

イネの栽培と硝酸性窒素肥料

鳥取大学農学部教授

(故) 山 崎 伝

植物に対して $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ のいずれが勝るかという議論は古くからおこなわれておりますが培地の pH、共存イオンの関係通気の有無、光線の強さといったような条件によるものであって、条件が充分であれば、いずれも高等植物に対して差異はないという結論となっているようであります。

従来イネに $\text{NO}_3\text{-N}$ が用いられなかったのは次のような沼沢作物としてのイネの特性とその栽培環境によるものと考えられます。

① 畑で安定・水田で不安定

土壤が酸化的であるか、還元的であるかによって、土壤中に存在するいろいろな成分の化学的な形態が違うということは良く知られております。

Nについて申し上げますと、畑状態では NO_3 が安定であるし、畑作物は NO_3 を吸収し易い環境におかれています。水田の還元状態の土壤では NO_3 は N ガスとなって空气中に失われ、イネは利用しにくい環境におかれています。

② 通 気

植物の根が、その機能を全うするためには根において好気的な呼吸がおこなわれなければなりません。呼吸に必要な酸素は、畑作物では土壤を通じて分子状で供給され、沼沢作物では葉の気孔 (Stomata) からの O_2 、光合成の際に水の裂開によつて生ずる O_2 、これが何らかの形で植物の組織内を通つて根にあたえられるとして説明されております。そのためイネは還元状態の土壤中にありながら酸化力を保持して養分吸収をおこなっている

と考えられます。

③ NO_3 の役目

植物に吸収された NO_3 が硝酸還元 (nitrate reduction) を経て、アミノ酸、タンパク質にまですゝむ硝酸同化 (nitrate assimilation) についてはよく知られており、N の給源としての役割は NO_3 、 NH_4 、いずれも本質的には差異がないとみなされています。嫌気的あるいは全嫌気的な微生物にみられるような硝酸呼吸 (nitrate respiration) すなわち NO_3 の O_2 が水素の受容体として使われ、エネルギー発生を伴なうという現象は高等植物においてもみられ、とくに通気不足 (deficient aeration) の状態におかれた場合に著しいということは、イネへの NO_3 利用ということと関連して注目すべきことであると考えられます。

つまり NO_3 の吸収は、植物体内でおこなわれる新陳代謝作用に、 NH_4 の吸収とはまた異つた影響をあたえるのではなからうかという推定ができます。

以上によつて、根の呼吸に必要な O_2 の供給経路と NO_3 呼吸とは相通ずるものがあることがうかがわれますが、植物体の組織の構造にも特徴的なものがあります。

沼沢植物では、植物体を通じて根に O_2 が供給され易いような構造をもっています。

自然界においては、土壤の還元に抵抗し得る能力、換言すれば、莖葉を通じて根に O_2 をおくる能力によつて Eh 0.3 volt を界として垂直的に分布しているともいえるのであります。

このようなことからイネは NO_3 を吸収しなくても正常に生育し得る能力をもつように進化してきたと考えることができます。

しかし一方、土壌の還元状態は人間が水田というものを造成した結果の産物であると考えれば、イネについての NO_3 も一般畑作物と同じような見方もできると思います。

従って次にイネの栽培と $\text{NO}_3\text{-N}$ がどのように結びつくか、あるいは利用し得る可能性があるのかどうかなどについて申し上げてみたいと思います。

1. 水稻の多収穫技術と $\text{NO}_3\text{-N}$

1949 (昭24) 年以來の米作日本一を得た農家の人々の収量は平均すると 91 kg/a となりますが、(表の1) のようにこれらの人々の施肥量が全国平均からみると2~3倍に達することもおどろくべきことだと思います。

これだけ多くの肥料(とくにN)を施用しながら、上手にイネに吸収させているのが、多収農家の技術水準の高さだと思いますが、その技術のなかでもっとも一般的におこなわ

れているものを2, 3考えてみますと、そのひとつは畑育苗であります。ほとんどの農家が健苗の育成に十分な注意をはらい畑苗を使って多収をあげて居ります。

畑苗を上手につくると発根がよく、従って活着が早く、養分の吸収を能率よくおこない初期の生育を促進する利点がありますが、これはNや炭水化物の含量が多いからだといわれております。しかし、畑で生育する作物はN源としては NO_3 を吸収しているのが通例であり、畑苗でも十分にその可能性あります。

実際に私たちが、いろいろな畑苗、たとえば農業試験場でつくったもの、あるいは各地の農家がつくったものについてしらべてみますと(表の3)にみられるとおり、数 10 mg から数 100 mg にいたるまでかなりの量の NO_3 が含まれていることがわかりました。

水苗あるいは折衷苗では非常に少いかあるいはまったくみとめられないことも表でおわかりのことと思います。

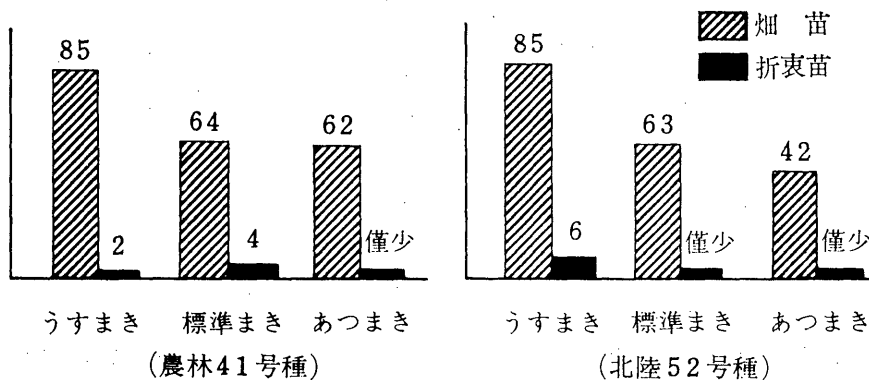
表の1 米作日本一の収量と施肥量

年 度	氏 名	玄米収量 (kg/10a)	肥料成分施用量 (kg/10a)			堆・きゅう肥 (kg/10a)
			チ ッ 素 (N)	リ ン 酸 (P_2O_5)	カ リ (K_2O)	
1949	前 沢	766.1	22.4	14.4	18.0	750
50	西 村	777.0	18.3	14.3	16.6	750
51	土 肥	857.7	22.5	8.3	17.3	1,125
52	大 川	919.8	24.8	15.8	26.5	2,250
53	樽 見	875.1	23.2	16.6	26.2	2,625
54	川 原	994.2	33.8	24.3	43.2	3,000
55	上 楽	1,014.6	22.3	8.7	26.6	1,125
56	百 瀬	868.8	20.6	12.0	22.8	2,250
57	藤 森	855.9	22.0	9.9	25.1	1,125
58	北 原	1,023.9	20.1	14.3	25.3	1,875
59	加 藤	959.1	22.5	23.3	22.5	3,000
60	工 藤	1,052.1	20.8	19.0	29.5	2,250
61	小 池	975.0	28.5	27.6	31.9	1,601
62	小 池	862.8	29.1	54.6	30.2	1,500
平 均		914.4	23.8	18.1	25.8	1,802
全国平均(1966年推定)		400.0	10.4	6.9	8.8	300

畑苗をうすまきにした場合にはあつまきの場合よりも NO₃ が多く含まれた茎葉よりも根の方が多いこともみられます。(第2表)

多収農家の一般的技術の他のひとつは水管理、すなわち間断落水、中干しなどであります。これは水田土壌の還元にともなって生ず

表の2 畑苗の中にふくまれる硝酸態チッ素(乾物100g中のmg)



表の3 農家の畑苗における硝酸態チッ素

試料 No.	茎葉乾物 (苗1本あたり) mg	全チッ素 %	硝酸態チッ素 (乾物100mg中mg)		品質	採取場所(栽培者)	
			茎葉	根			
畑苗	1	45.1	4.20	341	253	南栄	長野県富士見町(小池哲雄)
	2	51.4	4.22	215	172	ヤツガネ	同上
	3	55.7	5.69	202	280	越路早生	富山県入善町(池原吉右エ門)
	4	37.6	5.11	177	362	ハウネンワセ	長野県松本市(北原基)
	5	38.5	5.43	176	461	マンリョウ	富山県入善町(池原清作)
水苗	15	30.0	5.35	27	27	ハウネンワセ	富山県入善町(長田敏幸)
	16	37.1	4.60	20	49	同上	同上
	17	43.8	3.95	3	3	はたか	長野県松本市(北原基)
	18	86.0	4.50	僅少	僅少	マンリョウ	新潟県高田市(北陸農試)

表の4 土壌の中における落水期間の硝酸生成(乾土100g中のmg)

	落水前		落水後*	
	アンモニア態チッ素	硝酸態チッ素	アンモニア態チッ素	硝酸態チッ素
イネ作付区	12.1	0	1.3	0.2
イネ無作付区	12.8	0	6.2	0.0

* 容水量の70%程度にまで土壌水分が減少したとき、作土10cmの土壌を採取して定量した。

表の5 硝酸苗とアンモニア苗の発根力比較

	茎葉の重さ (1株あたり)	硝酸態チッ素 (乾物 100g 中)	根を切って水にさしたあとでの	
			発根数	根の目方
硝 酸 苗	311mg	11.8mg	27.5本	56.4mg
ア ン モ ニ ア 苗	288	僅 少	22.0	32.7

表の6 NH₄-一苗, NO₃-一苗の酸化力

処 理	第 1 回 目 (1月育苗)	第 2 回 目 (5月育苗)	第 3 回 目 (7月育苗)
NH ₄ -一苗	0.03mg	0.83mg	0.67mg
NO ₃ -一苗	0.11	1.13	0.85

備考：酸化 α-naph/乾物 1g・1時間

るイネの根に好ましくない阻害物質を流し去ることと、土壤そのものを酸化的にする目的でおこなうわけですが、このとき土の中にあるNH₄がNO₃に変化することはほとんどありません。(表の4)

NO₃はNH₄とちがって土壤に吸着されにくい性質があるので、こゝにできたNO₃はイネに吸われると同時に水を入れると流亡してしまふ宿命にあります。

このことを考えると、米作日本一の農家で多量のNを施用して水管理を適宜おこなうことによってイネにNO₃を吸収させたり、また余分なNは流したりしながら、多収をあげているとみることができます。

2. 水稲がNO₃-Nを吸収することの意義

以上、多収のイネが、すくなくとも苗のときと、水管理をおこなう分けつ後期から出穂期までの間にNO₃を吸収している可能性のあることをのべましたが、このときにNO₃を吸収することがイネにどのような影響を与えるかを考えてみたいと思います。

育苗のときにNO₃-Nを施用した苗(硝酸苗)はNH₄-Nを施用したアンモニア苗に比べて、根を切って水にさしたのちにてでくる根の量が多いことがみとめられています。(表の5)

すなわち硝酸苗はアンモニア苗に比べて発

根力が強いということがいえるわけですが、これが体内に含まれるNO₃-N含量と関係が深く、NO₃含量の高い場合に発根力が強いといえるようです。従って、畑苗が水苗あるいは折衷苗に比べて活着が早いのもNO₃の影響とも考えられるわけで、また、イネの分けつ後期から出穂期にかけての一般に発根が劣る時期に多収のイネがNO₃を吸収している可能性があるということも意味のあることといわねばなりません。

NO₃を吸収したイネの特徴として発根力のほかに根の酸化力が強くなるということがあります。

(表の6)はアンモニア苗と硝酸苗の根をα-naphthylamineの溶液に浸し、一定時間後に酸化した量を示したのですが、いろいろな時期に栽培した苗についてみても、硝酸苗が常にまさっていることがわかります。

根の酸化力にはいろいろな測り方があってそれぞれ意味を異にしますが、硝酸苗の場合にはたとえば2価鉄を酸化する力もすぐれていることが示されており、水田土壤で酸素が不足すると2価鉄が多量に生成し、これがイネに吸収されて養分の吸収をさまたげている例がしばしばみられますが、硝酸を吸収したイネの根が、2価鉄を酸化して不溶態にしてしまふ力が強いことは根の活力を維持す

表の7 硝酸苗が収量に及ぼす影響 (北陸農試1964)

苗代の様式とチッ素肥料	本田チッ素肥料	収量 (kg/10a)		
		ワラ	玄米	玄米収量比
折衷育苗 (硫 安)	硫 安	742	514	100
畑育苗 (")	"	799	586	114
畑育苗 (硝安をふくむ化成肥料)	"	877	632	123
畑育苗 (チ リ 硝 石)	"	818	636	124

表の8 移植後の NO₃-N の消長 (mg%)

処 理	5月18日		6月19日		7月3日		7月25日	
	地上部	根	地上部	根	地上部	根	地上部	根
N H ₄ - 苗	79	8.7	—	—	1.7	0.3	0.1	—
N O ₃ - 苗	175	482	2.1	10.3	t r	0.7	0.5	—

表の9 硝酸性肥料追肥試験 (旭化成)

	基 肥	早期追肥 (田植4週後)	穂 肥 (出穂3週前)	実 肥 (出穂2週後)	収 量 比	増 収 (kg)
A	—	—	—	—	100	—
B	⑧	②	③	③	103	20
C	—	②	③	③	100	—
D	—	—	⑤	③	106	35
E	—	—	⑥	③	105	30

○印は NO₃-N 上のせ分

るうえで注目されねばならないことと思いません。

3. イネの栽培に積極的に硝酸性窒素を使った例

NO₃を吸収するイネが、栽培上望ましい性質を示すことが明らかになりましたが、実際にこれを利用して積極的に増収をねらうことが可能かどうかということは大きな問題であります。

(表の7)は北陸農試でおこなった硝酸苗を使った試験例であります。折衷苗より畑苗、畑苗より硝酸畑苗が順次増収を示していることがみとめられます。

また(表の10)は千葉農試の例ですが、水

苗、畑苗いずれの場合にも、アンモニア苗に比べて硝酸苗は発根力が旺盛で、しかも収量増を得ております。水苗に硝酸を吸収させると畑苗に匹敵する収量をあげている点が注目されます。

NO₃を施用した苗の素質のちがいによる増収の可能性はこのように明らかにみとめられますが、次に移植後に NO₃-N を使うのにはどうしたらよいかについては、今なお研究途上にあります。一番問題になるのは、はじめに申し上げましたとおり、水田土壌のなかで不安定であるということです。しかしこの点も追肥に使うことによってある程度回避することができます。(表の9)は NO₃を

含んだ化成肥料を穂肥に使うと、アンモニアよりも多量に施用でき、しかも収量を上げることが可能であることを示しております。

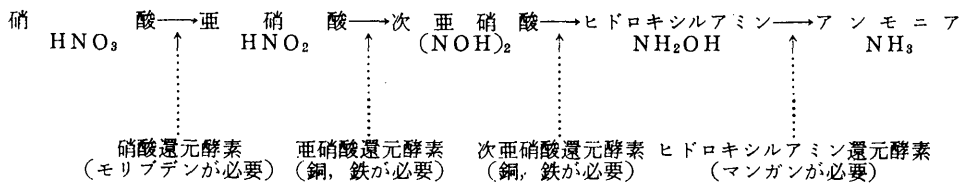
水田において、利用率が劣ることは NO_3 -N にとって不利な面といえるかも知れませ

んが、その吸収が根の活性維持に貢献するとすれば、 NH_4 -N よりも量を増して施用することによる損失は補われて余りがあると考えてよかろうと思います。

表の10 硝酸苗の発根力と収量への影響 (千葉農試1965)

苗の種類	再発根苗の総根長	発根数	収量 (kg/10a)		
			ワラ	玄米	玄米収量比
水苗	アンモニア苗	13.3cm	525	357	100
	硝酸苗	17.9	540	380	104
畑苗	アンモニア苗	13.8	593	398	100
	硝酸苗	15.9	586	418	105

表の11 植物体内における硝酸からアンモニアへの変化



表の12 Mo の施用と NO_3 -N

処 理	風 乾 重 (地上部)	NH_4 -N	NO_3 -N	発 根 重	発 根 率
	(一株mg)	(mg%)	(mg%)	(一株mg)	(%)
NH_4 -苗	262	7.5	49	18.1	6.9
" + Mo	267	6.1	27	16.2	6.1
NO_3 -苗	257	6.1	208	16.3	6.3
" + Mo	225	6.1	29	12.2	5.4

表の13 かんがい水の成分

分 析 者	NH_4 -N	NO_3 -N	P_2O_5	K_2O	CaO	MgO	Fe_2O_3	SiO_2
平野 (1960)	0.00	2.12	0.06	4.75	48.6	11.1	0.02	22.3
滝島 (1959)	0.19	3.27	0.18	3.59	49.7	18.7	0.46	35.1
小林 (1960)	0.05	0.26	0.01	1.43	12.3	3.2	0.34	19.0
Clark (1924)	—	0.20	—	2.55	28.5	5.7	2.75	11.7

4. NO₃-N の施用効果を高めるには

水苗に NO₃-N を施用して吸収させると畑苗に近い性質を示すようになることは、さきに千葉農試の例で申しましたが、畑育苗の際に、さらに NO₃-N を施用すると、普通畑苗よりも NO₃-N 含量の高い苗が得られしかもいろいろの素質的な面で良い結果を示すことがみられています。(表の7, 表の10)

ところで NO₃-N が移植後何日間位までイネの体内にみとめられるかについてしらべた例が(表の8)であります。これによりますと、少なくとも硝酸苗では1カ月後にも検出され、とくに根に多く残っていることがわかります。

このように意外におそくまで NO₃-N がイネの体内に存在していることは、イネが硝酸還元酵素(表の11)の金属部分として重要なモリブデン(Mo)の含量が少いことも理由として考えられますが、あるいは逆にイネ自身が硝酸を生成していることもあり得るかもしれません。この点については明らかな証明はなされておりませんが……。イネに Mo を施した場合には、明らかに NO₃-N が減少しますが、それと同時に発根力も低下することは(表の12)のとおりであり、発根力が NO₃-N と関係があることを示しています。

このように、これまでに得られた試験成績では、イネが含む NO₃-N 量が多いほど形

質的にはすぐれているような結果がみられません。

灌漑水には多量の NO₃-N を含む場合があり(表の13)では同時にカリ、カルシウム、マグネシウム、けい酸なども多い傾向にあります。平野氏はこの灌漑水を使って 80 kg/a 以上の多収を得ており、滝島氏もポット試験と圃場試験で傾向がことなつた理由をこゝにもとめております。

イネに NO₃-N を吸収させた場合カリ、マグネシウム、けい酸などの吸収を増すことが知られておりますが、NO₃ を効果的に利用する条件のひとつとなるかもしれません。

5. ま と め

イネの栽培に NO₃-N を使おうとする試みは、ごく最近のことです。また技術としては明らかでない面を多くもっておりますが、しかし、イネの一生を考えてみると、NO₃-N のもっている利点を必要とする時期がいくつかあることに気づきます。

硝酸系肥料の特徴を理解し、多収穫の実例などを参考として、他の形態の窒素肥料と上手に組み合わせる技術を研究者はもちろんのこと、農家自身も早急に会得していただきたいと念願する次第であります。

(校正) 農林省九州農業試験場環境第2部
土壌肥料第2研究室長

清 野 馨