施肥改善による亜酸化窒素の発生量削減

誌名	日本土壌肥料學雑誌 = Journal of the science of soil and manure, Japan
ISSN	00290610
著者名	野田,滋
発行元	日本土壌肥料學會
巻/号	72巻4号
掲載ページ	p. 575-581
発行年月	2001年8月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council Secretariat

AgriKnowledge

技術レポート

施肥改善による亜酸化窒素の発生量削減*

野田　滋**

キーワード　亜酸化窒素，窒素肥料，施肥法

1. はじめに

亜酸化窒素（N_2O）はオゾン層破壊および温室効果ガスであり，その大気中での濃度の上昇が地球規模の環境問題になっている．その発生源には陸地や海洋からの自然発生と化石燃料やバイオマスの燃焼等の人為的なものがある．また，大気中の濃度上昇が窒素肥料の生産量の増加と対応していることなどから，窒素肥料は発生源の一つとして認知されるようになってきた．農地に施用された窒素肥料は，土壌微生物による硝化および脱窒の過程でN_2Oを発生する．「土壌生成温室効果ガス動態全国調査（1992～1994年）」[1]により，日本の畑地におけるN_2O総発生量やその実態等が明らかになってきた[2,3]．また，N_2O発生を抑制しようとする試みも，肥効調節型肥料や硝化抑制剤入り肥料を利用していくつか行われている[4]．本研究では，畑地からのN_2O発生抑制方法として，これまでに削減効果がいくつか報告された硝化抑制剤入り肥料について，その効果を確認した．また，施肥法を改善することにより，従来の作物収量および品質を維持あるいは上回るN_2O削減技術を開発した．

2. 肥料の種類による亜酸化窒素発生量の違い

N_2O発生量は窒素肥料の種類に大きく影響される．アンモニウム塩，尿素，硝酸塩，被覆尿素，硝化抑制剤と窒素肥料の種類を変えて，同一量の窒素施用条件下で，それぞれのN_2O発生量を比較した．細粒黄色土（鶴木山統，可給態窒素80 mg kg^{-1}）の圃場で，1993年から1994年と1998年の3年間にホウレンソウ，キャベツ，タマネギ，コマツナ，チンゲンサイ，ダイコンを計11作栽培した．N_2O発生量の測定は八木ら[5]の方法で行った．平均にならした圃場に作物を植え付け，作物の頭上から直径70 cm，高さ20 cmのステンレス製円形チャンバーをかぶせ，測定開始時と15分密閉状態にした時のチャンバー内のN_2O濃度を，2カ所で測定した．チャンバー内の作物数は，ホウレンソウ，コマツナ，チンゲンサイが15株，タマネギが9株，ダイコンが2株，キャベツが1株で行った．得られたデータは前述の土壌生成温室効果ガス動態全国調査に基づき，標準ガス校正等共通な推計手法で発生量を計算した．栽培期間中の測定回数は，施肥後4日までは毎日，5日から14日までは1～2日間隔，以後6日間隔で行った．各作物の栽培および作付け条件は，島根県野菜栽培指針（1993年）[6]に準じて行った．各種肥料における窒素施用量当たりのN_2O発生量は，各々の作期ごとに，発生量から無肥料区の発生量を差し引いて，窒素施用量で除して，N_2O発生割合として表1に示した．窒素施用量当たりのN_2O発生量は，0.00～1.49%で，肥料の種類によって大きく異なった．硫安と尿素を施用した時は，作目を通して最もN_2O発生量が多かった．また，硝酸態窒素を約60%含有する燐硝安加里は，それらに比べて発生量は少ないが，タマネギ作では多い場合も認められた．被覆尿素を含むLPコートやセラコートは硫安等に比べ全般に発生量が少ないが，速効性肥料がブレンドしてあるセラコートでは硫安と同等の発生量を示す場合もあった．一方，硝化抑制剤としてジシアンジアミド，グアニルチオウレア（ASU）および2-アミノ-4-クロル-6-メチルピリミジン（AM）を含む肥料を施用した時，N_2O発生量は全作目を通して最も少なかった．次に，表2にそれぞれの作期ごとの作物収量を示した．硝化抑制剤入り肥料を施用しても高度化成や単肥と同等の収量が得られた．

Shigeru Noda : Application and Use of Fertilizers for the Reduction of Nitrous Oxide Emissions from Upland Soils

* 研究の一部は1995年度と1998年度の日本土壌肥料学会関西支部大会で発表した．

** 島根県農業試験場（現在，島根県中山間地域研究センター 690-3513 島根県飯石郡赤来町下赤名913）

2000年12月27日受付・2001年3月21日受理
日本土壌肥料学雑誌　第72巻　第4号　p. 575～581 (2001)

表1 各種窒素肥料からの N_2O 発生割合 (%)

区名	1993		1994			1998					
	ホウレンソウ	キャベツ	タマネギ	ホウレンソウ	キャベツ	コマツナ1	ホウレンソウ1	チンゲンサイ	コマツナ2	ダイコン	ホウレンソウ2
硫安	0.19	0.23	0.21	0.09	0.23	0.09	0.22	1.16	1.49	0.60	0.09
尿素	0.11	0.22	−	0.07	−	−	−	−	1.04	0.62	−
燐硝安系	0.03	0.16	0.31	0.00	−	−	−	−	−	0.23	−
LPコート	0.06	0.16	0.08	0.00	−	−	−	−	0.65	0.09	−
セラコート	0.01	0.23	0.12	−	−	−	−	−	−	0.14	−
硝化抑制ジシアン	0.04	0.04	−	0.00	−	−	−	−	−	−	−
硝化抑制ASU	−	0.00	−	0.00	−	0.00	0.11	0.45	0.42	0.10	−
硝化抑制AM	−	−	−	0.00	−	0.00	0.01	0.10	0.00	0.11	−

注1) 対照：無肥料区，−：未測定.

注2) 供試肥料名：硫安，尿素，燐硝安系，被覆尿素 LP コート，セラコート U 入り複合，ジシアン燐硝安加里，尿素入り ASU 複合燐加安，AM 尿素化成.

注3) 栽培期間（発生量の計算期間）および施肥概要.

年度	項目（作物名）	栽培期間（発生量の計算期間）	施肥量 ($g\ m^{-2}$)			施肥時期				時期別 N 施肥量 ($g\ m^{-2}$)			
			N	P_2O_5	K_2O	基肥	追肥 1	追肥 2	追肥 3	基肥	追肥 1	追肥 2	追肥 3
1993	ホウレンソウ	5/12〜6/28	23	15	14	5/12	6/14	無	無	15	8	無	無
	キャベツ	9/6〜11/29	22	18	22	9/6	9/27	10/18	無	13	4	5	無
1994	タマネギ	11/18〜6/6	20	26	20	11/17	1/25	2/23	3/22	7	4	4	6
	ホウレンソウ	5/11〜6/29	23	15	14	5/10	6/8	無	無	15	8	無	無
	キャベツ	8/29〜11/14	22	18	22	8/29	9/19	10/10	無	13	4	5	無
1998	コマツナ1	5/18〜6/22	20	10	10	5/18	6/15	無	無	15	5	無	無
	ホウレンソウ1	5/18〜7/9	23	15	14	5/18	6/29	無	無	15	8	無	無
	チンゲンサイ	6/30〜8/27	20	15	20	6/30	8/6	無	無	15	5	無	無
	コマツナ2	8/3〜8/31	20	10	10	8/3	8/17	無	無	15	5	無	無
	ダイコン	9/6〜11/4	25	20	25	9/6	9/28	無	無	15	10	無	無
	ホウレンソウ2	9/28〜12/14	23	15	14	9/28	11/4	無	無	15	8	無	無

但し，LP コートおよびセラコート区の施肥時期は，すべて全量基肥である.

これらの結果から，肥料の種類を変えることによって N_2O 発生量を削減するには，LP コート等被覆尿素も効果的であるが，それ以上に硝化抑制剤入り肥料の使用が効果的であるといえる.

3. 亜酸化窒素の生成と硝化および脱窒の関係

1998 年のチンゲンサイ，コマツナおよびダイコン作（表1）において，N_2O の発生は基肥施用時に大雨が降ると増加し，土壌の水分量が影響を与えていることが示唆された．そこで，土壌の全孔隙容量に占める液相容量で表される water-filled pore space (WFPS)[7] に基づいて，N_2O 発生と硝化および脱窒の関係について検討した．WFPS は次式によって算出した．%WFPS＝液相率/孔隙率×100．N_2O フラックス測定時ごとに，土壌を深さ 0〜5 cm まで採取し，自然含水比を測定した．液相率および孔隙率は常法[8] に従って，仮比重，自然含水比から算出し，土壌の粒子比重は 2.65 $g\ cm^{-3}$ の値を用いた．同一窒素量で N_2O 発生量が異なった 1993 年および 1994 年のホウレンソウと大雨により発生量が高かった 1998 年のダイコンについて，栽培時における土壌の WFPS と N_2O フラックスの関係を図1に示した．N_2O フラックスは，WFPS が 70%付近で発生し，80%で高くなり，90%付近で非常に高くなった．この上昇フラックスは基肥施用時に多くみられ，さらに降雨が重なると高くなった．WFPS と微生物活性の関係では，硝化菌の活性が 60%でピークとなり，60%以上で低下し，80%以上ではほとんどなく，これにかわって脱窒菌の活性が急に高くなることが知られている[7]．一方，陽ら[9] は畑土壌の風乾土で最大容水量の水分比率を変えて，

表2　窒素肥料の種類と作物収量　(Mg ha^{-1})

区　名	1993		1994			1998					
	ホウレンソウ	キャベツ	タマネギ	ホウレンソウ	キャベツ	コマツナ1	ホウレンソウ1	チンゲンサイ	コマツナ2	ダイコン	ホウレンソウ2
硫　安	21.7	75.4	46.7	15.7	53.9	26.8	測定不能	11.4	12.1	39.3	9.6
尿　素	22.6	73.9	−	16.1	−	−	−	−	12.1	39.2	−
燐硝安系	21.4	57.3	46.6	13.9	−	−	−	−	−	39.9	−
LPコート	20.3	53.1	45.5	15.5	−	−	−	−	13.0	37.8	−
セラコート	18.2	63.5	38.9	−	−	−	−	−	−	38.3	−
硝化抑制ジシアン	20.1	67.6	−	12.3	−	−	−	−	−	−	−
硝化抑制ASU	−	79.5	−	15.3	−	26.6	測定不能	10.0	12.3	44.5	−
硝化抑制AM	−	−	−	13.6	−	27.5	測定不能	9.6	12.2	45.2	−

注1）−：未測定．1998年度のホウレンソウ1は萎ちょう病多発のため，収量比較不能．

注2）供試肥料名：硫安，尿素，燐硝安系，被覆尿素LPコート，セラコートU入り複合，ジシアン燐硝安加里，尿素入りASU複合燐加安，AM尿素化成．

注3）耕種概要（施肥概要は表1に同じ）

年度	項　目（作物名）	播種日〈定植〉	収穫日	栽　植　密　度（本 m^{-2}）
1993	ホウレンソウ	5/19	6/28	60（条間15 cm，株間10 cm，6条植え）
	キャベツ	〈9/7〉	11/29	4（畝幅130 cm，株間35 cm，2条植え）
1994	タマネギ	〈11/17〉	6/8	27（畝幅120 cm，株間12 cm，4条植え）
	ホウレンソウ	5/10	6/29	60（条間15 cm，株間10 cm，6条植え）
	キャベツ	〈8/29〉	11/14	4（畝幅130 cm，株間35 cm，2条植え）
1998	コマツナ1	5/25	6/24	60（条間15 cm，株間10 cm，6条植え）
	ホウレンソウ1	5/25	7/7	〃
	チンゲンサイ	7/23	8/27	〃
	コマツナ2	8/3	8/31	〃
	ダイコン	9/7	11/10	6（条間50 cm，株間30 cm，4条植え）
	ホウレンソウ2	9/29	12/14	60（条間15 cm，株間10 cm，6条植え）

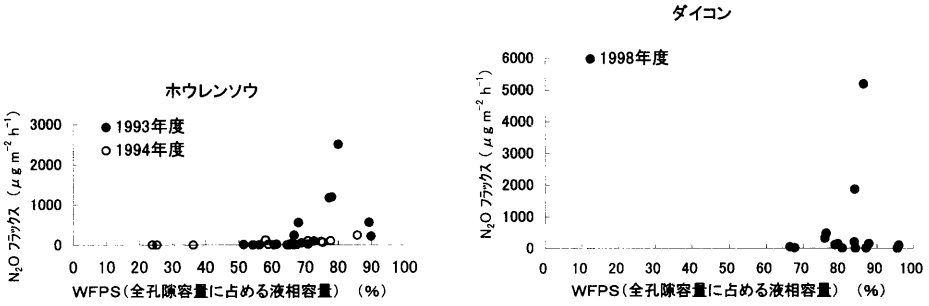

図1　土壌の水分量（WFPS）とN_2Oフラックスの関係

土壌水分量はwater-filled pore space（全孔隙容量に占める液相容量）（%）で表した．

作付け期間中のN_2O総発生量：1993年215 mg m^{-2}，1994年112 mg m^{-2}，1998年520 mg m^{-2}．

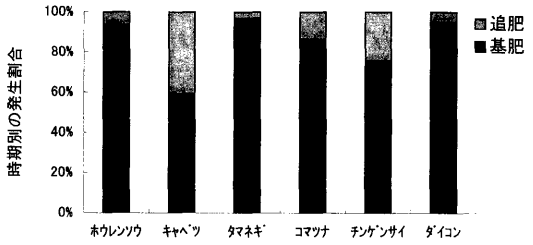

図 2　基肥および追肥が各作物栽培の N_2O 総発生量に占める割合

注 1）供試窒素肥料：硫安．

注 2）施肥量と測定回数および発生量の計算日数．

作　物	時期別 N 施肥量 ($g\ m^{-2}$)		測定回数	発生量の計算日数
	基肥	追肥		
ホウレンソウ	15	8	4	57
キャベツ	13	9	2	81
タマネギ	7	14	1	217
コマツナ	15	5	2	33
チンゲンサイ	15	5	1	59
ダイコン	15	10	1	60

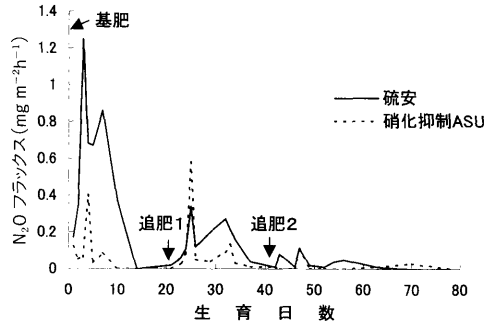

図 3　キャベツ栽培における窒素肥料の種類と基肥および追肥施用による N_2O フラックスの発生パターン

注）

区　名	発生量の計算期間	N_2O 発生量 ($mg\ m^{-2}$)	時期別 N 施肥量 ($g\ m^{-2}$)		
			基肥	追肥 1	追肥 2
硫　安	1993.9/6 ～11/29	231.2	13	4	5
硝化抑制 ASU	〃	65.6	〃	〃	〃

N_2O 発生量を検討し，80%以上で急激な増加を認め，その大部分は脱窒に由来すると報告している．本試験の場合も N_2O フラックスは，WFPS が 80%以上で急激な上昇が認められた．このように，N_2O の生成は WFPS によって発生メカニズムが異なるが，WFPS が 80%以上でも N_2O 発生の少ない場合もあり，土壌水分量の他に微生物活性に影響を与える他因子，たとえば土壌中窒素濃度，窒素形態等と N_2O 発生の関係を考慮する必要がある．

4．施肥法改善による亜酸化窒素発生量削減技術

1）表層施肥による N_2O 削減

窒素施肥については，基肥として化成肥料を耕起した土層に一様に混合する全層施用，追肥として表面施用あるいは除草を兼ねて軽く 5 cm 程度耕す表層施用が広く行われている．そこで，これまでに同様な施肥法で試験を行った作物（表 1）について，硫安施用時の N_2O 発生量に占める基肥と追肥の割合を算出し，その平均値を図 2 に示した．また，一例として，1993 年のキャベツ栽培で，窒素肥料として硫安と硝化抑制剤入り肥料を使用した場合の N_2O フラックスの発生パターンを比較して図 3 に示した．N_2O 発生量は基肥施用時がキャベツで 6 割，他の作物では 8 割以上を占めた．キャベツ栽培時の硫安施用区の N_2O フラックスの発生パターンをみると，基肥施用後，フラックスの急激な上昇が認められ，以後高い状態が約 10 日間持続した．追肥によるフラックスの上昇程度は小さかった．これに比べて，硝化抑制 ASU 区は施肥によるフラックスの上昇が認められるものの，わずか 1 日で低レベルまで低下し，特に基肥施用時における N_2O の発生抑制に効果的であった．

表層施用は全層施用に比べて硝酸化成速度が遅くなるという報告もある[10]．そこで，基肥，追肥とも表層に施用した（以下，表層施肥法という）時の N_2O 発生抑制効果について検討した．供試窒素肥料は硫安を用い，コマツナ，チンゲンサイおよびホウレンソウを栽培し，基肥が全層施用，追肥が表層施用である施肥法（以下，標準施肥法という）と比較した．N_2O 発生量の測定方法および各作物の栽培条件は前記のとおりである．試験区と N_2O 発生量および作物収量を表 3 に示した．表層施肥法は N_2O の発生を 1～6 割程度抑制する効果が認められた．このように表層施肥は N_2O 削減に有効であるが，流亡しやすいという欠点もある．そこで，作物の利用効率を高めるために，局所的に基肥を帯状に表層施用する帯状表層施肥法についても検討した．帯状表層施肥法では標準施肥法の 4～5 割の N_2O 削減効果が認められた．収量は，施肥後 3 週間おいて播種したチンゲンサイでは増収したが，1 週間目に播種したコマツナでは減収した．

2）帯状施肥による N_2O 削減

表層に基肥を帯状に施用する施肥法は N_2O の安定した削減効果が得られたが，土壌表層に肥料が局所的に集中することから，播種を要する作物では濃度障害による減収が懸念された．一方，幅 5 cm，深さ 5～10 cm まで

表3　表層施用がN_2O発生量と作物収量に及ぼす影響

区名	コマツナ			チンゲンサイ			ホウレンソウ		
	発生量 ($mg\ m^{-2}$)	N_2O削減率 (%)	収量指数	発生量 ($mg\ m^{-2}$)	N_2O削減率 (%)	収量指数	発生量 ($mg\ m^{-2}$)	N_2O削減率 (%)	収量指数
標準施肥	105.9	−	100	966.1	−	100	201.1	−	測定不能
表層施肥	92.3	13	93	482.8	50	111	79.9	60	測定不能
帯状表層施肥	58.8	44	84	467.4	52	110	106.7	47	測定不能

注1）施肥方法の概要（供試窒素肥料：硫安）
標準施肥　：基肥 全層施用，追肥 表層施用
表層施肥　：基肥，追肥とも表層施用
帯状表層施肥：基肥 表層局所施用，追肥 表層施用

注2）発生量の計算期間および作物の栽培概要（栽植密度は表2に同じ）

作物名	発生量の計算期間	播種日	収穫日	施肥量 ($g\ m^{-2}$)			施肥時期		N施肥量 ($g\ m^{-2}$)	
				N	P_2O_5	K_2O	基肥	追肥	基肥	追肥
コマツナ	1998.5/18〜6/24	5/25	6/24	20	10	10	5/18	6/15	15	5
チンゲンサイ	1998.6/30〜8/27	7/23	8/27	20	15	20	6/30	8/6	15	5
ホウレンソウ	1998.5/18〜7/9	5/25	7/7	23	15	14	5/18	6/29	15	8

注3）ホウレンソウは萎ちょう病多発のため，収量比較不能．

表4　ホウレンソウ，キャベツ栽培における時期別の窒素分施量

区名	ホウレンソウ						ブロッコリー						
	施肥量 ($g\ m^{-2}$)			窒素分施量 ($g\ m^{-2}$)			施肥量 ($g\ m^{-2}$)			窒素分施量 ($g\ m^{-2}$)			
	N	P_2O_5	K_2O	基肥	追肥1	追肥2	N	P_2O_5	K_2O	基肥	追肥1	追肥2	追肥3
標準施肥	23	15	14	15	0	8	35	25	35	20	5	5	5
減肥施肥	18	15	14	10	0	8	28	25	28	13	5	5	5
ペースト側条施肥	16	16	16	16	0	0	25	25	25	20	5	0	0
帯状施肥 I	18	15	14	10	0	8	28	25	28	13	5	5	5
帯状施肥 II	18	15	14	5	8	5	28	25	28	8	10	5	5

注1）供試肥料名：硫安，ペースト肥料，過石，硫加．
注2）施肥時期：ホウレンソウ；基肥 9/8，追肥1 10/28，追肥2 11/28．
ブロッコリー；基肥 9/28，追肥1 10/27，追肥2 11/20，追肥3 12/10．

の条施用は，硝化作用が硝化抑制剤を利用したと同程度に遅くなるという報告[11]もある．そこで，基肥2割減肥で，肥料層を0〜15 cmまで深くした帯状，局所施肥（以下，帯状施肥法という）のN_2O削減効果および作物収量について検討した．なお，将来の機械化を考慮して，肥料は粒状を用い，施用幅および深さはそれぞれ15 cmとした．また，比較のために，標準施肥の2割減肥区や3割減肥のペースト肥料側条施肥区を設け，さらに帯状施肥では基肥を減らし，その分追肥量を増やした追肥重点施肥法についても検討した．供試窒素肥料はペースト区以外硫安を用いた．試験区とホウレンソウおよびブロッコリー栽培時の施肥窒素の分施量および施肥時期を表4に示した．N_2O発生量の測定方法は前記と同様で，ブロッコリーではチャンバー内の作物数は1株で行った．栽培条件はホウレンソウが前記と同じく，ブロッコリーも指導指針に準じて行った．各施肥法におけるN_2O発生状況と作物収量を表5に示した．帯状に局所施肥した帯状施肥I区は，標準施肥に比べ約4〜8割の高いN_2O削減効果があり，収量も同等であった．また，帯状施肥で追肥重点の施肥法である帯状施肥II区では，N_2O削減効果がさらに高まり，両作物ともに8割以上の削減率であった．収量はブロッコリーで増収したが，ホウレンソウでは，基肥施用から20日目でやや葉色が淡くなり追肥を行ったが，追肥時期が遅れたためにやや劣った．

標準施肥量の2割減肥によるN_2Oの削減効果は，ブ

表5 各種の施肥方法と N_2O 削減率および作物収量

区名	ホウレンソウ			ブロッコリー		
	発生量 ($mg\ m^{-2}$)	N_2O 削減率 (%)	収量指数	発生量 ($mg\ m^{-2}$)	N_2O 削減率 (%)	収量指数
標準施肥	70.6	−	100	162.5	−	100
減肥施肥	87.6	−24	111	94.4	42	102
ペースト側条施肥	176.7	−151	80	314.8	−94	102
帯状施肥 I	44.2	37	102	38.2	76	100
帯状施肥 II	16.5	77	87	8.5	95	116

注1）発生量の計算期間および耕種概要

作物名	発生量の計算期間	播種(定植)日	収穫日	栽植密度 ($本\ m^{-2}$)
ホウレンソウ	1998.9/28〜12/14	9/29	12/14	60（条間 15 cm，株間 10 cm，6 条植え）
ブロッコリー	1998.9/28〜 1/28	(9/29)	1/28	4（畝幅 170 cm，株間 45 cm，3 条植え）

注2）標準区に対する減肥率：減肥，帯状 I および II 区 20%，ペースト区 30%.

注3）施肥方法の概要（施肥量および施肥時期は表4参照）

標準および減肥区：基肥 全層施用，追肥 表層施用.

ペースト区：ホウレンソウ；播種横 5 cm，深さ 5 cm，ブロッコリー；基肥定植位置深さ 5 cm，追肥株両サイド 5 cm，深さ 5 cm.

帯状 I 区：基肥；幅 15 cm，深さ 0〜15 cm までの局所施用．追肥 表層施用.

帯状 II 区：耕種法は I 区に同じであるが，基肥量を 40〜50%減らして，その分追肥増量.

表6 タマネギ栽培における施肥設計

区名	施肥量 ($g\ m^{-2}$)			N 減肥率(%)	窒素分施量 ($g\ m^{-2}$)			
	N	P_2O_5	K_2O		基肥	追肥 1	追肥 2	追肥 3
標準	19.5	26.0	27.7	−	6.5	3.5	3.5	6.0
追肥型 I	19.5	26.0	27.7	0	0.0	3.5	6.5	9.5
追肥型 II	13.0	26.0	27.7	33	0.0	3.5	3.5	6.0
無肥料	0	0	0	100	0.0	0	0	0

注1）供試肥料：基肥，燐硝安加里，過石，硫加；追肥，NK 化成.

注2）施肥方法：基肥，全層施用；追肥，表層施用.

注3）施肥時期：基肥，11 月；追肥，追肥 1　1 月下旬，追肥 2　2 月下旬，追肥 3　3 月下旬.

ロッコリーでは認められたが，ホウレンソウでは逆に発生量が増加した．投入する窒素量が増加すれば，N_2O 発生量も増えることが知られている[12]が，減肥によって N_2O 発生量を抑制するには，2 割程度の減肥量では不十分であると考えられた．また，ペースト肥料は発生量を増加させた.

以上，幅 15 cm，深さ 0〜15 cm の局所施用である帯状施肥法は，N_2O 削減に効果的であり，施肥量を追肥重点に切り換えれば，さらに効果が高まった.

3）施肥時期改善による N_2O 削減

N_2O の発生は基肥施用時に多く，追肥施用時には少ないことから，施肥法を追肥重点に切り換えることで，発生量を大幅に削減できる可能性がある．そこで，タマネギの秋まき普通栽培において，施肥時期改善による N_2O 削減技術について検討した．島根県では，タマネギの施肥量は約 1/3 が基肥で施用され，残りは追肥で 2〜3 回に分けて施用されている．タマネギの窒素吸収パターンをみる[13]と，基肥施用時はほとんど吸収されず，1 月から 2 月にかけて徐々に吸収され始め，3 月の下旬に至ると急激に吸収され，茎葉が目にみえて伸長し始めるのもこの頃である．よって，生育初期の窒素要求量は少なく，一般の畑土壌では，砂土等地力に乏しい土壌を除いて，基肥に窒素を施用しなくても，要求量は満たせると考えられる．表6に試験区と追肥施用時における窒素肥料の分施法を示した．追肥は 1 月，2 月および 3 月の下旬に行い，基肥を施用する標準施肥区を対照にし

表7　窒素分施法とタマネギ収量

区　名	細粒黄色土（1994）		厚層腐植質黒ボク土（2000）			
	中生品種収量		早生品種収量		中生品種収量	
	可販収量 (Mg ha^{-1})	収量指数 (%)	可販収量 (Mg ha^{-1})	収量指数 (%)	可販収量 (Mg ha^{-1})	収量指数 (%)
標　準	45.6	−	24.2	−	58.4	−
追肥型I	50.4	109	24.2	98	66.5	114
追肥型II	48.8	107	28.0	106	64.2	110
無肥料	14.4	43	1.2	44	3.4	28

注1）施肥方法は表6参照.
注2）栽培概要

年度	品　種	定植日	収穫日	栽植密度（本 m^{-2}）
1994	もみじ3号	11/17	6/8	27（畝幅 120 cm，株間 12 cm，4条植え）
2000	早生ジェットボール	11/24	5/29	〃
〃	中生あまがし	11/24	6/12	〃

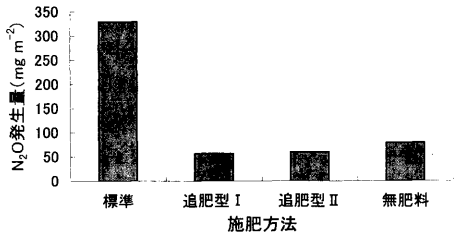

図4　タマネギ栽培における窒素分施法と N_2O 発生量（1994年）
注1）施肥方法は表6参照.
注2）発生量の計算期間：1993.11/18〜1994.6/6.

て，追肥分施量をそれぞれ変えて，N_2O 発生量と収量を比較した．N_2O 発生量の測定およびタマネギの栽培条件は前記と同様である．供試した窒素肥料は，基肥に燐硝安加里，追肥に尿素入りNK化成を用いた．追肥分施における N_2O 発生量を標準施肥と比較して図4に示した．N_2O 発生は，基肥無施用でその分追肥量を増やした追肥型I区と，基肥無施用でその分施肥量を減らした減肥型の追肥型II区ともに，無肥料区とほとんど変わらなかった．この結果から，標準施肥法から追肥分施法に切り換えることで，肥料からの N_2O 発生量を抑えることができた．1994年と2000年に行った細粒黄色土と厚層腐植質黒ボク土におけるタマネギの収量調査結果を表7に示した．追肥重点施肥法は両土壌ともに標準施肥法に比べて多収であり，N_2O 削減に効果的な技術であることが明らかになった．

文　献

1) 日本土壌協会：平成7年度環境保全型土壌管理対策事業：土壌生成温室効果ガス動態調査報告書（概要編），日本土壌協会，東京（1996）
2) 鶴田治雄：わが国の農耕地におけるメタンと亜酸化窒素の発生の実態，ほ場と土壌，**31**，31〜38（1999）
3) 鶴田治雄：日本の水田からのメタンと畑地からの亜酸化窒素の発生量—3年間（1992〜1994年）の全国調査の概要—，農業環境技術研究所資源・生態管理科研究集録，**13**，101〜130（1997）
4) 渡辺　武・石川隆之・陽　捷行：肥効調節型肥料および硝化抑制剤入り肥料による亜酸化窒素の発生抑制効果，土肥誌，**71**，747〜753（2000）
5) 八木一行・鶴田治雄・陽　捷行：CH_4・N_2O フラックス測定マニュアル，農業環境技術研究所資源・生態管理科研究収録，**7**，143〜158（1991）
6) 島根県・JA島根経済連：新野菜栽培指針，447 pp.（1993）
7) Linn, D. M. and Doran, J. W.: Effect of water-filled pore space on carbon dioxide and nitrous oxide production in tilled and nontilled soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **48**, 1267〜1272（1984）
8) 土壌環境分析法編集委員会 編：土壌環境分析法，p. 21〜24，博友社，東京（1997）
9) 陽　捷行・大西　将・福士定雄：土壌中の硝酸化成の過程で発生する N_2O，土肥誌，**54**，277〜280（1983）
10) 古畑　哲・林　成周：深耕地における肥料要素の動態に関する研究，北海道農試彙集，**84**，10〜24（1964）
11) 日下昭二・渡辺和彦・今井太磨雄・山田和雄・西山久代・宗野重徳：施肥位置と窒素の動向について，兵庫農試研報，**18**，35〜38（1970）
12) Cochran, V. L., Elliott, L. F. and Papendick, R. I.: Nitrous oxide emissions from a fallow field fertilized with anhydrous ammonia. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **45**, 307〜310（1981）
13) 山田貴義：秋播き普通栽培，農業技術体系・野菜編，8-②巻，農文協 編，基121〜140，農文協，東京（1993）