

作物の種類と

窒素の利用形態のいろいろ

京都大学農学部教授
農 学 博 士 高 橋 英 一

作物は、どのような形態の窒素を利用しているのかについて簡単に紹介し、栽培家諸氏の参考に供したい。

作物は必要とする窒素分を、土壌から吸収する。それでここでは、土壌中の窒素の存在形態とその作物による利用度について、話を進めることにする。

まず、土壌孔隙の気相中には、分子状窒素が含まれており、土壌溶液中には、硝酸態窒素と微量の低分子の有機態窒素が溶けている。

土壌粒子表面にはアンモニア態窒素が吸着されておりまた高分子の有機態窒素も、粘土と複合態を形成して存在している。これらいろいろの形態の窒素は、結局はみな作物に利用される。ただ、形態によって利用度に差異があり、それはまた作物の種類によっても異なる。

× ×

まず分子状窒素であるが、これを、直接利用し得る機能をもった作物はない。しかしマメ科作物は、根粒菌を根の中にとりこんで特殊な組織（根粒）を形成し、その中で分子状窒素の固定（ N_2 の NH_3 への還元）を行う。

またイネ、サトウキビ、トウモロコシの中には、根圏でかなりの分子状窒素の固定を行なうものがあることが最近報告されている。

この場合、窒素固定を行なうのは、根圏土壌中に存在する free living（非共生）の heterotroph（従属栄養）の窒素固定細菌であるが、これらの作物にあっては、根の表面が窒素固定細菌が棲みつきやすいようになっており、また光合成が盛んで、地上部からの同化産物が、根を通して根圏の微生物にエネルギー源として供給されるので、有意の量の窒素固定が行なわれるものようである。すなわちこれらの作物は、根圏を牧場として窒素固定細菌を飼養し、固定された窒素の一部を利用しているのである。

アンモニア態窒素 作物が直接利用できる窒素の形態は、アンモニア態窒素である。

作物は、吸収したアンモニアをグルタミン酸脱水酵素の作用によって、 α -ケトグルタル酸と結合させてグルタミン酸をつくり、これをもととしてアミノ基転移反応によってつぎつぎに必要なアミノ酸をつくってゆき、これらを材料にしてタンパク質を合成する。

これに対して家畜や人は、アンモニアを出発物質として自体のタンパク質合成のために必要なアミノ酸をつくる能力に乏しいため、「必須アミノ酸」を外部から摂取しなければならない。

一方、アンモニアは過剰に存在するときは、生体にとって極めて有害である。たとえば、人体で分解生成されたアンモニアが、何らかの事情で臓器で処理されないときは、肝性昏睡をひきおこし、ついには死に至る。作物はアンモニア同化能力が強く、また普通の環境下では、過剰のアンモニアを吸収することもないので、その害をうけることは少ないが、肥料のやりすぎや、水質汚濁などによって過剰のアンモニア態窒素が土壌に入るとき作物は顕在的あるいは潜在的な生育障害をうける場合がある。とくにアンモニア同化能の比較的弱い作物は、障害をうけやすい。

土壌中に生成した、あるいは施用されたアンモニアは水田の場合のように、還元下におかれている場合は安定であるが、畑のような好気的環境下では、微生物によって硝酸にまで酸化される。

硝酸態窒素…は容易に作物に吸収され、窒素源として利用される。しかし体内で、一たんこれをアンモニア態にかえてからである。

すなわち硝酸を、まず硝酸還元酵素のはたらきで亜硝酸にかえ、さらにこれをつぎつぎに還元して、最後にアンモニアにしたのち、前述の同化系によってタンパク質までもってゆくのである。この還元系は、アンモニア態窒素の同化系に上積されたような形で存在している。

イネは水田においてはアンモニア態窒素を、畑においては、硝酸態窒素を主として吸収し利用しているが、アンモニア態窒素のみで育てたイネには、硝酸還元能はみられない。しかし酸硝酸態窒素を与えると、短時間に硝酸還元能が誘導される。

このことは本来、植物の無機態窒素同化系はアンモニア態窒素を出発物質としており（したがって、この系はどの植物にも常在している）、硝酸態窒素同化系は、一種の栄養環境への適応（嫌気的条件下から好気的条件下への植物の進出に伴う、窒素の存在形態の変化 $NH_4-N \rightarrow NO_3-N$ に対応）として、後発的に植物体内に生じたこ

とを示唆している。

硝酸態窒素の還元には、還元剤として NADPH_2 が必要であるが、これは光合成の過程でつくられる。したがって硝酸態窒素の還元は、昼間の光のあたっているときに行なわれる。これはある意味においては、大変都合のよいことである。何故なら、アンモニア態窒素の同化のためには、 α -ケトグルタル酸をはじめ種々の有機酸が使われるが、これは光合成により供給される。

もし、その供給が十分でない条件下で、アンモニア態窒素が多量に吸収された場合（たとえば日照下足下でのアンモニア肥料の多施）、作物はこれを同化しきれずアンモニア過剰障害をひきおこすが、硝酸態窒素からアンモニア態窒素が生成するときには、並行して光合成も盛んに行なわれているので、その危険性は少ない。

また硝酸態窒素は多量に蓄積しても、作物には害はない。しかし、そのままでは利用されないから、アンモニア態窒素への還元が作物の要求量を満たさないときは、窒素不足になる。

有機態窒素…つぎに有機態窒素であるが、低分子の可溶性のものは吸収できるので、一応窒素源にはなり得るが、問題はその実際の意義である。現在のところ、自然条件下で作物がどの程度有機態窒素を吸収するか、また吸収された有機態窒素が無機態窒素にくらべて、生理的にどのような影響をもつかについては、科学的批判にたえるだけのデータはまだない。

一方、有機態窒素の利用の明らかな植物もある。それは食虫植物である。たとえばウツボカズラの未開口の袋の中に、5mm角くらいのゆでた卵白を無菌的に投入すると、一昼夜で完全に溶解（タンパク分解酵素を含んだ内部液で）してしまう。外国の文献によると、分解されたタンパクはアミノ態窒素として吸収利用されるという。

食虫植物は高等植物（被子植物双子葉綱のいくつかの科に属している）で、光合成もアンモニア態窒素の同化もできる。すなわち完全な無機栄養を営む植物である。

しかし食虫植物は生存競争が弱いため、貧窒素栄養環境下にひきこもり、優勢な植物との競争をさげ、それを補うため、昆虫を捕えて消化するという能力を進化させ、種属維持を図っているのである。これは環境適応の特殊な例であって、一般の植物にまで適用できることではない。

×

×

植物の栄養の本筋は共通しているところが多いが、こまかくみてゆくと、食物に対する嗜好性が人によってちがうように、植物も種類によって、栄養素に対する嗜好性を異にする。

窒素についていえば、好硝酸性作物と好アンモニア性

作物があるが、好硝酸性作物は、概して硝酸態窒素の還元系は発達しているが、耐アンモニア性は弱く、逆に、好アンモニア性作物は耐アンモニア性はすぐれているが硝酸態窒素の還元系は、十分には働かないような傾向がみられる。たとえば、植物は一般に吸収したアンモニアを、アミドのような形で、一時、貯蔵する能力もっているが、キュリヤトマトのような好硝酸性作物では、そのプールの大きさは小さい。

これに対して、茶樹は90%もの遮光下で多量のアンモニア態窒素を施用されても、（たとえば玉露を生産する覆下（おおいた）茶園の場合）過剰障害を生ずることなく、アンモニアを吸収同化する。その際、吸収したアンモニア態窒素は、テアニンという茶樹特有のアミドにかえられるが、その量は乾物当り1~2%にも達する。そしてこれが玉露の主要なうま味成分となっている。

一方、茶樹やイネのような好アンモニア性作物は、硝酸態窒素のみで水耕すると、生育が思わしくない場合が多い。その原因の一つとして、これらの作物にあっては硝酸還元系が円滑に作動せず、そのため必要とするアンモニア態窒素が十分に得られず、窒素不足に落ちるかあるいはまた、還元過程の中間生成物である亜硝酸態窒素が有害濃度蓄積して、その障害をうける可能性が考えられる。

神戸大学の王子氏は亜硝酸態窒素を、単独窒素源としてイネとキュリを水耕としたところ、キュリはとくに生育阻害をうけることなしに育ったのに対し、イネは著しく障害をうけた。そしてイネ体内には亜硝酸態窒素の蓄積がみられたが、キュリでは蓄積しなかった。この実験結果は、イネは亜硝酸態窒素以降の還元系がキュリにくらべて劣っていることを示唆しているように思われる。

マメ科作物や食虫植物は、化合態窒素の乏しい土壌でも生育できる能力もっているが、これらに窒素肥料を施用し自然のままに放置しておく、かえって他の植物に負けてしまうことがある。彼らは貧窒素栄養環境に適應した植物であり、そうでない植物とは、窒素施肥の効果は異なる。

×

×

自然環境は多様であり、植物の種類もまた極めて多いが、自然の中で植物は、環境に適應しつつ巧みに住みわけを行なっている。それはここで紹介した、栄養生理の場面でもみることができる。

農業特に集約農業においては、環境にも植物にも著しく人手が加えられており、その結果、農耕地も作物も、自物からかけはなれ勝ちであるが、あまり極端にならぬためにも、自然のしくみを学んでゆく努力が、今後一層必要と思われる。