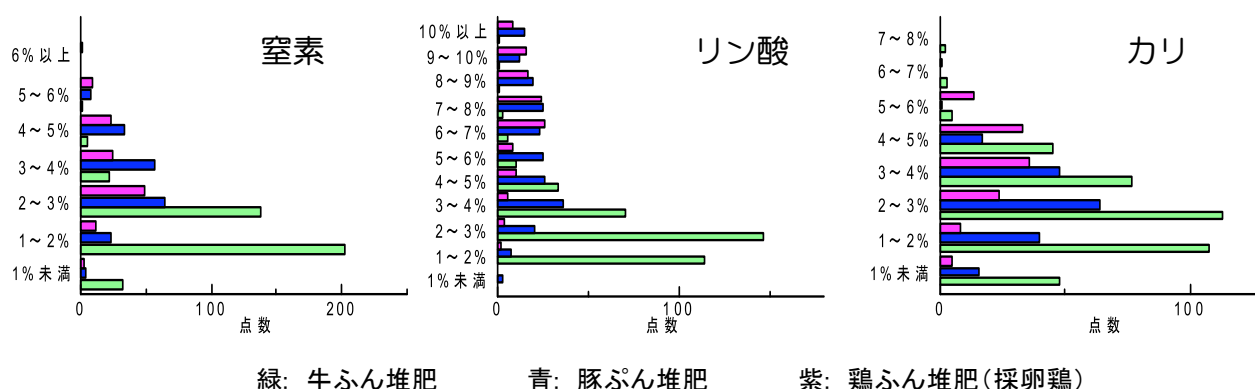


主な家畜ふん堆肥の窒素肥効とその有効利用方法

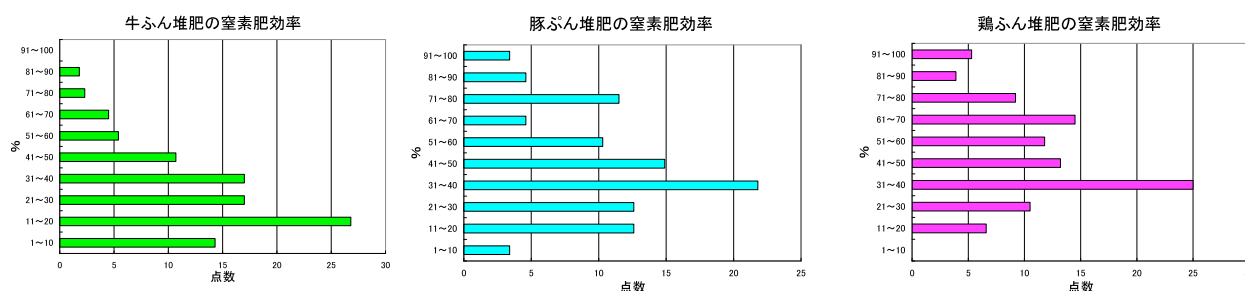
はじめに～家畜ふん堆肥の農業利用上の問題

平成 17 年 3 月に公表された「環境と調和のとれた農業生産活動規範（農業環境規範）」では、堆肥利用による土づくりとともに、作物や環境に適正な施肥の実施を求めている。古くから「土づくり」に用いられてきた作物残さ等を原料とする堆肥には肥料成分はあまり含まれていないが、家畜ふん堆肥には比較的多くの肥料成分が含まれ、しかもばらつきが大きい。肥料的な効果を念頭に置かずに施用すると、養分過剰による徒長や生理障害を起こす原因となる。



主な家畜ふん堆肥に含まれる肥料成分の階級別分布(山口ら 1996 より改変)

また、特に窒素においては、その肥効率のばらつきが大きい。堆肥については窒素全量を表示することになっているが、肥効率のばらつきが大きいいため作物に利用可能な窒素量の把握は困難となっている。



家畜ふん堆肥の窒素肥効率(渋谷ら 2003 より改変)

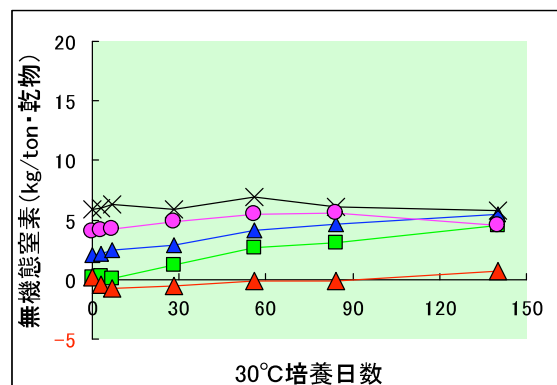
さらに、窒素肥効の発現パターンが堆肥によって異なっている。従って、作付体系との兼ね合いをも考慮する必要がある、さらに適正な施用を妨げている。

このような現状を鑑み、家畜ふん堆肥中に含まれる窒素を、施用当作の施用後1ヶ月程度の間に作物に利用される速効性窒素と、1～3ヶ月程度の間に利用される緩効性窒素に分け、それぞれを迅速に測定する分析手法を開発した。速効性窒素は基肥として化学肥料と同等に利用できる窒素で、基肥から減肥することを想定している。緩効性窒素は土壌中での堆肥の分解により発現する窒素で、作期が中～長期の作物において追肥から減肥することを想定している。なお、連用による土壌窒素の蓄積も予想されるが、それは土壌診断（土壌の可給態窒素測定）により判断するものとし、ここでは扱わない。また、家畜ふん堆肥の重金属濃度によっては、連用により土壌に重金属が蓄積することが懸念される。それを防止するためにも、土壌診断の実施は必要である。

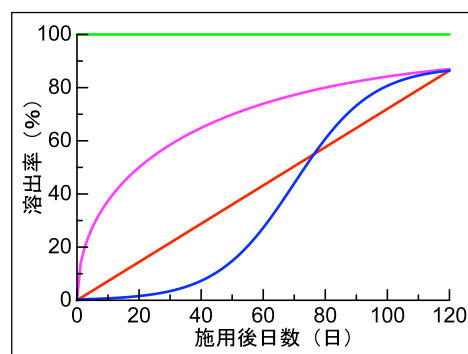
この文書では、多数の家畜ふん堆肥の分析結果より、家畜ふん堆肥の種類ごとの傾向をまとめ、それぞれについての施用方法のガイドラインを示している。以下の説明は、牛ふん堆肥、豚ふん堆肥、鶏ふん堆肥（副資材なし）という分類で行うが、家畜ふん堆肥の原料は様々で、多種の家畜ふんが用いられている場合も多い。しかし、畜種混合堆肥の多くは牛ふんが主体であるので、牛ふん堆肥に準じて判断してもらいたい。ただし、混合後に密閉縦型方式で極短期間しか発酵処理を行っていないものは、豚ふん堆肥に準じて判断する。なお、現段階では密閉縦型方式で製造された牛ふん堆肥、副資材を加えて堆肥化した鶏ふん堆肥については、詳細な検討を行っていないので、豚ふん堆肥、鶏ふん堆肥（副資材なし）に準じて判断をしてもらわざるを得ない。これらは、培養試験、栽培試験を行ない検討した上で、施用してもらいたい。

この文書中で使う窒素放出量のグラフについて

この文書では、堆肥からの窒素の供給量を右のようなグラフを使って説明している。このグラフは、土壌と堆肥を混ぜてインキュベータ内で培養し、定期的に一部を分取してそこに含まれる無機態窒素量から、それまでに堆肥から放出された窒素量を算出したものである。



そのような培養試験を行なったことのない人には馴染みが少ないため、イメージが湧きにくいかもしれないが、近いものとして、肥効調節型肥料の成分溶出パターンのグラフがある。硫酸（緑）のような肥効調節型でない化学肥料の場合溶出率は100%で、施用直後から全量が作物にとって利用可能で、その割合には変化が無い。それに対して肥効調節型肥料では、放物線型（紫）、リニア型（赤）、シグモイド型（青）のように、異なるパターンの肥料が作られている。



肥効調節型肥料等の溶出パターン

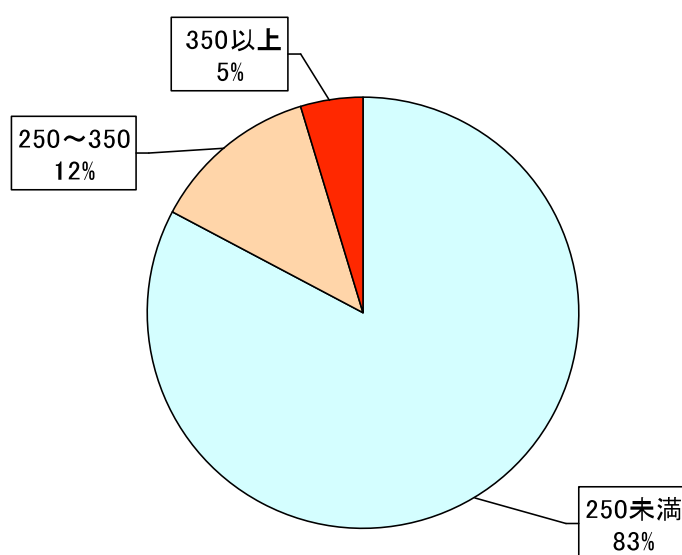
ある時期までに作物が利用できる窒素量が知りたい場合、施用量に溶出率をかけて計算するが、堆肥の折れ線グラフでは、堆肥乾物1トンからその時期までに放出される窒素量が、縦軸になっている。

なお、この文書内で施用当分の速効性窒素と呼んでいるものは、折れ線グラフの30日の値で、緩効性窒素は30日の値と90日の値の差である。

1. 牛ふん堆肥

多くの場合、牛ふん堆肥の窒素供給量は低い。そのため、施用量はリン酸、カリにより上限が決まる場合が多い。概して易分解性有機物は少なく、約 80%は AD 可溶有機物量が乾物あたり 250mg/g 未満である。その反面、難分解性有機物が多く含まれている。

また、木質系の副資材（オガクズ等）が含まれる場合、施用後一ヶ月程度経過した後、土壌中の無機態窒素が微生物により消費されることがある。



牛ふん堆肥のAD可溶有機物(403点)

1) AD 可溶有機物量が乾物あたり 250mg/g 未満の場合:

◎対象作物

全ての作物

◎窒素肥効

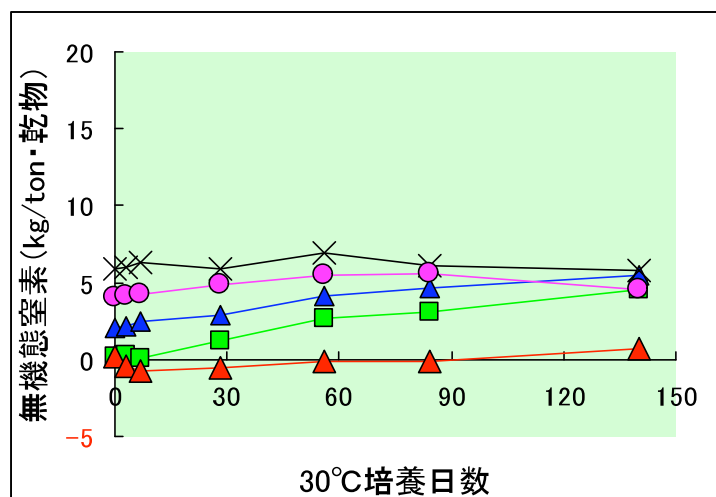
速効性窒素（1ヶ月）:

0.5M 塩酸抽出無機態窒素

緩効性窒素（1～3ヶ月）:

考慮しない

0.5M 塩酸抽出により測定される無機態窒素が施用直後から作物に利用可能であり、1～3ヶ月の間に効く窒素はあまり期待出来ない。



また、堆肥によっては木質系の副資材（オガクズ等）に含まれる有機物が完全に分解しておらず、施用後ある程度時間が経ってから土壌中の窒素が微生物により消費されて減少する。しかし減少量は1～3 kg/ton（乾物）程度なので、カリ含量を考慮して適正量を施用する限りは作物生育への影響は少ない。そのような堆肥ではCN比が高い。

◎施用方法

リン酸、カリ含量が窒素供給量に比べると高いため、リン酸、カリ含量で施用量の上限を決める。特にカリについては、土壌診断により土壌のカリ、石灰、苦土含量を確認した上で、土壌中の塩基バランスを考慮して施用量を決めることが望ましい。

施用後作付け開始までの時間を長くすると窒素が流亡し易いので、窒素肥効を考慮して施肥設計する場合は施用から作付けまで時間を置かない。このタイプの堆肥では、施用直後に作付けしても、生育阻害が見られることは稀である。

水稻作で利用する場合は、硝酸態窒素は施肥設計に加えない。

2) AD 可溶有機物量が乾物あたり 250mg/g 以上の場合:

(1) C/N 比が 18 未満・C/N 比が不明な場合

◎対象作物

作期が中～長期の作物

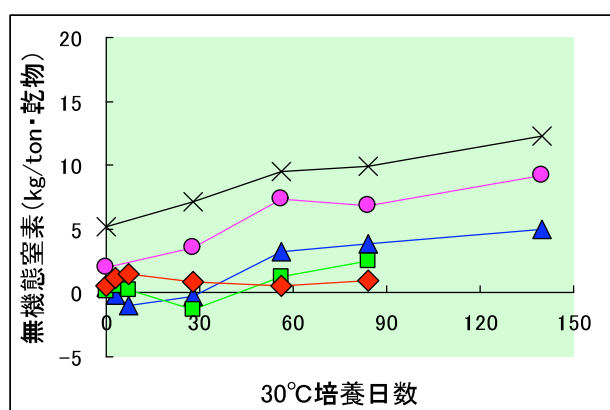
◎窒素肥効

速効性窒素（1 ヶ月）：0.5M 塩酸抽出無機態窒素

（ただし、2kg/ton・乾物程度有機化したのち無機化する）

緩効性窒素（1～3 ヶ月）：温度により変化（夏期は AD 可溶窒素 × 0.5 - 2.5 - 速効性窒素 (kg/ton・乾物)）

施用すると微生物の増殖に伴い無機態窒素が消費され、一時的に減少する。その後、微生物の死滅等により無機態窒素が放出され増えるが、その量は豚ふん堆肥と比較すると少ない。微生物活動は温度の影響を受けるため、施用後の窒素の減少、増加までの期間は季節により異なる。



◎施用方法

微生物により消費された窒素は、長期的には放出され作物に利用されるので、比較的作期の長い作物に向いている。しかし、窒素の放出量はさほど多くないので、肥効を施肥設計に加える場合は、過度に期待しない。また、完熟堆肥では無いため、施用直後に作付けを行うと、障害が起こる可能性がある。作付けは施用後1週間程度経ってから行う。

短期間のサイクルで作付けを行う葉菜類では、施用後最初の作付け期間中は窒素が微生物に消費された状態で、その後の作付け期間内に土壤中に放出されるので、窒素量の勘案が難しい。豚ふん堆肥に比べると消費量・放出量ともに少ないため影響はあまり大き

くないが、なるべく利用を避ける。

リン酸、カリ含量が高い場合が多いため、施用量を決める場合、リン酸、カリ含量を確認する。特にカリについては、土壌診断により土壌のカリ、石灰、苦土含量を確認した上で、土壌中の塩基バランスを考慮して施用量を決めることが望ましい。

(2) C/N 比が 18 以上の場合

◎対象作物

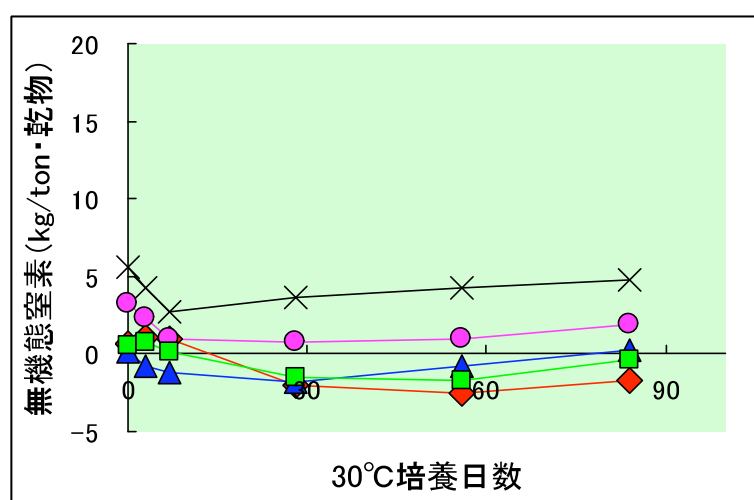
作期が中～長期の作物

◎窒素肥効

速効性窒素（1 ヶ月）：0.5M 塩酸抽出無機態窒素 - 2 （kg/ton・乾物）（マイナスの場合は考慮しない）

緩効性窒素（1～3 ヶ月）： 考慮しない

牛ふん由来の分解しやすい有機物、木質系の副資材（オガクズ等）に含まれる比較的分解し易い有機物が、ともに完全に分解していない場合、施用直後から土壌中の窒素が微生物により消費されて減少し、その後も数ヶ月に渡って土壌中に窒素が放出されない場合がある。長期的に見れば堆肥に含まれる窒素は作物によって利用されるが、施用当作においてはあまり期待できない。



◎施用方法

微生物に吸収された窒素は放出までの期間が長いので、施用当作における緩効性窒素の肥効は施肥設計に加えない。また、完熟堆肥では無いため、施用直後に作付けを行うと、

障害が起こる可能性がある。作付けは施用後 1 週間程度経ってから行うことが望ましい。

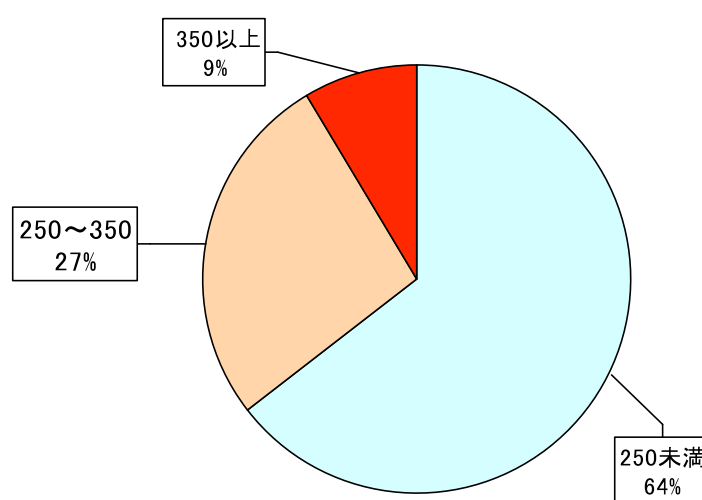
リン酸、カリ含量が高い場合も多いため、施用量を決める場合、リン酸、カリ含量を確認する。特にカリについては、土壌診断により土壌のカリ、石灰、苦土含量を確認した上で、土壌中の塩基バランスを考慮して施用量を決めることが望ましい。

※密閉縦型方式の堆肥化施設で製造された牛ふん堆肥について:

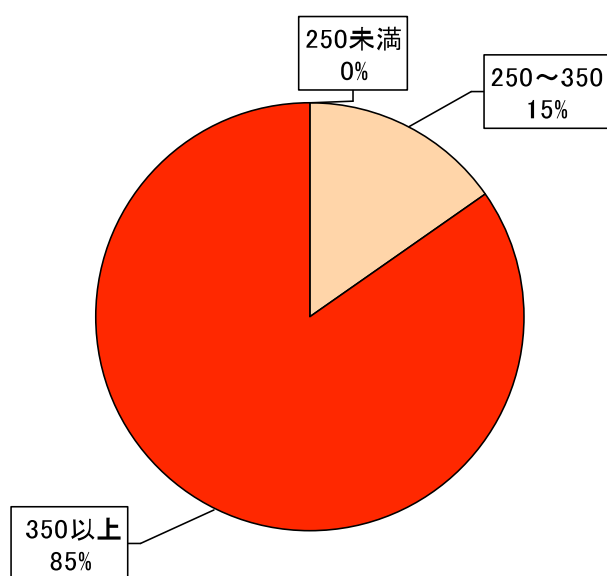
臭気対策等の理由で、密閉縦型式の堆肥化施設で牛ふん堆肥が製造されている場合がある。多くの場合、「AD 可溶有機物量 250mg/g（乾物）以上・C/N 比 18 未満」に分類されるが、この記述で想定している牛ふん堆肥よりもはるかに易分解性有機物が多く、窒素肥効的には同様の施設で製造された豚ふん堆肥に近い。従って、密閉縦型方式の施設で製造された牛ふん堆肥で「AD 可溶有機物量 250mg/g（乾物）以上」のものは、豚ふん堆肥の「AD 可溶有機物量 250mg/g（乾物）以上」に準じて施用する。

2. 豚ふん堆肥

豚ふん堆肥のうち、開放攪拌方式や堆肥舎で製造されたものは AD 可溶有機物量が乾物あたり 250mg/g 未満で易分解性有機物が十分に分解されていることが多いが、密閉縦型方式では AD 可溶有機物量が乾物あたり 250mg/g 以上と易分解性有機物がかなり残存している。また、窒素供給量に比べて、カリ、リン酸含量（特にリン酸含量）が高く、施用量の上限がリン酸含量で決まる場合が多い。



豚ふん堆肥のAD可溶有機物(密閉縦型以外・141点)



豚ふん堆肥のAD可溶有機物(密閉縦型・39点)

1) AD 可溶有機物量が乾物あたり 250mg/g 未満の場合:

◎対象作物

全ての作物

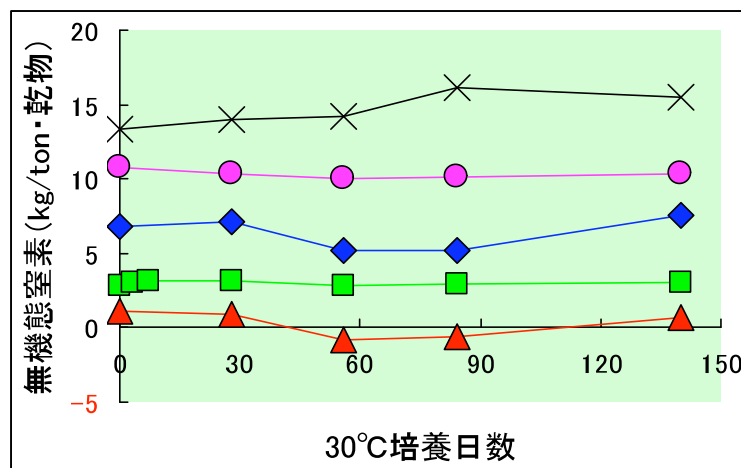
◎窒素肥効

速効性窒素（1ヶ月）:

0.5M 塩酸抽出無機態窒素

緩効性窒素（1～3ヶ月）:

考慮しない



0.5M 塩酸抽出により測定される窒素が施用直後から作物に利用可能である。緩効性の窒素はほとんどない。

◎施用方法

施用後作付け開始までの時間を長くすると窒素が流亡し易いので、窒素肥効を考慮して施肥設計した場合は作付けまで時間を置かない。施用直後に作付けしても、生育阻害が見られることは稀である。

水稻作で利用する場合は、硝酸態窒素は施肥設計に加えない。

リン酸含量が窒素供給量に比べると高いため、リン酸含量を確認し、過剰にならないように施用量を決める。また、カリについては、土壌診断により土壌のカリ、石灰、苦土含量を確認した上で、土壌中の塩基バランスを考慮して施用量を調節することが望ましい。

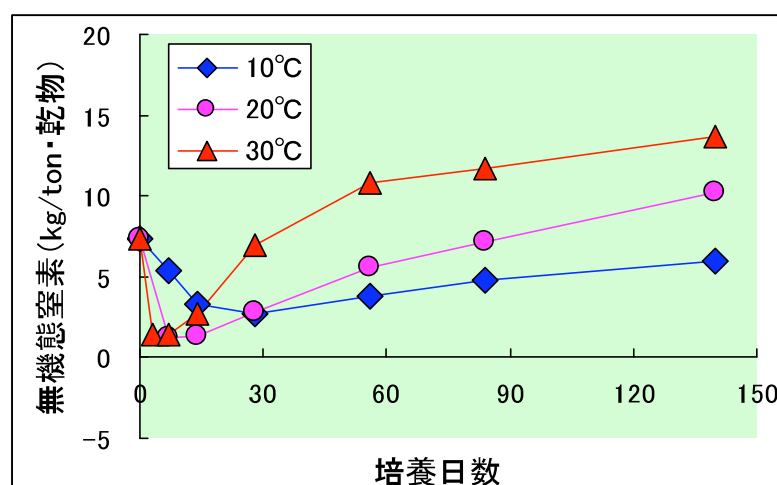
2) AD 可溶有機物量が乾物あたり 250mg/g 以上の場合:

◎対象作物

作期が中～長期の作物

◎窒素肥効

施用すると微生物の増殖に伴い土壌中の無機態窒素が消費され、一時的に減少する。その後、微生物の死滅等により窒素が放出され土壌中の無機態窒素は増える。微生物活動は温度の影響を受けるため、施用後の窒素の減少、増加までの期間は季節により異なる。



それを考慮した上で窒素肥効を計算する。その際に、まず土壌中の無機態窒素が一番少なくなった時の窒素量（最少窒素量）を求める。

$$\text{最少窒素量} = 0.5\text{M 塩酸抽出無機態窒素} - \text{AD 可溶有機物量} \times 0.02 + 3 \dots\dots\dots \textcircled{1}$$

続いて、AD 可溶窒素量から微生物の死滅などに起因する窒素の無機化量を求める。

$$\text{無機化量} = 0.5 \times \text{AD 可溶窒素} - 2.5 - \textcircled{1} \dots\dots\dots \textcircled{2}$$

これらの数値から、速効性、緩効性窒素量を求める。無機化量（②）は地温により変化するため、計算時に後に挙げる表の係数をかけて算出する。

地域・施用日に応じた速効性窒素（30 日）：

$$\textcircled{1} + \text{次ページの表の 30 日後の係数} \times \textcircled{2}$$

地域・施用日に応じた速効性+緩効性窒素（90 日）：

$$\textcircled{1} + \text{次ページの表の 90 日後の係数} \times \textcircled{2}$$

緩効性窒素量のみを算出する場合は、90 日までの窒素量から 30 日までの窒素量を差し引く。

水稻の場合、施肥の区分が畑作とは異なるため、計算方法を調整する。その際、堆肥施用から穂肥までの日数が必要で、その日数に対応した係数を表から計算する必要がある。

地域・施用日に応じた速効性窒素（穂肥前まで）：

$$\textcircled{1} + \text{穂肥までの日数に対応する係数} \times \textcircled{2}$$

地域・施用日に応じた速効性+緩効性窒素（4 ヶ月まで）：

$$\textcircled{1} + 1.0 \times \textcircled{2} \quad (= 0.5 \times \text{AD 可溶性窒素} - 2.5)$$

なお、北海道では 120 日後でも係数が 1.0 にならないので、120 日後の係数を使う。

	北海道(札幌市)				東北・北陸(新潟県三条市)			関東(茨城県つくば市)		
施用日	30日後	60日後	90日後	120日後	30日後	60日後	90日後	30日後	60日後	90日後
1/1	0.07	0.14	0.20	0.29	0.07	0.14	0.21	0.10	0.21	0.33
2/1	0.07	0.14	0.23	0.38	0.07	0.15	0.29	0.11	0.24	0.40
3/1	0.07	0.17	0.32	0.54	0.08	0.22	0.42	0.14	0.31	0.50
4/1	0.10	0.27	0.51	0.70	0.15	0.37	0.60	0.19	0.41	0.63
5/1	0.18	0.44	0.65	0.83	0.24	0.51	0.74	0.26	0.51	0.72
6/1	0.30	0.55	0.76	0.87	0.33	0.62	0.85	0.32	0.58	0.80
7/1	0.33	0.60	0.75	0.82	0.40	0.71	0.86	0.35	0.64	0.83
8/1	0.37	0.57	0.66	0.71	0.45	0.68	0.79	0.41	0.67	0.80
9/1	0.28	0.41	0.47	0.52	0.35	0.52	0.61	0.38	0.57	0.68
10/1	0.16	0.25	0.31	0.36	0.23	0.35	0.42	0.28	0.43	0.51
11/1	0.10	0.16	0.23	0.28	0.14	0.23	0.28	0.19	0.30	0.38
12/1	0.07	0.14	0.20	0.26	0.09	0.16	0.22	0.13	0.22	0.31

	東海(岐阜県岐阜市)			中国・近畿(広島県福山市)			四国・九州(福岡県筑後市)		
施用日	30日後	60日後	90日後	30日後	60日後	90日後	30日後	60日後	90日後
1/1	0.10	0.19	0.30	0.11	0.23	0.34	0.13	0.27	0.41
2/1	0.10	0.23	0.39	0.12	0.26	0.41	0.15	0.31	0.49
3/1	0.13	0.31	0.52	0.14	0.32	0.52	0.18	0.38	0.60
4/1	0.20	0.44	0.66	0.20	0.43	0.66	0.23	0.49	0.73
5/1	0.28	0.55	0.81	0.28	0.55	0.79	0.32	0.62	0.85
6/1	0.35	0.68	0.90	0.36	0.66	0.89	0.40	0.72	0.95
7/1	0.46	0.77	0.93	0.42	0.75	0.93	0.47	0.81	0.98
8/1	0.49	0.74	0.85	0.49	0.77	0.89	0.54	0.83	0.95
9/1	0.40	0.59	0.68	0.46	0.66	0.75	0.50	0.72	0.82
10/1	0.27	0.41	0.49	0.31	0.47	0.55	0.37	0.53	0.62
11/1	0.17	0.27	0.35	0.20	0.32	0.40	0.23	0.36	0.46
12/1	0.12	0.21	0.29	0.14	0.24	0.34	0.16	0.28	0.40

灰色は 90 日後でも係数が 0.5 以下の時期

この表の係数は各地域の地温より算出している。数値が小さいほど、無機態窒素の放出が遅い。表に無い地域では、この表を参考に係数を決める。地温データがある場合は、添付のエクセルシートから係数を算出することも出来る。背景を灰色にしている時期に施用した場合、90 日以降も窒素の放出が続く。作型によっては問題が生じる可能性があるため、できるだけそのような時期には施用しない。

◎施用方法

微生物により吸収された窒素は、ゆっくり放出され作物に利用されるので、比較的作期の長い作物に向いている。

短期間のサイクルで作付けを行う葉菜類では、施用後最初の作付け期間中は窒素が微生物に消費された状態で、その後の作付け期間内に土壤中に放出されるので、窒素量の勘案が難しいため、利用しない。

作期の長い作物に施用する場合でも、施用後の土壤中の窒素の増減は温度の影響を受けるので、利用は温度が高い春～秋口に施用する作型のみとする。また、施用後 1 ヶ月程度は土壤中の窒素が減少している可能性があるため、初期生育を確保する必要がある場合は、化学肥料を併用する。例えば、生育後期の窒素発現量は気象条件等により変動するので、生育状況を見ながら必要に応じて化学肥料を追肥する。

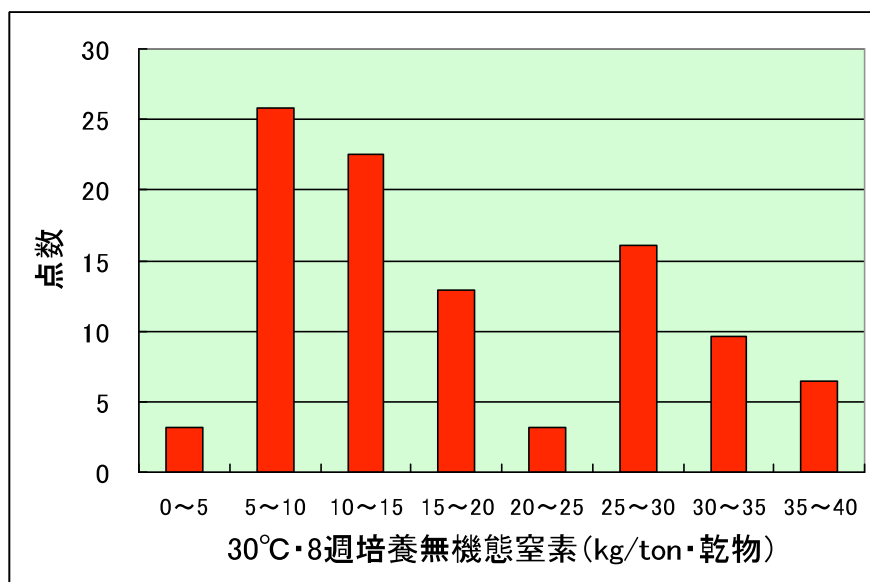
また、水稻作に施用する場合、茎数確保のため基肥窒素の代替率が 50%以下になるように施用し、化学肥料を併用する。なお、寒地・寒冷地では施用 120 日後以降も窒素の放出が見込まれ、登熟遅延やタンパク含量増加が懸念されるので、基肥窒素代替率は 20%以下に留める。

リン酸含量が窒素に比べると高いため、リン酸含量を確認し、過剰にならないように施用量を決める。また、カリについては、土壌診断により土壌のカリ、石灰、苦土含量を確認した上で、土壌中の塩基バランスを考慮して施用量を調節することが望ましい。

3. 鶏ふん堆肥（副資材なし）

副資材の入っていない鶏ふん堆肥には速効性の窒素が多く含まれるため、化成肥料的な使い方をする。堆肥によって速効性窒素量のばらつきが大きいため、必ず速効性窒素量を把握してから施用する。

また、リン酸、カリ、石灰含量も高いので、それらの分析値と土壌診断の結果を合わせて、施用量を決める。



◎対象作物

全ての作物

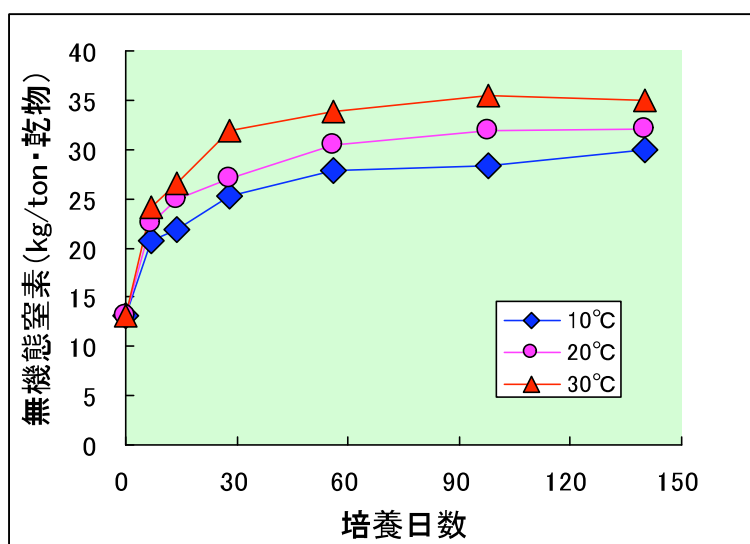
◎窒素肥効

速効性窒素（1ヶ月）：

全窒素（乾物%）× 全窒素（乾物%）
- 2（kg/ton・乾物）

緩効性窒素（1～2ヶ月）：

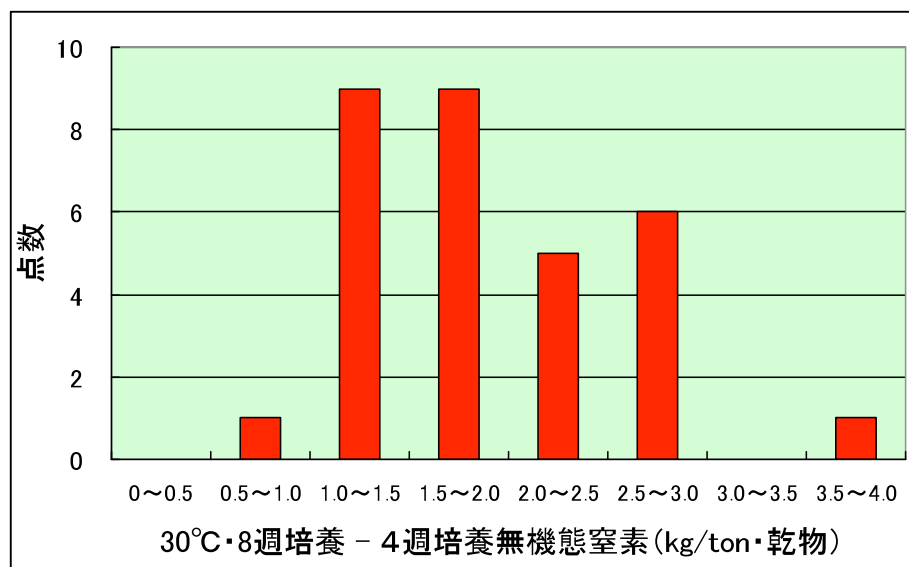
2（kg/ton・乾物）



施用直後から窒素の放出が起こるため、化成肥料的な使い方をする。ただし、温度が低い場合は放出のスピードがやや遅くなる。放出は2ヶ月程度で終わり、その後窒素はほとんど発現しない。

1～2 ヶ月の間の放出量は堆肥にかかわらず、約 2kg/ton（乾物）である（30℃の場合）。

温度が低い場合、それよりもやや少なくなる。



◎施用方法

微生物活動による窒素の放出は短期間で起こるため、速効性の肥料として扱って良い。ただし、低温になると放出にかかる期間が長くなるため、窒素肥効の高い堆肥については晩秋～冬期の施用は避ける。緩効性の窒素成分はあまり多くないので、作付け期間が長期の作物では追肥等で窒素量を確保する。

水稻の場合、8 週以降に発現する窒素はほとんど無いので、追肥からの減肥は行わない。速効性と緩効性を合わせた窒素が 8 週間間に発現するので、全窒素（乾物%）× 全窒素（乾物%）kg/ton で計算される窒素量を基肥から減肥する。

リン酸、カリ、石灰含量も高いので、それらの分析値と土壌診断の結果を合わせて、施用量を決める。相対的に苦土が少なくなる可能性があるため、連用する場合は注意する。

家畜ふん堆肥の窒素肥効一覧

		速効性窒素	緩効性窒素
牛ふん堆肥	AD可溶有機物 < 250	無機態窒素	なし
	AD可溶有機物 ≥ 250 — C/N < 18	無機態窒素	0.5 × AD可溶窒素 - 2.5 - 速効性窒素
	AD可溶有機物 ≥ 250 — C/N ≥ 18	無機態窒素-2	なし
豚ふん堆肥	AD可溶有機物 < 250	無機態窒素	なし
	AD可溶有機物 ≥ 250	最少窒素量 + 窒素無機化量* (30日)	窒素無機化量* (90日) - 窒素無機化量* (30日)
鶏ふん堆肥 (副資材なし)		T-N(乾物%) × T-N(乾物%) - 2	2

* 地温の影響を考慮する

肥料成分の有効活用を念頭に置いた施用方法一覧

(環境保全や利用し易さの観点からの評価)

○: 推奨、△: なるべく利用を避ける、×: 利用を避ける)

		水稻(秋施用) ¹⁾	水稻(春施用) ²⁾	短期野菜	中～長期葉根菜 ³⁾	参考: 土作り
牛ふん堆肥	AD可溶有機物 < 250	○	○	○	○	有機物補給 物理性改善
	AD可溶有機物 ≥ 250 — C/N < 18	△	△	×	○ 根菜類の作付けは 施用1週間後	有機物補給 物理性改善
	AD可溶有機物 ≥ 250 — C/N ≥ 18	○	×	×	○ 根菜類の作付けは 施用1週間後	有機物補給 物理性改善
豚ふん堆肥	AD可溶有機物 < 250	△	○	○	○	有機物補給 リン酸補給 物理性改善
	AD可溶有機物 ≥ 250	×	△ 基肥窒素代替率 は50%以下 ⁴⁾	×	○ 根菜類の作付けは 施用1週間後	リン酸補給
鶏ふん堆肥 (副資材なし)		×	○	○	○ 2ヶ月以降は 窒素肥効なし	カルシウム補給 リン酸補給

1) 翌春の窒素肥効は期待できない。窒素成分量が比較的多い鶏ふん堆肥等は、施用しても良いが効率的でないため×にしてある

2) 硝酸態窒素は脱窒・流亡により効果が期待出来ないので、施肥設計時に考慮しない

3) 果菜類については未検討

4) 寒地・寒冷地では代替率を20%程度にとどめる