

NPO 無施肥無農薬栽培調査研究会 2017 年度研究報告会

開催日時：2018 年 3 月 18 日（日） 13：00～16：30

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の経年変化（2017 年度）
…… 小林 正幸（無肥研） 1
2. 北部ラオスのサイニャブリ県の農家圃場でのトウモロコシ連作にともなう生産性の変化
…… 藤竿和彦¹・PhanthasinKhanthavong²・Saythong Oudthachit²・松本成夫³・本間香貴⁴・
浅井英利³・白岩立彦¹（¹京大院農・²ラオス国立農森研究所・³国際農林水産業研究センター・⁴東大院農） 7
3. 生育後期の生長を促す方法が無施肥栽培水稻の生育および収量に及ぼす影響
…… 家田善太¹・栗田光雄^{1,2}・白岩立彦²（¹無肥研・²京大院農） 10
- （休憩）
4. 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 3 報)
…… 丸田信宏¹・栗田光雄^{1,2}・白岩立彦²（¹無肥研・²京大院農） 19
5. 無施肥無農薬栽培水田における収量形成に及ぼす土壌とかんがい水の影響(第 6 報)
…… 伊吹克也¹・家田善太¹・栗田光雄^{1,2}・白岩立彦²（¹無肥研・²京大院農） 28
6. 長期無施肥土壌に生育する根圏微生物群によるアブラナ科植物の共生機構の解明に向けて
…… 晝間敬（奈良先端科学技術大学院大学） 34
7. 【資料報告】無施肥栽培によるイネ栽培と水田の環境解析～京都府宇治市の例～
…… 馬場崇誠・荒木希和子・久保幹（立命館大生命科学） 36

異なる水田における無施肥無農薬栽培水稻の玄米収量の経年変化 (2017 年)

小林正幸（無肥研）

本会が認証する無施肥無農薬栽培圃場は全国に点在し、さまざまな立地条件の下その環境に適した作物を生産している。無施肥無農薬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い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、その中で 10 年以上にわたり継続的に調査を続けている福井県、滋賀県および京都府に位置する無施肥無農薬栽培水田における 2017 年の収量結果をまとめた。

参考として水稻栽培期間中の気象庁発表の京都市気象データ(表 1)と京都府亀岡市、宇治市小倉、滋賀県野洲市の無肥研管理水田に設置した自記温湿度計(K-N ラボラトリーズ製ハイグロクロン)のデータ(図 1)を示した。

水稻収量は、(1) 坪刈り法によるもの 7 圃場(表 2)、(2) 株刈り法によるもの 11 カ所 17 圃場(収量要素を含む)(表 3)、(3) 全刈り法によるもの 13 カ所 21 圃場(表 4)について、それぞれ収穫時に常法にしたがって調査した。その中で収量を経年記録しているものは、坪刈り法で 6 圃場 19 年間(図 2)、株刈り法については 6 圃場 14 年間であった。

気象概要

作物の生育と収量に影響を及ぼす要因の一つとして天候が上げられる。2017 年の水稻栽培期間中(3 月～10 月)の京都市における気象の概要を以下にまとめた。

降水量 栽培期間中の 3 月～10 月における総降水量はほぼ平年並で約 1300mm であった。特徴的なのは 4 月中旬(平年の 2 倍、以下同じ)と梅雨期の 6 月下旬～7 月上旬(1.5 倍)、台風の影響を受けた 8 月上旬(2.5 倍)、9 月中旬(2 倍)、10 月(3.3 倍)で特に多かったのに対して、それ以外の期間では平年よりも少なく、降水量は時期により大きな偏りがみられた。

平均気温 育苗期間から本田移植の時期にあたる 5 月上旬(+1.1℃)、中旬(+1.9℃)、下旬(+2.5℃)は平年よりも高く、分げつ期の 6 月上旬(-1.1℃)、中旬(-0.5℃)にやや低くなったものの、7 月上旬(+1.4℃)、中旬(+2.4℃)は高く推移した。コシヒカリ出穂期の 7 月下旬(+0.8℃)はやや高く、秋の詩の出穂期である 8 月中旬(-0.3℃)はほぼ平年並み、ベニアサヒの出穂期を迎える 8 月下旬(+1.3℃)は高くなった。その後、9 月上旬(-1.2℃)、中旬(-0.6℃)と低く推移し、9 月下旬(+0.5℃)から 10 月上旬(+1.0℃)にかけてやや高くなり、10 月中旬(-0.4℃)はほぼ平年並であった。

日照時間 5 月中旬から 6 月中旬(183%)までは平年よりも 32～83%も日照時間が長く、好天が続いた。梅雨期の 6 月下旬～7 月上旬はほぼ平年並の日照時間であったが 7 月中旬(156%)に長くなり、下旬(53%)には反対に短くなった。8 月上旬から中旬は平年よりも 10～20%短くなり、8 月下旬(98%)はほぼ平年並であった。9 月は上旬(121%)と下旬(147%)

は長かったが、中旬は台風の影響で20%ほど短かった。10月上旬は平年並であったが、中旬(24%)、下旬(69%)は台風の影響などで雨や曇りの日が多くみられた。

気象まとめ 本年の栽培期間中(5月中旬～10月中旬)の天候は、降水量で平年比90%、気温は+8.4℃、日照時間は105%であった。時期別にみると5月は好天に恵まれ気温、日照時間共に平年を上回った。梅雨の期間は6月下旬から7月上旬までと平年より短かった。しかし台風の影響が8月上旬と9月中旬に受け、10月は上旬～中旬に雨の日が多く不順な天候が続いた。

表1 2017年京都市気象データ

		降水量(mm)		平均気温(℃)		日照時間(h)	
3月	上旬	2.5	(30.9)	7.2	(6.8)	50.4	(45.3)
	中旬	5.0	(39.4)	8.1	(8.5)	58.1	(48.8)
	下旬	48.5	(43.0)	9.1	(9.8)	51.1	(52.7)
4月	上旬	28.0	(39.6)	13.5	(12.2)	46.9	(56.1)
	中旬	90.5	(42.4)	15.3	(14.4)	51.7	(56.4)
	下旬	10.5	(33.7)	15.8	(16.1)	78.5	(62.9)
5月	上旬	8.5	(49.4)	19.3	(18.2)	63.3	(59.5)
	中旬	41.5	(67.5)	20.5	(18.6)	71.0	(53.7)
	下旬	16.0	(43.9)	22.7	(20.2)	91.7	(67.7)
6月	上旬	43.5	(44.2)	20.8	(21.9)	77.7	(58.8)
	中旬	0.0	(65.6)	22.5	(23.0)	87.5	(47.8)
	下旬	161.5	(104.2)	24.3	(24.0)	31.0	(31.9)
7月	上旬	109.0	(77.6)	27.0	(25.6)	38.7	(39.6)
	中旬	26.0	(91.0)	29.1	(26.7)	59.2	(37.9)
	下旬	15.5	(51.8)	29.0	(28.2)	34.7	(64.9)
8月	上旬	88.5	(36.0)	29.0	(28.6)	49.6	(62.3)
	中旬	40.0	(48.9)	28.0	(28.3)	50.2	(56.7)
	下旬	1.0	(47.2)	29.0	(27.7)	62.4	(63.7)
9月	上旬	22.5	(44.9)	25.0	(26.2)	63.6	(52.4)
	中旬	128.0	(61.4)	23.6	(24.2)	34.1	(43.6)
	下旬	8.5	(70.0)	22.4	(21.9)	60.0	(40.9)
10月	上旬	85.0	(49.4)	20.9	(19.9)	43.3	(46.1)
	中旬	71.0	(42.1)	17.8	(18.2)	12.8	(52.4)
	下旬	241.0	(29.4)	15.6	(15.7)	41.0	(59.0)

気象庁発表の京都市の気象データをもとに作成。()は平年値

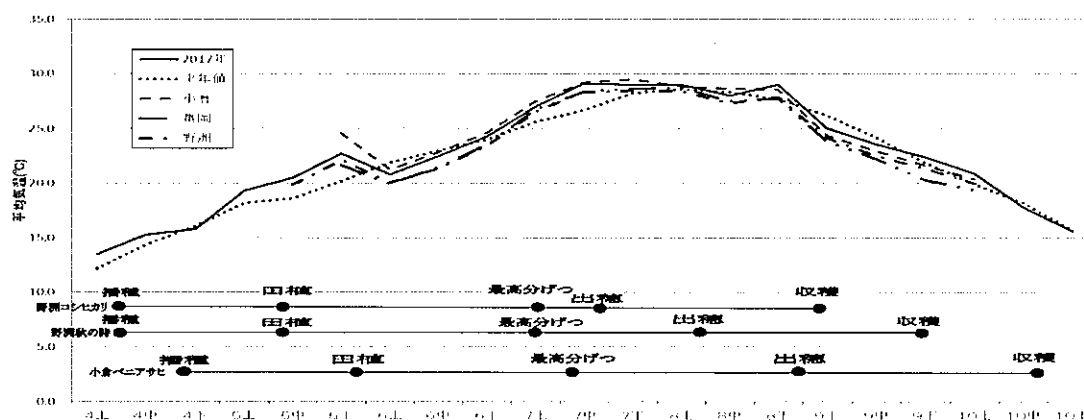


図1 2017年 各圃場の平均気温と栽培記録

水稲収量

2017 年の無施肥無農薬栽培水稲の収量を調査法別に以下にまとめた。

坪刈り法(表 2)は立地条件や栽培品種の異なる 7 水田で調査した。栽培品種はコシヒカリ、ベニアサヒ、秋の詩、農林 16 号の 4 品種であった。実施場所ごとに特徴をまとめた。

野洲Ⅶ(404.1kg/10a)ではコシヒカリを栽培し、2017 年の対象水田の中では収量が多かった。この圃場は 3 年に 1 度転作となり 2015 年は蔬菜を無施肥無農薬栽培し、2016 年はもち米(新羽二重)を栽培していた。

宇治市小倉の O(276.6kg/10a)と R(258.8kg/10a)では晩生品種ベニアサヒを栽培している。O・R それぞれの過去 10 年間の平均収量は $334.5 \pm 36\text{kg}/10\text{a}$ ($\pm$ 以下は標準偏差、以下同じ)と $297.0 \pm 43\text{kg}/10\text{a}$ であり、どちらの水田も 2017 年はかなり減収となった。

京都府亀岡の K・I (155.5kg/10a)では秋の詩を栽培している。K・I の過去 10 年間の平均収量は $249.9 \pm 63\text{kg}/10\text{a}$ で、年毎の変動が大きいのは気象条件の違いに加えて、遠方に位置していることから栽培管理が行き届かないことも要因の一つにあげられる。

京都市山科区の市街地に位置する Y・I (193.4kg/10a)と Y・II (264.4kg/10a)では、それぞれ晩生品種の農林 16 号とベニアサヒを栽培している。過去 10 年間の平均収量は Y・I では $251.1 \pm 30\text{kg}/10\text{a}$ 、Y・II では $236.7 \pm 37\text{kg}/10\text{a}$ であり、農林 16 号は 23%の減収、ベニアサヒは 12%の増収となった。

福井の F (395.5kg/10a)ではコシヒカリを栽培している。小さな水田ではあるが、除草や水管理などの栽培管理が徹底されており、過去 10 年間の平均収量が $403 \pm 39\text{kg}/10\text{a}$ と比較的多収な水田である。

収量の経年推移(図 2)をみると、どの水田も年毎に増減がみられたものの、その変動係数はおおむね 10~15%であった。無施肥栽培で適切に栽培管理されている水田では収量決定の要因として気候の差異が考えられ、例えば 2017 年では 5 月~7 月下旬までの好天と 8 月中旬以後の悪天候が早生のコシヒカリの増収、晩生のベニアサヒや農林 16 号の減収のように栽培品種によっても収量に差異をもたらすことがあるが、その変動は 15%以下であることが示されたものと思われる。なお亀岡のみが 23%と大きな変動がみられたことから、亀岡の栽培管理に適切な処置が必要なることを示すものと考えられた。

表2 2017年水稲収量調査(坪刈り法)

生産者	実施場所	実施 開始年	自家採種 年数	品種	全乾重 (g/m ²)	籾乾重 (g/m ²)	精粳重 (g/m ²)	精玄米重 (g/m ²)	推定玄米重 (kg/10a)	備考
無肥研	滋賀県野洲市 野洲Ⅶ	2003	22	コシヒカリ	896	417	479	389	404.1	
無肥研	宇治市小倉 O	2003	64	ベニアサヒ	1161	800	361	297	276.6	
無肥研	宇治市小倉 R	(1951)	64	ベニアサヒ	1178	836	342	281	258.8	注 1
無肥研	京都府亀岡市 K・I	1993	12	秋の詩	661	449	211	150	155.5	
上田修一	京都市山科区 Y・I	1965	44	農林16号	993	738	256	214	193.4	注 2
上田修一	京都市山科区 Y・II	1965	64	ベニアサヒ	1033	688	345	287	264.4	注 2
丸山茂子	福井県越前市 F	1997	12	コシヒカリ	898	429	469	384	395.5	

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。

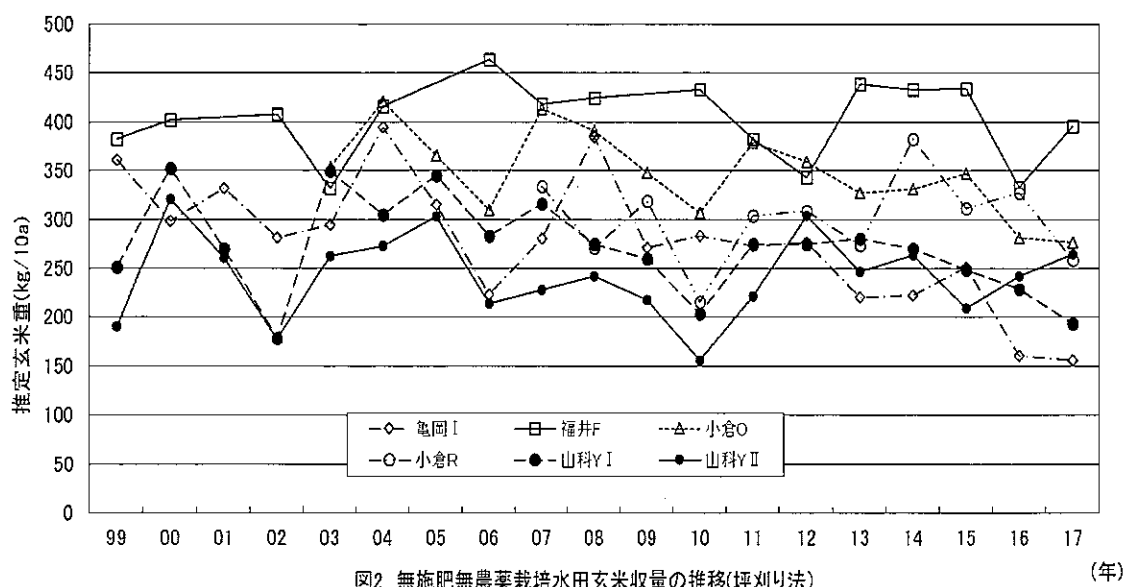


図2 無施肥無農薬栽培水田玄米収量の推移(坪刈り法)

株刈り法(表 3) で調査した水田間には大きな収量の差 (549~93kg/10a) がみられた。その原因として気象条件や立地条件の違い、除草や水管理などの栽培管理、品種選定の適合性なども考えることができる。

調査した圃場で栽培されていた品種は、コシヒカリ、秋の詩、ベニアサヒ、農林 16 号、新羽二重の 5 品種であった。

このうち晩生のベニアサヒと農林 16 号およびモチ品種の新羽二重はそれぞれ 1 筆で栽培されていたので、圃場の特徴を以下にまとめるだけで、将来のための資料として提示するにとどめる。晩生を栽培していた京都市山科区の圃場は無施肥栽培を 1965 年から継続しているものの、現在は周囲を住宅に囲まれてしまい、栽培環境には恵まれていない。またモチ品種を栽培した無肥研野洲 I 圃場も 1989 年から無施肥栽培を継続しているが、砂質土が混じる水田で、収量性は高くない。

コシヒカリは、作付面積がやや減ってはきたものの、以前として日本で一番多く作られている品種であり、近年の新しく登場してきた品種の多くの親元にもなっている品種である。無肥研の調査している圃場でも一番多く作られている品種であるが、株刈り法では $352 \pm 89\text{kg}/10\text{a}$ と圃場により収量に差異がみられた。最も多収であった尾形水田($549.3\text{kg}/10\text{a}$)は 2016 年まで農協指導による慣行栽培を続け、2017 年に無施肥栽培に切り替えた水田であり、それまでの施肥の残効の影響を考慮する必要がある。10 年以上にわたって長期無施肥栽培を継続している水田の中では野洲 VII ($382\text{kg}/10\text{a}$)、中村 ($377\text{kg}/10\text{a}$)、中道 I ($358\text{kg}/10\text{a}$)、黒瀬 ($346\text{kg}/10\text{a}$) の収量が比較的多かった。中村水田では生育後期にかなりの雑草が繁茂していたことが登熟歩合の若干の低下を招いた可能性があり、雑草管理が適切に行なえればさらに収量が増加する可能性がある。無施肥継続 8 年目の沢 ($439\text{kg}/10\text{a}$) は大

規模経営のため除草作業が遅れることがあるが、今年のように適切に除草されれば安定した収量が得られている。対して木戸口(307kg/10a)、牧野(192kg/10a)は除草効果が上がらず低収量となった。

滋賀県農業試験場で育成された秋の詩は、調査圃場の中では無肥研でしか栽培していない品種であるが、圃場により収量に大きな差(248±159kg/10a)がみられた。野洲ⅡとⅢは隣接する圃場であるが、過去の結果からⅡはⅢの10～25%収量が少なく、収量構成要素のどれもが小さい傾向があった。圃場が遠方にあっても畑圃場があり監視が行き届く野洲(375±95kg/10a)と、水田だけが位置するために日頃の管理が行き届かない亀岡(120±39kg/10a)では地域間に差異があり、亀岡で登熟歩合が極端に悪かったのは出穂直後の水管理が適切ではなかった可能性が考えられた。

表3 2017年水稻収量要素調査結果(株刈り法)

生産者	栽培場所	品種	株数 (株/㎡)	穂数 (穂/株)	1穂粒数 (粒/穂)	登熟歩合 (%)	1000粒重 (g/1000粒)	玄米重 (g/㎡)	稈長 (cm)	穂長 (cm)	全乾重 (g/株)
無肥研	滋賀県野洲市Y-I	新羽二重	17.2	17.9	51.2	93.1%	21.0	285.4	73.8	18.9	52.4
無肥研	滋賀県野洲市Y-II	秋の詩	17.2	15.2	67.7	87.1%	21.8	308.5	69.8	18.1	57.5
無肥研	滋賀県野洲市Y-III	秋の詩	17.6	18.0	74.6	91.8%	21.8	442.4	73.2	18.8	69.1
無肥研	滋賀県野洲市Y-VII	コシヒカリ	17.5	17.0	66.7	94.2%	21.0	381.8	70.4	17.2	51.2
無肥研	京都府亀岡K I	秋の詩	17.4	11.2	68.3	67.2%	21.9	147.5	67.7	17.9	38.2
無肥研	京都府亀岡K II	秋の詩	17.6	11.7	65.3	43.9%	20.8	93.0	69.6	18.0	38.7
上田修一	京都市山科 I	農林18号	17.7	9.0	65.1	96.4%	23.4	235.2	72.7	19.7	37.0
上田修一	京都市山科 II	ベニアサヒ	16.9	9.0	89.9	97.0%	23.6	306.8	84.3	21.7	45.4
黒瀬修	京都府綾部市	コシヒカリ	19.0	13.3	81.3	88.6%	21.8	345.9	73.1	18.4	43.8
木戸口利雄	滋賀県東近江市	コシヒカリ	16.5	12.9	74.5	93.4%	21.3	306.5	70.9	19.3	43.0
沢島弘	滋賀県東近江市	コシヒカリ	18.5	14.6	80.0	95.2%	22.1	438.9	74.8	19.6	54.3
中道唯幸	滋賀県野洲市 I	コシヒカリ	18.4	13.3	76.6	93.1%	21.8	357.7	76.8	17.9	49.0
中道唯幸	滋賀県野洲市 II	コシヒカリ	18.5	12.6	72.7	94.4%	21.8	325.4	79.5	18.1	45.3
福井グループ	福井県越前市	コシヒカリ	16.7	12.3	101.0	92.4%	21.5	381.0	76.0	20.0	53.6
中村孝太郎	福井県大野市	コシヒカリ	12.9	15.6	114.4	89.0%	21.4	376.9	80.0	21.1	66.8
牧野太平	福井県福井市	コシヒカリ	14.3	10.7	89.3	91.5%	19.8	191.5	66.4	19.3	38.2
尾形言成	福井県越前市	コシヒカリ	17.0	20.0	86.6	91.9%	21.7	549.3	88.8	18.8	77.9

玄米は1.8mmふるいにかけ、水分15%で補正した

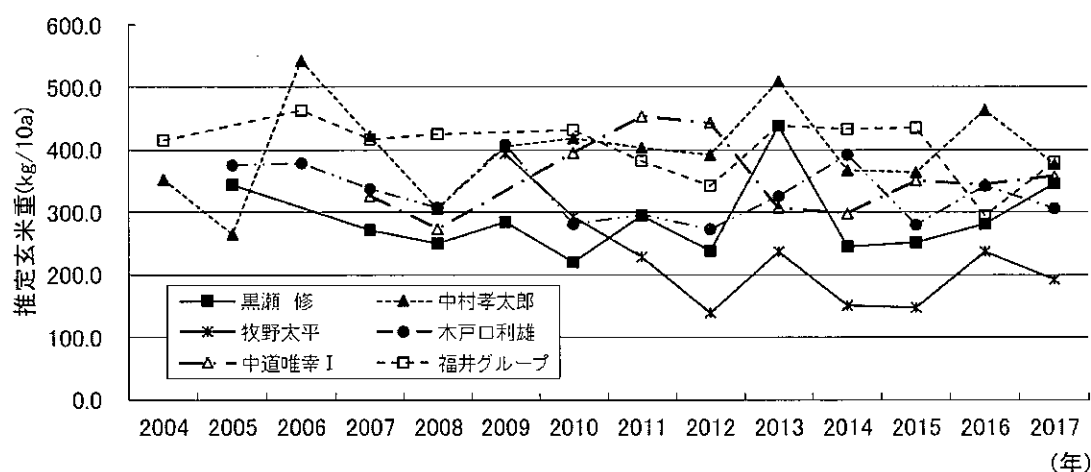


図3 玄米収量の推移(株刈り法)

全刈り法（表 4）では生産地、品種、無施肥栽培継続年数などが異なる 21 圃場の収量を参考資料としてまとめた。圃場によってかなり収量の差がみられた。

表4 2017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)	5年平均 (kg/10a)
1	無肥研	滋賀県野洲市Ⅰ	新羽二重	1989	216.3	257.2 ± 57.8
2	無肥研	滋賀県野洲市Ⅱ	秋の詩	1995	334.8	329.2 ± 31.2
3	無肥研	滋賀県野洲市Ⅲ	秋の詩	1995	387.4	359.8 ± 40.7
4	無肥研	滋賀県野洲市Ⅶ	コシヒカリ	2003	382.7	388.8 ± 61.5
5	無肥研	京都府亀岡市K1	秋の詩	1993	155.6	208.2 ± 33.2
6	無肥研	京都府亀岡市K2	秋の詩	2009	104.9	218.4 ± 73.0
7	無肥研	京都府宇治市	ベニアサヒ	2003	266.5	316.1 ± 53.2
8	上田修一	京都市山科区	農林16号	1965	235.9	243.8 ± 23.0
9	上田修一	京都市山科区	ベニアサヒ	1965	286.2	264.5 ± 21.9
10	黒瀬修	京都府綾部市	コシヒカリ	1998	236.5	231.3 ± 48.5
11	平田守	京都府南丹市園部	日本晴	2012・2013	332.1	375.3 ± 75.6
12	沢昌弘	滋賀県東近江市	コシヒカリ	2010	296.4	310.5 ± 79.2
13	木戸口利雄	滋賀県東近江市	コシヒカリ	2003・2006	271.5	317.1 ± 41.5
14	木戸口利雄	滋賀県東近江市	コシヒカリ	2010	368.2	371.4 ± 32.5
15	中道唯幸	滋賀県野洲市	コシヒカリ	2007	294.3	268.5 ± 36.9
16	中道唯幸	滋賀県野洲市	コシヒカリ	2010	306.1	313.2 ± 18.1
17	丸山茂子	福井県越前市	コシヒカリ	1997	412.2	423.4 ± 43.8
18	牧野太平	福井県福井市	コシヒカリ	2009	207.9	203.6 ± 37.0
19	牧野太平	福井県福井市	コシヒカリ	2010	209.7	200.6 ± 32.1
20	中村孝太郎	福井県大野市	コシヒカリ	2003～2011	311.1	326.8 ± 22.1
21	尾形言成	福井県越前市	コシヒカリ	2017	514.3	514.3

まとめ

無施肥無農薬栽培においては、気象、土壌、灌漑水などの栽培環境に適した品種を選択して、適切な栽培管理を行えば、安定した収量を確保できる事例が多く見られるものの、一方で年毎の収量差が大きい事例も散見される。無施肥無農薬栽培においては、植物体の生育に必要な養分は、人為的には供給されないもので、空気、水、微生物など天然資源に由来するものが利用されている。安定した収量を得られている圃場では、灌漑水が十分に供給され、雑草などによる土壌からの養分収奪が制御され、気象条件に即した栽培管理が行われることで、順調な生育と、適切な収穫を得ているものと思われる。一方で、収量が不安定な圃場（例えば変動係数が 20%以上の野洲Ⅰ、亀岡 K-1、黒瀬、平田、沢など）は、除草管理や水管理などの栽培管理上の問題が指摘されている圃場であったことから、一部で言われているように、多収の翌年は養分が枯渇して低収になるという懸念は当たらないものと思われた。いずれにしろ、栽培環境や栽培品種などの異なる資料をできるだけ網羅的に収集・整理して、無施肥栽培の特性を把握していくことが必要になると思われる。

北部ラオスのサイニャブリ県の農家圃場での トウモロコシ連作にともなう生産性の変化

藤竿和彦¹、Phanthasin Khanthavong²、Saythong Oudthachit²、松本成夫³、本間香貴⁴、
浅井英利³、白岩立彦¹

(¹京都大学大学院農学研究科、²ラオス国立農林研究所、³国際農林水産業研究センター、⁴東北大学大学院農学研究科)

【緒言】

ラオスの畑作地ではこの数十年間に陸稲の焼畑栽培が商品作物の連作におき変わり、北部ラオスでは特にトウモロコシの栽培面積が大きく増加した。ラオスで生産されたトウモロコシの多くは隣国に輸出されているため、畑作地の生産性の変化は自国だけでなく、他国にも影響を及ぼしうる。こうした状況に際し、ラオスでの安定的なトウモロコシ生産が望まれる一方で、施肥も土壌保全管理も行われずに連作されてきたために土壌肥沃度と収量の低下が危惧される。しかし、ラオスでは連作下の生産性を調べた研究例は少なく、実態は把握されていない。そこで、本研究はラオスでのトウモロコシ連作にともなう収量と土壌肥沃度の実態解明を目的とした。目的の達成のために地形特性が異なる多数の農家圃場で調査を行い、トウモロコシ連作にともなう収量と土壌特性の変動をクロノシーケンス法により定量的に評価した。

【調査方法】

2014年と2015年にサイニャブリ県ケンタオ郡で、トウモロコシの連作年数の異なる40筆の農家圃場で、1筆につき3地点で調査を行った(図1)。各調査地点で収量ならびに表層土壌の12の特性(全炭素(TC)、全窒素(TN)、有効態リン酸(Av-P)、4種の交換性陽イオン、pH、土壌粒径組成)を調査した。連作年数は聞き取りにより調査した。また、地形特性の収量に対する影響を調べるために、圃場の傾斜角と圃場内の調査地点間の相対的な位置関係を用いて、全ての調査地点を4つの地形型(傾斜圃場の上部、同中部、同下部、ならびに水平圃場の水平部)に分類した。共分散分析及び回帰分析により連作年数と収量ならびに土壌特性との関係を、地形特性を考慮して評価した。さらに、連作のもとでの収益性を調べるために栽培コストについて聞き取り調査を行った。

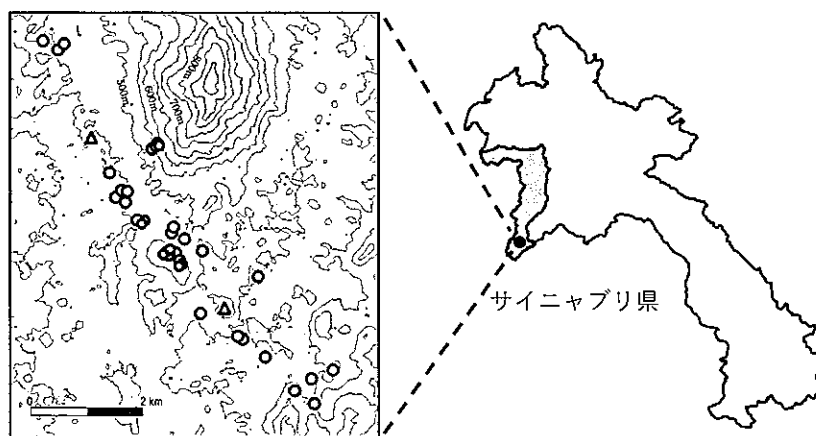


図1 調査圃場と村の地図

三角のマークは村の位置を、白抜き円のマークはトウモロコシ圃場、塗り潰し円のマークは非耕作地を表す。

【結果と考察】

共分散分析と回帰分析の結果から連作年数が長い農家圃場ほど圃場の平均収量が低かったことが示された(図2)。また、共分散分析の結果と地形型ごとの回帰分析の結果から、連作下の収量低下傾向は傾斜圃場の上部のみで有意であり、傾斜圃場の中部では10%以下で有意だったことが示された。回帰分析の結果から30年間の連作にともなって減収量は圃場平均で1.9 t ha⁻¹だったと考えられた。栽培コストの調査結果を考慮すると、連作開始から43年目に経済的に継続不能になると推測された。以上の結果から、調査地ではトウモロコシ連作下で収量と土壌特性が低下傾向にあり、栽培管理の改善が安定生産に必要なことと示唆された。また、土壌ではTC、TN、Av-P、交換性カリウム(Ex-K)が連作に伴って減少していたことが示された(図3)。これらの土壌特性も収量と同様に傾斜圃場の上部で低下傾向が顕著だった。これらの土壌特性が収量低下に関わっていると考えられた。持続的な栽培のためには土壌肥沃度管理の改善が求められた。

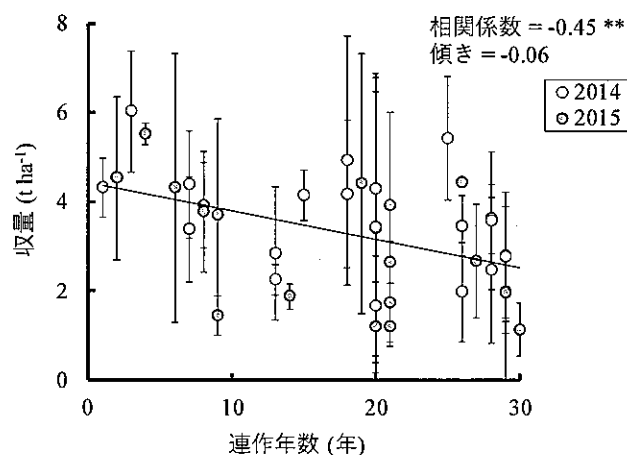


図2 連作年数と収量の関係

と*はそれぞれp値が0.01と0.001で有意であることを示す。

調査地では無施肥で30年間も連作が継続されていたが、このような事例は珍しい。回帰直線から計算した調査地の収量低下速度は熱帯気候下で行われた連作試験の結果よりも遅かった。調査地では収量が維持されやすかった可能性がある。回帰直線からもとめた調査地の土壌の全炭素含量の低下速度も熱帯気候下で行われた研究結果よりも遅かったため、収量低下速度が遅かった理由には土壌炭素の含量の低下速度の遅さに関係していたと考えられる。一般的に熱帯気候では年平均気温が高く、雨季の降雨強度が強いために土壌炭素含量が低下しやすい。調査地ではこうした環境にもかかわらず、土壌炭素含量が維持されやすい環境要因があったものと思われる。調査地では粘土含量が高いほど全炭素含量が高い傾向にあった(図4)。そのため、粘土含量が高かった圃場では全炭素含量が高く維持されやすかったと思われる。その他に、粘土鉱物や気象要因が全炭素含量の減少には関係していたと考えられ、こうした要因について詳しく調べることで土壌有機物の維持に関わる重要な知見が得られる可能性がある。

【まとめ】

本調査からトウモロコシ連作が続けられた農家圃場では収量と土壌の TC、TN、Av-P、Ex-K の含量が低下していたことが明らかとなった。このため、持続的なトウモロコシ栽培のためには土壌肥沃度管理が必要であると示唆された。一方で、調査地では土壌の全炭素の減少が比較的緩慢だったため収量低下が比較的遅かったものと考えられた。全炭素の減少に関わる環境要因を調査地で詳細に調べることで土壌有機物の維持に関わる重要な知見が得られると期待された。

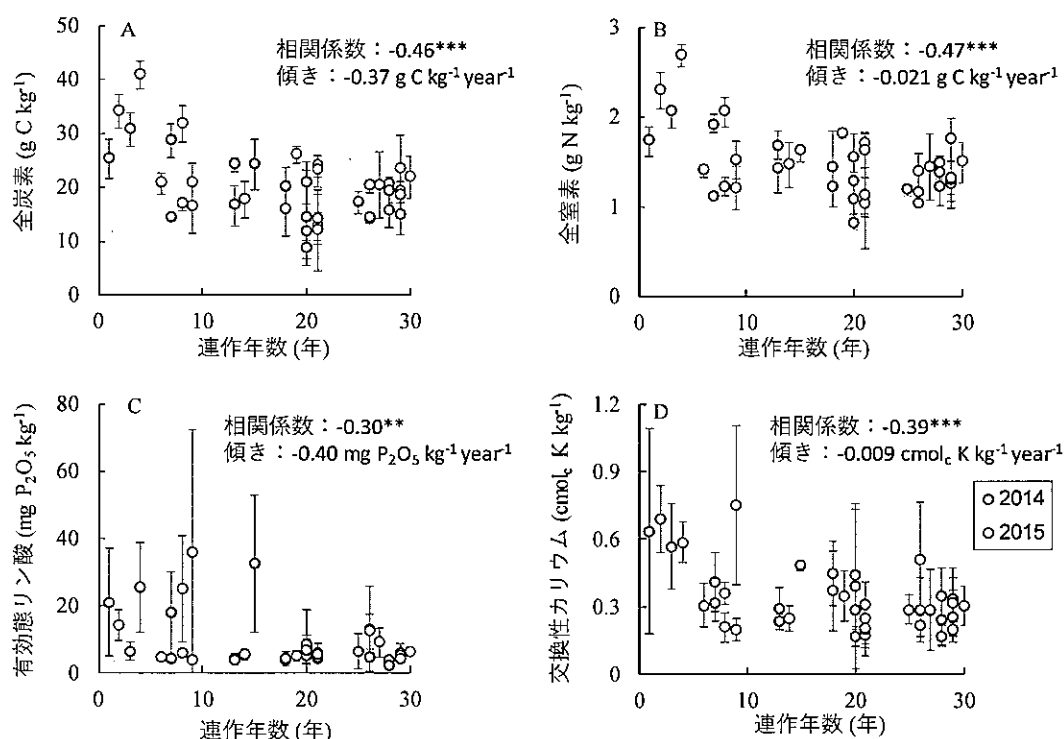


図3 連作年数と土壌特性の関係 (A: 全炭素含量、B: 全窒素含量、C: 有効態リン酸含量、D: 交換性カリウム含量)

と*はそれぞれp値が0.01と0.001で有意であることを示す。

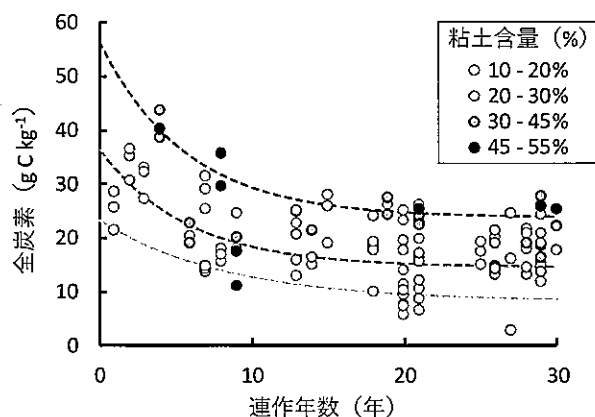


図4 粘土含量別の連作年数と全炭素含量の関係
点線は連作年数と全炭素含量との回帰曲線を示す。色の濃いものから順に粘土含量が60%、30%、10%の時の回帰曲線を示す。

生育後期の生長を促す方法が無施肥栽培水稻の生育に及ぼす影響

(2017 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○}・栗田光雄^{1,2}・白岩立彦^{1,2}(¹NPO 無肥研・²京大院農)

1. 試験経緯・概要

無施肥無農薬栽培(以下、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を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。水稻において無施肥栽培を長期間継続すると生育の後期まで作物の根が健全に機能して養分を吸収することが認められている。一方で生育の前期に養分を利用して茎数を増加させた場合に生育後期に利用する養分が不足する為か不稔が増えて増収に繋がらない事が認められた。そこで生育前期ではなく生育後期の生長を促すことが収量の増減に及ぼす影響を調べるために茎数増加を抑制するといわれている深水栽培を試みている。

2016 年には小倉試験圃場(0 水田,R 水田)にて、1 区 5 m²(2.5m×2.0m)の畦畔板で囲った試験区を設け、浅水区(水深 7cm)と深水区(水深 15cm)の比較調査をベニアサヒ、秋の詩、コシヒカリを用いて行った。供試した全ての品種において深水区の方が浅水区より「移植から有効茎数決定期」の期間が長くなり、有効茎歩合が有意に高くなったことから、深水によって生育前期の生長を抑制できたものと考えられた。この時に、ベニアサヒと秋の詩の収量は深水区の方が浅水区より多かったが、コシヒカリの収量は深水区の方が浅水区より少なかった。コシヒカリは「最高分蘖期から出穂期」の期間が 19 日程度(0 水田の深水区は 9 日)と顕著に短かったことが影響していると思われたが、これはコシヒカリの移植時期が遅かったことによるものであった。

2017 年は野洲試験圃場にて、圃場レベルで初期生育を抑制する深水処理の効果を調べ、茎数や草丈などの生育への影響ならびに、収量および収量構成要素に及ぼす影響を検討した。

2. 試験方法

水田を畦畔板で3等分し、常時標準湛水区(以下、浅浅区)、前期深水湛水後期標準湛水区(深浅区)、常時深水湛水区(深深区)を設け、其々の区内に6条9株の調査区を3反復設置した(図1, 表1)。

育苗は本田で通常用いているポット育苗箱を用い、折衷苗代でおこなった。本田への移植は1株1本を手植えした。

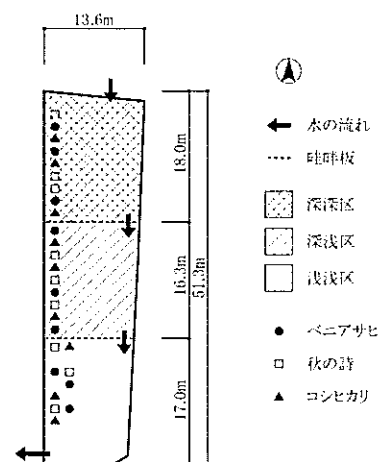


図 1. 試験区の位置

供試品種 ベニアサヒ(晩生)、秋の詩(中生)、コシヒカリ(早生)

播種 4月9日

移植 5月14日

収穫 コシヒカリ(9月2日) 秋の詩(9月24日) ベニアサヒ(10月9日)

試験区間の比較には分散分析を、処理区間差の検定にはチューキーの多重比較(R 3.3.2)を用いた。

表 1. 試験区の水位

	5/14~5/22	5/22~7/15	7/15~9/2	9/2~
浅浅区	7cm	7cm	7cm	0cm
深浅区	7cm	15cm	7cm	0cm
深深区	7cm	15cm	15cm	0cm

3. 調査項目

3-1. 生育調査項目

各区5株を定めて移植から出穂2週間後まで1週間毎に茎数を、また移植から収穫まで1週間毎に草丈およびSPAD値(ミノルタ SPAD-502を使用)を測定した(出穂~出穂1週間後を除く)。

3-2. 収量・形質調査項目

生育調査した株は、収穫後に穂数、稈長、穂長、節間長、全乾物重、穂重および籾重を測定した。各区の平均的な穂数の3株について籾数、不稈籾数および精籾重を測定した。また、区ごと(5株の集計)に粗玄米重、玄米重(粒径1.8mm以上の玄米)、20g粒数および水分率を計測した。

4. 生育調査

4-1. 総評

生育をステージに分けて、それぞれの期間長を比較すると「移植から有効茎数決定期」の期間が深深区、深浅区、浅浅区の順で有意に長く、「有効茎数決定期から最高分蘗期」の期間が深深区、深浅区、浅浅区の順で有意に短かったが、「最高分蘗期から出穂期」の期間には有意な差は無かった(図2, 表2)。また、無効茎数が深深区、深浅区、浅浅区の順で有意に少なかった。

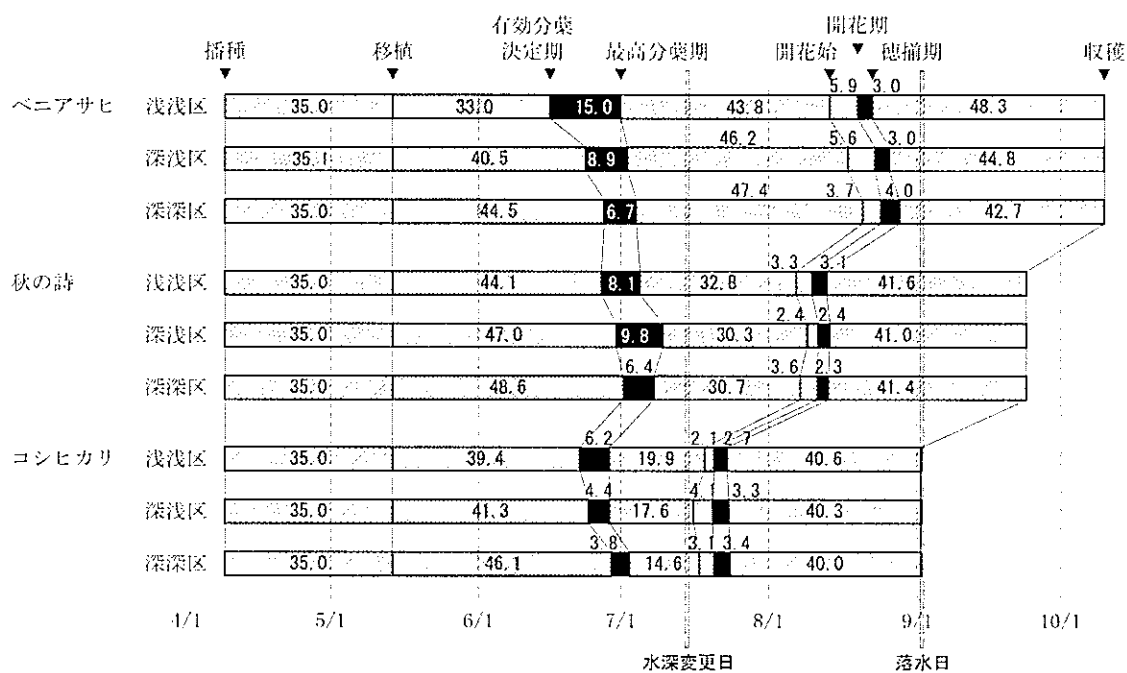


図2. 播種から収穫までの期間の比較

表2. 試験区の生育期間と有効茎歩合

品種	水処理	移植から 有効茎数決定期 (日)	有効茎数決定期 から最高分蘗期 (日)	最高分蘗期 から開花始 (日)	有効茎歩合	無効茎数(本/㎡)	水深変更日からの 無効茎数(本/㎡)
ベニアサヒ	浅浅区	33.0 ± 0.9 d	15.0 ± 1.3 a	43.8 ± 1.1 a	63.2% ± 3.1% d	8.7 ± 1.1 a	74.1 ± 10.5 a
	深浅区	40.5 ± 1.2 bc	8.9 ± 1.2 ab	46.2 ± 1.8 a	76.5% ± 2.4% c	3.7 ± 0.4 ab	47.1 ± 6.6 ab
	深深区	44.5 ± 1.4 abc	6.7 ± 1.3 ab	47.4 ± 1.3 a	87.4% ± 2.0% ab	2.1 ± 0.4 bc	20.2 ± 5.5 bc
秋の詩	浅浅区	44.1 ± 0.8 abc	8.1 ± 1.5 ab	32.8 ± 1.3 b	84.7% ± 1.9% bc	2.9 ± 0.5 bc	32.5 ± 7.8 bc
	深浅区	47.0 ± 1.3 ab	9.8 ± 3.0 ab	30.3 ± 2.5 bc	88.2% ± 1.7% ab	2.1 ± 0.4 bc	24.7 ± 5.7 bc
	深深区	48.6 ± 1.2 a	6.4 ± 1.1 ab	30.7 ± 1.5 b	89.7% ± 1.6% ab	1.8 ± 0.3 bc	13.5 ± 5.0 bc
コシヒカリ	浅浅区	39.4 ± 0.7 cd	6.2 ± 0.9 b	19.9 ± 1.0 cd	85.9% ± 2.1% ac	2.7 ± 0.4 c	7.9 ± 7.5 c
	深浅区	41.3 ± 0.6 bc	4.4 ± 0.9 b	17.6 ± 1.4 d	89.9% ± 2.0% ab	1.7 ± 0.3 c	4.5 ± 4.2 c
	深深区	46.1 ± 1.3 ab	3.8 ± 1.5 b	14.6 ± 1.9 d	94.2% ± 1.8% a	0.8 ± 0.3 c	4.5 ± 4.5 c
品種		***	**	***	***	***	***
水処理		***	*		***	**	**
交互作用							

平均値 ± 標準誤差

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

*** p<.001 ** p<.01 * p<.05

4-2. 茎数の推移

どの品種も 7 月 15 日の深浅区の水深を変更した日(以下、水深変更日)まで

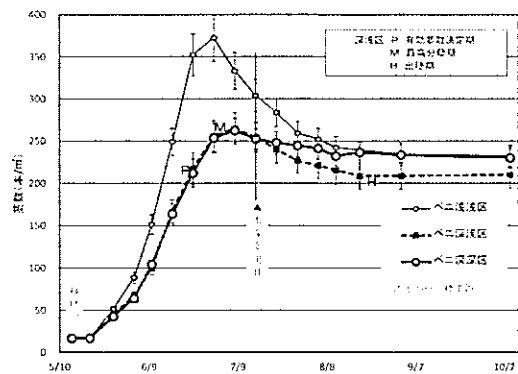


図 3. ベニアサヒ 茎数の推移

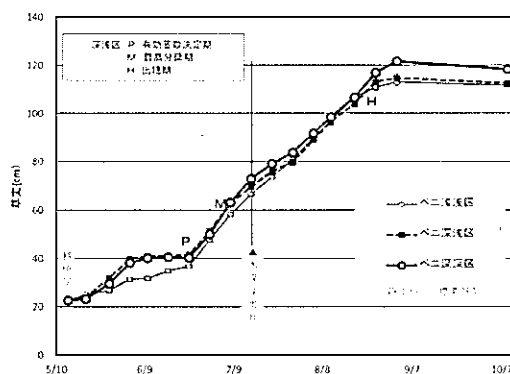


図 6. ベニアサヒ 草丈の推移

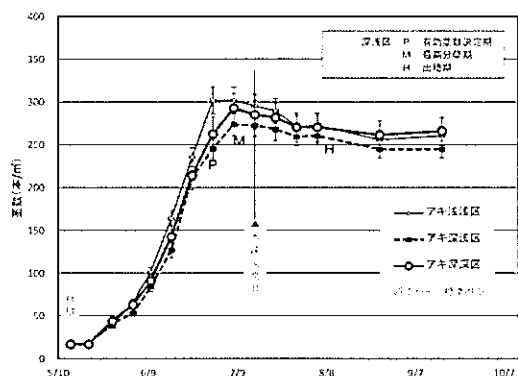


図 4. 秋の詩 茎数の推移

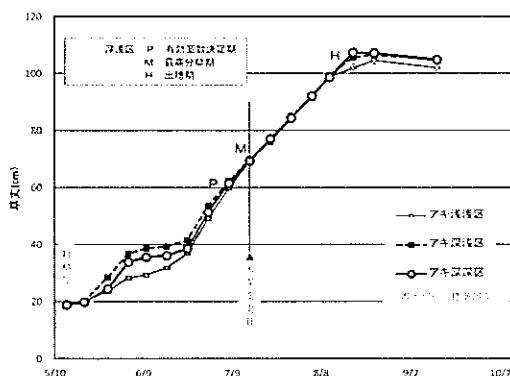


図 7. 秋の詩 草丈の推移

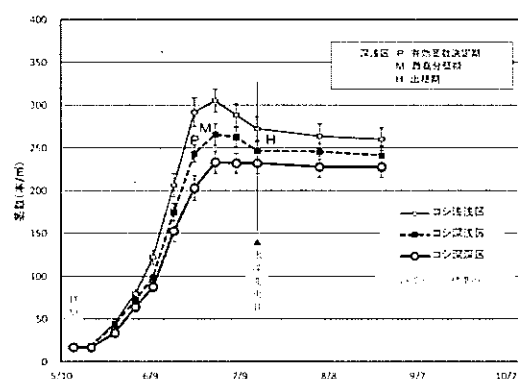


図 5. コシヒカリ 茎数の推移

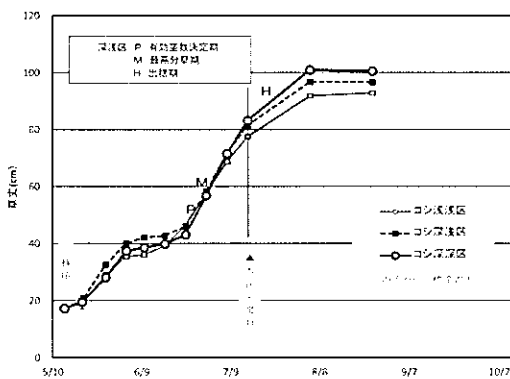


図 8. コシヒカリ 草丈の推移

は、水深 7cm の浅浅区よりも水深 15cm の深浅区・深深区の茎数の方が常に少なく推移した(図 3, 4, 5)。また、水深変更日から収穫まではコシヒカリは継続して深浅区・深深区の方が浅浅区よりも少なかったが、ベニアサヒ・秋の詩

では浅浅区の無効分蘖が多くなり、収穫時の茎数は深深区と浅浅区とが同程度となり、深浅区はそれらより少なかった。また、水深変更日以降の茎数の減少数が深深区、深浅区、浅浅区の順で有意に少なかったことから、深深区の方が深浅区よりも無効分蘖を抑制したものと考えられた(表 2)。これらの傾向はベニアサヒで最も顕著に表れた。

4-3. 草丈の推移

どの品種も移植 1 週間後の 5 月 20 日から 6 月 24 日までは浅浅区よりも深浅区・深深区の方が草丈が長かった(図 6, 7, 8)。

その後、ベニアサヒは、6 月 24 日から出穂前の 8 月 19 日までは 3 区が同様の生長をしたが、8 月 19 日以降も伸長した深深区の方が浅浅区・深浅区よりも草丈が長くなった。

秋の詩は、6 月 24 日から出穂頃の 8 月 11 日までは 3 区とも同様の生長をしたが、8 月 11 日以降に浅浅区の伸長が緩慢になった。

コシヒカリは、6 月 24 日から 7 月 1 日までは 3 区とも同様に生長したが、7 月 1 日以降に浅浅区が、また水深変更日の 7 月 15 日以降に深浅区が、それぞれ伸長を緩慢にして、収穫時には深深区、深浅区、浅浅区の順で長くなった。

これらのことから深水処理により無効分蘖を抑制しても、草丈の生長は促進される傾向があると考えられた。

5. 収量・形質調査

5-1. 総評

品種	水処理	稈長 (cm)	第 1 節間 (cm)	第 2 節間 (cm)	第 3 節間 (cm)	第 4 節間 (cm)
表-37 収量 浅浅区 収量構成要素 ^b	深深区	18.8 ±0.3 ab	12.3 ±0.7 ab	8.8 ±0.5 ab	4.8 ±0.9 ab	
	深浅区	93.7 ±1.7 ab	19.8 ±0.0 a	12.3 ±0.1 ab	8.8 ±0.2 ab	5.8 ±0.3 a
	深深区	96.6 ±1.9 a	19.6 ±0.4 a	13.3 ±0.3 ab	10.3 ±0.2 a	7.1 ±0.2 a
秋の詩	浅浅区	75.5 ±0.1 c	19.0 ±0.4 a	12.0 ±0.2 b	7.5 ±0.7 ab	2.3 ±0.4 c
	深浅区	78.3 ±1.5 c	19.6 ±0.4 a	12.6 ±0.6 ab	7.8 ±0.6 ab	2.6 ±0.2 bc
	深深区	78.2 ±1.3 c	19.5 ±0.1 a	12.6 ±0.3 ab	7.8 ±0.2 ab	2.5 ±0.4 bc
コシヒカリ	浅浅区	73.8 ±0.5 c	17.5 ±0.2 c	14.3 ±0.3 a	6.7 ±0.7 ab	0.8 ±0.2 c
	深浅区	74.9 ±1.5 c	17.7 ±0.1 bc	13.9 ±0.6 ab	5.9 ±0.9 b	1.3 ±0.4 c
	深深区	75.3 ±1.3 c	18.6 ±0.0 abc	13.7 ±0.2 ab	5.0 ±1.7 b	0.5 ±0.1 c
品種		***	***	***	***	***
水処理		***	**			
交互作用						

平均値±標準誤差

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

*** p<.001 ** p<.01 * p<.05

収量は品種間に有意な差は見られたが、水処理区間に有意な差は見られなかった(表 3)。水処理区間では、稈長が深深区、深浅区、浅浅区の順で有意に長かった(表 4)。稈長を構成する節間長では第一節間長が深深区、深浅区、浅浅区の順で有意に長かった。また「秋優り型のイネについて、初期生育量は小さいが、生育中期以降に生産体制を拡大させる稲は上位節間が長い」(橋川 2004)とされていることと合わせて考えると、浅浅区よりも深浅区・深深区の方が生育後期の生長を促せたものと考えられた。

表 4. 稈長および節間長

品種	水処理	穂数 (本/m ²)	一穂粒数 (粒/穂)	登熟歩合 (%)	1000粒重 (g)	収量 (g/m ²)
ベニアサヒ	浅浅区	230.1 ±16.8 ab	101.7 ±03.6 ab	92.6% ±0.1% abc	22.7 ±00.4 c	448.3 ±32.0 a
	深浅区	208.8 ±03.9 b	115.6 ±02.6 a	89.8% ±1.7% cd	23.5 ±00.1 b	446.1 ±21.8 a
	深深区	232.3 ±19.1 ab	105.1 ±03.7 ab	87.0% ±3.3% d	24.0 ±00.1 a	431.4 ±38.5 a
秋の詩	浅浅区	262.6 ±08.9 ab	95.1 ±07.1 abcd	89.6% ±1.1% bcd	21.8 ±00.1 de	423.9 ±21.5 a
	深浅区	248.0 ±12.9 ab	101.2 ±07.5 abc	91.8% ±1.1% abcd	22.0 ±00.2 d	457.7 ±24.1 a
	深深区	271.6 ±11.4 a	80.4 ±04.7 d	90.0% ±0.9% bcd	21.9 ±00.1 d	427.8 ±14.9 a
コシヒカリ	浅浅区	264.9 ±12.9 ab	84.4 ±03.0 cd	95.8% ±0.2% a	21.1 ±00.0 f	396.9 ±13.8 a
	深浅区	242.4 ±13.6 ab	83.9 ±00.6 bcd	93.6% ±0.3% abc	20.9 ±00.1 f	379.4 ±20.7 a
	深深区	227.8 ±03.0 ab	90.1 ±04.4 abcd	95.0% ±0.2% ab	21.4 ±00.1 ef	393.4 ±08.3 a
品種		**	***	***	***	*
水処理					***	
交互作用			*		***	

平均値±標準誤差

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

*** p<.001 ** p<.01 * p<.05

生育後期の動態については、品種間と水処理区間とのどちらにも収量構成要素に有意な差があるものもあるが、交互作用も見られた(表 3)ので、品種ごとに考察する。

表 5. 全乾物重と収穫係数

5-2. ベニアサヒ

穂数と一穂粒数は浅浅区と深深区がほぼ同じで、深浅区はそれらより穂数が少なく、一穂粒数は多かった。1000粒重は深深区が深浅区・浅浅区より有意に重く、登熟歩合は深深区が浅浅区より有意に低かった。これ

品種	水処理	全乾物重 (g/株)	収穫係数 (%)	収量 (g/m ²)
ベニアサヒ	浅浅区	86.0 ±04.9 a	42.9% ±0.3% a	448.3 ±32.0 a
	深浅区	83.9 ±03.4 a	43.5% ±0.2% a	446.1 ±21.8 a
	深深区	94.3 ±08.2 a	38.4% ±0.6% b	431.4 ±38.5 a
秋の詩	浅浅区	74.3 ±01.6 ab	47.6% ±1.0% a	423.9 ±21.5 a
	深浅区	77.2 ±02.9 ab	47.7% ±0.9% a	457.7 ±24.1 a
	深深区	76.2 ±01.8 ab	44.5% ±0.5% a	427.8 ±14.9 a
コシヒカリ	浅浅区	57.1 ±01.5 b	55.7% ±1.0% a	396.9 ±13.8 a
	深浅区	58.6 ±02.8 b	53.0% ±1.5% a	379.4 ±20.7 a
	深深区	58.0 ±00.8 b	54.7% ±0.9% a	393.4 ±08.3 a
品種		***	***	*
水処理			***	
交互作用			**	

平均値±標準誤差

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

*** p<.001 ** p<.01 * p<.05

らより深深区は籾数を確保する期間の生育は順調であったが、確保された籾の中に子実を充実させる登熟期の生育があまり順調でなかったと考えられた。佐々木(1988)が示した「出穂後落水日と登熟歩合の関係(30日:15日:5日=1.0:0.93:0.70)」から類推すると、供試圃場では秋の詩を栽培する本田の栽培管理の都合で9月2日に落水したことが、穂揃期から落水までの期間が浅浅区の11日に対して、深深区で5日、深浅区で7日と極端に短くなったことが登熟歩合の差異と関係しているかもしれない。そのことは、深深区で、全乾物重は重いが収穫係数は有意に低かった(表5)ことでも示されており、収量減少の要因の一つと考えられた。

5-3. 秋の詩

登熟歩合、1000粒重は3区ともほぼ同じだった。穂数は深深区、浅浅区、深浅区の順で多く、一穂籾数は深深区、浅浅区、深浅区の順で少なく、穂数と逆になった。深浅区の収量が一番多くなったが、これは穂数が最も少なく、一穂籾数、登熟歩合、1000粒重が最も多かったことから、生育途中で水深を深水から標準に戻す方が、生育後期の生長を促して収量を増加させる可能性が示唆された。

また、穂揃から落水までの期間が20日程度であり、生育後期に水が充分供給されたとは言い難く、少なからず収量および収量構成要素に影響した可能性があると考えられた。

5-4. コシヒカリ

穂数は浅浅区、深浅区、深深区の順で多く、一穂籾数は深深区、浅浅区、深浅区の順で多かった。その他の収量構成要素および収量には水処理区間に顕著な差は無かった。

6. まとめ

6-1. 落水による水不足

ベニアサヒは、深水処理にて予想通りの生育過程を示したが、多くの養分を利用できると考えていた生育後期に水の供給が充分に行われなかったため、

出穂後の水の供給期間が短かった深深区や深浅区で収量が確保できなかった。

秋の詩では水処理区間に出穂期の差は殆どなく、生育後期の水の供給不足は3区とも同様だが、生育後期の養分利用が期待された深浅区・深深区の方が浅浅区より水の供給不足の影響を多く受けた可能性があると考えられた。

6-2. 水深変更日

深浅区は深深区より、穂数は少ないが一穂粒数が多くなる傾向にあり、生育途中で深水(15cm)から標準水位(7cm)にする方が、生育後期の生長を促せる可能性があると考えられた。

水深変更日をどの品種も7月15日に統一したことで「最高分蘗期から水深変更日」の期間はベニアサヒ、コシヒカリ、秋の詩の順で有意に長くなり、

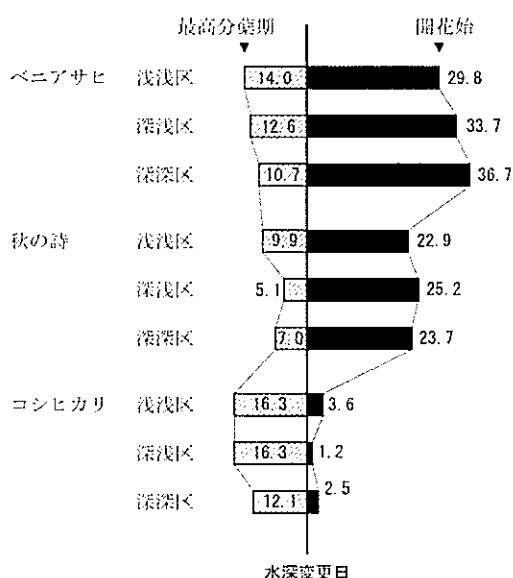


図 9. 水深変更日の位置

表 6. 水深変更日の位置

品種	水処理	最高分蘗期から 水深変更日 (日)	水深変更日から 開花始日 (日)
ベニアサヒ	浅浅区	14.0 ± 1.0 a	29.8 ± 0.7 a
	深浅区	12.6 ± 1.6 ab	33.6 ± 2.6 a
	深深区	10.7 ± 0.9 abc	36.7 ± 1.8 a
秋の詩	浅浅区	9.8 ± 1.3 abc	23.0 ± 0.0 b
	深浅区	5.1 ± 2.5 c	25.1 ± 0.1 b
	深深区	7.0 ± 1.5 bc	23.7 ± 0.3 b
コシヒカリ	浅浅区	16.3 ± 0.9 a	3.5 ± 0.9
	深浅区	16.3 ± 1.3 a	1.3 ± 0.3 c
	深深区	12.1 ± 1.7 ab	2.5 ± 0.7 c
品種		***	***
水処理		*	*
交互作用			

平均値 ± 標準誤差

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

*** p<.001 ** p<.01 * p<.05

「水深変更日から開花始」の期間はベニアサヒ、秋の詩、コシヒカリの順で有意に長くなった(図 9, 表 6)。僅かではあるが、秋の詩は深浅区が他の2区より収量が良かったことから、水深変更の時期は最高分蘗期からの期間が短い方が増収効果の可能性があると考えられた。

6-3. コシヒカリの方策

コシヒカリの収量を確保する方策について①「最高分蘗期から開花始まで

の期間を長くする方法」と②「穂数を増やす方法」を以下に示した。

① 収量の多かった深深区は「移植から有効分蘗決定期」の期間が長く、無効分蘗が少なかったが、「最高分蘗期から開花始」の期間が短くなり、十分な後期の生長の期間が確保できなかった。2013年に「小倉無施肥試験水田にてコシヒカリの移植時期を14日間早めた場合、早植区の出穂期は7.5日間早くなった」(家田 2014)ことから、移植時期を早めることで「最高分蘗期から出穂期」の期間を確保でき、後期の生育を充実させる可能性があると思われる。

② ベニアサヒ、秋の詩は水処理区間で穂数に大きな差はなかったが、コシヒカリでは浅水区の穂数が他の区よりも多くなった。どの品種も生育後期の生長は深水处理により促進されているので、コシヒカリについて深水处理により生育が抑制された生育初期の期間を逆に通常の水深とし、途中から深水处理を行えば、分蘗を促進し、同時に生育後期の充実が図られる可能性があると考えられた。これは「有効茎の7～8割を確保した時期から分蘗発生終期頃まで深水处理すれば分蘗茎の確保と無効分蘗抑制ができる」(古谷 1988)とされていることと通じるものであり、浅水→深水→浅水の順に水処理すれば増収効果の可能性があると考えられた。

6-4. 今後の課題

初期生育を抑制することが生育後期の養分の吸収と利用を促す効果は認められたが、それと収量の増加との関係は本試験では認められなかった。

「無施肥栽培は生育末期まで生長が持続する」(竹内 1979)ことから、生育末期まで十分な水の供給があれば、違った結果が出たことも考えられる。また、深水处理の時期の適性が品種によって異なるのか、気候や圃場間の違いなども含めて調査することがこれからの課題である。

引用文献

- 橋川潮(2004)草型と登熟力. 稲作大百科(第2版)Ⅲ. 農山漁村文化協会:388.
佐々木康之(1988)稲の栽培条件と品質. 農水省農研センター編・稲と米:49-66.
家田善太・栗田光雄・白岩立彦(2014)移植時期の違いが無施肥無農薬栽培水稻の収量および生育に及ぼす影響. NPO 無肥研 2013 年度研究報告会:20.
古谷勝司(2004)中期深水管理と生育・収量. 稲作大百科(第2版)Ⅳ. 農山漁村文化会:304.
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 12:140.

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3報)

丸田信宏^{1,0}・栗田光雄^{1,2}・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。一つは栽培される場所の自然環境に対する適応性であり、それは気象条件や土壌条件など、諸々の自然科学的制限要因を持ち、最終的に玄米収量で数量化できる作物生産性である。もう一つは、社会・経済的適応性で、食味や品質などの違いによる消費ニーズに帰結するものである(2004 古賀)。

無施肥無農薬栽培調査研究会(以下無肥研)では京都府と滋賀県に数筆ある試験圃場で無施肥栽培試験を継続して実施しており、水稻は京都府宇治市小倉、亀岡市および滋賀県野洲市の3か所にある水田で栽培している。それらの圃場で無施肥栽培に適した品種は何なのか、また消費するのに好まれるのはどのような品種であるのかを探るために調査を行っている。

作物生産性に関する調査では、奥村ら(1979)は、滋賀県栗東において6品種を比較し、無施肥田では穂重型と晩生の品種が高い収量性を示したことを報告し、特に無施肥栽培にて長期継代してきたベニアサヒの無施肥水田への適応性の高さを認めている。2015年の実験では、無肥研圃場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)を比較栽培したところ、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、品種の早晩性では、晩生、中生、早生の順に収量が高いことが認められた(2016年度報告会資料参照)。

2017年は品種間や地域間の差異だけでなく、同地域の圃場間の異同の有無を調べるために、3地域それぞれで無施肥栽培継続年数の異なる2筆ずつを対象として、合計6筆の水田で、おのおの5品種の比較栽培をおこなった。本報では2017年の調査結果と共に、2015年・2016年の調査結果を含めて考察する。また、品種選択のもう一つの側面、経済的適応性の要因である食味や外観の違いを食味官能試験により比較するための予備試験を行った結果も併せて報告する。

【材料および方法】

表 2 供試水田の概要

表 1 供試品種の特性				水田名	場所	環境	土壌分類	水源	無施肥栽培開始
品種名	稈長	草型	早晩性						
コシヒカリ	中	中間	早	K1	京都府亀岡市	盆地	灰色低地土	貯水池および井戸	1993
秋の詩	中	中間	中	K2	京都府亀岡市	盆地	灰色低地土	貯水池および井戸	2009
ヒノヒカリ	中	中間	中	Y3	滋賀県野洲市	沖積平野	灰色低地土	家棟川	1995
ベニアサヒ	長	穂重	晩	Y7	滋賀県野洲市	沖積平野	灰色低地土	家棟川	2003
農林16号	長	穂重	晩	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 試験区分および栽培概要

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
K1水田 (京都府亀岡市)	コシヒカリ	K1コシ	4/15	5/20	6/29	7/16	9/10
	秋の詩	K1アキ	4/15	5/20	7/1	8/12	9/25
	ヒノヒカリ	K1ヒノ	4/15	5/20	7/2	8/12	10/2
	ベニアサヒ	K1ベニ	4/15	5/20	6/29	8/22	10/15
	農林16号	K1ノウ	4/15	5/20	6/30	8/22	10/15
K2水田 (京都府亀岡市)	コシヒカリ	K2コシ	4/15	5/20	6/29	7/16	9/10
	秋の詩	K2アキ	4/15	5/20	7/1	8/8	9/25
	ヒノヒカリ	K2ヒノ	4/15	5/20	7/4	8/12	10/2
	ベニアサヒ	K2ベニ	4/15	5/20	6/28	8/18	10/15
	農林16号	K2ノウ	4/15	5/20	6/29	8/17	10/15
Y3水田 (滋賀県野洲市)	コシヒカリ	Y3コシ	4/9	5/13	6/28	7/20	9/2
	秋の詩	Y3アキ	4/9	5/13	7/5	8/10	9/24
	ヒノヒカリ	Y3ヒノ	4/9	5/13	7/4	8/10	9/24
	ベニアサヒ	Y3ベニ	4/9	5/13	7/1	8/19	10/9
	農林16号	Y3ノウ	4/9	5/13	6/29	8/18	10/9
Y7水田 (滋賀県野洲市)	コシヒカリ	Y7コシ	4/9	5/13	7/7	7/18	9/2
	秋の詩	Y7アキ	4/9	5/13	7/10	8/6	9/24
	ヒノヒカリ	Y7ヒノ	4/9	5/13	7/7	8/10	9/24
	ベニアサヒ	Y7ベニ	4/9	5/13	7/2	8/16	10/12
	農林16号	Y7ノウ	4/9	5/13	7/6	8/20	10/12
O水田 (京都府宇治市小倉)	コシヒカリ	Oコシ	4/22	5/28	7/8	7/26	9/3
	秋の詩	Oアキ	4/22	5/28	7/10	8/18	9/30
	ヒノヒカリ	Oヒノ	4/22	5/28	7/15	8/23	10/8
	ベニアサヒ	Oベニ	4/22	5/28	7/13	8/24	10/14
	農林16号	Oノウ	4/22	5/28	7/16	8/27	10/14
R水田 (京都府宇治市小倉)	コシヒカリ	Rコシ	4/22	5/28	7/8	7/29	9/3
	秋の詩	Rアキ	4/22	5/28	7/12	8/19	9/30
	ヒノヒカリ	Rヒノ	4/22	5/28	7/12	8/24	10/8
	ベニアサヒ	Rベニ	4/22	5/28	7/12	8/29	10/14
	農林16号	Rノウ	4/22	5/28	7/12	8/26	10/14

実験には早生の「コシヒカリ」、中生の「秋の詩」「ヒノヒカリ」、晩生の「ベニアサヒ」「農林16号」の5品種を用いた。それぞれの品種の概略を表1に示した。(育苗,栽培管理は2015年度報告会資料参照)

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(O, R)の6筆で、いずれの水田も、付近を水田に囲ま

れた水田地帯にある。それぞれの水田の概要は表 2 に示した。K1, K2, O, R は 2015 年から 2017 年まで連続で水稻栽培を行った。Y3, Y7 は転作の為、水稻栽培が行えない年があった（Y3 は 2016 年に大豆, Y7 は 2015 年にキャベツなどの蔬菜をいずれも無施肥無農薬栽培で行った）。試験区分および栽培概要は表 3 に示した。

最高分蘗期は K1, K2, Y3 水田で 6 月末～7 月初め, Y7, O, R で 7 月初め～中旬となった。出穂期は早生のコシヒカリが 7 月中旬～下旬, 中生の秋の詩やヒノヒカリが 8 月 10 日頃～20 日頃, 晩生のベニアサヒ, 農林 16 号が 8 月下旬となった。収穫期はコシヒカリが 9 月初旬, 秋の詩が 9 月下旬, ヒノヒカリが 10 月初旬, ベニアサヒ, 農林 16 号が 10 月中旬頃となった。

・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（Y3 は他の試験も兼ねているため連続 5 株を 3 反復）, 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。また, 灌漑水の EC 値（ミノルタ SAPD-502 を使用）を計測した。

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。

【試験結果および考察】

生育期間の比較

1) 品種間比較

穂数, 最高分蘗数の多い品種は, 水田により異なった（表 4）。6 水田を平均すると, 穂数はコシヒカリ, 秋の詩, ヒノヒカリが多い傾向が見られた。最高分蘗数はヒノヒカリ, ベニアサヒ, 農林 16 号が多い傾向が見られた。有効茎歩合は Y3 のヒノヒカリが低かったことから交互作用が認められたが, 概ね晩生のベニアサヒ, 農林 16 号の有効茎歩合が低かった。（無効分蘗が多かった）

SPAD 値は, 7 月初めの最高分蘗期頃までは, 全ての水田で秋の詩が高い値を示した（図省略）。

表 4 各圃場の穂数,最高分蘗数,有効茎歩合

	K1			K2			Y3			Y7			O			R			平均		
	穂数 本/株	最高分蘗 本/株	有効茎歩合 %	穂数 本/株	最高分蘗 本/株	有効茎歩合 %	穂数 本/株	最高分蘗 本/株	有効茎歩合 %	穂数 本/株	最高分蘗 本/株	有効茎歩合 %	穂数 本/株	最高分蘗 本/株	有効茎歩合 %	穂数 本/株	最高分蘗 本/株	有効茎歩合 %	穂数 本/株	最高分蘗 本/株	有効茎歩合 %
コシヒカリ	10.65	11.65	91.9%	11.35	11.90	96.0%	15.47	18.40	84.4%	17.35	18.05	96.3%	11.80	12.45	95.3%	10.80	11.15	96.9%	12.79 ab	13.74 c	93.5% a
秋の詩	12.30	13.45	91.6%	12.75	13.75	93.1%	15.47	18.53	84.1%	18.85	20.10	94.4%	11.45	11.95	95.6%	10.80	11.70	92.5%	13.52 a	14.76 bc	91.9% a
ヒノヒカリ	11.40	13.30	86.9%	12.30	13.95	89.1%	14.13	22.20	64.2%	17.45	19.65	89.4%	11.10	12.75	87.7%	10.00	11.33	88.3%	13.15 ab	15.95 a	84.3% b
ベニアサヒ	11.00	13.84	79.6%	12.05	14.00	86.7%	13.93	22.40	64.1%	15.75	18.70	84.5%	9.55	12.20	78.5%	8.55	11.65	74.0%	11.62 c	15.18 ab	77.9% c
農林18号	10.45	14.05	74.5%	13.00	15.00	87.5%	14.33	21.80	66.7%	17.10	19.60	88.0%	10.25	12.80	79.9%	8.70	11.35	77.5%	12.22 bc	15.50 ab	79.0% c
平均	11.16 d	13.42 c	84.9% c	12.29 c	13.72 c	90.5% ab	14.67 b	20.67 a	72.7% d	17.30 a	19.22 b	90.5% a	10.83 d	12.43 cd	87.4% bc	9.73 e	11.45 d	85.9% c	12.66	15.03	85.3%

2)水田間比較

5 品種全て野洲の水田で最高分蘗数が多い傾向が見られた. 特に Y3 水田の最高

分蘗は6つの水田で最も多かったが, 有効茎歩合は最も低く, 穂数はY7水田が他の5水田よりも多かった. 一方R水田は最高分蘗数, 穂数ともに最も少なかった. SPAD 値は, 生育期間を通して野洲の水田が高い値を示した. 茎数や SPAD 値の推移は, 亀岡と小倉では2筆の水田間に大きな違いは見られなかったが, 野洲ではY3, Y7 間に違いが見られた. (図 1. SPAD の図は省略) この違いは, ①前年度の水田の栽培作物の違い(Y3は大豆, 他の5か所は全て水稻を栽培), もしくは②野洲の水田地区ではかんがい用水路の整備が不十分で, ところにより水田からの排水が用水路に流入していることにより両水田の取水の質が異なっている可能性もあるが, はっきりしたことは分からない.

	穂数	最高分蘗数	有効茎歩合
品種	**	**	**
水田	**	**	**
交互作用	ns	ns	**

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

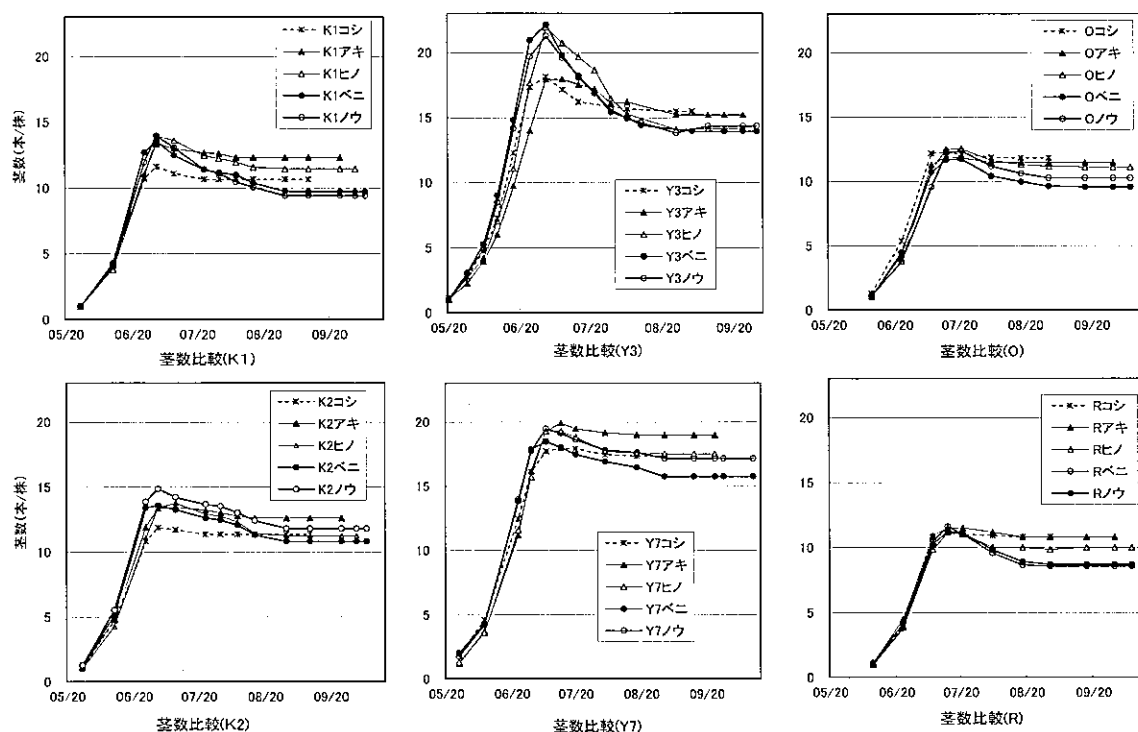


図 1 各圃場の茎数推移

収量諸形質の比較

表 5 区別収量構成要素

供試水田	調査区	全乾物重 (g/株)	穂数 (本/m ²)	一穂粒数 (粒/穂)	粒数 (粒/m ²)	登熟歩合	1000粒重 (g)	推定収量 (kg/10a)
K1水田	K1コシ	36.5 ±2.27	178.5 ±8.42	74.6 ±0.45	13,317	92.5% ±0.01	21.7 ±0.03	259.7 ±9.98
	K1アキ	47.6 ±2.67	207.1 ±0.00 (	71.0 ±4.79	14,702	49.6% ±0.02	21.7 ±0.21	123.1 ±33.80)
	K1ヒノ	49.8 ±5.88	191.9 ±15.15 (	81.4 ±2.28	15,617	65.9% ±0.02	21.0 ±0.40	143.0 ±22.04)
	K1ベニ	54.7 ±5.66	141.4 ±8.42 (	72.2 ±9.21	10,205	81.8% ±0.01	23.6 ±0.01	178.0 ±25.84)
	K1ノウ	51.5 ±3.15	153.2 ±11.78 (	90.7 ±4.79	13,901	74.0% ±0.02	22.5 ±0.14	255.3 ±80.34)
K2水田	K2コシ	45.3 ±1.27	191.1 ±2.53	90.3 ±0.69	17,261	94.6% ±0.00	22.1 ±0.31	323.7 ±12.00
	K2アキ	54.7 ±0.24	211.3 ±10.94 (	80.3 ±7.85	16,970	41.0% ±0.08	21.4 ±0.14	100.9 ±1.89)
	K2ヒノ	53.1 ±3.13	185.2 ±21.89 (	95.3 ±12.78	17,656	60.3% ±0.07	20.9 ±0.15	102.3 ±2.16)
	K2ベニ	65.1 ±1.56	181.8 ±3.37 (	97.2 ±3.46	17,674	70.7% ±0.11	22.6 ±0.08	201.2 ±26.72)
	K2ノウ	62.0 ±1.67	196.1 ±7.58 (	85.3 ±3.33	16,725	44.7% ±0.09	22.3 ±0.02	135.8 ±18.24)
Y3水田	Y3コシ	57.1 ±1.51	264.9 ±12.94	84.4 ±2.96	22,353	95.8% ±0.00	21.1 ±0.05	396.9 ±13.75
	Y3アキ	74.3 ±1.62	262.6 ±8.91	91.4 ±4.67	23,991	89.7% ±0.01	21.8 ±0.06	423.9 ±21.55
	Y3ヒノ	65.1 ±1.83	237.9 ±9.78	88.5 ±2.97	21,060	88.7% ±0.01	20.9 ±0.15	344.0 ±10.61
	Y3ベニ	86.0 ±4.87	230.1 ±16.76	101.7 ±3.62	23,390	92.6% ±0.00	22.7 ±0.37	448.3 ±16.97
	Y3ノウ	72.2 ±0.58	239.1 ±13.47	95.2 ±5.58	22,768	86.9% ±0.03	22.5 ±0.34	386.6 ±32.03
Y7水田	Y7コシ	62.1 ±0.51	296.3 ±25.25	85.6 ±4.35	25,368	93.1% ±0.01	20.8 ±0.23	453.4 ±3.41
	Y7アキ	82.6 ±1.49	314.0 ±0.84	99.8 ±3.03	31,336	91.1% ±0.00	21.8 ±0.13	516.3 ±20.00
	Y7ヒノ	79.4 ±3.85	283.7 ±4.21	95.7 ±1.38	27,141	91.6% ±0.00	20.5 ±0.20	420.8 ±16.76
	Y7ベニ	75.7 ±12.60	226.4 ±47.98	99.1 ±1.67	22,450	86.0% ±0.07	22.4 ±0.17	382.7 ±101.75
	Y7ノウ	83.6 ±1.87	266.0 ±3.37	89.2 ±5.77	23,717	90.0% ±0.01	22.4 ±0.36	455.3 ±0.61
* Y7ベニ		88.3	274.4	97.5	26,750	92.8%	22.5	484.5
Y7ベニアサヒの1反復が異常値を示したので、それを除外したデータ								
O水田	Oコシ	37.0 ±3.29	199.5 ±19.36 (	47.4 ±15.76	9,447	66.7% ±0.09	20.7 ±0.24	141.6 ±35.60)
	Oアキ	59.0 ±3.73	191.9 ±11.78	84.1 ±0.24	16,143	93.0% ±0.00	23.4 ±0.29	325.4 ±15.43
	Oヒノ	56.6 ±0.50	186.0 ±2.53	78.2 ±5.27	14,554	95.7% ±0.00	22.4 ±0.03	300.3 ±9.10
	Oベニ	57.9 ±2.08	160.8 ±4.21	108.3 ±12.06	17,406	95.4% ±0.01	23.2 ±0.21	326.8 ±4.83
	Oノウ	60.0 ±0.64	171.7 ±6.73	89.1 ±8.44	15,306	94.9% ±0.00	23.5 ±0.13	334.5 ±11.50
R水田	Rコシ	35.5 ±0.70	181.8 ±1.68 (	72.7 ±0.52	13,211	77.0% ±0.07	20.5 ±0.54	155.5 ±31.39)
	Rアキ	50.1 ±0.57	181.8 ±0.00	84.5 ±6.91	15,366	91.2% ±0.01	23.0 ±0.01	276.6 ±9.12
	Rヒノ	44.9 ±1.75	168.4 ±11.22	71.6 ±2.03	12,049	95.3% ±0.00	22.2 ±0.22	248.7 ±11.65
	Rベニ	52.9 ±2.09	143.1 ±16.84	97.3 ±6.84	13,928	94.6% ±0.00	22.6 ±0.36	269.2 ±5.76
	Rノウ	50.8 ±2.61	145.6 ±9.26	88.9 ±4.82	12,944	91.5% ±0.02	22.9 ±0.16	267.4 ±4.26

平均±標準偏差

1)品種間比較

収量構成要素を表5にまとめた。(K1, K2では、コシヒカリ以外の4品種は出穂期の水管理が原因で収量が確保できなかった。また, O, R のコシヒカリは鳥害のため正確な収量を計測できなかった。そのためこれらの品種は穂数以外のデータを考察から除外した)。

除外データが多かった為、Y3とY7で5品種について、OとRで4品種について、それぞれ収量を比較すると、品種間には有意な差はなかった(図2)。収量構成要素では、品種の特徴が表れ、コシヒカリ、秋の詩は穂数が多く、ベニアサヒ、農林16号は一穂粒数や1000粒重が多かった。

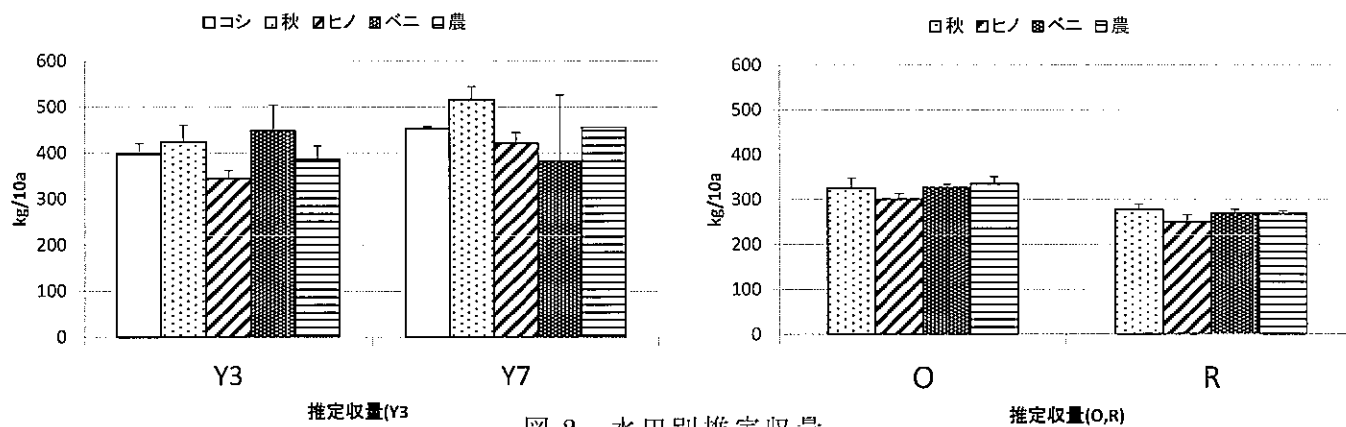


図2 水田別推定収量

2) 水田間比較

野洲の水田では、収量はY7>Y3となった、Y7がY3よりも登熟歩合までの収量構成要素で概ね高い値を示した(異常値を示したY7ベニを除く)が、1000粒重はY3の方が高い傾向が見られた。小倉水田では、収量はO>Rであり、ほぼすべての収量構成要素でOが高い値を示した。

亀岡水田のK1, K2間では、正確なデータを測定できたのはコシヒカリだけであるが、K2の方が全ての収量構成要素でK1を上回っていた。

2015～2017年の結果より

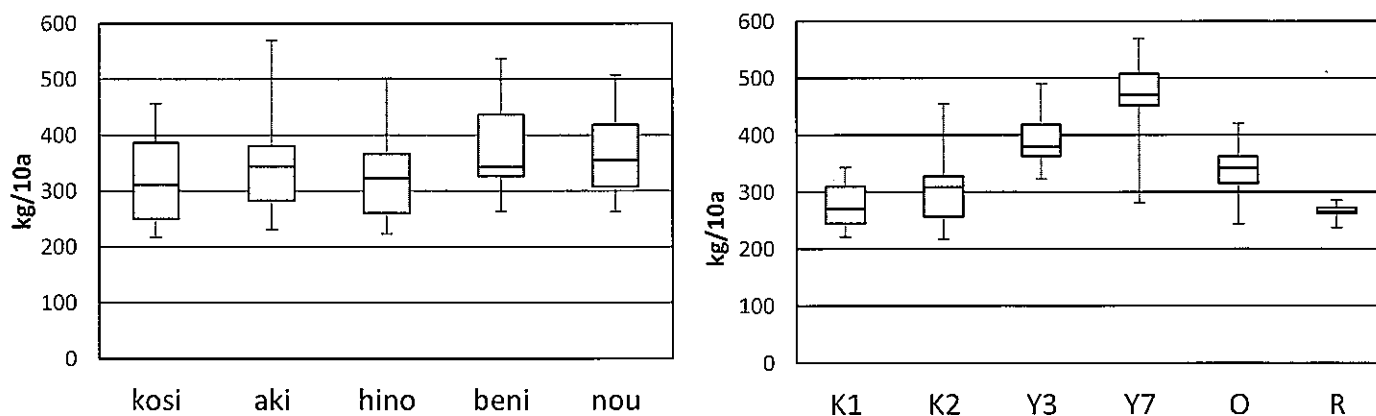


図3 品種別、圃場別推定収量

表 6 圃場別推定収量(2015-2017)と変動係数

圃場 栽培年	K1			K2			Y3			Y7			O			R			平均	変動係数
	2015	2016	2017	2015	2016	2017	2015	2016	2017	2015	2016	2017	2015	2016	2017	2015	2016	2017		
コシヒカリ	227	236	260	288	252	324	360		397		448	453		249					318	0.25
秋の詩	252	261		295	241		365	転	424	転	540	516	333	368	325			277	350	0.27
ヒノヒカリ		252			238				344		480	421		361	300			249	330	0.25
ベニアサヒ	327	335		362	388		402	作	448	作	528	383	393	321	327			269	374	0.17
農林16号		308			302				387		501	455		357	334			267	364	0.21
年平均	268	278	260	315	284	324	376		400		499	446	363	331	322			265	348	0.24
3年平均		273 d			299 cd				391 b		473 a			333 bc				265 d		

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)において有意な差がないことを示す。

2015年から2017年の3年間の収量結果をグラフにした。(図3) 分散分析一元配置では品種間に有意な差がなかったものの、晩生品種のベニアサヒ、農林16号の収量が多い傾向にあり、年度間水田間のバラつきが他の品種より小さい傾向が見られた(表6)。(生育期間が長い品種が収量多い傾向が見られた)。

近年、一般的には①台風による倒伏②ウンカなどによる虫害やいもち病などの害を避けることなどの理由から早生品種の栽培が好まれる傾向にあるが、稲の生育期間が長いことによるそれらの懸念要因については、無施肥栽培ではあまり問題にならないことが指摘されている(詳しくは2017年報告会資料を参照)。また化学肥料を施用しない栽培では、晩生・長稈で、耐肥性が弱いササニシキなどが多収で、アキヒカリに代表される早生・短稈で、耐肥性が高い品種群の収量が低いこと(2004片野)も報告されている。さらに旧品種と改良品種とを比較した実験で、窒素吸収量が少なく、葉面積も小さい段階では、着花穎花数は旧品種で相対的に多くなる(2004堀内)ことも報告されている。これらをふまえると、供試した5品種の中で旧品種であり晩生・長稈のベニアサヒや農林16号が無施肥栽培に適した特徴をもっていると考えられる。

データが不完全ではあるものの、水田間には有意に差があり、野洲水田、特にY7水田の収量が高かった。

食味官能試験

自然条件に対する適応性(収量面)だけでなく、品種選択のもう一面である社会・経済的条件、消費ニーズ(味・品質)の適応性を探るため、食味官能試験を試行した。実験は2018年2月21日、京都大学農学研究科作物学研究室において、同研究室の協力のもと行なった。4つの同機種(電気炊飯器)を用い、4種類の2017年産

の秋の詩（市販，Y3，Y7，O）を比較した。判定者には，4種のうち1種だけ市販の米があることしか知らされず，品種や生産水田の異同については何も知らされずに試験を行った。判定者は20歳代から60歳代にわたり，京大作物学研究室の教官，院生，学部生および無肥研会員の18人であった。評価は，外観，香，味，粘り，柔らかさ，総合評価の6項目について行った。4種のうち1種を基準とし，それぞれの項目について「基準と同じ」は「0」，これより良・不良の度合いにより「わずかに・少し・かなり」の3段階に区分して，「±1・±2・±3」として評価値を求めた。市販のコメを基準とした時の判定結果は図4の通りである。

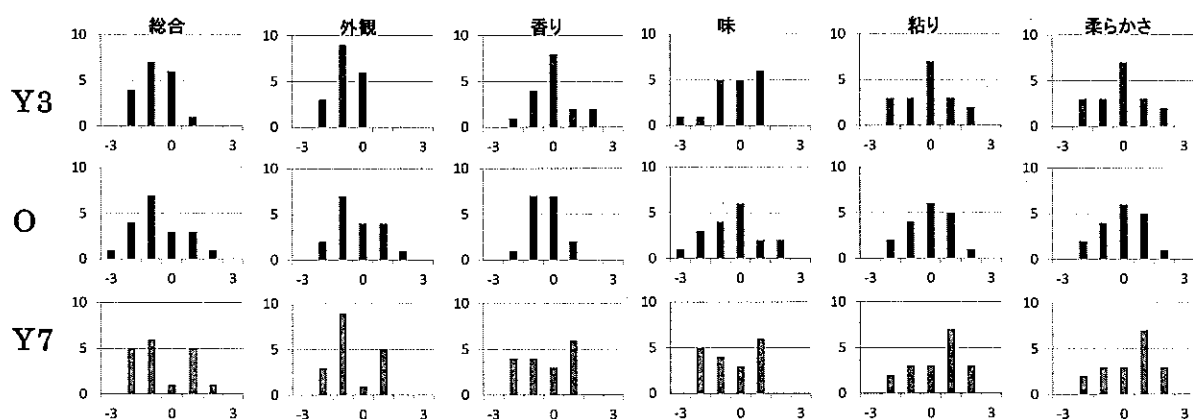


図4 食味官能試験の結果

試験に使用した無施肥圃場3か所の秋の詩は，同じ粳種から育てた米である。また，食味に影響を及ぼす要素として考えられる，精米方法や精米歩合は同じで，含有水分量，収穫時期の登熟度なども概ね同程度である。判定者は訓練を積んだものではないとはいえ，栽培環境（土壌，水，気温など）が異なれば，異なった判定結果が出ることが示された。このことから，それぞれの圃場において，栽培に適した品種があるだけでなく，食するのに適した品種がある可能性が示唆された。

【今後の研究課題】

2015年と2016年の調査では品種間に有意な収量差が認められたが，2017年には有意な収量差が見られなかったことから，気象条件や栽培管理の違いが，それぞれの品種の収量性に細かな差異をもたらすことも示唆された。一方で，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

施肥栽培に適した品種の選定ができる可能性も示唆されてきているので、それぞれの圃場での品種選定の要因を探る考察を進めていきたい。

また、品種選択には、作物の生産性からだけでなく、品質の面からの調査もさらに進めていきたい。栽培場所と品種の間で、食味官能試験や食味計などによる比較にも取り組んでいきたい。

【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
- ・長谷川浩・竹内史郎・奥村俊勝 1979 近畿大学農学部紀要, 12 141-147
- ・堀内久満 2004. 生育相と生態・生理反応のとらえ方—生態・生理反応による品種の性格づけ 収量構成要素. 「稲作大百科Ⅱ 栽培の基礎/品質・食味/気象災害」(東京:社団法人 農山漁村文化協会):6-7
- ・片野学 2004. 自然農法での生育相と整理・機能—生育特性 品種間差. 「稲作大百科Ⅱ 栽培の基礎/品質・食味/気象災害」(東京:社団法人 農山漁村文化協会):46-47

無施肥無農薬栽培水田における収量形成に及ぼす 土壌とかんがい水の影響(第6報)

伊吹克也¹・家田善太¹・栗田光雄^{1,2}・白岩立彦^{1,2} (¹ NPO 無肥研・² 京大院農)

1. 緒言

宇治市小倉で 2003 年から無施肥栽培を継続している水田(以下, O 水田という)とその一部に栗東市で 1951 年から無施肥栽培を継続してきた水田の表土を 2006 年に移設した水田(以下, R 水田という)とを用いて, 土壌の違いとかんがい水が水稻の生育及び収量に及ぼす影響を調べている.

2012 年から 2015 年まで水田内各所の土壌を充填したポットを水田内の様々な位置に埋設して試験したところ, 水稻の生育及び収量には供試土壌よりも栽培位置の違いが影響していることが認められた. 2016 年には圃場で生育する水稻を対象として栽培位置による影響を調べたが, 2017 年はさらに詳細な生育動向を探るため地点を増やして調査を行った. また, 両水田内のかんがい水の EC 値をメッシュ状に測定し, かんがい水中の無機イオン濃度の位置的変動について調査した. 本報は 6 年目の試験結果をまとめたものである.

2. 実験方法

図 1 に示すように R, O それぞれの水田の水口から水尻の対角線上の等間隔に 1~5 区を, また, それ以外の対角に 6 及び 7 区を設け, それぞれの地点で連続 10 株について全ての株の茎数, 草丈および葉身の SPAD 値(ミノルタ製 SPAD-502 を使用)を調査した. 測定は移植 2 週間後から, 1~2 週間ごとに測定した. 水路および各水田内に定めた各 15 か所でかんがい水の EC 値(HORIBA 製 B-173 EC メータを使用)を 2 週間ごとに測定した.

R, O 両水田の水口部, 中央部, 水尻部の地温を 2 時間おきに記録した.

供試品種はベニアサヒで, 生育調査した全株について, 収穫後に玄米重, 穂数, 稈長, 穂長, 籾重, 籾数, 空籾数, 千粒重, 玄米水分率を計測した.

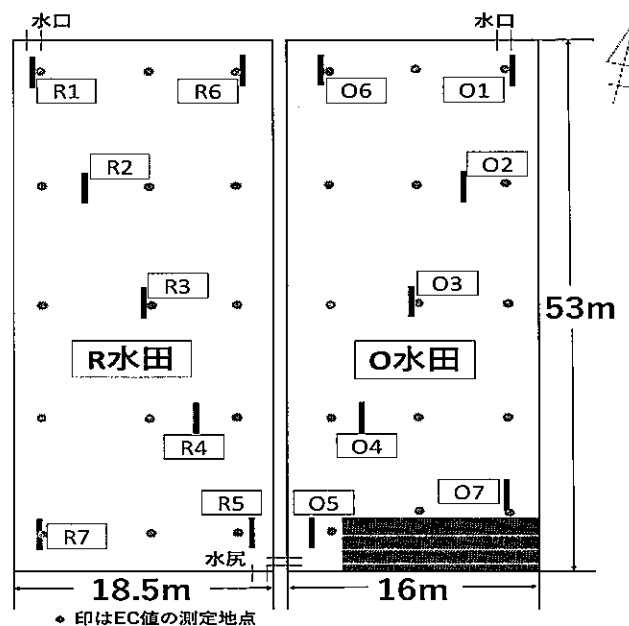


図 1 測定場所

統計処理には処理区間の比較は分散分析を用いて、区間差の検定にはチューキーの多重比較検定を用いた。

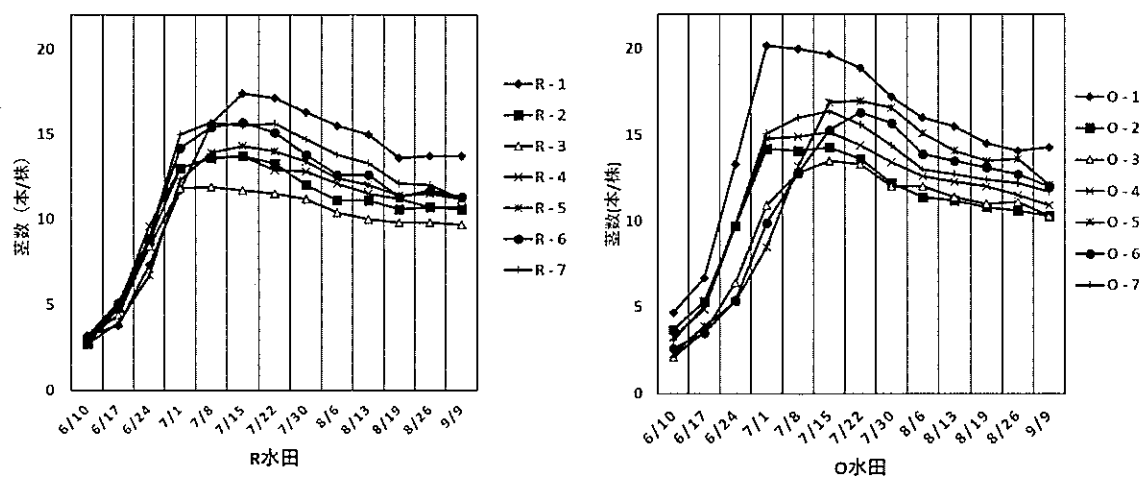
栽培経過

供試品種	ベニアサヒ		
播種	4月22日		
育苗	ポット育苗箱に播種してビニールハウス内の畑苗代で育苗		
移植	5月28日		
水管理	湛水状態を維持(ただし、8/4 - 13中干し)		
最高分蘗期	7月3日 ~ 7月17日		
出穂期	8月31日 (R水田)	8月29日 (O水田)	
落水	9月24日		
収穫	10月14日		
無施肥無農薬栽培開始年	2003年 (R水田表土は1951年)		

3. 実験結果

R水田では、生育期間中の茎数は6月下旬までは区間差はあまりなかったが、最高分蘗期以降は水口部から中央部に掛けて $R1 > R2 > R3$ の順に推移し、水尻部に掛けて $R3 < R4 < R5$ の順に推移した(図2)。SPAD値は6月下旬から出穂期まで水口部～中央部は $R1 > R2 > R3$ の順に、中央部～水尻部は $R3 < R4 < R5$ の順で推移した(図3)。草丈は水口部～中央部は $R1 > R2 > R3$ の順になり、水尻部にかけて $R3 < R4 < R5$ の順になった(図4)。

O水田では、生育期間中の茎数は移植直後から最高分蘗期までは $O1 > O2 > O3$ の順に推移し、それ以降は $O1$ と $O2, O3$ との差が開いたまま推移した。 $O5$ の茎数は7月上旬までは少なかったが、長期間増え続け $O3, O4$ を上回り、最高分蘗期以降中央部～水尻部は $O3 < O4 < O5$ の順で推移した(図2)。SPAD値は6月下旬から概ね $O1, O2 < O3, O4 < R5$ の順になり、水口部より水尻部のほうが高く推移した(図3)。草丈は水口部～中央部は $O1 > O2 > O3$ の順になり、中央部～水尻部は $O3 < O4 < O5$ の順になった(図4)。



	最高分蘗期		最高分蘗期
R1	7月16日	O1	7月4日
R2	7月10日	O2	7月5日
R3	7月3日	O3	7月12日
R4	7月8日	O4	7月6日
R5	7月12日	O5	7月17日
R6	7月6日	O6	7月17日
R7	7月8日	O7	7月7日

図 2 水田別茎数の推移

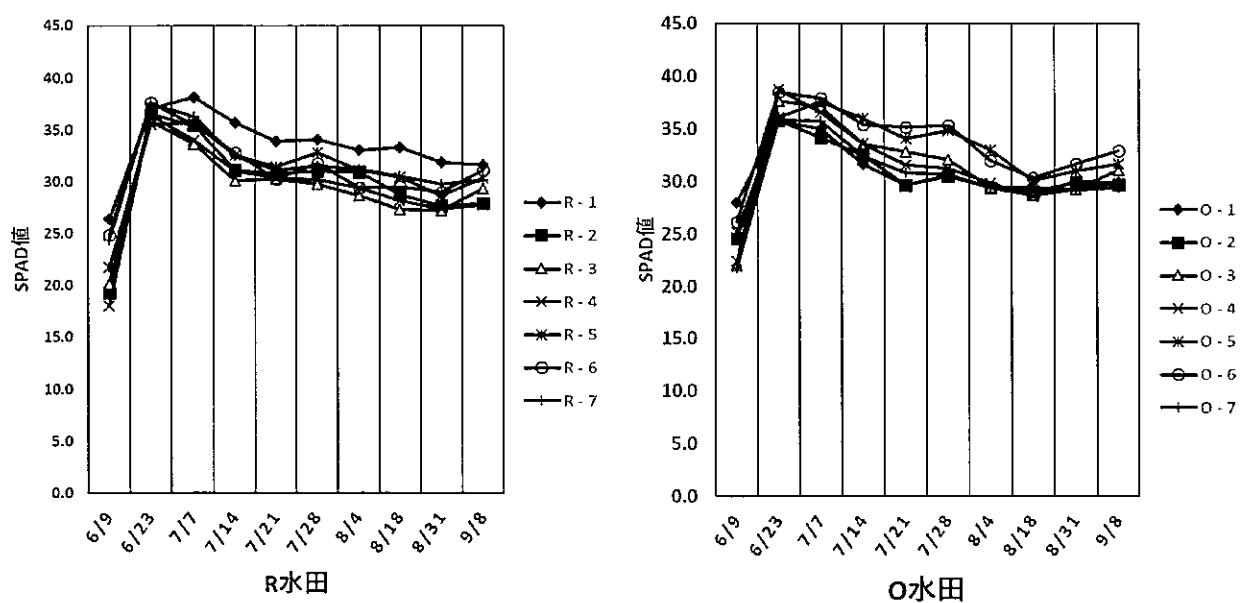


図 3 水田別 SPAD 値の推移

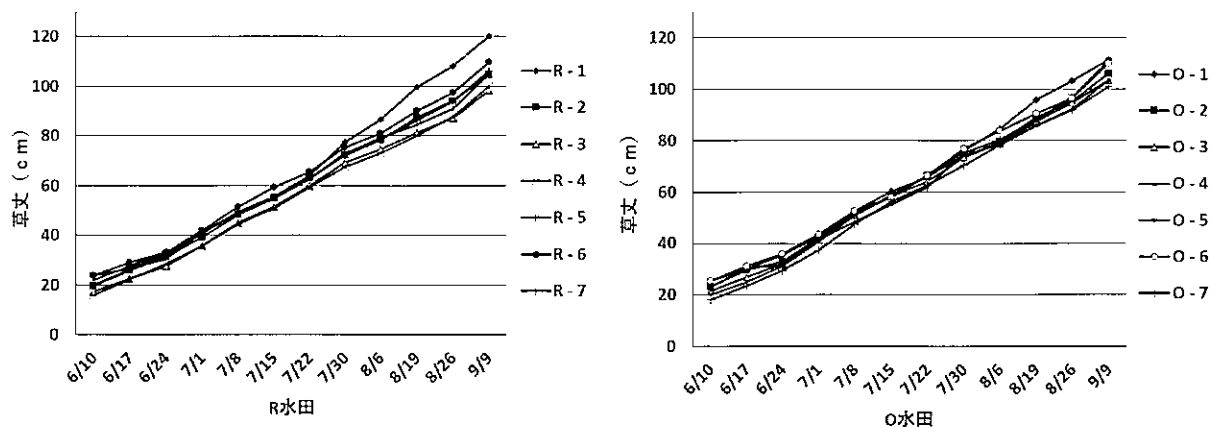


図 4 水田別草丈の推移

かんがい水の EC 値は R, O 両水田とも水口から水尻にかけて低下する傾向がみられ、特に 7 月 8 日には O 水田での位置変動が顕著であった（標準偏差：R 水田 3.94 O 水田 21.80）（図 5）。それ以降は水田内の位置変動は小さくなった。

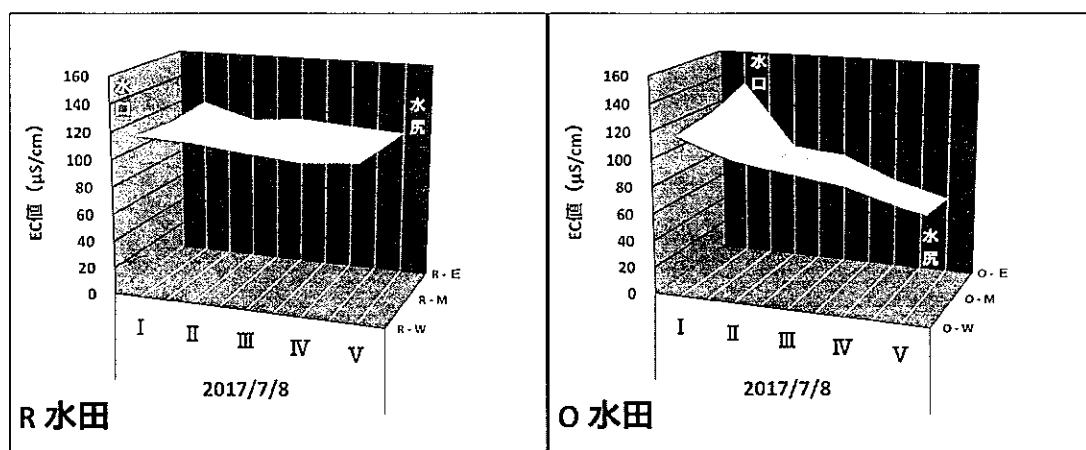


図 5 7 月 8 日 水田内における栽培位置による EC 値の変動

栽培水田（R 水田，O 水田）および水田内の栽培位置を因子として収量および収量構成要素のそれぞれについて統計処理を行った（表 1）。

R 水田では，玄米重は R1>R5,R6,R7>R2,R4>R3 の順に重かった．穂数は R1>R2,R4,R5,R6,R7>R3 の順に多かった．1 穂粒数は R1>R2,R5,R6>R3,R4,R7 の順に多かった．1000 粒重には R1,R2,R5,R6>R3,R4,R7 の傾向があり，全乾物重は R1>R5>R2,R3,R4,R6,R7 の順に重かった．収穫指数は水口部及び水尻部が中央部よりも高かった．

O 水田では，玄米重は O5,O6>O1>O2,O3,O4,O7 の順に重かった．穂数は O1>O4,O5,O6,O7>O2,O3 の順に多かった．全乾物重は O1,O5,O6>O3,O4>O2,O7 の順に重い傾向があった．収穫指数は水口部及び水尻部が中央部よりも高かった．

水田間では，O 水田の玄米重は R 水田のそれよりも多く，O 水田の 1000 粒重が R 水田のそれよりも有意に重かった．

表 1 栽培水田および水田内の栽培位置の違いによる収量および収量構成要素の 2 元配置分散分析およびチューキーの多重比較検定

水田	栽培位置	玄米重(g/株)	穂数(本/株)	1穂粒数(個/本)	登熟歩合(-)	1000粒重(g)	全乾物重(g/本)	収穫指数HI(-)
R水田	R1(水口部)	25.37	13.7 ± 0.8 a	105.4 ± 5.8 a	91.8 ± 1.2 a	22.6 ± 0.1 a	81.7 ± 5.4 a	0.330
	R2	16.50	10.6 ± 0.9 ab	80.9 ± 1.7 ab	91.5 ± 0.6 a	22.7 ± 0.1 a	54.7 ± 4.2 b	0.311
	R3(中央部)	13.24	9.7 ± 0.7 b	74.3 ± 2.7 b	92.4 ± 1.0 a	22.1 ± 0.1 b	46.3 ± 3.1 b	0.302
	R4	14.95	10.7 ± 0.7 ab	77.2 ± 8.4 b	89.2 ± 2.2 a	22.2 ± 0.1 b	51.1 ± 3.6 b	0.307
	R5(水尻部)	20.29	11.3 ± 1.1 ab	90.8 ± 4.0 ab	93.1 ± 0.9 a	22.7 ± 0.0 a	62.3 ± 5.2 ab	0.333
	R6	19.85	11.3 ± 0.7 ab	87.1 ± 4.1 ab	94.5 ± 1.3 a	22.8 ± 0.0 a	61.9 ± 4.5 b	0.330
	R7	17.64	11.4 ± 1.0 ab	78.9 ± 5.8 b	91.2 ± 2.9 a	22.1 ± 0.1 b	59.1 ± 5.2 b	0.310
	平均	18.26	11.2 ± 0.3	84.9 ± 2.7	92.0 ± 0.6	22.5 ± 0.1	59.6 ± 2.1	0.317
O水田	O1(水口部)	22.73	14.3 ± 1.0 a	77.2 ± 4.3 a	93.5 ± 0.8 a	23.0 ± 0.0 bc	71.3 ± 4.1 a	0.327
	O2	16.63	10.2 ± 0.9 a	88.5 ± 8.4 a	92.7 ± 0.9 a	23.2 ± 0.1 ab	54.9 ± 3.8 a	0.315
	O3(中央部)	18.15	10.6 ± 0.9 a	99.8 ± 14.3 a	91.8 ± 1.2 a	23.0 ± 0.1 bc	62.3 ± 4.2 a	0.305
	O4	18.20	11.2 ± 0.8 a	92.4 ± 2.8 a	89.2 ± 0.5 a	22.9 ± 0.1 bc	61.2 ± 4.2 a	0.309
	O5(水尻部)	24.83	12.5 ± 1.0 a	96.7 ± 4.4 a	93.2 ± 0.7 a	22.8 ± 0.0 c	74.9 ± 4.0 a	0.338
	O6	24.70	12.1 ± 1.7 a	107.7 ± 4.5 a	94.3 ± 0.6 a	23.1 ± 0.1 ab	71.3 ± 10.6 a	0.358
	O7	16.12	11.7 ± 0.9 a	74.7 ± 4.7 a	88.6 ± 3.8 a	23.4 ± 0.1 a	55.0 ± 5.2 a	0.308
	平均	20.20	11.8 ± 0.4	91.0 ± 3.4	91.9 ± 0.7	23.0 ± 0.0	64.4 ± 2.2	0.323
分散分析	水 田		n.s.	n.s.	n.s.	**	n.s.	
	栽培位置		**	n.s.	*	**	**	
	交互作用		n.s.	**	n.s.	**	n.s.	

R, O両水田の7か所の連続10株について測定した。

平均値と標準誤差。**は1%水準で有意差があることを示し、*は5%水準で有意差があることを示す。n.s.は5%水準で有意差がないことを示す。

数字のあとの同じアルファベットは、各項目についてチューキーの多重比較検定(5%水準)で有意な差がないことを示す。

4. まとめ

小倉圃場の場合、水口部から中央部に限ってみると、生育や収量構成要素などに水口から中央への傾斜が認められたことから、その区間ではかんがい水の影響を強く受けていたことが示唆された。これは以前から指摘されているように、無施肥無農薬水田ではかんがい水由来の養分が影響しているとされていることと合致する。

しかしながら、中央部よりも離れた地点をみると、水稻の生育や収量について水口～中央部への傾斜と同じ傾向は認められなかったことから、かんがい水の影響だけでは圃場全体にわたっての生育・収量の違いを説明できなかった。

かんがい水の影響として、養分の外部からの移入と圃場内での移送などの物理・化学的効果と、土壌攪乱による微生物の活性化などの生物的效果とが考えられる。供試水田内のかんがい水の EC 値は 7 月 8 日を除き概ね均一で平衡状態であったことから、かんがい水による養分の供給はそれほど大きくなかったものと考えられた。また、水口部や水尻部では水の流れが速くなり攪乱が生じやすくなるが、かんがい水の流れの影響が少ない R6 および O6 の収量や収量構成要素が R5 および O5 に近いものであったので、水田内のかんがい水の流れの速さや乱れが生育や収量に影響していることも考えにくい。

これまでも無施肥無農薬水田で水尻部の収量が高くなるなどの水田内の栽培位置による収量の位置変動について、長谷川ら（1977）は外的栄養要因では説明困難で、何らかの内的な栄養要因の存在が示唆されるとし、その原因を明示することは、現段階ではできないとしていた。水田内で発現した養分はかんがい水によって運ばれて、他の栽培位置の水稻の生育に影響している可能性も示唆されるものであり、詳しく検討する必要があるものと思われた。

5. 参考文献

- 長谷川浩・竹内史郎・奥村俊勝・江菅洋一（1977）長期無施肥田における水稻諸形質の位置的変動。近畿作物・育種談話会報 22：1～4
- 長谷川浩・竹内史郎・奥村俊勝（1979）長期無施肥田における水稻諸形質の位置的変動（Ⅱ）。近畿大学農学部紀要 12：109～115。
- 竹内史郎・奥村俊勝・長谷川浩（1979）立地条件が無施肥田の水稻の生育・収量に及ぼす影響。近畿大学農学部紀要 12：117～125。

長期無施肥土壤に生育する根圏微生物群による アブラナ科植物の共生機構の解明に向けて

晝間敬（奈良先端科学技術大学院大学 バイオサイエンス研究科）

植物個体の体表や組織内部に生息する内生微生物叢（細菌・真菌などの微生物群集）は植物のストレス環境下における生育・生存に極めて重要な役割を果たしている。特にリン・窒素などの必須栄養素が欠乏した貧栄養環境において、主に土壤から特定の微生物群を植物が誘引・許容して成立させる根圏・内生微生物叢は、栄養吸収を促進するなどの効果を持つ有用微生物が多く含まれると期待され、省施肥・低負荷で環境調和型の農業技術のシーズとして注目を集めている。

しかしながら、微生物叢の実態や機能のほとんどが未解明である上、植物による環境情報に応じて内生微生物叢との共生関係を制御するメカニズムがよく分かっていないため、有用微生物を農地で安定的に活用するための知見や技術に乏しいのが現状である。その要因として、多くの根圏・内生微生物が従来法では難培養性である点や単離した微生物と宿主植物の相互作用解析系が未整備である点、さらには後述するように有用微生物の多くがいわゆる「日和見菌」で機能発現が環境条件次第である点が挙げられる。これらの問題点の克服を始めとして、植物と微生物叢の相互作用メカニズムを紐解いていくことで、新たな農作物生産の安定化技術の創出につなげていきたい。

貧栄養環境で植物生長を促す内生糸状菌 *C.tofieldiae*(*Ct*)の同定

我々は、貧栄養土壤で生育するアブラナ科植物の根の内部に棲息する微生物（内生菌）の単離・解析を行なっている。例えば、シロイヌナズナから単離した糸状菌 *Colletotrichum tofieldiae* (*Ct*)がリンなどの栄養枯渇条件下でアブラナ科植物の根に感染し、土壤中のリンを植物へ供給することで植物生長を促すことをこれまでに発見している（図、Hiruma et al., Cell 2016）。大多数の植物種

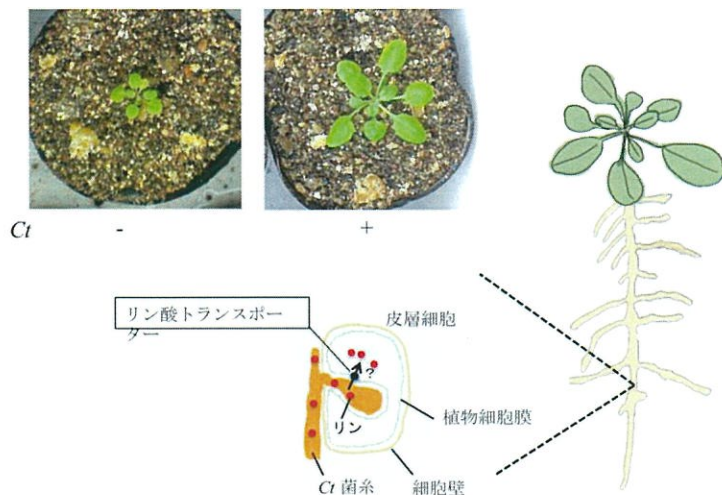


図. 内生糸状菌 *C.tofieldiae*(*Ct*)による植物生長促進
*Ct*は、リンが欠乏した環境下で植物根に感染し、リンを菌糸を介して供給することで植物生長を促す。*Ct*菌糸からの栄養輸送は植物の根の皮層細胞内で行われていると考えられる。

が共生関係を結ぶアーバスキュラー菌根菌とアブラナ科植物は共生関係を結ばないことが知られており、重要な共生菌を欠いたアブラナ科植物が様々なストレス環境下に適応できたことは謎であった。今回、アブラナ科植物が、菌根菌と共生するかわりに、内生糸状菌との共生関係を進化の過程で選択したことを発見した。

植物の抗菌経路による共生菌 *Ct* の制御が共生関係を維持するために必要である

一方で、アブラナ科植物が独自に発達させてきたトリプトファン由来の二次代謝物が合成できない変異体植物に *Ct* を接種すると、最悪の場合植物が枯死することも判明した。これらの二次代謝物は病原菌に対して抗菌活性を示すことが知られていたことから、植物は抗菌活性を主体とする植物の防御応答を活用することで *Ct* との共生関係を維持していることが示唆された。さらに、低リン環境での植物の適応反応を司る転写因子によってトリプトファン由来の二次代謝物の合成も制御されることが判明した。これらの事実は、特定の共生菌を活用していく際には植物の貧栄養適応反応を介した共生菌制御機構を理解する必要性も提起している。

根圏微生物群を活用した *Ct* の共生効果の最大化

Ct による植物生長促進効果（共生効果）は無菌環境下で単独で接種しても顕著に認められる。一方、今回、*Ct* による共生効果が根圏に存在する他の微生物群によってさらに強化されることを示唆する結果を得た。この結果は、根圏微生物群を活用することで特定の共生菌の機能を強化・安定化できる可能性を示唆しており、その仕組みの解明は、野外で共生微生物群を制御し効果的に活用していくための技術の開発に向けて必要な一歩であると考えられる。

本発表では、*Ct* のパートナー微生物群の候補菌株の植物根圏からの単離および単離した微生物群を組み合わせることで、人工的に共生効果を再構築する試みについて紹介する。また、植物根圏における微生物叢は土壌の種類に依存する。そこで、京都府宇治市小倉の無施肥水田や転換畑などの微生物の多様性に富むと考えられる土壌で植物を生育させ、その根圏に誘引される有益な微生物群を探索する試みについても紹介したい。

無施肥栽培によるイネ栽培と水田の環境解析～京都府宇治市の例～

馬場崇誠, 荒木希和子, 久保幹 (立命館大学生命科学部)

<方法>

(1) 土壌採取

イネの栽培に合わせて土壌を採取した。土壌採取は試験区ごとに行い、試験区につき緩衝地帯を避け、5 地点の表土から深さ 15 cm までの土壌を採取した (図 1)。2016 年 5 月から 10 月にかけて計 6 回、2017 年 4 月から 10 月にかけて計 4 回採取した。

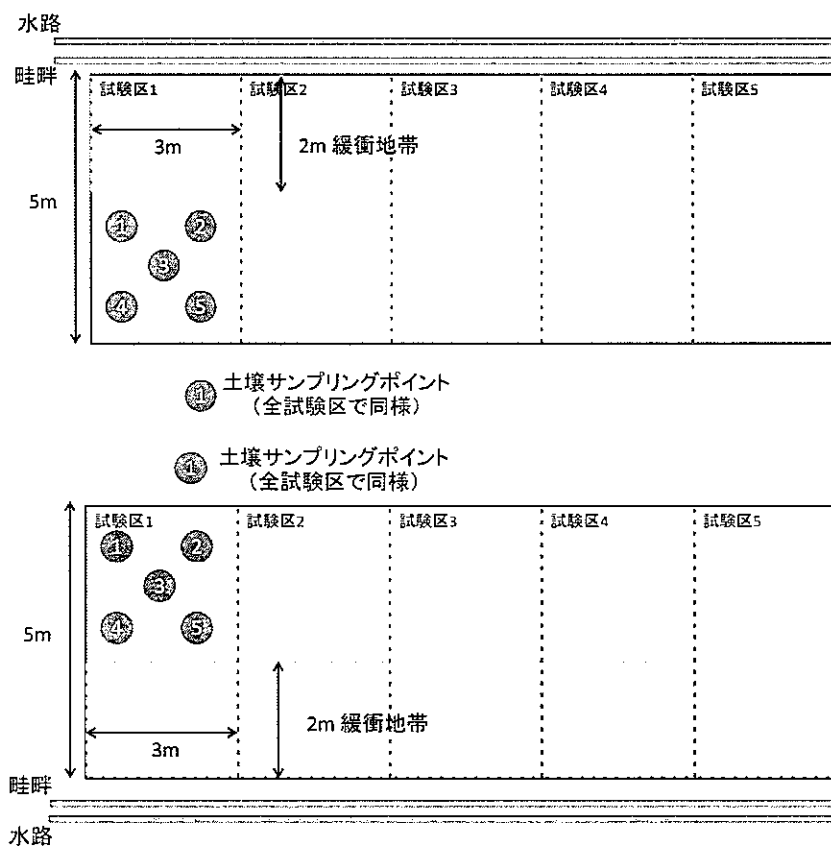


図 1. サンプリングポイント (上) 慣行区 (下) 無施肥区

(2) 土壌分析

2016 年 5 月 25 日、10 月 10、2017 年 4 月 11 日および 10 月 9 日に採取した土壌の SOFIX 分析を行った。それ以外の日付に採取した土壌は、総細菌数の測定のみ行った。

<結果>

(1) 慣行水田と無施肥水田におけるイネ栽培にともなう土壌環境の変化

慣行水田（CON）および無施肥水田（NOF）の土壌環境の違いを明らかにするために、CON よび NOF に対し SOFIX 分析を行った。

表 1. 慣行水田および無施肥水田のバイオマス量

圃場	分析日	C/N 比	TC (mg/kg)	TN (mg/kg)	TP (mg/kg)	TK (mg/kg)
CON	2016/05/25	15	32,550	2,140	1,320	7,700
	2016/10/10	11	30,890	2,720	1,790	7,800
	2017/04/11	11	31,970	2,860	2,300	11,670
	2017/10/09	23	32,070	1,440	1,900	6,680
NOF	2016/05/25	16	12,630	790	510	9,280
	2016/10/10	12	12,860	1,100	690	5,860
	2017/04/11	11	11,460	1,010	950	12,200
	2017/10/09	28	13,240	480	620	7,370

表 2. 慣行水田および無施肥水田の化学性

圃場	分析日	NO ₃ ⁻ -N (mg/kg)	NH ₄ ⁺ -N (mg/kg)	SP(P ₂ O ₅) (mg/kg)	SK(K ₂ O) (mg/kg)	pH	EC
CON	2016/05/25	19.4	2.5	46.3	122.8	7.6	0.13
	2016/10/10	39.4	0.8	27.5	170.4	6.5	0.14
	2017/04/11	23.9	27.1	53.9	130.6	7.4	0.11
	2017/10/09	0	9.8	34.5	38.8	7.1	0.12
NOF	2016/05/25	5.9	28.3	12.4	74.4	5.4	0.04
	2016/10/10	10.5	36.7	6.3	336.4	5.6	0.05
	2017/04/11	7.2	29.8	18.3	74.4	5.3	0.05
	2017/10/09	0	9.4	7.2	15.6	5.4	0.05

表 3. 慣行水田および無施肥水田の生物性

圃場	分析日	総細菌数 (×10 ⁸ cells/g)	窒素循環活性 (point)	リン循環活性 (point)
CON	2016/05/25	14.4	25.6	18.4
	2016/10/10	8.0	3.4	21.4
	2017/04/11	13.9	35.0	17.9
	2017/10/09	4.8	13.8	18.4
NOF	2016/05/25	5.1	19.4	15.0
	2016/10/10	3.2	5.2	20.1
	2017/04/11	3.3	13.2	15.4
	2017/10/09	4.8	15.5	15.0

(2) 土壌バイオマス量の変化

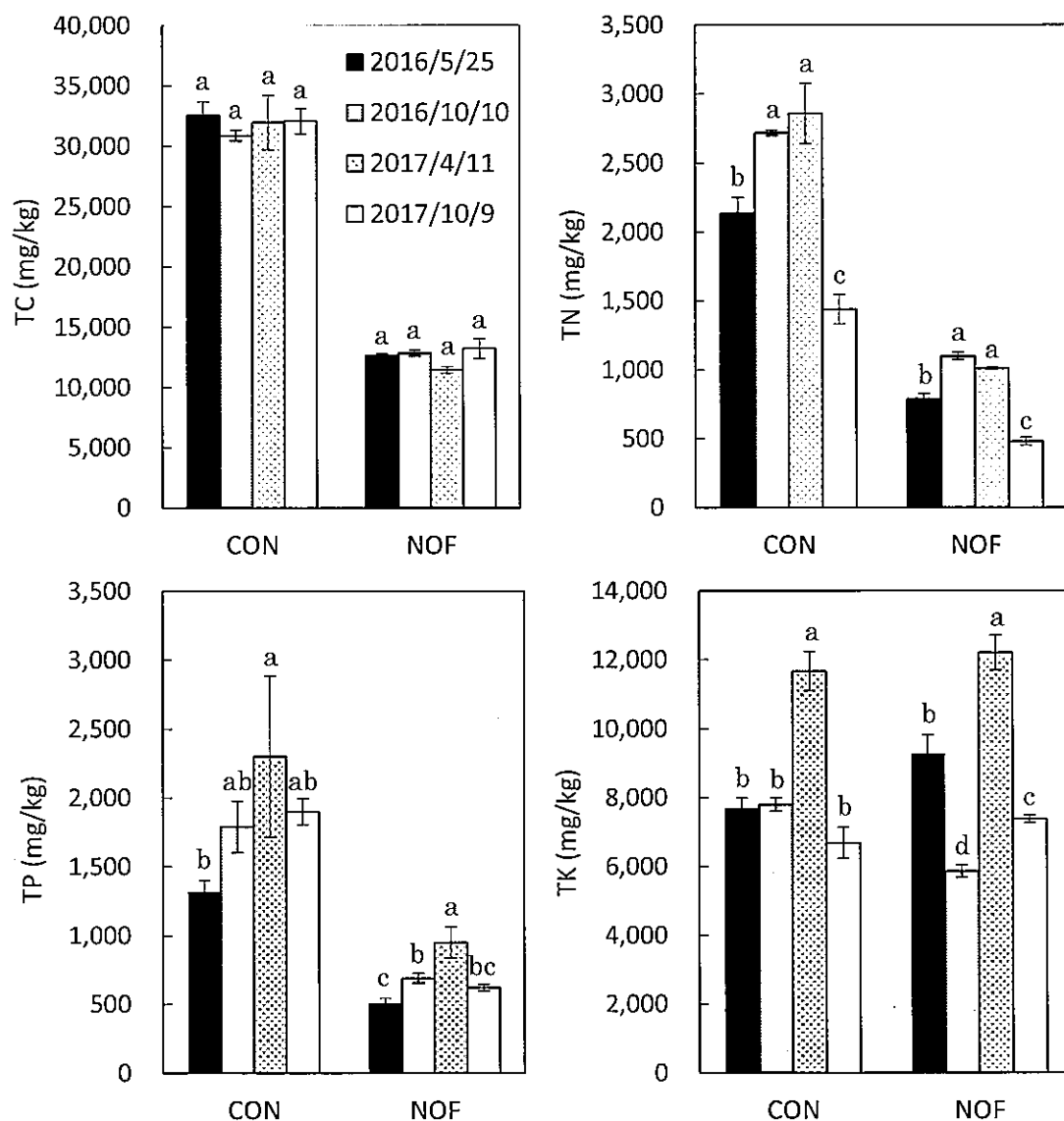


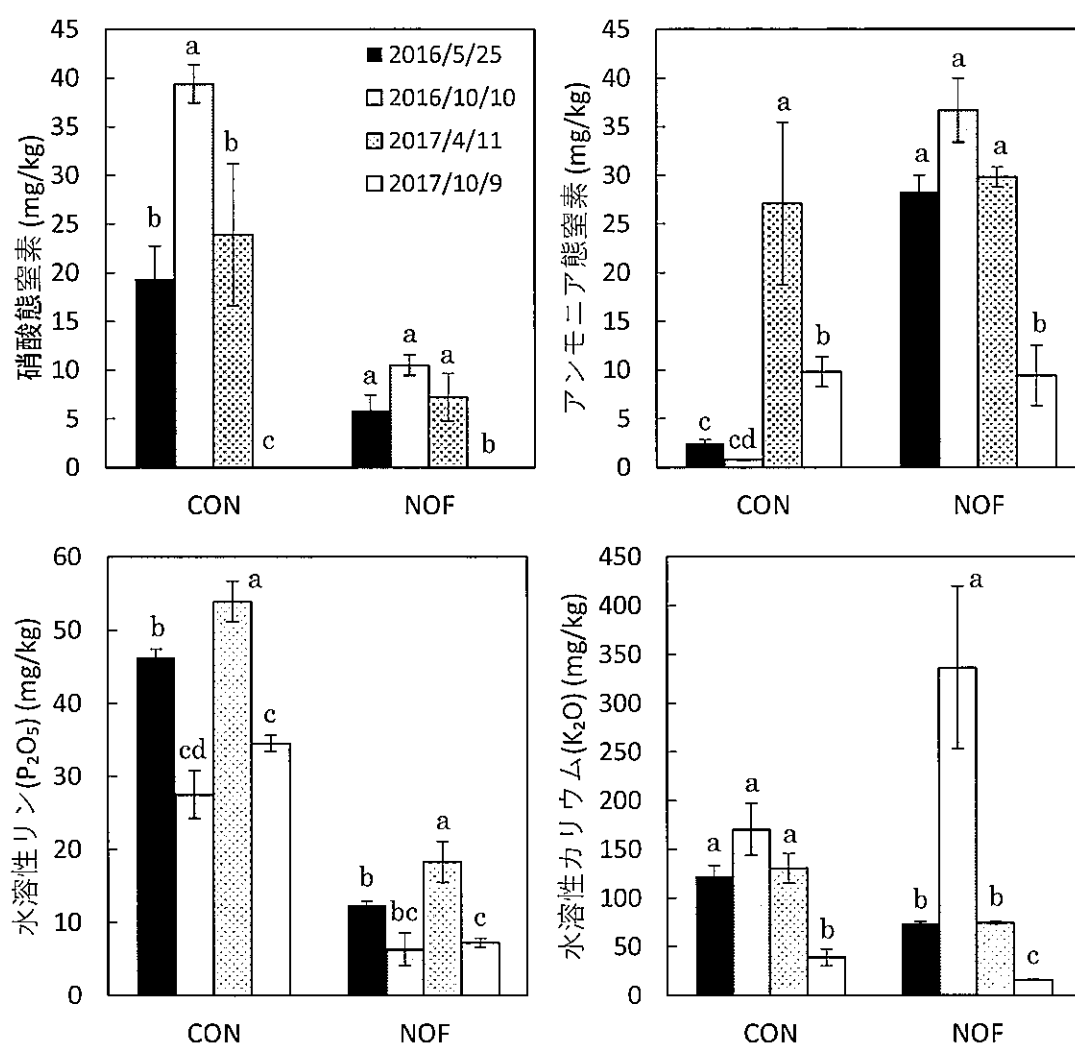
図 2. 慣行水田（CON）と無施肥水田（NOF）とのバイオマス量の比較
および定植前から収穫後のとのバイオマス量の変化

図 2 より、慣行水田では TC、TN および TP が無施肥水田より高かった。特に、慣行水田の TC は、無施肥水田の TC の約 3 倍高い値を示した。これは、無施肥水田では有機物を含む肥料が投入されていないことと、収穫後に稲わらのすき込みが行われず水田外に持ち出されていることが原因と考えられる。しかしながら、TK は、慣行水田と無施肥水田と共に同程度であった。これは、河川を介した周囲の水田からのカリウム成分の流入があるものと推測される。

イネの栽培にともなう変化をみると、TC は慣行水田と無施肥水田ともに両年いずれ

も、定植前と収穫後で変化がなかった。TN と TP は、2016 年度では定植前から収穫後で増加し、2017 年度では減少した。2016 年度の増加は、窒素固定菌による窒素固定や河川からの流入の影響によると考えられる。2017 年度の減少は、イネが成長する際に土壌から窒素やリンを吸収する影響が大きかったと推察される。一方、TK は、2016 年度の慣行水田では定植前から収穫後で変化がなかったが、無施肥水田では減少した。2017 年度では、慣行水田と無施肥水田と共に定植前から収穫後で TK が減少した。TK の減少は、イネが成長する際に土壌からカリウムを吸収したためであると考えられる。2016 年度の慣行水田では定植前から収穫後で変化がなかったのは、穂肥として加えた有機混合肥料の影響が考えられる。全体として、年度によってバイオマス量の変化の傾向が異なった。これは、サンプリング時の土壌の状態や年度ごと河川からの養分供給量の変化が、関係していると考えられる。

(3) 土壌化学性の変化



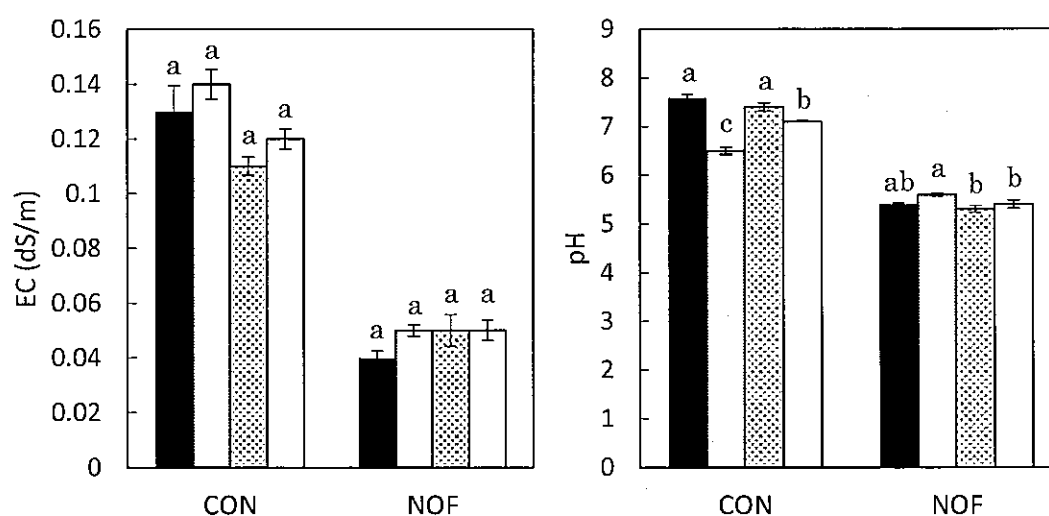


図 3. 慣行水田 (CON) と無施肥水田 (NOF) との土壌化学性の比較
および定植前から収穫後の土壌化学性の変化

図 3 より、慣行水田では、硝酸態窒素、水溶性リン、EC および pH が無施肥水田より高かった。これは、慣行水田では施肥および稲わらのすき込みによる土壌への養分供給があるためであると考えられる。栽培期間による変化を見ると、土壌の水溶性窒素、リンおよびカリウムは栽培前後で減少傾向にあり、イネが吸収したことが示唆される。しかし、施肥、河川からの流入、サンプリング時の土壌の状態にも影響を受けることが推測される。

(4) 土壌の物質循環の変化

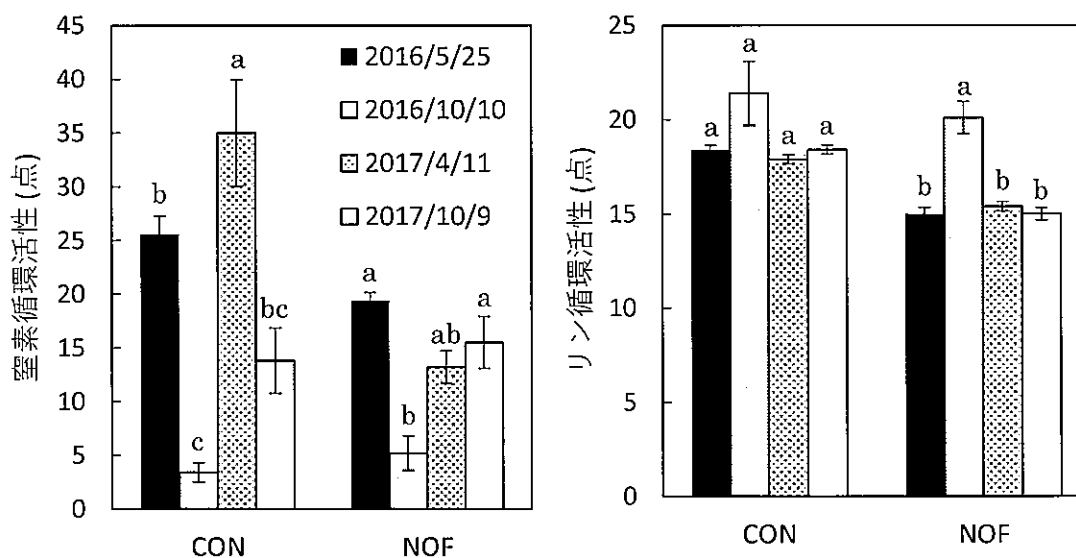


図 4. 慣行水田 (CON) と無施肥水田 (NOF) と窒素循環およびリン循環の比較
および定植前から収穫後の変化

窒素循環活性は慣行水田の定植前で高かった（図 4）。これは、慣行水田では 3 月下旬に一度土壌を耕起していることおよび 5 月中旬の有機混合肥料の施肥により微生物が活性化したためであると考えられる。収穫後の窒素循環活性には、慣行水田と無施肥水田の間で大きな差がなかった。リン循環活性は、慣行水田の方が無施肥水田よりもわずかに高かった。これは、慣行水田の TP および総細菌数が無施肥水田よりも高いためと考えられる。

イネの栽培前後で変化をみると、2017 年度の無施肥水田を除いて、定植前から収穫後にかけて窒素循環活性が減少した。これは、イネの栽培期間で分解しやすい有機物が減少したためと考えられる。リン循環活性は、2016 年度の無施肥水田での増加を除いて大きな変化はみられなかった。

(4) 土壌中の総細菌数の変化

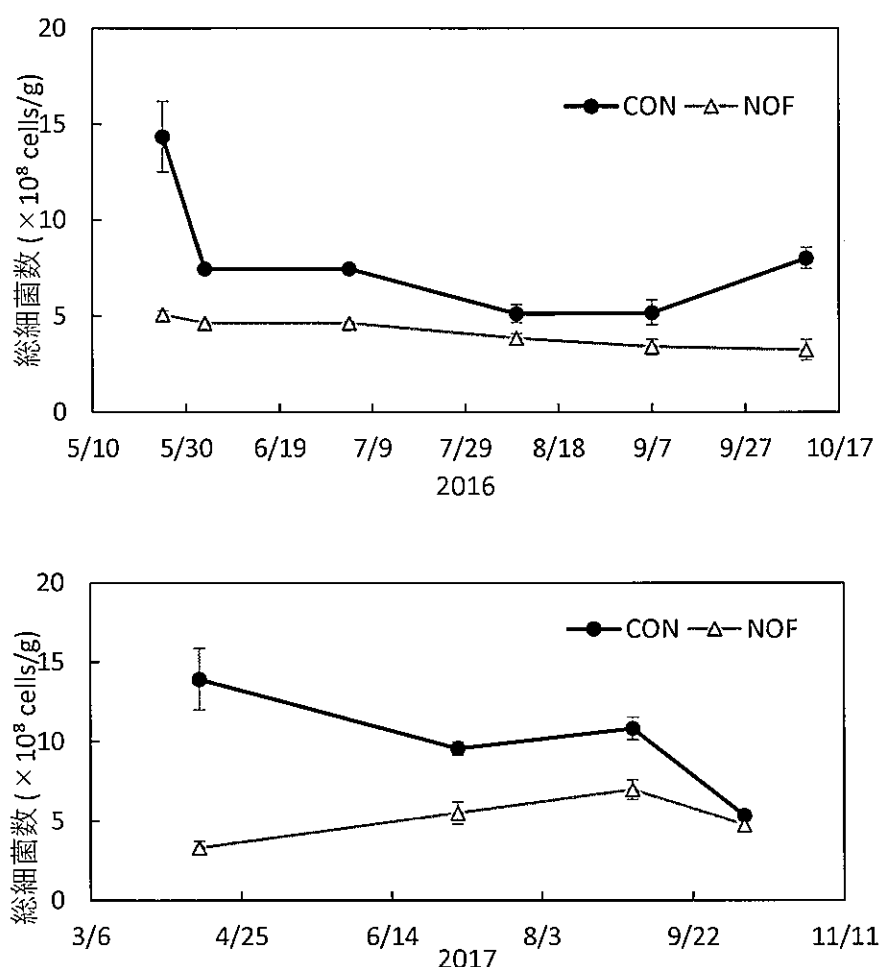


図 5. 総細菌数の経時変化（上）2016 年（下）2017 年