

# 【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

### 2023年度 研究報告会

開催日時：2024年3月17日（日）13:00~16:45

会場：Reimei Hall（京都市左京区吉田神楽岡町）

### 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（2023年度）  
..... 森誠\*・小林正幸（NPO無肥研） 1
2. 長期無施肥無農薬栽培水稻の生育・収量・品質の特徴  
..... 丸田信宏<sup>1\*</sup>・多田光史<sup>1,2</sup>・白岩立彦<sup>1,2</sup>（<sup>1</sup> NPO無肥研・<sup>2</sup> 京大院農） 7
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・収量に及ぼす影響（第3報）  
..... 林政樹<sup>1\*</sup>・丸田信宏<sup>1</sup>・家田善太<sup>1</sup>・森誠<sup>1</sup>・多田光史<sup>1,2</sup>・白岩立彦<sup>1,2</sup>  
（<sup>1</sup> NPO無肥研・<sup>2</sup> 京大院農） 15
4. 多数回中耕除草が無肥料無農薬水田の稲生育と養分動態に及ぼす影響  
転換後5年間の経過 ..... 石黒宗秀（北海道大学名誉教授） 21
5. 長期無施肥無農薬栽培水田における冬期湛水・中干しの有無が水稻の生育および収量に  
及ぼす影響（第2報）  
..... 家田善太<sup>1\*</sup>・林政樹<sup>1</sup>・多田光史<sup>1,2</sup>・白岩立彦<sup>1,2</sup>（<sup>1</sup> NPO無肥研・<sup>2</sup> 京大院農） 24
6. 無施肥無農薬栽培、有機栽培および慣行栽培における茶園病害虫調査（第2報）  
..... 栗田光均<sup>1\*</sup>・多田光史<sup>1,2</sup>・白岩立彦<sup>1,2</sup>（<sup>1</sup> NPO無肥研・<sup>2</sup> 京大院農） 31
7. 茶園の慣行・有機・無施肥無農薬栽培土壌の微生物相  
..... アンドレ・フレイリ・クルス（京都府立大学生命環境科学研究科） 39
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（2023年度）  
..... 下平訓立\*・倉島次郎（NPO無肥研） 40
9. 無施肥条件がダイズ茎疫病発生を低減する可能性  
..... 多田光史<sup>1,2,3\*</sup>・白岩立彦<sup>1,2</sup>（<sup>1</sup> 京大院農・<sup>2</sup> NPO無肥研・<sup>3</sup> 日本学術振興会） 45
10. 経営からみた無施肥無農薬栽培の持続可能性—農業者アンケートを用いた分析—  
..... 上西良廣<sup>1\*</sup>・小林正幸<sup>2</sup>（<sup>1</sup> 九州大学大学院農学研究院・<sup>2</sup> NPO無肥研） 47

# 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（2023年度）

森 誠\* 小林正幸

(NPO 無施肥無農薬栽培調査研究会)

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、無施肥無農薬という独特の条件において生育・収量を左右する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、収量調査の結果と管理法について紹介する。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合計 14 筆の無施肥栽培水田にて行った。それらの水田は慣行栽培から無施肥栽培に切り替えて 2 年目の水田から 35 年間継続している水田など様々である。中には 1951 年以來無施肥無農薬栽培を継続してきた圃場の作土を 2006 年に移設して無施肥栽培を続けている圃場も含まれている。収量は (1) 株刈り法で 14 圃場（収量構成要素を含む）(2) 坪刈り法で 8 圃場のデータを示した。

## 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。

ここでは株刈り法による調査で圃場間の違いおよび品種間の違いを示し、又無施肥栽培開始初年からの収量の経年変化も示した。坪刈り法による調査では経年変化のみを示した。

### (1) 株刈り収量

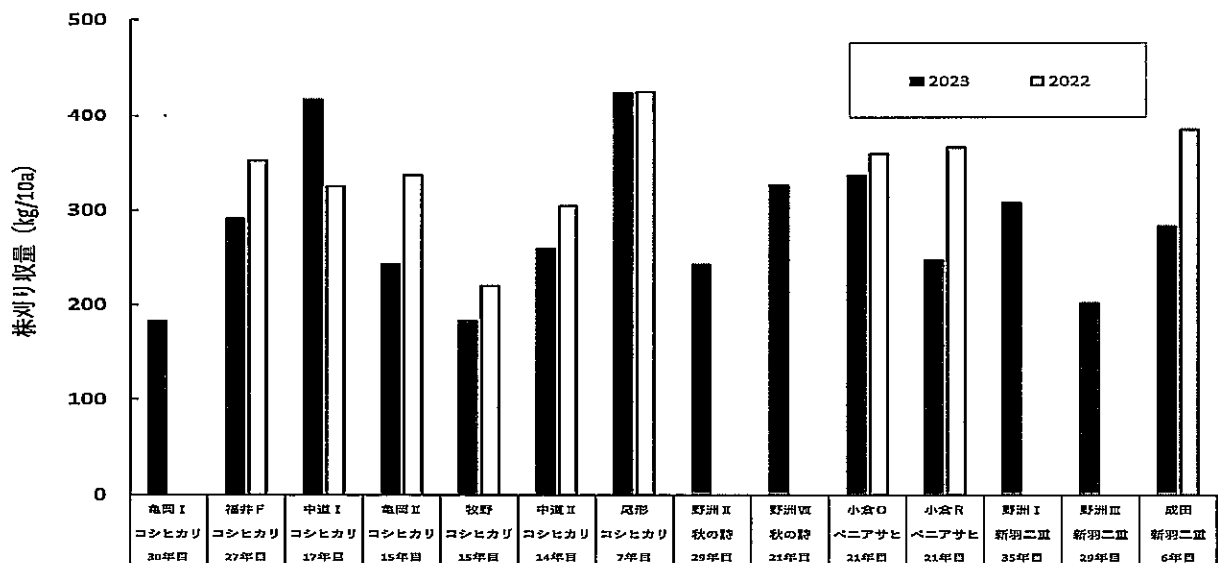


図1 株刈り収量 2023年と2022年収量の比較

表1 株刈り法による収量・収量構成要素および坪刈り収量と全収量(2023)

水田	住所	実施開始年	実施年数	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 (kg/10a)	過去10年間 平均収量 ※2 (kg/10a)	坪刈り 収量 (kg/10a)	全刈収量 (kg/10a)
亀岡I	京都府亀岡市	1994	30	コシヒカリ	518 ±27.7	157 ±8.1	72.6 ±3.2	85.2% ±1.9%	20.4 ±0.1	181.9 ±7.9	167.7	195.8	165.1
福井F	福井県越前市	1997	27	コシヒカリ	853 ±22.1	220 ±7.7	83.9 ±3.5	84.1% ±1.0%	20.9 ±0.1	291.1 ±13.3	356.5	297.1	307.1
中道I	滋賀県野洲市	2007	17	コシヒカリ	1005 ±49.4	264 ±12.9	82.3 ±3.8	93.0% ±0.7%	21.1 ±0.1	416.9 ±24.0	287.3		332.0
亀岡II	京都府亀岡市	2009	15	コシヒカリ	707 ±31.2	199 ±10.0	83.9 ±2.3	84.8% ±1.6%	20.4 ±0.1	242.1 ±14.2	228.3		236.7
牧野	福井県福井市	2009	15	コシヒカリ	593 ±31.0	193 ±11.3	71.5 ±3.4	85.2% ±1.3%	18.8 ±0.1	182.4 ±16.4	175.6		206.1
中道II	滋賀県野洲市	2010	14	コシヒカリ	650 ±38.1	180 ±12.1	85.2 ±2.9	94.0% ±0.2%	21.4 ±0.1	258.9 ±24.3	288.3		252.0
尾形	福井県越前市	2017	7	コシヒカリ	1085 ±53.5	269 ±14.7	88.4 ±3.9	88.4% ±0.5%	20.7 ±0.1	423.3 ±19.0	473.2		393.6
野洲II	滋賀県野洲市	1995	29	秋の詩	770 ±50.6	221 ±13.0	70.7 ±2.9	85.7% ±1.2%	20.8 ±0.1	241.8 ±17.6	301.9	262.0	226.1
野洲III	滋賀県野洲市	2003	21	秋の詩	911 ±57.5	192 ±13.2	84.0 ±2.4	85.5% ±0.8%	22.6 ±0.1	325.4 ±20.3	361.7	363.8	298.0
小倉O	京都府宇治市	2003	21	ベニアサヒ	939 ±45.8	157 ±8.1	87.1 ±4.1	92.4% ±0.8%	22.4 ±0.1	335.5 ±15.3	276.9	348.7	282.8
小倉R	京都府宇治市	2003※1	21	ベニアサヒ	804 ±32.4	127 ±6.3	103.9 ±4.0	91.4% ±0.9%	22.0 ±0.0	246.3 ±14.3	273.0	244.6	255.8
野洲I	滋賀県野洲市	1989	35	新羽二重籾	1025 ±46.5	252 ±10.5	65.1 ±2.4	91.3% ±0.6%	21.7 ±0.1	307.0 ±30.0	248.7	286.5	223.7
野洲III	滋賀県野洲市	1995	29	新羽二重籾	788 ±71.1	227 ±18.5	48.2 ±4.1	85.5% ±4.9%	20.6 ±0.1	201.5 ±35.4	372.7	152.6	126.3
成田	兵庫県豊岡市	2018	6	新羽二重籾	850 ±35.3	214 ±9.6	72.6 ±2.5	91.3% ±0.6%	21.9 ±0.1	282.1 ±28.0	352.9		
平均					822 ±42.3	205 ±11.2	78.5 ±3.2	88.4% ±1.2%	21.1 ±0.1	281.2 ±20.0	297.5	268.9	254.3

※1 2006年に表層土約15cmを鋤取り隣接の畑へ盛土し、鋤取った所へ1951年から実施してきた粟東水田の表層土約15cmを運搬し移設

※2 栽培期間が10年に満たない圃場は栽培年数の平均収量を表した  
平均値±標準誤差

水田の対角線を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6地域の14圃場で栽培された4品種（コシヒカリ、秋の詩、ベニアサヒ、新羽二重）の調査を行った（表1、図1）。

2023年の調査水田（京都府・滋賀県・福井県・兵庫県）の気象概況は、3月上旬から5月下旬までの日平均気温がいずれも平年よりも約2℃高かった。6月中旬から9月下旬までは日平均気温・日最高・日最低気温が平年よりも平均約2℃高かった。梅雨入りが5月29日と昨年より2週間早かった。5月上旬と6月上旬、8月中旬の降水量は平年と比べて多かったが、6月中旬から8月上旬の降水量は平年と比べて少なかった。日照時間は平年と比べて多かった。調査を行った全水田の平均収量は281.2 kg/10aで前年の312.3 kg/10aと比べると10%少なかった。すなわち、2023年は、前年と比べると気温が高く、日照時間も多く、降水量も少なかったことから、高温多照な気

象により収量が低下した可能性が考えられる。

品種別に見てみると、早生品種のコシヒカリの2023年の平均収量は2022年と比べると15%少なく、過去10年間の平均収量と比べて6%少なかった。福井県の直轄水田（福井F）は2022年の収量と比べると17%の減収であった。過去10年間の平均収量と比べても18%減収した。収量構成要素を見てみるとコシヒカリの穂数は2022年値と比べて12%低下しており、登熟歩合が5%、1000粒重が5%低下したが、1穂粒数は2%増えた。無施肥栽培27年目の福井Fは7aと小面積であるが、除草および栽培管理が十分に行われており、安定した収量となっているが、徐々に低下してきている。

中道氏水田Ⅰ・Ⅱ（中道Ⅰ・中道Ⅱ）では中道Ⅰ水田の収量は前年と比べて本年は29%多かった。過去10年の平均収量と比べると45%増加した。中道Ⅱ水田の収量は前年と比べて15%少なかった。過去10年の平均収量と比べて10%低下した。両圃場では、前年度までにみられなかった作業が実施されたので紹介したい。2022年の収穫終了後には、チョッパーで刈り株が粉碎され、中道Ⅰ水田では11月から湛水が行われた。中道Ⅱ水田では本年2月から湛水が行われた。さらにアイガモロボが湛水後すぐに投入され、田植え直前まで湛水状態でアイガモロボが稼働し続けていた。中道Ⅰ水田では5月初旬には藻が大量に発生し、ガスも発生がみられた。中道Ⅱ水田では藻およびガスはみられなかった。そのあと両水田ともに代掻きおよび田植えが行われた。アイガモロボの効果によりトロトロ層が厚く出来、中道Ⅰ水田では初期生育がよく、雑草の発生も少なかった。オーレック社の乗用型水田除草機（WEED MAN）により田植え後30日後に1回除草が行われた。中道Ⅱ水田では雑草は平年と同程度繁茂し、乗用型水田除草機を用いて2回（1回目田植え後10日、2回目は30日後）除草が行われた。中道Ⅰ水田は前年と比べると穂数が12%増、1穂粒数が23%増加した。中道Ⅱ水田は前年と比べると穂数は25%減ったが、1穂粒数は32%増えた。隣接する中道Ⅰ水田とは異なり増収とはならなかった。湛水期間の違いが収量に影響したのか、あるいはアイガモロボの効果によりトロトロ層の増加が収量に影響したのか定かではないが、2024年は中道Ⅱ水田で調査を行う予定である。

牧野氏水田（牧野）の収量は前年と比べて17%少なかった。過去10年の平均収量と比べて2%増加した。前年と比べると穂数が19%低下したが、1穂粒数が3%、登熟歩合が2%増加した。除草が十分に行われたとは言えず、今後さらに除草が十分に行われると収量の増加が期待される。

尾形氏水田（尾形）の収量は前年と比べて同程度であった。過去6年間の平均収量と比べると11%低下した。本年は前作の収穫終了後に秋耕を実施、11月中旬から12月下旬の約1ヶ月間に湛水、落水後は春耕、代掻きが行われた。生育初期の除草が十分に行われた。また収穫前2週間前まで間断湛水が行われた。同圃場では、本年初めて冬期湛水が実施され、前年と変わらない収量となった可能性が考えられる。今後の収量の推移に注目したい。

無肥研直轄圃場の京都府亀岡市にある水田（亀岡Ⅱ）の収量は前年と比べて28%少なかった。過去10年の平均収量と比べると6%増加した。前年と比べて、穂数は17%減、1穂粒数と登熟歩合は7%減であった。本年も例年同様に冬耕（畝立）、春耕、荒代掻き、代掻きを行った。除草は手取り除草2回と機械除草を3回行った。

亀岡Ⅰ水田は過去10年間の平均収量と比べて8%増加した。2008年から2019年まで中生品種

の秋の詩を栽培していたが、周囲の水田は早生品種の作付けが多く、カメムシの被害もみられたので、2020年2021年とコシヒカリの作付けを行ったところ、虫害はみられるが、収量はコシヒカリの方が高かった。2022年は種取りのために秋の詩を栽培したところ、カメムシの被害が多量にみられ低収量になった。2023年はコシヒカリの作付けをした。2021年のコシヒカリと比べると登熟歩合は変わらなかったが、穂数、一穂粒数、1000粒重はそれぞれ17%、17%、5%減であった。

滋賀県野洲市にある野洲Ⅱ、野洲Ⅶ水田では2023年、中生品種の秋の詩を栽培した。2022年、野洲Ⅱ水田は転作のため、畑作を行い、野洲Ⅶ水田は新羽二重糯を作付けした。その2022年は2水田共に雑草が繁茂し、除草に時間を要した。2023年は前年の影響により生育初期に雑草が繁茂し分けつも少なく、稲も貧弱であったが、手取り除草を徹底的に行ったところ、イネの生育が回復し、本年は325 kg/10aの収量になった。

京都府宇治市小倉にある小倉 R、O 水田では晩生品種のベニアサヒが作付けされた。収量は前年と比べて R 水田は31%少なく、O 水田は8%少なかった。過去10年の平均収量と比べると R 水田は10%低下し、O 水田は21%増加した。前年の収量構成要素と比べると R、O 水田共に穂数が R 水田は27%、O 水田は16%低かった。1穂粒数は O 水田は11%低かったが、R 水田は1%高かった。過去10年間と比べると R 水田の1穂粒数は26%高かった。R、O 水田にはジャンボタニシが生息しており、除草は無肥研直轄圃場の中では比較的容易であり、O 水田は機械除草1回、R 水田は機械除草3回行った。本年は R 水田はホシクサが繁茂した。

滋賀県野洲市の野洲Ⅰ、野洲Ⅲ水田と兵庫県豊岡市にある成田氏の水田では新羽二重糯が作付けされた。野洲Ⅰ、野洲Ⅲ水田は前年は転作のため、畑作を行い、夏野菜等が栽培された。両水田共に雑草が繁茂し除草に苦勞した。野洲Ⅲ水田では2021年に早期湛水深水栽培を行い雑草の管理が容易に行えたので、本年も田植え1か月前から湛水し、代掻きを2回行い、田植えをした。深水の管理が上手くいかず、雑草が繁茂し、生育は不良であった。過去10年間の収量と比べると46%低かった。

成田氏水田(成田)の収量は前年と比べて26%低下し、過去5年間の収量と比べると20%低かった。過去5年間の収量構成要素を比べると穂数は20%低下したが、1穂粒数は8%多かった。成田水田は無施肥に切り替えて6年目で、他の水田と違い増減の度合いが少なかったが、本年は26%の減収であった。成田水田は無施肥に切り替える前から冬期湛水を行っていた。

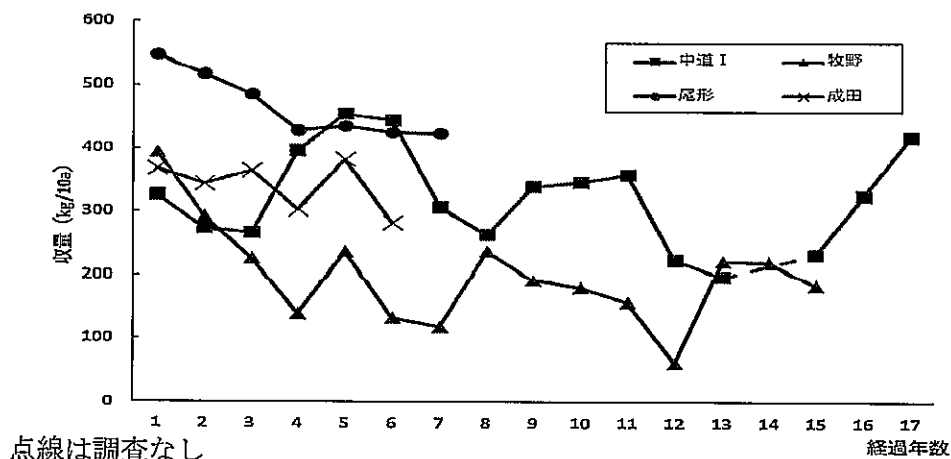
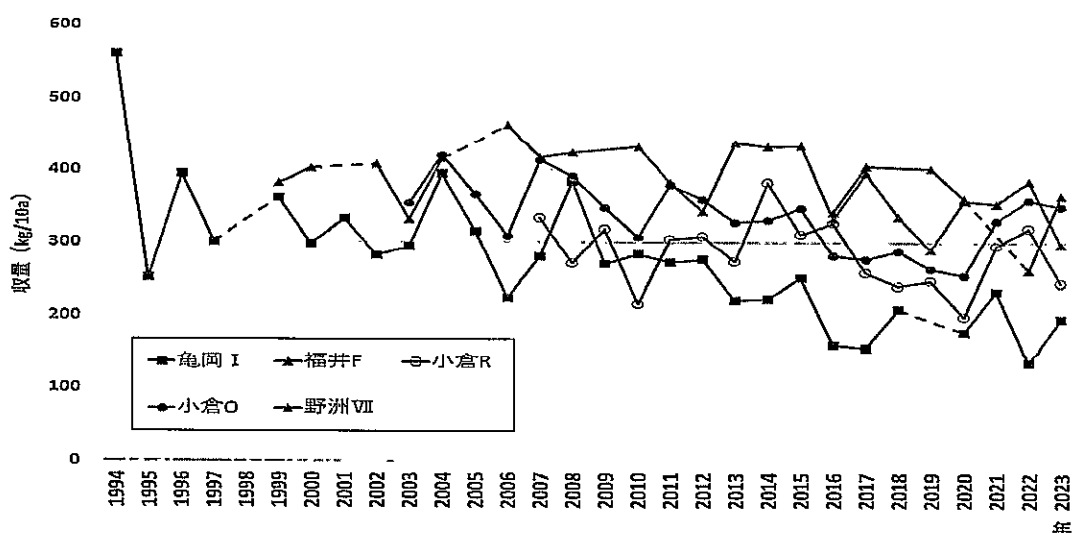


図2 株刈り法の収量の無施肥開始年よりの経年変化

無施肥栽培開始年から調査を行っている4水田の収量の経年変化(図2)をみると、中道I水田は初年から3年迄に収量が減少した後4年、5年目で収量が増加したが、その後増減を繰り返している。本年は17年目になるが冬期湛水とアイガモロボの使用によるトロトロ層の増加、および最新式の機械除草の実施によって収量の増加に繋がっていると考えられた。牧野水田は本年で15年目になるが、初年から雑草管理に苦労され、収量は低下し、無施肥開始12年目に100 kg/10aを下回るようになった。13年目以降深水管理や、多数回中耕除草等に取り組み、収量は回復傾向にある。尾形水田は無施肥栽培に切り替えて7年目になり、収量の低下は見られるが、除草作業は十分に行われ、収量は400 kg/10aを超えている。成田水田は無施肥栽培に切り替えて6年になるが、収量の増減の程度が他の水田と比べると緩やかであったが、本年は26%の減収であった。本年は前年の収穫後冬期湛水をされた水田が4筆あったが、増収した水田と前年並みの収量の水田があった。水田により冬期湛水が収量に及ぼす影響が異なる可能性があり(家田2024)、収穫後の管理がどのような収量に影響を及ぼすのかを注目していきたい。

## (2) 坪刈り収量



亀岡 I・福井 F・野洲 VII の点線は転作時を表す

図3 坪刈り収量の変遷

坪刈り収量の変遷を図3に示した。無肥研直轄圃場の亀岡 I、小倉 OR 水田は収穫時の作業性を考え2016~2020年の5年間は中干しを実施した。その結果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だ様に思われる。また小倉(O,R)水田の収量が特に低下した2010年も中干しを行っていた。中干しを行なわなかった2021年からの3年間の収量は中干しを行った収量より高く推移した。長期無施肥栽培においては中干しを実施しない方が増収する傾向がみられるという報告(家田2022)と符合する。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する可能性がある。

無肥研では2015年迄は水田で苗代を作り、苗づくりを行っていた。2016年からビニールハウス内で苗づくりを行っていた。発芽率や生育の速さ、水管理が容易なために畑苗代による苗づくり

を行っていたが、このことも何らかの影響を及ぼしているかもしれない。このことに留意しながら2024年度調査を行いたい。

### まとめ

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、稲の生育状況に合わせて除草に入ることも必要である。今後も長期間調査を続けることで水管理や除草方法が収量に及ぼす影響の解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

家田善太・白岩立彦 (2022). 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 NPO 無施肥無農薬栽培調査研究会 2021 年度研究報告会 : 20-26

家田善太・林政樹・多田光史・白岩立彦 (2024). 長期無施肥無農薬栽培水田における冬期湛水・中干しの有無が水稻の生育および収量に及ぼす影響 (第2報) NPO 無施肥無農薬栽培調査研究会 2023 年度研究報告会 : 24-30

# 長期無施肥無農薬栽培水稻の生育・収量・品質の特徴

丸田信宏<sup>1\*</sup>・多田光史<sup>1, 2</sup>・白岩立彦<sup>1, 2</sup>

(NPO 無施肥無農薬栽培調査研究会・<sup>2</sup> 京都大学大学院農学研究科)

## 背景および目的

近年、環境に配慮した持続的な農業や健康への関心の高まりから、投入資源の少ない無肥料栽培、環境や人体への負荷の小さい無農薬栽培が少しずつ広がりつつあるが、まだその耕作面積は限定的である。当 NPO が推奨している無施肥無農薬栽培（以下無施肥栽培）をさらに普及させるには、その農法に合った圃場の適切な管理方法を明らかにすることが有益と考えられ、まず慣行栽培と比較して無施肥栽培によって生育される作物の生育特徴を理解することが必要と考えた。しかし、水稻の無施肥栽培と慣行栽培の比較実験は今までも数例あるものの、無施肥栽培期間が単年もしくは2～3年程度と短く、長期間無施肥栽培を継続した圃場での実験例はほとんどない。長期間無施肥栽培を継続することにより、生育、収量および食味は慣行栽培と比較してどの程度になるのかは明らかにされていない部分が多い。そこで NPO が管理している15～31年間無施肥栽培を継続している水田および近隣の慣行栽培田で同じ品種の生育、収量および品質に関する調査を行った。また、無施肥栽培水稻の特徴の一つとして生育末期まで根部は健全かつ生長を継続することを報告している例もあるが(長谷川ら, 1979), 根重や総根長など地下部の詳細をさらに明らかにしていくために、根部においても調査を行った。

## 材料および方法

### 1. 供試水田について

表 1. 供試水田の生育・管理概要

水田	品種	播種日	移植日	最高分蘗期	出穂期	収穫日	管理
野洲95	コシヒカリ (早生・穂数型)	4/9	5/13	7/2頃	7/22頃	9/2	中耕除草機「ミニエース」で除草
野洲慣行				7/8頃	7/22頃		基肥「楽だね15」(N:P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> :K <sub>2</sub> O=28:5:10) 35 kg/10a、田植え後2日目に除草剤「クリンチャー」、11月末土壌改良剤散布
亀岡93	コシヒカリ (早生・穂数型)	4/15	5/21	7/1頃	7/29頃	9/9	中耕除草機「ミニエース」で除草
亀岡09				7/1頃	7/29頃		中耕除草機「ミニエース」で除草
亀岡慣行				7/1頃	7/29頃		基肥「すご稲有機355」(N:P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> :K <sub>2</sub> O=13:5:5) 40 kg/10a、5月末除草剤、8月カメムシ防除を噴霧
小倉03	ベニアサヒ (晩生・穂重型)	4/23	5/28	7/4頃	9/1頃	10/22	中耕除草機「ミニエース」で除草
小倉慣行			6/4	7/8頃	8/30頃		「有機入りセラコートR355」(N:P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> :K <sub>2</sub> O=13:5:5) 45kg/10a、除草剤「エンペラージャンボ」250g/10a、カメムシ防除「キラップ」3kg/10a

無施肥水田の地名の後の数字は無施肥栽培開始年を示す。(例えば亀岡93は1993年開始、亀岡03は2003年開始)



実験は、2023年に滋賀県野洲市、京都府亀岡市、京都府宇治市の3地点、4水田の無肥研管理圃場とそれぞれの近隣慣行栽培圃場で行った(表1)。いずれの無施肥圃場も水田地帯に位置し、15年～30年程度無施肥無農薬栽培を継続しており(圃場の後の数字は無施肥栽培開始年を示す)、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無施肥栽培を行っている(野洲水田は転作のため3年に1度無施肥で畑作を行っているが、他の無施肥水田は継続して水稻栽培を行っている)。それらの圃場では収穫後、刈り株以外は圃場から持ち出し、有機質資材を含め人為的に一切有機物を投入しない全くの無肥料・無農薬条件で栽培を継続している。耕起は1月に冬耕、本田移植約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おり、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

供試品種は野洲、亀岡の5水田でコシヒカリ(早生・穂数型)、小倉の2水田でベニアサヒ(晩生・穂重型)を用いた。それぞれの圃場、もしくは近隣の無施肥栽培圃場で前年まで自家採種を継続している粳種を用い、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/m<sup>2</sup>(株間33cm×条間18cm)。慣行水田にも無施肥で栽培した同様の苗を同じ栽植密度で移植した。無施肥野洲95水田では中干しを4週間程度行い、小倉03水田では中干しは行わず、収穫約2～3週間前まで常時湛水状態を維持した。除草は中耕除草機「ミニエース」(太昭農工機株式会社)で数回行った。慣行水田の管理は栽培者がそれぞれの方法で行い、中干しを行った。収穫後はいずれの稲もビニールハウス内で同じ期間乾燥させた。

## 3. 調査項目

調査は以下の4点について行った。

(1) 生育調査:各水田3区設け、それぞれ連続10株を測定対象とし、本田移植後2週間目頃より、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。

(2) 地上部および根部調査:野洲95水田およびその対照水田で、出穂約2週間前の7/2, 出穂期頃の7/30, 収穫期の9/2の計3回、調査区内で生育測定株とは別の生育中庸な3株を選び、株元の土壌を30cm×30cm×30cm掘り起こして根ごと採取し、地上部および根部の姿を写真で記録するとともに、地上部、根部の乾物重(乾燥は70℃72時間以上行った)を測定し、R/T比(根乾物重を地上部乾物重で割った値)をそれぞれ求めた。予備実験として、収穫日の9/2に無施肥、慣行栽培の生育中庸な1株ずつの根を採取し、根系解析専用の画像処理ソフトウェアWinRHIZO(Regent Instruments Inc. Quebec, Canada, 2022)を用いて直径別の根長を測定した。

(3) 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した。各10株の平均的な穂数の3株について籾数、不稔籾数および精籾重を測定した。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、籾重、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，試験区間の比較には Tukey の多重比較を用いた (Excel アドインソフト「Statcel 4」を用いた)。

(4) 品質評価：1) 玄米の食味値を静岡製機株式会社 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。2) 炊飯米食味値を (株) サタケ食味鑑定団を用いて外観，硬さ，粘りより求めた。

## 結果および考察

### 1. 生育および収量

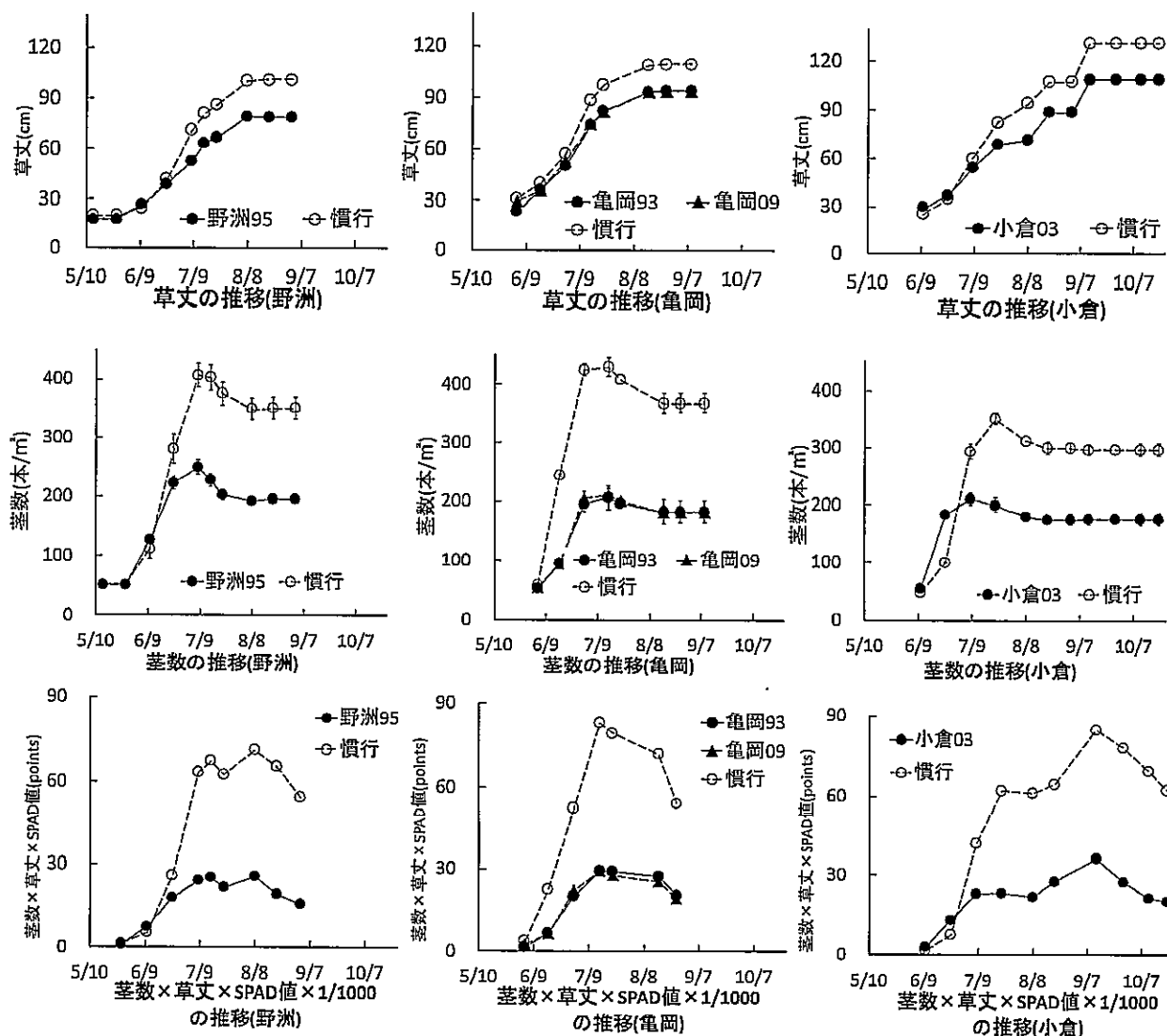


図 1. 生育調査結果

生育調査を行った 3 地点における草丈，茎数，SPAD 値のいずれも，無施肥区は慣行区よりも低く推移した (図 1.SPAD 値は省略)。

草丈の無施肥区と慣行区の差異が大きくなる時期は概ねいずれの地点においても移植 6 週間後頃となった。収穫期における無施肥区の草丈は慣行栽培比約 80%となった。生育調査を行った 3 項目の中で無施肥区と慣行区の差が最も大きかったのは茎数で，無施肥区の最高分葉数は，慣

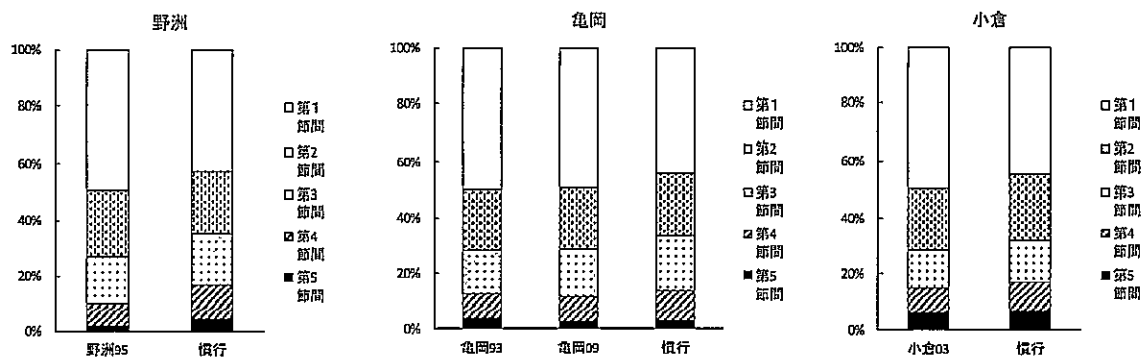


図 2. 節間長割合比較

行区比約 50~60%であり、その割合は収穫期まで概ね同程度で推移した。区間差が確認され始めたのは、いずれの水田においても概ね移植 4 週間~6 週間後であった。水稻の茎葉に吸収された窒素吸収量と相関が高いとされている「茎数×草丈×SPAD 値」を窒素栄養指標値（以下窒素指標値）は、7 月初旬の最高分けつ期以降は無施肥区は慣行区の概ね 30~45%で推移した。時期による値の変動には地点間で違いが認められるが、近隣水田同士では無施肥と慣行栽培はグラフのピークとなる時期は概ね同じとなった。収穫後の節間長の割合を比較したところ、無施肥栽培は慣行栽培に比べて生育後期に伸長する上位節間の割合が大きかった（図 2）。

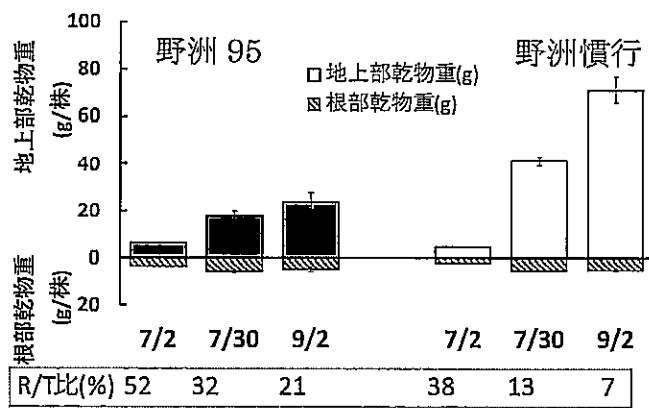


図 3. 地上部および地下部乾物重の推移および R/T 比

地上部および根部調査においては、出穂約 20 日前の 7/2 の調査では、地上部および根部ともに無施肥区と慣行区の重量に大差はなかった（図 3）。目視では無施肥区の株元は細い根が多く発達していた。

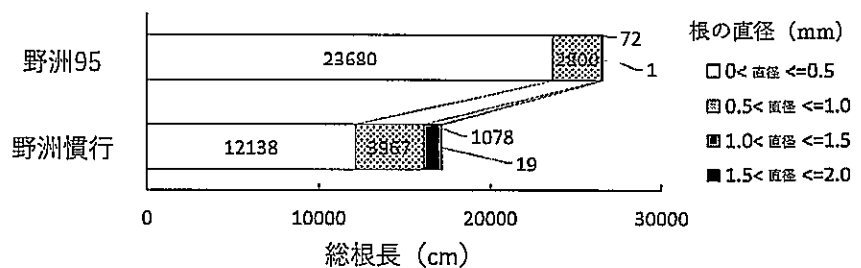


図 4. 根の直径別総根長

R/T 比は有意な差とはならないまでも、無施肥区が上回った。出穂期の 7/30 になると、地上部は慣行区が有意に大きくなったが ( $P < 0.01$ )、根部には栽培法の違いによる大きな差はみられなかった。また R/T 比は無施肥区が有意に高くなった ( $P < 0.05$ )。収穫期の 9/2 には栽培法の違いによる地上部乾物重の差はさらに大きくなったが、根部には顕著な差は認められないままであった。結果的に R/T 比は生育期間を通して、無施肥区が大きかった。

9/2 に採取した稲で行った総根長の測定では、無施肥区が慣行区を上回った（図 4）。無施肥区は直径 0.5 mm 以下の細い根が総根長の約 90%を占めていた。細い根が多いことは 3 回の根部調

査において目視でもある程度確認できた。逆に直径 1 mm 以上の太い根の総根長は慣行区が上回ったが、検査対象が無施肥区、慣行区それぞれ 1 株ずつであったこと、根の表面積や根長密度などは未解明であることから、今後さらなる調査が必要であると考えられる。

表 2. 収量構成要素

水田	全乾物重 (g/株)	穂数 (本/m <sup>2</sup> )	一穂初数 (粒/穂)	登熟歩合 (%)	千粒重 (g)	玄米収量 (g/m <sup>2</sup> )	収穫指数 (%)
野洲95	33.2 ±0.2 d	194.2 ±05.5 c	59.1 ±03.1 c	90.5 ±0.5 abc	20.4 ±00.1 bc	199.4 ±06.3 c	45.8%
野洲慣行	75.3 ±01.9 bc	353.0 ±10.6 ab	78.5 ±02.2 b	94.7 ±0.2 a	20.8 ±00.1 bc	510.3 ±12.0 a	51.2%
亀岡93	43.1 ±02.0 d	182.9 ±07.3 c	87.6 ±02.2 ab	88.0 ±0.4 c	21.2 ±00.0 b	266.6 ±25.4 c	48.5%
亀岡09	41.0 ±01.7 d	181.8 ±07.0 c	88.0 ±02.5 ab	88.9 ±1.2 bc	20.8 ±00.1 bc	269.2 ±08.6 c	50.9%
亀岡慣行	87.9 ±04.2 b	376.0 ±16.5 a	88.5 ±02.1 ab	93.2 ±0.6 ab	20.4 ±00.1 c	548.9 ±22.3 a	51.3%
小倉03	68.8 ±02.2 c	175.1 ±05.3 c	97.6 ±03.0 a	93.9 ±0.8 a	22.2 ±00.1 a	359.9 ±12.1 b	39.3%
小倉慣行	113.3 ±04.7 a	290.1 ±11.0 b	93.3 ±04.9 a	93.0 ±1.3 ab	22.9 ±00.1 a	525.2 ±12.9 a	35.4%

平均土標準誤差 異なる英符号間には 5%水準で有意差があることを示す (Tukey-Kramer 法)

玄米収量は、いずれの地点においても無施肥区の方が低く、無施肥区は慣行区に対して概ね 40%~70%の範囲となり、その割合は水田間に差がみられた (表 2)。無施肥区と慣行区で収量差が最も小さかった地点は小倉であった。重回帰分析より、収量に最も寄与率が高い収量構成要素は穂数 ( $t=12.6$ ) となった。穂数は無施肥区の方が少なく、無施肥区は慣行区比で概ね 50%~60%の範囲となった。その他の収量構成要素には、一定の傾向はみられなかった。

以上の調査結果から、栽培法の違いによる草丈への影響は限定的であったが、竹内ら (1979) も、慣行区は無施肥区に比べての土壤栄養素が著しく多量に存在していたにも関わらず、生育初期において草丈の区間差がある程度限定的であったことをみとめ、生育初期の土壤栄養は草丈の伸長にあまり影響を与えないものとの知見を示しているが、本実験でも同様の傾向が確認できた。生育調査において無施肥区と慣行区で最も大きな違いは茎数の差であったが、その差の程度は品種により違いがみられた。最終的な穂数の栽培法による差は、コシヒカリは野洲で約 159 本/m<sup>2</sup> (対慣行比 55%)、亀岡で 194 本/m<sup>2</sup> (対慣行比 48%)、ベニアサヒで 115 本/m<sup>2</sup> (対慣行比 60%) となった。また窒素指標値の慣行区に対する無施肥区の割合は、最高分けつ期頃は両品種とも 35%程度であったが、出穂 2 週間後頃はコシヒカリで約 37%、ベニアサヒで約 43%となり、ベニアサヒでは無施肥区と慣行区の差は小さくなった。そして収量面においても、無施肥区コシヒカリの対慣行比は 39%と 49%、無施肥区ベニアサヒの対慣行比は 69%となり、ベニアサヒの方が栽培法の違いによる差が小さかった。これらのことから、慣行区に比べて初期生育が緩慢な無施肥区においては、穂数で収量を確保する穂数型品種のコシヒカリよりも生育後期の穂の充実で収量を確保するベニアサヒのような穂重品種の方が収量面では優れていることが示唆された。節間長の割合比較より、生育後期に伸長する上位節間の割合が無施肥区で慣行区よりも大きかったことから、その可能性を示唆する結果だと考えられた。

例年、無施肥田では出穂 2 週間後頃に窒素指標値は最大となるが (2023 亀岡はそうではなかった)、その頃の無施肥区の対慣行区比は、野洲で 36%、亀岡で 38%、小倉で 43%であったが、同収量比はそれぞれ 39%、49%、69%となり、いずれの水田においても窒素指標値の差よりも収量差が小さくなり、その傾向は晩生品種においてより顕著に現れた。このことから、無施肥区水稻は、

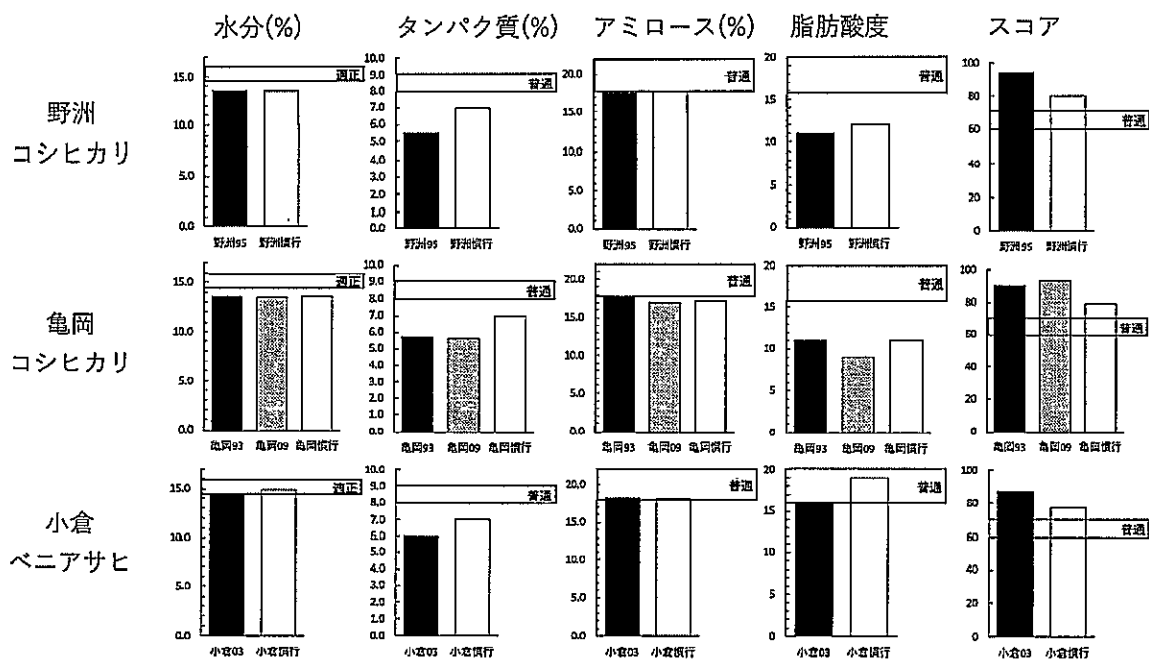
慣行区に比べて茎葉の生長量が劣る割には収量は確保されていた。その一因として無施肥栽培水稻の根部の充実が考えられる。根部に関しては、一般的に無施肥環境で根部が発達すると知られていたり（片野，1990），根部が発達し，深くまで根が伸びることなどが報告されている。また，土壌中のリンが少ないと根毛はより長く密になり，表面積は総根表面積の最大70%を占めることがあることなどを報告している例もある（Lopez-Bucioら，2003）。そのような現象がみられる要因として，土壌養分は無施肥区では慣行区に比べて少なく，根が養分を求めて発達する可能性がある。今回の結果からも無施肥区が慣行区よりも総根長が上回り，その可能性を支持するが，根長の測定は野洲水田でのみ行い，調査対象も両区それぞれ1株ずつのみであったため，根部の形態については今後さらなる調査が必要であると考えられる。限られた養分を少しずつでも長期間吸収できる晩生品種の方が無施肥栽培には適していると考えられた（丸田ら，2020）。また，同水田で別の調査対象になっていた秋の詩（中生品種，収穫日10/1）の玄米推定収量は380.2kg/10aであった。この区はコシヒカリの区に比べて手取りで丁寧に除草されていたという管理の違いもあるが，生育期間の長い品種の方が高収量である可能性を示している。このことは奥村ら（1979）も，栄養生長期における無施肥田と慣行田での生育反応の差は，1株茎数の消長に顕著に現われ，草丈の伸長には現れ難く，穂数型品種よりも穂重型品種が適しているとし，概ね生育期間の長い品種ほど無施肥栽培の方が高くなる傾向が強いと報告している。また片野（1990）は，慣行栽培に比べ相対的に少ない穂数を一穂粒数や千粒重の増大によって補償し，結果として茎葉の生長に対する籾生産効率が増大することを無施肥栽培の生育特性とし，出穂期以降，見違える穂の充実，良好な登熟となり，この生産特性を十分に認識，理解しておくことが，無施肥無農薬栽培水稻栽培を遂行する上で極めて重要であると述べている。今回の実験からは片野が報告しているほどには一穂粒数や千粒重の増大は認められなかったが，ベニアサヒでは過去の知見に近い傾向がみられた。以上より，収量面を考えれば，品種選定は重要で，生育期間が長く，穂重型品種が適していると考えられた。

## 2. 品質評価

3地点の無施肥区と慣行区の玄米食味を比較すると，共通して無施肥区の方が慣行区よりも高スコアであった（図5）。重回帰分析によりスコアに有意（ $p < 0.01$ ）に寄与していたのはタンパク質（ $t = 20.8$ ）であった。脂肪酸度は慣行区と同様かやや低い傾向にあった。コシヒカリは乾燥し過ぎたために水分量が適正值よりも低くなったにもかかわらず，高いスコアとなった。

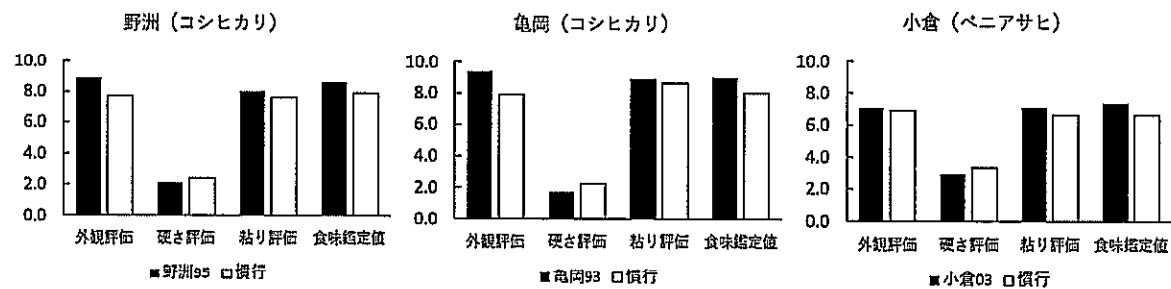
炊飯米食味分析では，無施肥米は慣行米より外観，粘りで優り，柔らかいという結果となった（図6）。3地点の水田で共通して無施肥米の食味鑑定値は慣行米のそれより高かった。良食味であるということは，消費者へのアピールポイントの一つと言える。

以上の結果より，無施肥米は慣行米より品質において優れているという結果となった。玄米食味分析より，無施肥米と慣行米の最も大きな違いはタンパク質含量であり，それが実験を行った3地点で共通していたことから，無施肥栽培米の特徴の一つとして低タンパクであると考えられた。同様の調査結果は奥村（2003）も報告している。精白米のタンパク質含量が多くなると食味が低下することは古くから知られており，玄米中の窒素含量の多い物は食味評価値が低下し，実



図内の適正值等は製造メーカーが示す指標値

図 5. 玄米食味分析結果



食味鑑定値は 1/10 の値

図 6. 炊飯米食味分析結果

肥期の窒素施用が玄米中の窒素含量を増加させる（渋谷，1991）という過去の知見と今回の実験で無施肥米のスコアが高いことは一致しており，これらの指摘がより明確となった。

炊飯米食味分析の測定に使用した機器は官能検査の総合評価値と高い相関関係があるとの報告がある（三上，2009）。また，鑑定を依頼した佐々木氏によると同機では品種により高スコアのもの，そうでないものがあるとのことで，品種の特性が結果に表れるといえる。コシヒカリがベニアサヒよりもスコアが高い結果となったことは，品種の特性のためだと考えられた。無施肥米は慣行米よりも柔らかく，粘りが強い結果となったが，山下ら（1974）は窒素施肥の食味に及ぼす影響は，タンパク質含量の増大に伴って炊飯の粘性，弾性の低下と硬さの増加を招き食味の低下の原因になると報告しており，このことは 2023 年玄米食味分析の結果より，無施肥米のタンパク質含量が少ない結果とも矛盾していない。炊飯米の粘りや硬さは，米の 80%をしめるデンプンの影響を大きく受け，デンプンはアミロースと，アミロペクチンという 2 種類の成分からなり，アミロースはご飯を硬くし，アミロペクチンは強い粘りを出す（農研機構 2014）ことや，玄

米の Mg/K 比が高い方が粘りは高くなる（堀野ら，1983. 玉置ら，1995）との報告もあり，アミロース含量や Mg/K 比との関わりを調べるのが今後の課題となる。

## 結論

無施肥栽培の茎数は慣行栽培と比べて 50～60%，窒素吸収量は 30～45%程度であった。同じく収量は 39～69%であったが，品種により差があり，晩生品種ほど慣行栽培との差が小さかった。これらのことから，穂重型で生育期間の長い品種が収量面においては無施肥栽培に向いていると考えられた。根部乾物重は施肥の有無には大きな差がない一方で，無施肥栽培では細根が多く，総根長は無施肥栽培が慣行栽培を上回ることが示唆されたが，個体数が少なかったこと，根の表面積や根長密度などは未解明であることから，今後の調査が必要である。

品質評価から，玄米および炊飯米ともに無施肥栽培のスコアが慣行栽培を上回った。玄米食味評価より，無施肥米はタンパク質が少なかった。炊飯米評価より，無施肥米の方が柔らかく，粘りが強かったが，それは無施肥米のタンパク質含量が少ないことによるものと考えられ，過去の知見とも一致した。

## 引用文献

- 堀野俊郎・原城隆・阿江教治 1983. イネ科穀物のリン，カリウム，マグネシウム含量とそのバランス 日本作物学会紀要 52 (4) : 461-467
- Jose Lopez-Bucio, Alfredo Cruz-Ramirez and Luis Herrera-Estrella 2003 The role of nutrient availability in regulating root architecture *Current Opinion in Plant Biology*, 6:280-287
- 片野学 1990. 自然農法のイネづくり 東京:社団法人 農山漁村文化協会:101-103, 112-115
- 三上隆司 2009 米の食味品質評価装置の開発 日本食品工業会誌 Vol.10 No.4, pp191-197
- 農研機構 2014. 中央農業研究センター 北陸研究拠点 作物開発研究領域 育種素材開発・評価グループ (米品質担当) <https://www.naro.affrc.go.jp/org/narc/ricequalitylab/research.html>
- 奥村俊勝 2003. 無施肥栽培を続ける間に水田の窒素養分供給力 (地力) は漸減するのか? NPO 無施肥無農薬栽培調査研究会平成 14 年度研究報告会:1-4
- 奥村俊勝・長谷川浩・竹内史郎 1979. 無施肥田と施肥田における水稻品種の生育反応の差異. 近畿大学農学部 紀要 12:142-147
- 渋谷政夫 1991. 施肥と米の食味 食生活総合研究会誌 Vol.2 No.2
- 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の差異. 近畿大学農学部紀要 12:135-140
- 玉置雅彦・吉松敬祐・堀野俊郎 1995. 水稻有機農法実施年数と米のアミログラム特性値およびミネラル含量との関係 日本作物学会紀要 64 (4) : 677-681
- 山下鏡一・藤本堯夫 1974. 肥料と米の品質に関する研究(2) 東北農業試験場研究報告 48: 65-79

# 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・収量に及ぼす影響（第3報）

林政樹<sup>1\*</sup>・丸田信宏<sup>1</sup>・家田善太<sup>1</sup>・森誠<sup>1</sup>・多田光史<sup>1, 2</sup>・白岩立彦<sup>1, 2</sup>  
(<sup>1</sup>NPO 無施肥無農薬栽培調査研究会・<sup>2</sup>京都大学大学院農学研究科)

## 【背景および目的】

慣行栽培・有機栽培・無施肥無農薬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。殊に有機物を含めて人為的に肥料を投入せず、除草剤などを用いない無施肥無農薬栽培（無施肥栽培）においては雑草管理は重要であると考えられる。

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壌の養分を奪う雑草を除去するという利点とともに、土壌の攪拌により土壌の表層で固定された窒素を微生物体として土中に取り込み、分解させる効果があることを認め、増収につながることを指摘している（粕淵・荒生 2021）。しかし、より長期間継続された圃場や他の地域、品種での報告はない。そこで、10年以上の長期間、無施肥栽培を継続し、収穫後稲わらも水田から持ち出している京都府の圃場（NPO 無肥研）において、長期無施肥栽培における効果的な中耕除草回数を明らかにすることを目的として、2021年より調査を行っている。

2021年は、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、品質を調査したところ、2回除草区の収量が高かった。6回除草区では除草の効果はある程度認められたものの、除草の強度が強すぎたため、稲の生育抑制につながったことが示唆された。

そこで2022年は、除草の強度を2021年よりも小さくした。すなわち除草機の1回当りの走行を2度（同じ場所を往復）から1度（片道のみ）に減じた。

その結果、3水田ともに除草回数が多いほど水稻の生育が優れ・収量が高かった。加えて単位面積で生産される水稻と雑草の乾物重の和（総植物乾物重）も同様の傾向が確認された。これらのことから、中耕除草による除草効果とともに土壌攪拌により植物生産量が増加したことも示唆された。除草の強度が2021年と2022年では異なるため、生育・収量結果は処理による同様の結果は確認されなかった。そこで2023年は中耕除草効果の再現性を確認するために、2022年と同じ処理を行い調査を行った。

## 【材料および方法】

### 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（亀岡1水田、亀岡2水田）、京都府宇治市小倉の1水田（小倉水田）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おり，上流にある水田からの排水は入っていない。

表1. 供試水田の概要

水田名	場所	環境	土壌分類	水源	無施肥栽培開始
亀岡1水田	京都府亀岡市	盆地	灰色低地土	貯水池および井戸	1993
亀岡2水田	京都府亀岡市	盆地	灰色低地土	貯水池および井戸	2009
小倉水田	京都府宇治市小倉	干拓地	強グライ土	宇治川	2003*

土壌分類は農業環境技術研究所「土壌情報閲覧システム」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

無施肥栽培を実施してきた粟東水田の表層土約15cmを運搬し移設

## 2. 供試品種と栽培概要

供試品種は，コシヒカリ（亀岡1水田，亀岡2水田）とベニアサヒ（小倉水田）を用いた。籾種はそれぞれの圃場，もしくは近隣の無施肥無農薬栽培圃場で前年に収穫した籾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/m<sup>2</sup>（株間18cm×条間33cm）。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（太昭農工機製 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2022年と同様に1度ずつ走行した（2021年は同じ場所を往復して除草した）。各圃場に除草回数違う3区（0回区，2回区，6回区。）をそれぞれ3反復ずつ設置した。それぞれの除草日は表2の通りである。中耕除草期間は，幼穂形成期にはいる移植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。また各反復に，生育調査とは別に雑草採取区を設けた。

表2. 各水田における試験区ごとの除草日

亀岡1水田，亀岡2水田				小倉水田			
除草日	0回	2回	6回	除草日	0回	2回	6回
5/27			+6	6/5			+8
6/4			+14	6/13			+16
6/11		+21	+21	6/20		+23	+23
6/17			+27	6/27			+30
6/25			+35	7/4			+37
7/1		+41	+41	7/11		+44	+44

各3反復。数字は移植後日数  
雑草採取日は7/9，9/9～10

各3反復。数字は移植後日数  
雑草採取日は7/17，10/21

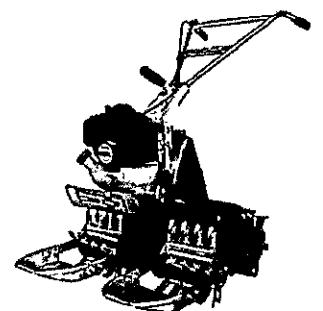


図1. 小型管理機ミニエース

#### 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。
- ②雑草調査：雑草の発生程度観察および雑草採取は，6 回目除草約 1 週間後と収穫日もしくはその前日にそれぞれ行った。両日とも 1 m<sup>2</sup>からの雑草を採取し乾物重を測定するとともに，写真で状況を撮影した。1 回目の雑草採取では根部を含む重量を，2 回目（収穫日）では地上部の重量をそれぞれ求めた。
- ③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した。各 10 株の平均的な穂数の 3 株について籾数，不稔籾数および精籾重を測定した。区ごとに粗玄米重，玄米重（粒径 1.8 mm 以上の玄米），20 g 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，籾重，粗玄米重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。

#### 【調査結果および考察】

##### 1. 雑草量および種類

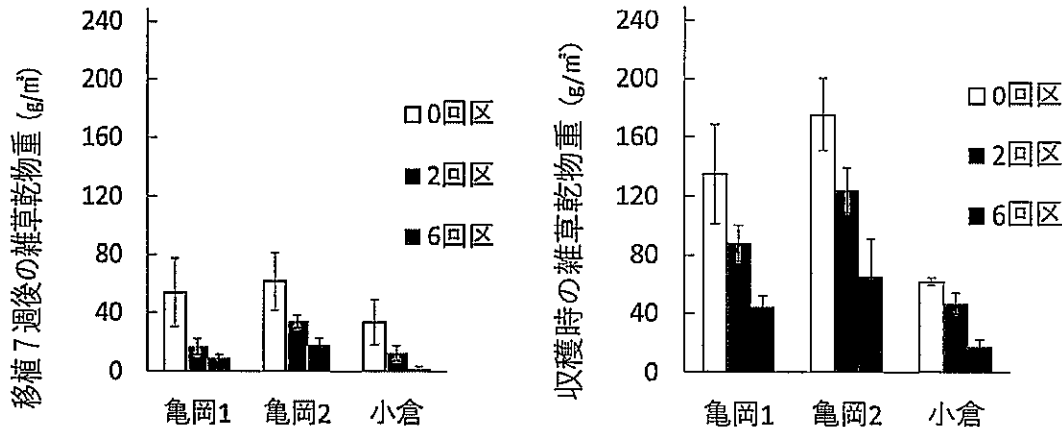


図 2. 各水田における試験区ごとの除草

雑草乾物重はいずれの水田においても，移植 7 週目、収穫時共に除草回数が多いほど少なくなった（図 2）。このことより，除草は適切に行われていたと考えられた。雑草の種類は，亀岡 1，亀岡 2 水田ではコナギ、ホタルイが，小倉水田ではホシクサが主であった。小倉水田の雑草量が亀岡 1，亀岡 2 水田に比べて少なかったのは，例年のように小倉水田内に生息するジャンボタニシが雑草を食すことも要因の一つだと考えられた。ジャンボタニシは稲を食すこともあるが，2023 年の調査区内はほとんどそれらの害は確認されなかった。

小倉水田での茎数，茎数×草丈×SPAD 値の処理区間差が亀岡 1 水田、亀岡 2 水田に比べて小さかったのは雑草量が水田全体で少なかったことが要因であると考えられ，さらに亀岡 1 水田，

亀岡2水田の主な雑草が窒素養分を多く取奪すると言われているコナギであることから、雑草の種類の違いも要因の一つだと考えられた。

## 2. 生育調査

亀岡1水田、亀岡2水田においては2022年同様、除草回数が多いほど最高分げつ期が遅い傾向がみられたが、小倉水田においては除草回数の違いによる時期の差はみられなかった。

2022年では生育調査3項目において茎数が最も処理区間差がはっきりと表れ、亀岡1水田、亀岡2水田では6回除草区が他の区よりも最高分げつ期頃から20%程度多く推移した。2023年は2022年程の差はみられなかったものの、おおよそ2022年同様移植6~8週間後あたりより6回区、2回区、0回区の順に高く推移した。除草回数が多いほど茎数が多く推移し、無効分げつも少なかったことから、除草回数が多いほど水稻の生育が良好であったと考えた。

N吸収の大小を反映する指標として求めた茎数×草丈×SPAD値においても、2022年同様いずれの水田、処理区とも出穂期（亀岡1、亀岡2水田：7/29頃、小倉水田：9/1頃）前後の値が最も高く、処理区間差もその頃が最も大きかった。いずれの水田でも移植後5~7週間後以降は概ね除草回数が多いほど高く推移し、中耕除草により適切に雑草処理が行われた、もしくは土壌攪拌による養分供給が行われた、あるいはその両方により水稻の生育に好影響を与えたと考えた。

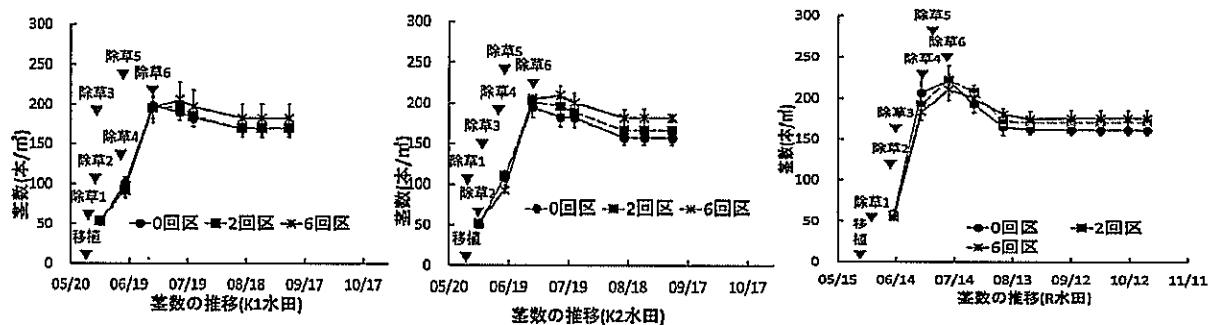


図3. 各水田の茎数の推移

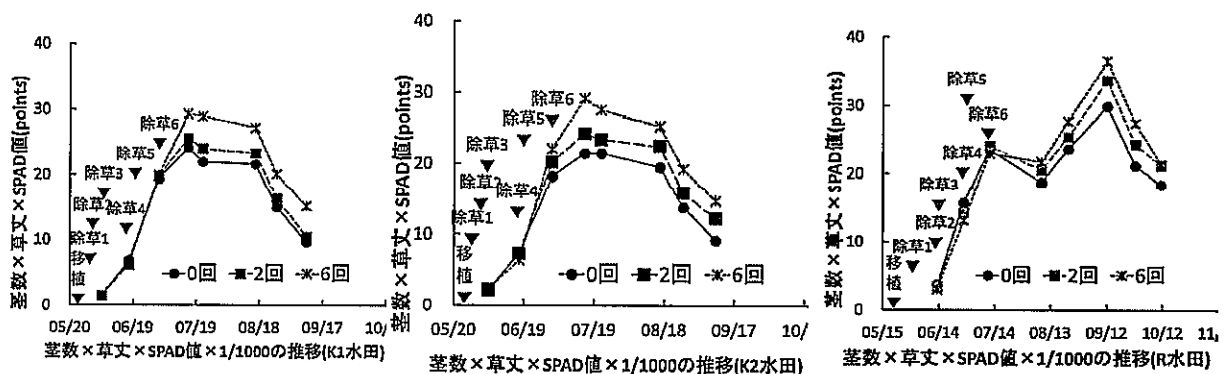


図4. 各水田の茎数×草丈×SPAD値の推移

## 3. 収量および収量構成要素

玄米収量は2022年同様、3水田とも除草回数が多いほど高い傾向があり、0回区と6回区の間には有意差を確認した(表3)。

収量構成要素でも2022年同様、概ね除草回数が多いほど、全乾物重、穂数、収量は高い傾向があった。一穂粒数・登熟歩合・千粒重には処理の違いによる一定の傾向は2022年同様確認できなかった。生育調査の茎数×草丈×SPAD値は、それが最高値を示した頃の(亀岡1, 亀岡2水田: 7/15頃, 小倉水田: 9/12頃)値で比較すると0回除草区に対する6回除草区の値が亀岡1水田が121%, 亀岡2水田が135%, 小倉水田が(9/12)121%であったが、同区の収量比は亀岡1水田で123%, 亀岡2水田で142%, 小倉水田で150%となった。

表3. 収量構成要素

水田	除草回数	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)	玄米収量(g/m <sup>2</sup> )
亀岡1	0回区	35.1	168.4	75.2	87.3	20.5	215.8
	2回区	39.9	171.7	82.9	88.2	20.7	248.8
	6回区	43.1	182.9	87.9	88.0	21.2	266.6
亀岡2	0回区	30.3	157.1	74.7	88.5	20.3	188.6
	2回区	35.9	167.8	88.9	86.1	20.7	221.4
	6回区	41.0	181.8	87.5	89.0	20.8	269.2
小倉	0回区	58.5	161.6	86.7	93.9	22.1	239.6
	2回区	63.8	170.0	94.1	94.3	22.0	305.7
	6回区	68.8	175.1	98.1	93.9	22.2	359.9
水田	亀岡1	39.4 b	174.3 a	82.0 b	87.9 a	20.8 b	243.7 ab
	亀岡2	35.7 b	168.9 a	83.7 b	87.9 a	20.6 b	226.4 b
	小倉	63.7 a	168.9 a	93.0 a	94.0 a	22.1 a	301.7 a
除草回数区	0回区	41.3 B	162.4 A	78.9 B	89.9 A	21.0 B	214.7 B
	2回区	46.5 AB	169.8 A	88.6 A	89.6 A	21.1 AB	258.6 AB
	6回区	51.0 A	179.9 A	91.1 A	90.3 A	21.4 A	298.6 A
水田	***	N. S.	***	N. S.	***	**	
除草回数	**	N. S.	***	N. S.	**	***	
水田×除草回数	N. S.	N. S.	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間には、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

#### 4. 総植物乾物重

雑草乾物重測定を行った各水田の調査区の収穫時の雑草地上部乾物重は、3水田いずれにおいても移植7週後、収穫時のいずれも除草回数が多いほど雑草乾物重は小さくなった(図2および図5)。

また、同区の藁乾物重および籾重は、2022年同様、どちらも除草回数が多くなるほど重くなる傾向がみられた。

さらに、雑草地上部乾物重と水稻地上部乾物重を合計した単位面積当たりの総植物乾物重は、程度に違いはあるもののいずれの圃場においても概ね除草回数が多いほど重くなる傾向がみられた。これらのことから、中耕除草による雑草効果だけでなく、土壌攪拌により土壌の植物生産量が高くなったと考えた。よって、多数回中耕除草を行うことにより、無施肥栽培下で水稻生産量を上げる

ことができると考えられた。

また、本実験では除草回数の違いによる総植物乾物重の差には水田間に違いがみられた。これは各圃場の土壌養分や微生物の違いが影響している可能性もあり、今後の研究課題である。

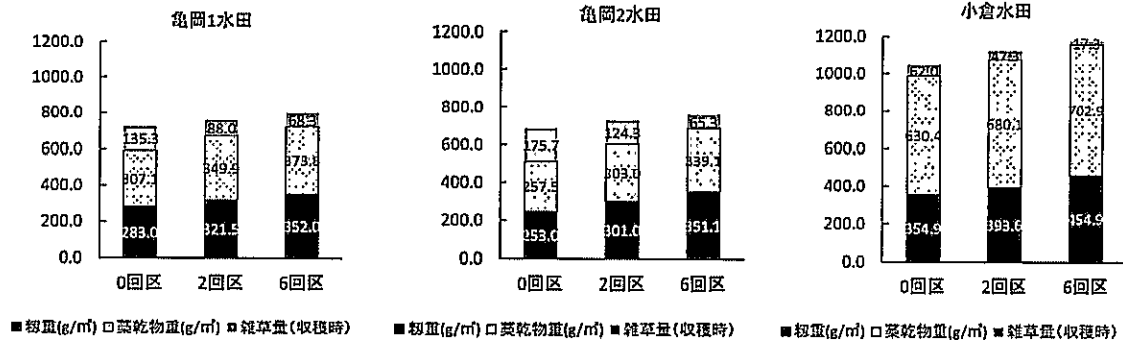


図5. 1 m<sup>2</sup>あたりの総植物乾物重（籾重、葉乾物重、雑草乾物重）

### 【結論】

本研究においては調査を行った3水田ともに2022年同様、概ね除草回数が多いほど水稻の生育が優れ収量が高く、単位面積で生産される水稻と雑草乾物重の総量も同様の傾向が確認された。よって2022年同様、中耕除草による除草効果とともに土壌攪拌により植物生産量の増加も示唆された。

### 【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. : 岩手大学大学院連合農学研究科生物生産科学専攻 (山形大学) 博士論文 (未公刊)
- 粕渕辰昭・荒生秀紀 2021. 自然との共生をめざすコメ作り—江戸時代に学ぶ新農相—. 新農書 118-120

# 多数回中耕除草が無肥料無農薬水田の稲生育と養分動態に及ぼす影響 転換後5年間の経過

石黒 宗秀（北海道大学名誉教授）

## 1. はじめに

水田作において、多数回の中耕除草が高収量をもたらすことは、江戸時代の農書に多数記述されている(粕淵ら 2016)。熊本県天草郡新和町において、多数回中耕除草法の無肥料無農薬水田の収量が、慣行農法の町平均単収を常に上回る好成績を記録しており(片野 1990)、また、粕淵ら(2019)は、山形大学農場において無肥料無農薬水田の多数回中耕除草法が慣行農法の収量と同等であることを実証している。本研究では、無肥料無農薬に転換後5年間の稲の生育と養分動態の経過を調査し、多数回中耕除草が稲の生育と養分動態に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。

## 2. 調査方法

北海道大学北方生物圏フィールド科学センター生物生産農場（札幌市北区）水田を調査圃場にした。無肥料無農薬栽培で、中耕除草の影響を調査するため、中耕除草5回区（T5）、2回区（T2）、0回区（T0）を設定した。25m×40m（10a）の水田圃場を9プロットに分割し、各回区3プロットずつをランダム配置した。中耕除草は、田植え数日後から約40日後までの間に行った。無肥料無農薬転換前の3年間は、稲作期間中無栽培湛水で除草剤のみを散布していた。それ以前は慣行栽培であった。2018年に転換し、2022年までの5年間調査した。比較のため、慣行栽培の水田圃場（25m×20m）も慣行区（CF）として調査を行ったが、土壌環境・日照条件の異なる圃場であるため、参考とした。最終年（2022年）は、慣行区として中耕除草調査圃場内に1.5m×1.5mの小プロットを3か所設置した。中耕除草区・慣行区とも、収穫後稲わらを全て圃場に散布した。稲品種は、ななつぼしを用いた。

単収は、各プロット2か所で坪刈り法により測定した。分けつ数、草丈、収量構成要素を、各プロットの10株の定点測定で調査した。稲と雑草の乾物質量、窒素量、稲のP量、K量を測定した。栽培期間中、土壌と土壌溶液を採取し、土壌の交換性NH<sub>4</sub>-N、有効態リン酸、交換性カリ、交換性苦土、土壌溶液の全N、NH<sub>4</sub>-N、PO<sub>4</sub>-P、K濃度を測定した。

## 2. 調査結果と考察

無肥料無農薬栽培に転換後5年間（2018～2022年）の玄米収量を図1に示す。中耕除草区の収量は、初年目（531～566 g/m<sup>2</sup>）に石狩地区平均（497 g/m<sup>2</sup>）を上回った後、2年目（220～272 g/m<sup>2</sup>）に大幅低下したが、中耕回数が増加するほどその後の収量（5回区；3年目 354 g/m<sup>2</sup>、4年目 301 g/m<sup>2</sup>、5年目 415 g/m<sup>2</sup>）が増加傾向を示した。1～2年目は、中耕除草回数が収量に及ぼす影響は認められなかった。また、5年間を通して、中耕除草回数が収量構成要素に及ぼす有意な差は、0回区と5回区の間で1000粒重意外には認められなかったものの、収量には図1に示す有意差が3年目以降認められた。稲の窒素吸収量は、中耕回数が増加するに従い増加

する傾向が認められた。中耕除草 5 回区における転換 5 年目の籾数 (58.1 個/穂) は北海道における種平均値 (54.8 個/穂) より大きく、1000 粒重 (21.5g) は種平均値 (22.4g) より若干小さく、穂数 (334 本/m<sup>2</sup>) は種平均値 (563 本/m<sup>2</sup>) より小さかった。5 回区収量 (415 g/m<sup>2</sup>) が同圃場の慣行区の収量 (510g/m<sup>2</sup>) に及ばなかったが、有意差はなかった。子の収量差は、主に生育初期の分けつ数が少なく穂数が少なくなったためと考えられる。

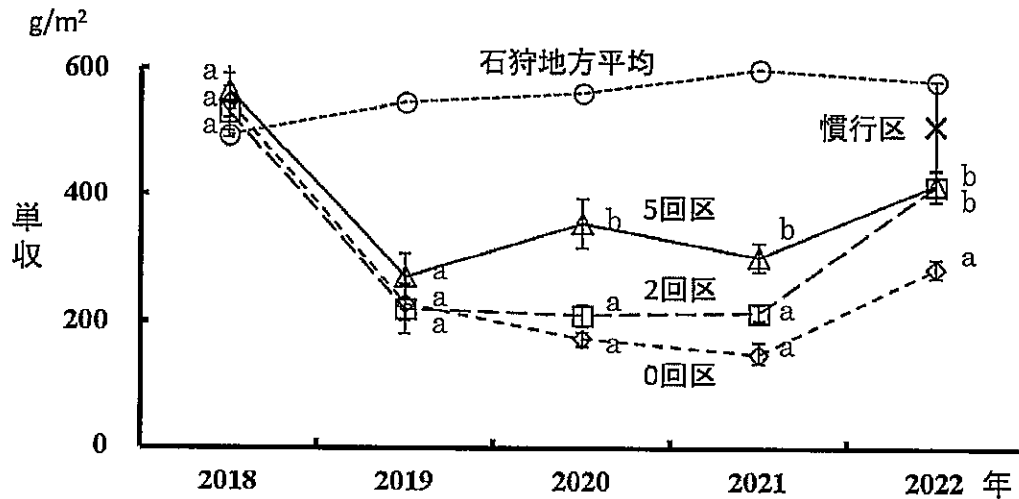


図1 無肥料無農薬栽培に転換後5年間の玄米収量(坪刈り法)の推移。エラーバーは標準誤差を表し、異なるアルファベットはTukey-Kramer法による多重比較の結果有意水準5%で有意に異なることを示す。

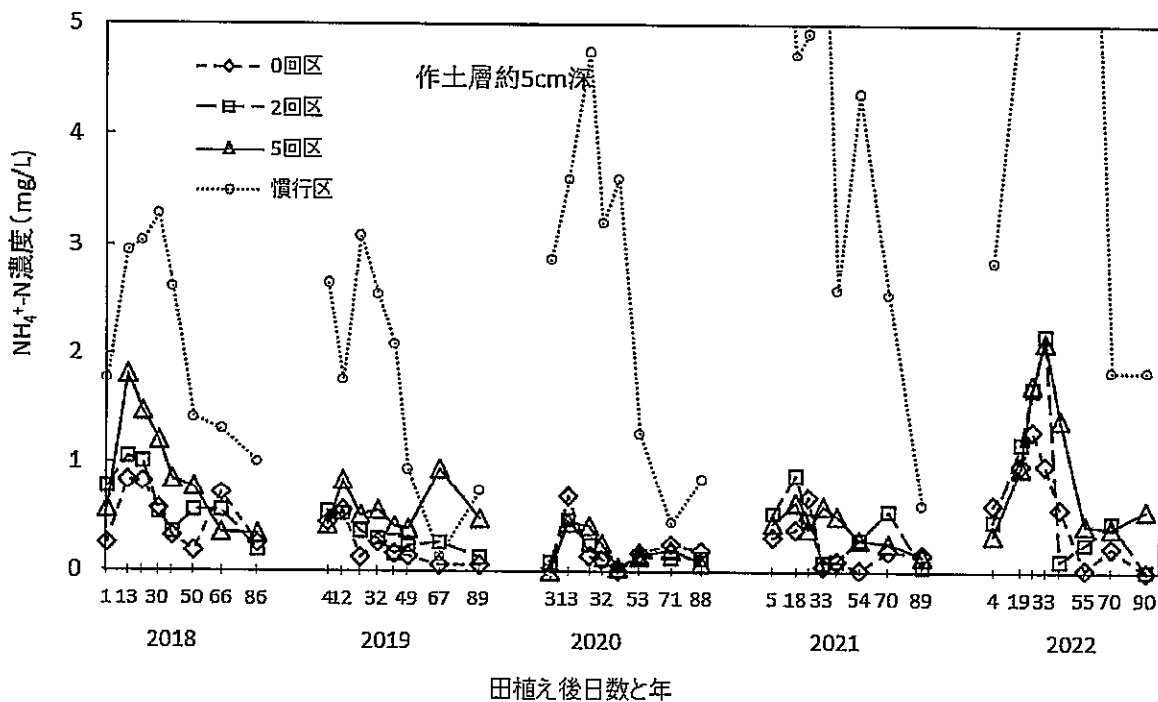


図2 無肥料無農薬栽培に転換後5年間の作土溶液のNH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N濃度の推移

作付期間中の作土中 5cm 深前後から採取した土壤溶液中の  $\text{NH}_4\text{-N}$  濃度の 5 年間の推移を図 2 に示す。中耕除草区の濃度は、初年目が相対的に高く、2 年目から 3 年目まで減少した後 4 年目以降増加し、5 年目は、初年目と同程度に回復した。また、中耕回数が多くなるほど濃度が高くなる傾向にあった。作土中の交換性  $\text{NH}_4$  量の値も同様の傾向を示したが、中耕除草回数の違いは認められなかった。 $\text{NH}_4\text{-N}$  濃度や交換性  $\text{NH}_4$  量の回復と収量の増加傾向から、無農薬無肥料栽培においても、稲わら還元と多数回中耕除草で地力が回復する傾向にあることが分かった。圃場条件の異なる慣行区の  $\text{NH}_4\text{-N}$  濃度は、化学肥料の影響で中耕除草区と比較して高濃度を維持した。経年的に増加しているのは、稲わらを施用した影響が大きいと考えられる。調査地の札幌市は冷涼な気候であり、中耕除草区で増収を図るためには、生育初期の  $\text{NH}_4\text{-N}$  濃度を増加させ、分けつ数を増やす必要があると考えられる。

土壤溶液中の  $\text{PO}_4\text{-P}$  濃度の 5 年間のデータを比較したところ、慣行区、中耕除草各区で相違が認められなかった。また、土壤中の有効態リン酸、交換性カリ、交換性苦土は、北海道の基準値をほぼ維持していた。P は、転換前の慣行栽培期間における施肥による蓄積があり、K は、土壤中からの溶出や灌漑水からの供給があるため、無肥料でも不足しなかったと考えられる。

無農薬無肥料の稲わら還元と多数回中耕除草を 5 年間継続した調査結果から、水田の地力が回復する傾向にあることが分かった。5 年目の収量は、慣行栽培の収量に及ばなかったが、栽培初期の  $\text{NH}_4\text{-N}$  濃度を増加させることで今後の収量増が期待できる。栽培の継続、あるいは中耕強度の増加で増収が可能か、冷涼な気候が収量制限要因でこれ以上の収量増は望めないかどうかは、今後の調査が必要である。

## 引用文献

- 粕渕辰昭, 荒生秀紀, 安田弘法 (2016) 江戸時代の農書における水田の多数回中耕除草とその効果, 土壌の物理性, 132:55-59.
- 粕渕辰昭, 荒生秀紀, 安田弘法 (2019) 肥料や農薬に依存した現代農業への警鐘: 江戸時代に開発された水田の多数回中耕除草法が意味するもの, 土壌の物理性, 141:65-69.
- 片野学 (1990) 自然農法のイネづくり, 農文協, 196-197.
- Zhiduo Zhou, Munehide Ishiguro, Junichi Kashiwagi, Hajime Araki, Peiyang Zhou, Vanhkhamb Soluttanavong (2023) Effect of inter-tillage weeding on rice yield, rice growth, and nutrient dynamics without agrochemical and fertilizer application: Results of a three-year study. *Soil and Tillage Research*, 232, 105766



# 長期無施肥無農薬栽培水田における冬期湛水・中干しの有無が水稻の生育および収量に及ぼす影響（第2報）

家田善太<sup>1\*</sup>・林政樹<sup>1</sup>・多田光史<sup>1, 2</sup>・白岩立彦<sup>1, 2</sup>

(<sup>1</sup>NPO 無施肥無農薬栽培調査研究会・<sup>2</sup>京都大学大学院農学研究科)

## 1. 緒言

無施肥無農薬栽培（以下、無施肥栽培）とは化学肥料、農薬はもとより、有機質も人為的には施さず、自然界の天然供給物と灌水のみによる栽培を継続的におこなう栽培法である。近年の化学肥料、農薬の高騰や環境問題からも無施肥栽培が注目されている。その無施肥栽培の特徴の一つとして、無機化した土壌由来の窒素量が収量に強く関係し、無機態窒素の重要な供給源としてかんがい水が挙げられるが（奥村，1988），無施肥栽培において冬期湛水および中干しが窒素養分に及ぼす影響はこれまで検討されてこなかった。

土壌窒素に関して、慣行栽培では、移植前に土壌が乾燥すると土壌窒素の無機化が促進されることは、乾土効果として広く知られているが（鳥山ら，1988），冬期湛水により水稻生育期間中の窒素肥沃度が高まるとの報告もある（大森ら，2013）。また、中干しには土壌中の養分を吸収しやすいかたちに変えるとされ（堀江，2004），一般的には中干しが推奨されているが、中干しという急激な水環境の変化について、どのような影響があるか分っていないとの報告もある（日本土壌肥料学会，2015）。

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比較調査した事例は極めて少ない。そこで、長期無施肥栽培において冬期湛水および中干しを実施することにより、収量にどのような影響を与えるか、また、その要因は何かを明らかにすることを本研究の目的として比較試験を2021年におこなった。

2021年の試験では、滋賀県と京都府の異なる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おこなったところ、冬期湛水を実施し、中干しを実施しない方が生育期間を通して茎数×草丈×SPAD値（以下、窒素指標値）が高くなる傾向があり、土壌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（家田ら，2022）。2022は圃場環境により試験を継続できなかったが、本年（2023年）は、2021年に引き続き同様の試験をおこなった。

## 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（1995年より無施肥栽培を継続：以下、野洲）および京都府宇治市小倉無施肥栽培試験水田（2003年より無施肥栽培を継続：以下、小倉）を供試水田とした。野洲は非常に水はけが悪く粘土質系土壌、3年毎転作（2019年、2022年は畑作）。小倉は水はけはやや良く粘土質系土壌、移植2週間後から出穂期までかけ流し栽培を実施。2

筆の水田（以下、2筆）とも、収穫時の藁は鋤き込まず、水田外に持ち出している。

6条9株（条間33cm，株間18cm，栽植密度16.8株/m<sup>2</sup>）を調査区とし中央の2条5株の計10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21日から4月22日（小倉は1月22日から5月6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25日から7月22日（小倉は7月1日から7月29日）まで、湛水区と落水区（中干し有無の区）を設けた。

表1. 調査区生育概要

水田	区	冬耕	冬期湛水期間	春耕	荒代掻き	代掻き	移植	中干し期間	収穫
野洲	干干区	01月21日	無し	04月29日	05月04日	05月10日	05月13日	06月25日～07月22日	10月01日
	干水区		無し	〃	〃	〃	〃	無し	〃
	水干区		01月21日～04月22日	〃	〃	〃	〃	06月25日～07月22日	〃
	水水区		01月21日～04月22日	〃	〃	〃	〃	無し	〃
小倉	干干区	01月12日	無し	04月28日	05月16日	05月25日	05月28日	07月01日～07月29日	10月07日
	干水区		無し	〃	〃	〃	〃	無し	〃
	水干区		01月22日～05月06日	〃	〃	〃	〃	07月01日～07月29日	〃
	水水区		01月22日～05月06日	〃	〃	〃	〃	無し	〃
参考	野洲本田	01月21日	無し	04月29日	05月04日	05月10日	05月13日	06月25日～07月22日	10月04日
	小倉本田	01月12日	無し	04月28日	05月16日	05月25日	05月28日	無し	10月22日

小倉本田のみベニアサヒを栽培

上記2種の水処理を組み合わせた4区（干干区：冬期湛水なし・中干しあり；干水区：冬期湛水なし・中干しなし；水干区：冬期湛水あり・中干しあり；水水区：冬期湛水あり・中干しなし）（表1）を2筆3反復設けた。

供試水田の調査区以外（以下、本田）は冬期湛水を実施しないため、試験区における冬期湛水は区内を畦畔板で囲み動力ポンプにより水管理（入水）をおこなった。中干しの有無も同様の方法で水管理（入水、排水）をおこなった。

### 3. 調査項目

#### 3 (1) . 生育調査項目

移植2週間後から収穫まで1～2週間ごとに莖数、草丈および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、穂重および籾重を測定した。各区の平均的な穂数の3株について籾数、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（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おこない、ともに統計ソフト「R 3.3.2」を用いた。

#### 4. 2021年と2023年処理の相違点

##### 4 (1) . 小倉の冬期湛水の処理

野洲に比べ、小倉は冬期湛水時の保水能力が低く、2021年は1回/週の入水で表土が露わになることもあったため、2023年は2回/週（4月からは3回/週）と頻繁に入水した（図1）。

##### 4 (2) . 中干しの時期

2021年は過去の生育調査を基に、有効茎数の70~80%程度を中干し開始時期の目安とし、降雨のなかった10日間おこなった。しかし、慣行栽培と異なり無施肥栽培の場合は無効分げつだけでなく初期の養分吸収も抑制され、生長の支障となった可能性があったため、2023年は有効茎数決定期を中干し開始時期の目安とし、4週間おこなった。

#### 5. 結果

##### 5 (1) . 冬期湛水の処理

2023年の小倉では冬期湛水を実施した区（水干区、水水区）の方が実施しなかった区（干干区、干水区）より茎数が有意に高く推移した（図2）。2021年には最高分げつ1週間後から、その傾向はみられたが、顕著な差がなかったことから、2021年は2023年より冬期湛水の処理が不十分であったことが示唆された。

##### 5 (2) . 中干しの処理

2023年の野洲では梅雨時でかつ水はけが非常に悪いことから基本的に土壌は湿潤状態で中干し最終まで完全に乾くことはほとんどなく、中干し終了時にも土壌はやや硬い程度であった。また、野洲本田も中干しを実施したが、収穫時には土壌はややぬかるんでいた。それに対し、小倉は中干し開始2週間後はまだ土壌は柔

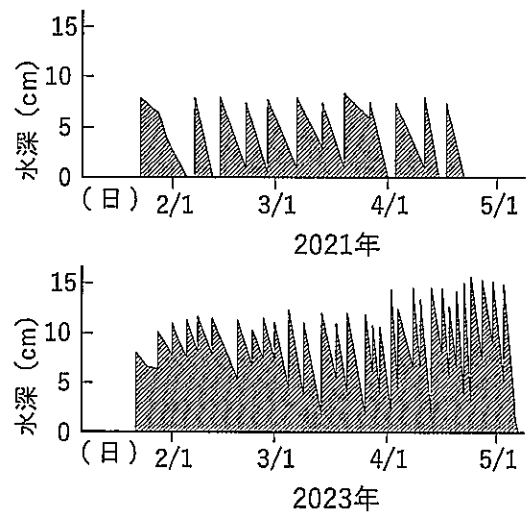
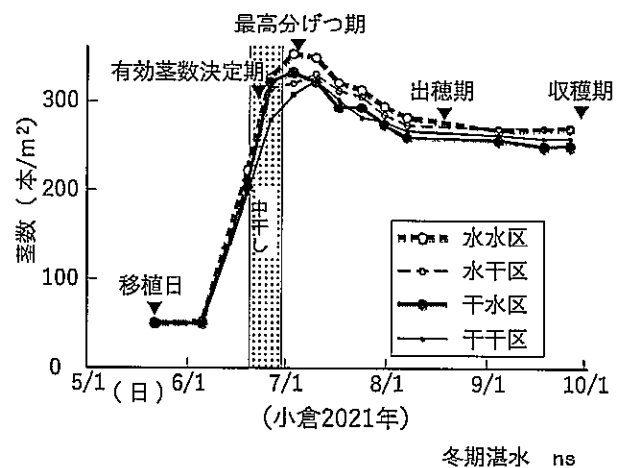
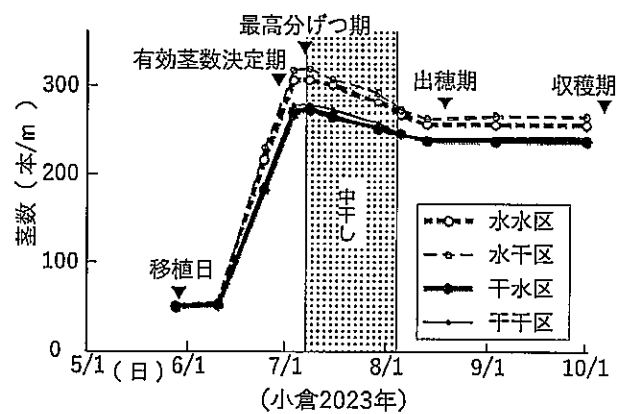


図1. 小倉冬期湛水の水深の推移



冬期湛水 ns



(7/4より収穫期まで) 冬期湛水 \*\*\*

\*\*\*  $p < 0.001$ , \*\*  $p < 0.01$ , \*  $p < 0.05$ .

図2. 両年・小倉の茎数の推移

らかかったが、中干し開始4週間後（中干し終了時）には土壌はカチカチに乾き、ひび割れもしていた。

2021年と2023年（以下、両年）の野洲の各処理区同士の収量を比較すると、中干しを実施しなかった区（干水区、水水区）は同程度であるが、中干しを実施した区（干干区、水干区）は2021年の方が有意に低かった（表2）。このことより2021年の野洲では、中干しの開始時期が早く生長の支障となったと考えられた、また、2021年の小倉も同時期に中干しを実施したことと同様に支障となったと考えられた。

表2. 野洲の年次収量比

水田	区	2021年	2023年	2021年	
		収量(g/m <sup>2</sup> )	収量(g/m <sup>2</sup> )	2023年	
野洲	干干区	314.3	380.2	82.7%	*
	干水区	353.6	367.6	96.2%	ns
	水干区	360.5	421.5	85.5%	*
	水水区	407.8	411.8	99.0%	ns

### 5 (3) . 2筆の水田特性の違い

2021年2筆の中干し処理および2021年小倉の冬期湛水処理が十分といえなかったことから、両処理を実施しなかった干水区を両年・2筆で比較すると、収量には有意な差はないことから両年・2筆は同程度の栽培条件だったといえた（表3）。しかし野洲は小倉より穂数が有意に高く、一穂粒数、登熟歩合および1000粒重が有意に低いことから、野洲は生育前期の生長が旺盛で、小倉は生育後期の生長が旺盛であったことが分かった。

表3. 両年・2筆の干水区の収量および収量構成要素

年	水田	区	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> )
2021年	野洲	干水区	275.0 ± 2.1	62.2 ± 2.1	0.839 ± 0.021	21.7 ± 0.2	353.6 ± 26.6
		小倉 干水区	246.2 ± 1.0	70.9 ± 1.0	0.921 ± 0.005	22.4 ± 0.2	372.4 ± 9.5
2023年	野洲	干水区	296.9 ± 5.0	59.5 ± 0.4	0.915 ± 0.007	21.8 ± 0.1	367.6 ± 12.1
		小倉 干水区	245.8 ± 2.6	71.3 ± 3.5	0.892 ± 0.006	22.4 ± 0.1	372.4 ± 6.5
水田(A)			***	***	†	**	ns

平均値±標準誤差

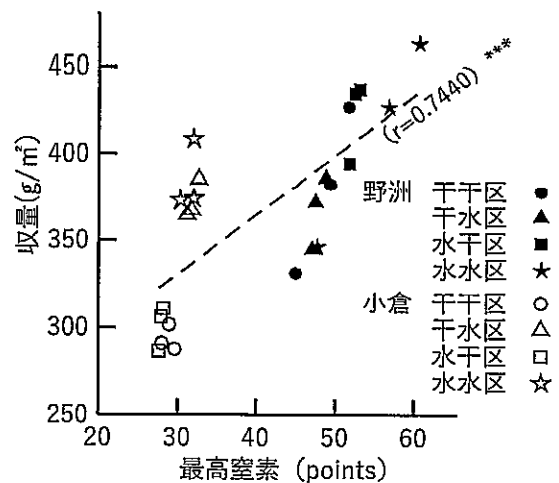
異符号間は有意差あり (Tukeyの多重比較検定5%水準)

\*\*\* p<0.001, \*\* p<0.01, \* p<0.05, † p<0.1.

### 5 (4) . 窒素指標値と収量の関係

処理区の比較は不安要素のあった処理をおこなった2021年を除き、2023年のみでおこなった。

2筆の各区を比較すると、窒素指標値の最高値（野洲：8月26日、小倉：9月3日；以下、最高窒素）と収量には正の有意な相関が認められた（図3）。このことから、長期無施肥栽培では、収量を高くするには生育期間中のイネの窒素吸収量を増加させることが重要だと示唆された。



\*\*\* p<0.001

図3. 2023年の最高窒素と収量の相関

5 (5) . 窒素指標値

窒素指標値の推移をみると、2筆とも冬期湛水を実施した区（水干区、水水区）の方が実施しなかった区（干干区、干水区）より高く推移した（小倉では中干し後は水干区が干干区より、水水区が干水区よりと其々冬期湛水を実施した区の方が高く推移した）（図4）。

小倉では、中干しを実施した区（干干区、水干区）の方が実施しなかった区（干水区、水水区）より中干し直後から低く推移した。これは中干し開始直後から草丈および SPAD 値が低く推移した（図略）ことが影響し、中干しを実施したことより生長が抑制されたと考えられる。このことから小倉は中干しがイネの窒素吸収に対しては負の効果があったと考えられた。

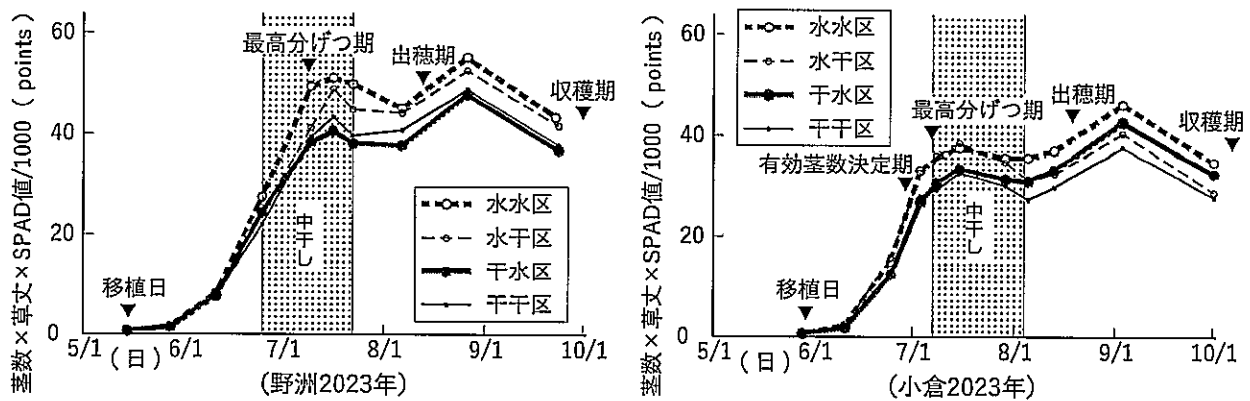


図4. 2023 年の窒素指標値の推移

5 (6) . 収量

収量については、冬期湛水を実施した方が有意に高くなった（表4）。これは窒素指標値の推移が影響していると考えられた。また、中干しを実施しなかった方が有意に高くなったが、水田間で異なる傾向をみせた。

表4. 2023 年の収量および収量構成要素

水田 区	最高窒素(points)	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> )
野洲 干干区	4123 ± 146	302.5 ± 6.3	62.3 ± 3.9	0.901 ± 0.011	21.5 ± 0.0	380.2 ± 27.6
干水区	4025 ± 93	296.9 ± 5.0	59.5 ± 0.4	0.915 ± 0.007	21.8 ± 0.1	367.6 ± 12.1
水干区	4494 ± 27	316.5 ± 2.6	71.2 ± 1.5	0.897 ± 0.007	21.3 ± 0.1	421.5 ± 13.8
水水区	4809 ± 334	345.4 ± 15.4	57.4 ± 0.5	0.906 ± 0.003	21.7 ± 0.0	411.8 ± 34.5
小倉 干干区	3132 ± 85	247.5 ± 6.8	59.2 ± 2.5	0.851 ± 0.006	21.7 ± 0.1	293.6 ± 4.2
干水区	3393 ± 43	245.8 ± 2.6	71.3 ± 3.5	0.892 ± 0.006	22.4 ± 0.1	372.4 ± 6.5
水干区	3495 ± 67	273.3 ± 7.5	53.6 ± 1.1	0.863 ± 0.013	21.3 ± 0.0	300.8 ± 7.3
水水区	3816 ± 55	260.9 ± 4.2	71.4 ± 1.7	0.886 ± 0.005	22.2 ± 0.0	385.3 ± 11.5
水田	***	***	ns	***	***	***
冬期湛水	**	***	ns	ns	**	†
中干し	*	ns	†	***	***	*

平均値 ± 標準誤差

\*\*\* p<0.001, \*\* p<0.01, \* p<0.05, † p<0.1.

野洲では冬期湛水を実施した方が高く、冬期湛水を実施した区（水干区、水水区）と実施しなかった区（干干区、干水区）が2分化する傾向がみられた（図5）。中干しの有無には顕著な差はなかった。小倉では中干しを実施しなかった区（干水区、水水区）の方が実施した

区（干干区、水干区）より高く，2分化する傾向がみられた。冬期湛水の有無には顕著な差はなかった。以上より，冬期湛水の効果は野洲でみられたが小倉でみられない，一方で中干しの効果は野洲ではみられなかったが小倉でみられというように水田間で異なる傾向を示した。

## 6. 考察

### 6 (1) . 冬期湛水の効果

冬期湛水について，冬期湛水を実施すると穂数が高くなり，移植から中干し開始までの茎数が高く推移していることから，分けつ期の生長を活発にする効果があると考えられた。

冬期湛水田では，トロトロ層が発達し，有機物に富み可給態窒素が極めて高く，地力窒素の供給源になっているとの報告があるが（細川ら，2012），本試験ではトロトロ層はみられなかった。しかし，冬期湛水の処理期間は触れば直ぐ濁るくらい土壌が柔らかく，また土壌に足を入れた生育測定調査時では，移植後4週間くらいまでは2筆とも冬期湛水を実施した区の土壌の方が実施しなかった区より柔らかく感じた。その後徐々に差はなくなっていったが，6月上旬の手取除草時は小倉では感じなかったが，野洲では冬期湛水を実施した区の土壌の方が柔らかく感じた。このことから冬期湛水を実施すればトロトロ層ができないまでもイネが窒素を吸収しやすいように生育初期の土壌が変化したと考えられたが，本試験では明らかにされていない。これは，無施肥栽培では移植から最高分けつ期に間に土壌溶液中に供給される窒素の吸収効率が低く，栽培法の工夫により収量の増加が可能であるとの提言（多田羅ら，2016）に対する一つの回答と考えられた。野洲で収量が高くなったことはこれに符合する。ただし，小倉では収量に顕著な差がなく，その要因は本試験では明らかにされていない。

### 6 (2) . 中干しの効果

中干しを実施すると登熟歩合，1000粒重とも有意に低くかったことから，生育後期（登熟）の生長が劣ると考えられた。無施肥栽培は末期まで生育が持続するとされた実験（竹内ら，1979）は全て中干しを実施していなかったもので，無施肥栽培では中干しを実施すると無施肥栽培の特徴である秋優り的な生育があらわれにくい可能性も示された。

水はけの比較的良い小倉では，中干しを実施すると収量が低くなったが，これは，長期にわたって藁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，土壌の炭素含有量が低いために夏期の湛水による土壌還元が起りにくくなり，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との報告（家田，2022）と同じ作用と考えられた。

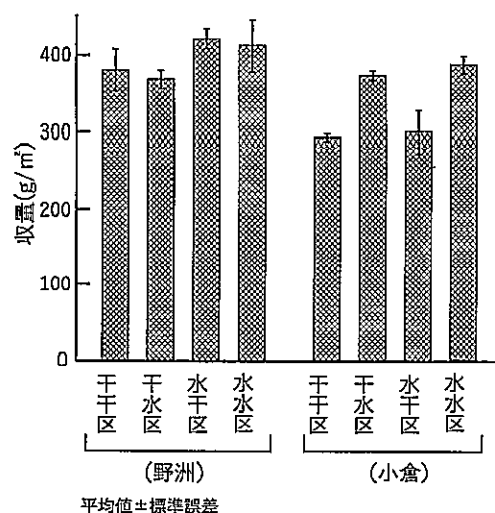


図5. 2023年の収量

水はけの非常に悪い野洲では中干しの有無が収量に影響しなかった。これは野洲では中干し期間中も湛水ではないものの梅雨時の降雨が乾ききらず土壌に水が残っており、イネの土壌養分吸収に遜色がなく末期まで生育が持続したためとも考えられた。また、慣行栽培では、中干しには増収の他に収穫時に土壌を固めることによる作業性の向上の効果があるとされているが、野洲ではその効果がみられなかった。

よって、中干しを実施すれば、水はけの良い水田では収穫時の作業性が向上するが、収量が低くなる。また、水はけの悪い水田では収量にも収穫時の作業性にも影響がないと考えられた。

### 6 (3) . まとめ

長期無施肥無農薬栽培で収量を高くするためには、供給が限られる窒素養分をイネがいかくに、多く吸収し有効利用できるかが重要であると考えられた。

冬期湛水は、無施肥栽培では生育初期に土壌窒素を吸収しやすくなり分けつ期の生長を促す効果がみられた。それにより増収となる水田もあるが、減収にはならないが収量に変化のない水田もあった。

中干しは、十分に乾かない水田では、収量に変化はみられなかった。

土壌の水はけの良否だけでなく、生育前期の生長が旺盛な野洲では冬期湛水に正の効果があり、生育後期の生長が旺盛な小倉では中干しに負の効果があった可能性も考えられた。よって無施肥栽培では、水田の特性、中干し時の排水の良否や気象条件によりイネが吸収した窒素養分の利用効率に違いがあるが、窒素の有効利用には、長期間土壌を湛水状態にする水管理が有効と考えられた。

### 引用文献

- 堀江武 (2004) 新版 作物栽培の基礎. 農山漁村文化協会, 101.
- 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. 日本土壌肥科学雑誌, 83 巻, 6 号, 700-702.
- 家田善太, 白岩立彦 (2022) 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. NPO 無施肥無農薬栽培調査研究会 2021 年度研究報告会, 26, 25.
- 日本土壌肥科学会 (2015) 世界の土・日本の土は今 地球環境・異常気象・食料問題を土からみると, 農山漁村文化協会, 91.
- 大森誉紀・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.
- 奥村俊勝 (1988) 水稻の窒素栄養の動態からみた無施肥田と施肥田の比較栽培学的研究. 京都大学, 20, 44.
- 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の差異. 近畿大学農学部紀要 12, 135-140.
- 多田羅翔子・本間香貴・栗田光雄・小林正幸・白岩立彦 (2016) 長期無施肥水田の土壌養分動態およびイネの養分吸収 第 1 報 調査対象水田における 2014 年の養分動態, 作物研究 61, 4.
- 島山和伸・関矢信一郎・宮森康雄 (1988) 湛水前の土壌乾燥が土壌窒素の無機質化量に及ぼす影響の定量的把握. 日本土壌肥科学雑誌, 59 巻, 6 号, 531.

# 無施肥無農薬栽培、有機栽培および慣行栽培における 茶園病害虫調査（第2報）

栗田光均\*1・多田光史<sup>1,2</sup>・白岩立彦<sup>1,2</sup>

(<sup>1</sup>NPO 無施肥無農薬栽培調査研究会・<sup>2</sup>京都大学大学院農学研究科)

## 緒言

茶は、古くから飲料、嗜好品として親しまれており、また近年、抹茶を使用したデザート・ドリンクへの人気が高まっていることもあり、需要が高まっている。

茶生産の現状として、種々の病害虫による被害が問題となり、それら病害虫防除のため多量の農薬が1年を通して使用されている。農薬の多量施用により、茶園周辺の環境汚染が懸念される。また、化学肥料の施肥量が多いため、肥料の流出によっても環境汚染につながり、多施肥による茶園内土壌のリン酸過剰が問題視されている。一方で、消費者の農産物に対する安全志向・健康志向が高まっている。これらから、農薬および化学肥料の使用量の低減、不使用の茶が求められている。

無施肥無農薬栽培（以下、無施肥栽培）は、エネルギー・資源使用量を抑制することが期待でき、低環境負荷型の農法であるため、以上の課題の解決に有効であると考えられる。

長期無施肥無農薬栽培茶は病害虫の被害が少ないと言われるほか（上嶋氏ならびに片木氏、私信）、無施肥栽培を長期継続すると独自の生態系が構築されることが考えられるが、無施肥茶園における病害虫の発生程度および昆虫叢などを調査した例はほとんどみられず、知見に乏しいのが現状である。そこで本研究は無施肥無農薬栽培における茶樹病害虫の発生活動態の解明を目的として有機栽培および慣行栽培との比較調査を行った。調査2年目である本年は初年度同様、茶樹における重要病害虫の被害調査、および主だった害虫を中心とする昆虫の個体数調査を行った。

## 材料および方法

### 1. 調査圃場

本調査では、上嶋氏による無施肥栽培茶園、慣行栽培茶園および片木氏による無施肥栽培茶園、有機栽培茶園（それぞれ以下、上嶋無施肥、上嶋慣行、片木無施肥、片木有機）（表1）を対象に調査を行った。2つの無施肥圃場では肥料農薬が一切用いられていないのに対して、上嶋慣行圃場では、2022年は6回、2023年は3回農薬散布、施肥は2022年が6回、2023年は5回おこなわれた。片木有機圃場では、無農薬で有機肥料のみが年に4回施肥された。



表1 調査圃場の概要

圃場	品種	栽培開始年	生産地
上嶋無施肥	コマカゲ	1998年	京都府綴喜郡井手町有王
上嶋慣行	ヤブキタ	2013年頃改植	京都府相楽郡和東町白栴
片木無施肥	ヤブキタ	2006年	滋賀県甲賀市信楽町下朝宮
片木有機	ヤブキタ	1975年	滋賀県甲賀市信楽町宮尻

無施肥圃場（上嶋無施肥、片木無施肥）については開始年から無施肥栽培が継続されている。

## 2. 調査方法

本調査では、病害虫被害の調査として茶樹病害虫巡回調査票に基づく調査、また重要害虫の発生頻度の調査として黄色粘着トラップによる害虫の個体数調査の2種類を実施した。本報告書に示す調査結果の調査期間は2022年6月17日～2024年12月11日であった。調査方法の詳細を以下に記す。

### 2-1. 茶樹病害虫巡回調査

京都府農林水産技術センター農林センター茶業研究所（宇治市）と京都府病害虫防除所で用いられている茶樹病害虫巡回調査票をもとに、2022年6月17日から2023年7月31日の期間は約20日おきに、2023年8月10日から2023年12月1日の期間は約10日おきに調査を行った。本調査票では、以下の4種類の調査方法により重要病害虫の発生状況を調査した。

50 cm×50 cm 枠（コドラート）調査：1辺50 cmの枠を茶樹の表面に置き、コドラート内の樹冠上層葉を対象に、以下の病害虫被害の数を計数した。対象病害：炭疽病、もち病、網もち病、輪斑病、新梢枯死症、灰色かび病。対象虫害：チャノコカクモンハマキ、チャノホソガ、カスミカメ。各圃場4か所で本コドラート調査を行った。

1芯3葉・50芽調査：1芯3葉の芽を圃場全体からランダムに50芽選び、以下の害虫被害葉を計数した。対象虫害：チャノホソガ、チャノミドリヒメヨコバイ（ウンカ）、チャノキイロアザミウマ（スリップス）、コミカンアブラムシ、カスミカメ、カンザワハダニ。

クワシロカイガラムシ生息数調査：圃場全体で20回葉をかき分け、茶樹の枝におけるクワシロカイガラムシの存否割合を調査した。

チャトゲコナジラミ棲生程度調査：茶樹の裾部の葉裏に棲生しているチャトゲコナジラミの幼虫数を調査票指数に基づき、1葉あたりの棲生葉虫数が0頭の時は0、1～9頭の時は1、10頭以上の時は2とし、発生量指数を下記の通り計算した。

(発生量指数 =  $N_0 \times 0 + N_1 \times 1 + N_2 \times 2$ 、N:葉数)

## 2-2. 黄色粘着トラップ

アクリル板に1辺10cmの黄色粘着シートを貼り付けたものをトラップとし、茶株表面に垂直になるようにトラップを設置した。各圃場、5カ所ずつ設置し約10日後トラップを回収した(2-1と同様に、設置調査頻度を20日から10日に変更)。トラップに付着した主だった害虫を判別・計数し、各圃場5枚のトラップの平均値をグラフにまとめた。

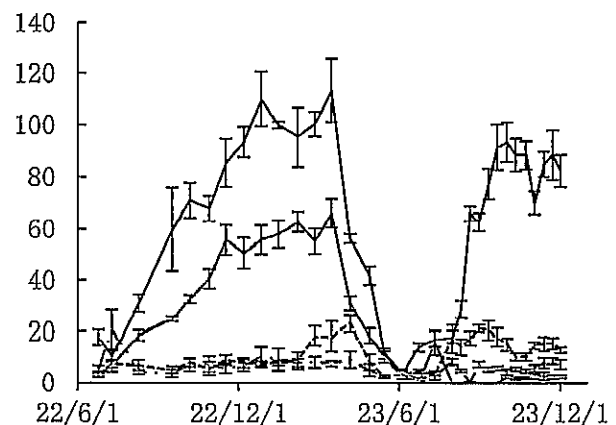
## 結果および考察

### 1. 茶樹病害虫巡回調査

本調査では多くの病害虫を対象として調査を行ったが、コドラート調査より炭疽病、50芽調査よりスリップス、チャノホソガおよびカスミカメの被害が比較的多くみられたため、それらの結果を以下に示す。

#### ・炭疽病(コドラート調査)

炭疽病の病葉数は2年とも一番茶時期の5月以降で無施肥圃場(上嶋無施肥、片木無施肥)において病葉数が増加し、上嶋慣行および片木有機においては概ね低く推移した(図1)。無施肥圃場において、4月から被害葉数が減少し、一番茶収穫時期である5月上旬には、有機圃場および慣行圃場と遜色ないほど減少した。また、片木無施肥圃場において2023年7月下旬より被害葉が低く推移している。これは、茶樹の更新により被害葉がなくなり、感染源がなくなったためだと考えられる。



・チャノホソガ (50 芽調査)

チャノホソガの被害葉数は、一番茶時期の直前の 4 月までは片木有機圃場および上嶋慣行圃場と比べて両無施肥圃場が多かったが、一番茶収穫期ごろには被害数がほぼみられなくなった (図 2)。また、6 月と 10 月には被害数が増加していた。チャノホソガは成虫が 3~4 月、6~10 月に発生し、新芽に産卵することが知られており、一般的な発生時期と一致していた。

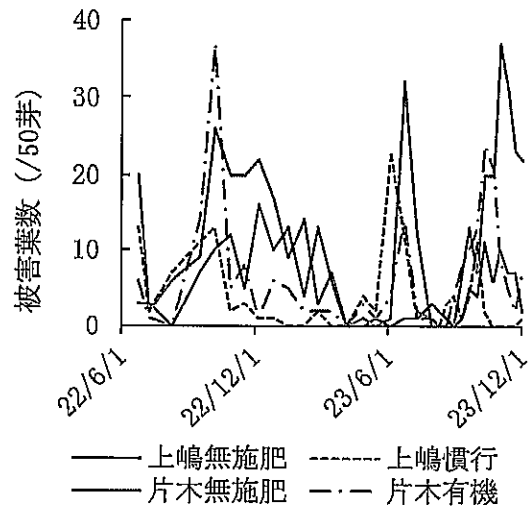


図 2 チャノホソガ被害葉数 (50 芽調査)

・スリップス被害 (50 芽調査)

スリップスによる被害葉数は、調査期間中を通して概ね慣行および有機圃場で多くみられた (図 3)。また、2023 年は一番茶直前の 4 月に無施肥 2 圃場で被害葉数が多くなったが、収穫時期には減少し、全体として低く推移した。

・カスミカメ被害 (50 芽調査)

カスミカメによる被害葉数は、2022 年はほとんどみられなかったが 2023 年は 6 月頃より激増した (図 4)。一般的に、4 月から 10 月までの期間、連続的に新芽に加害することが知られており、2023 年の被害状況と一致すると考えられる。上嶋慣行圃場に関して、農薬の種類と散布回数が 2022 年と 2023 年で異なり、2023 年は回数が半減し、カスミカメを対象とする農薬の種類が 1/4 となった。2023 年の上嶋慣行圃場での大発生はこのことが関与していると考えている。

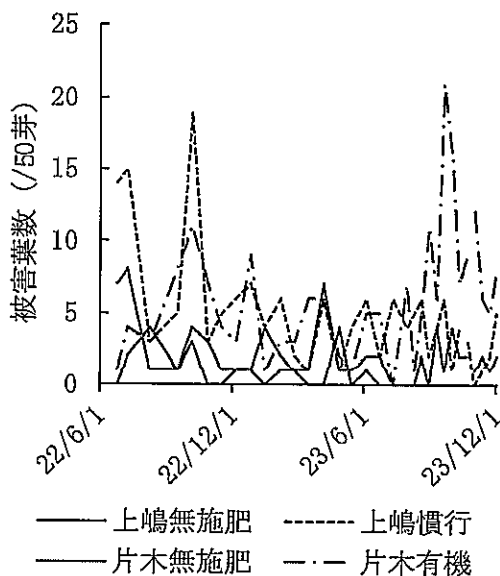


図 3 スリップス被害葉数 (50 芽調査)

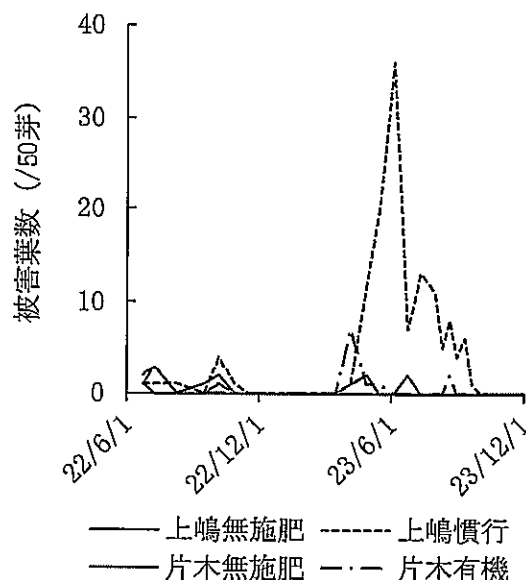


図 4 カスミカメ被害葉数 (50 芽調査)

・クワシロカイガラムシ寄生株調査

図 5 より、寄生割合は慣行圃場で概ね高い割合を示し、逆に無施肥圃場ではほとんどクワシロカイガラムシの寄生がみられなかった。2022 年と比較して 2023 年で慣行圃場における寄生割合が増加している要因として、圃場の一部が水田跡地であるものの品種が適しておらず、茶樹が弱っていることで被害が増えていると考えられる（上嶋氏、私信）。

・チャトゲコナジラミ程度別葉数

チャトゲコナジラミの発生は、慣行圃場で最も多くなり、片木無施肥圃場で最も低く推移した（図 6）。一般的に 1 年を通して発生するが、5～10 月の間に 3 回発生することが知られており、概ねその通りだった。

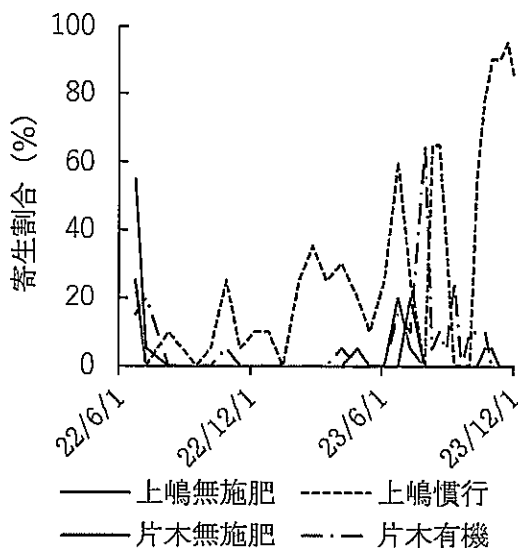


図 5 クワシロカイガラムシ寄生割合

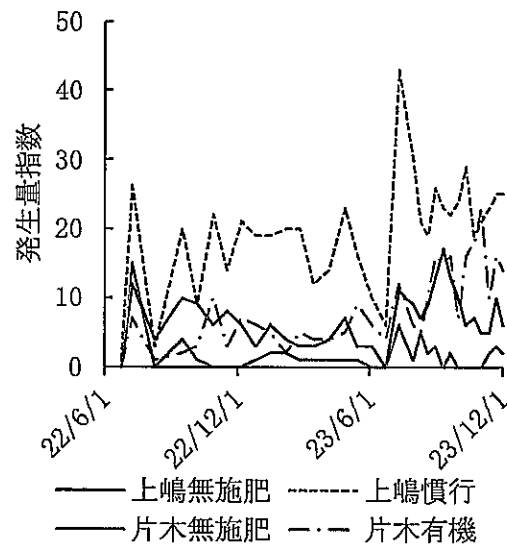


図 6 チャトゲコナジラミ発生量指数

2. 黄色粘着トラップ

トラップで捕獲された主だった害虫として、スリップス、チャノミドリヒメヨコバイ、チャトゲコナジラミ、コミカンアブラムシ、ツマグロオオヨコバイが確認された。特に捕獲数が多かったスリップスとチャトゲコナジラミの調査結果について以下に示す。

スリップスの個体数は、2 年とも 6 月から 8 月の期間で大量に発生し、上嶋慣行圃場で多かった（図 7）。大量発生の時期は一般的な発生時期とされる 5～8 月と一致していた。また、スリップスは雨が多い場合に発生が少なくなることが知られており（小泊、2005）、2023 年 6 月の降水量は 2022 年の同月より高かったため、個体数が減少していると考えられた。

チャトゲコナジラミの個体数は、概ね慣行圃場で多かった（図8）。9月頃の調査結果を2022年と2023年とで比較すると、2023年では減少していた。これは同年8月より調査頻度を2倍に増やしたために、2022年には区別できなかった発生ピークが2023年には区別できたのではないかと考えており、2022年にも実際にはピークが2回あった可能性も否定できない。

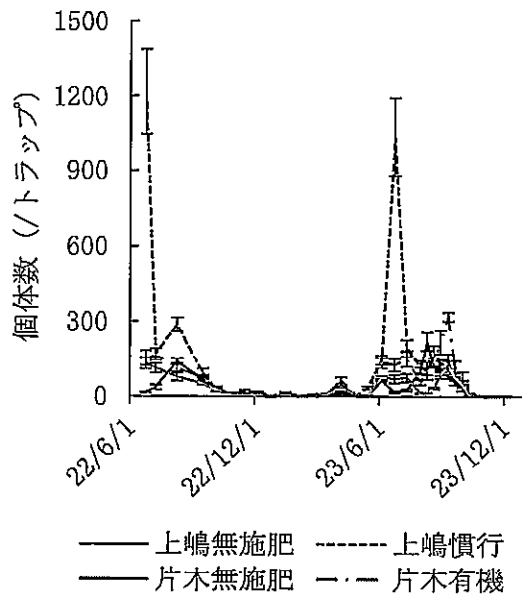


図7 スリップス個体数

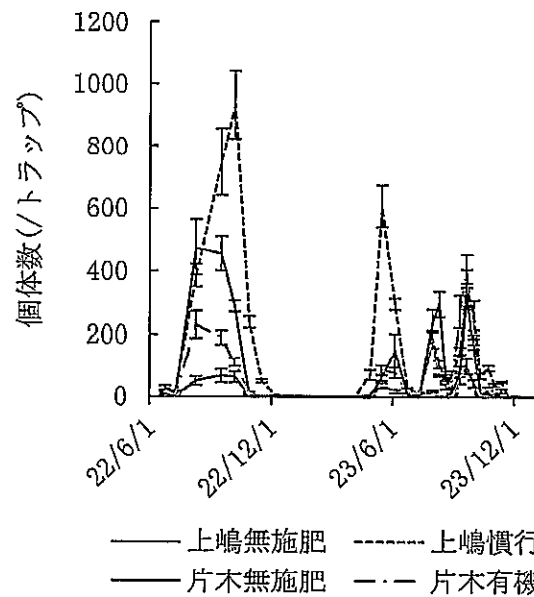


図8 チャトゲコナジラミ個体数

また、トラップにより捕獲されたすべての虫の計数結果を図9に示した。図より、慣行圃場では調査期間を通して概ね多く、逆に片木無施肥圃場では調査期間を通して最も低く推移した。11月下旬には虫の発生がほとんどみられなくなった。

虫の発生が多くみられた5月から10月において、全頭数に占める重要害虫の割合を図10に示した。また、その期間の害虫割合は圃場間で有意に異なり（尤度比検定： $P < 0.01$ ）、上嶋慣行 > 片木有機 > 上嶋無施肥 = 片木無施肥の順に害虫割合が低くなった（図11）。

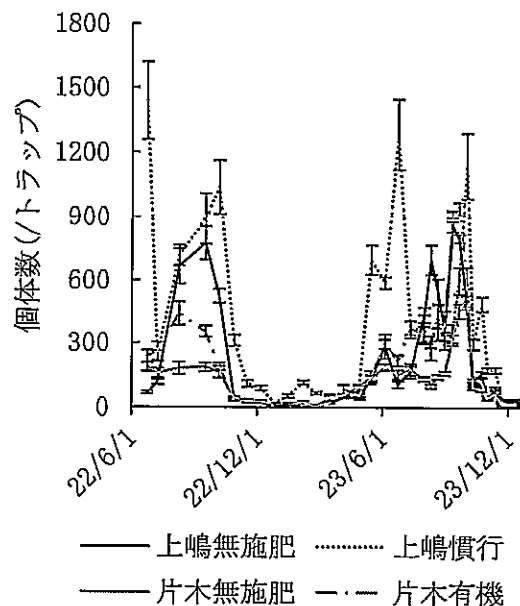


図9 全個体数

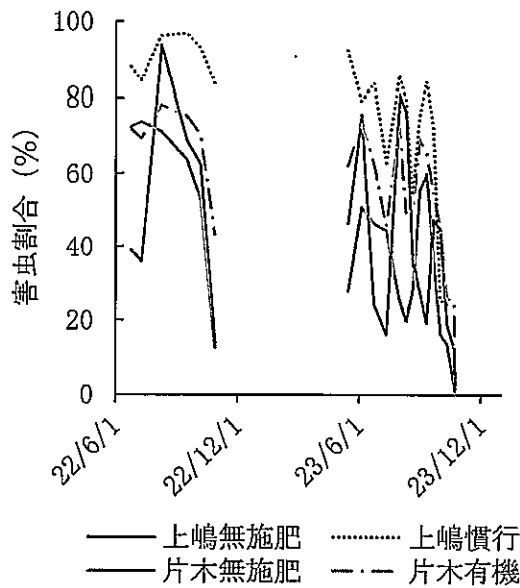


図10 害虫割合

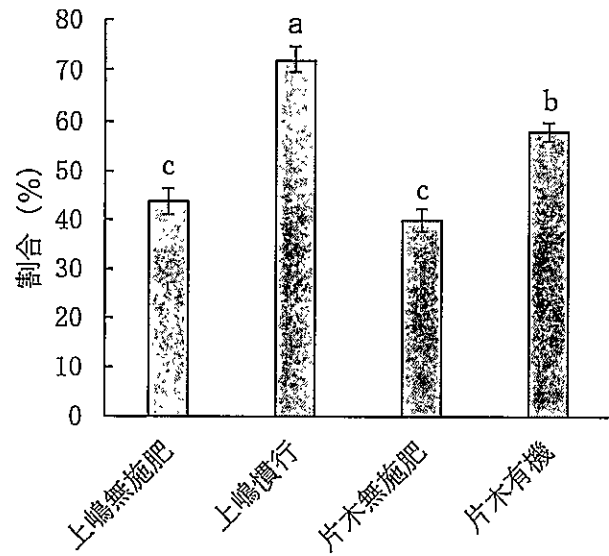


図11 5~10月の平均害虫割合  
異符号間には5%水準で有意差あり(Tukey-HSD)。

平均±標準誤差 (N=38、5反復)。

## まとめ・今後の展望

今回、無施肥、有機および慣行栽培茶園における病虫害被害、害虫発生程度の調査を行った。2022年および2023年の病虫害調査からは、スリップス、カスミカメ、クワシロカイガラムシ、チャトゲコナジラミの被害は慣行圃場、有機圃場で多く、無施肥圃場では概ね少なかった。炭疽病の被害は無施肥圃場で多くみられたが、2023年の調査から一番茶収穫時期には減少しており、茶樹の更新によって被害が抑えられることが示唆された。また、黄色粘着トラップによる調査において、トラップで捕獲された虫の全個体数に占める害虫の割合が、上嶋慣行>片木有機>上嶋無施肥=片木無施肥の順に低くなったことは非常に興味深い。しかし、捕獲した虫のうち今回着目した重要害虫以外の虫については同定が十分にできていないものも多い。また、なぜ無施肥圃場で害虫割合が低くなるのかはほとんど検討できていないが、現在、害虫の天敵として知られるクモの発生調査を開始しており、天敵との関係に着目したいと考えている。そのほか、未同定の虫への調査も含めて、継続して調査を行っていききたい。

本調査を実施するにあたり、調査圃場に協力くださった、園主の相楽郡和東町上嶋伯協氏、甲賀市信楽町片木明氏に対し厚く感謝申し上げます。

付表：要防除水準

付表 要防除水準

病害虫名	調査時期	調査方法	要防除水準	出典
炭疽病	7月上旬	2番茶摘採後残存病葉数を数える	150枚/平方メートル	1)
クワシロカイガラムシ	10月下旬～ 11月上旬	見取り調査、10か所程度、雄まゆ発生程度を4段階で評価	雄まゆ発生程度、点々と発生	1)
スリップス		黄色粘着トラップ(20cm×10cm)による誘殺	2.5頭/日	2)

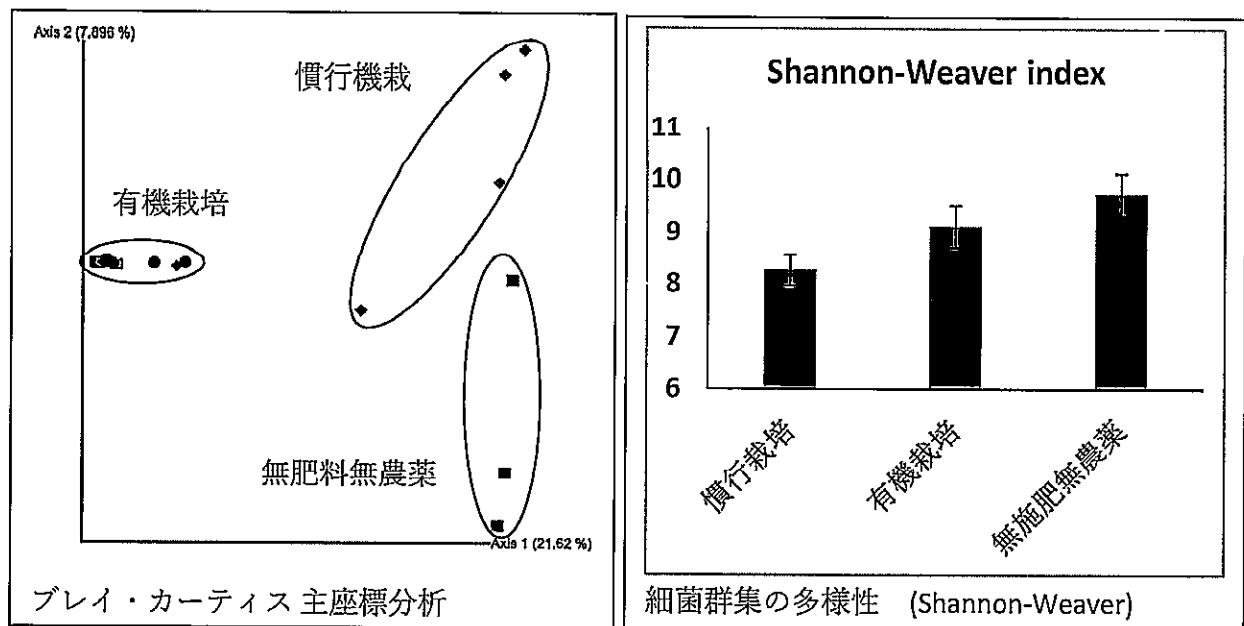
出典

- 1) 日本植物防疫協会、[https://www.jpnpn.ne.jp/jpp/bouteq/bojosuijun\\_data/cha.pdf](https://www.jpnpn.ne.jp/jpp/bouteq/bojosuijun_data/cha.pdf)
- 2) 農業の新しい技術 - 熊本県ホームページ、<https://www.pref.kumamoto.jp/uploaded/attachment/102354.pdf>

## 茶園の慣行・有機・無施肥無農薬栽培土壌の微生物相

アンドレ フレイリ クルス

お茶 (*Camellia sinensis* (L.) Kuntze) は、世界で最も人気のある3つのノンアルコール飲料の1つである。お茶の色、香り、味など、その独特の品質特性において人気である。ハーブティーなどの伝統的な使用法に関する研究は近年大幅に増加していることからわかるように、健康上の利点がある。特に、無施肥無農薬栽培した茶は、化学肥料はもとより有機肥料も使用せず栽培するため、安心安全であるという特徴がある。これらの品質特性の形成は、二次代謝産物の量によって大きく影響される。無施肥無農薬で持続的に栽培可能かを知るべく、京都府と滋賀県の慣行、有機、無施肥無農薬栽培の茶園土壌の微生物群集と化学的特徴を調査した。有機栽培は1975年より開始し、無施肥無農薬栽培（井手町）は2007年より、信楽町は1998年より開始している。今回、各採集地より慣行栽培（和束町、信楽町）、有機栽培（信楽町）、無施肥無農薬栽培（井手町、信楽町）の3種類の農業管理法別に、次の方法に従って土壌採集を行った。その結果、土壌微生物（細菌）の相対存在量と微生物群集の多様性は、無施肥無農薬栽培土壌の方が慣行や有機栽培よりも高いことが判明した。また、土壌の化学的特徴については、総窒素（有機態、無機態）、有効態リン、腐植の量も無施肥無農薬栽培の土壌が多い傾向があった。ブレイ・カーティス主座標分析は、慣行栽培と無施肥無農薬栽培の栽培システム間に違いがあることを示唆しており、これは化学肥料や農薬の使用が影響を与えると考えられる。すなわち、無施肥無農薬栽培では微生物群集の多様性による病気の発生抑制、ならびに土壌中の栄養成分の環境循環に関係していることを示唆している。本研究で検出された微生物は、無施肥無農薬栽培の生物指標としての「指紋」として使用できる可能性がある。





# 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 (2023 年度)

下平訓立\* 倉島次郎

(NPO 無施肥無農薬栽培調査研究会)

## 背景と目的

ジャガイモは栄養バランスに優れ健康食として目される一方、ウイルス病や疫病をはじめとして病害の発生が多く、このために連作障害が出やすいとされている。しかし、無施肥無農薬栽培で連作を行なった場合の調査例はほとんどみられない。本研究は以下の2つの目的で2019年に開始した。

### ① 無施肥無農薬栽培がジャガイモの連作に及ぼす影響の調査

同一の作物の栽培を連続して行う時に、収量の低下や病害の発生などの連作障害が生じる場合があるが、トマト、ダイズなど一部の畑作物においての無施肥無農薬栽培では連作でも一定の収量を確保し、高品質な農産物を生産している事例がある。連作障害が生じやすいとされているナス科のジャガイモではどのような影響を及ぼすのかを明らかにする。

### ② 無施肥無農薬栽培に適するジャガイモ品種の探索

耐病性に優れるとされるジャガイモの品種では連作障害が出にくい可能性がある。無施肥無農薬栽培の環境に適する品種の探索を行う。

## 材料と方法

場所/滋賀県野洲市無肥研圃場・長野県東筑摩郡朝日村圃場 (無施肥栽培:5年目)

品種/男爵 (野洲市・朝日村)/デジマ単作 (野洲市・朝日村)/デジマ二期作 (野洲市)

その他13品種 (朝日村)

施肥区/5品種 (朝日村:2021年開始) 初年はN,P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>,K<sub>2</sub>O各8.74 kg/10aを種芋の底に施肥。

2022年はN,P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>,K<sub>2</sub>O各8.74 kg/10aを畝に投入し耕耘、さらにN:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O:MgO=

7.65:10.71:9.18:3.06 (kg/10a)を種芋の底に施肥。2023年はN,P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>,K<sub>2</sub>O各8.74 kg/10a

を畝に投入し耕耘、N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O:MgO=7.10:9.95:8.52:2.84 (kg/10a)を種芋の底に施肥。

追肥・農薬の散布等は行っていない。

調査項目/種イモ重量及び1株毎のイモの収穫時の総重量・個数 (野洲市・朝日村)、草丈の推移と収穫時の地上部の乾燥重量 (野洲市)

## 圃場について

野洲市圃場/一般施肥栽培の後の休耕地で2018年に無施肥栽培 (サツマイモ) を開始した後、2019年よりジャガイモを栽培した。排水性がやや悪いため約30cmの高畝で管理をしている (図1)。

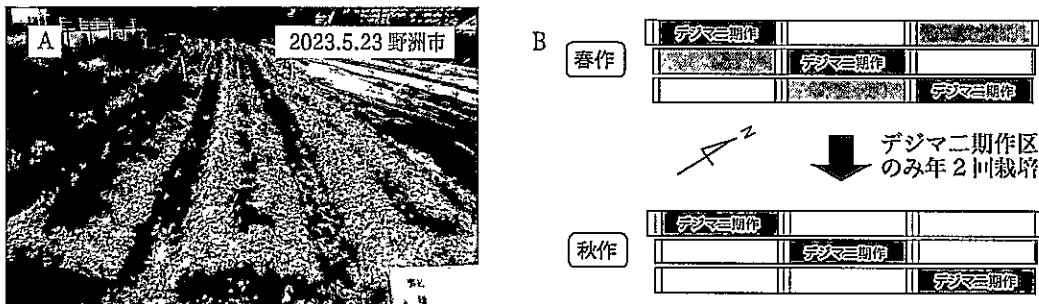


図1 野洲圃場の畝の様子 (A) と作付け様式 (B) (2023 年)

朝日村圃場/一般施肥栽培 (高原野菜等) の後、約10年の間に所有者が少なくとも1回以上は堆肥を投入し耕起のみを行っていた圃場で2019年よりジャガイモの無施肥栽培を開始した。品種の追加による栽培区域の拡大、反復区画化などを行い2023年は15品種を栽培した。火山灰土で排水性は良好である (図2)。

				タワラムラサキ⑩	タワラヨーデル⑩	タワラムラサキ⑩	タワラヨーデル⑩
デジマ⑩	キタアカリ⑩	男爵⑩	とうや⑩	ホッカイコガネ⑩	ヒルカ⑩	こがね丸⑩	アンデス赤⑩
男爵⑩	デジマ⑩	キタアカリ⑩	こがね丸⑩	アンデス赤⑩	とうや⑩	ホッカイコガネ⑩	ヒルカ⑩
キタアカリ⑩	男爵⑩	デジマ⑩	ホッカイコガネ⑩	ヒルカ⑩	こがね丸⑩	アンデス赤⑩	とうや⑩
グラウンドベチカ⑩	タワラワイス⑩	タワラマゼラン⑩	タワラ小判⑩	マチルダ⑩	マチルダ⑩	タワラ小判⑩	タワラマゼラン⑩
				タワラワイス⑩	タワラワイス⑩	グラウンドベチカ⑩	
施肥区							
キタアカリ-施肥	男爵-施肥	デジマ-施肥	こがね丸-施肥	アンデス赤-施肥			

図2 朝日村圃場の作付け様式 (2023 年)

## 結果と考察

### ①無施肥無農薬栽培がジャガイモの連作に及ぼす影響について

無施肥区の全ての品種の開始1年目から5年目ごとの総収量の平均を表すと2年目は前年比約36%、3年目は同じく約40%の減収になったが、4年目は約26%の増収、5年目は約33%の減収となった(図5)。

野洲圃場では春植え一回のみで休耕する男爵区・デジマ単作区、及び春作で収穫した芋を同じ畝に秋植えし年2回栽培するデジマ二期作区を設けている。2023年の春植えについては種芋の催芽は十分であったが2月からの降雨が圃場から排水されず多湿・低温の状態では植え付けたことも一因となり、出芽が例年より2週間ほど遅れ、生育に影響を及ぼしたとみられる他、連作によるウイルス病や疫病の可能性も考えられた。男爵では対前年比約46%、デジマ単作区では約32%、デジマ二期作区では約31%と大幅な減収となった。2023年秋植えの二期作区では、草丈などの初期生育は良好に推移し収量は対前年比では約211%であったが、一昨年と比較すると約60%に留まった(図3)。2024年の春植えに向けて重機を用いて排水溝を設け、畝をビニールで覆うなどの対策を行っている。

朝日村圃場では、2022年に比べると多くの品種で減収となった。2023年の7~8月頃は関東・甲信越地方の一部地域で記録的な高温・小雨の天候となり、長野県朝日村圃場でのジャガイモ栽培にもその影響があったと考えられる。5~6月の初期生育は比較的良好であったことから、7~8月頃の生育期後半により影響したのでは無いかと考えられる。品種間の比較として早晚性の目安を基準にすると、男爵・キタアカリなど早生系の品種の方がホッカイコガネなどの中~晩生品種よりも前年比の収量の減収率が少ないか微増であった(図4)。

施肥区についてもアンデス赤以外の4品種は減収となった。品種ごとの収量の傾向は無施肥区とほぼ同様となっている(図4)。なお本年も目立った病害は観察されなかった。殺虫剤や消毒薬は使用していないため、今後の病害の発生に注意して観察して行きたい。

### ②無施肥無農薬栽培に適するジャガイモ品種の探索について

連作開始から3年目の品種は5年目の品種と比較すると減収率が大きくなった。これまでの調査結果では、連作開始から4~5年目の減収の割合が1~3年目より小さくなっている品種が多い。5年間連作を継続している品種の3~5年目の平均収量を比較した結果、概ね早生品種よりも中生~晩生品種の方が収量は比較的高くなる傾向が改めて確認された。各年の気候の違いを考慮する必要があるが、生育期間の長い中生~晩生品種が無施肥栽培に適している可能性が考えられる(図4)。

現在までの5年間の調査結果では、「こがね丸」「ピルカ」「ホッカイコガネ」「アンデス赤」「デジマ」などの品種の収量が比較的多くなっている(図6)。一方、3年目まで減収していた「男爵」「キタアカリ」の早生品種で其々前年比19%・17%増収した。絶対量は少ないものの、今後の推移に注目していきたい。ただし、農業経営の面から考えると安心安全な農産物を生産するという無施肥無農薬栽培の付加価値を考えると現状の収量では絶対量が不足している。

ジャガイモの栽培にあたって栽培地の気候・気温に適する品種を選定する事が重要だが、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育成されたものであると考えられるため、無施肥栽培に適合していない可能性も考えられる。無肥料・連作の環境にも適合する品種を用いることにより収量が向上する可能性がある。

## 今後の方針

今後は、2023年に引き続き生育および収量の調査を進めるとともに、植物体の成分、水分含有量の計測、食味試験などの品質面についての調査を行うなどして無施肥無農薬栽培の可能性をさらに探求して行きたい。

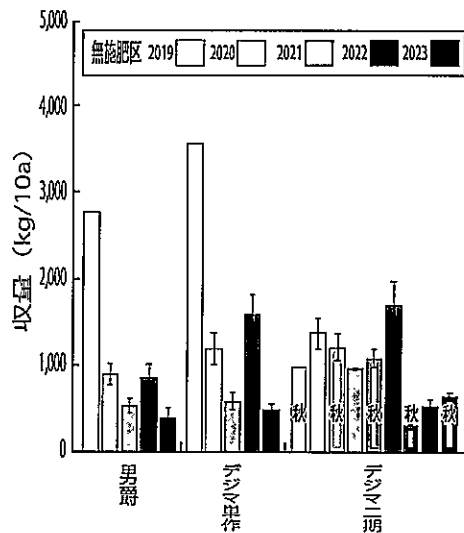


図3 野洲市／2019～2023年の単位面積当たり収量 (kg/10a)

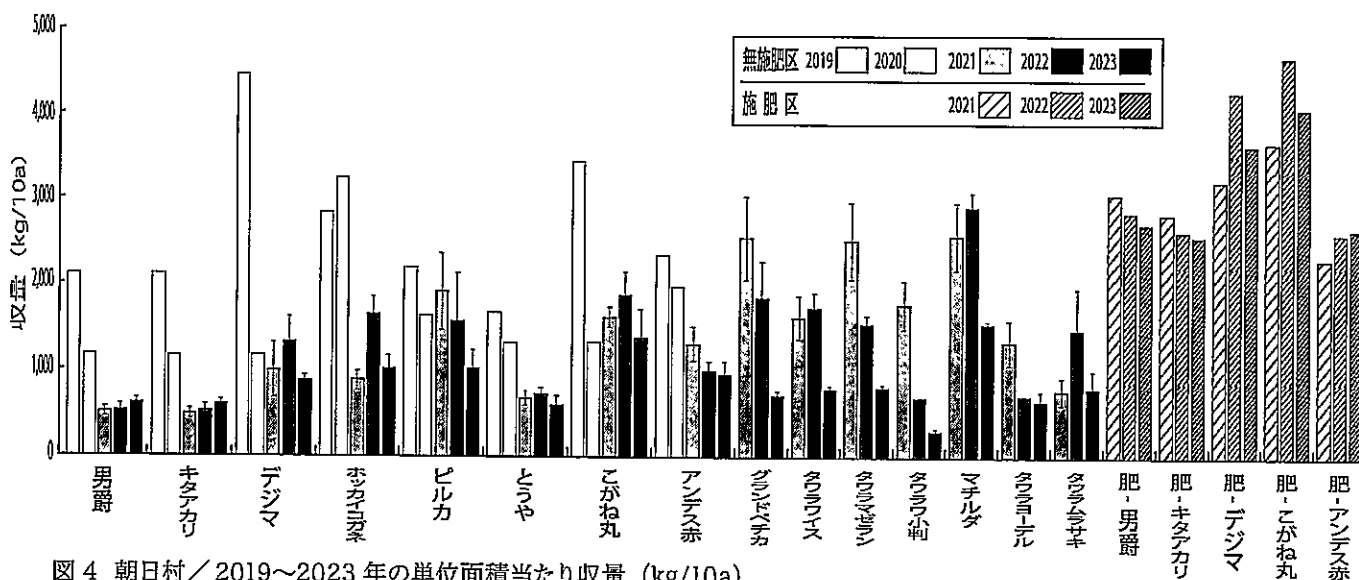


図4 朝日村／2019～2023年の単位面積当たり収量 (kg/10a)

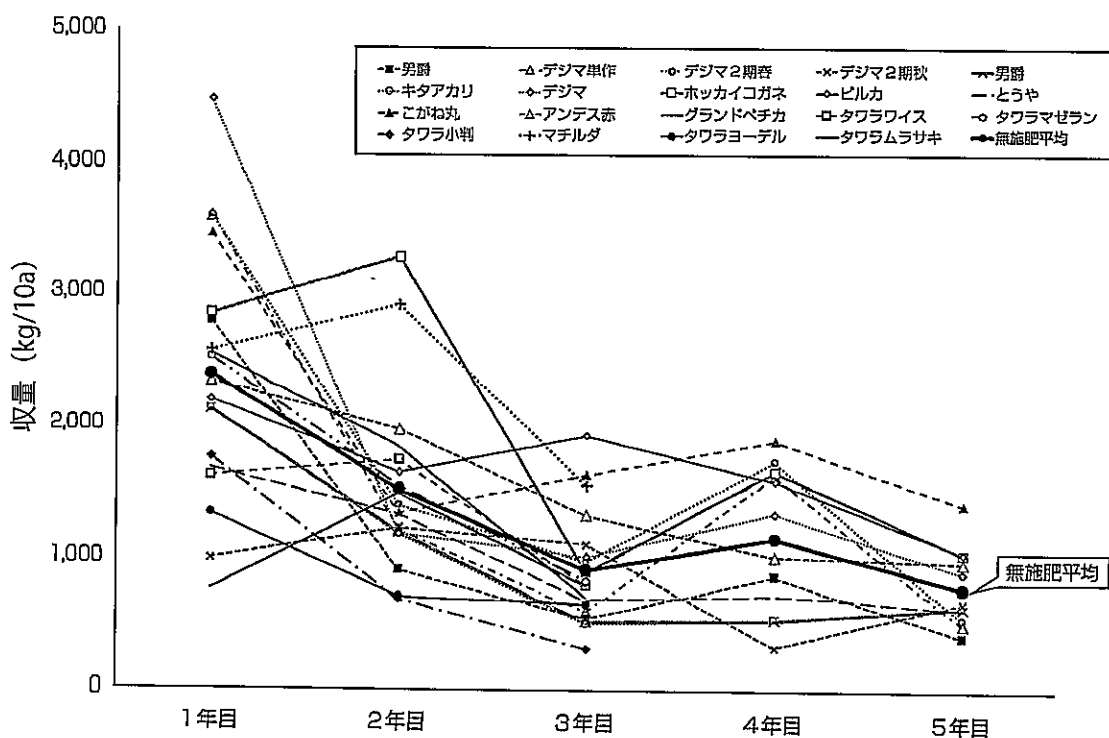


図5 野洲・朝日村無施肥区での連作1～5年目の単位面積当たり収量の推移 (kg/10a)

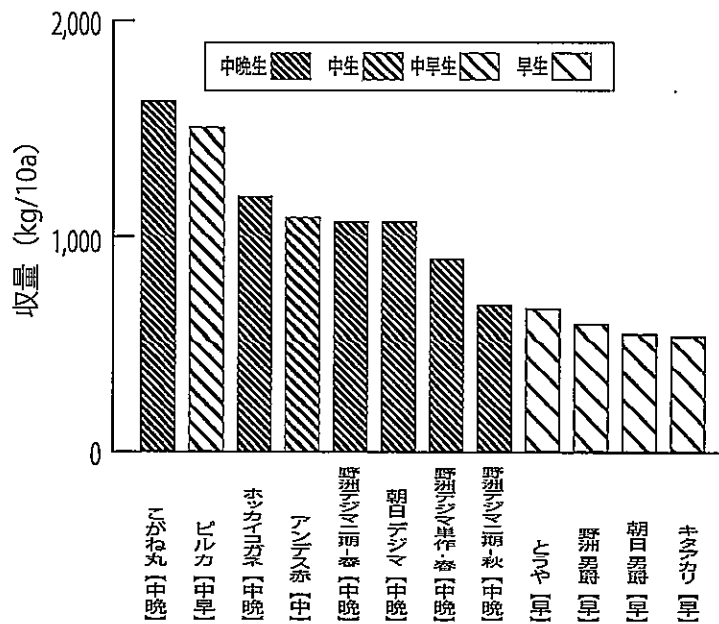


図6 5年間連作を実施した品種の3～5年目における平均収量 (kg/10a)

表1 2023年 野洲・朝日園場 収量一覧

園場	年数	肥料	品種	反復数	有効株数	有効株実重(g)	字個数(数/株)	字実重(g/株)	単位面積収量(kg/10a)	植付日	熟期
野洲	5年目	無施肥	男爵	3	51	8,362.6	5.1 ±0.5	164.0 ±46.1	390.4 ±125.9	2023/3/5	早生
野洲	5年目	無施肥	デジマ単作	3	51	10,361.5	5.0 ±0.3	203.2 ±26.2	483.7 ±72.4	2023/3/5	中晩生
野洲	5年目	無施肥	デジマ2期春	3	51	11,281.0	2.8 ±0.4	221.2 ±29.4	526.7 ±85.5	2023/3/5	中晩生
野洲	5年目	無施肥	デジマ2期秋	3	51	13,957.0	3.6 ±0.2	273.7 ±16.5	651.6 ±44.0	2023/9/3	中晩生
平均						10,990.5	4.1 ±0.4	215.5 ±29.6	513.1 ±81.9		
朝日	5年目	無施肥	男爵	3	69	15,904.0	4.1 ±0.1	230.5 ±20.7	614.6 ±55.1	2023/4/23	早生
朝日	5年目	無施肥	キタアカリ	3	69	15,773.0	4.2 ±0.3	228.6 ±18.0	609.6 ±47.9	2023/4/23	早生
朝日	5年目	無施肥	デジマ	3	69	22,811.5	4.7 ±0.2	330.6 ±25.1	881.6 ±66.9	2023/4/23	中晩生
朝日	5年目	無施肥	ホッカイコガネ	3	23	10,355.5	4.6 ±0.4	383.5 ±57.1	1,022.8 ±152.3	2023/4/24	中晩生
朝日	5年目	無施肥	ピルカ	3	23	10,391.0	6.6 ±0.5	384.9 ±77.9	1,026.3 ±207.7	2023/4/24	中晩生
朝日	5年目	無施肥	とうや	3	23	6,078.5	4.7 ±1.0	225.1 ±39.5	600.3 ±102.0	2023/4/24	早生
朝日	5年目	無施肥	かがね丸	3	23	14,056.0	5.4 ±0.7	527.6 ±120.1	1,388.2 ±320.3	2023/4/24	中晩生
朝日	5年目	無施肥	アンデス赤	3	23	9,706.5	6.2 ±0.1	359.5 ±54.0	958.7 ±143.9	2023/4/24	中生
朝日	3年目	無施肥	グランドベチカ	2	18	4,738.5	4.4 ±0.3	263.3 ±21.9	702.0 ±58.4	2023/4/25	中生
朝日	3年目	無施肥	タワラワイス	2	18	5,309.0	3.9 ±0.5	294.9 ±17.9	786.5 ±47.9	2023/4/25	中生
朝日	3年目	無施肥	タワラマゼラン	2	18	5,539.0	4.5 ±0.1	307.7 ±8.2	820.6 ±21.9	2023/4/25	中生
朝日	3年目	無施肥	タワラ小判	2	18	1,995.5	4.0 ±0.0	110.9 ±11.2	295.6 ±29.9	2023/4/25	中生
朝日	3年目	無施肥	マチルダ	2	18	10,393.0	11.0 ±1.1	577.4 ±13.3	1,539.7 ±35.4	2023/4/25	中生
朝日	3年目	無施肥	タワラヨーデル	2	18	4,346.5	5.9 ±1.2	241.5 ±40.4	643.9 ±107.6	2023/4/29	中晩生
朝日	3年目	無施肥	タワラムラサキ	2	18	5,290.5	4.2 ±0.6	293.9 ±83.0	783.8 ±221.3	2023/4/29	中生
平均						5,506.4	6.3 ±0.7	305.9 ±37.0	815.8 ±98.6		
朝日	3年目	施肥	男爵	1	23	23,232.0	11.9	1,010.1	2,693.6	2023/5/6	早生
朝日	3年目	施肥	キタアカリ	1	23	21,978.0	13.4	955.6	2,548.2	2023/5/6	早生
朝日	3年目	施肥	デジマ	1	23	31,316.5	11.2	1,361.6	3,630.9	2023/5/6	晩生
朝日	3年目	施肥	かがね丸	1	9	13,725.0	15.8	1,525.0	4,066.7	2023/5/6	中晩生
朝日	3年目	施肥	アンデス赤	1	9	8,914.0	11.3	990.4	2,641.2	2023/5/6	中生
平均						18,983.4	12.9	1,208.1	3,221.7		

平均値±標準偏差

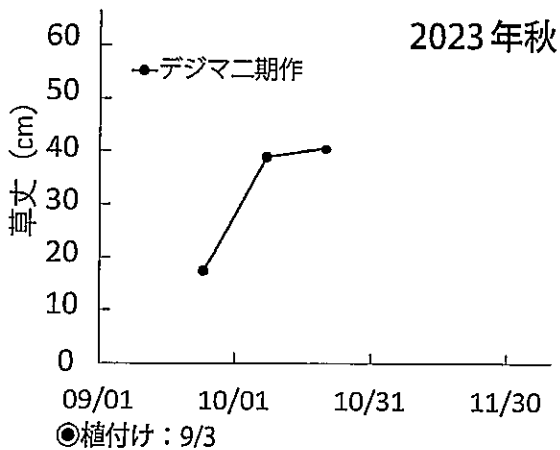
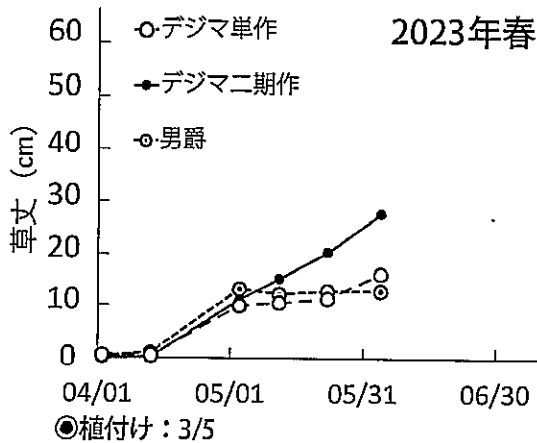
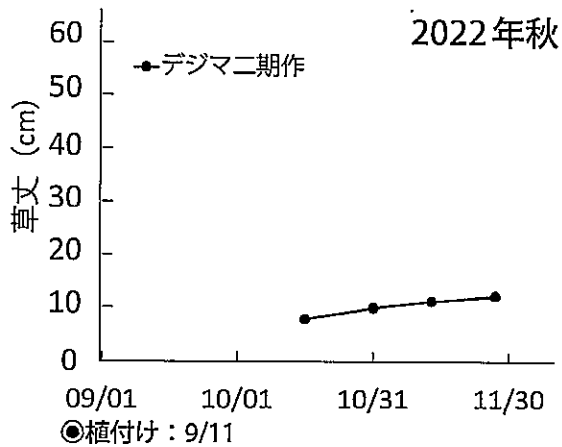
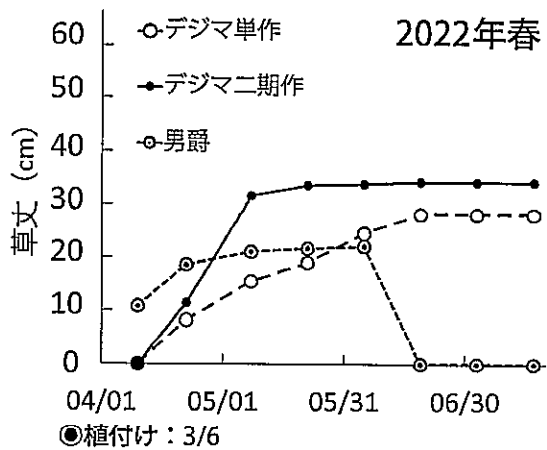
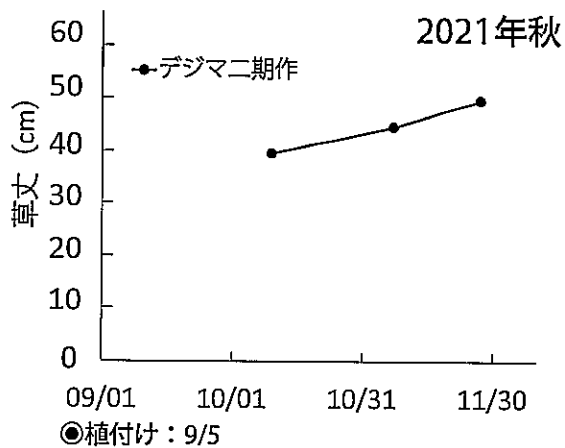
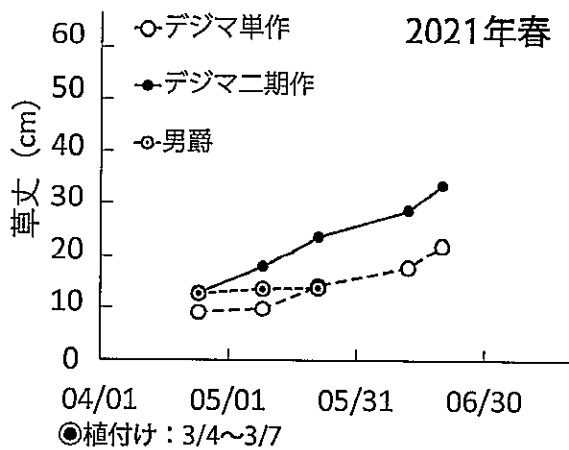
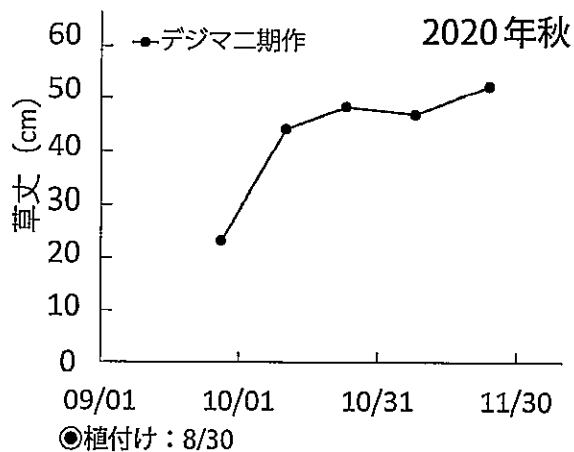
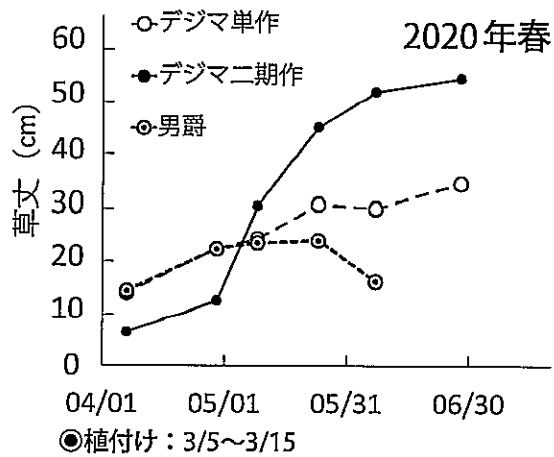


図7 野洲圃場 草丈の推移

## 無施肥条件がダイズ茎疫病発生を低減する可能性

多田光史<sup>1,2,3\*</sup>・白岩立彦<sup>1,2</sup>

(<sup>1</sup>京都大学大学院農学研究科・<sup>2</sup>NPO 無施肥無農薬栽培調査研究会・<sup>3</sup>日本学術振興会)

重要土壌病害の一種であるダイズ茎疫病（茎疫病）の発生において、ダイズ胚軸上の傷が重要な助長要因であることが報告されている（Tada et al., 2021）. 演者らは癒傷物質として知られるリグニンが傷口へ蓄積する時間と、茎疫病による枯死率が癒傷反応によって低下する時間とが概ね一致していることを報告した（多田ら, 2023）. しかし、傷口へのリグニン蓄積が茎疫病による枯死率の低減に寄与しているかは未検証である. そこで本研究では、その検証を行うことを目的として、リグニン生合成阻害剤を用いた菌接種実験を行った（実験①）.

迅速なリグニン蓄積をもたらす環境要因を明らかにできれば、栽培技術による茎疫病被害低減を実現できる可能性があるが、そのような研究例は極めて乏しい. ところで、無施肥無農薬栽培を13年間継続したダイズ圃場では、慣行栽培によるダイズ圃場に比べて茎疫病の発生が少なかったことが報告されているが（加藤ら, 2022）, その要因は明らかになっていない. そこで、無施肥条件がダイズ茎疫病発生の低減に寄与しうるのかを明らかにすることを目的として、実験②を行った. 実験②では、施肥条件と、癒傷反応に関与すると知られている大気相対湿度に着目して、素早いリグニン蓄積をもたらす環境要因の検討を行った.

### 実験① リグニン蓄積と枯死率低減の関係

目的 癒傷反応が茎疫病発生に及ぼす影響を明らかにする.

仮説 リグニン合成阻害剤によってリグニンが蓄積されず、枯死率が低下しなくなる.

材料および方法

播種後7日目の‘エンレイ’胚軸にメスを用いて鉛直方向に約2 cmの貫通傷を与えた. その直後に、リグニン生合成に関わる酵素であるフェニルアラニンアンモニア分解酵素の阻害剤（ $\alpha$ -アミノオキシ  $\beta$ -フェニルプロピオン酸：AOPP）、または対照区としてエタノール（EtOH）を傷口に処理した. 傷処理30～48時間後まで6時間ごとに傷部分を採取、切片を作成し、フロログルシノール塩酸法によりリグニンを特異的に染色し、リグニンの染色割合（多田ら, 2023）を調査した（反復数6）.

また、湛水を伴う菌接種方法（多田ら, 2023）を用いた菌接種試験を行った. その時、傷処理から菌接種までの間隔を6～24時間まで6時間毎の計4条件設け、傷口にはAOPPあるいはEtOHを処理した. 菌接種開始から8日目に枯死率を調査した（反復数12）. なお、茎疫病菌は農研機構上越研究拠点より分譲を受けたPs060710-3-1を供試した.

結果および考察

リグニンの染色割合の上昇は、AOPPを処理した方がEtOHを処理した場合に比べて遅れ、傷処理後48時間における染色割合はAOPPが29%、EtOHは60%となった. 枯死率は、傷処理から菌接種までの時間が増加するのに伴って、EtOH区では50%まで低

下した一方で、AOPP 区は 71%までしか低下しなかった。

以上の結果より、AOPP を処理することによりリグニン蓄積が遅れ、枯死率低下の程度が緩やかになった。すなわち、リグニン蓄積が進むほど枯死率が低くなるという傾向が認められた。

## 実験② リグニン蓄積と枯死率低減の関係

目的 無施肥条件がダイズ茎疫病発生の低減に寄与しうるのかを明らかにする。

仮説 無施肥条件において素早いリグニン蓄積がみられる。

材料および方法

異なる施肥 ( $N:P_2O_5:K_2O = 0:0:0$  (無施肥区),  $3:0:0$  (1N 区),  $6:0:0$  (2N 区),  $3:10:10$ ,  $6:10:10$ ,  $6:20:20$  g m<sup>-2</sup>) を施したパーミキュライトに ‘エンレイ’ を播種した。播種後 7 日目の幼苗に実験①と同様の貫通傷を与え、異なる湿度条件 (高湿区 [平均相対湿度 99%] および低湿区 [同 77%]) 下で栽培した。傷処理後 12~48 時間において 4 時間毎に傷部分を採取し、実験①と同様に染色割合を調査した (反復数 6)。

結果および考察

リグニンの染色割合は、傷処理 12~48 時間後において、0~98%へと上昇した。24~36 時間において高湿区の染色割合が低湿区のそれよりも有意に高くなった。その高湿区において、24~32 時間の平均染色割合を施肥条件ごとに算出したところ、無施肥区で最も値が高く、1N 区、2N 区と窒素施肥量が多くなるに従い低くなった。この傾向は、低湿区の 32~40 時間においても同様にみられた。リン酸・カリウム施肥を行った場合には、高湿区で、上記の平均染色割合の窒素施肥によるリグニン蓄積の遅延を軽減する、すなわちリグニン蓄積が早くなる傾向がみられたものの、低湿区ではみられなかった。

以上より、無施肥条件において、ダイズ胚軸における傷へのリグニン蓄積が迅速になることが示唆された。このことが、長期無施肥無農薬栽培圃場において茎疫病の発生があまりみられなかった一因である可能性が考えられるものの、ポット栽培と長期無施肥無農薬栽培圃場とは多くの条件が異なるため、更なる調査が必要である。

以上より、癒傷過程にみられる、茎疫病による枯死率の低減にリグニン蓄積が寄与していることが強く示唆された。また、無施肥条件が傷口への迅速なリグニン蓄積をもたらすことで茎疫病発生を低減する可能性が示された。

引用文献

加藤ら (2022). 日本作物学会紀要 91: 223-229. <https://doi.org/10.1626/jcs.91.223>

Tada et al. (2021). *Physiol. Mol. Plant Pathol.* 116: 101737. <https://doi.org/10.1016/j.pmpp.2021.101737>

多田ら (2023). NPO 無施肥無農薬栽培調査研究会 2022 年度研究報告会: 43-44.

# 経営からみた無施肥無農薬栽培の持続可能性 — 農業者アンケートを用いた分析 —

上西良廣<sup>1\*</sup>・小林正幸<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>九州大学大学院農学研究院・<sup>2</sup>NPO 無肥研)

## 問題意識と課題

2015年の国連サミットでSDGs（持続可能な開発目標）が採択され、世界的に持続可能な社会の実現への関心が高まっている。農業分野では、欧州委員会が「Farm to Fork Strategy」と「EU Biodiversity Strategy for 2030」を同時に発表し、農薬使用量と肥料使用量の削減目標、有機農業の面積目標などを掲げている。日本では「みどりの食料システム戦略」を策定しており、世界的に環境負荷を低減した農業の重要性が高まっている。

無施肥無農薬栽培は有機資材も投入しないことから環境負荷が極めて小さい栽培方法である。そのため、無施肥無農薬栽培を普及することで、持続可能な社会の実現に資すると考えられる。

以上をふまえて本研究では、無施肥無農薬栽培を実践している農業者の導入行動を解明することを通して、経営面からみた無施肥無農薬栽培の持続可能性について考察することを目的とする。なお、2015年度時点の生産実態については、上西・小林（2016a, 2016b）を参照されたい。

## データおよび方法

本研究は、NPO 法人無施肥無農薬栽培調査研究会（以下、無肥研）と共同で実施したアンケート調査を用いる（実施期間は2023年8月～9月）。本調査は、全国の無肥研会員農家および無施肥無農薬栽培を実践している農業経営73件を対象とし、郵送方式により実施した（回答数29件、回答率39.7%）。調査票は、無施肥無農薬栽培の面積、取り組んだ理由、販売価格、農業所得、販路などの質問項目（大問18問、全6頁）で構成される。

分析にあたっては、Rogers(2003)によるイノベーション決定過程のモデル（知識→説得→決定→導入→確認）を援用する。具体的に、「知識」段階については無施肥無農薬栽培の情報源、「導入」段階については導入理由、「確認」段階については農業所得などに着目する。

## 分析結果と考察

無施肥無農薬栽培の情報源について、無肥研の関係者（24.1%）、無肥研の会員農家（20.7%）、会員ではないが無施肥無農薬栽培に取り組んでいる農業者（20.7%）が上位であり、普及にあたって重要な役割を果たしていることが明らかとなった。

導入理由については、「消費者に安全な農産物を届けたかったから」（80.0%）、「農薬で水を汚染したくなかったから」（74.1%）、「農薬で水田内の生物を殺したくなかったから」（73.1%）が上位であり、安全な農産物の生産および環境配慮が主な導入動機となっていた。その一方で、「無施肥無農薬栽培の出荷価格が他の米より高かったから」は48.0%にとどまっており、収益性よりも環境配慮面および安全な農産物の生産を重視していることが明らかとなった。



農業所得については、地域の農協出荷の場合と比較して、「30%以上高い」が最多（38.7%）であり、農業所得の向上につながっている事例（農協出荷の場合と比較して1%以上高い）は約65%であった。そのため、無施肥無農薬栽培は農業所得を向上させることが十分に可能であり、経営面から見ても持続可能であると考えられる。なお、経営品目ごとの詳細な結果については、上西（2024）を参照されたい。

## 謝辞

本研究で実施したアンケート調査にご回答くださった農業者の皆様に厚く御礼申し上げます。

## 引用文献

Rogers, E. M. (2003) Diffusion of Innovations, 5th ed, Free Press.

上西良廣（2024）「経営からみた無施肥無農薬栽培の持続可能性—無施肥無農薬栽培の収益性に着目して—」無施肥無農薬栽培調査研究会編『無施肥無農薬の農業—農業原点の生産性、持続性と品質—』（刊行予定）

上西良廣・小林正幸（2016a）「無施肥無農薬栽培の生産実態と課題」小田滋晃・坂本清彦・川崎訓昭編著『「農企業」のアントレプレナーシップ』昭和堂：37-50.

上西良廣・小林正幸（2016b）「無施肥無農薬栽培の生産実態と生産拡大に関する分析」『無施肥無農薬栽培調査研究会 研究報告書』、35-39.