良質・良食味米安定生産・出荷のための栽培技術

―産米の蛋白含有率低下、売れる米づくりを目指して―

Ⅴ 良食味米を目指した土壌管理、施肥技術

1 圃場、土壌管理技術

2 適正な窒素施肥（施肥量と施肥法）

3 施用有機物のリン酸肥効

4 ケイ酸資材の施用

5 「タンパクマップ」から考える

6 「ゆめぴりか」の品質・食味管理目標に対応した栽培指標

7 高密度播種中苗を利用した苗箱数削減による省力化

8 高窒素成分肥料の利用による水稲側条施肥の省力化

9 酒造好適米「吟風」、「彗星」の栽培特性と品質改善対策

執筆：（地独）北海道立総合研究機構　農業研究本部　生産研究部
水田農業グループ　主査（水田環境）大　橋　優　二

Ⅴ 良食味米を目指した土壌管理、施肥技術

1 圃場、土壌管理技術

(1) 融雪促進と圃場の乾燥化

融雪を促進し圃場の乾燥を促進させることは、春期の耕起砕土作業等を予定通り実施する上で重要である。土壌の乾燥が進めば土壌窒素の無機化が促進される乾土効果が期待でき、水稲の初期生育向上につながる。加えて、乾燥期間が十分確保されると、酸素が主に酸化鉄の形で土層にため込まれる。この酸素は、湛水期間における作土の土壌還元（ワキ）を抑える働きをもたらす。それにより、水稲の根が健全に生育するとともに機能が維持され、生育、収量、品質を高める。一方、土壌の鉄が不足する圃場では、鉄資材の施用や鉄含量に富む土壌を客土することで改善できる（「鉄・ケイ酸レベルの向上による水田地力の増進技術（平成14年普及奨励）」。

1）融雪促進（融雪剤の散布）

融雪剤散布による融雪促進効果は気象条件によるが、１週間から10日程度促進できる（図１）。資材はケイ酸資材など土壌改良を兼ねるものが望ましい。融雪剤の散布時期は気温が高まる３月中旬頃が適し、気温の目安としては最高気温が０℃以上、最低気温が－３℃以上である。なお、散布後の降雪が10cm以内であれば効果に影響しない。

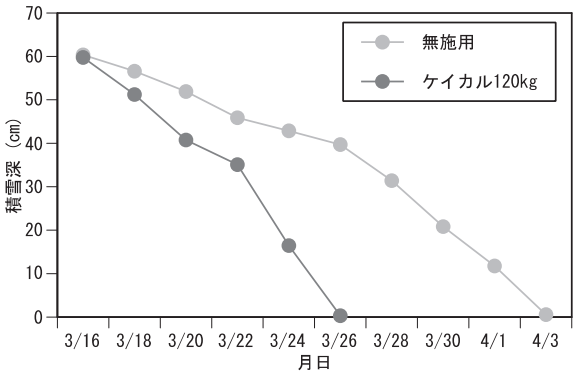


図１　融雪剤の効果

2）融雪停滞水の排除対策

圃場内の融雪水を迅速に排除するためには、それを早急に明・暗渠に導く必要がある。そのための有効な対策として以下のことを行う。

①　心土破砕の施工（図２）

水稲収穫後に心土破砕を行う。施工間隔は90cm程度とし、既設暗渠管を傷めない深さ（40cm程度）で実施する。効率的に排水するには、暗渠と交わるように施工するとともに、圃場が乾いている時期に、できるだけゆっくりと施工する。前年の収穫後に心土破砕を施工できなかった場合は、融雪

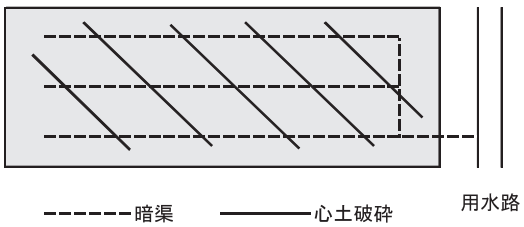


図２　心土破砕の施工例

剤散布前の雪上心土破砕を検討する。その際の施工時期は３月、施工深が30～40cm程度となる頃が適当である。

② **圃場内作溝明渠**（図３）

圃場内作溝明渠「溝切り」を圃場の周囲や圃場内に作溝し、表面停滞水を集めて排水する。この場合、溝を明渠（本明渠）や落水口につなぐなど、集めた水を圃場外に排出する工夫を怠ると、十分な効果が得られない。施工時期は水稲収穫後が望ましく、融雪水のみならず、秋期の降雨による停滞水の排水にも効果を発揮する。

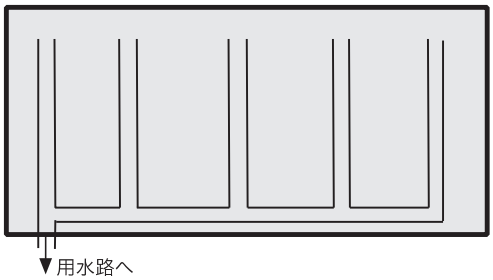


図３　溝切りの施工例

③ **既設暗渠への水みちの確保**（図４）

暗渠の直上に鉄棒、竹などで孔を開けて暗渠への水みちを作る（穿孔暗渠）。オーガーで孔を開け、籾殻を充填すると持続性が高い。

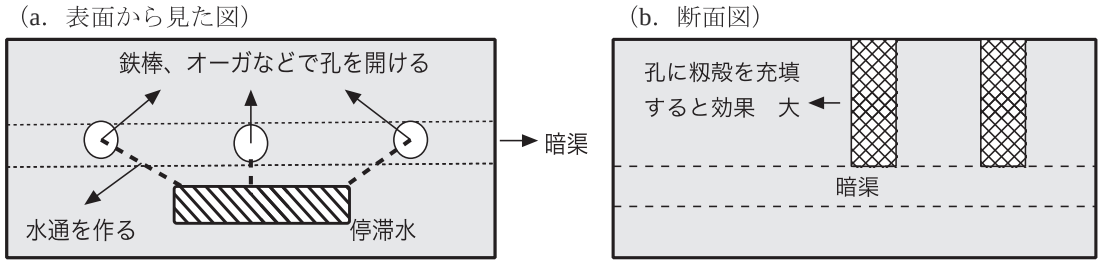


図４　穿孔暗渠の例

３）稲わらの搬出

稲わらの処理、水稲生育に対する影響については後述するが、圃場に残された稲わらは水稲の生育、収量、品質のみならず圃場の乾燥化にも影響を及ぼす。圃場表面に残された稲わらは水分を保持し、土壌の乾燥を妨げる。

(2)　透排水性の向上

１）透排水性の意義

水田は水を張ることを前提に作られる。しかし、矛盾するようではあるが、代かき後も適度な縦浸透のある方が稲の生育にとっては都合が良い。

湛水期間中に土壌に浸透する水は酸素を含んでいる。水稲の根は維管束から酸素を得ることができるため土壌からの酸素を必要としないが、土が酸欠（還元）状態になると硫化水素などの有毒物質が生成される（ワキ）。それにより根の活性が低下し、生育、収量、品質に悪影響を及ぼす。土に酸素を供給し、ワキを軽減するには、適度な透水性が必要で

ある。

また、田面で温められた水が土壌中に浸透することで地温が上昇する。春の温度が低い本道の稲作にとって、地温の上昇は初期生育の向上をもたらす。

落水期間中に透排水性の良い水田では、先に述べた作業性の向上、乾土効果による地力窒素供給の前倒し、酸化鉄による酸素の蓄積・供給などの他にも、狙った時期に落水が可能となるため、適期に中干しが可能となる。また、収穫前の落水を遅らせることができるため、登熟中後期に土壌水分が確保できれば、登熟が良好となり、でん粉が米粒にしっかり蓄積される。

これらのことが総合して、産米の収量向上やタンパク質含有率（以下、タンパクと表記）の低下がもたらされる（図５）。

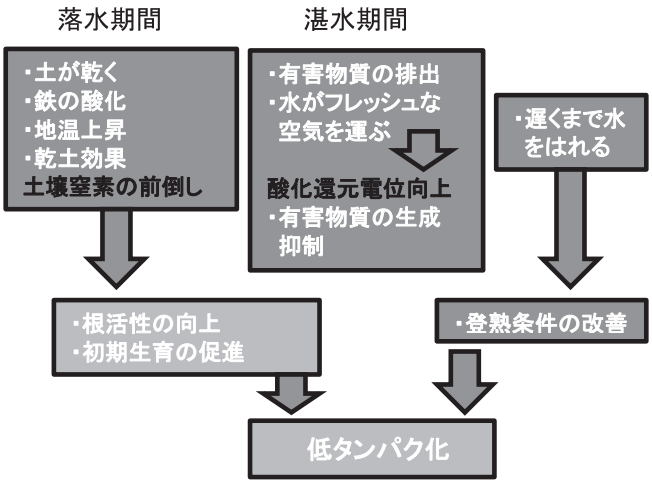


図５　透排水性改善による産米の品質向上

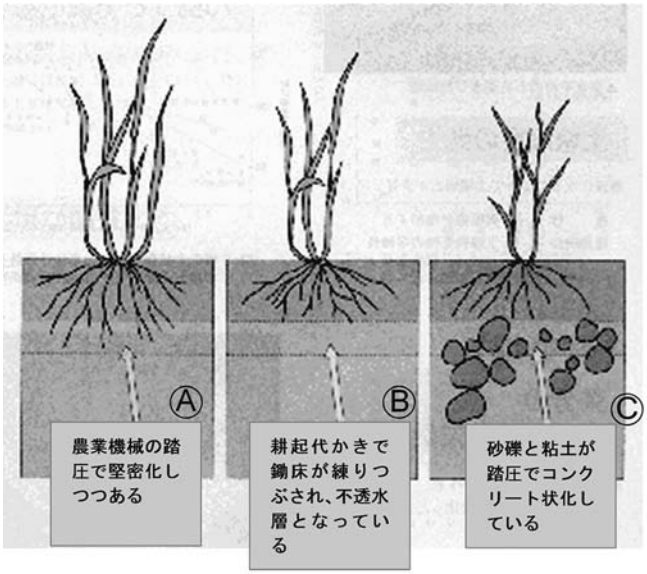


図６　透排水性悪化の要因

２）透排水性悪化の要因

水田は水を張ることを目的に作られ、水を溜めるために代かき等の作業を行うので、透水性が悪化しやすい。図６に透水性悪化の要因を記した。

Ａの要因は作業機械による作土下部の堅密化である。土壌水分が高いときに作業を行うと、いっそう堅密化が進む。Ｂは耕起、代かきによる堅密化である。代かき強度が高まると、透水性はより低下する。Ｃ透水性が良いと考えられる砂礫混じりの水田でも、作業機の踏圧で砂礫と粘土が押しつぶされながら固まって、堅い不透水層が形成されることがある。

３）透排水性の改善の基本

水田の透排水性を高める手段は、土に亀裂を入れることと、できた亀裂を大切にすることにつきる。亀裂を入れるためには、心土破砕が有効である。先にも述べたが、心土破砕を効かせるコツは、圃場が乾いた時に、できるだけゆっくりと（早歩き程度の速度で）施工することである。過湿な土壌条件で高速で施工すると、せっかく作った切り溝が癒着し

てしまう（羊羹を切るようなものだといわれる）。乾いた時期にゆっくりと施工することができれば、切り溝が十分にできるばかりでなく、施工の際の振動で切り溝の周辺に細かい亀裂ができ、それがまた透水性を高める。また、心土破砕によって土壌が乾けば土が収縮して亀裂が入り、これも透水性を高める方向に働く。

落水後に表面滞水が見られる圃場では、圃場表面に溝切り（圃場内作溝明渠）を行う。その際、溝を落水口や本明渠につなぐなど、集めた水を圃場外に排出する。表面滞水が排水されれば、圃場の乾きが早くなる。土が乾けば収縮して亀裂ができ、透水性がさらに高まる。

亀裂が消えてしまう最大の要因は、過度の代かきである。圃場条件によって、十分な移植精度を得ることができる代かきの程度に違いがあるので、一概にどの程度とは言えないが、過度な代かきを避ける工夫が必要である。

春期の耕起、砕土作業も、加湿な条件で作業を行うと、練り返しや踏圧によって亀裂をつぶし、排水性を低下させる。排水の悪い水田での秋起しは避けるべきである。強度の練り返しが発生するとともに、起こしたときの土塊の間に融雪水がたまって春の乾きを悪くする。排水の良い水田でも、秋起しの際には、土塊を細かくしないようにする。また、収穫時に多水分条件でコンバインを動かすことも、土の練り返しよって亀裂をつぶす。高品質米の生産にとって適期収穫は大前提ではあるが、その中でもなるべく乾いた条件で収穫をできるようにしたい。

北海道の気象条件では、落水期に毎年土が乾くとは限らないが、これらの透排水性改善技術を継続して実施すれば、少しずつ亀裂が発達し、圃場を乾きやすい方向に持っていくことができる。

4）透排水性改善の事例

①　代かきの工夫

代かきをし過ぎることは透水性低下の大きな要因の一つであるが、代かきが不足すると充分な移植精度は得られない。表１には、慣行の代かき作業に変えて、試作した代かき用の牽引板をトラクタで引いた事例を示した。均平度は劣ったが移植精度には問題が無く、タンパク質含有率は処理開始初年目から0.5%程度低下し、収量も２年目には慣行処理を上回った。代かきを軽く行う効果が亀裂の安定化をもたらし、土壌の透水性を徐々に高めたものと思われる。

無代かきは、透水性が高まる反面、土壌窒素の無機化が遅れ、また苗を移植する際の精度が低下する場合が

表１　代かきの工夫による透水性の改善事例

処理	心土破砕	耕　起	砕　土	代かき
慣行	サブソイラ 40cm	ディスクプラウ 15cm	ロータリハロー アッパーロータリ	ロータリ
改善	チゼルプラウ 20cm			牽引板

年度	精玄米収量 kg／10ａ		タンパク質含有率 %	
	慣行	改善	慣行	改善
H12	577	556	8.3	7.7
H13	473	513	8.4	7.9

空知支庁実施

ある。しかし、新たな機械投資を必要としないため、まずは小面積で試みて、様子をみながら改良を重ねていくことができる。良い成績が得られれば、タンパク質含有率の低下ばかりでなく省力化にもつながる。田畑輪換など、特に土壌の透排水性を悪化させたくない場面などにおいて、無代かきは拡大を見せている。

②　砂充填細溝心土破砕

本方法は心土が堅密な粘質土壌や泥炭土に対して、圃場排水機能の向上と落水時の速やかな土壌乾燥を目的として開発された（「砂充填細溝心土破砕（砂心破）による水田の透排水機能の向上技術（平成14年普及推進）」）。具体的には心土破砕機によってつけられた溝に焼砂やビリ砂利を充填する方法であり、そのための専用の作業機を開発した。砂心破の施工により、深さ15cmから40cm程度に幅２cm程度の砂を充填した亀裂が形成される。

砂心破により、減水深（縦浸透）が増加し、これに伴って土壌還元（ワキ）が軽減される（図７、ワキは、酸化還元電位（Ｅｈ）の値が小さいほど（マイナスの値が大きいほど）激しくなる）。また、砂心破によって春の土壌水分が低下し（土が乾燥し）、収量が高まり、タンパク質含有率も低下した（表２）。

砂心破は暗渠排水の整備された圃場で有効であり、10年以上にわたり効果が持続する。ただし、施工費が高いので、現実的には補助事業の中で施工することになる。

砂心破と類似した透排水性改善方法にモミガラ心破がある。こちらも専用の機械を必要とするが、比較的安価で生産者自らの施工が可能である。通常の心土破砕は状況によっては毎年の施工が望まれるが、モミガラ暗渠の効果は長期間に及ぶ。

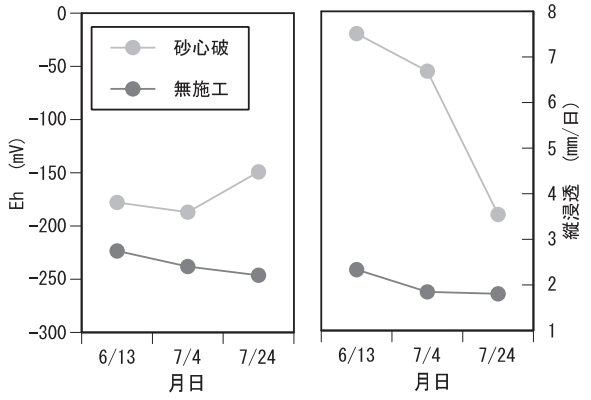


図７　砂心破が縦浸透と酸化還元電位に及ぼす影響

表２　砂心破が水稲の生育収量に及ぼす影響

処理	春の土壌水分％	乾物重（6/13）g/㎡		玄米収量 kg/10a	白米タンパク ％
		地上部	根部		
無施工	39.3	14.1	7.0	525	6.3
砂心破	35.1	17.5	7.7	541	5.6

砂心破の間隔は2.4m

③　砂質客土埋設工法

本工法は、泥炭土水田で良食味米（低タンパク質含有率米）を安定的に生産できる基盤整備方法として開発された（「砂質客土埋設工法による泥炭土水田の米粒タンパク低減技術（平成20年指導参考）」）。砂質客土材を作土層の下に埋設することで水稲根域を制限し、下層泥炭からの窒素吸収を抑制することによって米粒のタンパク質含有率を低下させる（表３）。客土材の埋設深については、15cm深で生育収量の低下がみられたことから、過度の根域制限は不要と判断し、25cmを標準とした。

表３　客土埋設が水稲収量・品質に及ぼす影響

処　理　区	総　重（kg/10ａ）	精玄米中（kg/10ａ）	千粒重（ｇ）	不稔歩合（%）	窒素吸収量（kg/10ａ）	タンパク質含有率(%)
対照	1287	546	24.3	11.7	11.6	7.9
客土埋設深25cm	1212	544	24.2	9.7	10.2	7.0
客土埋設深15cm	1185	529	24.1	12.8	9.2	7.1

砂質客土埋設工法の施工条件は表４のとおりで、適用圃場は米粒のタンパク質含有率が高まる傾向にある泥炭土水田とし、施工方法は表土を削剥して砂質客土材を敷き均して表土を戻す。客土の厚さは根の伸長の確実な制限およびコスト面から考慮して、５～10cmとする。

表４　砂質客土埋設工法の施工条件

項　　目	施　工　条　件
適用ほ場	米粒タンパク質含有率が高まる傾向にある泥炭土水田
施工方法	表土を削剥して基盤整地を行い砂質客土材を敷き均して表土を戻す
客土材埋設深	25cmを標準
客土厚さ	５～10cm（埋設後５cm以上を確保する）
客土材	国際法土性でＳＬ、ＬＳ、Ｓ 粒径30㎜以上の礫含有率が５％未満 粗粒火山性土を使用し、川砂は使用しない 交換性ニッケル含量1.5mg／kg未満 全イオウ含有率0.05％未満

なお、本工法では根域が制限され干ばつの影響を受けやすいため、早期落水を避け登熟期間の土壌水分を適正に維持し、窒素供給力が低い圃場では肥料切れを起こさないよう施肥設計に留意する必要がある。施工圃場における心土破砕の施工は極力避け、排水対策は暗渠排水と溝切り等で対応する。なお、畑利用時などにおいて埋設した客土層を撹拌した場合、水稲に対するタンパク質含有率の低減効果は消失すると考えられる。

④　鉄付着防止暗渠土管

北海道の暗渠排水では、13.5％の暗渠管に酸化鉄などが溜まっており、特に泥炭土やグライ土で暗渠管に酸化鉄が溜まりやすい実態が確認されている。土管素材への５％程度のカルシウム材添加により、鉄酸化細菌の発生が抑制され、鉄付着による閉塞が軽減

される（「鉄付着防止暗渠土管の閉塞軽減効果（平成19年普及推進）」）。写真１のように、施工２年後の従来土管には鉄付着が認められ、これは*Gallionella*属の鉄酸化細菌の鉄代謝物であった。一方、鉄付着防止土管への鉄付着物は極めて少なかった。鉄付着防止暗渠土管を用いた暗渠は、従来土管と合成樹脂管の排水に比べてｐＨが0.5～１程度高く、全鉄濃度は低く推移しており（図８）、管内への鉄流入抑制効果があると考えられる。

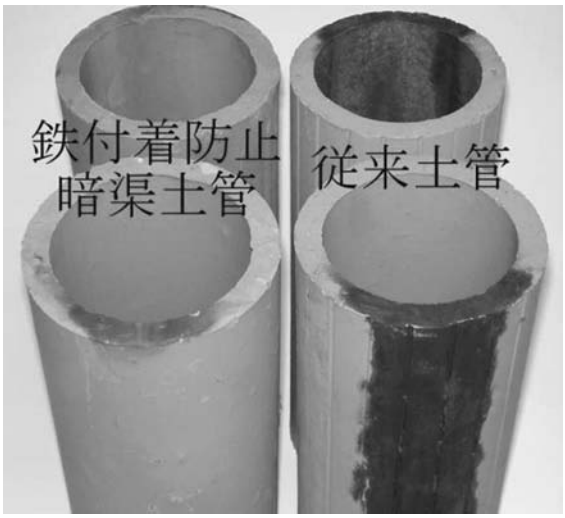


写真１　施工後２年経過時の鉄付着状況

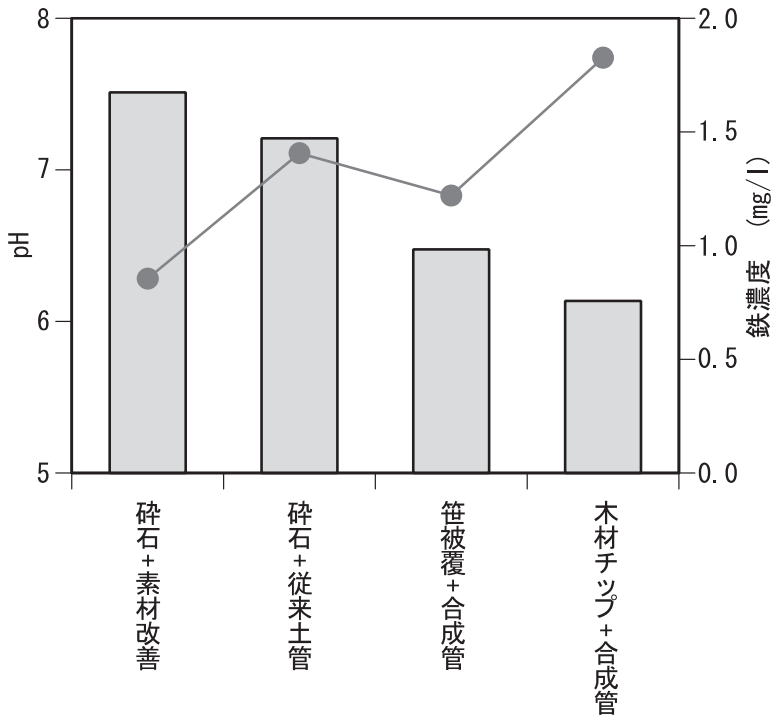


図８　暗渠管と疎水材の組合せによる排水水質の比較

⑶　稲わらの搬出、堆肥化

稲わらを鋤込むと、有機物の分解過程で酸素を消費するので、土壌の酸欠状態（土壌還元）を促進する。その結果、硫化水素などの有害物質の生成が促進されるとともに、わら自体からも安息香酸などの有害物質が発生することが知られている。それによって根の活性が低下（根傷み）した場合には、養水分吸収が円滑に進まなくなり、生育、収量、品質が低下する（図９）。

また、稲わらには窒素が含まれる。鋤込まれた稲わらの窒素は地温が上昇する７月中旬以降になってから稲に吸収される割合が多いので、タンパク質含有率を高める要因となる（図

10)。特に、不稔歩合の高い年の稲わらには平年以上の窒素分が含まれるため、よりタンパク質含有率を高める危険性がある。加えて、窒素が多い分C／N比が低く、一般にC／N比の低い有機物は分解速度が速いために、鋤込み初期の還元障害（ワキ）も例年以上に激しくなる可能性がある。不稔歩合が高かった圃場では、高品質米生産のためには特に稲わらの搬出が求められる。

搬出した稲わらは、堆肥化し圃場に還元することを基本とする。乾田型土壌（排水条件の良い圃場）では生わら鋤込みも可能であるが、その場合は秋鋤き込みとし、収穫後できるだけ早い時期に土壌表面に混和し分解を促す。圃場表面に残された稲わらは分解が遅れ、水稲の生育期間における悪影響を助長するのみならず、水分を保持し、また土壌表面を覆うことによって土壌の乾燥を妨げる。作業の都合からどうしても稲わらの搬出ができない場合でも、そのまま放置することはせず、できるだけ早い時期に土壌表面に混和することで悪影響を緩和できる。なお、堆肥および稲わらを施用した場合には、施用量に応じた減肥が必要となる（表８参照）。

収集した稲わらを圃場の近傍に野積みすることは、病害の感染源となる場合があるので、そのまま放置することは避ける。稲わら焼却（野焼き）を避けるべきことは言うまでもない。

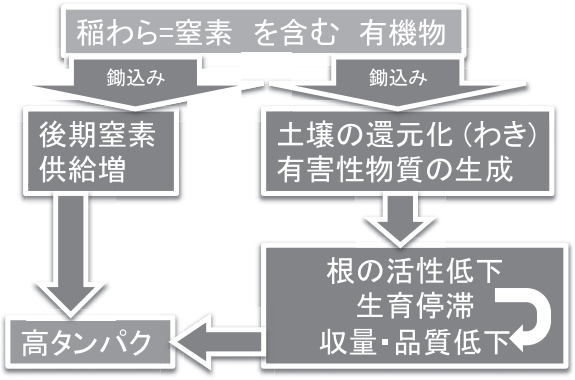


図９　稲わら鋤込みは、なぜ悪い

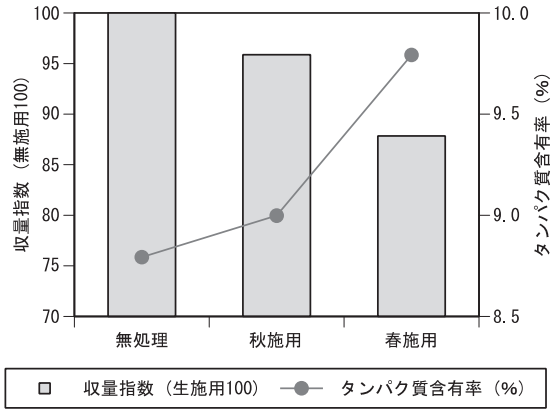


図10　稲わら鋤き込みと収量、タンパク質含有率

○稲わら堆肥化の手順（例）

① ロールベーラまたはバックレーキ等で稲わらを収集。

⬇

② 500kg（ほぼ10ａ分）の稲わらに、窒素源（家畜ふん尿の場合は窒素で２～３kg、石灰窒素、硫安の場合は10～15kg（現物））を加え、十分灌水して堆積。

⬇

③ １～２カ月毎（目標）に切り返し、乾いていたら水分補給。

⑷ 稲わらの搬出・取り組み事例

ここで紹介する農業生産法人は、道央部の南東部に位置し、全耕地面積175haのうち水稲107ha、ハウス37棟、残りに転作作物を作付けする。食味向上のために稲わら搬出に取り組み、そのためのロールベーラを所有している。稲わらの放置は土壌の乾燥を妨げるため、早期に片づけることが推奨されているが、秋の天候が悪い当地区ではなかなか進んでいないのが現状である。当法人は効率的に作業を進めるため、収穫とわら収集をほぼ同時に行い大量の稲わらを搬出している。

ロールベーラで収穫した稲わらは、地域内の数カ所の堆肥盤に積み上げる。堆肥盤は補助事業を活用し十分なスペースを確保しているとともに、移動コストの増大をもたらす集中化を避けている。また、コンクリート打ちであるなど、環境にも配慮している。発酵を促進させるための窒素源として豚糞スラリーを使う。付近の養豚農家が腐熟程度を見ながら豚糞スラリーを散布するため、コストは低く抑えられる。春までに発酵が進んで「かさ」が減少するとともに、フロントローダで切り返しができる程度にベール（稲わらロール）が崩れる。秋までに切り返しを数度繰り返して、十分腐熟した後、地力の低い水田、野菜ハウスを中心に施用している。

2 適正な窒素施肥（施肥量と施肥法）

⑴ 低タンパク質含有率化に向けた考え方

1）窒素吸収量の適正化

水稲によって吸収された窒素の70％程度は、米粒中でタンパク質として集積する。そのため、水稲の生育にとって過剰な窒素は、タンパク質含有率を高めて食味を低下させる。適正な窒素吸収量は、９（低収地帯）～11（高収地帯）kg／10ａ程度である。水稲が吸収する窒素は大きく土壌由来と肥料由来の２つに分けられる。泥炭土や稲わらを連用した水田など土壌の窒素供給量が多い場合には、それに対応して窒素施肥量を少なくし、逆に土壌窒素供給量が少ない場合には、その分、施肥量を多くする必要がある（図11）。

窒素施肥を単に少なくすれば低タンパク質含有率が実現できるわけではない。窒素施肥量が少なすぎると、初期生育が悪くなり十分な子実収量が得られず、かえってタンパク質含有率を高める。これを避けるには側条施肥を導入する、あるいは側条施肥割合を高めることで対応する。全層施肥に比べて側条施肥は稲株の近くに高濃度で窒素を施肥することができるため、初期生育を促進するとともに施肥量を低減することが可能となり、収量を落とさずに低タンパク質含有率を達成することができる。

いずれにしても窒素施肥量を決めるに当たっては、多すぎず少なすぎない量を見極めることが大切である。そのためには、土壌の窒素供給量を正確に知る必要がある。その手段の１つが土壌窒素診断である。診断の結果とこれまでの生育、タンパク質含有率、収量の実績から、タンパク質含有率を低減する方向に施肥改善することが重要である。

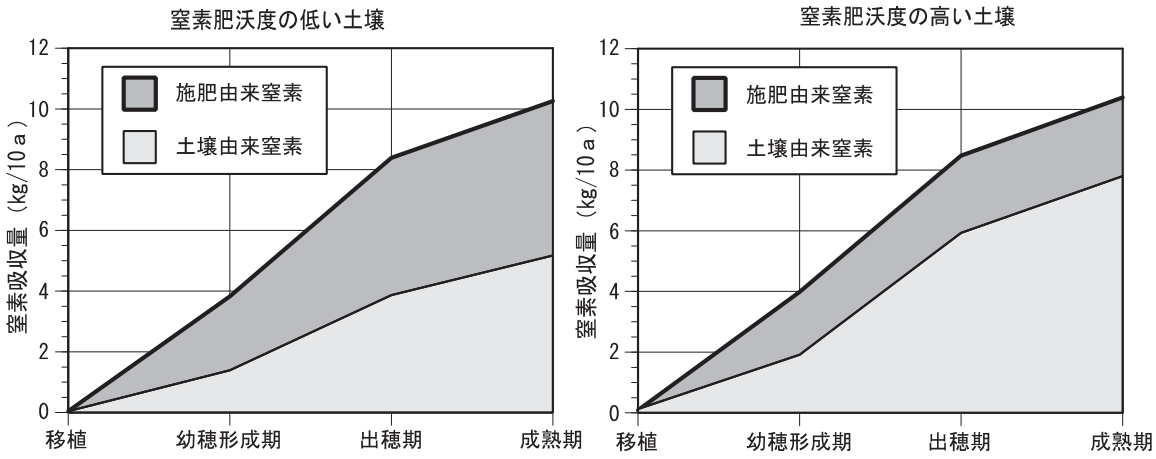


図11　土壌の窒素肥沃度に対応した水稲窒素吸収量の差異

（低蛋白米生産をめざした水田土壌窒素診断の手引き　平成10年）

＊土壌由来窒素：窒素肥料を施用しない場合の窒素吸収量

2）乾物生産量の増大

窒素の吸収量が等しい条件であれば、収量の多い方がタンパク質含有率は低下する。水管理、健苗の利用など窒素施肥量を増やさない技術で多収を得ることは、タンパク質含有率を下げることにつながる。肥料の分野ではケイ酸施用がこれにあたる。ただし、低タンパク質含有率化技術としてのケイ酸施用は適切な窒素施用量を前提としていると考えるべきで、窒素供給量がもともと多い場合にはケイ酸施用が生育改善のみならず、窒素吸収促進につながり、かえってタンパク質含有率を高めてしまうこともある。

(2)　窒素施肥量の適正化

圃場ごとの窒素施肥量は、１）施肥標準量、２）土壌窒素診断に基づく施肥対応、３）有機物施用に伴う施肥対応、４）乾土効果の評価、による設定が望まれる。以下には、「北海道施肥ガイド2015」で示される適正窒素施肥量の設定方法について述べる。なお、窒素減肥は基本的に全層施肥部分から行い、減肥後の窒素施肥量は初期生育を確保するため、４kg／10ａを下限とする。詳細については「北海道施肥ガイド2015」を参考にされたい。

1）施肥標準量

施肥標準は、地帯区分および土壌区分別の基準収量と、各基準収量に対応する土壌区分別の施肥標準量を示したもので、施肥標準量の算定にあたっては、まず表５において対象とする地帯区分・土壌区分の基準収量を確認の上、表６において基準収量に対応する施肥標準量を求める。基準収量が対象とする圃場の収量と乖離している場合は、窒素施肥量を±0.5kg／10ａの範囲で増減する（収量で±30kg／10ａ相当）。なお、窒素の施肥標準は、中庸な地力水準において全量全層施肥により白米タンパク質含有率7.0％以下の安定生産を目標とした施肥量である。

表５　地帯別・土壌別基準収量（北海道施肥ガイド2015）

地帯区分	地帯名	基準収量（kg／10ａ）				
		低地土（乾）	低地土（湿）	泥炭土	火山性土	台地土
1	檜山・渡島南部および伊達市周辺	480	480	480	450	450
2	内浦湾・胆振沿海および石狩の一部	480	480	480	450	450
	（黒松内町）	420	420	420	390	390
3Ａ	羊蹄山麓	510	510	510	480	480
3Ｂ	豊浦および南羊蹄	450	450	450	420	420
4	日高	480	480	480	450	480
5	檜山北部および後志日本海沿海	510	510	510	480	480
6	石狩沿海および留萌南部	510	510	510	480	480
7Ａ	石狩北部および空知中南部	540	540	540	510	510
7Ｂ	石狩および空知南部	510	510	510	480	480
8Ａ	空知中西部および空知北部	570	570	570	540	540
8Ｂ	空知東部山麓・夕張	540	540	540	510	510
	（夕張市）	480	480	480	450	450
9Ａ	上川中央部	570	570	570	540	540
9Ｂ	上川中北部および富良野	540	540	540	510	510
9Ｃ	富良野南部および日高山麓	480	480	480	450	450
10Ａ	上川北部Ａ	510	510	510	480	480
10Ｂ	上川北部Ｂ	480	480	480	450	450
11	留萌北部・上川北部の一部	510	510	510	480	480
13	北見内陸	420	420	420	420	420
14	北見東部沿海	420	420	420	420	420
16	十勝中央部	420	420	420	420	420

注１　「基準収量」は、過去10年（平成16～25年）の統計収量に基づいて設定した。

表６　基準収量に応じた施肥標準量（北海道施肥ガイド2015）

基準収量（kg／10ａ）	全量全層施肥におけるＮ施肥量（kg／10ａ）					P_2O_5（kg／10ａ）	K_2O（kg／10ａ）
	低地土（乾）	低地土（湿）	泥炭土	火山性土	台地土		
390				7.0	6.0	8.0	8.0
420	7.0	6.5	5.0	7.5	6.5		
450	7.5	7.0	5.5	8.0	7.0		
480	8.0	7.5	6.0	8.5	7.5		
510	8.5	8.0	6.5	9.0	8.0		
540	9.0	8.5	7.0	9.5	8.5		
570	9.5	9.0	7.5				

注１　各地帯区分・土壌区分の基準収量に応じ、施肥量を算定する。
注２　実際の各圃場の収量水準に応じ、窒素施肥量を±0.5kg／10ａの範囲で増減する。
注３　全層・側条組合せ施肥を実施する場合の窒素施肥は、側条施肥を3.0～4.0kgＮ／10ａ程度とし、総窒素施肥量を表の値から0.5kg／10ａ減肥する。

２）土壌窒素診断に基づく施肥対応

土壌窒素診断に基づく基肥窒素施肥対応では、窒素肥沃度を湛水培養窒素（40℃、１週間培養法）で評価し、窒素肥沃度水準に応じて施肥標準量から＋0.5～－1.0kg／10ａの範囲で増減する（表７）。算出される窒素施肥量は、全量全層施肥により白米タンパク質含

有率7.0%以下の安定生産を行うための値であり、白米タンパク質含有率6.5%以下を目標とする場合は、基本技術（側条施肥、健苗育成、適期移植、栽植密度向上、水地温上昇対策、登熟中後期の土壌水分確保など）が実行されることを前提に、全層施肥部分からさらに0.5kg／10ａの窒素減肥を行う。

湛水培養窒素は土に含まれる有機態の窒素のうち、短期間で無機化するものを評価しており、わらなどの有機物を長期間鋤込むと増加し、逆に有機物を長期間施用しないと低下するが、短期的な変化は小さい。診断のための土壌の採取時期は分析にかかる時間を考慮すると、収穫後から積雪前までが望ましい反面、融雪後土壌が乾燥し始めると乾土効果として発現する窒素の一部が分析値に反映されるので、この時期は土壌採取時期として適切ではない。

施肥量の適正化のためには土壌窒素診断に基づくことが望ましいが、土壌診断を実施できない場合には、「生産情報に基づく水稲の成熟期窒素吸収量推定と施肥設計への応用（平成18年指導参考）」を参考に窒素施肥量を設定する。

表７　土壌窒素肥沃度水準による窒素施肥対応（一部）（北海道施肥ガイド2015から抜粋）

地帯区分	地帯名	土壌区分	施肥標準に対する施肥窒素増減量（kg／10ａ）			
			＋0.5	0	－0.5	－1.0
			窒素肥沃度水準の区分（mg／100ｇ）			
			低	中位	やや高	高
７Ｂ	石狩および空知南部	低地土（乾）	～8.0	～12.0	～14.0	14.0～
		低地土（湿）	～7.0	～14.0	～16.0	16.0～
		泥炭土	～6.0	～13.5	～16.0	16.0～
		火山性土	～9.5	～13.0	～15.0	15.0～
		台地土	～3.0	～9.0	～11.5	11.5～

注１　窒素肥沃度：可給態窒素量（40℃１週間培養法）。

注２　窒素減肥は、全層施肥部分から行う。なお、減肥後の窒素施肥量は初期生育を確保するため、４kg／10ａを下限とする。

注３　白米タンパク質含有率6.5%以下を目標とする場合は、基本技術（側条施肥、健苗育成、適期移植、栽植密度向上、水地温上昇対策、登熟中後期の土壌水分確保など）が実行されることを前提に、全層施肥部分からさらに0.5kg／10ａの窒素減肥を行う。

【出典】「低蛋白米生産をめざした水田土壌窒素診断の手引き（平成10年道農政部）」

３）有機物施用に伴う施肥対応

有機質肥料を用いた場合にはもちろんのこと、堆肥などの有機物を施用した場合にも、有機物の種類および連用年数に応じて減肥する（表８）。なお、堆肥や稲わらを長期間施用すると、土壌肥沃度にその効果が反映される。そのため、土壌診断に基づく施肥対応を実施する場合は、堆肥・稲わらを５年以上連用している場合でも単年度施用の減肥可能量を用いる。

表８　有機物施用に対応した窒素、カリの減肥量（北海道施肥ガイド2015から抜粋）

有機物の種類 （標準的な施用量）	連用年数	窒素減肥量 （kg／10ａ）	リン酸減肥量 （kg／10ａ）	カリ減肥量 （kg／10ａ）
稲わら堆肥 （現物１ｔ／10ａ）	１～４ ５～９ 10～	１ 1.5 ２	－	２
家畜ふん堆肥 （現物１ｔ／10ａ）	１～４ ５～	1.5 ２	－	４
稲わら直接すき込 （400～600kg乾物／10ａ）	１～４ ５～９ 10～	０～0.5 １ ２	－	

注１　窒素肥沃度による施肥対応（表ア、24～26ページ）を行う場合は、堆肥・稲わらを５年以上連用している場合でも単年度施用の減肥可能量を用いる（連用効果の重複評価を避けるため）。

４）乾土効果の評価

前年秋期および当年融雪後に、平年よりも土壌が乾燥した場合には乾土効果を評価し、窒素減肥する（表９）。

表９　乾土効果に対応した窒素の減肥量（kg／10ａ）（北海道施肥ガイド2015）

圃場の乾湿の程度	窒素肥沃度水準（mg／100ｇ）			備　考
	10未満	10～14	14以上	
著しく乾燥（水熱係数０～２）	0.5	1.0	1.5	基肥からの減肥量 （kg／10ａ）
乾　　燥（水熱係数２～３）	0.5	0.5	1.0	
やや　乾燥（水熱係数３～４）	0.0	0.5	0.5	
平年並～湿（水熱係数４～　）	0.0	0.0	0.0	

注１　前年秋期（９月１日～10月31日）および当年融雪後（４月11日～５月10日）に、平年よりも土壌が乾燥している場合に適用する。

注２　水熱係数は以下の式から算出する。

水熱係数（mm／℃日）＝10×ΣＰｒ／ΣT_{10}

ΣＰｒ：前年９／１～10／31および当年４／11～５／10の、積算降水量（mm）

ΣT_{10}：前年９／１～10／31および当年４／11～５／10の、日平均気温10℃以上の日の積算気温（℃）

注３　窒素肥沃度水準は可給態窒素量（40℃１週間培養法）。

注４　窒素減肥は、全層施肥部分から行う。なお、減肥後の窒素施肥量は初期生育を確保するため、４kg／10aを下限とする。

【出典】「気象・土壌情報を活用した水稲生育予測及び窒素施肥対応（平成10年指導参考）」

(3)　施肥法の適正化

１）土壌及び気象条件を考慮した施肥法（基肥）の選択

水田に対する施肥法は図12のように整理される。北海道は府県に比べて初期生育が重要視されることから、施肥法は基肥重点とする。土壌診断を前提に分追肥を行う施肥体系も示されているが、適用場面は限定的である。

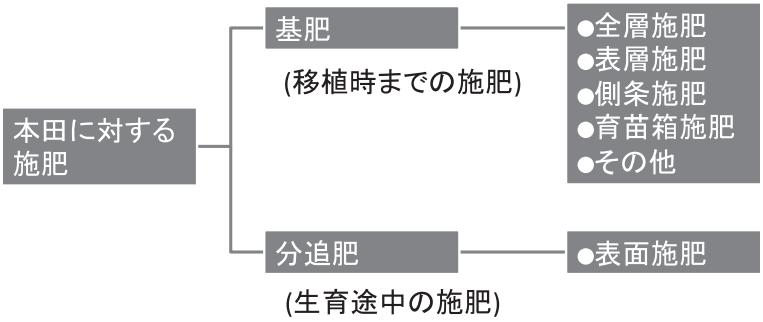


図12　水田に対する施肥法

基肥としては「全層施肥」と「側条施肥」が代表的で、全層施肥は初期の吸収がやや劣るが、肥効が持続する（後優り的生育になる）傾向がある。一方、側条施肥は初期生育の向上効果が高く、利用効率も高いが、生育中期以降に肥切れとなる傾向がある。土壌の特徴や気象条件などを考慮し、全層施肥と側条施肥を組合せることが望ましい。

全層・側条の組合せ施肥を実施する場合の窒素施肥は、地帯、土壌によらず側条施肥を3.0～4.0kg／10ａ程度にするとともに、総窒素施肥量を全層施肥のみの場合から0.5kg／10ａ減肥する（表６脚注参照）。

２）施肥改善（窒素減肥）時の対応

窒素減肥を行っても品質が改善されず、収量の低下のみに終わる場合があるので、側条施肥の導入（側条施肥割合の向上）とともに、健苗育成、適期移植、栽植密度向上、水地温上昇対策、稲わら処理の適正化、透排水性改善など、初期生育の低下を回避する技術を導入する（図13）。

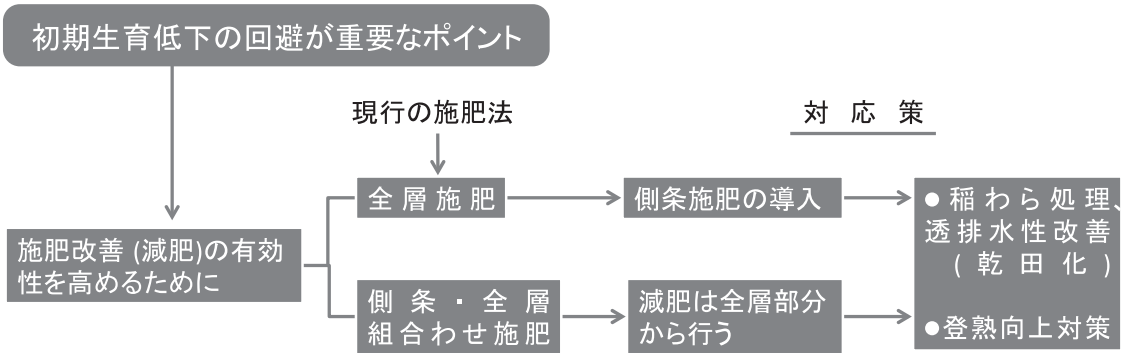


図13　窒素減肥に伴う初期生育低下の回避方策

(4)　窒素分追肥の適正化

生育中～後期の窒素施肥は米粒への窒素集積傾向が強く（図14）、特に止葉期以降の分追肥は影響が大きいことから、良食味米（低タンパク質含有率米）生産の見地からは止葉期における分追肥は行わない。

幼穂形成期～幼穂形成期後１週間の分追肥については生育状況を把握し、さらに作期中の

土壌窒素診断に基づく要否判断を行う（表10）。分追肥を必要とする圃場は毎年非常に少ないのが実態である。

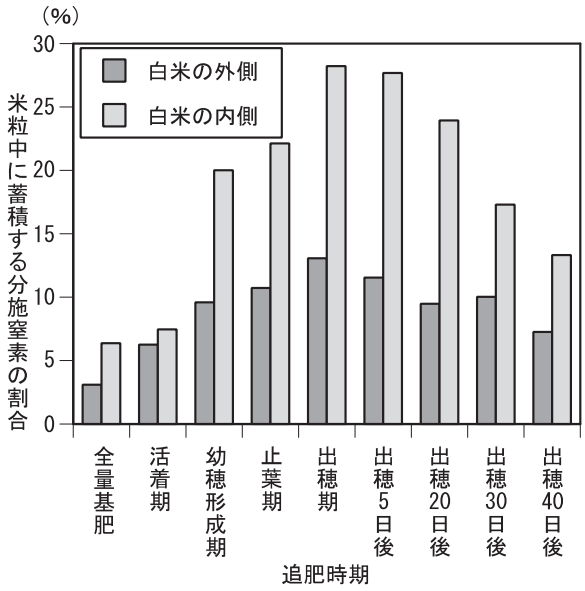


図14　窒素の追肥時期が米粒中の窒素蓄積に及ぼす影響

表10　窒素の分追肥対応（北海道施肥ガイド2015、一部改）

土壌区分	幼穂形成期前の診断基準値（NH_4－Nmg／100ｇ乾土）			窒素施肥（分追肥）対応
	良地帯	普通地帯	不安定地帯	
低地土（乾）	3.0（4.5）	2.5（4.0）	2.0（3.5）	①幼穂形成期前診断は６月５半旬～７月１半旬に、また（　）表記（移植後診断）は６月初旬に実施する。 ②左表数値より低い場合分追肥対応を行う。なお移植後診断（６月初旬）では、その後の生育が順調な時のみ分追肥対応を行う。 ③施肥量：2.0kg／10ａ ④施肥時期：幼穂形成期から同後１週間
低地土（湿）	2.5（4.0）	2.0（3.5）	1.5（3.0）	
泥　炭　土	2.5（3.0）	2.0（2.5）	1.5（2.0）	
火山性土	3.5（5.0）	3.0（4.5）	2.5（4.0）	
台　地　土	2.5（3.0）	2.0（3.0）	1.5（2.5）	

注１　（　）：移植後診断（６月初旬）の診断基準値。
注２　土壌採取法、分析法は「出典」を参照する。
注３　地帯区分は以下の通り。
良地帯　空知中西部および空知北部（８A）、空知東部山麓（８B、夕張市を除く）、上川中央部（９A）、上川中北部および富良野（９B）
普通地帯　檜山・渡島南部および伊達市周辺（１）、羊蹄山麓（３A）、日高（４、様似町・浦河町を除く）、檜山北部および後志日本海沿海（５）石狩沿海および留萌南部（６）、石狩北部および空知中南部（７A）、石狩および空知南部（７B）、上川北部A（10A）、上川北部B（10B、下川町を除く）、留萌北部・上川北部の一部（11、初山別村・遠別町・美深町を除く）、夕張市
不安定地帯　内浦湾・胆振沿海および石狩の一部（２）、豊浦および南羊蹄（３B）、富良野南部および日高山麓（９C）、北見内陸（13）、北見東部沿海（14）、十勝中央部（16）、様似町、浦河町、下川町、初山別村、遠別町、美深町
【出典】「低蛋白米生産をめざした水田土壌窒素診断の手引き（平成10年　道農政部）」

(5) 施肥と混和の時期

一戸当たりの作付面積の増加に伴い、肥料散布や混和と入水のタイミングがずれた場合には問題が生じることがある。

水稲に使われる窒素肥料はアンモニア態が多い。アンモニア態の窒素は土壌中で硝酸に変わる。アンモニアはプラスイオンであるから、マイナスに帯電した土の粒子と結合して流れにくいが、硝酸は土に吸着されないために流亡しやすい。アンモニアが硝酸に変わった後に入水して代かき、落水すると、硝酸は水に溶けて圃場から出てしまう。残った硝酸も湛水に伴う土壌の還元化により、酸素を奪われて窒素ガスになるため、水稲にはわずかしか利用されない（図15）。

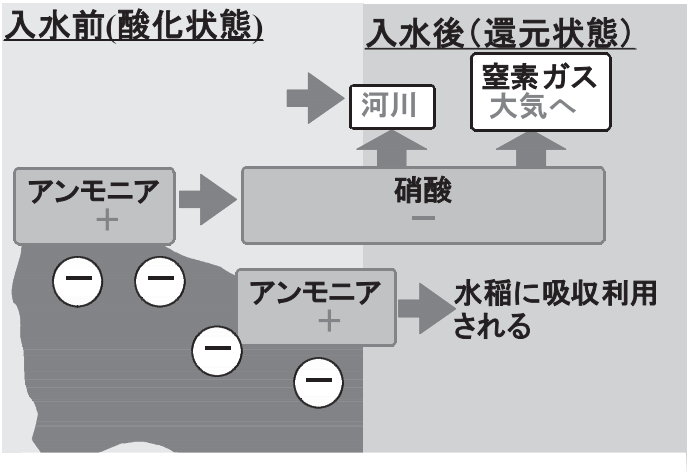


図15　施用したアンモニア態窒素の形態変化

表11　施肥後の日数が硝酸化成におよぼす影響

施肥後入水までの日数	排水中の硝酸濃度（mg/ｌ）
3	1.78
11	1.95
16	4.27

アンモニアが硝酸に変わる反応は土壌微生物の働きにより進行し、その際に酸素を必要とすることから、乾田で地温の高い方が早く進む。表11に施肥後の日数と落水中に含まれる硝酸態窒素濃度を示した。施肥後、入水までの日数が10日以上になると、硝酸態窒素濃度は急激に高まる傾向が見られる。

施肥、混和後１週間程度以内に入水すれば、硝酸化成はあまり進まないので問題は生じない。しかし、面積が広く施肥と入水の間隔が空かざるを得ない場合には、混和だけでも遅らせる。表面に散布した状態では土に混和された場合に比べて、硝酸化成は１／２程度に遅れる。

「最近、肥料の効きが悪い」と感じている場合は、施肥・混和と入水の間隔が空き過ぎていないかをチェックする。

(6) リン酸、カリ、苦土施肥の適正化

窒素のみならず、リン酸、カリ、苦土も水稲の生育、収量に影響を及ぼすため、施肥の適正化が必要である。全道の定点圃場を対象とした定期的な土壌調査では、水田の有効態リン酸含量は一貫して増加傾向にあり、調査地点の93%が基準値以上となっているなど、肥料養分の蓄積傾向が認められている（「北海道耕地土壌の理化学性の実態・変化とその対応（1959

～2007年）（平成22年指導参考）」）。施肥コストの低減のためからも、土壌診断を活用した施肥の適正化が望まれる。表12～14にリン酸、カリ、苦土、それぞれの土壌分析値に対応した施肥量を示した。リン酸、カリ、苦土の土壌分析値は通常の圃場管理を継続している場合は変化が小さいため、３～４年程度継続して利用することが可能であるが、基盤整備等で作土を大幅に移動した場合は、その後１～２年間は土壌診断を実施する。なお、カリについては堆肥等有機物施用に伴う減肥対応も考慮する（表８参照）。

表12　リン酸肥沃度に対応したリン酸施肥量（北海道施肥ガイド2015）

有効態リン酸含量 ブレイNo.2法（P_2O_5mg/100ｇ）	低い 0～5	やや低い 5～10	基準値 10～20	やや高い 20～30	高い 30～
施肥量（P_2O_5kg／10ａ）	16	12	8	6	4

注１　分析法はブレイNo.２法（１：10）による。
注２　施肥量は、「ようりん」などリン酸質資材を含む施用量
注３　側条施肥の実施時において、リン酸減肥をおこなう場合は基本的に基肥から減肥する。
【出典】「水田土壌のリン酸肥沃度別施肥指針（昭和62年指導参考）」

表13　カリ肥沃度に対応したカリ施肥量（北海道施肥ガイド2015）

交換性カリ含量 （K_2Omg／100ｇ）	低い 0～7.5	やや低い 7.5～15	基準値 15～30	高い 30～
施肥量（K_2Okg／10ａ）	14	11	8	5

表14　苦土肥沃度に対応した苦土施肥量（北海道施肥ガイド2015）

交換性苦土含量 （MgOmg／100ｇ）	低い 0～25	基準値 25～
施肥量（MgOkg／10ａ）	１～２	無施用

3　施用有機物のリン酸肥効

火山灰土壌や寒冷地では水稲の初期生育促進や冷害年の生育不良を回避する上で、リン酸の肥効は重要とされている。一方で、道内の水田圃場の93％で土壌中の有効態リン酸含量が土壌診断基準値を超えており（「北海道耕地土壌の理化学性の実態・変化とその対応（1959～2007年）（平成22年指導参考）」）、リン酸質肥料の適切な施肥が求められている。ここでは、水田圃場に施用される各種有機物のリン酸肥効について述べる（「水稲栽培における施用有機物のリン酸肥効評価（平成29年指導参考）」）。

(1)　各種有機物の施用が水稲の生育量、土壌に及ぼす影響

表15に各種有機物（稲わら、堆肥、鶏ふん、魚かす、米ぬか）のリン酸量の同一施用と水稲の生育量、土壌化学性の関係を示す。ポット試験で行われた移植後４週目の調査結果では、稲わらの施用により、水稲の茎数や地上部乾物重は対照（重過石）に比べて少なく、根重や根長も劣った。また、稲わら施用で土壌中の可給態リン酸含量は顕著に増加したが、ｐＨ上

昇、ＥＣや酸化還元電位の大幅な低下も認められた。本試験における有機物の施用量はすべてリン酸0.8ｇ相当／ｐｏｔであり、稲わらでは換算すると現物１ｔ／10ａ程度となる。この量は現場としては過剰であるが、稲わら施用については土壌の還元化とそれに伴う根の成長阻害に留意する必要がある。一方、他の有機物施用の生育量は対照と同等以上の値を示し、順調に生育した。

これらのことから、各種有機物に含まれるリン酸は水稲の生育に対して化学肥料と同等、もしくはそれ以上の肥効をもたらすと考えられる。

表15　有機物施用が水稲の生育量、土壌に及ぼす影響（移植後４週目）

施用有機物	水稲				土壌			
	茎数（本/pot）	地上部乾物重（g/pot）	根重（mg/pot）	根長（m/pot）	pH	EC（mS/cm）	Eh（mV）	可給態リン酸（mg/100g）
稲わら	11 b	0.90 b	281 c	8.4 b	7.11 a	0.34 c	-197 b	45 a
堆肥	18 a	1.99 a	437 bc	15.7 a	5.38 c	0.53 ab	－	18 c
鶏ふん	15 ab	2.03 a	570 ab	16.3 a	6.22 b	0.50 ab	－	26 b
魚かす	15 ab	1.68 a	652 a	16.8 a	6.24 b	0.50 ab	231 a	27 b
米ぬか	14 ab	1.68 a	578 ab	16.0 a	6.24 b	0.48 b	107 a	25 b
対照	16 ab	1.69 a	340 c	13.7 ab	5.86 bc	0.53 ab	－	17 c
無リン酸	17 ab	1.64 a	324 c	12.7 ab	5.86 bc	0.57 a	－	18 c

注１　１／5000ａポットで2016年実施、上川農試褐色低地土を供試、原土の可給態リン酸含量（ブレイ第二法）29.5mg／100ｇ
注２　有機物はリン酸0.8ｇ相当／pot（対照は重過石）、窒素は減肥可能量または保証成分量で換算し、硫安を加えて全区7.0ｇ／pot施用
注３　各項目間で異文字間に有意差あり（Tukey-Kramerの多重検定法、Ｐ＜0.05）

⑵　各種有機物のリン酸肥効の評価

３年間にわたる各種有機物のリン酸量の同一施用で得られた粗玄米重およびリン酸吸収量の値を表16に示す。なお、稲わら施用量は2014年はリン酸４kg／10ａ相当（現物約１ｔ／10ａ）で現場としては過剰な量であり、2015、2016年はその半量の２kg／10ａ相当（現物約500

表16　有機物施用が水稲の粗玄米重、リン酸吸収量に及ぼす影響

施用有機物	粗玄米重(kg/10a)				リン酸吸収量(kg/10a)			
	2014	2015	2016	平均	2014	2015	2016	平均
稲わら	*237 (35)*	576 (82)	575 (95)	575 (89)	*3.7 (57)*	5.3 (79)	4.5 (94)	4.9 (87)
堆肥	686 (100)	707 (101)	613 (101)	669 (101)	5.9 (91)	6.3 (94)	4.4 (92)	5.5 (92)
鶏ふん	624 (91)	628 (90)	608 (100)	620 (94)	5.9 (91)	5.5 (82)	4.8 (99)	5.4 (91)
魚かす	643 (94)	641 (91)	630 (104)	638 (96)	6.3 (97)	5.8 (87)	4.8 (99)	5.6 (94)
米ぬか	656 (96)	683 (97)	604 (100)	648 (98)	5.6 (86)	7.0 (104)	5.0 (104)	5.9 (98)
対照	684 (100)	701 (100)	606 (100)	664 (100)	6.5 (100)	6.7 (100)	4.8 (100)	6.0 (100)

注１　原土の可給態リン酸含量（ブレイ第二法）：29.5～44.0mg／100ｇ
注２　稲わら施用量は2014年はリン酸４kg／10ａ相当（斜字、３年間平均から除外）、他の年次はリン酸２kg／10ａ相当（現物約500kg／10ａ）と重過石２kg／10ａを施用
注３　稲わらを除く有機物はリン酸４kg／10ａ相当を施用（対照は重過石）
注４　窒素は減肥可能量または保証成分量で換算し、硫安を加えて全区14kg／10ａ施用
注５　カッコ内は対照区を100とした指数

kg／10ａ）に設定した。この施用量は圃場で生産される稲わらの量とほぼ同等である。

粗玄米重は稲わら区以外は600kg／10ａ以上、リン酸吸収量は2014年の稲わら区を除き概ね4.5kg／10ａ以上であった。2014年の稲わら区の粗玄米重とリン酸吸収量は対照区（重過石）に比べて顕著に低かったが、2015、2016年の稲わら区や他の有機物施用区では概ね対照区の80％以上となり、初期生育や産米品質についても対照区とほぼ同等であった。

以上のように、各種有機物施用時（稲わらは現物500kg／10ａ程度）の粗玄米重、リン酸吸収量は対照区に対して概ね80～100％の値を示すことから、水田圃場への有機物施用によるリン酸肥効は各種有機物のリン酸含量の「８割程度」を化学肥料の代替として評価できる。

4 ケイ酸資材の施用

⑴ ケイ酸の効果

水稲におけるケイ酸施用には、病害虫（葉鞘褐変病、褐変穂、いもち病など）に対する抵抗性の向上、受光態勢（葉の直立など）の改善、根活性向上、耐倒伏性向上、葉身老化（下葉枯上がり）軽減などの効果が期待できる。

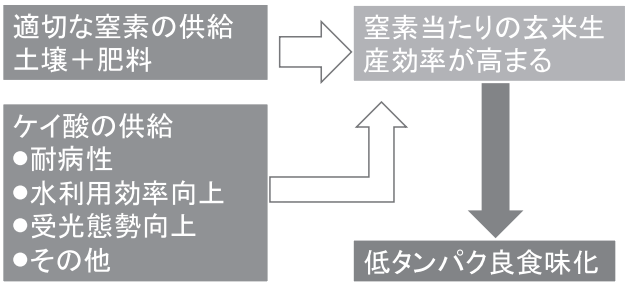


図16　良食味米生産におけるケイ酸の役割

ケイ酸はこれらの効果を通して収量・品質向上に有効に作用するため、良食味米安定生産のためには窒素養分とともにケイ酸養分供給の適正化が重要である（図16）。

⑵ ケイ酸の適正施用量

他要素と同様に、ケイ酸についても土壌診断に基づいた施用量が示されている（表17）。土壌分析値がない場合には、土壌区分に対応してケイ酸を施用する（表18）。

表17　ケイ酸肥沃度に対応した資材施用量（北海道施肥ガイド2015）

ケイ酸含量（SiO_2mg／100ｇ）	極低い 0～10	低い 10～13	やや低い 13～16	基準値 16～
施肥量（ケイカルkg／10ａ）	180～240	120～180	60～120	0～60

注１　分析法は湛水保温静置法による。
注２　グライ低地土、泥炭土では施用範囲内の高い数値を適用する。
注３　他資材についてはケイカルとの肥効差を考慮して施用する。
注４　幼穂形成期１週間後のケイ酸追肥（ケイ酸質肥料20kg／10ａ）は低タンパク質含有率米生産に有効である。
【出典】「低蛋白米生産のための稲体及び土壌のケイ酸指標（平成７年　指導参考）」
「北海道米の食味・白度の変動要因解析と高位安定化技術（平成13年　指導参考）」

表18　土壌区分別ケイカル施用量（北海道施肥ガイド2015）

土　壌　区　分		ケイカル施用量（kg／10ａ）
低地土（乾）		90～120
低地土（湿）	灰色低地土	120～150
	グライ低地土	150～180
泥炭土		150～180
火山性土		120～150
台地土		120～150

注１　可給態ケイ酸分析値が無い場合利用。

(3)　ケイ酸の補給対策

ケイ酸肥料の施用は、成熟期茎葉のケイ酸／窒素比を高める。ケイ酸／窒素比が高い水稲は吸収した窒素当たりの子実収量が向上するために、白米タンパク質含有率が低下し、かつ玄米の白度も高まる。現地の試験でも多少バラツキはあるものの、多くの試験地で収量およびタンパク質含有率に対してプラスの効果が得られている（表19）。

これらの効果は基肥よりも追肥で高く、幼穂形成期１週間後に20kg／10ａ程度のケイ酸資材を施用することが有効である（表20）。これは施用したケイ酸の水稲による吸収効率が基肥に比べ追肥の方で高いためである。

表19　ケイ酸の施用効果

項　　目		ケイ酸の施用効果、対照との比較		
		30kg／10以上増収	差が30kg未満	30kg／10ａ以上減収
収量	件数	17	17	5
	%	44	44	13

項　　目		0.3%以上低下	差が0.3%未満	0.3%以上増加
タンパク	件数	18	20	1
	%	46	51	3

【出典】上川、空知、石狩、後志地区施防協（平成14年度：北海道米麦改良.501号．平成15年１月）

表20　ケイ酸の施用法がタンパク質含有率、ケイ酸吸収効率に及ぼす影響

ケイカル施用量（kg／10ａ）	白米タンパク（%）	総窒素吸収量（kg／10ａ）	総ケイ酸吸収量（kg／10ａ）	茎葉のケイ酸／窒素比	施用したケイ酸の吸収率（%）
無施用	6.5	11.1	80.6	17.8	－
基肥150kg	6.1	10.1	84.0	18.5	8
追肥20kg	5.4	9.8	83.1	21.2	42
追肥40kg	5.5	10.0	83.2	21.5	22

【出典】「北海道米の食味・白度の変動要因解析と高位安定化技術（平成13年指導参考）」

実際のケイ酸施用に当たっては土壌分析に基づいて基肥施用を基本とし、それに追肥を組み合わせる。基肥施用の方法としては融雪剤を兼ねた雪上散布、あるいは耕起前に散布し、耕起時に混和する方法がある。追肥の場合、水田用乗用管理機に装着可能な散布機（「水稲に対するケイ酸資材の機械散布技術（平成21年指導参考）」）の利用も可能である。

5 「タンパクマップ」から考える

⑴ 「タンパクマップ」とは

「タンパクマップ」は衛星画像データからタンパク質含有率を推定し、その高低によって色分けした地図であり、市町村などの広い地域内における差異が一目で分かるようになっている。色分けできる区画の大きさは衛星の能力の違いや使用目的により異なるが、衛星によっては一筆内のタンパク質含有率の変動まで表すこともできる。

「タンパクマップ」は稲体の色からタンパク質含有率を推定しており、簡単にいえば、登熟期の緑色が濃いほど高タンパク質含有率と判断する。推定値であるため、個々の圃場で実測値と比較した場合に多少の違いはあるが、活用すべき多くの利点がある。ひとつは現地調査や分析を経ずに水田ごとにタンパク質含有率が分かる点である。実績では農家単位や、数枚の圃場が一緒になって評価されることが多い。もうひとつは「ご近所」のタンパク質含有率の傾向が分かる点である。また、年次を重ねることにより、タンパク含有率の変化の方向性や変動程度なども明らかになる。

⑵ 周辺の圃場との比較

「タンパクマップ」をみると、タンパク質含有率の高い地帯、低い地帯がありそうなことが分かる。図17の例ではもとの図（左）と、これをもとに２㎞四方の平均をとったもの（平均化処理、右）を示した。平均化処理によってタンパク質含有率の高い地帯、低い地帯がより鮮明に見えてくる。これまでの知見から、タンパク質含有率に最も大きな影響を及ぼす要因は「土壌区分」であり、「タンパクマップ」においてもタンパク質含有率が高い地域や低い地域などはこの「土壌区分」を反映することが多い。ここから改善策を考える上での糸口が見えてくる。

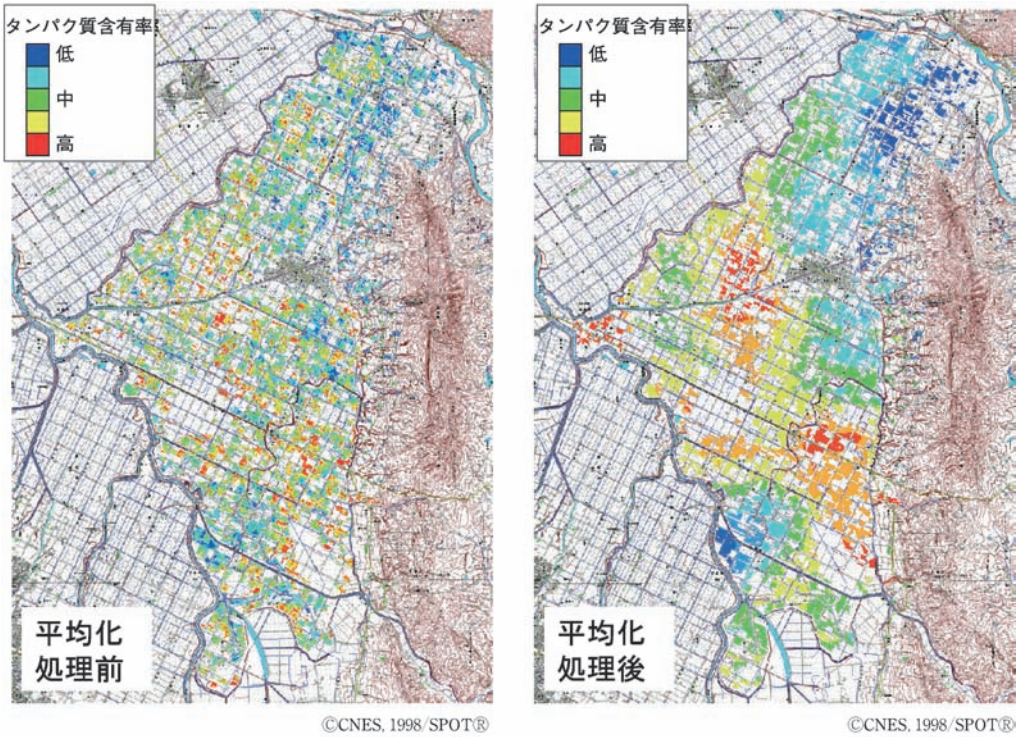


図17　平均化処理によるタンパクマップの表示の比較

中央農試から提案された対策例を表21に示した（「衛星リモートセンシングによる米粒タンパクマップの高度化と利活用技術（平成16年普及推進）」）。タンパク質含有率が高い地域は土壌に問題があることが多い。土壌図と重ね合わせれば、その要因が明確になる。この場合、個々の栽培管理や圃場管理で対応するには限界があるので、機会を捉えて地域全体で基盤整備の推進を図る（表21の区分Ⅰ、Ⅱ）。

タンパク質含有率の高い地域で、さらに周辺と比べて相対的に高い水田では、栽培管理の改善も優先すべきである（表21の区分Ⅰ）。その際にチェックすべきなのは、まずは基本技術（窒素施肥量の適正化、ケイ酸施用、側条施肥の導入、健苗育成、適期移植、栽植密度向上、水地温上昇対策、登熟中後期の水管理など）であり、稲わら処理について見直す必要があるかもしれない。タンパク質含有率は高いが、周辺と大差はない水田（表21の区分Ⅱ）でも、近傍にタンパク質含有率の低い水田があれば低タンパク質含有率化にチャレンジする価値はある。その際のチェックポイントも上の例と同様である。

タンパク質含有率の高くない地域で、周辺に比べると相対的に高い水田（表21の区分Ⅲ）では、根本的な土壌条件よりも栽培管理が高タンパク質含有率化の要因になっている場合が多い。基本技術や稲わら処理などの点検を行う必要がある。

表21　タンパクマップから抽出された要改善地点の特徴と改善方策の例

区分	タンパク	周辺との差	特　　徴	主な改善方策
Ⅰ	8％以上	+0.5%以上	タンパクは高く、さらに周辺に比べて相対的に高い	栽培管理の改善および基盤環境の改善
Ⅱ	8％以上	+0.5%未満	タンパクは高いが、周辺と大差ない	基盤環境の改善および栽培管理の改善
Ⅲ	8％未満	+0.5%以上	タンパクは高くないが、周辺に比べると相対的に高い	栽培管理の改善
Ⅳ	8％未満	+0.5%未満	タンパクは高くなく、周辺との差もあまりない	改善の優先度は低い

（衛星リモートセンシングによる米粒タンパクマップの高度化と利活用技術（平成16年普及推進））

⑶　収量の実績とあわせて考える

タンパク質含有率が高くて収量も高い場合は、窒素供給量が多すぎる可能性が高い。まずは、窒素施肥量の適正化（減肥）を検討してみる。改善技術として減肥のみを導入すると収量のみ低下する場合があるため、減肥とあわせて側条施肥割合を高めるなどの初期生育向上対策を励行する。また泥炭土であれば、浅耕代かき技術（「浅耕代かきによる泥炭地産米の低タンパク質含有率化技術（平成16年普及推進)」を小面積で試みる。

タンパク質含有率が高くて収量が低い場合は、不稔歩合が高い可能性がある。まずは本田の水管理を見直すことが必要と考えられるが、それに問題がなければ窒素施肥量の適正化、初期生育の向上対策を試みる。

6　「ゆめぴりか」の品質・食味管理目標に対応した栽培指標

「ゆめぴりか」の品質・食味管理目標は、①アミロース含有率19%以上、かつ、タンパク質含有率6.8%以下、②アミロース含有率19%未満、かつ、タンパク質含有率7.5%未満である。「ゆめぴりか」は品種特性としてアミロース含有率が低く、平年気象であればアミロース含有率が19%を超えることは少ないと考えられる。ゆえに、以降の栽培指標および栽培指針の検討は、①アミロース含有率19%未満、かつ、タンパク質含有率7.5%未満を目標値として設定した。

⑴　タンパク質含有率と窒素玄米生産効率および成熟期窒素吸収量の関係

図18に窒素玄米生産効率とタンパク質含有率の関係を示した。窒素玄米生産効率とタンパク質含有率の関係には年次変動が認められ、タンパク質含有率7.5%未満となる窒素玄米生産効率は55～60が目安と考えられた。

図19に成熟期窒素吸収量と窒素玄米生産効率との関係を示した。成熟期窒素吸収量の上限値は倒伏を考慮し10kg／10ａとした。なお、成熟期窒素吸収量10kg／10ａのときの窒素玄米生産効率は年次変動を加味すると55～60に相当する。ゆえにタンパク質含有率7.5%未満を

満たす成熟期窒素吸収量は10kg／10ａが妥当な値である。

図20にはタンパク質含有率と成熟期窒素吸収量の関係を示した。年次による変動はあるが、タンパク質含有率7.5%となる成熟期窒素吸収量は、近似曲線からはおおむね11kg／10ａと見積もられる。しかし、成熟期窒素吸収量10kg／10ａ以上では倒伏が助長されること、近似曲線の信頼区間を考慮し、食味水準の維持を最優先に安全を見越すと、成熟期窒素吸収量の上限値は10kg／10ａが妥当であると判断した。

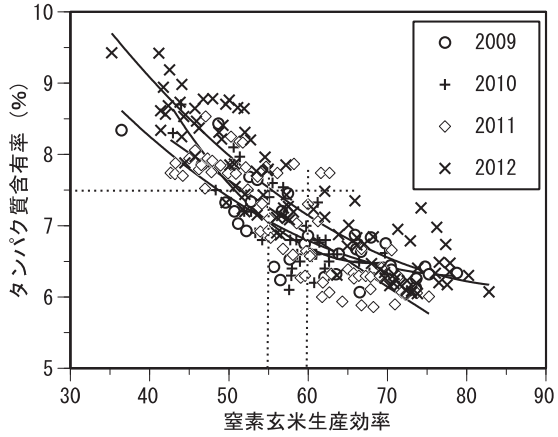


図18　窒素玄米生産効率とタンパク質含有率の関係
（2009－2012年　上川農試・中央農試）
＊窒素施肥量：６－12kg／10ａ（上川農試）
４－11kg／10ａ（中央農試）

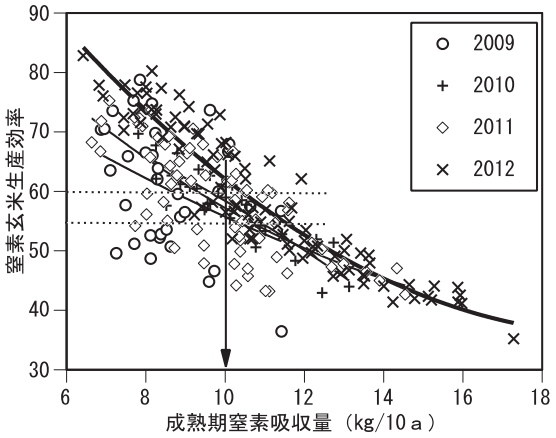


図19　成熟期窒素吸収量と窒素玄米生産効率の関係
（2009－2012　ゆめぴりか　上川農試・中央農試）

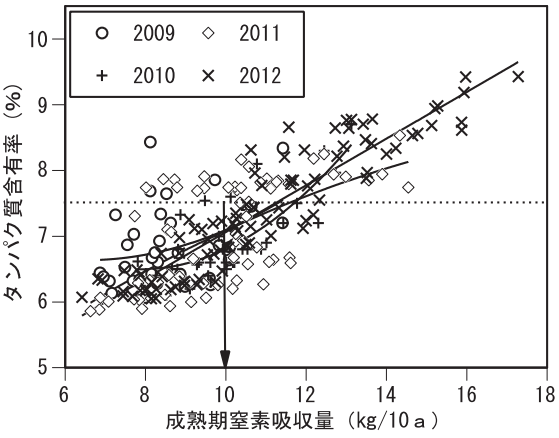


図20　成熟期窒素吸収量とタンパク質含有率の関係
（2009－2012　ゆめぴりか　上川農試・中央農試）

(2)　収量目標および収量構成要素の栽培指標

窒素玄米生産効率55～60、成熟期窒素吸収量10kg／10ａとしたとき、粗玄米重は550～600kg／10ａである（図21）。このときの精玄米重は520～560kg／10ａとなる（図22）。上川農試では560kgを達成することが可能である。収量が劣る中央農試では成熟期窒素吸収量10kg／10ａの時の精玄米収量が520kg／10ａをわずかに下回る。上川農試、中央農試の精玄米収量をそれぞれ560kg／10ａ、520kg／10ａとしたとき、これらの値は施肥ガイドに定められる地帯別基準収量（上川農試：570kg／10ａ、中央農

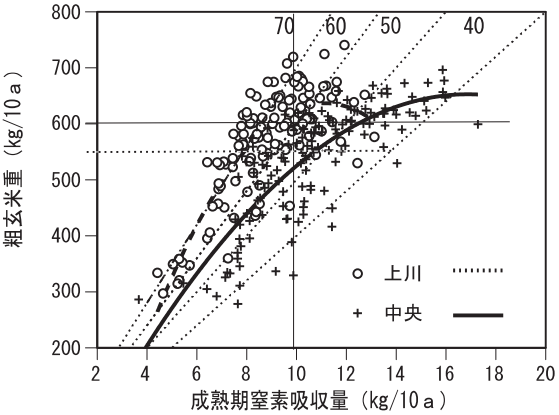


図21　成熟期窒素吸収量と粗玄米重の関係
（2009－2012年　ゆめぴりか　上川農試・中央農試）
＊窒素施肥量：０－12kg／10ａ（上川農試）
０－11kg／10ａ（中央農試）

試：540kg／10ａ）を10～20kg／10ａ下回る値である。

そこで、目標収量は食味水準を考慮し、地帯別基準収量から20kg／10ａを減じた値とした。すなわち、上川農試、中央農試における目標収量はそれぞれ550kg／10ａ、520kg／10ａとなる。

粗玄米重550～600kg／10ａの時、総籾数は28,000～32,000粒／㎡となる（図24）。このとき、穂数は580～720本／㎡が必要になる（図25）。ただし、穂数が650本／㎡を超える範囲では倒伏が助長されるので、目標穂数は580～650本／㎡とした。

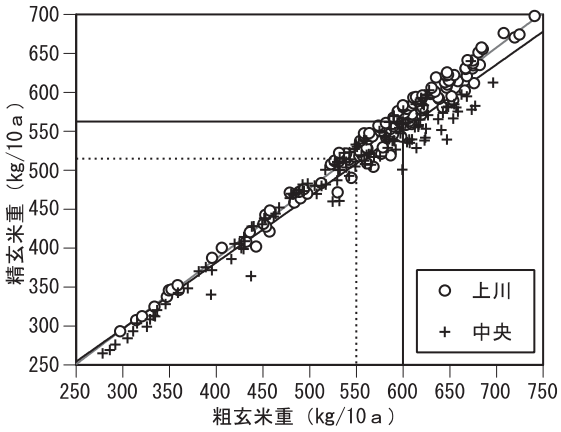


図22　粗玄米重と精玄米重の関係

（2009－2012　ゆめぴりか　上川農試・中央農試）

＊窒素施肥量：０－12kg／10ａ（上川農試）

０－11kg／10ａ（中央農試）

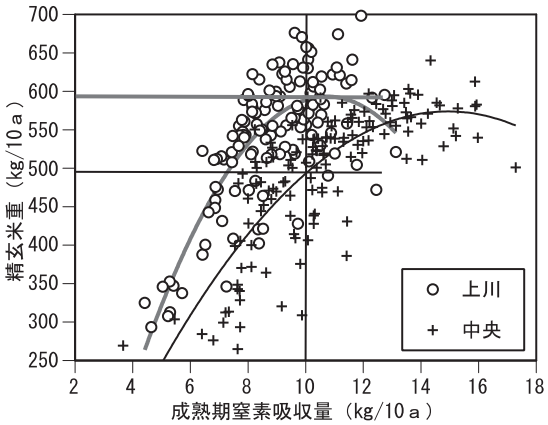


図23　成熟期窒素吸収量と精玄米重の関係

（2009－2012　ゆめぴりか　上川農試・中央農試）

＊窒素施肥量：０－12kg／10ａ（上川農試）

０－11kg／10ａ（中央農試）

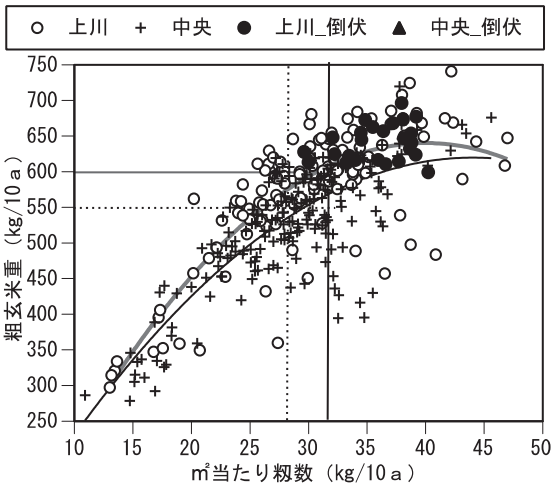


図24　㎡当たり籾数と粗玄米重の関係

（2009－2012　ゆめぴりか　上川農試・中央農試）

＊窒素施肥量：０－12kg／10ａ（上川農試）

０－11kg／10ａ（中央農試）

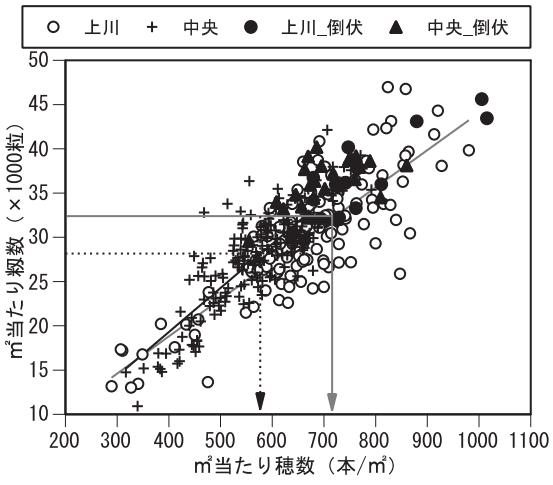


図25　㎡当たり穂数と籾数の関係

（2009－2012　ゆめぴりか　上川農試・中央農試）

＊窒素施肥量：０－12kg／10ａ（上川農試）

０－11kg／10ａ（中央農試）

図26にブランド米生産に向けた「ゆめぴりか」の栽培管理概略図をまとめた。「ゆめぴりか」が本格的に作付けされ９年が経過した。その間、生産現場でも「ゆめぴりか」の栽培特性を把握し、特性に合わせた栽培管理が行われるようになってきた。その結果、基準を満たす「ゆめぴりか」の出荷量は安定してきている。市場評価が高まり、さらに作付け面積の拡大が見込まれている。

「ゆめぴりか」のブランド化に向けて、品質・食味の年次や地域間における変動を縮小し、高位平準化を図るための技術指針として、アミロース含有率19％未満かつタンパク質含有率7.5％未満を目標に栽培指標の設定を行った。

タンパク質含有率7.5％未満を満たす窒素玄米生産効率は55以上、成熟期窒素吸収量は10kg／10ａ以下である。品質・食味管理目標を達成するための目標精玄米収量は地帯別基準収量から20kg／10ａ減じた値が妥当である。目標収量に対応した総籾数は28,000～32,000粒／㎡、穂数は580～650本／㎡である。

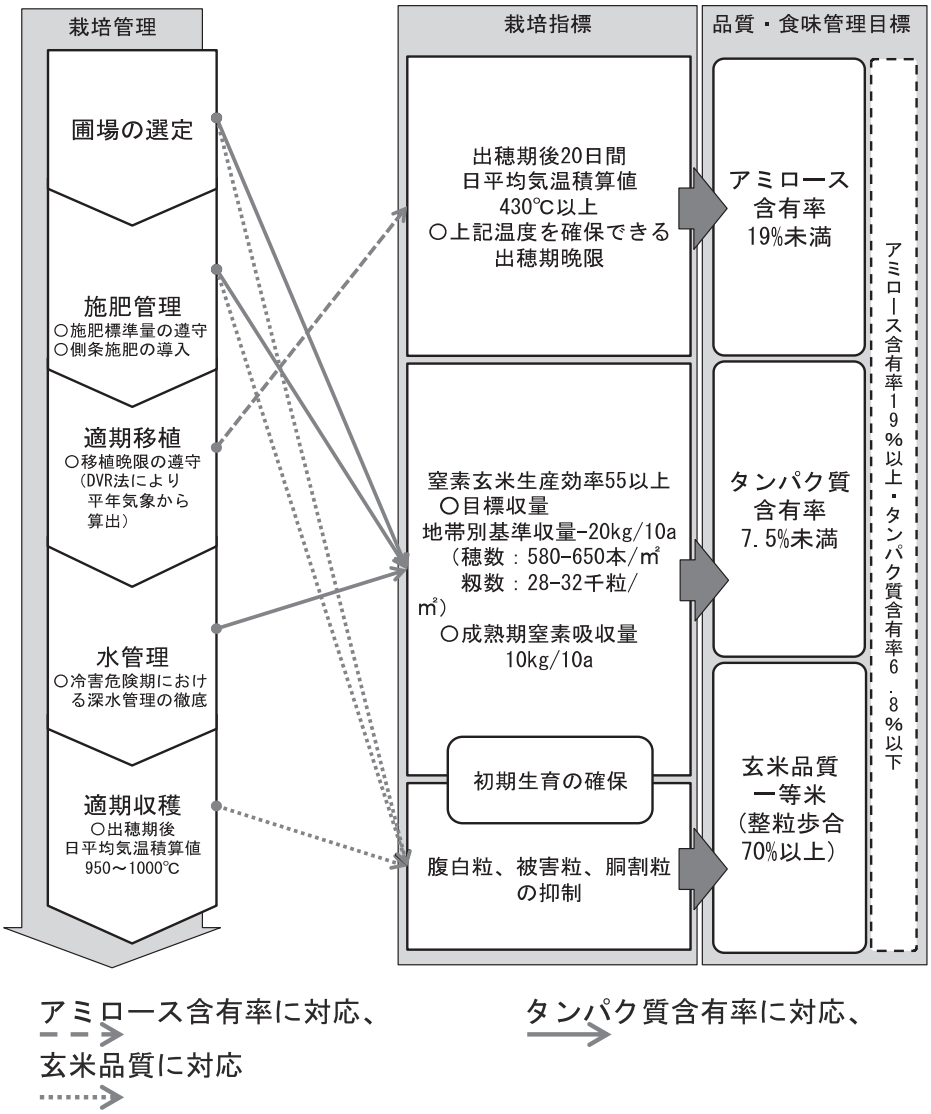


図26　ブランド米生産に向けた「ゆめぴりか」の栽培管理概略図

7 高密度播種中苗を利用した苗箱数削減による省力化

水稲生産現場では高齢化や農家戸数の減少が進む中、一戸当たりの栽培面積が増加し、水稲栽培の省力化が求められている。育苗・移植作業の省力化では、苗箱当たりの播種量を慣行の２倍にし、移植時のかきとり量を減らすことで苗箱数の削減を図る高密度播種中苗を利用した栽培法が確立された（「苗箱数削減のための高密度播種中苗によるマット苗移植栽培（平成31年指導参考）」。

(1) 高密度播種がマット苗移植機のかきとり量、苗形質および収量に及ぼす影響

播種量を１箱当たり400mℓとした高密度播種中苗を用いて、市販移植機のかきとり量を検討した。その結果、最小設定（横送り26回×縦取り９㎜）で植え付け本数は4.6本／株と適正数を確保でき、０～１本株率も３％台に収まった（表22）。

表22　異なる播種量の苗に対する移植機のかきとり量設定と植え付け本数

項目	移植機設定/本数平均値、各割合	慣行中苗（200mL/箱）		高密度播種中苗（400mL/箱）	
		（通常）	（参考）	（参考）	（本技術）
移植機設定	横送り回数（回）	20	26	20	26
	縦取り量（㎜）	11	9	11	9
植え付け本数	平均値（本/株）	3.9	2.3	7.5	4.6
	2本以下の割合（%）	13.3	56.7	3.3	13.3
	1本以下の割合（%）	0.0	30.0	0.0	3.3

注１　市販のマット苗移植機（北海道仕様、標準植え付け爪、横送り回数３水準（18、20、26回）、縦取り量10水準（８～17㎜））を使用した

高密度播種中苗（播種量400mℓ／箱）は植物成長調整剤（ウニコナゾールＰ液剤）の処理、窒素追肥量を慣行中苗（同200mℓ／箱）の２倍（４ｇ／箱）、育苗日数を慣行中苗と同じ30～35日とすることで、葉齢と乾物重は慣行中苗に比べてやや劣るものの、中苗の栄養診断基準値をクリアし実用的な苗形質を確保できた（表23）。

表23　高密度播種中苗の移植苗の形質

年次	土壌	処理区	苗長（cm）	葉齢（枚）	茎葉乾物重（g/100本）	窒素含有率（%）
2017	グライ低地土	慣行中苗	9.8	2.9	2.0	3.9
		高密度播種中苗	13.2	3.2	1.8	4.4
	泥炭土	慣行中苗	10.8	2.7	1.9	4.2
		高密度播種中苗	14.0	3.4	1.9	4.0
2018	グライ低地土	慣行中苗	13.3	3.1	2.1	3.7
		高密度播種中苗	13.5	2.7	1.7	4.3
	泥炭土	慣行中苗	13.1	3.2	2.2	4.0
		高密度播種中苗	11.8	2.7	1.7	4.2
平均		慣行中苗	11.8	3.0	2.0	3.9
		高密度播種中苗	13.1	3.0	1.8	4.2
対照区比（対照区を100とした比）		慣行中苗	100	100	100	100
		高密度播種中苗	112	102	88	107

注１　供試品種は「ななつぼし」、慣行中苗は30日苗、高密度播種中苗は追肥窒素量４ｇ／箱で35日苗を抜粋。

高密度播種中苗の移植後の水稲生育、収量および産米品質は慣行中苗とほぼ同等であった（表24）。

表24　高密度播種中苗の移植苗の生育、収量および品質

年次	土壌	処理区	幼穂形成期		出穂期	精玄米重		タンパク質含有率	整粒歩合
			茎数（本/㎡）	窒素吸収量（kgN/10a）	（7月1日基準日）	（kg/10a）	左比	（%）	（%）
2017	グライ低地土	慣行中苗	504	2.3	30.0	639	100	6.4	74.4
		高密度播種中苗	546	3.3	30.0	648	101	6.6	72.5
	泥炭土	慣行中苗	369	1.5	31.5	609	100	6.8	72.5
		高密度播種中苗	437	2.1	31.5	589	97	6.7	73.5
2018	グライ低地土	慣行中苗	371	1.6	35.5	470	100	6.2	68.7
		高密度播種中苗	395	1.8	35.5	471	100	5.9	73.3
	泥炭土	慣行中苗	295	1.3	37.0	478	100	6.5	66.9
		高密度播種中苗	315	1.4	37.8	535	112	6.8	67.3
平均		慣行中苗	384	1.7	33.5	549	100	6.5	70.6
		高密度播種中苗	423	2.1	33.7	560	102	6.5	71.6
対照区比（対照区を100とした比）		慣行中苗	100	100	100	100		100	100
		高密度播種中苗	110	126	101	102		100	102

注１　供試品種は「ななつぼし」、慣行中苗は30日苗、高密度播種中苗は追肥窒素量４ｇ／箱、35日苗を抜粋。

⑵　高密度播種中苗と慣行中苗との比較

表25に高密度播種中苗と慣行中苗との比較表を示した。高密度播種中苗を用いた苗箱数の削減効果の試算では栽植密度25本／㎡の場合、慣行中苗の28箱／10ａから約18箱／10ａと30%以上の削減が可能であった。また、本技術は現在使用している中苗用の播種機、移植機を設定変更のみで使用できる利点がある。

なお、本技術では苗の徒長を抑制するため植物成長調整剤の使用を基本とし、さらに育苗管理は徒長に留意する。

表25　高密度播種中苗と慣行中苗との比較

	項目	慣行中苗	高密度播種中苗：苗箱数の削減を図る場合に利用する。
導入	10a当たり箱数目安	28箱（25株/㎡時、本試験事例）	18箱（25株/㎡時、慣行中苗の64%）
	10a当たり種子量	2.8kg（本試験事例）	3.6kg（本試験での算出値）
	想定する移植機設定	横送り20回×縦取り11mm（本試験での設定値）	横送り26回×縦取り9mm
作業	種子予措	－	苗の徒長抑制のため植物成長調整剤の使用を基本とする。
	播種量（催芽籾）	150～200mL/箱	400mL/箱
	覆土厚さ	0.5～0.7cm	0.7cm
	覆土資材	（資材試験等により育苗適応性を確認した資材）	粒状の人工覆土を推奨する。
	窒素追肥	苗の生育および活着を促進するため1.0葉期～1.5葉期と、2.0葉期～2.5葉期に苗の生育に応じて窒素肥料を追肥すること。なお追肥量は1マット当たり成分量で1g（㎡当たり6g）程度とする。	苗の生育および活着を促進するため1.0葉期～1.5葉期と、2.0葉期を過ぎた頃に苗の生育に応じて窒素肥料を追肥すること。なお追肥量は1マット当たり成分量で2g（㎡当たり12g）程度とする。
育苗の目安	育苗日数	30～35日（機械移植基準）	30～35日（35日に近い方が乾物重と葉齢を改善できる。）
	苗長	10cm～12cm（機械移植基準）	10cm～12cm
	葉齢	3.0～3.5葉（機械移植基準）	2.6葉以上を確保すること。3.0～3.5葉が望ましい。
	乾物重	2g/100本以上（機械移植基準）	1.6g/100本以上を確保すること。2g/100本以上が望ましい。
	苗窒素含有率	4.0～4.5%（栄養診断基準）	4.0～4.5%
栽培上の留意点			①植物成長調整剤（ウニコナゾールP液剤）は使用方法の通り処理する。 ②覆土の持ち上がりに留意する。必要時は覆土落としを実施する。 ③灌水は慣行中苗とほぼ同等とし、徒長に繋がる過灌水と高温に留意する。 ④移植時苗は乾物重がやや小さいため低温気象下での移植を避ける。 ⑤初期分げつが不足すると慣行中苗より収量が劣りやすいので、初期生育の確保に努める。

8 高窒素成分肥料の利用による水稲側条施肥の省力化

水稲の側条施肥は生育確保や収量性、産米品質の改善等に有効である一方、移植作業の効率化や軽労化を妨げる一要因とされる。そこで、窒素の溶出が早い高窒素成分肥料を利用した側条施肥作業の省力化が提示された（「高窒素成分肥料の利用による水稲側条施肥の省力化（平成28年指導参考）」）。

(1) 高窒素成分肥料の窒素溶出パターン

試験した高窒素成分肥料は窒素成分が35%（うち30%がリニア型15日タイプの被覆尿素由来、５%が速効性肥料由来）、リン酸14%、カリは未含有の資材である（現在、窒素成分34%－リン酸13%－カリ０%で販売）。

本肥料は慣行の側条肥料（窒素成分14%、リン酸14%、カリ14%）に比べて窒素成分が2.5倍も高いことから、側条施肥時の使用量（肥料運搬数）を60%削減でき、また移植時の側条肥料の補充回数を半減できることが見込まれた（表26）。

表26　体積当たりの窒素量ならびに想定される側条肥料の使用量と補充回数

供試資材	窒素成分（%）	容積重（kg L^{-1}）	10 L 容器に搭載できる窒素量（kg N）	2 ha 圃場での使用量（袋）	2 ha 圃場での補充回数（回）
慣行肥料	14	0.835	1.17	28.6	8.8
高窒素成分肥料	35（250）	0.694（83）	2.43（208）	11.4（40）	4.2（48）

注１　側条施肥ホッパの容量が13 L の移植機（６条）を利用し、側条施肥窒素量4.0kg N／10 a の条件での理論値。１袋は20kg入りとした。

注２　下欄のカッコ内は慣行肥料の値を100とした高窒素成分肥料の指数。

図27に湛水培養試験における積算温度と高窒素成分肥料の窒素溶出率の関係を示した。高窒素成分肥料の窒素溶出はいずれの温度でも速やかに進み、積算温度が500℃・日で90%を超えた。このため、本肥料は産米品質の低下に繋がる期間（幼穂形成期７日後以降、中苗「ななつぼし」の場合は801℃・日以上）よりも明らかに早く、大半の窒素を溶出すると判断された。

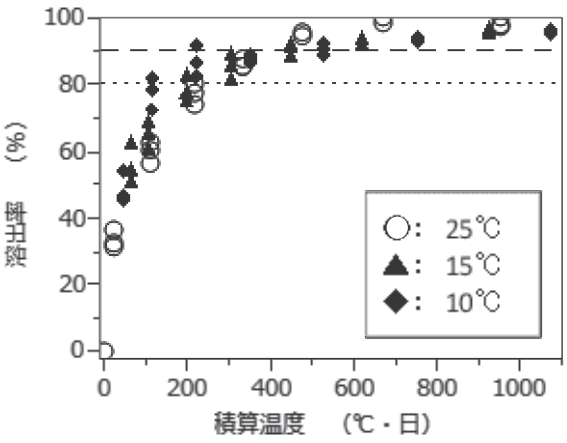


図27　異なる培養温度条件における高窒素成分肥料の窒素溶出率の推移（湛水静置培養）

(2) 高窒素成分肥料の水稲側条施肥による施用効果

表27に水稲の側条施肥に高窒素成分肥料（試験区）と慣行肥料（対照区）をそれぞれ用いた圃場試験の結果を示した。試験区の水稲は幼穂形成期茎数が382本／㎡（対照区比98）、穂数は627本／㎡（同100）で対照区と同等の生育であった。さらに、試験区の精玄米重は592kg／10ａ（対照区比101）、タンパク質含有率は7.1％（同102）、精粒歩合は72.8％（同100）と同等であったことから、水稲の側条施肥において高窒素成分肥料は慣行肥料と同等の施用効果を発揮できる。

表27　生育、収量ならびに産米品質の比較

処理	施肥資材と施肥量（kgN／10ａ）		茎数（本／㎡）		穂数（本／㎡）	成熟期窒素吸収量（kgN／10ａ）	精玄米重（kg／10ａ）	タンパク質含有率（％）	整粒歩合（％）
	全層	側条	幼形期	出穂期					
対照区	慣行肥料 4 or 6	慣行肥料 3	389	689	624	12.1	584	7.0	72.6
試験区	慣行肥料 4 or 6	高窒素成分肥料　3	382 （98）	678 （98）	627 （100）	12.8 （106）	592 （101）	7.1 （102）	72.8 （100）

注１　「ななつぼし」の中苗、2014－2015年の泥炭土とグライ低地土圃場の平均値。
注２　施肥量は合計窒素量を泥炭土圃場７kgN／10ａ、グライ低地土９kgN／10ａとした。側条施肥窒素量を３kgN／10ａとし、残りを全層施肥した。いずれもリン酸とカリは未調整。
注３　下欄のカッコ内は慣行肥料の値を100とした試験区の指数。

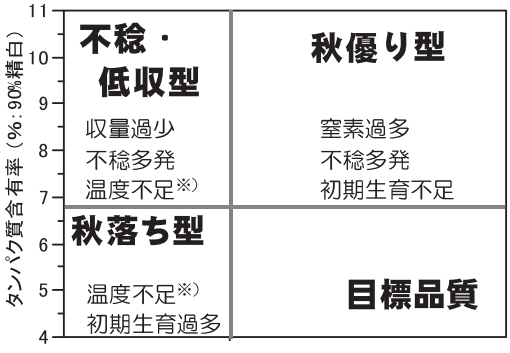
以上から、高窒素成分肥料の利用により側条施肥時の肥料繰り出し量を削減でき、圃場への肥料運搬数や施肥機への補充回数の大幅な削減による省力化が可能である。

なお、高窒素成分肥料は窒素の溶出が早い被覆尿素（25℃で80％の窒素が溶出する日数が15日以内）から成る資材を選択し、また側条施肥機を肥料成分量や容積重を反映させた側条施肥量に調整する。

9 酒造好適米「吟風」、「彗星」の栽培特性と品質改善対策

酒造好適米には一般の主食用米とは異なる形質が求められる。品質実態調査の結果、「吟風」と「彗星」のタンパク質含有率や千粒重、心白発現は年次間や産地間の変動が大きく、優先すべき改善点はタンパク質含有率および千粒重であった（図28）（「酒造好適米「吟風」「彗星」の栽培特性と品質改善対策（平成21年普及推進）」）。

品質目標は、「吟風」ではタンパク質含有率6.8％未満、千粒重24ｇ以上、「彗星」ではタンパク質含有率6.8％未満、千粒重25ｇ以上とする。これに対応する生育指標は、いずれの品種



※）　出穂前24日以降30日間最高最低平均気温が低いことを示す

図28　産米品質区分から推定される品質低下要因（模式図）

も幼穂形成期茎数が520本／㎡、穂数が500本／㎡であり、また総籾数は「吟風」28千粒／㎡、「彗星」27千粒／㎡、精玄米重は「吟風」590kg／10ａ、「彗星」610kg／10ａとした（表28）。

表28　道産酒造好適米の品質目標と生育指標ならびに対応する栽培技術

			吟　風	彗　星
品質目標	白米タンパク質含有率(%)		6.8%未満（90%精白時）	
	千粒重		24ｇ以上	25ｇ以上
生育指標	生育期節	出穂期	上川中央部：7月6半旬頃 空知中南部：7月6半旬～8月1半旬	
	主要形質	幼穂形成期茎数	520本／㎡	
		穂数	500本／㎡	
		総籾数	28千粒／㎡	27千粒／㎡
		精玄米収量	590kg／10ａ	610kg／10ａ
	窒素吸収量	幼穂形成期	2～4kgN／10ａ	
		出穂期	7.5kgN／10ａ	
		成熟期	10.0kgN／10ａ （14kgN以上の時、倒伏が懸念）	
対応する栽培技術	移植時期		上川中央部：5月6半旬頃（成苗） 5月20日頃（中苗） 空知中南部：5月5半旬～6半旬（成苗）	
	施肥量		一般うるち米の施肥標準に準じる	
	タンパク質含有率の低減が優先されるとき	側条施肥	初期生育の向上やタンパク質含有率低減に有効。ただし千粒重が減少する場合があり留意する。	
		栽植密度	初期生育不良の時、栽植密度の増加は初期生育の向上やタンパク質含有率低減に有効。ただし千粒重が減少する場合があり留意する。	
	冷害危険期の深水管理		不稔の抑制はタンパク質含有率低減に極めて有効。不稔対策の徹底が必須である。 ※）品質目標のため、不稔歩合は「吟風」15%未満、「彗星」16%未満が目安。	
	収穫適期		出穂後の平均気温積算値 1050～1100℃	

（酒造好適米「吟風」「彗星」の栽培特性と品質改善対策（平成21年普及推進））