、病原菌の発芽力が低下し、病原力を低下させる可能性があることが知られている (百町満朗, 1993)。今回、伝染源ポテンシャルを抑えられている綾部圃場においては、この静菌作用が働き、それに伴い茎疫病発生も抑えられたのではないかと考えた。一方で、これに関連して、圃場間変異調査における栽培調査により、綾部圃場よりも篠山圃場における最長根長が短かった。Tada et al. 2021 によると、菌接種により一見非感染と思われる個体にも感染症状が表れることから、篠山圃場においては綾部圃場よりも菌による感染ダメージを植物体が受ける可能性があると考えた。伝染源ポテンシャルの結果をみても篠山圃場は綾部圃場に比べて高いことが明らかになったため、この可能性を支持する結果となった。

以上、本研究により、土壤の過湿が茎疫病発生の支配的要因ではないことが示唆された。主要因は明らかにならなかったが、関連する要因が示唆された。今後は、茎疫病発生に関わる土壤水分の影響を乾湿変動の面からより詳細に明らかにするとともに、他要因についても幅広く調べる必要がある。

## ダイズ茎疫病発生を助長する栽培要因に関する研究—苗を用いた室内実験

多田光史\*・加藤もも・白岩立彦（京都大学大学院農学研究科）

### 緒言

ダイズ (*Glycine max*) は国内において8割以上は水田転換畑で栽培されているため、降雨が続く場合は土壌の過剰水分にともなう被害(湿害)を受けやすい。湿害には、急激な吸水による子葉損傷に伴う出芽不良や低酸素による根の養水分吸収力の低下、無酸素状態(土壌還元)がもたらす化学障害などがあるが、加えて土壌病害の増加も深刻とされている。

特に土壌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)は防除困難で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、播種前の農薬施用を主とする化学防除か、または茎疫病抵抗性遺伝子を有するダイズ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。持続的防除には畝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。以上より、本研究は茎疫病被害を抑制する栽培条件を解明し、それに基づいた茎疫病的耕種的防除法の確立を目標とする。

しかし、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、あるいは水環境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湛水の効果は限定的であったが(Tada et al., 2021)、その一方で茎疫病発生過程における高湿条件と植物体胚軸の傷の重要性が示唆された。本研究は、生育初期のダイズ胚軸に深さが段階的に異なるような傷処理法を確立するとともに(実験①)、生育初期のダイズ茎疫病発生に及ぼす胚軸の傷の程度、および大気相対湿度の影響について知見を得ること(実験②)を目的とした。

### 実験①生育初期のダイズ胚軸への傷処理法の確立

#### 【材料および方法】

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、播種後7日目に注射針とカッター2種を用いて合計4種類の傷処理を行った(貫通, 傷《大》, 傷《中》, 傷《小》)。傷処理直後の胚軸断面を低真空走査型電子顕微鏡によって観察し、傷《大》, 傷《中》および傷《小》の深さを10個体ずつ測定した。

### 【結果および考察】

傷《大》は深さ約 760  $\mu\text{m}$  であり、その傷は中心柱まで到達していた。傷《中》は深さ約 430  $\mu\text{m}$  であり、その傷は形成層まで到達していた。傷《小》は深さ約 180  $\mu\text{m}$  であり、その傷は皮層まで到達していた。以上より、深さの異なる傷処理法が確立され、それぞれの傷は異なる組織に到達していることが分かった。また、自然に生じた傷にも今回の傷処理と同程度の深さのものがみられた。

## 実験②傷処理と大気相対湿度が茎疫病菌を接種したダイズ幼苗の

### 枯死率・発病率に及ぼす影響

#### 【材料および方法】

茎疫病菌（2 系統供試し、いずれもエンレイに病原性を有する）は CV8 寒天培地を用いて 25°C 暗所で約 2 週間培養した。播種後 7 日目のエンレイ胚軸に、実験①で確立した傷処理（貫通、傷《大》、傷《中》、傷《小》、無傷）を行い、茎疫病菌培養プレートの破砕物を接種した。その後 3 日間高湿区、1 日間高湿区、対照区、1 日間低湿区および 3 日間低湿区の 5 種類の処理区で栽培を行った。接種後 7 日目まで枯死率を毎日調査し、枯死に至らなかった個体を含む発病個体の割合（発病率）は最終日に調査した。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。



茎疫病菌接種直後の様子

#### 【結果および考察】

枯死率は傷が深いほど高くなり、接種後 7 日目における枯死率は貫通の傷で 95~100%、傷《大》では 30~75%、傷《中》では 25~55%、傷《小》では 0~45% となった。無傷ではほとんど枯死個体がみられなかった。傷処理と相対湿度には尤度比検定により有意な交互作用がみられた。傷《大》・傷《中》では非高湿条件（対照区、1 日間低湿区および 3 日間低湿区）において枯死率が 20% 以上、高湿条件（3 日間高湿区および 1 日間高湿区）でさらに高かった。その一方で、傷《小》では非高湿条件ではほとんど枯死しないが高湿条件に



栽培風景

よって約 35%が枯死した。すなわち、傷がある場合に接種により枯死が発生したが、その程度は湿度が低い条件よりも高い条件で顕著になった。発病率についても同様の傾向がみられ、傷《小》であっても高温条件においてはほぼ 100%が発病した。以上の結果は、茎疫病発生過程の中で、伝搬後の感染を可能にする植物体胚軸の傷および関連する条件として大気相対湿度が重要な要因であることを示している。

## 結論

本研究により、生育初期の茎疫病発生には傷と相対湿度が影響することが強く示唆された。今後は、得られた知見を栽培現場の実態に適用できるかどうかを検証していくことで、現場に応用可能な発生抑止技術の開発に繋げたい。

【引用文献】 Tada et al. (2021). *Plant Production Science*, February 12: 1-7.

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



茎疫病菌接種直後における低湿処理区の様子（左端の白い機械が除湿器）



茎疫病菌接種後 7 日目の様子（湿度対照区：左から無傷，傷《大》，《中》，《小》，貫通）