

肥料をかしこく使おう！

豊かで安全な食料の生産のために



(社) 日本土壌肥料学会

肥料をかしこく使おう！

～ 豊かで安全な食料の生産のために ～

(社) 日本土壌肥料学会

目 次

[1]	肥料と土壌	1
1-1	肥料の歴史	1
1-2	肥料と土壌の関わり	4
[2]	肥料と作物生産	7
2-1	植物の栄養とは	7
2-2	肥料と食料生産	9
[3]	化学肥料と有機質肥料	10
3-1	肥料の原料と成分	10
3-2	肥料の土壌中での挙動	12
3-3	肥料の土壌へ及ぼす影響	13
3-4	肥料と農作物の安全性	13
3-5	肥料と農作物の品質	14
3-6	化学肥料と有機質肥料の併用	15
[4]	環境と調和した肥料と施肥	16
4-1	施肥量と環境	16
4-2	肥料の品質と環境	17
4-3	肥料と環境保全型農業	18
	参考文献	20

はじめに

日本土壤肥料学会が「肥料」についての普及パンフレット「肥料をかしこく使おう！～豊かで安全な食料の生産のために～」の作成を企画した動機は文部科学省検定用教科書 高等学校理科用「化学 II」に三省堂と数理出版が項目「肥料」をそれぞれ5～6頁を記載くださったことに端を発します。「肥料」が日本の高等学校の教科書に取り上げられたのは、画期的なことです。学習指導要領「生命と物質」の単元のなかのイ 薬品の化学のなかで（ア）医薬品と（イ）肥料の項目として取り上げられており、（イ）肥料について学習指導要領解説には「植物の成長には、窒素、リン、カリウムなどの元素が必要であること、肥料は土中に不足しがちなそれらの元素を補う役割を持っていることなどを扱う。また化学工業との関連及び天然肥料と化学肥料との違いやその意義にも触れる」とあります。

19世紀の作物の生産性を上げるための「肥料となる成分」の発見と20世紀の肥料成分を工業的に生産する技術の開発によって、作物の生産性（食料生産）は飛躍的に増大しました。肥料の生産とその食料生産への利用は、食料の摂取を通じて人間生活と直接的に関係するのみならず、農耕地とその周辺環境、あるいは地球環境の物質の循環にもインパクトを持つものとなり、人間の健全な生存とも関係が深まっています。近年、多くの研究者と技術者は、植物の成長への肥料成分（栄養元素）の最適利用と環境と調和した肥料技術のあり方について鋭意研究して、農業生産者と共に実践しています。本パンフレットは、教科書の「肥料」の項目にこれらの知見が盛りこまれ、多くの方に進化する「肥料科学と肥料技術」をご理解いただけるように願って出版いたしました。現在日本土壤肥料学会土壤教育委員会では、肥料がはたらく食料生産の場であり、生態系の重要なコンポーネントである「土壌」について、小学校、中学校、高等学校用副読本の出版を準備しています。

本パンフレットは日本土壤肥料学会広報委員会（田村憲司、樋口恭子、太田 健、平井英明）の努力と多くの方の協力で作成されました。

平成 19 年 8 月 22 日

日本土壤肥料学会 会長 米山 忠克

[1] 肥料と土壌

1-1 肥料の歴史

生きるために人は、土壌に肥料を加えて改良し、食糧を生産してきました。なぜ、人は肥料を土壌に加える必要があったのでしょうか。それをお話しする前に、土壌の定義について紹介しておきます。

土壌のおおまかな定義には、大きく分けて2つあります。「土壌」を生物の影響がなく風化作用が働いてできたものに生物が住みつき、長い年月をかけて生命活動の中で育まれたと定義する場合と、「土壌」を「土」と「壤」に分け、「土」は人間が手を加えていない自然の中に存在するもの、「壤」は、植物を栽培するために人間が一度「土」を砕いて柔らかな土にした耕作土と定義する場合です。

肥料と土壌の歴史を概観する場合には、後者の定義の方が分かりやすいので、ここでは、土壌の「土」を自然土、「壤」を耕作土として話を進めることにします。

人は、「土」に手を加えて改良し、食料を生産するため「壤」を作ってきましたが、その代表的な方法が「肥料」を「土」に「施す」こと（施肥）でした。つまり、自然の土では、作物を栽培して十分な食料を得ることができなかつたのです。今では、化学肥料を施用して作物の生産性を工場させることは、当たり前のことですが、この化学肥料も19世紀の後半になってようやく多くの人々が使用するようになりました。

それまでは、自給肥料と呼ばれる身近にある草木灰、稲わら・植物遺体、動物の糞尿、人糞尿といった有機物質が長い間用いられてきました。このような有機物質の代わりに無機物質が用いられるようになったのは、ヨーロッパでは1840年代、日本では、1880年代のことでした。余談になりますが、江戸時代の前半には、既に魚粕や菜種粕とともに人糞尿は「販売肥料」として取引されていましたが、対照的にヨーロッパでは都市の発達とともに人糞尿を肥料として用いられることが少なくなり、18世紀末になって骨粉が、19世紀に入って、グアノ、チリ硝石といった鉱物質またはそれに近い形のものが販売されていました。“所変われば品変わる”ですね。

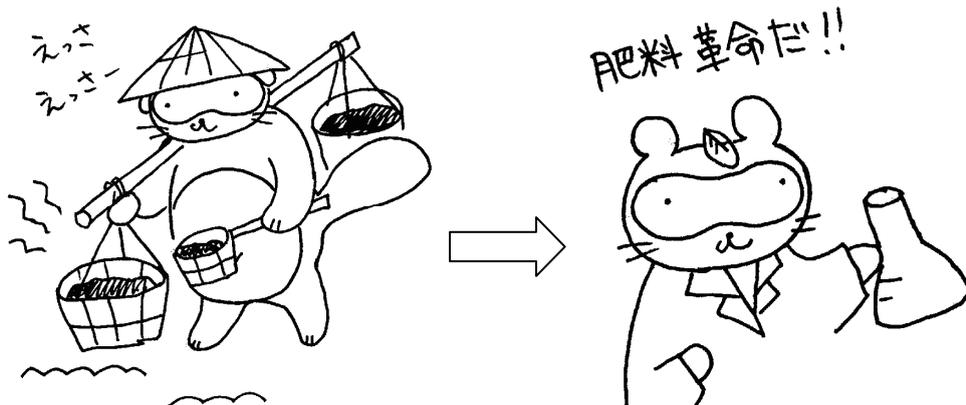
もう少し詳しくみてみますと、ヨーロッパでは、1840年にJ.Liebigが「農業および生理学に対する科学の応用」を出版し、植物の無機栄養節を提唱する一方で、1982年には、J.B.Lawesがイギリスのローザムステッドにおいてカブの栽培試験結果から、骨粉の硫酸処理がその肥効（リン酸の肥効）を高めることを証明し、1843年に過リン酸石灰の製造工場を建設しました。19世紀半ば

のこれらの理論・実践両面からの成果が無機化学肥料の工業化の幕を切って落とし、1843年に世界最古のローザムステット試験場が設立され、肥料研究がスタートしたのです。

日本では、高峰讓吉・澁澤榮一が1887年に過リン酸石灰の製造を開始し、カリ肥料工業は、鉍物塩の精製により塩化カリウムが分離されることにより始まりました。

窒素肥料の工業化は、チリ硝石鉍床の有限性と無限の空中窒素の肥料アンモニアへの固定方法の開発の必要性が1889年にS. W. Crookesによって訴えられたことを端緒としています。その後、電気放電により硝酸を作る方法、カルシウムカーバイドに窒素を反応させ石灰窒素を作る方法やアンモニアを直接合成する方法が開発されていきました。石灰窒素は今日でも肥料として使用されていますが、現代の窒素肥料の工業化の基礎となったのは、アンモニアの直接合成法でした。アンモニアの合成は、1909年に実験室レベルでF. Haberが成功し、K. Boschらが工業化に取組み、触媒、大型高圧反応器、製造方法に工夫を重ねて、1913年に工場生産が開始されました。これが、高校の化学の教科書にも掲載されているハーバー・ボッシュ法です。

日本では、1908年に石灰窒素が生産されはじめ、アンモニアの合成は、導入技術としては、1923年に成功しましたが、国産技術での成功は、1931年までかかりました。昭和初年(1925年)には、有機質肥料に代わって、硫酸アンモニウム、過リン酸石灰、硫酸カリウムといった無機化学肥料が肥料の主体となりました。これら3種類の肥料は、それぞれ窒素質肥料、リン酸質肥料、カリ質肥料と呼ばれていますが、土壌中の養分不足を補うことを目的として加えられるものと、養分不足を補う以外に土壌の不良性を化学的に改良する物(石灰質肥料や苦土質肥料等)も土壌に加えられるようになりました。



戦後、肥料工業の復興に伴い1950年に制定された新肥料取締法は、1961年に改正され、「肥料」は、「植物の栄養に供することまたは植物の栽培に資するため、土じょうに化学的変化をもたらすことを目的に土地にほどこされる物、植物の栄養に供するため植物にほどこされる物をいう」と定義されました。

時代の経過とともにこれらの化学肥料の製造方法や特徴が変化してきました。窒素、リン酸、カリの2成分以上がひとつの肥料の中に含まれる化成肥料、その含有率を高めた高度化成肥料、微量元素が添加された肥料、肥料成分の肥効を調節する肥効調節型肥料が開発されていきました。化学肥料の使用量は1979年まで増加の一途をたどりましたが、その後減少します。その背景には、増施にともない、土壌の改良がすすみ土壌中に十分量以上の肥料成分が含まれるようになったことと施肥起源の窒素やリン酸による水質劣化が顕在化し、施肥量を抑制した栽培法の重要性が指摘されるようになったことがあげられます。

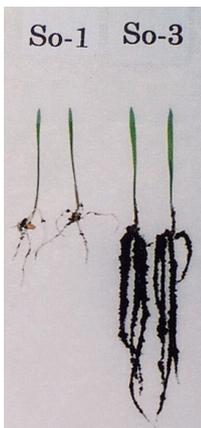
1999年に食糧・農業・農村基本法の施行により、農業の持つ自然循環機能の維持増進を図り、持続的な生産活動を推進するとともに、環境への負荷の低減を図るため、環境保全型農業の取組が推進されるようになりました。現在、「持続性の高い農業生産方式の導入の促進に関する法律」に基づき、たい肥等の有機質肥料と化学肥料の適正な使用による、適正な土づくりと安全・安心な食料生産が求められています。2003年の新しくなった「肥料取締法」ではこの法律の目的を「農業生産力の維持増進に寄与するとともに、国民の健康の保護に資すること」と定めています。



1-2 肥料と土壌のかかわり

肥料の定義の中に、“植物の栽培に資するため、土じょうに化学的変化をもたらすことを目的に土地にほどこされる物”という項目があります。肥料の中には、窒素質肥料やカリ質肥料のように植物の栄養に供するもの以外に、植物生育を抑制または阻害する土壌の性質を改善する作用をもつ物があります。

日本の「土」は、一部の土を除いて、酸性で、その酸性の原因となるアルミニウムイオンが作物の根の伸長を抑制または阻害することが知られています。このアルミニウムイオンの植物の成長に対する負の効果を消失させると根伸長が順調でかつ根の土壌を把握する量が増大し、養水分の吸収が円滑になります。



写真は、コムギの幼植物の根の伸長を調べた実験です。左が酸性土壌で、右が炭酸カルシウムによって酸性を矯正したものです。このように、酸性を矯正すると根の伸長が著しく良好になります。

日本の畑土壌は、古くから、西南日本では鉍質酸性土壌（赤黄色土）、関東・東北日本では腐植質酸性土壌（黒ボク土）と呼びならわされ、いずれも、リン酸不足の改善が作物の生産性を向上させる上で不可欠とされてきました。

黒ボク土
(栃木県)



赤黄色土
(兵庫県)



黒ボク土はその土の色が黒く、土の王様と呼ばれるチェルノーゼムとその形態が似ていたため、大きな期待が寄せられましたが、その強いリン酸固定力と酸性という性質が作物の生産性向上の阻害要因となっていました。このため、日本の畑土壌を化学的に変化させ、植物の栽培を良好に保つために、石灰質肥料・リン酸質肥料が多量に使用されてきたのです。日本の化成肥料は、リン酸の比率が窒素やカリと比較して植物が要求するよりも高く設定されている点も畑土壌に占める黒ボク土の割合の高さを反映しています。

近年、リン酸質肥料の多量施用による農耕地へのリン酸の蓄積が顕著となり土壌のリン酸固定能力を減少させたことにより、有害菌の土壌への吸着が低下し、作物の連作障害の原因となった事例が報告され、蓄積リンの有効利用や減肥が奨励されています。

窒素質肥料については、その増施に伴い作物生産性が顕著に向上するが、土壌中で窒素成分の酸化（硝酸化成）が硝酸イオン濃度を上昇させ、リン酸質肥料の多施肥ともあいまって、水質劣化の原因の一つとなりました。これは、たい肥を多量に施用しても同様のことが起こるので、化学肥料・たい肥ともに、水質劣化を起こさないための適正な施用が不可欠です。現在では、土壌中で硝酸化成を抑制する硝化抑制剤や窒素質肥料の効き方を調節する肥効調節型肥料、施肥位置を工夫する施肥法が開発され、肥料の植物への利用率向上が図られてきました。



次に、主食となる水田の土壌の特徴について見てみましょう。水田は、苗を植えるまえに、畦を築いて水をたたえて、代掻きをします。化学肥料の発明は、19世紀に入ってからですが、それ以前に水を張るだけで“植物の栽培に資するため、土壌に化学的変化をもたらす”作用がすでに働いていました。このメカニズムについては研究が進み、今では、水を張ることによって還元が進み、水素イオンが消費されるので土壌の反応が酸性から中性に近づくことやリン酸が植物にとって吸収されやすい形態に変化することが知られるようになりました。さらに、“植物の栄養に供するもの—窒素源—”として、大気中の窒素のらん藻による土壌中への固定や周囲の森の表層から水田に落葉・落枝といった有機物質の補充の重要性が指摘されました。

最後に、水田への化学肥料の投入により米の生産性が上昇した研究事例を紹介しておきましょう。それは、77年間化学肥料・たい肥連用試験を継続している農業試験場の報告です。それによれば、無肥料田に比べて、窒素・リン酸・カリ・カルシウムの4要素を投入した水田の収量は、無肥料田(収量:137kg/10a)に比べて約2.8倍で、さらにたい肥を2トン/10a程度加えると3.6倍となりました。化学肥料の効果の大きさやたい肥併用の重要性がわかる貴重な試験結果です。これらの地道な研究が今日の日本の発展の基盤となっているお米の安定供給をもたらしたのです。

(平井英明)



[2] 肥料と作物生産

2-1 植物の栄養とは - 植物にとって養分の補給は必要 -

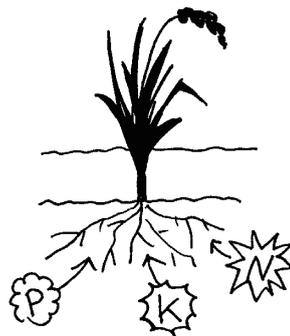
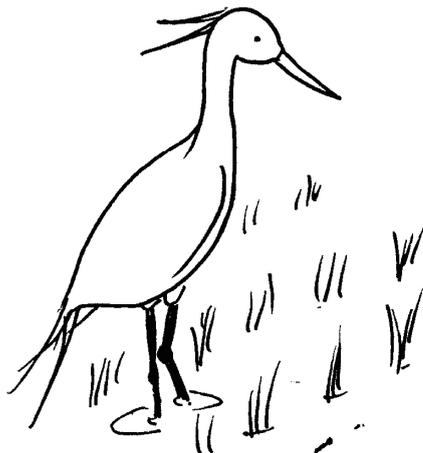
植物の生育には、窒素、リン、カリウムの三要素をはじめとした養分は、欠くことができないものです。植物にとって、欠くことができない元素を必須元素といいます。現在、17の元素が必須元素として認められています。必須元素が不足すると、植物の生長に異常をきたします。必須元素のほかにも、ケイ素などはイネ科植物の生育に重要な働きを持っています。

必須元素には、多量に必要とする多量要素と微量要素に分けられます。多量要素は、9の元素があります。水素、炭素、酸素、窒素、カリウム、カルシウム、マグネシウム、リン、硫黄です。微量要素には8つあり、モリブデン、銅、亜鉛、マンガン、鉄、ホウ素、塩素およびニッケルです。

水素、酸素、炭素は、炭水化物などの有機化合物を構成する主要元素です。

窒素は、タンパク質や葉緑素の主要な成分です。空気中の窒素ガス (N_2) は大気の主成分ですが、植物自身では利用できません。しかし、マメ科植物の根粒では、根粒菌との共同作業によって、 N_2 をアンモニアに変換して植物が利用できます。植物は、硝酸態あるいはアンモニウム態窒素として吸収します。

カリウムは細胞の膨張圧を維持し、光合成、炭水化物の蓄積過程に関与し、タンパク質の合成にも関与しています。また、開花や結実などを促進します。カリウムはイオン化しており、植物に吸収されやすいのですが、一方では、土壤中から降水によって容易に流されてしまいます。カルシウムは、根の生長に関与し、細胞膜や細胞壁の生成に関係しています。マグネシウムは、葉緑素の構成要素で、リン酸の吸収に関係があります。



リンは、核酸、酵素などの主成分となっています。土壌中に有機態あるいは無機態のリン酸として存在していますが、植物が利用しやすい形態にはなっていないことが多く、リン酸肥料として補給する必要があります。

イオウは、タンパク質、アミノ酸、ビタミンなど、重要な化合物を構成しています。また、炭水化物の代謝や植物の生長の調節機能に関与しています。

微量元素は100mg/kg以下で作用する元素で、さまざまな酵素の構成元素としてはたらき、植物体の構成成分の合成に関与しています。

これらの元素は、土壌中に十分にあれば作物は生育しますが、不足してしまう場合には、肥料で補う必要があるのです。



2-2 肥料と食料生産

農作物は土壌中の養分だけでは充分生育しません。そこで、肥料成分で補うことによって、十分な収量を確保しているのです。肥料は増産のために必要不可欠だけでなく、肥料がなければ農業生産が成り立たなくなってしまうのです。生産量を上げるために、いろいろな技術的改良が今までなされてきました。品種改良もその一つです。国際イネ研究所で育種した品種が東南アジアの水稲の増産を飛躍的なものとなりました。いわゆる「緑の革命」です。この「緑の革命」を可能なものにしたのは、肥料があったためといっても過言ではないでしょう。灌漑や病虫害の防除とともに、肥料の施用は食料生産にとってなくてはならないものであるといえるでしょう。

世界の人口が増加しつつありますが、60 億以上の人口を養うことができる食糧を確保していけるのは、肥料があったためといってもよいでしょう。もし、今の世界に肥料がなくなったとしたら、何十億もの人たちが飢餓状態に陥ってしまいます。安定した食糧を維持し、私たちが無事生存できるのも、肥料があるからなのです。

(田村憲司)



[3] 化学肥料と有機質肥料

3-1 肥料の原料と成分

化学肥料は鉱物や工業的に合成されたものを原料とし、化学工業的な加工により製造されます。成分は無機化合物が主で、第2章で説明された三要素である窒素（硝酸態、アンモニウム態、尿素態※尿素は有機化合物ですが土壤中で速やかに無機化されアンモニウムや硝酸になることから肥料成分としては無機態窒素として扱います）、リン酸（水溶性リン酸、可溶性リン酸、クエン酸可溶性リン酸）、加里（塩化カリウム、硫酸カリウム）の他、石灰（カルシウム）、ケイ酸、苦土（マグネシウム）、ホウ素などを有効成分として含むものが供給されています。それぞれの成分を単独で含む肥料もありますが、現在使用されている肥料の多くは複数の成分を含んでおり、作物の養分吸収特性に応じて含有比率が異なるものが販売されています。原料のうち、窒素は工業的な空中窒素固定に由来し、固定のためには莫大なエネルギーを消費しています。肥料となるアンモニウムの直接の原料として化学工業の副産物が多く使われているため化学窒素肥料は安価ですが、エネルギー消費の観点から安易な浪費は避けるべきです。リンとカリウムは鉱石が原料で、どちらも輸入に頼っており世界的にもその埋蔵量は限られています。つまりどの化学肥料も無駄な施用をやめ、有機物からの養分の再利用技術を向上させることが望まれます。



有機質肥料は動物あるいは植物由来の素材を原料とし、そのまま配合・成型あるいは堆肥化を経て製造されます。成分は動植物の生体成分そのもの、あるいはその分解物であり、有機化合物が主成分です。窒素源としてタンパク質、アミノ酸、リン源としてフィチン、レシチン、核酸などが挙げられます。その他の元素は主に無機化合物として含まれています。有機化合物が主成分であるので炭素を大量に含む点も化学肥料と異なります。特に植物由来の肥料は分解されにくい多糖類を多く含み、これらは植物に吸収される養分としてよりも土壌改良材としての効果を発揮します。各要素の含有比率は原料の動植物の生体成分に左右されるため、作物の養分吸収特性に合わせた成分調整は困難です。原料としてはナタネ油かす、ダイズ油かす、魚粉、肉骨粉、家畜糞尿、木質物、稲わら、食品加工残渣、生ゴミ、下水汚泥など多岐にわたります。最も多く使われているナタネ油かすは輸入に頼っており、ナタネ、ダイズ、魚は資源が食料・飼料と競合しています。肉骨粉は現在BSE問題のため供給が不足しています。家畜糞尿、食品加工残渣、下水汚泥などは水分や悪臭のため原料の輸送に限界があり、また成分が安定しないなどの問題を解決する技術の向上が望まれます。

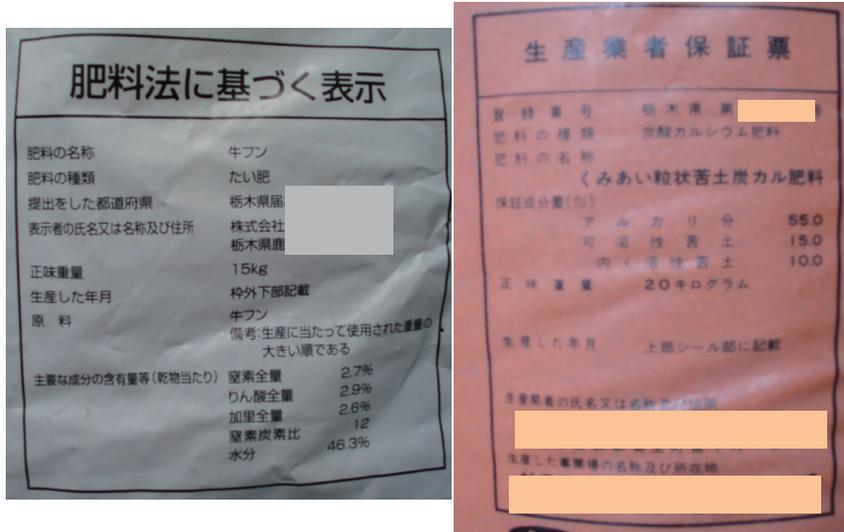
有機入り化成とは有機質肥料を原料の一部とした化成肥料のことです。これは成分調整をしやすい化学肥料の長所と土壌改良材としての有機質肥料の長所を合わせたものと考えられますが、有機質肥料の含有量に公定規格（肥料取締法に基づき大臣が定める規格）がなく、原料としての有機物の使用割合が極端に少ない場合は有機物の効果が期待できません。

以上の肥料は公定規格に沿って成分などの保証票を添付することが義務付けられ、品質が厳重に管理されています。また販売に先立ち、植物の生育に害を与えないかどうかについての試験も義務付けられています。

なお、有機質肥料を指して「天然肥料」という言葉が学習指導要領解説等にも使われていますが、肥料の専門家は「天然肥料」という用語は使いません。「天然」・「自然」と「人工」の間の線引きは曖昧なものであるからです。多くの良質の有機質肥料は人が手を加えて作っています。



保証票の例



3-2 肥料の土壌中での挙動

植物は養分を主に無機イオンとして吸収します。無機化合物を主成分とする化学肥料は土壌中で水に溶けるとそのまますぐに植物に吸収されます。これに対して有機質肥料は主成分である有機化合物がそのままでは植物に吸収されにくい場合が多いため、土壌中でまず主に微生物により無機化合物へと分解される必要があります。化学肥料から溶出した無機イオンも有機質肥料から分解されて生じた無機イオンも土壌中で同じ挙動を示し、同様に植物に吸収されます。土壌コロイドがマイナスの電荷を帯びているため、植物に直ちに吸収されなかった陽イオン（例えばアンモニウムイオン）は、一時的に土壌に吸着されその後植物が吸収することができます。陰イオン（例えば硝酸イオン）は土壌コロイドと反発するため土壌に吸着されにくく、雨の多い日本では地下水へと流亡しやすくなります。

土壌中に溶けている無機イオンの中には不溶化、沈殿しやすいものもあります。代表的なものにはリン酸イオンとカルシウムイオンです。リン酸は土壌中のカルシウム、アルミニウム、鉄と結合して水に溶けなくなり植物は吸収できなくなります。この現象は酸性火山灰土壌で顕著であり日本にはこのような土壌が多いためリン酸質肥料の施用が奨励され、増収に大きな効果がありました。しかし行き過ぎた施用により現在では農地のリン酸過剰の方が問題になります。

化学肥料は土壤中で水に溶けやすいものが多く（リン酸質肥料や石灰質肥料には溶けにくいものがある）、施肥してすぐに養分が植物に吸収されます。しかし植物が吸収しきれなかった養分は上述のように地下水へ流亡したり不溶化したりして肥料の利用効率が低下します。有機質肥料は土壤中で徐々に分解されて無機イオンになるため、長期にわたって効果が持続します。速効性化学肥料の欠点を補うものとして水に溶けにくい緩効性の縮合尿素（CDU、ウレアホルム、オキサミド、IB）や被覆肥料が使用されています。特に被覆肥料は養分の溶出速度を制御することが可能で分解速度の予測が困難な有機質肥料の欠点をも補うものといえます。

3-3 肥料の土壌へ及ぼす影響

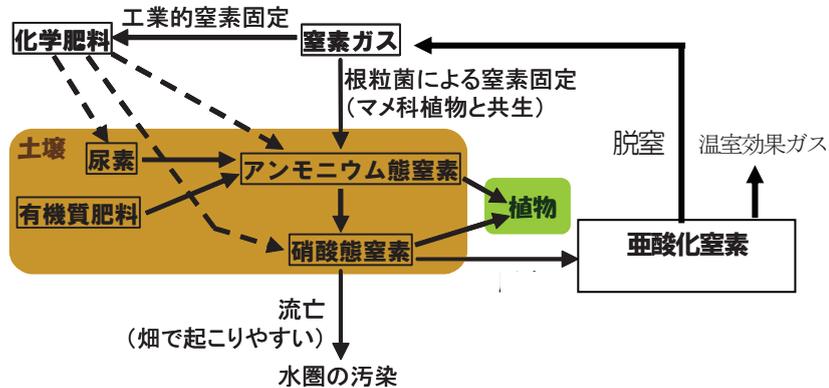
副成分として塩素や硫酸根が含まれている化学肥料がありますが（塩化アンモニウム、硫酸アンモニウムなど）、植物は塩素や硫黄をさほど大量には必要としていません。そのため副成分は植物に吸収されず土壌中に残ります。塩化物イオンや硫酸イオンは陰イオンなので土壌には吸着されにくく、降雨が多いと地下水へ流亡しますが、一方ハウスなど乾燥しがちな環境では、長期大量に施用すると土壌に蓄積し植物の根を傷めるので注意が必要です。

有機質肥料の成分は全てが栽培期間中に分解されて無機イオンになるわけではありません。分解されなかった有機物には土壌改良効果が期待できます。栽培に適した土作りのために有機質資材の施用が欠かせないのは、有機物が土壌の保水力、保肥力、通気性の向上をもたらすからです。また適切に施用すれば有益な土壌微生物を増殖させます。さらに有機化合物そのものが植物の根の発達により効果をもつことも分かってきています。しかし過剰に施用すると土壌微生物が急激に増殖し作物が吸収するべき養分が微生物に奪われてしまうことがあります。また何年もかかって無機化してくる場合もあり、土壌が養分過多にならないよう土壌診断を行いながら、施用する有機質資材の種類や量を調節していく必要があります。

3-4 肥料と農作物の安全性

肥料が作物の安全性に及ぼす影響として問題になっているのは特に硝酸態窒素と重金属です。一酸化窒素(NO)は、人間の健康維持（特に血管系）に必要で、体内でアルギニンから生成し硝酸になり、体外に放出されます。ホウレンソウなどの葉菜では葉内に未利用の硝酸が多く集積することがあり、人が硝酸を過剰に摂取すると、体内で亜硝酸やニトロソアミンに変わり、健康に悪影響を及

農地の窒素動態



ぼすと言われています。(しかし野菜中の硝酸と健康被害の因果関係は証明されていません。)化学肥料でも有機質肥料でも窒素を施用しすぎると同じ問題が起こります。「有機質肥料はゆっくり無機化するので窒素過多にならない」という固定観念から有機質肥料を過剰施用して逆に野菜中の硝酸含量が上昇してしまう場合があります。注意が必要です。

微量必須元素である重金属でも過剰になると毒性を発揮します。化学肥料はその製造工程で必要な成分を精製しているので重金属はあまり問題になりません。有機質肥料は例えば原料に下水汚泥や家畜糞を使用する場合、下水に含まれていた重金属や、家畜の生育促進のために飼料に添加された重金属が濃縮されている場合があります。そこで、生産者や原料がはっきりしないものは注意が必要です。

3-5 肥料と農作物の品質

野菜の品質は、「味」、「歯ごたえ」、「栄養素」、「日持ち」に大別することができます。「味」と「日持ち」を左右する大きな要因は糖度です。「栄養素」はミネラル含量、ビタミン含量から評価されます。「歯ごたえ」には水分含量が影響を及ぼします。水分含量は当然ながら、糖、ミネラル、ビタミンの濃度を左右します。つまり水っぽい野菜は水で成分が薄められているということです。

糖度、ビタミン含量、水分含量には窒素肥料の施用量が大きな影響を及ぼします。植物は窒素を過剰に吸収すると窒素からタンパク質を合成する方に代謝が傾き、タンパク質を合成するための炭素を大量に必要とします。このため糖やビタミンの合成に回される炭素の割合が低下します。窒素は植物の生育量に

最も大きく貢献する養分で、窒素を多く吸収すると茎や葉が早く大きくなります。しかし成分の蓄積や細胞壁の構築が追いつかず、水分含量が高く軟弱な植物になるので注意が必要です。また実を収穫する野菜の場合は窒素を多く吸収しすぎると葉や茎ばかりが茂って実の収量はかえって悪くなることがあります。化学肥料でも有機質肥料でも土壌中の無機態窒素濃度をコントロールするように施肥の量と時期を決めることが高品質な農作物の生産につながります。

3-6 化学肥料と有機質肥料の併用

化学肥料の特長は、植物が吸収しやすい無機化合物で植物の要求量に合わせた窒素・リン酸・カリの比率で製造できる、溶出速度が予測しやすい、有機質肥料の特長は、施用してしばらく経ってから徐々に無機化し植物に吸収され、分解されなかった有機物は土壌改良に貢献する、と言えます。施肥設計をするときには、何を、いつ、どの位置に、どのくらい施用するかを考えますが、作物によって栽培期間や根の張り方が異なり、葉や茎を収穫するか、実を収穫するかによっても養分を多く要求する時期は異なります。しかし何度も追肥をする労力は生産コストの上昇につながり、栽培後期に深い位置に張った根に追肥することは困難です。そこで化学肥料と有機質肥料の特長を生かして併用することが不可欠です。例えば、発芽や移植直後に必要な養分は速効性化学肥料でまかない、葉や茎の生長が盛んな時期に溶出してくるような緩効性化学肥料を選び、栽培後期に不足する養分を後から無機化する有機質肥料でまかなう、分解されなかった有機物には土壌改良効果が期待できる、といったやり方が考えられます。「化学肥料のために土が悪くなった」というのは安価でよく溶けて効果がすぐに見える化学肥料だけを大量に使用し、有機質肥料の施用を怠った場合に起こる問題であり、化学肥料を使ったから土が悪くなるものではありません。

(樋口恭子)

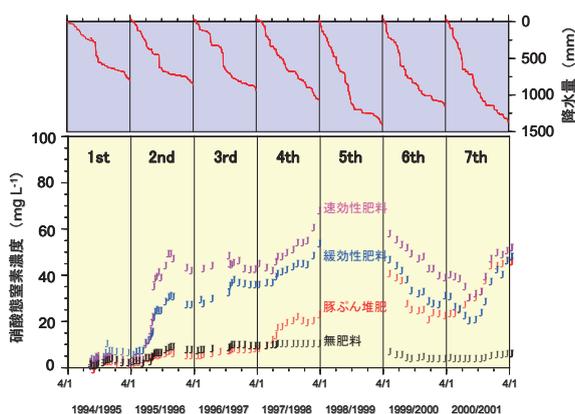


4-2 肥料の品質と環境

硫酸アンモニウムなどの速効性の化学肥料は水に溶けやすく、すぐに作物に吸収される肥料です。反面、雨で地下や河川・湖沼に溶脱・流亡しやすく、作物が必要な時に効かせるためには、施肥量および追肥の回数が多くなります。これに対し、堆肥などの有機質肥料では、徐々に無機化される窒素が作物に吸収されます。有機質肥料からの養分の放出は温度の影響を受けるため、大量に施用すると夏場に養分が過剰に放出され、硝酸態窒素による水系汚染となったり作物生育に悪影響を与える懸念があります。

化学肥料あるいは堆肥を連年施用した場合の硝酸態窒素の溶脱の違いを畑で比較した試験を紹介します。化学肥料を施用した速効性肥料区(窒素を毎年 400 kg/ha)では、深さ 1 m における土壤溶液中の硝酸態窒素濃度は、試験開始から約 1 年半後に上昇しはじめ、その後は 40-60 mg/L で推移しました。これに対し、豚ふん堆肥区(無機化する窒素量を 50%と仮定し、窒素に換算して毎年 800 kg/ha)では、最初の 3 年間は無肥料区と同レベルの低い濃度でしたが、それ以降、徐々に上昇し、試験後半には速効性肥料区と同じ高濃度レベルになりました(下図)。これは、堆肥を施用した年には無機化せず土壤中に残存・蓄積した有機態窒素も、その後、徐々に無機化するため硝酸態窒素が過剰となり、その一部が作物に吸収されず地下に溶脱したためです。

化学肥料も有機質肥料も過剰に施用すると硝酸態窒素による地下水汚染を引き起こす原因になります。これらを防ぐためには、次で述べる「環境保全型農業」が重要になります。



土壤溶液中(深さ 1 m)の硝酸態窒素濃度と積算降水量

4-3 肥料と環境保全型農業

①環境保全型農業とは

農業は本来、環境と調和して営まれる産業です。豊かで安全な食料の生産ばかりでなく、洪水・土砂崩壊・土壌侵食の防止、水質の浄化、多様な生物相の保全、美しい景観の形成など豊かな環境を維持する多面的機能をもっています。農業が持つ自然循環機能の維持増進を図り、環境に対する負荷を極力小さくした持続的農業が「環境保全型農業」です。

このような農業生産活動を促進するため、2005年に農水省が策定した「農業生産活動規範」は、第1に「堆肥等の有機物の施用などによる土づくりを励行する」、第2に「都道府県の施肥基準や土壌診断結果等に則して肥料成分の施用量、施肥方法を適切にし、効果的・効率的な施肥を行う」を掲げています。施肥基準は作物別にその地域で栽培するのに必要な施肥量や施肥時期を記載したものです。

②堆肥など有機質肥料の利用

我が国の畜産は輸入飼料に頼っており、家畜排泄物に含まれる窒素量は2001年度で71万トンと推定されています。その一部は堆肥化や処理過程における大気へアンモニアガスの揮散などによって減少し、農地に入りうる窒素量は47万トンと推定され、ほぼ化学肥料による年間窒素消費量に匹敵する量です。家畜排泄物、また、食品残さなど地域の資源を堆肥化し、肥料として有効活用することは、循環型社会の形成にとっても重要なことです。

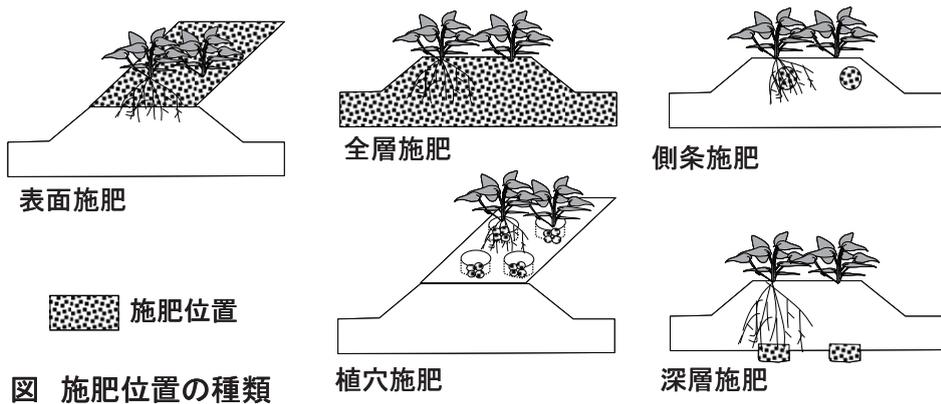
しかし、堆肥を過剰に施用すると、4-2で述べたような問題が起こります。そこで、環境保全的な堆肥の施用法には、堆肥中の窒素のどれくらいが無機化（作物が吸収できる形になること）するか化学肥料と比較した「肥効率」が必要です。この肥効率は堆肥の種類によって異なり、牛糞堆肥では30%、豚糞堆肥では50%、乾燥鶏糞では70%ぐらいです。また、堆肥を連年施用すると、堆肥を施用した年には無機化せず土壌中に残存・蓄積した有機態窒素が、その後、徐々に無機化してきます。この連用による影響を考慮し、堆肥の施用量に一定の歯止めをかけておく必要があります、これが堆肥の「代替可能率」という考え方です。必要な窒素量にしめる堆肥の窒素の割合を、牛糞堆肥では30%、豚や鶏で60%に抑えようという目安があります。以上の「肥効率」と「代替可能率」を考慮し、さらに、窒素だけでなくリン酸とカリウムについても施肥基準を超えないよう考慮して堆肥の施用量を決めます。そして、不足する分を化学肥料で補うことにより、作物の養分要求に適した施肥が可能となります。

③肥効調節型肥料の利用

肥効調節型肥料は、速効性肥料の溶脱・流亡しやすいという欠点を克服した肥料です。肥料を樹脂などの膜で被覆したもの、水に溶けにくく、微生物による分解も受けにくいものなどがあり、窒素がゆっくり溶出し有効化します。養分の溶出スピードやパターンが異なる様々なタイプのもものが開発されており、タイプを選択して利用すると根の近くに施用しても速効性肥料のように濃度障害（肥料焼け）が起きません。この特性を活用し、土壌の一定位置に局所的に施肥（図の側条施肥や植穴施肥）する技術や、植物が栽培期間中に必要とする全量を稲の育苗箱や野菜の育苗ポットに一度に施用する技術が開発されました。稲の育苗箱全量施肥では窒素の利用率が70～80%と、速効性肥料を用いた利用率の30%に比べ飛躍的に向上しました（金田、1994）。作物に吸収される割合（利用率）が高く、施肥量や追肥回数を減らすことが可能で、低コストや省力にもつながります。また、土壌中に残る養分が少ないので、硝酸態窒素の溶脱量も減少します。

作物の要求に過不足のない養分供給を行うことが環境と調和した作物生産の基本です。作付前に土壌診断（土壌の分析）を行い、土壌中に残っている養分量や養分バランスを考慮し、肥料の種類と組み合わせ、施肥量、施肥位置、施肥時期を施肥基準に則して最適化することが重要です。

（太田 健）



[4] 環境と調和した肥料と施肥

4-1 施肥量と環境

農地に施された肥料のうち作物に吸収されなかった養分、特に窒素は硝酸態窒素として雨水とともに地下へ流れ（溶脱）、地下水の汚染、さらに、河川や湖沼の富栄養化を招く可能性があります。硝酸態窒素は土壤に吸着されにくく、雨水とともに流れやすいのです。また、窒素の一部は地球温暖化ガスである亜酸化窒素（ N_2O ）となって大気中に放出されます。

作物によって窒素肥料の必要量は異なり、Nとして水稻の 90 kg/ha からセルリーの 958 kg/ha まで 10 倍以上の違いがあります。一般に、野菜類、特にトマトのような果菜類は栄養生長と生殖生長が同時に進行し、収穫が長期的に連続して行われるため施肥量が多くなります。施肥された窒素のうち作物が吸収・利用する割合は平均で 50%程度といわれており、栽培期間中に土壤中の硝酸態窒素が多い場合、また、収穫後に作物が吸収しきれなかった窒素が多く残っている場合は溶脱が起きやすくなります。

岐阜県各務原市の井戸水の硝酸汚染の例を紹介します。各務原市では 1970 年代後半から地下水の硝酸態窒素濃度の上昇が見られ、一部の地域では水道水の基準を上回り、簡易水道の水源用の井戸が廃止に追い込まれる事態になりました。調査の結果、原因はニンジンを中心とする畑作地帯における窒素肥料の溶脱であることが明らかになりました。そこで、施肥量を減らす減肥試験が実施され、作付け前の施肥量を減らし、生育後半に施肥する方法が有効であることがわかりました。ニンジン 1 作あたりの窒素施肥量は 1970 年当時、256 kg/ha でしたが、徐々に減少し、1991 年には、1970 年の 60%に相当する 153 kg/ha になりました。その結果、1990 年代中頃から畑作地帯の東部を中心に井戸の硝酸態窒素濃度の低下が認められ、減肥対策の効果が現れた可能性が大きいと報告されています。

日本は比較的雨が多く、土壤中の硝酸イオンやカルシウムなどの養分が流れやすい環境にありますが、施肥法を工夫して作物の養分吸収に合わせることで、窒素の溶脱を削減することが可能です。



参考文献

- 後藤逸男・村上圭一 (2004) リン酸過剰が土壤病害を助長する、施肥管理と病害発生 (日本土壤肥料学会編)、博友社 (東京)
- 原田靖生 (2004) 家畜排泄物の農地施用と窒素の制御、用水と排水、46、307-313
- 長谷川功 (2006) 肥料取締法と肥料の定義 (尾和尚人他編)、肥料の事典、49-50、朝倉書店 (東京)
- 金田吉弘 (2005) 作物の生育と土壤、土壤サイエンス入門 (三枝正彦・木村真人編)、213-237、文永堂 (東京)
- 金田吉弘・栗崎弘利・村井隆 (1994) 肥料調整型肥料を用いた育苗箱全量施肥による水稲不耕起移植栽培、日本土壤肥料学雑誌、65、385-391
- 加藤秀正・星野幸一・平井英明 (2005) 根系の発達に及ぼす土壤溶液のアルミニウム種の影響、日本土壤肥料学雑誌、76、1-8
- 越野正義 (2006) 化学肥料の歴史、肥料の事典 (尾和尚人他編)、8-14、朝倉書店 (東京)
- 久馬一剛 (1997) 食料生産と環境、133p、化学同人 (東京)
- 久馬一剛 (2008) 「こやし」と地力、圃場と土壤、40、2-7
- 初井隆志・井澤敏彦 (2007) 77年間継続した四要素無施肥区と堆肥施用区にみられる水稲玄米収量の経年推移と各要素の施用効果、日本作物学会紀事、76、288-294
- 松本 聡・三枝正彦編 (1998) 植物生産学 (II) - 土環境技術編 - 文永堂 (東京)
- 前田守弘 (2003) 地下水・土壤汚染 8. 硝酸性窒素の動態、地下水学会誌、45 (2)、189-199
- 陽捷行 (2006) 土壤と人類：文化 - 文明 - 生業、日本土壤肥料学雑誌、77 (4)、429-438
- 農林水産省編 (2007) 第4節 (4) 環境保全型農業の推進、食料・農業・農業白書平成19年度版、141-144、農林統計協会 (東京)
- 三枝正彦 (2006) 施肥に対する考え方の歴史的推移、肥料の事典 (尾和尚人他編)、1-5、朝倉書店 (東京)
- 三枝正彦 (2006) 食料生産における施肥の役割、肥料の事典 (尾和尚人他編)、14-17、朝倉書店 (東京)
- 三枝正彦・木村真人 (2005) 土壤サイエンス入門、文永堂 (東京)
- 植物栄養・肥料の事典編集委員会編 (2002) 植物栄養・肥料の事典、朝倉書店 (東京)
- 但野利秋 (2006) わが国における食糧生産と肥料需要の推移、肥料の事典 (尾和尚人他編)、41-43、朝倉書店 (東京)
- 高橋英一 (1984) 施肥農業の基礎、359p、養賢堂 (東京)
- 寺尾 宏 (1996) 畑作地帯の硝酸性窒素による地下水汚染と軽減対策 - 岐阜県各務原台地における汚染事例 - 、水環境学会誌、19、956-960

(社) 日本土壤肥料学会広報委員会

委員長：田村憲司（筑波大学大学院生命環境科学研究科）

委員：太田 健（中央農業総合研究センター）

樋口恭子（東京農業大学応用生物科学部）

平井英明（宇都宮大学農学部）

表紙絵・挿画：浅野眞希（慶應義塾大学法学部）

肥料をかしこく使おう！

～ 豊かで安全な食料の生産のために ～
2008年3月20日発行（非売品）

編集：(社) 日本土壤肥料学会 広報委員会

発行：(社) 日本土壤肥料学会

〒113-0033 東京都文京区本郷 6-26-10-202

電話 03-3815-2085 FAX 03-3815-6018

学会 HP (<http://wwwsoc.nii.ac.jp/jssspn/>)

E-mail (jssspn@wwwsoc.nii.ac.jp)

