修士論文

酒米品種‘弓形穂’の生育・収量に及ぼす栽培条件の影響

平成 24 年度

三重大学大学院　生物資源学研究科　生物圏生命科学専攻
陸圏生物生産学講座　附帯施設農場
511M328　張楠

目次

第 1 章　緒言 2
第 2 章　2010 年における異なる施肥条件および栽植密度が
弓形穂の籾収量，籾千粒重および草丈に及ぼす影響 5
１．はじめに 5
２．材料と方法 5
３．結果 7
　３－1．収量構成要素 7
　３－２．生育調査 10
４．考察 13
第 3 章　2011 年における異なる施肥条件および栽植密度が
弓形穂の籾収量，籾千粒重および草丈に及ぼす影響 16
１．はじめに 16
２．材料と方法 16
３．結果 18
　３－1．収量構成要素 18
　３－２．生育調査 22
４．考察 24
第 4 章　2012 年における異なる施肥条件および栽植密度が
弓形穂の籾収量，籾千粒重および草丈に及ぼす影響 26
１．はじめに 26
２．材料と方法 26
３．結果 27
　３－1．収量構成要素 27
　３－２．生育調査 29
４．考察 32
第5章　総合考察 34
謝辞 38
引用文献 39

第1章　緒言

弓形穂は，三重大学生物資源学部と地元の酒蔵が協力して開発し，平成22年度に品種登録された三重県産の酒米である．本品種は，本県の必須銘柄品種である‘伊勢錦’の中の短稈個体から純系分離したものであり，伊勢錦と同様にまろやかな日本酒に出来上が加えて短稈化によって倒伏が改善されて栽培しやすくなった．そのため，地元の酒蔵数社にも利用されて好評を得ており，平成24年度には三重県の醸造用玄米の産地品種銘柄選択銘柄にも選定された（http://www.maff.go.jp/j/seisan/syoryu/kensa/sentaku/pdf/h24list.pdf P6）．将来的な需要増大に対応させるためにも収量と酒米品質の維持を同時に満たす栽培方法を確立させることが望まれる．

酒米は，コシヒカリに代表される食用米とは異なり，粒が大きく，中央部が白濁している．これは，粒の芯の真ん中が空洞であるためであり，こうじ造りの際にこうじ菌が空洞に沿って菌糸を生育させ，はぜ込みが進みやすくなることから，酒米にとって重要な形質となる．また，お酒造りに必要な成分であるデンプン含量は玄米の芯の部分に多く含まれる．一方，玄米の外側の部分はタンパク質や脂肪や無機質等が多く含まれるが，デンプン以外はお酒造りに多くを必要とせず醸造の際に玄米表面が約30%，吟醸酒などの場合には約40%が削られる．そのため，小粒の酒米を使用すると，玄米表面を削る過程で破裂してしまい，原料として利用できなくなるため，大粒にすることが極めて重要となる．

植物体の各器官の大きさおよび数は，気象，土壌などの自然条件，栽植密度や施肥などの栽培条件の影響を受けて変化する．例えば，施肥量を増やすと，植物体各器官が著しく伸長する．また，追肥の時期によって，収量構成要素に及ぼす影響が異なっており，分げつ初期の追肥は主として穂数を増やすが，幼穂分化期およびえい花分化中期の追肥は1穂籾数を増やす．また，減数分裂期直前の追肥はえい花の退化を少なくして1穂籾数を増やすとともに，籾殻を大きくして玄米千粒重を大きくすることが知られている．しかしながら，同時期

の追肥は，玄米の窒素成分量も増やすという欠点をもつ．酒米は食用米に比べて全長が長く，倒伏を防止し，かつ機械収穫を効率良く行うで全長を抑えることが重要となる．特に後者については，コンバインが食用米の全長に合わせて作られており，食用米よりも稈の長い酒米の収穫に使うと脱穀の効率が大きく低下する．節間長に及ぼす影響も施用時期によって異なっており，出穂前 45 日の窒素施用は下位節間の伸長比率を著しく増加させるが，出穂前 25 日施用では，主稈の各節間長は窒素無施用区と同程度となる(松村ら　2002)．また，生育後期の追肥は，玄米千粒重を増加させ，節間長を伸ばすことなく玄米千粒重を増加させるメリットがあるが，玄米の窒素成分含量も増加させるデメリットもあり，施肥技術のみで玄米品質を向上させるには限界がある．

一方，作物の全長および各器官の大きさと数は，栽植密度によっても変化する．例えば，栽植密度を小さくすると収穫時の全長が長くなることが指摘されており，水稲品種アキヒカリにおいて，疎植（9.1 株 m^{-2}）した試験区と密植（31.8 株 m^{-2}）した試験区の全長を比較したところ，疎植した試験区の全長が約 20cm 長くなることが確認されている（森・村山　1983）．また，疎植にすると 1 株の分げつ数が約 30 増加し，有効分げつの割合も約 25%増加させることが報告されている（森・村山　1983）．日本晴においても栽植密度が増えると収穫時の全長，茎長が顕著に短くなると報告されている（中野･水島　1994）．しかし，全長については疎植すると逆に短くなるという報告(田中・有馬　1990)もあって栽植密度に対する反応は必ずしも明確でなく．施肥条件および栽植密度がイネの収量，収量構成要素および全長に及ぼす影響にはそれぞれ一長一短あるが，施肥条件と栽植密度を最適に組み合わせて，互いの長所と短所を補完し合うことが出来れば，酒米品質と収量を確保するとともに機械収穫も同時に可能となるのではないかと考えた．

本研究では，三重大学の酒米品種‘弓形穂’の収量と千粒重の双方を高めるとともに機械収穫も同時に可能とする理想的な栽植密度と施肥条件の組み合わせを明確にするため，2010 年から 2012 年までの計 3 カ年，施肥条件の異なる試験区を３つ，更に，その各々の施肥条件の中に栽植密度の異なる試験区を 4 水準設け，施肥試験と栽植密度試験を組み合わせた計 12 試験区の籾収量，収

量構成要素および生育調査結果を比較した.

第２章　2010年における異なる施肥条件および栽植密度が弓形穂の籾収量，籾千粒重および全長に及ぼす影響

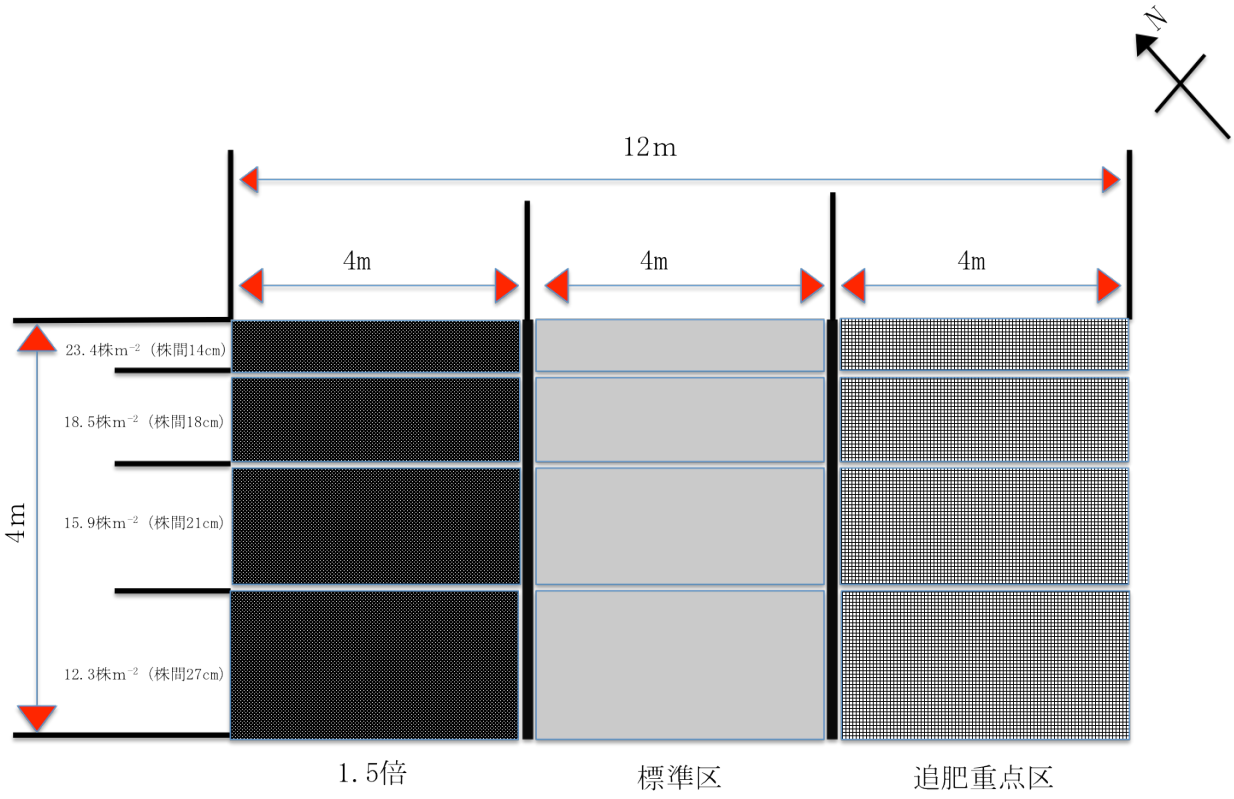
１．はじめに

酒米では，多収よりも玄米品質，特に粒が大きいことがしばしば求められる．また，酒米はコシヒカリなどの食用米に比較して全長が長い品種が多いため，徒長してしまうとコンバインによる収穫が極めて困難となる．酒米の各器官の形態は施肥量及び栽植密度によって変化することから，本研究では，酒米品種‘弓形穂’の収量と千粒重の双方を高めるとともに機械収穫も同時に可能とする理想的な栽植密度と施肥条件を明確にするため，異なる３水準の施肥区と４水準の栽植密度条件を組み合わせた計12試験区を準備し，それらの籾収量，収量構成要素および生育調査結果を比較，解析した．本章では，施肥試験として，施肥量を通常の1.5倍に増やした1.5倍施肥区および追肥による生育後期の成長促進を特に意識して総施肥量は標準施肥区と同等であるが基肥を通常の半分にし，逆に追肥を通常の1.5倍に増やした追肥重点施肥区を設けた．また，栽植密度の処理として，条間は統一し，株間を田植機が対応できる範囲内(14－27cm)に設定した．

２．材料と方法

試験は2011年に三重県津市三重大学の附帯施設農場内おいて，酒米品種‘弓形穂’を用いて行った．2010年5月25日に播種し，6月11日に移植した，追肥は，8月17日に施用した，収穫は，10月9日に行った．第1図には，実験水田における各試験区の配置図を示した．施肥試験として，標準施肥区，1.5倍施肥区および追肥重点施肥区の３試験区を設け，東から追肥重点施肥区，標準施肥区，1.5倍施肥区の順に配置した．このうち，1.5倍施肥区は施肥法を

通じて生育期間全体の成長促進，追肥重点施肥区は追肥によって生育後期，特に穂の充実を目的として設定した．１施肥試験区は 4m×4m とし，その周囲を畔版シートで覆った．施肥量は，当該農場にて標準的な施肥量を投与した標準施肥区では，基肥として $N:P_2O_5:K_2O$= 1:1:1（kg $10a^{-1}$），追肥として $N:P_2O_5:K_2O$= 0.8:0.8:0.7（kg $10a^{-1}$），1.5 倍施肥区では，基肥として $N:P_2O_5:K_2O$= 1.5:1.5:1.5（kg $10a^{-1}$），追肥として $N:P_2O_5:K_2O$= 1.2:1.2:1.05（kg $10a^{-1}$），追肥重点施肥区では，基肥として $N:P_2O_5:K_2O$ = 0.5:0.5:0.5（kg $10a^{-1}$），追肥として $N:P_2O_5:K_2O$= 1.2:1.2:1.05（kg $10a^{-1}$）とした．一方，栽植密度試験として，条間 30cm で統一し，株間を 14cm（23.8 株 m^{-2}），18cm（18.5 株 m^{-2}），21cm（15.9 株 m^{-2}）および 27cm（12.3 株 m^{-2}）の 4 試験区を各施肥条件下に設け，南から 12.3 株 m^{-2}，15.9 株 m^{-2}，18.5 株 m^{-2}，23.8 株 m^{-2} の順に配置した．

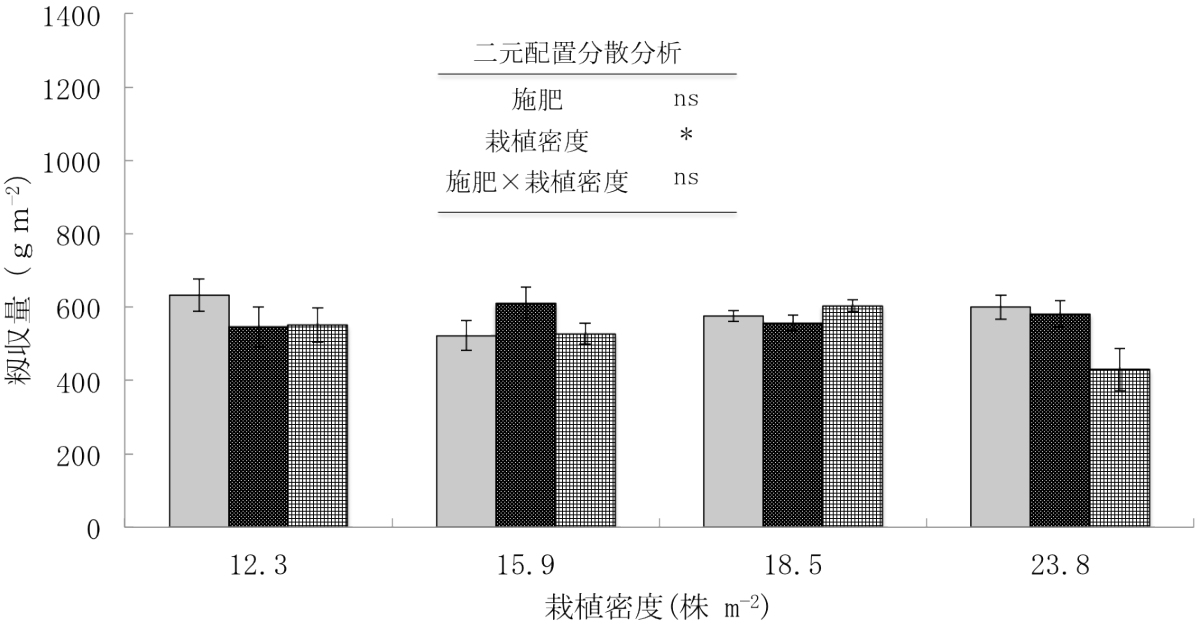


第1図 2010年の試験区の配置図

３．結果

３－1．収量構成要素

第2図に2010年の籾収量を比較して示した．施肥区間で比較すると標準施肥区の平均値は582.8ｇ m^{-2}，1.5倍施肥区の平均値は574.2ｇ m^{-2}，追肥重点施肥区の平均値は527.9ｇ m^{-2}であり，追肥重点施肥区の平均籾収量が若干低かったものの施肥区間の差は小さかった．



第2図　2010年の籾収量

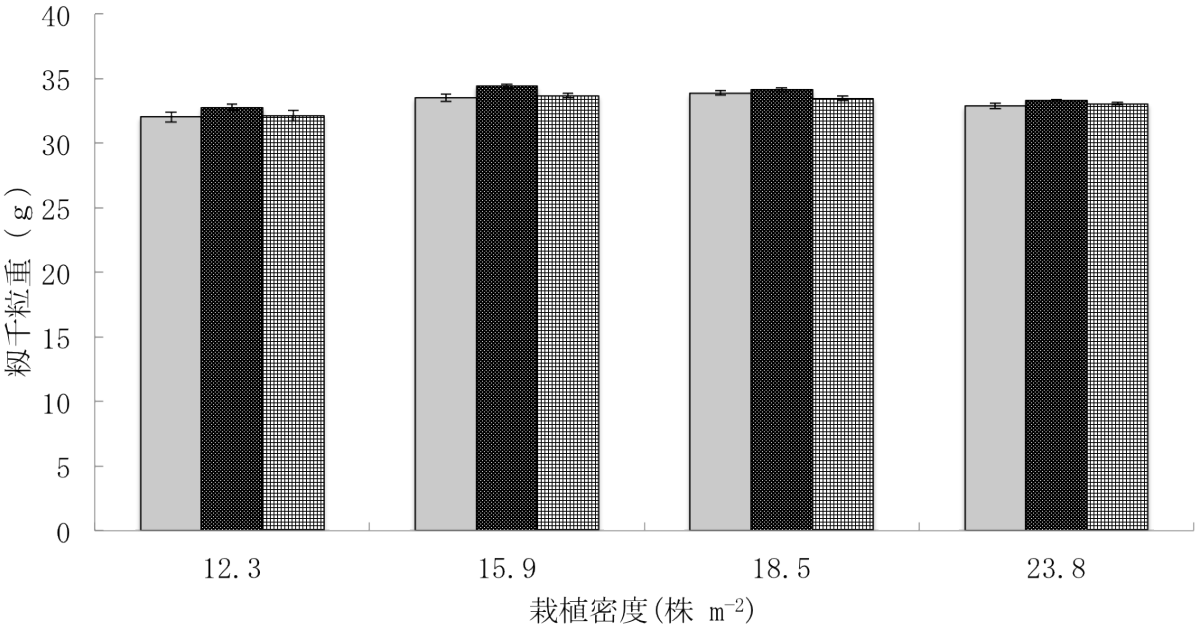
□標準　■1.5倍　▦追肥重点

縦線は標準誤差（ｎ=5）　*:5%水準で有意差あり,ns:有意差なし.

標準施肥区の籾収量は，栽植密度が23.8株 m^{-2}から15.9株 m^{-2}まで減るのに伴って減少し，12.3株 m^{-2}になると逆に増えたが，その変化は小さかった．1.5倍施肥区では，栽植密度と籾収量の間に一定の傾向はみられなかっ

た．同様に，追肥重点施肥区においても栽植密度が異なると籾収量も変化したものの，両者の間に線形関係は正負ともにみられなかった．分散分析の結果，籾収量は栽植密度間に有意差がみられた．また，栽植密度と籾収量との関係は施肥条件によって異なったが，栽植密度と籾収量の交互作用に有意差はみられなかった．

第3図に2010年の籾千粒重を比較して示した．施肥区間で比較すると標準施肥区の平均値は33.1ｇ，1.5倍施肥区の平均値は33.7ｇ，追肥重点施肥区の平均値は33.1ｇであり，施肥区間で顕著な差はみられなかった．標準施肥区では12.3株 m^{-2}から18.5株 m^{-2}までは栽植密度が増えると籾千粒重が増えたが，23.8株 m^{-2}では逆に減った．分散分析の結果，籾千粒重では栽植密度および施肥量において有意差がみられた．



第3図　2010年の籾千粒重

□標準　■1.5倍　▦追肥重点

第1表に2010年の各処理区の収量構成要素を比較して示した．穂数は，標準

施肥区の平均値が17.8，1.5倍施肥区の平均値は17.4，追肥重点施肥区の平均値は17.1であり，施肥区間の差は小さかった．標準施肥区，1.5倍施肥区および追肥重点施肥区ともに栽植密度が増えると減少しており，分散分析の結果，穂数においても栽植密度間に有意差がみられた．

1穂籾数は，施肥区間で比較すると標準施肥区の平均値は70.5，1.5倍施肥区の平均値は74.1，追肥重点施肥区の平均値は69.4であり，1.5倍施肥区の1穂籾数が最も多かった．標準施肥区では栽植密度が増えるともに減少した．1.5倍施肥区では，栽植密度が23.8株 m^{-2} から15.9株 m^{-2} までは栽植密度が減るのに伴って1穂籾数も増加し，それを超えると逆に減少した．同様な傾向は追肥重点施肥区においてもみられた．分散分析の結果，1穂籾数では栽植密度，施肥量および栽植密度と施肥量の交互作用の全てで有意差がみられた．

第1表　2010年における収量構成要素

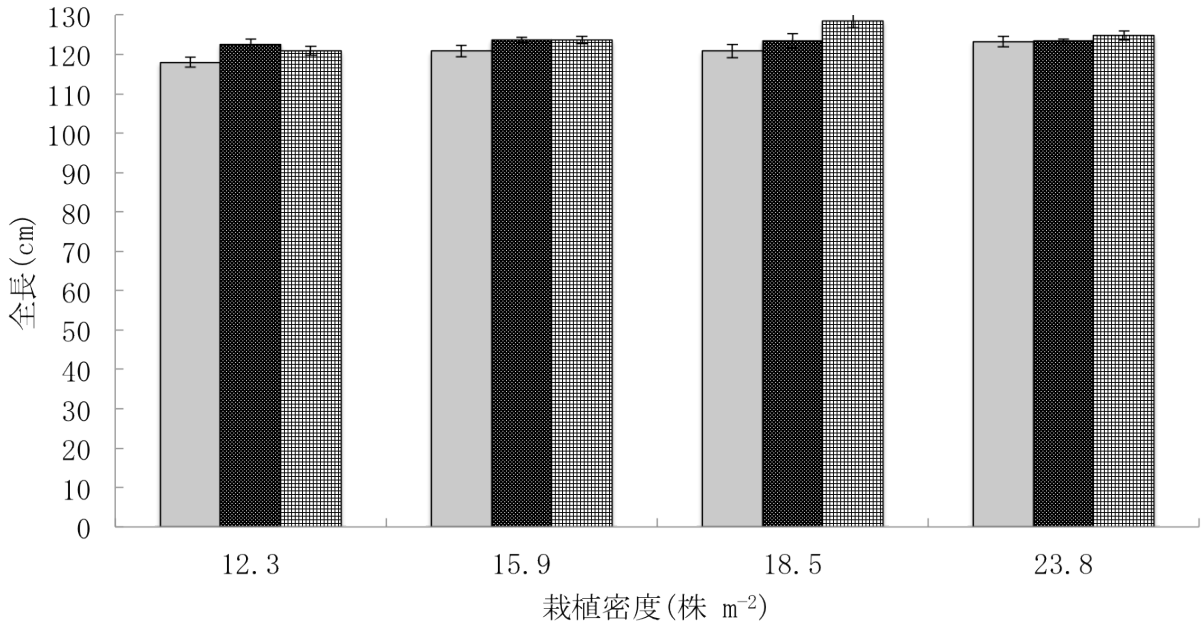
施肥	栽植密度 (株 m^{-2})	穂数	1穂籾数	登熟歩合 (%)	籾千粒重 (g)
標準	12.3	24.2±2.1	76.32±0.7	87.2±2.7	32.03±0.4
	15.9	16.6±1.0	71.92±1.3	82.3±2.2	33.51±0.3
	18.5	16.0±0.5	70.12±0.9	82.7±2.9	33.88±0.2
	23.8	14.2±0.6	63.44±1.2	85.4±4.0	32.88±0.2
1.5倍	12.3	24.6±1.9	71.84±1.8	76.9±1.3	32.77±0.2
	15.9	16.4±1.0	80.64±0.8	85.1±1.5	34.41±0.2
	18.5	15.0±0.7	74.32±0.6	79.2±1.0	34.14±0.2
	23.8	13.4±0.6	69.44±1.0	79.1±1.8	33.29±0.1
追肥重点	12.3	24.4±1.5	72.52±1.8	78.8±2.0	32.15±0.4
	15.9	16.0±1.1	75.72±1.0	82.6±1.3	33.69±0.2
	18.5	16.0±0.5	74.70±1.1	82.8±1.0	33.48±0.1
	23.8	12.0±1.4	54.76±1.4	82.3±2.9	33.06±0.1
施肥		ns	***	*	***
栽植密度		***	***	ns	***
施肥×栽植密度		ns	***	ns	ns

追肥重点区では基肥は標準区の1/2，穂肥は標準区の1.5倍施肥した．
平均値±標準誤差（n=5）　*, ***:5%, 0.1%水準でそれぞれ有意差あり, ns:有意差なし.

登熟歩合は，施肥区間で比較すると標準施肥区の平均値は84%，1.5倍施肥区の平均値は79%，追肥重点施肥区の平均値は80%があり，標準施肥区の登熟歩合が最も良かった．一方，栽植密度に対する明確な反応は見られなかった．分散分析の結果，有意差は施肥量においてのみ確認された．

３－２．生育調査

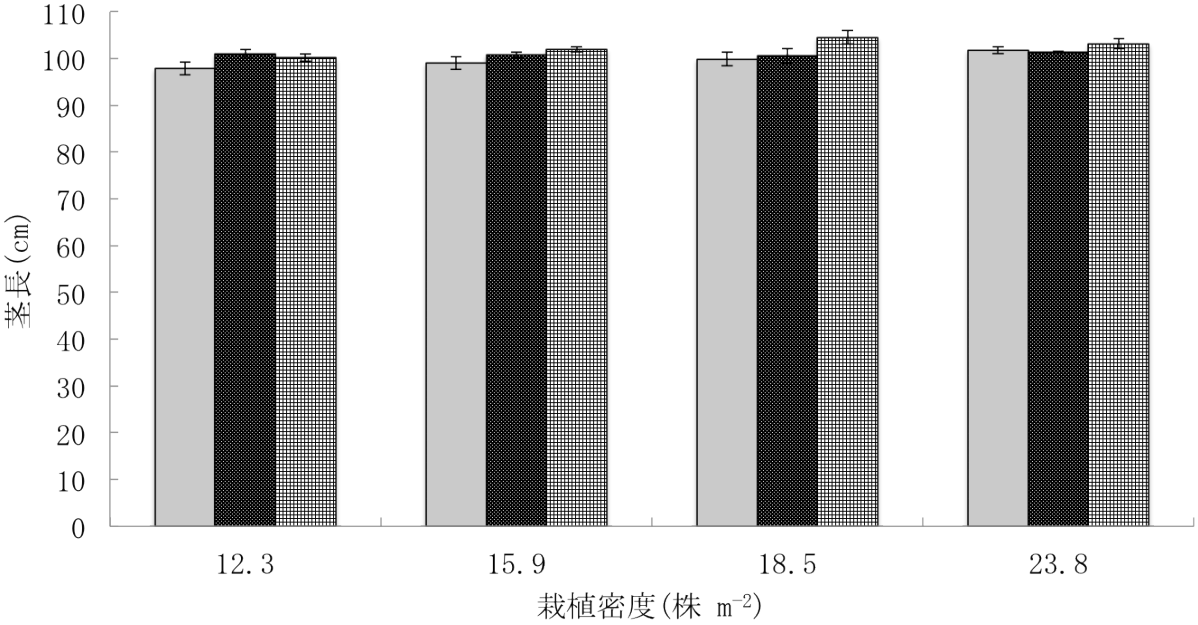
第4図に2010年の全長を比較して示した．施肥区間で比較すると標準施肥区の平均値は120.8cm，1.5倍施肥区の平均値は123.3cm，追肥重点施肥区の平均値は124.5cmであり，1.5倍施肥区および追肥重点施肥区で全長が長かった．栽植密度をみると，標準施肥区では，栽植密度が増えると長くなった．1.5倍施肥区では，全ての栽植密度でほぼ同等だった．追肥重点施肥区では，栽植密度が23.8株 m^{-2}から18.5株 m^{-2}までは栽植密度が増えると全長も長くなったが，それを超えると逆に短くなった．分散分析の結果，栽植密度と施肥量に有意差がみられた（第２表）．



第4図　2010年の全長

□標準　■1.5倍　▦追肥重点

第５図に茎長を示した．施肥区間で比較すると，標準施肥区の平均値は99.7cm，1.5倍施肥区の平均値は100.9cm，追肥重点施肥区の平均値は102.5cmであり，標準施肥区の茎長が最も短かった．標準施肥区では，栽植密度が増えると僅かに長くなり．1.5倍施肥区では，全ての栽植密度でほぼ同等だった．追肥重点施肥区では，栽植密度が23.8株 m^{-2}から18.5株 m^{-2}までは栽植密度が増えると茎長も長くなり，それを超えると逆に短くなった．分散分析の結果，栽植密度と施肥量に有意差がみられた（第２表）．



第5図　2010年の茎長

以上の結果より，籾収量および籾千粒重を最も高くするためには1.5倍施肥区栽植密度 15.9 株 m^{-2}，籾収量および籾千粒重を共に高く維持しつつ，全長，

茎長，節間長を同時に短く抑えるには，標準施肥区栽植密度 18.5 株 m^{-2} が示された.

この２つ処理区間で玄米千粒重を比較したところ，玄米千粒重は，標準施肥区 18.5 株 m^{-2} の平均値 28.1ｇ，1.5 倍施肥区 15.9 株 m^{-2} の平均値 28.5ｇであり（第 3 表），両者の間に有意差はみられなかった.

第2表　2010年における栄養成長諸形質

施肥	栽植密度	全長	茎長	穂長	節間長（ｃｍ）		
	(株 m^{-2})	（ｃｍ）	（ｃｍ）	（ｃｍ）	3	4	5
標準	12.3	118.0±1.3	97.90±1.4	20.1±1.0	14.7±0.5	9.5±0.4	8.9±1.1
	15.9	120.8±1.4	99.10±1.4	21.7±0.6	14.9±0.6	9.2±0.3	6.6±1.0
	18.5	120.9±1.7	99.90±1.4	21.0±0.5	15.6±0.4	9.5±0.5	6.5±1.2
	23.8	123.3±1.4	101.8±0.7	21.7±0.5	15.6±0.4	9.4±0.1	6.2±0.6
1.5倍	12.3	122.6±1.3	101.0±0.9	21.0±0.4	15.1±0.5	10.4±0.3	8.2±0.8
	15.9	123.7±0.7	100.8±0.6	22.1±0.3	14.3±0.4	9.1±0.4	7.8±0.8
	18.5	123.4±1.8	100.6±1.6	22.8±0.5	14.2±0.6	9.7±0.4	6.3±0.7
	23.8	123.4±0.6	101.3±0.2	21.4±0.6	15.8±0.7	9.3±0.2	6.8±0.8
追肥重点	12.3	120.9±1.1	100.2±0.8	19.9±0.7	16.6±0.4	9.9±0.4	8.3±0.7
	15.9	123.6±0.9	102.0±0.6	21.2±0.6	15.2±0.5	9.7±0.4	7.4±0.5
	18.5	128.5±0.9	104.5±1.0	22.5±0.5	14.8±0.6	9.9±0.6	5.3±0.7
	23.8	124.8±1.2	103.2±1.1	19.7±0.5	16.6±0.6	10.0±0.2	9.4±0.7
施肥		***	**	*	*	ns	ns
栽植密度		**	*	**	*	ns	**
施肥×栽植密度		ns	ns	ns	ns	ns	ns

節間長の3,4および5とは,最上位から見て3,4および5番目の節間の長さを示す.
平均値±標準誤差（ｎ=5）　*，**，***:5%,1%,0.1%水準でそれぞれ有意差あり,ns:有意差なし.

第3表　玄米千粒重

処理区	玄米千粒重
標準施肥区18.5株 m^{-2}	28.1±0.2
1.5倍施肥区15.9株 m^{-2}	28.5±0.2
	ns

平均値±標準誤差(n=5)　ns:有意差なし.

４．考察

籾収量は，栽植密度との関係が施肥条件で異なったものの全ての試験区で概ね同等であった（第２図）．収量構成要素に及ぼす栽植密度の影響を施肥条件ごとに比較したところ，標準施肥区では，栽植密度が低下すると，穂数および１穂籾数が増加した(第１表)．一方，登熟歩合は有意ではなかったものの 15.9 株 m^{-2} および 18.5 株 m^{-2} で僅かに低かったのに対して，籾千粒重はこの２試験区が他の試験区に比較して高くなっており（第１表），栽植密度が穂数と１穂籾数との間で，また，登熟歩合が籾千粒重との間で相殺し合ったため，結果として籾収量に及ぼす栽植密度の影響が軽減されたものと考えられる．1.5 倍施肥区と追肥重点施肥区は同様の傾向を示し，穂数は標準施肥区と同様に栽植密度の低下に伴って増加したが，１穂籾数は栽植密度が 23.8 株 m^{-2} から 15.9 株 m^{-2} までは増加し，これを超えると僅かに低下した（第１表）．登熟歩合と籾千粒重の間には負の相関関係は特に認められず，標準施肥区と同様に籾千粒重が 15.9 株 m^{-2} および 18.5 株 m^{-2} で高かったため，籾収量も他の２区に比較して良好となった．このように，籾収量に及ぼす施肥条件および栽植密度の影響は明確にできなかったが，籾千粒重は全ての施肥条件で 15.9 株 m^{-2} および 18.5 株 m^{-2} で高く，その中で最も高かった 1.5 倍施肥区の栽植密度 15.9 株 m^{-2} 区が‘弓形穂’の収量と品質を共に良好とする栽培条件としてみなされた．

次に，施肥条件と栽植密度が全長およびその他の器官の長さに及ぼした影響について解析する．全長は，標準施肥区と追肥重点施肥区で概ね共通した傾向がみられ，栽植密度が低下すると短くなった，しかし，1.5倍施肥区では栽植密度の変化が全長に及ぼす影響が小さく，全ての栽植密度で同等であった（第2表）．同様な傾向は茎長においてもみられ，標準施肥区と追肥重点施肥区では栽植密度の低下に伴って茎長も短くなり，多肥区では栽植密度の影響はみられなかった（第2表）．一方，穂長では，1.5倍施肥区および追肥重点施肥区の15.9株 m^{-2}および18.5株 m^{-2}で長くなった以外に施肥条件および栽植密度の影響はみられなかった（第2表）．以上のことから，弓形穂の全長は茎長によって支配されており，栽植密度の増加に伴って全長および茎長が増加すること，1.5倍施肥区では栽植密度に関係なく長くなることが確認された．

収量調査から注目された，1.5倍施肥15.9株 m^{-2}の全長は123.7cmであり，全試験区の中でも比較的長く（第2表），酒米収量および品質の確保という点では有効であっても収穫作業の点からみると必ずしも好ましくない．全長および茎長が共に短く，かつ籾千粒重については1.5倍施肥15.9株 m^{-2}と同等に重い試験区として，標準施肥18.5株 m^{-2}が次に注目された．本試験区の全長は120.9cmであり，全試験区の中でも比較的短く（第2表），籾千粒重は1.5倍15.9株 m^{-2}区および18.5株 m^{-2}に継いで重い（第1表）．また，籾千粒重には千粒分の玄米と籾殻の重さが含まれており，お酒づくりには籾殻は不要である，籾殻は籾の重さの25%を占めており，この分を除去すると標準施肥区の栽植密度18.5株 m^{-2}と1.5倍施肥区栽植密度15.9株 m^{-2}の玄米千粒重は同等になると考えられた．そこで，この2処理区のみについて籾殻を除去した玄米千粒重を比較したところ，両者の間に有意差がなかったことから(第3表)，弓形穂の収量および千粒重を高く維持し，かつ，全長を抑えるためには，施肥条件はこれまでと同様とし，栽植密度は18.5株 m^{-2}にすることが有効であると判断された．

なお，本研究のように，籾収量に施肥条件および栽植密度の影響を確認出来ないこともしばしばみられ，前者においてはヒノヒカリ（中司　2009），後者においてはレイホウ（田中ら　1996）でそれぞれ報告されている．本研究にお

いては，各々の収量構成要素には施肥条件および栽植密度の影響がみられたが，これらが施肥条件間あるいは栽植密度間で相殺し合い，結果として収量に処理の影響が反映されなかった．本章で設定した範囲の施肥条件の差は最大 1.5 倍，栽植密度の差は最大で約 2 倍だったが，弓形穂の籾収量および収量構成要素に及ぼす影響をより明確にさせるためにはこれらの設定範囲では小さかったとも考えられ，第 3 章では，施肥条件と栽植密度の設定範囲を更に広めて解析する．

第3章　2011年における異なる施肥条件および栽植密度が弓形穂の籾収量，籾千粒重および全長に及ぼす影響

１．はじめに

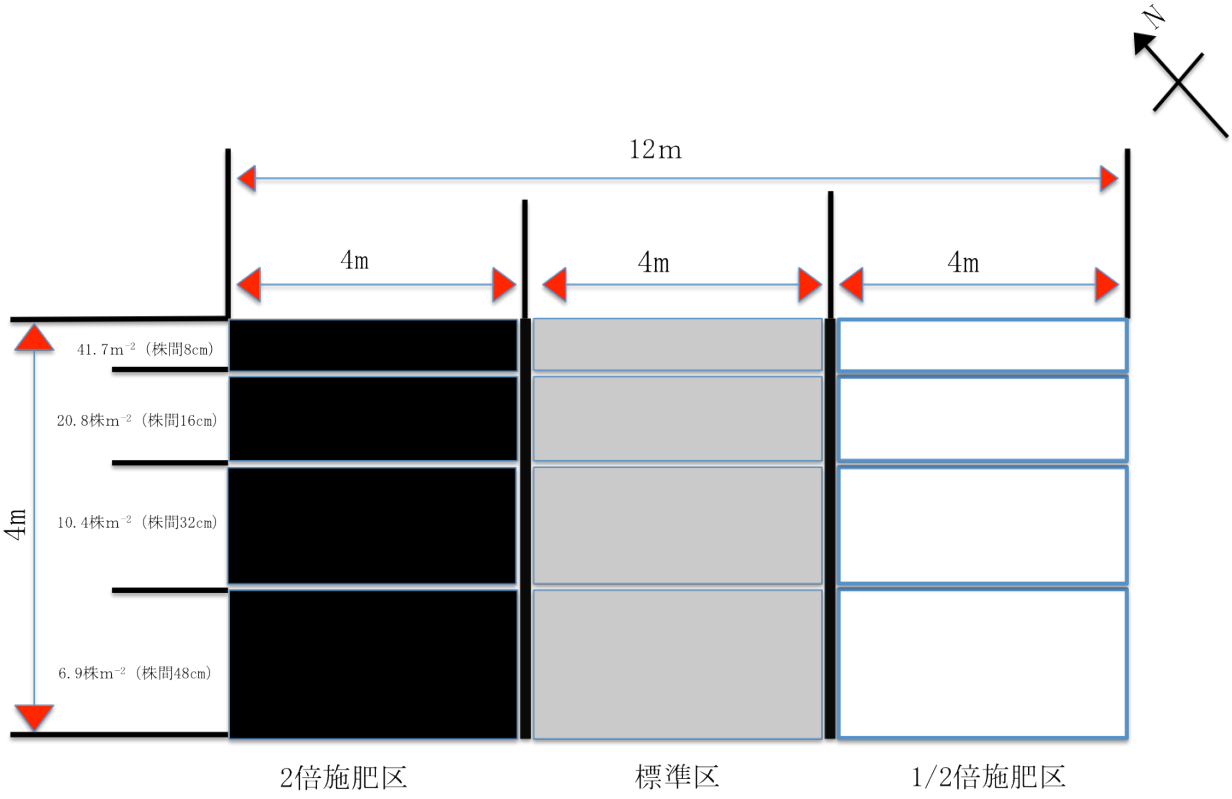
前章において，弓形穂の籾収量と籾千粒重の双方を高める栽植密度と施肥条件の組み合わせを解析した結果，標準的な施肥条件の下で栽植密度18.5株 m^{-2} にすると千粒重を高く保ちかつ全長，茎長，節間長を短く抑えることが可能であると判断された．しかし，これまでの報告（若松ら2004，田中ら1996）と異なり，栽植密度および施肥条件が籾収量，籾千粒重及び全長及ぼす影響は極めて小さかった．実験を行った 2010 年は夏季の平均気温が例年に比較して高く，全処理区の籾収量，籾千粒重及び全長が高い値を示したことから，夏季の高気温により生育が著しく促進され，栽植密度および施肥条件の違いが軽減されたかもしれない．また，前章で設定した施肥条件は，標準施肥区，1.5倍施肥区および追肥重点区（基肥は標準の0.5倍，追肥が標準の1.5倍），栽植密度は23.8株 m^{-2} から12.3株 m^{-2} に設定したが，弓形穂の成長に違いを出すにはこれらの設定範囲は狭かった可能性も否定できなかった．

以上のことから，本章では，弓形穂の成育および収量に及ぼす施肥条件と栽植密度の影響をより明確にするため，施肥条件は，1/2 倍施肥区，標準施肥区，および2倍施肥区の計3区とし，試験区内の施肥量差を前章の1.5倍から4倍へ変更した．また，栽植密度も，6.9株 m^{-2}，10.4株 m^{-2}，20.8株 m^{-2} および41.7株 m^{-2} の計4区とし，試験区内の栽植密度の差についても前章の15.9株 m^{-2} から34.7株 m^{-2} に広げた．そして，これらをそれぞれ組み合わせた栽培条件下で弓形穂を生育させ，籾収量，収量構成要素および全長を比較した．

２．材料と方法

試験は2011年に三重県津市三重大学の附帯施設農場内おいて，酒米品種

‘弓形穂’を用いて行った．2011年5月23日に播種し，6月14日に移植した，追肥は，8月18日に施用した，収穫は，10月13日に行った．施肥反応を明確にするため，当該農場にて標準的な施肥量を投与した標準施肥区，すなわち，基肥として $N:P_2O_5:K_2O = 1:1:1$（kg $10a^{-1}$），追肥として $N:P_2O_5:K_2O = 0.8:0.8:0.7$（kg $10a^{-1}$）ずつ施用した試験区，標準量の２倍の肥料を施用した２倍施肥区，すなわち，基肥として $N:P_2O_5:K_2O = 2;2:2$（kg $10a^{-1}$），追肥として $N:P_2O_5:K_2O = 1.6:1.6:1.4$（kg $10a^{-1}$）ずつ施用した試験区，更に，標準量の1/２倍の肥料を施用した１/２倍施肥区，すなわち，基肥として $N:P_2O_5:K_2O = 0.5:0.5:0.5$（kg $10a^{-1}$），追肥として $N:P_2O_5:K_2O = 0.4:0.4:0.4$（kg $10a^{-1}$）ずつ施用した試験区の計3試験区を設けた．なお，１施肥試験区は4m×4mとし，その周囲を畔版シートで覆った．また，弓形穂の生育および収量に及ぼす栽植密度の影響をより明確にするため，条間は30cmで統一し，株間を8cm（41.7株 m^{-2}），16cm（20.8株 m^{-2}），32cm（10.4株 m^{-2}），48cm（6.9株 m^{-2}）とした計４試験区を各施肥試験区の中に設け，栽植密度試験区間の差を前章よりも更に広げた．



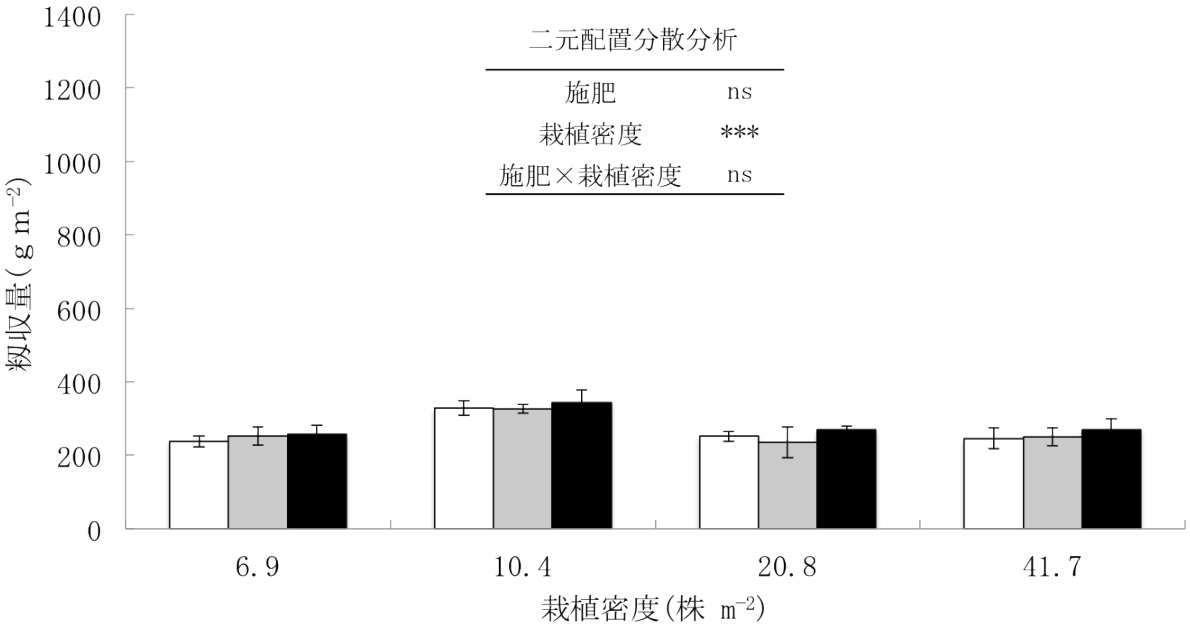
第6図　2011年の試験区の配置図

第 6 図に各試験区の水田内での配置図を示した．実験水田の東から１/２倍施肥区，標準施肥区，２倍施肥区の順に配置し，各施肥区内の南から 6.9 株 m^{-2}，10.4 株 m^{-2}，20.8 株 m^{-2}，41.7 株 m^{-2} の順にそれぞれ配置した．

３．結果

３－1．収量構成要素

第 7 図に，2011 年の籾収量を比較して示した．施肥区間で比較すると，1/2 倍施肥区の平均値は 266.1 g m^{-2}，標準施肥区の平均値は 266.1 g m^{-2}，2 倍施肥区の平均値は 284.9 g m^{-2} であり，2 倍施肥区が高かった．また，全ての施肥区で，栽植密度が 10.4 株 m^{-2} の籾収量が最も高かった．分散分析の結果，籾収量は栽植密度に有意差がみられた．

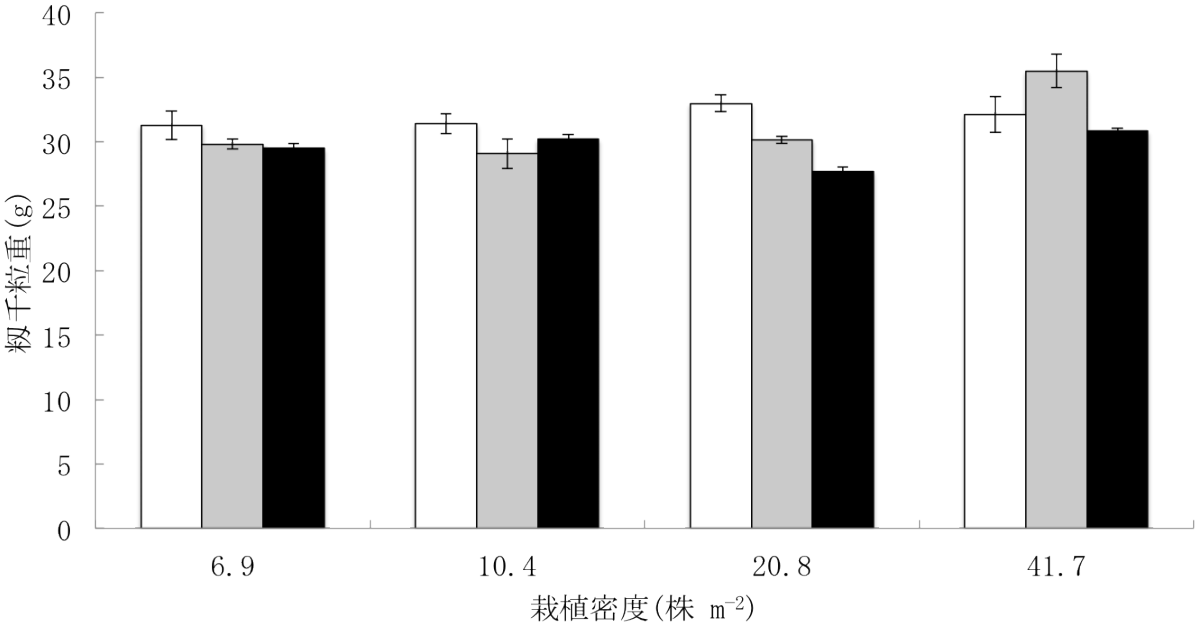


第7図　2011年の籾収量

□1/2倍　■標準　■2倍

縦線は標準誤差(n=5)　***:0.1%水準で有意差あり,ns:有意差なし.

第8図に，2011年の籾千粒重を比較して示した．施肥区間で比較すると，1/2倍施肥区の平均値は31.9g，標準施肥区の平均値は31.1g，2倍施肥区の平均値は29.6gであり，施肥量が増えると籾千粒重が低下した．全ての施肥区で栽植密度と籾千粒重の間に一定の傾向は見られなかった．分散分析の結果,籾千粒重では施肥量,栽植密度および施肥量と栽植密度の交互作用の全てにおいて有意差がみられた.



第8図　2011年の籾千粒重

□1/2倍　■標準　■2倍

第4表に，2011年の収量構成要素を比較して示した．穂数は，施肥区間で比較すると，1/2倍施肥区の平均値は22.5本，標準施肥区の平均値は22.2本，2倍施肥区の平均値は24.2本であり，施肥量が増えると穂数も増加した．
また，1/2倍施肥区，標準施肥区，2倍施肥区ともに栽植密度が増えるのに伴って減少した．分散分析の結果，穂数においては栽植密度と施肥量に有意差がみられた．

第4表　2011年における収量構成要素

施肥	栽植密度 (株 m^{-2})	穂数	1穂籾数	登熟歩合 (%)	籾千粒重 (g)
1/2倍	6.9	35.0±0.8	115.8±3.8	27.5±2.7	31.30±1.1
	10.4	27.6±1.1	110.5±2.3	32.9±1.5	31.40±0.8
	20.8	16.4±0.8	110.5±2.3	28.5±1.3	32.98±0.6
	41.7	10.8±0.4	74.44±3.3	23.3±3.0	32.11±1.4
標準	6.9	34.6±0.8	122.4±4.3	28.9±2.7	29.83±0.4
	10.4	26.2±1.3	114.3±6.3	37.0±3.1	29.09±1.2
	20.8	17.0±1.3	76.64±2.2	28.0±3.2	30.14±0.3
	41.7	10.8±0.9	70.88±1.9	22.1±1.4	35.49±1.3
2倍	6.9	36.6±1.2	113.0±5.9	30.9±3.6	29.48±0.4
	10.4	29.6±1.8	107.3±6.1	34.3±2.1	30.20±0.4
	20.8	18.0±1.1	82.04±2.8	31.9±1.0	27.70±0.4
	41.7	12.0±0.8	75.92±3.9	23.5±2.7	30.83±0.2
施肥		*	ns	ns	***
栽植密度		***	***	***	***
施肥×栽植密度		ns	ns	ns	***

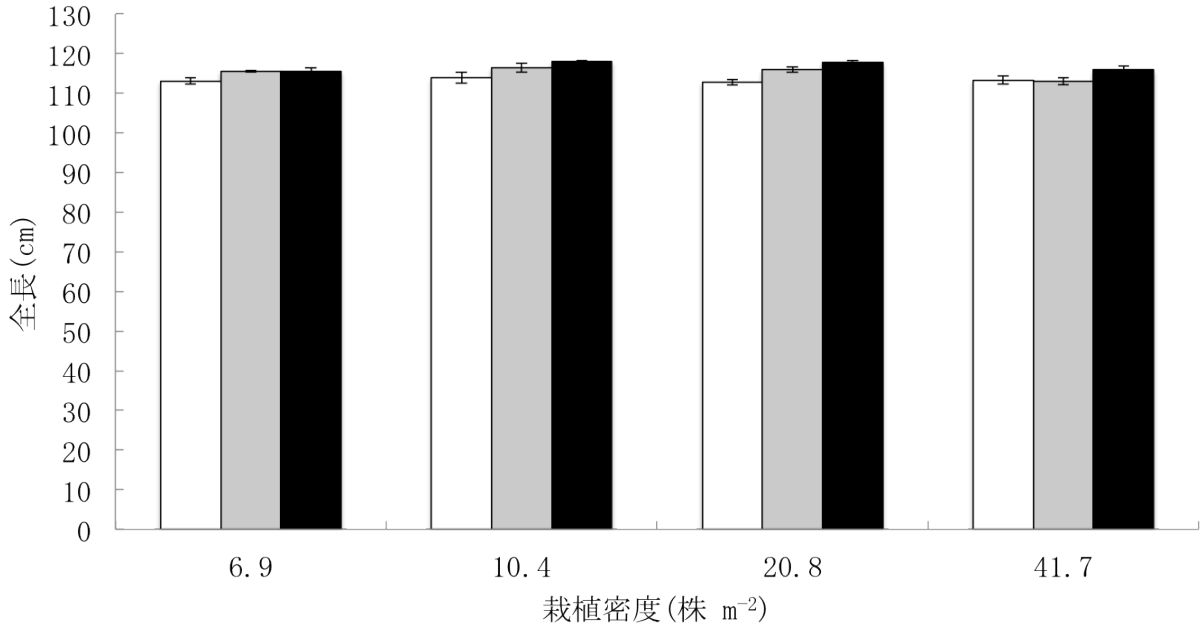
平均値±標準誤差(n=5)　*, ***:5%, 0.1%水準でそれぞれ有意差あり, ns:有意差なし.

1穂籾数は，施肥区間で比較すると，1/2倍施肥区の平均値が94.9，標準施肥区の平均値は96.1，2倍施肥区の平均値は94.6であり，施肥区間の差は小さった．また，1/2倍施肥区，標準施肥区，2倍施肥区ともに栽植密度が増えるのに伴って減少した．分散分析の結果，栽植密度に有意差がみられた．

登熟歩合は，施肥区間で比較すると，1/2倍施肥区の平均値は28%，標準施肥区の平均値は29%，2倍施肥区の平均値は30%であり，施肥量が増えるのに伴って僅かながら増加した．また，全ての施肥区で栽植密度が41.7株 m^{-2} から10.4株 m^{-2} までは栽植密度が低下するのに伴って登熟歩合が増加したが，6.9株 m^{-2} では逆に低下した．分散分析の結果，有意差は施肥量においてのみ確認された．

３－２．生育調査

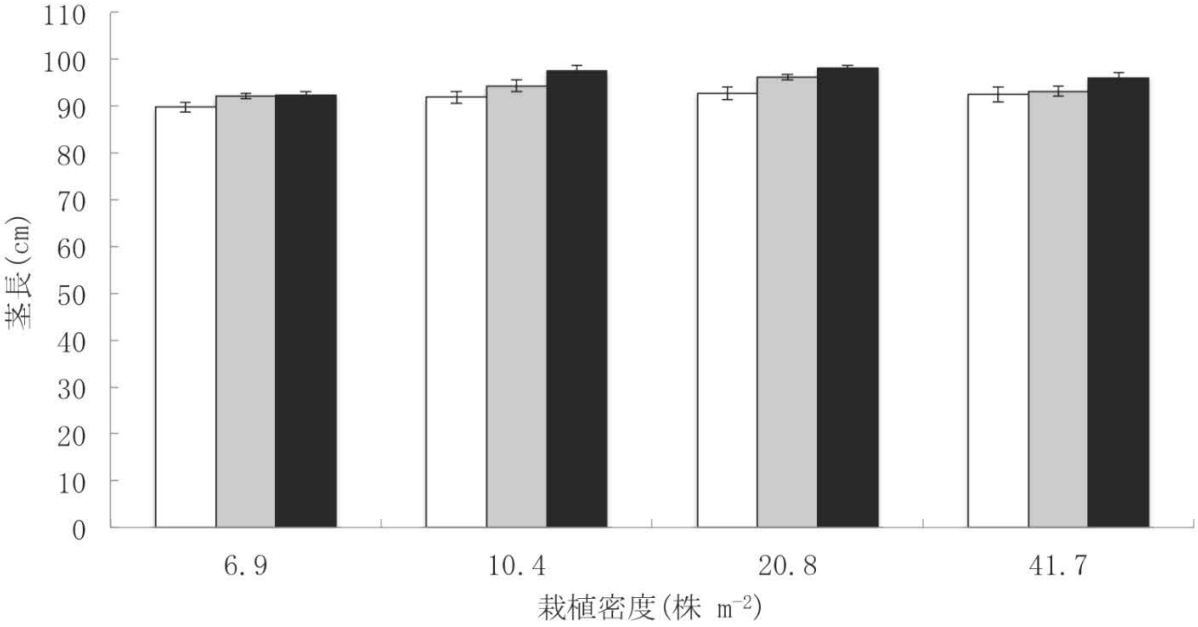
第９図に，2011 年の全長を比較して示した．施肥区間で比較すると，1/2 倍施肥区の平均値は113.3cm，標準施肥区の平均値は115.3cm，２倍施肥区の平均値は 116.9cm であり，施肥量が増えると全長も長くなった．標準施肥区と２倍施肥区では，栽植密度が41.7株 m^{-2}から10.4株 m^{-2}までは栽植密度が低下するのに伴って長くなったが，6.9 株 m^{-2}では逆に短くなった．一方，1/2 倍施肥区では，低い値でほぼ一定だった．分散分析の結果，栽植密度と施肥量に有意差がみられた（第５表）．



第9図　2011年の全長

第 10 図に，処理区間の茎長を比較して示した．施肥区間で比較すると，1/2 倍施肥区の平均値は91.0cm，標準施肥区の平均値は94.0cm，２倍施肥区の平均値は 96.0cm であり，施肥量が増えるにしたがって茎長も長くなった．全長と同様に，全ての処理区で栽植密度が 6.9 株 m^{-2}から 20.8 株 m^{-2}までは栽植密度が増えると長くなり，それを超えると，逆に短くなった．分散分析の結果，

栽植密度と施肥量に有意差がみられた.



第10図　2011年の茎長

□1/2倍　　□標準　　■2倍

第5表　2011年における栄養成長諸形質

施肥	栽植密度 (株 m^{-2})	全長 (cm)	茎長 (cm)	穂長 (cm)	節間長 (cm) 3	4	5
1/2倍	6.9	113.1±0.9	89.8±1.1	23.3±0.5	15.2±0.4	4.80±0.4	2.0±0.3
	10.4	113.9±1.4	91.9±1.3	22.1±0.8	17.0±0.0	9.40±1.4	2.2±0.3
	20.8	112.8±0.7	92.7±1.3	20.1±0.8	18.0±0.5	10.2±1.2	3.8±0.5
	41.7	113.3±1.0	92.5±1.6	20.8±0.8	17.7±0.2	9.40±1.4	4.7±0.5
標準	6.9	115.6±0.2	92.2±0.6	23.6±0.6	17.0±0.8	7.30±1.5	2.1±0.3
	10.4	116.5±1.2	94.3±1.3	22.2±1.3	18.9±0.6	9.20±0.9	2.2±0.4
	20.8	116.0±0.7	96.2±0.6	19.8±0.3	19.4±0.4	11.6±0.9	3.3±0.9
	41.7	113.0±0.8	93.2±1.1	19.8±0.4	18.1±0.8	10.1±0.8	2.3±0.7
2倍	6.9	115.6±0.8	92.4±0.7	23.2±0.4	17.7±0.6	10.2±1.4	3.4±0.6
	10.4	118.0±0.3	97.5±1.1	20.5±1.1	18.8±0.3	12.4±0.8	3.1±0.5
	20.8	117.9±0.3	98.1±0.6	19.8±0.7	19.1±0.3	13.6±1.0	4.6±0.8
	41.7	115.9±1.1	96.1±1.1	20.2±0.6	22.2±2.7	11.8±0.9	3.6±0.9
施肥		***	***	ns	**	***	*
栽植密度		*	***	***	**	***	**
施肥×栽植密度		ns	ns	ns	ns	ns	ns

平均値±標準誤差(n=5)　*, **, ***:5%, 1%, 0.1%水準でそれぞれ有意差あり, ns:有意差なし.

以上の結果より，籾収量および籾千粒重を共に高く維持しつつ，全長，茎長，節間長を同時に短く抑えるには，1/2 倍施肥区 10.4 株 m^{-2} が有効と判断された．

４．考察

収量構成要素を見ると，穂数および 1 穂籾数は，栽植密度が減ると増加したが，登熟歩合は栽植密度株 41.7m^{-2} から 10.4 株 m^{-2} までは栽植密度が低下すると増加し，更に 6.9 株 m^{-2} まで低下すると登熟歩合は逆に低下した（第 4 表）．籾千粒重では，栽植密度の影響が不明瞭だったが，施肥量が増えると低下した（第 4 表）．収量構成要素のうち穂数は 2 倍施肥区で多く，千粒重は 1/2 倍施肥区が重かった．1 穂籾数では施肥区間の差が小さかった．

中村ら（1996）は，酒米数品種を使って施肥反応を調べた結果，品種によって大きく異なることを見出した．すなわち，多肥にしても玄米収量の増える品種と増えない品種が存在し，その変化は登熟歩合に依存することを報告している．一方，収量構成要素の中でも穂数と 1 穂籾数は，供試品種全てにおいて施肥量に比例して増加すること，および千粒重は施肥量が多くなると逆に減少することを報告している．本実験においても，施肥量が増えると穂数と 1 穂籾数が増加し（第 4 表），籾千粒重は逆に減少しており（第 4 表），中村ら（1996）の報告と一致している．一方，登熟歩合は施肥量の増加に伴って僅かではあるものの増加しており（第 4 表），中村ら（1996）の報告の中にも同様の傾向を示す品種はみられたが，登熟歩合の絶対値は前章に比較してはるかに低かった（第 4 表）．この点について，実験期間中の気象条件が関与したと考えられる．実験を行った 2011 年度の気候は例年と比較して降水量が多く，風も強かった．特に，9 月 1〜4 日には台風が到来した．この時期は，登熟初期に相当し，台風のために籾の生育が著しく抑制され，結果として登熟歩合が大きく低下したものと考えられる．

このように登熟初期の台風のために籾の生育が著しく抑制され，登熟歩合および籾収量が大きく低下するなど，一部問題が生じたものの，収量調査の結果から，栽植密度が 10.4 株 m^{-2}，この中でも特に 1/2 倍施肥区で籾収量と籾千粒重を共に良好とする栽培条件として注目された．

次に，施肥条件と栽植密度が全長およびその他の器官の長さに及ぼした影響について解析する．全長は，2 倍施肥区と標準施肥区で栽植密度が 41.7 株m^{-2}から 10.4 株 m^{-2}まで低下すると全長は長くなり，6.9 株 m^{-2}では逆に短くなったのに対して，1/2 倍施肥区は栽植密度の変化が全長に及ぼす影響が小さく，全ての栽植密度で同等に短かった．一方，施肥量の影響は顕著にみられ，施肥量を増えると全長も長くなった（第 5 表）．茎長も同様な傾向がみられた（第 5 表）．1/2 倍施肥区 10.4 株 m^{-2}の全長は 113.9㎝であり，全試験区の中でも短い．形態的特性から判断すると，1/2 倍施肥区 10.4 株 m^{-2}にすることが弓形穂の栽培条件として有効であると判断された．ただし，本試験では，台風の影響により登熟歩合および籾収量が全処理区で著しく少なく，全長は短かったことから，本調査結果が弓形穂の施肥反応および栽植密度に対する収量の反応を十分に反映していたのか，判断し難い．そのため，第 4 章において，2012 年にも本研究と同様な栽培条件で再度弓形穂を栽培し，籾収量，千粒重および全長の変化を改めて解析する．

第４章　2012年における異なる施肥条件および栽植密度が弓形穂の籾収量，籾する千粒重および全長に及ぼす影響

１．はじめに

前章において，弓形穂の籾収量と籾千粒重の双方を高める栽植密度と施肥条件の組み合わせを解析した結果，1/2倍施肥区10.4株 m^{-2} にすると千粒重を高く保ちかつ全長，茎長，節間長を短く抑えることが可能であると判断された．しかし，台風の影響により登熟歩合および籾収量が全処理区で著しく少なく，全長も短いなど．気象条件の影響を強く受け過ぎて‘弓形穂’そのものも特徴がどの程度実験結果に反映されていたのか疑問が残った．

そのため，本章では，前章（2011年）と同様な栽培条件で再度弓形穂を栽培し，籾収量，千粒重および全長の変化を改めて解析した．

２．材料と方法

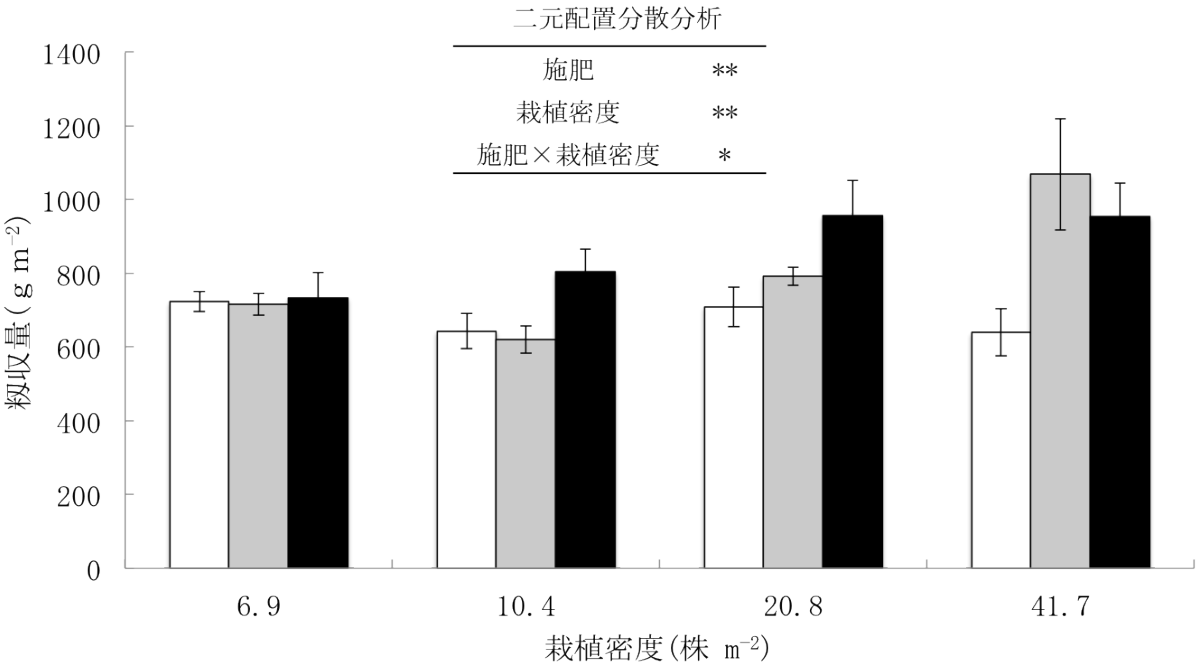
試験は2012年に三重県津市三重大学の附帯施設農場内おいて，酒米品種弓形穂を用いて行った．2012年5月23日に播種し，6月14日に移植した，追肥は，8月17日に施用した．収穫は，10月9日に行った．施肥条件は前章と同様に，当該農場にて標準的な施肥量を投与した標準施肥区，すなわち，基肥として $N:P_2O_5:K_2O = 1:1:1$ (kg $10a^{-1}$)，追肥として $N:P_2O_5:K_2O = 0.8:0.8:0.7$ (kg $10a^{-1}$) ずつ施用した試験区，標準量の２倍の肥料を施用した２倍施肥区，すなわち，基肥として $N:P_2O_5:K_2O = 2:2:2$ (kg $10a^{-1}$)，追肥として $N:P_2O_5:K_2O = 1.6:1.6:1.4$ (kg $10a^{-1}$)ずつ施用した試験区，標準量の1/２倍の肥料を施用した１/２倍施肥区，すなわち，基肥として $N:P_2O_5:K_2O = 0.5:0.5:0.5$(kg $10a^{-1}$)，追肥として $N:P_2O_5:K_2O = 0.4:0.4:0.4$ (kg $10a^{-1}$) ずつ施用した試験区の計3試験区を設けた．１施肥試験区は4m×4mとし，その周囲を畔版シートで覆った．また，栽

植密度も前章と同様に，条間は30cmで統一し，株間を8cm(41.7株 m^{-2})，16cm（20.8株 m^{-2}），32cm（10.4株 m^{-2}），48cm（6.9株 m^{-2}）とした計４試験区を各施肥試験区の中に設けた．実験水田内における各試験区の配置は，2011年（第６図）と同様である．

３．結果

３－1．収量構成要素

第11図は，2012年の籾収量を比較して示した．2012年の籾収量は前の２つ実験と比べて顕著に高く，全試験区の平均籾収量は，2010年が561 g m^{-2},



第11図　2012年の籾収量

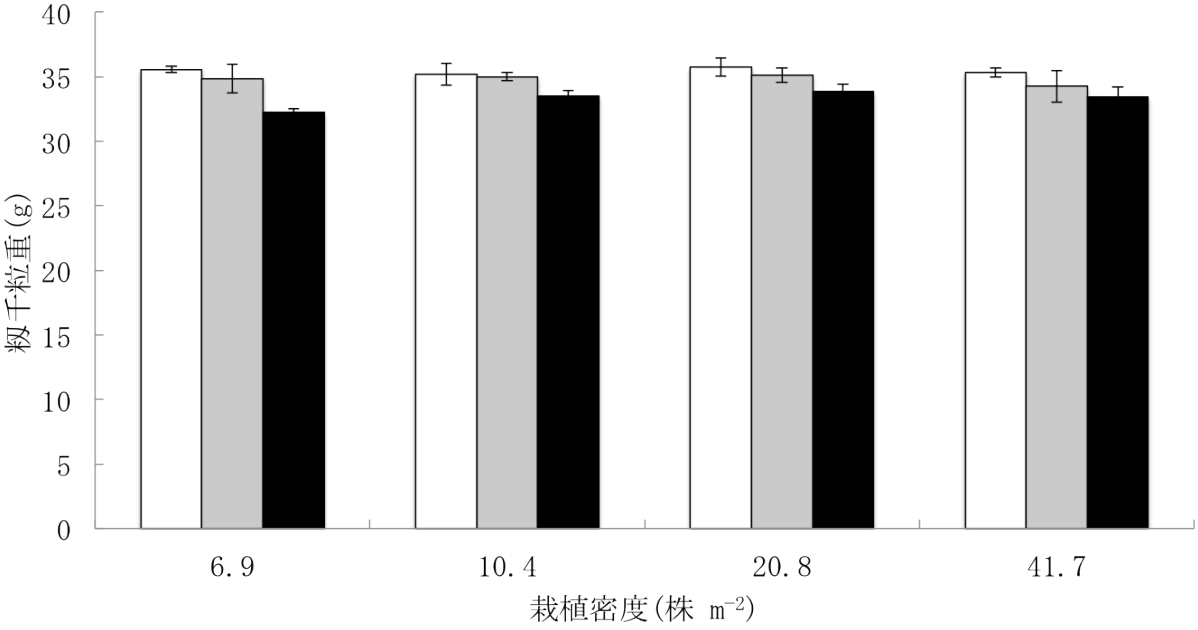
□1/2倍　■標準　■2倍

縦線は標準誤差（n=5）　*，**:1%，0.1%で水準有意差あり．

2011年が272 g m^{-2}であったのに対して，2012年が750 g m^{-2}を超えた．施肥区

の籾収量をみると，1/2 倍施肥区が 679.1 g m^{-2}，標準施肥区が 799.4 g m^{-2}，2 倍施肥区が 862.6 g m^{-2} であり，施肥量が多くなるほど籾収量も多かった．一方，栽植密度に対する明確な反応は見られなかった．分散分析の結果，籾収量は施肥量と栽植密度及び栽植密度と施肥量の交互作用において有意差がみられた．

第 12 図は，2012 年の籾千粒重を比較して示した．施肥区間で比較すると，1/2 倍施肥区 35.5g が，標準施肥区 34.8g が，2 倍施肥区が 33.3g であり，施肥量が増えると減少した．また，全ての施肥区で栽植密度が 41.7 株 m^{-2} から 20.8 株 m^{-2} まで減ると籾千粒重は増加し，それを超えると 2 倍施肥区では籾千粒重が低下したが，1/2 倍施肥区および標準施肥区では変化が見られなかった．分散分析の結果，籾千粒重では施肥量のみ有意差がみられた（第 6 表）．



第12図　2012年の籾千粒重

□1/2倍　　□標準　　■2倍

第 6 表に収量構成要素を示した．穂数は，施肥区間で比較すると，1/2 倍施肥区が 17.8，標準施肥区が 18.1，2 倍施肥区が 20.5 であり，施肥量が増えると穂数も僅かではあるが増えた．また，全ての施肥区で栽植密度が増えるのに

伴って穂数が減少した．分散分析の結果，穂数は栽植密度と施肥量に有意差がみられた．

1穂籾数は，施肥区間で比較すると，1/2倍施肥区が87.4，標準施肥区が95.8，2倍施肥区が96.1であり，施肥量が増えると1穂籾数も増えた．また，全ての施肥区で栽植密度が増えるのに伴って減少したが，分散分析の結果，1穂籾数においては栽植密度と施肥量に有意差がみられた（第6表）．

登熟歩合は，1/2倍施肥区が90%，標準施肥区が90%，2倍施肥区が90%であり，施肥区間の差は極めて小さかった．一方，全ての施肥区で栽植密度が増加するのに伴って僅かながら減少した．分散分析の結果，栽植密度および栽植密度と施肥量の交互作用において有意差がみられた（第6表）．

第6表　2012年における収量構成要素

施肥	栽植密度 (株 m^{-2})	穂数	1穂籾数	登熟歩合 (%)	籾千粒重 (g)
1/2倍	6.9	29.6±1.4	107.8±2.2	92.4±0.0	35.5±0.3
	10.4	20.6±0.9	93.9±3.6	90.1±1.2	35.1±0.4
	20.8	13.6±0.7	79.9±2.2	87.7±1.6	35.7±0.6
	41.7	7.20±0.6	68.0±2.2	88.6±1.1	35.3±0.8
標準	6.9	29.2±0.9	110.4±1.4	91.2±1.0	34.8±0.2
	10.4	19.8±1.4	96.9±2.9	89.3±1.5	35.0±0.9
	20.8	13.4±0.5	93.6±0.9	86.9±1.5	35.1±0.7
	41.7	10.0±1.3	82.1±3.1	90.1±1.0	34.2±0.3
2倍	6.9	31.4±1.5	111.5±4.6	92.2±1.0	32.2±1.1
	10.4	23.6±1.4	105.2±1.9	92.1±0.0	33.5±0.3
	20.8	16.0±1.2	93.8±2.3	90.7±1.0	33.8±0.6
	41.7	11.0±0.7	73.9±4.2	84.7±3.7	33.4±1.2
施肥		**	***	ns	***
栽植密度		***	***	**	ns
施肥×栽植密度		ns	ns	*	ns

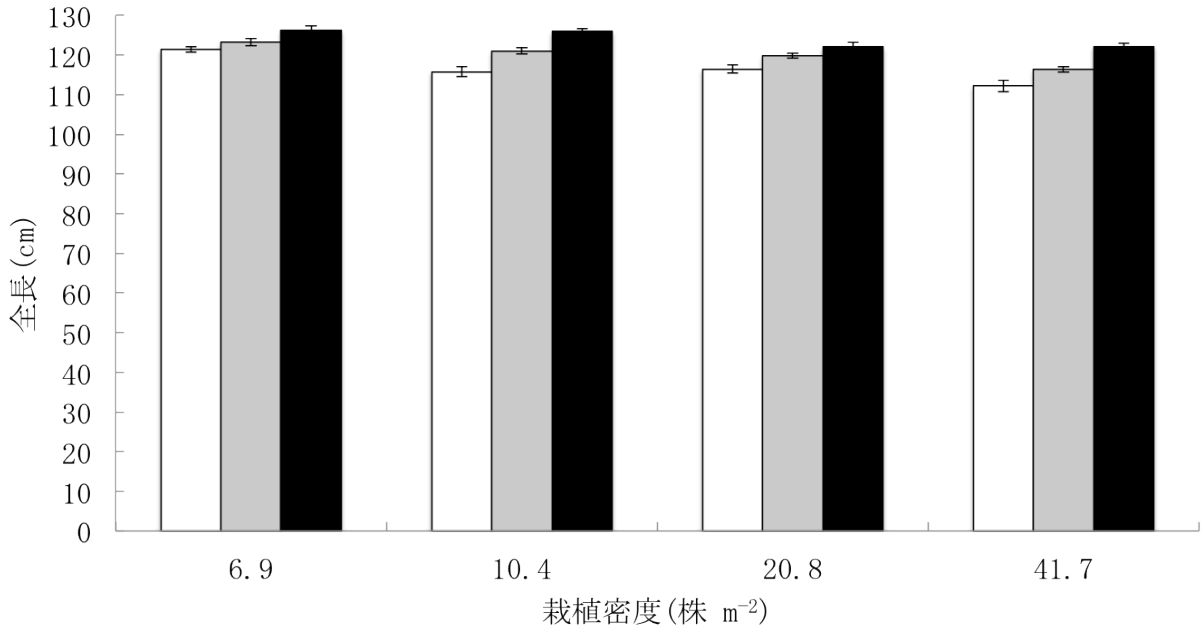
平均値±標準誤差（n=5）　*，**，***：5%, 1%, 0.1%水準でそれぞれ有意差あり，ns：有意差なし．

３－２．生育調査

第13図に2012年の全長を比較して示した．全長は，1/2倍施肥区が116.5cm，標準施肥区が120.1cm，2倍施肥区が124.1cmであり，施肥量が増えると長くなった．また，全ての施肥区で栽植密度が増加するのに伴って短くなった．分散

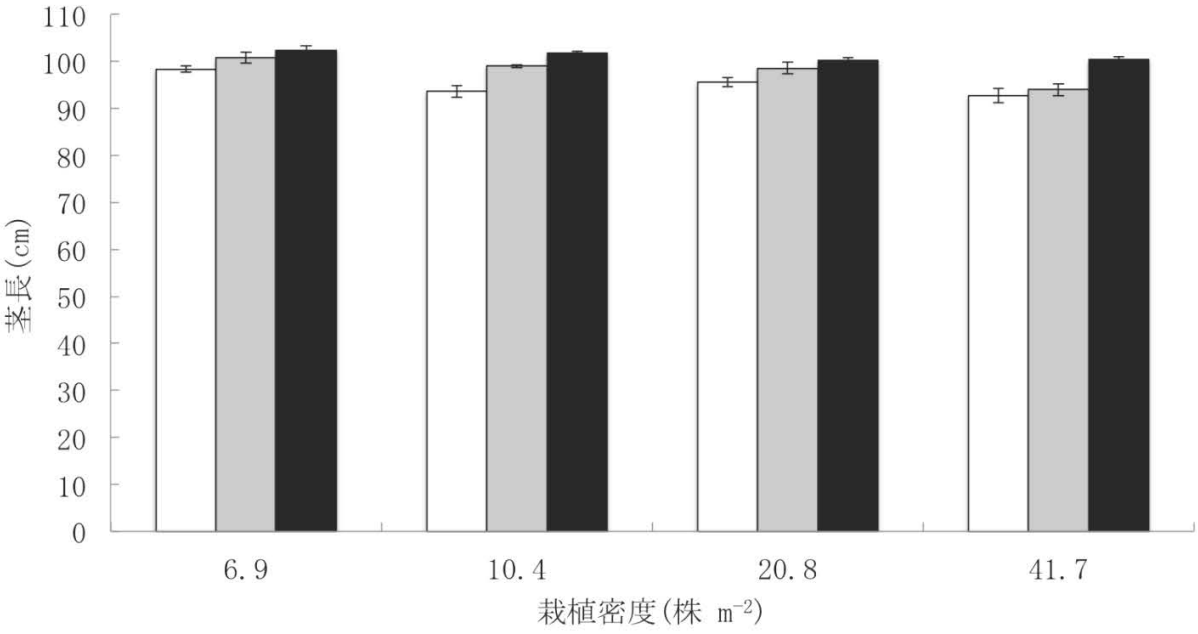
分析の結果，栽植密度と施肥量に有意差がみられた．

第14図に，2012年の茎長を比較して示した．茎長は全長と同様に，1/2倍施肥区が95.1cm，標準施肥区が98.1cm，2倍施肥区が101.2cmであり，全ての施肥区で栽植密度が低下するのに伴って長くなった．また，施肥量が増えると茎長も長くなった．分散分析の結果，栽植密度と施肥量に有意差がみられた（第7表）．



第13図　2012年の全長

□1/2倍　■標準　■2倍



第14図　2012年の茎長

□1/2倍　　□標準　　■2倍

第7表　2012年における栄養成長諸形質

施肥	栽植密度 (株 m^{-2})	全長 (cm)	茎長 (cm)	穂長 (cm)	節間長（cm） 3	4	5
1/2倍	6.9	121.4±0.7	98.4±0.8	23.0±0.5	17.8±0.7	7.6±0.81	2.8±0.4
	10.4	115.8±1.2	93.6±1.2	22.2±0.9	15.8±0.6	5.8±0.58	2.0±0.6
	20.8	116.4±1.0	95.6±1.1	20.8±0.9	15.9±1.1	7.0±1.00	3.6±0.5
	41.7	112.2±1.5	92.8±1.6	19.4±0.9	15.0±0.8	8.8±0.97	2.8±0.5
標準	6.9	123.2±0.8	100.8±1.2	22.4±0.5	19.2±0.4	7.6±0.68	3.4±0.2
	10.4	121.0±0.9	99.0±0.3	22.0±0.8	17.4±0.5	7.2±1.07	3.2±0.2
	20.8	119.8±0.6	98.6±1.2	21.2±0.7	18.4±0.5	8.8±0.86	3.0±0.3
	41.7	116.4±0.8	94.0±1.3	22.4±0.8	16.4±0.6	8.2±0.80	4.4±0.4
2倍	6.9	126.2±1.1	102.4±1.0	23.8±1.2	19.2±0.5	9.4±0.40	3.0±0.3
	10.4	126.0±0.6	101.8±0.4	24.2±0.4	19.4±0.6	7.8±0.66	2.6±0.5
	20.8	122.0±1.2	100.2±0.7	21.8±0.7	18.6±0.6	9.6±0.68	3.4±0.4
	41.7	122.2±0.9	100.4±0.7	21.8±0.7	18.6±0.8	8.2±0.58	2.6±0.4
施肥		***	***	*	***	*	*
栽植密度		***	***	**	**	ns	ns
施肥×栽植密度		ns	ns	ns	ns	ns	ns

平均値±標準誤差（n=5）　*, **, ***:5%, 1%, 0.1%水準でそれぞれ有意差あり, ns:有意差なし.

４．考察

本章（2012 年）の籾収量は，前々章（2010 年，第 2 図）および前章（2011 年，第 7 図）と比べて多かった．前章では，登熟初期の 9 月 1～4 日に到来した台風の影響により登熟歩合およびその結果として籾収量が全処理区で著しく低かった（第 4 表）．2012 年は， 9 月上旬にかけて，台風のような強風が吹くことも無く，この時期の津市の平均気温も 26.9℃であり，平年（26℃）および 2010 年（29.1℃）に比較しても低かった．イネでは，登熟期の平均気温が 20～25℃のときに登熟が最も盛んとなることが報告されており（森田，2008），2012 年における登熟歩合の高さとそれに伴う籾収量の増加には，登熟前期が温暖であったこと，および強風も吹かなかったことが関与したものと考えられる．

次に，栽植密度と施肥条件が収量構成要素に及ぼす影響について考察する．穂数および 1 穂籾数は施肥量が多くなると増加し，栽植密度が増加すると減少した（第 6 表）．籾千粒重は，施肥量が多くなると減少した．中村ら（1996）は，酒米数品種を使って施肥反応を調べたところ，多肥にするほど籾千粒重が減少することを報告しており，本章の結果とも一致している．また，前章において，籾千粒重に及ぼす栽植密度の影響が不明瞭のことを指摘したが，同様な傾向は本章においても確認された（第 12 図）．登熟歩合においては施肥に対する明確な反応は見られなかったが，栽植密度が増加すると僅かながら減少した（第 6 表）．

以上のことより，施肥量を増やすと籾収量も増加するが，籾千粒重は逆に低下することから（第 12 図），籾千粒重を高く維持させることを第 1 の目標とした場合，施肥条件は，標準施肥区または 1/2 倍施肥区とし，栽植密度は 41.7 株 m^{-2} から 20.8 株 m^{-2} の範囲に落ち着けるのが望ましいと考えられた．

次に，全長の変化に注目すると，施肥量が増えると長くなった（第 7 表）．一方，栽植密度の影響については，森・村山（1983）および五十嵐ら（1997）が疎植するほど全長が長くなることを報告しており，本章においても栽植密度が低下するほど全長が長くなったが，その変化は施肥反応に比較して小さかった

（第 13 図）．同様な傾向は茎長においてもみられた（第 14 図）．これらのことから，全長および茎長を短くするためには，栽植密度は 41.7 株 m^{-2} から 20.8 株 m^{-2} の間に留め，かつ施肥量は少ないほど望ましいことが分かった．

以上まとめると，弓形穂の収量および千粒重を高く維持し，かつ，全長を抑えるためには，施肥量は標準の 1/2 倍施肥とし，栽植密度は 41.7 株 m^{-2} から 20.8 株 m^{-2} までの範囲が有効であると判断された．

第5章　総合考察

本研究は，三重大学生物資源学部と地元の酒蔵とが協力して開発した酒米品種‘弓形穂’の最適な施肥条件と栽植密度の組み合わせについて解析した．全試験区の平均籾収量は，2010年が561 g m^{-2}，2011年は272 g m^{-2}，2012年は750 g m^{-2}であり，2011年の籾収量が極めて少なく，2012年は逆に極めて高かった．2011年には，風速が最大で23.7(m s^{-1})となる大型の台風12号が登熟初期となる9月1〜4日に到来しており，これにより受粉あるいはその後の穎果の初期生育が著しく抑制されて登熟歩合が大きく低下したため，結果として籾収量も全処理区で著しく低くなったと推察される．一方，2012年には登熟期となる9月上旬（9月1日から10日）に台風は到来せず，また，平均気温は26.9℃であり，2010年（29.1℃）と比較して低い．森田（2008）は，登熟期40日の平均気温が20℃から25℃であるほど登熟歩合が増加すると報告しており，2012年の登熟期の気温が高くなかったために登熟歩合およびその結果として籾収量が高くなったと考えられる．また，籾収量と施肥条件および栽植密度との関係をみると，2012年に密植になるほど籾収量が増え，更に施肥反応も明確になったが，その他の年に明確な反応はみられなかった．

このように，籾収量およびその施肥条件と栽植密度に対する反応は実験を行った3年間で大きく異なったが，収量構成要素に及ぼす施肥条件および栽植密度の影響は，3年間を通じてほぼ共通していた．すなわち，穂数は3年ともに施肥量が増えると増加し，栽植密度が増えるのに伴って減少した（第1，4，6表）．イネの栽植密度に対する応答について，田中ら（1996）は，栽植密度の増大に伴って穂数が増加すると報告している．また，イネの施肥量に対する応答については，中村ら(1996)が酒米数品種を使って施肥反応を調べたところ，いずれの品種も施肥量が多いほど増加すると報告しており，本研究は，これらの報告とよく一致した．1穂籾数は，3年間ともに栽植密度が増えるのに伴って減少した（第1，4，6表）．また，2010年を除く，2011と2012年においては，施肥量が増えると1穂籾数も多くなった（第1，4，6表）．前田（2002）

は，イネの 1 穂籾数は，密植よりも疎植により，そして施肥量は多いほど増えることを報告しており，これも本研究結果と一致している．一方，登熟歩合は，2010 年には栽植密度に対する明確な応答はみられず（第 1 表），2011 年と 2012 年においては栽植密度が増加するのに伴って減少したが，その反応は統計上有意なものではなかった（第４，６表）．また，施肥反応は， 2010 年と 2011 年は統計上有意であったが，反応程度は調査年によって変動した（第 1，4，6 表）．過去の報告（田中 1996，中村 1996，前田 2002）においても，栽植密度や施肥量に対するイネの登熟歩合の明確な反応は確認できていないことから，登熟歩合は栽培方法と気象条件の双方の影響を強く受けると考えられる．

籾千粒重は，3 年間共に栽植密度に対する反応は見られなかったが，施肥反応は 3 年間共通しており，施肥量が増えると千粒重は減少した（第 3，8，12 図）．中村ら（1996）も，多肥にすると籾千粒重が減少したことを報告しており，本研究と一致している．

このように，本研究における弓形穂の栽植密度および施肥量に対する反応は，過去の報告とも概ね一致した．籾収量と籾千粒重の双方を高く維持させるためには，2010 年(第２章)には標準施肥区の栽植密度 18.5 株 m^{-2}，2011 年には 1/2 倍施肥区の栽植密度 10.4 株 m^{-2}，2012 年には標準施肥区または 1/2 倍施肥区とし，栽植密度は 41.7 株 m^{-2} から 20.8 株 m^{-2} の範囲が望ましいと判断され，最適な栽植密度は３年間で必ずしも一致しなかった．しかし，極端に低収だった 2011 年を除くと，2010 年および 2012 年ともに標準的な栽植密度（2010 年：18.5 株 m^{-2}，2012 年：20.8 株 m^{-2}）が好適と判断された．また，最適な施肥条件については，2010 年には標準施肥区，2011 年および 2012 年には 1/2 倍施肥区となり，2010 年は標準施肥区が追肥重点区と共に施肥総量が最も少なかったことから，玄米収量を確保する上で，施肥量は必ずしも多くする必要はないことが示唆された．

次に，収穫と倒伏防止の観点から最適な栽培条件を解析する．全長は，2010 年には栽植密度が増加するのに伴って長くなったが，2011 年と 2012 年は逆に栽植密度が増加するのに伴って短くなった(第 4，9，13 図)．森・村山(1983)は，疎植すると全長が長くなったことを報告しているが，田中・有馬（1990）

は，逆に密植すると全長が長くなった報告としており，栽植密度に対する全長の反応は異なった．森・村山（1983）は，実験に‘アキヒカリ’を供試し，青森県の弘前大学農場で1982年5月20日に田植えした．一方，田中・有馬(1996)は実験に‘レイホウ’を供試し，佐賀県の佐賀大学農学部の水田に1977年と1978年6月24日に田植えをしており，供試品種および栽培環境が両者で大きく異なる．このことは，イネの全長の栽植密度に対する反応が品種および栽培環境条件によって変化することを推測させる．本研究においても，茎の節間伸長が盛んとなる8月の平均気温が，2010年で29.1℃，2011年で28.0℃，2012年で28.3℃であり，３ヶ年で異なった．高温障害が問題となった2010年における全長の反応は，温暖地で実験した田中・有馬（1990）の結果に類似し，それ以外の2011年および2012年の結果は，寒冷地で実験した森・村山（1983）の結果に類似しており，弓形穂の反応は，高温年では密植，それ以外の年には疎植にするほど長くなることが推察される．これに対して施肥反応は3年間共通しており，施肥量が増えると全長も長くなった（第4，9，13図）．茎長は，3年間ともに全長と類似した反応を示しており，2010年には栽植密度が増加するのに伴って長くなったが，2011年と2012年は逆に栽植密度が増加するのに伴って短くなった（第5，10，14図）．一方，穂長は，3年間ともに19cm-22cmの範囲に差がなかったで落ち着いており，栽植密度および施肥量に対する明確な反応は確認されなかった（第２，５，７表）．

以上のことから，栽植密度および施肥量に対する弓形穂の全長の反応は，茎長の反応に強く支配されており，茎長および全長を短くするためには，2010年には標準施肥区の栽植密度12.3株 m^{-2}，2011年には1/2倍施肥区栽植密度10.4株 m^{-2}，2012年には1/2倍施肥区栽植密度41.7株 m^{-2}が望ましいと判断された．

このように，最適栽植密度は，2012年とそれ以外で大きく異なり，かつ籾収量および籾千粒重のそれとも一致する年が少なかった．籾収量，籾千粒重，全長および茎長に及ぼす栽植密度の影響は，気温や日射量等の気象条件によっても変化することが予想され，最適栽植密度を明確にするためには，もう数年同様な実験を行いデータを蓄積した上で再検討すべきと考えられた．一方，施

肥条件については，2011 年および 2012 年ともに 1/2 倍施肥区が最適となり，2010 年においても上述のように設定条件の中で最も施肥量が少なかった標準施肥区が最適となった． 1/2 倍施肥区の籾収量は，2011 年および 2012 年において，標準および 2 倍施肥区と比較しても見劣りせず，籾千粒重については逆に高かったことから，施肥量については標準量あるいは標準量の半分に減肥しても玄米収量およびその品質に及ぼす悪影響は極めて小さいものと考えられた．

謝辞

本研究は長菅輝義准教授のご指導のもとで進めて参りました．感謝の意を表します．また，奥田均教授，梅崎輝尚教授より有益な御助言をいただきました．附帯施設農場の宮崎洋介技術専門員，岩井静子技術専門員，瀬古啓介技術員，樋口伸一技術員には圃場の管理等でお世話になりました．厚く御礼申し上げます．

引用文献

1. 五十嵐 弘・伊藤 徳内・上林 美保子　1997. 水稲の低農薬・有機栽培について(II). 日作東北支部報 33:11-12.

2. 前田忠信　2002. 低農薬栽培における栽植密度が水稲の生育,収量と穂いもち発生に及ぼす影響. 日作紀 71:50-56.

3. 森 敏夫・村山 成治　1983. 疎植イネの生育と収量について.日作東北支部報 26:19-21.

4. 森田敏　2008.水稲高温登熟障害の生理生態学的解析. 九州沖縄農研報告 52:1-78

5. 中司祐典　2009. 水稲「ヒノヒカリ」の疎植栽培における施肥量削減の影響と病害虫発生の特徴. 近畿中国四国農業・作物生産

6. 中村 承禎・上田 一好・楠谷 彰人・浅沼 興一郎・豊田 正範　1996. 香川県における酒米品種の栽培および育種に関する基礎研究 ： 第 3 報 収量と品質に及ぼす施肥量の影響. 日作四国支紀 33:1-10.

7. 中野 尚夫・水島 嗣雄　1994. 水稲の一株植付本数の違いが収量構成要素および収量に及ぼす影響. 日作紀 63:452-459.

8. 田中 典幸・有馬 進　1996. 水稲の根の生育に及ぼす栽植密度の影響. 日作紀 65:71-76.