

緩効性肥料概説

化学肥料の多くは水溶性で、施用した後、灌漑や降雨により水に溶けて、イオン状態となり、作物根に吸収されて養分としての役割を果たす。有機肥料に比べて化学肥料は速効性があり、肥効が速く現れる最大の理由である。しかし、施用された化学肥料の養分が短期間に一斉に溶け出すと、次の弊害をもたらす。

- ① 濃度障害： 施肥後、土壤溶液中の養分濃度が急速に上昇し、根が土壤から養水分を吸収できなくなり、生育に悪影響をもたらす。
- ② 水質汚染： 施肥後、作物に吸収されきれない養分が雨水や灌漑水に連れられ、河川や地下水に流出してしまい、水質汚染の原因となっている。
- ③ 大気汚染： 施用された窒素肥料が土壤微生物のアンモニア化成作用を受け、アンモニアガスとなって揮発し、大気中の硫黄酸化物（SO_x）と窒素酸化物（NO_x）と反応して、硫酸アンモニアと硝酸アンモニアのエアロゾル（aerosol）を生成して、PM_{2.5}粒子となる可能性が指摘される。

作物による肥料養分の吸収利用率は肥料種類と土壤の違いなどによって大きく変わる。通常の化学肥料では、施用当季の養分利用率は窒素 30～50%、りん酸 5～20%、加里 40～60%程度であるといわれる。化学肥料から放出された養分は作物に吸収されない部分は無駄になるばかりでなく、環境汚染の元にもなる。

緩効性肥料とは、施用後肥料成分がゆっくり放出し、長く続くように工夫された肥料である。肥効調節型肥料とも呼ばれる。詳しく言えば、理化学的手法を用いて肥料成分の溶解・溶出・分解を制御し、養分の吸収利用率を向上させることによって、肥料効果が改善される化学肥料のことである。

現時点では、緩効性肥料は主に窒素肥料と化成肥料に関するものである。りん酸肥料はく溶性や可溶性のものが多く、土壤に蓄積する特性を有するため、理化学的手法で緩効性を付与する必要性がほとんどない。加里肥料もカリウムイオンが陽イオンで、容易に土壤コロイドに吸着され、水に流されにくく、分解もせず、土壤に長期間滞留できるので、緩効性を付与する必要性が低い。

通常の化学肥料に比べ、緩効性肥料は窒素養分の吸収利用率を 10～30%高める効果が認められる。しかし、緩効性肥料は値段が高く、使用に技術と経験も必要であるため、本邦では水稻と一部の野菜を除き、なかなか普及されていない。海外も同じ状況である。2015 年現在、化学肥料使用量のうち、緩効性肥料のシェアが推定で 1～2%しかなく、ほとんど先進国に集中している。

緩効性肥料はその加工方法、性能と仕組みにより生物的安定性肥料、化学的緩効性肥料と物理的緩効性肥料の三つに大別される。以下はそれぞれの仕組みについて簡単に説明する。

1. 生物的安定性肥料

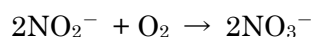
生物的安定性肥料とは、尿素や硫安、硝安の窒素系化学肥料に特殊な殺菌・静菌効果のあ

る薬品を添加したものである。

農地に施用された尿素はそのままでは作物の根に吸収されにくい。まず、土壤微生物の持つウレアーゼにより加水分解され、アンモニア性窒素の炭酸アンモニウムに変化する。この過程はアンモニア化成と呼ばれる。反応式は、

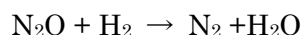
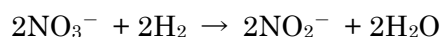


アンモニアが通気性の良い環境に於いて土壤微生物によりさらに亜硝酸を経由して硝酸に酸化される。この過程は硝酸化成（硝化作用）と呼ばれる。アンモニアから亜硝酸への酸化は亜硝酸菌、亜硝酸から硝酸への酸化は硝酸菌が担っている。その反応式は、



作物が吸収できる窒素養分はアンモニア性窒素と硝酸性窒素に限られ、特に硝酸性窒素が一番吸収利用されやすい。

アンモニアイオンが陽イオンなので、土壤粒子の持つマイナス電荷と互いに吸引され、土壤に吸着され、水に流されにくい。一方、陰イオンの硝酸イオンが土壤粒子の持つマイナス電荷と互いに排斥するため、土壤に吸着せず、水と共に流亡しやすい。また、硝酸イオンが嫌気的环境に於いてさらに土壤中の脱窒菌により亜硝酸イオン→窒素分子にまで還元され、大気中に散逸してしまう。この過程は脱窒と呼ばれる。反応式は、



窒素系化学肥料にウレアーゼ抑制材と硝化抑制材を添加する手法で作ったものは生物的安定性肥料である。ウレアーゼ抑制材と硝化抑制材によって微生物の活性が抑えられ、窒素肥料の肥効を長く持続させ、流失と散逸を減らし、窒素利用率を高めることができる。その仕組みは図 1 に示す。



図 1. 生物的安定性肥料の仕組み図

本邦では主に硝化抑制材を利用する。本篇では国内よく見かけるチオ尿素、ジシアンジアミド、DCS の 3 種類硝化抑制材入りの生物的安定性肥料を取り上げる。なお、ウレアーゼ抑制材もあるが、生物的安定性肥料にはあまり使用しない理由は尿素分子が土壤に吸着されず、容易に雨水と灌漑水に流されるので、尿素のアンモニア化成だけを抑制しても窒素養

分の流失抑制効果が低いためである。

2. 化学的緩効性肥料

化学的緩効性肥料とは、肥料成分の溶解性を低く抑えるように化学的処理を施したものである。この種の肥料は水にほとんど溶けないが、施用後、土壤中で加水分解反応や微生物による分解反応を受けてゆっくり尿素やアンモニアに転換され、水に溶けて肥料効果を発揮する。

化学的緩効性肥料はウレアホルム、IB、CDU、グアニル尿素およびオキサミドの 5 種類がある。オキサミドを除き、残りの 4 種類はすべて尿素とアルデヒド類を反応させ、脱水縮合して得た水に不溶または難溶性の鎖状分子構造である。

化学的緩効性肥料の仕組みは図 2 に示す通りである。尿素とアルデヒドが一定の条件下で縮合反応させて、水に不溶または難溶性の鎖状分子に合成される。水に不溶または難溶であるため、そのままでは作物に吸収利用されない。施用後、土壤中加水分解を受けて鎖状構造が切れ、尿素分子に戻される。その構造と分解の仕組みは図 2 に示す。

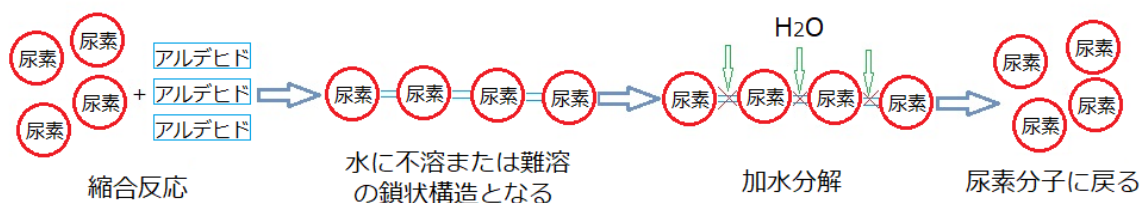


図 2. 化学的緩効性肥料の構造と加水分解の仕組み図

本篇では、国内に市販されているウレアホルム（UF）、イソブチルアルデヒド縮合尿素（IB）、アセトアルデヒド縮合尿素（CDU）とオキサミドの 4 種類を取り上げる。

3. 物理的緩効性窒素肥料

物理的緩効性窒素肥料とは、肥料粒子の表面を半透水性ないし非透水性膜物質で被覆加工したものである。施用後、肥料成分が被膜に生じた微細な穴や亀裂を通じて徐々に溶出される。コーディング肥料とも呼ばれる。被覆材料の種類や被膜の厚さによって肥料成分の溶出速度を論理的に制御できるため、作物の生育ステージに沿って必要だけの肥料成分と量を供給する理想的な緩効性肥料である。現在、樹脂被覆肥料と硫黄被覆肥料が主流である。

樹脂被覆肥料は、肥料粒子表面を薄い非透水性の樹脂で被覆させるものである。肥料成分の溶出時期と速度を制御するため、樹脂材料にでん粉等の炭水化物、タルク、クレイ等の無機鉱物、エチレン・酢酸ビニル共重合体、エチレンビニルアルコール共重合体等の脂肪族ポリマーを溶出調節材として添加する。施用後、溶出調節材が水の浸漬により溶解または膨潤、崩壊して、樹脂被膜にピンホールを形成し、中にある肥料成分が溶解して溶出する。溶出期間と溶出量を精密に制御するために、施用後、肥料粒子が常時に水に漬ける状態でなければ

ならないので、主に水田向けのものである。樹脂被覆肥料の構造と溶出過程は図 3 に示す。

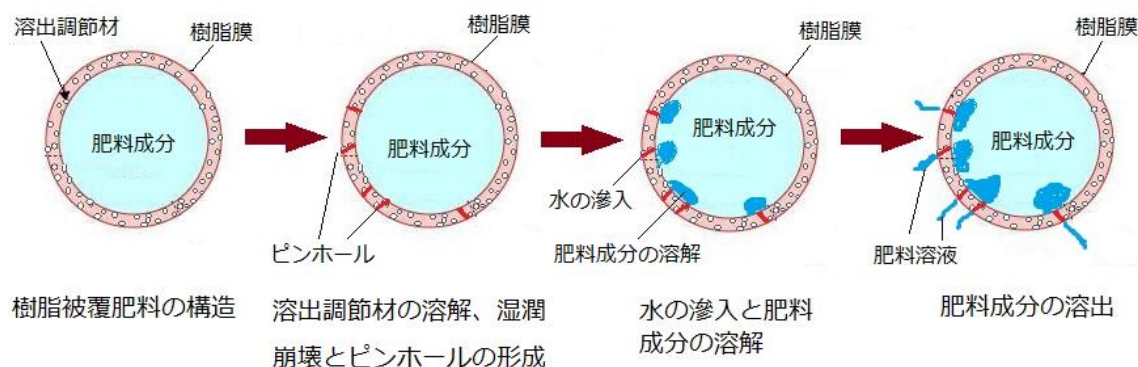


図 3. 樹脂被覆肥料の構造と溶出過程

硫黄被覆肥料は、溶融した硫黄を使って肥料粒子の表面を薄い硫黄層で被覆させるものである。肥料成分の溶出を制御するため、被覆後、硫黄層の上にもう 1 層の生分解性シール材（ワックスまたはポリウレタン）を被覆する。その構造と肥料成分の溶出仕組みは図 4 に示す。

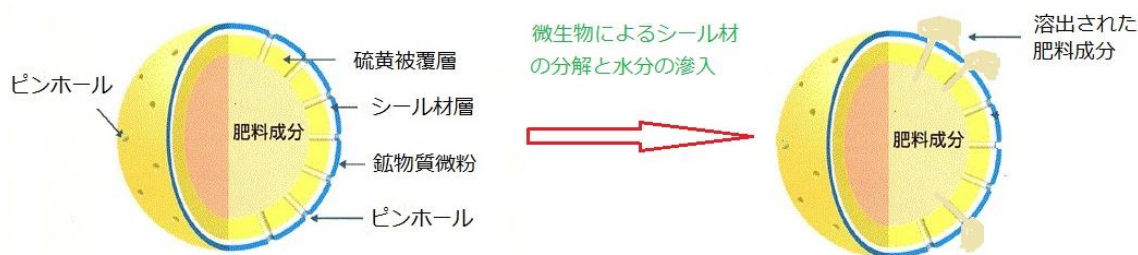


図 4. 硫黄被覆肥料の構造と仕組み

硫黄被覆肥料は施用後、土壤中で微生物によりシール材が徐々に分解され、水分が硫黄被覆層に生じた亀裂（ピンホール）から内部に滲入し、肥料成分をゆっくり溶出させる。肥料成分の溶出速度はシール材の分解速度とピンホールから水の滲入量により制御するので、水稲など水田作物には適しないが、畑作物には向いている。

硫黄は無機系物質で、植物の必須元素でもある。肥料成分が溶出した後の殻は粉々となり、微生物の働きおよび化学反応により硫酸イオン（ SO_4^{2+} ）に変化し、植物や微生物に吸収利用される。

被覆肥料の肥料成分溶出パターンはリニア型とシグモイド型に大別される。なお、どの溶出型に属するかは被覆材料、溶出調節材の種類と添加量により決められる。

- ① リニア溶出型： 施用直後から徐々に溶出し、その累計溶出カーブはほぼ直線を描く。
- ② シグモイド溶出型： 施肥初期に溶出抑制期間（ラグ期）があり、ラグ期を過ぎてから

溶出が開始し、その累計溶出カーブはS字型を描く。

それぞれの溶出型は図 5 に示す。

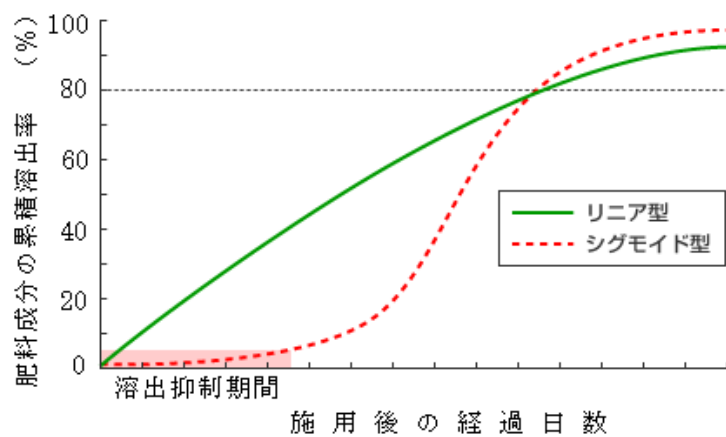


図 5. 被覆肥料の肥料成分溶出型

上記 3 種類の緩効性肥料のうち、養分溶出時期と溶出量を精密に制御できるのは物理的被覆肥料だけである。但し、生産コストが一番高いため、その普及のネックとなっている。