

File No. 66

緩効性肥料の肥効に影響する土壤要因

緩効性肥料 (Slow-release fertilizer または Delayed release fertilizer) とは、化学肥料の溶解・溶出、分解速度を制御して、肥効を長く持続させるために、化学的または物理的に加工した化学肥料または特定の微生物抑制剤を添加してある化学肥料のことを指す。緩効性肥料は化学肥料の速効性を抑え、農作物の養分需要時期に合わせてゆっくり溶け出し、施肥回数と施肥量を減らし、生産コストを下げるに限らず、環境保全にも役立つ一石二鳥の効果があり、本邦を含め、先進国に広く使用されている。

緩効性肥料は主に窒素肥料と加里肥料、化成肥料に関するものである。これは窒素系化学肥料と加里系化学肥料が持つ水溶性と速効性を抑えるためである。りん酸肥料はく溶性や可溶性のものが多い上、水溶性のものでも施用後土壤に蓄積する特性があり、流失がほとんどないため、理化学的手法で緩効性を付与する必要がない。

緩効性肥料はその緩効性メカニズムと加工手段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。通常の化学肥料に比べ、緩効性肥料は肥料成分の吸収利用率を 10~30% 高くする効果が認められる。しかし、土壤特性を無視する緩効性肥料の不適切な施用はその特徴が生かされず、肥料代だけが嵩み、収量が逆に減少する事例もよく見られる。本篇は学会誌などに発表された実験データをもとに緩効性肥料の肥効発現に影響する土壤因子について論述する。

一、生物的安定性肥料の肥効影響要因

生物的安定性肥料 (Biostable fertilizer) とは、肥料中の窒素成分の分解に携わる土壤微生物の繁殖と活性を抑制する化学物質を添加してある肥料で、端的に言えば肥料に特殊の殺菌剤を添加したものである。施用後、殺菌剤が肥料粒子の近辺にある土壤微生物を殺し、尿素のアンモニア化成、アンモニアの硝化や硝酸性窒素の脱窒を遅らせることにより、窒素成分が長く土壤に留まる役割を果たす。

現在、生物的安定性肥料は主に尿素や化成肥料にウレアーゼ抑制材または硝化抑制材、あるいは両者混合の形で添加する。

1. ウレアーゼ抑制材入り緩効性肥料

ウレアーゼ抑制材は主にハイドロキノン (HQ)、N-(n-ブチル) チオリン酸トリアミド (NBPT)、フェニルリン酸ジアミン (PPD) を使っている。土壤微生物のウレアーゼ活性を抑え、尿素のアンモニア化成を遅らせる。その緩効性を影響する土壤因子は下記のようなものがある。

① 土性： 有機物が多く、土壤陽イオン交換容量が高く、微生物が多い粘質土壤では緩効性効果が発現されにくい。これはウレアーゼ抑制材の殺菌効果が抑えられる一方、尿素のアンモニア化成で生成したアンモニアがすぐ土壤コロイドに吸着され、ウレアーゼ抑制材がなくても容易に流失しないためである。

- ② 地温： 15～25℃の温度帯に緩効性効果が一番高い。30℃を超えると、ウレアーゼ抑制材の分解が加速する上、微生物の繁殖も速くなり、微生物の活性を抑える効果が低くなる。
- ③ 土壌 pH： 弱酸性土壌 (pH5.5) からアルカリ性土壌 (pH8.0) まで土壌 pH が高いほど緩効性効果も高くなるが、その差がそれほど広がらない。土壌 pH7.0～8.0 では緩効性効果が一番高いという実験データがある。
- ④ 土壌水分： 土壌水分が高いほど緩効性効果が低くなる。これは水分が微生物の繁殖速度とウレアーゼ抑制材の分解速度と関係しているためである。また、長雨や不合理の灌漑は、施用された尿素とウレアーゼ抑制材が一緒に水に流され、緩効性効果が見られないことがある。

2. 硝化抑制材入り緩効性肥料

硝化抑制材はチオ尿素 (Thiourea)、ジシアンジアミド (DICY)、ニトラピリン (Nitrapyrin) が多用される。土壌中の亜硝酸菌と硝酸菌の活性を抑え、アンモニアから亜硝酸や硝酸への酸化を遅らせ、硝酸性窒素の流失と脱窒を減少することで緩効性効果を発揮する。硝化抑制材の緩効性効果に影響する土壌因子は下記のようなものがある。

- ① 地温： 土壌温度が硝化抑制材の揮発速度と加水分解速度を強く影響する。通常土壌温度が 15℃を超えると、硝化抑制材の分解速度が加速され、緩効性効果が低くなる。
 - ② 土壌 pH： 硝化抑制材は pH4.4～8.1 の間に効果が見られるが、土壌 pH が低いほど緩効性効果が強くなる。これは硝化抑制材が酸性土壌に於いて土壌コロイドに吸着され、揮発と分解が抑えられるためである。
 - ③ 土性： 粘土の多い粘質土壌では緩効性効果が低い。これは硝化により生成した硝酸性窒素が土壌から流失しにくいためである。また、土壌有機物含有量の高い土壌では緩効性効果が不明瞭である。これは微生物の活動性が高く、硝化抑制材の殺菌効果が抑えられるためである。逆に砂の多い砂質土壌では緩効性効果が高い。
 - ④ 土壌水分： 含水量の多い土壌、過剰灌漑では緩効性効果が顕著に表れる。水分が多くなると、硝化で生成した硝酸性窒素が地下水への浸透や流亡しやすい。硝化抑制材が硝化を抑え、アンモニアが長く土壌に存在することで緩効性効果が高くなる。
- 土壌因子ではないが、アンモニアの硝化が抑えられるため、アンモニア性窒素を多く吸収する小麦やトウモロコシ、イネは窒素の緩効性効果が顕著である。逆にホウレンソウやダイコンのような硝酸性窒素を好む野菜類は減収することもある。

二、 化学的緩効性肥料の肥効影響要因

化学的緩効性肥料は、肥料の窒素成分の溶解性を抑えるように化学的処理を施したものである。このタイプの肥料は水にほとんど溶けないが、施用後、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無機態窒素に転換され、水に溶けて作物に吸収される。従って、肥効の発現は土壌温度、水分および微生物活性などの条件により左右されることが

よく知られており、また、肥料の粒の大きさを調整することで、分解にかかる期間の長さを制御し、肥効をコントロールすることができる。現在、本邦では化学的緩効性肥料はウレアホルム、イソブチルアルデヒド縮合尿素、アセトアルデヒド縮合尿素、グアニル尿素およびオキサミドの5種類がある。

1. 微生物による加水分解が必要な化学的緩効性肥料

ウレアホルム (UF)、アセトアルデヒド縮合尿素 (CDU)、グアニル尿素 (GUS) は施用後、土壤微生物の活動により加水分解され、尿素を放出する。分解速度は下記の土壤因子に強く影響される。

- ① 土性： 有機物が多く、微生物が多い粘質土壤では加水分解が速く、尿素放出とアンモニア化成が加速され、緩効性効果が薄くなる。
- ② 地温： 土壤微生物の活性が温度と関係する。土壤温度が低いほど分解速度が抑えられる。通常、地温 15°C 以上では温度の上昇につれて加速されるが、35°C を超えると微生物の活動が高温で衰え、無機化による尿素放出は逆に緩やかになる。
- ③ 土壤水分： これらの緩効性肥料が水にほとんど溶けないので、降雨や灌漑により肥料の流失が抑えられる。土壤水分の多い場合は緩効性効果が現れやすい。ただし、水分が微生物の繁殖と活動に影響を与える、水分が多いと加水分解速度が速くなる。
- ④ 土壤 pH： これらの化学肥料を分解する微生物が酸性環境での加水分解能力が発揮しやすい。従って土壤 pH が低いほど分解が速く、尿素放出とアンモニア化成が加速され、緩効性効果が薄くなる。

2. 単純の加水分解だけの化学的緩効性肥料

イソブチルアルデヒド縮合尿素 (IBDU、IB) は水に僅かしか溶けず、加水分解には微生物の働きが必要なく、水に溶解した分だけ加水分解して尿素を放出する。その分解速度は下記の因子に強く影響される。

- ① 土壤水分： 加水分解には水分が必要で、土壤水分が多いほど、分解速度が速くなる。
- ② 地温： 加水分解速度と地温との間に正の相関関係があり、地温が高いほど分解が速くなる。
- ③ 肥料粒子の大きさ： 粒子が大きいほど、単位重量当たりの土壤との接触面積が小さくなり、完全分解にかかる時間が長くなり、緩効性効果が顕著になる。

三、物理的緩効性窒素肥料の肥効影響要因

物理的緩効性窒素肥料は、主に粒状の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。この種の肥料は水分または水蒸気が被覆膜の微細な穴 (ピンホール) や亀裂を通じて粒子に滲入し、肥料成分を徐々に溶出させる。コーディング肥料 (Coated fertilizer) とも呼ばれる。被覆材料の種類や被覆の厚さによって肥料成分の溶出速度、溶出期間を論理的にコントロールできるため、植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、樹脂コーディング肥料と硫黄コーディング肥料が主流である。

1. 硫黄被覆肥料

硫黄被覆肥料は肥料粒子表面を硫黄で被覆するものである。硫黄被覆層の表面に覆うシール材（ワックスまたはポリウレタン）が土壤中の微生物により分解され、水分が硫黄被覆層に生じた亀裂から内部に滲入し、肥料成分がゆっくり溶出して、肥料効果を発揮する。肥料成分の溶出速度はシール材の分解速度と亀裂から水の滲入量により制御される。硫黄被覆層が脆く、亀裂が多く発生し、肥料成分が溶出しやすい。従って、降雨や灌漑のたびに養分溶出量が多くなり、作物の養分吸収傾向と一致するところが多い。

従って、硫黄被覆肥料の施用に当たって、次の事項を注意すべきである。

- ① 土性： 有機物の多い粘質土壤では、微生物の活動が活発で、シール材の分解が速く、溶出が早まる傾向がある。
- ② 地温： シール材の分解速度は微生物の活性と正の相関関係があり、35°Cまで地温が高いほど微生物の活動が活発となり、養分の溶出時期が早まる。
- ③ 土壤水分： 養分の溶出には水の滲入が必要不可欠で、土壤水分が多いほど養分の溶出速度が速く、溶出量が多くなる。灌漑条件をそろえない乾燥地帯の農地には不適である。
- ④ 土壤 pH： 土壤 pH は養分の溶出速度にほとんど影響を与えないが、養分溶出後、残された硫黄残殻は微生物の酸化により強酸性の硫酸を生成するので、土壤の酸性化を加速させる恐れがある。従って、アルカリ性土壤には pH 矯正の効果もある。ただし、酸性土壤での施用については土壤の酸性化に注意が必要である。
- ⑤ 農地の種類： 硫黄被覆層が脆く、亀裂が発生しやすいため、水の多い環境に於いて、すぐ溶出してしまい、緩効性効果が落ちる。また、硫黄は湛水の環境に於いて、硫化水素に還元され、イネ根に障害を与える恐れがある。従って、畑の施用に適し、水田には適しない。
- ⑥ 作物種類： 養分溶出は降雨と灌漑とほぼ同期に起きるため、畑作物、特に生育期間が長く、窒素と水分の需要量の多いトウモロコシやお茶、または硫黄を好む長ネギ、ニンニクに適している。但し、水田にはすぐ水に溶出して、緩効性効果が表れにくいので、水稻など水田作物には適しない。

2. 樹脂コーディング肥料

樹脂コーディング肥料は、肥料粒子表面を薄い樹脂層で被覆するものである。肥料成分の溶出を制御するため、樹脂材料にデン粉等の炭水化物、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。

樹脂コーディング肥料の緩効性効果を影響する因子は主に下記の 2 つである。

① 土壌水分： 樹脂コーディング肥料の溶出速度と溶出量、溶出期間は、被膜中の溶出調節材の溶解または膨潤、崩壊速度に依存するため、土壌水分が不足すると、溶出調節材の溶解／崩壊が遅れ、事前に設定されている溶出量と溶出期間にズレが生じることがよく見られる。

従って常に湛水している水田に最適で、畑は土壌水分が不安定で、溶出速度の制御に難がある。本邦では樹脂コーディング肥料は主にイネ用で、ほかにレンコンなど水生作物も一部使われている。葉菜など畑野菜には使用量が少ないのでこの原因である。

② 地温： 樹脂被覆肥料の溶出速度と溶出量は水分の被膜内への滲入速度に強く依存する。土壌水分の滲入速度は地温が高くなるほど速くなる。従って、銘柄によって程度は異なるが、温度上昇とともに溶出が早まり、溶出期間が短くなる傾向がある。

緩効性肥料の養分放出速度に影響する要因は表 1 に纏める。

表 1. 緩効性肥料の養分放出速度に影響する土壌要因

緩効性タイプ	肥料種類	粘土鉱物	有機物	水分	温度	pH
生物的安定性肥料	ウレアーゼ抑制材入り肥料	↑	↑	↑	↑	↓
	硝化抑制材入り肥料	↑	↑	↓	↑	↑
化学的緩効性肥料	UF, CDU, GUS	↑	↑	↑	↑	↓
	IBDU	—	—	↑	↑	—
物理的緩効性肥料	硫黄被覆肥料	↑	↑	↑	↑	—
	樹脂被覆肥料	—	—	↑	↑	—

表示説明： ↑：養分放出を加速させる。 ↓：養分放出を遅らせる。 —：ほとんど影響なし