九州大学学術情報リポジトリ
Kyushu University Institutional Repository

水稲作における潅漑水に含まれるアンモニウム態窒素及び硝酸態窒素と穂肥窒素の肥効

池田, 元輝
九州大学大学院農学研究院植物資源科学部門植物生産科学講座植物栄養学教室

渡辺, 孝賢
九州大学大学院生物資源環境科学研究科植物資源科学専攻植物生産科学講座植物栄養学教室

https://doi.org/10.15017/21102

出版情報：九州大学大学院農学研究院学芸雑誌. 56 (2), pp.131-137, 2002-02. 九州大学大学院農学研究院
バージョン：
権利関係：

九大農学芸誌（Sci. Bull. Fac. Agr., Kyushu Univ.）
第56巻　第2号　131-137　(2002)

水稲作における灌漑水に含まれるアンモニウム態窒素及び硝酸態窒素と穂肥窒素の肥効

池　田　元　輝・渡　辺　孝　賢*
九州大学大学院農学研究院植物資源科学部門植物生産科学講座植物栄養学教室
（2001年9月10日受付，2001年11月20日受理）

Effectiveness of Ammonium-Nitrogen and Nitrate-Nitrogen in Irrigation Water in Paddy Rice without Topdressed Nitrogen at the Panicle Formation Stage

Motoki IKEDA and Takayasu WATANABE*
Laboratory of Plant Nutrition
Division of Soil Science and Plant Production
Department of Plant Resources
Faculty of Agriculture, Kyushu University
Fukuoka 812-8581, Japan

緒　　言

都市の水需要の増大に伴い，市民生活及び都市機能維持のため新たな水源の探索確保がすこぶる重要な行政課題となっている．下水二次処理水は中水として，洗浄水や散水用水として利用され上水の使用量を減少させることに役立ってはいるものの，必要な原水量そのものを増加することには役立っていない．そこで高次下水処理水で農業用水の一部を代替し，余剰になった農業用水を上水の原水として活用することが提案されている（國松　1982）．水稲栽培は畑作物栽培に比べて使用水量がきわめて大きいこと，灌漑水由来の溶質が濃縮される可能性が低いことから（Feigen *et al.*, 1991），処理水を水稲用水として利用することが妥当とされる．将来的にはさらに水質の改善された三次処理水が利用されるものと予測されるが，当面は二次処理水を対象とすることが現実的である．幾つかの都市の限られた地域の水田ではあるが，すでに二次処理水が活用されている．

二次処理水に含有される成分の中で水稲の生育に最も影響するものは窒素成分である（日高　1986）．この窒素成分は主にアンモニア性窒素と硝酸性窒素から成るが，それぞれの比率や濃度は処理場や季節，天候，時刻により変化することが普通である．水稲栽培前半期の施肥窒素，すなわち基肥窒素は水稲の分けつを旺盛にし穂数を確保するのに不可欠である．したがって窒素濃度の高い二次処理水を灌漑すれば当然この窒素が基肥窒素に加えて分けつ肥としてはたらくことになる．九州地域における現在の主要水稲品種を用いたポット試験において，二次処理水の窒素濃度に相当する濃度のアンモニア態窒素又は硝酸態窒素を含む灌漑水を移植後約50日間（栽培前半期）に給水したときは穂数と粒数が増加し収量増となった（池田ら2001）．一方穂肥窒素を施用し栽培後半期に窒素濃度の高い灌漑水を給水すると，収量に対する効果はそれほど大きくはないが籾窒素濃度が高くなった．このことは，穂肥施用期間が含まれる栽培後半期の前半において特に顕著であった（Ikeda and Watanabe, 2002）．そしてアンモニア態窒素の効果が硝酸態窒素の効果より大きいことが示された．近年では籾の窒素濃度が高くなると

* 九州大学大学院生物資源環境科学研究科植物資源科学専攻植物生産科学講座植物栄養学教室
* Laboratory of Plant Nutrition, Division of Soil Science and Plant Production, Department of Plant Resources, Graduate School of Bioresources and Bioenvironmental Sciences, Kyushu University

コメの食味が低下することになるとされる（田中ら 1994，稲津　1998）．このため穂肥窒素施用量を適正にし，出穂期以降の窒素供給を抑えることが推奨される．穂肥は穎花数を増し穂重を大きくするために欠かすことができない（村山ら　1986）．そこで，本研究では穂肥省略栽培において潅漑水に含まれるアンモニア態窒素及び硝酸態窒素の効果を穂肥窒素の効果と比較した．これにより，穂肥省略栽培後半期間における潅漑水に含まれるアンモニア態窒素と硝酸態窒素の利用率を得ることができ，窒素濃度の高い潅漑水を使用する水稲栽培における穂肥窒素施用量を勘案するために必要な情報が得られる．

材料と方法

水稲の栽培

1 cm の篩を通した二日市土壌（旧福岡県農業試験場水田の灰色低地土，土性：砂壌土，全窒素含量：0.95gNkg^{-1}，CEC：8.3cmol（＋）kg^{-1}）9L を使用し排水口の付いた2000分の1アールワグネルポットに詰めた．あらかじめ数日前に珪鉄10g を混合した上層土壌を取り出し，基肥の窒素は0.8gN，リン酸とカリは1.5gP_2O_5と1.5gK_2O を加えよく混合したのち，水を浸したポット下層土の上に戻し直ちに湛水した．基肥窒素に硫酸アンモニウムを，リン酸とカリにはリン酸カリウムを使用した．1999年6月16日（施肥の3日後）4葉期の苗3本を1株としポット当たり2株を移植した．イネ（*Oryza sativa L.*）の品種はヒノヒカリであった．晴天日及び曇天日は網室にポットを置き，雨天日には降雨を避けるためポットをガラス室へ移動した．穂肥を施用するポットには，第一回穂肥の0.25gN を8月5日に，第二回穂肥の0.15gN を8月12日にいずれも塩安で施与した．8月24日に出穂し10月1日に地上部を刈り取った．

潅漑水処理

苗が活着するまでは学内水を給水した．処理用潅漑水として，学内水（対照水），塩化アンモニウム又は硝酸ナトリウムを7 mgNL^{-1}（低濃度）及び14 mgNL^{-1}（高濃度）の濃度で学内水に添加した水（それぞれアンモニウム添加水と硝酸塩添加水と呼ぶ）を使用した．学内水の水質は，試験期間中は調べなかったが既に報告されている（Buhiyan *et al.*, 1998）．潅漑水処理は次のとおりである．穂肥施用の T1 区及び穂肥無施用の T2 区では全期間を通じて学内水を給水した．Tn 区では低濃度硝酸塩添加水，Ta 区では低濃度アンモニウム添加水，TN 区では高濃度硝酸塩添加水，TA 区では高濃度アンモニウム添加水を，8月5日から9月30日まで（56日間の後半期間）それぞれ給水した．TAa 区では6月24日から8月4日（42日間の前半期間）まで高濃度アンモニウム添加水，8月5日から9月30日まで低濃度アンモニウム添加水を給水した．TNn 区では6月24日から8月4日まで（前半期間）高濃度硝酸塩添加水，8月5日から9月30日まで（後半期間）低濃度硝酸塩添加水を給水した．各区とも3反復の処理を各試験用水の潅漑によって開始した．週日の毎日給水し給水量を記録した．TNn 区と TAa 区を除く区では，前半期間においては1週間に2日排水した．処理用水を給水した日に排水口から浸透水を容器に集め排水量を記録した．9月16日以後は田面水位を低く保つように給水した．

測定及び分析

土壌の酸化還元電位を測定するために，酸化還元電極（東亜電波工業 PTS-2019C）を先端部が8 cm の深さに来るように埋設し Eh 計（東亜電波工業 RM-12P）に接続した．最長葉中央部の葉色を葉緑素計（ミノルタ SPAD-502）で測定した．収穫物をガラス室で天日乾燥したのち70℃の温風乾燥機で2～3日乾燥して，茎葉と穂の乾燥重量を秤量した．穂から籾をとり収量構成要素を調査した．植物体窒素含有率を求めるために，茎葉と穂をサイクロテック粉砕機で粉砕した微粉末試料をケルダール分解しインドフェノール発色－比色法により植物体窒素を定量した（Cataldo *et al.*, 1974）．

結　　果

1999年の栽培期間の日照時間は，9月上旬までは平年の約60％とかなり少なく，9月中下旬は平年並みであった．降雨日が多く栽培をほとんどガラス室で行った．気温は7月中旬まではやや低く，9月中旬以降はやや高めに推移した．土壌の Eh は7月中旬までに－100mV 以下になり，その後9月中旬までは－200 mV 以下で推移した．硝酸塩添加水とアンモニウム添加水の間に土壌 Eh の差はなかった．

処理期間中の平均日潅漑量は，T2 区で1.8cm/日と最小で，他の区では2.0～2.2cm/日であった．潅漑水の浸透率は36％～46％であった．生育量の小さい T2 区，Tn 区，Ta 区では，蒸散量が小さいため浸透率は他の区と比べて高くなった．潅漑水量から計算した潅漑水に由来する窒素負荷量を Table 1 に示す．潅漑水からの窒素負荷量について窒素給源の間で差はなかった．Tn 区及び Ta 区では穂肥窒素相当量，TN

Table 1. Forms and concentrations of supplemental nitrogen in irrigation water and nitrogen loaded from irrigation water.

Treatment	Top dressing	Nitrogen form	Concentration of nitrogen		Nitrogen loaded
			Early period	Later period	
			mg per L	mg per L	g per pot
T1	+	−	0	0	0
T2	−	−	0	0	0
Tn	−	NO_3	0	7	0.399
Ta	−	NH_4	0	7	0.403
TN	−	NO_3	0	14	0.863
TA	−	NH_4	0	14	0.860
TNn	−	NO_3	14	7	1.026
TAa	−	NH_4	14	7	1.051

Early period: June 24 through August 4 (42 days)
Later period: August 5 through September 30 (56 days)

Table 2. Effect of nitrogen in irrigation water and topdressed nitrogen on dry matter production and harvest index of rice.

Treatment	Dry matter production			Harvest index
	Ear	Straw	Total	
		g/pot		
T1	60.6 bc	69.2 bc	129.8 cd	0.47
T2	44.2 a	60.2 a	104.5 a	0.42
Tn	46.1 a	60.7 a	106.8 a	0.43
Ta	47.7 a	65.0 ab	112.7 b	0.42
TN	56.4 b	67.0 b	123.4 c	0.46
TA	60.9 c	72.8 cd	133.7 de	0.46
TNn	62.2 c	76.8 d	139.0 e	0.45
TAa	71.5 d	87.2 e	158.7 f	0.45

Values with the same letter are not significantly different at 5 % level by DMRT analysis.

区及び TA 区では基肥窒素相当量，TAa 区及び TNn 区では基肥窒素相当量以上の窒素が施与されたことになる．TAa 区及び TNn 区において負荷量の55%は栽培前半期間に，45%（穂肥窒素相当量よりやや多い）は同後半期間に施与された．

茎数は，TAa 区で多かったが他の区間では差がなかった．草丈は，T1 区と比べると TNn 区及び TAa 区では同等であり，他の区では低かった．葉緑素濃度は，TN 区及び TA 区で 9 月中旬まで高く推移し，窒素給源がアンモニウム態窒素のとき高かった．

Table 2 に収穫期の乾物生産量を示す．穂重，茎葉重共に T2 区で最も小さく，Tn 区≒Ta 区＜TN 区＜TA 区≒TNn 区＜TAa 区の順に大きかった．アンモニウム態窒素の肥効が大きい傾向であった．TN 区と TA 区の収穫指数が T1 区のものに近いが，他の区の収穫指数は T1 区よりやや低かった．

収量である粒重は穂重よりわずかに小さいが，傾向は穂重と同様である．水稲の収量構成要素を Table 3 に示す．T2 区，Tn 区，Ta 区，TN 区の穂数は T1 区のものより少なく TNn 区と TAa 区では T1 区より穂数が多かった．一穂粒数は T2 区と Tn 区以外の区では T1 区のものと同等以上となった．総粒数は，TNn 区と TAa 区で T1 区を超えたほかは全て T1 区を下まわった．逆に千粒重は，TNn 区と TAa 区のものが最小で，TN 区と TA 区のものが最大であった．

籾窒素含有率は，TN 区と TA 区で最大となり，

Table 3. Effect of nitrogen in irrigation water and topdressed nitrogen on yield components of rice.

Treatment	Grain yield	No. of ears	No. of grains		1,000 grains weight
	g per pot	per pot	per ear	per pot	g
T1	57.9 c	32 b	76 bc	2432 c	23.5 c
T2	42.3 a	26 a	69 ab	1794 a	23.4 bc
Tn	43.4 a	28 a	65 a	1820 a	23.6 c
Ta	45.8 a	27 a	73 abc	1971 ab	23.2 bc
TN	53.8 b	28 a	77 bc	2156 ab	24.7 d
TA	58.3 c	32 b	73 abc	2336 bc	24.7 d
TNn	59.5 c	34 b	79 c	2686 cd	22.2 a
TAa	68.7 d	39 c	79 c	3081 d	22.5 ab

Values with the same letter are not significantly different at 5 % level by DMRT analysis.

Table 4. Effect of nitrogen in irrigation water and topdressed nitrogen on nitrogen concentrations of grain and straw of rice plants.

Treatment	Nitrogen content	
	Grain	Straw
	g per kg	
T1	10.2 a	5.4 c
T2	10.3 a	4.4 a
Tn	11.2 b	5.4 c
Ta	11.3 b	5.5 c
TN	12.0 c	5.8 c
TA	13.0 d	6.8 d
TNn	11.3 b	4.9 b
TAa	12.0 c	5.5 c

Values with the same letter are not significantly different at 5 % level by DMRT analysis.

Tn 区，Ta 区，TNn 区，TAa 区では T1 区と T2 区よりもやや高くなった（Table 4）．窒素給源がアンモニウム態窒素のとき籾窒素含有率が高くなる傾向が認められた．茎葉窒素含有率は，T2 区で最低であり，TN 区と TA 区において高かった．同様に，窒素給源がアンモニウム態窒素のとき茎葉窒素含有率が高くなる傾向が認められた．

籾と茎葉の窒素集積量を Table 5 に示す．T2 区で両集積量共に最少であり，潅漑水から穂肥相当の窒素量が供与された Tn 区と Ta 区でも両集積量は T1 区のものよりも小さかった．TN 区と TNa 区間並びに TA 区と TAa 区間では夫々同等の集積量であった．

同一窒素濃度で同一の処理期間では，窒素給源がアンモニウム態窒素のとき集積量が多くなった．窒素の収穫指数は60～65％となり窒素給源がアンモニウム態窒素のときわずかに低かった．

差引法により潅漑水に由来する窒素の植物による利用率を求めた（Fig. 1）．窒素給源がアンモニウム態窒素のときに利用率は高かった．栽培後半期に高い濃度の窒素を含む水を与えたとき利用率が高かった．乾物中の全窒素量に占める潅漑水に由来する窒素の割合（寄与率）は両窒素給源の利用率を反映してアンモニウム態窒素で高かった．

Table 5. Effect of nitrogen in irrigation water and topdressed nitrogen on nitrogen accumulation in rice plants.

Treatment	Nitrogen accumulation			N harvest index
	Grain	Straw	Total	
		mg per pot		
T1	619 c	371 bcd	990 c	0.62
T2	457 a	265 a	722 a	0.63
Tn	518 b	327 b	846 b	0.61
Ta	540 b	355 bc	894 b	0.60
TN	678 cd	390 d	1,068 d	0.63
TA	789 e	497 e	1,287 e	0.61
TNn	702 d	380 cd	1,081 d	0.65
TAa	855 f	483 e	1,338 e	0.64

Values with the same letter are not significantly different at 5 % level by DMRT analysis.

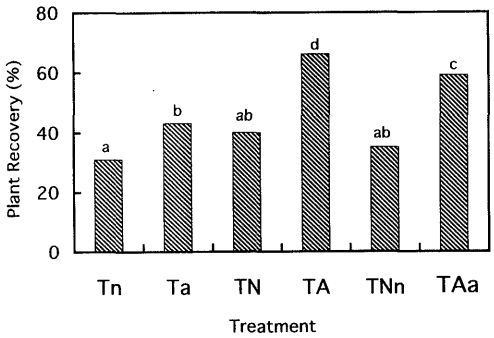

Fig. 1. Plant recovery rates of ammonium- and nitrate-nitrogen from irrigation water supplied to paddy rice. For abbreviation of treatment see the text. Values that columns with the same letter indicate are not significantly different at 5 % level by DMRT.

考　　察

栽培後半期間の潅漑水に含まれる窒素が穂肥としてどの程度の効果をもつかを知るために，穂肥を省略した水稲にアンモニウム態窒素及び硝酸態窒素を添加した潅漑水を供給した試験を実施した．栽培後半期間においても，アンモニウム添加水の収量に対する効果は硝酸塩添加水の効果より大きかった．アンモニウム態窒素は硝化作用により硝酸に変化しなければ脱窒されない．硝酸態窒素は，田面水中から土壌の還元層に移動すると脱窒作用によって植物に利用できない形態の窒素となる（甲斐1978，蘭・川口1978）．このことが，硝酸塩添加水の効果が低い原因と考えられる．

穂肥窒素は出穂20日～25日前に施用され幼穂形成期の植物体で穎花数を確保すると同時に出穂後の光合成機能の維持にも役立つ（村山ら　1986）ので，現代稲作では不可欠とされる．本試験の場合，穂肥施用により収量は37%だけ増加した．しかし低濃度窒素含有水は穂肥相当量の窒素を供給したけれども収量はわずか3～8%の増加にしかならなかった．従って低濃度窒素含有水では窒素給源の形態にかかわらずその窒素は穂肥窒素の代替にはならないといえよう．高濃度窒素含有水の場合では，硝酸態窒素では27%の増加であるが，アンモニウム態窒素では38%の増加になり穂肥とほぼ同等の効果が得られた．後者の場合では穂肥窒素の倍量の窒素が供給されているので窒素の籾生産効率は穂肥の半分とみなされる．高濃度窒素含有水の場合は，一穂粒数を増し千粒重も有意に増加したので，この窒素は籾数の確保と光合成機能の維持に役立つと考えられる．穂肥窒素は必要な窒素を短期間に高濃度で供給できるが，田面水からの窒素は低い濃度で長期間にわたって植物に吸収される．また両窒素の土壌における行動も当然異なるだろう．窒素が植物に吸収される時期と窒素濃度の違いにより，潅漑水からの窒素供給量が穂肥窒素量の2倍となってはじめて同等の収量が得られることになったものと推察される．

栽培前半期間に高濃度窒素含有水を，後半期間に低濃度窒素含有水を潅漑したときは，穂肥施用と同等以上の収量がえられた．このときは茎葉重，全乾物重も

有意に増加した．前半期間に高濃度窒素含有水を潅漑すると分けつ数を増やす基肥増施と同じ効果が出る（池田ら　2001）．このため最終的に穂数が増える結果となった．後半期間は低濃度窒素が与えられたため光合成機能の維持には窒素量が不十分であったので，千粒重は小さくなったものと推察される．

窒素含有水の潅漑は，籾窒素含有率を明白に増加させた．高濃度の窒素，なかでもアンモニウム態窒素の影響が顕著であった．穂肥施用栽培でも後半期間の高濃度窒素含有水の潅漑は籾窒素濃度を増加させた（Ikeda and Watanabe, 2002）．よって穂肥施用の有無にかかわらず田面水からの，継続的に吸収される窒素は優先的に籾窒素として利用されることになる．低濃度の窒素，それも硝酸性窒素を含有する水であれば後半期間の潅漑によって籾窒素含有率をそれほど高めずに使用できよう．

基肥窒素0.8g のみを与えたときは（T2 区），基肥窒素量の90％相当量の窒素が乾物に回収された．この窒素には肥料窒素と土壌窒素が含まれている．T1 区と T2 区の窒素集積量を使い差引法で窒素の乾物への利用率を算出すると穂肥窒素の利用率は67％であった．この回収率は，報告されている値とほぼ同様である（Craswell and Vlek, 1979; Murayama, 1979; Prasad and De Datta, 1979）．潅漑水に含まれる窒素がアンモニウム態窒素のとき，利用率と寄与率が高くなった．この高い利用率が，窒素給源がアンモニウム態窒素の収量における優位性をもたらしたと考えられる．後半期間に低濃度窒素含有水を潅漑したときに，前半期間にも高濃度窒素含有水を潅漑したもので利用率が高いのは，栄養成長期の生育が旺盛で後半期間に生育量が大きかったために窒素の吸収能力が増したことによると考えられる．後半期間に高濃度窒素含有水を潅漑したもので利用率が最も高くなった．この利用率は，穂肥施用で高濃度窒素含有水を潅漑したものより高かった（Ikeda and Watanabe, 2002）．本試験に使用した二日市土壌は養分保持力が弱く可給態窒素量の小さい土壌である．このため栽培後半期間には土壌からの窒素の供給はほとんどなく，また施用された窒素の効果も出やすいと考えられる．栽培後半期間において穂肥無施用のときには土壌中に無機態窒素は存在しない．このため，植物は窒素飢餓状況下にあるので高濃度の潅漑水由来窒素のみを効率よく吸収した結果高い利用率をもたらした可能性がある．

農林水産省が定めた農業（水稲）用水基準の全窒素濃度は 1 mgL^{-1}であり，許容限界窒素濃度の目安は全窒素濃度で 5 mgL^{-1}，アンモニウム態窒素で 3 mgL^{-1}である（白鳥　1977）．これから見るまでもなく，各地域の標準的栽培では用水中の窒素濃度は低いほどよい．しかし窒素濃度の高い用水を使用せねばならない状況を想定して一連の試験を行ってきた．したがって用水中窒素濃度が高いときは施用窒素量を調節せねばならないのは当然である．糟屋・小竹（1997）は，硝酸性窒素濃度の高い（平均で34$mgNL^{-1}$）地下水を潅漑する透水性の高い水田で，基肥と追肥窒素施用量をいずれも推奨施用量の 3 分の 1 に減肥することによりイネ（コシヒカリ）に何ら悪影響をもたらさない栽培が可能であることを報告している．我々の試験結果から，やはりアンモニウム態窒素の効果は強いので，アンモニア性窒素濃度の高い水では一層の減肥が必要である．窒素濃度の高い水を活用する際に最も問題になるのは，窒素の成分組成と濃度の安定性であろう．これなくしては窒素施用量を決めることは不可能であるので，安定した水質の下水二次処理水を水路に放流することが求められる．また，下水二次処理水には有機態窒素が含まれるので砂ろ過処理を施した放流水が望ましい．

要　　約

水稲栽培後半期間の潅漑水に含まれる窒素が穂肥窒素と比べてどの程度の効果をもつかを知るために，灰色低地土を使いポット栽培で穂肥窒素を省略した水稲（品種ヒノヒカリ）にアンモニウム態窒素及び硝酸態窒素を添加した潅漑水を栽培後半期間に潅漑した試験を実施した．低濃度窒素（7 $mgNL^{-1}$）含有水を潅漑したときは，穂肥窒素相当量の窒素が投入されたが収量の増加は小さく穂肥窒素ほどの効果はなかった．高濃度窒素（14$mgNL^{-1}$）含有水を潅漑したときは，増収効果は穂肥窒素のものより大きかったが籾窒素含有率が顕著に増加した．コメの食味を低下させないためには，穂肥窒素施用の有無にかかわらず栽培後半期間に高濃度窒素含有水を潅漑することは避けなければならない．前半期間に高濃度窒素添加水を潅漑し穂肥省略で後半期間に低濃度窒素添加水を潅漑すると，栄養成長が旺盛なため収量が最大となり籾窒素含有率はそれほど上昇しなかった．いずれの場合も，窒素給源がアンモニウム態窒素のとき潅漑水由来窒素の利用率が高く増収効果が大きくなった．

文　　献

蘭　道生・川口桂三郎　1978　水田における脱窒作用．

川口編：水田土壌学．講談社，東京，256-263頁
Bhuiyan, M. M. R., T. Yamakawa, M. Kikuchi and M. Ikeda 1998 Irrigation of secondary sewage effluent: Salinity and nitrogen effects on growth and nitrogen fixation of nodulated and non-nodulated soybeans. *J. Fac. Agr. Kyushu Univ.*, **43**: 273-280
Cataldo, D. A., L. E. Schrader and V. L. Young 1974 Analysis by digestion and colorimetric assay of total nitrogen in plant tissues high in nitrate. *Crop Sci.*, **14**: 854-856
Creswell, E. T. and P. L. G. Vlek 1979 The fate of ferilizer nitrogen applied to wetland rice. *In* "Nitrogen and Rice", Ed. IRRI, IRRI, Los Baños, pp.175-192,
Feigin, A., I. Ravina and S. Shalhevet 1991 Irrigation and Fertilization Management. *In* "Irrigation with Treated Sewage Effluent", Springer Verlag, Berlin Heidelberg, pp.139-174
日高 伸 1986 下水処理水を水田かんがい用水として再利用する場合の問題点．土肥誌，**57**：183-186
Ikeda, M. and T. Watanabe 2002 Nitrogen accumulation in paddy rice irrigated with water containing ammonium and nitrate during the reproductive growth period. *Soil Sci. Plant Nutr.* **48**: 105-109
池田元輝・渡辺孝賢・白石由美子・櫛山泰弘 2001 水稲栽培前半期間の潅漑水に含まれる無機窒素の肥効．九大農学芸誌，**55**：141-148
稲津 脩 1998 多様な水稲栽培方式における水田土壌肥料研究の現状と方向 6．食味と土壌，施肥管理．土肥誌，**69**：88-92
甲斐秀昭 1978 水田土壌における窒素の形態変化と有効性．川口編：水田土壌学．講談社，東京，229-243頁
糟屋真宏・小竹美恵子 1997 地下水かんがいに由来する硝酸態窒素の水田における除去．土肥誌，**68**：651-658
國松孝男 1982 下水再生水の農業利用 農業および園芸 **57**：211-220
Murayama, N. 1979 The importance of nitrogen in rice production. *In* "Nitrogen and Rice", Ed. IRRI, IRRI, Los Baños, pp.5-23
村山 登監訳 1986 稲の無機栄養．吉田昌一：稲作科学の基礎．博友社，東京，127-203頁
Prasad, R. and S. K. De Datta 1979 Increasing fertilizer nitrogen efficiency in wetland rice. *In* "Nitrogen and Rice". Ed. IRRI, IRRI, Los Baños, pp.465-484
白鳥孝治 1977 農作物被害とその対策．坂井監修：農業公害ハンドブック．地人書館，東京，74-90頁
田中浩平・角重和浩・山本富三 1994 ヒノヒカリの窒素栄養診断 第3報 窒素吸収量と玄米窒素濃度・食味との関係．福岡農総試研報，**A-13**：9-12

Summary

A pot experiment was conducted to evaluate the efficiency of ammonium- and nitrate-nitrogen contained in irrigation water during the reproductive growth period of paddy rice (*Oryza sativa* L. cv. Hinohikari) that did not receive topdressed nitrogen at the panicle formation stage. Irrigation of water containing a low level of nitrogen (7 $mgNL^{-1}$) did not increase yields so much compared to topdressed nitrogen. Irrigation of water containing a high level of nitrogen (14$mgNL^{-1}$) caused substantial increases in yields with higher concentrations of grain nitrogen. To prevent the accumulation of nitrogen in grains, irrigation of water containing high levels of nitrogen during the reproductive growth period is not recommended whether topdressed nitrogen is applied at the panicle formation stage or not. Irrigation of water containing the high level of nitrogen during the early cultivation period and water containing the low level of nitrogen during the reproductive growth period resulted in the greatest yields of grains with acceptable nitrogen concentrations owing to larger vegetative growth. Because ammonium-nitrogen was recovered effectively both in grains and straws compared to nitrate-nitrogen, ammonium-nitrogen showed greater effects on grain yields and nitrogen content than nitrate-nitrogen.