

NPO 無施肥無農薬栽培調査研究会 2014 年度研究報告会

開催日時：2015 年 3 月 15 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（資料報告）
…… 小林 正幸（無肥研） 1
2. 無施肥無農薬栽培における育苗方法の違いが水稻の生育・収量に及ぼす影響
…… 丸田信宏・栗田光雄（無肥研） 7
3. 育苗日数および移植時期の違いが無施肥栽培水稻の生育に及ぼす影響
…… 家田善太・栗田光雄（無肥研） 12
- (休憩)
4. 長期無施肥無農薬水田における土壌養分動態およびイネの養分吸収—2014 年の調査結果—
… 多田羅翔子¹・本間香貴¹・栗田光雄^{1,2}・小林正幸²・白岩立彦¹（¹京大院農・²無肥研） 17
5. 無施肥無農薬栽培水田における土壌とかんがい水が収量形質に及ぼす影響（第 3 報）
…… 伊吹克也・家田善太・栗田光雄（無肥研） 23
6. 土壌溶液および出液に基づくイネのケイ酸吸収量の解析
…… 岩本啓己・本間香貴・白岩立彦・栗田光雄（京大院農） 30
7. 英熟の酒造り【話題提供】
…… 中村清隆（齋藤酒造） 34

資料報告

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

小林 正幸（無肥研）

現在、無施肥無農薬栽培調査研究会（無肥研）が認証する無施肥無農薬栽培水田は全国9府県に点在し、その立地条件は様々である。おのおの水田での水稻の生育・収量を調査し経年的に記録していくことは、無施肥栽培の特質を知る上で重要であるが、投入可能な労力に限界があり、全水田において通常の生育ならびに収量調査を実施することは困難である。その中で無肥研が継続的に調査している無施肥栽培水田の収量結果をまとめた。なお、調査水田は福井県を除き京都市の近くに位置することから気象庁発表の京都市気象データ（表1）を参考に示した。

2014年に行った水稻収量調査は、坪刈り法によるもの7圃場（表2）、株刈り法によるもの7圃場（これらは収量要素も調査した）（表4）、全刈り法によるもの23圃場（表6）であった。その中で、収量を経年で記録を続けているものは、坪刈り法が7圃場16年間（表3、図1）、株刈り法が6圃場11年間（表5）であった。

《結果》

気象概要

収量に影響を及ぼす要因の一つである天候について、2014年の水稻栽培期間中の記録をまとめると以下ようになる。

3月から7月:3月から7月後半までの降水量は少なかった。平年と比べると3月+34.2mm、4月-31.2mm、5月-82.8mm、6月-153.0mm、7月-122.4mmであり、ことに梅雨期の降水量は目立って少なかった。

気温は高く推移し、平年と比べ平均で3月+0.5℃、4月+0.2℃、5月+0.7℃、6月+1.2℃、7月+0.8℃であった。

1日の平均日照時間は、平年と比べると3月+0.6h、4月+1.1h、5月+2.0h、6月-0.3h、7月+0.2hとなり、4月、5月の日照時間は平年と比べ特に良好であった。しかし7月上旬の1日平均日照時間は平年の4.0hに比べ2.8hと短かった。

8月:8月は9日、10日の台風により大雨となった。その後も雨や曇天の日が多く、8月の降水量（487mm）は平年（132mm）の3.7倍に達した。

8月の平均気温は平年とほとんど差がなかった。

1日の平均日照時間は、平年（5.9時間）に対しほぼ半分の3.1時間であった。

9月:9月に入ると中旬から下旬にかけて天気は安定し、1日平均日照時間は平年（4.2時間）の1.6倍の6.7時間であり、月間降水量は65mmと平年の37%であった。

10月:10月は6日と13日に台風が接近したものの、上～中旬の降水量、気温、日照時間はいずれも平年並みであった。

表1 2014年京都市気象データ

		降水量(mm)		平均気温(°C)		日照時間(h)	
3月	上旬	18.0	(30.9)	5.6	(6.8)	44.7	(45.3)
	中旬	60.0	(39.4)	9.2	(8.5)	58.4	(48.8)
	下旬	69.5	(43.0)	11.9	(9.8)	62.4	(52.7)
4月	上旬	9.0	(39.6)	12.4	(12.2)	76.5	(56.1)
	中旬	8.0	(42.4)	13.9	(14.4)	65.5	(56.4)
	下旬	67.5	(33.7)	16.8	(16.1)	63.7	(62.9)
5月	上旬	7.5	(49.4)	17.7	(18.2)	89.2	(59.5)
	中旬	25.0	(67.5)	20.0	(18.6)	77.6	(53.7)
	下旬	45.5	(43.9)	21.5	(20.2)	74.2	(67.7)
6月	上旬	13.5	(44.2)	24.5	(21.9)	44.6	(58.8)
	中旬	5.5	(65.6)	23.6	(23.0)	48.1	(47.8)
	下旬	42.0	(104.2)	24.4	(24.0)	35.1	(31.9)
7月	上旬	76.5	(77.6)	25.5	(25.6)	27.6	(39.6)
	中旬	15.0	(91.0)	27.8	(26.7)	40.8	(37.9)
	下旬	6.5	(51.8)	29.4	(28.2)	76.1	(64.9)
8月	上旬	244.0	(36.0)	27.9	(28.6)	18.8	(62.3)
	中旬	174.0	(48.9)	28.6	(28.3)	49.3	(56.7)
	下旬	69.0	(47.2)	26.3	(27.7)	28.0	(63.7)
9月	上旬	36.0	(44.9)	25.1	(26.2)	40.2	(52.4)
	中旬	3.0	(61.4)	22.1	(24.2)	56.3	(43.6)
	下旬	26.0	(70.0)	22.9	(21.9)	77.9	(40.9)
10月	上旬	28.5	(49.4)	21.5	(19.9)	37.9	(46.1)
	中旬	65.5	(42.1)	18.0	(18.2)	52.0	(52.4)

気象庁発表の京都市の気象データをもとに作成。()内は平年値。

水稲収量

2014年の稲作収量を、調査法別に以下にまとめた。

坪刈り法(表2)で調査している7水田は除草作業が徹底して行われており、収量に及ぼす雑草の影響はほとんどなかったと思われる。したがって、これらの水田の収量差は、品種の生育時期と天候の関係、土壌の違い、灌漑水を含めた立地条件の違いが主なものになると考えられる。小倉R水田を除いた水田の収量は、2013年とおおむね変わらなかった(表3)。ところで2013年は梅雨が短く、6～8月の平均気温が高かったが、8月下旬から9月にかけて曇天や雨の日が多い年であり、2014年とは異なる気象条件であった。このことにより、これらの圃場ではこの両年程度の気象の差は収量に影響を及ぼさなかったと考えられる。

小倉R水田は、1951年より栗東で無施肥栽培を継続していた水田の表土(15cm)を2006年に移設した圃場であるが、R水田設置後はじめて隣接するO水田より収量が上回り(382kg/10a)、栗東時の収量(400～410kg/10a)に近づいた。これが一過性の現象か、恒常的なものか、またその原因は何なのかは、今後の研究課題になると思われる。

表2 2014年水稻収量調査(坪刈り法)

生産者	実施場所	実施 開始年	自家採種 年数	栽培品種	全乾重 (g/m ²)	藁乾重 (g/m ²)	精初重 (g/m ²)	推定玄米重 (kg/10a)	備考
無肥研	宇治市小倉	(1951)	63	ベニアサヒ	1147.8	686	462	382.3	注1
無肥研	宇治市小倉	2003	63	ベニアサヒ	988.9	591	398	330.6	
上田修一	京都市山科区	1965	43	農林16号	783.3	426	358	270.4	注2
上田修一	京都市山科区	1965	63	ベニアサヒ	750.0	404	346	263.2	注2
無肥研	京都府亀岡市	1993	11	秋の詩	694.0	421	273	222.5	
無肥研	滋賀県野洲市	2003	25	秋の詩	1191.8	634	557	466.4	
丸山茂子	福井県越前市	1997	11	コシヒカリ	1002.2	489	514	432.9	

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をスキ取り、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月に客土した。

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。

表3 無施肥無農薬栽培水田玄米収量の年次推移(坪刈り法)

圃場	栗東	小倉R	小倉O	山科上田Ⅰ	山科上田Ⅱ	亀岡Ⅰ	野洲Ⅴ	福井F
実施開始年	1951年	(1951年)	2003年	1965年	1965年	1993年	2003年	1997年
1999年	408.1A			251.7B	190.4A	360.5A		382.0D
2000年	453.8A			352.1B	320.5A	297.8A		402.0D
2001年	454.2A			270.0B	260.8A	332.2A		転作
2002年	417.6A			178.3B	177.3A	281.2A		407.4D
2003年	332.4A		353.6C	349.2B	262.3A	294.0A	545.1D	331.5D
2004年	442.9A		420.5C	304.4B	273.0A	394.1A	520.8E	415.6D
2005年	390.5A		365.5C	344.6B	302.7A	315.2A	502.6E	転作
2006年	356.2A		309.0C	282.9B	214.4A	223.4E	転作	463.5D
2007年		333.6A	413.0A	316.3B	228.3A	280.3A	508.6E	417.8D
2008年		271.0A	391.0A	275.2B	242.0A	384.3E	501.6E	424.8D
2009年		318.5A	347.4A	260.0B	217.9A	270.8E	転作	転作
2010年		215.5A	306.6A	203.8B	156.1A	283.5E	455.7D	432.5D
2011年		303.7A	378.7A	274.7B	221.3A	272.8E	369.7D	382.1D
2012年		308.1A	359.0A	275.1B	303.7A	277.0E	転作	342.9D
2013年		273.8A	327.1A	280.6B	246.9A	220.4E	465.2D	438.0D
2014年		382.3A	330.6A	270.4B	263.2A	222.5E	466.4E	432.9D

単位はkg/10a

表中のアルファベットは品種(Aベニアサヒ、B農林16号、Cヒノヒカリ、Dコシヒカリ、E秋の詩)

小倉Rは栗東水田より表層土を2006年12月に小倉水田に客土した水田

株刈り法(表4)では、2014年は玄米収量を1.8mm目の振るいにかけた精玄米収量で示した。なお11年間の収量を比較する場合(表6)には、2013年まで用いていた粗玄米収量を用いた。

コシヒカリ等の早生品種では、7月末の出穂までの天候は良かったが、登熟が進む8月の天候は雨天曇天が続き日照時間が極端に少なくなり、空籾や未熟米が多く出た圃場があった。その結果、木戸口水田を除いて減収となった。特に雑草が繁茂した水田では顕著な減収となった。また、一部の圃場では1株穂数が少なかったが、これは生育初期の雑草防

除が上手くいかなかったことと7月上旬の1日平均日照時間が2.8hであったことが原因ではないかと思われた。

表4 2014年水稻収量要素調査結果(株刈り法)

生産者	無肥研	丸山茂子	黒瀬 修	中村孝太郎	牧野太平	坪田宗隆	木戸口利雄	中道唯幸
実施場所	野洲市Ⅲ	越前市	綾部市	大野市	福井市	滋賀県大中	東近江市	野洲市
実施開始年	1995	1997	1998	2003	2009	2000	2003	2007
自家採種年数	11	11	11	11	11	1	11	購入種子
稈長(cm)	69.4	83.3	70.3	78.4	64.8	77.3	66.2	67.4
穂長(cm)	18.6	19.5	16.7	19.2	16.4	18.4	17.6	17.5
穂数(本/株)	18.1	14.1	9.1	12.6	7.0	17.7	13.9	10.6
藁重(g/株)	23.0	29.6	12.3	20.1	20.1	24.5	20.0	17.8
穂重(g/株)	33.3	33.6	13.6	28.6	28.6	32.5	23.5	16.3
全乾重(g/株)	56.1	63.0	25.8	49.3	18.9	57.6	43.4	34.6
籾重(g/株)	31.6	32.3	13.1	27.6	8.3	31.3	22.6	15.4
玄米重(g/株)	21.7	24.9	9.5	19.4	5.8	18.3	17.2	12.4
推定玄米重(kg/10a)	392.5	393.1	197.0	295.9	111.8	286.4	330.6	237.9
栽植密度(株/m ²)	17.6	15.3	20.2	14.9	18.7	15.2	18.5	18.7

品種：中道(夢ごごち) 以外はすべてコシヒカリ

推定玄米重は1.8mmふるいにかけて、水分15%で補正した値

表5 無施肥無農薬栽培水田玄米収量の推移(株刈り法)

生産者	黒瀬 修	中村孝太郎	牧野太平	坪田宗隆	木戸口利雄	中道唯幸
実施開始年	1998年	2003年	2009年	2000年	2003年	2007年
2004年		352.4		514.9		
2005年	344.8	265.6		418.3	376.1	
2006年	—	542.3		—	378.7	
2007年	272.2	421.8		—	337.6	326.4
2008年	249.7	305.6		418.9	308.3	273.2
2009年	284.8	406.1	394.0	411.1	408.9	291.3
2010年	219.9	418.8	292.5	366.2	281.4	395.8
2011年	294.8	403.2	229.1	338.7	295.6	453.9
2012年	239.0	392.4	139.7	471.8	273.2	443.1
2013年	438.1	510.3	237.3	480.8	326.1	307.2
2014年	244.6	366.9	150.0	399.9	393.0	298.1

栽培品種：2014年中道圃場は夢ごごち、その他はすべてコシヒカリ

—は株間条間未測定のため推定できなかった。空欄は計測していないことを示す。

水分率15%に換算した。粗玄米重(kg/10a)で示した

全刈り法(表6)では、品種、地域、無施肥継続年数などに広がりのある23圃場の記録であるため、圃場間にかんがりの収量差(441~154kg/10a)が見られた。

表6 2014年無施肥無農薬水田収量(全刈り法)

No	生産者	産地	栽培品種	実施開始年	面積(a)	反収 (kg/10a)
1	無肥研	滋賀県野洲市Ⅰ	もち(新羽二重)	1989	9.1	308.7
2	無肥研	滋賀県野洲市ⅡⅢ	コシヒカリ	1995	12.1	376.6
3	無肥研	滋賀県野洲市ⅤⅥⅦ	秋の詩	2003	32.2	441.1
4	無肥研	京都府亀岡市K1	秋の詩	1993	8.9	239.0
5	無肥研	京都府亀岡市K2	秋の詩	2009	9.5	306.2
6	無肥研	京都府宇治市	ベニアサヒ	2003	※30.6	359.4
7	上田修一	京都市山科区	農林16号	1965	2.8	260.0
8	上田修一	京都市山科区	ベニアサヒ	1965	2.1	270.4
9	丸山茂子	福井県越前市今立	コシヒカリ	1997	7.0	434.0
10	黒瀬修	京都府綾部市	コシヒカリ	1998	23.0	200.0
11	井上正人	滋賀県近江八幡市	コシヒカリ	2009	29.0	289.7
12	坪田宗隆	滋賀県近江八幡市	コシヒカリ	2000	50.0	288.0
13	沢昌弘	滋賀県東近江市	コシヒカリ	2010	80.0	243.8
14	木戸口利雄	滋賀県東近江市	コシヒカリ	2003	22.0	☆289.3
15	木戸口利雄	滋賀県東近江市	コシヒカリ	2006	34.0	
16	木戸口利雄	滋賀県東近江市	コシヒカリ	2010	26.0	
17	牧野太平	福井県福井市	コシヒカリ	2009	32.9	☆154.2
18	牧野太平	福井県福井市	コシヒカリ	2010	49.5	
19	中村孝太郎	福井県大野市	コシヒカリ	2003～2011	420.6	☆342.4
20	平田守	京都府南丹市園部	日本晴	2012	13.0	☆323.1
21	平田守	京都府南丹市園部	日本晴	2013	13.0	
22	中道唯幸	滋賀県野洲市	夢ごこち	2007	32.0	275.9
23	中道唯幸	滋賀県野洲市	コシヒカリ	2010	57.0	294.0

No.1～8は、実測面積、No.9～23は圃場登録の申告面積

※ 試験株及び除草剤被害を除く面積

☆ 圃場の面積を合算して、反収を算出した。

まとめ

無施肥無農薬水稲栽培においては天候、立地条件（日照や温度などの環境要因と土壌や灌漑水の量と質など）ならびに圃場管理（水管理、雑草防除、病虫害管理など）の違いが収量に影響を及ぼすことが多い。それら以外の収量に影響を及ぼす要因として、育苗管理や栽培前後の耕起の時期と回数なども考えられる。それらの中で、無施肥栽培は慣行の施肥栽培に比べて、収量が天候の影響を相対的に受けにくいと経験的に言われている。一方で、移植直後から生育初期の除草の成否が収獲量に大きく影響することが経験から明らかになっている。

これらの条件の中で、年次的に変わるものとしては、外部要因の天候と人為的な要因の圃場管理の違いが主なものであり、それらが収量の短期的な変動に影響するのではないかとと思われる。また土壌や灌漑水の養分量は、やや長期間にわたって変化し、生育や収量に影響しているのではないかとと思われる。

2014年を総括すれば、コシヒカリなど早生品種の収量は400kg/10aを超える水田があったものの総体的に少なかった。一方で8月中旬に出穂した秋の詩や8月下旬に出穂したベニアサヒは、例年よりも収量はやや増加した。コシヒカリで収量300kg/10a以下の水田

では茎数が十分確保されていなかったが、それは8月初旬からの天候不順もさることながら、雑草が繁茂していたことにも原因の一端があったように思われる。それは雑草防除に成功していた水田では、天候不順にかかわらず平年並みの収量を確保していたことから推察された。

また無施肥栽培の玄米収量の年次推移(図1)では、増収と減収を繰り返す圃場が見られるが、これは果樹栽培における生年と裏年との関係と同じような関係なのか、またそれがどのような要因によるのか興味を引く現象であった。

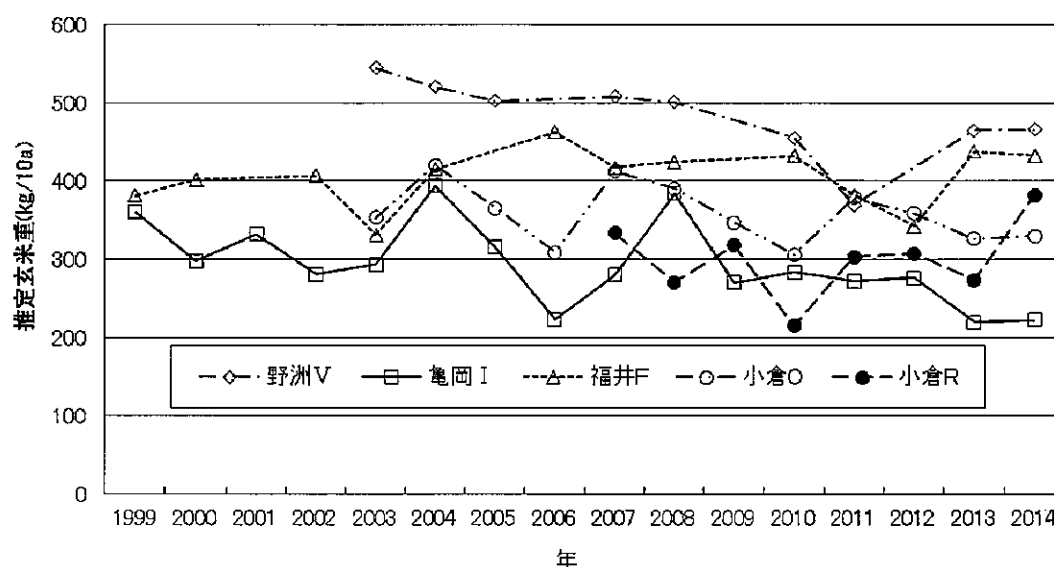


図1 無施肥無農薬栽培水田玄米収量の推移(株刈り法)

小倉 O 水田と亀岡 K II 水田では、8月下旬より一部で稲熱病が発生した。一方で、それぞれが隣接し無施肥栽培継続年数が長期になる小倉 R 水田と亀岡 K I 水田ではほとんど稲熱病の発生は見られなかったことも興味ある事例であった。

今後もこれらの記録を充実し、これからの無施肥無農薬水稻栽培の参考資料としていきたい。

無施肥無農薬栽培における育苗方法の違いが 水稻の生育・収量に及ぼす影響

報告者 丸田信宏・栗田光雄（NPO 無肥研）

無施肥無農薬栽培水田では、これまでに生育や収量について多くの調査が行われてきた（長谷川ら（1979）, Okumura（2002）, 家田（2008～）, 丸田（2009～）など）。一般に、苗の良否が本田での生育や収量を左右すると考えられているが、無施肥での水稻栽培の苗については今までほとんど調査されてこなかった。そこで、京都府亀岡市において 1993 年および 2009 年から、それぞれ無施肥栽培を継続している隣接する 2 筆の水田（以下それぞれ K1 水田および K2 水田という）において、無施肥栽培に適した苗作りの指標を得るために、育苗土・育苗期間・播種粒数を異にした区を設けて実験した。大規模農家では、一般的に購入培土を用いて育苗しているが、無施肥栽培の場合、これまで圃場の土を用いて育苗してきた。そこで、購入培土を用いて無施肥栽培した場合の水稻の生育および収量について調査した。また、これまで無肥研では、育苗日数が 50 日程度の成苗を用いているが、過去の調査（家田 2013）から、小倉圃場でベニアサヒを用いた場合は、育苗日数を短くした方が収量が高いことが示唆されている。そこで亀岡圃場で秋の詩を用いた場合も同様の結果になるかを調べるために、育苗期間の比較調査を行った。さらに、収量に最も大きな影響を与える要因が穂数であることが示唆されているので、2013 年に引き続き、播種粒数を異にした場合の生育と収量について調査した。

【材料および方法】

・栽培方法

実験には中生の「秋の詩」を用いた。この品種は亀岡水田で 2008 年に栽培を始め、それ以降、毎年その前年度に採種した粳種を用いて継続して栽培している。粳は脱芒機で芒を除き、塩水選を行った。その後、温湯浸法で消毒、吸水させ、前日に加温して催芽させた粳をポット育苗箱に播種した。育苗箱はみのる産業株式会社製ポット 448 育苗箱（1 ポット寸法：直径 16mm×深さ 25mm）を用いた。

育苗は、滋賀県野洲市の水田折衷苗代およびハウス内での畑苗代で行った。水田折衷苗代では寒冷紗を敷き、播種後すぐに置床し、湛水状態で育苗した。それに被覆材としてポリエステル繊維不織布（ユニチカ製 ラブシート）をかけ、さらにトンネルで保温した（3 月 30 日播種分は 4 月 26 日にトンネル、30 日にラブシートを、4 月 13 日播種分は 5 月 11 日にトンネル、14 日にラブシートをそれぞれ外した）。ハウス内での畑苗代では、トンネルを用いなかった以外は水田折衷苗

代と同様の方法で育苗した。

育苗後は、K1 および K2 へ条間 33cm、株間 18cm（栽植密度 16.8 株/m²）で移植した。除草は代掻き後 13 日目を 1 回目とし、その後約 10 日おきに計 3 回行った。水管理は、収穫約 3 週間前まで湛水状態を維持した。収穫は 9 月 29 日に行った。

・試験区分

試験は育苗土（圃場土壌・購入培土）、育苗方法（水田折衷苗代・ハウス畑苗代）、播種日をそれぞれ異にする調査区を第 1 表の通り設けた。

第1表 試験区分Ⅰ（育苗土・育苗方法・育苗期間の違い）

調査区	育苗土	育苗方法	播種日	本田移植日	育苗期間	播種粒数/1ポット
A(48圃折)	圃場土壌	折衷苗代	3月30日	5月17日	48日間	3粒
B(48圃折)	購入培土	折衷苗代	3月30日	5月17日	48日間	3粒
C(33圃折)	購入培土	折衷苗代	4月13日	5月17日	33日間	3粒
D(33圃折)	圃場土壌	折衷苗代	4月13日	5月17日	33日間	3粒
E(33圃畑)	圃場土壌	ハウス畑苗代	4月13日	5月17日	33日間	3粒

育苗箱には、それぞれの圃場土壌または無肥料粒状育苗培土「びわこ 1 号」（びわこ産業株式会社製）と川砂をおよそ 7:1～8:1 で混ぜ合わせたものを充填し、1 ポットに 3 粒播種した。育苗期間の違いは、播種日を異にして 2 区設定した。

また、1 ポットへの播種粒数を異にする区を設けた（第 2 表）。第 1 表の D と第 2 表の D3 は、同じものである。

第2表 試験区分Ⅱ（播種粒数の違い）

調査区	育苗土	育苗方法	播種日	本田移植日	育苗期間	播種粒数/1ポット
D1(33圃折①)	圃場土壌	折衷苗代	4月13日	5月17日	33日間	1粒
D3(33圃折③)	圃場土壌	折衷苗代	4月13日	5月17日	33日間	3粒
D5(33圃折⑤)	圃場土壌	折衷苗代	4月13日	5月17日	33日間	5粒

・調査項目

①本田移植日(5/17)に、各区の連続 10 ポット×4 反復について、出芽率・草丈・葉齢を測定した。

②K1、K2 両水田に各処理区を 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、茎数と草丈を約 2 週間おきに測定した。

③収穫後に、生育調査した全株について収量諸形質を計測した。統計処理は要因および交互作用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、または t 検定を用いた。

【試験結果および考察】

K1 水田では、各区間に収量差は見られないほど収量が少なかった（図 1）ので、以下は K2 水田についてのみ考察した。

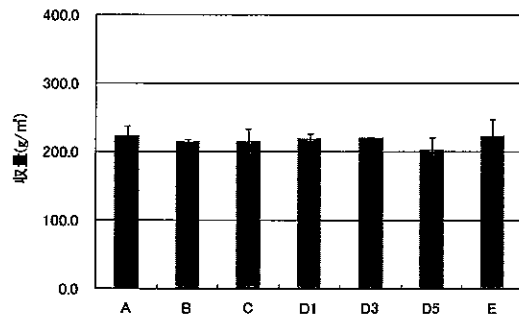


図1 K1水田の収量

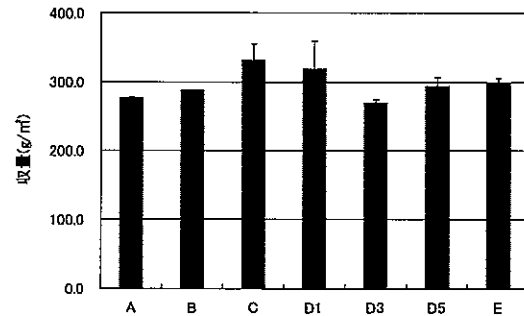


図2 K2水田の収量

育苗土・育苗期間の違いが生育・収量に及ぼす影響(A,B,C,D 比較)

第3表 収量に与える育苗土、育苗期間の影響

育苗土	圃場土壌	購入培土
育苗期間	収量 (kg/10a)	収量 (kg/10a)
48日	277.6 ±1.4	288.4 ± 1.1
33日	270.5 ±4.6	332.8 ±23.7

平均±標準偏差

2元配置分散分析

育苗期間	ns
育苗土	P<0.05
育苗期間×育苗土	ns

nsは有意差が無いことを示す。

本試験で比較した範囲では、育苗期間の違いによる収量への影響は認められなかった（第3表）。このことは、育苗期間が短い方の経済的な有利性を示していると言える。また、播種時期が遅い方が、稲の発芽適温の 30～34℃、最低温度の 10～13℃（堀江ら 2004）を満たすことが容易になると思われる（図 3）。

一方、育苗土の違いは収量へ有意に影響を及ぼした。購入培土で育苗した区の方が水田土壌で育苗した区より収量は高かった（第3表）。収量構成要素別に見ると、穂数は購入培土が多く、1穂粒数は圃場土壌が多かった（第4表）。

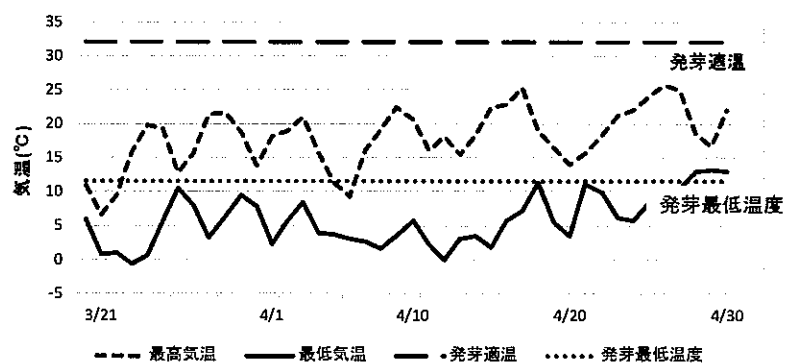


図3 滋賀県大津市の気温(2014)と発芽適温、最低温度

第4表 育苗土の違いによる収量構成要素比較

調査区	穂数(本/m ²)	1穂粒数(粒/穂)	登熟歩合(%)	1000粒重(g/粒)	精粒重(g/株)
圃場土壌(AD区)	254.2 ±55.3	73.6 ±8.1	82% ±0.1	23.6 ±0.4	22.0 ±4.9
購入培土(BC区)	279.0 ±47.3	64.4 ±5.8	85% ±0.1	23.9 ±0.4	24.5 ±5.2
有意差	*	**	ns	ns	*

平均±標準偏差

ns,*,**は検定により、それぞれ有意差なし、5%、1%水準で有意差ありを示す。

生育調査より、購入培土(B,C区)

と圃場土壌(A,D区)の茎数に差が見られはじめたのは、移植後3週目～5週目からであった(図4).33日育苗の苗は、購入培土を用いた方が、圃場土壌の苗よりも移植時に草丈、葉齢ともに有意に小さかった(第5表).一方で、購入培土で育てた苗の方が、圃場土壌で育てた場合よりも移植時には根量が多かったことが観察されていた.このように移植時に地上部が小さく、地下部が大きかったことが本田での初期生育の順調さに影響した可能性も考えられる。

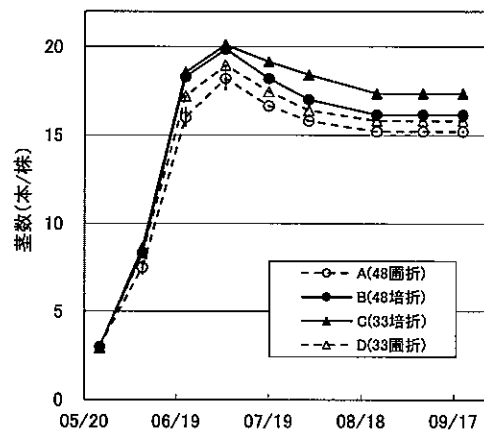


図4 茎数の推移(K2)

第5表 移植時の各区の草丈と葉齢

調査区	草丈(cm)	葉齢
A(48圃折)	10.11 ±2.92 bc	4.26 ±0.65 abcd
B(48圃折)	10.41 ±2.17 c	4.20 ±0.61 c
C(33圃折)	9.22 ±2.01 d	4.05 ±0.45 d
D(33圃折)	10.47 ±2.76 b	4.34 ±0.57 b
E(33圃畑)	10.82 ±2.54 a	4.54 ±0.55 a

平均±標準偏差

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(1%水準)で有意な差がないことを示す。

播種数の違いが生育・収量に及ぼす影響 (D1,D3,D5 比較)

播種数の違いは、生育期間中の株あたりの茎数に顕著な差(図5)を示し、穂数と1穂粒数で有意な区間差を示したが、収量に有意な差はなかった(第6表).一方で、出芽のなかったポットの割合を比較(第7表)すると、1粒播きは15%,3粒播きは1.5%,5粒播きは0%であったことから、機械田植えをした場合の補植を考慮すると、労力面から3粒播き位が適当ではないかと考えられた。

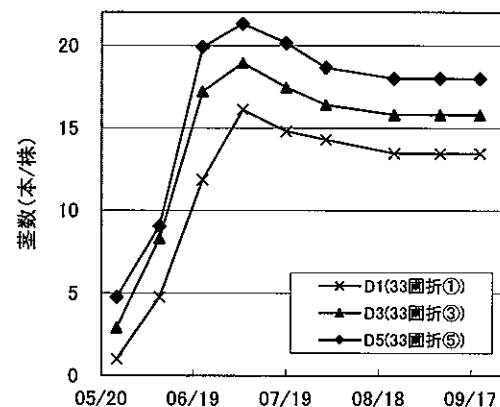


図5 茎数比較(K2)

第6表 播種数の違いによる収量構成要素比較

調査区	穂数(本/m ²)	1穂粒数(粒/穂)	登熟歩合(%)	1000粒重(g/粒)	収量(g/m ²)	精粒重(g/株)
D1(33圃折①)	226.4 ±49.5 b	81.5 ±8.6 a	89.9% ±0.0 a	24.0 ±0.5 a	319.4 ±41.3 a	25.16 ±4.5 a
D3(33圃折③)	257.6 ±54.6 ab	69.6 ±4.1 b	85.3% ±0.0 a	23.6 ±0.4 a	270.5 ± 4.6 a	21.59 ±5.2 a
D5(33圃折⑤)	294.6 ±43.7 a	57.2 ±3.0 c	89.7% ±0.0 a	24.1 ±0.3 a	294.1 ±13.7 a	23.32 ±4.6 a

平均±標準偏差

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(1%水準)で有意な差がないことを示す。

第7表 出芽のなかったポット数

区	ポット数	%
D1	6/40	15.0%
ABCDE	3/200	1.5%
D5	0/40	0.0%

育苗方法の違いが生育・収量に及ぼす影響 (D,E 比較)

水田折衷苗代とハウス畑苗代の違いは収量および主要収量構成要素に差は認められなかった (第7表)。

第7表 育苗条件の違いによる収量構成要素比較

調査区	穂数(本/m ²)	1穂粒数(粒/穂)	登熟歩合(%)	1000粒重(g/粒)	精粒重(g/株)
D(33圃折)	257.6 ±54.6	69.6 ± 4.1	85% ±0.0	23.6 ±0.4	21.6 ±5.2
E(33圃畑)	272.7 ±48.1	69.2 ±10.3	84% ±0.1	24.1 ±0.4	23.9 ±4.6
有意差	ns	ns	ns	ns	ns

平均±標準偏差

ns,*,**はt検定により、それぞれ有意差なし、5%、1%水準で有意差ありを示す。

【今後の研究課題】

今回の調査では、購入培土で育てた苗の方が圃場土壌の苗より収量が高く、それは穂数の差が影響したと考えられた。茎数の推移から、初期生育の段階で分けつが進んだ区が穂数も多くなっていた。それらの原因を解明することは今後の検討課題である。苗素質の良否は活着や生育に関係あるといわれているが、苗の長さに対する重さの割合(苗重/苗丈比)であらわされる苗の充実度(堀江ら 2004)など苗素質と育苗培土との関係なども今後の検討課題となる。また、購入培土の苗の初期生育が良かった要因として、粒状の購入培土が土壌に間隙を生じ、ポット内で根量が多くなったとも考えられたので、発根量など根の生長と育苗ポット内の土壌の間隙率との関係などを、育苗培土に混入する砂の量を変えるなどして考察することも検討してみたい。

引用文献

堀江武・鳥越洋一・山本由徳・岩間和人・国分牧衛・窪田文武 2004.新版作物栽培の基礎.社団法人農山漁村文化協会,東京.59-60,62

長谷川浩・竹内史郎・奥村俊勝 近畿大学農学部紀要,12

育苗日数および移植時期の違いが水稻の生育に及ぼす影響

(2014 年度無施肥無農薬栽培における水稻栽培比較実験)

報告者 家田善太 ・ 栗田光雄 (NPO 無肥研)

1. 実験意図・経緯

宇治市小倉に 2003 年より無施肥無農薬栽培を継続している水田がある。その一部に、滋賀県栗東市にて 1951 年より無施肥無農薬栽培を継続していた水田の表土を 2006 年に移設した区(R 水田 10a)と、従来どおり栽培している区(0 水田 25a)とを設け、水稻ベニアサヒを栽培している(2008 年度報告参照)。

供試圃場において育苗日数と移植時期を異にした試験結果(2009～2013 年)は次のようにまとめられる。

- ・成苗(40～60 日育苗)を移植する場合、育苗日数の短い方が、収量が多い傾向にあったが、これは育苗日数が 50 日を超えた場合、老苗化したことが要因の一つではないかと推察された。

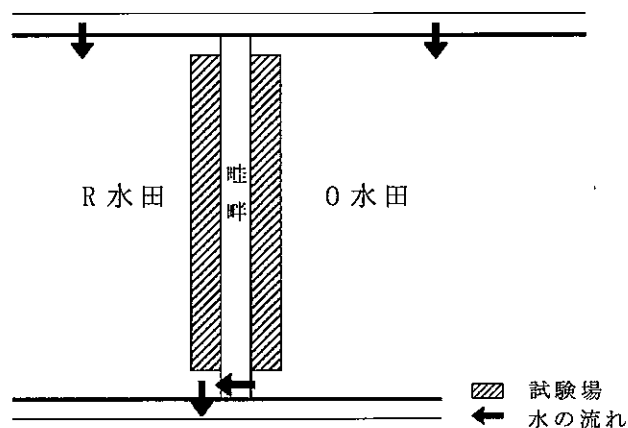
- ・本圃場で従来行われている通常の時期(6 月初め)に移植(以下晩植区)した場合よりも、半月早く移植(以下早植区)した場合の方が、穂数が少なく、一穂粒数が多く、収量が多い傾向にあった。

そこで、本年は老苗化をさけて、稚苗、中苗、成苗を移植した場合に、それぞれの移植時期において、生育および収量がどのようになるかを調査した。

2. 試験方法

0 水田と R 水田の境界の畦畔を挟んでそれぞれに幅約 2.6m、長さ約 40m にわたる試験区(1 区あたり 2.6m × 1.6m)を設けた(図 1)。

試験区には育苗日数(20, 30, 40, 50 日)と移植日(5 月 18 日と 6 月 1 日)とを、それぞれ異にする区を設けた(表 1)。なお育苗は本田で通常用いているポット育苗箱を用い、早植区



は折衷苗代、晩植区は
畑苗代でおこなった。

1 株は 3 本ずつ手植
えした。8 条 9 株を 1
区とし、3 反復した。
供試品種はベニアサヒ
を用いた。

育苗日数区間の比較
はチューキーの多重比
較検定法に、また水田
間、移植時期間の比較
は t 検定によった。

表 1. 試験区分および移植時期の苗の状態

調査区	育苗方法	播種日	移植日	育苗日数	移植時葉齢	移植時苗丈
O50早	折衷苗代	03月27日	05月18日	52日間	5.62 ± 0.09	15.03 ± 0.28
O40早	折衷苗代	04月06日	05月18日	42日間	4.67 ± 0.07	14.75 ± 0.51
O30早	折衷苗代	04月17日	05月18日	31日間	4.68 ± 0.06	13.13 ± 0.47
O20早	折衷苗代	04月27日	05月18日	21日間	4.14 ± 0.09	8.85 ± 0.42
O50晩	畑苗代	04月12日	06月01日	50日間	5.95 ± 0.06	14.95 ± 0.34
O40晩	畑苗代	04月22日	06月01日	40日間	5.34 ± 0.10	18.15 ± 0.47
O30晩	畑苗代	05月03日	06月01日	29日間	4.36 ± 0.07	18.12 ± 0.62
O20晩	畑苗代	05月13日	06月01日	19日間	3.37 ± 0.06	9.93 ± 0.25
R50早	折衷苗代	03月27日	05月18日	52日間	5.24 ± 0.09	14.03 ± 0.43
R40早	折衷苗代	04月06日	05月18日	42日間	4.68 ± 0.07	16.80 ± 0.46
R30早	折衷苗代	04月17日	05月18日	31日間	3.58 ± 0.06	12.67 ± 0.39
R20早	折衷苗代	04月27日	05月18日	21日間	3.58 ± 0.06	10.38 ± 0.34
R50晩	畑苗代	04月12日	06月01日	50日間	5.87 ± 0.08	14.90 ± 0.29
R40晩	畑苗代	04月22日	06月01日	40日間	5.57 ± 0.11	15.92 ± 0.54
R30晩	畑苗代	05月03日	06月01日	29日間	3.66 ± 0.06	11.93 ± 0.39
R20晩	畑苗代	05月13日	06月01日	19日間	3.38 ± 0.06	9.70 ± 0.39

平均±標準偏差

3. 調査項目

3-1 生育調査項目

各区 10 株(2 条×5 株)を定めて移植時に、葉齢および草丈を測定した。移植から収穫まで 1～2 週間毎に茎数、草丈および SPAD 値(ミノルタ SPAD-502 を使用)を測定した。

3-2 収量・形質調査項目

生育調査した 10 株について、収穫後に穂数、籾重および精籾重を測定した。また各区の平均的な穂数の 3 株について籾数、不稔籾数、粗玄米重、玄米重(粒径 1.8mm 以上の玄米)および玄米粒数を計測した。各区の残りの 7 株については、まとめて精籾重、粗玄米重、玄米重(粒径 1.8mm 以上の玄米)、20 g 粒数および水分率を測定した。

表 2. 精籾重についての
水田対移植時期の分散分析表

変動要因	自由度	有意差
全変動	479	
移植時期	1	*
水田	1	*
交互作用	1	ns
誤差変動	476	

ns : 有意差なし

* : 5%水準で有意差あり

4. 試験結果

精籾重について、水田、移植時期、育苗日数を因子として分散分析すると、水田と移植時期との間では水田にも、育苗期間にも、有意な差が認められた(表 2)。

表 3. 精粒重についての

水田対育苗日数の分散分析表

変動要因	自由度	有意差
全変動	479	
水田	1	*
育苗日数	3	ns
交互作用	3	ns
誤差変動	472	

ns : 有意差なし

* : 5%水準で有意差あり

また移植時期と育苗日数との間では、育苗日数に有意な差は認められなかったが、移植時期と育苗日数との間に交互作用が認められた (表 4)。

水田と育苗日数との間では、水田間には有意な差が認められたが、育苗日数には有意な差は認められなかった (表 3)。

表 4. 精粒重についての

移植時期対育苗日数の分散分析表

変動要因	自由度	有意差
全変動	479	
移植時期	1	*
育苗日数	3	*
交互作用	3	*
誤差変動	472	

ns : 有意差なし

* : 5%水準で有意差あり

水田の違い

O 水田の収量は R 水田の収量より有意に多かった。収量構成要素のそれぞれについて比較すると、穂数は O 水田が有意に多かったが、一穂粒数、登熟歩合および 1000 粒重には有意な差は認められなかった (表 5)。

表 5. 水田間の収量および収量構成要素

調査区	穂数(本/㎡)	一穂粒数(粒/穂)	登熟歩合(%)	1000粒重(g/粒)	収量(g/㎡)
O水田	229.66 ±30.52	80.67 ±7.42	95.8% ±0.9%	24.16 ±0.32	388.57 ±35.94
R水田	190.38 ±28.63	82.70 ±8.90	95.1% ±1.8%	24.02 ±0.24	327.82 ±31.65
有意差	**	ns	ns	ns	**

平均±標準偏差

ns, *, ** t 検定により、それぞれ有意差なし、5%、1%水準で有意差ありを示す。

生育期間中の茎数は早植、晩植とも O 水田の方が R 水田より常に多く推移した (図 2)。

移植時期の違い

晩植の収量は早植より有意に多かった。穂数、登熟歩合および 1000 粒重は晩植が有意に大きく、一穂粒数は早植が有意に多かった。(表 6)。

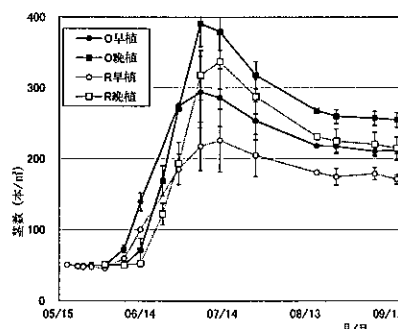


図 2. 茎数の推移(育苗日数平均)

表 6. 早晩植間の収量および収量構成要素

調査区	穂数(本/㎡)	一穂粒数(粒/穂)	登熟歩合(%)	1000粒重(g/粒)	収量(g/㎡)
早植	187.36 ±24.99	86.33 ±7.15	95.0% ±1.8%	23.88 ±0.19	338.54 ±36.77
晩植	232.67 ±29.33	77.04 ±6.35	95.9% ±0.8%	24.30 ±0.21	377.85 ±45.39
有意差	**	**	*	**	**

平均±標準偏差

ns, *, ** t検定により、それぞれ有意差なし、5%、1%水準で有意差ありを示す。

生育期間中の茎数の推移をみると、分蘗始めは早植が6月8日(移植後3週間目)、晩植が6月14日(移植後2週間目)であったが、6月下旬に早植の茎数が晩植よりも多くなり、そのまま晩植が早植よりも多く推移した(図2)。

育苗日数の違い

異なる育苗日数の間には収量に有意な差は認められず、また収量構成要素(穂数、一穂粒数、登熟歩合、1000粒重)のいずれにも、有意な差は認められなかった(表7)。

表 7. 育苗日数間の収量および収量構成要素比較

調査区	穂数(本/㎡)	一穂粒数(粒/穂)	登熟歩合(%)	1000粒重(g/粒)	収量(g/㎡)
50日育苗	208.47 ±24.05	82.68 ±6.31	95.6% ±1.1%	24.00 ±0.29	363.51 ±33.58
40日育苗	215.77 ±44.73	84.36 ±8.38	95.8% ±0.7%	24.10 ±0.26	371.52 ±62.36
30日育苗	204.69 ±34.68	80.27 ±8.15	94.9% ±2.1%	24.11 ±0.35	344.92 ±40.01
20日育苗	211.14 ±38.63	79.43 ±9.61	95.3% ±1.6%	24.15 ±0.27	352.83 ±41.90
有意差	ns	ns	ns	ns	ns

平均±標準偏差

ns, *, ** チューキーの多重比較検定により、それぞれ有意差なし、5%、1%水準で有意差ありを示す。

育苗日数と水田との間に交互作用が認められたので、水田および移植時期別に、収量および収量構成要素のそれぞれについて、育苗日数間で比較した(表8)。

表 8. 水田、移植時期別の収量および収量構成要素

水田と移植時期	調査区	穂数(本/㎡)	一穂粒数(粒/穂)	登熟歩合(%)	1000粒重(g/粒)	収量(g/㎡)
O水田 早植栽培	O50早	200.34 ±14.38 a	86.22 ±0.73 a	95.9% ±0.2% a	23.80 ±0.26 a	364.82 ±15.90 a
	O40早	193.60 ±1.68 a	89.58 ±2.65 a	95.6% ±1.0% a	23.98 ±0.18 a	358.46 ±39.01 a
	O30早	218.29 ±2.57 a	81.08 ±2.39 a	94.8% ±1.2% a	23.91 ±0.22 a	368.08 ±13.61 a
	O20早	216.05 ±16.35 a	80.61 ±7.86 a	95.1% ±1.7% a	24.01 ±0.16 a	369.77 ±26.64 a
O水田 晩植栽培	O50晩	235.69 ±20.69 b	82.04 ±4.38 a	95.9% ±0.6% a	24.26 ±0.27 a	403.15 ±17.14 b
	O40晩	273.85 ±7.96 a	77.13 ±5.21 a	96.4% ±0.1% a	24.41 ±0.13 a	456.86 ±5.97 a
	O30晩	241.30 ±28.47 ab	75.83 ±5.48 a	96.1% ±0.9% a	24.48 ±0.27 a	384.61 ±39.53 b
	O20晩	258.14 ±30.69 ab	72.86 ±12.01 a	96.2% ±0.4% a	24.45 ±0.33 a	402.78 ±14.30 b
R水田 早植栽培	R50早	181.82 ±9.37 a	86.82 ±6.37 a	94.7% ±1.7% a	23.76 ±0.12 a	326.75 ±31.72 a
	R40早	165.54 ±22.98 a	93.02 ±6.99 a	95.5% ±0.6% a	23.86 ±0.19 a	304.44 ±31.52 a
	R30早	159.37 ±16.61 a	90.83 ±2.11 a	93.5% ±4.1% a	23.78 ±0.22 a	312.13 ±37.64 a
	R20早	163.86 ±7.96 a	82.47 ±13.89 a	94.4% ±2.4% a	23.95 ±0.19 a	303.88 ±16.16 a
R水田 晩植栽培	R50晩	216.05 ±9.86 ab	75.66 ±6.27 a	96.1% ±1.1% a	24.17 ±0.01 a	359.31 ±15.34 ab
	R40晩	230.08 ±22.86 a	77.71 ±2.23 a	95.5% ±0.4% a	24.16 ±0.18 a	366.33 ±29.46 a
	R30晩	199.78 ±15.64 b	73.34 ±5.60 a	95.3% ±0.6% a	24.30 ±0.19 a	314.84 ±20.44 b
	R20晩	206.51 ±14.12 ab	81.78 ±4.53 a	95.5% ±1.8% a	24.19 ±0.09 a	334.89 ±15.15 ab

平均±標準偏差

各比較群ごとに、チューキーの多重比較検定(5%水準)をおこなった。

数字のあとの同じアルファベットは、各項目について有意な差がないことを示す。

早植では O, R 両水田とも、全ての項目で有意な差が認められなかった。

晩植では O, R 両水田とも、収量と穂数について有意な差が認められた。

O 水田、R 水田とも 40 日育苗区が他の育苗日数区よりも、分蘖開始直後の 6 月 14 日に茎数、草丈および SPAD 値が有意に大きかった。その後も茎数および草丈は、大きいまま推移した。収量も 40 日育苗区が他の区よりも有意に多かった(図 3~8)。

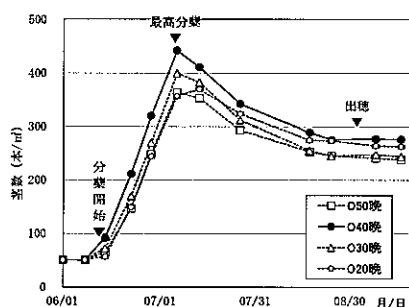


図 3. 茎数の推移 (O 水田晩植)

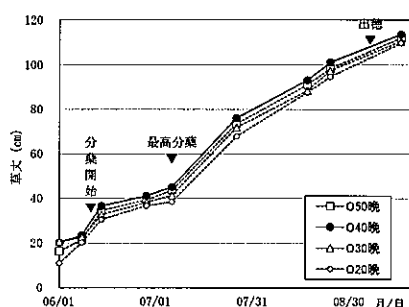


図 4. 草丈の推移 (O 水田晩植)

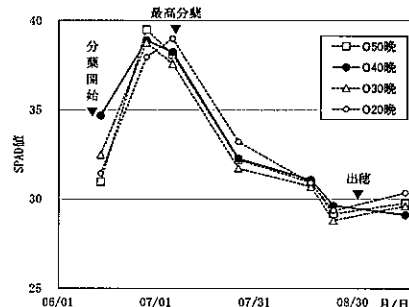


図 5. SPAD 値の推移 (O 水田晩植)

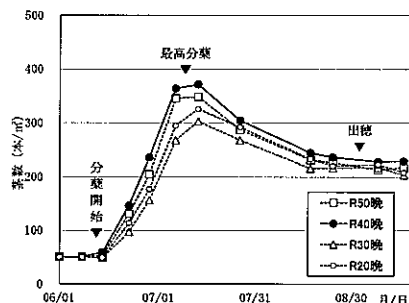


図 6. 茎数の推移 (R 水田晩植)

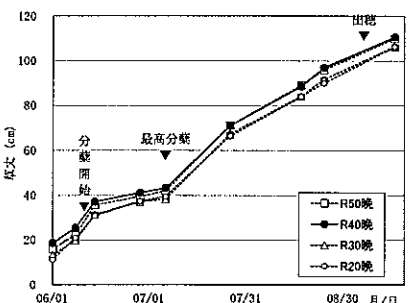


図 7. 草丈の推移 (R 水田晩植)

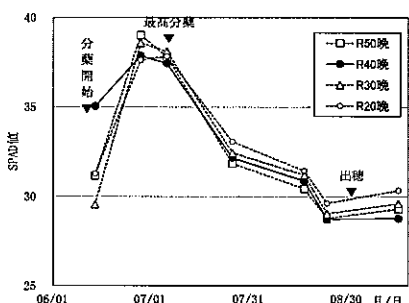


図 8. SPAD 値の推移 (R 水田晩植)

5. まとめ

例年同様に晩植は早植よりも穂数が多く、一穂粒数が少なかったが、収量は例年とは異なり晩植の方が多かった。さらに早植の方が晩植よりも、登熟歩合および 1000 粒重が有意に少なかった(表 6)ことから、本年は生育後期に、早植で十分な養分吸収が、おこなわれなかったのではないかと考えられた。

また育苗日数は、40 日の成苗が適当であることが示された。

長期無施肥無農薬水田における土壌養分動態およびイネの養分吸収

—2014 年の調査結果—

多田羅翔子¹⁾・本間香貴¹⁾・栗田光雄^{1,2)}・小林正幸²⁾・白岩立彦¹⁾

¹⁾京都大学大学院農学研究科・²⁾NPO 無施肥無農薬栽培調査研究会

NPO 無施肥無農薬栽培調査研究会（無肥研）が管理する水田は、無施肥でありながら長年 3t ha^{-1} 前後の収量を保っている。しかし長期無施肥水田の生産を支える基礎となる窒素、リン、カリウムなどの各種養分の動態に関する情報は少なく、複数の無肥研管理水田において収量が維持されている要因については未解明の部分が多い。

イネは土壌から直接養分を吸収するのではなく、主に土壌の液相部分、すなわち土壌溶液から養分を吸収する。従って、土壌や灌漑水からの養分供給は土壌溶液を介して行われる。そのため、土壌溶液中の養分濃度変化を測定することにより、圃場における養分動態が評価できると考えられる。

そこで本研究では長期無施肥無農薬水田において、土壌や灌漑水に加え土壌溶液分析を行うことにより養分動態を評価するとともに、稲体の養分吸収に与える影響を解析した。

【材料および方法】

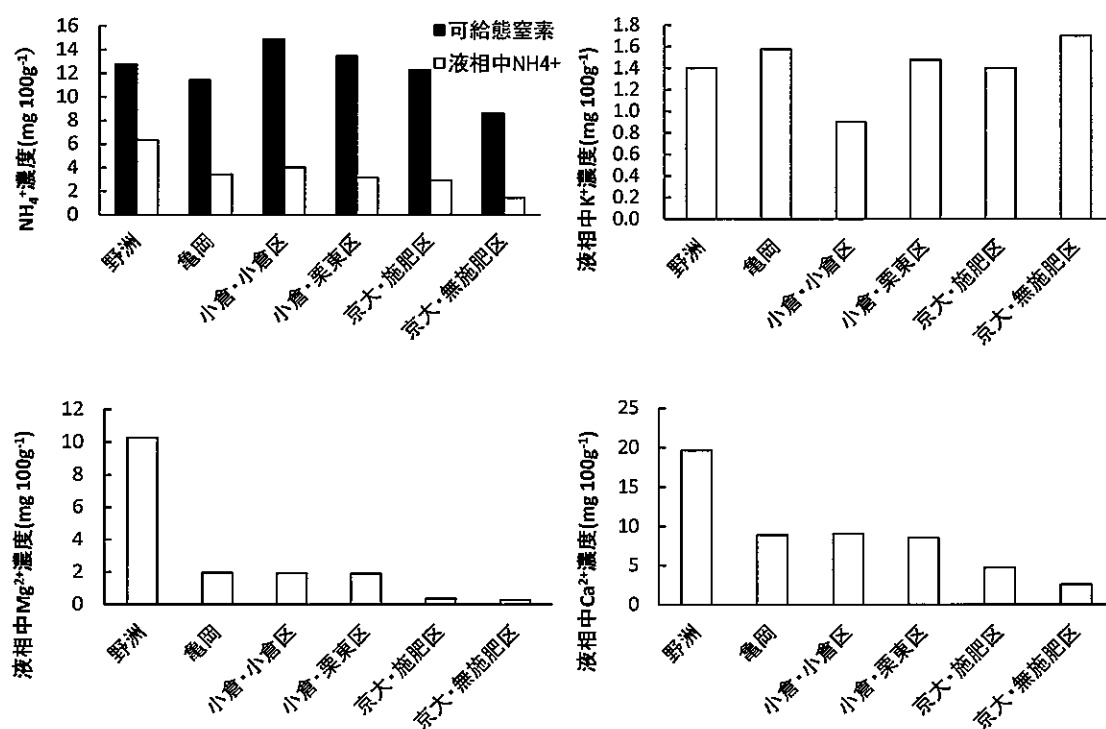
無肥研が管理する野洲圃場、亀岡圃場、小倉圃場（小倉区、栗東区）で調査を行い、京都大学農学部附属京都農場（京大圃場）を比較対照とした。野洲圃場は2003年、亀岡圃場は1993年、小倉圃場小倉区は2003年より無施肥無農薬栽培を行っている。小倉圃場栗東区では、滋賀県栗東市にて1951年より無施肥無農薬栽培を行っていた水田の表土を2006年に客土し、以後無施肥無農薬栽培を継続している。野洲圃場と亀岡圃場では秋の詩、小倉圃場ではベニアサヒを栽培し、京大圃場では秋の詩とベニアサヒの両品種を栽培した。いずれの試験区でも無肥研で自家採種されている種子を供試した。移植は野洲圃場では5月20日、亀岡圃場では5月17日、小倉圃場では5月25日、京大圃場では6月5日に行った。栽植密度は野洲圃場、亀岡圃場、小倉圃場では条間33cm、株間18cm (16.8株 m^{-2})とし、京大圃場では条間30cm、株間15cm (22.2株 m^{-2})とした。京大圃場では緩効性肥料を施用した施肥区 ($\text{N}:7\text{g m}^{-2}$ $\text{P}:5.5\text{g m}^{-2}$ $\text{K}:6.5\text{g m}^{-2}$) と無施肥区を設けた。

栽培前（京大圃場の施肥区は施肥前）の土壌を採取し 30°C 4週間の湛水培養を行った。培養後の湛水土壌の上澄液を採取し、 NH_4^{+} 、 K^{+} 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 濃度を測定した。培養後の土壌に塩化カリウム溶液を加えてろ過した溶液中の NH_4^{+} 濃度を測定し、土壌の可給態窒素量とした。また、1週間ごとに土壌溶液、灌漑水および灌漑排水を採取し、養分濃度 (NH_4^{+} 、 NO_3^{-} 、 PO_4^{3-} 、 K^{+} 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 、 SiO_2) を測定した。さらに、移植3, 6, 9週間後、出穂期、成熟期の計5回植物体地上部を採取し、乾物重およびN, P, K, Mg, Ca, Si吸収量を測定した。加えて成熟期には各圃場で10株×3地点の植物体を採取し収量を測定した。

【結果および考察】

湛水培養による土壌養分評価

土壌の湛水培養後における液相中の養分濃度および可給態窒素量を第1図に示す。培養後の土壌の可給態窒素量は無肥研圃場と京大圃場で同程度であったが、液相中の NH_4^+ 濃度は無肥研圃場で高く、京大圃場で低い傾向にあった。すなわち、無肥研圃場では湛水培養により無機化された窒素量に対して液相中に移動する NH_4^+ の割合が多かった。また、培養後の液相中の Mg^{2+} 濃度と Ca^{2+} 濃度はどちらも野洲圃場で高く、京大圃場で低かった。

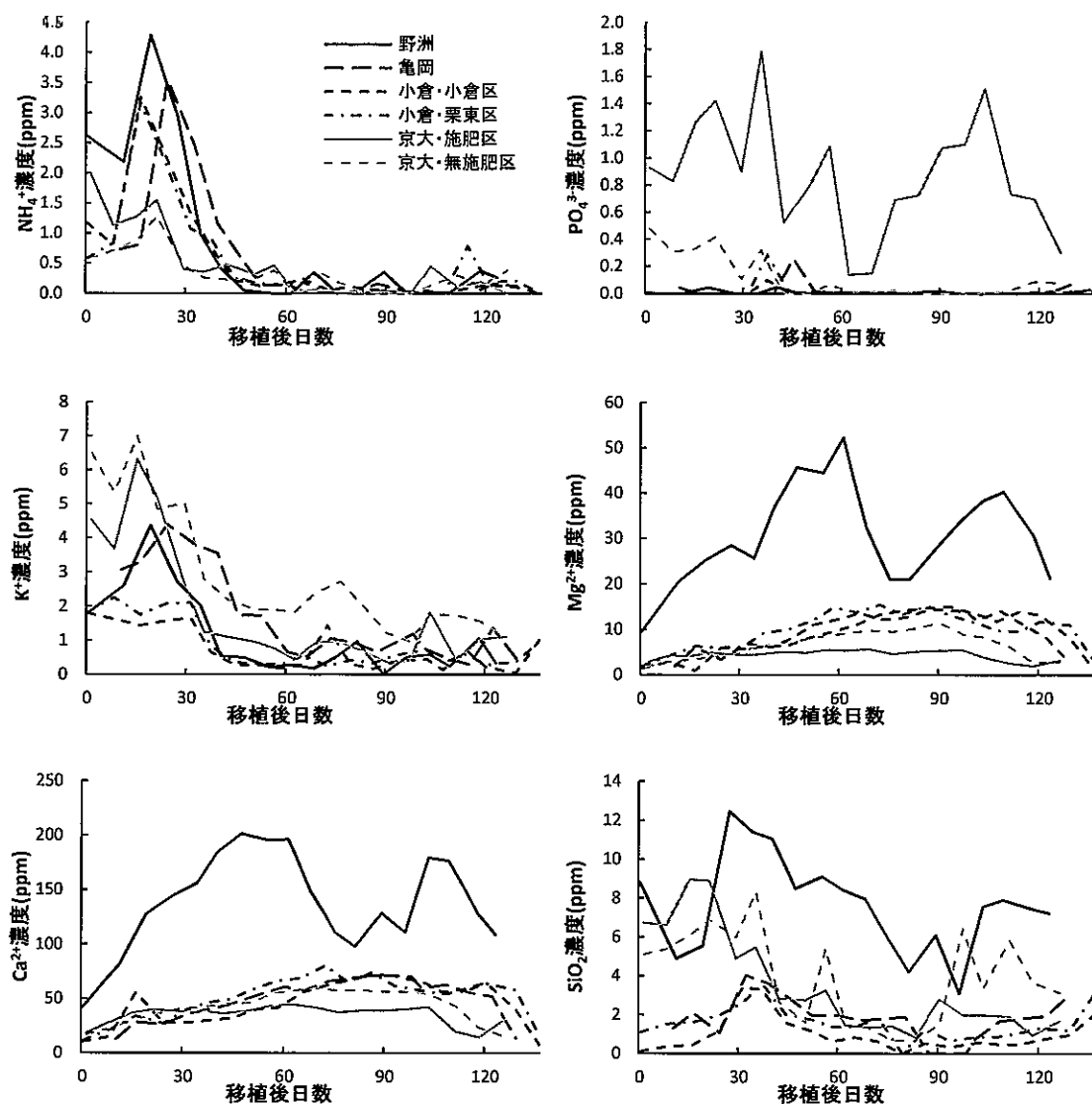


第1図 土壌の湛水培養（30℃4週間）後における液相中の NH_4^+ 、 K^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 濃度および可給態窒素量

土壌溶液、灌漑水および灌漑排水の養分濃度

生育期間における土壌溶液中の NH_4^+ 、 PO_4^{3-} 、 K^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 濃度の推移を第2図に示す。土壌溶液中の NH_4^+ 濃度は移植後増加し、移植後3週目を境に減少した。移植後3週目までの平均 NH_4^+ 濃度は京大圃場に比べ無肥研圃場で高かった。なお NO_3^- は生育期間を通じて検出されなかった。 PO_4^{3-} は、京大圃場の施肥区では生育期間を通じて検出されたが、無施肥区では移植後減少した。無肥研圃場では生育期間を通じてほぼ検出されなかった。 K^+ 濃度は京大無施肥区、施肥区、亀岡圃場の順で高く、すべての圃場で移植後減少する推移を示した。 Mg^{2+} 濃度と Ca^{2+} 濃度はすべての圃場で生育前半ゆるやかに増加し、生育後半にかけて減少した。 SiO_2 濃度はすべての圃場で移植後増加し、移植約30日後以降減少した。 Mg^{2+} 濃度、 Ca^{2+} 濃度、 SiO_2 濃度に関しては、野洲圃場が他の圃場と比べて著しく高かった。

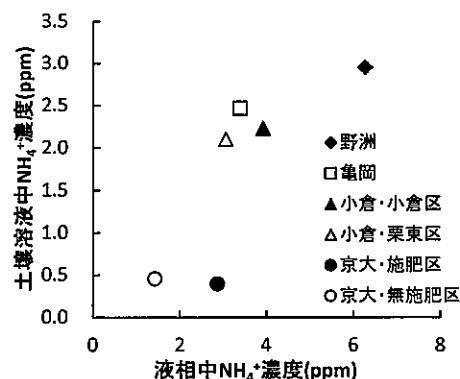
灌漑水中の養分濃度は概して野洲圃場で高く、京大圃場で低かった。無肥研圃場では灌漑水をかけ流しにして栽培を行っているため、灌漑水中の養分濃度と排水中の養分濃度を比較した。NH₄⁺では両者がほぼ等しかったが、PO₄³⁻、K⁺、Mg²⁺、Ca²⁺、SiO₂では灌漑水が上回る傾向にあり、これらの養分は灌漑水から供給されていることが示唆された。



第2図 土壌溶液中 NH₄⁺、PO₄³⁻、K⁺、Mg²⁺、Ca²⁺、SiO₂ 濃度の推移

土壌と土壌溶液との関係

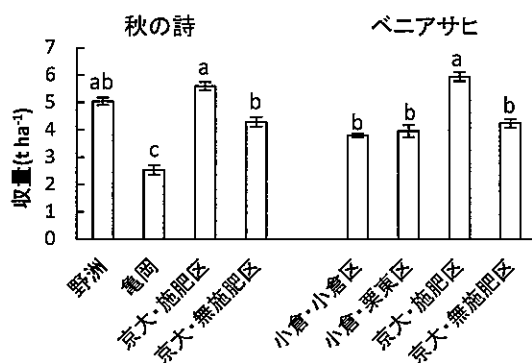
土壌の湛水培養後における液相中の養分濃度と移植4週間後の土壌溶液中の養分濃度との関係調べたところ、 NH_4^+ （第5図）、 K^+ 、 Mg^{2+} では両者が正の関係を示した。窒素に関しては、無肥研圃場と京大圃場で土壌中の可給態窒素量に大きな差は見られなかったため（第1図）、無肥研圃場の土壌は可給態窒素量が液相中に移動しやすいという特性を持っており、そのことが土壌溶液の推移に反映されていると考えられた。これらの養分とは異なり、 Ca^{2+} では両者の間に関係は見られなかったpHや他の養分とのバランスや、灌漑水の影響などが考えられる。



第5図 湛水培養後の土壌の液相中の NH_4^+ 濃度と移植約4週間後の土壌溶液中の養分濃度との関係

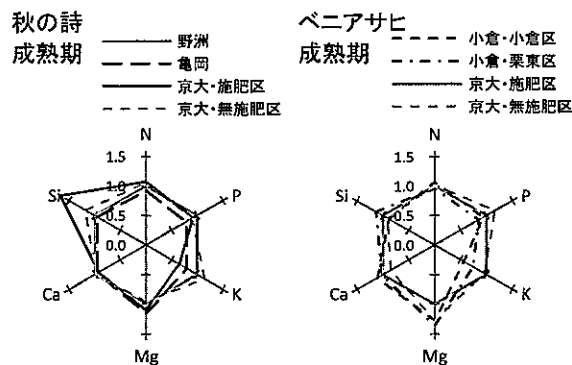
稲体の収量および養分吸収量

本年度調査した無肥研圃場の収量は、亀岡圃場を除き京大圃場の無施肥区と同等であった（第3図）。第4図に成熟期における植物体内のN, P, K, Mg, Ca, Si濃度を示す。植物体内の養分濃度に関しては、京大圃場に比べて無肥研圃場でK濃度が低くなる傾向があったが、N, P, Mg, Caでは大きな差は見られなかった。Si濃度は野洲圃場で著しく高く、他の無肥研圃場では京大圃場と同等であった。これらの結果から、本年度の無肥研圃場のイネ植物体にK以外の養分の大きな不足はなく、生育も京大圃場の無施肥区とほぼ同等であったといえる。



第3図 各圃場における収量

誤差線は標準誤差を示し（ $n=3$ ），同一符号は5%水準で有意差がないことを示す（Tukey法による多重比較，品種別）。



第4図 成熟期における植物体内のN, P, K, Mg, Ca, Si濃度（左：秋の詩 右：ベニアサヒ）

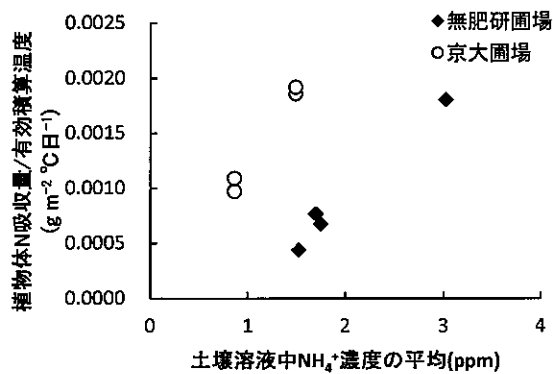
それぞれ上から移植3週間後，移植6週間後，移植9週間後，出穂期，成熟期を示す。数値は京大施肥区における養分濃度を1とした場合の相対値を示す。

土壌溶液と稲体の養分吸収量との関係

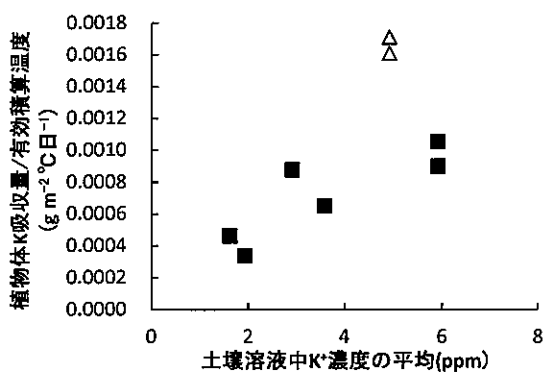
無肥研圃場の植物体の乾物重および収量は京大圃場の無施肥区とほぼ同等であったが、これは無肥研圃場における土壌溶液中養分濃度の高さを必ずしも反映していなかった。

土壌溶液中の養分濃度と植物体地上部の養分吸収速度との関係を調べた。窒素では、無肥研圃場と京大圃場で大きく異なったものの、それぞれにおいては移植から移植後3週間までの土壌溶液中の NH_4^+ 濃度と植物体の吸収量との間に関係性がみられた (第6a図)。カリウムでは、京大施肥区を除き、生育前半において土壌溶液中の K^+ 濃度が高い圃場で稲体の K 吸収量が大きくなる傾向があった (第6b図)。ケイ素もカリウムと同様に、生育前半において土壌溶液中の SiO_2 濃度と稲体の SiO_2 吸収量との間に正の関係がみられた。一方、リン、マグネシウム、カルシウムでは土壌溶液中の養分濃度と植物体の養分吸収量との間に関係はみられなかった。土壌溶液を指標として植物体の養分吸収を評価するには、地温の影響や土壌溶液を介さない養分吸収を考慮する必要があると考えられる。

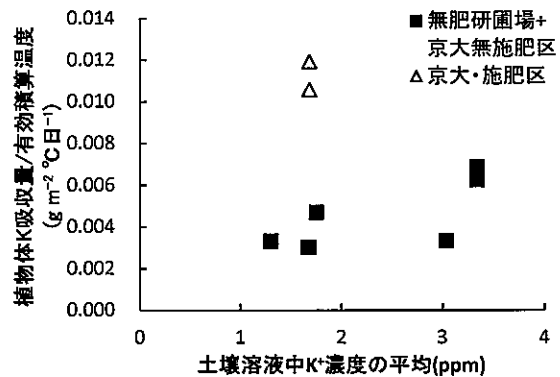
(a)N (移植～移植3週間後)



(b-1) K (移植～移植3週間後)



(b-2) K (移植3週間後～移植6週間後)



第6図 土壌溶液中養分濃度と植物体の養分吸収量/有効積算温度の値との関係

【まとめ】

本年度の無肥研管理水田の収量は亀岡圃場を除いて京大圃場の無施肥区と同等であり、植物体内の養分濃度も K 以外の不足はみられなかった。長年にわたり無施肥栽培を永続しているにも関わらず、収量の減少や植物体の養分欠乏がほぼ起こっていないのは、土壌および土壌溶液の養分濃度が比較的高いことや、灌漑水をかけ流しにして栽培することにより養分が継続して供給されることに起因していると推測される。特に本年度調査した無肥研圃場の中で最も収量が高かった野洲圃場では、土壌、灌漑水、土壌溶液の養分濃度がすべて高い傾向にあり、これらの高い養分供給力が収量の高さに寄与していることが示唆された。

また、各圃場の土壌と土壌溶液との関係、および土壌溶液と植物体との関係を調べたところ、培養法による土壌評価値と土壌溶液中養分濃度との間には対応がみられたが、土壌溶液中養分濃度と植物体の養分吸収量との間には対応がみられない部分が多かった。無肥研圃場では移植直後に土壌溶液中に供給される窒素の吸収効率が低く、このことは逆に栽培法の工夫により収量の増加が可能であることを示していると考えられた。

今後さらに土壌環境と植物体の養分吸収の関係を解析するために、土壌溶液中の養分動態や土壌および灌漑水からの養分供給量に加えて、植物体の能動的な影響あるいは土壌溶液を介さない養分吸収などを検討していく予定である。

無施肥無農薬栽培水田における土壌とかんがい水が 収量形成に及ぼす影響(第3報)

報告者 伊吹克也・家田善太・栗田光雄（無肥研）

1. 緒言

無施肥無農薬栽培は化学肥料・農薬類はもとより有機質も人為的に使用せず、自然界の天然供給物と灌水のみによる栽培である。したがって、稲に吸収される養分はかんがい水によって水田の外部から運ばれて来るものか、水田内の土壌から供給される養分のいずれかと考えられる。

長谷川ら（1979）は無施肥無農薬栽培を長期継続していた栗東市の水田（以下、栗東水田という）の水口に近い稲ほどかけ流し栽培によってかんがい水から吸収できる養分量は多いと考えた。一方で、同水田の水尻部での玄米収量が多かったのは、かんがい水によって本田内に搬入されたものではなく、栽培期間中に易分解性有機物あるいは除草作業中に放出された土壌養分が、かんがい水の流れによって水尻部に集まったことに起因すると推察した。

2006年に栗東水田の表土を宇治市小倉の圃場に移設し（以下、R水田という。）、表土を移設していない隣接圃場（以下、O水田という）とを用いて2011年よりR・O両水田の水口・中央・水尻部におけるかんがい水と土壌の水稻収量に及ぼす影響をポットを用いて調査してきた。

本報は3年目の試験結果をまとめたものである。

2. 実験方法

ポット（1/2000a）にR水田、O水田それぞれの水口、中央、水尻の表層土（0～15cm）ならびに川砂を充填し、それぞれR_i区、R_c区、R_o区、O_i区、O_c区、O_o区、S_d区とし、R水田、O水田それぞれの水口、中央、水尻 合計6箇所に設置した（図1）。ポットは縁が田面と同じ高さになるように埋設した。川砂は養分の溶出はなく、かんがい水のみの影響を受けると仮定した。ある地点のかんがい水の養分量は水田に取り入れられるまでに含んでいた養分と水田内で土壌から放出された養分の和と土壌に蓄積された養分の差で表わされると仮定した。

各設置場所にR_iからO_oの水田土壌を充填し

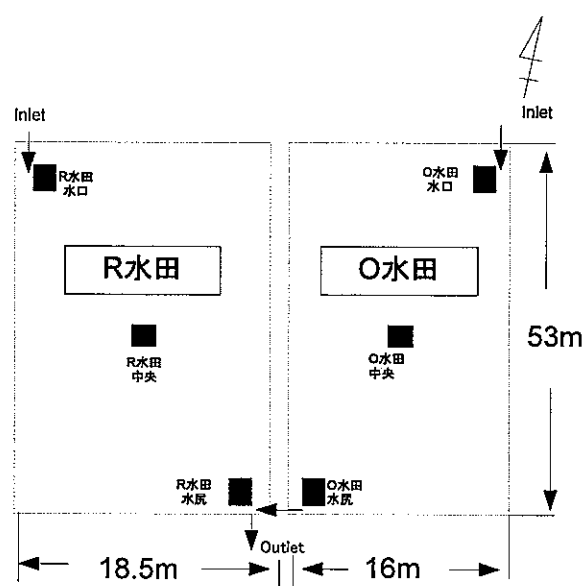


図1:ポット設置場所

たポットは2反復，Sd区は3反復ずつ計15ポットを設置した．供試品種はベニアサヒで，ポット育苗箱に播種し，ハウスで養生したのち，各ポットに1株3本ずつ手植えた．

ポット設置場所付近の地温を2時間おきに記録した．

また，茎数，草丈，SPAD値（ミノルタ SPAD-502 を使用），ポット設置場所および水路のかんがい水の EC 値（HORIBA B-173 EC メータを使用）を2週間おきに測定した．

収穫後にはポット毎に次の収量構成要素を計測した．

（地上部）穂数，稈長，穂長，籾重，籾数，不稈籾数，

玄米重（粒厚 1.8mm 以上の玄米），玄米千粒重，水分率

（地下部）根重（水で洗い出したのち，48 時間 70℃にて乾燥後の乾重）

処理区間の比較には分散分析およびチューキーの多重比較検定を用いた．

3. 実験結果および考察

3-1 栽培経過

供試品種	ベニアサヒ
播 種	4 月 6 日
育 苗	ポット育苗箱に播種，折衷苗代に置床・湛水
移 植	5 月 25 日
水管理	常時湛水状態を維持，7 月 20 日よりかけ流し
出 穂	8 月 27 日ごろ
水切り	9 月 27 日

無施肥無農薬栽培開始年 2003 年（R 水田表土は 1951 年）

7 月中旬ごろに R・O 両水田の水尻部において，排水路を挟んだ隣接放置園で行われた除草処理の影響と思われる生育不良がみられた．

3-2. 栽培土壌および栽培位置が水稻の収量および収量構成要素に及ぼす影響

R・O 水田の栽培位置および栽培土壌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二元配置分散分析を行った（表 1）．なお，Sd 区を除いて統計処理をした．

栽培土壌の区間には，収量および収量構成要素に有意な差はなかった．

栽培位置の区間には，収量では有意な差はなかったが，穂数，1 穂籾数および 1000 粒重に有意な差が認められた．それぞれに交互作用はなかった．

表 1 栽培土壌および栽培位置に違いよる収量構成要素に及ぼす影響

栽培位置	栽培土壌	玄米重(g/pot)		穂数(本/pot)		1穂粒数(個/本)		1000粒重(g)	
R水口部	R水口土壌	16.06	± 2.14	10.0	± 0.0	73.6	± 6.5	24.4	± 0.2
	R中央土壌	14.73	± 0.52	10.5	± 0.5	64.1	± 6.1	24.7	± 0.2
	R水尻土壌	13.99	± 1.16	11.5	± 1.5	57.3	± 0.7	24.3	± 0.3
	O水口土壌	14.70	± 0.71	10.5	± 0.5	65.9	± 4.6	24.1	± 0.0
	O中央土壌	15.39	± 1.19	10.0	± 1.0	75.2	± 13.1	24.0	± 0.1
	O水尻土壌	16.08	± 2.06	13.0	± 0.0	65.0	± 8.1	23.9	± 0.1
R中央部	R水口土壌	14.45	± 1.53	10.5	± 0.5	68.8	± 7.7	24.1	± 0.7
	R中央土壌	15.78	± 4.54	10.5	± 1.5	66.3	± 11.5	24.1	± 0.0
	R水尻土壌	15.07	± 4.23	11.5	± 0.5	65.2	± 17.7	23.4	± 0.2
	O水口土壌	12.57	± 1.92	11.5	± 1.5	54.4	± 1.5	24.2	± 0.4
	O中央土壌	14.43	± 0.82	10.5	± 0.5	62.8	± 5.6	24.0	± 0.4
	O水尻土壌	14.86	± 0.84	13.0	± 1.0	52.9	± 6.0	23.8	± 0.1
R水尻部	R水口土壌	18.72	± 2.86	17.5	± 2.5	53.4	± 0.0	24.8	± 0.1
	R中央土壌	12.90	± 3.01	17.0	± 3.0	39.3	± 1.7	24.4	± 0.2
	R水尻土壌	14.52	± 0.52	15.5	± 0.5	49.4	± 0.8	24.1	± 0.1
	O水口土壌	15.22	± 3.47	13.0	± 2.0	61.5	± 3.4	25.1	± 0.0
	O中央土壌	16.05	± 1.83	22.0	± 1.0	37.8	± 5.5	23.8	± 0.7
	O水尻土壌	19.05	± 5.11	18.0	± 6.0	54.2	± 3.0	24.4	± 0.2
O水口部	R水口土壌	15.94	± 0.82	11.0	± 0.0	67.8	± 3.7	25.0	± 0.2
	R中央土壌	12.09	± 0.51	9.0	± 0.0	69.8	± 0.1	24.3	± 0.2
	R水尻土壌	14.31	± 1.74	10.5	± 0.5	66.0	± 8.0	24.6	± 0.1
	O水口土壌	14.77	± 2.13	9.0	± 0.0	76.0	± 13.0	24.9	± 0.4
	O中央土壌	18.76	± 2.86	10.0	± 0.0	84.6	± 12.9	25.0	± 0.3
	O水尻土壌	16.41	± 0.86	10.0	± 0.0	77.9	± 6.4	24.6	± 0.0
O中央部	R水口土壌	12.31	± 1.78	11.0	± 0.0	58.7	± 1.4	23.7	± 0.1
	R中央土壌	14.43	± 0.53	8.5	± 0.5	80.0	± 8.7	24.4	± 0.3
	R水尻土壌	13.20	± 1.64	12.5	± 0.5	61.4	± 11.0	23.4	± 0.0
	O水口土壌	14.14	± 1.77	11.0	± 1.0	60.5	± 3.2	24.5	± 0.2
	O中央土壌	12.41	± 0.36	10.5	± 0.5	58.9	± 0.9	24.0	± 0.1
	O水尻土壌	13.23	± 1.20	9.5	± 0.5	67.4	± 7.6	24.4	± 0.0
O水尻部	R水口土壌	14.62	± 0.26	14.0	± 1.0	48.4	± 1.2	24.2	± 0.2
	R中央土壌	15.49	± 3.61	14.5	± 3.5	52.3	± 2.4	24.4	± 0.1
	R水尻土壌	15.94	± 1.63	14.0	± 2.0	54.0	± 1.2	24.5	± 0.2
	O水口土壌	14.59	± 0.19	16.5	± 3.5	44.3	± 8.1	24.3	± 0.1
	O中央土壌	16.64	± 0.07	15.0	± 1.0	51.7	± 1.5	24.3	± 0.1
	O水尻土壌	15.47	± 0.80	15.0	± 2.0	53.4	± 5.8	24.5	± 0.3
分散分析	栽培位置	n.s.		* *		* *		* *	
	栽培土壌	n.s.		n.s.		n.s.		n.s.	

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

3-3. 栽培位置の違いが水稻の収量および収量構成要素に及ぼす影響

表 2 小倉水田における収量構成要素へのかんがい水の影響

栽培位置	玄米重(g/pot)	穂数(本/pot)	1穂粒数(個/本)	登熟歩合(-)	1000粒重(g)	全乾物重(g/pot)	収穫指数HI(-)
R水田水口部	15.16 a	10.9 b	66.8 a	0.97 a	24.2 ab	45.2 a	0.336 a
R水田中央部	14.53 a	11.3 b	61.7 ab	0.95 a	23.9 b	47.8 a	0.303 bc
R水田水尻部	16.08 a	17.2 a	49.3 c	0.94 a	24.4 ab	50.1 a	0.319 ab
O水田水口部	15.38 a	9.9 b	73.7 a	0.96 a	24.7 a	45.7 a	0.335 a
O水田中央部	13.29 a	10.5 b	64.5 a	0.96 a	24.1 b	46.3 a	0.289 c
O水田水尻部	15.46 a	14.8 a	50.7 bc	0.94 a	24.4 ab	45.4 a	0.342 a

各地点から採取した土壌を充填したポット(1/2000 a)をR, O両水田の水口, 中央, 水尻部に2ポットずつ設置した。それぞれのポットに水稻(ベニアサヒ)の苗を1株3本植えた。

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。

両田とも水尻部は他の場所より穂数で有意に多く, 1穂粒数で有意に少なかった。収量は有意な差ではないが, 水尻・水口>中央の傾向がみられた。穂数は, 水尻>中央・水口の順に多く, 1穂粒数は, 水口>中央>水尻の順に多かった。1000粒重は両水田中央部が軽く, 収穫指数も両水田の中央部が有意に小さかった。

3-3-1. 栽培位置の違いが水稻の生育に及ぼす影響

R水田, O水田とも水尻部の草丈は他より低く推移したが, 後期にはその差は縮まった(図2)。R水田水尻部の茎数は生育初期の増加ペースが緩やかであったものの, 増加が他よりも長く続き, 無効分げつも少なかったことで最終的には他よりも多かった。O水田水尻部の茎数は生育初期から増加が顕著で他よりも長く続き, 後期に茎数は減少したが, 最終的にはR水田水尻部に次いで多かった(図3)。両水田水尻部のSPAD値は他より高く推移し, 生育後期まで養分供給が継続していたことが示唆された(図4)。

これらの効果は本年の水尻部における事故が何らかの影響をもたらした可能性もあり, 今後さらに検討する必要がある。

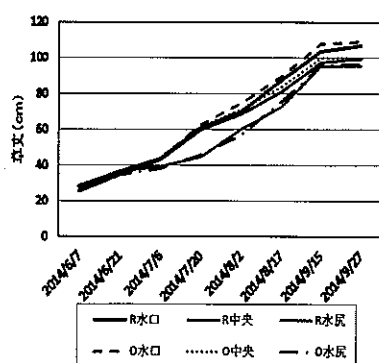


図 2: 栽培位置ごとの草丈の推移

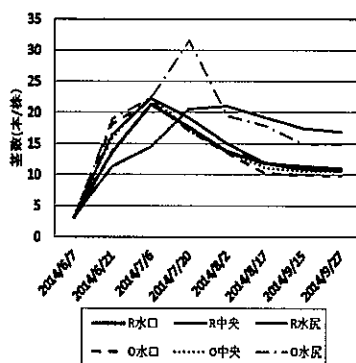


図 3: 栽培位置ごとの茎数の推移

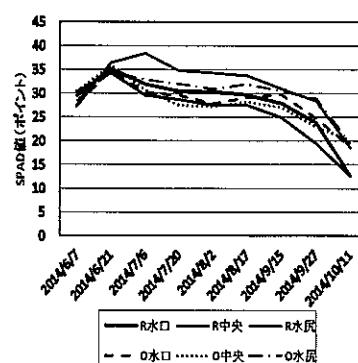


図 4: 栽培位置ごとの SPAD 値の推移

3-3-2. かんがい水の圃場内位置が EC 値に及ぼす影響

EC（電気伝導度）は溶液中の色々な種類のイオン量を電気の通りやすさで示すものであり、この測定値を水の養分の一つの指標として捉えた。EC 値が減少しているということは、水田内でかんがい水の養分が、土壌や稲に蓄積・吸収されていったものと考えることができる。

R・O 両水田とも水口部＞中央部・水尻部の順に EC 値が大きい傾向がみられるが、O 水田の方がその差が大きかった。8 月 17 日以降 O 水口部の EC 値が大きかった（ $180\sim 210\ \mu\text{S}/\text{cm}$ ）が、その時のかんがい水の水路の EC 値は $115\sim 131\ \mu\text{S}/\text{cm}$ であったことから、O 水田の水口付近に何らかの異物の混入があったのではないかと考えられた。O 水田の中央部、水尻部の EC 値は水路の EC 値より低かった。（図 5）

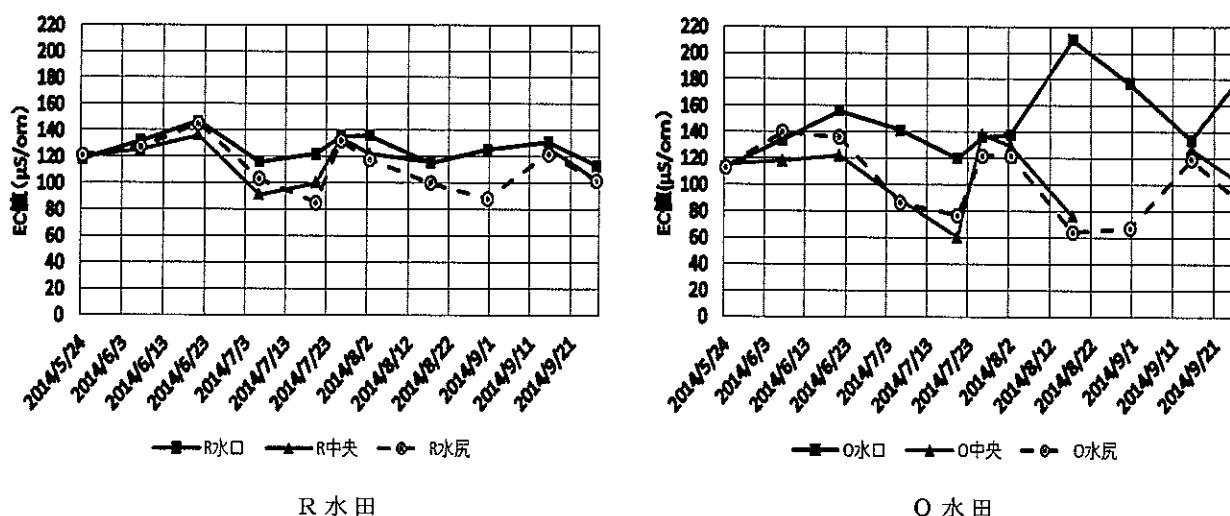


図 5：小倉水田の各測定地点におけるかんがい水の EC 値の推移

注）8/31 は出穂期のため中央部は測定していない。

3-3-3. 栽培位置別の地温

生育初期の R・O 両水田水尻部の最高地温は他より平均で 2°C 程度、最大で 5.5°C 低く推移した。水口部の最高地温は 7 月下旬ごろより 8 月上旬まで他より低く推移した。これは 7 月 20 日にかけて流しを開始した影響と考えられる。8 月上旬から 9 月上旬にかけて差はあまり見られなかったが、9 月上旬以降は水尻部が再び他より低い状態が収穫まで続いた（図 6）。

また、総じて R 水田の地温が O 水田の地温よりも平均 $0.2\sim 0.4^{\circ}\text{C}$ 高く推移し、中央部のかい離が最も大きかった。このような地温の違いが、地上部の被覆の影響によるものか、土壌の特質によるものか、またその差が稲の生育、収量にどのような影響をもたらしたかなど検討を加える必要がある。

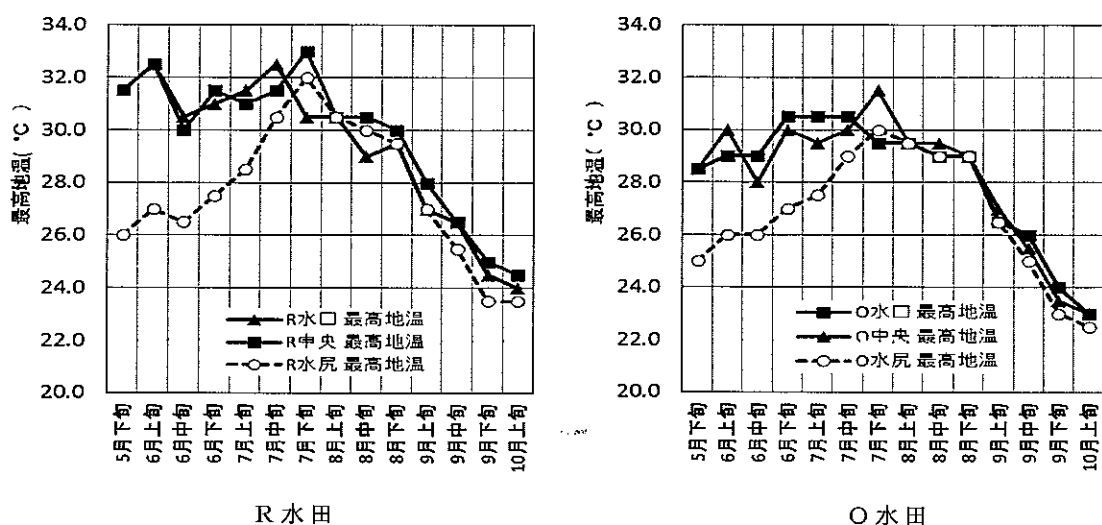


図 6：小倉水田の旬別最高地温の推移

3-4. 栽培土壌の違いが水稻の収量および収量構成要素に及ぼす影響

表 3 小倉水田における収量構成要素への土壌の影響

栽培土壌	玄米重(g/pot)	穂数(本/pot)	1穂粒数(個/本)	登熟歩合(-)	1000粒重(g)	全乾物重(g/pot)	収穫指数HI(-)	根重(g/pot)	T/R比(倍)
Ri 区	15.35 a	12.3 a	61.8 a	0.96 a	24.4 a	48.3 a	0.318 a	5.0 ab	10.0 ab
Rc 区	14.24 a	11.7 a	62.0 a	0.96 a	24.4 a	44.1 a	0.322 a	3.9 b	11.8 a
Ro 区	14.50 a	12.6 a	58.9 a	0.94 a	24.1 a	46.6 a	0.313 a	5.6 ab	8.7 bc
Oi 区	14.33 a	11.9 a	60.4 a	0.95 a	24.5 a	44.8 a	0.319 a	4.6 ab	10.1 ab
Oc 区	15.61 a	13.0 a	61.8 a	0.96 a	24.2 a	47.4 a	0.329 a	6.5 a	7.2 c
Oo 区	15.85 a	13.1 a	61.8 a	0.95 a	24.3 a	49.3 a	0.321 a	6.2 a	8.5 bc

各地点から採取した土壌を充填したポット(1/2000 a)をR, O両水田の水口, 中央, 水尻部に2ポットずつ設置した。

それぞれのポットに水稻(ベニアサヒ)の苗を1株3本植えた。

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。

栽培土壌の間には収量および収量構成要素に有意な差は見られなかった。

根重は O 土壌の方が R 土壌で栽培した場合よりも有意に重かった。

有意な差ではないものの O 土壌では $O_o > O_c > O_i$ の順に収量が多い傾向があり, 穂数と 1 穂粒数でも同じ傾向がみられた。

R 土壌では穂数と 1 穂粒数には顕著な違いはなかった。 $R_i > R_o \cdot R_c$ の順に収量が多い傾向があった。

3-4-1. 栽培土壌が水稻の生育に及ぼす影響

栽培土壌の間で草丈および SPAD 値には差は認められなかったが, 茎数の推移では, やや差がみられた。最高分げつ期は O 土壌が R 土壌よりも遅く, 最高分げつ数は O_o が最も多く (平均 21.5 本), R_c が最も少なかった (平均 16.8 本), その差は小さくなりながらも収穫期まで続いたが最終的な茎数には顕著な差は見られなかった。(図 7~9)

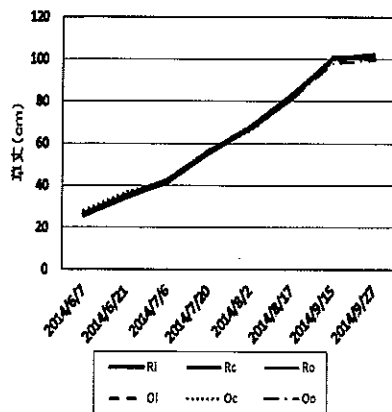


図 7：栽培土壌ごとの草丈の推移

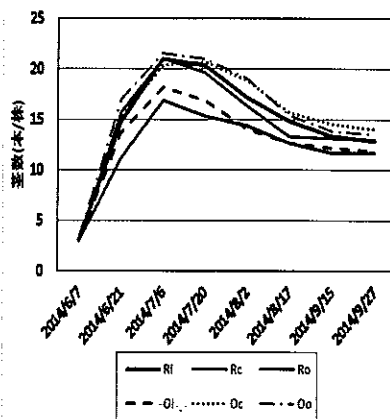


図 8：栽培土壌ごとの茎数の推移

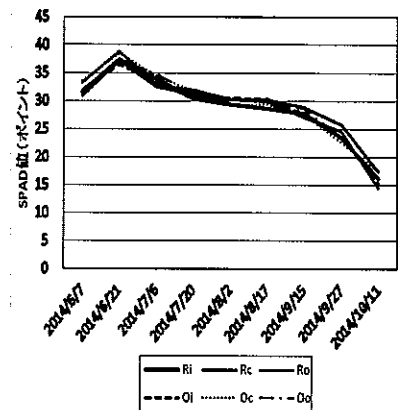


図 9：栽培土壌ごとの SPAD 値の推移

4. まとめ

無施肥無農薬水田では玄米収量に穂数が影響していることが指摘されている。R・O 両水田の水尻のように分けつを長く続かせるためにはかんがい水の供給を十分に行ない、窒素不足に陥らぬようにする必要があると考えられる。

両水田中央部の収量が少なかった原因がかんがい水の供給不足なのか他の理由によるのかは今後検討が必要であろう。

また、EC 値の推移から生育初期はかんがい水の養分量は水田内で水尻まで変わらなかったが、生育が進むに従って水口部，中央部，水尻部の順に利用していくようにみえた。

土壌の地力については R 水田と O 水田との間には異なる傾向がみられた。R 水田は水口部の地力が高いように思われたが，O 水田は逆に中央部や水尻部の地力が高いように思われた。

土壌の違いによる差よりも栽培位置の違いによる影響が大きかった。栽培位置では水尻の収量が多かったことから，水田内で放出される養分について更に検討を加える必要があることが示唆された。

5. 参考文献

長谷川浩・竹内史郎・奥村俊勝 近畿大学農学部紀要，12，p.109～115（1979）

土壌溶液および出液に基づくイネのケイ酸吸収量の解析

岩本啓己¹⁾・本間香貴¹⁾・白岩立彦¹⁾・栗田光雄^{1,2)}

(¹⁾京都大学大学院農学研究科, ²⁾NPO 法人無施肥無農薬栽培調査研究会)

ケイ酸(SiO_2)は高等植物の必須元素ではないものの、イネにとっては有用元素と位置付けられている。ケイ酸資材のイネへの施用効果としては、病虫害抵抗性の向上(笹本 1962, Seebold ら 2004, Hou and Han 2010), 耐倒伏性の向上(内村ら 2000), 光合成の促進(間藤 1991, 東江ら 1992), 根の酸化力の向上(奥田・高橋 1962)などがあげられている。また、収量性が向上するとの報告があり(森ら 2008), 特に登熟歩合が向上するとされている。近年のイネのケイ酸吸収に関する研究は、トランスポーター遺伝子の同定(Ma ら 2006, 2007), 食味に及ぼす影響(宮森 1996, 内村ら 2000), 日照不足条件でのケイ酸資材の施用効果(藤井ら 2008)など、ますます多様な視点で行われるようになってきている。

無施肥無農薬水田においてはケイ酸による病虫害抵抗性の付与が生産上重要な意義を持つと考えられ、栽培管理によるケイ酸吸収量の安定化や増加が必要とされているが、その基礎となるケイ酸の吸収機構については不明な部分も多い。そこで本研究ではイネのケイ酸吸収機構について定量的に検討するため、土壌溶液および出液にも着目してケイ酸吸収量の変動を評価した。2011 年は土壌や施肥により養分環境が大きく異なった圃場で、植物体・土壌・土壌溶液を採取し、ケイ酸吸収と土壌および土壌溶液中のケイ酸濃度について検討した。また 2012 年は、ポット栽培で窒素施肥とケイ酸施肥の組み合わせ試験を行い、ケイ酸吸収と土壌溶液中および出液中の養分濃度との関係について検討した。これらの知見、特に能動的ケイ酸吸収と窒素濃度の関係を検討するために、2013 年には補足的に水耕実験を行った。

【材料および方法】

圃場試験

2011 年に京都大学農学部附属京都農場(以下京大圃場)および NPO 法人無施肥無農薬栽培調査研究会小倉圃場(以下小倉圃場)で栽培試験を行った。日本晴を京大圃場は 6 月 2 日に、小倉圃場は 6 月 7 日に移植を行った。京大圃場では、基肥 $\text{N:P}_2\text{O}_5:\text{K}_2\text{O} = 5:5:5 \text{ g m}^{-2}$ を 6 月 1 日に、追肥 $\text{N:P}_2\text{O}_5:\text{K}_2\text{O} = 5:5:5 \text{ g m}^{-2}$ を 7 月 22 日および 8 月 3 日に半量ずつ施用した標準施肥区、基肥 $\text{N:P}_2\text{O}_5:\text{K}_2\text{O} = 5:5:5 \text{ g m}^{-2}$ を 6 月 1 日に施用し、追肥を行わなかった少施肥区、基肥・追肥ともに行わなかった無施肥区の 3 区を設けた。また小倉圃場では、2003 年から 8 年間無施肥無農薬で栽培している水田圃場を小倉区、1951 年から滋賀県栗東市において無施肥無農薬で栽培していた水田から採取した土壌を客土した水田圃場を栗東区として供試した。

供試圃場の土壌(いずれも灰色低地土)を湛水前の 4 月下旬に採取した。また、移植時・移植 3 週間後・移植 6 週間後・出穂 2 週間前・出穂期・出穂 2 週間後・成熟期の計 7 回、植物体地

上部を採取しその器官別乾物重を測定した。土壌溶液の採取は表層から 10cm の深さに土壌溶液採取器(ミストール, 大起理化工業)を設置し吸引法によって行った。

ポット試験

日本晴を 2012 年 5 月 10 日にペーパーポットに播種し育苗後, 6 月 15 日に開口部面積 1/5000a のワグネルポットに移植し, 栽培した。供試土壌は, 京大農場の水田圃場から採取し, 篩別したうえでポットに充填した。基肥および追肥処理を行いそれらの効果を評価した。基肥処理は 6 月 14 日に行い, ケイカル 9 g pot-1 の全層への施用の有無 2 水準および N = 0.6 g pot-1 に相当する硫安の全層への施用の有無 2 水準の組み合わせの計 4 水準を設定し, 出液および植物体のサンプリングを幼穂形成期の 7 月 24 日に行った。追肥処理は 6 月 14 日に基肥として N = 0.6 g pot-1 相当の硫安のみを施用したポットを用い, 7 月 24 日にケイカル 3 g pot-1 の表層への施用の有無 2 水準および N = 0.6 g pot-1 相当の硫安の表層への施用の有無 2 水準の組み合わせ計 4 水準で行った。出液および植物体のサンプリングは, 出穂期の 8 月 22 日に行った。試験は各処理とも 6 反復で行った。土壌溶液の採取は表層から 5cm の深さに土壌溶液採取器を設置し, 2 週間おきに吸引法によって行った。

水耕試験

土壌溶液中の窒素濃度が植物体のケイ酸吸収に及ぼす影響を評価するために, 水耕試験を行った。50ml プラスチック遠沈管に 45ml の水耕液を入れ, 京都大学構内のガラス室において日本晴の植物体を栽培した。表に示す通り, 水耕液は窒素濃度のみを 5ppm, 20ppm, 50ppm の 3 段階とし, ケイ酸は一律に 50ppm, リン酸, カリウム, マグネシウムは春日井氏の水耕液に準じてそれぞれ 10ppm, 20ppm, 5ppm とした。なお, 水耕液の調製には水道水を用いており, これら以外の無機養分は水道水に十分量溶存しているものと考えた。

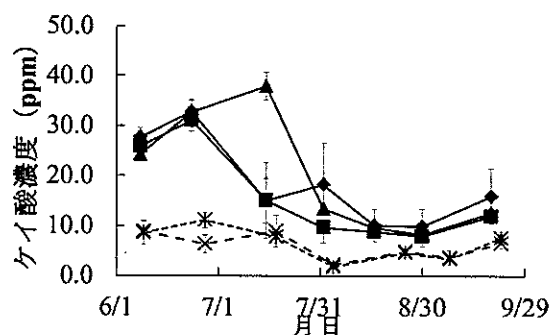
1 回目の試験は 2013 年 4 月 28 日に播種した植物体を用い 5 月 25 日から, 2 回目は同じく 4 月 28 日に播種した植物体を用い 6 月 22 日から, 3 回目は 8 月 1 日から, 3 日間の水耕栽培した後, 水耕液のケイ酸濃度を測定した。

【結果および考察】

土壌溶液中のケイ酸濃度

試験圃場の土壌の可吸態ケイ酸量は, 京大圃場より小倉圃場で高く, 栗東区の可吸態ケイ酸量は京大圃場の約 2 倍であった

(データ省略)。一方, 灌漑水中のケイ酸濃度は生育期間の前半では京大圃場の方が多く, 後半では小倉圃場の方が多かった。圃場試験における土壌溶液中のケイ酸濃度は移植から幼穂形成期までは増加する傾向にあり, その後低下した(第 1 図)。また, 土



第 1 図 圃場試験における土壌溶液中のケイ酸濃度の推移。＜小倉圃場＞×小倉区, *栗東区; ＜京大圃場＞◆標準施肥, ■少施肥, ▲無施肥,

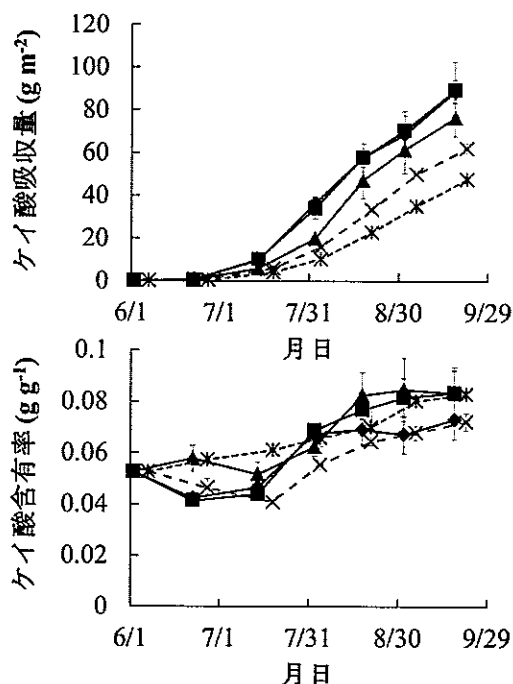
壤溶液中のケイ酸濃度は土壌の可給態ケイ酸量とは異なり，京大圃場が小倉圃場より高かった。

ポット試験における土壌溶液中のケイ酸濃度は，ケイカル施肥により増加する傾向にあったが，その程度は元肥で大きく追肥では小さかった。

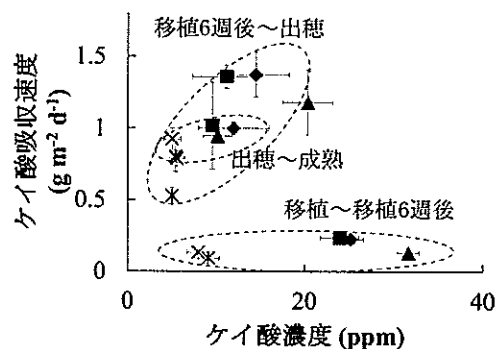
イネのケイ酸吸収量

圃場試験におけるイネ地上部のケイ酸吸収量およびケイ酸含有率の推移を第2図に示した。ケイ酸は幼穂形成期以降に盛んに吸収されていた。ともに無施肥である京大圃場の無施肥区と小倉圃場の小倉区，栗東区を比較すると，京大圃場無施肥区の吸収量が大きかった。また，京大圃場の中では，施肥区でケイ酸吸収量が大きかったが，標準施肥区と少施肥区に吸収量の差はなかった。一方でケイ酸含有率は，京大圃場の中では標準施肥区で低く，小倉圃場の中では小倉区で低かった。

ポット試験において基肥でケイカルを施用した場合ではケイ酸吸収量が有意に増加したものの，幼穂形成期のケイカル追肥に有意な効果は見られなかった。また硫安とケイカルの交互作用は，基肥で施肥した場合のケイ酸吸収に関して有意であり，窒素の施用によりケイ酸の吸収が促進された。



第2図 圃場試験における稲体のケイ酸吸収量および含有率。凡例は第1図に同じ。



第3図 圃場試験における生育期間別の土壌溶液中ケイ酸濃度の平均値と稲体の地上部ケイ酸吸収速度との関係。凡例は第2図に同じ。

土壌溶液およびイネの出液中のケイ酸濃度とケイ酸吸収の関係

2011年の圃場試験の移植から移植6週間後，移植6週間後から出穂期，出穂から成熟までの期間における，土壌溶液中の平均ケイ酸濃度とイネ地上部のケイ酸吸収量の関係を第3図に示した。両者は概ね正の関係にあったものの，その関係にはばらつきが大きかった。2012年のポット試験でも，移植から幼穂形成期にかけては同様の傾向が観察されたものの，幼穂形成期から出穂期にかけては土壌溶液ケイ酸濃度が高い処理でケイ酸吸収速度

が小さかった(第5図)。

2012年のポット試験で採取されたイネの出液は、同時期に採取した土壌溶液より高い濃度のケイ酸を含んでおり、その濃度比はアンモニア態窒素に匹敵するレベルであった。しかし、土壌溶液と出液中のケイ酸濃度には明瞭な関係が見られなかった。また出液とイネのケイ酸吸収速度の間にも明瞭な関係は得られなかった。

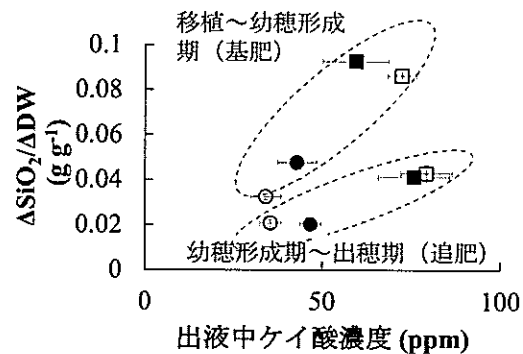
対象期間のケイ酸吸収量と同期間の乾物生産量の比($\Delta\text{SiO}_2/\Delta\text{DW}$)は、ケイ酸吸収の相対的活性を示す指標として用いられている(住田・大山 1990)。 $\Delta\text{SiO}_2/\Delta\text{DW}$ は出液中のケイ酸濃度と正の関係を示したが、硫安施肥の有無による違いとも考えられた(第4図)。

水耕液中窒素濃度とケイ酸吸収

2013年5月25日、6月22日、8月1日からそれぞれ3日間水耕栽培した際の水耕液中のケイ酸の濃度変化を第1表に示す。5月25日開始の窒素濃度20ppmおよび50ppmにおけるケイ酸濃度がプラスになっているのは、水の吸収に比べケイ酸の吸収が抑制された結果であると考えられる。いずれの試験においても、窒素濃度の低い水耕液のケイ酸濃度の低下幅は有意に大きかった。

【まとめ】

無肥研の土壌は可吸態ケイ酸含有量が多いのにも関わらず、稲体のケイ酸含有率が高いとは言えず、これには土壌溶液中のケイ酸濃度が関与していると考えられた。一方、稲体のケイ酸吸収には土壌溶液中のケイ酸濃度に加え、植物体内への能動的な輸送が関与していることが示唆された。ケイ酸吸収は窒素により抑制されるため、今後は土壌溶液中のケイ酸と窒素動態に関与する要因の解明と、土壌溶液に基づく植物体の吸収量の量的な評価が課題であると思われる。



第4図 ポット試験におけるイネの出液中ケイ酸濃度と乾物生産量に対するケイ酸吸収量の比($\Delta\text{SiO}_2/\Delta\text{DW}$)との関係に及ぼす施肥の効果。硫安施肥有(●○)、無(■□)；ケイカル施肥有(●■)、無(○□)。

第1表 水耕試験(2013年)における稲体の乾物重と水耕液の3日間のケイ酸濃度変化量(ppm)。変化量のマイナスは減少をプラスは増加を示す

開始日	5月25日	6月22日	8月1日
乾物重(g)	0.10	0.46	1.48
窒素濃度			
5 ppm	-6.44	-4.91	-19.83
20 ppm	1.09	-2.30	-18.08
50 ppm	2.37	-0.47	-16.25
分散分析	**	**	**

**は1%で有意

話題提供

英勲の酒造り

中村 清隆（齊藤酒造）

演者プロフィール

昭和 49 年 3 月 28 日生まれ。平成 6 年 4 月に齊藤酒造に入社、平成 26 年 10 月より製造課課長に就任。現在、無施肥無農薬栽培米純米大吟醸「京神楽」製造責任者。

講演要旨

酒造りの基礎

酒造好適米とは

純米大吟醸酒の造りと希少性

無施肥無農薬栽培米の使い心地（製造責任者としての感想）

京神楽について