

# 水稻の多収穫と硝酸態窒素の利用

九州大学農学部助教授

山 田 芳 雄

## まえがき

変転きわまりない農政によって農家や技術者の蒙る迷惑ははかり知れないものがある。

しかし生産性の高い稲作技術がどのような時代になろうとも要求されることに変わりがあるはずはない。農家も技術者も腰をすえてこの問題になお一層の精進をしたいものである。

## 多収量には多量の肥料が必要

明治以来わが国の稲作の反収増と肥料消費量の増加とは相伴って来た。ことに最近の稲

作の飛躍的發展は肥料の増投がもたらしたものと云っても過言ではなかろう。もっとも端的に肥料が増収に結びついている例をあげてみよう。最近十数年間の米作日本一の農家の収量は全国平均の約2.3倍。おなじく肥料の消費量は全国平均の窒素で2.3倍、リン酸で2.6倍、加里で2.9倍である。

おもしろいことに玄米100kgを生産するために稲が吸収する肥料成分は収量の如何に拘らず一定である。

玄米 100kg を生産するために吸収する肥料成分量 kg

肥料成分	N	P <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	MnO	SiO <sub>2</sub>
全吸収量	2.0	1.1	3.3	0.7	0.5	0.1	2.0

つまり玄米 1000kg をとりたいと思えば窒素として 20kg, リン酸として 11kg, 加里として 33kg の肥料成分を稲に吸収させなければならぬということになる。それだけの養分を土からか、肥料からか、とも角吸収させないとこれだけの収量をあげることは出来ない。

多収穫技術というのは、これだけの肥料成分を如何にして稲に吸収させ、栄養生長、生殖生長を円滑に行わせるかということだとも云えるのである。

## 高濃度にもとづく障害

400kg~500kg の玄米収量を考える場合は土からの分を除けば不足する肥料成分は僅かであるから、肥料の施し方もそれ程の苦勞はない。しかし700kgさらにはそれ以上の収量を望むとなると、不足分といえども施肥量が

多量となり、施用法を誤れば高濃度に基づくいろいろの障害がおこってくる。したがって肥料の施し方は非常に難しい問題となるのである。

多収穫農家の施肥のもう一つの特長は堆きう肥の大量の施用である。米作日本一の農家では全国平均の数倍の堆きう肥が施用されていることを知ることが出来る。この様な莫大な堆きう肥の役割は微量元素を含めた肥料成分の供給源、光合成基質としての炭酸ガス供給源、その他土壌の物理性等いろいろ考えられるが、同時に無機質肥料の捕捉なかでも窒素肥料で考えるならばアンモニイオンの吸着あるいは有機化を通じて高濃度にもとづく障害要因の回避に役立っていることを指摘したい。

## アンモニア障害

もともと植物は肥料など施されていない土壌に育ってきたものであり、人間が栽培するようになって、しかも極く最近になってはじめて莫大な無機質肥料を無理やりに供給されるようになったわけで、植物の側からすれば恐らくは非常に迷惑な話であろうと思われる。

特にアンモニア態窒素はそれ自身植物体中で高濃度になると呼吸作用を阻害し、光合成作用も阻害する働きがある。呼吸作用と云い光合成作用と云い、これらは植物の営む二つの大きな代謝活動であり、これが阻害されれば生育が順調に進まなくなるのは当然である。これを私達はアンモニア障害と呼んでいる。植物の種類によってはアンモニア障害に敏感なものから、そうでないものまで多様であるが、一般的には双子葉植物の方が単子葉植物より抵抗性が弱いと云われている。イネ科の植物特に稲は植物の中では抵抗力の最も強いものの一つであり、培養液の窒素が高濃度にならない限り、アンモニアでも硝酸でも一応よく育つ。しかしよく観察してみると、地上部に顕著な生育の差異を認めない程度の場合でも、少し培養液の濃度が高過ぎると(100ppm)根がよく伸びきらないし、色も褐色を帯びて所謂リグニフィケーションをおこしていることに気がつく。この様なイネを分析して低濃度のアンモニア(20ppm)で育てた稲や、硝酸塩で育てた稲と比較すると、ずい分相違が見られる。すなわち、アンモニアで育てた稲はカリ、カルシウム、マグネシウム、鉄、マンガン等の塩基性成分の含量が低く、リン酸含量は高い。またシュウ酸、リンゴ酸、クエン酸の様な有機酸含量は低く、反対にグルタミン、アスパラギンの様なアミド、リジン、アルギニン等の塩基性アミノ酸およびグルコサミンというアミノ糖の含量が高くなっていることがわかる。これらの現象をどう解釈すべきであろうか。

私共はこれを次の様に解釈している。すな

わち、アンモニアはそれ自体アミノ酸あるいは蛋白質、核酸等の窒素源として植物に不可欠のものであるが、供給量がどんどん増加してくると、植物はアンモニアによる呼吸阻害光合成阻害から自らを守るためあらゆる自衛の手段をつくすものと考ええる。まず各種のケト酸を用いてアミノ酸を生成し、特に塩基性アミノ酸の合成をおし進める。さらにアスパラギン酸、グルタミン酸を用いてアスパラギン、グルタミンの生成を行い、猶アンモニアの供給が多い場合は糖に直接アミノ酸を結合させてグルコサミンの如きアミノ糖の生成を行い、体内のアンモニア濃度の高まりを防ぐつまりアンモニアの解毒を行うのである。

しかしここで考えなければならぬのは、この様にしてアンモニアイオンの直接の代謝阻害を防ぎ得たとしても、そのことによって起る有機酸の減少、可溶性窒素成分の増加が植物に与える影響である。こゝでは上記有機酸のうちクエン酸、リンゴ酸がTCA回路やグリオキシル酸回路のメンバーであり、これらの濃度減少は回路の回転不円滑を促すものであることを述べるに止めておこう。なおまたアンモニア栄養によって必然的におこる無機塩基の吸収低下も見逃せぬ生育阻害因子である。こゝではカリ、カルシウムが共に登熟に重要な関係をもっていることを指摘しておこう。

## アンモニアと硝酸の同化のちがい

さて植物にアンモニアを根から与えると、アンモニアは大部分根で直ちに同化され、残りが地上部に運ばれると云う。一方硝酸は根から吸収されると、そこは素通りして地上部に運ばれ、光の存在下で光化学的に還元を受けアンモニアになると云われている。猶その際モリブデンが重要な役割を果すと云うことが知られている。硝酸はアンモニアと異り、植物体中でかなりな高濃度になっても植物体自体には殆んど影響を与えない。(乾物中硝酸態Nが0.2%を超えると、これを飼料としている家畜が倒れることがある)。つまり光が

充分存在していて、光合成が盛んに行われている段階では地上部で  $\text{NO}_3^- \rightarrow \text{NH}_4^+$  への変化が行われ、さらに円滑にアミノ酸→蛋白質への同化が進む。光が不足な条件では  $\text{NO}_3^- \rightarrow \text{NH}_4^+$  への変化が進まず硝酸態窒素のまま体内に蓄積している。この点がアンモニアと硝酸の大きな違いである。

### 水田における硝酸追肥の可能性

多収穫にはそれに相応しい多量の窒素の供給が必要である事は前に述べた。しかし多量のアンモニアの供給は水稲といえども好ましくない。特に土壌のアンモニア保持力が弱い場合には危険が伴うことを知るべきである。この辺にアンモニア態窒素の一部を硝酸態窒素に置き換えてみてはどうかという考え方が生ずるのである。

一方水田の水稲に対する硝酸態窒素の肥効は古くから知られており、アンモニア態窒素にくらべて著しく肥効が低いことが明らかにされている。その原因はよく知られている様に還元土壌中における脱窒現象によることは云う迄もないことである。土壌の還元が著しい場合は殆んど瞬時のうちに脱窒してしまふものである。したがって基肥としてこれらを用いるようなことはまず考えられない。しかし生育後期の出穂期頃になると酸化還元電位も高まってきて脱窒作用も衰えをみせはじめる。特に間断灌水を行うことによって土壌が酸化性的になれば、脱窒を免れた硝酸態窒素の水稲根による吸収の機会がないわけではない。こう考えると硝酸態窒素をアンモニアの替りとして、水稲の追肥として見直すこともあながち無意味ではない。それどころか、先程述べた硝酸がもっている生体内における好ましい性質を考えると、硝酸態窒素の追肥は今後の一つの研究課題と云えよう。

### 水稲の成熟期における窒素源

前に述べた様に水稲に対する硝酸態窒素の肥効は水田では従来アンモニアに劣るといわれ、確かにその通りであるが、これを水耕栽培でしらべてみるとかなり違った結果が出て

くるのである。水耕では脱窒現象がないから栄養生理学的な影響がそのまま現われてくるのであるが、その結果によると生育の前半はアンモニアでも硝酸でも大差はなく、むしろアンモニアの方が稍すぐれているが、生育の後半になると窒素濃度が高い場合、アンモニアよりも硝酸の方がずっとよい成育をし、高い収量を示すのである。生育の前半に硝酸が稍劣ったのは硝酸還元酵素が生長に伴って誘導的に作られるからだという見方もある。いずれにしても脱窒さえなければ、高い窒素濃度を与える環境では硝酸態窒素がアンモニア態窒素にまさる事はどうも確かなようである。とするとあとは硝酸の施肥の問題になる。

### 硝酸追肥が成り立つ条件

脱窒がおこる条件では硝酸の施用は無意味である。したがって基肥は勿論追肥でも常時湛水状態下ではまず殆んど効果がない。しかし水管理を十分に行って、土壌の酸化還元電位が高まった状態での硝酸追肥は意味がある。勿論頻繁な水管理は硝酸の溶脱にも結びつくので硝酸の施用はかなり多い目にしないとう効果がない。

酸化還元電位が高まった状態での追肥と云えばまず晩期追肥ということになるが、これは先述の様に純栄養生理学的にみても理に合ったことなのである。

この時期になると新根の発生は殆んど行われなくなる。したがって既存の根の活性が高く維持されなければ硝酸はもとより、他の養分の吸収にもさしきわりが出て来る。この面からも土壌を酸化的に維持していく必要があり、硝酸の施用が矛盾なく行えることになる。

次に稲によって吸収が行われたとしてそれが同化されなければ意味はない。その為にはまず十分な日照と、日照を効率よく受けとめる水稲群落の受光態勢が必要である。このことは硝酸の還元が光化学的に行われるという点もさることながら、還元によって生成され

たアンモニアをアミノ酸、蛋白質へと同化していく材料の合成に絶対に必要だからである。

また硝酸態窒素を施用した場合にはアンモニア態窒素を施用した場合に比べてりん酸の吸収が低下する。ことに節水栽培の場合にはりん酸の土壌からの供給に頼りきれない面もあるし、一方ではりん酸は硝酸の還元過程で共役するATP生成反応の基質ともなるものであるから、その意味でもりん酸の供給については一応の考慮を必要としよう。

また硝酸態窒素が吸収され、同化されてもそれを容れる容器がなくては、あたら宝のもちぐされに終わる。十分な容器とはこゝでは十分な粒数を意味する。硝酸追肥を行う前段階での稲のつくり方、すなわちワラの量に対して着粒粒数が相対的に多い稲を作っておくことが必要となる。

こう云った条件を満足するならば硝酸の追肥は十分見込みのあるものであると考えてよい。事実硝酸態窒素を実肥に用い好成績をあげている幾つかの実例があるし、水管理の行

きとどいた多収穫農家の水稲は現実に硝酸態窒素をかなり吸収していると考えられる。

## 結 語

猶最後に一言述べておきたいことは、実肥のアンモニアは日照が悪ければ、過剰となってマイナスの効果をもたらすことがあるが、硝酸ではその様な場合、プラスの効果が上らないまでも、マイナスの影響は恐らく極めて少く、日照がよいときにはアンモニアにまさる効果が予測されることをあげておこう。したがって所謂硝酸実肥の上のせ方式により、気象条件に左右されない水稲の多収栽培が可能ではなからうか。

本稿では苗代の硝酸については触れなかったが、故山崎伝教授によれば硝酸態窒素を吸収した苗は著しく発根力にすぐれていると云われている。そしてこの性質は収量に結びつける様な施用法の研究をはじめ、早くから硝酸態窒素の水田への利用に着目された教授の御見識に敬服する次第である。こゝにつゝしんで御冥服を礼るものである。