

【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

2019 年度 研究報告会

理事長のコメント

NPO 法人 無施肥無農薬栽培調査研究会の 2019 年度研究報告へのコメント

…… 堀江 武 理事長

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 (2019年度)
…… 小林正幸・森誠 (無肥研) 1
2. 品種と水田の違いが無施肥無農薬栽培における水稻の生育・収量に及ぼす影響 (第 5 報)
…… 丸田信宏¹・白岩立彦^{1,2} (¹無肥研・²京大院農) 8
3. 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
(2019年度無施肥無農薬栽培における水稻栽培比較試験)
…… 家田善太¹・白岩立彦^{1,2} (¹無肥研・²京大院農) 13
4. 耕起回数が無施肥無農薬栽培水稻の生育・収量に及ぼす影響
…… 丸田信宏¹・白岩立彦^{1,2} (¹無肥研・²京大院農) 20
5. 植物共生微生物と施肥の関係性 ～貧栄養土壤に適したイネの微生物共生について～
…… 有年由紗・今井俊介・清水幸子・Yuniar Devi Utami・藤雅子・西條雄介
(奈良先端科学技術大学院大学) 26
6. 長期無施肥栽培茶園の総合研究
…… 佐波雅史¹・西村直人¹・林泰佑²・小林正幸³・丸田淳三³・白岩立彦^{2,3}・栗田光雄^{2,3}
(¹京大農・²京大院農・³無肥研) 30
7. 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) 34
8. 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・田中千尋・白岩立彦 (京大院農) 38
9. 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 (予備試験)
…… 下平訓立・倉島次郎 (無肥研) 42

NPO 法人 無施肥無農薬栽培調査研究会の 2019 年度研究報告へのコメント

理事長 堀江 武

はじめに

無施肥無農薬栽培は、化学資材の多投入がもたらす環境汚染や生産者および消費者の健康影響などの問題とは無縁の、環境と食の安全・安心度の高い農法である。肥料農薬無投入の栽培を数十年継続したにもかかわらず、それらを大量投入する慣行栽培の 60% を超す収量が維持されている圃場の存在が明らかにされ（奥村、1988）、無施肥無農薬栽培の長期継続圃場では、作物生長に不可欠な窒素やリンなどの高い天然供給や病虫害被害の軽減につながるような、慣行栽培とは異なる特有な生態系が形成されているのではないかと考えられた。そのような圃場生態系の構造と機能を解明することは、化学資材に過度に依存する今日の農業に替わる、新しい農法の創造に向けて重要である。NPO 法人無施肥農薬栽培調査研究会はこのような考えのもとに発足し、研究者と無施肥無農薬栽培の実践者の連携のもとに、無施肥無農薬栽培での作物生産実態や、生産性維持機構および生産物の品質特性などの解明を目的に調査研究を行ってきた。

そのような調査研究の成果を報告する、NPO 法人無施肥無農薬栽培調査研究会の 2019 年度の研究報告会は、今年 3 月に開催予定であったが、新型コロナウイルスの感染拡大の影響を受けて、開催中止を余儀なくされた。そこで、その報告会で講演予定の研究報告を取りまとめた資料集を発行し、それについての意見交換を、メールを通じてリモートで行うことにしました。報告者の皆様には新型コロナ問題で落ち着かない毎日のなかで、報告書をおまとめいただいたことに感謝いたします。報告書を読んで気づいたことを以下にコメントとして述べさせていただきます。

無施肥無農薬栽培の長期継続水田の生産実態と収量支配要因に関する調査研究

近畿から北陸にかけての地域で無施肥無農薬栽培を長期継続してきた 13 の圃場について、昨年度の収量調査の結果と収量経年変化についての報告がなされた。昨年は全体的に平年より低収の圃場が多く、その原因として、7 月上中旬の日照不足に加え、除草不足、籾枯れ細菌病の発生（亀岡圃場）などが挙げられている。収量経年変化を示した図では、年次変動とともに水田間での大きな違いが認められる。水田間での収量の違いには、無施肥無農薬栽培に切り替え後の年数の影響が大きいように見られる。圃場ごとに無施肥無農薬栽培開始後の年数と収量の関係の傾向線を作成し、同一年数での収量の圃場間差異を求め、その差異が生じた原因（気候、灌漑水の養分濃度、品種、水田管理など）を明らかにして

いくことが今後重要となろう。加えて、除草は、それなくしてこの栽培法は成り立たないほどに重要な栽培技術の 1 つである。除草の励行に加え、無施肥無農薬栽培向きの水田除草技術の開発が求められる。

無施肥無農薬栽培の長期継続水田の水稻収量に及ぼす品種、作期及び耕起回数の影響についての実験研究の成果が報告されている。収量への品種の影響に関し、無施肥無農薬栽培の長期継続水田のような貧栄養土壌では、収量はベニアサヒなど生育期間の長い晩生品種の方が収量性に優れるという結果が示された。これは、晩生品種が養分の乏しい土壌から少しずつ無機化してくる栄養素を長期間かけて吸収蓄積できることを考えると、妥当性の高い結果といえる。一方で、生育期間の長い品種は異常気象や病害虫への遭遇リスクが高まることは事実であり、無施肥無農薬栽培の品種選定には、この両者の考慮が必要なが示唆された。

無施肥無農薬栽培の長期継続水田での、水稻の作期が収量に及ぼす影響についての調査から、早生品種コシヒカリの慣行より遅植えは収量を大きく低下させること、そして早植えはわずかではあるが増収させることが示された。このことは既往の研究成果に照らして妥当と判断される。しかし、実験結果の解析に援用した河津らのモデルは、水稻収量は出穂前 40 日から 10 日前までの 30 日間の平均日照時間が長いほど、そして最低気温が約 19℃以上であれば、それが低いほど（高いほどではない！）高くなる、と解釈すべきである。加えて、作期の変更が出穂期に及ぼす影響は品種の感光性程度で異なり、ベニアサヒのような感光性の強い品種の出穂期はほとんど影響を受けないが、コシヒカリのような弱感光性品種はある程度影響される。しかし作期の早晩によって最も大きく変化するのは栄養生長期の長さであり、早植えはそれを延長し、遅植えはそれを短縮する。収量の決定には栄養生長と生殖生長のバランスが大きく関わっている。無施肥無農薬栽培のような貧栄養条件下でどのようなバランスが収量に好影響を与えるのか、こういう観点も取り込んで、作期の検討を行ってほしい。

耕起回数が無施肥無農薬栽培の水稻の生育・収量に及ぼす影響の調査から、耕起回数は地力窒素の供給を通じて生育に影響を及ぼすこと、及び不耕起栽培は収量低下を招くことなどが明らかにされた。今後は、耕起回数のみならず、地力窒素の発現に大きく関与する、冬季の圃場水分の影響をも考慮した調査研究を望みたい。

無施肥無農薬栽培の長期継続水田での水稻生産性についての従来の調査研究に、そこで生産されるコメの品質についての調査が加わったことを評価したい。昨年度の食味計による調査から、無施肥無農薬栽培の長期継続水田で生産されるコメはタンパク質含量、アミロース含量ともに極めて低く、他のコメにはない特性をもつことが明らかになった。こういう特色あるコメの、例えば腎臓に障害

を持つ人への提供などを通じ、健康食品としての機能を解明し、その用途を探っていくことも今後の重要課題となろう。

無施肥無農薬栽培の長期継続圃場の作物共生微生物と病原微生物に関する研究

植物は多種多様な微生物を体内に宿しており、その中には病原となるものがある一方で、植物に窒素やリンなどの栄養成分を供給して生長を助けるものもある。無施肥無農薬栽培の長期継続圃場に特徴的な微生物相を明らかにし、それらが作物にどのような働きをしているかの解明は、生態系機能を活用した省資源農業に向けて重要である。水稻共生微生物の調査から、無施肥無農薬栽培の長期継続水田の共生微生物集団の種組成は慣行水田でのそれと大きく異なることを明らかにし、さらに、その種組成をもとに施肥の有無の判定を可能にしたことは評価できる。今後、無施肥無農薬栽培水田に特有な共生微生物がどのような働きをしているか、その機能の解明が待たれる。

一方、ダイズの茎疫病発生の圃場間差異についての調査から、無施肥無農薬栽培を行ってきた圃場（綾部）は、慣行栽培の篠山圃場ほどに顕著な病気発生が認められなかったという、大変興味深い結果が示された。その原因を土壌の無機成分の違いに求めたが、いずれの成分ともそれ単独での病気発生の説明は困難とされている。今後、多くの圃場を対象に同様な調査を行い、無施肥無農薬栽培でダイズの茎疫病発生が少ないということの普遍性を確かめてほしい。さらに、植物の高窒素濃度が病気の発生を助長することは、イネのイモチ病などでよく知られている。窒素単独では困難かもしれないが、それと他の要因（圃場帯水など）をからめて解析することで、無施肥無農薬栽培の圃場でダイズの茎疫病の発生が抑制される仕組みの解明が待たれる。

チャ及びジャガイモの無施肥無農薬栽培に関する調査研究

チャの無施肥無農薬栽培の研究が京大作物研を中心に精力的に進められていることを評価するとともに、その成果に大きな期待を寄せたい。チャは薬草として中国から伝わったものであり、今日でもストレスやアレルギーの緩和機能、あるいは癌抑制などの効果が注目され、健康食品として利用する向きも多い。しかし喫味などの品質を重視する余り、その多肥多農薬による環境汚染や健康への影響が懸念されるようになっている。そういうチャ栽培からの脱却を図るうえでも、無施肥無農薬栽培を研究することの意義は大きい。過去 2 年間の長期無施肥無農薬栽培と慣行栽培の茶園についての比較調査から、最も重要な一番茶の収量は両者同等であるが、続く親子番茶や二番茶の収量は長期無施肥無農薬栽培で劣ることが示された。さらに無施肥無農薬栽培の長期継続茶園の交換性塩基の含量は慣行栽培のそれよりも有意に低い、土壌有機物含量には両者に

違いが認められないという、興味深い結果が得られている。チャと同様に永年作物であるクワの無施肥無農薬栽培についての総合的な研究が、故栗田光雄氏によって行われている。そこで用いられた研究手法を援用して、無施肥無農薬栽培茶園の養分収支と生産性維持機構、病虫害の発生実態、さらには茶葉の健康機能性に着目した品質特性などを明らかにしていってほしい。

さらに、昨年度からジャガイモについての長期無施肥無農薬栽培の調査研究が開始された。無施肥無農薬栽培が地下部利用作物であるジャガイモにどのような影響や効果を与えるか、興味のもたれるところであり、今後の研究に期待したい。ただし、収量の表記は面積（収穫畝長 × （畝幅 + 株間））あたりに統一すべきではないか。株当たりでの収量表記は、年度により栽植密度が変化することがあるので、避けるべきと考える。

結び

以上のように、無施肥無農薬栽培の長期継続圃場において、多様な作物を対象にして、その生産実態、生産性支配要因、物質収支や共生あるいは病原微生物生態を介した生産性維持機構、および生産物の品質特性などの解明に向けて、研究の着実な進展が認められた。このような研究成果は、今日の資源投入に過度に依存した農業から、生態系機能を活用した省資源型農業への転換に求められる重要な知見を導くものと考ええる。このようにユニークで意義ある研究ができるのは、無施肥無農薬栽培の長期継続圃場という、日本はもとより世界でも稀有な研究フィールドがあるからである。このフィールドを利用する、それだけで研究のオリジナリティは確保されるのである。長年にわたり無施肥無農薬栽培を続けてこられた生産者の皆様に感謝申し上げるとともに、生産物の健康機能性などの有用な特性が解明され、その付加価値が高まることを願ってやまない。

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
(2019年度)

小林正幸・森誠（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、それぞれの立地条件の下、様々な作物を生産している。近年無施肥無農薬栽培（以下無施肥栽培という）の調査研究が進められるようになったが、無施肥栽培における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。無施肥栽培の記録は過去においてそれほど多く残されておらず、その資料を記録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10年以上無施肥栽培を継続している水田と無施肥栽培に切り替えて2~3年になる水田がある中、福井県、滋賀県、兵庫県および京都府に位置する無施肥栽培水田における2019年の収量結果と食味計による分析結果をまとめた。

参考として2019年の気象庁発表の京都市気象データを（表1）と（図1）に示した。水稻収量は収穫時に常法にしたがって調査した。（1）坪刈り法によるもの7圃場について（表2）（図2）に示し、坪刈り法で収量を経年記録している6圃場については21年間の推移を（図3）に表した。（2）株刈り法では15圃場（収量要素を含む）を（表3）（図4）に、（3）全刈り法によるもの14圃場を（表4）に示した。（4）食味計による分析資料として12供試体の結果を（表5）に示した。

気象概要

一般的に作物の生育と収量に影響を与える要因の一つに天候があげられる。

平均気温

温暖化が進み毎年のように異常気象が言われるが、2019年も例外ではなく京都市の年間平均気温は過去10年の平均気温に比べ1.2℃高くなった。ただし稲の生育期間である4月~10月の平均気温は0.4℃高にとどまり、1月~3月の平均気温が例年に比べ0.9℃高い暖冬の年であった。稲の生育期間中に関しては移植時期から初期生育にあたる5月中旬から6月上旬にかけて平均気温は1.4℃高くなり、梅雨入りは6月下旬と遅く、7月下旬まで続いた結果分げつ盛期、幼穂分化期の平均気温は1.4℃低くなった。8月上旬から中旬にかけて気温は高く推移し平均気温は1.7℃高くなったが、8月下旬は雨や曇りの日が多く平均気温で1.5℃低くなった。9月上旬~10月中旬にかけて高く推移し平均気温は1.7℃高くなった。こうした気温の変化は稲の生育に影響を与えたと思われる。

日照時間

1月~3月は過去10年の平均日照時間と比べて-31.3hと短く、4月上旬、中旬では+39.4hと長く、下旬では-27hと短くなった。本田における稲の生育期間では5月は+52.3h、6月は+14.1hとそれぞれ長かった。7月は梅雨が下旬まで明けず-62.1hと短くなり、8月上旬は+28.5hと長くなった。中旬、下旬は台風の影響や雨天の日が多く-26.1hと

短くなった。9月は上旬から中旬まで好天が続き+12.9hと長くなった。10月上旬は晴れの日が多く+6.0hと長くなったが、中旬には台風や雨天、曇天の日が増え-28.8hと短くなった。

降水量

2019年の1月から12月までの年間降水量(1408mm)は過去10年間の平均降水量(1614mm)より13%少なかったが、稲の生育期間中の4月～10月では1200mmと過去10年間の平均降水量(1220mm)とほぼ変わらなかった。

表1 2019年京都市気象データ

		気温(℃)						日照時間(h)		降水量(mm)	
		日平均		日最高		日最低					
1月	上旬	5.0	(4.8)	8.9	(9.1)	1.6	(1.6)	38.3	(42.4)	2.0	(12.8)
	中旬	5.6	(4.1)	10	(8.4)	2.4	(0.7)	41.1	(44.6)	3.0	(16.4)
	下旬	4.7	(4.4)	8.7	(8.7)	1.7	(0.9)	41.4	(45.0)	20.0	(25.7)
2月	上旬	6.4	(4.6)	10.7	(9.0)	3	(1.3)	39	(41.0)	8.5	(19.8)
	中旬	6.0	(4.9)	9.8	(9.5)	3	(1.3)	30.9	(42.2)	14.0	(36.7)
	下旬	8.8	(7.4)	13.4	(12.3)	4.8	(3.2)	39.8	(39.3)	18.5	(25.6)
3月	上旬	9.1	(7.9)	13.9	(12.5)	5	(4.1)	48.3	(38.6)	42.5	(46.3)
	中旬	8.7	(9.2)	14.4	(15.1)	3.9	(4.1)	48.1	(53.7)	19.0	(33.0)
	下旬	10.9	(9.6)	16	(15.4)	6.2	(4.7)	48.6	(68.0)	7.0	(34.3)
4月	上旬	10.8	(12.9)	16.5	(18.7)	5.8	(7.8)	82.3	(55.8)	44.0	(40.6)
	中旬	13.7	(14.5)	19.9	(20.2)	8.4	(9.4)	71.4	(58.5)	14.5	(47.1)
	下旬	17.0	(16.0)	22.1	(21.8)	12.6	(10.8)	37.3	(64.3)	48.5	(45.6)
5月	上旬	17.8	(18.3)	24.6	(24.1)	12.1	(13.2)	85.8	(62.6)	14.0	(30.5)
	中旬	21.5	(19.6)	27	(25.7)	17	(14.1)	65	(71.3)	10.0	(49.8)
	下旬	22.5	(21.2)	29.1	(26.8)	16.3	(16.5)	96.5	(61.4)	60.5	(61.1)
6月	上旬	23.1	(22.1)	27.8	(27.3)	19.3	(17.7)	43.6	(55.5)	28.0	(39.5)
	中旬	22.5	(23.3)	27.7	(28.2)	18.2	(19.4)	61.8	(43.2)	19.0	(65.7)
	下旬	25.2	(24.8)	30.5	(29.6)	21.5	(21.1)	44.9	(37.5)	93.5	(88.7)
7月	上旬	25.1	(26.4)	28.9	(30.9)	22.4	(23.0)	21.2	(36.3)	25.0	(102.3)
	中旬	25.0	(28.4)	29	(33.4)	22	(24.6)	16.7	(55.4)	121.0	(98.3)
	下旬	28.8	(28.7)	34.2	(33.9)	25.3	(24.9)	51.6	(59.9)	67.5	(47.6)
8月	上旬	31.5	(29.4)	37.2	(34.7)	27.3	(25.6)	91.6	(63.1)	4.5	(56.1)
	中旬	30.2	(28.9)	34.9	(34.3)	26.8	(24.9)	54.9	(60.0)	193.5	(68.0)
	下旬	26.6	(28.1)	31.2	(33.0)	23.4	(24.4)	35.4	(56.4)	157.0	(43.6)
9月	上旬	28.8	(25.8)	34.1	(30.7)	25.1	(22.2)	59.5	(48.2)	28.5	(89.4)
	中旬	25.2	(24.4)	30.2	(29.2)	21.7	(20.7)	68.3	(49.2)	38.0	(88.8)
	下旬	24.7	(22.7)	28.9	(27.5)	21.6	(18.7)	34.1	(51.6)	18.0	(59.9)
10月	上旬	22.8	(21.1)	27.5	(25.8)	19	(17.2)	54.6	(48.6)	36.5	(45.0)
	中旬	19.4	(18.6)	23.1	(23.5)	16.2	(14.6)	23.8	(52.6)	97.0	(40.6)
	下旬	17.9	(16.7)	22.3	(21.6)	14.9	(12.6)	43.1	(54.8)	81.5	(62.2)
11月	上旬	14.4	(14.7)	20.1	(19.4)	9.7	(10.5)	83.2	(47.6)	1.0	(20.0)
	中旬	12.8	(12.3)	17.9	(16.7)	8.4	(8.7)	63.5	(42.1)	22.0	(42.5)
	下旬	11.6	(10.6)	15.7	(15.3)	8.5	(6.7)	34.4	(45.6)	2.5	(17.4)
12月	上旬	8.0	(8.6)	12.5	(13.1)	4.4	(4.7)	40.6	(48.7)	12.5	(16.5)
	中旬	9.1	(6.5)	13	(10.6)	5.4	(3.2)	41	(37.6)	12.5	(25.1)
	下旬	7.9	(5.8)	11.6	(9.9)	4.4	(2.5)	35.7	(46.4)	22.5	(26.4)

気象庁発表の京都市の気象データをもとに作成。()は2009年～2018年の平均値

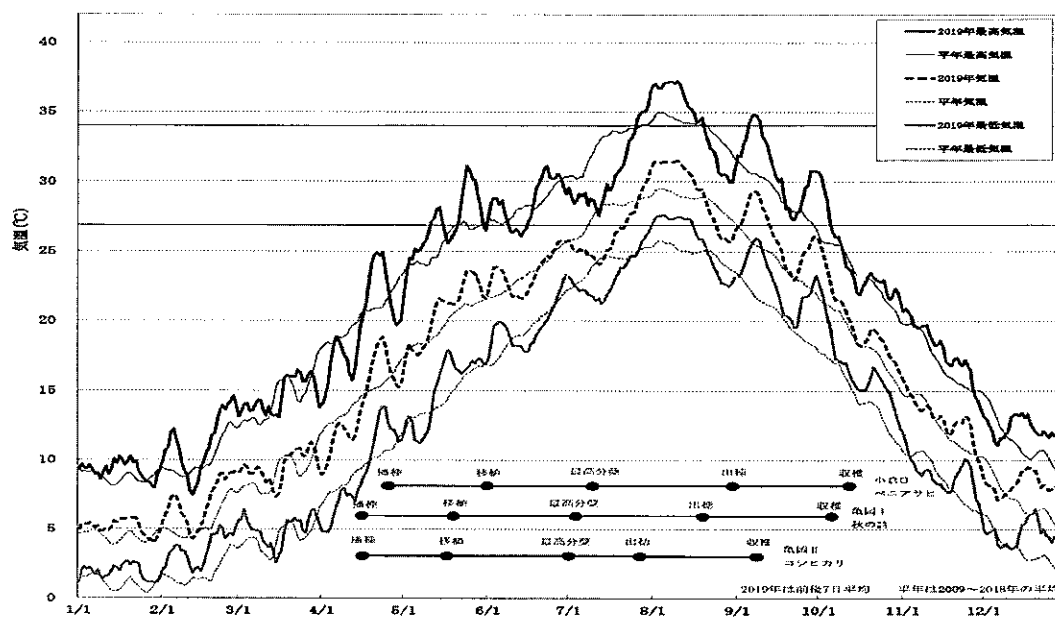


図1 京都市日平均気温（気象庁調べ）とイネの生育過程

水稲収量

2019年の無施肥栽培水稲の収量を調査法別に以下の通りまとめた。

坪刈り法（表2）（図2）

栽培地や栽培品種の異なる7圃場で調査した。栽培品種は新羽二重、ベニアサヒ、農林16号、コシヒカリ、秋の詩の5品種である。調査圃場は雑草がほぼ抑えられ水田管理は良好である。2019年の収量結果をまとめると、野洲市の野洲Ⅶ水田（401.2 kg/10a）はモチ米新羽二重を栽培している。この水田は3年に一度地域の申し合わせで転作となり2017年は水稲（コシヒカリ）、2018年は蔬菜の栽培をしていた。過去10年間の平均収量は 382.3 ± 35.3 kg/10a（±以下は標準偏差）と比較的安定しており、無施肥田としては高収量の水田である。宇治市小倉のO水田（263.8 kg/10a）、R水田（247.4 kg/10a）では1951年より自家採種を続けている晩生品種のベニアサヒを栽培している。O・R水田それぞれ過去10年間の平均収量は 315.8 ± 38.6 kg/10a と 286.8 ± 49.2 kg/10a であり約15%の減収となった。京都市山科区のY-1水田（243.0 kg/10a）とY-2水田（239.2 kg/10a）は市街地に位置し実施54年になり、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。過去10年間の平均収量はそれぞれY-1（ 249.2 ± 31.5 kg/10a）、Y-2（ 240.4 ± 39.3 kg/10a）であるから2019年は平年作であった。福井県越前市のF水田（289.5 kg）はコシヒカリを栽培、過去10年間の平均収量は 381.5 ± 53.7 kg/10a であるから約25%の減収となった。亀岡市のK-I水田（41.8 kg/10a）は秋の詩を栽培している。2019年は出穂後もみ枯細菌病が発生し、ほとんどのモミが不稔粒となり大きな被害となった。ちなみに過去10年間の平均収量は 209.4 ± 74.2 kg/10a と低収量で年次間のバラツキがある水田である。収量の経年推移（図3）では、どの水田も年ごとに増減が見られ、亀岡K-I水田を除いてそれらの変動係数は15%内外である。無施肥栽培では

人為的に施肥をしないため生育時々の天候と水田管理（水管理、雑草抑制）や天然由来による水(天水、灌漑水)、土壌養分量、微生物の働き等によって生産量が左右される。これらの要素の中で水田管理が十分に行われていれば天候の変動が収量に影響を及ぼすと思われる。

表2 2019年水稲収量調査(坪刈り法)

生産者	実施場所	実施		品種	全乾重 (g/m ²)	茎乾重 (g/m ²)	精穀重 (g/m ²)	精玄米重 (g/m ²)	推定玄米重 (kg/10a)	過去10年の	備考	
		開始年	自家採種 年数							平均推定収量 (kg/10a)		
無肥研	滋賀県野洲市	野洲Ⅶ	2003	26	新羽二重	1217	723	493	389	401.2	382.3 ±35.3	
無肥研	宇治市小倉	O	2003	64	ベニアサヒ	833	501	332	267	263.8	315.8 ±38.6	
無肥研	宇治市小倉	R	(1951)	64	ベニアサヒ	836	520	316	250	247.4	286.6 ±49.2	注1
上田修一	京都市山科区	Y-I	1965	44	農林16号	677	377	300	245	243.0	249.2 ±31.5	注2
上田修一	京都市山科区	Y-II	1965	64	ベニアサヒ	657	327	330	242	239.2	240.4 ±39.3	注2
丸山茂子	福井県越前市	F	1997	12	コシヒカリ	788	438	350	278	289.5	381.5 ±53.7	
無肥研	京都府亀岡市	K-I	1993	12	秋の詩	499	107	92	52	41.8	209.4 ±74.2	注3

推定玄米重は水分15%で補正した。

注1 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2 市街地にあり生育期間中、住宅の陰になることが多い。

注3 出穂後もみ枯細菌病の発生により約70%の不稔粒が出た。

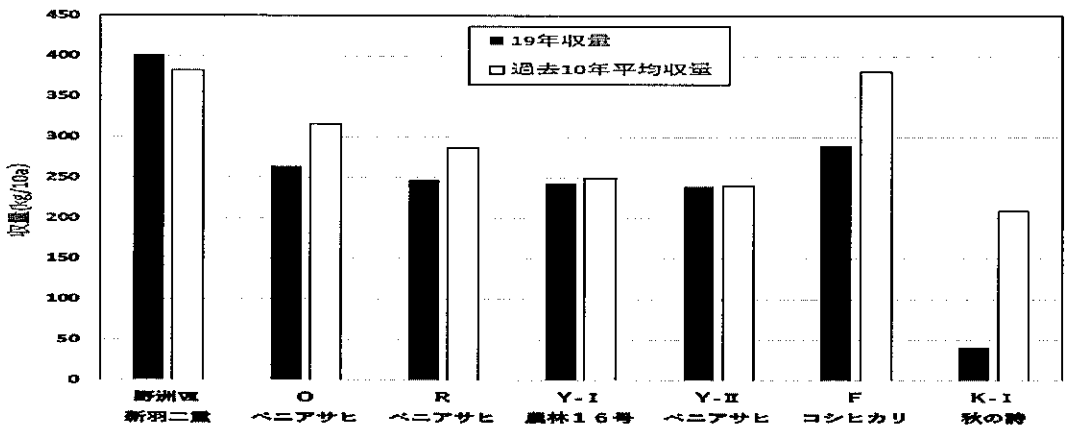


図2 坪刈りによる収量

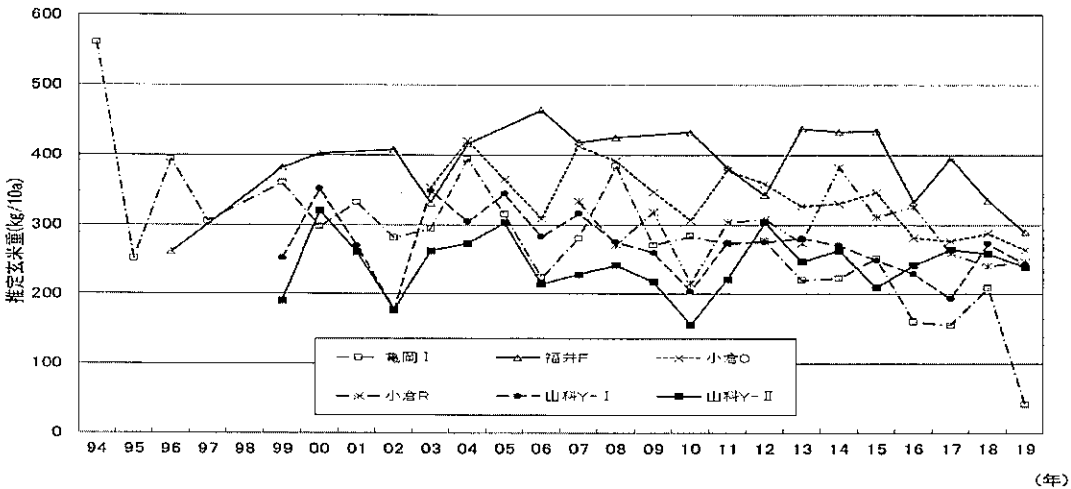


図3 無施肥無農薬栽培水田玄米収量の推移(坪刈り法)

株刈り法（表3）（図4）

異なる9地域の15圃場で5品種（コシヒカリ、ベニアサヒ、農林16号、新羽二重、秋の詩）の収量および収量要素の調査を行った。もみ枯細菌病が多発した亀岡 K-I を除いてもそれぞれの水田間に大きな差が見られた。同一品種のコシヒカリの8圃場においても数量差が大きくあり、立地条件の違いや栽培管理、無施肥栽培実施年数の違いが影響したと思える。3年目の尾形水田（ $485.0 \pm 21.4 \text{ g/m}^2$ ）は高収量であった。これは慣行栽培時の残肥の影響に加え元々肥沃な土壌であることが考えられる。収量が上がらなかった牧野水田（ $157.2 \pm 11.2 \text{ g/m}^2$ ）、中道Ⅰ水田（ $220.2 \pm 12.2 \text{ g/m}^2$ ）、中道Ⅱ水田（ $196.4 \pm 11.2 \text{ g/m}^2$ ）、亀岡Ⅱ水田（ $216.3 \pm 13.2 \text{ g/m}^2$ ）では雑草が多く見られた。沢水田（ $375.1 \pm 25.3 \text{ g/m}^2$ ）については雑草が繁茂したが、滋賀県大湖の干拓地で肥沃な土壌でまずまずの収量があった。福井県大野市の中村水田（ $269.3 \pm 11.1 \text{ g/m}^2$ ）は多くの雑草が繁茂し収量に影響したと思える。中村水田は肥沃な水田で雑草が抑制できればかなりの収量が期待できる。小倉○水田（ $259.3 \pm 18.5 \text{ g/m}^2$ ）、R水田（ $229.7 \pm 14.0 \text{ g/m}^2$ ）、は晩生品種のベニアサヒを栽培しているが穂数と粒数の確保が十分でなかった。その原因として分けつ最盛期にあたる7月上旬から7月中旬にかけて例年の梅雨時期と比べ、気温が低く日照不足の日が多くあったことと、8月中旬から出穂前の8月下旬にかけても雨天、曇天の日が多く気温が例年より低く、日照時間も短くなったことが考えられる。京都市の市街地山科区にある上田Ⅱ水田（ $287.3 \pm 31.5 \text{ g/m}^2$ ）ベニアサヒ、上田Ⅰ水田（ $220.0 \pm 11.8 \text{ g/m}^2$ ）農林16号は無施肥栽培継続年数54年になるが耕土が浅く小石混じりの水田で日照条件も悪い。野洲Ⅶ水田（ $375.9 \pm 16.4 \text{ g/m}^2$ ）と成田水田（ $344.1 \pm 13.1 \text{ g/m}^2$ ）ではモチ米（新羽二重）を栽培している。野洲Ⅶ水田は2018年転作年にあたり畑作であった。成田水田は無施肥栽培2年目でまだ残肥があると思われる。

表3 2019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 ²)	穂数 (本/m ²)	一穂粒数 (粒/穂)	登熟歩合	1000粒重 (g)	収量 (g/m ²)	収穫係数
亀岡Ⅱ	京都府亀岡市	2009	コシヒカリ	605.1 ± 29.3	166.8 ± 7.6	77.8 ± 2.3	$89.8\% \pm 2.0\%$	19.8 ± 0.0	216.3 ± 13.2	$49.0\% \pm 0.5\%$
沢	滋賀県東近江市	2006	コシヒカリ	939.0 ± 64.0	255.8 ± 15.2	80.0 ± 2.5	$89.7\% \pm 2.2\%$	20.7 ± 0.2	375.1 ± 25.3	$52.6\% \pm 0.5\%$
中道Ⅰ	滋賀県野洲市	2007	コシヒカリ	593.4 ± 34.1	170.1 ± 9.5	73.3 ± 3.5	$90.0\% \pm 1.0\%$	21.2 ± 0.1	220.2 ± 12.2	$49.3\% \pm 0.5\%$
中道Ⅱ	滋賀県野洲市	2010	コシヒカリ	493.3 ± 26.5	148.7 ± 9.3	65.6 ± 2.4	$92.4\% \pm 0.5\%$	21.5 ± 0.0	196.4 ± 11.2	$52.0\% \pm 0.7\%$
福井F	福井県越前市	1997	コシヒカリ	676.0 ± 25.1	173.5 ± 6.7	89.7 ± 2.8	$79.6\% \pm 0.9\%$	21.0 ± 0.1	239.0 ± 9.6	$47.7\% \pm 0.4\%$
中村	福井県大野市	2003	コシヒカリ	669.8 ± 25.0	163.8 ± 7.0	98.7 ± 3.3	$86.6\% \pm 0.5\%$	20.9 ± 0.0	269.3 ± 11.1	$54.8\% \pm 0.6\%$
牧野	福井県福井市	2009	コシヒカリ	438.6 ± 26.5	118.1 ± 4.9	87.2 ± 6.2	$81.8\% \pm 0.9\%$	20.1 ± 0.2	157.2 ± 11.2	$49.6\% \pm 0.5\%$
尾形	福井県越前市	2017	コシヒカリ	1138.3 ± 50.9	276.4 ± 13.9	102.3 ± 2.8	$89.1\% \pm 0.5\%$	20.9 ± 0.1	485.0 ± 21.4	$55.3\% \pm 0.4\%$
小倉○	宇治市小倉	2003	ベニアサヒ	827.9 ± 59.5	162.2 ± 11.1	84.2 ± 3.7	$91.7\% \pm 1.4\%$	22.7 ± 0.2	259.3 ± 18.5	$42.3\% \pm 0.5\%$
小倉R	宇治市小倉	1951	ベニアサヒ	820.6 ± 46.2	177.7 ± 10.0	72.4 ± 3.2	$92.0\% \pm 0.8\%$	21.7 ± 0.1	229.7 ± 14.0	$39.1\% \pm 0.8\%$
上田Ⅱ	京都市山科	1965	ベニアサヒ	695.4 ± 78.3	115.8 ± 9.1	111.4 ± 6.9	$96.8\% \pm 0.7\%$	23.2 ± 0.0	287.3 ± 31.5	$52.7\% \pm 0.5\%$
上田Ⅰ	京都市山科	1965	農林16号	584.7 ± 31.8	130.1 ± 7.9	79.2 ± 7.1	$96.9\% \pm 0.1\%$	22.9 ± 0.1	220.0 ± 11.8	$48.3\% \pm 0.3\%$
亀岡Ⅰ	京都府亀岡市	1993	秋の詩	492.1 ± 23.3	163.5 ± 8.1	64.1 ± 5.1	$33.4\% \pm 3.7\%$	21.2 ± 1.9	37.4 ± 2.5	$24.6\% \pm 0.7\%$
野洲Ⅶ	滋賀県野洲市	2003	新羽二重	1164.5 ± 54.6	319.5 ± 17.2	69.3 ± 3.1	$88.1\% \pm 1.5\%$	21.7 ± 0.1	375.9 ± 16.4	$44.3\% \pm 0.4\%$
成田	兵庫県豊岡市	2018	新羽二重	1026.2 ± 40.1	262.8 ± 11.3	67.2 ± 2.3	$93.4\% \pm 0.7\%$	22.1 ± 0.1	344.1 ± 13.1	$45.3\% \pm 0.4\%$

平均値±標準誤差

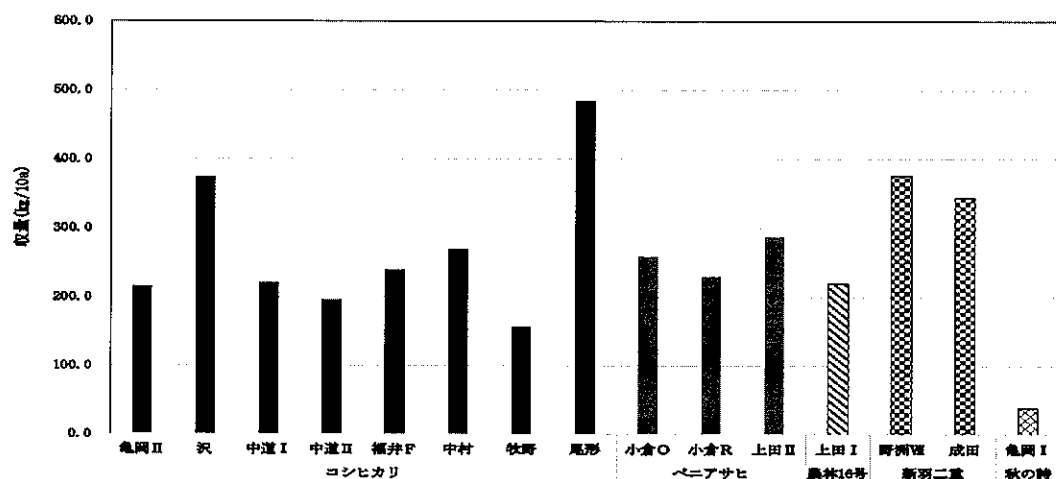


図4 株刈り法による収量

全刈り法 (表4)

産地、品種、実施開始年の異なる 15 圃場の収量を参考資料としてまとめた。なお収量 (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4 2019年無施肥無農薬水田収量(全刈り法)

No	生産者	産地	品種	実施開始年	収量 (kg/10a)	過去5年間平均 (kg/10a)	備考
1	無肥研	滋賀県野洲市Ⅶ	新羽二重	2003	332.8	349.2 ± 43.0	注1
2	無肥研	京都府亀岡市K1	秋の詩	1993	59.6	154.1 ± 67.9	注2
3	無肥研	京都府亀岡市K2	コシヒカリ	2009	211.8	193.7 ± 53.7	
4	無肥研	京都府宇治市	ベニアサヒ	2003	233.6	281.5 ± 62.7	
5	上田修一	京都市山科区	農林16号	1965	268.6	248.4 ± 22.6	
6	上田修一	京都市山科区	ベニアサヒ	1965	224.0	242.3 ± 34.5	
7	丸山茂子	福井県越前市	コシヒカリ	1997	275.7	363.8 ± 63.5	
8	沢昌弘	滋賀県東近江市	コシヒカリ	2010	322.5	261.8 ± 93.7	
9	牧野太平	福井県福井市	コシヒカリ	2009	175.7	191.1 ± 28.3	
10	牧野太平	福井県福井市	コシヒカリ	2010	169.3	187.3 ± 31.3	
11	中村孝太郎	福井県大野市	コシヒカリ	2003～2011	338.2	296.8 ± 50.2	注3
12	尾形言成	福井県越前市	コシヒカリ	2017	462.0	525.4 ± 69.7	注3
13	平田守	京都府南丹市園部	日本晴	2012～2015	278.6	332.9 ± 45.1	
14	中道唯幸	滋賀県野洲市	コシヒカリ	2007・2010	210.0	277.6 ± 45.1	
15	成田市雄	兵庫県豊岡市	新羽二重	2018	276.8	282.7 ± 8.3	注4

注1 16年は新羽二重、17年はコシヒカリの収量の3年で計算した。

注2 もみ枯細菌病による被害水田

注3 17年からの3年間で計算した。

注4 18年からの2年間で計算した。

食味分析資料（表5）

以前より無施肥栽培農産物は慣行栽培の物より美味であると聞いている。そこで無施肥栽培米を食味計（静岡製機株式会社 TM-350）を用いて12供試体のスコアによる評価を試みた。品種はコシヒカリ、ベニアサヒ、農林16号の3品種である。同機械に関してスコア評価にはばらつきがあるものの高評価が多く見られた。水分に関して13%台と低くなったのは粳摺り後計測までの保管状態が良くなかった為と考えられる。高いスコアを出した供試体はおおむねタンパク質が低い値を示していた。

表5 2019食味分析

食味分析計		静岡製機株式会社 TM-3500		2019.12.7実施				
それぞれ3回計測した平均								
生産者	調査区	品種	開始年	水分(%)	タンパク質(%)	アミロース(%)	脂肪酸度	スコア
無肥研	京都府亀岡市	コシヒカリ	2009	13.8	7.3	15.7	8	79
丸山	福井県南越前市	コシヒカリ	1997	13.6	7.6	17.5	12	74
沢	滋賀県大津	コシヒカリ	2010	13.7	7.1	18.4	15	79
牧野	福井県福井市	コシヒカリ	2009	14.4	5.8	16.9	12	91
中村	福井県大野市	コシヒカリ	2003	13.0	7.7	18.5	11	75
尾形	福井県南越前市	コシヒカリ	2017	13.7	7.1	16.2	11	82
平田	京都府南丹市	コシヒカリ	2012	13.9	6.7	16.7	12	82
中道	滋賀県野洲市	コシヒカリ	2007	13.9	6.4	16.1	10	88
無肥研	京都府宇治市(O)	ベニアサヒ	2003	14.9	6.3	17.4	17	85
無肥研	京都府宇治市(R)	ベニアサヒ	(1951)	15.0	6.3	17.6	18	85
上田	京都市山科区	ベニアサヒ	1965	15.7	5.9	18.6	22	86
		農林16号	1965	15.5	5.8	17.9	20	88

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

まとめ

農作物の収量の増減はその年の天候に左右されることは自明のことである。無施肥栽培において年毎の収量の変化はその年の天候に合わせた栽培管理（育苗、水管理、雑草の抑制など）が生育時期に的確に行われているかによって左右されることになる。肥料を投入しないでいかに収穫量を上げるか探求することは重要なことであるが、無施肥栽培の特徴を生かした味覚や品質を年毎に記録していくことも意味あることと思われ、今後も食味分析を続けて行きたい。

品種と水田の違いが無施肥無農薬栽培における 水稻の生育・収量に及ぼす影響(第5報)

丸田信宏^{1,0}・白岩立彦^{1,2}(¹NPO 無肥研・²京大院農)

古来より作物を栽培する場合に2つの適応性を考慮して品種の選択が行われてきた。一つは最終的に玄米収量で数量化できる作物生産性、もう一つは食味や品質など消費ニーズに帰結する社会・経済的適応性である(2004 古賀)。無肥研直轄圃場で、この2つの面から、無施肥栽培において収量性の高い品種、また消費するのに好まれる品種を探るために2015年より調査を行っている。

2015年の実験では、3か所4水田において、早晩性や草型の異なる3品種(コシヒカリ、秋の詩、ベニアサヒ)を比較したところ、ベニアサヒは4つの供試水田全てで収量が高く、かつ水田間による収量のばらつきが少なかった(2015年度報告会資料参照)。2016年には、前記の3品種に、ヒノヒカリ、農林16号を加えた5品種で同様の調査をおこなった結果、晩生>中生>早生の順に有意に収量が高いことが認められた(2016年度報告会資料参照)が、2017年は品種間に収量差が見られなかった。年度により収量差が見られない場合や、水田により収量の高い品種が異なることもあるが、2015年から2018年の4年間のデータを総合して分析すると、やはり生育期間が長い品種ほど収量が多い傾向が確認された。

2019年は、京都府宇治市小倉の2水田でのみ調査を行い、5品種の比較栽培を行なった。本報では2019年の調査結果と共に、2015~2019年の結果を含めて報告する。また2018年から行っている食味計を用いた検査の結果も併せて報告する。

【材料および方法】

供試品種はコシヒカリ、秋の詩、ヒノヒカリ、ベニアサヒ、

農林16号の5品種を用

いた(表1)。供試水田は、

京都府亀岡市の2水田

(K1, K2)、滋賀県野洲市

の2水田(Y3, Y7)、京都

府宇治市小倉の2水田

表1. 供試品種の特性

品種名	稈長	草型	早晩性
コシヒカリ	中	中間	早
秋の詩	中	中間	中
ヒノヒカリ	中	中間	中
ベニアサヒ	長	穂重	晩
農林16号	長	穂重	晩

表2. 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
K1	京都府亀岡市	盆地	灰色低地土	貯水池および井戸	1993
K2	京都府亀岡市	盆地	灰色低地土	貯水池および井戸	2009
Y3	滋賀県野洲市	沖積平野	灰色低地土	家棟川	1995
Y7	滋賀県野洲市	沖積平野	灰色低地土	家棟川	2003
O	京都府宇治市小倉	干拓地	強グライ土	宇治川	2003
R	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年より実施してきた栗東水田の表層土約15cmを運搬し移設

表 3. 供試水田と栽培品種の調査状況(2015-2019)

供試水田	K1					K2					Y3					Y7					O					R				
品種	コシ	アキ	ヒノ	ベニ	ノウ	コシ	アキ	ヒノ	ベニ	ノウ	コシ	アキ	ヒノ	ベニ	ノウ	コシ	アキ	ヒノ	ベニ	ノウ	コシ	アキ	ヒノ	ベニ	ノウ	コシ	アキ	ヒノ	ベニ	ノウ
2015年	○	○		○		○	○		○		○	○		○			転	作			△	○		○						
2016年	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		転	作			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○					
2017年	○	△	△	△	△	○	△	△	△	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	△	○	○	○	○	△	○	○	○	○
2018年	○	○	○	×	×	○	○	○	×	×	○	○	○	○	○		転	作			○	○	○	△	△	○	○	○	△	△
2019年																					○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

○:収量調査まで行えた △:収量調査が正確に行えなかった ×:栽培したが、収穫できなかった 空欄:栽培していない

(O, R)の6筆でおこなった(2019年はO, Rでのみ調査)(表2). Y3, Y7は転作の為、水稻栽培が行えない年があった(表3).

・調査項目

- ①それぞれの水田に各品種の栽培区を2反復設け、本田移植後7日目より、それぞれ連続10株について、茎数・草丈・SPAD値を1~2週間おきに測定した.
- ②生育調査した全株について、収穫後に収量諸形質を計測した. 統計処理は要因の効果を判定するには分散分析, 試験区間の差の比較にはチューキーの多重比較を用いた.
- ③食味は静岡製機株式会社の食味分析計 TM-3500 を用い, 3回の分析結果の平均値を求めた.

【試験結果および考察】

1)ORの水田間・品種間比較(2019)

表 4. 調査区の生育概要(2019)

供試水田	品種	調査区	播種日	本田移植日	最高分蘗期	出穂期	収穫
O水田 (京都府宇治市小倉)	コシヒカリ	Oコシ	4/20	5/26	7/2	7/27	9/1
	秋の詩	Oアキ	4/20	5/26	7/2	8/14	10/13
	ヒノヒカリ	Oヒノ	4/20	5/26	7/10	8/16	10/13
	ベニアサヒ	Oベニ	4/20	5/26	7/10	8/23	10/13
	農林16号	Oノウ	4/20	5/26	7/2	8/20	10/13
R水田 (京都府宇治市小倉)	コシヒカリ	Rコシ	4/20	5/26	6/30	7/24	9/1
	秋の詩	Rアキ	4/20	5/26	7/2	8/15	10/13
	ヒノヒカリ	Rヒノ	4/20	5/26	7/11	8/18	10/13
	ベニアサヒ	Rベニ	4/20	5/26	7/2	8/24	10/13
	農林16号	Rノウ	4/20	5/26	7/4	8/23	10/13

本年度の調査では、水田間にも品種間にも有意差が認められ、交互作用は認められなかった. 水田比較では、OはRよりも収量が多かった($P<0.01$). 品種比較では、コシヒカリ a, ベニアサヒ ab, 農林16号 bc, 秋の詩 cd, ヒノヒカリ dの順になった($P<0.05$). コシヒカリの収量が高かった要因は、穂数・一穂粒数が確保できたことである. これに対して、ベニアサヒや農林16号の収量は穂数は少なかったものの、1000粒重が高かったことで収

表 5. 調査区別収量構成要素(2019)

水田	調査区	全乾物重 (g/株)	穂数 (本/m ²)	一穂粒数 (粒/穂)	登熟歩合	1000粒重 (g)	推定収量 (kg/10a)
O	Oコシ	46.5 ±0.51	218.0 ±1.79	221.6 ±8.10	90.2% ±0.00	19.7 ±0.05	309.4 ±7.72
	Oアキ	54.9 ±0.57	223.1 ±1.79	173.3 ±8.01	83.9% ±0.01	21.3 ±0.13	270.3 ±1.19
	Oヒノ	55.7 ±0.29	194.9 ±0.30	146.4 ±0.72	86.4% ±0.01	21.1 ±0.10	260.4 ±0.54
	Oベニ	63.2 ±0.59	181.0 ±2.98	205.6 ±14.86	93.2% ±0.00	22.3 ±0.01	293.3 ±2.74
	Oノウ	59.8 ±1.05	181.8 ±1.19	158.4 ±7.13	89.7% ±0.00	21.9 ±0.04	276.0 ±6.58
R	Rコシ	39.9 ±0.59	192.3 ±3.87	165.0 ±2.62	88.9% ±0.00	20.0 ±0.06	263.5 ±3.86
	Rアキ	52.1 ±0.43	196.1 ±4.17	129.9 ±19.67	83.2% ±0.01	21.2 ±0.03	234.2 ±2.44
	Rヒノ	48.2 ±0.27	174.7 ±0.30	131.9 ±3.87	89.1% ±0.01	21.0 ±0.07	203.6 ±1.48
	Rベニ	52.7 ±1.40	157.8 ±2.08	184.1 ±14.62	95.8% ±0.00	22.2 ±0.12	266.2 ±10.21
	Rノウ	50.2 ±1.76	154.5 ±3.27	163.6 ±4.77	92.9% ±0.00	22.0 ±0.35	246.9 ±3.89
平均		52.3 ±0.75	187.4 ±2.17	168.0 ±8.44	89.3% ±0.00	21.3 ±0.10	262.4 ±4.06

平均±標準偏差

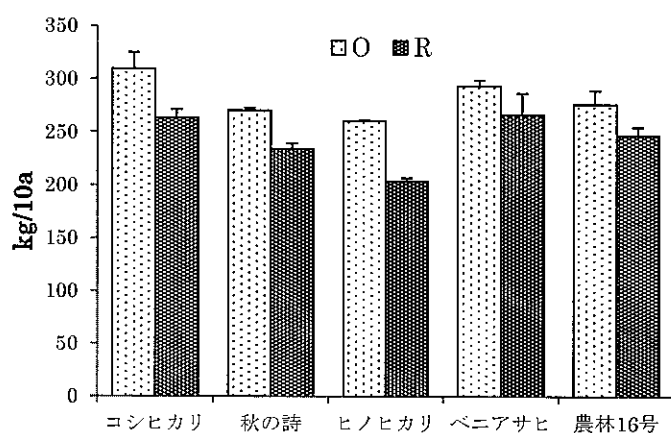


図 1. OR 水田の品種別推定収量(2019)

量が確保された。生育期間が最も短いコシヒカリの収量が最も高く、生育期間が最も長いベニアサヒ、農林 16 号が次に収量が高かったことから、生育期間と収量の間に比例の関係性は認められなかったものの、両水田で品種別収量の傾向に共通点が確認された。中生品種の一穂粒数、登熟歩合が他の品

種と比べて低かったことから、これらを決定する期間の生育が良くなかったと考えられた。

2) 5 年間の品種別・水田別収量比較

獣害、鳥害、台風被害、栽培管理の不具合により減収した株などを除いた 2015 年～2019 年の推定収量を品種別・水田別で示した(図 3)。品種別では、ベニアサヒ a, 農林 16 号 ab, 秋の詩 bc, コシヒカリ cd, ヒノカリ d, となり、概ね生育期間が長い品種ほど収量が高い傾向が見られた。また、水田間にも有意に差があり、Y7a, Y3b, Oc, K2cd, K1de, Re の順に収量が高かった。Y3, Y7 水田の各品種の収量変動幅が大きいのは、3 年に 1 度転作があり、転作後 1 年目と 2 年目の間に大きな収量差があることが要因として考えられる。調

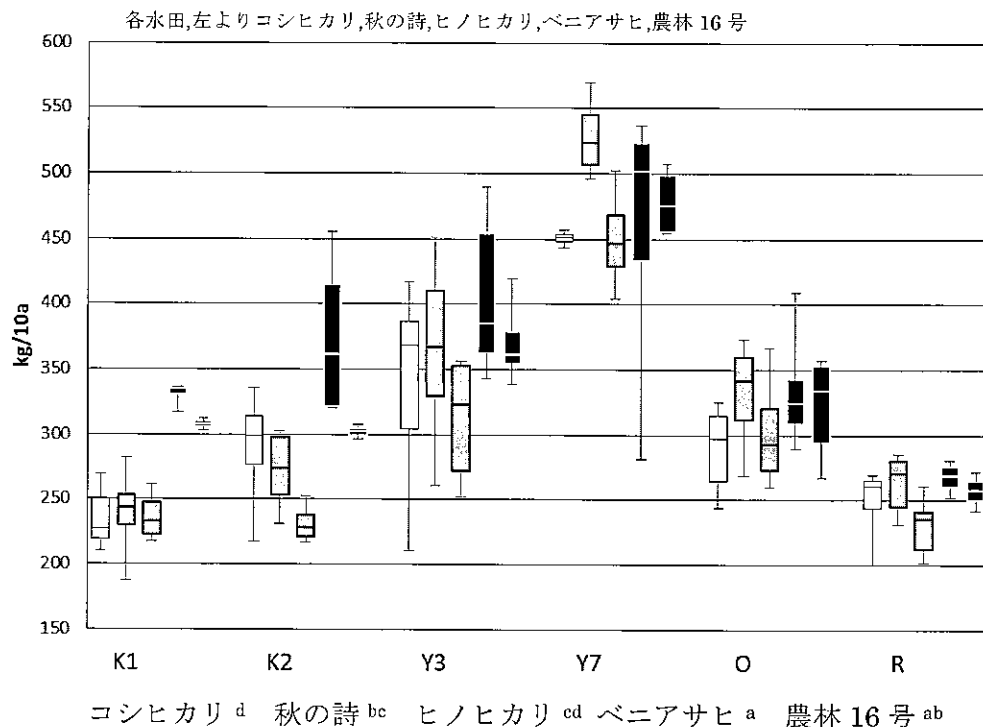


図 2.6 水田 5 品種の水稻推定収量(2015-2019)

査を行った 5 年間の結果から、収量面で栽培に適した品種が示唆された水田もある。例えば, K1, K2 は他の水田に比べて相対的に収量は低い、晩生種の収量は早生・中生種よりも顕著に高い。このことから、K1, K2 水田では生育期間が長い品種に適していると考えられた。また Y7 では、秋の詩が収量も高くかつばらつきも少ないことから、適していると考えられた。

3) 食味検査

2018年の調査では、ベニアサヒ、農林16号はどの項目においても概ねメーカーが定める望ましい値の範囲内の結果とはなったものの、同一水田内では他の3品種と比べると全ての項目において劣る数値となった。しかし、2019年の調査では、ベニアサヒ、農林16号ともに昨年よりも高い数値となり、コシヒカリと比較してやや劣るまたは同等の数値となった。2018年は硬質米であるベニアサヒ、農林16号の収量性は高いものの、食味という観点からは劣ると推察したが、2019年の結果からそれが必ずしも当てはまらなると示唆された。2018年はベニアサヒ、農林16号の出穂期に台風が襲来したため、品質に影響したと推測されるが、はっきりしたことはわからない。

表 5. 食味計によるスコア(2018,19)

2018						2019					
調査区	品種	水分(%)	タンパク質(%)	アミロース(%)	脂肪酸度	スコア	水分(%)	タンパク質(%)	アミロース(%)	脂肪酸度	スコア
O	コシヒカリ	16.0	6.3	16.8	14	81	14.7	6.4	14.7	11	88
	秋の詩	15.6	6.4	18.3	14	79	14.2	6.8	18.4	20	78
	ヒノヒカリ	16.0	6.6	18.4	15	76	14.7	6.9	17.6	17	79
	ベニアサヒ	16.5	6.9	19.7	20	70	14.9	6.3	17.4	17	85
	農林16号	16.5	7.0	19.6	14	69	15.0	6.5	17.0	16	83
R	コシヒカリ	14.4	6.8	17.5	8	78	13.8	6.7	15.1	7	86
	秋の詩	14.9	6.4	18.6	12	80	15.0	6.7	18.6	19	78
	ヒノヒカリ	14.9	6.6	17.7	9	79	14.9	6.9	17.6	17	79
	ベニアサヒ	15.2	6.8	19.9	13	73	15.0	6.3	17.6	18	85
	農林16号	15.4	6.9	19.5	13	72	14.8	6.3	17.2	16	85

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

【今後の研究課題】

この5年間の調査で、無施肥栽培においては生育期間が長い晩生種の収量が高い傾向がみられたが、生育期間が長いため台風などの天災、獣害など減収につながるリスクも高くなる。複数年にわたり様々な圃場で多くの品種を比較栽培することで、それぞれの圃場で無施肥栽培に収量面で適した品種の選定ができる可能性も示唆されているので、それぞれの圃場での品種選定の要因を探る考察をさらに進めていきたい。近年は酷暑、複数の台風が襲来するなど異常な気象下での調査が多いので、今後も調査を続け、気象の変動にも適応性の高い品種なども探っていきたい。

また収量面ばかりでなく、玄米の食味と併せて炊飯食味計を用いた品質の測定を行うなど、無施肥栽培米の品質面からの考察もさらに進めていく価値があると考えられる。

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

【引用文献】

- ・古賀義昭 2004. 品種選択の戦略—品種適応の構造. 「稲作大百科 I 総説/形態/品種/土壌管理」(東京:社団法人 農山漁村文化協会):318-319

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

(2019 年度無施肥無農薬栽培における水稻栽培比較試験)

家田善太^{1○}・白岩立彦^{1,2}(¹NPO 無肥研・²京大院農)

要旨

これまで,無施肥無農薬栽培(以下,無施肥栽培)の水稻では生育後期まで成長が持続する「秋優り型」の生育が認められてきた.それ故,生育期間の長い,晩生・中生品種の方が早生品種より収量が多くなる傾向がみられた.晩生・中生品種は幼穂発育期が盛夏であるが,早生品種は,出穂期が7月下旬のため気温が上昇し始めた頃に幼穂発育期が終わり,生育期間が短いことから「秋優り型」が発現しにくく,無施肥栽培の特性が発揮しにくいと考えた.

そこで早生品種「コシヒカリ」を用いて無施肥栽培の特性である生育後期の養分吸収増加を目標に,異なる移植時期を設け検討した.移植時期を標準より35日遅くすると一穂粒数が減少することが認められ,減収となった.移植時期を標準より14日,28日早くすると収量構成要素の増減は区により異なったが,やや増収する傾向にあった.

キーワード: 無施肥栽培,水稻,早植,晩植,秋優り,コシヒカリ

主旨・経緯

無施肥栽培によって収量を安定的に確保するためには土壌養分が作物の生育期間中にバランスよく利用されることが必要になってくる.水稻作において無施肥栽培を長期間継続すると生育の末期まで作物の根が健全に機能して養分を吸収すること,その効果は生育期間が長い品種がより顕著であることが認められている(竹内 1979).

本調査では,無施肥栽培の特徴である生育後期(最高分蘗から収穫期までの期間)の土壌養分を多く吸収することによる増収を目的とした.

NPO 無肥研登録圃場で最も多く栽培されている水稻「コシヒカリ」(早生品種)を用いて,長期無施肥栽培継続圃場にて試験をおこなった。

2013 年に小倉試験水田でおこなった調査では「コシヒカリ」(早生品種)は「ベニアサヒ」(晩生品種),「秋の詩」(早生品種)と比べ生育期間が短く,特に生育後期が顕著に短かった(図.1).また収量形成にとって非常に重要と考えられてい

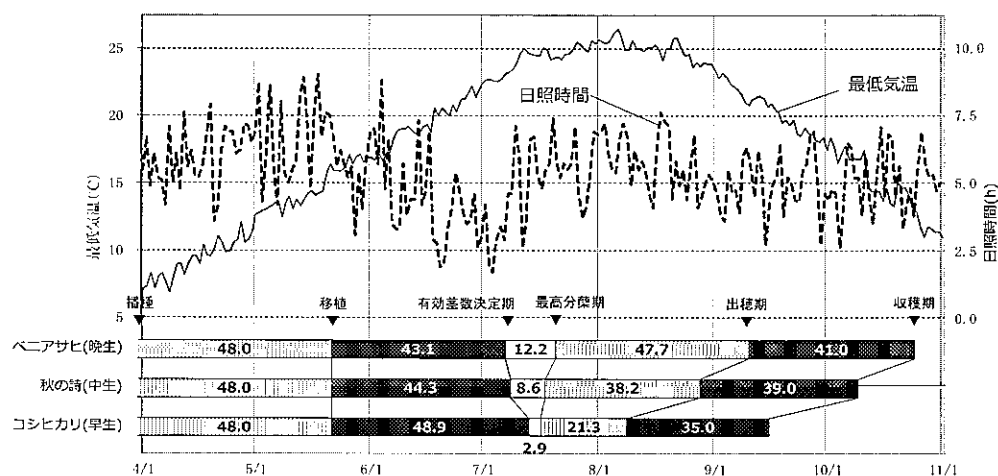


図1.2013年最低気温,日照時間および品種別の生育ステージ

る(河津 2007)出穂期前 40 日～同 10 日の平均最低気温と平均日照時間を比較すると「コシヒカリ」は「ベニアサヒ」,

「秋の詩」より平均最低気温,日照時間とも低いことがわかる(表.1).

そこで移植時期を標準(5 月中旬:滋賀県,京都府の NPO 無肥研試験圃場

コシヒカリの移植時期)より遅らせることにより, 出穂期を遅らせ,中生,晩生品種と生育後期の期間を近づけることによる養分吸収増を目標とした「晩植の影響」.

また, 移植時期を標準より早めることにより,生育後期の期間を長くし養分の吸収増を目標とした「早植の影響」.

数種の異なる移植時期の区を設け, 上記 2 種の異なる比較試験をおこない生育および収量に及ぼす影響を検討した.

表1.品種別 出穂期前40日～同10日の平均最低気温と平均日照時間

品種	平均最低気温 (°C)平均日照時間 (h)	
コシヒカリ(早生)	22.7 ±0.3	4.1 ±0.3
秋の詩(中生)	24.9 ±0.1	5.6 ±0.2
ベニアサヒ(晩生)	25.1 ±0.1	5.9 ±0.2

平均値±標準誤差

試験方法

2018 年は亀岡市無施肥栽培試験水田(以下,亀岡),野洲市無施肥栽培試験水田(以下,野洲 A), 2019 年は亀岡,野洲 B(野洲 A とは 200m 離れた別水田)の圃場に 6 条 9 株(条間 33cm 株間 18cm)を調査区とした.各水田の無施肥栽培実施年数,育苗期間,反復,移植日を(表.2)に示す.

表2.調査区概要

年	水田	移植時期	無施肥栽培 実施年数	反復数	育苗期間	移植日	苗高 (cm)	葉齢	充実度 (mg/cm)
2018年	亀岡	早植区	25年	2	28日間	05月06日	15.6 ±0.3	3.72 ±0.04	未測定
		標準植区	"	2	35日間	05月13日	17.8 ±0.3	4.43 ±0.02	"
	野洲A	早植区	23年	3	21日間	04月29日	10.7 ±0.2	3.65 ±0.05	"
		標準植区	"	3	36日間	05月20日	18.8 ±0.2	4.68 ±0.06	"
2019年	亀岡	早植区	26年	3	45日間	05月05日	17.7 ±2.3	5.92 ±0.46	2.93 ±0.56
		"	"	3	22日間	"	10.5 ±1.0	4.34 ±0.33	3.34 ±0.91
		標準植区	"	3	43日間	05月19日	13.8 ±1.4	5.28 ±0.74	1.99 ±0.38
		"	"	3	22日間	"	10.8 ±0.8	4.30 ±0.26	3.12 ±0.80
		極晩植区	"	3	41日間	06月22日	15.9 ±1.8	5.53 ±0.45	2.20 ±0.34
		"	"	3	21日間	"	13.3 ±1.8	5.20 ±0.28	2.41 ±0.70
	野洲B	極早植区	16年	3	43日間	04月21日	14.1 ±1.4	5.49 ±0.37	2.51 ±0.87
		"	"	3	22日間	"	9.6 ±1.0	4.65 ±0.37	3.07 ±1.00
		早植区	"	3	44日間	05月04日	15.1 ±2.1	5.58 ±0.44	3.14 ±0.57
		"	"	3	21日間	"	10.0 ±1.0	4.33 ±0.32	3.24 ±0.65
		標準植区	"	3	42日間	05月18日	14.2 ±1.3	6.28 ±0.48	2.20 ±0.51
		"	"	3	21日間	"	10.9 ±0.9	4.64 ±0.35	5.05 ±1.12
		極晩植区	"	3	41日間	06月22日	16.3 ±1.6	5.91 ±0.42	1.84 ±0.34
		"	"	3	21日間	"	12.6 ±1.3	5.21 ±0.46	2.48 ±0.54
		平均値±標準誤差							

育苗は本田で通常用いている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1本の苗を手植えした.

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.

調査項目

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).

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,不稈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),20 g 粒数(千粒重の換算)および水分率を計測した。

晩植の影響

結果と考察

収量は両水田とも極晩植区が標準植区の 60% 未満となった(表.3)。

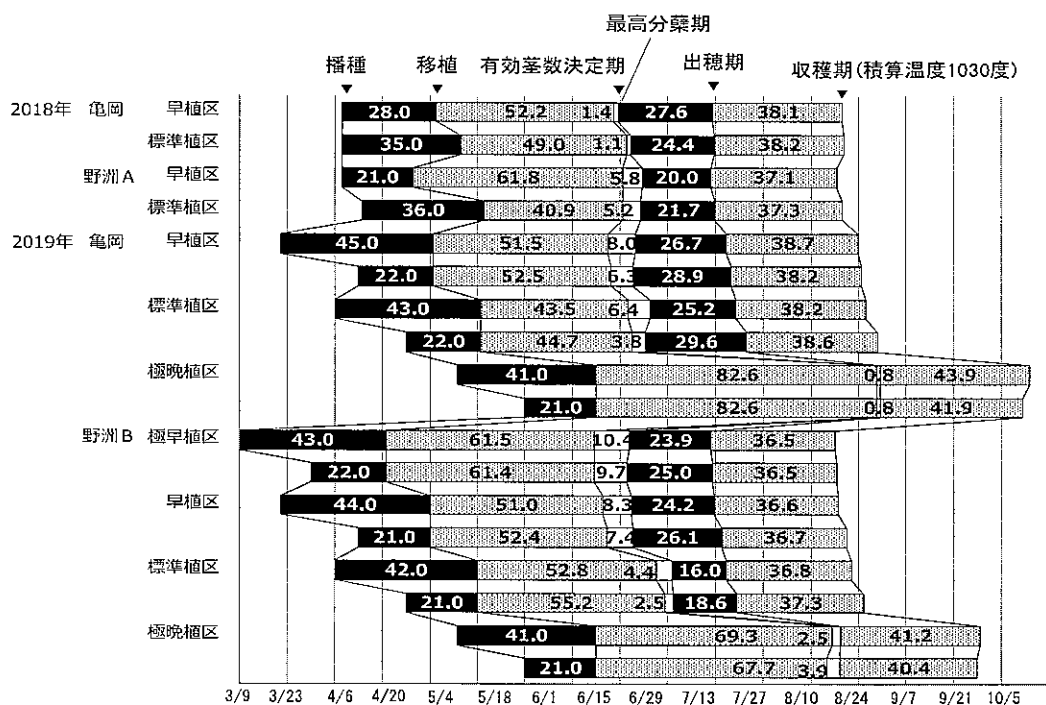
極晩植区は移植時期を標準植区より 34 日(亀岡),35 日(野洲 B)遅らせること

表3.収量および収量構成要素

年	水田	移植時期	育苗期間	収量 (g/m ²)	全乾物重 (g/株)	穂数 (本/m ²)	一穂穂数 (粒/穂)	登熟歩合 (%)	千粒重 (g)
2018年	亀岡	早植区	28日間	240.9 ± 14.4 b	38.8 ± 1.6 bcd	151.5 ± 6.7 cde	90.4 ± 0.8 abcde	88.0% ± 0.6% ab	20.2 ± 0.1 cde
		標準植区	35日間	211.9 ± 1.4 bc	37.2 ± 0.6 cd	150.7 ± 0.8 cde	99.0 ± 1.3 abc	83.4% ± 0.3% abc	20.2 ± 0.1 bcde
	野洲A	早植区	21日間	247.8 ± 8.6 b	37.5 ± 2.0 c	168.9 ± 5.7 cde	90.6 ± 3.8 abcde	87.1% ± 0.0% ab	20.0 ± 0.2 de
		標準植区	36日間	235.5 ± 13.5 b	37.1 ± 1.1 cd	180.1 ± 4.5 cde	88.1 ± 4.4 abcde	87.4% ± 0.7% ab	19.9 ± 0.2 de
2019年	亀岡	早植区	45日間	164.6 ± 14.7 bcd	24.2 ± 1.0 e	107.7 ± 1.0 e	91.8 ± 7.6 abcde	93.0% ± 0.2% ab	20.0 ± 0.1 dc
			22日間	168.0 ± 7.9 bcd	26.2 ± 0.9 cde	122.9 ± 3.9 de	75.9 ± 2.7 cdef	91.9% ± 0.9% ab	19.9 ± 0.0 e
			43日間	197.3 ± 6.1 bcd	32.0 ± 1.4 cde	147.0 ± 5.0 de	67.1 ± 0.9 efg	90.1% ± 1.5% ab	20.0 ± 0.2 de
			22日間	176.7 ± 4.9 bcd	30.1 ± 1.1 cde	130.8 ± 3.7 de	83.8 ± 1.4 bcde	88.2% ± 0.1% ab	20.6 ± 0.2 bce
	野洲B	極晩植区	41日間	112.4 ± 19.3 cd	22.1 ± 3.0 e	180.1 ± 7.3 ce	47.8 ± 6.2 g	73.1% ± 3.3% abc	21.8 ± 0.0 a
			21日間	106.0 ± 23.3 d	24.4 ± 1.9 cde	160.5 ± 2.8 ce	56.1 ± 9.3 fg	64.3% ± 12.6% c	21.4 ± 0.3 ab
		標準植区	43日間	421.6 ± 33.0 a	61.3 ± 4.2 a	299.1 ± 31.4 a	85.8 ± 3.3 abcde	91.1% ± 0.9% ab	19.9 ± 0.3 e
			22日間	439.7 ± 10.4 a	62.1 ± 1.2 a	297.4 ± 21.1 a	93.1 ± 2.6 abcd	92.4% ± 0.4% ab	19.7 ± 0.2 e
	野洲A	早植区	44日間	389.6 ± 12.4 a	54.7 ± 3.1 a	269.9 ± 24.2 ab	87.4 ± 2.7 abcde	91.2% ± 1.0% ab	19.8 ± 0.3 e
			21日間	437.0 ± 11.7 a	61.7 ± 1.0 a	292.1 ± 5.5 a	89.2 ± 0.4 abcde	94.5% ± 0.6% a	19.9 ± 0.2 de
		標準植区	42日間	386.2 ± 32.9 a	56.1 ± 6.0 a	231.2 ± 33.3 ac	101.7 ± 5.1 ab	92.4% ± 1.3% ab	20.2 ± 0.4 cde
			21日間	381.7 ± 27.2 a	53.0 ± 3.8 ab	198.7 ± 18.5 bcd	109.4 ± 2.2 a	94.0% ± 0.4% ab	21.0 ± 0.3 abcd
	野洲B	極晩植区	41日間	186.5 ± 10.8 bd	28.9 ± 1.0 cde	177.9 ± 4.0 ce	68.3 ± 3.0 defg	88.6% ± 1.0% ab	21.1 ± 0.2 abc
			21日間	233.4 ± 4.6 d	35.7 ± 1.1 cd	178.5 ± 11.9 ce	74.6 ± 9.3 cdef	87.3% ± 0.9% ab	21.2 ± 0.2 abc

平均値±標準誤差

数字のあとにアルファベットは、デ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。



により,目標通り出穂期を21~24日間遅らせた(図.2).その結果,出穂期前40~同10日の平均最低気温と平均日照時間は明らかに増加した.しかし,期待していた結果が得られなかった.それは遅れ穂の出現が多くなり,極晩植区は標準植区より一穂粒数が有意に少なく,登熟歩合が低かったことが原因したと考えられた.

表4.出穂期前40日~同10日の
平均最低気温と平均日照時間

よって出穂期前40日~同10日の平均最低気温,平均日照時間を増加させても(表.4),後期成長の促進が認められず,収量が少なかった.

年	水田	移植時期	育苗期間	平均最低気温 (°C)	平均日照時間 (h)
2019年	亀岡	標準植区	43日間	20.4 ±0.4	2.7 ±0.6
			22日間	21.0 ±0.3	2.5 ±0.5
		極晩植区	41日間	23.5 ±0.2	6.1 ±0.8
			21日間	23.0 ±0.3	6.1 ±0.8
	野洲B	標準植区	42日間	20.3 ±0.4	3.2 ±0.7
			21日間	20.8 ±0.4	2.5 ±0.6
		極晩植区	41日間	24.0 ±0.2	6.8 ±0.8
			21日間	24.1 ±0.2	6.9 ±0.8

平均値±標準誤差

早植の影響

1.結果

収量について極早植区,早植区と標準植区を比較すると,2018年,19年の,どの水田にも有意な差はなかった(表.3).

生育ステージでは,出穂期にあまり差がないので,移植時期が早いほど生育期間(移植から収穫期)が長くなった(図.2).生育ステージと収量構成要素の関係をみると,2018年野洲Aでは,早植区は標準植区より「移植から有効茎数決定期の期間」が有意に長い,(その期間の影響が大きい)穂数は(有意差は無いが)少なかった.2019年野洲Bでは,早植区は標準植区より「有効茎数決定期から最高分蘗期の期間」および「最高分蘗期から収穫期の期間」が共に有意に長い,(その期間の影響が大きい)一穂粒数は有意に少なかった.このことから生育ステージの期間を伸ばしても収量構成要素の増加には関係がないと考えられた.

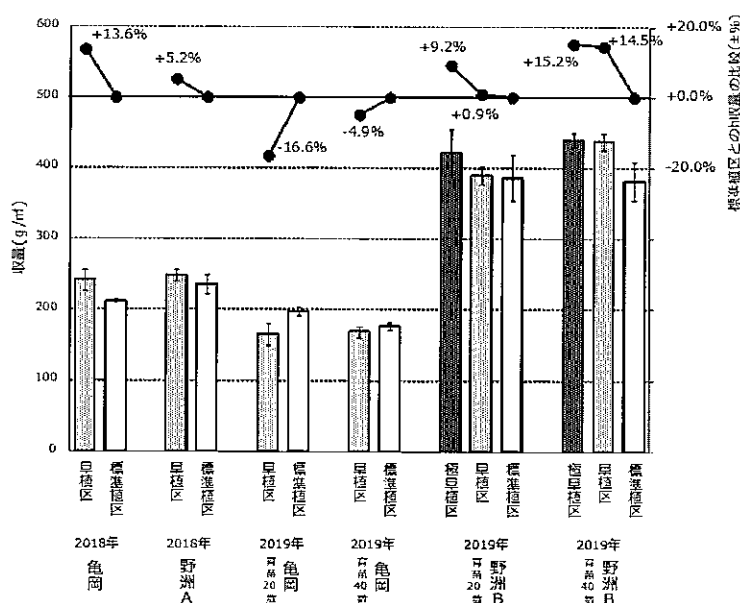


図3.収量および収量の増加割合(早植区/標準植区-100%)

2. 考察

収量について、極早植区、早植区と標準植区にどの年のどの水田にも有意な差はなかったが、2019年亀岡以外は極早植区＞早植区＞標準植区の順で多かつ

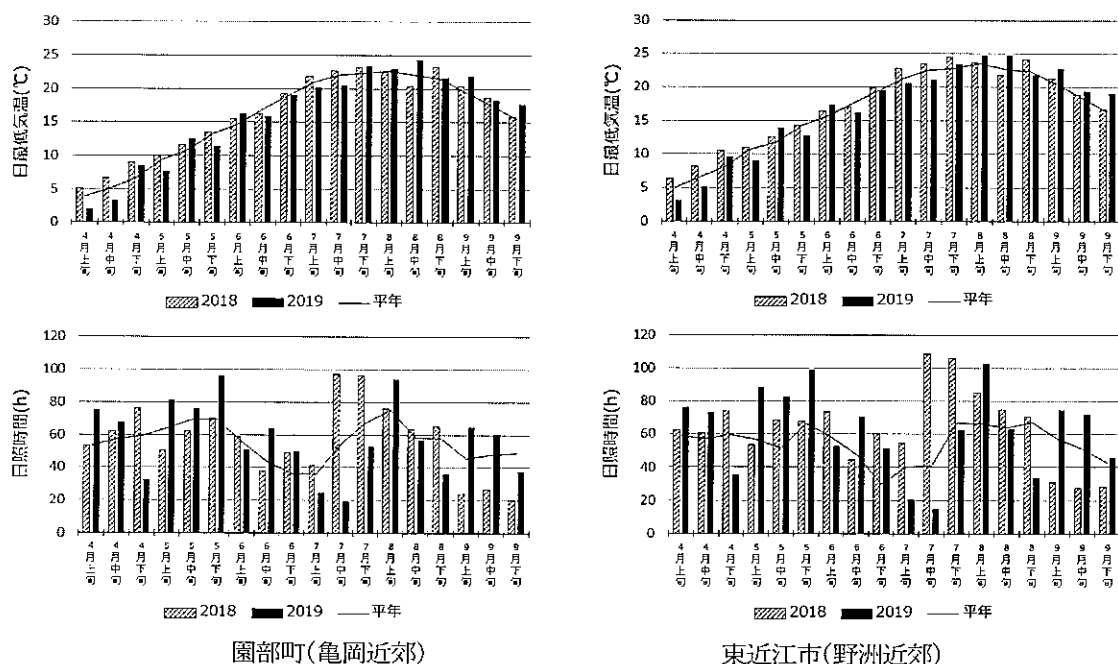


図4. 平均最低気温と平均日照時間(気象庁データ)

た.ここで亀岡の2018年と2019年を比較すると出穂前40日～同10日前の日照時間(特に7月上旬,中旬)が2019年の方が2018年より極端に少ない(図.4)ことが2019年の方が2018年より収量が少ない原因と考えられる. 2019年は早植区移植直後の5月7日,8日の最低気温が極端に低く(図.5)ここで苗が損傷し,収量が少なくなったことも考えられる.

亀岡の方が野洲より最低気温も日照時間もやや低めなので,寒い地域は移植を早くしても、移植後の初期生育に不具合が発生する可能性があるとも考えられる.

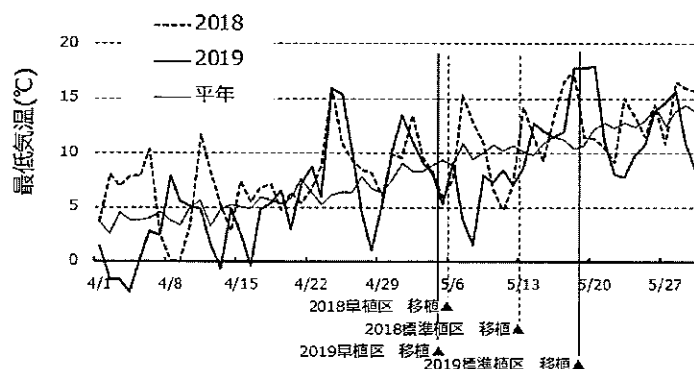


図5. 園部町(亀岡近郊)移植時期の最低気温(気象庁データ)

「生育後期の期間を延長すること」と「生育後期の養分吸収増」を目標にした
が,移植時期を早めても必ずしも生育後期の成長が促進されるわけではないこ
とが分かった.またコシヒカリを無施肥無農薬栽培した場合,有意差は無いが移
植時期を早める方が,収量が多くなる傾向にあると考えられるが,移植時期を早
めると最低気温が低くなるため,初期生育が緩慢になる可能性も示唆された.

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,12:135-140.
- 河津俊作・本間香貴・堀江武・白岩立彦(2007)近年の日本における稲作気象の変化とその水稻
収量・外観品質への影響.日作記,76:423-432.

耕起回数が無施肥無農薬栽培水稻の生育・収量に及ぼす影響

丸田信宏¹・白岩立彦^{1,2}(¹NPO 無肥研・²京大院農)

【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。水稻栽培における作付け前の耕起にはいくつかの目的があり、①土の乾燥により、好気性微生物による有機態窒素の分解が促進され、植物が吸収しやすい無機態窒素に変化させる乾土効果、②稲の切り株や刈り草、レンゲなどの有機物を鋤き込み土壌に取り込むこと、③土中にある雑草種子を深く埋め込みそれらの発芽を抑える、④耕起により十分な作土を確保することが、水稻の根張りを促すことになり、この後の田植え作業や稲の生育に大きく影響することなどである。一方、耕起によって土壌の乾燥化が土壌および土壌養分の流出を招く場合もあり、農業機械などによる作業のコストもかかるため、土壌流出の抑制、省力化を狙って耕起を行わない栽培も行われている。慣行栽培における過去の実験例では、耕起回数の違いがメタン発生量に影響は与えるが生育・収量には影響を与えない(丸山ら 2012)としている。また、不耕起・無代掻き栽培と耕起・代掻き栽培との比較においては、生育過程に相違が認められたものの、玄米収量や収穫期地上部乾物重には違いを認めなかった(本林ら 2004)。しかし、耕起回数の違いが無施肥無農薬栽培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、稲わらを水田から除去する圃場での実験例は極めて少ない。そこで、無施肥栽培水稻の生育を好適にする耕起の時期、回数を探るため、また作業の省力化を図るため本実験を行った。

表 1. 調査区の耕起回数と時期

【材料および方法】

無肥研小倉直轄圃場(京都府宇治市小倉の干拓地で、2003 年より無施肥無農薬栽培を継続)において、ベニアサヒ(長稈、穂重型、

晩生)を栽培した。供試水田において、耕起回数の異なる 3 区(耕起回数 2 回, 1 回, 0 回)、各 15 株を 1 区とし、それぞれ 3 反復設けた(表 1, 図 1)。耕起は乗用型トラクター(ヤンマー EF220)で行い、冬耕と春耕は標準ロータリー(深さ約 12cm)、荒代掻きと本代掻きはドライブハロー(深さ約 8cm)をそれぞれ使用して行った。

	冬耕 (1/10)	春耕 (4/27)	荒代掻き (5/17)	本代掻き (5/22)
A区	○	○	○	○
B区		○	○	○
C区			○	○

苗はポット育苗した成苗を用い、1株あたり1～3本を手植えて移植した。水稻の栽植密度は16.8株/m²で生育概要は表2の通りである。除草は水田用小型管理機ミニエース（太昭農工機製）で1回、手取りで1回行ったが、除草時にほとんど雑草は確認できなかった。それは雑草の発生密度が低いうえに、試験圃場に生息するジャンボタニシが雑草を食したためだと考えられる。中干は7月1日から約6週間行った。

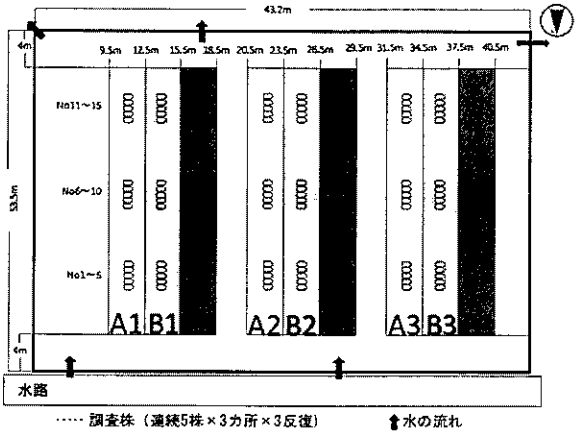


図1. 調査区の配置

・調査項目

表2. 調査区の生育概要

①本田移植後2週間目より、それぞれ各区調査株について、茎

調査区	播種日	本田移植日	最高分蘗期	出穂期	収穫
A区	4/20	5/26	7/5	8/26頃	10/13
B区	4/20	5/26	7/6	8/29頃	10/13
C区	4/20	5/26	7/12	9/1頃	10/13

数・草丈・SPAD値（ミノルタSAPD-502を使用）を1～2週間ごとに測定した。

②収穫後は、ビニールハウスで約2週間乾燥させた後、生育調査した全株について、収量諸形質を計測した。統計処理は要因の効果を判定するには分散分析、試験区間の差の比較にはチューキーの多重比較を用いた。

【試験結果および考察】

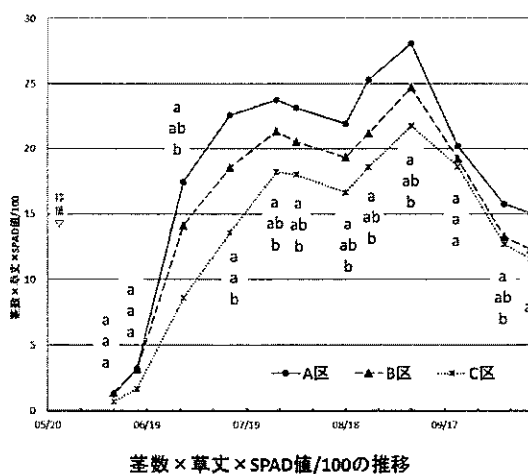
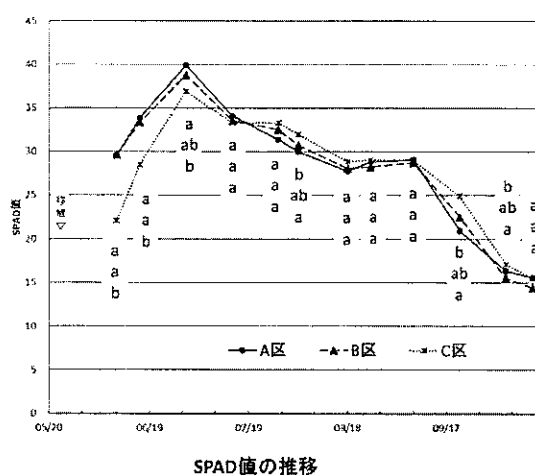
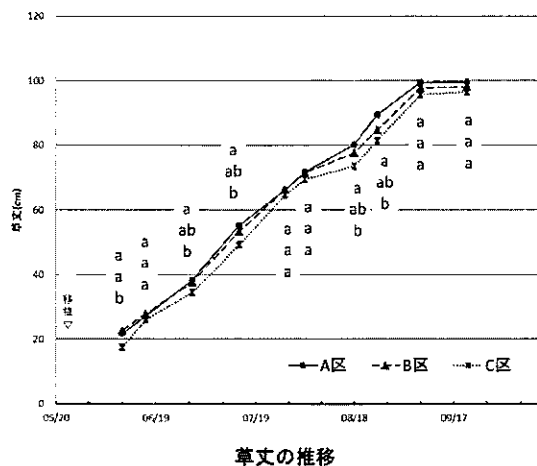
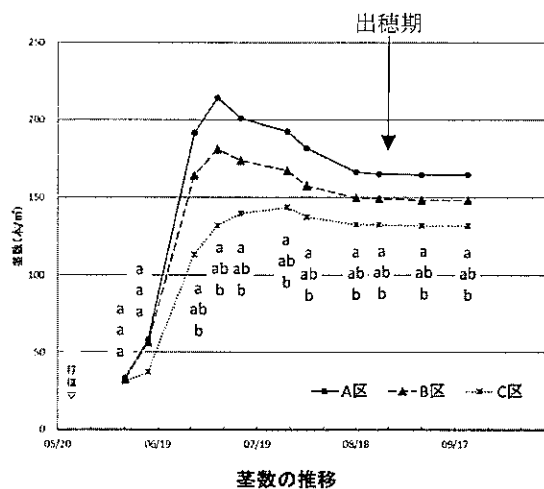
生育期間の比較

・茎数

生育期間中に測定した3項目の中でもっとも顕著な違いが見られたのは茎数であった。移植後3週目(6/16)にはA・B区とC区との間に数値の差が見られ、移植後5週目(6/30)にはA区とC区の間には有意差が認められた。その後、茎数が多い区ほど無効分蘗も多くなり、数値の差は小さくなったが、収穫期までA区とC区の間には有意差が見られた。また、C区の最高分蘗期はA・B区よりも約1週間遅かった。全生育期間を通して、耕起回数が多いほど茎数が高かった。

・草丈

移植後2週目(6/9)にはA・B区はC区よりも有意に草丈が高かった。移植後3週目(6/16)



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. 茎数・草丈・SPAD 値・N 吸収インデックスの推移

には一度処理区間に有意差は認められなくなったが、移植後 5 週目 (6/30) から 7 週目 (7/14) には A 区と C 区の間有意差が認められた。その後、再び有意差は認められなくなるが、と耕起回数が多いほど有意に草丈が高いことが認められた。移植後 12 週目 (8/18) から 13 週目 (8/25) に再び A 区と C 区の間有意差が認められ、移植後 15 週目 (9/7) から収穫までは、処理区間に有意な差は認められなかった。有意差は無い期間もあったが、概ね全生育期間で耕起回数が多いほど草丈が高い傾向が見られた。

・ SPAD 値

SPAD 値は移植から移植後 3 週目 (6/16) まで A・B 区が C 区よりも有意に高く、移植後 5 週目 (6/30) は A 区と C 区の間のみ有意差が認められ、値は A 区 > B 区 > C 区の順に推移したが、移植後 7 週目 (7/14) には各区間に有意差は認められなくなり、この時期を境に C

区>B区>A区の順に逆転し、移植後10週目(8/3)にはC区はA区よりも有意に値が高かった。移植後12週目(8/18)から15週目(9/7)までは区間の有意差は認められなくなるが、移植後17週目(9/21)には再びC区はA区より有意に高い値となった。収穫期には各区間に有意差は認められなかった。出穂はA区・B区・C区の順に確認されたが、移植後17週間目頃(9/21)に見られるSPAD値の差は、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)

茎数・草丈・SPAD値それぞれ個々の推移は各調査区間(特にA・B区とC区の間)に数値の違いだけでなく推移の傾向に違いがみられたが、3つを掛け合わせた稲の推定窒素保有量の指標としたN吸収インデックス(茎数×草丈×SPAD値/100(図2))の推移を処理区間で比較してみると、茎数だけで見ると差があるようでもN吸収インデックスでは茎数ほど大きな差はなく、ピークを示した2つの時期はほぼ同じであった。このことから、同圃場で、同品種、同じ栽培条件であれば、耕起の条件は異なっても稲の同指標に見られる生育のリズムには大きな違いがないと考えられた。また、同指標は生育後期に処理区間差が小さくなったが、生育前期の生育がA・B区より緩やかであったC区は窒素が後から効いたためだと考えられた。

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。その理由として考えられるのは、慣行栽培においては、水稻は肥料に大きく影響を受け、作物が本来持つ生育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る。慣行栽培で見られる特徴や見られない特徴が、無施肥栽培では同じことが当てはまらない可能性があり、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。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。そうするとC区は土壌有機物の消費が抑えられており、これを継続すれば初期のN発現レベルが漸増する可能性もあり、今後検証を続けることとする。

収量諸形質の比較

収量構成要素を表3にまとめた。精玄米重には処理区間に数値の差はあるものの有意差は認められなかったが、精粳重ではA区がC区より有意に収量が高いことが認められ

表 3. 調査区の収量構成要素

区	全乾物重 (g/株)	穂数 (本/m ²)	一穂粒数 (粒/穂)	精粒重 (g/株)	登熟歩合 (%)	1000粒重 (g)	精玄米重 (g/m ²)
A	50.2 ±0.2 a	164.2 ±0.7 a	76.2 ±0.7 a	19.8 ±0.1 a	94.6% ±0.5% a	22.7 ±0.2 b	258.2 ±13.9 a
B	47.9 ±0.0 a	148.9 ±0.7 ab	77.0 ±0.9 a	18.7 ±0.1 ab	94.4% ±0.5% a	23.1 ±0.2 ab	251.4 ±15.7 a
C	41.8 ±0.3 b	131.3 ±0.7 b	83.7 ±0.7 a	17.6 ±0.1 b	94.2% ±0.7% a	23.5 ±0.1 a	238.4 ±15.3 a
P値	0.005	0.042	0.480	0.042	0.643	0.014	0.222

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。

表 4. 調査区の稈長・節間長

区	稈長 (cm)	穂長 (cm)	第1節間 (cm)	第2節間 (cm)	第3節間 (cm)	第4節間 (cm)
A	78.6 ±0.3 a	20.5 ±0.3 a	17.9 ±0.4 a	11.5 ±0.5 a	6.7 ±0.4 a	2.8 ±0.2 a
B	77.0 ±0.5 a	19.8 ±0.5 ab	17.5 ±0.5 a	11.8 ±0.4 a	6.8 ±0.6 a	2.4 ±0.4 a
C	75.0 ±0.5 a	19.3 ±0.5 b	16.6 ±0.4 a	11.5 ±0.3 a	7.8 ±0.6 a	2.8 ±0.5 a
P値	0.137	0.033	0.116	0.875	0.139	0.434

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。

た. 収量構成要素から、耕起回数が多いほど穂数が多い傾向が見られ、逆に一穂粒数、1000粒重は少ない傾向が見られた。しかし、A・B区とC区の収量の差は穂数に起因するところが大きい。全乾物重においても、A・B区はC区に比べ有意に重かった。このことから、A・B区は生育前期の生育がC区に比べて良かったと考えられる。

また、各節間長を比較してみると、第1節間から第4節間までは、耕起回数の違いによる有意差は認められなかったが、出穂前2週から開花期頃に最も伸長する穂長はA区がC区よりも有意に長かった。また、有意差は認められなかったが出穂期頃に最も伸長する第1節間はA区がC区よりも長い傾向が見られた。このことから、A区はC区と比較して生育前期の分蘖だけでなく成育後期まで生長が盛んであったと考えられる。

本林らが行った不耕起と耕起水田における比較実験では、生育前期で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。本実験において、C区がA区に追いつかなかったのは、竹内ら(1979)が認めているように、無施肥栽培では生育後期まで根が健全であるため、A区が生育後期になっても生長の勢いが衰えなかったためだと考えられる。このことから、無施肥栽培においては耕起回数が多いほうが水稻の収量が高い可能性があることが示唆された。ただ、A区とB区の間に収量の有意差は認められなかったので、本試験の条件であれば、省力を考慮するのであれば冬耕は行わなくてもいいと考えられる。またC区は、代掻き時に刈り株が浮いて作業の妨げになったことから、春耕は行ったほうが代掻きや田植えなどの作業効率はよいと言える。

【今後の研究課題】

今後も調査を続け、無施肥栽培に適した栽培法について考察を進めていきたい。今後調査してさらに考察を深めたい項目は以下の4点である。

- ①耕起に関する先行研究では、収量の傾向は数年間同じでも、収量構成要素の割合は年度により異なっていることを報告している。特に近年は、台風が複数上陸したり夏場の異常な高温が続いたり毎年異常な気象が続くので、複数年調査を続けていく必要がある。
- ②供試水田におけるベニアサヒの収量は、今年度はここ数年の中では少なかったもので、処理区間差が限定的であった可能性がある。収量が高い年なら、区間差がさらに表れる可能性もある。
- ③ベニアサヒは生育期間が長い品種なので、生育の遅いC区が生育後期に一穂粒数や千粒重である程度収量が追いついたが、生育期間がベニアサヒよりも短い早生・中生品種なら初期生育の差が収量性に結び付く可能性もあるので、品種増やして調査する。
- ④食味の検定など、品質の違いについても検証していく。

【引用文献】

- 丸山明日香・当真要・上野秀人・永田修 2012. 耕起回数が水稻の生育・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稻の生育・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稻の乾物生産特性—耕起・代掻き水田で栽培された水稻との比較—. 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稻の生育反応の差異 近畿大学農学部紀要, 12 135-140

植物共生微生物と施肥の関係性

～貧栄養土壤に適したイネの微生物共生について～

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, 今井 俊介, 清水 幸子, Yuniar Devi Utami, 藤 雅子, 西條 雄介

1. 微生物と植物の関係性

植物は、病原微生物を認識して的確に免疫応答を誘導する仕組みを備える一方で、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菌もいる。しかし、環境変動に応じて植物がどのように共生微生物（集団組成）を変化させているか、またそれによりどのようなメリットを得ているかについては現在の植物科学において最重要課題の一つである。



2. 共生微生物と環境保全型農業

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の問題への関心が強まっている。世界的にも将来の食料確保ひいては人類の生存に対する大きな脅威と捉える分析報告がある。

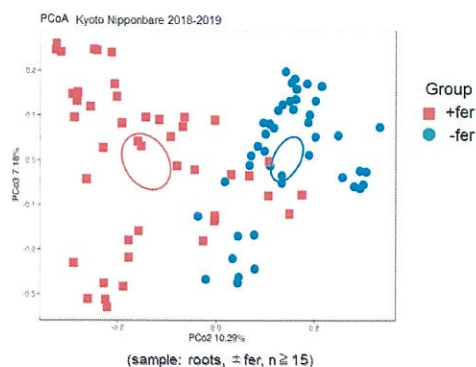
その問題に対して、植物に共生する微生物の活用により省農薬・省肥料の環境保全型農業を目指す機運が高まっている。しかし、植物と微生物の共生関係は環境条件によって容易に変動するため、共生効果が不安定で、期待通りには農業への実装化が進んでいない。

3. 施肥量と共生微生物の関係

植物と微生物の共生関係を左右する要因の一つとして栄養条件があげられる。圃場において、イネの根の共生微生物の集団組成が植物の成長につれて変化することが報告されているが、圃場の土壌栄養条件（施肥）による影響はよく分かっていない。私たちの研究室では京都小倉圃場の無施肥無農薬圃場と隣接する有施肥圃場においてイネの生育比較を行った。年8回、2年間にわたる実地調査の結果、施肥量によりイネに共生する微生物の集団組成に差が生じることを確認した。



(a)



(b)

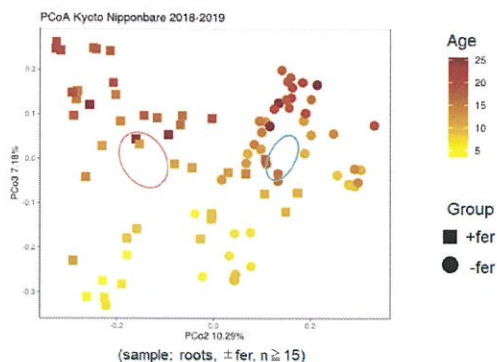


図1 施肥の有無で微生物の集団組成は異なり(a)、さらに生育期間が長くなるほど(植物の生育ステージが進むほど)施肥の有無での差が顕著に表れる(b)。
+/- fer: 有/無施肥圃場。各点は各サンプルに該当し、点と点の距離は微生物の集団組成の差を表してい

4. これは有施肥？無施肥？

今後、農業のデジタル化が進み、高度な耕作指示をデータから導き出すことも可能になるかもしれない。そのためには、土壌の施肥状態を判別する基準や手段が必要である。しかし、肥料の種類や耕地面積当たりの施肥量は多様であり、耕作側としては土壌の栄養状態や適切な施肥のタイミングや量の判定は難しい。そこで、イネの生育や環境適応を助けている共生微生物（の集団組成）に、土壌栄養条件に関連した差異が生じているか、加えて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を検証した。項目3で得た土壌中の微生物の集団組成のデータを利用し、機械学習により微生物共生状態から任意のイネサンプルが有施肥圃場由来か無施肥圃場由来かを判定するモデルを構築することに成功した。施肥の有無を識別する上で有効な指標種として55種類の仮想種を同定したところ、そのうち19種は無施肥圃場において（イネ共生微生物全体に占める）存在比率が高いことが判明した。したがって、これらの菌種の中には貧栄養土壌でイネの生育を促進するタイプの共生菌が含まれている可能性が高いと期待された。

なお本結果は私たちの研究対象とした圃場において2年間のデータから無施肥・有施肥を判断したものである。年次気候変動に対してあるいは他の圃場においてもどこまで有効かどうかについてはさらなる解析が必要である。

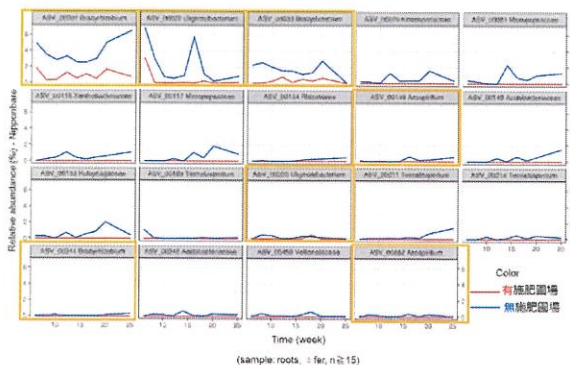


図2 土壌判定に用いる 55 種類の微生物のうち無施肥圃場で構成比率の上昇が見られた 19 種の微生物データ。
 その中には植物への窒素供給に関わることが期待される菌種が含まれていた (図中黄色枠線)。

5. 無施肥圃場でイネの成長を助ける

微生物を探し求めて

微生物共生状態を指標とした土壌判定の他にも、無施肥圃場のイネの根から実際に微生物を単離し、そのイネへの接種実験によって共生の役割を探る解析を進めている。京都小倉圃場では長年の無施肥栽培を通して、比較的高い収量を得ることが可能になっており、その背景にはイネの成長を促進

する土壌微生物や共生微生物の働きがあると予想しての試みである。

しかし、試験管 (栄養培地) での培養・単離が行える微生物は、イネに共生している微生物集団の中の一部に過ぎず、上記の微生物組成データと比べると偏ってしまう。今後は、いかに様々な種類の菌を単離できるかが鍵になる。そこで、菌を培養する培地の検討や新たな単離方法を探っていく予定である。



図3 菌の単離・接種の実験イメージ

6. 未来に向けて

本研究では、無施肥圃場においてイネの生育に有益な微生物の候補が発見された。しかし、これらの微生物が具体的にどのような働きをしているのか、どのような仕組みで共生効果を発揮しているのかといった疑問が出てくる。私たちの取り組みがこれらの問題の解明に役立てば望外の喜びである。

無施肥研の皆様方には、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。

さらに知りたい方に…

藤雅子, 西條雄介「パターン認識受容体を活用した高持続性の植物防御技術の開発に向けて」
https://www.jstage.jst.go.jp/article/jscrip/53/1/53_43/_pdf/-char/ja (2018 年 vol.53 No.1)

林誠, 生命誌ジャーナル 2005 年春号「『語る科学』共生の仕組み—植物と土壤微生物の遺伝子ネットワーク」
https://www.brh.co.jp/publication/journal/044/research_21.html

【コラム】スマート農業研究第一人者に聞く「スマート農業最前線」
「フィールドアグリオミクス」により微生物と共生する農業へ ～理化学研究所 市橋泰範氏 後編 <https://smartagri-jp.com/smartagri/1104>

マイク オルカット, MIT Tech Review「善玉菌で農作物の収穫を増やす」2016 年 7 月 21 日
<https://www.technologyreview.jp/s/3705/new-way-to-boost-crop-production-doesnt-rely-on-gmos-or-pesticides/>

長期無施肥栽培茶園の総合研究

佐波雅史¹・西村直人¹・林泰佑²・小林正幸³・丸田淳三³・白岩立彦^{2・3}・栗田光雄^{2・3}

¹京都大学農学部・²京都大学農学研究科・³無施肥無農薬栽培調査研究会

【緒言】

日本食の中でお茶は欠かせない存在であるが、国内の茶産業は、市場の需要飽和による価格の低迷や生産現場での高齢化など、日本農業全体がかかえる問題点を共有している。さらに茶葉生産現場では、これまで生産量と品質を確保するために農地への多量の肥料と農薬の投入が行われており、近隣への環境負荷の増大が問題視されるとともに、消費者による健康志向の動向が懸念されている。茶産業では、国外における日本食ブームや国内の粉末茶需要の拡大に応じた取り組みなどが行われているが、さらに需要を掘り起こすためには、生産物の差別化・差別化が必要になっている。

その中で、10年以上の長期にわたって無施肥無農薬で茶葉を生産している圃場が複数存在している。それぞれに継続的な生産を行い、慣行栽培茶とは異なった消費者のニーズに応えた茶製品を供給している。ところがそれら長期無施肥栽培茶園の農学的な調査・研究はこれまでほとんど行われておらず、その収量・品質に関する慣行栽培との差異は明らかになっていない。茶葉生産は一般に多肥条件で行われるが、これに対して無施肥栽培が持続性を持ち得るかどうか不明である。そこで、茶栽培農家の協力のもと、長期無施肥栽培茶園の特性を把握するために、複数年継続した調査を行うことにした。

茶葉生産には収量のみならず品質も重要な要素になるが、調査の初期段階としてそれぞれの茶園の茶生産の概要を把握するために、茶葉収量と窒素栄養などの無機養分の動態との関係を調査した。将来的には圃場の土壌微生物を含めた生物群構造や、圃場内の昆虫の生息実態、雑草の発生状況の違いを比較し、収穫された茶葉のアミノ酸などの分析や、味や香り、色などの試験を通した品質評価、さらに農業経済的な側面を含めて、無施肥栽培茶栽培の特質を生産者と消費者との双方の視点から総合的に明らかにすることを目標とする。2019年は2年目の調査として、前年度と同様に、茶葉収穫前の新芽採取調査および土壌分析を行った。



図1 供試茶園





(2018年5月24日)

(2018年6月2日)



(2019年5月19日)

施肥圃場



(2019年5月19日)

無施肥圃場

図2 上嶋茶園 (和束)



(2018年5月15日)



(2018年5月15日)



(2019年5月19日)

施肥圃場



(2019年5月19日)

無施肥圃場

図3 片木茶園 (朝宮)

【調査概要】

1. 調査対象

上嶋茶園 (京都府和束, 図 1, 2)

施肥区: N34.8006° E135.8753°, 品種ヤブキタ, 収穫 2 週間前から遮光

無施肥区: N34.8078° E135.8731°, 品種コマカゲ, 1998 年から無施肥栽培

片木茶園 (滋賀県朝宮, 図 1, 3)

施肥区: N34.8767° E135.9567°, 品種ヤブキタ, 無農薬有機栽培

無施肥区: N34.8536° E135.9731°, 品種ヤブキタ, 2005 年から無施肥栽培

2. 調査方法

栗田 (2006) は, 茶樹と同様の多年生の樹木である桑を対象として長期無施肥栽培における土壌および桑葉生産と生産調査を行った. 同調査で用いられた解析方法を準拠して本調査始めることにした.

(1) 収量構成要素

各圃場の 3 地点から, それぞれ畝に直角に 20cm の幅で, 農家が収穫する直前に摘採し, 芽数, 芽重, 全収葉量 (新鮮物および乾物) を測定した. それぞれの収量測定地における株間, 株張, 株高を計測した. 収穫は, 上嶋茶園の施肥圃場および片木茶園では 1 番茶, 親子番茶, 2 番茶の 3 期間であったが, 上嶋茶園の無施肥圃場のみは 2 番茶を収穫しなかった.

(2) 土壌分析

各圃場 3 カ所から, 表層深さ 30 cm の土壌を採取し, その中の上層および下層の各 10cm の部分 (0-10 cm および 20-30 cm) について全窒素と全炭素を乾式燃焼法で, 交換性塩基 (Ca, Mg および K) 含量を原子吸光度法でそれぞれ測定した.

3. 結果および考察

(1) 収量および収量構成要素

畝幅は上嶋茶園と片木茶園の両方で無施肥圃場と施肥圃場の間で変わらなかった. 株張も同様であ

った。樹高では、両茶園で無施肥圃場が施肥圃場に比べてやや低い傾向があった。

1 番茶の新芽収量は、2019 年上嶋茶園では無施肥圃場が施肥圃場よりも有意に小さかった（表 1）。片木茶園では、出開芽数を除いて無施肥圃場と施肥圃場の間に有意差がなかった。2018 年の調査結果では上嶋茶園で無施肥圃場が施肥圃場と同等以上の収量を示したので、これらを合わせてみると、無施肥圃場の収量は、1 番茶については施肥圃場と同等の量になり得ると思われた。親子番茶の収量は、2019 年は片木茶園でのみで収穫されたが、無施肥圃場が施肥圃場よりも新芽と硬葉（成熟葉）の両方で明らかに小さかった。2018 年も同様の結果が得られたことから、親子番茶と 2 番茶については、無施肥圃場の収量は施肥圃場よりも明らかに小さく考えられた。無施肥圃場では施肥圃場よりも、新芽の抽出および出開時期が数日から 1 週間遅れる傾向がある。それにとまって収穫適期も無施肥圃場と施肥圃場の間で異なった。調査はこのことを考慮して圃場ごとに日程を変えて行ったが、調査日における新芽の発達段階（出開芽数）の違いが採取された新芽新鮮重に影響を及ぼしている可能性は否定できない。茶園の収量を比較する調査については、今後、方法を検討する必要があると思われる。

表1 1 番茶、親子番茶および2番茶収穫期に行った収穫調査の結果

			畝間	採集日	株張	樹高	新鮮重 (新芽)	(硬葉)	芽数	出開芽数	新芽長	開葉数
			cm		cm	cm	g/0.04m ²		g/0.04m ²	g/0.04m ²	cm	g/0.04m ²
1番茶	上嶋茶園	施肥	193	2019年5月19日	170	103	27.2	**	57.5 *	53.6 *	7.7 *	3.2
		無施肥	183	2019年5月25日	163	98	13.9		35.9	22.1	5.9	3.0
	片木茶園	施肥	176	2019年5月8日	158	110	12.6		53.5	6.9 *	5.5	2.7
		無施肥	178	2019年5月13日	157	100	14.6		47.5	19.9	5.7	2.9
親子番茶	上嶋茶園	施肥	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		無施肥	183	2019年6月2日	165	97	12.8	8.8	-	-	-	-
	片木茶園	施肥	183	2019年5月27日	165	107	47.6 *	10.2 *	-	-	-	-
		無施肥	180	2019年5月27日	160	97	24.1	2.9	-	-	-	-
2番茶	上嶋茶園	施肥	200	2019年7月8日	173	97	11.2		41.1	30.9	4.6	2.7
		無施肥	-	-	-	-	-		-	-	-	-
	片木茶園	施肥	182	2019年6月25日	162	112	12.6		49.6	1.8	5.4	2.5
		無施肥	180	2019年7月8日	165	90	7.6		20.8	10.6	4.8	2.8

**, *, それぞれ施肥圃場と無施肥圃場の間に1%および5%水準で有意差があることを示す。

(2) 土壌分析

土壌の全窒素含量と全炭素含量の間には密接な相関がみられ、両者の傾向は同様だったので、図 4 には全炭素量の結果のみ示した。土壌の全炭素含量は、表層土（0-10 cm）と下層土（20~30 cm）の両方で無施肥圃場と施肥圃場の間に差があるとはいえなかった。例外として、2019 年の片木茶園表層土の全炭素含量が無施肥圃場で高い傾向がみられた。2018 年に採取された土壌についても再分析を行ったが、値の範囲が大きく異なる（後述）もののほぼ同様の傾向だった。土壌の全窒素および全炭素含量を有機物含量の指標となるが、これまでの調査結果に関する限り、有機物からみた土壌肥沃度が長期の無施肥栽培（上嶋茶園 21 年、片木茶園 14 年）が顕著に低下して兆候はみられない。

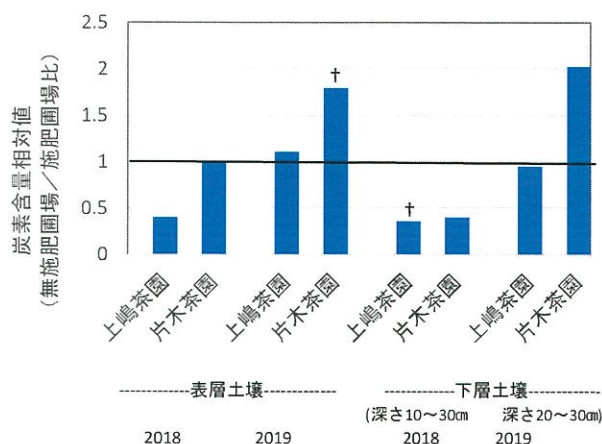


図4 無施肥茶園土壌の全炭素含量
(同じ農家の施肥茶園の値に対する相対値)
†、無施肥圃場と施肥圃場の間に10%水準で有意差があることを示す。

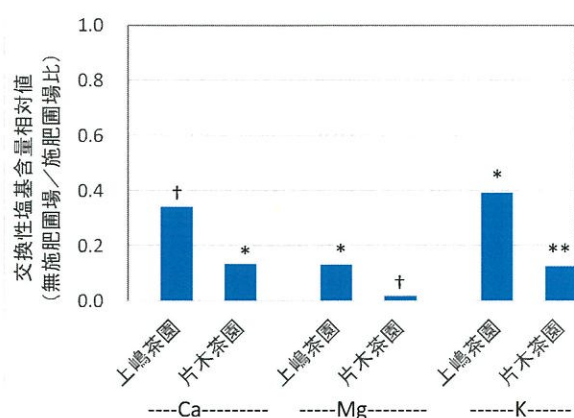


図5 無施肥茶園土壌の交換性塩基含量
(同じ農家の施肥茶園の値に対する相対値)
**, *, †、それぞれ無施肥圃場と施肥圃場の間に1%、5%および10%水準で有意差があることを示す。

表層土壌の交換性塩基含量 (K, Mg および Ca) を図5に示した。上述の結果とは異なり、上嶋茶園と片木茶園の両方で、また表層土と下層土の両方で (図では表層土壌のみ提示)、無施肥圃場の値が明らかに施肥圃場の値よりも小さかった。その程度は片木茶園でやや顕著にみられるが、これは片木茶園の施肥圃場の交換性塩基含量が高いことによっていた。

土壌分析に関する以上の結果も収量調査結果と同様に、年次間に傾向の違いがみられた。土壌採取・調整方法の違いに加えて、圃場内の土壌の状態の不均一性による可能性が高い。この点でも調査方法の改善が必要と思われる。今までの調査結果からは、無施肥栽培を継続した結果、土壌の交換性塩基含量は低下したが、土壌有機物含量の指標である炭素含量は維持されている様子が見られた。

(3) まとめ

以上のように、収量や土壌特性の調査方法について改善の余地があるものの、無施肥栽培を継続した茶園では1番茶に関する限り施肥茶園と同等の収穫が得られる可能性は十分に高いこと、土壌全炭素と全窒素の顕著な低下はみられないが塩基含量が低下傾向になること、が判明しつつある。今後、収量と土壌特性の推移を注視するとともに、調査対象を茶葉品質にも広げていきたい。

4. 引用文献

栗田光雄 クワの長期無施肥栽培が土壌特性、生育・収量および葉質に及ぼす影響。博士学位論文、京都大学 (2006)。

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

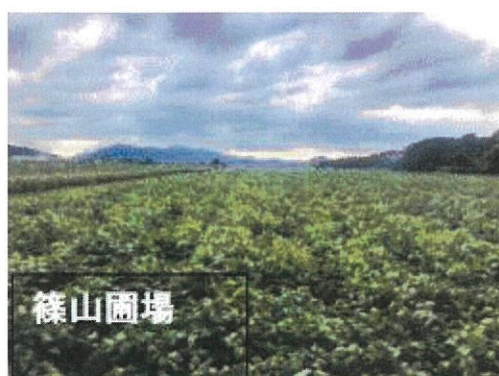
加藤もも・多田光史・白岩立彦（京大院農）

【緒言】

ダイズ茎疫病はダイズ茎疫病菌 *Phytophthora sojae* によって引き起こされる、防除が困難な病害である。茎疫病菌は遊走子で感染拡大する。遊走子は水の中を泳ぎ植物体へ感染するため、容易に被害が拡大する所以となっている。また、このことから、茎疫病発病と水分条件との関係が切り離せないものとなっている。収量損失は4%~100%にも及ぶため、早急な対策が必要である。

本研究の目的は圃場においてダイズ茎疫病の発生がどのような要因によって助長されるのかを明確にし、その要因を量的に示すことである。今回、調査圃場として綾部、野洲、篠山の3圃場を対象としたが、茎疫病の発生が顕著に見られたのが篠山圃場のみであり、綾部圃場に関しては発生こそしたものの、拡大しなかった。野洲圃場に関しては茎疫病的枯死個体が見られなかった。

本報告では、篠山において排水性と関係なく発病が広がったこと（圃場内変異）、綾部圃場では茎疫病は発生したものの広がらず、篠山圃場では広範囲にわたって広がったこと（圃場間変異）を二つの疑問として研究をとりまとめた。



【調査概要】

綾部圃場：丹波黒大豆（自家採種）、6月中旬～11月中旬

約2週間に一度の頻度での地下水位の測定、7月下旬より発病個体の記録も行った。加えて発病個体の植わっていた部分とその周りの健全個体の周辺部分の土壌の採取を行った。

篠山圃場：丹波黒大豆（購入種子）、9月下旬～12月中旬

約2週間に一度の頻度で調査した。調査に関しては、発病個体の記録、土壌含水率測定（168か所）、畝高測量（40か所）に加えて、茎疫病菌存在の有無を確かめるための生物検定（茎挿し法、土壌病原スコアとして記録）等を行った。これらすべてのデータについては、圃場をメッシュ（小さな区画）に分け、そのメッシュごとに数字（データ）を与えることで評価する、空間変動解析に供した。空間変動解析については、セミバリオグラムにより空間依存性を算出し、クリギングによりマップ化を行った後、各項目と発病率との相関を考察し

た。どの要因が発病率と相関があるのかを地図上で判断するとともに、単相関係数および重回帰分析を行うことで、どの要因が最も茎疫病発病に効果的であるのかを検討した。

また、綾部と篠山の両方において、土壌を持ち帰り、土壌化学特性値（全窒素含量、全炭素含量、交換性塩基含量（Ca、Mg）、可給態リン酸含量）を分析した。

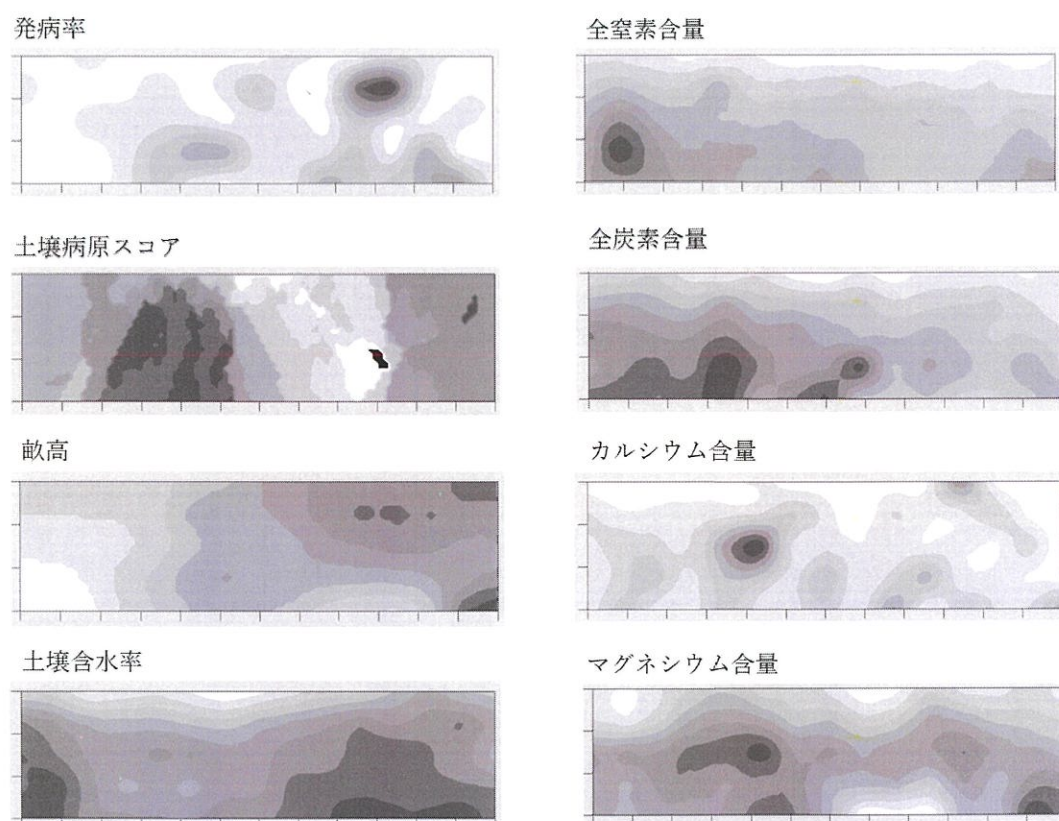


図1 各調査項目の調査結果の圃場内変異
色が濃いほどそれぞれの値は高いことを示している。

【結果と考察】

1. 圃場内変異（篠山市八上上）

空間依存度を算出したところ、畝高、土壌含水率、全窒素含量、全炭素含量、マグネシウム含量、可給態リン酸含量において高い依存性が見られた。一方で、発病率に関しては中程度の依存性、土壌病原スコア、カルシウム含量に関しては低い依存性となった（図1参照）。これらの項目は一圃場内での空間的な依存性を示すものの、発病率との関連性は地図を見る限りでは判断できなかった。その際に参考にしたのが発病率との相関係数である。相関係数によると、畝高、土壌含水率、カルシウム含量の相関係数が0.2以上（ $n=75$ ）であり、不明瞭な相関がみられたといえる。相関がみられた項目のうち、最も発病率に効果的である項目を、重回帰分析により探索した。その結果、畝高、次に土壌含水率が発病に効果的である

ことが示唆された。

一方で、発病率と土壌病原スコアの間には相関がみられなかった。このことから、土壌病原菌がいるからと言って発病するとは言えないということも明らかになった。すなわち、菌がいると必ず発病するというわけではなく、菌の存在に加えて何か別の要因が重なり、初めて発病が発生するという可能性が示唆された。今回、そのプラスアルファの要因として、もっとも発病率に効果的なのは畝高であることが明らかになったが、畝高や土壌含水率の測定、茎挿し法の方法も含めて再度実験を重ね、検討する必要がある。

上記のように、畝高が高いところほど発病率も高いということが明らかになった。これは、畝高が高いということは、畝間が深く耕されている可能性があり、そのためにその部分には降雨後もしくは灌水後に土壌表面水として停滞しやすくなっていた可能性がある。茎疫病菌の遊走子が水中を泳いで植物体に到達できることが知られていることから、土壌表面水の停滞が起こりやすい箇所、つまり畝高の高い部分においては発病率が高くなったことが可能性として考えられる。

2. 圃場間変異

綾部圃場と篠山圃場において、畑の条件や前作、施肥や農薬の有無について比較したものを以下の表1に示した。綾部圃場の特性として、同圃場は常畑であり、長期間丹波黒大豆のみを栽培していること、種子消毒も行わない無施肥無農薬栽培が行われていることが挙げられる。一方篠山圃場は水田転換畑であり、施肥および農薬散布が慣行の方法で成されている。両者はこのように、圃場の成立ち、使用歴および栽培方法に大きな違いが存在した。

土壌化学分析結果においては、それぞれの項目において綾部圃場と篠山圃場の間に明らかな差異が認められた（図2参照）。全窒素含量、全炭素含量、カルシウム含量、可給態リン酸含量の値においては篠山圃場が有意に多く、マグネシウム含量のみ綾部圃場で有意に多かった。全窒素含量、全炭素含量に関しては、土壌の肥沃度としての指標となることから、篠山圃場の土壌は相対的に肥沃であり、微生物の量と活動の程度が綾部圃場よりも大きかった可能性がある。また、カルシウム施肥によって茎疫病の発生が抑えられることが報告されている（Sugimoto et al., 2010）が、今回発病率の高い篠山圃場でカルシウム含量が多かったことから、篠山圃場におけるカルシウムの影響として確実に言えることはなかった。可給態リン酸に関して、亜リン酸の施肥によってダイズの耐病性が向上することも報告されている（前川, 2007）ことより、カルシウム含量と同じく、可給態リン酸が篠山圃場に与えている影響は明らかにできなかった。これより、綾部との比較も含めて考察すると、土壌において、一つの項目が優れて高いと発病率が低下する、ということではなく、それぞれの値の土壌バランスというものが茎疫病発生を抑制するためには重要であるという可能性が示唆された。

表 1. 綾部と篠山における圃場条件、管理方法の違い

	畑条件	前作	前々作	施肥	農薬
綾部	常畑	黒大豆	黒大豆	無し	無し
篠山	水田転換畑	イネ	黒大豆	有り	有り

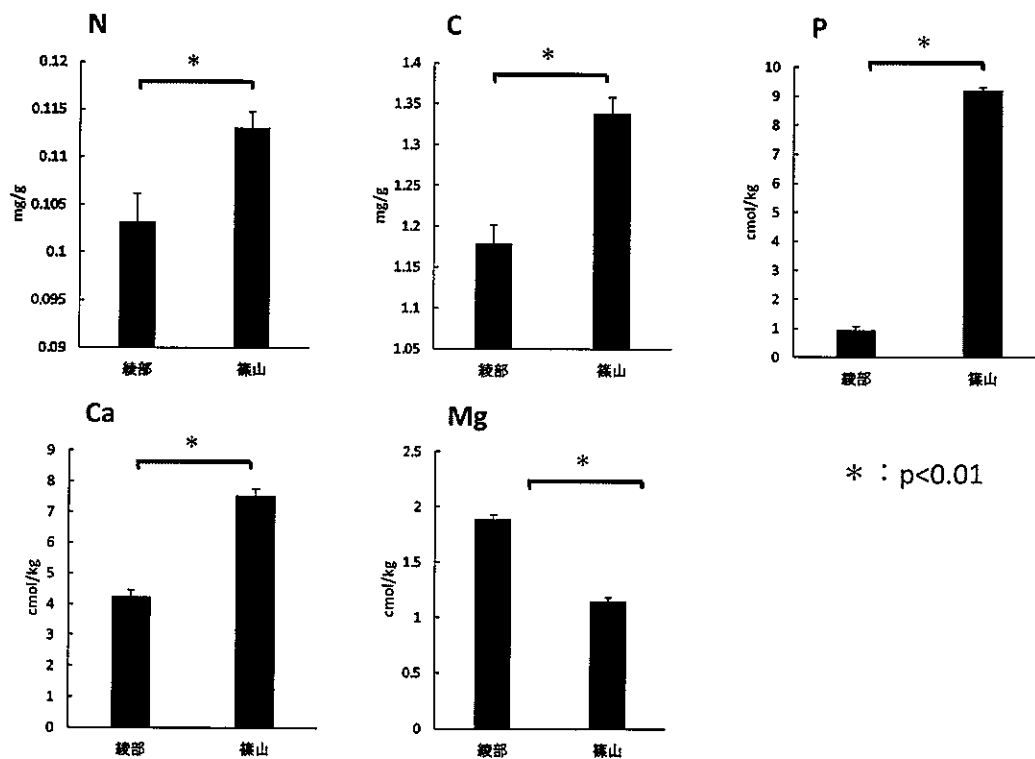


図2. 土壌化学分析の結果

それぞれの項目において、有意な差 (p<0.01) が認められた。

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・田中千尋・白岩立彦（京大院農）

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、湿害との関連が指摘されている（向畠ら, 2003）。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問題とされ（FRAC, 2020；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る。しかし、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化学的防除法は行われず、また自家採種が多くみられることから抵抗性品種の導入機会も乏しく、耕種的防除法のみが選択可能である。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防除法の確立を目標とする。

茎疫病菌は水中を泳ぐことのできる遊走子を放出する。そのため湛水環境に晒されると蔓延すると考えられているが、意外に湛水と茎疫病発生に関する研究は少ない。また、生育初期の茎疫病菌接種が収量を低下させることが報告されているが（柳田, 1985）、生育初期の被害程度を調査した研究は非常に少なく、特に生残した植物体の生育に着目したものは見当たらない。また、植物病理学の分野では傷を伴う菌接種がよく用いられているが、その場合の植物体の生育を調べた研究はほとんどない。以上より①湛水処理と菌接種の効果、および②傷を伴う菌接種の効果、いずれも生残個体における生育阻害程度に着目して調査した。

①湛水処理と菌接種が生残個体の生育に及ぼす影響

【材料および方法】

ダイズ品種‘エンレイ’を容量約 2 L のポットおよび 120 L のコンテナを用いて栽培した。病原菌として中央農研北陸研究拠点より分譲を受けたダイズ茎疫病菌 (*Phytophthora sojae*) の 2 系統‘菌 A’および‘菌 B’（仮名）を供試した。この 2 系統はいずれもエンレイに対して病原性を有することが分かっている。V8 野菜ジュース寒天培地を用い、9 cm シヤ

ーレ内で 25℃の暗所にて 2 週間培養したプレート 1 枚を蒸留水 200 mL とともにミキサーで 40 秒間破砕したものをダイズの初生葉出葉期ごろに灌注接種した。湛水区については、茎疫病菌接種直後から地表面+2 cm（一部実験では-3 cm）の水位を 72 時間維持し、その後は-11~-13 cm の水位に保った。非湛水区は菌接種直後から-11~-13 cm の水位とした。栽培実験は合計 9 回行った。詳細は表の通りである。

播種 18 日～35 日後に最長根長（子葉節から根の先端までの距離）、地上部および地下部乾物重を測定した。

表：9 実験の詳細

実験	播種日	栽培期間	場所	ポット・コンテナ	土壌	接種時期	湛水処理
1	2018年7月2日	28日間	ビニールハウス	2 L ポット	バーミキュライト	7 DAS	+2 cm, 72 H
2					バーミキュライト		
3	2018年9月15日	35日間			水田土壌	9 DAS	
4					ホワイト		
5	2019年7月30日	33日間			バーミキュライト	7 DAS	
6					水田土壌		
7	2019年9月6日	31日間			ホワイト	7 DAS	
					バーミキュライト		
8	2019年7月31日	29日間		120 L コンテナ	畑土壌	10 DAS	
9	2019年7月27日	18日間	LED照射室	2 L ポット	バーミキュライト	7 DAS	-3 cm, 72 H

DAS：播種後日数

【結果および考察】

9 つの実験における菌接種の効果は ANOVA によると最長根長、地上部乾物重および地下部乾物重で 9 つの実験のうち、それぞれ 8 つ、5 つ、6 つで効果がみられ、特に最長根長では安定して菌接種による生育阻害がみとめられた（データ省略）。同様に湛水処理の効果はそれぞれ 4 つ、5 つ、5 つの実験でみられ（データ省略）、菌接種による効果のように一貫してみられたわけではなかったが、一部の実験では湛水処理による顕著な生育阻害がみとめられた。交互作用に関しては、最長根長、地上部乾物重および地下部乾物重それぞれにおいて 7 つ、6 つ、3 つで効果がみられた（データ省略）。

9 実験それぞれの菌接種区の生育程度を無接種区に対する相対値として表したとき、菌 A 接種区における最長根長は非湛水条件下で 0.91、湛水条件下で 0.86 となり、菌 B 接種区では非湛水条件下で 0.93、湛水条件下で 0.86 となった（図 1, 2）。地上部乾物重に関しては、菌 A 接種区の非湛水条件下で 1.06、非湛水条件下で 0.92 となり、菌 B 接種区の非湛水条件下で 1.05、非湛水条件下で 0.88 となった（図 1, 2）。

以上より、最長根長および地上部乾物重では、湛水条件下の方が菌接種による生育阻害が顕著にみられる傾向がみられた。このことから生育初期の湛水状況を回避することでダイズ茎疫病の被害を抑制しうることが示唆された。

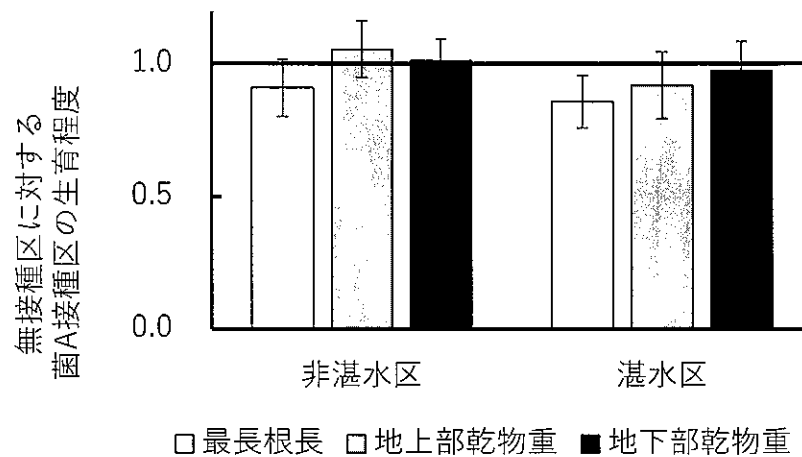


図 1：無接種個体に対する菌 A 接種個体の生育程度

最長根長，地上部乾物重および地下部乾物重のそれぞれの項目について，湛水処理ごとに無接種個体に対する菌 A 接種個体の相対値を求め，さらに各実験の平均値の平均を算出した．エラーバーはその際の標準偏差を示している．（図 2 も同様）

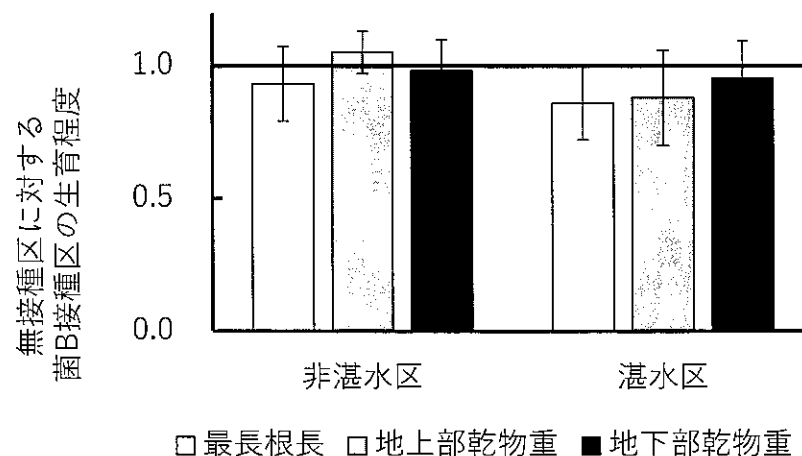


図 2：無接種個体に対する菌 B 接種個体の生育程度

②傷を伴う接種が生残個体の生育に及ぼす影響

【材料および方法】

ダイズ品種‘エンレイ’を 360 mL のポットにて栽培した．茎疫病菌は①と同じ系統を供試し，①と同様に培養した．菌接種区については，ダイズの初生葉出葉期ごろに子葉節下の茎上にニードルで軸方向と平行に約 1 cm ほどの傷を付け，培養プレート菌糸ごと塗り

込んだ。無接種区には、菌を培養する前の V8 野菜ジュース寒天培地を塗り込んだ。接種 7 日後に傷付近に病斑がみられるかを確認し、生残個体の最長根長を測定した。

【結果および考察】

菌接種区の生残個体の最長根長を測定した結果、傷付近に病斑がみられた接種区生残個体は無接種区よりも生育を有意に阻害された（図 3）。9 つの灌注接種実験（①）では根元から地下部へと菌が接種されているが、本実験においては地上部にしか菌接種を行っておらず、菌が地下部には接種されていない。この実験において接種個体で最長根長が短くなったことから、最長根長が短くなるのは茎疫病菌が地上部の茎の一部を侵すことで根の成長が抑制されるためである可能性が示唆された。また、実際の生育状況として、害虫に食われる、あるいは台風その他の影響で茎に傷が付くと予想されるので、生育状況が茎疫病被害を助長しうるということが示唆されたと考えられる。

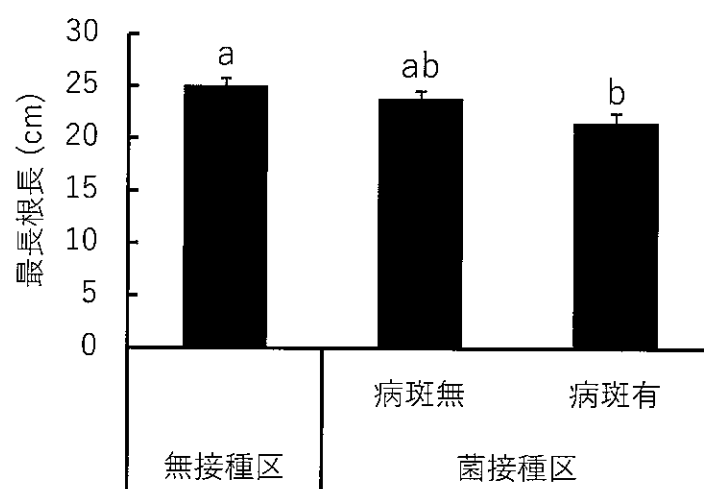


図 3：有傷接種の生残個体における最長根長の違い

異符号間には Tukey 法において 5%水準で有意差のあることを意味する。エラーバーは標準誤差を示す。

結論

2 か年にわたる灌注接種実験より、無傷条件下の菌接種生残個体には生育阻害がみられ、その程度は湛水条件下で助長される傾向がみられた。また、有傷接種によっても地下部の生育が阻害されていた。以上より、生育初期の湛水を回避することと、傷をつけないことで茎疫病被害を軽減しうるということが示唆された。しかし、今のところ定性的な条件しか設けられていないので、定量的な条件を設定することでさらに栽培技術の向上に資する知見が得られると考えられる。

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（予備試験）

NPO 無肥研 下平訓立・倉島次郎

目的

一般的な作物栽培で、品種・栽培条件によって、同じ土地で同一又は近隣の品種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、ナス科等の品種や条件により連作2年目以降に生育が低下することがあるが、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。そこで、無施肥無農薬栽培条件下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考えられているナス科植物の中からジャガイモを採り上げる事とし、気候や土地の条件に適應して栽培が可能であるか試験的に栽培調査を行った。

ジャガイモの特性

品種によるが、多くは比較的冷涼な気候を好む。生育の適温は約10℃～23℃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、短い品種は二期作が可能。湿害に弱い。

栽培の適期 北海道～関東地方 春植え品種 3～4月植え付け→6～7月収穫
西南地方（暖地：2期作が可能）春植え品種 3月植え付け→6月収穫
秋植え品種 8月中旬～9月植え付け→11～12月収穫

栽培調査を行った圃場

1. 滋賀県野洲市の無肥研8番圃場（無施肥栽培歴2年目／前作：甘藷）
2. 長野県東筑摩郡朝日村（無施肥栽培歴／初年：数年間所有者が耕起のみ行った休耕地）

栽培を行った品種

栽培に適する気候や生育時期を確認するため気候の異なる2ヶ所の圃場で同じ種芋を用いた。長野県の圃場では参考に一般市場で入手した他品種の栽培も行った。

・2圃場で共通のもの

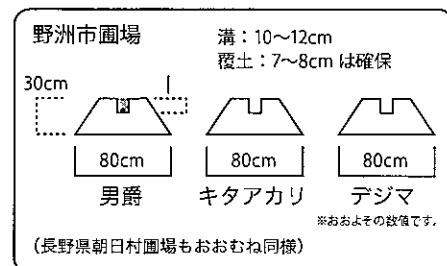
1. 男爵（食用：北海道の生産者より／無施肥栽培歴 少なくとも1年）
2. キタアカリ（食用：北海道の生産者より／無施肥栽培歴 少なくとも1年）
3. デジマ（食用：長崎の生産者より／無施肥栽培歴 少なくとも1年）

・長野県朝日村のみ

1. ホッカイコガネ（種用：市販）
2. こがね丸（種用：市販）
3. ピルカ（種用：市販）
4. とうや（種用：市販）
5. アンデスレッド（種用：市販）

栽培の方法

- 一般的な栽培方法により、
- ・ 浴光催芽（2月初旬～）
（試験的に全芋と半割芋を使用）
 - ・ 畝立て（野洲市では土壌の水分が多い事と保温の為
透明マルチで発芽まで被覆）
 - ・ 植え付け（野洲市 3/3・デジマは 3/10 朝日村 4/28 頃）
 - ・ 芽かき（発芽から2～3週間後／2本仕立てに）
 - ・ 土寄せ（2～3回）



結果

- ・収量面では2圃場ともに予想をやや上回る収量が得られた。
- ・野洲市圃場は比較的湿地のため土壌中の水分の懸念があったが高畝にしたためか、良い生育となった。
但し、一部では土中の茎でダンゴムシによる被害があり、枯れた株があった。
収穫した芋も被害に遭ったものがあり、収量は生育全体を表してはいないと思われる。
- ・朝日村では植え付け時期・収穫時期の遅れがあり、土中で腐敗した芋も多く有り、収量は参考に留まる。
- ・テントウムシダマシの発生を危惧したが、早期に手で駆除したこともあり、一部の発生に留まった。
- ・野洲市は発芽まで透明マルチを使用、朝日村では通期で未使用。
- ・収量で比較するとキタアカリについては長野県朝日村の方がやや生育が勝る。
- ・今後の栽培期間においての耐病性等の参考のため、長野県朝日村では他品種も継続して栽培してみたい。

デジマの二期作

- ・当初計画していなかったが、野洲市では気候条件からデジマの二期作が可能と考えられるため、やや植え付け時期は遅れたものの、一期作との収量や連作障害の発生程度の比較を目標に、種芋の収穫を目指して畝の一部を使用し、春作で収穫した芋を用いて栽培を行った。
- ・まだ生育中で青かったが12/3に収穫。小さいが種芋が収穫できた。

まとめ

- ・両圃場ともに多少生育は異なるものの、栽培試験自体は可能であると思われるため、今後も継続して栽培試験を行いたい。
- ・種芋の貯蔵の適温（2～5℃程度）の環境が無く、特に滋賀県での収穫芋が高温にさらされた結果、休眠期間を過ぎたものが発芽してしまった。発芽した芽を取り除いて新たに2年目（2020年）の芽出しを行ったが、芋の生育に影響が及ぶ事が懸念されるため、今後は改めて貯蔵方法を検討したい。
- ・今後しばらくは減収していくと予想しているが、土壌中の菌類、食味や品質等の調査が可能か検討したい。

2020年の計画

- ・2020年から野洲市圃場では、デジマ一期作／デジマ二期作／男爵の3区画×3反復で栽培試験を行う。
- ・朝日村圃場では、基本的には2019年と同様の品種・位置で栽培試験を行う。
- ・草丈・地上部の乾燥重量などの計測を行う。

野洲市圃場 2019 春作

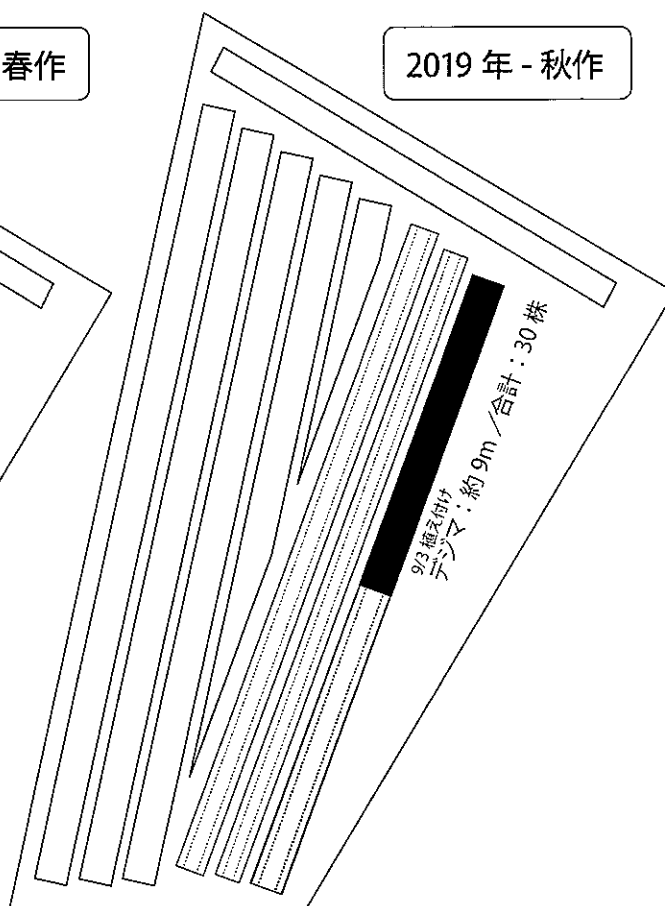
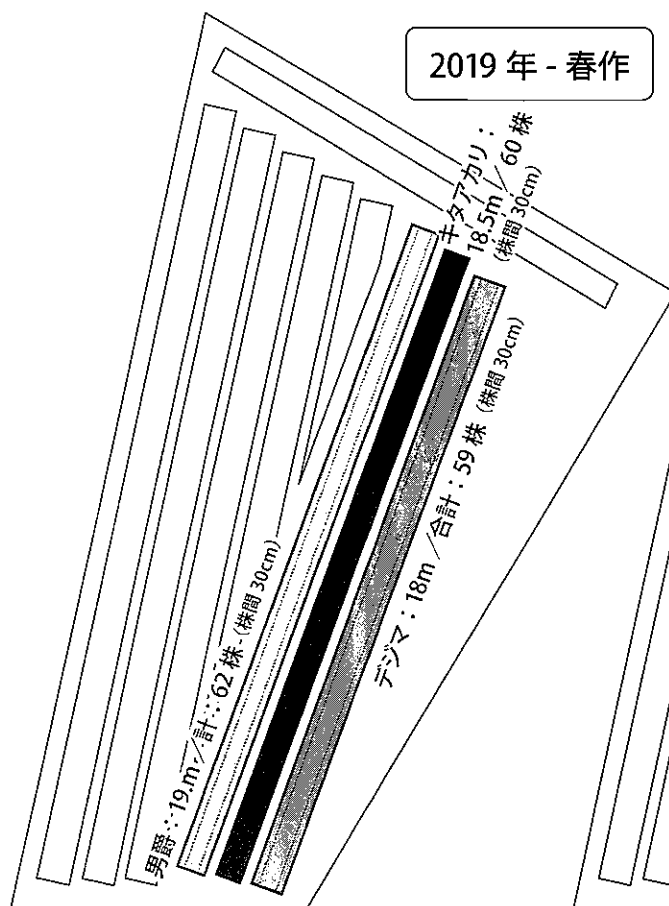
品 種	種芋重量	株 数	芋総収量	1株平均芋重量	植付け～収穫
男 爵	4.54kg	62	57.78kg	0.93kg	3/2～6/21 (111日間)
キタアカリ	4.45kg	60	42.66kg	0.71kg	3/2～6/21 (111日間)
デジマ	5.30kg	59	71.54kg	1.21kg	3/9～7/15 (129日間)

野洲市圃場 2019 秋作

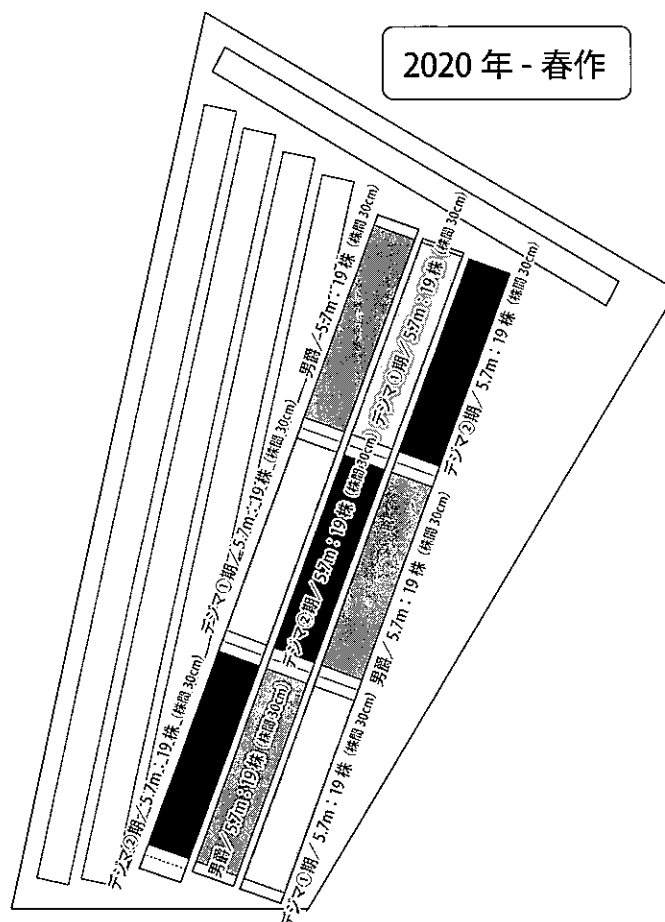
品 種	種芋重量	株 数	芋総収量	1株平均芋重量	植付け～収穫
デジマ	kg	27	10.21kg	0.38kg	9/3～12/1 (90日間)

朝日村圃場 2019 春作

品 種	種芋重量	株 数	芋総収量	1株平均芋重量	植付け～収穫
男 爵	4.59kg	75	61.84kg	0.82kg	4/28～7/27 (91日間)
キタアカリ	4.30kg	72	60.81kg	0.85kg	4/28～7/27 (91日間)
デジマ	5.60kg	39	66.92kg	1.72kg	4/28～8/20 頃(約115日間)
ホッカイコガネ	2.00kg	23	25.87kg	1.12kg	5/5～8/1 頃(約87日間)
こがね丸	2.00kg	29	37.73kg	1.30kg	5/5～8/1 頃(約87日間)
とうや	1.00kg	21	13.78kg	0.56kg	5/5～8/1 頃(約87日間)
ピルカ	1.00kg	20	18.20kg	0.91kg	5/5～8/1 頃(約87日間)
アンデス赤	1.00kg	25	24.34kg	0.97kg	5/5～8/1 頃(約87日間)



2019～2020 年
野洲 8 番圃場
ジャガイモの試験栽培
作付け図



2019～2020 年
長野県東筑摩郡
朝日村圃場
作付け図

2019 年 - 春作

[illegible]

2020 年 - 春作

[illegible]