

田畑輪換栽培における土壌・施肥管理の総合改善技術

小松 茂雄・小林 敏正・北浦 裕之・武久 邦彦

Comprehensive Improvement of Soil and Fertilizer Application Management for Paddy-upland Rotation Farming

Shigeo KOMATSU, Toshimasa KOBAYASHI, Hiroyuki KITaura and Kunihiro TAKEHISA

キーワード：暗渠排水水位制御，作条施肥，石灰窒素入り肥料，早期鋤込み，窒素施肥節減，窒素流出負荷削減，田畑輪換栽培

琵琶湖に面した現地の田畑輪換水田（細粒グライ土）で，小麦，キャベツ，水稻（2年3作体系）の各栽培に本県で開発した土壌・施肥管理の改善技術を導入し，各作物の生産安定，品質向上を図るとともに，田畑輪換栽培2年間の流出負荷削減効果を評価した。

- 1) 水稻跡小麦栽培に対する石灰窒素入り肥料（石灰窒素と熔リンの配合肥料）の施用は，収量および子実粗蛋白含量の向上に有効で，農家慣行施肥に比べて窒素流出負荷量が20%削減できた。
- 2) 小麦跡キャベツ栽培に対する被覆肥料の作条施肥は，全層施肥に比べ窒素施肥節減（4.2kgN/10a）が可能であった。
- 3) キャベツ跡水稻栽培において，キャベツ収穫残さ由来窒素の初への移行率は3.9～4.6%であり，収穫残さの鋤込みを1ヶ月早めることにより，玄米蛋白含量の低下が期待できた。また，ポット試験で，キャベツ残さの早期鋤込みにより水稻作付期までの窒素流出負荷量が増加する可能性のあることを認めたが，暗渠排水の水位を深さ80cmから60cmに立ち上げるにより，硝酸態窒素の溶脱量が減少し，窒素流出負荷量は増加しなかった。
- 4) 田畑輪換栽培2年間の窒素の発生負荷量（（流出負荷量－用水負荷量）／期間日数）は，改善区，対照区でそれぞれ98, 106gN/ha/日であった。各栽培期間毎では，小麦40～50, キャベツ329～339, キャベツ跡129～133, 水稻-1～3gN/ha/日の範囲内にあり，輪換畑で増加するが作物の種類により大きく異なった。
- 5) 2年間の田畑輪換栽培において，各栽培に対する改善技術を組み合わせることにより，窒素収支はほぼ均衡し，対照に比べて14%の窒素施肥節減と7%の窒素流出負荷削減が図れた。しかし，リンは対照よりもさらに収入が大きく上回り，収入超過であった。

1. 緒 言

本県は県内耕地面積の92%を水田が占めており²⁰，古くから「近江米」の産地として水稻栽培を中心とした農業が営まれてきた。しかし近年，米の需給調整政策により小麦や大豆，野菜などを組み合わせた田畑輪換栽培が増加しており，2000年には県内の約1/4の水田で生産調整が実施されている²⁰。

田畑輪換栽培は，畑転換期間に土壌の物理性や化学性が改善されることに加え，水稻に対しては，水田土壌からの窒素供給量増加に伴う施肥節減，病害虫や雑草の減少による農薬の削減などのメリットが期待でき

る。しかし，反面，水田での畑作物の栽培は，その生産性や品質の不安定性に加え，土壌養分の分解・消耗を助長し，琵琶湖など水環境へのマイナス影響も懸念されている。

生産調整の基幹作物である小麦を例に挙げると，本県における水田の50%以上がグライ土であることから²⁰，地下水位の高い圃場での栽培が多く，収量は不安定であり品質も実需者が求めるレベルに至っていない。また，小麦や野菜は，水稻に比べると窒素施肥量が多いことに加え，畑地化に伴い窒素の硝酸化成が促進されることから，硝酸態窒素の流出負荷増大が懸念される²¹。近年，硝酸態窒素の溶脱による地下水汚染

* 現 湖北地域振興局農業振興課

が顕在化してきたことを背景に⁷⁾、水質汚濁に係る環境基準に硝酸態窒素および亜硝酸態窒素の項目が追加された。特に本県は京阪神地域の水源地である琵琶湖を抱えているが、富栄養化問題のみならず、硝酸態窒素は人体に直接影響を与える可能性もあり、負荷削減対策は不可欠である。これまでに輪換畑の負荷削減対策として、本暗渠と弾丸暗渠を組み合わせた排水対策が窒素流出負荷削減に効果があること⁸⁾、小麦栽培における石灰窒素を利用した施肥体系⁹⁾およびキャベツ栽培における緩効性肥料の作条施肥技術¹⁰⁾がそれぞれ硝酸態窒素の流出負荷削減に効果があることなどを認めている。

一方、輪換田での水稲栽培においては、米の品質低下が地域で問題となっている例がみられる。特に、大中の湖干拓地域では、野菜跡水稲栽培において、乾土効果と鋤込んだ野菜残さからの窒素供給により無肥料栽培が可能となっているものの、初すり歩合（精玄米重/精初重）の低下や玄米蛋白含量が高いことなど、米の品質低下が当地域の問題となっており、その対策が求められている。

このように、田畑輪換栽培では、生産物の収量、品質向上と併せて、環境負荷削減対策にも配慮した土壌・施肥管理技術が各栽培に対して必要となっており、特に、前後作を考慮したローテーション全体での適正な養分管理技術の確立が重要である。そこで、輪作体系が定着している大中の湖干拓地域の水田（小麦－キャベツ－水稲、2年3作体系）を対象に、小麦栽培への石灰窒素の施肥技術、キャベツ栽培への機械作条施肥技術およびキャベツ跡への暗渠排水水位制御技術¹¹⁾など、本県が既に開発、報告した土壌・施肥管理の改善技術を導入し（図1参照）、各作物の生産安定・品質向上を図るとともに、改善技術の組み合わせによる田畑輪換栽培2年間の養分収支を評価し、施肥節減および流出負荷削減効果を実証しようとした。

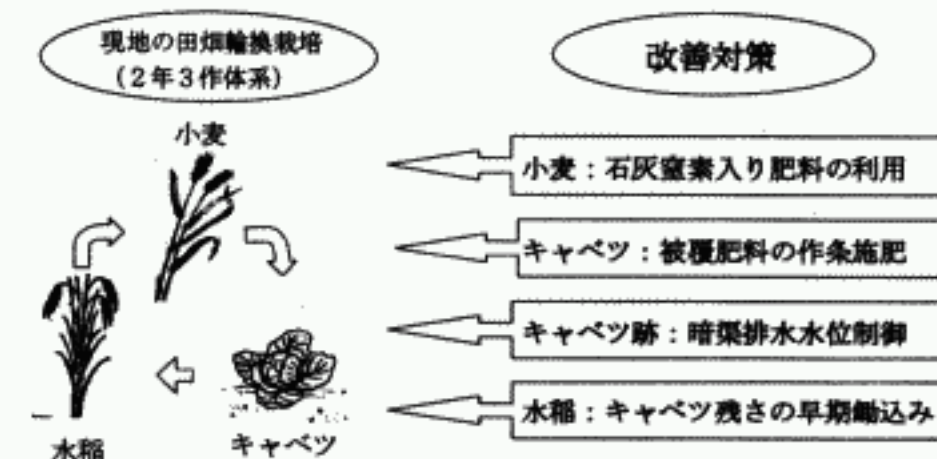


図1 田畑輪換栽培における土壌施肥管理の総合改善技術（イメージ図）。

2. 方 法

2. 1 調査圃場の概要

調査圃場は、琵琶湖東岸に位置する「大中の湖干拓地域」（1966年干陸）の大区画圃場（1.5ha）である。当地域はキャベツの野菜指定産地になっており、約30戸の農家により栽培されているが、小麦－キャベツ－水稲の輪作体系（2年3作体系）がその中心である。

調査圃場の土壌条件を図2に示す。作土は粘質であり、細粒グライ土（幡野統）に分類される。60cm以下の下層土は、強粘質のため透水性は非常に小さく、グライ層となっている。本暗渠は、80cm深（10m間隔）に施工されており、畑作物の小麦、キャベツ栽培では弾丸暗渠（5m間隔）も同時に施工されていた。

試験開始時における土壌の化学性を表1に示す。調査圃場は、干拓地である上に、地域で発生する牛糞堆肥が継続的に施用されていたこともあり、有機物含量に富んだ肥沃な土壌であった。また、可給態リン酸は水田の改良目標値である20mg/乾土100gを超えており、交換性塩基も比較的高かった。

試験規模については各栽培で異なったが、1.5ha圃場の概ね中心部分に試験2区（小麦栽培計65a、キャベツ栽培計32a、水稲栽培計70a）を設け、試験区境界線はいずれの栽培試験も同一とした。すなわち、前作の改善技術導入試験区跡には、後作の改善技術導入試験区を配置するようにした。

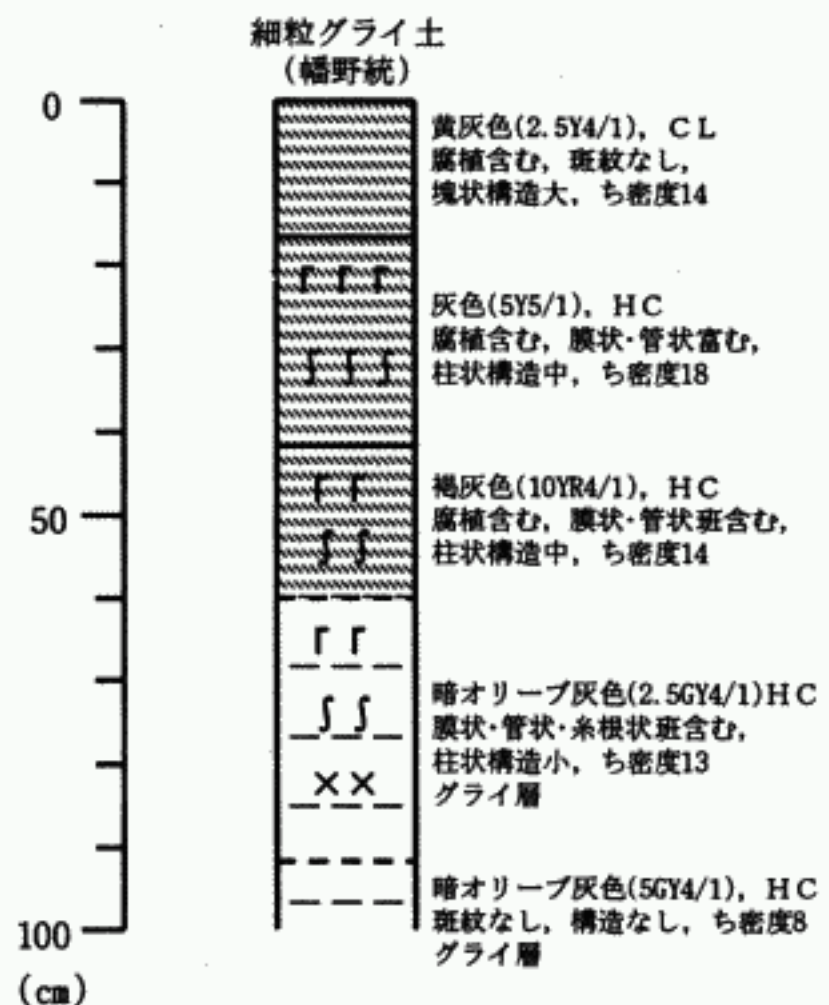


図2 調査圃場の土壌断面図。

表1 試験開始時における調査圃場の土壌化学性

(乾土100g当たり)

pH	T-C (%)	T-N (%)	可給態	交換性塩基			塩基	CEC (me)	可給態
			P ₂ O ₅ (mg)	CaO (mg)	MgO (mg)	K ₂ O (mg)	飽和度 (%)		SiO ₂ (mg)
6.3	2.46	0.223	24.0	472	53	32	78	25.9	45.7

注) 可給態P₂O₅: トルオーグ法, 可給態SiO₂: PH4酢酸緩衝液浸出法.

表2 水稲跡小麦栽培における試験区の概要

試験区	面積 (a)	窒素施肥量 (kg N/10a)					リン酸 施肥量 kg/10a
		土づくり 肥料	基肥	穂肥	出穂前 追肥	計	
農家慣行施肥	35	0 ^a	6 ^c	2 ^d	2 ^e	10	6
石灰窒素入り肥料施用	30	4 ^b	2 ^c	2 ^d	2 ^e	10	15

注: 1) 稲わら全量鋤込み. 品種: 農林61号. 本暗渠: 10m間隔. 弾丸暗渠: 5m間隔.

2) a 苦土石灰を100kg/10a施用. b 「稲ゆたか2号」(石灰窒素20% 熔リン80%の配合肥料. N:4%, P₂O₅:13%)を100kg/10a施用. c 塩加磷安1号(N-P₂O₅-K₂O: 14-14-14). d NK化成C12号(16-0-20). e 硫安(21-0-0).

2. 2 各栽培に対する改善技術と試験区の概要

2. 2. 1 水稲跡小麦栽培に対する石灰窒素入り肥料の利用

稲わら腐熟促進, 緩効的な肥効および硝酸化成の抑制効果をもつ石灰窒素と, リン酸供給源としての熔リンの併用が小麦栽培に効果的であることを認めている¹⁰⁾. そこで, 水稲跡小麦栽培に対して, 新規登録された石灰窒素と熔リンの配合肥料(以下, 石灰窒素入り肥料)を施用した試験区を設け, 農家慣行施肥区(播種前に苦土石灰100kg/10aを施用)と比較した. なお, いずれの試験区においても, 前作水稲の収穫残さである稲わらは全量鋤込んだ.

石灰窒素入り肥料施用区では, 播種1週間前にブロードキャストで石灰窒素入り肥料を100kg/10a(石灰窒素20kg/10a, 窒素換算で4kgN/10a相当)散布した後, 耕起を行って土壌とよく混和し, その分基肥窒素を減量した. そして, 両試験区とも11月初旬に「農林61号」を機械条播(播種量8kg/10a)した(表2).

3月上旬, 4月中旬において作物体を採取し, 小麦の窒素吸収量の推移を調査した. 収量調査は, 成熟期(6月中旬)に坪刈りを3連で行い, 併せて作物体の成分分析を行った. また, 降雨時に雨と各試験区の暗渠2本ずつより暗渠排水を採水し, 流出負荷量調査を行った.

2. 2. 2 小麦跡キャベツ栽培に対する被覆肥料の作条施肥

トラクタのロータリ上部に施肥機を装着し, キャベ

ツ定植直前の畝立て作業と同時に緩効性肥料をすじ条に施用(作条施肥)する省力的な施肥技術を開発している¹⁰⁾. これは, 大区画圃場では施肥から定植までの日数が長く, 施肥効率が低下し施肥成分が流出する恐れが多いため, 省力施肥と施肥効率の向上, および排水水質改善をねらった技術である.

使用した施肥機は肥料を落下させるホースが8本装着されているが, 4本ずつに束ねて固定し, 被覆肥料をキャベツ定植位置2条に作条施用した試験区を作条施肥区, ホースを束ねずに畝全体に施用した区を全層施肥区とした. いずれの区も被覆肥料入り複合肥料「コートマックス682号」を畝立てと同時に施用した基肥全量体系(追肥省略)である. 試験圃場ではキャベツ定植前に鶏糞が施用(300kg/10a, 7.3kgN相当)されており, 全層施肥区の窒素施肥量を20kgN/10aと設定し, 局所施肥を行っている作条施肥区は窒素施肥量を5kgN/10a減量した(表3). そして, 施肥・畝立ての4日後に, YR錦秋のセル成型苗を定植した(2条植, 栽植密度: 4.76株/m²).

11月中旬の収穫期に各試験区平均的な15株を採取し, 生育収量調査および作物体の成分分析を行った. また, 降雨時に雨と各試験区の暗渠1本ずつより暗渠排水を採水し, 流出負荷量調査を行った.

表3 小麦跡キャベツ栽培における試験区の概要

試験区	面積 (a)	基肥施用位置	窒素施肥量 (kg N/10 a)			リン酸施肥量 kg/10 a
			基肥	追肥	計	
全層施肥	13	全層 ^a	20 ^c	0	20	10
作条施肥	19	作条 ^b	15 ^c	0	15	8

注：1) 麦わら全量鋤込み、品種：Y R 錦秋、本暗渠:10m間隔、弾丸暗渠 5 m間隔。

2) 両試験区ともトラクター後部にグラントソウを装着し、畝立て（畝幅:1.4m）と施肥を同時に実施、セル成型苗を定植（条間45cm、株間30cm、2条植、栽植密度：4.76株/㎡）。

3) a 肥料の落下ホースを束ねずに畝全体に施用、b 肥料の落下ホースを定植位置に束ねてすじ状に施用。

c コートマックス682号(N-P₂O₅-K₂O:16-8-12、N:速効性8.5%、被覆尿素肥料(硫黄被膜)7.5%)。

4) 作付け前に鶏糞300kg/10a(7.3kgN/10a)を施用。

2. 2. 3 キャベツ跡水稲に対するキャベツ残さの早期鋤込みと暗渠排水水位の制御

前述のように、大中の湖干拓地域における野菜跡水稲栽培は、無肥料栽培が可能であるが、米の品質低下が地域全体の問題となっている。この原因として、乾土効果などによる生育前半の窒素供給が過剰となり、水稲が過繁茂となるのに加え、生育後半もキャベツ収穫残さなどからの窒素供給が過剰になるためと考えられる。そこで、収穫残さの分解促進をねらい、通常1月下旬～2月上旬に行うキャベツ収穫残さの鋤込みを1ヶ月早めて前年12月下旬に行った。この試験区を改善区とし、1月下旬に鋤込みを行った試験区を慣行区とした。キャベツ残さ鋤込みによる窒素量は、改善区、慣行区でそれぞれ8.4、7.3kgN/10aである。両試験区とも5月上旬に日本晴を稚苗機械移植し、無肥料栽培を行った。成熟期である9月中旬に坪刈りを3連で行い、収量調査、作物体の成分および玄米窒素含量の分析を行った。

また、水稲作付時期までの収穫残さの分解に伴い、暗渠排水からの窒素流出負荷量は増加するが、鋤込み時期を早めることにより、負荷量がさらに増加することが予想される。この対策として、暗渠排水水位を高くして浸透水を滞留させ、下層土の還元層により水質浄化を図る技術を開発している²⁰⁾。そこで、本試験では鋤込み時期を早めた改善区の暗渠排水口にエルボ（塩ビパイプ）を装着し、エルボの先端口を暗渠排水口の深さである80cmから60cmに立ち上げ、暗渠排水水質の浄化を図った（図3）。そして、降雨時に雨と各試験区の暗渠2本ずつより暗渠排水を採取し、流出負荷量調査を行った（表4）。

さらに、圃場試験と同時にポット試験を行い、キャベツ跡の窒素流出負荷量を調査するとともに、重窒素で標識したキャベツを用いて、キャベツ収穫残さ由来

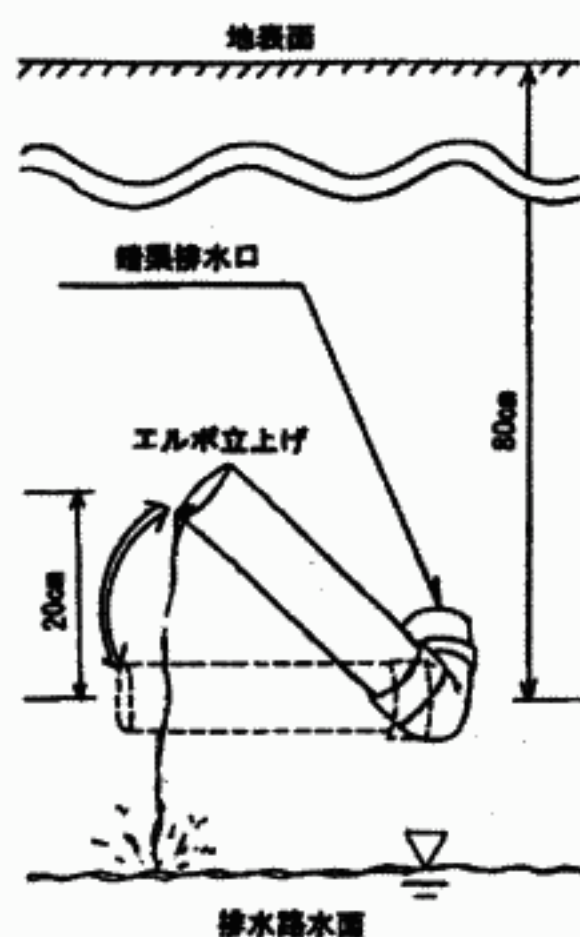


図3 暗渠排水水位の制御。

表4 キャベツ跡水稲栽培における試験区の概要

試験区	面積(a)	キャベツ収穫残さ鋤込み時期	暗渠排水水位
慣行区	33	1月下旬	80cm
改善区	37	12月下旬	60cm

注：1) 暗渠排水水位はキャベツ収穫残さ鋤込み時期から水稲作付けまでの期間、本暗渠:10m間隔。

2) 品種：日本晴、無肥料栽培。

窒素の水稲利用率を検討した。1/2000 a のポットに、試験圃場の作土（埴壌土）を充填した後、重窒素で標識したキャベツ外葉（平均²¹⁾N 4.2atom%）を生重で130g施用し、圃場試験と同様、前年12月下旬（改善区と称す）と当年1月下旬（対照区と称す）にそれぞれ鋤込んだ。同時にキャベツ外葉を施用せず、改善区と同時期に耕起した参考区を設けた。水稲作付時期まで、降雨時におけるポットからの排水を採取し、窒素流出負荷量を測定した後、5月中旬に日本晴の稚苗4

本を移植した。栽培は、無肥料で行い、成熟期における水稻の窒素吸収量を調査するとともに、採取した稲体の¹⁵N存在比からキャベツ収穫残さ由来窒素の水稻利用率を算出した。なお、試験はポット3連で行った。

2. 3 各栽培期間における流出負荷量の算出方法

2. 3. 1 水量測定

小麦栽培、キャベツ栽培およびキャベツ栽培跡（水稻作付けまで）の期間においては、降雨時に雨と暗渠排水を採水した。降水量は、大中の湖干拓地域に位置する農試場内の観測値を用いた。暗渠排水量については水道メータ（口径50mm）を取り付け実測した。蒸発散量は、ペンマン式により推定した蒸発量にそれぞれの作物係数¹⁰⁾（生育ステージによって値が異なるため、経過日数の加重平均により、小麦栽培1.04、キャベツ栽培0.95に設定）を乗じた値を用いた。いずれの期間においても、降水量から圃場容水量、蒸発散量（キャベツ栽培跡期間については蒸発量）および暗渠排水実測量を差し引いた浸透（不明）水量はわずかであり、80cm以下の下層土の透水性が非常に小さいことから、浸透水量はゼロとした。また、地表排水もほとんど認められなかったことからゼロとした。

水稻栽培期間中の用水量および地表排水量は、各試験区の水口、水尻に各々水位計を設置して測定し、蒸発散量を差し引いて算出した。蒸発散量は畑作期間と同様、ペンマン式により推定した蒸発量に作物係数1.24⁹⁾を乗じた値を用いた。また、浸透水については、他の栽培期間中と同様にゼロとした。

2. 3. 2 負荷量測定

いずれの期間についても、降水量にその時期の雨の水質を乗じて流入負荷量を算出した。水稻栽培期間については、用水も同様に算出し流入負荷量とした。ま

た、小麦、キャベツ栽培およびキャベツ栽培跡期間については暗渠排水を、水稻栽培期間については地表排水を流出水量とし、それぞれ水量と水質を乗じて負荷量を求めた。暗渠2本から採水した小麦栽培およびキャベツ栽培跡期間については、平均水質を水量に乗じた。

2. 3. 3 調査期間

調査期間は、小麦栽培が1999年10月30日～2000年6月15日の229日間、キャベツ栽培が2000年8月10日～11月16日の98日間、キャベツ跡が2001年1月10日～5月5日の115日間、水稻栽培が2001年5月10日～9月18日の131日間であり、合計573日間である。

2. 4 分析方法

作物体および水質の分析は、「土壌環境分析法」¹¹⁾に従った。調査項目は作物体が窒素、リン、カリであり、水質が全窒素（T-N）、硝酸態窒素（NO₃-N）、全リン（T-P）、カリ（K）、CODである。ポット試験における稲体の¹⁵N存在比は発光分光分析法により測定した。

3. 結 果

3. 1 水稻跡小麦栽培に対する石灰窒素入り肥料の施用効果

石灰窒素入り肥料の施用が、小麦の生育収量や子実粗蛋白含量等に及ぼす影響を表5、図4に示す。

石灰窒素入り肥料施用区では、農家慣行施肥区に比べ、栽培期間中の窒素吸収量が高く推移し、穂数および千粒重の増加などにより3%増収した。また、成熟期における窒素吸収量は、石灰窒素入り肥料施用区が0.6kgN/10a多く、それに伴い子実粗蛋白含量もわずかながら向上した。

表5 水稻跡小麦栽培における石灰窒素入り肥料の施用効果

試 験 区	穂 数 本/	わら重 kg/10a	精子実重 kg/10a	収量比	千粒重 g	窒 素 吸収量 kg/10a	子 実 粗 蛋白含量 %	養分吸収量(kg/10a)		
								N	P	K
農家慣行施肥	524	533	481	(100)	35.5	8.9	8.8	8.9	2.1	7.6
石灰窒素入り肥料施用	608	581	496	103	36.2	9.5	9.0	9.5	2.2	8.4

注：1) 土づくり肥料施用:10/30, 播種・基肥:11/5, 穂肥:3/6, 出穂前追肥:4/19, 収穫:6/15.

2) 坪刈り3連の平均値。精子実重:水分12.5%換算値。子実粗蛋白含量:窒素含量×5.70.

表6 小麦栽培期間中における流出負荷量

試験区	流出負荷量 (kg/ha)				
	T-N (比)	NO ₃ -N (比)	T-P	K	COD
農家慣行施肥	11.45 (100)	6.43 (100)	0.507	16.77	50.90
石灰窒素入り肥料施用	9.19 (80)	4.79 (74)	0.475	15.46	53.96

注) 暗渠排水による流出負荷量。降水量988mm, 暗渠排水量654mm (流出率66%)

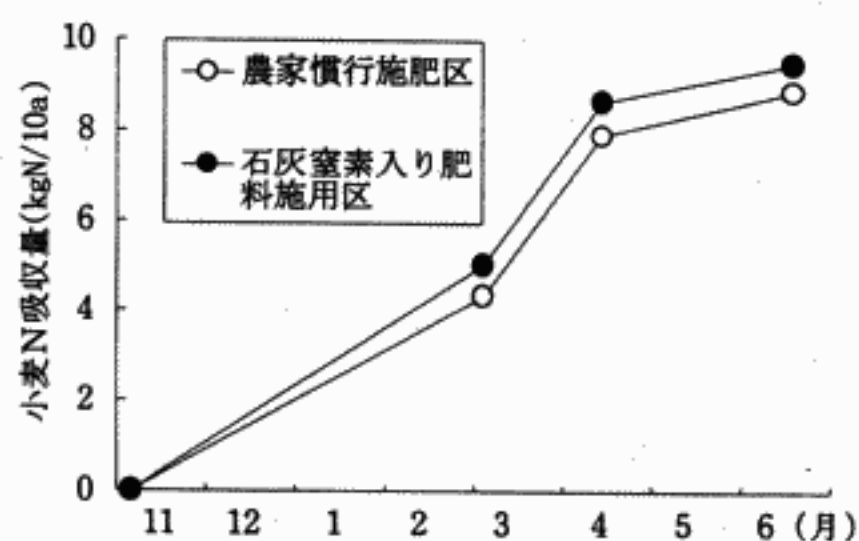


図4 小麦栽培における窒素吸収経過。

次に、栽培期間中の暗渠排水における全窒素 (T-N) 濃度および硝酸態窒素 (NO₃-N) 濃度の推移を図5に示す。農家慣行の基肥施用では、施用直後の降雨時に全窒素濃度が20mg/Lを超え、硝酸態窒素も環境基準である10mg/Lを大きく上回る値を示した。

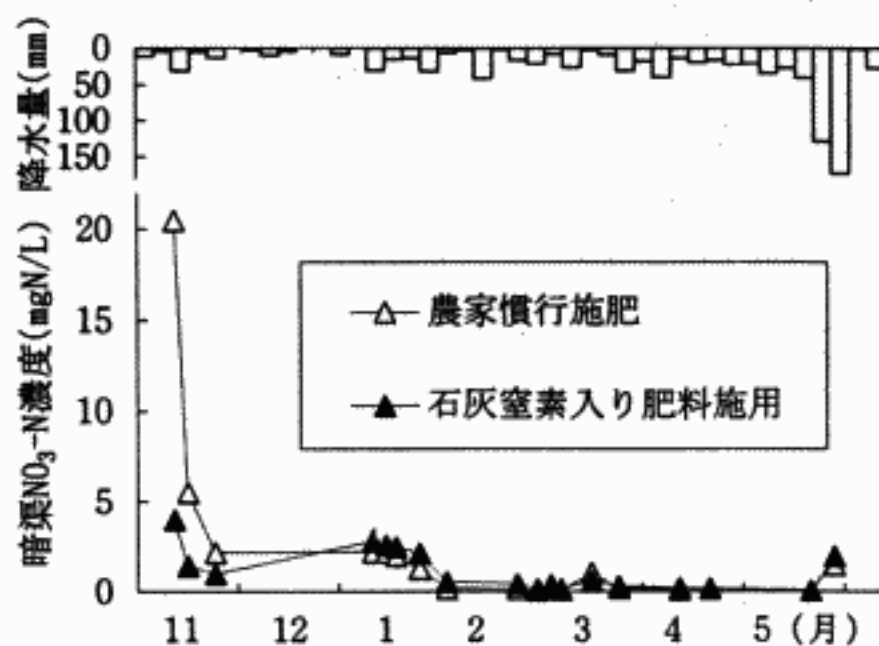
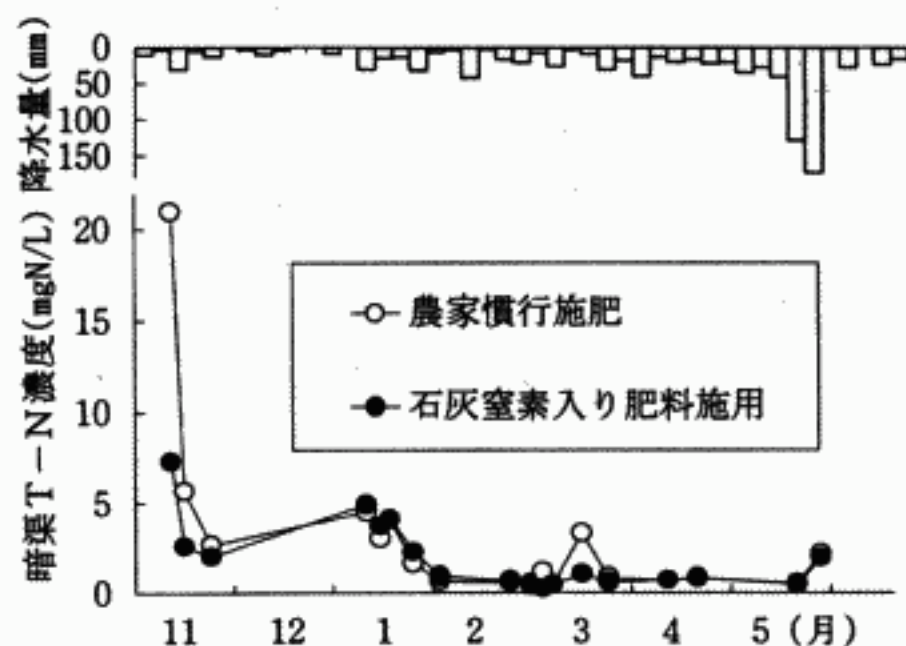


図5 小麦栽培期間中における暗渠排水の全窒素および硝酸態窒素濃度の推移。

注) 暗渠2本の平均値。

3. 2 小麦跡キャベツ栽培に対する被覆肥料の作条施肥の効果

各試験区の窒素施肥量は、全層施肥区20kgN/10a、作条施肥区15kgN/10aにそれぞれ設定したが、実績施肥量は全層施肥区19.5kgN/10a、作条施肥区15.3kgN/10aであった。

その結果、期間中のキャベツの生育は両試験区に大差なく、作条施肥区では全層施肥区と同等以上の収量が得られた。同様にN、P、Kいずれの養分吸収量も

一方、石灰窒素入り肥料施用区では明らかに低下し、全窒素、硝酸態窒素濃度ともに10mg/L以下であった。その後、両試験区ともに全窒素濃度は徐々に低下し、2月以降は概ね1mg/L前後で推移した。なお、穂肥施用時期(3月上旬)に農家慣行施肥区でやや高くなる傾向が認められたが、出穂前追肥の影響は認められなかった。

その結果、栽培期間中の全窒素流出負荷量は、石灰窒素入り肥料施用区が9.19kgN/haとなり、農家慣行施肥区11.45kgN/haに比べて、20%少なかった。また、硝酸態窒素流出負荷量も同様に26%少なかった。なお、石灰窒素入り肥料には熔リンが含まれているが、リン流出負荷量については両試験区に大差なく、石灰窒素入り肥料施用によるリン流出負荷量の増加は認められなかった(表6)。

全層施肥区と大差なかった(表7)。

また、暗渠排水の全窒素濃度はほぼ同程度に推移し、両試験区とも9月中旬の多雨時に約40mg/Lと高くなったが、その後漸減した(図6)。

その結果、キャベツ栽培期間中における暗渠排水からの全窒素流出負荷量は、基肥施用後の生育前半に作条施肥区でやや少なかったことから、3%とわずかなものであるものの作条施肥区で軽減できた。また、全リン流出負荷量は窒素に比べるとレベルは低かったが、作条

表7 小麦跡キャベツ栽培の収量

試験区	施肥量(kg/10a)		全重 (g/株)	球重 (g/株)	養分吸収量(kg/10a)	
	N	P			N	P
全層施肥	19.5	4.3	2,268	1,660	20.6 (7.3)	2.6 (0.8)
作条施肥	15.3	3.3	2,427	1,774	22.8 (8.4)	3.0 (1.0)

注：1) 施肥，畝立て：8/10，定植：8/14，収穫11/16。

2) 全重，球重および養分吸収量は15株の平均値。養分吸収量のかっこ内は，全吸収量のうち，キャベツ外葉の吸収量。

表8 キャベツ栽培期間中における流出負荷量

試験区	流出負荷量(kg/ha)				
	T-N(比)	NO ₃ -N(比)	T-P	K	COD
全層施肥	33.20(100)	30.34(100)	0.246	8.24	14.97
作条施肥	32.19(97)	28.91(95)	0.170	8.26	14.39

注) 暗渠排水による流出負荷量。降水量442mm，暗渠排水量174mm(流出率40%)。

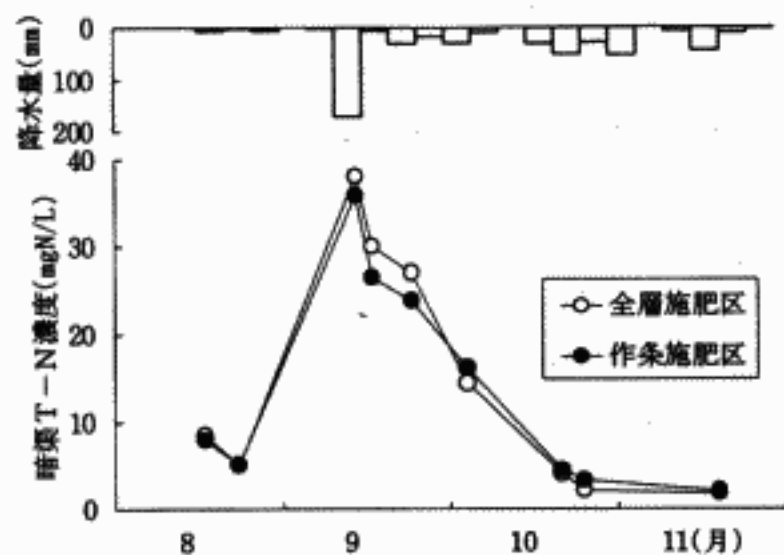


図6 キャベツ栽培期間中における暗渠排水の全窒素濃度の推移。

施肥区が約30%少なかった。カリおよびCOD流出負荷量は，小麦栽培期間に比べて少なく，両試験区に大差なかった(表8)。

3. 3 水稻栽培に対するキャベツ収穫残さの早期鋤込みと暗渠排水制御による水質浄化

圃場試験と並行して行ったポット試験の結果を表9

表9 キャベツ収穫残さ由来窒素の水稻利用率および非作付け期(キャベツ跡)の窒素流出量

試験区	収穫残さ 鋤込時期	水稻利用率(%)		N吸収量 (gN/m ²)	N流出量(gN/m ²)	
		籾	籾+わら		T-N(比)	NO ₃ -N
対 照	1月下旬	4.64±1.02	6.69±1.20	7.49	3.49(100)	3.22
改 善	12月下旬	3.91±0.26	5.59±0.23	7.36	3.85(110)	3.25
(参 考)	残さ無施用	—	—	6.32	2.34(67)	2.12

注：1) 1/2000aポットを使用。土性：埴埴土。品種：日本晴。無肥料栽培。

2) キャベツ外葉を130g施用。供試キャベツ外葉：乾物率13.4%，T-C 41.8%，T-N 3.01%，¹⁵N 4.21atom% (3株の平均値)。

3) 水稻利用率は3株の平均値±標準偏差。N吸収量およびN流出量は3連の平均値。

4) 流出負荷量調査期間：2000年12月18日～2001年5月8日の141日間。降水量：348mm，排出率：81%。

5) 参考区はキャベツ残さを施用せず，改善区と同時期に耕起した。

に示す。

改善区のキャベツ残さ鋤込み時期から水稻作付けまでの全窒素流出負荷量は，当年1月下旬に鋤込んだ対照区に比べ，前年12月下旬に鋤込んだ改善区で10%増加した。

また，水稻栽培においては，キャベツ収穫残さ由来窒素の水稻利用率は5.6～6.7%で，籾へ移行した窒素の割合は3.9～4.6%であり，改善区でやや低い傾向にあった。

一方，圃場試験では，改善区の暗渠排水水位を，エルボを用いて深さ80cmから下層土の還元層が現れる60cmに立ち上げた(対照区は80cm)。

その結果，キャベツ作付け跡における暗渠排水の全窒素濃度は，1月下旬まで改善区が高かったが，対照区の残さ鋤込み後である2月下旬以降は，改善区が低く推移した(図7)。そして，キャベツ収穫後から水稻作付けまでにおけるキャベツ作付け跡期間中の窒素流出負荷量は，改善区が6%少なかった。また，暗渠排水

表10 キャベツ栽培跡期間中における流出負荷量

試験区	流出負荷量 (kg/ha)				
	T-N (比)	NO ₃ -N (比)	T-P	K	COD
対照区	15.78 (100)	12.46 (100)	0.56	3.01	22.76
改善区	14.88 (94)	12.72 (102)	0.39	3.05	22.04

注) 暗渠排水による流出負荷量。降水量290mm, 暗渠排水量177mm (流出率61%)。

表11 キャベツ収穫残さの鋤込み時期がキャベツ跡水稻の収量等に及ぼす影響

試験区	キャベツ 収穫残さ 鋤込み時期	わら重	籾重	精玄米重	籾すり歩合	N吸収量	玄米蛋白 含量
		kg/10a	kg/10a	kg/10a	%	kgN/10a	%
対 照	1月下旬	1,022	802	638	80	13.7	6.8
改 善	12月下旬	1,024	823	657	80	13.2	6.7*
(参 考)	3月上旬	1,029	774	616	80	13.7	7.0*

注: 1) 品種: 日本晴。無肥料栽培。数値は坪刈り3連の平均値。

2) 精玄米重: 水分14.5%換算値。籾すり歩合=精玄米重/籾重。

玄米蛋白含量=窒素含量×5.95。水分15%換算値。*は坪刈り3連の平均値を検定した結果、対照区に対して5%水準で有意差があることを示す。

3) 参考区は3月上旬にキャベツ収穫残さ鋤込みを行った試験区。

表12 水稻栽培期間中における流出負荷量

試験区	流出負荷量 (kg/ha)			
	T-N	T-P	K	COD
対照区	6.62	1.22	31.25	100.1
改善区	6.10	1.03	31.25	103.7

注) 地表排水による流出負荷量。降水量727mm, 用水量730mm, 地表排水量734mm。

水位の立ち上げによるリンおよびCOD流出負荷量の増加は認められなかった(表10)。

次に、キャベツ跡水稻栽培に対する収穫残さ鋤込み時期の影響を表11に示す。改善区では対照区以上の収量が得られたが、窒素吸収量は増加せず、玄米蛋白含量がわずかながら低下した(5%水準で有意)。また、水稻作付期間の窒素流出負荷量について、早期鋤込みによる増加は認められなかった(表12)。なお、当地域で問題となっている籾すり歩合(精玄米重/精籾重)の低下については、いずれの区についても籾すり歩合が80%で、問題とならなかった。

4. 考 察

水稻跡小麦栽培に対する石灰窒素入り肥料の施用は、収量や子実粗蛋白含量への向上効果はやや小さかった。両試験区とも収量は480kg/10aを超え、子実蛋白含量も9%近いことから、本県産小麦の平均レベルを上回っ

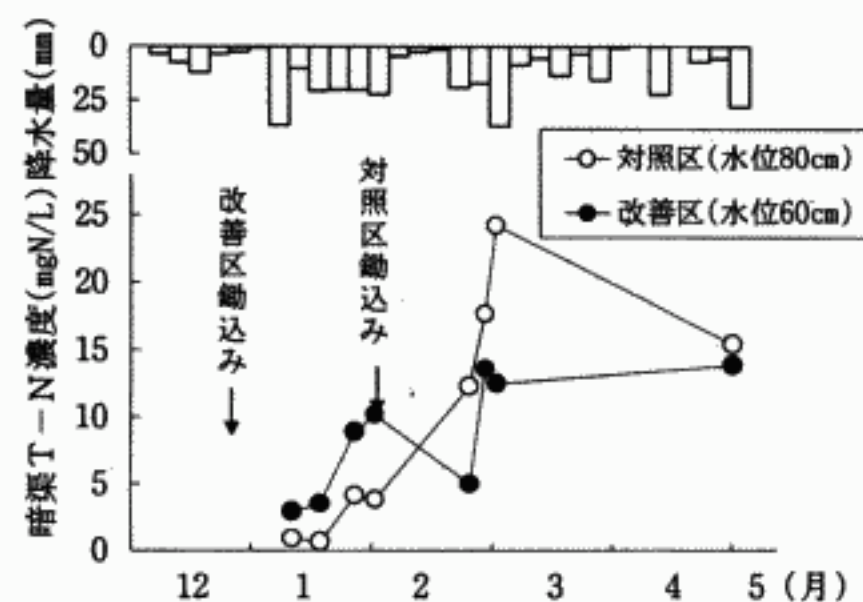


図7 キャベツ栽培跡期間中における暗渠排水の全窒素濃度の推移。

注) 暗渠2本の平均値。

ているといえる。ただし、石灰窒素入り肥料施用区における窒素吸収量は、農家慣行施肥区に比べると生育初期から明らかに増加しており、施肥効率は向上していた。

小麦の生育前半は窒素吸収が少なく、両試験区とも1月頃までの窒素流出負荷量が多かった。新良ら¹⁰⁾は、

小麦栽培において後半の追肥に比べると基肥の窒素利用率が低いことを認めているが、基肥に多量の速効性窒素肥料が施肥される農家慣行施肥では、流出負荷量が増大することが示唆された。

稲わらの鋤込みは窒素流出負荷削減効果があり、柴原ら¹⁷⁾のライシメータ試験では、水稻跡小麦栽培において21%の硝酸態窒素の流出負荷削減率があったとしている。本試験では両試験区とも稲わらを全量鋤込んだことから、窒素流出負荷量のレベルは低下していると考えられるが、石灰窒素入り肥料の施用はさらに硝酸態窒素の流出を抑制している。本試験の小麦栽培期間中において、全窒素流出負荷量に占める硝酸態窒素流出負荷量の割合は52~56%であり、柴原らの結果に比べると低い。しかし、対農家慣行施肥区との比率で、石灰窒素入り肥料施用区は全窒素流出負荷量が80%、硝酸態窒素流出負荷量が74%となっており、石灰窒素施用による硝酸化成抑制、窒素の流出負荷削減効果が窺える。

また、本県産の小麦は子実粗蛋白含量が全般的に低く、実需者が求める10%程度までには至っていないケースが多いが、出穂期前後（4月中旬~5月初旬）の窒素施肥が子実蛋白含量向上に効果的であることが認められており²⁰⁾、近年全県的に広まりつつある。そして、石灰窒素入り肥料との組み合わせも有効であるが^{21,22)}、一方で、穂数、粒数が不十分な場合には、出穂期前後の追肥によって粉色の悪化等が懸念されており、今後、その施肥量については生育栄養診断指標の策定が望まれる。

小麦跡キャベツ栽培に対する作条施肥については、ともに被覆肥料入り複合肥料を定植直前に施用した試験区の比較であったが、局所施肥による窒素施肥節減効果が認められた。各地で行われたキャベツに対する局所施肥試験では、慣行施肥に比べ20~30%の窒素施肥削減が可能となっており^{12), 13), 20)}、本試験でも同程度の減肥が可能であった。

窒素流出負荷量については、作条施肥による削減効果は3%にとどまっている。被覆肥料を用いることにより畑地からの施肥窒素の溶脱を抑制することは明らかにされており⁸⁾、本試験では農家慣行と異なり、全層施肥区においても被覆肥料を定植直前に施用し、追肥も省いた全量基肥体系であったことなどから、その差が小さくなったものと推察される。

また、全窒素流出負荷量に占める硝酸態窒素流出負

荷量の割合は両試験区とも90%前後であり、小麦栽培期間に比べると明らかに高かった。これは、小麦栽培期間に比べ、畑地化が進んでいることや地温が高いことなどから、土壌窒素の無機化や硝酸化成が進んでいることが原因と考えられる。そして、9月の暗渠排水の硝酸態窒素濃度は20~40mg/Lと地下水等の環境基準を大きく上回る値を示している。夏まき冬どりのキャベツについては、好適地下水位が35cm以下であるとの報告があり⁹⁾、本試験でキャベツ跡の暗渠排水水位を制御した技術は、キャベツ生育期間中にも適用できるのではないかと考えられる。今後、輪換畑からの硝酸態窒素の流出軽減については、施肥改善とあわせた排水の浄化対策の検討が必要である。

キャベツ跡水稻栽培のポット試験については、キャベツ収穫残さの鋤込みを1ヶ月早めることにより、水稻の窒素吸収をやや抑制できると考えられたが、その一方で窒素流出負荷量が増加した。

重窒素で標識した有機物を利用して有機物由来窒素の水稻利用率を求めることは、稲わらや牛糞堆肥などについて試験されている^{19,20)}。筆者ら¹⁹⁾が行ったポット試験における有機物由来窒素の水稻利用率は、稲わらでは6.4%、牛糞堆肥は4.6%と低く、土壌残存の割合が70~80%と高かった。

一方、キャベツ収穫残さのC/N比は低く、稲わらや牛糞堆肥に比べると、土壌での分解は速やかに行われるものと考えられ、水稻作付けまでの窒素流出も多いと推察される。本試験では、キャベツ残さを施用せずに水稻栽培を行った参考区を設けており、同時期に耕起した改善区との差し引き法により、水稻作付けまでのキャベツ収穫残さ由来窒素の流出負荷割合を求めたところ約14%であった。これは、キャベツ残さ鋤込みから水稻作付けまでの全窒素流出負荷量の約40%を占めており、キャベツ跡の収穫残さの処理方法においても窒素流出負荷削減対策の重要性が示唆された。

圃場試験のキャベツ跡では、改善区でキャベツ収穫残さの鋤込みを早期に実施したにも関わらず、窒素流出負荷量は減少しており、暗渠排水制御技術による水質浄化効果が認められた。なお、当年3~4月の降水量は非常に少なく（3~4月の合計降水量は118mm、過去5年間の平均値は236mm）、暗渠排水もほとんど認められなかった。気温の上昇とともに残さの分解が促進し、窒素流出負荷量が増加すると考えられることから、このことについて年次変動を踏まえて長期にわた

る調査が必要である。そして、本試験で60cmに設定した暗渠排水水位は、さらに立ち上げを高く設定し、窒素流出負荷削減効果を再評価することも必要と考えられる。この場合、排水の浄化要因として圃場レベルでの脱窒の解析が必要であるが、 $\delta^{15}\text{N}$ 値の変化によって脱窒の解析を試みる手法が報告されており¹⁰⁾、この手法を活用して、暗渠排水水位の制御による水質浄化要因の解析が必要と考える。

キャベツ跡水稲栽培では、残さの早期鋤込みにより、収量を確保しつつ、窒素吸収抑制とそれに伴う玄米蛋白含量の低下がわずかに認められたが、両試験区ともに窒素吸収量は $13\text{kgN}/10\text{a}$ を超えていた。一般に、収量と窒素吸収量には正の相関関係が認められる¹¹⁾。しかし、当地域内で行った、水稲（日本晴）に対する有機物の長期連用試験¹²⁾では、窒素吸収量が $12\text{kgN}/10\text{a}$ を超えると収量増加は頭打ちになり、逆に減収する傾向にあることから、適正な窒素吸収が安定生産に不可欠と考えられる。本試験において、無肥料栽培にも関わらず水稲の窒素吸収量が過剰気味となったのは、潜在地力が高いことやキャベツ収穫残さからの供給に加え、乾土効果や下層土からの窒素供給が多いとされる輪換田の影響⁹⁾が主要因であろう。廣川ら⁹⁾は、灰色低地土の復元田は連作田に比べ、土壌由来窒素の水稲吸収率が高くなることを認めており、本試験でも、窒素供給量過多に加え、土壌由来窒素の吸収率の向上が過

剰吸収を助長しているとも考えられる。さらに、上松¹³⁾は、ハウレンソウやタマネギなど野菜跡の水稲栽培において、野菜栽培に緩効性肥料を施用した場合は、その残効により後作水稲栽培で約4割の施肥窒素が減肥できるとしており、本試験においても、キャベツ栽培に施用した被覆肥料の残効の影響も可能性として考えられる。なお、窒素吸収過剰が原因と考えられた粳すり歩合の低下については、両試験区とも問題なく、キャベツ収穫残さの早期鋤込みの効果は判然としなかった。これは、当地域では、特に「コシヒカリ」や「キヌヒカリ」など早生品種での粳すり歩合の低下が問題となっており、供試した品種は「日本晴」であったので、今後早生品種での検討が必要である。また、本試験では収穫残さの早期鋤込みを実施したが、キャベツの品種の早晚性によって収穫時期も変わり、鋤込む時期を早めることが容易でないケースもあることから、キャベツ品種に左右されない改善法が望まれる。今後は引き続き当地域内の十数カ所の圃場において、圃場履歴や栽培条件と、水稲の窒素吸収パターンや粳すり歩合の関係について調査する予定である。

さて、各栽培に対する改善技術の導入と、その効果について述べてきたが、これらの結果を組み合わせ、田畑輪換栽培による2年3作体系（小麦－キャベツ－水稲）の養分収支を試算した（表13）。

表13 田畑輪換栽培（2年3作体系）の養分収支

収支	収支項目			改善技術 (対照と比較)	N収支(kgN/ha)		P収支(kgP/ha)	
					改善	対照	改善	対照
収 入	施 小 麦	キャベツ		石灰窒素施用	100.0	100.0	65.5	26.2
	収 肥	小 麦		作条施肥	153.0	195.0	33.4	42.6
		小 計			253.0	295.0	98.9	68.7
	有 稲	わら、麦			75.8	68.3	10.5	9.6
	機 鶏 糞	残さ		(キャベツ作付前に施用)	73.0	73.0	73.6	73.6
入	物	キャベツ			84.4	73.2	9.6	8.3
		小 計			233.2	214.5	93.7	91.5
	流入	(降雨・用水、3作計)			19.9	19.9	0.4	0.4
	収 入	計			506.1	529.4	193.0	160.7
支 出	作 小 麦	キャベツ		石灰窒素施用	95.2	89.5	22.4	20.5
	物 収 水	稲		作条施肥	228.4	206.1	29.7	25.8
	吸 小 計			早期鋤込み	131.6	137.4	25.5	25.4
	収	小 計			455.2	433.0	77.6	71.7
	流 小 麦	キャベツ		石灰窒素施用	9.2	11.5	0.5	0.5
出	出 小 麦	キャベツ		作条施肥	32.2	33.2	0.2	0.2
	水 小 麦	跡		排水水位制御	14.9	15.8	0.4	0.6
	出 水 稲				6.1	6.6	1.0	1.2
		小 計			62.4	67.1	2.1	2.5
	支 出	計			517.6	500.1	79.7	74.2
収支	収入	－	支出		-11.5	29.3	113.3	86.5

注：1）窒素収支に脱窒、窒素固定は考慮していない。

2）調査期間は小麦229、キャベツ98、キャベツ跡115、水稲131日の計573日間であり、降水量は計2447mm、用水量(水稲)は730mmである。

窒素については、各作物に対する改善技術の組み合わせにより、収支がほぼ均衡した。特に施肥量については、キャベツ栽培における作条施肥の効果を反映し、改善技術を組み合わせた区では2年間で14%の窒素施肥節減が可能であった。流出負荷量については、改善技術の組み合わせにより、2年間で7%の窒素流出負荷削減が図れた。しかしながら、田畑輪換栽培では、水稲連続栽培に比べると窒素流出負荷が増加している。さらなる削減対策が必要である。先にも述べたように、施肥、土壌管理法の改善とあわせて、暗渠排水水位の制御による排水浄化対策などの検討が必要である。

一方、リンの収支は、両試験区ともに収入が支出を大きく上回り、蓄積する傾向が認められ、土壌診断に基づく適正な施肥の必要性が窺われた。地下水位の高いグライ土では、リン酸が活性鉄と結合しリン酸供給量が低いことから、小麦栽培に対する溶リンの施用効果が高い¹⁰⁾。しかし、小麦栽培に対する溶リン施用が、2年3作体系のリン収支において、収入が支出を大きく上回った要因となっている。そして、小麦栽培期間中においては、溶リン施用によるリン流出負荷量の増加は認められなかったものの、蓄積されたリン酸が水稲作付け時の土壌還元に伴い可溶化することから、流出することも懸念される。近年における本県の水田土壌については、可給態リン酸含量が増加傾向にあることを認めており¹⁰⁾、本試験圃場のように可給態リン酸が改良目標値の上限を超えている圃場では、小麦栽培での溶リン施用量についても今後検討する必要があると考えられる。

次に農耕地からの発生負荷量について述べる。発生負荷量については、地表排水と浸透（暗渠）排水の合計負荷量を流出量、降水と用水の合計負荷量を流入量とし、流出量から流入量を差し引きする「差し引き負荷量」²⁰⁾が一般的に用いられているが、琵琶湖への負荷量の評価では、流出量から用水負荷量のみを差し引く「用水差し引き負荷量」が用いられていることから、本文においては用水差し引き負荷量を用いた。

田畑輪換栽培2年間の窒素発生負荷量は、改善区で98、対照区で106gN/ha/日であった。これを各栽培期間毎にみると、小麦40～50、キャベツ329～339、キャベツ跡129～133、水稲-1～3gN/ha/日の範囲内であった。このことから窒素発生負荷量が輪換畑で増加する傾向が認められたが、作物の種類により大きく

異なることも認められた。同様のことは、長谷川²⁾、柴原ら¹⁰⁾がライシメータ試験で認めているが、特に本試験では、圃場レベルにおいて、施肥量の多い野菜栽培での発生負荷量が、同じ畑作物の小麦栽培に比べても多いことが示された。本試験のキャベツ栽培での発生負荷量は、比較的土壌肥沃度の高い大中地域での試験データではあるものの、滋賀県が採用している畑の発生負荷原単位261gN/ha/日を大きく上回っている。

次に、リン発生負荷量は、水稲栽培期間が6.1～7.5gP/ha/日となり、輪換畑期間の1.7～4.9gP/ha/日に比べ水稲作付期で多かった。滋賀県が採用しているリンの発生負荷原単位は、水田2.68gP/ha/日、畑0.54gP/ha/日であるが、本試験で得られたリンの発生負荷量は、水田、畑とも両原単位に比べて高い値を示した。特に水稲作付期のリンの発生負荷量は、無肥料栽培にも関わらず前述の原単位を大きく上回っており、土壌に蓄積したリン流出の可能性が考えられた（以上表14）。

表14 田畑輪換栽培の発生負荷量（用水差し引き）

作物名	N発生負荷量 (gN/ha/日)		P発生負荷量 (gP/ha/日)	
	改善	対照	改善	対照
小麦	40	50	2.1	2.2
キャベツ	329	339	1.7	2.5
キャベツ跡	129	137	3.4	4.9
水稲	-1	3	6.1	7.5
2年3作体系	98	106	3.2	4.0

注) いずれの期間も浸透水はゼロとしており、水稲は地表排水、その他は暗渠排水による負荷量から計算。

最後に、2年3作体系における肥料費の積算を表15に示した。石灰窒素入り肥料（溶リンとの配合肥料）を施用した施肥体系の場合、農家慣行施肥体系に比べ、小麦栽培における肥料費は約5,000円/10aの割高となる。しかしながら、輪作体系全体で判断すると、水稲栽培に対する溶リン施用（溶リン40kgを施用すれば約3,000円）を省略でき、多額の経費増加にはならないと考えられる。また、キャベツ栽培において、作条施肥による施肥量の削減により、肥料費も約3,000円/10a削減できた。

その結果、2年3作体系による肥料費の合計は、改善区で約2,000円/10a高かったが、対照区の水稲栽培で溶リンを施用したと仮定すれば、大差ないと考えられた。

表15 田畑輪換栽培（2年3作体系）の肥料費
（単位：円/10a）

作物名	改善	対 照
小 麦	12,964	7,892
キ ャ ベ ッ	9,375	12,500
水 稻	0	0 (3,000)
2年3作体系	22,339	20,392 (23,392)

注：1）各肥料の価格は以下の通りで算出した。いずれも価格は20kg当たり。稲ゆたか2号：2,000円。苦土石灰：500円。塩加礬安1号：1,700円。NK化成C12号：1,400円。コートマックス682号：2,000円。熔リン：1,500円。

2）カッコ内は熔リン40kg/10aを施用した場合の加算額。

本報では、地域内の代表的な作付け体系において、モデル的な改善技術体系を実施し養分収支をとりまとめた。残された課題として、蓄積リンの有効利用や輪換畑の土壌・施肥管理の改善、排水の浄化技術等をさらに検討する必要がある。特に、田畑輪換栽培では、水稻連続栽培に比べ、有機物の消耗が大きくなり、施肥量や窒素流出負荷量が増加するなど、養分の収支が大きく変化する。適正な土壌養分管理を行うことが環境負荷低減のためにきわめて重要であると考え。

謝 辞

本試験を実施するに当たり、安土町大中の岩佐清一郎氏、隆氏および滋賀県農業試験場の吉岡善明氏には多大なご協力を頂いた。また、当場の長谷川清善博士、大橋恭一博士には本稿のご校閲と有益なご助言を頂いた。ここに記して深く感謝の意を表する。

引用文献

- 1) 土壌環境分析法編集委員会編, 1997. 土壌環境分析法. 博友社.
- 2) 長谷川清善, 1992. 水田における窒素の動態と環境への影響評価に関する研究. 滋賀農試特別研究報告, 17: 1-164.
- 3) 廣川智子・伊藤純雄・北川靖夫, 1995. 中粗粒質灰色低地土における良質米栽培時の土壌窒素および施肥窒素の動態と施肥技術. 富山農技セ研報, 15: 1-66.

- 4) 金田吉弘, 1993. 八郎潟干拓地低湿重粘土における田畑輪換効果の解明と水稻安定多収技術に関する研究. 秋田農試研報, 33: 1-45.
- 5) 小松茂雄・武久邦彦・小林敏正, 2002. 水稻跡小麦栽培に対する石灰窒素入り肥料の利用法. 平成13年度近畿中国農業研究成果情報, 177-178.
- 6) 幸田浩敏, 1983. 野菜類と普通作物による低湿地帯の田畑輪換栽培に関する研究（第1報）地下水位と作物の生育・収量. 茨城農試研報, 22: 25-63.
- 7) 熊澤喜久雄, 1999. 地下水の硝酸態窒素汚染の現況. 土肥誌, 70: 207-213.
- 8) 松丸恒夫, 1997. 被覆肥料利用による畑地からの肥料窒素溶脱抑制. 土肥誌, 68: 430-434.
- 9) 水管理研究会, 1972. 水田の水管理と圃場整備. 142-144, 地球出版.
- 10) 新良力也・西宗 昭, 1998. 北海道における秋播コムギ子実への施肥窒素の集積と土壌由来窒素の吸収. 土肥誌, 69: 604-611.
- 11) 農林水産省構造改善局, 1997. 土地改良事業設計計画基準, 186-187, (社) 農業土木学会.
- 12) 小野寺政行・三木直倫・赤司和隆, 2000. キャベツの作条施肥による窒素3割減肥技術. 土肥誌, 71: 714-717.
- 13) 大川浩司・林 悟朗, 1998. 機械利用によるうね内条施肥法がキャベツの生育斉一性と肥料の利用率に及ぼす影響. 愛知農総試研報, 30: 157-162.
- 14) 朴光来・熊澤喜久雄, 1998. 灌漑水から流入した硝酸態窒素の脱窒作用に伴う窒素安定同位体存在比の変化. 土肥誌, 69: 293-295.
- 15) 三枝正彦・花木真由美・伊藤豊彰, 1999. 不耕起湿田土壌における稲わらの分解過程と水稻による稲わら窒素の吸収利用. 土肥誌, 70: 157-163.
- 16) 柴原藤善, 1994. 深耕、石灰窒素利用等による水稻跡小麦の施肥効率および子実蛋白の向上技術. 近畿中国地域における新技術, 28: 30-36.
- 17) 柴原藤善・河村政彦・小林正幸, 1994. 水田におけるわら施用が排水水質および土壌微生物に及ぼす影響. 滋賀農試研報, 35: 1-18.
- 18) 柴原藤善・小松茂雄・長谷川清善・犬伏和之・山室成一, 1998. ^{15}N トレーサー法による稲わらおよび牛糞堆肥連用水田の窒素動態解析（第3報）有機物由来窒素の動態. 土肥要旨集, 44: 134.
- 19) 柴原藤善・武久邦彦・小松茂雄, 1999. 水稻に対

- する有機物および土づくり肥料の連用効果（第1報）
 水稻の生育収量，養分吸収および土壌の化学性の変化。滋賀農試研報，40：54-77.
- 20) 柴原藤善，1999. 田畑輪換水田におけるキャベツの作条施肥技術と暗渠排水浄化技術。近畿中国地域における新技術，33：114-118.
- 21) 滋賀県，1978. 地力保全基本調査総合成績書，134-145.
- 22) 滋賀県農政水産部農政課，2001. しがの農林水産業統計資料集付き，32.
- 23) 高橋 茂・山室成一・小野信一，2000. 重窒素標識された牛糞堆肥由来窒素の水稻およびトマトによる吸収。土肥誌，71：246-248.
- 24) 高村義親・田淵俊雄・鈴木誠治・張 替泰・上野忠男・久保田治夫，1976. 水田の物質収支に関する研究（第1報）。土肥誌，47：398-405.
- 25) 武久邦彦・柴原藤善・小松茂雄，1999. 滋賀県における農耕地土壌の実態と変化（第1報）最近5年間の土壌理化学性の実態。滋賀農試研報，40：39-53.
- 26) 辻 藤吾・柴原藤善・大橋恭一・河合敏彦・田中靖志，1994. 輪換畑における土壌類型別暗渠排水法と水質保全効果。土肥誌，65：199-205.
- 27) 上松富夫，1998. 野菜－水稻作付け体系における施肥改善。平成10年度近畿中国・四国地域農業試験研究現地研究会資料，28-36.
- 28) 山本孝司・岡本一浩・吉澤清，1992. 晩期窒素追肥および大豆跡作付による小麦加工適性の改善について。滋賀農試研報，33：97-1062.
- 29) 和田源七，1969. 水稻収量成立におよぼす窒素栄養の影響。農技研報A，16：27-167.

Summary

A comprehensive improvement technology for soil and fertilizer application developed in Shiga Prefecture was applied to wheat, cabbage, and upland rice (triple cropping in 2 years) at a paddy-upland rotation field (fine textured Gley soil) facing the Lake Biwa, to achieve stabilized production and improved quality of each crops, and to evaluate the runoff load-reducing effect for 2 years of paddy-upland rotation farming.

1) During wheat culture following rice culture, a fertilizer containing calcium cyanamide (mixed fertilizer of calcium cyanamide and fused magnesium phosphate) was successfully applied to improve the wheat crop yield and grain crude protein content, resulting in a reduction of 20% in nitrogen runoff load compared to the current common practice of fertilization by farmers.

2) During cabbage culture following wheat culture, furrow application of a coated fertilizer reduced the amount of nitrogen applied (4.2 kgN/10a) compared to fertilizer incorporation to plow layer.

3) In paddy rice culture following cabbage culture, the hull-transfer percentage of cabbage harvest residue-derived nitrogen was 3.9 to 4.6%, suggesting that the hulled rice protein content might be reduced by advancing harvest residue plowing-in by one month. Although a pot experiment revealed the possibility of an increase in nitrogen runoff load until the rice planting stage as a result of such early plowing-in of cabbage residue, the amount of nitrate nitrogen leaching was decreased, with no increase in nitrogen runoff load, by increasing the water level of pipe drainage from 80 cm to 60 cm below the ground.

4) During the 2-year period of paddy-upland rotation culture, nitrogen generated load [(runoff load - water load) , number of days of the period] was 98 and 106 g N/ha/day for the improvement plot and the control plot, respectively. By rotation stage, nitrogen generated load was determined to be 40 to 50 gN/ha/day for wheat, 329 to 339 g N/ha/day for cabbage, 129 to 133 g N/ha/day for post-cabbage, and -1 to 3 g N/ha/day for lowland rice, showing increases in the upland, but involving wide variation among the crops.

5) During the 2-year period of paddy-upland rotation culture, the nitrogen balance was nearly equilibrated by appropriately combining various improvements for respective turns, resulting in a reduction of 14% in nitrogen fertilization and a reduction of 7% in nitrogen runoff load compared to the control. For the phosphorus balance, however, income increased significantly compared to control, showing an overbalance of income.