ＩＳＳＮ　0386—5878
土木研究所資料第1920号

下水処理水の農業利用に関する調査報告書（第１報）

——水稲栽培における窒素の影響に関する基本調査——

昭和58年３月

建設省土木研究所
下水道部三次処理研究室

まえがき

本報告書は土木研究所下水道部三次処理研究室が，下水道事業調査費により，昭和49年度から実施している「窒素の除去に関する調査」の一環として実施した研究成果をまとめたものである。

三次処理研究室では主としてアンモニア性窒素の除去を目的としたアンモニアストリッピング法，不連続点塩素処理法，選択的イオン交換法の物理化学的な手法および生物学的硝化脱窒素法などの除去手法についての実用化のため調査研究を実施してきている。しかしながら，最近の水資源のひっ迫により，下水処理水の循環利用が注目されてきており，農業利用についても重点がおかれつつある中で，窒素を過剰に含む水を水田農業に利用した場合，窒素過多による水稲への被害があるという問題があり，これに対応することが必要に迫まられている。

本報告書は下水処理水中の窒素化合物が水稲栽培へどのような影響を与えるかを既存の文献を用いて調査し，中間報告の形で整理したものである。下水処理水の農業利用の実用化のための調査等，今後調査すべき課題は数多く残されているが，その方向づけの面では十分確認できたと考えている。農業利用の実用化のためのいささかの参考になれば幸いである。さらに，内容について気づかれた点の御教示をお願い致します。

昭和58年3月

三次処理研究室

目　　次

1. 調査の目的 …… 1
2. 稲作の概論 …… 3
　2.1 稲の種類と特徴 …… 3
　2.2 稲の生育と環境 …… 7
　2.3 稲の栽培 …… 10
　2.4 土　　壌 …… 12
　2.5 施　　肥 …… 15
　2.6 水 管 理 …… 27
　2.7 稲の病虫害と雑草 …… 28
3. 水田土壌における窒素の挙動 …… 44
　3.1 土壌中での窒素の存在形態と変化 …… 44
　3.2 水田における窒素収支 …… 47
　3.3 土壌の窒素保持能 …… 49
　3.4 施肥窒素の土壌中における消長 …… 51
4. 稲の生長の窒素の利用状況 …… 60
　4.1 窒素の役割 …… 60
　4.2 各生育段階における窒素の役割と窒素施肥 …… 61
　4.3 窒素の利用形態 …… 63
　4.4 窒素過多と稲の生育 …… 68
5. 灌漑水中の窒素の稲作への影響 …… 71
　5.1 窒素濃度と被害発現程度 …… 71
　5.2 窒素過多の被害の特徴 …… 73
　5.3 栽培技術による対策 …… 80
6. 下水処理水の水質の現況 …… 81
　6.1 流入下水，処理水の水質および処理状況 …… 81
7. 下水処理水の農業用水としての直接再利用の例 …… 88
　7.1 熊 本 市 …… 88
　7.2 池 田 市 …… 93
8. 下水処理水の農業利用にあたっての検討課題 …… 100
　8.1 下水処理水中の成分が稲の生育および土壌に与える影響 …… 100
　8.2 下水処理水を用いる場合の栽培技術の検討 …… 104

8.3 まとめと今後の予定 …… 104
参考文献 …… 105
参考資料 …… 107

1. 調査の目的

下水道普及率は昭和55年度末現在30%であるが，今後かなりの向上が見込まれている。一方，大都市域での下水道整備はかなりの充実が見られており，今後の下水道整備の中心は中小都市，農山漁村へ移りつつあるといえる。これに伴い下水処理水が下流側で農業用水を取水している河川への放流，あるいは直接農業用水路への放流といったケースが今後増加すると予想されている。また，都市化の発達に伴う水資源のひっ迫により下水処理水も有力な水資源であるという認識が一般化しつつあるなかで，種々の直接再利用が検討されており，農業用水が不足している地域では灌漑水あるいはその補給水として下水処理水に期待がかけられている。このような背景のもとで下水処理水が直接的あるいは間接的に農業用水として利用される機会が今後増加するものと予想されている。

下水処理水を農業用水として利用する場合に水質面で特に問題となるものとしては処理水中に含まれる有機物，リン，窒素等の栄養塩類による植物の栄養過多，処理水中に残存する可能性のある重金属類，有機塩素化合物等微量有害物質の農作物への蓄積，大腸菌群その他病源性微生物の人体への接触等いくつかが指摘されている。有機物，リン，窒素等の栄養塩類は植物が生育するうえで必須の栄養成分であるため，積極的に活用することで好結果が得られるとされているが，窒素に関しては過剰となった場合，水稲の青立ち，過繁茂，倒伏等の障害が出やすいことが指摘されている。

下水中の窒素はアンモニア態窒素，硝酸態窒素，亜硝酸態窒素および有機態窒素という窒素化合物の形で存在している。通常の下水処理の過程でこれらの成分がどのような比率で存在するかは処理の方法，運転条件，季節によって異なるが，一般に流入下水および最初沈澱池流出水ではアンモニア態窒素と有機態窒素が，生物処理水ではアンモニア態窒素の占める割合が高い。生物処理水でも硝化の進行が著しいときには硝酸態窒素が主成分となる。

通常の下水処理では，流入下水中の窒素化合物（以下窒素という）の除去率は20～40%程度のものであり，下水処理水中には20mg/l 程度含有されている。処理水中の窒素濃度を前述の濃度より大幅に低下させるには，現在の施設の大幅な改造もしくは別途の処理が必要とされている。土木研究所では下水道事業調査費により，昭和49年より「窒素の除去に関する調査」を開始し物理化学的処理法および生物学的手法による各種窒素除去方法について，その実用化のための調査研究を進めている。

このような背景のもとで，農業用水の主たる使用先である水稲栽培で灌漑水の水質（特に窒素濃度）の影響を評価することは水稲栽培に影響を与えない灌漑水質，あるいは施肥方法，水管理等栽培方法の改善による影響の吸収方法および影響の吸収限界等，農業用水として下水処理水を直接あるいは間接的に利用する場合の水質検討資料として役立ち，さらには農業利用する場合に下水処理場で処理すべきレベル，処理方法の検討資料としても役立つものと考えられる。本報告は下水処理水中に含まれる窒素が水稲栽培にどのような影響を与えうるかに焦点を当てて，既往の研究成果を

吸集し，文献調査を主体とした基本調査の形でとりまとめたものであり，今後の室内規模および圃場規模での実験で確認すべき問題点を明らかにすることを目的としたものである。

2. 稲作の概論

2.1 稲の種類と特徴

稲は元来水沼沢作物であるが，日本では水田において湛水状態で栽培される水稲と畑地で栽培される陸稲とがある。また，胚乳でんぷん質からはアミロースが大部分のうるち米とアミロペクチンのもち米に分けられている。

我が国で最も多く栽培されているのは水稲型のうるち米であるが，その品種は現在実用的に栽培されているものだけでも数百種にのぼるとされている。耐寒性の品種の開発により北海道での稲作が可能になったのをはじめ，終戦後，反当りの収量が飛躍的に向上したことなどは，栽培技術の進歩にもよるが，品種改良によるところが大きい。品種改良は稲の栽培が始まって以来，経験的に行われてきたものと考えられるが，明治以後，特に昭和中期以後の国の研究機関による系統的な品種改良は耐倒性，耐病性，収量等に優れた品種を生みだし，生産量を増大せしめ，また気象，病虫害等に対する安定性も向上させた。

これらの品種は，その形態的特性から短稈種と長稈種の２つの基本型に分けられる。その一般的な特性を表－２・１に示す。短稈種は一般に穂長が短かく（穂重が小さい）ことから収量を穂数でかせぐこととなり，稈長は短くなる。短稈種の穂数は施肥量に大きく左右され，多肥の場合ほど穂数が増加し収量が上がるので多肥型品種といえ，倒伏にも強いとされている。長稈種は穂数が少なく，穂重で収量を確保するものであり，多肥による収量増の効果は少なく，倒伏もしやすいとされている。

各地の栽培品種は，その気候的な特性等を反映して，地域的な分布が大きい。各都道府県の作付上位品種，全国での作付上位30品種および最近の育成品種の銘柄および特性を表－２・2(a)，(b)，(c)に示す。[1)] 最近の傾向としては消費者が食味の良好な米を求めているのを反映して，収量の高い品種より，収量が上がらなくとも食味良好な品種を選ぶ方向にあり，コシヒカリ，ササニシキといった品種の作付面積が伸びている。

表－２・１　短稈種と長稈種の特性

種　　類	特　　性
短　　稈	分けつ多い。穂数は多いが，一穂の穂重が小さい。（穂数型）
長　　稈	分けつ少ない。穂数が少なく一穂の穂重大きい。（穂重型）

表－２・２　(a)　水稲うるち作付上位品種及び産地品種銘柄一覧(昭和53年産)[1]

県名	奨励品種数		53年産水稲うるち作付面積上位4品種及び銘柄品種 (○は指定銘柄，△は特例銘柄，×は非奨励品種)
	うるち	もち	
北海道	17	4	イシカリ，ともゆたか，ゆうなみ，キタヒカリ
青森	8	3	アキヒカリ，レイメイ，シモキタ，ムツホナミ
岩手	10	4	△トヨニシキ，○ササニシキ，△キヨニシキ，ハヤニシキ
宮城	7	2	○ササニシキ，△ササミノリ，トヨニシキ，フジミノリ
秋田	9	2	○キヨニシキ，△トヨニシキ，アキヒカリ，○ササニシキ
山形	7	3	○ササニシキ，○キヨニシキ，やまてにしき，はなひかり
福島	13	3	トヨニシキ，○ササニシキ，○農林21号，キヨニシキ
茨城	4	2	○コシヒカリ，日本晴，トドロキワセ，大空
栃木	8	2	○コシヒカリ，△アキニシキ，日本晴，トヨニシキ
群馬	11	3	日本晴，ニホンマサリ，トヨニシキ，△ホウネンワセ
埼玉	5	2	日本晴，○コシヒカリ，ニホンマサリ，トヨニシキ
千葉	7	3	○コシヒカリ，○ホウネンワセ，トヨニシキ，トドロキワセ
東京	4	2	日本晴，コシヒカリ，東山38号，ヤマビコ
神奈川	6	3	アキニシキ，日本晴，コシヒカリ，サチワタリ
山梨	8	3	日本晴，トヨニシキ，農林22号，シュウレイ
長野	13	4	トドロキワセ，○しなのこがね，△ホウネンワセ，アキヒカリ
静岡	8	3	△晴々，クサナギ，ニホンマサリ，しずたま
新潟	9	2	○越路早生，○コシヒカリ，トドロキワセ，アキヒカリ
富山	5	2	○コシヒカリ，○越路早生，○日本晴，○ホウネンワセ
石川	8	1	○加賀ひかり，△ホウネンワセ，○越路早生，○コシヒカリ
福井	9	2	○コシヒカリ，△こしにしき，○日本晴，○キンパ
岐阜	16	5	○ハツシモ，日本晴，△ヤマホウシ，トヨニシキ
愛知	15	4	△日本晴，幸風，秋晴，晴々
三重	9	2	○コシヒカリ，大空，○うこん錦，秋晴
滋賀	12	1	○日本晴，○キンパ，○コシヒカリ，びわひかり
京都	11	2	○日本晴，○コシヒカリ，○中生新千本，ミネニシキ
大阪	9	1	晴々，東山38号，トヨサト，アケボノ
兵庫	16	3	○日本晴，○中生新千本，○金南風，○ヤマビコ
奈良	7	3	フヨウ，○アキツホ，峰光，秋晴
和歌山	12	3	○日本晴，秋晴，ニホンマサリ，コシヒカリ
鳥取	7	3	○ヤマビコ，○日本晴，○ヤマホウシ，アキヒカリ
島根	14	3	○日本晴，○コシヒカリ，チドリ，○近畿33号
岡山	12	2	○アケボノ，○日本晴，中生新千本，○ヤマビコ
広島	13	3	○中生新千本，○アキツホ，アキヒカリ，峰光
山口	9	0	○ヤマホウシ，○日本晴，中生新千本，晴々
徳島	7	1	○日本晴，ミネユタカ，サチワタリ，越路早生
香川	9	1	セトホマレ，コトミノリ，○東山38号，コガネマサリ
愛媛	8	2	ミネニシキ，○松山三井，○日本晴，クサナギ
高知	13	3	黄金錦，コシヒカリ，ホウネンワセ，アキツホ
福岡	11	3	○日本晴，△レイホウ，あそみのり，ツクシバレ
佐賀	10	3	△レイホウ，△日本晴，ニシミノリ，ツクシバレ
長崎	6	3	△日本晴，レイホウ，黄金錦，あそみのり
熊本	11	3	トヨタマ，△日本晴，△ミナミニシキ，レイホウ
大分	12	3	○クジュウ，ミネユタカ，トヨタマ，レイホウ
宮崎	12	3	○コシヒカリ，△ミズホ，ミナミニシキ，黄金錦
鹿児島	8	4	ミズホ，△コガネマサリ，越路早生，黄金錦
沖縄	2	0	

表－2・2　(b)　昭和53年度作付面積上位30品種の特性概要 1)

作付順位	品種名	来歴	特性
1	日本晴	ヤマビコ×幸風（愛知県農試昭38年）	強稈，いもち・白葉枯病に中強，良質，ごま葉枯病に弱。
2	コシヒカリ	農林22号×農林1号（福井県農試昭31年）	良質・食味極良，適応性大，倒伏・いもち病弱。
3	ササニシキ	奥羽224号（ハツニシキ）×ササシグレ（宮城県農試古川分場昭38年）	良質・食味極良，倒伏・いもち病弱。
4	トヨニシキ	東北78号（ササニシキ）×奥羽239号（東北農試昭44年）	強稈，良質，諸障害に中強，穂発芽易。
5	アキヒカリ	奥羽269号（トヨニシキ）×レイメイ（青森県農試藤坂支場昭51年）	強稈，多収，諸障害に強，品質中位。
6	キヨニシキ	東北78号（ササニシキ）×奥羽239号（東北農試昭45年）	良質，多収，諸障害に中強，穂発芽易。
7	越路早生	農林22号×農林1号（新潟県農試昭28年）	良質・食味良，いもち・白葉枯病・倒伏弱。
8	トドロキワセ	収921（ハツミノリ×藤坂5号）×ホウネンワセ（北陸農試昭43年）	強稈，多収，いもち病強，白葉枯病弱，下葉枯多。
9	イシカリ	北海182号（ユーカラ）×空育4号（上川農試昭46年）	強稈，多収，良質，耐冷・耐病性強，食味中位。
10	レイホウ	西海62号（ホウヨク）×綾錦（九州農試昭44年）	強稈，多収，いもち・わい化病弱。
11	ホウネンワセ	農林22号×農林1号（福井県農試昭30年）	良質・食味良，倒伏やや弱。
12	中生新千本	農林22号×隼（愛知県農試昭25年）	強稈，多収，いもち・白葉枯病弱。
13	アキニシキ	マンリョウ×コシヒカリ（北陸農試昭49年）	良質・食味良，強稈，いもち病弱。
14	レイメイ	フジミノリをCo60によるγ線処理（青森県農試藤坂支場昭41年）	強稈，多収，諸障害に強，品質・食味中位。
15	ヤマビコ	中京旭×農林22号（東海近畿農試昭33年）	良質，大粒，いもち病強，白葉枯病弱。
16	晴々	日本晴×秋晴（愛知県農試昭43年）	良質，強稈，白葉枯病やや弱。
17	あそみのり	（西海85号×西海59号）F_1×幸風（熊本県農試阿蘇分場昭48年）	白葉枯病強，強稈，良質，やや長粒。
18	ヤマホウシ	若葉×農林48号（東海近畿農試昭40年）	良質，強稈，白葉枯病弱。
19	ともゆたか	北海222号×道北1号（中央農試昭52年）	多収，良質，強稈，耐冷性やや弱。
20	大空	山路早生×コシヒカリ（愛知県農試昭44年）	良質・食味良，穂揃やや不良。
21	アケボノ	農林12号×朝日（東海近畿農試昭28年）	良質・食味良，倒伏やや弱，脱粒易。
22	ササミノリ	東北78号（ササニシキ）×奥羽239号（東北農試昭44年）	良質・食味良，遅刈りで胴割多発。
23	ゆうなみ	（ユーカラ×ささほなみ）F_1×ささほなみ（中央農試昭46年）	多収，いもち病強，強稈，良質，耐冷性やや弱。
24	秋晴	万代錦×（若葉×金南風）（愛知県農試稲橋分場昭37年）	強稈，良質，適応性大，白葉枯病弱，やや小粒。
25	ミズホ	宮系1430（鈴風）×36－2（宮崎県総農試昭48年）	強稈，多収，良質，晩熟。
26	トヨタマ	ホウヨク×ヤマビコ（宮崎県総農試昭44年）	多収，強稈，いもち病やや弱
27	キタヒカリ	しおかり×ユーカラ（北海道農試昭50年）	良質・食味良，耐冷性・いもち病やや弱。
28	キンパ	関東56号（キヨスミ）×若葉2号（ほまれ錦）（福井県農試昭40年）	良質，いもち病やや強い，やや小粒。
29	ニホンマサリ	関系332（コチカゼ）×日本晴（農事試昭48年）	強稈，良質，多収，秋落抵抗性弱。
30	フジミノリ	農林17号×藤坂5号（青森県農試藤坂支場昭35年）	強稈，多収，耐冷性・いもち病中強，品質やや不良。

表－2・2 (c) 最近の農林水産省育成品種特性一覧 1)

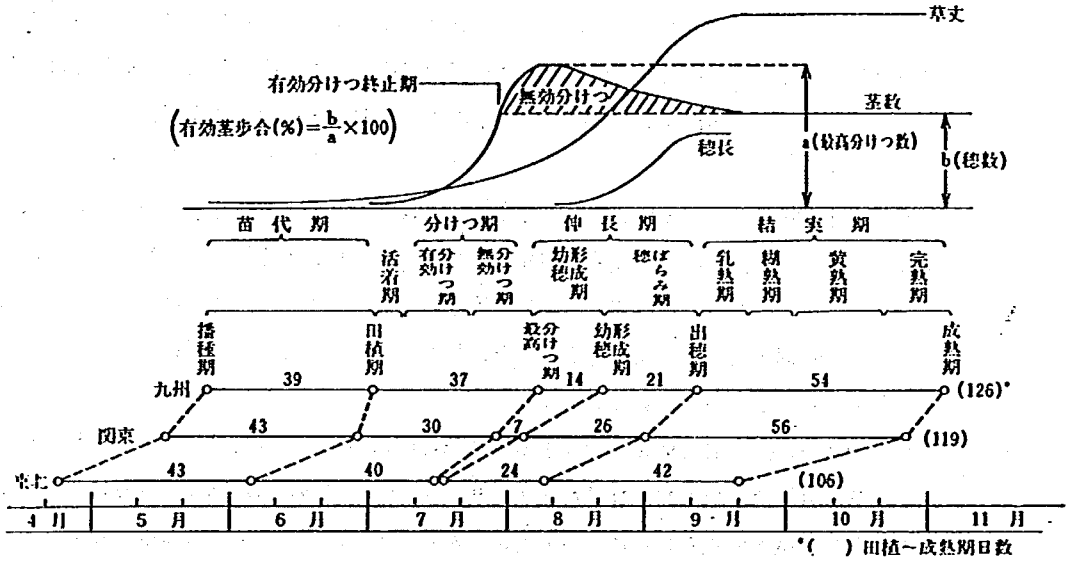
	品種名	来歴	出穂期	草型	耐倒伏	食味	玄米千粒重	適地	特性
昭和52年度	フクヒカリ	コシヒカリ×フクニシキ（福井県農試）	7.23	偏穂数	ヤヤ強	上	22.3	北陸南部の山沿・中山間地帯	食味良，早生としてはやや大粒，白葉枯病弱。
	ヤマユタカ	アキジ×ホウネンワセ（福井県農試）	7.25	穂数	ヤヤ強	上	20.7	関東北部の中山間～山間地帯	いもち病強，品質食味良，強稈
	ヤマヒカリ	サトミノリ×コシヒカリ（福井県農試）	8.12	偏穂数	ヤヤ強	上	21.7	中部近畿の中山間～山沿地帯	いもち病強，品質食味良，穂発芽易。
	フジヒカリ	「R151」×「（ふ系71号×ふ系67号）F_1×コシヒカリB_1」F_4（中国農試）	本田日数80～11日	中間	中～ヤヤ強	上	20.4	東海以西の温暖地平担部	短期生育性，短稈，いもち病強，品質食味良。
昭和53年度	サチミノリ	（マンリョウ×R_4B）F_1×ヤマセニシキ（北陸農試）	8.7	偏穂数	ヤヤ強	上	21.6	北陸・関東以西の中山間～山間地帯	いもち病強，品質食味良，倒伏に強，穂発芽やや易。
	ワカゴマ	（コチカゼ×秋晴）F_1×コチカゼ（農事試）	9.1	穂数	ヤヤ強	上	21.0	南関東～中国・四国の秋落地帯	いもち病，白葉枯病中強，ごま葉枯病強，秋落抵抗性。
	ナツホナミ	コシヒカリ×しなのひかり（福井県農試）	7.25	偏穂数	ヤヤ強	上	21.0	南九州の早期栽培地帯	いもち病強，白葉枯病弱，登熟性，食味良。
	カツラワセ	「（ふ系71号×ふ系67号）F_1×コシヒカリ」F_1×コシヒカリ（鹿児島県農試）	6.30	中間	中	上	21.4	南九州，四国の早期栽培地帯	いもち病強，穂発芽難，安定多収。
	ウルマモチ	カグラモチ×奥羽244号（鹿児島県農試）	7.6	偏穂数	中	上	19.9	沖縄二期作地帯	一期，二期作に適応，いもち病強，穂発芽やや難，安定多収。
昭和54年度	ハマアサヒ	（BL7×ふ系87号）F_1×ふ系87号（青森県農試藤坂支場）	7.30	中間	ヤヤ強	上	22.1	北東北海岸冷涼地帯，山間高冷地帯	耐冷性極強，極早生としては品質食味極良，いもち病やや強。
	アキユタカ	トヨニシキ×曲系17（東北農試）	8.4	偏穂重	強	ヤ上	23.9	東北中南部平担～中山間地，関東以西の中山間地帯	いもち病，耐冷性やや強，晩植適応性大，良質多収。
	ヒデコモチ	大系糯1076×ふ系72号（東北農試）	8.7	偏穂重	強	上	21.6	東北中南部平担肥沃地帯	いもち病やや強，倒伏強，食味極良。
	ナゴユタカ	トドロキワセ×ギンマサリ（北陸農試）	8.5	中間	強	ヤ上	21.2	沖縄二期作地帯	一期，二期作に適応，いもち病やや強，登熟良好，安定多収。
	フクホナミ	越南77号×越南93号（福井県農試）	8.2	中間	ヤヤ強	上	21.6	北陸南部山沿・中山間地帯	食味極良，いもち病中，収量安定。
	オオセト	奈系212×コチカゼ（中国農試）	8.24	中間	強	上	23.3	近畿以西平担～中山間地帯	大粒で醸造適性（かけ米）あり，いもち病中，直播・晩植適性大。
	シンレイ	トヨタマ×黄金錦（宮崎県農試）	8.29	穂数	極強	上	22.5	西九州平担・山沿肥沃地帯	いもち病やや強，わい化病極強，白葉枯病やや弱，多収。
	ニシホマレ	トヨタマ×中国45号（宮崎県農試）	8.30	偏穂重	強	上	23.4	九州・四国平担地帯	いもち病，わい化病やや強，白葉枯病やや弱，良質多収。

資料：「水田部門総括検討会議成績書」より作成。

2.2 稲の生育と環境

2.2.1 稲の生育とその特徴

稲の生育史は生理的に分けると栄養生長期と生殖生長期に大別される。栄養生長期は稲が分けつしからだづくりを行っている時期であり，分けつ期までがこれに入る。生殖生長期は子実（種）をつくっている時期を指し，伸長期，結実期がこれに入る。稲の生育過程を図－２・１に示す。[2)]



図－２・１　水稲の生育過程[2)]

1）分げつ期[2)]

苗代で育苗された苗が本田に移植され，数日で活着し，葉数を増しながら分げつが増えつづける。田植後30日～40日すると分げつは止まり，その後は弱小分げつは枯死し始めて，分げつ数は次第に減少する。分げつ数が最大になった時期を最高分げつ期といい，最後の穂数と同数の分げつ数の出た時期を有効分げつ終止期（または限界期）という。分げつ期は有効分げつ終止期までの有効分げつ期とそれ以後の無効分げつ期に２分される。有効分げつ終止期は一般に最高分げつ期の12～15日前になるが正確な月日は出穂後に穂数が確定してからでないとわからない。

なお最高分げつ数の何割が穂になったかを有効茎歩合という。有効茎歩合は品種，土壌や栽培条件で異るが一般に70～80%が多い。

2）伸　長　期[2)]

分げつ期が終ると伸長期に入るが，伸長期は幼穂形成期と穂ばらみ期の二つの時期に分れる。

i) 幼穂形成期

出穂の35～30日前になると節間の伸長が始まり，つづいて穂の始原組織が活動して穂の分化が始まる。この時期を穂首分化期という。

穂の分化は苞始原体に始まり，枝梗始原体，えい花始原体と分化が進み，えい花始原体の分化期になると幼穂の長さも2㎜程度となり，ようやく肉眼で認められるようになる。この時期は品種や田植えの時期で多少違うが，普通出穂前25日頃に相当し，一般に幼穂形成期というのはこの時期を指している。最高分げつ期と幼穂形成期との関係は地域によって異なり，北海道では最高分げつ期の前に幼穂形成期がくる（約1週間），東北では大体かさなり，それより南になると最高分げつ期の1～2週間後に幼穂形成期となる。

ii) 穂ばらみ期

出穂前2週間頃となると幼穂は3㎝程度まで生長するので稈の基部が扁平状から円味を帯びた状態となる。この頃から穂の伸長は著しく速くなり，出穂の4日位前になると穂は完成された長さになる。この間穂は止葉の葉鞘に包まれて生長し，次第にふくらんでくるので，この時期を穂ばらみ期という。一方，稈もこの時期に伸長し，開花期近くなると上位の4～5節間が伸長し草丈は高くなる。

この幼穂の伸長の最も盛んな穂ばらみ期は花粉母細胞と胚のう母細胞の減数分裂が行われる。減数分裂は出穂前14～15日から始まり，10日頃を盛期とし出穂4～5日前には終る。この時期の環境と栄養の良否によって退化もみ数の多少，不受精もみの多少，およびもみ数の大小が影響される。退化もみ数の多少は一穂もみ数の大小に，不受精もみ数の多少は稔実歩合の良否に，もみ数の大小は玄米の大きさにそれぞれ直接に関係する。したがってこの時期に収量の可能限界のわくが決定する。

3) 結　実　期[2)]

出穂後成熟期まで粒重が決定される時期である。出穂すると当日または翌日から開花し始め，開花すると2～3時間後に受精が終る。一穂の全花が咲き終るのに3～5日を要する。受精後胚は次第に発達するが，これとともに胚乳も発達する。長さの増加が最も早く，ついで巾，厚さの順に増加し，15日目頃になると見かけは完成した玄米とほとんど同じ大きさまで発育するが，デンプンなど貯蔵養分は35日めぐらいまでふえつづける。

もみはまだ未熟のうちに押しつぶすと乳状のデンプンが流れるので乳熟期とよぶが，開花後10日目頃から胚乳は糊状となるのでこの時期を糊熟期という。さらにデンプンの蓄積が進むにつれてもみは重くなり穂は次第に片側にたれ下り，もみがらは緑色から黄金色に変ってくる。この頃を黄熟期という。開花後40日を過ぎると胚乳は充実を終え，水分が減ってかたくなるとともに透明になり，完熟期を迎える。この頃が収穫の適期にあたる。

2.2.2 生育環境

(1) 光

農業のもっとも特徴的なことは，緑色植物に特有な炭酸同化（光合成）作用を利用して水と炭酸ガスとから炭水化物を合成し，さらにいろいろな有機物を作ることにある。この反応は次式で表わされ，太陽エネルギーを用いて行われる。[3]

$$CO_2 + 2H_2O \xrightarrow{h\nu} (CH_2O) + O_2 + H_2O \quad \text{————} \quad (2 \cdot 1)$$

また，光は植物の生育制御に働く場合があり，昼夜の長さによって花芽分化が促進されたり，抑制されたりする。この反応は光周期性といい，基本的な型として特定の日長より短い日長で花芽分化を始める短日性，この逆の長日性とがある。さらに2つの基本型の他にある特定範囲の日長のみで花芽分化を起す定日性植物があり，また日長の影響を受けない中性植物もある。[2] 稲は短日性植物である。

(2) 空　　気

生物一般がそうであるように，稲においても呼吸なしでは生育できない。植物が生育し体を維持するのに必要なエネルギーは光合成によって得られた炭水化物を空気中に含まれる酸素により酸化し，その際に生じるエネルギーを用いる。その反応は（2・1）式の逆反応で表わされる。

呼吸に必要な酸素は，空気中に20%含まれているので不足しないのが一般的であるが，湛水状態で育つ稲の根においては酸素不足に陥ることがしばしばある。このため稲の栽培では根が酸素不足にならないように種々の方法がとられている。

空気には約0.03%の炭酸ガスを含んでいる。この炭酸ガスは光合成での炭水化物製造の原料の1つである。

(3) 水

新鮮な植物は70～95%の水分を含み，植物体の最も重要な構成要素である。水稲の活動期間中の水分含有量は葉身で66～83%，葉鞘68～91%，稈75～85%とされている。[2] また水は光合成における炭水化物の原料の1つであり，植物が空気中に放出する酸素はこの炭酸同化の際の水に由来する。

(4) 温　　度

温度は稲の生理代謝活性を律則するうえで大きな影響をもっている。稲では13℃以上の気温で田植が行なわれ，登熟気温は23℃前後とされている。また，低温が続くと生育は遅延し，冷害等をもたらす。この温度は太陽エネルギーに由来する。

(5) 養　　分

植物体の元素組成の概略値を表－2・3に示すが，[2] C，H，Oが全体の96%に達する。そのうちCは空気中の炭酸ガスから，Oと Hの大部分は水から供給されている。各種無機物と窒素は植物根によって吸収される。植物の生長に必要な元素を必須元素と呼ぶが，現在まで

16元素が確認されており，H，C，O，N，K，Ca，Mg，P，S の９種が多量養分元素，Cl，B，Fe，Mn，Zn，Cu，Moの７種が微量養分元素と呼ばれている。

表－２・３　植物の元素組成概略値[2)]

	元　素	原子量	乾物の元素組成（概略値）		
			%またはppm	μmol/g	Moを１としたときの原子比
多量養分元素	H	1.01	6 %	60,000	60,000,000
	C	12.01	45	40,000	40,000,000
	O	16.00	45	30,000	30,000,000
	N	14.01	1.5	1,000	1,000,000
	K	39.10	1.0	250	250,000
	Ca	40.08	0.5	125	125,000
	Mg	24.32	0.2	80	80,000
	P	30.98	0.2	60	60,000
	S	32.06	0.1	30	30,000
微量養分元素	Cl	35.45	100ppm	3.0	3,000
	B	10.81	20	2.0	2,000
	Fe	55.85	100	2.0	2,000
	Mn	54.94	50	1.0	1,000
	Zn	65.37	20	0.30	300
	Cu	63.55	6	0.10	100
	Mo	95.94	0.1	0.001	1

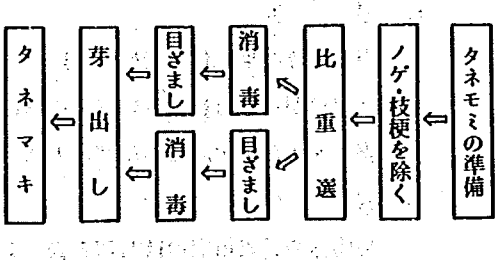
Epstein(1965)

2.3　稲の栽培法

稲の栽培では，大別して畑で行う方法と水田で行う方法とがあるが，水田栽培ではさらに直接種を播いて育てていく直播法と，一旦，苗代で苗を育苗してから本田に移植して栽培する苗代法の２つに分けられる。栽培法の違いにより栽培技術もかなり異なるが，ここでは最も一般的に行われている苗代法についてその概要を述べる。

(1)　播種・育苗[3)]

稲の種籾の発芽の最適温度は30～34℃であるが，約10℃以上であれば適当な水分と酸素があれば発芽する。発芽までの一般的な工程を図－２・２に示す。[3)] 通常目ざましは一定時間水に浸して行うが，この時間は積算水温（日平均水温×



図－２・２　タネモミの芽出しのすすめ方[3)]

浸水日数）で約100℃程度必要とされている。[3] 育苗には3月下旬～4月上旬頃に苗代を行って発芽した種籾をまいて行う。苗代としては次のようなものがある。

① ビニール畑苗代

畑状態で栽培しビニールで覆って保温する方法。

② 保温折衷苗代

水を張った苗床に種まき，覆土後油紙かポリで覆い，苗が成長後油紙を取り除き，後は水を張って育苗する方法。

③ ビニール折衷苗代

床を保温折衷苗代と同じにつくり，ビニールトンネルで覆う方法。

④ 簡易折衷苗代

床づくりから覆うまでは保温折衷苗代と同じであるが，後半は水を落して苗を育てる方法。

⑤ 乾田苗代

種まき時はかん水状態で行い，後半徐々に水を落し乾田状態にして行く方法。

⑥ 水苗代

耕起した田に水を入れて代かきし，種をまいて水によって保護してつくる方法。

苗代に対する播種量は品種および田植の時期によって異なる。早生種は出葉数が少なく分けつ期間が短いため，畑苗代で3.3㎡（坪）当り0.7ℓ，折衷苗代で0.6ℓ程度が目安となる。晩生種は出葉数が多く分けつ期間が長くとれることから苗代期間を長くとり大苗に育てるため，畑苗代で0.5ℓ，折衷苗代で0.4ℓが目安となる。本田10aに対して必要な苗代面積は，3.3㎡当り72株2～3本植えるとすると畑苗代0.7ℓまきで16.5㎡，0.5ℓまきで26㎡となり，折衷苗代0.6ℓまきで23㎡，0.4ℓまきで33㎡必要である。苗は手植では5～7葉期の成苗を本田に移植するが，最近普及してきている機械植では，特殊な育苗装置で密植して育てた3葉期程度の稚苗を用いる。

(2) 耕起，代かき

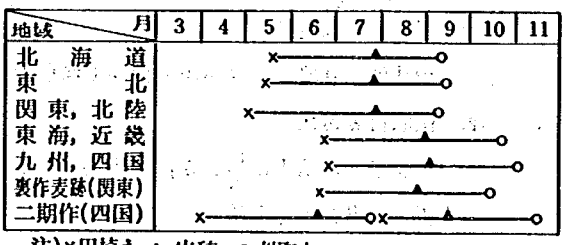
田植に先だって本田を耕起し，肥料を施し，代かきを行う。耕起の際，地力の補充，生育促進のため堆肥，緑肥，生わら，土壌改良剤，化学肥料を施用するが，その量は地域，土質，品種等により異なっている。耕起は有機物を土中にすきこみ分解を促進させること，および土壌中の空気の通りをよくする役割がある。

代かきは作土を平らにして水の深さ，水はけなどにムラがないようにして稲の生育をそろえるために行う。さらに代かきは雑草の発生を押え，漏水を抑える効果もある。

(3) 田植[3]

田植時期は九州，四国の4月中旬から，東北，北海道の5月下旬が一般的なものであるが，二期作の場合や裏作がある場合，あるいは台風等の自然災害をさける場合には田植時期が多少異なってくる。代表的な地域の田植時期および栽培期間の目安を図－2・3に示す。[3] 面積当り

の株数は気象条件，地力，施肥量，田植時期，品種などによって異なってくる。一般に寒地では密植，暖地では疎植がよく，北海道，東北で3.3㎡（坪）当り70～90株程度，暖地で60～70株程度がよいとされていたが，近年の追肥重点の稲作の普及に伴い暖地でも密植に進む傾向にあり，80～90株の密植が定着してきている。品種としては短稈穂数型では密植がよく，長稈穂重型ではやや疎植が適している。一方，田植労力の不足から超疎植の稲作も注目されてきており，各地でよい実績があがっていている。



注)×田植え ▲出穂 ○刈取り

図－2・3　田植時期と収穫期の目安 3)

一株本数は一般に3～5本程度が採用されている。早生種や穂重型品種は分けつ数が少ないので本数を多くする必要があり，晩生種や穂数型品種は分けつ数が多くとれるため本数は少なくしてよいとされている。

2.4 土　　壌

2.4.1 土壌の種類

土壌の分類方法は，その目的に応じ，種類と内容において多様であるが，そのいくつか下に例示する。

(イ)　利用別分類……水田土壌，畑土壌，森林土壌等。

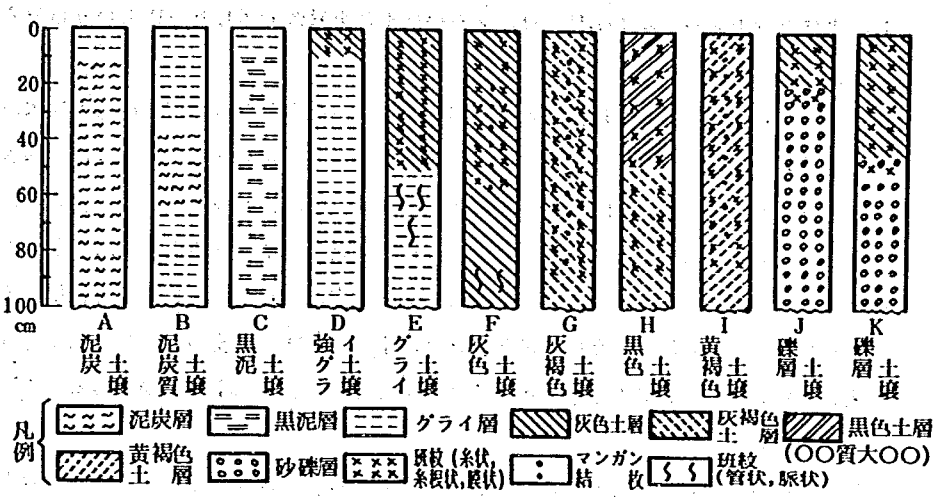
(ロ)　粒子別分類……礫土，砂土，壌土，埴土等。

(ハ)　pH の分類……酸性土壌，中性土壌，アルカリ土壌等。

(ニ)　成因別分類……残積土壌，水積土壌，風積土壌等。

(ホ)　母材別分類……沖積層土壌，洪積層土壌，安山岩土壌等。

これらの分類をより系統的に整理するために，「土壌統」というものを定義して，母材，堆積様式から見て，生成論的にほぼ同一の断面形態をもつ土壌を同一の統とする方式で，昭和34年以後，わが国の土壌分類が行なわれている。現在，わが国の水田土壌は約120の土壌統が確認されており，約70%の土壌が分類を終えている。これらの土壌統を統合してすると図－2・4に示したような[4]11種の土壌群に分類することができる。わが国で多いのは，灰褐色土壌，強グライ土壌，グライ土壌の順で，この3群で約50%を占めている。



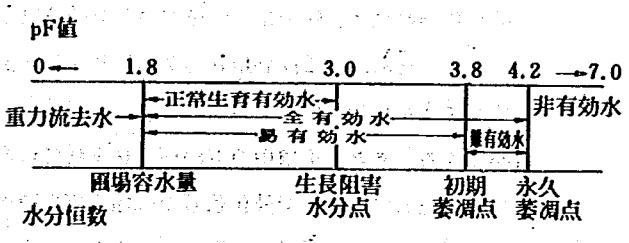
図－2・4　水田土壌類型模式図[4]

2.4.2　土壌の役割

一般に農業は土の上でいとなまれる。稲に限らず植物全ては先に述べた生育環境の５つの条件を全て満していれば土がなくても十分育てることが可能であるが，農業が土の上でいとなまれているのには理由がある。土壌に移植された稲は根を地中深く伸ばし，養水分を吸収するだけでなく，稲自体を支える。そのよりどころが土壌である。水耕法等で多収できるとしても広大な面積に植られた稲体を支える装置を必要とすることは経済的には成立しずらいし，また養水分を流出させない装置とか，さらに養分吸収に伴なって変化する培養液の pH の調整，養分分布の均一化とかの新たな問題が生ずる。土壌は水分や養分の貯蔵能力，pH の緩衝能力も高く，現段階では土の上でいとなむのが合理的といえよう。

(1)　水の貯蔵[3]

土壌の水は，植物に生理的に必要な水を供給する役割と，土壌中の養分を溶かす溶媒としての役割を持っている。土壌中の水は毛管力，和水，化合などの作用で吸収保持されているが，植物が利用できる水は毛管力によって吸収されている毛管水である。毛管水は土壌中の毛管孔



図－2・5　有効水の区分[3]

隙（capillary pore)に表面張力によって保持されており，その力はふつう吸引圧で表示され，水柱センチメートル（cmH_2O），あるいはそれを対数で示したpFという単位を用いている。

土壌中に含まれている水は，種々の吸引圧のちがった水があるので，作物の吸水の効率は異ってくる。作物の吸水のしやすさから土壌の有効水は，図－2・5のように分類される。

図－2・5において，pF 0～1.8の領域の水は，畑地のふつうの状態においては約1日ぐらいで重力によって流去してしまうので，作物に吸水利用される量はあまり多くない。この領域の水が流去したあとの孔隙は，空気によって占められ作物根に空気を供給する重要な役割を果す。土壌の通気が良好に保たれれば，水は多いほど作物の生産にとって好都合になるものであるから，有効水分がなるべく多く保持できるようにする必要がある。

(2) 養分の貯蔵

稲は無肥料で栽培してもある程度の収量が得られる。これは土壌中に養分がかなり含まれており，これが作物に供給されるからである。土の中の養分のうち，稲の根によって吸収可能なものはほんの一部にすぎない。これは可給態と呼ばれるものであり，土壌にゆるやかに保持されている。なお，一般に水田土壌は畑土壌に較べて天然養分の供給量が高いとされている。これは水田土壌が湛水状態にあるため易分解性有機物が多く集積しており，微生物活動により分解，無機化し可給態となる養分量が多いからであり，排水不良の土壌ほどその量が多くなる傾向がある。

2.4.3 水田土壌の還元とその功罪[2)]

水田土壌は，畑土壌と異なり，少なくとも灌漑期間中は水面下にあり，大気とは田面水によって隔てられている。したがって湛水下の水田では畑地に較べて土壌中への酸素供給が制限され，微生物群の呼吸による酸素の消費に伴い土壌はしだいに還元状態になってゆく。還元状態における有機物の嫌気的分解はさほど強いものではなく，有機物の消耗は少ない。そのため水田土壌には易分解性の有機物が畑地土壌よりも多く集積しており，乾土効果や地温上昇によって分解が進み生成される無機態窒素の量は畑地土壌の場合よりも著しく多く，天然供給の窒素として稲によく吸収，利用される。

酸化状態の畑地条件では，土壌中のリン酸は鉄やアルミニウムと結合して不溶性の化合物となっているため作物には利用されない。しかしながら，湛水下の還元状態では不溶性のリン酸鉄（3価）が可溶性のリン酸鉄（2価）に還元されるため，リン酸の溶解度が増し有効化する量がふえる。また，土壌中の有機物に含まれているリン酸の一部も易分解性有機物の分解とともに有効化してくるので酸化状態の畑地土壌に較べて天然供給のリン酸も著しく多い。

以上が水田土壌の還元化の利点であるが，作土から活性の鉄が溶脱している老朽化水田においては，盛夏時の還元層のなかで硫酸根〔SO_4^{2-}〕が還元されて遊離の硫化水素〔H_2S〕が発生し，そのため水稲の養分吸収は阻害され，さらには根ぐされをもひき起し，水稲は秋落ち病状

を呈するようになる。また，養分吸収を阻害する酢酸，酪酸などの有機酸も湛水化の還元状態下で生成し，銅およびヒ素についても還元状態で可溶性となり，水稲に有害となるなどの欠点を有している。

2.4.4　多収水田土壌の特徴 [2)]

多収水田土壌が具備すべき土壌条件としては 1) 作土の適当な厚さ（養分吸収容量），2) 豊富な養分量，3) 下層土を含めた土壌の理化学性の良好な状態であるとされている。

作土の厚さは耕起の深さでもあり，それは作土の量すなわち作土の養分の吸収保持力と供給力を示すと考えられる。作土の厚さは多収田では大部分が15～20cm内外であり，平均18cm程度で，普通水田の10～14cm程度に較べて厚い。耕深が深く，作土が厚い場合には，作土の養分吸収力は増大するが，ある限度をこえて深耕しても逆効果となる場合もある。作土が過度に厚い場合，養分は深くまで分布し，根も深く入るが，反面肥効が遅れやすく，しかも長続きするため，倒伏が助長され，登熟不良となる。したがって，作土の養分吸収，供給能の大小によって耕深を変える必要がある。

多収水田では一般に多量のたいきゅう肥が施用されており，土壌の腐植含量が高い。施用有機物や腐植は乾土効果や温度上昇効果により徐々に分解され，無機化された養分は持続的に供給されるため，水稲によく吸収利用される。多量の有機物の施用によって土壌の肥沃度は増加する。

土壌の理化学特性は水の浸透速度に大きく影響する。浸透速度の過少は土壌の強還元化に伴って生成される還元性有害物質の除去が行われず，土壌内に集積し根ぐされを誘発する。また，灌漑水の供給が少ないため，水中に溶存する酸素やカリなどの養分の供給も少ない。浸透量の過大は農業用水の消費や水に溶解する養分の溶脱が大きくなるとともに，寒冷地では水温および地温の上昇が少なく，生育不良をもたらす。水稲の生育に好適な浸透速度は一般に約30mm／日程度がよいとされている。

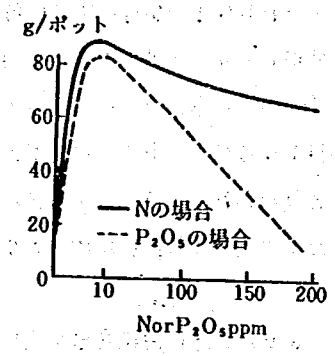
2.5　施　　肥

水稲が生育するには先に述べたように種々の栄養元素が必要であるが土壌中には必ずしも充分に存在しているとは限らない。このため作物の生育を促進させる目的で施与する資材が肥料であり，肥料取締法では「植物の栄養を供すること又は植物の栽培に資するため土壌に化学的変化をもたらすことを目的として土地にほどこされるもの及び植物の栄養に供することを目的として植物にほどこされる物」と定義されている。

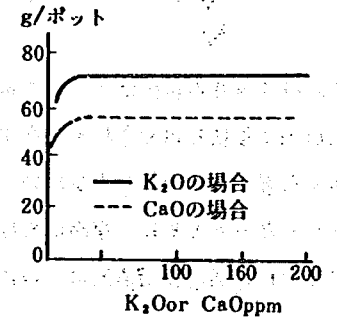
2.5.1　水稲の栄養的特性と養分濃度 [5)]

水稲には畑作物とは異なった養分吸収特性があり，稲の生育時期により各部位に含まれる各栄養要素の量は異なるが，各時期の適養分濃度と較べて過不足が生じた場合，期待した収量は得られない。図－2・6に施肥量と収量の関係を示すが，窒素，リン酸については最高適量が

存在し，ある量までは施肥量増大に伴って収量も増加するが，その限度をこえると収量はむしろ減少する。これに対し，カリや石灰などはある量までは施肥量の増加に伴い収量も増加し，それ以上の量では収量に増減の見られないものがあり，この二種に大別される。この二群の要素含有率と収量の関係は図－２・７のようになる。表－２・４および２・５に各種養分の成分含量と栄養状態の良否を示す。

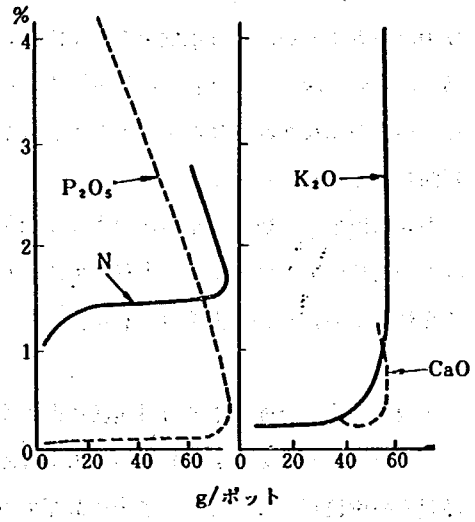


(a)窒素，流酸の濃度と吸収量



(b)加里，石灰の濃度と吸収量

図－２・６　施肥量と収量[5]



図－２・７　収量－含量率曲線（石塚）[5]

表－2・4　水稲中の養素含有量と過不足

栄養素名	生育期	含有率，栄養状態，および収量	文献
窒素	成熟期	葉身で0.5％以下欠乏，1.3％以上過剰	前田
	収穫期	穀実収量はわら％　1.6％で最高（但し，ポット試験水耕）	春日井
燐酸	幼穂形成期	葉身で0.35％以下欠乏	前田
	成熟期	葉身で0.14％以下欠乏，0.2％以上過剰	前田
	収穫期	わら中0.1％以下では収量比90％以下	春日井
		わら中0.2％以上では収量比90％以上（但し，ポット試験水耕）	
加里	幼穂形成期	葉身で2.5％以下欠乏	前田
	成熟期	葉身で0.4％以下欠乏	前田
	収穫期	わら中1.0％以下では収量激減	春日井
		わら中1.5％以下欠乏	柳沢
カルシウム	成熟期	葉身で0.8％位含有しているが欠乏や過剰の限界は明らかでない	前田
	収穫期	わら中0.4％～0.6％に分布する（16県農試水稲の分析結果）	柳沢
マグネシウム	幼穂形成期	葉身で0.25％以下欠乏	前田
	成熟期	葉身で0.1％以下欠乏	前田
	収穫期	わら中0.27～0.10％に分布する（16県農試水稲の分析結果）	柳沢
鉄	成熟期	葉身で300～1,000 ppm位が通常	前田
	収穫期	わら中0.03～0.10％（16県農試水稲の分析結果）	柳沢
硼素	成熟期	茎葉中に2～7 ppm位が通常	前田
	収穫期	わら中2～7 ppm（16県農試水稲の分析結果）	柳沢
銅	成熟期	茎葉中に40～50 ppm位が通常	前田
	収穫期	わら中40～50 ppm（16県農試水稲の分析結果）	柳沢
亜鉛	成熟期	茎葉中に70～100 ppm位が通常	前田
	収穫期	わら中75～120 ppm（16県農試水稲の分析結果）	柳沢
モリブデン	成熟期	茎葉中に0.5～1.0 ppm位が通常	前田
	収穫期	わら中0.5～1.0 ppm（16県農試水稲の分析結果）	柳沢
塩素	収穫期	わら中0.3％以下に分布する（16県農耕水稲の分析結果）	柳沢
珪酸	幼穂形成期	葉身で5～8％位が通常の含有率である。	前田
	成熟期	葉身で9～12％位が通常の含有率である	
マンガン	成熟期	葉身で250～800 ppm位が通常	前田
	収穫期	わら中1,150～450 ppmにわたる（16県農試水稲の分析結果）	柳沢

注）　文献5))P33の表をまとめた。

表－２・５　茎葉中の成分含量と収量形成過程の栄養状態[5)]

（木内）

	茎数	一穂粒数	稔実歩合	千粒重	備考
窒素	分けつ期に窒素1.0％以下で激減	幼穂形成期に2.5％以上良好	出穂期に1.3％以上良好	出穂期1.3％以上良好	茎数増加は土壌よりの吸収速度が大きく関係する
燐酸	分けつ期に0.25％（Pとして）以上良好 0.25～0.10％でゆるやか 0.1％以下停止	幼穂形成期にPとして0.20％以上良好	－	－	
加里	分けつ期1.5％で分けつはゆるやかになり1.0％で停止	幼穂形成期2.0％以上がよく1.2％以下で著減	出穂期1.0～2.0以上で良好	出穂期加里含量の高いほどよい	
苦土	分けつ期Mg 0.07～0.51％で充分	幼穂形成期Mg 0.1％以上	出穂期Mg％は高いほどよく 0.56～0.04％では不足	出穂期Mgが高いほどよい	Mg％が著しく低下すると茎数は弱少茎の増加でふえることがある

（％は茎葉中）

2.5.2　肥料の種類・分類[2)]

肥料はその組成・形態・性質などいろいろの観点から分類できる。分類の方法の代表的なものを表－２・６，２・７，２・８に示す。表－２・６は自然科学的に分類したものであり，表－２・７は施肥法から見た分類であり，表－２・８は種類・分別から見た分類である。

表－２・６　肥料の分類(1)[2)]

1次分類	2次分類	名称	内容
形態的分類		粒状肥料	径1㎜以上に造粒されたもの
		粉状肥料	粉末のもの
		ペレット状肥料	圧搾もしくは細円筒状のものを細断したもの
		固形肥料	２種以上の肥料に泥炭を加えて成形した径3㎜以上のもの
		液状肥料	水溶液または懸濁液

1次分類	2次分類	名称	内容
生産手段からみた分類	入手経路による分類	自給肥料	自家労働により生産する肥料（手間肥ともいう）
		販売肥料	市販されている肥料（金肥ともいう）
	製造工程による分類	化学肥料	化学的手法により製造されたもの
		配合肥料	2種以上の肥料を機械的に混合したもの
		化成肥料	2種以上の肥料を原料として化学的方法により製造したもので肥料2成分以上含ませたもの
原料による分類	（給源からみた分類）	有機質肥料	給源が動植物質であるもの
		動物質肥料	給源が動物界にあるもの
		植物質肥料	給源が植物界にあるもの
		無機質肥料	給源が無機化合物であるもの
		鉱物質肥料	給源が鉱物界にあるもの
成因からみた分類		天然肥料	自給肥料と同じ
		人造肥料	化学肥料と同じ
成分による分類	主成分による分類	単肥	肥料三要素のうち1成分のみ含むもの（単味肥料の略）
		複合肥料	肥料三要素のうち2成分以上含有するもの（配合肥料＋化成肥料）
		窒素質肥料	三要素のうち窒素を特に多量に含有するもの
		リン酸質肥料	三要素のうちリン酸を特に多量に含有するもの
		加里質肥料	三要素のうち加里を特に多量に含有するもの
		特殊成分肥料	石灰・苦土・ケイ酸のうち1成分を主成分とするもの
		微量要素肥料	マンガン・ホウ素・鉄・銅・亜鉛・モリブデンの1または2成分以上を含有するもの
	副成分による分類	無硫酸根肥料	硫酸塩をほとんど含有しないもの
		硫酸根肥料	上記の肥料に対応する語で，主成分が硫酸塩か副成分として硫酸根を多く含むもの
	化学的反応からみた分類	酸性肥料	水溶液が酸性反応を呈するもの
		塩基性肥料	水溶液が塩基性反応を呈するもの
		中性肥料	水溶液が中性であるもの
	生理的反応からみた分類	生理的酸性肥料	植物が吸収したのち培地に酸性反応を呈するものを残すもの
		生理的塩基性肥料	植物が吸収したのち培地に塩基性反応を呈するものを残すもの
		生理的中性肥料	植物が吸収したのち培地に酸性・塩基性を呈するものを残さないもの
	成分含量の多少による分類	高度肥料	高成分のもの（濃厚肥料ともいう）
		高度複合肥料	通常は高度化成，3成分合計が30%以上
		低度肥料	低成分のもの
		低度複合肥料	通常低度化成または普通化成という，配合肥料も大部分これにはいる。3成分合計が30%未満
	肥効の遅速からみた分類	速効性肥料	肥効がすみやかに現われるもの
		緩効性肥料	肥効がゆるやかに現われるもの
		遅効性肥料	肥効がある時期がすぎてから現われるもの

(注) このほかに直接肥料・間接肥料・刺激肥料などの語もあったが，ほとんど用いられない。

表－2・7　肥料の分類(2)[2)]

1次分類	2次分類	名　　称	内　　容
施肥法による分類	施肥時期からみた分類	基　肥（もとごえ，きひ）	（元肥ともいう）播種・移植前・永年作物の発芽前に施すもの
		追　肥（おいごえ，ついひ）	（掛肥ともいう）生育途中に施すもの
	施肥の目的からみた分類	待　肥（まちごえ）	播種または移植前にあらかじめ施しておくもの
		芽由肥（めだしごえ）	催芽を急ぐとき発芽の直前に施すもの
		茎　肥（くきごえ）	（分げつ肥・中間追肥ともいう）生育良化するため主として窒素肥料を用いる
		根付肥（ねつけごえ）	苗移植のとき，根につける肥料をいう場合と苗活着を促す目的で移植直後に少量施す肥料をいう場合とがある
		穂　肥（ほごえ，ほひ）	出穂前の一定期日に施して登熟良化させるもの
		実　肥（みごえ）	（晩期追肥ともいう）果樹では果実の肥大期に肥効がでる追肥をいう。水稲では出穂以後の追肥をいう
		止　肥（とめごえ）	最後の追肥
		礼　肥（れいごえ）	果実の収穫後まもなく施す肥料
	施肥の季節からみた分類	春　肥（はるごえ）	春期に施すもの
		夏　肥（なつごえ）	夏期に施すもの
		秋　肥（あきごえ）	秋期に施すもの
		冬　肥（ふゆごえ）	冬期に施すもの
		寒　肥（かんごえ）	永年作物で冬期に施すもの
	施肥位置からみた分類	つぼごえ	種子または幼苗のすぐ下に施すもの
		はだごえ	種子と混合して施すもの
		ふたごえ	種子または幼苗の根の上方に施すもの
		さしごえ	水稲において7月下旬に施す魚肥または固形肥料

(注)　春肥・秋肥は読み方により内容がまったく異なる。
春肥（はるひ）は流通関係用語で12月～6月の上半期に出荷する肥料
秋肥（あきひ）は流通関係用語で7月～11月の下半期

表－2・8　肥料の分類(3)[2)]

（肥料取締法における分類）

指　定	種　別	種　類	内　容
普通肥料	窒素質肥料	硫安，塩安，硝安，硝酸ソーダ，硝酸石灰，尿素，石灰，窒素など16種類	窒素を特に多く含有するもの
	リン酸質肥料	過リン酸石灰，重過リン酸石灰，熔成リン肥，焼成リン肥など9種類	リン酸を特に多く含有するもの
	加里質肥料	硫酸加里，塩化加里など9種類	加里を特に多く含有するもの
	有機質肥料	魚かす粉末，骨粉，植物油かす粉末など39種類	動植物質に由来する肥料
	複合肥料	第一種（化成肥料・配合肥料） 第二種（固形肥料など） 第三種（吸着肥料） その他　発酵廃液乾燥肥料，液体肥料	肥料三要素のうち2種以上を含有するもの
	石灰質肥料	炭酸カルシウムなど5種類	
	ケイ酸質肥料	鉱さい類	ケイ酸石灰
	苦土肥料	硫酸苦土など6種類	
	マンガン質肥料	硫酸マンガンなど3種類	
	ホウ素質肥料	ホウ酸塩肥料など2種類	
	微量要素複合肥料	微量要素混合肥料など4種類	マンガン・ホウ素が主成分
	農薬その他の物が混入される肥料	農薬や鉄・銅・亜鉛・モリブデンなどを含む葉面散布液肥9種類	
特殊肥料		肉眼での鑑別が容易なもの，粉末にしない魚肥骨，粗砕石灰石など11種類 含有成分量低く，また一定でないもの 米ぬか，草木灰，たいきゅう肥など45種類 耕土培養対策資材	

(注)　昭和48年10月改正版による。

2.5.3　施肥の個別技術

水稲栽培における施肥の適量は気候，土壌の肥沃度，移植期の早晩，栽植密度，品種などによって異なっているが，平均的な施肥量は下記の程度とされている[6)]。

窒　素（N）	9 Kg／10 a・作
リン酸（P_2O_5）	7 Kg／10 a・作
カ　リ（K_2O）	8 Kg／10 a・作

施肥を施用時期別に大別すると，耕起の時施用する基肥と，栽培中に施用する追肥に分けられる。各肥料のうち，窒素とカリは基肥施用のほかに一部を追肥に回すことが多く，リン酸肥料とケイ酸肥料，有機質肥料，たいきゅう肥などは全量を基肥として施用するのが一般的である。表－2・9に各県の地帯別施肥基準の1例を[2)]，表－2・10に茨城県のコシヒカリの栽培

表－2・9　各県の地帯別水稲施肥基準の一例（1967）[2]

県名	地帯区区分		全施用量（成分Kg／10a） 窒素	リン酸	カリ	窒素の施肥配分量（成分Kg／10a） 元肥	中間追肥	穂肥	減数分裂期追肥	実肥	備考
秋田	米代川流域	湿田	7.5	8.5	7.5	7.5	—	—	—	—	
		乾田	11.0	11.0	9.5	8.0	—	3.0	—	—	れき質土壌
		火山灰	11.0	14.0	11.0	8.5	—	2.5	—	—	
	沿海	湿田	6.3	6.5～8.0	6.3	6.3	—	—	—	—	
		乾田	8.0	7.0	7.0	6.6	—	1.4	—	—	
		火山灰	7.7	10.0	8.7	6.5	—	1.2	—	—	
	由利	湿田	6.5	7.5	6.5	6.5	—	—	—	—	
		乾田	8.5	8.0～10.0	8.0	7.0	—	1.5	—	—	
	雄物川流域	湿田	6.0～7.5	7.5	6.0～7.5	6.0～7.5	—	—	—	—	
		乾田	9.5	10.0	9.8	7.9	—	1.6	—	—	
		火山灰	9.2	13.0	10.0	8.0	—	1.2	—	—	
富山	漏水田		10.0～12.0	5.0～6.0	8.0～6.0	6.0～7.5	1.0～1.5	1.5	1.5	—	
	乾田		9.0～11.0	4.5～5.5	6.0～7.5	6.0～8.0	—	1.5	1.5	—	
	半湿田		8.5～10.0	4.5～5.0	6.0～7.0	5.5～7.0	—	1.5	1.5	—	
	湿田		7.0～8.5	3.5～4.0	6.0～7.5	5.5～7.0	—	1.5	—	—	
佐賀	平担	強粘土～粘土型	8.5	5.0	7.5	3.5	2.5	2.5	—	—	平担地域一般
		強粘土型（グライ土壌）	7.5	5.0	7.0	3.0	2.2	2.2	—	—	排水不良田
	山麓	粘土～壌土型	7.5	5.0	7.0	3.0	2.2.	2.2	—	—	生産力高い水田
		壌土～砂土型	7.0	4.5	7.0	2.8	2.1	2.1(1.4)	—	(0.7)	一般地帯
		壌土～砂土型	6.0	4.0	6.0	2.4	1.8	1.8(1.2)	—	(0.6)	漏水田，浅耕土，湿田
	山間	壌土～砂土型	6.5	5.0	6.5	3.9	1.3	1.3	—	—	山間地域一般
		壌土～砂土型	5.5	4.5	5.5	3.3	1.1	1.1	—	—	標高350m以上の地帯

表－2・10　茨城県におけるコシヒカリの施肥基準[7)]

(1)　基準収量：500 Kg

(2)　施肥基準量

土壌型 ＼ 苗の種類・施肥		成苗 チッソ 元肥	成苗 チッソ 追1	成苗 チッソ 追2	成苗 リンサン 元肥	成苗 カリ 元肥	成苗 カリ 追1	成苗 カリ 追2	稚苗 チッソ 元肥	稚苗 チッソ 追1	稚苗 チッソ 追2	稚苗 リンサン 元肥	稚苗 カリ 元肥	稚苗 カリ 追1	稚苗 カリ 追2
泥炭・黒泥土壌	粘質	4		3	10	8		3	4		3	10	8		3
	壌質	5		3	10	8		3	4		3	10	8		3
強グライ・グライ土壌	粘質	5		3	8	8		3	4		3	8	8		3
	壌質	5		3	8	8		3	4		3	8	8		3
	砂質	6	3	3	8	9	3	(3)	5	3	3	8	9	3	(3)
灰色・灰褐色土壌	粘質	5		3	8	8		3	4		3	8	8		3
	壌質	6		3	8	8		3	5		3	8	8		3
	砂質	8	3	3	8	9	3	3	6	3	3	8	9	3	3
火山灰土壌（陸田）	壌質	7	(3)	3	12	8	3	(3)	5	(3)	3	12	8	3	(3)
山間冷水田	砂壌質	6		3	12	8		3	5		3	12	8		3

付：施肥の注意事項および追肥時期

1　注意事項

1）元肥を多くすると倒伏や過繁茂を招くので，基準量以上の施肥は注意すること。

2）一般水田は元肥を全層施肥とするが，砂質漏水田では表面施用でよい。

3）元肥施用後，田面水を落とすばあいは，少なくとも２～３日経過してから落水する。

4）汚水流入田は，かんがい水中のチッソ流入量や集積量を考慮して施肥すること。かんがい水の汚濁対策については，茨城県における作物別施肥基準の67頁参照のこと。

5）やさい跡のばあいは，元肥チッソを30%程度減量し，追肥は生育状況によって加減する。

2　追肥時期

1）追１は幼穂形成期（出穂23日前）とする。

2）追２は減数分裂期（出穂15～18日前）～出穂期とする。

3）（）は生育状況をみて追肥する。

における施用基準[6]を示す。

(1) 施肥の時期・目的から見た分類および施用法[2]

1) 基　肥

元肥とも書き，移植や播種にさきだって施用する肥料である。施用時期と方法は水田を耕起する前にたいきゅう肥などの粗大有機物とともに化学肥料を散布し，それから耕起するのが一般的であるが，化学肥料は耕起後，しろかきのかん水の前日に施用する植代施肥（うえしろせひ）の方法をとることもある。これは肥料成分を土壌の表層にとどめて，稲に早く吸収させることを期待して行なう場合であるが，農作業の手順の関係からもよく用いられる。また，この2つの方法を組合せて元肥を施用するくふうもみられる。

一般に，寒冷地から暖地へゆくにしたがい，元肥の施用割合は少なく，追肥割合が多くなるが，この理由は土壌の有機態窒素が有効化してくる時期，稲の生育型などの相違に基づいている。また，同じ県でも，漏水田や砂質水田など，肥料成分の保持力が弱い水田，あるいは土壌窒素の含量が少ない水田は追肥割合を多くしている。

元肥で施用された肥料窒素が稲に吸収利用される程度は土壌条件によって多少変化するが，普通の移植栽培では約30%であり，幼穂形成期までにほぼ吸収し終る事例が多い。

2) 分けつ肥・つなぎ肥

中間追肥とも言い，有効けつ子を多く確保する目的で，穂肥の施用時期までの途中に施用する肥料である。

寒冷地と暖地の稲作を比較すると，寒冷地の稲は移植から幼穂形成期までの生長量が少なく，最高分げつ期と幼穂形成期が重なる場合や，幼穂形成期がむしろ最高分げつ期の前になる地域もある。したがって，幼穂形成期に入る前の稲の窒素含量は暖地より高く，無効けつ子になる割合も少ない傾向にある。暖地の稲は幼穂形成期までの生長量が盛んなので，幼穂形成期に入る前の稲の窒素含量は低くなってしまう場合が多い。

このような寒地と暖地の稲の生育相の相違は，中間地帯での早生種と晩生種の生育の相違にもみられる。この暖地の稲を寒地なみに，元肥肥料の増施によってその窒素含量を高めれば，過繁茂や倒伏の原因になることが多い。そこで，稲の窒素含量が低下することによって枯死するけつ子をできるだけ少なく，しかも過繁茂を防ぐために中間で追肥するという技術であり，暖地の施用例が一般に多く，寒地では少ない。

しかし，暖地においても肥沃な水田や肥料成分の保持力が大きい粘質な水田では施用しない例も多く，逆に，近畿以北においても，東海，関東，北陸などの地域において，漏水田や砂質の秋落ち水田などで分げつ肥の施用を奨励している所が多い。

3) 穂　肥

穂の発育を良好にする目的で，出穂前25日頃の幼穂形成期に施用する肥料であるが，その狙いからみて減数分裂期追肥を含めて穂肥ともいう。出穂前25日頃の追肥は一穂に着生

するえい花数を増加するとともに，無効分げつの減少，止め葉の生長を良好にするなどの効があり，出穂期の稲の窒素含量を高めて稔実を良好にする。穂肥の利用率をみると，稲はすでにかなり生長しており，根の張り方も多くなっているので，それは元肥より高く，移植栽培で7～8割，直播栽培でも3～4割となっている。

少肥の場合には栄養生長期の生長量が少ないため分けつ子が少なく，生殖生長期に余分の窒素を必要としないため，穂肥の効果は少ない。また，多肥の場合も稲の窒素含有量は常に十分であるため，穂肥としての窒素を必要としない。寒冷地では暖地に較べて土壌中に含まれる有機態窒素が分解して無機化してくるのが遅いため稲に吸収される時期がおそく，幼穂形成期頃に土壌中に窒素が多量に出てくるところでは穂肥は施用しない。

施肥全量に占める穂肥窒素の割合は寒冷地で少なく，暖地で多くなる傾向がある。穂肥の肥料成分は寒冷地では窒素を主成分としており，カリの併用もみられる。関東以西の暖地では窒素とカリの併用が大部分で，その成分割合も窒素とカリを同量とする所が多い。

4) 実　肥

登熟を良好にする目的で，出穂以後に追肥する肥料を指すが，その肥料成分は窒素が主体となる。その狙いから止め葉期追肥も実肥に含まれる。高収稲は出穂以後に全吸収量の2～3割も吸収しているという発表もあり，出穂以後に必要な窒素を施肥によって補うために開発された技術であるが，実肥の効果が現われるには条件があり，実肥によって常に増収になるとは限らない。実肥は着生したもみ数に応じた光合成能力（出穂以後の光合成能力）が窒素不足のために伴なわない場合に効果を発揮すると考えられている。なお，実肥をとり入れている所は四国，九州などの暖地が多い。

5) 止め葉期追肥

実肥の一種で，主稈の止め葉葉舌が抽出する時期（出穂前約10日頃）に行う窒素の追肥である。この時期には穂に着生するえい花数はすでに決っているので，その目的は登熟歩合と千粒重の増加を狙って行われる。この時期の追肥は利用率が高く，出穂期の稲の窒素含有量が著しく増加し，多量の窒素を追肥しても安全で効果が高い。土壌の種類別の効果を見ると，後期生育型をとる土壌で効果は現われるが，秋まさり型の生育をする地帯や，生育後期に土壌窒素が多量に有効化してくるような土壌では効果を認めていない。

6) 減数分裂期追肥

減数分裂期は幼穂の発育過程のうちで，花粉の中にある精細胞と胚珠の中にある卵細胞が生まれる時期で穂ばらみ期の前期にあたる。この時期は出穂前約14日頃に相当し，この時に行う追肥を減数分裂期追肥という。

一穂のえい花数が決まる時期は穂首分化期から減数分裂期までであるが，減数分裂期は最も重要な時期で，栄養状態や気象条件などの影響を受けて発育の停止するえい花が出てくるのもこの時期である。また，この時期は止め葉の大きさがすでに決っているので，止

め葉を大きくしないで，えい花数を増加させる追肥である。

減数分裂期追肥は，暖地の肥料持ちの悪い砂質水田などで施用するよう奨励されているように，肥料の保持力の弱い水田での効果が一般に高い。また，倒伏のおそれがあるような場合には，穂肥を幼穂形成期に一度に施用しないで，この減数分裂期を含めた2回に分けることが多い。

(2) 施肥位置から見た施用法

水稲作の肥料施用は全面散布が一般的であるが，施肥位置（深さ）を変えることによって，その肥料を利用する根の種類が決まり，これによって稲の生育型や草型を変えることができるのと同時に，肥効の長さの調節もできる。

1) 全層施肥

基肥施用法の一つで，耕起前に肥料を水田の全面に散布し，耕起，砕土によって作土全体に混合する方法である。水田土壌では湛水，代かきによって土壌微生物の更新が生じ，微生物は活発な活動を行って土壌中の酸素を消費し，土壌は還元状態となる。しかし，作土の表層数㎜では空気中からの酸素の補給があるため酸化状態が保たれ，作土は数㎜の酸化層と大部分の還元層に分化する。

一般に窒素肥料は硫安などのアンモニア態窒素を主成分とするものが多い。アンモニア態窒素は土壌に吸着されやすく，還元状態では化学的には安定しており，還元層に混和されたアンモニア態窒素はそのままの形で保持されるため肥効が長続きし，利用率も高くなる。

2) 表層施肥

一般的な追肥の施用に見られるように，表層のみに肥料を散布する方法である。稲による吸収についてはうわ根によるものが主体となる。

水田土壌の表層は先に述べたように酸化状態にあり，アンモニア態窒素は微生物の活動，特に硝化の作用を受けて硝酸態窒素に変化しやすい。硝酸態窒素は土壌粒子に保持される力が弱いので流亡しやすく，また灌漑水の下降とともに還元層に入った場合，還元状態による脱窒作用を受けて窒素ガスになりやすいため，施肥窒素の損失が大きい。

3) 深層追肥

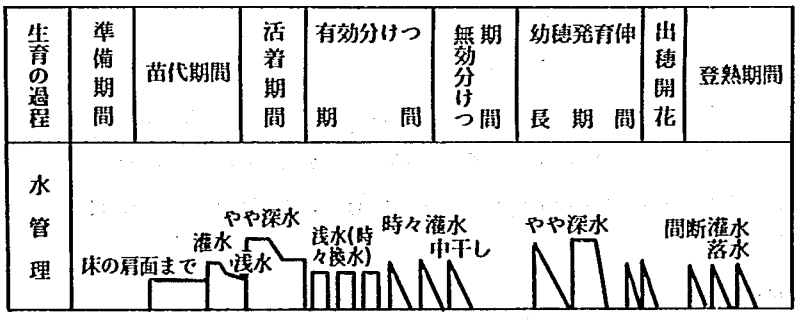
出穂前30～40日，作土の深さ12㎝内外の位置に追肥する方法である。この施肥法は窒素肥料の追肥方法の改良に重点がおかれており，窒素肥料の基肥と追肥の割合はそれぞれ1／3，2／3を標準としている。この方法では登熟期の窒素吸収量が多く，肥料の持続効果が高いとされており，過繁茂が抑制され，下位節間が短めになり，倒伏しにくくなると同時に，有効茎歩合が高く，穂は大きくなり，着粒数は増加し，登熟も良好で，安定多収をもたらす技術と考えられている。

2.6 水 管 理

水稲栽培において生育期間中に水を必要とする期間は約100日であり，多量の水が必要である。用水量は地下水位，土質（大孔げき量，土性など），気象条件（温度，湿度，日射量，風など），水稲の品種，生育量，移植時期などによって異なるが，平均的には10a当り1,500 m³前後（1作当り）とされている。灌漑水は蒸散（稲に吸収されたのち葉面から蒸発するもの），蒸発（水面または土面から直接蒸発するもの），および地下浸透または地表排水などによって消費される。それぞれの水量は次のようなものである[6]。

蒸 散 量	300 ～ 400 m³／10a・1作
蒸 発 量	150 ～ 200 m³／10a・1作
地下浸透（および地表排水）	700 ～ 900 m³／10a・1作
合 計	1,200 ～ 1,500 m³／10a・1作

水田灌漑は期間中に均等に灌水するのではなく，稲の生長や土壌の状態に応じて水深を調節したり，田面を乾燥させたり（中干し），間けつ的に灌水，落水を行ったり（間断灌漑）する。水管理の基本例および基本的方法を図－2・8および表－2・11に示す[1]。



図－2・8 水管理の基本例[1]

2.6.1 中 干 し

水田を灌水すると土壌の還元化が進み，酢酸，酪酸などの有機酸や亜酸化鉄，二価マンガン，硫化水素などの還元性物質が生成され，水稲根に有害となるのは前に述べた。土壌中に生成した還元性有害物質は，灌漑水の浸透により一部除去され，あるいは水に溶存する酸素により一部酸化されるが，十分なものではなく，田面を乾燥し，土壌中に酸素（空気）を導入し，酸化分解を行うのが最も有効である。中干しは別名土用干しとも呼ばれているが，これは以前の普通期栽培では土用のころ落水することから名づけられたものである。

中干しの効果は土壌中の還元性有害物質の酸化分解のほか，水稲根に直接酸素を供給し，土

表－2・11　水管理の基本的方法[1)]

生育時間	方法	備考
活着期（田植直後～田植後7日）	5～6cmの水深とし，高水温に保つとともに昼夜の水温較差を少なくする。	活着の良否を左右
分けつ期（活着後～出穂前50日）	3日に1回程度灌水し，常時浅水に保つ。昼夜の水温較差を大きくする（例：昼30℃，夜15℃）。	穂数の確保に関係
分けつ盛期（出穂前50～40日）	地肌が出る程度に浅水とするか，軽い中干し（2～3日程度）をする。	
分けつ盛期～幼穂形成期（出穂前40～25日）	中干し（5～7日程度）する。施肥量の多い水田や湿田では幾分強く（亀裂が生じ，軽く足跡がつく程度）行う。	根の活力，無効分けつ，有害物質
幼穂形成期～穂ばらみ期（出穂前25～10日）	寒地：水温を20℃以上に高め，10～15cmの水深に保って幼穂を保護する。 暖地：浅水とし，高温時には掛け流しする。	低温障害，高温障害の防止
穂ばらみ期～出穂期	稲の吸水量最大のため3～4cmの深水とする。	
出穂期～落水期	出穂が完了するまでは深水とする。その後は浅水または間断灌漑（例：3日灌水，2日落水）する。出穂後25日前後に落水する。	

壌にき裂を生じさせ，団粒構造の生成を助長し，浸透を増すことに働く。このため水稲の健全性が保持されるだけでなく，構造面に沿って根が伸長しやすくなる。根の健全な発達により養分吸収が後期まで続き登熟がよくなる[2)]。このほか乾土効果による養分無機化の促進にも効果がある。中干しの期間は一定ではなく，短い場合には数日，長い場合には3週間に及ぶ場合もある。

2.6.2　間断灌漑

間断灌漑は，中干しと灌水を交互にきめ細く行うもので，中干しと同様の効果がある。特に生育後期における間断灌漑は酸素の補給と灌漑水の浸透が交互に行なわれるため，土壌中の還元性有害物質の酸化と流出が促進されるため，水稲根の健全な発育に有効となる。

2.7　稲の病虫害と雑草

2.7.1　稲の病気

稲の病気は日本では50種以上あり，重要なものは，いもち病，紋枯病，白葉枯病，ごま葉枯病，ばか苗病，苗立枯病，小粒菌核病，すじ葉枯病，褐色葉枯病，籾枯細菌病，萎縮病，黄萎病，わい化病，縞葉枯病，黒すじ萎縮病などがある。なかでも，いもち病は生育全期に発生し被害が最も大きい。いもち病以外で収量に対し影響が大きいのは，紋枯病，白葉枯病，ごま葉枯病，ばか苗病などがある。

(1) 育苗期間中の病気

苗代から病害が持ちこまれると防除がやっかいであり，また苗代は面積も小さく防除もしやすいところであり，この期間の防除は特に重要である。表－2・12は最近普及率向上が著しい機械移植栽培での箱育苗で発生しやすい病害と発生原因および防除方法を示したものである。箱育苗は高温・多湿，寡照，高播種密度のため病気の発生にはきわめて好適な環境にあり，発病があれば病勢の進展が早く，大きな被害をもたらす。このため育苗中の病害防除として，1)病原菌の持ち込みの阻止，2)病害発生を抑止するような環境制御，3)薬剤防除の3つの基本を励行することが肝要である[1)]。

表－2・12 育苗期間中の病害と防除法[1)]

	病気の種類	発生の要因	薬剤による防除対策
種子伝染性病害	いもち病	①罹病種もみの使用 ②種子消毒の不徹底 ③不完全な覆土 ④育苗中の高温多湿 ⑤過度の厚まき ⑥育苗期間の延長 ⑦罹病稲わらなどの放置	・ベンレートT，ホーマイによる種子消毒 ・ラブサイド，ブラエス，カスミン，ヒノザン，キタジン，フジワンなどの育苗期後期での散布
	ごま葉枯病	①罹病種もみの使用 ②種子消毒の不徹底 ③不完全な覆土 ④育苗中の高温多湿 ⑤過度の厚まき	・ベンレートT，ホーマイ，タチガレン液剤などによる種子消毒
	ばか苗病	①罹病種もみの使用 ②種子消毒の不徹底 ③育苗中の高温多湿 ④過度の厚まき ⑤浸種・催芽の高温度 ⑥採種時罹病株除去不完全	・ベンレート，ベンレートT，ホーマイによる種子消毒
	ホーマ属菌による苗立枯れ	①罹病種もみの使用 ②出芽時の低温	
	苗腐細菌病	①罹病種もみの使用 ②催出芽，緑化期高温多湿 ③多肥 ④汚染土壌の使用	・アンチホルミン種子消毒，ビスダイセン灌注が有効との試験例があるが未登録
	褐条病	①罹病種もみの使用（種子伝染と推定されているが，発生生態は不明である）	

	病気の種類	発生の要因	薬剤による防除対策
種子病害伝染性	心枯線虫病	①汚染種もみの使用 ②種子消毒の不徹底	・パダン溶液，スミチオン乳剤，バイジット乳剤による種子消毒
土壌伝染性病害	フザリウム属菌による苗立枯れ	①緑化開始直後の低温 ②傷もみの使用 ③前年度発病土，畑土壌（pH5.5以上）の使用 ④育苗期間中の管理不良（乾燥，過湿など） ⑤肥料不足	・タチガレン液剤500～1000培液の播種直後および発芽潅注 ・タチガレン粉剤を播種前に床土混和
	ピシウム属菌による苗立枯れ	①緑化以降の低温 ②傷もみの使用 ③前年度発病土，野菜畑土壌の使用 ④河川，池水の使用 ⑤育苗中の過湿	・タチガレン液剤500～1000培液の覆土前潅注 ・ダコニール500培液潅注も有効とされているが未登録
	リゾプス属菌による苗立枯れ	①出芽時の高温多湿 ②極端な厚まき ③緑化開始後10日間の低温 ④傷もみの使用 ⑤保水力大の土壌の使用 ⑥土壌の過湿 ⑦チッソ肥料の多用 ⑧汚染度の高い育苗施設・資材の使用	・ダコニール500～1000倍液を播種時～播種3日後（緑化開始時）に潅注 ・ダコニール粉剤を播種5日前～直前に床土混和
	ムコール属菌による苗立枯れ	①リゾプス属菌の発生要因とほぼ同様	・リゾプン属菌防除に準じる（登録農薬なし）
	トリコデルマ属菌による苗立枯れ	①出芽時温度30℃前後 ②保水力小，pH4以下の土壌の使用 ③前年度発病土の使用 ④土壌水分の不足 ⑤汚染度の高い育苗施設・資材の使用	・ペンレート水和剤500～1000倍液潅注が有効とされているが未登録
	リゾクトニア属菌による苗立枯れ	①畑土壌の使用 ②極端な厚まき ③多肥 ④風通し不良，高温多湿	・ダコニール500～1000倍液潅注，バリダシン液剤500～1000倍液散布が有効とする試験例があるが未登録

	病気の種類	発生要因	薬剤による防除対策
土壌伝染性病害	白絹病菌による苗立枯れ	①畑土壌の使用 ②高温多湿	・バリダシン液剤300倍液散布が有効とされているが未登録
生理障害	生理障害（ムレ苗）	①育苗後半の気象変動 ②床土の過湿，通気・通水性不良 ③厚まき ④被覆内の過湿 ⑤箱下ねり床の強還元 ⑥移植遅れによる苗老化	・タチガレンが有効とみられるが未登録

(2) 本田期間の病気

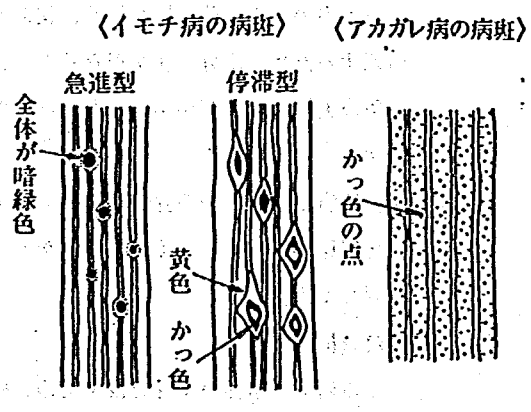
1) いもち病

水稲の病害でもっとも恐れられているのが，この病気である。この病気は根以外の各器官，すなわち，葉身，葉鞘，節，穂などの地上部の諸器官で発病する。この病原菌が侵す器官によって葉いもち，くびいもち，枝梗いもち，節いもち，もみいもち，葉節いもちなどと呼ばれている。また前述したように苗代期間においても発病するため，生育の全期間にわたって発病するといえる。

原因となる菌はPyricularia oryzalであり，空気伝染し，夏に低温，多雨，日照不足の年に大発生し，晩植，密植，窒素過多の稲に多発する。

a) 葉いもち[3)]

葉いもち病は平均気温が20℃以上で発病し，気温の低い梅雨中より，梅雨あけか，梅雨の中休みに急激に発生し，梅雨があけて夏型の天候になってもしばらくは発生がひろがる。葉いもちの病斑には大別して急進型と停滞型とがあり，図－2・9に病斑の特徴を示す。急進型の病斑は円形または長円形でそれほど大きくなく，灰色あるいは暗緑色をしている。また胞子の形成も多く病斑が急速にひろがるので被害も多くなり，若い稲では病原菌の出す毒素のために弱りズリコミ状にちぢこむことも多い。急進型病斑もしだいに停滞型に変わり，発病が少なくなる。停滞型の病斑は，ひし形または不規則な形



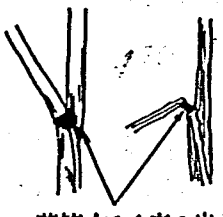
図－2・9 葉いもちの病斑[3)]

の大きな病斑で，かっ色になっており，停滞型になると病気の進み方が弱く，被害は増加しない。

b) 節いもち，葉節いもち

節いもちは稲の節部に発病するもので，発病初期は節の部分に黒い円形の病斑があらわれ，これが次第に拡大し，節全部を黒変させる。これにかかると収量が減少するだけでなく，折れやすくなるため刈り取りに不便となる。

葉身と葉鞘の境の部分を葉節と呼ぶが，この部分が発病するものを葉節いもちといい，図－2・10に示すように発病する。この部分に発病があると，いもち病の供給部となり，くびいもちや枝梗いもちの原因となる。



葉節イモチ病の出たイネ

図－2・10 葉節いもちの病斑[3)]

c) くびいもち，枝梗いもち

出穂後の穂に病原菌が寄生発病するので収量に与える影響が大である。病菌は穂首の包葉から発病し，時間とともに上下に病斑が拡大する。病気に侵された組織は黄かっ色から枯死するので，もみの稔実が害される。

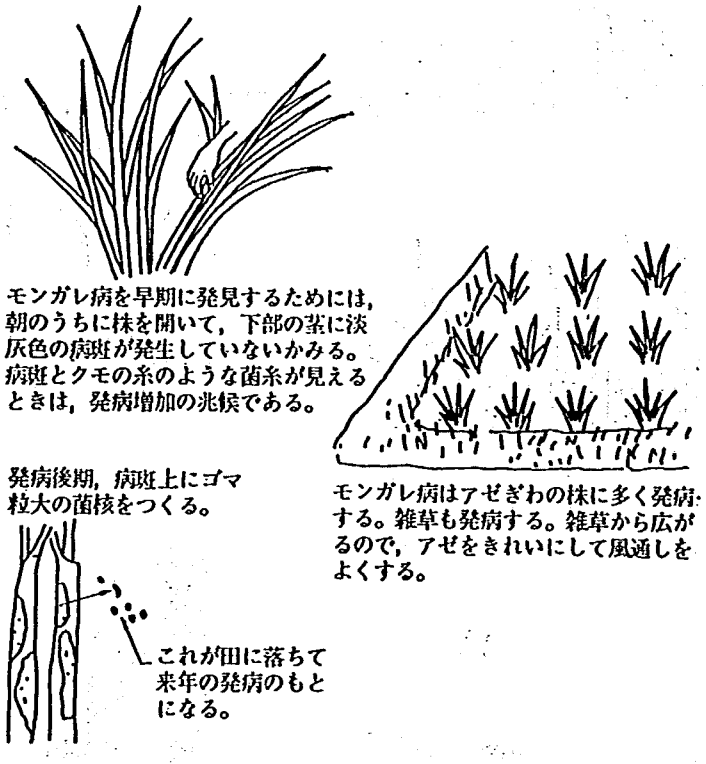
2) 紋枯病[3)]

紋枯病は高温性の病気で，気温が高くならないと発病せず，関東地方での最盛期は7月中旬である。但し，気温が高くても空気が乾燥すると病気は停滞する。紋枯病は病菌の菌核が水に浮いて，稲の茎に接するところからはじまる。紋枯病菌が稲体に侵入するとき，クモの糸のような菌糸塊を作り，初期の病斑は淡灰色である。この病気にかかると葉鞘が枯死するため，水分の往来がなくなり，下葉から枯れ上がってゆき，倒れやすい稲となる。夏型の天候で病斑がかっ色になれば病気の進行は停滞する。図－2・11に紋枯病の特徴を示す。

紋枯病は過繁茂の条件では発病しやすく，窒素が多くカリが不足すると発病が著しい。また出穂以後，稈にたくわえられたデンプンが穂に移ってゆくと，稈自身の抵抗力が弱り発病しやすくなる。

3) 白葉枯病[3)]

この病気は水稲の葉身を侵すため，罹病程度が進むと田一面が白くなり容易に診断のつく病気である。はじめ図－2・12に示すように葉身の先端部の方から枯れ出し，次第に葉全体に及ぶ。この病気は台風や強い雷雨のあとなどに一面に慢延し，水田の様相が急変す



図－2・11　紋枯病の特徴[3)]

ることがある。白葉枯病はどこでも発生する病気ではなく，河川流域の肥えた平地によく発生し，また発病については品種による差が大きい。なお，出穂前に発病すると収量に対する被害が大きいが，出穂後の発病では被害は少ないとされている。

① 本病にかかると，葉の縁の所の水孔から病源バクテリアが入り，病斑を形成する。

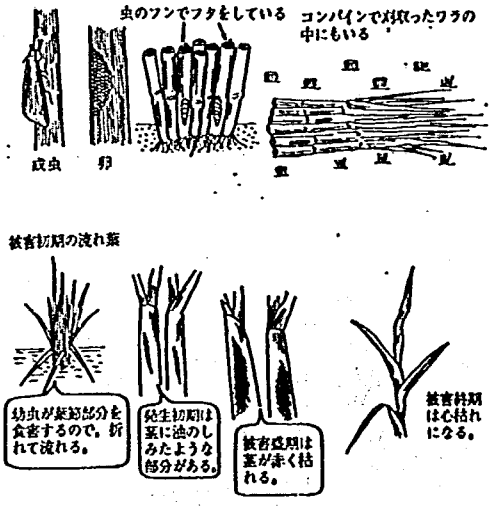
② 水稲葉身の中の水孔などを通じてでたバクテリアが露に溶けたようになり，これが乾くと黄色の塊になることがある。

③ 白葉枯病らしい組織を切りとり，水につけると白葉枯病であれば水液中に白い糸状のバクテリア群が出てくる。

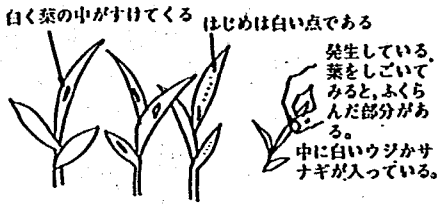
図－2・12 白葉枯病斑[3)]

2.7.2. 稲の虫害

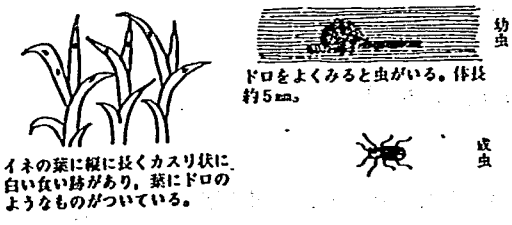
虫害には120種以上があり，全国的にはニカメイチュウ，寒地ではイネドロオイムシ，イネハモグリバエ，暖地ではウンカ類などが重要な害虫である。メイチュウ類は幼虫が茎に食入り，



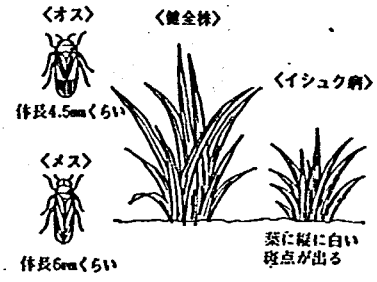
図－2・13　ニカメイチュウの特徴[3)]



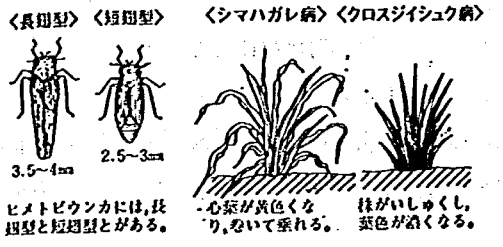
図－2・14　ヒメハモグリバエの特徴[3)]



図－2・15　ドロオイの特徴[3)]

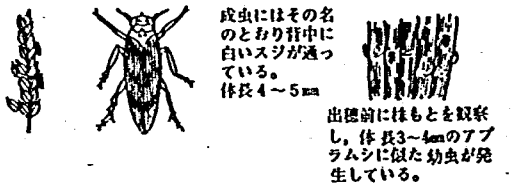


図－2・16　ツマグロヨコバイの特徴[3)]

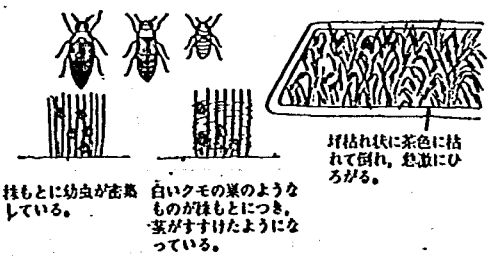


図－2・17　ヒメトビウンカの特徴[3)]

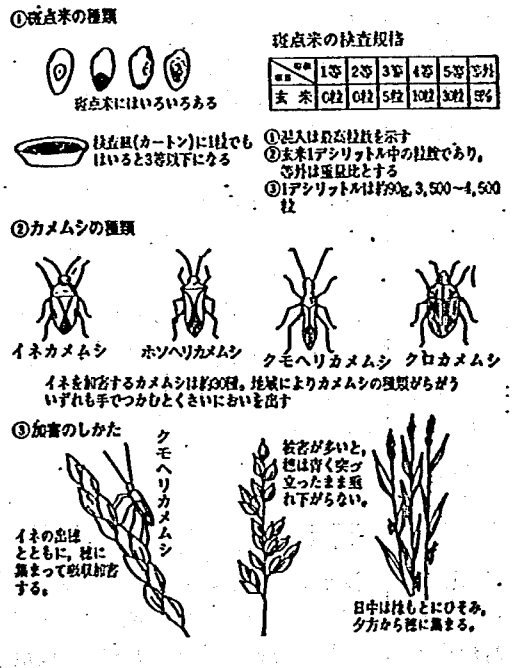
図－2・18　イネツトムシの特徴[3)]



図－2・19　セジロウンカの特徴 3)



図－2・20　トビイロウンカの特徴 3)



図－2・21　カメムシの特徴 3)

とくに被害が大きい。表－２・13に稲の病虫害とその防除法を図－２・13～２・21に害虫の特徴を示す。

表－２・13　稲の病虫害と防除法[1)]

病害虫名	発生経過	防除法
いもち病	箱育苗では前年の保菌種子を播くと，苗いもち病が発生しやすい。さらに被害わらや苗いもちが伝染源となり，葉いもちが発生する。病斑は初め蒼白色～紫褐色，紡錘形で，後に周縁が褐変する。病斑が多くなると，株全体が萎縮し，ずりこみ症状を呈する。病斑上に多量の胞子を作り，平均気温20～25℃，多雨，日照不足の気象条件では激しく蔓延する。出穂後は籾，穂首，枝梗，節などに病斑を形成し，養分の通導が阻害されるので，減収，品質低下は著しい。	①抵抗性品種を選ぶ。②窒素肥料の多用，密植を避ける。③補植用苗，箱育苗の余り苗の早期処分。④発病苗を本田に持込まぬこと。⑤冷水灌漑を避け，迂回水路による水温上昇を計る。⑥種子消毒(馬鹿苗病の項参照)。⑦ブラエス剤，カスガマイシン剤，ＩＢＰ剤，ＥＤＤＰ剤，フサライド剤の散布あるいはＩＢＰ粒剤，イソプロチオラン粒剤，プロベナゾール粒剤の施用。
紋枯病	前年田面に落下した菌核や灌漑水と共に流入した菌核が，田植後水面に浮上し，最高分げつ期から幼穂形成期にかけて葉鞘に付着侵入し，暗緑色または黒褐色の雲形の病斑を生じ，次第に隣接茎および上位葉鞘へ進展する。そのため葉の同化作用の低下，枯死を起す。穂ばらみ期以降高温，多湿になるような気象，栽培条件の時に多発する。	①前年の多発田は反転耕起し，代かきは軽く行い，菌核の浮上を抑える。②多肥，密植を避け，通風がよくなるよう畦の方向をきめる。③有機ひ素剤，バリダマイシン剤，ポリオキシン剤などを散布。
白葉枯病	サヤヌカグサ根圏や稲わらに生存している病原細菌は灌漑水に入り，浸冠水により葉に侵入，増殖する。葉縁に沿い，浸潤状黄白色の長い病斑となる。苗代期に濃厚感染すると葉が黄化して巻き，萎凋型になることもある。穂ばらみ期頃より上位葉に進展し，台風，豪雨などに遭うと止葉まで枯れ上り，水田が白く見えるようになる。基盤整備，箱育苗の普及で最近減少している。	①基盤整備，適正な水管理による浸冠水の防止。②抵抗性品種を選ぶ。③有機ニッケル剤，フェナジン剤の散布，プロベナゾール粒剤の施用。
ごま葉枯病	保菌籾，被害わらが伝染源となり発生する。種子伝染の場合には立枯症状を呈する。苗代末期に発生することもあるが，	①客土，深耕等の土壌改良。②有機質肥料，カリ肥料の増施。③珪酸石灰，鉄鉱滓の施用。③種子消

病害虫名	発生経過	防除法
	主として穂ばらみ以降下葉にごま粒状黒褐色楕円形の病斑を発生し，次第に上葉に及ぶ。出穂初期は籾が感染し，不稔粒を生じ，後期は穂首，枝梗が侵され，穂枯れ症状を呈する。砂質地や老朽化水田に発生しやすい。	毒の徹底（馬鹿苗病の項参照）。④ＥＤＤＰ剤の散布。
馬鹿苗病	保菌種子を播くと，苗代期から本田初期に発病する。苗は全体が黄緑色となり，異常に伸長する。本田では全体が黄化すると共に，節間が異常に伸びて分げつの少ない稲となり，穂ばらみ期には枯死して，葉鞘に淡紅色の胞子堆を密生する。この胞子が健全株の穂に侵入あるいは付着し，保菌籾を作り，翌年の伝染源となる。	①無発生田からの採種。②本田に病苗を植込まぬこと。③ベノミル・チウラム剤，チオファネートメチル・チウラム剤の粉衣，液浸による種子消毒。
苗立枯病	箱育苗の普及に伴い，カビ，細菌類による立枯病の発生が多くなった。フザリウム，ピシウムによるものは普遍的に見られ，緑化以降低温の時に多発する。リゾープスによるものは発芽期32℃以上，高湿度，暗黒条件下に置くと激発し被害が大きい。その他トリコデルマ，リゾクトニア，コルティシウム，籾枯細菌，褐条細菌などによる立枯病も散発している。苗腐病は水苗代で低水温の時に発生する。	①通気性，保水性，ｐＨなどの適正な土壌を床土とする。②発芽時32℃以下の温度に保つ。③緑化期以降は10℃以上の気温に保つ。④育苗施設，資材など環境衛生に注意する。⑤種子消毒の徹底。⑥フザリウム，ピシウムに対するイソキサゾール剤施用。リゾープスに対するＴＰＮ剤の施用。
その他の病害	小粒菌核病の発生は散発的で，加里肥料を施用していれば，実害は軽い。すじ葉枯病，褐色葉枯病が穂枯れの原因として，一部の地方で多発することがある。籾枯細菌病は従来九州，四国など暖地で多発することがあったが，北日本にも拡がって来た。籾の稔実障害だけでなく，保菌籾を播くと，立枯病が激発することがある。	①小粒菌核病多発田では加里肥料の増施，ＩＢＰ剤，ＥＤＤＰ剤の散布。②すじ葉枯病，褐色葉枯病に対しては，ごま葉枯病と同様，土壌改良，施肥改善が有効。ＥＤＤＰ剤の散布。③籾枯細菌病に対しては，有効な対策がない。
ツマグロヨコバイ 萎縮病 黄萎病 わい化病	幼虫態で雑草間で越冬するが，暖地では冬の終りに一部成虫となる。第１回成虫はイネ科雑草に産卵するが，後期には苗代にも飛来産卵する。その後はほぼ４世代を水田で経過する。成虫・幼虫ともに稲の茎葉を吸汁加害し，稲作前期には萎	①病気の媒介防止のためのツマグロヨコバイ防除は春先から稲作前期にかけて行うが，畦畔雑草を含めて一斉防除をする。②出穂期以後の防除は西日本では一般には必要性は少ない。

病害虫名	発　生　経　過	防　除　法
	縮病，黄萎病，わい化病を媒介する。出穂後は穂部を吸汁加害するが，この害はとくに北陸地方などで大きく，減収につながることがある。萎縮病はウイルスによる病気で，株全体が萎縮，葉は濃緑色を呈し葉脈に沿って小さな乳白色の細かい斑点が連生する。黄萎病はマイコプラズマによる病気で，葉は黄化し生育不良でわい化し，株は分げつ過多となり黄緑色となる。わい化病はウイルスによる病気で，稈長は短くなる。九州地方にのみ発生している。	③MTMC剤，MPMC剤，BPMC剤，MIPC剤，PHC剤，ダイアジノン剤，プロパホス剤，エチルチオメトン剤などが有効であるが，殺虫剤抵抗性が各地で発生しているので，殺虫剤の選択に注意が必要である。
ヒメトビウンカ 縞葉枯病 黒すじ萎縮病	幼虫態で麦畑，雑草間で越冬し，3～4月に成虫が羽化し，主として麦で第1世代を過し，第2回成虫が水田に飛来する。北海道などの寒冷地では第1回成虫が水田に飛来する。その後3～4世代を繰り返すが，夏は高密度になることは少ない。成虫・幼虫ともに縞葉枯病や黒すじ萎縮病を媒介するので重要である。 縞葉枯病はウイルスによる病気で，心葉は巻いて下垂し，葉は黄白色縞状の病斑を生ずる。黒すじ萎縮病もウイルスによる病気で，葉裏や葉鞘に黒条の病斑を生ずる。	①病気の媒介防止のためだけに防除される。春先から6～7月まで薬剤散布の時期があるが，畦畔を含めて一斉防除をすると効果が高い。②ツマグロヨコバイに有効な殺虫剤はすべて有効であるが，その他マラソン剤，MEP剤，MPP剤なども有効で，ツマグロヨコバイと同様混合剤が多く使われる。
セジロウンカ 及び トビイロウンカ	6月半ばから7月半ばにわけて，海外(主として西南方)より飛来し，その後水田で増殖する。セジロウンカは8月に増殖し，9月以後は密度が低下するが，トビイロウンカは9月以降に大増殖して稲を枯死させるので，とくに警戒を要する。特殊の環境以外，日本国内での越冬は確認されていない。	①ツマグロヨコバイに有効なカーバメート剤は有効である。その他MPPやMEPなどの有機りん剤との混合剤も使われる。 ②トビイロウンカは8月初め頃，9月初め頃の防除が重要である。
ニカメイガ	大部分の地方で年2回発生するが，寒地では年1世代のところもあり，暖地では3世代繰返す場合もある。終齢幼虫で稲わらその他で越冬し，6月と8月に成虫が発生し，幼虫は初め葉鞘組織内，やがて茎内に食入し加害する。	MEP剤，MPP剤，ダイアジノン剤，カルタップ剤，DEP剤その他有効薬剤が多い。

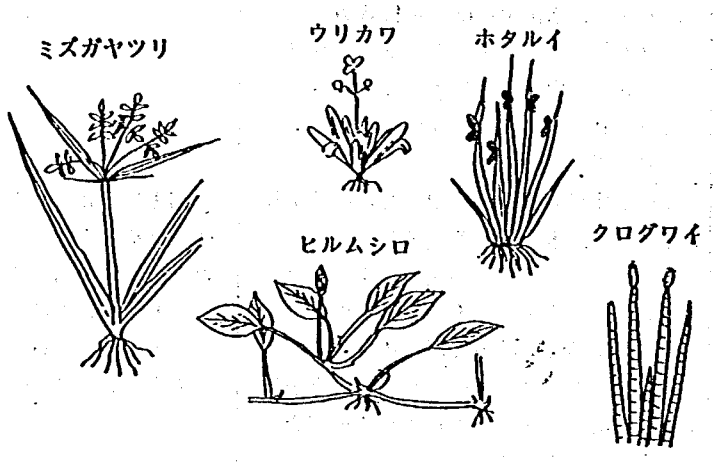
病害虫名	発　生　経　過	防　除　法
コブノメイガ	国内での越冬は確認されていない。普通期水稲では6月終り頃から7月初め頃に成虫がみられ，被害は7月中・下旬以後にみられ，水田でほぼ3世代繰返す。一枚の葉を葉縁をとじ合せた中で食害する。九州を中心に西日本で発生するが，時々大発生して，日本海側東北地方まで多発することがある。	カルタップ剤がとくに有効で，7月下旬～8月初めの発蛾最盛頃の散布が効果が高い。
カメムシ類	多数の種があるが，重要なものは穂を吸汁して斑点米を生ずる種である。クモヘリカメムシ，ホソハリカメムシ，オオトゲシラホシカメムシその他多くの種は，成虫で越冬し，越冬後はじめは雑草地などで種実を摂食しているが7月終り頃稲の出穂前後から水田へ侵入して稲穂を加害する。年1～2世代のものが多いが，ミナミアオカメムシは世代数も多く，加害量も大きい。	①出穂期前に畦畔など附近の雑草地の草刈りを行う。②有効薬剤にはMEP剤，MPP剤，PAP剤の他それらとカーバメート剤の混合剤がある。②広域一斉防除は効果が高い。
イネクビホソハムシ（イネドロオイムシ）	成虫態で雑草間等で越冬し，5～6月に水田に飛来し産卵を行う。成，幼虫とも稲の葉を食害し，7月頃に新成虫となり，8月頃には越冬地へ移動する。すなわち年1世代である。	①カルタップ剤，PHC剤，PMP剤その他有効薬剤が多い。箱育苗の場合は育苗箱施薬は省力で効果が高い。
イネシンガレセンチュウ	もみ内で越冬し，播種後もみ外へ泳出し，発芽後の苗に侵入し，生長点付近に達して，以後そこで加害するので，葉先が枯れる。その後は幼穂に寄生して増殖し，出穂後はもみのえい内に入って越冬態勢に入る。被害株の米粒には縦または横向きのくさび状の黒色斑点が生ずる。これを黒点米といって，カメムシによる斑点米と区別する。	①種もみの冷水温湯浸法あるいは温湯浸法がよい。②MEP，MPP，カルタップの液剤による種子消毒や苗箱施薬が有効。③ダイアジノン粒剤の土壌施用も行われる。

2.7.3　水田での雑草

雑草は稲と競合し，稲の生育を抑えばかりでなく，雑草の繁茂は，陽当り，風通し等の生育条件を悪化させる。またあぜ雑草は紋枯病やカメムシなど病害虫の繁殖の場ともなり，ネズミの住み家にもなり，稲の被害を増加させる。図－2・22に最近発生の多くなっている雑草を示す。

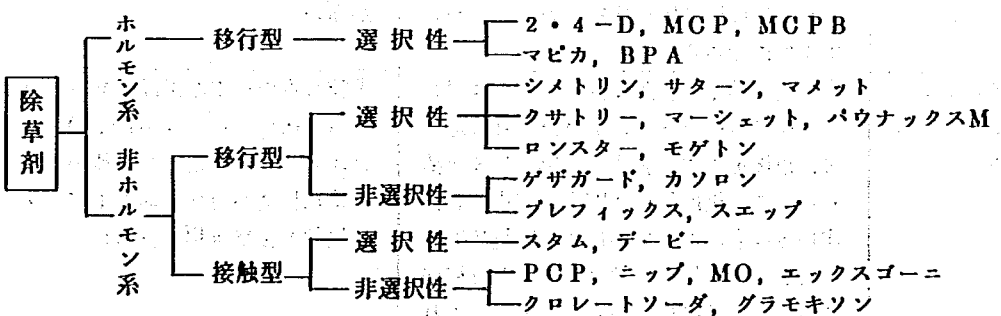
除草については一般に除草剤が用いられる。除草剤の除草作用の特徴および除草剤一覧を

表－2・14，2・15に示す。



図－2・22　最近発生の多い雑草 3)

表－2・14　除草作用の特徴 3)



＜ホルモン系・非ホルモン系＞

雑草の体の中には，植物ホルモンが含まれていますが，そこへ多量のホルモン剤を散布すると，雑草は生理的に異常をきたして，生活できず枯れてきます。このホルモンの作用を利用した除草剤が，ホルモン系であり，ホルモンの作用をもっていない除草剤が非ホルモン系です。

＜移行型・接触型＞

除草剤を根や茎葉から吸収させ，雑草の体を上下に移動して，生活作用をできなくして枯らすのが移行型です。除草剤が雑草のかかった部分だけを枯らし，他の部分に移動しないのが接触型です。

＜選択性・非選択性・属間選択性＞

除草剤によっては，ある雑草はよく枯らすが，別の雑草には効果が少ないというのが選択性，どんな雑草にも同じように効くのが非選択性といいます。同じイネ科でもイネには害が少ないのが，ヒエには害が強く枯らすというようなものを属間選択性といいます。

注）性質の異なる薬剤を混合して除草効果を高めてある除草剤も多いが主な薬剤で分類した。

表－2・15　処理法別主要除草剤一覧 [1)]

区分	処理法	対象雑草	主要除草剤名
畑苗代	播種後土壌処理	一年生雑草全体	MCC（スエップ）水，ベンチオカーブ（サターン）剤，NIP（ニップ）乳，ベンチオカーブ・ブロメトリン（サターンパアロ）乳
	生育初期茎葉処理	一年生雑草全体	DCPA（スタム，デービー）乳，パラコート（グラモキソン）液，DCPA・CHCH（グラサイド）乳
水苗代	播種前土壌処理	一年生雑草全体	NIP（ニップ）粒
	播種後土壌処理	一年生雑草全体	ベンチオカーブ（サターン）乳
	生育初期茎葉処理	一年生雑草全体	DCPA（スタム，デービー）乳，DCPA・CHCH（グラサイド）乳，TOPE（アタックウィード）乳
		藻類	ACN（モゲトン）粒，硫酸銅，石灰硫黄合剤
折衷苗代	播種前土壌処理	一年生雑草全体	NIP（ニップ）粒
	播種後土壌処理	一年生雑草全体	ベンチオカーブ（サターン）乳，MCC（スエップ）水
	生育初期茎葉処理	一年生雑草全体	DCPA（スタム，デービー）乳
湛水直播	播種前土壌処理	一年生雑草全体	NIP（ニップ）粒乳，ベンチオカーブ（サターン）乳，オキサジアゾン（ロンスター）乳，CNP（MO）粒
	播種後土壌処理	一年生雑草全体	ベンチオカーブ・シメトリン（サターンS）粒，モリネート（オードラム）粒
	播種後土壌処理，生育初期茎葉処理	一年生雑草全体	ベンチオカーブ・CNP（サターンM）粒
	生育初期茎葉処理	一年生雑草全体	DCPA（スタム，デービー）乳
	生育中・後期茎葉処理	コナギ，ウリカワ，オモダカ，アゼムシロなどのイネ科以外の雑草	24PA（2.4－Dソーダ塩水，24－Dアミン塩酸液，水中24－D水，粒状水中2.4－D），MCP（MCPソーダ塩液，水中HCP水，粒状水中MCP，アリルMCP粒）
乾田直播	播種前茎葉処理	耕起前発生雑草	パラコート（グラモキソン）液
	播種後土壌処理	一年生雑草，マツバイ	リニュロン（アファロン，ロロックス）水，MCC（スエップ）水，NIP（ニップ），CNP（MO）乳，SAP・ブロメトリン（エス）乳，ベンチオカーブ（サターン）乳，ベンチオカーブ・ブロメトリン（サターンパアロ）乳，ベンチオカーブ・DCPA（サターン＋DCPA）乳
	入水後土壌処理	一年生雑草，マツバイ	NIP（ニップ）粒，ベンチオカーブ・CNP（サターンM）粒，ベンチオカーブ・シメトリン（サターンS）粒，モリネート・シメトリン（マメット）粒
		同上，ミズガヤツリ，ウリカワ，ホタルイ	ベンタゾン（バサグラン）粒

区　分	処　理　法	対　象　雑　草	主　要　除　草　剤　名
乾田直播	生育中・後期茎葉処理	コナギ，ウリカワ，オモダカ，アゼムシロ，カヤツリグサ類などイネ科以外	2.4ＰＡ（2.4－Ｄソーダ塩水，2.4－Ｄアミン塩・液，水中2.4－Ｄ水，粒状水中2.4－Ｄ），ＭＣＰ（ＭＣＰソーダ塩・液，水中ＭＣＰ・水，粒状水中ＭＣＰ）
稚苗移植	植代前後土壌混和	一年生雑草，マツバイ	オキサジアゾン（ロンスター）乳
	田植前後土壌処理	一年生雑草，マツバイ，コナギ*，ホタルイ*，ウリカワ*	ＮＩＰ（ニップ，ハーブカット）粒，ベンチオカーブ（サターン）乳・粒，ＣＮＰ（ＭＯ）粒，ＤＣＰＡ（スタム，デービー）乳，クロメトキンニル（エックスゴーニ）粒，ブタクロール（マーシェット）粒，ＣＮＰ・ダイムロン*（ショウロンＭ）粒，ベンチオカーブ・ＣＮＰ*（サターンＭ）粒，ピラゾレート*（サンバード）粒，ナプロアニリド*（ウリベスト）＝移植後
	生育初期土壌・茎葉処理	一年草雑草，マツバイ，ホタルイ*，ウリカワ*，ミズガヤツリ*，ヘラオモダカ*	シメトリン・ＭＣＰＢ（バウナックスＭ）粒，ブロメトリン・ＭＣＰＢ（ゲザエム）粒，トリフルラリン（トレファノサイド）粒，ＭＣＰ・ＭＣＰ（スエップＭ）粒，モリネート・シメトリン（マメット）粒，ベンチオカーブ・シメトリン（サターンＳ）粒，ジメタメトリン・ピペロホス（アピロサン）粒，モリネート・シメトリン・ＭＣＰＢ*（マメットＳＭ）粒，ＭＣＰＢ・シメトリン・ベンチオカーブ*（クミリードＳＭ）粒，ピペロホス・ジメタメトリン・ベンタゾン*（ワイダー）粒，ベンチオカーブ・シメドリン・ベンダゾン*（エスグラン）粒
	分けつ終止期以降茎葉処理	一年生雑草，ウリカワ，ホタルイ，ミズガヤツリ，ヒルムシロ，マツバイ	ＭＣＰ・ベンタゾン（グラスジンＭ）粒・水，24ＰＡ・ベンタゾン（グラスジンＤ）粒，2.4ＰＡ（2.4－Ｄソーダ塩・水，2.4Ｄアミン塩・液，水中2.4－Ｄ・水，粒状水中2.4－Ｄ），ＭＣＰ（ＭＣＰソーダ塩・液，水中ＭＣＰ・水，粒状水中ＭＣＰ）
普通移植	植代前後土壌混和	一年生雑草，マツバイ	オキサジアゾン（ロンスター）乳
	田植前後土壌処理	一年生雑草，マツバイ，ヒルムシロ*ウリカワ* ホタルイ*，ウキクサ*，藻**	ＮＩＰ（ニップ，ハーブカット）粒，ＣＮＰ（ＭＯ）粒，ベンチオカーブ（サターン）粒，クロメトキシニル（エックスゴーニ）粒，ブタクロール*（マーシエット）粒，ＣＮＰ・ダイムロン（ショウロンＭ）粒，ベンチオカーブ・ＣＮＰ（サターンＭ）粒，シメドリン*（ギーボン）粒，トリフルラリン（トレファノサイド）粒，トリフルラリン・ＭＣＰ（トレモリン）粒，ＡＣＮ・ＭＣＰＢ・ＮＩＰ**（モゲサンド）粒，ＭＣＰ・ＣＮＰ（ハイカット）粒，ＭＣＣ・ＭＣＰ（スエップＭ）粒，シメトリン・ＭＣＰＢ*（バウナックスＭ）粒，シメトリン・フエノチオール（グラキール）

区分	処理法	対象雑草	主要除草剤名
			粒，ベンチオカーブ・シメトリン（サターンS）粒，モリネート・シメトリン（マメット）粒，ナプロアニリド*（ウリベスト）
	生育初期土壌・茎葉処理	一年草雑草，マツバイ，ウリカワ*，ミズガヤツリ*，ヘラオモダカ*，ホタルイ*，ヒルムシロ**，ウキクサ**，藻**	ピペロホス・ジメタメトリン（アピロサン）粒，プロメトリン（ゲザガード）粒，プロメトリン・MCPB（ゲザエム）粒，ACN**（モゲトン）粒，モリネート・シメリン・MCPB*（マメットSM）粒，ベンチオカーブ・シメトリン・MCPB*（クミリードSM）粒，ピペロホス・ジメタメトリン・ベンタゾン*（ワイダー）粒，ベンチオカーブ・シメトリン・ベンタゾン*（エスグラン）粒，ベンタゾン*（バサグラン）粒
	生育初期茎葉処理	一年生雑草，ウリカワ，ミズガヤツリ	ベンタゾン（バサグラン）水
	分けつ終止期以降茎葉処理	一年生雑草，ホタルイ，ウリカワ，コナギ，タマガヤツリ，マツバイ，（イネ科以外*）	MCP・ベンタゾン（グラスジンM）水，粒，2.4PA・ベンタゾン（グラスジンD）水，粒，2.4PA（2.4−Dソーダ塩水，2.4−Dアミン塩・液，水中2.4−D・水，粒状水中2.4−D），MCP*（MCPソーダ塩・液，水中MCP・水，粒状水中MCP，アリルMCP−粒）
刈跡・休閑田	刈取後茎葉処理	雑草一般	パラコート（グラモキソン）液，塩素酸塩（クロレートSL，デゾレートAZ），MCP（MCPソーダ塩・液，水中MCP水），2.4PA（2.4−Dソーダ塩・水，水中2.4−D・水，粒状・水中2.4−D，2.4−Dアミン塩・液），パラコート＋CAT（グラモキソン＋シマジン），パラコート＋DCMU（グラモキソン＋カーメックスD）
休耕田	雑草発生前土壌処理	一年生雑草，マツバイ	DBN（カリロン）粒，CAT（シマジン）水，粒，プロメトリン（ゲザガード）粒，ベンチオカーブ・シメトリン（サターンS）粒
	雑草生育期	雑草一般	パラコート（グラモキソン）液，DCMU（カーメックスD）水，塩素酸塩（クロレートSL，デゾレートA，AZ），2.4PA（粒状水中2.4−D），ジクワット（レグロックス）液，ブロマシル（ハイバーX）水，MCP・DCMU・OPA（ポミカルDM）水，DPA（ダウポン）水，粒，グリホセートインプロピルアミン塩（ラウンドアップ液）

(注) 除草剤名の次の（）内は商品名を，その次の水，粒，液はそれぞれ水溶剤，粒剤，液剤の剤形を示す。対象雑草と除草剤の対応は，無印＝無印，無印＋＊＝＊，無印＋＊＋＊＊＝＊＊である。

資料：1978除草剤・生育調節剤使用基準（登録，都道府県別）日本植物調節剤研究協会編

3. 水田土壌における窒素の挙動

3.1 土壌中での窒素の存在形態と変化

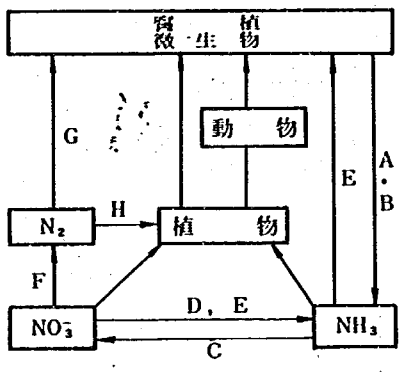
土壌中の窒素は種々の化合物の形態で存在しており，その形態は土壌中の種々の微生物の働きにより著しく変化する。これらを酸化数の順に並べると次のようになる。

（有機態窒素，NH_3 ，NH_4^+ ）$<N_2<N_2O<NO<NO_2^-<NO_3^-$

-3 0 $+1$ $+2$ $+3$ $+5$

これらの窒素化合物は大別して，有機態窒素，無機態窒素，ガス態窒素に分けられる。有機態窒素は，タンパク，核酸，アミノ酸，尿素等種々の化学結合をしているが，酸化数はいずれも同じで－3であり，窒素化合物の酸化数としては最も低い値である。ガス態窒素はN_2，N_2O，NO 等種々の酸化状態であるが，N_2 も最も化学的に安定であり，大気の主成分ともなっている。無機態窒素としてはアンモニア態窒素が－3で，亜硝酸態窒素が＋3，硝酸態窒素は＋5で窒素化合物中で最も高い。

土壌中の窒素化合物の形態変化の過程を図－3・1に示す[8]。以下に各変化過程を概説する。



A：アンモニア化　　E：固　　定
B：無　機　化　　F：脱　　窒
C：硝酸化成　　G：窒素固定（非共生）
D：硝酸還元作用　　H：窒素固定（共生）

図 3・1　窒素の循環[8]

3.1.1 アンモニア化成作用（有機物の分解）

土壌有機物あるいは土壌中に入ってくる動植物の遺体・残渣や肥料として施される有機物たい肥，きゅう肥，緑肥，油かす類，魚肥等）は土壌微生物の種々の分解作用を受けて，その窒素成分の一部はアンモニアの形に無機化されて土壌中に生成してくる。この作用をアンモニア化成作用という。この作用は主として有機（従属）栄養微生物（既存の有機物をエネルギー源のみならず菌体合成素材にも利用する微生物）によって行われ，微生物は分解しやすい炭水化物を代謝エネルギー源として利用しタンパク等含窒素有機物を分解して得たアミノ基の一部を同化して生長，繁殖する。このような微生物活動の過程で余ったアミノ基がアンモニアに変化し，土壌中に放出される。

アンモニア化成作用の速さは，土壌の温度，反応，水分，通気，土壌の種類などの条件など

によって大きく左右されるが，特に有機物の量と組成，なかでも炭素と窒素の割合（炭素率：C／N比）による影響が大である。炭素率の大きな有機物が土壌中に添加された場合，微生物活動は盛んとなるが，微生物の体を構成するのに必要な窒素が相対的に少ないことから，分解当初は不足ぎみとなり，土壌中にある無機態窒素までも利用することとなり，土壌中は窒素飢餓状態となる。やがて分解が進み，代謝エネルギー源として使われた炭水化物等が炭酸ガスとして揮散・放出され，（この間，窒素は微生物に繰り返し利用される），炭素率が低下してゆき，炭素率が微生物の体を構成している比率以下となった時，初めてアンモニア化成作用が進むこととなる。炭素率が低い有機物の場合には分解当初からアンモニア化成作用が進む。

窒素飢餓の起る限界の窒素率は有機物の組成，炭素源の組成，窒素の形態その他の条件によって異なってくるが，一般的にはおよそ15程度とされている。[2] 炭素率が15より小さい場合には分解当初からアンモニアを生成するから作物に対しては速効性であるといえる。15より大きいものは，分解の初期ではアンモニアを生成せず，分解が進んで炭素率が10程度に近ずくにつれて初めてアンモニアを生成する。したがって炭素率の大きいほど窒素飢餓状態が長く続き，窒素の肥効は遅効性といえる。

土壌中の窒素の量はかなりの差異がありその範囲は 0.02 ～ 2.5 %であるが，耕地土壌では一般に 0.1 ～ 0.8 %程度で，平均 0.2 %前後の全窒素が含まれている。その内の 1 %内外がアンモニア態および硝酸態の無機態窒素であり，そのほかは有機態の窒素である。有機態窒素は土壌中の微生物によって徐々に分解されて作物等に吸収利用される。

3.1.2 硝酸化成作用

土壌中の有機物の分解によって生じたアンモニアや施肥によるアンモニアは，一部は作物に吸収利用されるが，土壌が酸化条件であれば一部は酸化されて硝酸に変わる。この作用を硝酸化成作用あるいは硝化作用という。この作用はアンモニアを亜硝酸に酸化する亜硝酸化成作用と，亜硝酸を硝酸に酸化する硝酸化作用の二段の過程から成っており，これを行う微生物をそれぞれ亜硝酸菌および硝酸菌と呼び，両者をあわせて硝化菌と呼ぶ。通常両者の作用は相伴っている。

硝化菌はアンモニアまたは亜硝酸を酸化する際に生じる化学エネルギーを利用して炭酸同化作用を行う無機（独立）栄養微生物であり，その反応は次式に表わされる。

$$2NH_3 + 3O_2 \longrightarrow 2HNO_2 + 2H_2O + 79\ cal \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (3 \cdot 1)$$

$$HNO_2 + 1/2\ O_2 \longrightarrow HNO_3 + 21.6\ cal \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (3 \cdot 2)$$

（3・1）式に関与する亜硝酸菌には，Nitrosomonas，Nitrosococus，Nitrosocystis，Nitrosospira，Nitrosogloea の各属があり，（3・2）式には Nitrobacter 属，Nitrocystis 属の硝酸菌が関与する。これらはいずれも無機栄養微生物のため生理作用に対しては有機物を必要とせず，多量の有機物の存在はかえって有害である。

硝化作用には酸素が必要であり，通気の良好な場合には硝化作用が進む。土壌中の水分につ

いては過度に多い場合には阻害され，過度に少ない場合にも阻害される。畑土での水分の適量は最大容水量の50～60％であるとされているが，水田においては表層の酸化層での硝化作用は旺盛である。土壌中のpHの影響については亜硝酸菌より硝酸菌の方が受けやすく，pHが高いか低い場合，一時的に亜硝酸が集積することがある。また硝化作用は土壌溶液中のNH_4^+，NO_2^- や種々の塩類濃度にも敏感で総塩類濃度が1,000 ppm以下，あるいはNH_4^+，NO_2^- がNとして100 ppm前後に超えない範囲ではすみやかに進行するが，それ以上では濃度が高まるにつれ硝酸化成の速度は減少する。温度については一般に25～30℃が適温とされている。[2)]

3.1.3　脱窒作用[2)]

土壌中あるいは水中で，硝酸あるいは亜硝酸が還元されて，亜酸化窒素ガス（N_2O）あるいは窒素ガスとなって大気中に放出されることがある。これを脱窒作用という。なお一部は酸化窒素（NO）の形でも放出されるがこれはすぐ酸化されて過酸化窒素（NO_2）となる。

この作用は脱窒菌と呼ばれる通性嫌気性菌（好気 ── 嫌気どちらでも増殖可能な微生物）によるもので，嫌気的条件では酸素の代りに硝酸呼吸によるエネルギー獲得反応によって行なわれる。

脱窒菌は酸素（O_2）と硝酸（NO_3）あるいは亜硝酸（NO_2）と同時に存在する条件では O_2 の方を利用しやすい。また脱窒菌の大部分は有機栄養菌であるから，水素供与体としての有機物が必要であり，酸素の供給が乏しく，有機物の多い場合ほど脱窒が起りやすいといえる。また，有機物が多いほどその分解に使われる酸素も多くなるため還元化（嫌気性化）が促進され，脱窒が起りやすい条件となる。脱窒は土壌 pHの比較的高い範囲（6～9）ですみやかで，最適 pHは7～8とされている。土壌中の水分については一般に容水量の約65％以下での脱窒量はわずかで，それ以上では水分が増すほど脱窒は著しいとされているが，これは土壌中の水分が高いほど土壌中への酸素の供給が少なくなるためである。温度は50℃程度までは温度が高いほど脱窒は進み，15℃以下では著しく低下する。ただし，硝化作用が40℃以上あるいは15℃以下では著しく低下するため，このような温度条件ではアンモニア態窒素からの脱窒量としては少ないこととなる。

水田土壌では，湛水後に土壌が酸化層と還元層に分化し，表層の酸化層ではアンモニア態窒素は硝化菌により硝酸態窒素に変わり，田面水の浸透に伴って還元層に移行し，そこで脱窒作用を受けることとなる。これが水稲作における窒素肥料の吸収率が小さい最大の原因となっている。

3.1.4　遊離窒素固定作用[2)]

窒素は大気中に約80％も含まれているのにもかかわらず，これを直接利用できるのはある種の微生物のみであり，高等植物の根に共生して遊離窒素を固定するもの（共生遊離窒素固定菌）と非共生（単独遊離窒素固定菌）とがある。

AzotobacterやOlostridium などの有機栄養型の単独遊離窒素固定菌による窒素固定量は

最も条件のよい場合で年間10a当り1.5kg（窒素として）程度とされており，またアンモニアや硝酸などの窒素化合物があると窒素固定をおこたるとされており，日本の耕地のように窒素施用量の多い場合には固定能力はあまり重要でないとされている。無機栄養型の単独遊離窒素固定菌であるらん藻は窒素化合物があれば窒素固定をおこたるのは前述と同様であるが，繁殖すれば有機物と窒素の両者を供給するので地力の減耗の防止に役だつ。

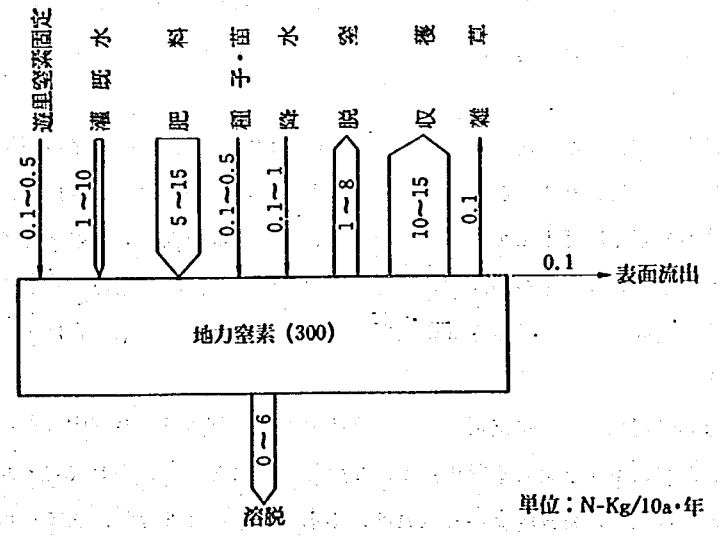
共生遊離窒素固定菌の代表的なものには，マメ科植物の根につく根粒菌があり，窒素固定の効率が高く，固定量は少なく見積もっても年間約9kg，時として15～20kgにものぼり，そのほとんどが宿主植物に利用されるため農業上重要であり，水田では裏作としてマメ科植物を栽培し，緑肥として利用する方法がある。

3.1.5 有機化

有機態窒素の無機化については前述したが，土壌中では無機態窒素の生成と同時に，無機態窒素の有機化という逆の過程も起っており，これは土壌微生物や植物による生物代謝の必然的結果である。無機態窒素の生成という場合，実際には有機化量を差し引いた値であるのが一般的である。

3.2 水田における窒素収支

前節では窒素の形態変化について述べて来たが，下水処理水の農業利用を考えるうえでは，水田における窒素の量的な収支関係をとらえることが重要であり，収支の基礎概念について認識しておく必要がある。各収支因子をできる限り数値化したものを図－3・2に示す。



図－3・2 水田土壌における窒素収支概念

以下に各収支因子を概説する。

(1) 地力窒素

地力窒素は施肥前に水田土壌に含まれている窒素の総称であり，耕地土壌では一般に0.1～0.8%の範囲にあり，平均0.2%前後の全窒素が含まれており，1%内外が無機態窒素で残りが有機態窒素であることは前述した通りである。地力窒素の量は土壌の窒素含有量，作土厚，作土の見かけ(仮)比重などによって異なってくる。土壌の窒素含有量を0.2%，作土層の厚さを15cm，作土の見かけ比重を1.0と仮定すると，その量は300 kg／10a・年（Nとして）となる。

水田への窒素の供給としては堆きゅう肥等の有機質肥料，基肥や追肥として施される硫安，その他の化学肥料等肥料によるもの，灌漑水や降水に含まれるもの，遊離窒素の固定によるもの，種子や移植苗自身が含有しているものが上げられる。支出の窒素は収獲，脱窒，溶脱，表面流出および雑草による持ち出しが上げられよう。以上の供給と支出のバランスがとれていれば，地力窒素は安定して保たれ，水稲栽培も安定した条件下で行うことができる。

近年の農耕の合理化に伴って，堆きゅう肥の施用量が次第に減少する傾向にあり，化学肥料による基肥と追肥による随時補給の方に重点が置かれるようになりつつある。このことは有機態窒素の投入が少なくなりつつあることを示し，これにより土壌中の有機態窒素，つまり地力窒素が次第に減少することが予想され，追肥等による窒素補給の重要性がますます大きくなることとなる。

(2) 施　肥

水稲は，我が国の基幹作物であり，基礎資料が豊富であるため，品種，地域，土壌類型，基準収量などによって施肥基準がきめこまかくつくられており，一概にその施肥量を述べることは困難であるが平均的には9 kg／10aであることは前章で述べた。

(3) 遊離窒素の固定

水田における遊離窒素の固定は，主として耕起前の田面に生育するマメ科植物とそれに共生する根粒菌によって行われる。根粒菌による窒素固定量は年間9 kg／10a以上にも及び，裏作にマメ科植物を栽培し緑肥として利用するならば，その量はかなりのものとなるが，全国的に普及しているわけでなく，平均的固定量を見積るのは難しい。非共生の固定菌によるものについては培地に無機態窒素があるときは窒素固定が起らないのでこの量はさほど重要ではない。

(4) 降水（雨水）

雨水中の窒素の起源は，主に雷雨のときの硝酸の生成（遊離窒素の空中放電による固定）であり，また脱窒による土壌からの酸化窒素，亜酸化窒素などが考えられているが，その量は農業上では重要ではなく，養分収支から見れば，雨水の浸透による溶脱，あるいは表面流出をもたらすため，こちらの方が問題とされている。

(5) 灌 漑 水

水田での灌漑水の使用量は1作当り1,200～1,500㎥／10a程度である。したがって灌漑水中に全窒素として1mg／ℓ含まれていれば，水田への供給は1.2～1.5kg／10aということになる。水質汚濁の影響の少ない水を灌漑水に用いるならば，農業上さほど重要ではないが，近年の湖沼等の富栄養化の進行に見られるよう窒素の蓄積が進んでおり，灌漑水からの窒素量は増加する傾向にあるといえよう。

(6) 収　穫

収穫物中に含まれる窒素は一般に約60%が地力窒素に由来し，残りの約40%が基肥，追肥を通じた化学肥料に由来するとされている。水稲においては玄米100kgの収量をあげるのに必要な窒素量は2.41kgとされている。

(7) 溶脱，脱窒，表面流出

脱窒による支出は土壌の性質，水管理，施肥法などによって大きく異なるが，一般に施肥化学肥料の40～60%は脱窒によって消失するとされている。溶脱については酸化層で酸化されて，還元層に移動した硝酸はすみやかに脱窒されるので，これによる窒素の損失は少ないとされている。表面流出による窒素の損失は極めて少ない。

3.3 土壌の窒素保持能

3.3.1 土壌の諸性質

土壌は岩石の破片やそれが風化して生成された大小さまざまの無機質の粒子や，動植物の遺体の分解物等から形成される有機質の腐植から成っている。これらは互いにくっついて団粒構造をつくり，団粒と団粒との間には孔げきがあり，土壌水，各種成分の移動や保持が行われる。

土壌は種々の粒子から成っているが，それらの粒子は種類，大きさなどはきわめて複雑である。土壌粒子は粒径によって礫，砂，粘土などに分類されるが，区分のしかたは必ずしも統一されているわけではない。表－3・1，表－3・2に国際土壌学会および日本農学会による区分法を示す。[2)]

また，土性については，日本農学会では粘土含量によって表－3・3のように区分を行っている。

表－3・1
国際法による粒径区分[2)]

粒　子	粒　径
礫	＞2mm
粗　砂	2～0.2mm
微　砂	0.2～0.02mm
シルト	0.02～0.002mm
粘　土	＜0.002mm(2μ)

表－3・2
農学会法による粒径区分[2)]

粒　子	粒　径
礫	＞2mm
砂　粗砂	2～0.25mm
細砂	0.25～0.05mm
微砂	0.05～0.01mm
粘土	＜0.01mm(10μ)

表－3・3
農学会法による土性区分[2)]

土性名	粘土含量(%)*
砂　土	＜12.5
砂壌土	12.5～25.0
壌　土	25.0～37.7
埴壌土	37.5～50.0
埴　土	＞50.0

*表－3・2参照

粘土はその表面が負の電荷を帯びており，電気的に正の電荷をもった物質が吸着されており，その性質によって土壌水中のイオン性成分が吸着，脱着され，土壌の養分保持能力に関連してくる。

3.3.2 吸　着

土壌による物質の吸着は，団粒構造の細孔への吸着や粘土表面の荷電性によるイオン交換作用による吸着がある。

粘土表面の負電荷によって生ずるイオン交換に起因する吸着は，作物の栄養成分，特に窒素成分の保持のために非常に重要である。窒素肥料は大部分がアンモニア態窒素の形で施こされるが，アンモニアは水中ではアンモニウムイオン（NH_4^+）の形で存在する。粘土表面のイオンの選択性はNH_4^+に対しては高く，アンモニアの吸着保持能力が高い。この土壌の負電荷の総量（イオン交換能力の総量）を土壌 100g 当りに対してミリ当量で表わしたものを塩基性置換容量（C. E. C ; Cation Exchange Capacity）と呼び，その大小は粘土含量，粘土の種類，腐植含量によって左右される。

表－3・4に示すように[9]，例えば山形県の埴壌土（粘土含量 37.5～50.0％）と三重県の砂壌土（粘土含量 12.5～25.0％）を比較すると，それぞれ 28.3，8.2 m.e／100g である。つまり，粘土含量が大きいほど塩基置換容量が高いといえよう。また，粘土鉱物の種類は数多いが，その結晶構造から次のように区分される[8]。

粘土鉱物
- アロフェン
- カオリン
- モンモリロナイト
- イライト

これら粘土鉱物の塩基置換容量を表－3・5に示すが，モンモリロナイト型は高いが，カオリン型は低い。これら粘土鉱物の分布としては，東北，関東，信越の米どころではモンモリロナイト型を主としており，西日本では佐賀平野のような干拓地を除きカオリン型が主となっている。

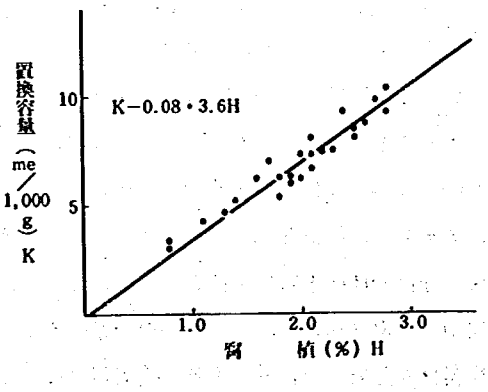
腐植については，その塩基置換容量が 200m.e／100g程度と大きく，土壌中の腐植含有量が1％増すごとに，その土壌の塩基置換容量が2程度増加することとなる。泥炭地などは腐植含量は高いが，普通の土壌では数％のものであり，一般に気温の低い北日本では分解の進行が緩いため腐植含量が高く，西南地方では低い。図－3・3および3・4[10]に腐植含量と塩基置換容量の関係を示すが，腐植含量と塩基置換容量には高い正の相関がある。

表－3・5　粘土鉱物の種類と塩基置換容量[8]

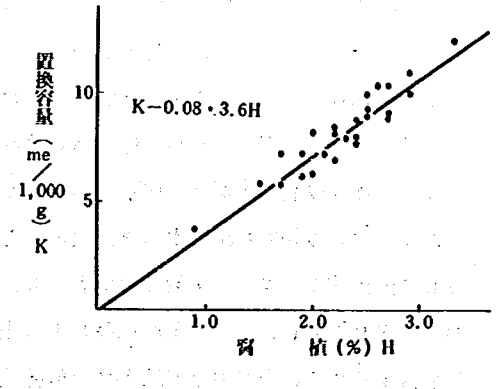
種　類	塩基置換容量 m.e／100g
カオリン型	3～15
イライト型	20～40
モンモリロナイト型	60～100

表－3・4　各地土壌の置換容量，水稲生産力，アンモニアの溶脱等[9]

場所	土性	主要粘土鉱物	塩基置換容量（ミリ当量／100g）	玄米収量（kg／10g）	添加アンモニアの溶脱（%）
岩手	埴壌土	モンモリヨン	23.1	531	
山形	〃	〃	28.3	583	1.0
長野	〃	〃	21.3	507	1.5
富山	砂壌土	カオリン	10.1	412	
石川	埴壌土	モンモリヨン	22.1	519	3.0
岐阜	〃	カオリン	9.2	414	31.5
三重	砂壌土	〃	8.2	329	45.0
滋賀	壌土	〃	—	473	
広島	砂壌土	〃	7.6	472	
山口	〃	〃	9.1	396	
宮崎	〃	〃	12.0	490	



図－3・3 腐植と塩基置換容量の関係（強グライ土壌）[10]



図－3・4 腐植と塩基置換容量の関係（灰色土壌）[10]

したがって土壌の塩基置換容量としては北日本では高く，窒素の保持能は高いが，西南日本では低い。

3.4 施肥窒素の土壌中における消長

施肥窒素の土壌中での消長は水管理，施肥条件，気象条件，土壌の種類などにより変わるもの

と考えられるが，施肥設計をするためには欠かせない情報である。ここでは施肥窒素の土壌中での消長を明らかにすることによって，慣行施肥法の意味づけを行う。

3.4.1　基肥窒素の土壌中における消長

一般に基肥窒素は幼穂形成期，時期的に見ると6月末頃までの消失するため，よほど地力（窒素）の高い土壌でない限り，多収を得るためには窒素の追肥が必要とされている。

基肥窒素を施用した場合，まず，田面水への溶解および地下浸透による溶脱について考える必要があるが，長谷川らの調査結果[11]を図－3・5に示すが，窒素施用量が㎡当り6g，分けつ期の日減水深が6～7㎜の条件で，施肥翌日，田面水のT－N濃度は12 ppm*で，基肥由来は7.2 ppmであった。基肥窒素の田面水溶存量は施肥翌日で約7％であるが，1週間後には1％以下である。浸透水の窒素濃度も施肥後1週間はやや高いがその後低濃度に推移したと報告されている。この結果から判断すれば，施用窒素は一時的に田面水中にその一部が溶解するものの，再び土壌中に移動し，また浸透水の窒素濃度は田面水に較べて少ないことから溶脱は少なく，その大部分は一旦は土壌中に保持されると言えよう。

土壌中の基肥窒素の消長については，庄子ら[12),13)]は表－3・6，3・7，3・8，3・9に示すように，土壌中の全アンモニア態窒素の中で施肥に由来する部分は施肥量の多いほど多く，初期ほどその割合が高いが，移植後経時的に減少し，年次，移植期の早晩，施用窒素の多少に関係なく，6月末にはほとんど消失したと報告している。また，この報告では基肥窒素の稲による吸収利用率は施肥量の22～27％であり，収獲後土壌に残存していた基肥由来の窒素は施肥量の18～21％であり，基肥窒素の回収率は半分以下であったと述べている。

土壌中に残存する基肥由来の窒素の分布については，長谷川ら[11)]は，表－3・10に示すようにそのほとんどが0～10cmの作土層に分布しているとしている。なお，この報告で基肥窒素は稲による吸収利用率が32.0％，土壌残存が33.6％，未回収が34.4％であったとしている。

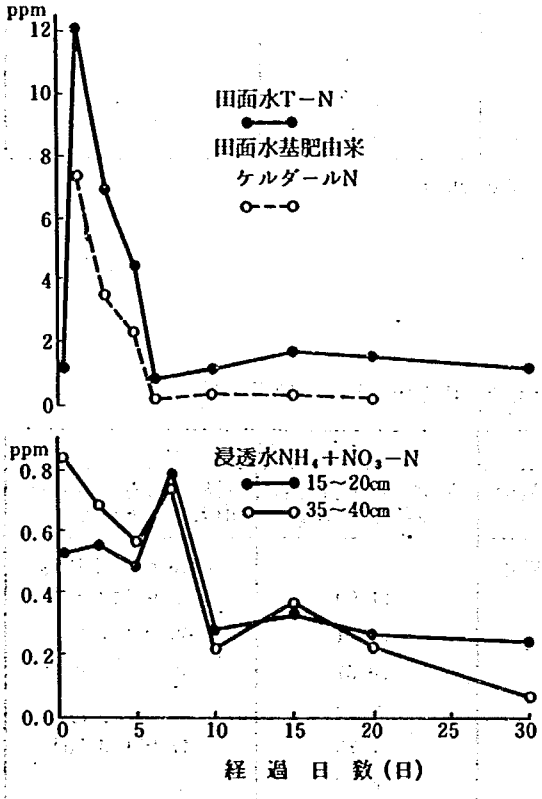
以上，両者の報告を総括すると，次のことが言えよう。基肥として施こされた窒素肥料は溶解して無機態（アンモニア態）窒素となり，大部分は一旦は土壌に保持されるが，その一部は稲に吸収利用され，一部は有機化等により土壌中に固定され，残りは溶脱，脱窒等により系外に消失するため，土壌中の基肥由来の無機態窒素は6月末までに消失する。基肥窒素の稲の吸収利用率は両者の報告から判断すれば30％前後であり，土壌中に固定された窒素量は20～30％程度と言えよう。土壌中で有機化により固定されたものは，稲作後期あるいは次年度以降無機化され吸収利用されるものと考えられるが，表－3・10に見られるように50日および120日経過後の基肥由来の残存量の低下は少なく，一旦有機化されたものが肥効を発揮するにはかなりの時間を必要とするようであり，当該年度の生育にはほとんど利用されないものと考えられる。

＊ppm：　ppm（parts per million）は，濃度の単位を示す記号で，試料中の物質の百万分の1を意味するが，試料の大部分が水の場合には水の比重がほとんど1に近いので，1 ppmは1 mg／ℓ（あるいは1g／㎥）と同一である。

6月末には基肥由来のみならず，土壌中の全アンモニア態窒素も極めて少なくなる時期でもある。したがってこれ以後，稲の生育に多量の窒素を必要とする場合，追肥が必要ということとなる。

表－3・6　試験区の構成[12)]

年度	施肥日	移植日	施肥量(kg/ha) N	P_2O_3	K_2O	品種	栽植密度
	月日	月日					株/m²
1969	5. 23	5. 24	60	60	60	フジミノリ	27.8
1970	5. 2	5. 06	0	80	80	ササミノリ	27.8
	(早植区)		70	80	80		
			150	80	80		
1970	5. 16	5. 21	0	80	80	ササミノリ	27.8
	(慣行植区)		70	80	80		
			150	80	80		



図－3・5　基肥施用後の田面水，[11)]
浸透水窒素濃度の変化

図－3・7　土壌中のアンモニア態窒素の[13)]
消長　(1969年，慣行少肥区)

サンプリング時期	アンモニア態窒素 mg/乾土100g	同左中に占める施肥由来の窒素の%
月　日		
5　26	7.26	
〃　30	6.60	62.2 (4.11) mg/乾土100g
6　3	8.55	
〃　10	6.88	
〃　17	3.61	38.4 (1.39)
〃　23	1.35	
7　4	0.19	12.4 (0.02)
〃　11	0.18	
〃　18	0.29	
〃　25	0.41	
8　1	0.37	
〃　7	0.78	
〃　15	0.57	
〃　22	0.28	

註）1. 施肥量：6gN/m²
2. 施肥日：5月23日
3. 田植日：5月24日

表－3・8　土壌中のアンモニア態窒素の消長（1970年，慣行区）[13]

サンプリング時期	少肥区 アンモニア態窒素 mg/乾土100g	少肥区 同左中に占める施肥由来の窒素の%	多肥区 アンモニア態窒素 mg/乾土100g	多肥区 同左中に占める施肥由来の窒素の%
月　日		( )内mg/乾土100g		
5　20	7.93	59.5 (4.72)	12.96	73.0 (9.46)
〃　26	6.34		9.13	
6　2	3.72	27.4 (1.02)	7.75	47.9 (3.71)
〃　8	4.39		8.48	
〃　15	0.79	15.2 (0.12)	4.04	45.3 (1.83)
〃　24	0.46	6.5 (0.03)	1.09	21.1 (0.23)
〃　30	0.28		1.48	
7　20	0.05		0.29	
8　3	0.19		0.23	
〃　14	0.18		0.36	

註）　1. 施肥量：少肥区　7g-N/m²，多肥区，15g-N/m²
　　2. 施肥日：5月16日
　　3. 田植日：5月21日

表－3・9　土壌中のアンモニア態窒素の消長（1970年，早植区）[13]

サンプリング時期	少肥区 アンモニア態窒素 mg/乾土100g	少肥区 同左中に占める施肥由来の窒素の%	多肥区 アンモニア態窒素 mg/乾土100g	多肥区 同左中に占める施肥由来の窒素の%
月　日		( )内mg/乾土100g		( )内mg/乾土100g
5　7	5.14	70.6 (3.63)	11.90	85.9 (10.22)
〃　14	6.54	56.4 (3.69)	13.11	69.9 (7.16)
〃　20	5.34	47.9 (2.56)	10.51	65.0 (6.83)
〃　26	5.44		9.29	
6　2	3.42	29.8 (1.02)	7.73	47.9 (3.70)
〃　8	4.20		6.92	
〃　15	1.45	25.5 (0.37)	4.92	45.9 (2.26)
〃　24	1.59	13.2 (0.21)	2.19	25.6 (0.56)
〃　30	0.62		0.71	
7　16	0.63		0.68	
8　3	0.17		0.20	
〃　14	0.23		0.35	

註）　1. 施肥量：少肥区　7g-N/m²，多肥区，15g-N/m²
　　2. 施肥日：5月2日
　　3. 田植日：5月6日

表－3・10　元肥窒素の土壌分布と残存量[11]

経過日数	深　さ cm	T－N %	同左 ^{15}N. excess %	元肥残存量[1] mg／枠		残存率[2] %
10日	0～5	0.21	0.20	114		60.2
	5～10	.20	.16	93 (95)		(47.9)
	10～15	.19	.03	20 (86)	253	
	15～20	.17	.02	12 (20)	(201)	
	20～30	.15	.01	14		
	30～40	.16	.00	0		
30日	0～5	.19	.12	60		27.6
	5～10	.19	.05	28		
	10～15	.18	.01	3	116	
	15～20	.16	.03	17		
	20～30	.14	.01	8		
	30～40	.14	.00	0		
50日	0～5	.20	.16	86		37.6
（幼穂形成期）	5～10	.20	.11	77		
	10～15	.19	.00	0	158	
	15～20	.16	.00	0		
	20～30	.15	.01	5		
	30～40	.15	.00	0		
12日	0～5	.21	.12	72		33.6
（跡　地）	5～10	.21	.08	53		
	10～15	.20	.01	6	141	
	15～20	.17	.00	0		
	20～30	.15	.00	0		
	30～40	.15	.01	10		

1）T－Nとしての残存量　但し（　）内NH_4+NO_3としての残存量

2）残存率＝残存量÷施肥量×100

（　）内NH_4+NO_3としての残存率

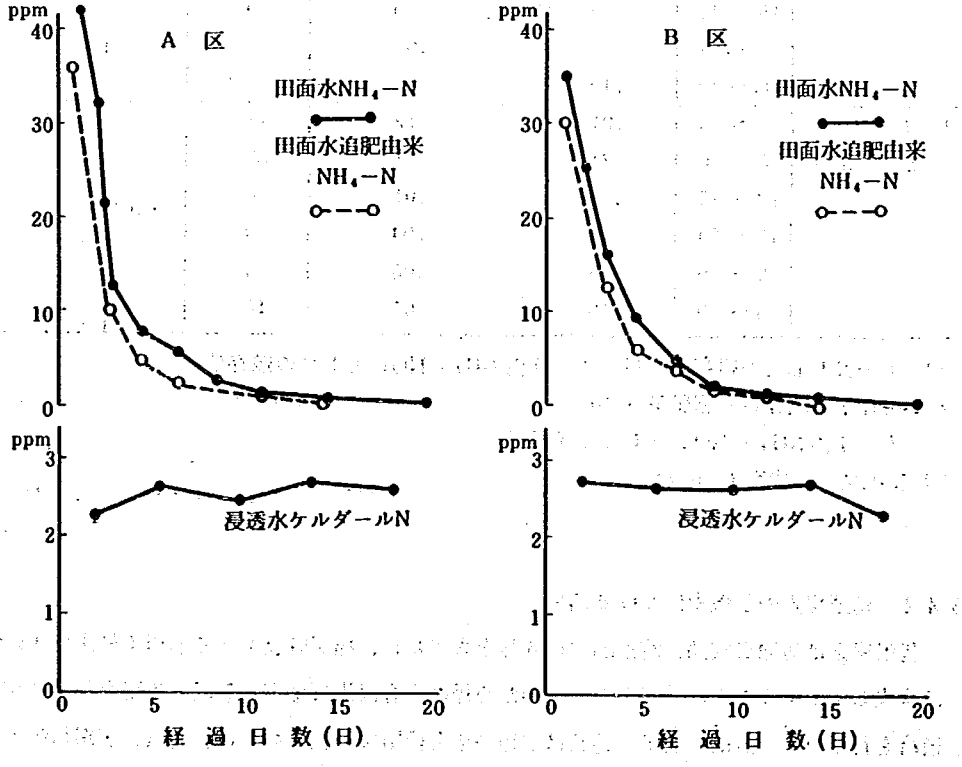
3）施肥量，　枠当り 0.42 g

3.4.2　追肥窒素の土壌中における消長

基肥窒素は幼穂形成期，時期的には6月末までには，稲が吸収しうる形態（無機態）の窒素は消失してしまうことは前述した。このため稲の生育段階に応じて数回の追肥を行って窒素の補給を行うのが一般的である。追肥は水稲の生育段階での施用のため，通常，表層施肥の形となる。ここでは水稲の生育時期別の追肥窒素の消長について述べる。

(1) 分けつ期追肥窒素

分けつ期追肥は有効分けつ子を多く確保する目的で施用するものであり，その施用期間は概ね，移植後30日を経過した頃である。長谷川ら[11]の調査結果では3 g/m² 施用の2区（A；田面水位1～2cm時に施用，施用後中耕実施，B；田面水位5～6cm時に施用，中耕なし）の条件では施肥翌日でA区で施肥窒素量の約12%が，B区で約50%が田面水に溶解し，田面水深の違い，中耕の有無によって田面水溶存量に著しい差異があること，図－3・6 に示すように田面水の窒素濃度は日数の経過とともに減少すること，浸透水にはほとんど変化ないことが報告されている。また同報告では土壌中の窒素の挙動についても述べてあり，表－3・11に示すように分けつ期追肥の稲による吸収はAで24%，Bで16%であり，土壌残存がAで45%，Bで48%であり，未回収はAで31%，Bで36%であることも述べている。なお，稲の吸収できる無機態の窒素の存在期間については同程告では明示されてないが，表－3・12においては，施肥後20日目にはA，Bとも土壌中のアンモニア態窒素が5日目よりかなり減少していることなどから判断すれば，20日目に存在する無機態窒素のうちの施肥由来のものは極めて少量と考えられる。なおこの時期は6月末に当る。これについては和田ら[14]も分けつ肥由来のアンモニア態窒素は6月末には土壌中に残存するものはきわめてわずかとなり，基



図－3・6　分けつ期追肥施用後の田面水，浸透水窒素濃度の変化[11]

肥窒素の消失する時期と一致するとしており，この結果と一致するため，分けつ期追肥に由来する土壌中のアンモニア態窒素は基肥由来のものと同様，6月末には消失してしまい，ここまでに吸収される窒素量は投与量の約 1／4 であり，投与量の約半分は当作には寄与しない形態となって固定され，土壌に残存するといえよう。

表－3・11　分けつ期追肥窒素の分配[11)]

① A区			
月　日	吸　収	土壌残存	未回収
	%	%	%
6.13	9.2	85.3（5.5）	0
28	26.2	60.7	12.8
9.28	24.1	45.3	30.6
② B区			
月　日	吸　収	土壌残存	未回収
	%	%	%
6.13	6.9	45.3（15.0）	32.8
28	12.7	49.6	37.4
9.28	15.9	48.3	35.8

6月8日　3g／m² 施肥
（　）内　田面水中溶存率

(2) 穂肥窒素

穂肥窒素の消長については，長谷川ら[11)]の調査結果では2g／m² 施用の2区（A；飽水状態施肥，翌日入水，B；田面水位4～5cm時に施肥）の条件では図－3・7に示すように穂肥窒素の田面水溶存期間は基肥，分けつ期追肥と較べてかなり短く，下層へ移行しやすいとしており，この理由として中干しがあるため日減水深が大きくなること，間断灌漑が行われることを上げている。穂肥窒素の配分としては両区で大差なく，収穫時で稲の吸収が56～59%，土壌残存が37～41%，未回収が3～4%としており，稲による吸収が大きいとしている。土壌中から穂肥由来のアンモニア態窒素の消失する時期については和田ら[14)]は施用10日後にはほとんど消失したとしている。

(3) 減数分裂期追肥

減数分裂期追肥では，和田ら[14)]の結果によれば早植および普通期栽培とも，土壌中の追肥由来のアンモニア態窒素は施用8日後には大部分が消失していたと報告されている。

(4) 出穂期追肥

出穂期追肥では，和田ら[14)]の結果では追肥由来の土壌中のアンモニア態窒素は6～7日

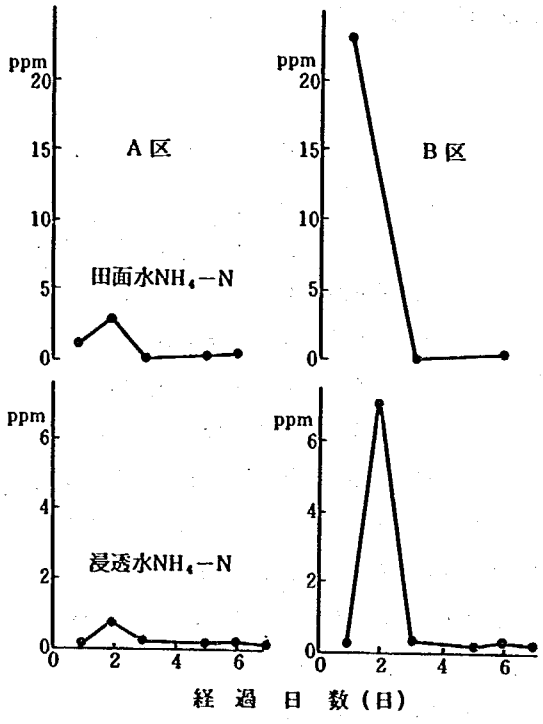
表－3・12　分けつ期追肥窒素の土壌分布と残存量[11)]

区	経過日数	深　さ	T－N	追肥残存量[1)]		残存率[2)]
		cm	%		g/m²	%
A区	5日	0～5	0.22	2.08 (1.09)		85.3
		5～10	.22	0.34 (0.15)	2.56	(41.3)
		10～15	.21	0.14 (0.00)	(1.24)	
	20日	0～5	.22	1.38		60.7
		5～10	.22	0.30	1.82	
		10～15	.21	0.14		
	110日（跡地）	0～5	.22	0.66		45.3
		5～10	.21	0.23		
		10～15	.20	0.22	1.36	
		15～20	.19	0.25		
B区	5日	0～5	.23	1.12 (0.59)		45.3
		5～10	.23	0.24 (0.01)	1.36	(20.0)
		10～15	.23	0.00 (0.00)	(0.60)	
	20日	0～5	.23	1.02		49.6
		5～10	.24	0.20	1.49	
		10～15	.24	0.27		
	110日（跡地）	0～5	.23	0.81		48.3
		5～10	.23	0.34		
		10～15	.22	0.21	1.45	
		15～20	.22	0.09		

1)　T－Nとしての残存量　但し（　）内 NH_4－Nとしての残存量

2)　残存率＝残存量÷施肥量×100　（　）内 NH_4－Nとしての残存率

3)　施肥量，m²当り3g



図－3・7　穂肥施用後の田面水，浸透水窒素濃度の変化 [11)]

以内に消失し，一方，稲の追肥窒素の吸収は7日以内で終了し，追肥後3日目には最大吸収量の90～95%に達していたとしている。

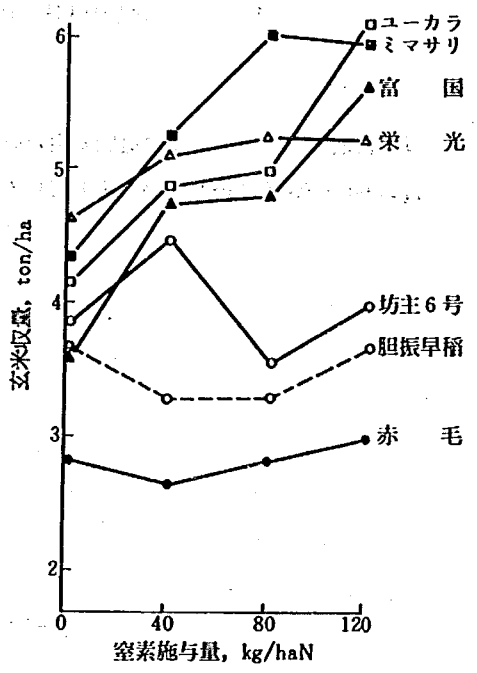
4. 稲の生長と窒素の利用状況

4.1 窒素の役割

窒素（N）は稲体を形作るタンパク質の成分元素として，原形質を構成するうえで主要な成分である。例えば，葉緑素や核はその構成成分として，タンパク質をそれぞれ約50%と70%含み，また原形質の膜構造はすべてリポタンパク質よりなっている。このように細胞の構造的な役割とともに，窒素は生物学的に重要な多種類の化合物（アミノ酸，核酸塩基，葉緑素，種々の補酵素や植物ホルモン，ビタミンなど）の成分であり，また酵素はすべてタンパク質である。

窒素が十分に供給され，また他の条件が適当であれば，吸収された窒素は速やかにタンパク質などの多くの化合物に同化され，葉面積は大きくなり，葉緑素含量も大となり，その結果，光合成量は増大し，稲の生育は促進される。しかし，吸収窒素が過多となると光合成された炭水化物がタンパク質の合成に使われてしまい，細胞壁を構成するためのセルロースの合成やデンプンの集積が低下し，作物組織は軟弱になって病虫害や機械的傷害に対する抵抗性が少なくなりやすい。また窒素過剰は茎葉を過繁茂にし，成熟の遅延をもたらし，わらに対する穂の収量割合を低下させる。逆に，窒素不足となると，古い葉のタンパク質が分解され，その窒素が新葉で再利用されるので下葉から枯れ上がり，稲の生育は貧弱になる[15]。

玄米収量を500 kg／10 a程度得ようとすると，水稲の窒素吸収量は12kg／10 a 程度となり，稲体が必要とする養分中で窒素が最も不足がちな養分であり，そこで肥料として窒素を施すのであるが，過剰に施すと逆に好ましくない影響を及ぼすことも多く，稲の品種，土壌の性質，気象などを考して供給することが肝要とされている。図－4・1[15]に窒素施用量と収量の変化の例を示す。この試験は，よく管理された沖積地の水田でいくつかの品種を供試し，窒素施用量を増加していった場合の収量の変化を見たものである。2～3の品種を除いて窒素施用量が増加すると収量も増加するが，その増加は正比例するのではなく，施用量の増加にしたがって，その効果が減少してゆく場合が多い。この傾向を報酬漸減の法

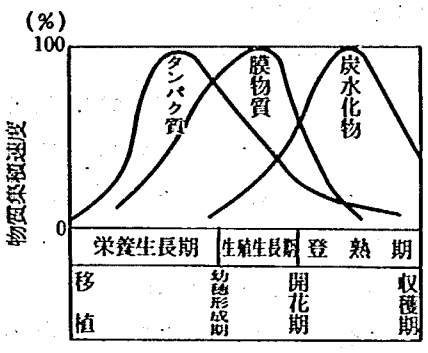


図－4・1　北海道における各種水稲品種の窒素用量試験結果（川上農試，1967）[15]

則と呼んでいる。この現象のため，最高収量を得るための生理的な最適施用量と，最大収益を得るための経済的な最適施用量との間にはくい違いが生じるのが一般的である。また，同図においては，ある施用量をこえるとむしろ負の効果を呈する品種も見られる。したがって稲の品種や他の環境（土壌の性質，気象，水管理など）を考慮した，適切な施用が重要であることが理解できよう。

4.2　各生育段階における窒素の役割と窒素施肥

作物は発芽から成熟期にいたるまでに，器官の分化，体組成の変化，光合成や養分吸収能などの生理的変化をとげる。この生理的変化や養分要求度の変化から特徴あるいくつかの区分に分けられるが，このように分けた区分を栄養期と呼ぶ。稲の生育の過程を苗代期，栄養生長期，生殖生長期，および登熟期の4つの段階に分けて考え，各生育段階に要求する養分および窒素の役割と標準的な施用窒素量を表－4・1に，図－4・2に水稲の生育に伴う有機物集積速度曲線を示す。



図－4・2　水稲の生育に伴う有機物質集積速度曲線（模式図）（田中，1969）[2)]

表－4・1　各生育段階の生育過程，窒素の役割，および窒素施肥量

生育段階	生育の過程	稲体に集積する物質の主体	要求する養分	窒素の役割，および窒素施肥量
苗代期	苗が移植できる程度に育つまでの時期			苗の成長。
栄養生長期	移植時から幼穂形成期までの生育時期で主として分けつが盛んに進行する。穂数の決定期。	タンパク質	窒素，リン酸，イオウの多量を吸収する。カリ，石灰も吸収。	茎数の増加および伸長。穂数の増加。（地力窒素 100～400kg／10a）基肥窒素；2～15kg／10a 分けつ期追肥；1～4kg／10a
生殖生長期	幼穂形成期より開花期までの時期で，幼穂における穎花の分化，発育が行われる。一穂粒数の決定期。	リグニン セルロース（膜物質）	窒素を引続き多量に吸収，リン酸の吸収もさかんで，苦土の吸収も多い。カリ，石灰も吸収。	一穂粒数の増加。 ・穂肥（穂首分化期および2次枝梗分化期追肥） ・減数分裂始期追肥 ・出穂期追肥 窒素量 各1～4 kg／10a
登熟期	子実が充実する時期。千粒重の決定期。	炭水化物	窒素，リン酸，イオウなどの茎葉より穂への移行がさかんに行われる。	穂孕期より開花期に吸収された窒素は登熟期間中の植物体の窒素含有率を高く保ち，盛んな同化作用が長期間維持され，千粒重を増加させる。

次に，稲の生育段階を追って，苗代期施肥窒素，基肥窒素および追肥窒素の稲による吸収ならびに地力窒素の稲による吸収について述べる。

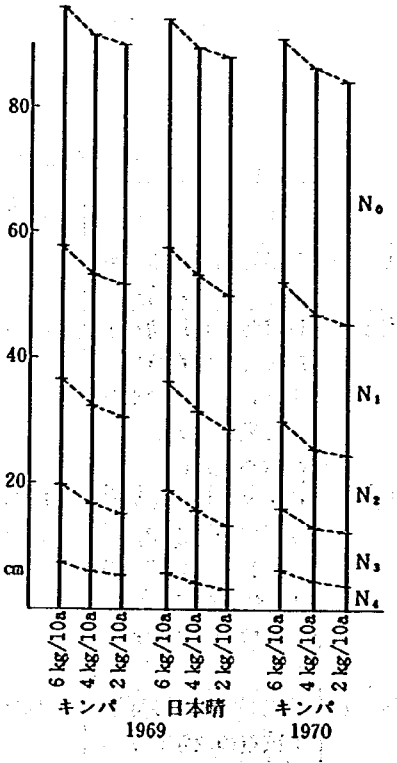
4.2.1 苗代期施肥窒素

苗代期は，種子が発芽し水稲苗に生育するまでの期間であるが，種子の発芽は種子自身が持つ養分によって行われ，根の発育後，ようやく窒素の吸収がはじまる。したがって窒素の吸収の面から見ればその期間は短かい。また，通常，播種は小面積にかなりの数を播くこととなり，面積当りかなり多量（例えば80kg／10a）の窒素施用を行っても一種子当りの施用量としてはごくわずかとなり，その吸収量としては極めて小さいのが一般的である。

4.2.2 基肥窒素

苗の移植時に施す基肥窒素量は，稲の品種，地力窒素量，および気候などによってかなり異なっているが，2～15kg／10a程度施用されているようである。基肥窒素の役割は栄養生長期で主として盛んに分けつが進む時期に窒素を供給するものであり，基肥窒素を施さない場合にも稲は地力窒素の一部を吸収することにより生育するが，茎数の増加割合が少ないことから穂数の増加が少なくなり，また茎の伸長が抑えられるため収量としては減少となる。逆に過剰の基肥窒素の施肥は，茎数の過剰増加による充実度の減少および茎の過度伸長をもたらすとされている。図－４・３は基肥窒素の施用量を変えた場合の節間伸長の変化を示した例[16]であるが，基肥窒素量が多いほど倒伏に関与しやすい下位節間（N3，N4，N５）が伸長し，基肥窒素の多肥は耐倒伏性の点でマイナス要因となるとされている。

稲による窒素の吸収についてみると，生育の初期は基肥由来のものを吸収する割合が高いが，生育が進むにつれてしだいに減少し，出穂期ではその吸収比率は，基肥窒素施用量によっても異なるが，20～40%程度のものとなる。



図－４・３　基肥窒素量の違いによる節間伸長の変化[16]

4.2.3 追肥窒素

一般の稲作では生育段階に応じ数回の追肥を行い，窒素の補給を行う。１回の追肥窒素量は多くの場合，およそ１～４kg／10a程度であり，１回もしくは２回の追肥を行っているようである。追肥の

時期や施用量については，土壌の性質，気象条件，および品種等も考慮したうえで決定されるため，一概に述べることは難しい。

追肥による増収効果については，施肥量が極めて少ない場合を別にすれば，表－4・2に示すように基肥としてある程度の施用がなされていれば，その増収率はさほど大きなものではないようである。なお，追肥窒素の吸収利用率については，基肥窒素などから較べるとかなり高いとされている。

4.2.4 地力窒素

地力窒素は施肥前にすでに水田土壌に含まれている窒素の総称であり，耕地土壌の窒素含量を0.2％，作土層の厚さを15cm，作土の見かけ比重を1.0と仮定すれば，その窒素量は300 kg／10 aとなることは前章で述べた通りである。通常，施肥として用いる窒素量は9kg／10a・年とすれば，土壌が持っている窒素量はいかに大きいか容易に理解できる。水稲栽培では通常，窒素施肥をしなくとも約7割程度の収量があるとされているが，これは地力窒素の一部を吸収して生育するからである。

稲の吸収する全窒素量のうち地力窒素の占める割合は，表－4・3に示すように出穂期で40～80％（平均60％）程度とされている[17]。

表－4・2 追肥による増収効果[14]

追肥時期		追肥量	精玄米収量
	年月日	kg／ha	ton／ha
分けつ期（早植）	1970. 6. 2	25	6. 28
穂首分化期	1970 6. 30	25	6. 05
2次枝梗分化期	1969. 7. 4	30	—
減数分裂始期（早植）	1970. 7. 16	25	6. 22
減数分裂始期	1970. 7. 20	25	6. 38
出穂期	1969. 8. 1	30	—
出穂期	1970. 8. 3	25	6. 46
対照（早植）（基肥のみ）			6. 05
対照（慣行）（基肥のみ）			6. 20

4.3 窒素の利用形態

土壌中に存在する窒素化合物の形態は以下のようになる。

○無機態窒素

- アンモニア態窒素
- 亜硝酸態窒素
- 硝酸態窒素

表－4・3　水稲による施肥窒素および地力窒素の吸収[7)]

年度（圃場）	試験区	移植月日	基肥窒素量	苗の種類	品種	基肥窒素消失時*		出穂期		基肥窒素**利用率	基肥窒素消失時地力窒素吸収割合	出穂期地力窒素吸収割合
						施肥由来	地力由来	施肥由来	地力由来			
		月日	g／m²			g／m²	g／m²	g／m²	g／m²	%	%	%
1972（小田原）	1	5. 6	7	成苗	ササミノリ	1. 96	4. 05	2. 13	6. 74	30	67. 4	75. 9
	2	5. 6	7	成苗		2. 11	4. 08	2. 17	6. 90	31	65. 9	76. 1
	3	5. 22	7	成苗		1. 82	3. 38	2. 01	6. 36	29	65. 0	76. 0
	4	5. 6	15	成苗		4. 10	3. 79	4. 08	7. 92	27	48. 0	66. 0
	5	5. 6	15	成苗		4. 11	3. 70	4. 01	8. 15	27	47. 4	67. 0
1973（高館）	1	5. 1	6	稚苗	ササニシキ	2. 55	2. 07	2. 56	5. 89	43	44. 8	69. 7
	2	5. 10	6	稚苗		2. 35	1. 62	2. 64	5. 47	44	40. 8	67. 4
	3	5. 19	6	稚苗		1. 89	1. 05	2. 59	5. 54	43	35. 7	68. 1
	4	5. 19	6	成苗		2. 17	1. 47	2. 72	4. 47	45	40. 4	62. 2
1974（高館）	1	5. 7	7	稚苗	ササミノリ	—	—	2. 77	3. 77	40	—	57. 6
	2	5. 25	7	成苗		—	—	2. 82	3. 00	40	—	51. 5
	3	5. 25	7	稚苗		3. 13	1. 66	3. 15	3. 09	45	35. 2	49. 5
	4	5. 8	7	成苗		2. 70	1. 12	3. 01	3. 59	43	29. 3	54. 4
	5	5. 12	15	成苗		5. 09	1. 76	5. 05	3. 06	34	25. 7	37. 7

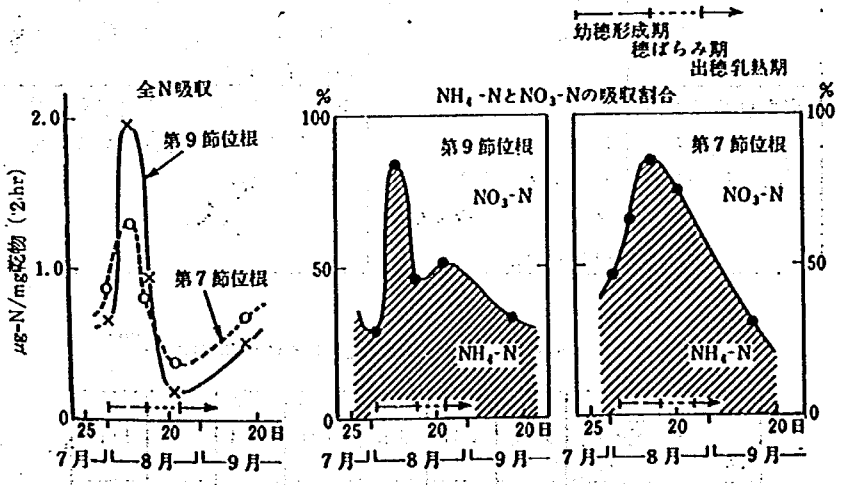
注　*：1972と73年は6月30日の値　　**：出穂期の施肥窒素吸収量によって計算した。
　　1974年は6月28日の値

○有機態窒素

これらの形態の異なる窒素化合物について，水稲による吸収性およびその利用効率と，窒素肥料について以下で述べる。

4.3.1　アンモニア態窒素（NH_4-N）

アンモニア態窒素は，そのままの形態で根から吸収されやすく，土壌中の窒素化合物の中で最も利用効率が高い形態である。また，アンモニア態窒素は陽イオンであることから土壌中に吸収されやすく，また還元状態下では安定であることなどから，大部分が還元状態となる水田土壌においては流亡しにくい利点があり，窒素肥料としてはアンモニア態窒素が最も一般的に用いられており，肥料，肥効の分野の研究はほとんどこの形態で行なわれている。また，土壌中の有機態窒素も微生物によりアンモニア態窒素に分解・無機化され，稲に吸収されることとなる。稲の吸収する窒素形態としては図－4・4に示すように，窒素の吸収同化が盛んな時期ほどアンモニア態窒素を吸収する比率が高いとされており[2]，稲の吸収する窒素の多くの部分がアンモニア態窒素であるといえよう。



図－4・4　イネ主稈節位のN吸収（Barat, G.K.，平田，三井，1969）[2]

アンモニア態窒素の肥料（形態の変化によって，稲に吸収される形態がアンモニア態窒素であるものも含む）の例とその特徴を表－4・4に示す。なお，稲作における肥料・肥効に関する研究では窒素肥料として硫安（$(NH_4)_2SO_4$）が用いられるケースが最も多い。

窒素肥料を用いる場合，吸収過剰による障害とともに，高濃度による生理障害についても考慮しておく必要がある。水耕試験においては，アンモニア態窒素40ppmでは稲の生育が著しく妨げられたという報告がある[18]。また，最近施肥の省力化を目的として，液体肥料の施用も実用化されつつあるが，この場合の灌漑水中の窒素濃度としては，施肥の均一性等を考慮した値として30ppm程度が適当であるとされており[19),20),21),22]，高濃度液肥の稲体への影響として，

表－4・4　アンモニア態窒素の肥料

肥料の種類	肥　料　の　例	特　　徴
アンモニア態窒素を含む肥料	硫　安　$(NH_4)_2SO_4$ 塩　安　NH_4Cl リン安　$(NH_4)_3PO_4$	水によくとけるので水稲にそのままま吸収され速効性である。しかし，陽イオンであるため土壌中で高濃度になりにくい。
尿　素　肥　料	尿　素　$(NH_2)_2CO$ （形態の変化） 土壌中で分解され炭酸アンモニアに変化し，稲に吸収される。	水によく溶けるが電解質でないため，土壌中への吸着はよくない。そのため，施与直後に流亡の危険性もある。
シアナミド態窒素肥料	石灰窒素　$Ca(CN)_2$ （形態の変化） 土壌中で尿素となり次いで炭酸アンモニアに変化し，水稲の養分となる。	水に溶けるが作物には有害である。石灰窒素が水稲葉に附着すると葉緑素は分解され，葉身は赤褐色に変化する。左記に示す形態変化には７日から10日間を要するので，荒起時に散布するのが常である。
蛋白態窒素肥料 （有機態窒素肥料）	魚　肥 植物油脂類 （形態の変化） アンモニア態窒素に分解される。	土壌中でアンモニア態窒素に分解されるまで時間がかかるので遅効性である。

表－4・5　液体窒素肥料の流入濃度と幼植物の被害[20)]

濃度＼施肥後経過時間	直後	2日	3日	5日	7日	10日	12日
0 ppm	○	○	○	○	○	○	○
200	○	○	○	○	○	○	○
500	○	○	○	○	◑	◑	◉
1,000	○	○	○	◑	◉	◉	●
2,000	○	○	◑	◉	●	●	●
3,000	○	○	◑	◉	●	◕	●
5,000	○	○	◑	◉	●	●	●
10,000	◑	◉	◉	●	●	●	●
20,000	◑	◑	●	●	●	●	●

注：○ 健　全　◑ 葉身の黄化または萎縮
◉ 枯死寸前　● 枯　死
流入期間は 8－8－8 の成分
流入水深は 7 cm，4 葉期に流入

乾田直播水稲の4葉期における施用例では表－4・5に示すように，200 ppmまでは全く障害が認められなかったと報告されている[20]。

4.3.2　硝酸態窒素（NO_3－N）

作物の窒素源として，アンモニア態窒素と硝酸態窒素（NO_2－N）のいずれが適するかについては古くから研究が行われており，水稲は硝酸態窒素よりもアンモニア態窒素を好む作物であるとされているが，一方では，生育の前半はアンモニア態窒素をよく吸収するが，生育の後半はむしろ硝酸態窒素をよく吸収するともされている[23]。

硝酸態窒素を含む肥料としては，硝酸アンモニウム（NH_4NO_3），硝酸ソーダ（$NaNO_3$），硝酸カリ（KNO_3）などがあり，(1)アンモニウム塩（アンモニア態窒素肥料）は硫酸根や塩素などの土壌を酸性化したり塩類濃度を高める陰イオンを含有するが，硝酸根はそれ自体が有効に吸収される形であるため，土壌に悪影響を残さないこと，(2)とけやすく，またそのままの形態で植物に吸収され，より速効的であること，(3)過剰吸収での生理的障害が少ないこと，(4)低温下での吸収がよいこと，(5)石灰，苦土，加里などの吸収を妨害しないなど，数多くの長所を有している反面，(1)硝酸態窒素は陰イオンであるため土壌に吸着される量が小さく，流亡，溶脱が多い，(2)水田土壌などの還元性土壌では脱窒による損失が大きいこと，などの欠点があり[2]，一般に肥料経済の面からはアンモニア態窒素に較べると劣るとされている。一方では肥効持続期間が短いなどの欠点を逆用し，生育調整する上で便利な肥料として用いるなどの研究も進められている。

硝酸態窒素の肥効については，硝酸態窒素を全窒素の約40％を含む化成肥料で穂肥以降に施用した場合の利用率の平均は，アンモニア態のみの肥料では約58％であるのに対し，約49％であったとされており，またアンモニア態窒素と同量追肥しての増収事例については数多くはないとされており[2]，やはり肥効としては劣るようである。

なお，硝酸態窒素濃度の生育に対する生理的影響であるが，水耕試験によれば硝酸態窒素40 ppmまでは有害作用が認められなかったという報告がある[8]。

4.3.3　亜硝酸態窒素（NO_2－N）

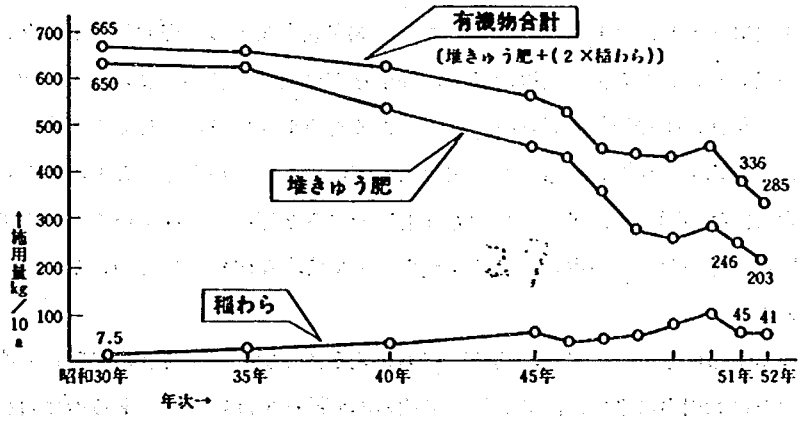
亜硝酸態窒素はアンモニア態窒素が微生物による硝化作用をうけ，硝酸態窒素に変化するまでの中間物質であり，非常に不安定な形態である。土壌中のpHが高いか，低い場合においては一時的に亜硝酸態窒素が集積することもあるが，通常，高濃度（1 ppm以上）に存在することはなく，水稲の生育にはほとんど影響を及ぼさないと考えられる。なお，亜硝酸態窒素と稲に生育に関する研究はほとんどなされてないが，亜硝酸性窒素を15 ppmとした水耕栽培においては，3～4日目より葉先が枯れ始め，根全体が褐色に害作用を示し，8月13日に行った養分吸収試験においては養分吸収機能がほとんど完全に停止しているのが明らかとなり，同時に実施した根の組織切片観察では根の皮膚が完全に崩壊し，また，支根の異常発生が見られたと報告されており[18]，高濃度に集積した場合は有害といえよう。

なお，亜硝酸態窒素を含む肥料としては，その例はない。

4.3.4 有機態窒素

有機態窒素としては，もともと土壌中に含まれている有機物や堆きゅう肥，稲わら，魚肥，植物油脂等の添加有機物，有機質肥料等に含まれるものである。これらの有機態窒素は，そのままの形では吸収されず，微生物によって分解，無機化されてはじめて吸収されるのは前述した通りである。したがって他の化学肥料は速効性のものといえるのに対し，有機態窒素は遅効性の肥料といえよう。

稲の吸収する窒素のうち地力窒素に由来する部分は大きい。地力窒素を維持することは収量を安定させる上で重要であり，この意味で有機物の施用は重要であるが，図－4・5に示すように有機物の施用は年々減る傾向にあり，地力の低下が問題となってきている。



図－4・5 水稲への有機物施用量の推移[1)]

4.4 窒素過多と稲の生育

4.4.1 窒素過多と稲の生理[18)]

窒素が適量に存在することは水稲の炭酸同化作用を促して澱粉の生成を増加し，分けつや穂の生長を促して増収の基礎をつくるが，過剰の窒素は茎葉を繁らせるが澱粉の蓄積を少くし，各種の病虫害や災害による被害を多くする。稲は窒素，例えばアンモニアを多く吸収するとアンモニアを蛋白質に合成するのが間に合わないで，体内にアンモニアの過剰蓄積が起る。ところが，アンモニアは水稲の細胞に有害であるので過剰にたまると稲は生理的に害をうけて，その結果としてイモチ病にかかり易くなったり，風水害に弱くなったりする。窒素を多用しなくとも日照不足，冷水かんがいおよび土壌水分の不足等炭酸同化作用のおとろえる状態では体内のアンモニア含量が増大して病虫害や災害に対する抵抗性が弱くなる。また，カリが不足するとアンモニアの蛋白質への合成が妨げられるので体内にアンモニアが過剰に蓄積されて同じような結果となる。

アンモニアを多量に吸収すると呼吸作用が高まって，澱粉，糖が呼吸作用の材料に消費されるのと重り合って，多くの場合一時的ではあるが体内の澱粉の蓄積が少くなる。こういう状態が長く続くとアンモニア吸収過剰の害がますますひどくなる。

一般に，澱粉からセルロースリグニンがつくられ，これらが細胞の膜壁にたまると植物体は硬く丈夫になるが窒素を吸収しぎると澱粉，糖の不足のためにこれらの生成が少くなって体は軟弱となり，倒伏したり病虫害をうけたりする。従って，窒素の吸いすぎの状態が永く続くと茎葉の生長は一見良好であるが非常に危険状態である。

（倒伏）

窒素の過剰による最もおそろしいのは倒伏の誘発である。倒伏の原因は栄養的なもののほかに病虫による稈基部の組織の弱化，メイ虫による食害などもあるが，これらも結局は窒素過多により助長されることが多い。窒素の直接的な影響は組織の軟弱化と節間長の徒長によるものが主なものである。

特に，下部の伸長は窒素の施用法と密接に関係し，下部節間の伸長する時期（大体無効分けつ期に一致するようである）に窒素をひかえることによって防止できる。例えば，同一窒素量を全部基肥でやったものと一部穂肥にまわしたものとでは，下部節間の伸長は基肥量の多い全量基肥区の方が大で，この点から言えば適当な分施は，倒伏防止に効果的であるといえよう。

（稔実障害）

窒素過多による稔実障害は稔実期における同化産物の移行障害と着もみ数の過多による稔実不良の2種の原因が主なものとなっておこるものである。稔実期には光合成量は窒素の多いものほど大であるが葉身中に窒素が多すぎると，糖の移行は最初の間妨げられ，稔実後期に入ってようやく盛んになる。しかし，窒素が少ない場合は稔実初期から移行する。

稲の穂は出穂がほぼ一定日数を経過すると茎葉部はたとえ濃緑色を呈していても，穂のほうは黄色くなり胚乳もかたくなって，移行してくる糖分をうけいれることが困難となる。したがって，窒素過剰の稲の葉は同化力を依然として保持していても，もみが葉から移行してくる糖分を十分に受け入れないうちに老熟してしまう。このような現象は出穂後のワラの窒素含有率が1.3～1.5％をうわまわる場合におこる可能性がある。

これに対して，もみ数決定期における窒素過剰は不必要に着もみ数を増加させる結果，葉身の同化が全もみの充実を満足させ得ないで，屑米の増加をまねくことになる。したがって，もみ数決定期の窒素栄養は適当なもみ数の確保に必要な窒素状態にとどめるべきである。

4.4.2　窒素過多の被害発現状況

稲の生育に有害となる窒素の限界濃度について言及した論文は数が少なく，また，稲の品種，土壌の性質等のちがいによっても，生育に必要な窒素量が異なり，過多となる窒素量を一概に定めることはむずかしい。

下表に各生育段階に見られる窒素過多による稲の生育被害発現状況をまとめた。

表－4・7　窒素過多と稲の生育被害発現状況

生育段階	窒素過多にみられる水稲の生育被害状況
苗代期	苗の徒長。
栄養成長期	移植時……苗の活着が悪い。（初期生育が悪くなる） 分けつ……分けつ茎数が多くなり，不必要な茎が生じると同時に茎の充実度は悪くなる。（有効茎歩合減少） 節間長……節間，草丈がのびすぎ，また軟弱になりやすい。特に下位節間長の伸長は，倒伏の原因になる。 幼穂形成……過繁茂になりやすく，その結果収量が減少する。
生殖生長期	成熟が遅れ無効分けつが多くなり，収量が少なくなる。 倒伏，また過繁茂により受光体制が悪くなり，受光能率の低下により光合成量が減少する。その結果，退花頴花数が多くなり，また，一穂粒数も減少する。
登熟期	受光体制の悪化により光合成量減少し，千粒重，収量が減る。 登熟歩合の低下もみられる。

5. 灌漑水中の窒素の稲作への影響

前章で述べたように，窒素の過多は稲の生育にさまざまな影響を及ぼすが，このことは施肥等，栽培条件のみならず，灌漑水中に含まれる窒素化合物によっても引きおこされる場合もある。最近の都市化の発達により，農業用水の汚濁によるものもかなり見うけられるが，下水処理水にもかなりの窒素化合物が含まれており，農業用水路や農業用水を取水している河川の上流での放流，あるいは下水処理水を農業用水（あるいは補給水）として，直接または間接的に利用する場合には，灌漑水によってもたらされる窒素による影響について充分検討しておく必要があろう。例えば，水稲栽培期間の灌漑水量を 1,500 mm／1 作（1,500 m³／10 a・作）とすると，灌漑水中の窒素濃度 1mg／ℓ 当り 1.5kg／10 a の窒素がもたらされることとなり，注意が必要である。

灌漑水中に含まれる窒素による過剰障害の発生は，灌漑水中に含まれる窒素を稲が直接吸収することによって生じるものと，灌漑水中の窒素が栽培土壌中に蓄積されこれを間接的に吸収することによるものとが相乗して表われるとされている。なお，水稲の吸収する窒素を施肥窒素，地力窒素（土壌窒素），灌漑水窒素と大別すると，水稲の生育時期別の吸収されやすさは次のようになるとされている[24]。

(1) 分けつ期： 施肥窒素＞地力窒素＞灌漑水窒素

(2) 最高分けつ期： 地力窒素＞施肥窒素＞灌漑水窒素

(3) 幼穂形成期以降： 灌漑水窒素＞地力窒素

したがって，灌漑水中の窒素による直接，間接的な影響については，生育後期に大となるといえよう。

灌漑水中に含まれる窒素によって生ずる水稲の窒素過剰障害の被害発現については，前述したように灌漑水中の窒素を直接吸収することによるものと，土壌に蓄積された後，間接的に作用する相乗効果があること，窒素の形態には各種のものがありその形態によって稲による吸収程度，土壌への蓄積程度も異なってくることおよび，通常，灌漑水に高濃度の窒素が含まれる場合には多量の有機物も含まれることも多く，これが分解する際に生ずる還元化も被害を助長することなどによってその機構をとらえるのは難しいが，いくつかの文献を用いて整理していく。

5.1 窒素濃度と被害発現程度

窒素過剰障害による水稲の被害発現の程度は，土壌条件，栽培条件などによって大きく異なるとされている。一般に窒素過剰障害は砂質土壌より粘質土壌のほうが，また乾田より湿田の方が多いとされている[24]。これは一般に粘質土壌は砂質土壌に較べて塩基置換容量（C.E.C）が高いことから，アンモニア態窒素の保持能が高いため，灌漑水中に存在するアンモニア態窒素の蓄積が大きくなること，粘質土壌では水の地下浸透が少ないことから，土壌中への酸素の補給が少

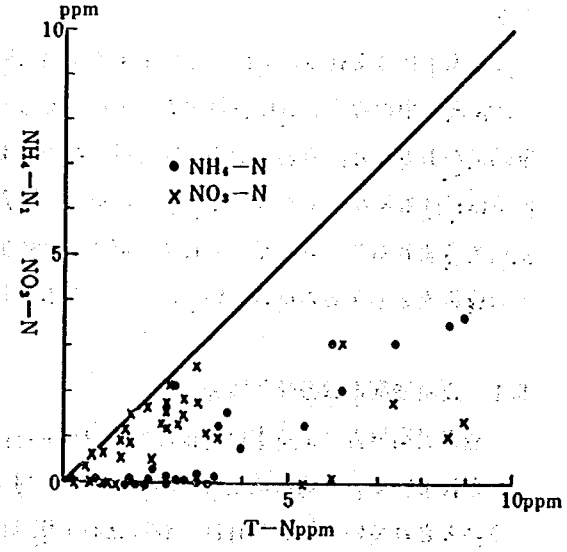
なく土壌が還元化が進みやすいこと，および土壌中に集積している有機態窒素やアンモニア態窒素の分解が進まないため，溶脱，脱窒が少ないことがあげられよう。また湿田では土壌が還元状態にある期間が長く，有機物の分解が進まないことから，易分解性有機物の集積が大きく，これが稲作期間に分解が進み有効化しやすいことなどが理由にあげられる。このため，窒素過剰の発現程度は水田の状態によって一定しないし，また，窒素の存在形態も４種あり，その形態により肥効や溶脱，脱窒等による損失程度が異なるため，全窒素としての濃度が同一であっても，各種窒素化合物の存在比率が変化することによっても被害発現程度が異なってくるのが，一般的であるとされている。

灌漑水中の窒素濃度と水稲収量との関係においては東京都農業試験場の報告[25]があるが，この結果は表－５・１に示すように，一般的な施肥量（慣行施肥）の条件では，全窒素が１㎎／ℓ

表－５・１　汚水害程度と用水幅窒素濃度[25]

汚水害程度	生育収量への影響	T－N	NH_4－N	ネスラー反応
0	全くなし	1ppm以下	なし	－
Ⅰ	やや過繁茂	1～3ppm	なし	－
Ⅱ	過繁茂，時に収量減	3～5ppm	少量	＋
Ⅲ	収量減	5～10ppm	中量	＋＋
Ⅳ	収量激減	10ppm以上	多量	＋＋＋

以下では生育，収量とも正常の段階（０段段）であり，１～３㎎／ℓでは収量は正常だが生育に影響が見られるようになり（第１段階），５～10㎎／ℓが被害甚大となる第３段階であり，その中間の３～５㎎／ℓが被害の明らかになる第２段階と報告されている。また，ここでは，窒素化合物の存在比率と被害の関係についても述べられており，図－５・１に示すように全窒素 3㎎／ℓ以下の灌漑用水ではその窒素成分はほとんどが硝酸態窒素であり，アンモニア態窒素の存否がそのまま窒素過剰障害の有無を予告することとなり，ネスラー試薬による反応がマイナスであれば被害は心配なく，プラスであれば被害を考慮する必要があると



図－５・１　灌漑水中の窒素の構成[25]

述べられている。窒素濃度の影響と土性の関係については，全窒素5㎎／ℓ 位までは減水深の大きい（3㎝／日以上）方が，基肥窒素が流出するので窒素過多になりにくいが，全窒素が10㎎／ℓ前後になると，窒素の流出より流入が多くなって減水深の大きい方が窒素過多がかえってひどくなるとしている。

5.2 窒素過多の被害の特徴

灌漑水中の窒素による窒素過多は，水中の窒素を直接吸収するものと，土壌を通して間接的に使用するものの相乗作用であることは既に述べたが，その両者の作用を分離して被害発現機構を解明することは困難である。また，灌漑水中の有機物による還元化の影響もからんでくることが多く，窒素の影響のみ表われることは少ない。

5.2.1 生育過程

生育初期の分けつ期においては灌漑水中の窒素による直接的な影響は少ないと考えられる。この時期は栄養生長期にあたり，窒素が分けつの促進に有効に働きやすいこと，また，土壌への集積による間接的な影響によるものについては一旦有機化された窒素が再び分解有効化するまでには時間を要することなどから，栽培初期にその供給量が極めて大となるとは考えにくいこと，また，この時期の稲の吸収される窒素は施肥窒素＞地力窒素＞灌漑水窒素の順であることから，灌漑水からの直接，間接的な影響は少ないと考えられるからである。この時期に生育不良が見られる場合は，窒素と同時にもちこまれた有機物の分解に起因する土壌の還元化によるところが多いと考えられる。

最高分けつ期においては，窒素過多は遅発分けつを発生させて茎の充実度を減少させ有効茎歩合を低下させ，結果的に穂数を減少させ収量減をもたらすこともあるとされている。この時期は土壌中の基肥由来の無機態窒素がほぼ消失する時期でもあり，地力由来の窒素が主として吸収されるため，窒素が土壌へ集積された後の間接的な影響を多く受けることとなる。

幼穂形成期以降については灌漑水窒素の直接吸収および土壌に集積された窒素の間接的吸収に大きく影響される。この時期の生育面で最も問題となるのは窒素過多による組織の軟弱化と徒長による倒伏の誘発であるとされている。灌漑水の窒素濃度と組織の軟弱化との関係について述べた報告は見あたらないが，徒長については節間長の伸長と深い関係があるとされており，灌漑水中の窒素濃度と節間の徒長については，東海近畿農業試験場の調査例[26),27)]がある。

表－5・2[26]および5・3[26]がこの調査例における灌漑水質と節間長測定結果である。ここでの結果では窒素過多の被害を受けた水田は対照田に較べて各節間が伸長する傾向が見られており，この報告の中では全体的に被害田は対照田に比しN－3，N－4*のいずれかまたは両方

表－5・2　水質分析結果の平均値[26]

調査地点	汚濁水，対照水の別	pH	EC μS/cm	蒸発残渣 ppm	NH_4－N ppm	NO_3－N ppm	T－N	無機－N / T－N %	COD ppm
豊田市	汚濁水	6.6	185	188	0.16	0.40	4.49	13	18.1
	対照水	7.6	76	112	0.13	0.32	1.32	34	5.9
津島市	汚濁水	7.0	350	263	1.66	0.06	3.30	52	15.7
	対照水	7.2	314	223	0.88	0.11	2.54	39	10.4
奈良市	汚濁水	7.4	420	311	1.11	0.07	5.85	20	22.9
	対照水	7.3	264	211	0.08	0.27	1.37	25	5.9
桜井市	汚濁水	7.5	156	132	0.06	0.39	1.14	40	2.5
	対照水	7.7	146	115	tr	0.31	0.59	53	0.9

表－5・3　1968年度の穂長，節間長，葉身長の測定結果[26]

(cm)

調査地点	被害対照田の別		穂長	N－0	N－1	N－2	N－3	N－4	止葉	第2葉	第3葉
豊田市	被害田－1	水口	15.8	19.7	13.8	12.9	10.4	7.4	32.3	31.2	－
		中央	20.6	30.5	20.0	10.4	6.0	3.2	36.5	42.0	39.4
	被害田－2	水口	17.8	30.0	21.0	19.3	11.1	5.1	31.9	45.7	50.4
		中央	19.4	33.3	22.5	15.5	9.1	3.2	33.1	45.3	49.6
津島市	対照田－1		18.4	29.5	21.4	13.1	8.3	4.3	31.5	41.1	40.8
	被害田－1		19.5	32.0	19.8	14.1	9.5	6.2	35.6	48.7	48.9
	対照田		18.6	29.3	18.1	12.1	9.0	4.6	29.4	39.7	43.9
奈良市	被害田		17.4	24.9	16.9	11.1	9.6	3.4	23.6	34.4	37.6
	対照田		17.9	27.4	16.2	13.2	8.0	6.4	25.8	34.0	35.9
桜井市	被害田－1		18.1	29.6	18.4	14.7	8.3	4.5	25.1	36.3	37.1
	被害田－2		18.1	28.3	17.2	12.1	6.4	3.2	25.0	35.7	38.0
	対照田		19.1	33.9	20.7	17.3	8.7	2.2	40.5	40.8	43.0

注：1. ここに示した値は2株の全茎を調査した値である
2. N－0，N－1，N－2……は穂と止葉の間の節間をN－0，それより下へN－1，N－2……とした
3. 第2葉，第3葉は止葉の下を第2葉ついで第3葉とした
4. 豊田市被害田－1.2は同一水田の水口部と中央部の株を別々に測定したので水口，中央に区別した

＊　各節間の区別あるいは名称であるが，水稲の稈には数個の節があり，節と節との間を節間という。種々の報告の中では5～6個の節間があるのが普通であり，上部のものから数えてゆくのが一般的であるが，ここで，最初の節間を穂首節間あるいはN－0節間と呼び次の節間からを第1節間（N－1節間），……と呼んでゆく場合と，最初の節間から第1節間，……と呼ぶ場合の両者が混在しており，必ずしも統一されてないことに十分注意を払う必要がある。

が大きく伸長していると述べられており，多肥栽培で倒伏甚と規定されるものはN－3，N－4節間が長くなる比率が大きく座折しなかった水稲のN－4節間長が長くとも6cm以下であったとしている例と比較して，下位節間長の伸長が倒伏の要因の1つであることを指摘している。

なお，節間長の伸長については水田一面に同様におこるわけではない。前述の報告の中では表－5・4[26]に示すように水の入口部分（水口）からの距離によっても被害程度が異なっており，水口から離れるほど被害程度が軽減してゆくことが示されている。

表－5・4　1969年度の穂長，節間長，葉身長の測定結果[26]

（cm）

調査地点	穂長	N−0	N−1	N−2	N−3	N−4	止葉	第2葉	第3葉	倒伏状況
豊田市被害田－4　水口	19.0	35.4	22.3	14.4	8.9	5.2	34.1	47.2	50.5	全面倒伏
〃　水口から約8m	19.4	36.4	23.9	13.5	8.5	4.6	30.2	39.5	45.7	なし
〃　水口から約16m	19.6	36.8	20.1	11.8	7.4	4.0	30.6	43.7	47.4	なし
〃　水口から約32m	19.5	36.7	20.3	11.8	6.8	2.3	30.7	42.3	44.1	なし

注：　2株全基の平均値であり調査項目N－0……は表－5・3参照のこと

5.2.2　収量構成要素

灌漑水中の窒素による影響が収量面に与えるものとしては，収量の絶対量そのものが減少することによってもたらされるものと，収穫物の品質の低下によって生じる減収の両者が考えられる。

表－5・5および5・6は先の報告[26]での収量と収量構成要素の結果である。被害田における収量を示す精もみ重については対照田に較べて減少している場合と増加している場合とがあり，収量の量の面を構成する要素である穂数，一穂粒数についても，質の面を構成する要素である登熟歩合，玄米千粒重についても，良好となる場合と不良となる場合とがあり，窒素の影響が必ずしもマイナスのみに働くわけでないことを示している。ここでは灌漑水窒素は収量面においてはまず穂数の増加という好結果を与えるが，もみわら比，登熟歩合を低下させ収量の減少を導くと考えられ，その影響が穂数の増加のみにとどまる所と，もみわら比，登熟歩合の低下をきたす所があると述べられている。

収量についても水口からの距離によって被害発現程度が異なっている。上述の結果のみで全体の被害程度を把握をすることは困難であるが，仮に図－5・2のように水田の一片を32m，正方形とした場合（面積10.2a）に表－5・2の豊田市の例をあてはめた場合，被害を受ける面積は5％程度，収量としては約4％減となり，それほど大きなものではない。なお，この数値は水田の面積，形状あるいは灌漑水の流入速度によっても変ってくるものと考えられるが，大幅に変わるとは考えにくい。

表－5・5　1969年度の収量調査結果[26)]

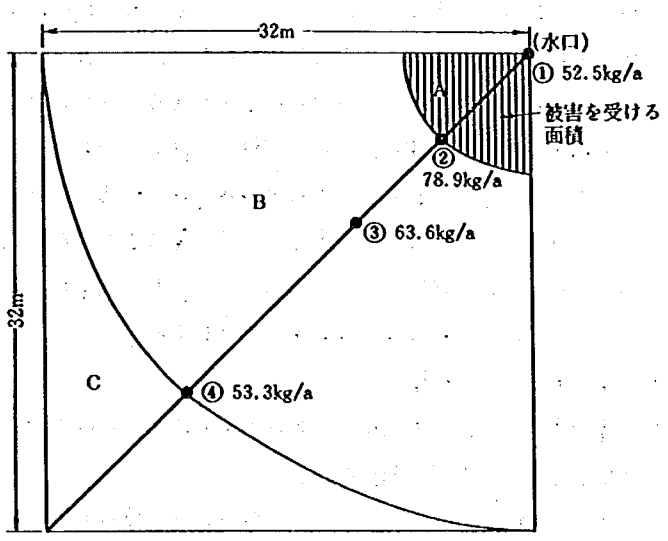
（kg／a）

調査地点	被害田，対照田の別	精もみ重	屑もみ重	わら重	もみわら比 %	玄米重	屑米重
豊田市	被害田－3	54.5	2.52	69.9	82	44.9	1.15
	〃　－4　水口	52.5	2.32	73.0	75	43.4	1.43
	〃　水口から約8m	78.9	0.40	94.7	84	65.5	0.20
	〃　水口から約16m	63.6	0.27	78.9	81	53.2	0.11
	〃　水口から約32m	53.3	0.15	65.3	82	44.5	0.09
	対照田－3	64.7	0.50	62.1	105	54.0	0.30
津島市	被害田－2	66.5	1.17	80.7	84	53.6	0.63
	対照田	56.2	1.19	75.1	77	45.5	0.70
奈良市	被害田	42.2	6.23	68.4	71	28.8	5.48
	対照田	57.7	0.96	68.4	86	46.6	0.82
桜井市	被害田－1	58.4	3.75	70.5	88	47.9	1.69
	対照田	59.6	0.40	65.1	92	49.2	0.16

表－5・6　1969年度収量構成要素の解析[26)]

調査地点	被害田，対照田の別	穂数 本／株	1穂粒数	登熟歩合 %	玄米千粒重g
豊田市	被害田－3	14.4	102.4	79.5	—
	被害田－4　水口	15.7	84.1	72.3	18.5
	〃　水口から約8m	15.1	81.2	90.5	20.9
	〃　水口から約16m	11.9	92.5	92.7	21.0
	〃　水口から約32m	10.7	84.0	95.2	21.5
	対照田－3	18.7	85.0	95.4	21.7
津島市	被害田－2	17.0	99.6	91.9	21.0
	対照田	15.8	103.1	81.5	19.6
奈良市	被害田	30.1	90.6	33.6	15.6
	対照田	23.1	91.2	84.1	20.7
桜井市	被害田－1	29.3	82.1	58.6	19.7
	対照田	16.0	111.6	91.9	19.8

A=50.2m² (4.9%)
B=753.6m² (73.5%)
C=220.2m² (21.5%)
Aの収量
Aの面積×①の収量
Bの収量
Bの面積×②③④の平均収量
Cの収量
Cの面積×④の収量
全平均 62.0kg/a
対照田 64.7kg/a



図－5・2

5.2.3 作物体の窒素吸収

表－5・7[26]に稲体各部位の窒素吸収量の1例を示す。ここでの報告では，全体として窒素による被害水稲は生育期間中体内N濃度は高く経過するが，被害程度が大きくなると，収穫期まで茎葉，もみ，葉身のN含有率は対照水稲よりかなり高く維持され，そして吸収Nのもみへ

表－5・7 1969年度収穫時の作物体N吸収量[26]

調査地点	被害田，対照田の別	N含有率%			N吸収量kg/a			吸収Nのもみ移行率%
		わら	もみ	葉身*	わら	もみ	合計	
豊田市	被害田－3	1.17	1.49	2.12	0.73	0.72	1.45	50
	被害田－4 水口	1.47	1.63	2.28	0.96	0.77	1.73	45
	〃 水口から約8m	0.87	1.38	1.77	0.74	0.94	1.68	56
	〃 水口から約16m	0.82	1.47	1.62	0.58	0.81	1.39	58
	〃 水口から約32m	0.67	1.29	1.56	0.39	0.59	0.98	60
	対照田－3	0.71	1.16	1.50	0.40	0.65	1.05	62
津島市	被害田－2	0.70	1.22	1.35	0.51	0.71	1.22	58
	対照田	0.73	1.23	1.48	0.50	0.61	1.11	55
奈良市	被害田	1.12	1.58	2.13	0.71	0.66	1.37	48
	対照田	0.73	1.26	1.42	0.45	0.63	1.08	58
桜井市	被害田－1	1.16	1.53	1.76	0.73	0.82	1.55	53
	対照田	0.68	1.23	1.08	0.40	0.64	1.04	62

注：上位2葉身についての分析値

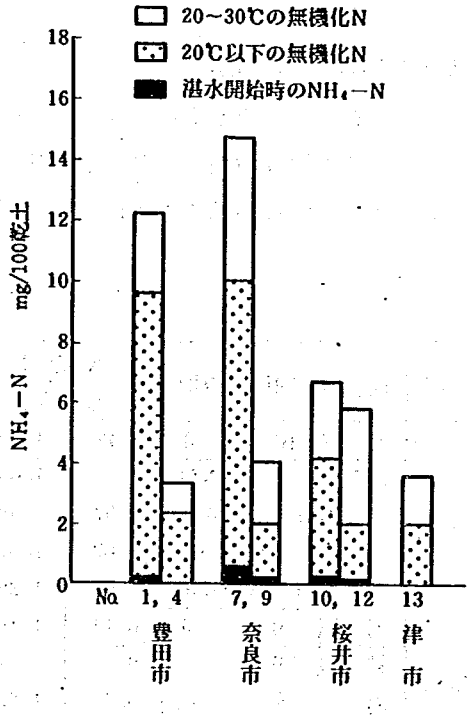
の移行率は50%以下となった。このことはもみわら比の低下と登熟歩合，千粒重の減少をきたすことになる。一方被害田とされていながら稲の生育，収量の面から見えるように被害程度が大きくないか，むしろ逆に良好な結果を与えるようなものは，収穫前の出穂期ころまでは若干対照田より体内N濃度は高いが，収穫期にはその差がほとんどなくなるか，対照田より低くなることもあった。これらのことは被害水稲の一般的性格としての穂数増加に役立つが，もみわら比の低下，登熟歩合の減少を防止するように思われたと述べている。なお，この報告では全国の水稲わらのN含有率についても述べてあり，風乾物当りの平均値は0.57%，多収穫わらの場合0.71%，その最高は1.25%であるとしている。

5.2.4 土壌中への集積

灌漑水中の窒素が土壌に集積され間接的に吸収される問題については，集積の量と容易に可給態になる形態かどうかが問題となろう。

図－5・3[26]および表－5・8[26]は前述の土壌の温度区分別無機化窒素量および有機態窒素の分画結果である。一般に窒素被害田の方が土壌中の総窒素量が高いものとなっている。

図－5・3 の結果においての無機化窒素量，特に20℃以下での無機化窒素量の大小は，収量等の被害の大小と一致しているようである。土壌中の有機態窒素の分画において，酸可溶非留出性の有機－Nは無機化され作物に吸収されやすいNであるとされていることから，ここでの結果で測定された酸可溶非溜出性Nは容易に無機化され，被害田における20℃以下で発現する無機Nの源として利用されやすいものと述べられており，そのことは図－5・3および表－5・8 を照合するとよく一致するようである。したがって土壌への集積による影響の多くの部分は酸可溶非溜出性Nの集積によってもたらされるといえるが，この点と灌漑水質面とを照合すると，灌漑水中の全窒素濃度との相関性も高いが，特に灌漑水中の有機態窒素との相関性が高いようである。すなわち，土壌中への酸可溶非溜出Nの高い豊田，奈良両市は灌漑水中には全窒素約5㎎／ℓのうち約80%程度つまり4㎎／ℓ程度の有機態窒素が見られており，これが大きく影響しているように見られる。



図－5・3 温度区分別無機化N量[26]

表－5・8　土壌の有機態Nの分画[26)]

（mg／100g乾土）

調査地点	土壌の種類と採取位置	T－N	NH_4－N	NO_3－N	酸可溶溜出性N (a)	酸可溶非溜出性N (b)	酸不溶性N (c)	a+b+c	a a+b+c %	b a+b+c %	c a+b+c %
豊田市	被害田—2水口（0～7cm）	236	1.22	tr	49	143	42	234	21	61	18
	対照田－2（0～15cm）	129	0.12	tr	30	76	23	129	23	59	18
奈良市	被害田水口（0～7cm）	311	0.40	tr	61	189	65	315	19	60	21
	被害田水口（7～15cm）	223	3.57	tr	42	137	48	227	19	60	21
	対照田（0～15cm）	166	0.12	tr	36	97	39	172	21	57	23
桜井市	被害田－1（0～15cm）	201	0.52	tr	44	119	40	203	22	59	20
	対照田（0～15cm）	159	0.29	tr	37	91	31	159	23	57	19
津市	東近農試水口（0～15cm）	116	tr	tr	26	67	25	118	22	57	21

5.3 栽培技術による対策

灌漑水中の窒素の影響を抑えるには，まず窒素の流入量を減らす必要があろう。これには節水栽培につとめることが重要であり，中干し，間断灌漑を実施するのがよいと考えられる。これらの節水栽培においては窒素の流入量を減らすと同時に，土壌中を酸化的にし，土壌中の有機態窒素やアンモニア態窒素を酸化し，流亡や脱窒しやすい硝酸態窒素に変化させるうえで効果的である。

灌漑水により流入する量に見合う分を，施肥窒素量を減らすことでコントロールすることも重要である。東京農業試験所の報告[25]では，用水中の全窒素が3㎎／ℓ前後では施肥窒素量を2／3～1／3に減らし，5㎎／ℓを超える場合には無窒素で栽培するのがよく，リンは標準量，カリは増肥するのがよいと述べている。その他改良資材ではFTE（6kg／10a），珪カル，平炉さい200／10aを施用すると稔実をよくして好結果が得られ，ベントナイト（1t／10a）は減水深を抑制して節水に役立つときに効果が認められるとしており，有機物含量の少ない酸化状態の土壌の客土も増収効果が高いとの報告もある[24]。

このように灌漑水中の窒素が稲作に与える影響についての報告はいくつかある。しかしながら，これらの結果が，直接，下水処理水の場合についてもあてはまるかどうかについては，いくつかの疑問点がある。その理由としては，これまでに報告されている例の多くは，灌漑水中に窒素がもちこまれる原因として，都市化の急激な発達等による未処理汚水や過去の水質規制のゆるい時期での処理程度の低い工場排水等が農業用水路等へ流入した場合であり，その特徴は窒素のほかに窒素量と較べて多量の有機物が水田に流入する例が多く，窒素の形態としても有機態窒素が主成分であったケースが多いようである。一方下水処理水については，下水処理場における窒素の除去率は20～40％程度とされており，窒素の濃度は比較的高いものの，その大部分はアンモニア態もしくは硝酸態である無機態の窒素であり，また有機物については現在処理方法の主流である標準活性汚泥法ではBODの除去率が約90％であることに示されるようにその除去率は高い。したがって前述までの報告と，下水処理水の影響によって全窒素濃度が同一となった場合とを較べると，下水処理水の場合の方が有機物濃度としては低くなり，これによる水田土壌の還元化等による影響に少なくなり，被害としては軽減化されると考えられる。

また，下水処理水中の窒素は無機態のものであるから，これまでの有機態窒素を主体とした例とは被害の発現機構や程度が異なってくると考えられるわけであり，特に硝酸態窒素は土壌に吸着されにくいことから流亡しやすく，水田土壌の大部分を占める還元層では脱窒による消失も多いことから水稲に吸収されにくいため，水田作を対象とするときには汚濁物質から除外してさしつかえないと述べている報告もあり[24]，必ずしも全窒素濃度のみで規定できる問題ではなく，今後に残された課題といえよう。

6. 下水処理水の水質の現況

下水処理水を直接および間接的に農業利用する場合，下水処理水の水質および処理状況について認識しておくことが重要である。ここでは入手した既往の水質データー[28]をもとに，BOD，総窒素，総リンの濃度および処理状況についてとりまとめたものであり，この値が必ずしも全処理場の代表的な値となるとは言えないが，処理水質を考える上での参考とはなろう。

6.1 流入下水，処理水の水質および処理状況

7都市59処理場の流入下水および処理水の昭和55年度のBOD，全窒素，全リンの年平均値を表−6・1に示す。これらの値を平均すると次のようになる。

	流入下水（mg／ℓ）	処理水（mg／ℓ）	除去率（%）
BOD	150	9.0	93
全窒素	28.9	16.5	42
全リン	4.8	2.0	54

(1) BOD

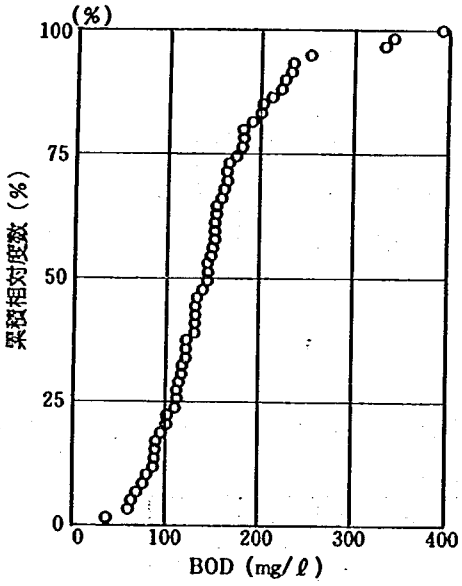
現在，処理の主流は標準活性汚泥法に代表される高級処理であり、標準活性汚泥法ではBODの除去率は90%程度とされており，上述の結果でも平均93%と極めて高いものとなっている。図−6・1，6・2，および表6・2に流入水および放流水のBODの累積度数分布図と，各処理場の代表値と指標として100%値（最大値），90%値，75%値，50%値（中央値）の4種類と，90%値と10%値の比として定義した変動比を示す。処理水のBODは平均値の9.0，中央値の9.3mg／ℓに対し，最大値が14.2mg／ℓであり，BODに対しては極めて高率にかつ安定した除去がなされていることが理解できる。

(2) 窒　素

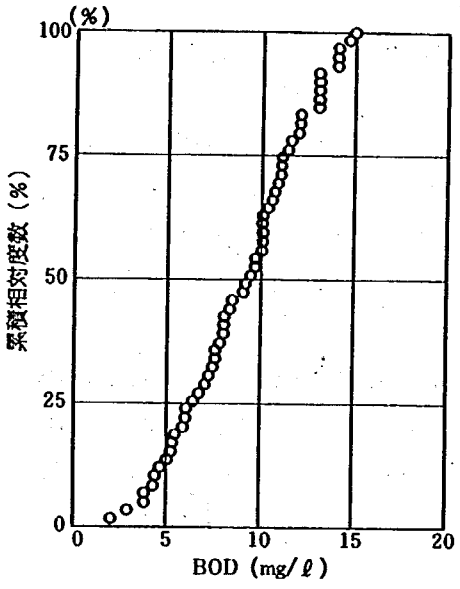
窒素については，通常の下水処理での除去率は20～40%程度のものであるとされている。図−6・3，6・4および6・5に流入水，処理水の全窒素濃度および除去率の累積度数分布を，表−6・3に代表値の指標を示す。

流入水の全窒素濃度は，最大値が82.5mg／ℓと高い値が見られるものの，90%値が41.0mg／ℓ，75%値が34.0mg／ℓ，50%値が27.2mg／ℓ，平均値が28.9mg／ℓとなっており，また全体の66%が20～40mg／ℓの範囲に分布していることから示されるように，その値としては30mg／ℓ弱という値が一般的な濃度であるといえよう。

処理水の全窒素は，最大値が36.7mg／ℓ，90%値が28.1mg／ℓ，75%値が21.0mg／ℓ，50%値が15.5mg／ℓ，平均値が16.5mg／ℓとなっている。なお，ここでの結果から下水処理水の農業利用を考える上での下水処理水の窒素濃度をいくらに想定すればよいかは議論の別れ



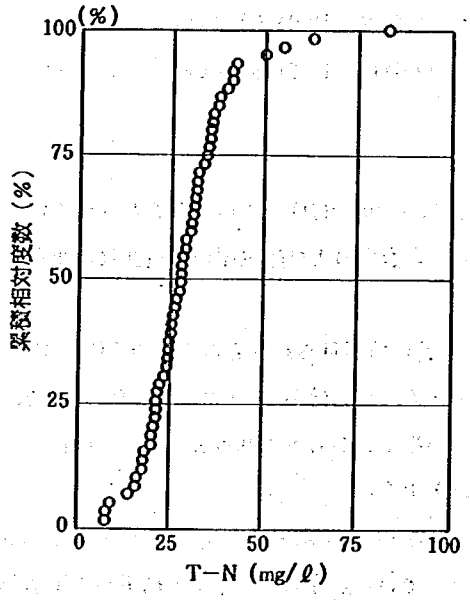
図－6・1　流入水BODの累積度数分布



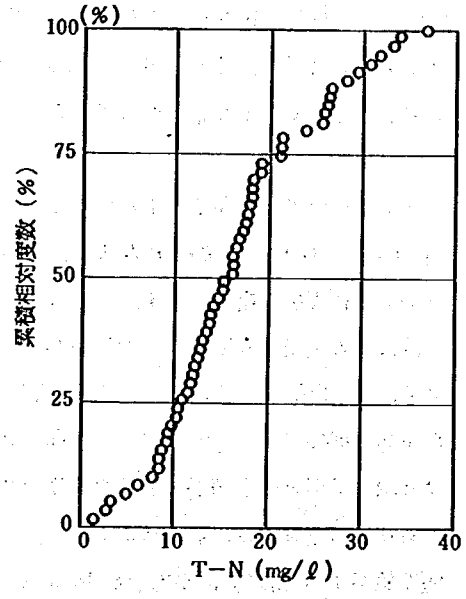
図－6・2　処理水BODの累積度数分布

表－6・2　BODの代表値

		100％値	90％値	75％値	50％値	変動比
BOD	流入水（mg／ℓ）	392	223	175	143	2.85
	処理水（mg／ℓ）	14.2	13.0	11.2	9.3	2.95



図－6・3　流入下水T－Nの度数分布

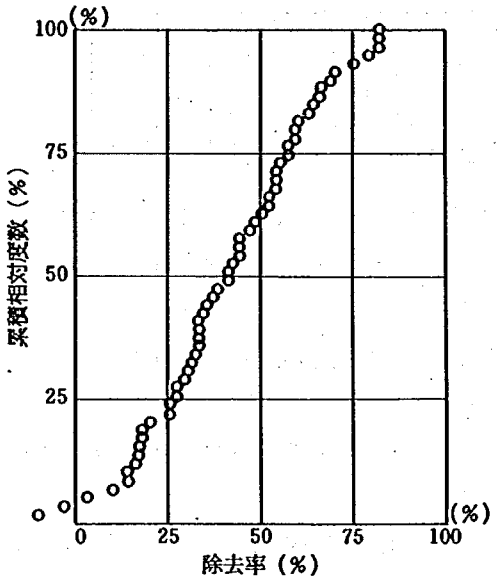


図－6・4　処理水T－Nの度数分布

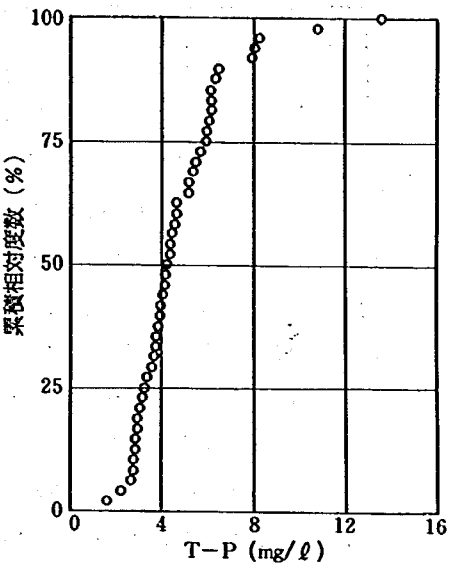
表－6・1　BOD，T－N，T－Pの年平均値

		BOD			T－N			T－P		
		流入水 (mg/ℓ)	処理水 (mg/ℓ)	除去率 (%)	流入水 (mg/ℓ)	処理水 (mg/ℓ)	除去率 (%)	流入水 (mg/ℓ)	処理水 (mg/ℓ)	除去率 (%)
札幌	創成川	233	10.7	95	31.9	11.8	63	4.5	1.1	76
	伏古川	163	8.0	95	20.0	9.6	52	—	—	—
	豊平川	252	14.6	94	33.5	17.8	47	—	—	—
	新川	201	14.0	93	21.2	17.5	17	8.2	2.0	76
	厚別	330	9.1	97	49.5	10.2	79	10.8	1.0	91
	手稲	113	7.5	93	25.6	11.4	55	2.2	1.4	36
	定山渓	59	2.9	95	8.8	6.1	31	—	—	—
	茨戸	115	10.5	91	7.5	4.9	35	2.7	0.5	82
東京	芝浦	152	14.0	91	27.4	12.7	54	—	—	—
	三河島	179	14.0	92	23.7	13.2	44	—	—	—
	小管	88	5.0	94	17.6	7.6	57	—	—	—
	小台	120	9.0	93	30.7	31.6	－3	—	—	—
	新河岸	110	12.0	89	29.8	16.6	44	—	—	—
	砂町	164	6.0	96	30.1	33.1	－10	—	—	—
	落合	151	12.0	92	24.9	18.1	27	—	—	—
	森ヶ崎	100	8.0	92	21.6	13.6	37	—	—	—
川崎	入江崎	392	11.5	97	82.5	25.6	69	13.6	2.0	85
	加瀬	75	8.0	89	20.5	14.9	27	3.7	2.2	41
	生田	221	13.0	94	41.9	23.7	44	6.1	4.3	30
横浜	中部	130	11.0	92	20.0	16.0	20	2.9	2.0	31
	南部	150	13.0	91	23.0	16.0	30	2.8	2.0	29
	北部第一	120	5.9	95	22.0	18.0	18	3.9	1.7	56
	戸塚第二	210	11.0	95	27.0	16.0	41	4.0	2.5	38
	港北	78	7.5	90	18.0	12.0	33	4.4	2.4	45
	緑	340	6.4	98	31.0	15.0	52	5.9	5.4	8
	神奈川	99	5.2	95	16.0	8.3	48	2.6	1.6	38
	金沢	180	3.8	98	34.0	21.0	38	4.1	1.9	54
名古屋	名城	120	8.3	93	21.1	12.3	42	2.8	1.1	60
	掘留	150	4.4	97	24.8	12.5	50	3.1	1.1	66
	西山	150	10.0	93	28.5	19.0	33	3.8	1.2	69
	守山	35	2.0	94	7.8	1.4	82	1.6	1.1	32
	山崎	190	12.0	94	35.8	21.2	41	6.1	2.4	41
	柴田	160	7.8	95	37.1	9.1	75	6.0	1.8	70
	鳴海	130	11.0	92	28.4	11.6	59	4.6	2.0	58
	宝神	67	10.0	85	13.7	9.3	32	2.7	1.2	56
	打出	200	13.0	94	27.9	8.3	70	7.9	1.8	78
	千年	94	13.0	86	17.7	3.2	82	4.6	1.8	61
	下之一色	62	10.0	84	15.7	2.8	82	3.2	2.5	21
	岩塚	110	9.6	91	25.2	8.6	66	4.2	1.2	71
	熱田	88	5.4	94	24.1	17.0	29	3.7	1.8	52
	露橋	110	10.0	91	21.1	13.9	34	3.6	1.2	65
	伝馬町	86	6.0	93	24.3	16.4	33	3.5	1.1	69
京都	鳥羽	146	11.4	92	26.0	17.4	33	3.3	1.5	55
	吉祥院	143	13.0	91	39.4	18.0	54	3.0	1.0	67
	伏見	180	10.0	94	24.0	10.3	57	3.9	1.0	74
神戸	東灘（本）	130	10.8	92	41.0	36.7	10	4.3	3.3	24
	東灘（分）	130	9.4	93	41.0	33.7	18	4.3	3.8	13
	ポートアイランド	86	3.8	96	26.9	10.7	60	2.9	1.0	64
	中部	157	5.3	97	31.4	14.4	54	5.3	1.1	80
	鈴蘭台	116	6.7	94	27.3	26.5	3	4.1	2.9	29
	有野	173	4.3	98	35.7	30.7	14	5.6	3.0	46
	西部	163	14.9	91	37.5	28.1	25	5.9	4.7	20
	垂水	137	8.4	94	34.8	29.3	16	5.4	1.4	74
	名谷	143	4.6	97	35.1	13.5	59	5.1	1.9	67
	白川北	142	9.6	93	30.4	26.3	14	6.4	3.0	54
	北須磨第一	148	10.3	93	34.3	25.7	25	6.1	3.3	46
	新多聞	131	7.4	94	31.5	26.1	17	5.1	2.4	53
	多聞第一	231	7.2	97	62.6	21.1	66	8.0	3.0	63
	多聞第二	225	7.0	97	54.6	19.0	64	6.3	1.4	79

㊟ 神戸市はPO_4^{3-}で表示されていたのでP換算で算出した。



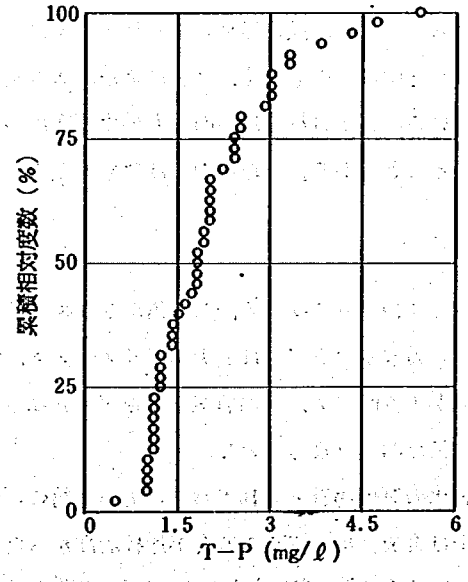
図－6・5　T－N除去率の度数分布



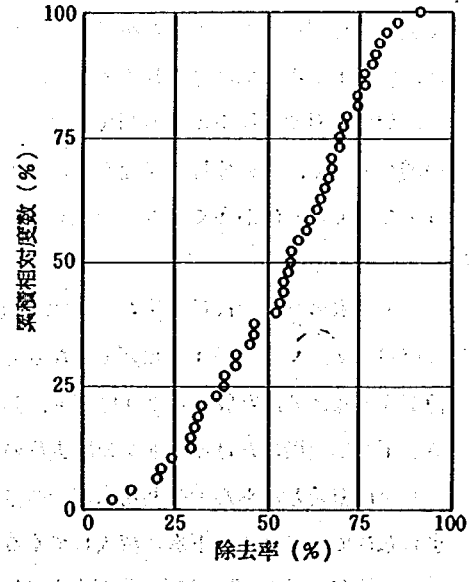
図－6・6　流入水T－Pの累積度数分布

表－6・3　T－Nの代表値

		100％値	90％値	75％値	50％値	変動比
T－N	流入下水（mg/ℓ）	82.5	41.0	34.0	27.2	2.56
	処理水（mg/ℓ）	36.7	28.1	21.0	15.5	3.70
	除去率（％）	82.0	69.0	57.0	41.0	4.93



図－6・7　処理水T－Pの累積度数分布



図－6・8　T－P除去率の度数分布

表－6・4　T－Pの代表値

		100％値	90％値	75％値	50％値	変動比
T－P	流入下水（mg／ℓ）	13.6	6.7	5.9	4.2	2.48
	処理水（mg／ℓ）	5.4	3.3	2.4	1.8	3.30
	除去率（％）	91 0	78.0	69.0	56.0	3.71

るところであろう。筆者は一応の提案値として75％値である21.0㎎／ℓを上げておく。この理由としては最大値あるいは90％値を採用すると，その値は実際の処理水濃度とはかけはなれた過大なものになりやすいことと，多くの（75％）処理水ではこの値を下まわることから，実際に農業利用する上では窒素の影響としては少なくなること，平均値あるいは中央値と較べてそれほどかけはなれた値でないことを上げておく。

下水処理場での窒素の除去率については，平均値が42％，中央値が41％という結果が得られたことから，その除去率は40％程度のものと言えよう。

下水処理場における処理前後の窒素の形態においては，昭和48年度公共下水道統計よりまとめたものがあり[29]，この結果を表－6・5に示す。この結果によれば流入水中の窒素のうち約半分が有機態窒素であり，残り半分がアンモニア態窒素である。処理水についてはアンモニア態窒素が主成分となっている。ここで標準活性汚泥法等の生物処理水では硝化の著しいときには硝酸態窒素が主成分となる。なお，硝化については，pH，水温，基質となるアンモニア態窒素濃度等の影響も受けるが，一般には活性汚泥の平均滞流時間（SRT）を長くとることが重要とされている。このためには施設面では反応槽の滞流時間（エアレーション時間）を長くとること，維持管理面では反応槽の活性汚泥濃度（MLSS）を上げることが有効であるとされている。特に施設面では昭和47年度の下水道施設設計指針の改訂により，従来のものと較べて実滞流時間が長くとることができるようになったことや，最近稼動し始めた処理場については，流域下水道の例に見られるように，計画年次途中のものも多く，施設に余裕がある例が多く，硝化の面では従来より有利な条件となっている。また維持管理の面でも硝化脱窒についての関心も高く，この分野の研究も進んできていることもあり，処理水中では硝酸態窒素が主成分となっている例が多くなりつつある。

(3)　リ　ン

流入下水の全リンは最大値が13.6㎎／ℓ，90％値が6.7㎎／ℓ，75％値が5.9㎎／ℓ，50％値が4.2，平均値が4.8㎎／ℓとなっている。処理水の全リンは最大値が5.4㎎／ℓ，90％値が3.3㎎／ℓ，75％値が2.4㎎／ℓ，50％値が1.8㎎／ℓ，平均値が2.0㎎／ℓとなっている。下水処理場における全リンの除去率の平均値は54％となっている。

リンは窒素とならんで公共用水域での富栄養化の原因物質とされており，その負荷の削減が求められてきており，下水に流入してくる分では合成洗剤の占める割合が比較的高かったことから，洗剤の低リン化，無リン化が進んできており，これに伴い流入水中のリンも減少傾向にある。

表－6・5　流入水，処理水の平均水質（2次処理）
（昭和48年度公共下水道統計）

	流入下水（mg／ℓ）	処理水（mg／ℓ）	除去率（　%　）
BOD	189	16	92
SS	218	23	89
T－N	29	18	38
K－N	28	16	43
Org －N	14	5.5	61
NH_4^+	14	10	29
NO_T	0.6	2.3	－

7. 下水処理水の農業用水としての直接再利用の例

現在，全国約450の下水処理場から年間約64億㎥の処理水が発生しており，このうち0.5億㎥が場外で再利用されており，農業用水関係では表－7・1に示すような所で使用されている[30]。これら実規模での直接再利用での下水処理水を用いた場合の影響等についての報告は，いまのところ得られていない。これらのほか，下水処理水を農業用水として利用するための実験化試験については数ヶ所で実施されているようであり，熊本市，池田市についてはその結果の一部が報告されている。ここでのこの両市での結果をとりまとめたものを中心に，述べてゆく。

表－7・1　下水処理水の農業利用

都市名	処理場名	再利用水量（㎥／日）	供給団体	利用先	用途
足利市	足利市第一	8,000	足利市	七ヶ村用水組合	農業用水
佐野市	佐野市水質浄化センター	6,000	佐野市	赤城土地改良区	農業用水
松山市	中央	1,440	松山市	土地改良区及び水利組合	水稲の補給水
熊本市	蓮台寺	23,000	熊本市	水利組合	水田用水
京都市	鳥羽	1,465	京都市	農業協同組合	灌がい用水

7.1　熊本市[31)32)33)34)]

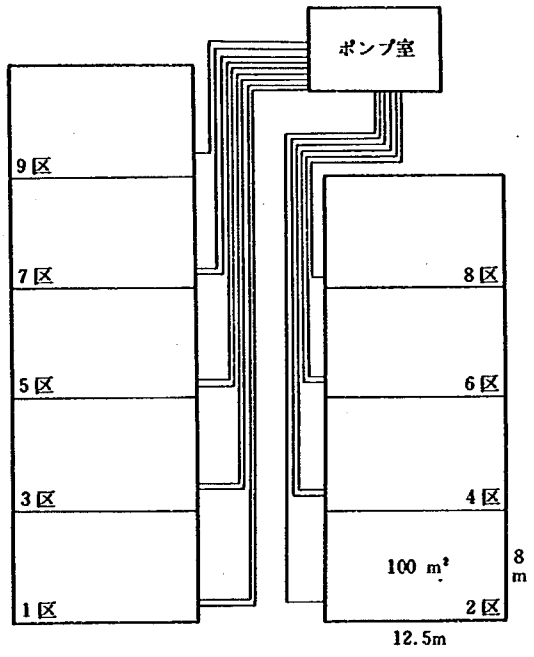
熊本市では，熊本城の下を流れる坪井川の河川改修にともなって堰の改築がなされたことにより，下流の石塘堰土地改良区の一部224 haの農業用水の取水に不足をきたすこととなったため，休耕田を利用し12.5m×8mの100㎡（1a）を1区画とし，このような区を9区設けて，同市蓮台寺下水処理場処理水を農業利用するための試験を，昭和51年度より6ヶ年計画で実施している[31)]。図－7・1に石塘堰土地改良区対象水田を，図－7・2に試験田の構成を示す[33)]。

蓮台寺下水処理場流入水，処理水および坪井川の水質分析値を表－7・2に示す[31)34)]。下水処理水質の特徴としては処理水中の窒素の大部分が硝酸態窒素であり，処理状況としては硝化がよく進み良好な状態にあるといえよう。

試験は2年ごとに3期間の6年間としており，第1期2年（昭和51～52年）を下水処理水の希釈倍率について，第2期2年（昭和53～54年）は2倍希釈（処理水と河川水とを等量混合）の場合の施肥量について，第3期2年（昭和55～56年）は2倍希釈での施肥方法（基肥と追肥の配分）について実施したとのことである。表－7・3に試験田の区分，灌漑水混合比，施肥量，収獲量を示す[31)34)]。処理水と河川水を等量混合した場合，灌漑水中の窒素濃度としては10mg／ℓ前後（その8割程度は硝酸態窒素）のものと予想され，かなりの高濃度ではあるものの，収量

面では施肥窒素量を慣行量の半分とすることで，河川水を用い施肥量を慣行とした試験区と同等以上の成績を上げているようであり，土壌についても顕著な窒素の集積は認められていないようであり，窒素過多の影響は少ないようである。

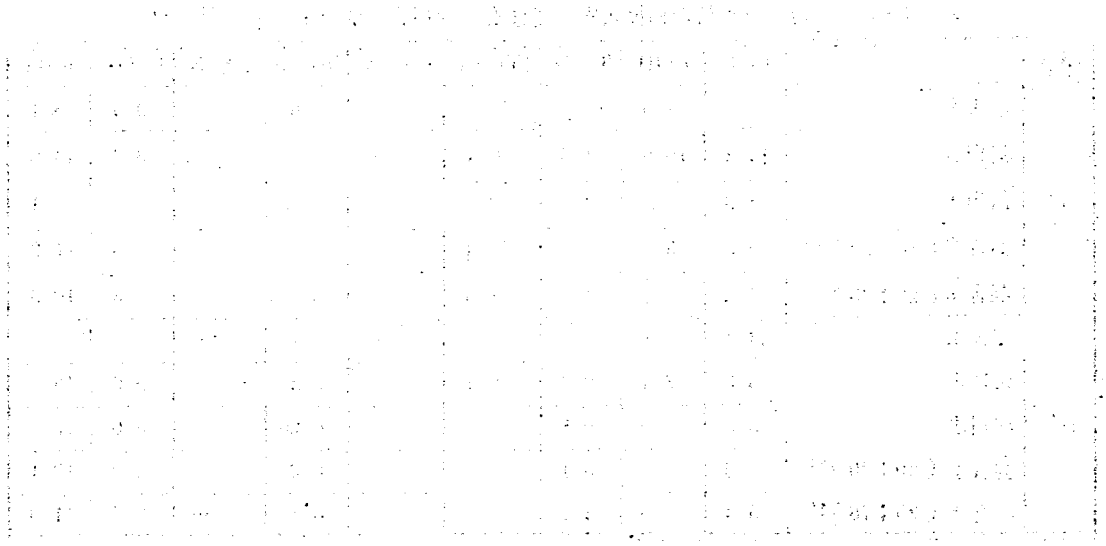
なお，熊本市の試験結果の詳細については，6年間の試験終了後報告をまとめあげる計画と聞いており，下水処理水の農業利用するうえで大いに参考になると考えられる。



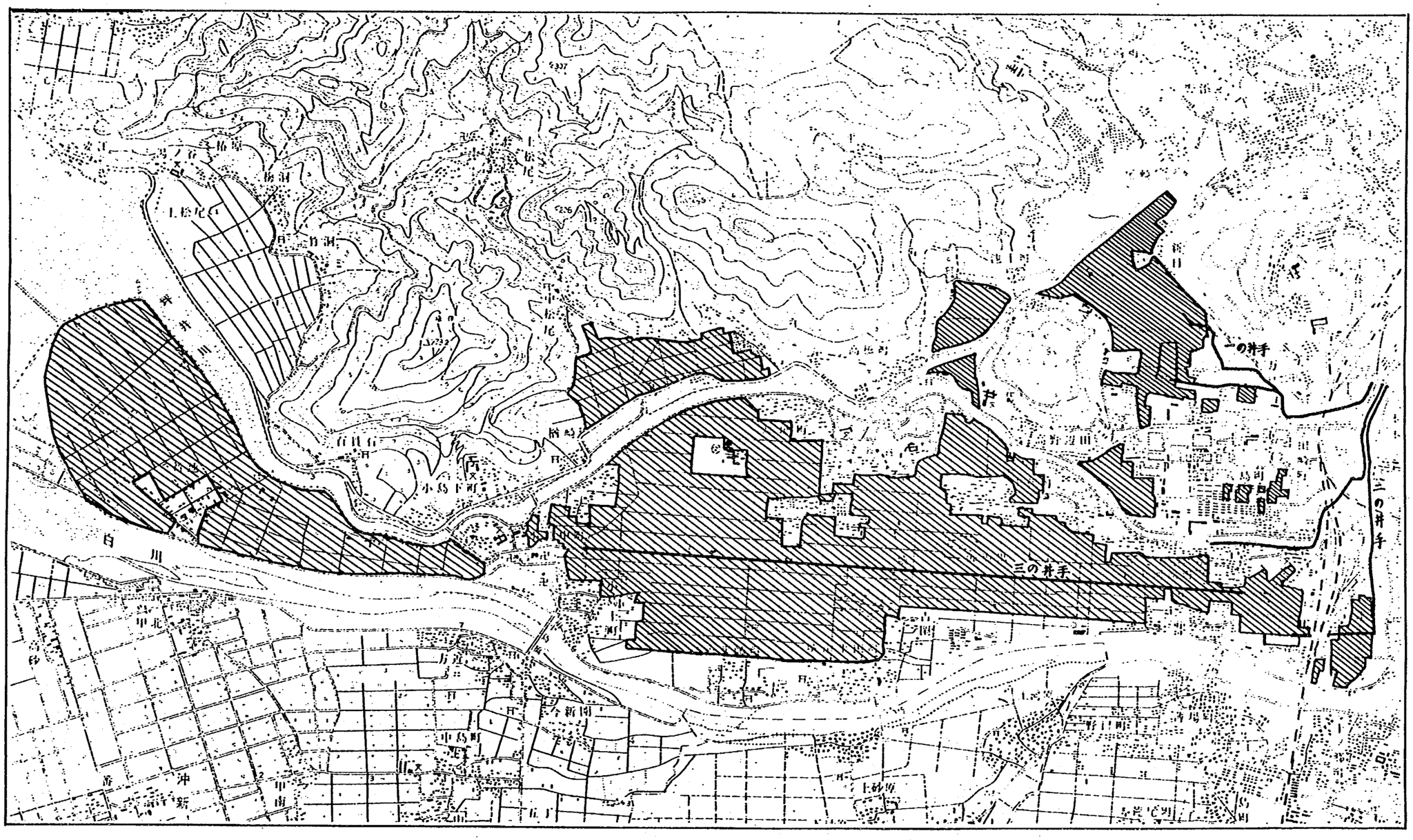
図－7・2　試験田の構成

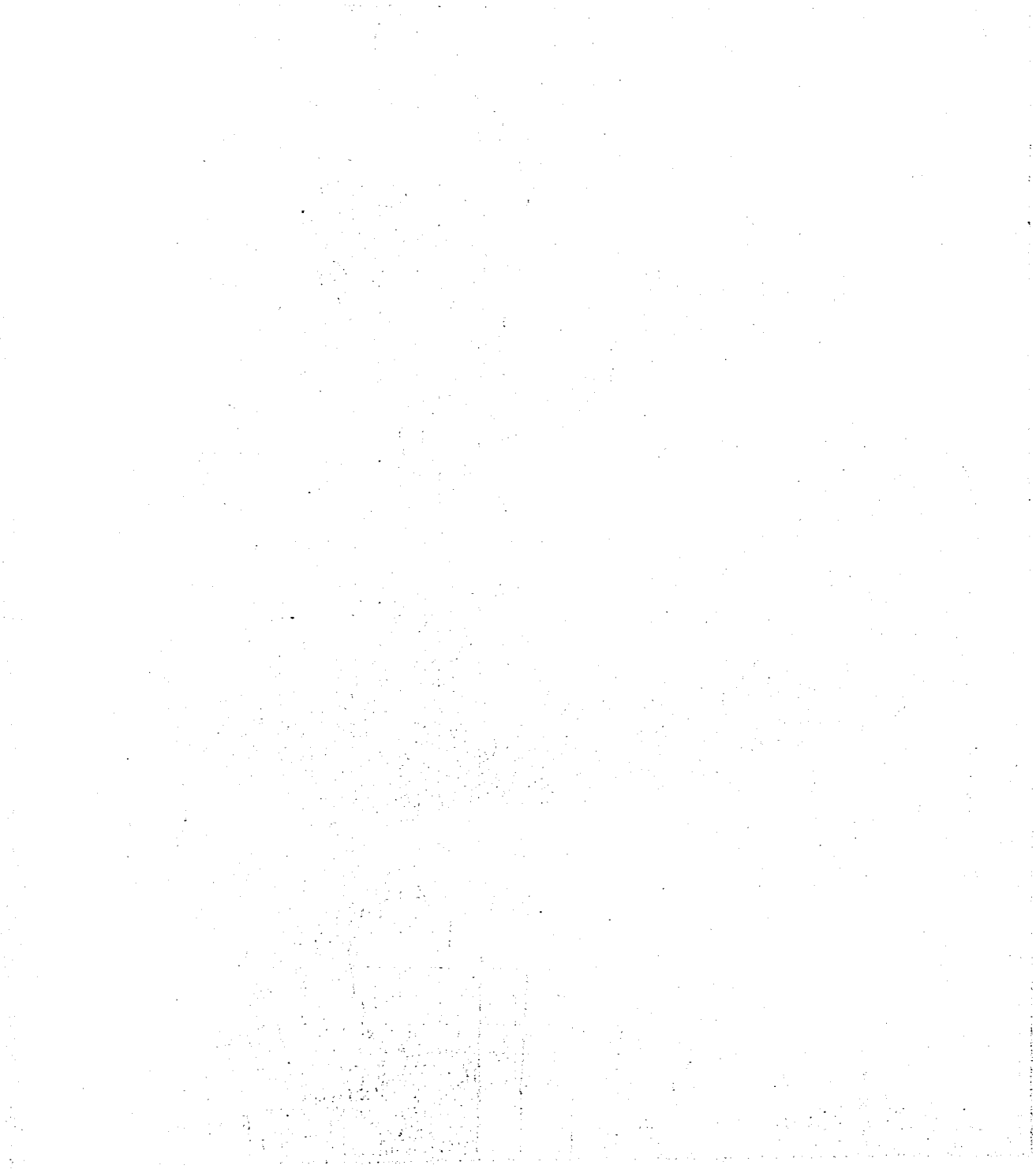
表－7・2　蓮台寺下水処理場流入水，処理水，河川水，灌漑水の水質[31)34)]

年度		BOD	COD	T－N	NO_3－N	NO_2－N	NH_4－N	有機－N	P_2O_5	K_2O
51*	流入水	76.0	42.5	12.3	1.1	—	8.6	—	3.6	15.1
	処理水	13.5	10.9	12.2	6.1	—	2.7	—	3.2	14.6
	河川水	6.0	—	2.4	0.6	—	ND	—	3.3	9.1
	混合水（50：50）**	9.8	5.5	7.3	3.4	—	1.4	—	3.3	11.9
	混合水（25：75）**	7.9	2.7	4.9	2.0	—	0.7	—	3.3	10.5
52*	流入水	34.4	22.7	—	—	—	8.1	—	—	—
	処理水	5.0	7.4	9.4	9.1	—	0.3	—	5.5	13.8
	河川水	5.5	—	0.8	—	—	0.05	—	3.0	10.4
	混合水（50：50）**	5.3	—	5.1	—	—	0.2	—	4.3	12.1
	混合水（25：75）**	5.4	—	3.7	—	—	0.1	—	3.6	11.3



図－７・１　石塘土地改良区対照水田





年度		BOD	COD	T−N	NO_3−N	NO_2−N	NH_4−N	有機−N	P_2O_5	K_2O
53*	流入水	83.0	52.1	19.2	0.2	0.1	10.17	8.6'	—	—
	処理水	3.2	6.7	13.3	11.3	0.01	0.2	1.8	5.2	15.0
	河川水	6.5	—	3.8	1.3	0.1	1.3	0.9	0.6	7.0
	混合水（50：50）**	4.9	—	8.6	6.3	0.05	0.8	8.6	2.9	11.0
	混合水（25：75）**	5.7	—	6.2	3.8	0.08	1.0	1.1	1.8	9.0
54*	流入水	64.5	31.9	13.8	0.3	0.3	7.8	5.3	1.9	—
	処理水	4.6	6.1	12.9	11.0	0.03	0.04	1.5	2.0	14.3
	河川水	6.5	—	3.2	1.7	0.1	0.5	1.0	1.6	12.3
	混合水（50：50）**	5.6	—	8.1	6.4	0.07	0.3	1.3	1.8	13.3
	混合水（25：75）**	6.0	—	5.6	4.0	0.08	0.4	1.2	1.7	12.8
55*	流入水	58.6	36.5	15.0	0.2	0.2	8.3	6.5	—	—
	処理水	2.4	5.1	15.3	14.0	0.03	0.1	1.0	3.1	18.6
	河川水	5	—	5.3	0.7	0.1	1.6	2.8	0.9	11.0
	混合水（50：50）**	3.7	—	10.3	7.4	0.07	0.9	1.9	2.0	14.8
55***	流入水	81.8	33.6	16.5	0.04	0.06	11.2	5.12	—	—
	処理水	9.2	7.3	11.8	11.0	0.01	0.2	0.57	4.3	15.1
	河川水	—	—	2.3	1.2	0.22	0.9	—	0.9	9.3
	混合水（50：50）**	—	—	7.1	6.1	0.12	0.5	—	2.6	12.2

測定期間は6月下旬～10月上旬（平均値）単位はmg／ℓ

注）* 文献31）より引用
** 同表の数値を用いた計算値
*** 文献34）より引用

7.2 池田市[35)]

池田市は図－7・3に示すように大阪の都心から北へ15km圏内に位置し，下水道の整備状況は昭和55年度末で総人口100,720人に対し，97.4%の普及率である。戦後，急速に押し寄せた都市化の波により，池田市の水源である猪名川の保水地域は，開発による保水能力が低下し，昭年48年，53年に異常渇水に見舞れた。そこで水資源として下水処理水（池田市下水処理場）に着目し，下水道整備により枯渇した中小水路に下水処理水を還元し，河川維持用水や農業用水として循環利用する計画を立案した。そして，下水処理水を農業用水として用いた場合の影響を調査検討するため，実験圃場を設置し，昭和54年度より3ヶ年計画で「池田市再生水利用実験」として調査にとりかかっている。

(1) 実験圃場と作付計画

実験圃場は池田市下水処理場から約400 m離れた通常の耕作がなされている農地を借り上げ，100 ㎡の圃場5区画が造成されており，5区画のうち，3区画が水稲作付区とし，残り2区が野菜作付区としている。表－7・4に農作物の作付計画を示す。水稲については三つの圃場を各々，元肥無施肥区，リン酸－カリ施肥区，窒素－リン酸－カリ施肥区としており，これとは別に慣行の河川水使用による対照区（比較圃場，昭和55年より実施）も設けている。水稲の品種は「晴々（日本晴×秋晴，大阪府奨励品種）」を使用している。作付条件は表－7・5の通りである。

(2) 灌漑水質

灌漑期にあたる6月から10月までの下水処理水と市内河川水（江原川）の水質は表－7・6の通りである。3ヶ年における水質は下水処理水，市内河川水ともほぼ一定であり，河川水との比較による下水処理水の特徴としてはDOが低いこと，導電率，BOD，窒素が高いことがあげられる。

下水処理水中の窒素の形態については，総窒素の約50%が硝酸態窒素であり，アンモニア態窒素，亜硝酸態窒素もかなりの比率で存在し，完全に硝化が進んではいない。

(3) 用水量

実験場での用水量は表－7・7のようになっており，慣行の場合と較べてかなり高いものとなっている。

(4) 土壌状態

昭和56年度の収穫後の土壌調査結果は表－7・8の通りである。ここでの結果では比較圃場と較べて特筆すべき差は見られなかったと報告されている。また，カドミウム，銅，ヒ素等についても昭和54年の調査と較べて変化はなかったと報告されている。

(5) 生育，収穫調査結果

生育状況については，草丈，茎数では図－7・4のようであり各圃場間では大差なかったが，比較圃場と較べると草丈がやや大きいことが見られた。また葉色については下水処理水を用いた圃場は緑色が濃く，特に収穫期では黄色化の進行が遅く，緑色が残存するとしている。

3ヶ年の収穫量は表－7・9の通りであり，55年，56年度とも下水処理水を用いた方が収量としては高いものとなっている。

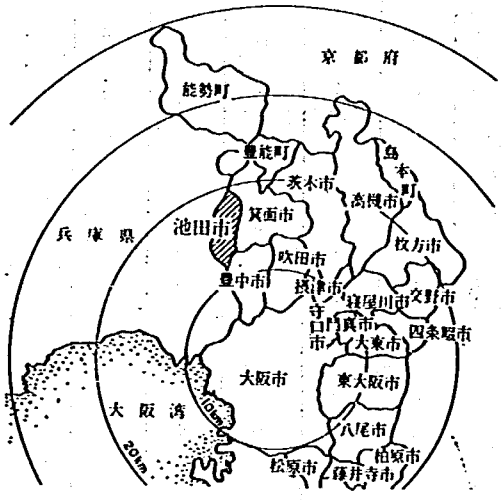
下水処理水利用による水稲への影響としては，草丈の徒長という過繁茂の現象があらわれているとしている。表－7・10のように下水処理水利用の3圃場では出穂期，収穫期とも茎葉重またはわら重が大きく，河川水を利用した場合と比べて過繁茂となるとしている。

ここでのまとめとしては，下水処理水の水質では，BOD，窒素，全リン，塩素イオンなどが河川水を上まわっており，特に総窒素では農業用水基準値の1㎎／ℓを大きく超えて，平均値で7㎎／ℓであり，また，アンモニア態窒素，亜硝酸態窒素もかなりの濃度で存在していた

表－7・3　試験田の区分，灌がい水混合比，施肥量，収穫比[31),34)]

	昭和51年度～昭和52年度												昭和53年度～昭和54年度						昭和55年度～昭和56年度											
	灌漑水（%）		施肥量（kg／10a）						収量比*（%）		灌漑水（%）		施肥量（kg／10a）						収量比*（%）		灌漑水（%）		施肥量（kg／10a）						収量比*（%）	
			N				P_2O_5	K_2O					N				P_2O_5	K_2O					N				P_2O_5	K_2O		
	処理水	河川水	元肥	第追一回肥	第追二回肥	計			51年度	52年度	処理水	河川水	元肥	第追一回肥	第追二回肥	計			53年度	54年度	処理水	河川水	元肥	第追一回肥	第追二回肥	計			55年度	56年度
1	100	0	5.6	3.4	2.2	11.2	7.8	10.5	86.3	87.2	50	50	5.6	0	0	5.6	7.8	10.5	96.6	105.2	50	50	5.6	1.7	1.1	8.4	7.8	10.5	98.2	110.8
2	100	0	0	0	0	0	7.8	10.5	87.2	96.3	100	0	0	0	0	0	7.8	10.5	106.0	111.7	100	0	0	0	0	0	7.8	10.5	85.4	105.3
3	100	0	2.8	1.7	1.1	5.6	7.8	10.5	106.2	91.0	50	50	0	3.4	2.2	5.6	7.8	10.5	103.4	105.9	50	50	2.8	3.4	2.2	8.4	7.8	10.5	99.6	117.7
4	50	50	2.8	1.7	1.1	5.6	7.8	10.5	128.7	86.9	50	50	2.8	1.7	1.1	5.6	7.8	10.5	99.2	119.0	55	50	2.8	1.7	1.1	5.6	7.8	10.5	102.2	112.6
5	50	50	5.6	3.4	2.2	11.2	7.8	10.5	128.8	84.5	50	50	5.6	3.4	2.2	11.2	7.8	10.5	101.9	96.5	50	50	5.6	3.4	2.2	11.2	7.8	10.5	101.2	115.8
6	50	50	0	0	0	0.	7.8	10.5	133.3	81.0	50	50	0	0	0	0	7.8	10.5	111.2	114.8	50	50	4.2	1.7	1.1	7.0	7.8	10.5	101.3	114.2
7	25	75	5.6	3.4	2.2	11.2	7.8	10.5	113.5	74.4	25	75	5.6	3.4	2.2	11.2	7.8	10.5	91.9	96.9	50	50	4.2	3.4	2.2	9.8	7.8	10.5	103.3	121.0
8	25	75	2.8	1.7	1.1	5.6	7.8	10.5	117.0	80.2	0	100	0	0	0	0	7.8	10.5	98.7	89.4	0	100	0	0	0	0	7.8	10.5	75.2	81.1
9	0	100	5.6	3.4	2.2	11.2	7.8	10.5	100.0 (438)	100.0 (658)	0	100	5.6	3.4	2.2	11.2	7.8	10.5	100.0 (542)	100.0 (529)	0	100	5.6	3.4	2.2	11.2	7.8	10.5	100.0 (626)	100.0 (495)

*収量比は9区を100％とし，（　）内は玄米重（kg／10a）



図－7・3　池田市位置図[35)]

表－7・4　農作物の作付経過[35)]

圃場 ＼ 月	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
水稲作付区（1～3号圃場）			水稲					ほうれんそう				
											キャベツまたは大阪白菜	
野菜作付区（4，5号圃場）					大豆				ネギ			
	その他ナスビ等の作付											

表－7・5　水稲の作付条件

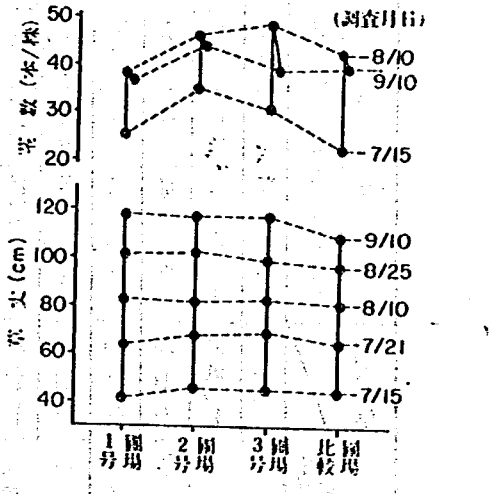
圃　場	施　肥　水　準	文　献　値[1)]
1号圃場	（無　施　肥）	N；　9～12kg
2号圃場	（リン酸・カリ施肥） 過リン酸石灰　1.41kg／100 m² 塩化カリ　0.35kg／100 m²	P_2O_5；6～9kg K_2O；7～10kg （10a当り）
3号圃場	（窒素・リン酸・カリ施肥） 過リン酸石灰　1.41kg／100 m² 塩化カリ　0.35kg／100 m² 硫酸アンモニア　0.85kg／100 m²	
比較圃場	同　3　号　圃　場	

表－7・6　かんがい期の水質[35)]

項目＼年度			下水処理場放流水（調査回数26回／3カ年）				河川水（江原川）（調査回数26回／3カ年）			
			54	55	56	3ヶ年平均値	54	55	56	3ヶ年平均値
水温	Temp.	℃	24.4	22.3	23.7	23.5	25.4	22.5	24.0	24.0
水素イオン濃度	pH	—	7.10	7.05	7.13	7.09	7.58	7.87	8.13	7.86
溶存酸素	DO	mg／ℓ	2.3	1.7	0.8	1.6	7.6	9.0	9.4	8.7
導電率	EC	μS／cm	147	316	399	387	239	253	256	249
化学的酸素要求量	COD	mg／ℓ	8.0	5.4	6.6	6.7	7.9	4.1	5.7	5.9
生物化学的酸素要求量	BOD	mg／ℓ	6.3	6.0	5.5	5.9	2.0	2.4	3.2	2.5
浮遊物質	SS	mg／ℓ	3.1	3	4.6	3.6	57.4	13	7.6	26
全蒸発残留物	TS	mg／ℓ	265	244	265	258	207	202	187	199
アンモニア性窒素	NH_4-N	mg／ℓ	2.30	2.01	3.32	2.54	0.06	0.10	0.18	0.11
亜硝酸性窒素	NO_2-N	mg／ℓ	1.08	0.798	0.303	0.727	0.06	0.043	0.058	0.054
硝酸性窒素	NO_3-N	mg／ℓ	3.44	4.06	1.64	3.05	1.00	1.32	0.84	1.05
総窒素	T－N	mg／ℓ	7.28	7.46	6.87	7.20	1.47	1.92	1.51	1.63
リン酸態リン	PO_4-P	mg／ℓ			0.60				0.20	
総リン	T－P	mg／ℓ	0.87	0.82	0.78	0.82	0.29	0.16	0.25	0.23
塩素イオン	Cl^-	mg／ℓ	47.0	30.5	42.2	39.9	20.3	15.7	19.7	18.6
カリウムイオン	K^+	mg／ℓ	7.00	5.33	6.57	6.3	4.81	3.58	4.14	4.18
カルシウムイオン	Ca^{2+}	mg／ℓ	28.6	23.3	24.6	25.5	21.2	23.4	20.5	21.7
マグネシウムイオン	Mg^{2+}	mg／ℓ	5.3	6.8	6.2	6.1	4.2	6.7	6.2	5.7

表－7・7　かんがい用水量[35)]

＼	54年度	55年度	56年度	文献値[3)]
1号圃場	2,190㎥	1,710㎥	1,492㎥	日減水深として20～30㎜したがって100㎡当り200～300㎥（ただしかんがい期100日とする）
2号圃場	1,590㎥	2,110㎥	1,467㎥	
3号圃場	2,330㎥	1,130㎥	1,273㎥	
比較圃場（河川水利用区）	＼	（慣行水量）		



図－7・4　水稲の生育状況[35)]

表－7・8　水稲収穫後の土壌調査結果[35)]

採収日：昭和56年10月17日

項目 ＼ 採取地点 ＼ 採取深度		1号圃場				2号圃場				3号圃場				1～3号の平均値	比較圃場				
		水口	中央	水尻	平均値	水口	中央	水尻	平均値	水口	中央	水尻	平均値		水口	中央(1)	中央(2)	水尻	平均値
pH	作土層	5.90	5.82	5.62	5.78	5.75	5.36	5.23	5.45	5.70	5.86	5.28	5.61	5.61	6.23	6.12	5.85	6.01	6.05
(H_2O)	すき床層	6.53	6.37	5.77	6.22	6.25	6.37	5.38	6.00	6.09	6.42	6.86	6.46	6.23	6.80	6.56	6.16	6.31	6.46
導電率	作土層	56	61	58	58	69	93	70	77	76	55	65	65	67	57	46	75	57	59
($\mu s/cm$)	すき床層	56	54	57	56	48	46	55	50	58	66	49	58	54	56	54	69	114	73
総窒素	作土層	1,530	1,840	1,620	1,660	1,810	1,870	1,700	1,790	1,910	2,020	1,580	1,840	1,760	1,670	1,810	2,250	1,610	1,840
(mg/kg)	すき床層	1,030	1,070	1,110	1,070	1,230	1,140	1,120	1,160	1,190	1,180	1,150	1,170	1,140	1,200	1,160	1,200	1,420	1,250
総リン	作土層	1,060	1,380	1,380	1,270	1,560	1,410	1,460	1,480	1,550	1,610	1,620	1,590	1,450	1,770	1,970	2,090	1,750	1,900
(mg/kg)	すき床層	810	721	727	753	844	778	774	799	928	870	787	862	804	1,180	1,020	1,160	1,530	1,220
カリウム	作土層	21,500	21,600	22,200	21,800	20,600	21,000	21,300	21,000	20,900	21,800	21,900	21,500	21,400	20,500	19,600	20,500	20,300	20,200
(mg/kg)	すき床層	21,100	20,900	21,000	21,000	20,400	20,100	20,700	20,400	21,300	20,400	20,200	20,600	20,700	20,200	19,600	19,900	20,300	20,000
強熱減量	作土層	6.1	6.1	5.9	6.0	6.4	6.8	6.5	6.6	6.8	7.0	6.4	6.7	6.4	6.3	6.7	7.3	6.0	6.6
(%)	すき床層	5.3	5.5	5.7	5.5	5.4	5.9	6.1	5.8	6.0	6.0	6.1	6.0	5.8	5.5	5.6	5.5	6.0	5.7
置換性マグネシウム	作土層	1.43	1.41	1.50	1.45	1.38	1.29	1.16	1.28	1.40	1.66	1.26	1.44	1.39	1.85	1.83	2.01	1.66	1.84
(me/100g)	すき床層	1.74	2.01	1.60	1.78	1.91	2.00	1.66	1.86	1.96	1.96	1.80	1.91	1.85	2.08	2.02	1.83	1.97	1.98
置換性カルシウム	作土層	5.89	5.89	5.84	5.87	5.49	5.39	4.97	5.28	5.49	5.89	4.88	5.42	5.53	6.19	6.44	6.64	5.89	6.29
(me/100g)	すき床層	6.44	6.94	6.39	6.59	6.59	6.69	5.94	6.41	6.64	6.74	6.84	6.74	6.58	6.74	6.79	5.94	5.99	6.37
アンモニア性窒素	作土層	10.7	11.5	11.9	11.4	12.6	10.7	9.4	10.9	8.3	8.2	12.7	9.7	10.7	5.9	4.5	6.2	6.9	5.9
(mg/kg)	すき床層	4.2	6.7	3.7	4.9	2.4	2.3	1.8	2.2	3.1	2.8	1.6	2.5	3.2	1.4	2.9	2.6	6.0	3.2

表－7・9　玄米収穫量[35)]

	54年度	55年度	56年度	備　　考
1 号 圃 場	34.0 kg	35.2 kg	43.0 kg	無施肥区
2 号 圃 場	34.0 kg	36.5 kg	49.0 kg	リン・カリ施肥区
3 号 圃 場	35.5 kg	34.4 kg	46.0 kg	窒素・リン・カリ施肥区
比 較 圃 場（河川水利用区）		34.2 kg	46.0 kg	55年；無施肥 56年；窒素・リン・カリ
池田市平均	38.5 kg	39.7 kg	40.5 kg	近畿農政局統計情報部編
大阪府平均	39.3 kg	35.6 kg	40.8 kg	
全 国 平 均	48.2 kg	41.2 kg	45.3 kg	

表－7・10　もみ重とわら重[35)]

	出穂期（9月4日）				収穫期（10月16日）				
	草　丈（cm）	穂　数（数／株）	全重量（g／株）	穂重量（g／株）	茎葉重量（g／株）	草　丈（cm）	全重量（g／株）	籾重量（g／株）	わら重量（g／株）
1号圃場	115	42	188	1.45 (7.7%)	174 (92.7%)	115	123	54.3 (44.1%)	68.7 (55.9%)
2号圃場	115	42	179	14.7 (8.2%)	164 (91.8%)	108	110	50.2 (45.6%)	59.8 (54.4%)
3号圃場	116	49	222	14.4 (6.5%)	208 (94.5%)	110	127	56.2 (44.3%)	70.5 (55.7%)
比較圃場	110	35	157	15.5 (9.9%)	142 (90.1%)	102	108	55.3 (51.2%)	52.7 (48.8%)

※　重量測定は採取後5日間風乾後測定した値。

にもかかわらず，水稲栽培での影響は，過繁茂という窒素過多に起因する現象が見られたが，収穫量には影響が出ず，下水処理水利用による窒素障害というものは軽度であったとしており，短期間に限っての使用は問題なく，渇水時における緊急用水として十分に評価できるとしている。また，基肥などの施肥管理，かんがい方法の工夫などの窒素障害対策を実施することにより，その影響は更に小さくでき，従来の河川水利用の場合とは大差ない生育が期待できるともしている。

8. 下水処理水の農業利用にあたっての検討課題

ここまでは稲作と窒素との関係について，その概論と下水処理水を農業利用を行う場合に発生しうる問題点，および下水処理水を農業利用している例やその検討を行っている例について述べてきた。ここでは，下水処理水を農業利用するうえで今後検討すべき事項についてまとめることとする。

下水処理水の農業利用を考えるうえでまず認識しておく必要があるのは，その利用形態が直接的再利用なのか間接的再利用なのかの違いであろう。直接的再利用は農業用水が不足している地域で灌漑水あるいはその補給水として下水処理水を利用することを想定したもので，この場合は農業サイドでの例えば栽培技術等の改良などの協力も得やすいと考えられる。間接的再利用は下水処理水の農業用水路あるいは農業用水を取水している河川の上流部への放流を想定したもので，この場合には慣行の稲作に影響を与えないか，もしくは収量，労力，経費等に影響を与えない程度の軽微なものにとどめるよう配慮が必要であろう。

8.1 下水処理水中の成分が稲の生育および土壌に与える影響

表−8.1に農業用水基準を示す。下水処理水を利用した場合に水質的に満しえないものとしては窒素が一番大きいと思われる。以下に各項目の検討すべき点を整理してみた。

8.1.1 窒　素

農業は，窒素，リン，カリという基本的な肥料成分によって支えられており，また，我が国の基幹作物である水稲は窒素の適正量の範囲が狭く，窒素過剰の被害を受けやすいこと，稲の窒素吸収は生育時期別によってかなり異なり窒素の必要としない時期があるなどから，農業用水の水質基準の中に窒素の規制があるのは当然といえるが，その数値が全窒素で1mg/ℓ以下とされたところに問題があるといえる。

まず，全窒素濃度で1mg/ℓ以下との決定根拠であるが，これはおそらく東京農試が行った用水窒素濃度と汚水害被害との関係の調査[25]で被害程度が0（生育収量への影響が全くなし）とした濃度から決められたものと考えられるが，この濃度は地力窒素が高く水はけの悪い湿田等で定式的な施肥管理でも影響が出ない程度のかなり安全側にとったものといえよう。一方，実際の用水の窒素濃度について考えてみると，全国の主要河川において全窒素濃度が1mg/ℓを超えている例がかなり見うけられること，雨水ですら時として1mg/ℓを超える例が見られること，水田からの肥料成分の流亡があることなどを合せると，現段階での用水でもこの基準を満し得ないものがかなり多数あると言える。したがってこの数値は，希望的数値程度にとどめてほしいものであり，事実，1mg/ℓを越える窒素を含む灌漑水を用いても適切な施肥および水管理のもとで標準以上の収量を上げている例は枚挙にいとまないほどであり，また，下水処理水の全窒素の平均値が16.5 mg/ℓとかなり高いものであり，河川水や既存の用水の窒素がすでに水質

基準を満しえないものが多数あるといった状態では単に希釈すればこと足りるものではないことは容易に理解できよう。

次に窒素の形態の違いについても配慮が必要であろう。これまでに灌漑水中の窒素による窒素過剰障害が見られた例の多くは，水中に多くの有機物を含み，窒素の形態としても有機態窒素が主成分であること多かったようである。これに対し下水処理水は窒素に対して有機物量が少なく，窒素も無機態のものが大部分である。したがって下水処理水の窒素の影響による過剰障害の発現機構や程度は従来のものとは異なってくると思われる。特に硝酸態窒素については流亡や脱窒による損失が多く肥効としては劣っていることなどから汚濁物質から除外してよいと意見もある中で，これらも含めた全窒素という形で規制するのは疑問の残るところであろう。

以上のことがらをふまえ，下水処理水の直接的あるいは間接的に農業利用する場合に検討を必要とする項目として次のようなものがあげられよう。

(A) 慣行の稲作において灌漑水中の窒素の形態も含めた許容限界濃度の検討

(B) 灌漑水中の窒素の形態および濃度に応じた施肥設計，水管理等栽培方法の改善の検討

前者については従来から多くの検討が行なわれているが，許容限界の基準をどこにおくかによっても結果が異なってくるわけであり，必ずしも明らかになってないようである。例えば，東京農試の調査[25]において被害程度Ⅰとされる全窒素が3mg/ℓ以下では生育がやや過繁茂という程度であり収量には影響はないわけである。ここで全窒素が3mg/ℓ以下ではアンモニア態窒素が硝化により消失しているとしており，もし，水中の窒素の大部分が硝酸態窒素とした場合，どの程度許容しうるのかは必ずしも明らかになってないようである。後者については直接的に農業利用する場合には重要となる。例えば先に述べた熊本市の場合などでは河川水との等量混合を想定しており，窒素濃度もかなり高いものとなっており，栽培技術での検討も重要なものとなってこよう。この場合，窒素肥料の減肥については，その分のコストも低下するわけであり，積極的な活用が望まれる。

8.1.2 リン，カリ

リン，カリも窒素とならび3大栄養素であるが，カリについては下水処理水中に含まれる量は一般灌漑水とほぼ同程度であり，下水処理水を利用しても特に問題はない。リンについても下水処理水中に含まれる量は少なく，処理水のみで栽培したとしても，通常施肥などで投入する量と較べてかなり小さく，過剰による影響については特に問題はないとされている。

8.1.3 有機物

農業用水基準における有機物の項目ではCODが6mg/ℓ以下という基準がある。一方，通常の下水処理ではBOD，COD等の有機物指標に対する除去率は高い。むろん，灌漑水を下水処理水のみでまかなうとした場合にはこの数値はきびしいものであるが，直接的利用においても通常は不足分の補給水としての利用と考えるのが妥当であり，適当な（数倍程度の）希釈が行なわれればまずは問題はないと考えられる。

8.1.4 浮遊物

農業用水基準での浮遊物（ＳＳ）は100 mg／ℓ以下となっている。下水道法においては標準活性法等高級処理では70mg／ℓ以下とされており，多くの場合下水処理水中のSSは20 mg／ℓ程度のものであり，この値自体では問題ない。問題となるとすればＳＳ中に含まれる窒素であろう。処理水中のSSには4～5％程度の窒素（有機態窒素）が含まれている。もし仮に100 mg／ℓのSSが放流されるとすればそれだけで4～5 mg／ℓの有機態窒素が含まれることとなり，こちらの方が問題となる。

8.1.5 ＡＢＳ

ABSとは合成洗剤に用いられている界面活性剤のアルキルベンゼンスルフォン酸塩のことを指すが，最近のものは生物分解性の高い直鎖型（LAS）などが用いられており，下水処理場での除去率は高く，処理水中の濃度の平均値は0.4 mg／ℓであり[28]，特に問題はない。

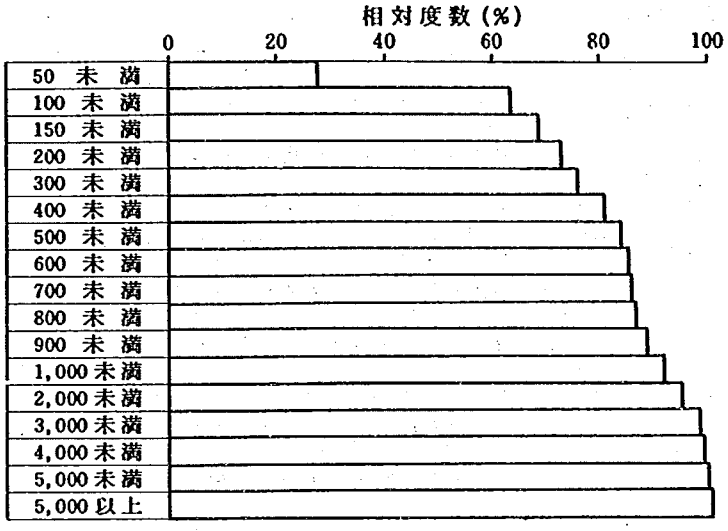
8.1.6 塩　分

農業用水基準における塩分濃度については電気電導度（導電率）で規定されているが，下水処理の分野ではこの測定は一般には行なわれていない。

水稲における塩害の可視被害発現濃度は土壌中の塩素イオン濃度で活着期で0.05～0.07％，分けつ期で0.07～0.1％程度であり，通常，塩素イオンで0.05％（500 mg／ℓ）以下の水を使用していれば障害がおこることは少ないとされている[24]。一方，下水処理水では図－8.1に示すように80％以上が500 mg／ℓ以下であり，塩素イオンの高い処理場はおおむね海岸近くに立設し，海水の影響を受けているものでありこれらは立地条件から農業利用は困難であることなどから，この面でも問題はないといえる。

表－8.1　農業用水の水質基準[31]

項　目	水質基準値	項　目	水質基準値
pH	6.0～7.5	電気伝導度	0.3 mmho／cm以下
ＣＯＤ	6　ppm以下	ＡＢＳ	5　ppm以下
ＳＳ	100　ppm以下	コバルト	0.1　ppm以下
全窒素	1　ppm以下	ニッケル	1　ppm以下
溶存酸素	6　ppm以上	カドミウム	0.03 ppm以下
ヒ　素	0.05 ppm以下	塩素イオン	1,000　ppm以下
銅	0.02 ppm以下	重　油	2　ℓ／a以下
亜　鉛	0.5　ppm以下	軽　油	5　ℓ／a以下



図－8.1　下水処理水の塩素イオン濃度（昭和48年公共下水道統計より）

表－8.2　2次処理水中の金属物質（分流式下水道，家庭下水のみ）

陽イオン / 時刻	NH_4 (mg/ℓ)	K (mg/ℓ)	Na (mg/ℓ)	Ca (mg/ℓ)	Mg (mg/ℓ)	Fe (mg/ℓ)	Cu (mg/ℓ)	Zn (mg/ℓ)	Al (mg/ℓ)	Cd (mg/ℓ)	Ni (mg/ℓ)
0時	18.4	8.47	33.8	3.14	2.03	0.50	ND	0.18	ND	ND	ND
4時	16.2	7.71	30.0	3.16	1.85	0.50	ND	0.15	〃	〃	〃
8時	13.9	8.92	25.5	3.29	1.66	ND	0.01	0.08	〃	〃	〃
12時	18.8	6.99	22.8	4.11	2.13	ND	0.01	0.08	〃	〃	〃
16時	28.7	8.23	32.8	3.12	2.08	0.50	0.01	0.14	〃	〃	〃
20時	22.6	8.16	33.0	3.12	1.92	ND	0.01	0.16	〃	〃	〃

(注) NH_4はイオン量で表示

8.1.7　重 金 属

下水処理水の農業利用で農民が最も心配するのは重金属の問題であろう。表－8.2に下水処理水中の金属物質の実測値の一例を示す。筆者の実測はこの一例のみであり，この結果だけで判断するにはやや厳密さを欠くきらいがあるが，熊本市および池田市での実用化試験[31)35)]でも，重金属の蓄積はなかったと報告されており，これも考え合わせて，特に問題はないと言えるが，今後とも十分検討すべき問題であろう。

以上，検討すべき点を整理して見たが，処理水の成分的問題点から検討すべき課題についてはやはり，窒素の問題に集約されるようである。

8.2 下水処理水を用いる場合の栽培技術の検討

下水処理水の直接的農業利用を行う場合には窒素の対策が重要といえる。前述したように灌漑水中の窒素の許容限界濃度は必ずしも明らかではないが，だからといって無条件に受け入れられるものでもないだろうから灌漑水中の窒素濃度に応じた栽培技術の改良も必要となってこよう。

栽培技術の改良で第1に考えられるのが窒素肥料の減肥を中心とする施肥方法の改良であろう。ここで窒素肥料の減肥だけで対応できるならば栽培経費削減に多少なりとも役立つし，他成分（例えばリン，カリ）の増肥が必要としても，窒素の減肥分で相殺できるので，コストとして大幅なアップになるとは考えにくい。また，環境問題を考える上でも，例えば富栄養化の原因物質であるリン，窒素が耕地から流出する割合が高いなど，農業サイドも排出者側となりうるわけであり，清澄な水を要求するあまり，下水道サイドに過大な処理を要求し，一方ではこれら肥料成分を多量に投入，流亡させるのは得策でないことは理解いただけようし，従来以上の収量を確保でき，かつ処理水中の成分を有効に利用し肥料の投入量を少なくできるならば，全体的に見て負荷の削減にもつながってこよう。これらの意味で今後検討すべき課題として重要であろう。

栽培技術での第2の検討すべき課題は節水栽培を中心とした水管理にあるといえる。用水量を減らせば，水田に流入する窒素量が減少するのは自明の理であり，また，中干し，間断灌漑を行うことにより，土壌を酸化的に保ち，土壌の還元化による根ぐされなどの障害を防ぎ，窒素化合物の酸化分解に役立ち，流亡や脱窒しやすい硝酸態窒素に変える上で有効である。また，近年水資源がひっ迫してきており，水資源の節約にも役立つといえよう。

これまではすべて水稲栽培について述べてきた。灌漑用水が全て水田に用いられるわけでなく，畑地にも用いられるので，これについても少し述べるが，一般に畑地での灌漑水量は水田の場合と較べてかなり少ないため，窒素の量的な流入は少なく，また，土壌自体が酸化的条件にあるため流入した窒素がすみやかに硝酸態窒素に変わり流亡してゆくので，窒素の面での問題は少なく，他の水質項目を満足しうるならば特に問題はないとされている。

8.3 まとめと今後の予定

本報告は下水処理水の直接あるいは間接的に農業利用を行う際に特に問題になるとされている窒素化合物に焦点をあてて，明らかになっている点および明らかになっていない点を整理し，今後実験によって確認すべき項目を整理することを目的としてとりまとめたものであり，この点の整理についてはある程度できたと考えている。これらをふまえ，土木研究所では昭和55年，56年度両年でポット試験を中心とした予備実験を行い，これらの結果も参考にし，昭和56年度より1区画50㎡（0.5a）の試験圃場10区画を用い，実際の下水処理水のみを灌漑水とした農業利用実験を開始している。御存じのように農業は栽培技術のほか気象条件にも大きく影響されるものであり，データーの積み重ねが必要である反面，水稲は通常年1回の栽培しかできないことなどから，結論を得るには期間が必要であり，まだ十分な成果は得られてないが，これについてはまとまり次第報告してゆく予定である。

参 考 文 献

1) 農業技術ハンドブック，全国農業改良普及協会，昭和55年4月1日

2) 植物栄養土壌肥料大事典，養賢堂，昭和51年4月1日

3) イネつくり12ヶ月，農山漁村文化協会，昭和55年4月15日

4) 土壌肥料・植物栄養事典 昭和52年増補版

5) 木内；水稲の栄養診断とその方法，農業および園芸，第43巻第12月号，1962年

6) 農業用水の汚濁対策，横浜市緑政局，昭和52年11月

7) コシヒカリの上手な作り方 茨城県経済農業協同組合連合会 昭和53年1月

8) 高橋；土壌の汚染と浄化作用 産業用水調査会

9) 後藤；水田の土壌管理と施肥方法の改善 農業および園芸 第44巻第2号 1969年

10) 浅野，森，田中，神田；愛知県の水田土壌に関する調査研究（第2報） 愛知県農業総合試験場報告 A（作物） 第2号

11) 長谷川，小林，宮崎，中田；水田における施用窒素の効率的利用（第2報） 滋賀県農業試験場研究報告 第20号 1978年3月

12) 和田，圧子，高橋；水田における窒素の動態と水稲による窒素吸収について 第1報 基肥窒素の吸収 日本作物学会紀事 第40巻 1971年

13) 圧子，和田，斎藤，新保，高橋；水田における窒素の動態と水稲による窒素の吸収について 第2報 基肥窒素の土壌中における行動 日本作物学会紀事 第40巻 1971年

14) 和田，圧子，高橋，斎藤，新保；水田における窒素の動態と水稲による窒素の吸収について 第3報 追肥窒素の土壌中における行動ならびに水稲による吸収 日本作物学会紀事 第40巻 1971年

15) 作物栄養学 朝倉書店，昭和49年

16) 橋川，中井，三上；元肥窒素レベルの差が草津における早植水稲の生育収量性に及ぼす影響 滋賀県農業試験場研究報告，第14号

17) 庄子，野木，高橋，和田；水田における窒素の動態と水稲による窒素の吸収について 第8報 圃場条件の異なる場合の基肥窒素の行動と窒素吸収の比較

18) 水質汚濁対策調査関係資料 －水質汚濁と環境基準－ 愛知県農業試験場

19) 久津那；水稲に対する液体肥料の流入施用 農業および園芸，第41巻 第8号 1966年

20) 山崎；施肥の省力化 水田に対する施肥の流入施用法 農業および園芸，第42巻 第1号 1967年

21) 山崎，久津那，瀬川，平井；水田に対する液体肥料の流入施用に関する研究（第2報） 水稲の集団栽培地に対する液体肥料の流入施用について 日本土壌肥料学雑誌 第36巻第12号1965年

22） 中田，西川，山本；水稲に対する液体肥料の流入施用に関する研究　滋賀県農業試験場研究報告　第9号

23） 水稲に対する硝酸態窒素の肥効について　群馬県農業試験場報告№12　1972年

24） 農業公害ハンドブック，地人書館，昭和52年7月30日

25） 都市近郊における水稲汚水害に関する研究，東京都農業試験場研究報告　第4号

26） 徳永，本荘，浅野，松村；窒素汚濁水による被害水田の実態調査，東海近畿農業試験場研究報告　第22号

27） 徳永，本荘，浅野；窒素汚濁水田における水稲栽培試験，東海近畿農業試験場研究報告 第24号

28） 水質年報　第7号（1981年版）　日本石鹸洗剤工業会

29） 生物学的硝化脱窒処理による窒素の除去　土木研究所資料第1664号　昭和56年3月

30） 日本の下水道　昭和56年版　建設省都市局下水道部

31） 石丸；農業利用上の水質目標，月刊下水道　Vol.4　№5　1981年5月

32） 公共下水道処理水実用化試験調査結果（中間報告）　昭和51～52年度版　熊本市

33） 公共下水道処理水・農業用水実用化試験調査結果（中間報告）　昭和53～54年度版　熊本市経済局農林水産部

34） 公共下水道処理水の農業用水実用化試験　昭和56年度版　熊本市農林水産部農林課

35） 高山，中村；下水処理水の農業用水への循環利用　－池田市再生水利用実験報告－　下水道協会誌　Vol.19　№221　1982年10月

参　考　資　料

作物調査　稲の部

農林水産省九州農業試験場

昭和41年4月

区分	番号	項目	基準	備考	方法	個体数	単位	最小けた	
								調査	平均
第一項 発芽期の調査	1	発芽始	初めて発芽を見た日	集団の場合	観察		月日	1	1
	2	発芽期	は種粒数の40～50%が発芽した日	〃	〃		〃	1	1
	3	発芽ぞろい	同上 80～90%	〃	〃		〃	1	1
	4	発芽日数	種まきの翌日から発芽ぞろいまでの日数	〃	〃		〃	1	1
	5	発芽の良否	良 中 不良（否）	発芽歩合 80%以上 79～60% 59%以下	〃				
	6	発芽の整否	整，中，不整（否）	発芽密度の均一性について	〃				
	7	発芽歩合	$\frac{\text{発芽粒数}}{\text{は種粒数}} \times 100$	普通の場合発芽ぞろいの日に調査する。	100粒宛3回以上		%	1	0.1
	8	発芽率	$\frac{\text{置床翌日から4日までの発芽粒数}}{\text{置床粒数}} \times 100$	発芽試験の発芽期間は通常10日で打切る	同上		〃	1	0.1
	9	発芽率	$\frac{\text{置床翌日から10日までの発芽粒数}}{\text{置床粒数}} \times 100$		同上		〃	1	0.1
	10	平均発芽日数	置床後10日間において日々発芽した種子数を置床後の日数に乗じ，全発芽粒数で除した値		同上		日	0.1	0.1
第二項 苗代期の調査	1	苗長	苗の根ぎわより最長葉の先端までの長さ	精密を要する場合には別に基準を設けて補正する。		20	cm	0.1	0.1
	2	苗齢	最上位の葉身が次位葉（n－1）の葉しようから抽出した長さmを測り次に前者が全長に達した後の葉身の長さMを測り次式により計算する。 苗齢$=(n-1)-\frac{m}{M}$	苗代条件の等しい場合には，苗代期間の積算温度の函数として算出出来る。 $A_3=(\frac{1}{17.18})(\Sigma t)0.67$ $A_1=(\frac{1}{17.18})(\Sigma t)0.69$ A_3＝3合まき苗齢		20		0.1	0.1

区分	番号	項目	基準	備考	方法	個体数	単位	最小けた	
								調査	平均
第二項 苗代期の調査			簡便法としては 1. 未展開葉を0.5展開葉を1.0とみなして目測する。 2. 最上位の全長に達した葉身を9等分して次位葉片の伸長度を目測する。	A_1=1合まきの苗齢 Σt=苗代積算温度 主稈葉の稍葉不完全葉を除き，最初に出現する葉身を有する本葉を第1葉とする。					
	3	葉色	淡緑濃	別にColor Standariによれば明確となる。	観察				
	4	出葉期	最上位の葉しようまたは葉身から次位葉身の先端が抽出した日			20	月日	1	1
	5	地上部生体重	茎葉の部分	水を切ってしおれない間にすみやかに調査する。		20	gr	0.1	0.1
	6	地上部風乾重	茎葉の部分	通風乾燥器を用い40℃24時間乾燥する。		20	gr	0.1	0.1
	7	乾物重	材料を細切して，手早くひよう量びんに入れ，びん共に重量を測り，びんの目方を差引いて生体重とする。次に100～102℃の乾燥器中に入れ目方が変化しないようになるまで乾燥した（材料が小さいときは24時間位）後，デシケーター中で30分間冷却し，びん共に重量を測り，びんの目方を差引いて乾物量を出す。 含水率 $=\frac{\text{生体重}-\text{乾物重}}{\text{生体重}}\times 100$			20	gr	1	1
	8	含水率				20	%	1	1
	9	根数	1次根の根数	普通の場合側根は含まない。		20	本	1	0.1
	10	根長	最長根長	普通の場合最長根長を以て代行する		20	cm	0.1	0.1
	11	総根長	1次根の根長の総和						
	12	根重	生体重，風乾重（乾物重）	同一試験については同じような処置をとつたものを比較すること。 例 1. ろ紙によって附	測定	20		地上部に準ず	

区分	番号	項目	基準	備考	方法	個体数	単位	最少けた	
								調査	平均
第二項 苗代期の調査				着水を完全にふきとって行なう。 2 懸垂して水滴がおちなくなったものについて調査する。					
	13	根色	白色 赤色 赤かつ色 黒かつ色 黒色 } 健全 } 不健全		観察				
	14	発根力	苗の根本から根を全部切り去って，その茎の大部分を水耕液に浸し，約10日間に再生的に発生した新根の数，長さ，乾重で示す。 発根長 R 1 発根数 R n 発根重(乾) R w 発根量＝R 1 ×Rn 発根率＝$\frac{Rw}{Tw} \times 100$ Tw ＝地上乾物量	温度，水稲－30℃ 麦－20℃または室温で行う場合もある。 水耕液の代りに水道水，井水，土を用いてもよい。 その場合同一試験には同じ方法をとる。 また調査方法を明記する。	測定	10	%	1	0.1
	15	地上部乾物重歩合	$\frac{\text{地上部乾物重}}{\text{地上部生体重}} \times 100$	乾物重は乾燥器100～102℃で乾燥したもの	測定 算出	20	%	1	0.1
	16	分けつ数	分けつ節の葉しようから，けつ子の先端の現われたものを1基とみなし，その全数枯死したものは除く。	主茎を含まない。出来る限り分けつ芽の節位を記録する。	測定	20	本	1	0.1
	17	枯葉数	葉身の1／2以上枯れたものは枯葉とする。	出来る限り葉位を記録する。	観察	20	枚	1	0.1
	18	被害発生状況	被害原因によって3ないし6に区別する。 甚・多・中・少・微・無	被害名，発生時期を記録する。	〃				

区分	番号	項目	基準	備考	方法	個体数	単位	最少けた	
								調査	平均
第二項 苗代期の調査	19	苗の生育良否	良・中・不良（否）	苗しろ期間の苗の生育良否について，平年の生育程度を中として判断する。	観察				
	20	成苗歩合(率)（健苗歩合）	は種粒数に対する成苗数の割合	成苗とは無被害苗でその後の生育に支障を来たさない程度に正常に生育した苗をいう。	測定 100本当り3回以上又は30cm平方当り3ヶ所以上		%	1	0.1
	21	30cm平方当たり成苗数			測定	本 (60cm)²		1	0.1
第三項 本田期の栄養生長期間に行う調査	1	植傷みの程度	無・微・少・中・多・甚に分つ	詳細に調査するときはしおれの度，発根力，地上部の含水量，活着期間等を調査する。	観察				
	2	しおれ程度	葉のロールの程度 0無 1微 2弱 3中 4強 5甚	測定は午前中露のある間，午後2～3時の2回測定	観察				
	3	活着期間	田植の翌日から活着日までの日数	活着日とは草たけ伸長，再開始の日，または新葉の発生を認めた日	観察		日	1	1
	4	草たけ	根ぎわから最長葉の先端までの長さ	生育追跡のときは苗の素質，植付けの深さを一定にするよう努め別に基準を設けて測定誤差を少くするよう努力する。	測定	20	cm	1	1
	5	茎数	主稈を含んだ総茎数	分けつは分けつ節の葉しようからけつ子の最初の葉身が現われたものを1茎とみなす。 葉しようの側方から	測定	20	本	1	0.1

区分	番号	項目	基準	備考	方法	個体数	単位	最少けた	
								調査	平均
				現われたものも含む					
第三項 本田期の栄養生長期間に行う調査	6	出葉期	第二項に同じ		測定	20	日	1	1
	7	出葉転換期	出葉間隔が明らかに長くなった最初の日	主茎葉について調査する。理論的には止葉の葉位から逆算して4.3～4.4枚目の出葉期に相当する。	測定算出	20	日	1	1
	8	生葉数	枯葉部の面積が葉身面積の1／2以下の葉身の数	未展開葉(葉身のロールしたもの)は含まない。	測定	20	枚	1	0.1
	9	葉身長	葉身の長さが最長となったときの先端から葉耳までの長さ	葉先が枯れない間に測定するよう注意する。	測定	20	cm	0.1	0.1
	10	葉幅	最大葉幅を以って示す。		測定	20	cm	0.1	0.1
	11	葉しよう長	葉耳からその葉位の着生節までの長さ。		測定	20	cm	0.1	0.1
	12	葉面積	生葉の葉身の面積	測定方法 1. 葉身の大きさを厚さ一定の紙片(感光紙など)に写し，重量法で計算する。 2. 葉面積測定器で測定する。 3. プラニメーターの使用(1.の方法又は青写真)			cm²または(代表)指数的株		
	13	葉の寿命	その葉位の出葉期から枯葉部分が1／2に達するまでの期間	詳細に調査する場合は葉面積を10等分して枯葉部の面積を目測して表示する。			日	1	0.1
	14	葉色	第二項に同じ	できれば葉緑素計を使用 展開葉の上位第2葉中央部(主稈または強勢分けつ茎)	観察または測定			0.01	0.01
	15	分けつ始期	移植(種まき)後初めて新しい分けつを見た日		観察	20	月日	1	1

区分	番号	項目	基準	備考	方法	個体数	単位	最少けた	
								調査	平均
第三項 本田期の栄養生長期間に行う調査	16	分けつ最盛期	分けつ数の増加速度がもっとも大きい時期		測定算出	20	月日	1	1
	17	最高分けつ期	茎数が最も多くなった日		測定	20	月日	1	1
	18	有効分けつ決定期	茎数がその年の穂数と同一になった日	現場的には問題が多い。 出葉転換期を確認すれば大体その時期に相当する。	算出	20	月日	1	1
	19	有効分けつ期間	分けつ始期から有効分けつ決定期までの期間		算出		日	1	1
	20	分けつ終止期	分けつの発生をみなくなった日		測定	20	月日	1	1
	21	無効分けつ期間	有効分けつの決定期の翌日から分けつ終止期までの期間		算出		日	1	1
	22	かん長	最長かんの根ぎわから穂首までの長さ	測定要領は草丈に準ずる。 かんが伸びきった時に測定する。 生育経過追跡の最後の調査となる。	測定	20	cm	1	1
	23	穂長	同上かんの穂首から穂先までの長さ（芒は含まない。）		測定	20	cm	0.1	0.1
	24	穂数	全穂数（おくれ穂被害穂を含む）		測定	20	本	1	0.1
	25	地上部生体重							
	26	〃 風乾重							
	27	乾物重	80℃で2昼夜通風乾燥を行なう						
	28	含水量	苗しろ期調査の項参考						
	29	乾物重歩合							
	30	かん基重	水田生植生長期の項参考						
	31	穂重							
	32	節間伸長							

(注) 直まき栽培の調査個体数は20株または1m間（すじまき）とする。

区分	番号	項目	基準	備考	方法	個体数	単位	最小桁	
								調査	平均
第四項 本田期の生殖生長期間に行う調査	1	幼穂形成始期	各個体の長い茎3本づつのうち，80%以上の茎の幼穂が1㎜に達した日	えい花分化始期に相当する。およそ出穂前25日頃	測定	10	月日	1	1
	2	減数分裂期	花粉母細胞の減数分裂期で大体幼穂長が6～8㎝前後のころである。	出穂前10～15日			月日	1	1
	3	穂ばらみ期間	幼穂形成期から出穂期の前日までの期間				日	1	1
	4	出穂走	集団単位の場合始めて出穂を見た日	出穂とは止葉の葉しようから穂の先端が出た時をいう（ぼうは含まない）	観察		月日	1	1
	5	出穂始	1. 個体単位のときは，始めて出穂をみた日 2. 集団単位の時は全茎数の10～20%が出穂した日		観察		月日	1	1
	6	出穂期	全茎数の40～50%が出穂した日		観察		月日	1	1
	7	穂ぞろい期	全茎数の80%以上が出穂した日		観察		月日	1	1
	8	不時出穂	正常な出穂期以前に異常に早く出穂をみた穂	時期，程度等を記載する。	観察測定				
	9	出穂促進日数	その地方の標準栽培の出穂期に対して促進された日数		算出		日	1	0.1
	10	出穂遅延日数	その地方の標準栽培の出穂期に対して遅延した日数		算出		日	1	0.1
	11	乳熟期	もみ（粒）が緑色を保ちおさえれば，乳状物を出す時期	含水量70%，開花後約2週間前後となる。	観察		月日	1	1
	12	黄熟期	成熟期前1週間位の時期	玄米は透明ではあるが緑色を呈するものが多い。	観察		月日	1	1

区分	番号	項目	基準	備考	方法	個体数	単位	最小桁	
								調査	平均
第四項 本田期の生殖生長期間に行う調査	13	成熟期（完熟期）	1. 全穂数の大部分の穂首が黄化した日（全穂数の80%以上） 2. 穂首の黄化しないものはもみの黄化によって判定する（全粒数の70%以上）	やや詳しく調べるときは 1. もみの水分含量が19～20%となったとき 2. もみの乾物重が最大となったとき 3. 大部分の穂の下位枝こう上の玄米が大部分爪先でマサイ出来なくなったとき 4. 青米が10%以下となったとき			月日	1	1
	14	成熟日数（登熟日数，結実日数）	出穂期の翌日から成熟期までの日数		算出		日	1	1
	15	生育日数	は種翌日より成熟期までの日数		算出		日	1	1
	16	倒伏	原因によって3～6階級に区分して観察する。 無・微・少・中・多・甚	原因および時期を記録する。第二項18参照 倒伏の角度，同面積の歩合，減収予想率をなるべく記入する。					
	17	病虫害	同上	同上					
第五項 収穫期およびその後の調査	1	かん長	最長かん長 平均かん長 次別平均かん長 節位別かん長	第三項に準ずる	測定	20	cm	1	1
	2	穂長	同上		測定	20	cm	0.1	0.1
	3	穂数	同上		測定	20	本	1	0.1
	4	穂重		充分日乾したもの	測定	20	gr	0.1	0.1
	5	わら重	1. 株単位の場合は穂重を除いた地上部全重量	充分日乾したもの	測定	20	gr	1	1
			2. 面積刈り調査の場合はもみを脱こくしたあとの全わら重	同上	測定		kg	0.1	0.1

区分	番号	項目	基準	備考	方法	個体数	単位	最小桁	
								調査	平均
第五項 収穫期およびその後の調査	6	遅れ穂数	穂ぞろい期以後に出た穂を云う	詳しくは 1. 粒の大部分(80%以上)が不ねん粒粒となった穂 2. かん長が50%以下の場合	測定	20	本	1	0.1
	7	被害穂数	被害により粒の大部分が不ねん粒となった穂	被害名を記録する 大部分とは80%以上を云う	測定	20	本	1	0.1
	8	有効穂数	被害穂，おくれ穂を含まない穂数		測定	20	本	1	0.1
	9	有効茎歩合	$\frac{\text{有効穂数}}{\text{最高茎数}} \times 100$		算出		%	1	0.1
	10	穂重歩合	$\frac{\text{穂重}}{\text{穂重}+\text{わら重}} \times 100$		算出		%	1	0.1
	11	ねん実粒数	1. 受精したものをねん実粒と見なす場合 2. くず米(発育停止)以上を含む場合あり	基準を明記すること	測定		粒	1	0.1
	12	不ねん粒数	1. 受精していないものを不ねん粒と見なす場合 2. 外観上子房の肥大が認められないものを不ねん粒と見なす場合	基準を明記すること 収穫調整後にくず米にもならない粒	測定		粒	1	0.1
	13	ねん実歩合	$\frac{\text{ねん実粒数}}{\text{ねん実粒数}+\text{不ねん粒数}} \times 100$		算出		%	1	0.1
	14	不ねん歩合	$\frac{\text{不ねん粒数}}{\text{ねん実粒数}+\text{不ねん粒数}} \times 100$		算出		%	1	0.1
	15	枝こう数	(1次枝こう 2次枝こう	母枝こうを含む	測定		本	1	0.1
	16	かん基重	節間伸長0.5 cmの節間の下位節を含み，上位へ10cmの長さのかん重	充分乾燥した材料について	測定		mg	1	0.1
	17	節間長	伸長節間について調査する	伸長節間とは節間長0.5 cm以上を云う	測定	20	cm	0.1	0.1

区分	番号	項目	基準	備考	方法	個体数	単位	最小桁	
								調査	平均
第五項 収穫期およびその後の調査				上位よりホクビから第一節までを第一節間として，以下下位に及ぶ。 普通第5～6節間まで計れる。					
	18	総収量	充分日乾した地上部全重量	以下 同	測定		gr	1	1
	19	もみ重	しいな重も含んだ総もみ重		測定		〃	1	1
	20	しいな重	不ねん実もみの総重	くず米にもならないもの，とうみ先より飛んだもの	測定		gr	1	1
	21	精もみ重	しいな重を除いたもみ重	くず米も含んでいる	測定		〃	1	0.1
	22	しいな歩合	$\frac{\text{しいな重}}{\text{もみ重}} \times 100$		算出		%	1	0.1
	23	わら重歩合	$\frac{\text{わら重}}{\text{総収量}} \times 100$		算出		%	1	1
	24	もみ，わら比	$\frac{\text{精もみ重}}{\text{わら重}} \times 100$		算出			0.1	0.1
	25	精もみ1ℓ重	1ℓ重測定器で3回以上	含水量14～15%	測定		gr	1	1
	26	精もみ千粒重	500粒重2回以上 20 gr 粒数3回以上		測定		〃	0.1	0.1
	27	総玄米重	くず米も含む	含水量14%以下	測定		〃	1	1
	28	玄米重	くず米を除く	同 上	測定		〃	1	0.1
	29	玄米1ℓ重	25と同じ	同 上	測定		〃	1	1
	30	玄米千粒重	500粒2回以上 10 gr 粒数3回以上	同 上	測定		〃	0.1	0.1
	31	くず米重	とうみの二番口に落ちたもの	完全米を含んではならない	測定		〃	1	0.1
	32	くず米千粒重	500粒重2回以上 5gr粒数3回以上		測定		〃	0.1	0.1
	33	くず米歩合	$\frac{\text{くず米重}}{\text{総玄米重}} \times 100$		算出		%	1	0.1
	34	もみすり歩合	$\frac{\text{玄米重}}{\text{精もみ重}} \times 100$		算出		%	1	0.1
	35	アール当玄米重			算出		kg	0.1	0.1

区分	番号	項目	基準	備考	方法	個体数	単位	最小桁	
								調査	平均
第五項 収穫期およびその後の調査	36	玄米の性状	完全米	不完全米を除いたもの（腹白，心白，准青米を含む）					
			不完全米	以下のようなものを云う					
			1. （死）青米						
			2. 乳白米	白色不透明であるが光沢を有し，大きさは完全米に近い					
			3. 茶米（さび米）	外観上は完全米に近く米粒の表面が一部または全部，茶褐色乃至黒褐色に汚染したもの					
			4. 胴切れ米	完全米に近く米粒の腹部（又は背部）に楔状のクビレのあるもの					
			5. 胴割れ米	米粒の中央部に1～数ケ所割れ目のあるもの					
			6. 死米（死青を含む）	成熟の完了しない間に発育の止った米粒で不透明で小さいもの					
	37	倒伏指数	（瀬古氏による1例） $\frac{\text{地上部重量(g)} \times \text{かん長(cm)}}{\text{かんの座折重(g)}} \times 100$		算出			0.1	0.1
第六項 その他		ぼうの多少 ぼうの長短 ぼうのふ先の色 ふ色 粒着の疎密	無，まれ，少，中，多 短，中，長 白，白一紅，紅，紫 白，白かつ，白黄，白煤，白かつ斑，紅，紫 疎10cmの間に45粒以下 中 46～60 密 61～75 極密 76以上						

区分	番号	項目	基準	備考	方法	個体数	単位	最小桁	
								調査	平均
第六項その他		脱粒の難易	易，中，難						
		かんの細太	細，中，太	第3節間の下位節に近い部分のかん径，またはおさえたときの幅を以てする	測定		cm	1	1
		かんの強弱	強，中，弱	座折抵抗によるときは，第3節間の中心部から10cmの長さについて折れたときの重量で示す					
		かんの剛柔	柔，中，剛	手の触感による					
		葉身の形状	直，中，垂	葉身のそのかんに着生する角度を云う					
		葉身の長短	短，中，長						
		葉身の広狭	狭，中，広						
		株張り	開，中，閉						
		柱頭の色	白，紫						
		玄米の品質	上 上 上 中 上 下 中 上 中 中 中 下 下 上 下 中 下 下	玄米の大少，形状，心白，腹白，色，光沢その他を総合して判定する。					
		玄米の大小	小 長×幅 15.5cm以下 中 15.6～17.4 大 17.5以上	完全米について調査する					
		玄米の形状	円 幅／長 159以下 中 160～179 長 180以上						
		心白の多小	無，微，少，中，多	完全米で米粒の中心部に白色不透明な部分があるもの					
		腹白の多少	無，微，少，中，多	完全米で米粒の腹部（希れには背部）に白色不透明な部分があるもの					
		玄米の色	銀白，鈍銀白，鈍白						

区分	番号	項目	基準	備考	方法	個体数	単位	最小桁	
								調査	平均
		玄米の光沢	暗鈍白，赤，褐，黄ろう白 良，中，不良						

下水処理水の農業利用に関する調査報告書（第１報）

ISSN　0386—5878
土研資料第１９２０号
昭和58年3月
下水道部三次処理研究室

キーワード　下水処理水，農業利用，水稲栽培，窒素

要旨

下水処理水の農業利用時に，処理水中の窒素が水稲栽培に与える影響について整理したものである。

郵便はがき

3 0 5 −□□

茨城県筑波郡豊里町大字旭一番地

建設省土木研究所

下水道部三次処理研究室　御中

No.

40円切手をはって下さい

No.

配布先氏名

配布先住所

土木研究所資料第1920号　　部
「下水処理水の農業利用に関する調査報告書（第１報）」

上記のとおり受領しました。

所　属（住所）

氏　名　　印