

窒素施肥法及び 紙マルチ移植栽培が水田系外に排出される汚濁物質に及ぼす影響と評価

大塚 英一・山本 幸洋・金子 文宜・真行寺 孝

キーワード：水田、側条施肥、育苗箱全量施肥、紙マルチ移植栽培、除草剤

I 緒 言

水田は、用水中に含まれる窒素、リン、COD及びSSといった水質汚濁成分を水田系内に止め、水質を浄化する能力を持つ。例に挙げると、窒素は水田内を流下中に水稻等に吸収されたり、水田土壌中で脱窒菌の作用によりガス化され浄化されることが知られている（朴ら、1998；森川ら、1986）。一方、水田は多量の排水が生ずるため、施用された肥料や農薬が周辺の水系へ水質汚濁成分として流出し易い環境である（田淵ら、1985；丸、1991）。

このため、水質汚濁防止の観点から、水田において主要な肥料成分である窒素や農薬の流出を抑える栽培が求められている。

田面水中の水質汚濁成分は、代かき、追肥及び中耕除草作業時に高濃度になる。特に、代かき後12日間の全窒素の流出量は、年間の流出量に対して20%以上を占めた（金子ら、1999）。また、田面水中の除草剤成分は粒剤施用後の1～3日間で急速に濃度が高まり、概ね施用後14日間の流出が流出量全体の大半を占める（山本ら、1999、2005；山本、2001；石井ら、2004；長崎、2000；天野ら、2001）。これらのことから、千葉県では、稲作標準技術体系の中で窒素の流出対策としては代かき後12日間は田面水を排水しない落水停止措置を行うとし、除草剤の流出対策としてはベンチオカブを例に施用後14日間は田面水を排水しないとしている（千葉県農林技術会議、2001）。

本研究を行った印旛沼水系では、下水道整備等の対策によって家庭や事業所からの全窒素及びCODの流出量は徐々に減少しつつある。しかし、市街地や農地などからの全窒素及びCOD量は横ばい傾向である。これまでの報告によれば、CODでは家庭雑排水や市街地からの降雨時の排水が、全窒素ではこれに加えて農地からの肥料成分の流亡が、河川の水質汚濁の主要因となっている（印旛沼流域水循環健全化会議、2007）。また、稲作においては、兼業農家の増加や他の農作業との重複から田植えを

急ぐあまり、代かき直後の濁水を落水したり、かんがい水を掛け流すといったことも散見される。

このような現状から、前述の落水停止措置に代わり、水田からの窒素肥料と農薬の流出をより積極的に抑制する技術を導入する必要があると考えられる。今回導入した技術は、側条施肥（尾崎、1990）または、育苗箱全量施肥（金木ら、2000）と紙マルチ移植栽培（小林ら、1995）である。本研究では水質汚濁成分の流出抑制が期待できるこれらの技術を組み合わせ、印旛沼周辺の現地水田においてその効果を評価したところ、顕著な抑制効果が認められたのでここに報告する。

本研究を実施するに当たり、櫻井博文代表理事を始めとする法人米本の皆様には、試験ほ場を提供していただいた上、栽培管理を担当していただいた。千葉県農業総合研究センター生産技術部水田作研究室在原克之博士、篠田正彦氏（現、当センター育種研究所）並びに櫻井富久氏（現、県農林水産部生産振興課）には、水質汚濁抑制に繋がる技術を栽培面から検証していただいた。また、同生産環境部環境機能研究室青柳森一元室長（現、当センター北総園芸研究所長）並びに同松丸恒夫元室長（現、当センター生産環境部長）には、試験の設計から取りまとめに至るまで懇切丁寧な御指導を賜った。ここに記して、深く感謝の意を表す。

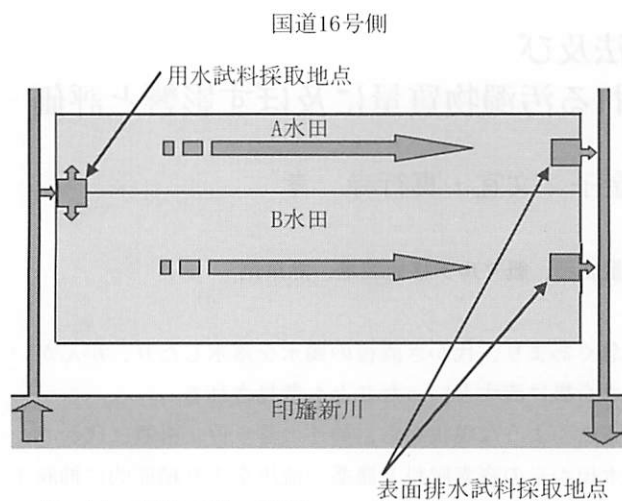
II 試験方法

系外流出防止型水田における施肥窒素と除草剤の流出抑制効果は、2000年の試験では用排水量を把握し、水田系外に流出した窒素と除草剤の濃度と流出量を測定して評価した。2001年の試験では、施肥窒素の流出量が集中する代かき直後と、除草剤の流出量が集中する施用直後の排水中の濃度を測定して評価した。

1. 試験ほ場の概要

試験ほ場は、千葉県八千代市米本地区の水田2筆（以下、A水田及びB水田）とした。面積は、A水田が18a、B水田が34aである。土壌は、中粗粒強グライ土（芝井統）である。A水田とB水田の用水は、両水田の境に設置した用水升1個から供給される。

受理日2007年10月5日



第1図 調査ほ場の概要

排水は、それぞれの水田の水尻に設置された排水升から排出される(第1図)。

2. 側条施肥と紙マルチ移植栽培を組み合わせた系外流出防止型水田の評価(試験1)

(1) 試験区の構成

試験期間は、2000年4月25日から9月4日とした。試験区として、側条・紙マルチ区と慣行区を設けた。側条・紙マルチ区は、側条施肥と紙マルチ移植栽培を組み合わせた系外流出防止型としB水田へ配置した。慣行区は、全面全層施肥と除草剤散布を組み合わせた栽培体系としA水田へ配置した。窒素施肥量は、側条・紙マルチ区では基肥2.4kg/10a(ジシアン有機入りハイペースト444号)と穂肥0.9kg/10a(NK化成C-6号)、慣行区では基肥3.0kg/10a(マップ化成)と穂肥1.9kg/10a(NK化成C-6号)とした。慣行区の除草剤は、ベンスルフロンメチル0.51%・ベンチオカーブ15%・メフェナセット3%含有粒剤(ウルフェース1kg粒剤)とし、1kg/10aを散布した(第1表)。

(2) 耕種概要

供試品種は、「コシヒカリ」とした。両区への入水日は4月25日とした。

第1表 各試験区における窒素施肥量及び雑草防除

試験年度	試験区		施肥量(Kg/10a)		雑草防除
	ほ場	区名	基肥	穂肥	
2000	B区	側条・紙マルチ区	2.4	0.9	紙マルチ
	A区	慣行区	3.0	1.9	除草剤1kg/10a
2001	A区	箱全量・紙マルチ区	3.8	—	紙マルチ
	B区	慣行区	2.9	—	除草剤1kg/10a

注1) 側条施肥区の供試肥料はペースト肥料とした。

2) 育苗箱全量施肥区の供試肥料は被覆尿素とした。

3) 除草剤は製剤1kg中にベンスルフロンメチル0.51%・ベンチオカーブ15%・メフェナセット3%を含有する。

側条・紙マルチ区では5月3日に代かきし、同日、基肥を側条施用しながら紙マルチ田植機で移植した。慣行区では4月30日に荒代かきし、5月3日に基肥を施用して代かきし、5月5日に移植した。5月9日に、慣行区へ除草剤を散布した。両区とも、7月12日に穂肥を施用し、9月4日に収穫した。

(3) 調査項目

流出抑制の評価は、排水中の水質汚濁成分の濃度と流出量によって行った。

i) 用排水量調査

用排水量は、用水升と排水升に設置した小水路流量計(RD-IV、三洋測器社製)を用いて測定した。A水田とB水田は用水橋を共用していることから、用水は単位面積当たり水量が均等となるよう両水田に振り分けられたものとした(第1図)。

ii) 水質調査

用水の採取は毎月1回行った。排水の採取は、水尻の排水橋に自動採水装置(モデル900:12個の容量0.9Lガラスビンを収容、シグマ社製)を設置し、毎日1回正午に行った。なお、自動採水装置は、採取時刻に表面排水がないと採取できないため、代かき、移植及び除草剤散布直後は水尻から直接採取した(第1図)。

調査項目は、全窒素(以下、T-N)、有機態窒素(以下、Org-N)、アンモニア態窒素(以下、NH₄-N)、硝酸態窒素(以下、NO₃-N)、COD、濁度及び除草剤の主成分であるベンチオカーブとメフェナセットとした。なお、Org-Nは、T-NからNH₄-NとNO₃-Nを差し引いて求めた。水田から流出した窒素の指標としては主にT-Nを用い、施肥や土壌に由来する窒素の指標としてはNH₄-Nなどの形態別濃度を用いた。

各調査項目の分析は以下のとおりとした。T-Nは試料を過硫酸塩で加熱分解した後に比色法、NH₄-NとNO₃-Nはオートアナライザー法(TRAACS800、ブランルーベ社製)、CODは過マンガン酸カリウム法(DR-4000、ハック社製)によった。また、濁度は濁度吸光光度法(DR-4000、ハック社製)により測定し、国際基準であるNTUで表示した。ベンチオカーブとメフェナセットの分析は、酢酸エチルで抽出後GC-NPD法(HP6890、ヒューレット・パッカー社製、分離カラムDB-5MS)によった。

3. 育苗箱全量施肥と紙マルチ移植栽培を組み合わせた系外流出防止型水田の評価(試験2)

(1) 試験区の構成

試験期間は、2001年4月17日から9月6日とした。試験区の構成は、箱全量・紙マルチ区と慣行区とした。箱全量・紙マルチ区は、本田期間中の施肥窒素分をあらかじめ育苗箱内に施用し、移植苗と共に肥料が本田に持ち

込まれる育苗箱全量施肥と紙マルチ移植栽培を組合わせた系外流出防止型としA水田へ配置した。慣行区は全面全層施肥と除草剤散布を組合わせた栽培体系としB水田へ配置した。窒素施肥量は、箱全量・紙マルチ区では基肥3.8kg/10a（くみあい40被覆尿素LPコート100）、慣行区では基肥2.9kg/10a（くみあいケイ酸加里入り塩化燐安082）とした。慣行区の除草剤は、ベンスルフロンメチル0.51%・ベンチオカーブ15%・メフェナセット3%含有粒剤（ウルフエース1kg粒剤）とし、1kg/10aを散布した。

(2) 耕種概要

供試品種は、「コシヒカリ」とした。両区への入水日は、2001年4月17日とした。箱全量・紙マルチ区では5月1日に代かきし、5月2日に箱施用された肥料と共に苗を紙マルチ田植機で移植した。慣行区では5月1日に基肥を施用して代かきし、5月2日に移植した。5月9日に慣行区へ除草剤を散布した。収穫は両区とも9月6日に行った。

(3) 調査項目

流出抑制の評価は、排水中の水質汚濁成分の濃度で行った。

用水及び排水の採水は、試験1と同様に行った。調査項目は、T-N、COD、濁度及び除草剤（ベンチオカーブとメフェナセット）とした。各項目の分析は試験1と同様に行った。

III 結 果

1. 側条施肥と紙マルチ移植栽培を組み合わせた系外流出防止型水田の評価（試験1）

(1) 用排水量調査

2000年の試験期間における用水量は、両区とも4,110t/10a、排水量は、側条・紙マルチ区では2,247t/10a、慣行区では3,135t/10aであった（第2表）。

試験期間中の用水量に対する排水量の割合は、側条・紙マルチ区で47.0%、慣行区で65.6%であり、側条・紙マルチ区は慣行区と比べて少なかった。用水は、両区とも5月が最も水量が多く試験期間における全用水量の44%を占めた。排水量が最も多かったのは7月で、試験期間における全用水量に対して側条・紙マルチ区が59%、慣行区が30%を占めた。これは7月7～8日の2日間に192mmの降雨があり、月間降水量も237mmと試験期間中最も多ったためである。排水量は、両区とも用水の供給が停止している9月を除き5月が最も少なかった。

表2 試験期間の月別用排水の水量(2000年)

月	降水量	用排水量		
		用水		表面排水
		両区	慣行区	側条・紙マルチ区
4	21	419	0	56
	3	10	0	2
5	126	1,806	482	130
	19	44	15	6
6	201	864	807	328
	30	21	26	15
7	237	483	931	1,317
	35	12	30	59
8	88	537	851	416
	13	13	27	18
9	0	0	63	0
	0	0	2	0
673		4,110	3,135	2,247

注1) 最下段の数値は、合計値である。

注2) 各月の数値の単位は上段:t/10a、下段:%である。

(2) 用排水中の水質汚濁成分濃度

i T-N、COD及び濁度の最高と平均値

試験調査期間中の用水T-N濃度は、平均が3.0mg/L、最高値が4.2mg/Lであった（第3表、第4表）。また、COD濃度は、平均が6.6mg/L、最高値が7.8mg/Lであり、濁度は、平均が15NTU、最高値が23NTUであった。

側条・紙マルチ区における排水中のT-N、COD濃度及び濁度は、それぞれ慣行区と比べて平均が2.0mg/L、21.0mg/L、83NTU低く（第3表）、最高値が30.3mg/L、60.5mg/L、1,002NTU低かった（第4表）。

ii 試験期間中における各汚濁成分濃度の推移

排水中のNO₃-N濃度は、側条・紙マルチ区及び慣行区とも採水を開始した4月25日が最高値であった（第2図）。

荒代かきを行った4月30日の濁度は、最高値に次ぐ高い値であった（第3図）。両区のT-N、NH₄-N、Org-N濃度及び濁度は基肥施肥日（代かき日）の5月3日に最高値となった（第2図、第3図）。

窒素形態別にそれぞれの最高値を比較すると、いずれも慣行区と比べて側条施肥・紙マルチ区が低かった。NO₃-N濃度について見ると、5月4日～収穫日までは両区とも平均濃度0.8mg/Lと低く推移し、差は認められなかった（第2図）。T-N、Org-N、COD濃度は、ほぼ全調査期間をとおして慣行区と比べて側条・紙マルチ区で低く、特に生育調査を行った6月3日にその傾向が顕著であった（第2図、第3図）。

穂肥を施用した2日後の7月14日におけるT-N及びNH₄-N濃度は、側条・紙マルチ区が慣行区と比べて低かった（第2図）。

第3表 試験1における試験期間の月別用排水中の水質汚濁成分濃度

月	T-N濃度 (mg/L)			NH ₄ -N濃度 (mg/L)			NO ₃ -N濃度 (mg/L)		
	用水	表面排水		用水	表面排水		用水	表面排水	
	両区	慣行区	側条・紙マルチ区	両区	慣行区	側条・紙マルチ区	両区	慣行区	側条・紙マルチ区
4	4.1	—	6.1	0.4	—	0.5	1.8	—	1.8
5	3.4	10.7	5.9	0.2	5.4	0.7	1.2	1.0	0.4
6	2.1	2.2	0.3	0.3	0.2	0.2	1.9	0.6	0.6
7	2.5	2.0	0.7	0.1	0.2	0.1	1.9	1.0	1.0
8	2.8	2.1	2.6	0.0	0.0	0.0	2.3	0.9	1.0
9	—	1.6	—	—	0.1	—	—	1.0	—
平均値	3.0	3.4	1.4	0.2	1.2	0.3	1.8	0.9	1.0

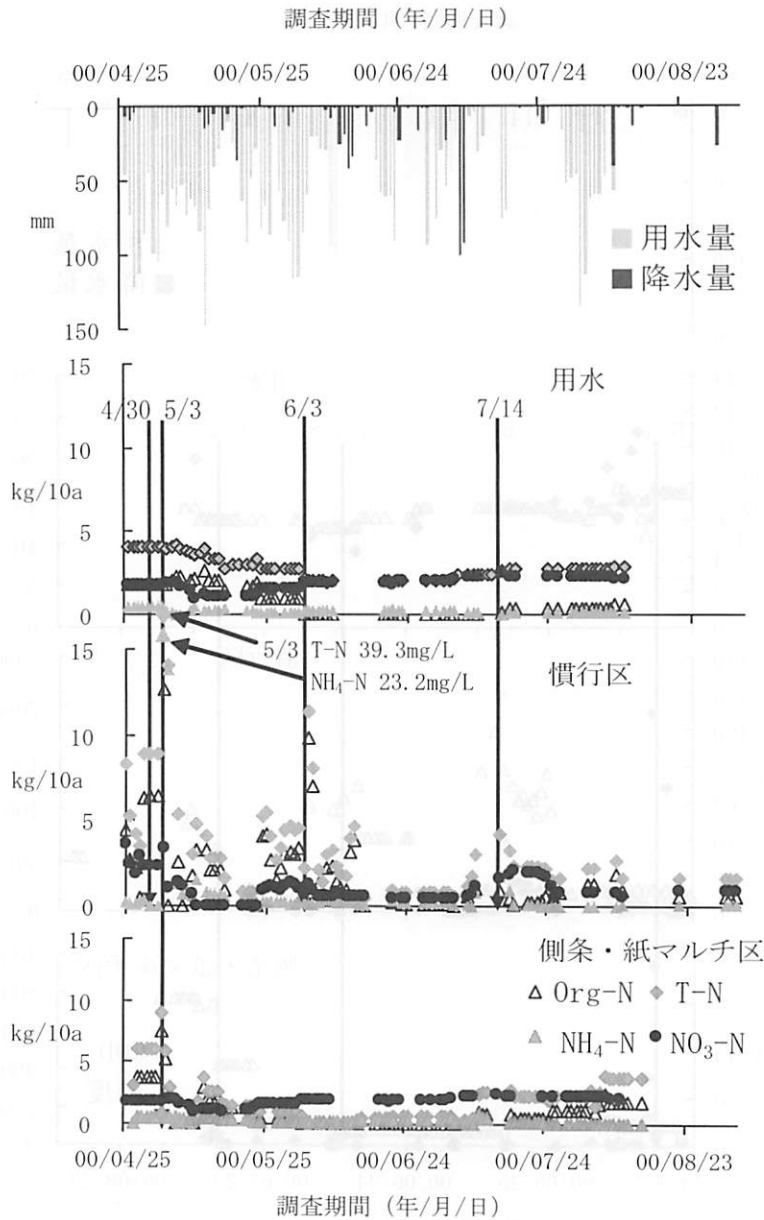
月	Org-N濃度 (mg/L)			COD濃度 (mg/L)			濁度		
	用水	表面排水		用水	表面排水		用水	表面排水	
	両区	慣行区	側条・紙マルチ区	両区	慣行区	側条・紙マルチ区	両区	慣行区	側条・紙マルチ区
4	1.8	3.8	2.8	7.4	—	8.5	—	212	19
5	1.7	2.6	1.7	6.7	21.9	11.2	17	251	139
6	0.1	1.9	0.0	6.5	25.1	5.9	13	97	3
7	0.2	0.5	0.5	6.0	47.0	7.4	10	9	8
8	0.4	1.1	1.6	6.1	33.6	34.7	20	79	59
9	—	0.6	—	—	29.5	—	—	—	—
平均値	0.8	1.7	1.3	6.6	33.5	12.5	15	129	46

注) T-N及びCOD濃度 (mg/L)は、日単位の表面排水量に濃度を乗じて物質量を算出し、その月間毎の和を月間用水量で除した値である。

第4表 試験1における試験期間の月別用排水中の水質汚濁成分最高濃度

月	T-N濃度 (mg/L)			NH ₄ -N濃度 (mg/L)			NO ₃ -N濃度 (mg/L)		
	用水	表面排水		用水	表面排水		用水	表面排水	
	両区	慣行区	側条・紙マルチ区	両区	慣行区	側条・紙マルチ区	両区	慣行区	側条・紙マルチ区
4	4.1	—	6.1	0.4	—	0.5	1.8	—	3.1
5	4.2	39.3	9.0	0.4	23.2	1.0	1.9	3.4	1.8
6	2.7	11.3	1.0	0.3	0.3	0.4	2.0	1.3	0.9
7	2.8	4.2	2.7	0.3	1.7	0.9	2.5	2.1	1.9
8	2.9	2.7	4.0	0.1	0.1	0.0	2.3	1.0	2.1
9	—	1.6	—	—	0.1	—	—	1.0	—
最高値	4.2	39.3	9.0	0.4	23.2	1.0	2.5	3.4	3.1

月	Org-N濃度 (mg/L)			COD濃度 (mg/L)			濁度		
	用水	表面排水		用水	表面排水		用水	表面排水	
	両区	慣行区	側条・紙マルチ区	両区	慣行区	側条・紙マルチ区	両区	慣行区	側条・紙マルチ区
4	1.8	6.5	3.7	7.4	—	8.6	—	1228	19
5	2.6	12.6	7.6	7.8	76.0	12.2	23	1951	949
6	1.0	9.9	0.5	6.8	122.0	9.9	14	703	9
7	0.4	1.1	1.1	6.2	70.0	33.9	11	18	18
8	0.6	1.8	2.5	6.7	56.0	61.5	20	117	107
9	—	0.6	—	—	29.5	—	—	—	—
最高値	2.6	12.6	7.6	7.8	122.0	61.5	23	1951	949



第2図 試験1における表面排水中の形態別窒素成分濃度の推移

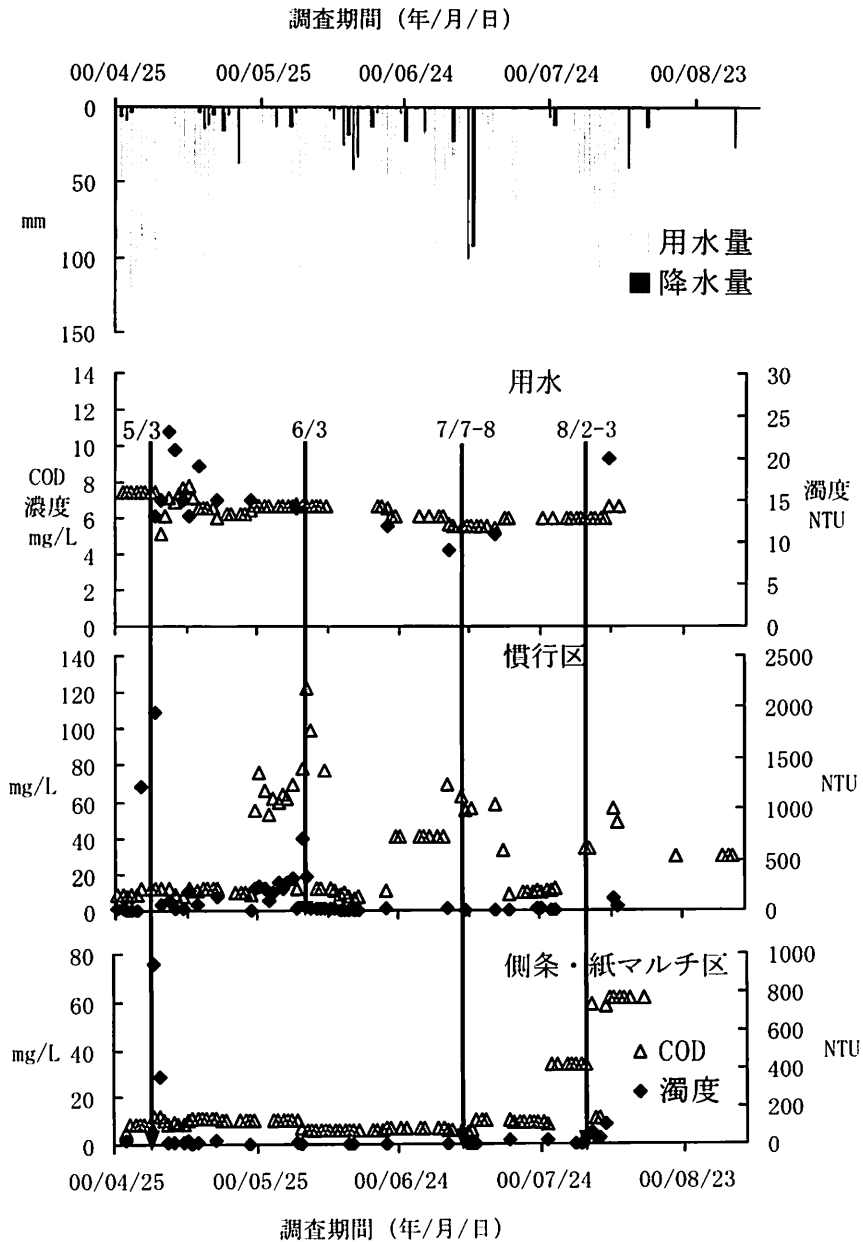
7月下旬から8月14日までのT-N、Org-N及びCOD濃度は、側条・紙マルチ区が慣行区と比べていずれも高かった(第2図、第3図)。

慣行区の表面排水中におけるベンチオカーブとメフェナセットの濃度は、散布後3日にそれぞれ調査期間中の最高値となる $124\mu\text{g/L}$ 、 $39\mu\text{g/L}$ を示した。その後両薬剤の濃度は低下し、ベンチオカーブの濃度が環境基準値である $20\mu\text{g/L}$ 以下となったのは散布14日後であった(第4図)。

(3) 水質汚濁成分の流出量

慣行区と側条・紙マルチ区の試験期間中のT-N及びCOD流入量と流出量を見ると、水田外へのT-N流出量の最高値は慣行区で5月、側条・紙マルチ区で8月であった。同様にCOD流出量の最高値は慣行区で7月、側条・紙マルチ区で8月であった。(第5表)。

両区における用水による流入量と施肥量の合計であるT-N量は、ほぼ等しかった。一方、T-N流出量は、側条・紙マルチ区が $3.2\text{kg}/10\text{a}$ で慣行区の $10.7\text{kg}/10\text{a}$ より $7.5\text{kg}/10\text{a}$ 少なかった(第5図)。



第3図 試験1における表面排水中のCOD濃度、濁度の推移

排水中のCOD流出量は7月7～8日の多量降雨時と8月2日～3日の多量入水時に多かった。濁度は4月及び代かきと移植日の前後で高かった（第3図、第5表）。

慣行区から流出した除草剤成分量は、ベンチオカーブが15g/10a、メフェナセットが4.5g/10aであり、それぞれ散布成分量の10%と15%に相当した。

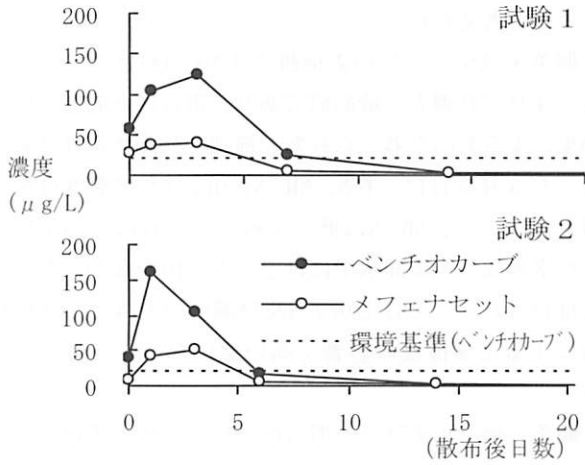
2. 育苗箱全量施肥と紙マルチ移植栽培を組み合わせた系外流出防止型水田の評価（試験2）

(1) 用排水中の水質汚濁成分濃度

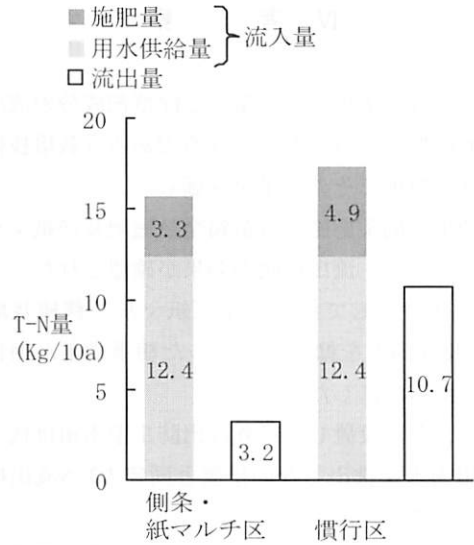
i T-N、COD及び濁度の最高値と平均濃度

試験調査期間中の用水T-N濃度は、平均が2.8mg/L、最高値が5.1mg/Lであった。また、COD濃度は、平均が6.5mg/L、最高値が11.3mg/Lであり、濁度は、平均が12NTU、最高値が22NTUであり、試験1とほぼ同等であった（データ省略）。

箱全量・紙マルチ区における排水中のT-N、COD濃度及び濁度は、それぞれ慣行区と比べて平均で1.3mg/L、1.1mg/L、78NTU低く、最高値で6.3mg/L、12.8mg/L、674NTU低かった（第6図）。



第4図 表面排水中の除草剤成分濃度

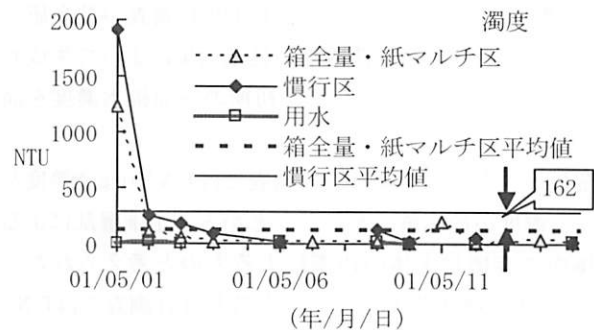
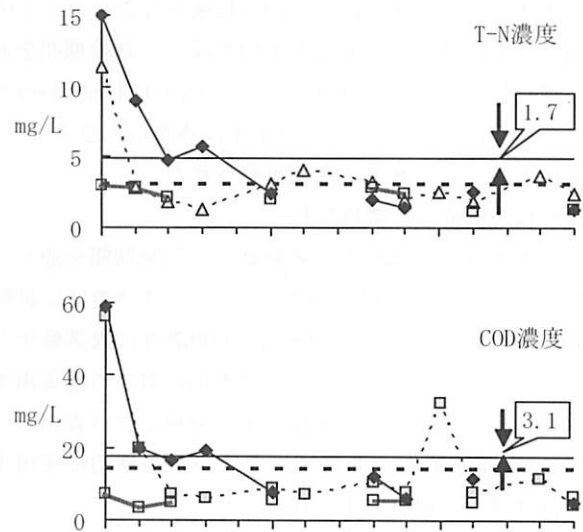


第5図 試験1における試験期間の慣行区と側条・紙マルチ区のT-N流入量と流出量

第5表 試験1における試験期間の月別用排水のT-N量及びCOD量

月	T-N量			COD量		
	用水		表面排水	用水		表面排水
	両区	慣行区	側条・紙マルチ区	両区	慣行区	側条・紙マルチ区
4	1.7	0.0	0.3	3.1	0.0	0.5
	14	0	11	11	0	2
5	6.2	5.2	0.8	12.2	10.6	1.5
	50	48	24	45	10	5
6	1.8	1.8	0.1	5.7	20.3	1.9
	15	16	3	21	19	7
7	1.2	1.9	0.9	2.9	43.7	9.8
	10	18	28	11	42	35
8	1.5	1.8	1.1	3.3	28.6	14.4
	12	17	34	12	27	51
9	0.0	0.1	0.0	0.0	1.9	0.0
	0	1	0	0	2	0
合計値	12.4	10.7	3.2	27.1	105.1	28.1

注) 各月の数値の単位は、上段がt/10aで下段が%である。



第6図 試験2における慣行区と箱全量・紙マルチ区の排水中T-N濃度、COD濃度及び濁度

注) グラフの数値は、T-N濃度、COD濃度及び濁度において慣行区に比べて箱全量・紙マルチ区がどれだけ低いを示す。

ii 調査期間における各汚濁成分濃度の推移

排水中のT-N、COD濃度及び濁度の最高値は、両区ともに代かき日の5月1日に観測された。代かき後の12日間についてみると、箱全量・紙マルチ区におけるT-N、COD及び濁度の最高値は、慣行区と比べて6.3mg/L、12.8mg/L、674NTU低く、平均値では1.7mg/L、3.1mg/L、162NTU低かった(第6図)。

慣行区における除草剤成分濃度は、ベンチオカーブでは散布1日後の159 µg/L、メフェナセットでは散布3日後に51 µg/Lとなり、いずれも期間中の最高値となった。ベンチオカーブの濃度が環境基準値以下になったのは散布6日後であった(第4図)。

IV 考 察

本研究では、水田からの窒素と除草剤成分の流出をより積極的に抑制することができるであろう栽培技術を組み合わせ、現地でその効果を評価した。

その結果、側条施肥、育苗箱全量施肥及び紙マルチ移植栽培について、流出抑制の効果が確認された。また、除草剤の代替として組み込んだ紙マルチ移植栽培は、COD濃度及び濁度を抑えるといった相乗効果が期待できることを明らかにした。

さらに、今回設置した系外流出防止型水田は代かき後12日間田面水を排出しない措置と同等のT-N流出抑制効果を有することを確認した。

1. 側条施肥と紙マルチ移植栽培における水質汚濁成分の流出抑制効果の評価

(1) 調査水田の用排水量

試験期間中の用水量に対する表面排水量は、側条・紙マルチ区が、慣行区に比べて20%程度少なかった。この原因は、水尻付近の田面水の平均水深が、試験期間を通して慣行区と比べて側条・紙マルチ区で1.4cm低かったことから、B水田はA水田より地下浸透量が大きくなり、表面排水量がやや減少したと推察された。

(2) 水質汚濁成分の濃度推移

用水の水質は、試験1、試験2の全試験期間を通して変動が小さかった。用水の水質として、T-N濃度は試験1で3.0mg/L、試験2で3.4mg/L、COD濃度は両試験年ともに1.6mg/Lであったことから、「水稻に対する農業用水の水質分級」における汚濁程度1に分類され(森川ら、1982)、栽培上直ちに悪影響はないが、長期的に使用する際は注意が必要と判定された。

試験1の試験期間を通して、慣行区の表面排水中NO₃-N濃度は、入水直後である4月25日調査が最高値であった。これは、冬季落水期の乾土効果によって生成したNO₃-Nが、用水に溶出して、初期の表面排水濃度を高めたと考えられた。

荒代かきを行った4月30日調査ではT-NとOrg-N濃度が高く、濁度が最高値であったことから、土壌攪乱による土壌中の有機物主体の汚濁によるものと考えられた。さらに、代かき及び施肥を行った5月3日調査ではT-N、NH₄-N、Org-N濃度及び濁度が高いことから、NH₄-Nは基肥に由来し、Org-N及び濁度は土壌攪乱によって表面排水中濃度が上昇したと考えられた。

6月3日のT-N、Org-N、COD濃度及び濁度の上昇は、生育調査による土壌攪乱で有機物主体の汚濁が生じたためと考えられた。慣行区における7月14日のT-NとNH₄-N

濃度の上昇は、7月12日に施用した穂肥由来の窒素成分によると考えられた。

側条・紙マルチ区の表面排水中NO₃-N濃度は、入水直後の4月25日調査で最高値であり、慣行区と同様に乾土効果によるものと考えられた。施肥、代かき及び移植を行った5月3日に、T-N、NH₄-N、Org-N及び濁度は最高値であったが、NH₄-Nは低かった。これは、側条施肥した窒素成分が田面水中にほとんど溶出しなかったためと推察された。しかしOrg-N及び濁度の上昇は、移植作業による土壌攪乱の影響で高い値になったと考えられた。

側条・紙マルチ区は、慣行区と比べて代かき以降、排水中のT-N、Org-N濃度及び濁度が減少した。これは、紙マルチにより水田土壌からの有機性汚濁物質の田面水中への拡散が抑制されたこと等によると推察された。

(3) 水田からの水質汚濁成分の流出量

水質汚濁成分の流出量は、T-NとCODの濃度に排水量を乗じて算出した。

慣行区及び側条・紙マルチ区とも、5月のT-N濃度が概ね最高値を示したにもかかわらず側条・紙マルチ区のT-N流出量が少なかったのは、全排水量に占める5月の排水量の割合が低かったためと考えられた。同様に、全排水量に占める7月の排水量の割合が高かったにもかかわらず、T-N流出量が少なかったのは、両区ともに7月のT-N濃度が調査期間中で最も低かったためと考えられた。

調査期間中の水田外へのCOD流出量は、7月の割合が高く、8月がこれに次ぐ値であった。これは7月7～8日と8月2～3日に多量の降雨があったためであった。側条・紙マルチ区における7月の排水COD濃度は、同区の試験期間の平均値より低かったが、8月のCOD濃度の平均値は慣行区と同等まで上昇した。これは、8月に紙マルチが完全に崩壊して田面が露出し、降雨や入水によって田面に攪乱が生じたためと考えられた。さらに、側条・紙マルチ区では紙マルチが分解する過程で窒素が有機化し、その後無機化すること(高橋ら、1995)によって排水中へ溶出し、8月のT-N流出量が最高値になったと推察された。

2. 育苗箱全量施肥と紙マルチ移植栽培における水質汚濁成分の流出抑制効果の評価

慣行区及び箱全量・紙マルチ区の排水中のT-N、COD濃度及び濁度は、代かきを行った5月1日が最高値であった。両区の有機性汚濁の指標であるCOD濃度は同等であったが、T-N濃度は箱全量・紙マルチ区が慣行区より低かったことから施肥法の違いによると考えられた。また、水質汚濁成分は施肥や代かき作業時の土壌攪乱による影

響で上昇したと考えられた。箱全量・紙マルチ区は、施肥窒素が0.9kg/10a多いにもかかわらず、代かき後12日目までの平均T-N濃度が1.7mg/L慣行区と比べて低いことから、被覆肥料を用いたことにより田面水への窒素成分の溶出が抑制されたと考えられた。同様に、慣行区と比べて箱全量・紙マルチ区ではCOD濃度と濁度が低かったのは、紙マルチで田面を被覆したことにより土壌攪乱が抑えられたためと考えられた。

3. 個別技術の評価と技術の組み合わせによる落水停止措置との比較評価

側条・紙マルチ区の田面水中NH₄-N濃度及び箱全量・紙マルチ区の排水中T-N濃度は、いずれも慣行区と比べて低くなり、これにより水田外への流出量が少なかった。

従って、側条施肥と育苗箱全量施肥は、代かきや移植時の田面水へのNH₄-Nの溶出軽減を、紙マルチは紙の分解によるT-Nの有機化により複合的にT-N濃度を低下させ、水田外への流出を抑制することが明らかとなった。

水管理上の問題として、落水停止期間が取れない場合を想定し、本研究の肥料と農薬の流出を抑制する技術の組み合わせによるT-N流出抑制効果を試算して落水停止措置と比較した。

千葉県農林技術会議が提案するように、代かきから12日間落水を停止したとすると、2000年の試験の慣行区において、この12日間に流出したT-N4.5kg/10aは0となる。T-N流出量は10.7から6.2kg/10aへ減少すると試算され、その減少量は、慣行区の流出量の約42%となる。次に、慣行栽培を側条・紙マルチ移植栽培に切替えることで、T-N流出量は10.7kg/10aから5.0kg/10aへ減少すると試算され、その減少量は、慣行区の流出量の約53%となる。従って、側条施肥に紙マルチを組み合わせた栽培は、T-N流出量の抑制に限ってみれば、落水停止措置と同等の抑制効果が認められた。

ベンチオカーブを含有する除草剤を用いた場合、除草剤成分の流出防止の点から散布後14日間田面水を水田系外に排出しないことが望ましい（千葉県農林技術会議、2001）。

以上のように、窒素肥料及び除草剤の系外流出を抑制する技術を組み合わせることにより、側条施肥や育苗箱全量施肥はT-N流出量を、除草剤の代替技術である紙マルチ移植栽培は、2次的な効果としてCODや濁度の流出量を減少させることが明らかとなった。

V 摘 要

水質汚濁防止の観点から、水田においても窒素等水質汚濁成分の流出を抑える水稲栽培が求められている。そこで、T-Nの流出を抑制しCOD及び濁度を低下させる方策として、側条施肥と育苗箱全量施肥に紙マルチ移植栽培を組み合わせ、環境に対する負荷の軽減効果を評価した。

1. 水田外へのT-N流出量は、代かき及び移植作業時に大きくなり、これらの作業があった5月の値は、全流出量の48%を占めた。
2. 慣行区の全面全層施肥は代かき時に基肥中の窒素が田面水中に溶出しやすいが、側条施肥は移植同時施肥であるために窒素の溶出は少ない。また育苗箱全量施肥も側条施肥と同様にT-N流出量を抑制でき、環境保全的な技術と評価された。
3. 紙マルチ移植栽培は、除草剤の代替技術に加えて、土壌表面を覆って、濁度の上昇を抑制することから環境保全的な技術と評価された。

VI 引用文献

- 天野昭子・鍵谷俊樹・形見武男（2001）. 水田用除草剤（チオベンカルブ及びメフェナセット）の水田内挙動と流出抑制について：環境化学. 11：785-792
- 千葉県環境部水質保全課，“印旛沼に係る湖沼水質保全計画”，千葉県（オンライン），〈http://www.pref.chiba.jp/syozoku/e_suiho/8_kosyo/inplan/inplan.pdf〉（参照2007/9/21）
- 千葉県農林技術会議（2001）. 稲作標準技術体系：232-234
- 印旛沼流域水循環健全化会議（2007）. “水質汚濁の要因”，千葉県（オンライン）〈http://www.pref.chiba.jp/syozoku/i_kakai/inbanuma/01syoukai/syoukai_06.html〉（参照2007/11/30）
- 石井康雄・稲生圭哉・小原裕三（2004）. 田面水および土壌中における水田除草剤の経時的濃度変化に基づく止水期間の検討. 農環研報. 23：15-25
- 金木亮一・久馬一剛・稲垣ちづる・小谷廣通・須戸幹（2000）. 無代かきおよび育苗箱全量施肥栽培水田における流出負荷量の削減. 71(4)：504-505
- 金子文宣・山本幸洋（1999）a. 環境保全型水稲栽培水田における環境負荷軽減効果の評価. 農業土木学会誌. 67：13-17

- 金子文宜・山本幸洋・高崎強 (1999) b. 大区画水田における排水特性および環境保全型水稻栽培の環境影響評価. 千葉農試研報. 40 : 43-49
- 小林勝志・湯谷一也・伊藤邦夫 (1995). 農用再生紙の水田マルチングによる雑草抑制と水稻栽培. 農業技術50 : 168-173
- 丸 論 (1991) 水系環境における農薬の動態に関する研究. 千葉農試特報. 18 : 1-26.
- 森川昌紀・松丸恒夫・高崎強・松岡義浩 (1982) 水質汚濁が稲作に及ぼす影響 第1報 汚濁物質濃度と稲作の関係. 千葉農試研報. 23 : 83-89
- 森川昌紀・松岡義浩 (1986年). 水質汚濁が稲作に及ぼす影響 第5報 : アンモニア態窒素、硝酸態窒素汚濁水が水稻の生育、収量に及ぼす影響. 土肥要旨集. 32 : 162
- 長崎洋子 (2000). 水田で使用された数種農薬の動態. 島根農試研報. 33 : 87-103
- 尾崎保夫 (1990). 農耕地からの窒素負荷の削減, 用水と排水, 32(10) : 28-29
- 朴光来・日高伸・熊澤喜久雄 (1998). 埼玉県檜引台地の湧水により灌漑されている水田表面水の硝酸態窒素および $\delta^{15}\text{N}$ 値の変化. 土肥誌. 69 : 287-292
- 田淵俊雄・高村義親 (1985). 集水域からの窒素・リンの流出. 東京大学出版会 : 75-88
- 高橋茂・山室成一 (1995). 水田土壌における施肥窒素の行方に及ぼす再生紙マルチの影響. 土肥誌. 66 : 267-269
- 山本幸洋・澤川隆・金子文宜・高崎強 (1999) 除草剤チオベンカルブの水田からの流出特性および流出抑制対策. 千葉農試研報. 40 : 51-54
- 山本幸洋 (2001). 除草剤ベンチオカーブの水田からの流出状況と流出抑制. 雑草とその防除. 38 : 73-76
- 山本幸洋・松丸恒夫 (2005). 農耕地からの農薬流出対策とその評価. 土肥誌. 76 : 69-73

Effects of Nitrogen Fertilizer Methods and Transplanting a Culture of Rice Using Paper Mulch on the Amount of Pollutants Discharged out of Paddy Field Systems and the Evaluation of the Effects

Eiichi OOTSUKA, Yukihiro YAMAMOTO, Fuminori KANEKO, and Takashi SINGYOUJI

Key Words : paddy fields, side line type fertilizer application,
single application of fertilizer in nursery boxes,
transplanting a culture of rice using paper mulch, herbicide

Summary

The prevention of water pollution requires a rice paddy field cultivation that decreases the amount of water pollutant runoff, such as nitrogen runoff, from paddy fields. As a measure to decrease levels of T-N runoff, COD, and turbidity, transplanting a culture of rice using paper mulch was combined with a side line type fertilizer application or a single application of fertilizer in nursery boxes to evaluate effects of the combinations to decrease environmental load.

1. The amount of T-N runoff out of paddy fields increased with puddling and transplanting. The amount comprised 48% of the total amount of runoff in May, when puddling and transplanting were carried out.
2. Nitrogen in basal dressing was readily eluted out into the surface water of paddy fields at the time of puddling when a broadcast application of fertilizer was made to the plow layer of a conventional plot. However, the elution was limited when the side line type fertilizer application was made at the time of transplanting. Both the single application of fertilizer in nursery boxes and the side line type fertilizer application decreased the amount of T-N runoff. Both of the applications were judged good techniques for environmental conservation.
3. Transplanting a culture of rice using paper mulch was judged a good technique for environmental conservation because it not only replaced the use of herbicides but also covered soil surface to keep water turbidity from increasing.