

4 適正な施肥

(1) 肥培管理と栄養診断

水稻が吸収する養分は、大きく分けて土壤由来のものと肥料由来のものがある。水稻では、目標とする収量と土壤条件に合わせ施肥設計することが重要であり、土壤中に含まれる養分量とその発現パターンを考慮し、水稻が土壤から吸収する養分の不足分を適切な時期に肥料で補うようによくすることが理想的である。本項では、水稻の生育や収量・品質に対する影響度が大きい窒素、リン酸、カリの肥培管理と栄養診断について解説する。

イ 水稻の収量構成要素と肥培管理の関係

適正な肥培管理を行うことによって水稻の収量構成要素を適正な範囲に制御することができ、その結果、収量の安定確保と品質の向上を両立することができる。水稻の収量は穂数、1穂粒数、登熟歩合、千粒重の4要素で構成されており、ひとめぼれの場合は粒数が1m²当たり2.8~3万粒で安定した収量・品質を得ることができる(図3-36、図3-37)。

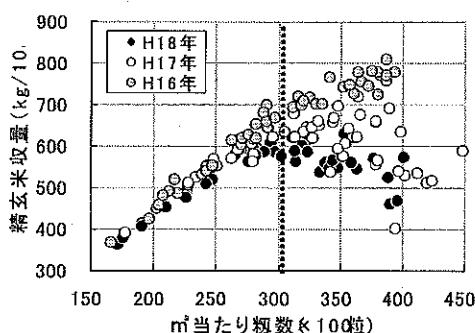


図3-36 m²当たり粒数と収量の関係
(ひとめぼれ、古川農試、平16~18)

注) 基肥:N 0~9kg/10a
追肥:幼形期・減分期とも N 0~3kg/10a

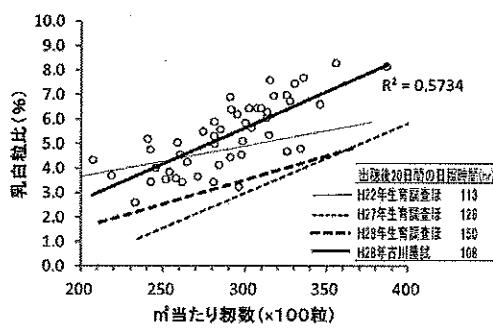


図3-37 m²当たり粒数と乳白粒の関係

注) 供試品種:ひとめぼれ

図中○印:H28年古川農試試験地データ

線:近似曲線は県内生育調査(n=25)、古川農試(n=48)での発生傾向を示す

出穂後20日間の日照時間:古川アメダス

なお、収量は以下の構成式から成り立っており、これらの収量構成要素を適正な範囲に制御するための肥培管理に当たって、収量構成要素ごとに作用する養分の種類や施用時期、施用量に注意する必要がある。

収量(g/m²) =

$$\text{穂数(本/m}^2\text{)} \times 1\text{穂粒数(粒/穂)} \times \text{登熟歩合(\%)} \times \text{千粒重(g)} \div 1,000$$

(イ) 穂数

初期生育の良否や栄養成長期間の有効茎数確保によって穂数が決まる。穂数が少ないと粒数も少なくなり減収につながり、茎数が多く過繁茂の状態になると倒伏の危険性が高まる。穂数に影響する肥培管理は、基肥、分けつ期追肥、つなぎ肥である。肥料の種類では、窒素とリン酸の影響が大きい。

(ロ) 1穂粒数

1穂当たりに付く粒数ことで、単位面積当たりの粒数(粒/m²)は穂数と1穂

穂数の数で決まる。穂数が少ないと減収につながり、穂数が多すぎても登熟歩合が低下し減収につながる場合が多く、品質も低下する。1穂穂数に影響する肥培管理は、幼穂形成期、減数分裂期の窒素追肥である。

(八) 登熟歩合

総穂数のうち、登熟した玄米の割合が登熟歩合である。総穂数と登熟歩合は反比例の関係にあり、総穂数が多いと登熟歩合は低下しやすい。よって、収量の安定確保には総穂数と登熟歩合のバランスが重要である。登熟歩合に影響する肥培管理は、デンプン合成・転流に関わる窒素とカリによる減数分裂期追肥である。

(九) 千粒重

登熟した玄米千粒分の重さであり、千粒重は品種による差が大きく、登熟良化に影響する減数分裂期追肥が関係するものの、肥培管理による変動は小さい。

四 窒素施肥

水稻が収穫期までに吸収する全窒素吸収量の60~80%は土壤由來の窒素（地力窒素）であり、地力窒素の多少及び無機化の動態を適切に判断することが、施肥設計を立てる上でもっとも重要である。

(イ) 基肥窒素

a 基肥窒素の役割

基肥窒素の役割は、初期生育の促進による有効穂数の安定確保にある。安定した穂数を得るために、全層施肥時の作土中のアンモニア態窒素が乾土100g当たり田植時で6~7mg、分げつ期で5mg程度あれば良い。適正な基肥窒素は、稲の活力を高めて施肥窒素の利用率を向上させるとともに、地力窒素の吸収量も増加させる。

b 基肥窒素施用の際の注意点

基肥窒素量が過剰であったり、生育期間中の天候が不順で肥効が長引いたりすると、無効な茎数の増加や草丈の伸びすぎによる倒伏、受光体勢の悪化による登熟不良、病害虫抵抗力の低下が起こりやすい。

したがって、基肥窒素は目標穂数が確保できれば少ない方が安全であり、生育のスターターとしての役割を得ることができれば、栄養生長から生殖生長へ転換する6月末~7月初めには消失（作土中アンモニア態窒素が1mg/乾土100g以下）し、それ以降は、地力窒素の発現や水稻の生育に応じた追肥によって調整するのが望ましい。

c 基肥窒素施用量の判断基準

(a) 春季雨量に応じた基肥の減肥
春季雨量（3・4月の合計降水量）が、ササニシキでは150mm以下、ひとめぼれでは100mm以下になると、乾土効果の影響で総穂数が増える傾向にある。

特に80mmとなった場合には、施肥窒素で約2kg/10a相当の窒素が土壤から供給される見込みがあることから、表3-19のとおり春季雨量に応じて基肥窒素

表3-19 慣行の基肥窒素量に対する減肥量
(窒素成分量 kg/10a)

	3・4月降水量(mm)				
	80	90	100	125	150-
ひとめぼれ	-1.0	-0.5	0	0	0
ササニシキ	-1.5	-1.0	-0.5	-0.5	0

(普及に移す技術 第80号)

を減肥する。

(b) 粒数増加割合に基づく基肥窒素量の判定

ひとめぼれでは、年次にかかわらず、基肥として 1 m^2 当たりに施用した窒素 1 g に対し、粒数が約 $1,500$ 粒増える傾向がある。粒数が過剰や不足しているほ場では、この増加割合を参考に基肥窒素量を加減する。同様に、幼穂形成期追肥により、 1 m^2 当たりに施用した窒素 1 g に対して $1,500 \sim 2,000$ 粒程度の粒数増加の効果が期待でき、追肥窒素量を決める際の参考となる。

(c) 追肥窒素

a 追肥窒素の役割

基肥の窒素肥効が消失した後、穂数や粒数といった収量構成要素の不足や登熟の不良が予測される場合に追肥によって生育を調整する。その際、稻体の茎葉部、根部ともに健全で、日射量が多く、稻体のデンプン含量が高い状態にあると追肥の効果が出やすい。

b 生育段階別の追肥窒素の効果と注意点

(a) 分げつ期追肥

追肥主体の施肥法において、あるいは基肥や地力の窒素肥効が見込めないとき、分げつを促進するため、分げつ期に追肥をする。田植直後に施用する、いわゆる活着肥も、実質的には分げつ期追肥と同様の効果を見込むものである。ただし、初期生育が極端に小さい場合は、施肥以外の原因によることが多く、その究明が先決である。分げつ期追肥では、表層施肥された窒素が稻体に吸収されるまでの期間が長く、脱窒作用を受けやすいため、施肥窒素の利用効率は低い。

(b) つなぎ肥

分げつ終期から穗首分化期ごろに、施肥法や気象的要因によって窒素肥効の切上がりが早く、穗肥までに栄養ちよう落が見込まれる場合、そのつなぎとして追肥をする。穂数がとれにくい品種や側条施肥などで必要となることがあるが、この時期の過剰な窒素施肥は、下位節間の伸長による倒伏、粒数過剰による登熟不良となる危険性があるので、栄養状態に十分注意しながら実施する。

(c) 穗肥

穂肥の効果は、表 3-20 に示すとおり、施用する時期や量によって異なることから、品種や地力窒素発現の特徴等に応じて施用時期、施用量を決定する。品種ごとの標準的な穂肥の目安を表 3-21 に示す。追肥作業は、降雨等によつ

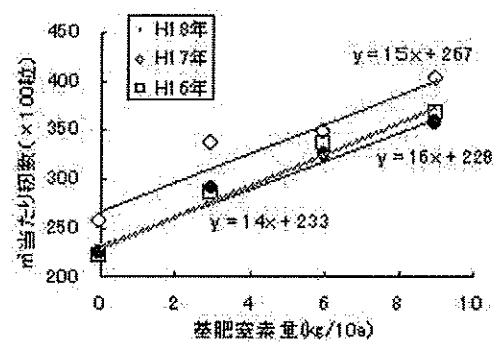


図 3-38 基肥窒素量に対する粒数の反応
(ひとめぼれ) (普及に移す技術 第 84 号)

て遅れる場合でも、出穂前には終了し、穗揃期以降の追肥は玄米粗タンパク含有率を高め、食味の低下を招くので避ける。

なお、近年、作業上の理由から穗肥を控える事例が多く見られるが、穗揃期の窒素栄養状態と白未熟粒の発生との間に密接な関係が認められることから（図3-39、図3-40）、登熟期の栄養ちよう落が予測される場合には追肥を実施する。最近の水稻基肥用の肥料の中には、緩効性や肥効調節型の窒素成分を含むものも多く、穗肥を省略できる場合があるので、基肥に使用した肥料の特徴を良く理解することも重要である。

表3-20 穗肥窒素の施用時期と生産要因への影響

		生産要因への影響					
		穂数の増加	1穂顕花数の増加	1穂顕花数の減少防止	登熟の良化	下位節間の伸長と倒伏	玄米タンパク質増加
施用時期	幼穂形成期	○	◎	○		×	
	減数分裂期		○	◎	◎		
	穗首分化期	○	○		×	××	
	穗揃期				○		×

◎ 効果高い、○ 効果あり、× 悪影響あり、×× 悪影響強い

表3-21 穗肥の標準的な窒素施用量の目安

品種	窒素施用量	
	出穂25～20日前 (幼穂形成期)	出穂15～10日前 (減数分裂期)
ひとめぼれ	1.0kg/10a	1.0kg/10a
ササニシキ コシヒカリ	—	1.0～1.5kg/10a
まなむすめ たきたて	2.0kg/10a	—

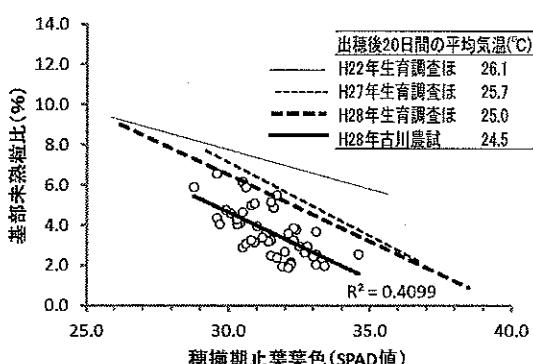


図3-39 穗揃期止葉葉色と基部未熟粒の関係

注) 供試品種: ひとめぼれ

図中○印: H28年古川農試試験場データ

線: 近似曲線で県内生育調査ほ(n=25), 古川農試(n=48)での発生傾向を示す

出穂後20日間の平均気温: 古川アメダス

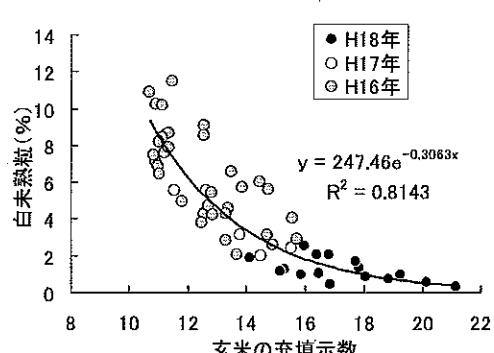


図3-40 玄米の充填示数と白未熟粒の関係
(ひとめぼれ, 古川農試, 平16～18)

注) 玄米の充填示数: 白未熟粒の発生リスクを評価するため、穗揃期の栄養状態(止葉葉色及び窒素保有量)や登熟期の気温等から算出した値(普及に移す技術 第82号)

(八) 粒数制御のための窒素追肥の考え方

a 粒数と水稻窒素吸量の関係

水稻の収量構成要素のうち、光合成産物の受け皿となる粒数は、穂数と1穂粒

数から成り立っている。このため、穂数は、穂数がほぼ決まる幼穂形成期や、1穂に分化した穎花が穂となって出現する穂揃期における稻体の窒素保有量と密接な関係にあり（図3-41、図3-42），幼穂形成期の窒素保有量がわかれば、1m²当たり2.8～3万粒の穂数を得るために、幼穂形成期から穂揃期までにどれくらいの窒素を吸収すれば良いかがわかる。

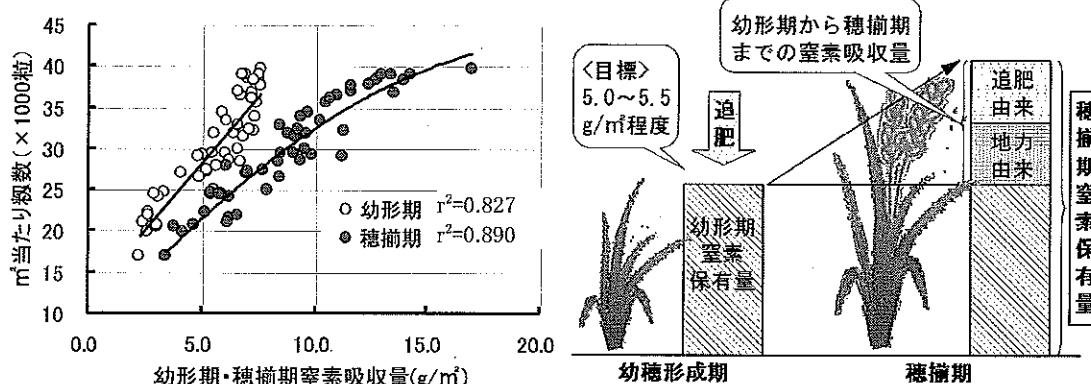


図3-41 幼穂形成期・穂揃期窒素吸収量と穂数の関係（ひとめぼれ、古川農試、平16）

図3-42 穀数制御のための幼穂形成期～穂揃期の窒素吸収イメージ

b 適正穂数を得るための追肥窒素量の決め方

表3-22に、ひとめぼれにおける適正穂数を得るための「幼穂形成期窒素吸収量と穂揃期までの窒素吸収量の目安」を示す。この表から、2.8～3万粒/m²を得るためにには、幼穂形成期の窒素保有量は5.0～5.5g/m²が理想的であることがわかり、その後は、穂揃期までに3.0～4.0g/m²の窒素を吸収すれば良いことになる。

表3-22 ひとめぼれ・ササニシキにおける適正穂数を得るための幼穂形成

期・穂揃期吸収量

<ひとめぼれ>		<ササニシキ>									
		幼穂形成期・穂揃期窒素吸収量(g/m ²)					幼穂形成期・穂揃期窒素吸収量(g/m ²)				
穂 素 吸 收 量 (g/m ²)	2.0 2.5 3.0 3.5 4.0 4.5 5.0 5.5 6.0 6.5 7.0 7.5	2.0 24 24 25 26 26 27 27 28 29 30 30 31	2.5 25 26 26 27 28 28 29 29 30 30 31 31	3.0 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30	3.5 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35	4.0 40 40 40 40 40 40 40 40 40 40 40 40	4.5 45 45 45 45 45 45 45 45 45 45 45 45	5.0 50 50 50 50 50 50 50 50 50 50 50 50	5.5 55 55 55 55 55 55 55 55 55 55 55 55		

このようにして得られた幼穂形成期から穂揃期までの窒素吸収量から地力窒素発現量を差し引き、追肥の窒素利用効率（80%程度）で割り戻せば、必要とされる追肥窒素量を求めることができる。この期間の地力窒素発現量は、平均的な灰色土壌では2.0～3.0g/m²程度であるが、ほ場ごとの地力に応じて加減する必要がある。以下に追肥窒素量を求める際の計算例を示す。ササニシキについても同様に計算すると良い。

- 計算例)
- ・幼穂形成期窒素保有量：5.0g/m²
 - ・幼穂形成期から穂揃期の地力窒素発現量：2.0g/m²
 - ・目標とする穂数：2.8万粒/m²
 - ・追肥に用いる肥料の窒素含有率：16% といった条件の場合

- ① 表 3-22から幼穂形成期から穗揃期までに必要となる窒素吸収量を調べる。
本条件では、 $3.0\text{g}/\text{m}^2$ 必要ということが分かる。
- ② 幼穂形成期から穗揃期までに必要となる窒素吸収量 $3.0\text{kg}/\text{m}^2$ から地力窒素発現量 $2.0\text{g}/\text{m}^2$ を差し引いて、必要となる肥料由来窒素量を求める。

$$3.0\text{g}/\text{m}^2 - 2.0\text{g}/\text{m}^2 = 1.0\text{g}/\text{m}^2$$
- ③ 肥料由来窒素の必要量を追肥の窒素利用効率（80%程度）で割り戻し、追肥する窒素量を求める。

$$1.0\text{g}/\text{m}^2 \div 0.8 = 1.25\text{g}/\text{m}^2$$
- ④ 追肥する窒素量を使用する肥料の窒素含有率（ここでは、肥料の窒素含有率を16%と仮定）で割り戻し、施用する肥料現物量を求める。

$$1.25\text{g}/\text{m}^2 \div 0.16 \approx 7.8\text{g}/\text{m}^2$$
- ⑤ 以上のことから、本条件で必要となる追肥窒素量は $1.25\text{g}/\text{m}^2$ 、肥料現物量は $7.8\text{g}/\text{m}^2$ ということになる。

(=) 地力窒素の影響

気温が上昇する生育中期以降の窒素吸収量には、地力窒素の発現時期と発現量の多少が大きく影響する。肥培管理、特に穗肥の実施にあたっては、ほ場ごとの地力窒素発現の特徴を把握しておくことが重要である。地力窒素は、一般に泥炭土、黒泥土、グライ土等で発現しやすく、褐色低地土や粘土含量の少ない土壤での発現量は少ない。

また、有機物の施用の有無も窒素発現に影響を及ぼす。有機物の種類や畜産由来のたい肥では、畜糞・副資材等によっても含まれる窒素の量や分解の速さが異なる。さらに、有機物の施用継続年数によって、土壤に蓄積された有機物からの無機化量も変化する。

口 リン酸施肥

リン酸は、根の伸長を助け、分げつを促進し、茎数確保を容易にする。火山灰土壌や泥炭・黒泥土の場合、生育初期に気温や水温が低い場合には、積極的に基肥に十分な量を施す。リン酸は湛水による還元の進行により土壤から有効化するので、一般に追肥としては必要ない。また、長年リン酸を施用してきた結果、土壤にリン酸が蓄積している可能性があるほ場では、低成本化の取組みとして土壤診断に基づく減肥が重要である。表 3-23にリン酸の減肥基準を示す。

トルオーグ リン酸 ^{注1)}	減肥の 可否	土壌タイプ	リン酸 施肥量 ^{注2)}	土づくり肥料 (リン酸)
6未満	↑ 不可	多湿黒ボク土・泥炭土・黒泥土	8~10	必要
		灰色低地土・ グライ土・褐色低地土	7~8	
		多湿黒ボク土	8~10	
6~15		灰色低地土・褐色低地土	7~8	不要
		泥炭土・黒泥土	8~10	
	↑ 可	灰色低地土・褐色低地土	3.5~4	
15~30	↓ 不可	泥炭土・黒泥土	4~5	
		すべて	0	
30				

表 3-23 水稻栽培における土壤トルオーグリン酸とリン酸減肥基準（普及に移す技術 第 90 号）

注 1) 栽培前土壤。単位は $\text{mg-P}_2\text{O}_5/100\text{ g}$

注 2) 単位は $\text{mg-P}_2\text{O}_5/10\text{ a}$

ハ カリ施肥

カリは総吸収量から見れば窒素よりも多いが、かんがい水からの供給、稻わらやたい肥からの供給、土壤中における保持等を考慮すると、基肥で7~10kg/10a施用していれば十分であるが、リン酸の施肥で述べたことと同様に土壤診断に基づく減肥は低コスト化の取組みとして重要である。表3-24にカリの減肥基準を示す。また、カリの追肥により、出穗後の同化能力を高め、炭水化物の移動を助ける働きがあるので、追肥の時は窒素とともに施用する方が良い。

ニ 品種特性に応じた基肥量の目安

表3-25に本県における主な奨励品種の標準的な基肥量の目安を示す。分けつが多く穂数が確保しやすい品種や倒伏しやすい品種など品種の特性を考慮した施肥設計に努める。

表3-25 品種特性に応じた基肥量の目安

土壤型	a 標準的施肥量で良い品種			b やや減肥が必要な品種			c 減肥が必要な品種		
	窒素	リン酸	カリ	窒素	リン酸	カリ	窒素	リン酸	カリ
多湿黒ボク土	3~5	8~10	8~10	3~4	8~10	8~10	2~4	8~10	8~10
灰色低地土	4~6	7~8	7~8	4~5	7~8	7~8	3~5	7~8	7~8
グライ土	3~5	7~8	7~8	3~4	7~8	7~8	2~4	7~8	7~8
泥炭・黒泥土	3~5	8~10	8~10	3~4	8~10	8~10	2~4	8~10	8~10

a 標準的施肥量で良い品種： ひとめぼれ、まなむすめ、トヨニシキ、たきたて

b やや減肥が必要な品種： ヒメノモチ、もちむすめ

c 減肥が必要な品種： ササニシキ、コジヒカリ、みやこがねもち

ホ 生育診断・栄養診断法

従来は稲の草姿や葉色から経験的に生育の良否を判断してきたが、客観的かつ迅速に栄養状態を判定する方法としてカラースケールや葉緑素計（SPAD502, SPAD502 Plus）が利用されている。

現在は、葉色のみの診断から葉緑素計の値を草丈、茎数に乘じ、窒素吸収量の推定や倒伏診断を行うことができる。

(1) 期待生育量に基づく診断

いつの時期にどの程度の生育量を確保するのかの目安となる期待生育値を表3-26に示す。これは、ササニシキについて10a当たり収量600kg、ひとめぼれについて550kgを得るための標準的な目標生育量となるもので、この期待値に近づけるように肥培管理を行うとよい。また、県内の生育調査は「ひとめぼれ」（平成17年～22年）において、適正な粒数で、かつ検査等級1等及び整粒歩合が高かった地点を抜粋し、その生育経過を生育目標としてまとめたものを表3-27に示した。

表3-24 水稲栽培における土壤交換性カリとカリ減肥基準(普及に移す技術 第90号)

交換性カリ ^(注1)	基肥の可否	土壤タイプ	カリ施肥量 ^(注2)
25未満	↑ 不可 ↓	全土壤	7~10
25~40	↑ 可 ↓	多湿黒ボク土、 糞堆土・黒泥土、 灰色低地土 グライ土 褐色低地土	3.5~5
40以上	↓	全土壤	0

注1) 施肥前の土壤の交換性カリ。単位はmg-K₂O/100g乾土。

注2) 施肥量の単位はkg-K₂O/10a。

注3) 箔掛けの部分は平成20年「肥料価格の高騰に向けた対応方針について」で示されたカリ減肥基準から変更した施肥量

表 3-26 期待生育量に基づく診断基準

【ササニシキの収量 600kg/10a (1, 7mm 以上) を得るための期待生育量】

	田植後			最高分 げつ期 (7/7)	幼 穗 形成期 (7/16)	減数 分裂期 (7/27)	出穂期 (8/10)	成熟期 (9/30)
	30日 (6/10)	40日 (6/20)	50日 (6/30)					
乾物重 (g/m ²)	20	60	160	230	350	600	900	1400
稻体窒素濃度 (%)	4.00	3.50	2.50	2.25	1.70	1.17	0.94	0.79
窒素吸収量 (g/m ²)	0.8	2.1	4.0	5.2	6.0	7.0	8.5	11.0
葉身窒素濃度 (%)			3.00	2.80	2.60	2.20	2.00	1.00
葉緑素計値 (± 1)	42	43	42	40	38	33	38	27
草丈 (cm)	26	33	44	51	64	—	—	—
茎数 (本/m ²)	300	600	770	800	760			

注) 葉緑素計値は SPAD502 で測定した値

【ササニシキ目標収量 600kg/10a (1, 7mm 以上) の期待収量構成要素】

稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本/m ²)	1 穂粒数 (粒)	m ² 当粒数 (粒)	登熟歩合 (%)	千粒重 (g)
80	17.7	520	72	37,500	76	21.1

注) 品質・食味を考慮した適正な m² 当粒数 35,000~36,000 粒 (普及に移す技術第 65 号)

【ひとめぼれの収量 550kg/10a (1, 9mm 以上) を得るための幼穂形成期の期待生育

窒素吸収量 (g/m ²)	稻体乾物重 (g/m ²)	草丈 (cm)	茎数 (本/m ²)	葉緑素計値
5.3~5.8	330~380	63~68	650~700	37~39

【ひとめぼれの収量 550kg/10a (1, 9mm 以上) の期待収量構成要素】

穂数 (本/m ²)	1 穂粒数 (粒)	m ² 当粒数 (粒)	登熟歩合 (%)	千粒重 (g)
480~500	57~62	28,000~30,000	85~90	22.0~22.5

表 3-26 品質を維持するための目標生育推移 (ひとめぼれ)

	6月20日	7月1日	7月10日	7月20日	穂揃期	出穂後25日
草丈・稈長(cm)	32~34	45~48	56~59	66~69	82~85(稈長)	
茎数・穂数(本/m ²)	310~360	460~520	470~530	450~500	410~460(穂数)	
葉緑素計値	41~44	40~42	38~40	35~37	33~35	33以下

(d) 葉緑素計 (SPAD502, SPAD502Plus) による葉色診断法

a 測定方法

葉緑素計は、葉身を透過する光の強さが葉緑素の多少によって変わることを利用し、デジタル値で葉色を表示している。単葉測定であるので平均的な株を選び、測定葉数は10枚以上とし、主茎またはこれに準ずる茎の展開第2葉身（展開葉とは抽出が完了し次の葉が抽出し始めている葉）の中央部を測定する。中肋は避け、その左右両側を測定するのが望ましい（参照：IV 各種調査方法 1 生育調査）。

（9）葉緑素計

b 診断結果の活用と留意点

診断結果は、期待生育相に対応する葉色曲線と照合して、葉身窒素濃度を判断するのが望ましいが、その診断の目安として、主要品種「ひとめぼれ」と「ササニシキ」については、各生育ステージにおける期待葉色値を示しているので参考とする（図3-43）。葉緑素計による葉色値は、期待葉色値に対し±1程度の範囲内であれば、その生育量を確保しており、窒素栄養的に健全な生育をしているとみてよい。それを下回る場合は、その程度により追肥その他によって窒素の吸収促進を図る必要がある。ただし、葉色が淡くても茎数が多い場合などは、全体の窒素吸収量は確保されているので追肥が必要ない場合もある。

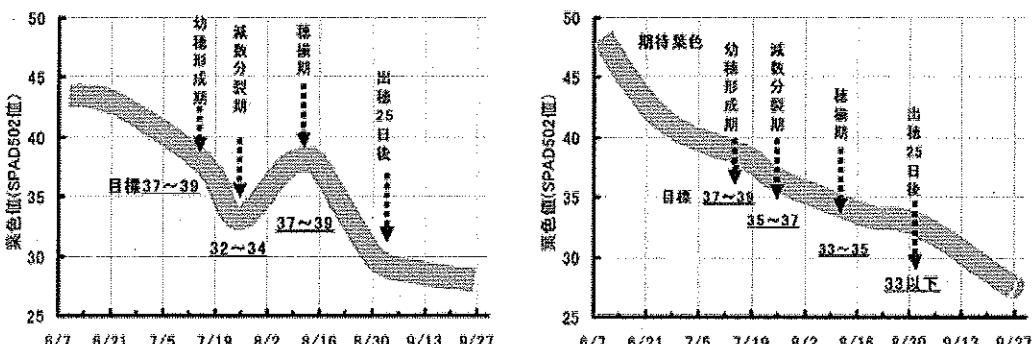


図3-43 期待葉色曲線（左図：ササニシキ、右図：ひとめぼれ）

(e) カラースケールによる葉色診断法

a 測定方法

支柱等に固定したカラースケールを株の最上展開葉群の中央部に設置し、太陽を背に約3m離れた位置から群落としての葉色を測定する。

b 診断結果の活用と留意点

施肥の要否判定基準となるカラースケール値は、ササニシキの場合、減数分裂期で3.5以下である。また、カラースケールの葉色値を葉緑素計値 (SPAD502) に変換することができ、ひとめぼれの期待葉色の範囲内にあるかが時期別に診断できる。

カラースケール値とSPAD502値との間には次式の関係がある。

$$Y = 0.162X - 1.709 \quad (Y = \text{カラースケール値}, X = \text{SPAD502値})$$

(f) 葉鞘染色比による窒素栄養診断法

葉鞘内の炭水化物の蓄積程度から窒素栄養状態を推定する方法である。水稻は

根からの窒素供給が豊富な時期には体づくりも旺盛なので炭水化物は蓄積されないが、窒素が不足してくると炭水化物（デンプン、糖類）が葉鞘部に蓄積される。これをヨード・ヨードカリ液で染色し、その染色度から判定する。

a 染色液の作り方

ヨード（ヨウ素）0.1gとヨードカリ（ヨウ化カリウム）0.5gを蒸留水（水道水でも可）100mlに溶かす。このとき溶解度が違うので、先にヨードカリを溶かして、その液にヨードを入れる。光で分解が進るので、着色瓶に入れ、暗所に保存する。なお、薬剤は共に劇薬なので取扱いには十分に注意する

b 葉鞘の採取と染色の仕方

ほ場を代表する株から主茎またはこれに準ずる太い茎を5～10本程度集める。茎によって染色比の変動がかなり大きいので、本数は多い方がよい。展開した最上位の葉を1と数え、第2と第3葉鞘について節までていねいにかきとる。この時、80%以上展開した葉は展開完了とみなしてよい。次に、葉鞘をカッター等で背を中心に縦に二つにわり、片方を染色液に10～15分浸漬する。染色しやすくするため、葉鞘をスプーン等で軽く押しつぶしてもよい。染色するときの容器は試験管があればよいが、なければ葉鞘を折って入れられる小瓶でもよい。ただし、葉鞘全体が染色液に浸るように注意する。10～15分すると葉鞘内にデンプンの蓄積があれば切り口が濃紫色に染まるので、染まった部分と葉鞘全長を物差しで測る。

c 結果の判断

全部の葉鞘を測定し、染色長を葉鞘全長でわり算をして染色比を算出する。第2葉鞘と第3葉鞘の平均染色比が大きいほど窒素不足の度合いが高いと判断される。ササニシキの場合、減数分裂期の平均染色比が70%以上のとき追肥効果が高い。平均染色比が50%程度でも追肥効果はあるものの、倒伏の危険も高まるので染色比はやや高めでの追肥が望ましい。染色比は光合成と関連するため測定前の気象経過の影響を受けやすいので注意する必要がある。

(ホ) 倒伏の予測診断

倒伏は、稈長、特に下位節間の伸びすぎや、分けつ過多による茎の細稈化により増大し、幼穂形成期の生育量及び栄養状態が大きく影響する。倒伏の危険性は、幼穂形成期から減数分裂期の間に「草丈、 m^2 当たり茎数、葉色」を測ることによって、診断・判定できる。

概ね出穗後45日の倒伏程度を0～4の5段階で評価し、倒伏度2を越える確率が5～20%を倒伏危険域I、20～50%を倒伏危険域II、50%以上を倒伏危険域IIIとすると、「草丈× m^2 当たり茎数×葉緑素計値」により得られる倒伏指標値と倒伏危険域の関係を表3-27に示す。倒伏危険度別の肥培・栽培管理や倒伏軽減剤の散布等の対策は、表3-28のとおりである。なお、この倒伏指標値は、平成3年の気象要因により倒伏した「ササニシキ」のデータを基に作成している。「ひとめぼれ」は、品種特性上、「ササニシキ」より耐倒伏性がやや強いが、「ひとめぼれ」と「ササニシキ」は同じ倒伏指標値で倒伏していることから、実用上、「ササニシキ」「ひとめぼれ」とも共通の倒伏指標値が使用できる。

表 3-27 幼穂形成期及び減数分裂期における倒伏指標値

幼穂形成期(草丈×m ² 茎数×葉色; 10 ⁵)							減数分裂期(草丈×m ² 茎数×葉色; 10 ⁵)									
茎数 (本/m ²)	草丈 (cm)	葉綠素計値(SPAD502型)						茎数 (本/m ²)	草丈 (cm)	葉綠素計値(SPAD502型)						
		38	40	42	44	46	48			34	36	38	40	42	44	
600	50	11.4	12.0	12.6	13.2	13.8	14.4	550	60	11.2	11.9	12.5	13.2	13.9	14.5	
600	55	12.5	13.2	13.9	14.5	15.2	15.8	550	65	12.2	12.9	13.6	14.3	15.0	15.7	
600	60	13.7	14.4	15.1	15.8	16.6	17.3	550	70	13.1	13.9	14.6	15.4	16.2	16.9	
600	65	14.8	15.6	16.4	17.2	17.9	18.7	550	75	14.0	14.9	15.7	16.5	17.3	18.2	
600	70	16.0	16.8	17.6	18.5	19.3	20.2	I	550	80	15.0	15.8	16.7	17.6	18.5	19.4
600	75	17.1	18.0	18.9	19.8	20.7	21.6	II	550	85	15.9	16.8	17.8	18.7	19.6	20.6
600	80	18.2	19.2	20.2	21.1	22.1	23.0	III	550	90	16.8	17.8	18.8	19.8	20.8	21.8
700	50	13.3	14.0	14.7	15.4	16.1	16.8	600	60	12.2	13.0	13.7	14.4	15.1	15.8	
700	55	14.6	15.4	16.2	16.9	17.7	18.5	600	65	13.3	14.0	14.8	15.6	16.4	17.2	
700	60	16.0	16.8	17.6	18.5	19.3	20.2	I	600	70	14.3	15.1	16.0	16.8	17.6	18.5
700	65	17.3	18.2	19.1	20.0	20.9	21.8	II	600	75	15.3	16.2	17.1	18.0	18.9	19.8
700	70	18.6	19.6	20.6	21.6	22.5	23.5	III	600	80	16.3	17.3	18.2	19.2	20.2	21.1
700	75	20.0	21.0	22.0	23.1	24.2	25.2	600	85	17.3	18.4	19.4	20.4	21.4	22.4	
700	80	21.3	22.4	23.5	24.6	25.8	26.9	600	90	18.4	19.4	20.5	21.6	22.7	23.8	
800	50	15.2	16.0	16.8	17.6	18.4	19.2	I	650	60	13.3	14.0	14.8	15.6	16.4	17.2
800	55	16.7	17.6	18.5	19.4	20.2	21.1	II	650	65	14.4	15.2	16.1	16.9	17.7	18.6
800	60	18.2	19.2	20.2	21.1	22.1	23.0	III	650	70	15.5	16.4	17.3	18.2	19.1	20.0
800	65	19.8	20.8	21.8	22.9	23.9	25.0	650	75	16.6	17.6	18.5	19.5	20.5	21.5	
800	70	21.3	22.3	23.5	24.6	25.8	26.9	650	80	17.7	18.7	19.8	20.8	21.8	22.9	
800	75	22.8	24.0	25.2	26.4	27.6	28.8	650	85	18.8	19.9	21.0	22.1	23.2	24.3	
800	80	24.3	25.6	26.9	28.2	29.4	30.7	650	90	19.9	21.1	22.2	23.4	24.6	25.7	
900	50	17.1	18.0	18.9	19.8	20.7	21.6	II	700	60	14.3	15.1	16.0	16.8	17.6	18.5
900	55	18.8	19.8	20.8	21.8	22.8	23.8	III	700	65	15.5	16.4	17.3	18.2	19.1	20.0
900	60	20.5	21.6	22.7	23.8	24.8	25.8	700	70	16.7	17.6	18.6	19.6	20.6	21.6	
900	65	22.2	23.4	24.6	25.7	26.9	28.1	700	75	17.9	18.9	20.0	21.0	22.1	23.1	
900	70	23.9	25.2	26.5	27.7	29.0	30.2	700	80	19.0	20.2	21.3	22.4	23.5	24.6	

倒伏危険域

- I : 倒伏度2を超える確率5~20%
- II : 倒伏度2を超える確率20~50%
- III : 倒伏度2を超える確率50%以上

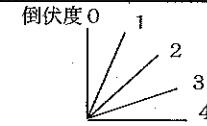


表 3-28 倒伏危険性とその対策

倒伏危険域	生育の状態	対 策
倒伏危険域 I 未満	正 常	追肥可。
倒伏危険域 I	やや過剰	追肥は控える、中干しの強化、場合により倒伏軽減剤散布
倒伏危険域 II	過 割	追肥不可、中干しの強化、飽水管理、倒伏軽減剤散布
倒伏危険域 III	かなり過剰	追肥不可、中干しの強化、飽水管理、倒伏軽減剤散布(使用基準の範囲内で早期)、部分的であれば株の間引きも有効

(h) 草丈、茎数、葉色値による稲体窒素吸収量の推定診断法

a 幼穂形成期窒素吸収量の推定

幼穂形成期の草丈、m²当たり茎数及びSPAD502値を乗じ、10⁵で除した値を栄養指標値として、ひとめぼれの稲体窒素吸収量を推定することができる（図3-44）。

$$\text{栄養指標値} = \text{草丈 (cm)} \times \text{m}^2 \text{当たり茎数 (本)} \times \text{SPAD502値} \div 10^5$$

$$\text{稲体窒素吸収量} = 0.342 \times \text{栄養指標値}$$

草丈 × m²当たり莖数 × SPAD502値は、栄養生長から生殖生長に生育ステージが変わることによる影響を受けるため、7月初めころまでと幼穂形成期ころとでは、稻体窒素吸収量との間の回帰線の傾きが異なってくる。そのため、この推定式は幼穂形成期に限定される。

b 移植から出穂前までの窒素吸収量の推定（普及に移す技術第81号）

これまで蓄積してある水稻の草丈、莖数、葉色のデータを利用し、現場現地で即座に窒素栄養診断を行うために、従来までの草丈 × m²当たり莖数 × SPAD502値に生育相の違いを解消する有効積算温度の項目を加えることにより、移植後2,3週目頃から出穂10日前までの生育期間中の窒素吸収量を随時推定できる。これにより、水稻の栄養・穗肥診断、粒数制御、倒伏診断等に容易に窒素吸収量が活用できるようになった。ひとめぼれのm²当たり稻体窒素吸収量の推定式は次式のとおりである。

$$Y = 7.05 \times \text{草丈 (cm)} \times m^2 \text{当たり莖数 (本)} \times \text{SPAD502値}$$

$$\times \text{有効積算温度 } T + 0.52$$

Y : 稻体窒素吸収量 (g/m²)

T : 移植翌日から調査前日までの有効積算温度 (基準温度 10°C)

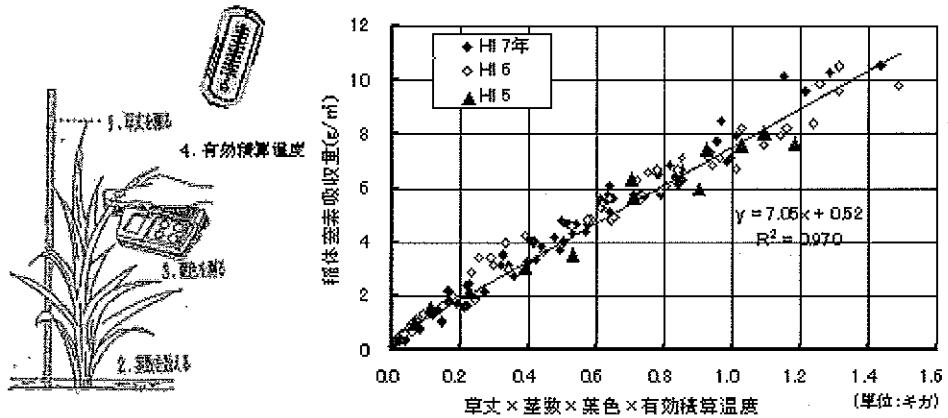


図 3-45 草丈 (cm) × m²当たり莖数 (本) × SPAD 502 値 × 有効積算温度による稻体窒素吸収量の簡易推定

c 推定式から求めた窒素吸収量の活用

上記の推定式によって求めた幼穂形成期窒素吸収量は、追肥窒素量を決める際に活用することができる。具体的な追肥窒素量の算出方法については、「(1)-ロ-(ハ)-b 追肥窒素量の決め方」を参照のこと。

二 肥培管理の際のチェックポイント

これまで述べてきた生育診断・栄養診断法をまとめて以下のチェックポイントを

作成した。本チェックポイントによって慣行の肥培管理を再確認し、適正な生育量・収量及び品質を得るように努めることが重要である。

<基肥窒素量のチェックポイント>

- 1 基肥窒素量の減肥を考慮する必要がある水田
 - 6~7月の生育が過剰である
 - m^2 当たり穂数が600本を上回る（ひとめぼれ、ササニシキ）
 - 毎年倒伏する
- 2 慣行基肥窒素量のままで対応できる水田
 - m^2 当たり穂数が400~500本程度である（ひとめぼれ、ササニシキ）
- 3 基肥窒素量の増肥を考慮する必要がある水田
 - 6~7月の茎数が少なく、 m^2 当たり穂数が400本を下回る（ひとめぼれ、ササニシキ）

<基肥リン酸、カリ量のチェックポイント>

- 1 基肥リン酸、カリを慣行の50%減肥が可能な場合
 - 栽培前土壤のトルオーグリン酸が15~30mgP₂O₅/100g乾土である
(灰色低地土、褐色低地土、泥炭土、黒泥土) (P 参照)
 - 栽培前土壤の交換性カリが25~40mgK₂O/100g乾土である
(多湿黒ボク土、泥炭土、黒泥土、灰色低地土、グライ士、褐色低地土) (P 参照)
- 2 基肥リン酸、カリの無施用が可能な場合
 - 栽培前土壤のトルオーグリン酸が30mgP₂O₅/100g乾土以上である(全土壤タイプ) (P 参照)
 - 栽培前土壤の交換性カリが40mgK₂O/100g乾土以上である(全土壤タイプ) (P 参照)

<穗肥施用時のチェックポイント>

- 1 生育診断に基づいて追肥の必要性を判断すること
 - 生体量(草丈、茎数、葉色)は目標値より小さいか→生育時期別生育量の目安 (P 参照)
 - 倒伏の危険性はないか → 倒伏診断指標 (P 参照)
- 2 追肥の時期・量の目安に適合しているかを確認すること
 - 品種に適した追肥時期、追肥量か → 穗肥施用の目安 (P 参照)
 - 地力に応じた追肥量か
- 3 追肥の効果が得られる条件かを確認すること
 - 基肥の肥効が消失している
 - 日照が十分ある(肥効を得やすい気象条件)

(2) 効率的な施肥

イ 効率的な施肥体系

さまざまな機能をもつ肥料の開発により、これら肥料の肥効調節溶出、高い施肥利用効率などの特徴を生かし、追肥省略、水系への溶脱防止など、環境に配慮し、省力で効率的な施肥を行うことができる。

表3-29 効率的な施肥体系と肥料の種類

施肥法	基本的な省力体系				肥料の種類	
	基肥	追肥				
		つなぎ	幼形期	減分期		
全層基肥一発施肥	◎	—	—	—	肥効調節型肥料	
側条施肥	10%減肥	—	△	△	化成肥料	
		○	—	○		
		—	—	△		
	基準量	—	—	△	化学合成緩効性肥料 (IB)	
	10%減肥	—	△	○	化学合成緩効性肥料 (GU)	
	20%減肥	—	△	△	ペースト肥料	
		○	—	○		
育苗箱全量施肥	◎	—	—	—	(緩効成分入)	
	◎	—	—	—	肥効調節型肥料	

※ ○：施肥、◎：追肥分も込み、—：省略、△：生育状況によって施肥

口 肥料の種類と特徴

前述の施肥体系における肥料の種類について、それぞれの特徴および留意点を以下に示す。上記の体系を行う上で以下の特徴を十分に理解し、施肥設計を行う

(イ) 化成肥料

単肥や肥料原料を化学的操業で粒状化したもので、三要素の含有率の合計が30%以下の肥料を普通化成肥料、それを超えるものを高度化成肥料と言う。特に高度化成肥料は、硫酸や塩素などの副成分が少ないので、三要素が高濃度で含まれているため施用量が少量で済む等、土壤を酸性化することなく施用できるなどの利点がある。一方で過剰施用しがちなので、成分計算をきちんとすることが大切である。

(a) ペースト肥料

尿素、リン安、塩化カリなど原料を粉碎または溶解して、これを糖蜜アルコール発酵副産物と十分にねつ和、分散させ、安定したペースト状にしたものである。専用施肥機を用い、苗の植付けと同時に植付け部の側下へ局所施肥することができる。肥料の利用率が高いので、窒素成分で慣行施肥法の20%減を目安とする。初期生育が進み、基肥が早めに切れる場合にはつなぎ肥が必要である。施肥位置の深さ、通常3cmを5cmに深くすることや、緩効性窒素成分の入ったものの利用や株元施肥に加え、条間8~12cmに二段施肥を行う技術開発により、中後期まで肥効を切らさない技術も普及している。

(b) 化学合成緩効性肥料

肥料が水にゆっくり溶けたり、微生物の分解をゆっくり受けたりすることで、長期にわたって少しづつ肥料が効くものである。造粒の大きさを変えることによっても溶出を調節する。

a イソブチルアルデヒド (IB) 系

吸湿性は著しく低く、水にゆっくり溶け、耐水性でかつ製造工程で堅い造粒が可能なため、粒の大きさで溶解速度を調節できる。IBは加水分解により尿素に変化する。

b グアニル尿素 (GU) 系

石灰窒素を原料としたジシアノアミドを加水分解して生成するもので、他の化学合成緩効性肥料に比べ水に良く溶けるが、土壤吸着性も高く溶脱は少ない。湛水水田などの還元状態で働く微生物の作用によって分解が進む。施肥時に低温の場合に効果が発揮されやすい。

(c) 肥効調節型肥料

被覆肥料（コーティング肥料）とよばれ、水溶性窒素を硫黄や合成樹脂などの膜で被覆し、膜の微細な穴や亀裂を通して肥料を溶出することで、その溶出量や溶出期間を調節したものである。溶出速度は温度に依存し、溶出日数は25°C水中で80%の成分が溶出する日数で示されている。作物根の近くで徐々に溶出するため、濃度障害の心配がなく肥料の利用効率が極めて高い。冷害年には溶出が遅くなりすぎることがある。

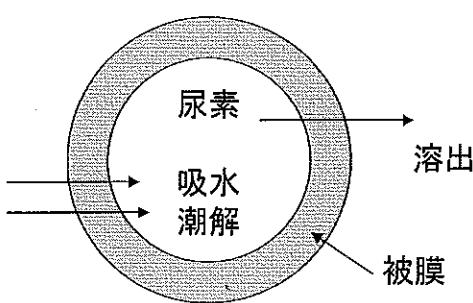


図 3-46 被覆尿素の成分溶出のしくみ

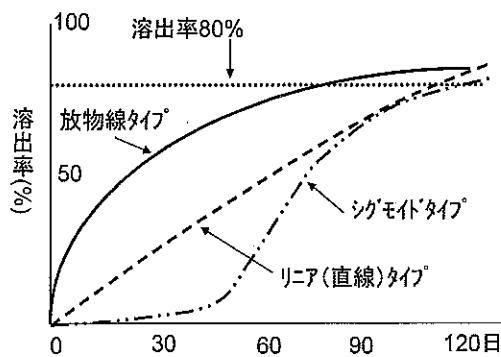


図 3-47 肥効調節型肥料の溶出パターン

被覆剤のうち、熱可塑性の被膜は土壤に残存して問題になることがあるが、近年光崩壊性被膜や微生物による生分解性被膜の開発導入により、環境に配慮されてきている。現在は、基肥一発施肥や育苗箱全量施肥として、さまざまな特徴をもった銘柄肥料が流通されている。配合されている肥効調節型肥料の種類や性質をよく理解し、生育診断や施肥を行うようとする。一般に、一発肥料や苗箱全量施肥する場合、初期の生育はやや少なく、中後期に窒素吸収量が増大するような秋まさり的な生育になりやすいので追肥の要否については注意する。

表 3-30 被覆肥料の種類と溶出パターン

肥料シリーズ	樹脂被膜の性質と種類	溶出パターンの類型	肥料成分などの特徴
LPコート	熱可塑性・ポリオレフィン系樹脂	LP:放物線型 LPS:シグモイド型	尿素態窒素が主体で高成分、BB肥料原料などにも使用
ロング	熱可塑性・ポリオレフィン系樹脂	ロング:放物線型 スーパーロング:初期抑制型	硝酸態およびアンモニア性窒素の他にリン酸、カリを含む
セラコート	熱可塑性・植物油脂系アルキッド系樹脂	Uタイプ:シグモイド型 CK, Nタイプ:放物線型	尿素、NK、硝酸の各タイプ。市販品はブレンド配合肥料
SCコート	硫黄、ワックス	放物線型	窒素、リン酸、カリを含む化成タイプ、硫黄成分あり
シグマコート	熱可塑性・植物油脂系アルキッド系樹脂	200, 202:放物線型 Uタイプ:初期抑制型	窒素、リン酸、カリを含む化成タイプと尿素タイプ
エムコート	熱可塑性・ポリオレフィン系樹脂	S:シグモイド型 L:放物線型	尿素態窒素が主体で高成分
UCコート	アルカリ可溶性樹脂、アルカリ剤	シグモイド型 ラグ期間は20~50日	尿素態窒素が主体で高成分、溶出開始後の速度が大きい
コーポコート	熱可塑性・植物油脂系アルキッド系樹脂	放物線型	窒素、リン酸、カリを含む化成タイプ

肥効調節型肥料の溶出は温度に依存することから、稲作期間の温度データを用いてその溶出パターンを予測するアプリケーションソフトの利用が有効である。図 3-48は、古川農業試験場内の水田地温を用いて出穗期が早い2015年とやや遅れた2008年の肥効調節型肥料(LPコート)の溶出パターンをシミュレーションした結果である。シグモイドタイプのLPS60, LPS80, LPS100は、出穗が早まる高温条件下で窒素溶出が早まることが分かる。

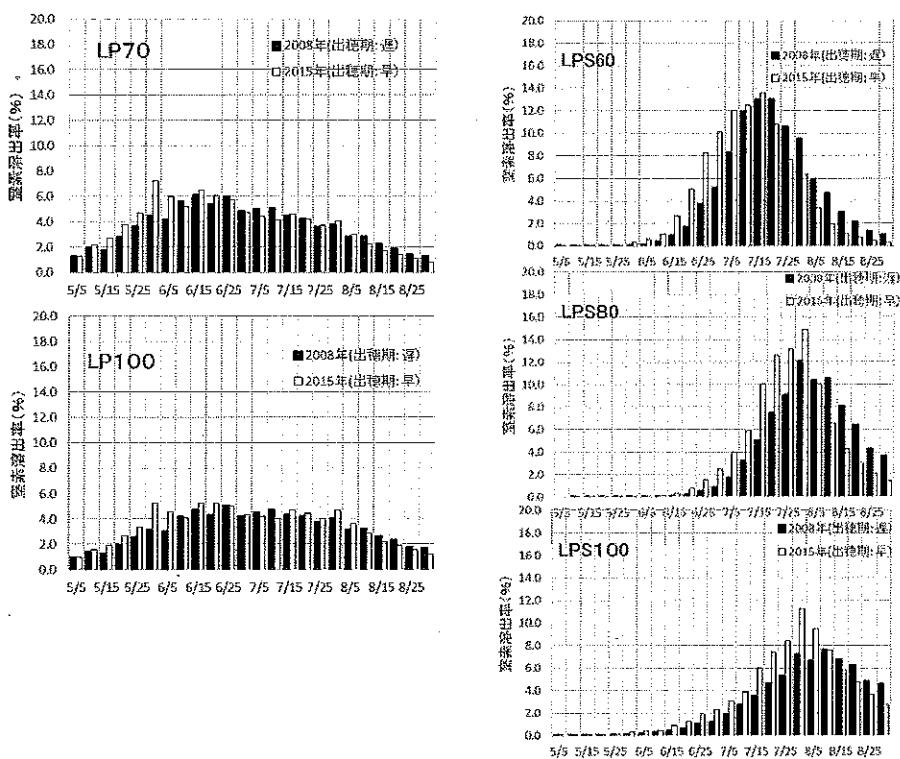


図 3-48 肥効調節型肥料の時期別窒素溶出シミュレーション
(全農ソフト「施肥名人 ver 2」使用)

(b) 有機肥料及び有機入り化成肥料

有機肥料には、動物質肥料、植物質肥料、自給有機質肥料、その他工業副産物である動植物系原料から製造される肥料、有機質肥料を混合した混合有機質肥料、米ぬか、くず大豆等がある。各有機肥料の成分の特徴は以下のとおりである（ポケット肥料便覧1999/2000参考）。

- 植物質肥料（なたね油かす、米ぬか油かす、大豆かす等）
乾物換算で窒素3～8%で、リン酸2～7%，カリ1～3%程度のものが多い。米ぬか油かすはリン酸源、その他の油かすは窒素源として適している。
- 動物かす類（蒸製毛粉、蒸製皮革粉、てい角粉等）
窒素8～15%と高く、リン酸やカリは0～2%と低い。窒素源として適している。
- 骨粉類（蒸製骨粉、蒸製鶏骨粉等）
窒素1～5%，リン酸15～30%程度と高く、カリは1%以下である。リン酸の供給源として適している。
- 魚かす類（魚かす粉末等）
窒素7～11%，リン酸3～13%，カリは1%以下の場合が多い。窒素とリン酸の供給源として適している。
- 有機肥料の肥効と施用時の留意点
有機肥料中の有機態窒素は、微生物の分解により作物が利用しやすい無機態窒素に徐々に変わるので、有機肥料は化学肥料に比べ、肥効（作物に対する肥料の

効き方)が緩やかである。有機肥料の窒素肥効は窒素無機化速度で判別できる。図3-49をみると、原料により無機化速度がかなり異なる。一般には、圧搾なたね油かす、魚かす、大豆かす、蒸製毛粉の肥効が速く、脱脂米ぬかの肥効がより緩やかとされている。

化学肥料節減栽培で使用される有機入り化成肥料や混合有機質肥料の窒素無機化率について図3-50に示した。可給態窒素(培養28日までに無機化する窒素)を比較すると、50~80%と差が大きい。このように、各肥料の無機化速度が異なるのは、原料や粒度が異なるためである。有機質肥料や有機入り化成肥料の肥効については、販売元等から詳細な情報を得ることが望ましい。

これらの肥料を全窒素換算で化成肥料と同量施肥しても、水稻の初期生育が緩慢になる傾向がある。窒素無機化が一般的の化成肥料と比べ速やかではないためである。施用法としては、有機肥料が効き始めるまでの時間を考慮し、基肥・追肥とも、一般的の化成肥料の場合よりやや早めに行うのがよい。

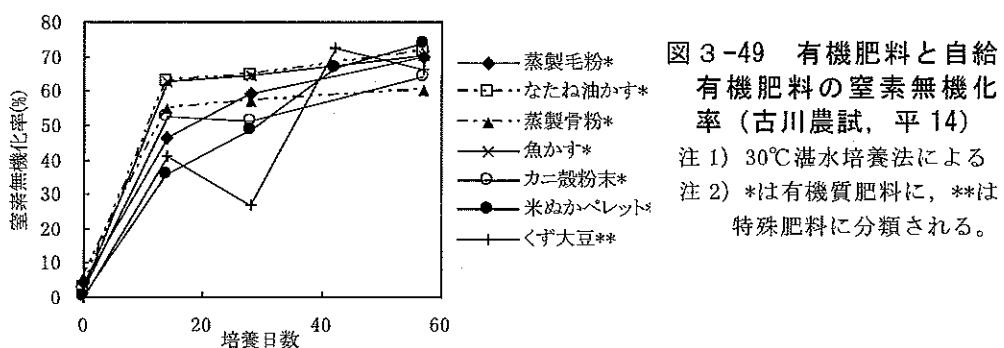


図3-49 有機肥料と自給
有機肥料の窒素無機化
率(古川農試, 平14)
注1) 30℃湛水培養法による
注2) *は有機質肥料に、**は
特殊肥料に分類される。

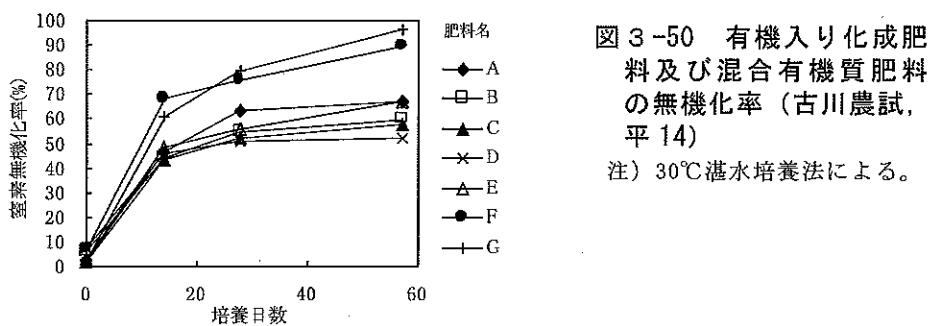


図3-50 有機入り化成肥
料及び混合有機質肥料
の無機化率(古川農試,
平14)
注) 30℃湛水培養法による。

(八) 窒素濃度の高い家畜ふんたい肥、乾燥ふんの利用

a 窒素濃度の高い家畜ふんたい肥、乾燥ふんの特徴と利用時の留意点

鶏ふん、豚ふん、窒素成分(現物換算)1.5%以上でC/N比20以下の牛ふんたい肥は、窒素濃度と窒素肥効が高く、土づくり効果のみを期待して肥料分を無視すると、過剰施肥となるおそれがある。このような肥料類は肥料的効果を考慮して施用する必要がある。

窒素濃度が高い家畜ふんたい肥類であっても、施肥した窒素の全てがすぐに作物に利用される形態になるわけではない。利用されやすい窒素形態に変わる速さは畜種や窒素濃度で異なり、これにより作物への肥料の効き方「肥効」も異なって

くる。したがって、施用にあたっては窒素肥効率（表3-31）を参考にたい肥類から供給される成分量を計算する。なお、ここでの肥効率は、たい肥の春施用を前提としている。

表3-31 家畜ふんたい肥及び乾燥ふんの肥効率¹⁾と肥料効果を期待した窒素代替率の目安

種類	材料の特徴	3) 窒素成分 (%/現物)	2) 窒素肥効率 (%)	4) リン酸・カリ 肥効率(%)	窒素代替率3割の 場合の施用量の 目安(現物kg/10a)	備考
牛ふん 主体	↑副資材入りたい肥	<1.5	10~20	90	—	土づくり的利用
	↓副資材少、または他畜種少量混入	~2	20~30		300~500	
	↓副資材入り発酵ふん(たい肥)	~2.5	20~30		150~350	リン酸施用量が施肥基準以上となり、3割代替(窒素)ができない場合がある
豚ふん 主体	↑副資材入り発酵ふん(たい肥)	~2	30~40	90	90~120	ある
	↓乾燥ふん	~3	40~50		400~500	リン酸施用量が施肥基準以上となり、3割代替(窒素)ができない場合がある
	↓乾燥ふん	~4	50~60		100~350	
鶏ふん 主体	↑副資材入り発酵ふん(たい肥)	~1	40~50	90	50~70	
	↓乾燥ふん	~2	50~60			
	↓乾燥ふん	~3	60~70			
	↓乾燥ふん	~4	80~100			

1)肥効率とは、たい肥類の養分がどれだけ化成肥料の養分を代替できるかの目安。

2)窒素肥効率は平18古試から試算。施用当年の肥効率。

3)窒素成分と窒素肥効率の場合分けについては、全窒素含量と窒素分解率の関係(平12土肥誌牛尾ら)を参考。

4)リン酸・カリ肥効率は平19古試から引用。施用当年の肥効率。

5)窒素の代替率は50%までとしたほうが肥効のコントロールがしやすく栽培が容易。

6)施用量の計算には、肥効率の範囲の中央値(20~30の場合は25)を用いる。

b たい肥を施用する際の推奨施肥体系

たい肥施用量、たい肥以外の肥料で施用する窒素・リン酸・カリの量についての算出方法を、図3-51のフローに示した。計算例については、図3-52に示した。

注意点は、特に豚ふんや鶏ふん主体のたい肥類ではリン酸成分が高く、窒素よりもリン酸により施用量が制限される場合があることである。これは水稻生育への悪影響よりも、水環境への負荷軽減の意味合いが強い。また、たい肥による代替で施肥窒素減肥を行う場合(代替割合が低い場合は特に)は、総窒素施用量からたい肥による代替量を引いた必要窒素のすべてを基肥として施用すると、生育後半の窒素がやや不足する場合がある(表3-32)。このため、基肥で全量を施用するより、追肥としてを1kg/10a程度を目安に取っておき、生育をみながら追肥するのがよい。また、連用によって生育が旺盛になってきた場合は、様子を見て基肥窒素を減肥するとともに、追肥の減肥を行う。

表3-32 水稻生育期間別の家畜ふんたい肥窒素分解率の目安と有効化窒素量(古川農試、平18より試算)

たい肥種類	全窒素当たり分解率(%)		たい肥施用量 (kg/10a)	施用例	
	移植～ 幼穂形成期	幼穂形成期～成熟期		移植～幼穂形成期	幼穂形成期～成熟期
牛ふん	10~15	10	全窒素で10	1~1.5	1
豚ふん	30	10	5	1.5	0.5
鶏ふん	40	10	4	1.6	0.4

*有効化窒素量は、たい肥が分解することにより植物に利用されやすい形となった窒素の量

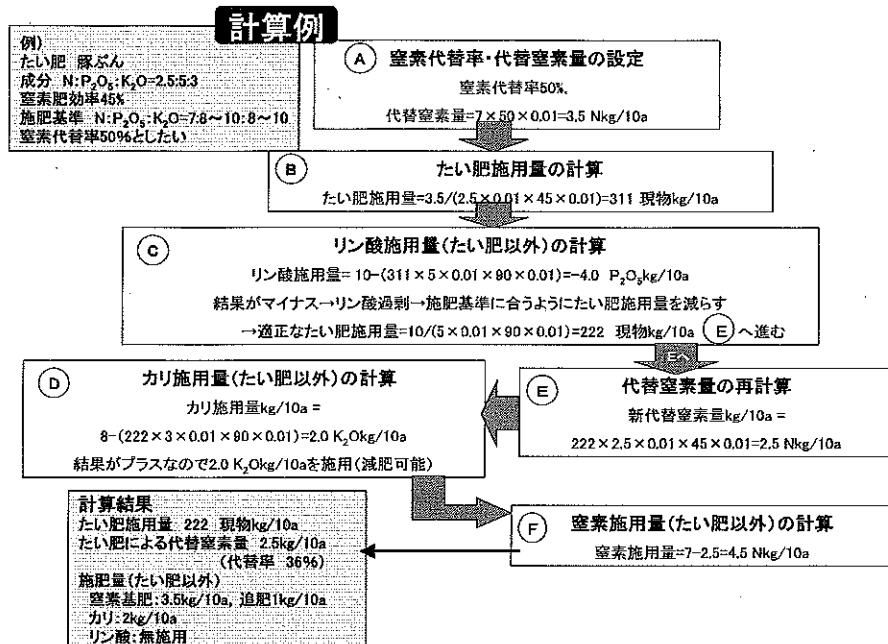


図 3-51 家畜ふんたい肥（乾燥ふんを含む）の肥料効果を考慮したたい肥及び施肥の施用量計算方法

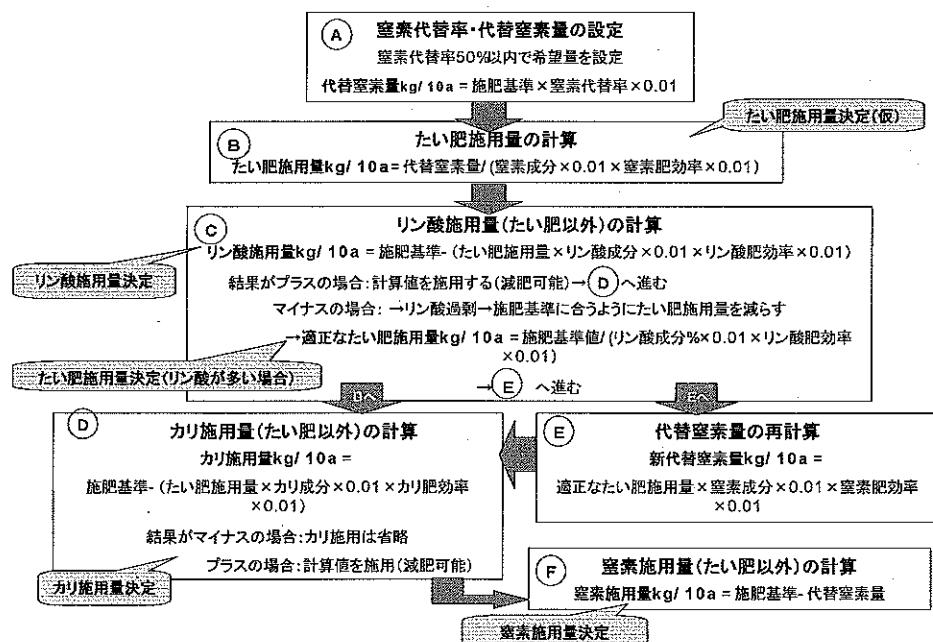


図 3-52 家畜ふんたい肥（乾燥ふんを含む）の肥料効果を考慮したたい肥及び施肥の施用量計算方法の計算例

(3) 転換田（復元田）の栽培管理

イ 復元初年目の水稻生育の特徴

復元初年目の水田では、土壤窒素発現量の増加と根の健全化により生育が旺盛になりやすいうことから、基肥窒素を減肥（無施用または半減など）するため、連作田と比較して初期生育がゆっくり進む（図 3-53, 図 3-54）。生育中期以降は、根が下

層まで伸長しやすいため、土壤(地力)窒素の吸収が多くなる(図3-55)。そのため、施肥窒素を減肥しないと過繁茂になり、下位節間が伸長し倒伏しやすくなる。さらに、過剰に土壤窒素を吸収すると、玄米タンパク含有率が高まり食味の低下を招きやすい。

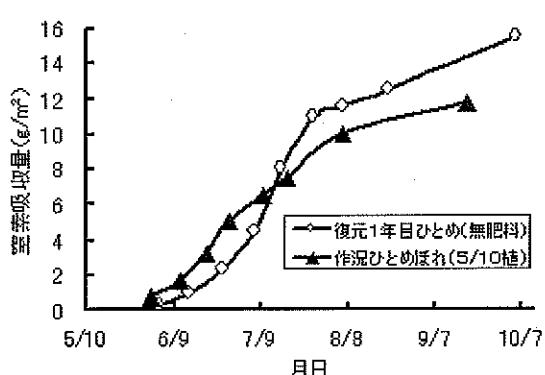


図3-54 連作田と復元田(1年目)の稲体窒素吸収量の比較(古川農試, 平13, ひとめぼれ)

□ 復元初年目の栽培管理の要点

(1) 漏水防止の方策

復元初年目は日減水深が大きいため、畦畔の補修と畦畔近傍のていねいな代かきにより、漏水防止に努める(図3-56)。代かきに要する用水は通常の水田に比べて1.5~数倍を要し、代かき後の減水深も1.2~2倍程度増加するので十分な漏水対策や暗渠の水こうを早く閉じておくなど計画的な用水確保が必要である。

(2) 耐肥性の強い品種の作付け

復元田では、一般的に無窒素でも稲体の窒素吸収量が過剰気味になりやすいので「まなむすめ」、「げんきまる」などの耐肥性の強い品種を作付けする。

なお、復元田の無施肥栽培(土壤窒素無機化6~9 mg/100g)では、「まなむすめ」と比較して、「げんきまる」の方が収量は高く、倒伏程度は低い傾向にある。

(3) 倒伏防止

生育中期に田面に軽く亀裂が入るまで強めの中干しを実施し、飽水管理などで倒伏防止のための水管理を行っているが、それでも倒伏回避が困難なほ場においては、早期中干しが有効である。復元初年目の水田で、6月2~3半旬頃(中干

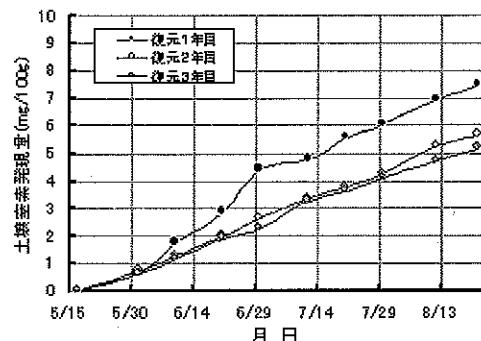


図3-53 復元後年数の違いと土壤窒素発現量
(古川農試, 平16, 復元田作土)

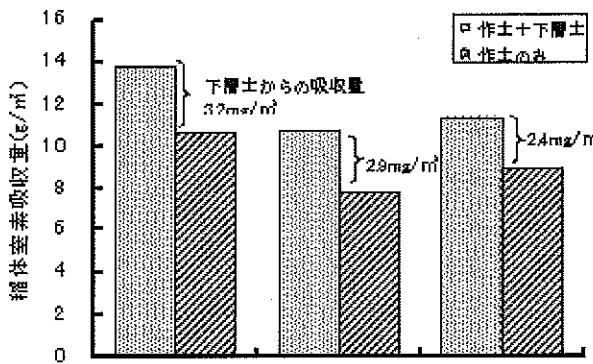


図3-55 復元後年数と水稻が下層土から吸収する窒素量の比較(古川農試, 平16, ひとめぼれ)

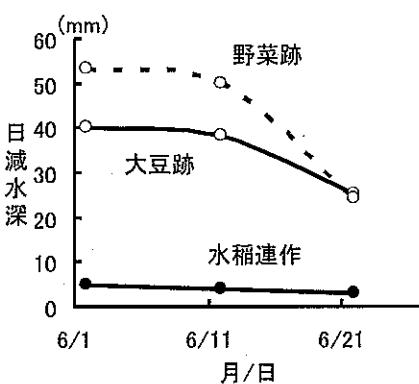


図3-56 日減水深の推移(宮農セ, 昭63)

し開始時茎数は100~150本/m²程度)から20日間程度中干しを行い、その後飽水管理(出穂開花期は一時湛水)を行うことで、倒伏を軽減することができる(図3-57)。また、表3-33に復元初年日のひとめぼれ、まなむすめの倒伏診断指標を示す。生育量の指標値が倒伏危険域I~IIIに該当する場合の対策は、前項「肥培管理と栄養診断」と同じとするが、指標値が倒伏危険域IIIに該当する場合は、倒伏の危険性がかなり大きいので(確率50%以上)、倒伏軽減剤の使用を検討する。

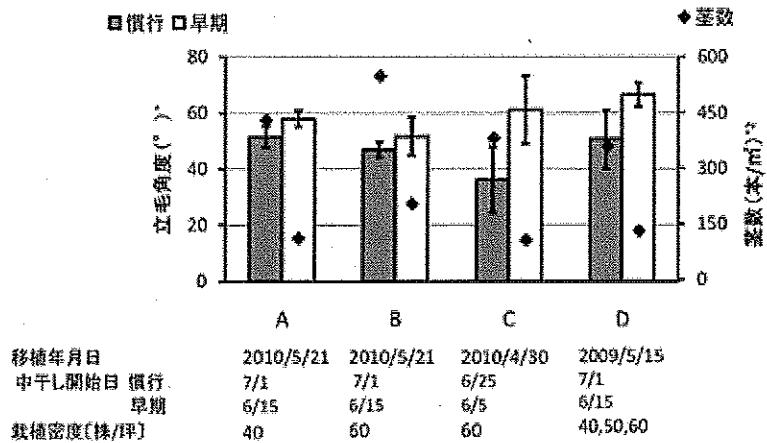


図3-57 中干しの時期と成熟期における立毛角度の関係(平21, 22)

注1) 立毛角度はイネの基部を中心に地表面と穂首を結ぶ角度

注2) 茎数は中干し開始時の値。

注3) ひとめぼれでのデータ。

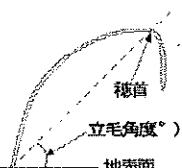
(普及に移す技術 第86号)

表3-33 倒伏危険域ごとの倒伏確率と幼穂形成期生育量の目安

倒伏危険域	成熟期に倒伏する確率	幼穂形成期の生育量(指標値)の範囲	
		ひとめぼれ	まなむすめ
I	5~25%	11.9~14.6	12.7~15.7
II	25~50%	14.6~16.2	15.7~17.5
III	50%以上	16.2以上	17.5以上

注1) 玄米品質及び収穫作業に影響しない成熟期の立毛角度を40°とし、それを下回る場合を「倒伏」として設定した。ただし、立毛角度はイネの基部を中心に地表面と穂首を結ぶ角度をいい、穂首までの高さ(草高)から算出した(右図)。

注2) 生育量=草丈(cm)×茎数(本/m²)×葉総葉面積(SPA0502)×10⁻⁵



(普及に移す技術 第86号)

(二) 施肥窒素の減肥

基肥窒素は無窒素または減肥し、生育状況をみながら追肥で対応する。リン酸とカリは慣行量の施用でよいが、十分な土づくりを実施した場合はリン酸、カリも蓄積されている場合が多いので窒素施肥と同様に減肥してよい。

グライ士・黒泥土・泥炭土などの低湿で有機物の多い土壌の復元田ほど、地力窒素の発現が多い。一方、砂壤土、れき質土の輪換田では、畑作期間中の養分消耗が大きいので、減肥率は少なくて良い。地力窒素の発現が少なく、土壌の透水や漏水が大きい場合には、増肥が必要な場合もある。基肥窒素の減肥割合は、以下の点を考慮する。

- a 土壌有機物(腐植)の多少、下層土の肥沃性
- b 転作期間中の窒素固定(大豆)、有機物施用・収穫残さによる土壌有機物の富

化程度

- c 土性, 土壌乾燥の程度, ほ場の地下水位条件
- d 作土耕盤の壊れ方, 崩壊程度
- e 転作期間の長さ

復元初年目と2年目の適品種の選定および基肥窒素量の減肥率の目安を表3-34に示す。黒泥・泥炭・強グライ土以外の土壤型では、復元2年目以降、ほとんど水稻連作田と変わらなくなるので慣行施肥量に戻す。

f 土壌窒素無機化量

土壤(地力)窒素無機化量からみた適品種選定および減肥率の目安を表3-35に示す。作付け前作土の未風乾土(生土)を30°Cで4週間室内培養することによって土壤窒素無機化量を把握すればさらに安全に基肥窒素の減肥率を求めることができる。

表3-34 土壤型, 前作物, 耕深からみた適品種選定および減肥率

土壤型	前作物	耕深	復元1年目減肥率(%)		2年目減肥率(%)	
			ひとめぼれ おきにいり	まなむすめ	ひとめぼれ おきにいり	まなむすめ
黒泥土・泥炭土 細粒強グライ土	麦	中	×	100	50	0
	大豆	深	×	100	100	50
	飼料	中	×	100△	50	50
	作物	深	×	100▲	100△	50
細粒グライ土 細粒灰色低地土	麦	中	50	0	0	0
	大豆	深	×	100	0	0
	飼料	中	×	100△	0	0
	作物	深	×	100▲	0	0
中粗粒強グライ土	麦	中	50	0	0	0
中粗粒グライ土	大豆	深	100	50	0	0
中粗粒灰色低地土	飼料	中	×	100	0	0
	作物	深	×	100	0	0
黒ボク土	麦	中	50	0	0	0
	大豆	深	100	50	0	0
	飼料	中	100	50	0	0
	作物	深	100	100	0	0
黄色土 褐色低地土	麦	中	50	0	0	0
	大豆	深	100	50	0	0
	飼料	中	100△	100	0	0
	作物	深	×	100▲	0	0

注1) 耕深：耕深は根が自由に伸長できる範囲であり、畑状態で山中式硬度計10mm(ほとんど抵抗なく指が入る)を目安とする。浅は耕盤が存在、あるいはあまり崩れていない(概ね耕深14cm以下), 中は耕盤が崩れている(耕深15~20cm), 深は耕盤が完全に破壊(概ね耕深21cm以上)とする。

注2) ×: 栽培不可, ▲: 場合によって倒伏軽減剤必要, △: 栽植密度を低くする, 中干しの強化, 鮫水管理等が必要。

注3) 復元前に休耕が入る場合, 水田保全管理は連作田並とし, 畑休耕は前作物で施肥量を判断する。

注4) 普及に移す技術 第67号「復元田における水稻の肥培管理法」での品種「チヨホナミ」を「おきにいり」, 「まなむすめ」に読み替える。

表3-35 土壌窒素無機化量からみた適品種選定および減肥率(普及に移す技術 第84号)

黒泥・泥炭土壤			灰色低地・グライ土壤						
4週培養窒素無機化量(mg)	耕深	減肥率(%)		4週培養窒素無機化量(mg)	耕深	推定地力窒素吸収量(g/m ²)	減肥率(%)		
		ササニシキ	ひとめぼれ まなむすめ				ササニシキ	ひとめぼれ まなむすめ	
3.0	浅	10	100	100	50	3.0	浅	10	100△
	中	12	×	×	100		中	14	×
5.0	浅	12	×	×	100	3.5	浅	12	×
	中	14	×	×	100△		中	15	×
8.0	浅	14	×	×	100△	4.0	浅	13	×
	中	16	×	×	100▲		中	16	×

注1) 普及に移す技術第67号「復元田における水稻の肥培管理法」普及技術の表2の一算を改変した。

2) 耕深は、根が自由に伸長できる範囲であり、山中式硬度計の10mm以内を目安とする。「浅」は「耕盤が存在」(耕深14cm以下)、「中」は「耕盤が崩れている」(15~20cm)、「深」は「耕盤が完全に崩壊」(21cm以上)

3) 減肥率の、×は「栽培不可」、▲は「場合によって倒伏軽減剤必要」、△は「深耕・肥水管理等の措置対策必要」であることを示す。

4) 硝酸吸収量基準値(ササニシキ)1g/m², ひとめぼれ12g/m², まなむすめ14g/m²を前提とする。

(ホ) 栽植密度・植付本数の配慮

地力の高い土壌ではやや疎植（60株／坪程度）とし、植付本数を少なくして生育が過剰にならないようにする。復元初年目は、作土深が深く田植機がスリップしやすく栽植密度が多目になりやすいので気をつける。

(ヘ) 水管理

a 中干し

中干しはできるだけ早く実施する。中干しを実施しても田面の土壌が乾燥するのに5日程度要する。中干しは地面に軽くヒビ割れが入る程度とし、その後は飽水管理とする。

b 飽水管理

飽水管理は、「田面の足跡に水がなくなった時に入水し、表土が十分湿ったら落水する。その後足跡に水がなくなるまで放置し、再び入水する。」または、「田面の足跡に水がなくなった時に浅く入水し、水尻を閉め自然に足跡に水がなくなるまでそのまま放置する。その後入水を繰り返す。」を目安とする（普及に移す技術第57号）。ただし、幼穂形成期から出穂期の間で異常低温の時はできる限り深水管理として幼穂の保護に努める。

c 出穂期以降の水管理

飽水管理を継続し、田面が乾燥しあら直ちに水を入れ、稲に水分ストレスを与えないように田面を湿らせ、水分供給を十分に行う。

(ト) 大豆後復元田水稻乾田直播における施肥（広畠成形播種方式）

大豆後復元田において、水稻乾田直播（広畠成形播種方式）による「まなむすめ」の無肥料栽培では、復元作付け前の土壤窒素無機化量（以下：地力N）と無肥料栽培による精玄米重の関係は、作土30℃湛水培養期間4週から8週までの地力Nの増加量と精玄米重に正の相関関係が見られている（図3-58）。玄米重540～570kg/10aを得るには、4週間培養の地力Nが5mg/100g以上で、かつ4週から8週までの地力Nの増加量が4～6mg/100g必要である。また、地力Nの4週から8週までの増加量が4mg/100g以下の土壤においては、基肥に肥効調節型肥料（LPS60）を3kg/10a施用する。一方、地力Nの4週から8週までの増加量が6mg/100g以上の場合は、倒伏が懸念されるため、播種量を調整するか、耐肥性の強い品種の作付けを検討する。

ハ 無作付水田の栽培管理

無作付け期間の土壤の乾燥程度や雑草の生育状況により管理が異なる。排水不良の低湿な水田では、通常の水田に準じた管理を行う。排水条件が良く土壤の乾燥程度が大きい水田では、土壤窒素の発現量が多くなるので、基肥窒素量を慣行よりやや減らす。畑雜草が多い場合はさらに減肥する。

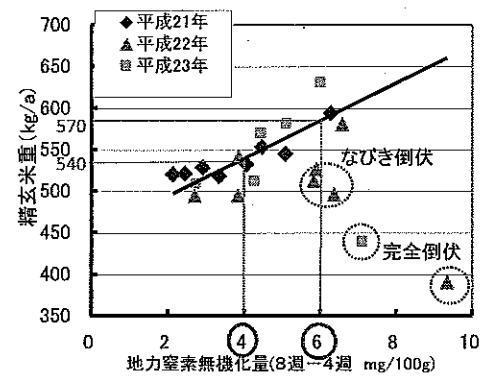


図3-58 地力窒素無機化量と精玄米重の関係（まなむすめ）（普及に移す技術 第87号）