



水田土壌のカリ収支を踏まえた 水稲のカリ適正施用指針

～ 低地土の水田に広く適用できるカリ減肥の指針 ～



マニュアル本編

農林水産省委託プロジェクト研究
「生産コストの削減に向けた効率的かつ効果的な施肥技術の開発」
(2015～2019)

適正施肥技術コンソーシアム

1. はじめに

肥料三要素の一つであるカリ（ K_2O ）は、日本では鉬石が産出されず全量を輸入に依存しています。カリ肥料はリン酸と同様に、2008年に国際価格の急騰を受けて値上がりした後、一旦は落ち着いたものの、世界的な需要拡大を背景に今後も高値基調での推移が予想されています。そのため、カリ肥料の過剰施用を避け適正な施用に務めることは、生産コストの削減と共に食料安定供給の上でも重要です。

多くの都道府県で、水稻のカリ施肥基準量は8～11（ $kg K_2O / 10 a$ ）程度に設定されています。また土壌診断では酢酸アンモニウムで抽出される交換態カリを指標に、適正域の下限が15～20、上限が30～40（各 $mg K_2O / 100g$ ）程度に設定されており、上限を越えると減肥の対象とされる場合があります。カリが欠乏した場合、下位葉からの黄化や葉先枯れ、生育阻害が生じます（図1-1、図1-2）が、カリレベルが低い土壌でも水稻生育に影響がないことも多く、交換態カリが適正域にある場合でも減肥できる可能性があります。

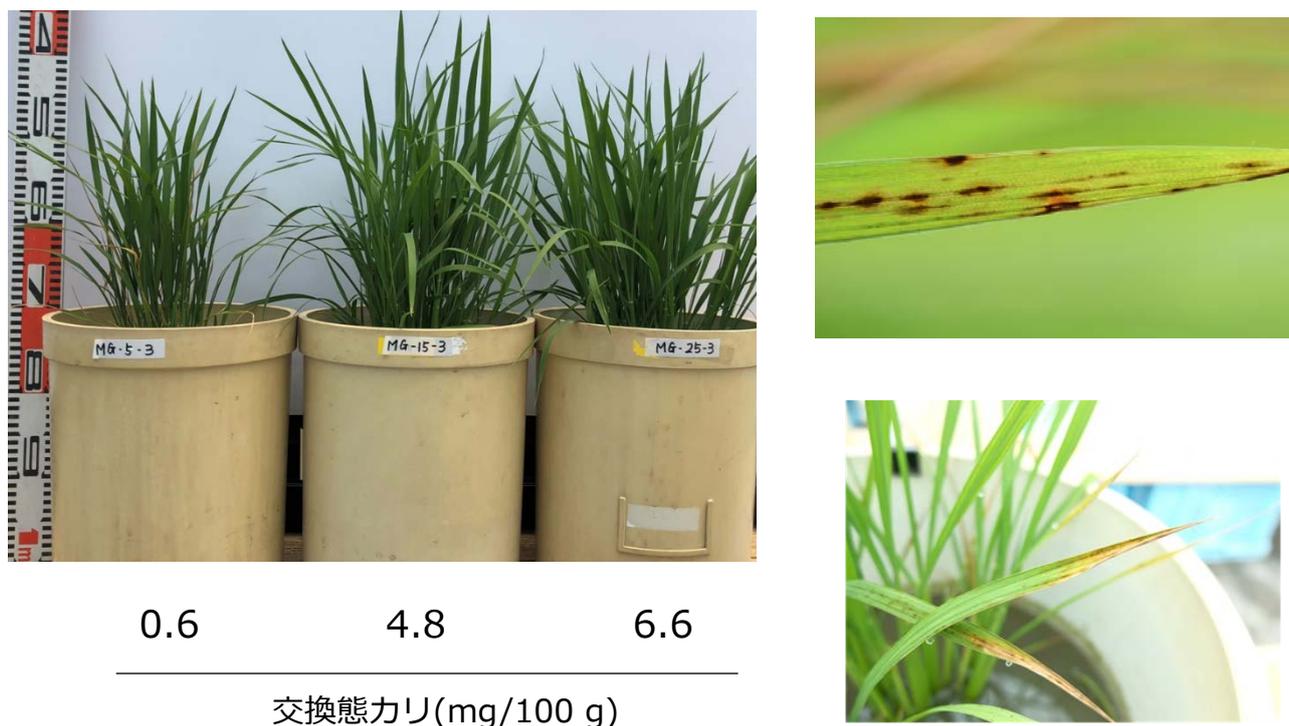


図 1-1 ポット試験でのカリ欠症状（左：コシヒカリの生育（カリ無施肥）、右上：葉に生じた褐色斑）、右下：葉先から生じる黄化。珪砂と混合して交換態カリを低下させた土壌で、脱塩水を灌水してカリ無施肥で栽培した。

そこで、農林水産省委託プロジェクト「生産コストの削減に向けた効率的かつ効果的な施肥技術の開発」では、水稻の新たなカリ減肥指針を示すための研究が行われました。この研究の主眼点は、用水からのカリ供給など水田のカリ収支に関わる因子を詳細に調べ、信頼性の高い減肥指針を作ることです。

本プロジェクトは農研機構中央農業研究センターを代表機関とし、山形県、新潟県、三重県、宮崎県および鹿児島県の公設農試と普及支援機関が課題に参画して、各地の低地土の水田においてカリ減肥栽培試験や用水の水質調査を行い、県ごとにカリ施肥の新たな指針案を策定しました。

本冊子ではそれらを概括し、低地土の水田に広く適用できる減肥指針として提示すると共に、その考え方を示しました。本冊子は公設機関の普及担当者や研究者を主な読者と想定しています。読者におかれましては、水稻の施肥管理指導や、カリ施肥指針改定に向けた試験研究に活用いただければ幸いです。

また、本指針の元となった各県の試験結果と県ごとの指針案、ならびに付随的な研究成果を別冊の参考資料「水稻カリ減肥指針の策定に関する資料集」にまとめましたので、参考としてご活用ください。

2. 低地土の水田に広く適用できるカリ減肥の指針

本指針はカリ欠乏による**生育不良の回避を最重視した、低地土の水田に広く適用できる減肥指針**です。その策定の考え方や背景となるデータを5ページ以降に示しました。

【水稻のカリ施用に関する汎用の指針】

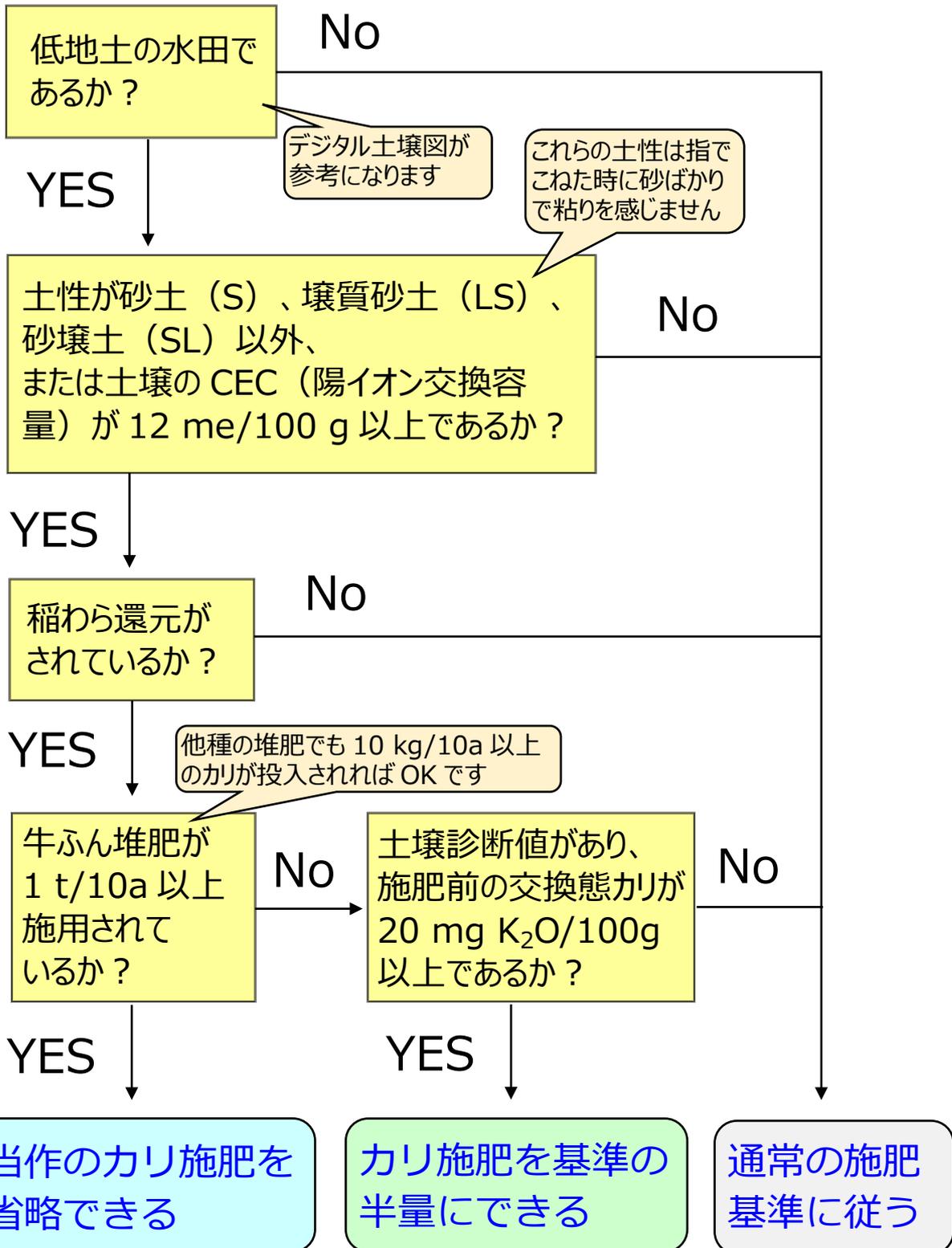
稲わらが還元されており交換態カリが $20 \text{ mg}/100 \text{ g}$ 以上^{a)}の低地土^{b)}の水田では、カリ施肥を標準の半量にできる。稲わら還元と併せて牛ふん堆肥が $1 \text{ t}/10\text{a}$ ^{c)}以上施用される場合、当分のカリ施肥を省略できる。

※ 土性^{d)}が砂土 (S)、壤質砂土 (LS)、砂壤土 (SL) のいずれかである土壌は、CEC (陽イオン交換容量) が $12 \text{ me}/100 \text{ g}$ ^{e)}以上の場合を除き、本指針の対象としない。

- a) 作付前 (施肥前) の値です。
- b) 本指針を策定する際、低地土以外の土壌 (黒ボク土など) では調査を行わなかったため、指針は低地土のみを対象とします。低地土は沖積堆積物 (川などが運んだ母材) からなる土壌で、水田の約7割を占めます。低地土には「低地水田土」「グライ低地土」「灰色低地土」「褐色低地土」「未熟低地土」があり、その分布はデジタル土壌図 (農研機構の Web サイト「日本土壌インベントリ」<https://soil-inventory.dc.affrc.go.jp/>) やスマートフォン等のアプリ「e-土壌図Ⅱ」で公開) ことができます。
- c) カリ含量が1% (現物あたり) の堆肥を $1 \text{ t}/10\text{a}$ 以上施用した場合、 $10 \text{ kg}/10\text{a}$ 以上のカリが上乗せで投入されます。堆肥に含まれるカリの肥効率 (作物が吸収できる割合) は化学肥料と同等なので、カリ無施肥栽培が可能になります。カリ投入量が確保できれば、牛ふん以外の堆肥や $1 \text{ t}/10\text{a}$ 以下の施用でもカリ施肥を省略できます。
- d) 土性とは土の粒子の細かさの度合いです。粗粒質の土壌 (扇状地の砂質土など) はカリの保持能が低く溶脱による損失が懸念されるため、減肥の対象から外しました。砂土 (S)、壤質砂土 (LS)、砂壤土 (SL) は指でこねると、ほとんどが砂でねばりを感じません。これらは包括的土壌分類第一次試案 (2011) や農耕地土壌分類第三次改訂版 (1995) で分類名に「粗粒質」が付く土壌に概ね対応します。
- e) CEC の単位には「 $\text{me}/100 \text{ g}$ 」 (ミリグラム当量/100 g) 以外に「 $\text{meq}/100 \text{ g}$ 」「 $\text{cmol}(+)/\text{kg}$ 」「 cmol_c/kg 」の書き方がありますが、数値は全て同じで読み替えられます。

「汎用の指針」 フローチャート

Start !



※ 以下は必要に応じてご参照ください

3. 「汎用の指針」策定の考え方

以下の1)～5)の考え方に基づいて指針を策定しました。

1) 水稲のカリ欠乏による生育不良の回避を最重視した減肥指針とする。

本プロジェクトで各県が行った水稲の減肥栽培試験では、カリ無施肥を3～4年継続してもほとんどの水田で収量は標準施肥区と変わらず、品質にも影響しませんでした。既存の減肥試験でも、カリ無施肥または大幅な減肥による栽培でも水稲生育に問題がない場合が多く見られます。

しかし本指針は低地土の水田で広く活用されることを想定し、カリ欠乏による減収の危険の回避を最重視しました。そのため、最大限の減肥を行うような指針とはしていません。以下2)～4)の水田のカリ収支計算や交換態カリ基準値なども、カリ欠乏の回避を最重視したものにしています。

2) 水田のカリ収支をマイナスにしない施肥管理を行う。

本プロジェクトでは水田からのカリの収奪（マイナス）を避け、持続性のある減肥指針を策定するため、水田のカリ収支を用水からの供給も含めて詳しく調べました。その結果、明らかになった水田のカリ収支は模式図（図3-1）と下記①から⑦のようにまとめられます。カリ収支には稲わら還元の有無が決定的な影響を及ぼし、稲わらが持ち出される場合は大幅な収奪となるため、本指針による減肥は稲わら還元を前提とします。

稲わらが還元される場合、籾による持ち出し量を施肥と用水からのカリで補えれば、水田のカリ収支はマイナスになりません。図3-1のモデルでは用水からのカリ供給（溶脱を差し引いて）を1 kg/10aとして、カリ施肥量が3 kg/10aあれば収支は±0になります。

水田への堆肥施用で最も一般的に用いられる牛ふん堆肥について、地力増進基本指針（2008）では基準量（標準的な施用量）は0.3 t/10aとなっています。都道府県の施用基準量は多くの場合1 t/10a程度です。牛ふん堆肥1 t/10aが施用されれば、下記⑦のように10 kg/10a以上のカリが投入されます。

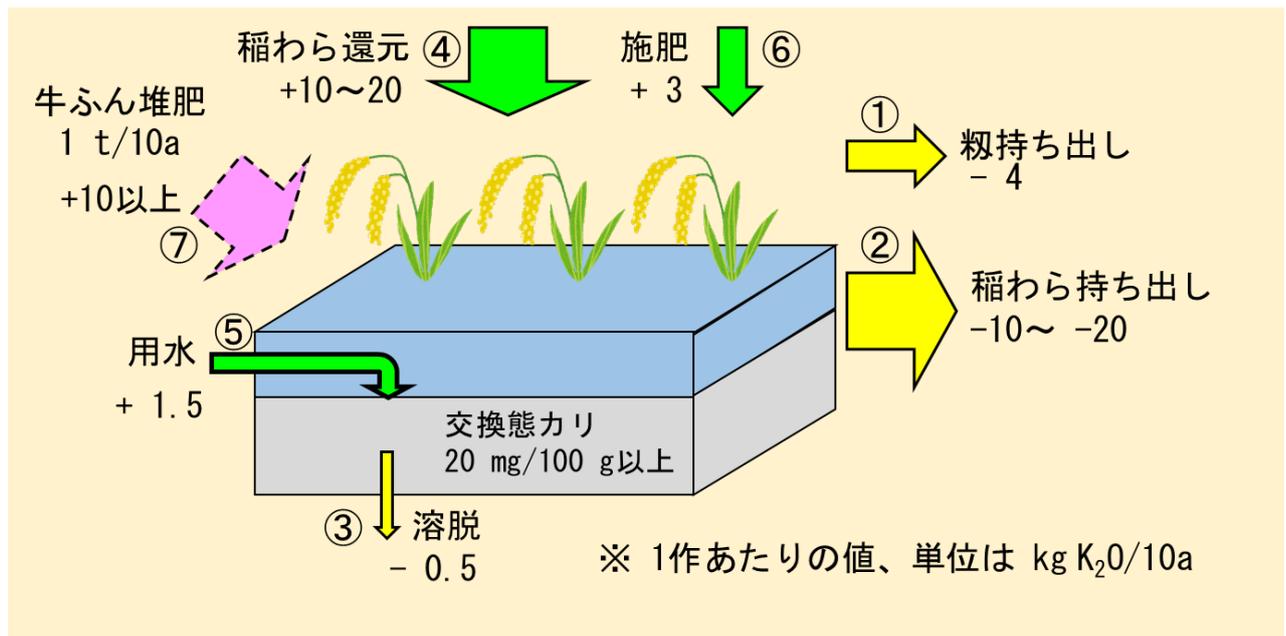


図 3-1 水田のカリ収支（上記①～⑥が成り立って収支が±0 となるモデル。⑦の堆肥施用が行われれば⑥の施肥をゼロにしても 10 kg/10a 以上のプラスとなる。）

① 籾の持ち出し： **-4 kg/10a**

籾によるカリの持ち出し量は概ね 2.5~4 kg/10a なので高めの数値を取りました。

② 稲わらの持ち出し： **-10~-20 kg/10a**

稲わら還元される際の投入量④と同量であり、稲わら還元されれば相殺されますが稲わらが持ち出されれば 10 kg/10a 以上のマイナスとなります。

③ 溶脱： **-0.5 kg/10a**

水田で実測したカリの溶脱量は 0.1~0.7 kg/10a 程度で、用水から供給されるカリの 1 割から 3 割でした。本指針では用水中のカリの 1/3 が溶脱すると見て、下記⑤で見積もった用水からのカリ供給量を元に 0.5 kg/10a としました。ただし砂質で CEC の小さい土壌は、カリが溶脱で失われる恐れがあるため減肥の対象としません。

④ 稲わらの還元： **+10~+20 kg/10a**

稲わらのカリ濃度は 15~25 g/kg 程度、重量は籾重と同程度ですがいずれもばらつきが大きいです。稲わら重を 600~800 kg/10a とすると、施用によるカリ投入量は概ね 10~20 kg/10a です。

⑤ 用水からの供給 : +1.5 kg/10a

各県の用水のかり濃度は概ね 1.5～3.5 mg /L の範囲でした。また水田で土壌を下方浸透する水の量は一作当たり 300～600 t/10a（残りは畦畔などから流出するため、土壌へのかり供給源とは見なさない）でした。下方浸透水量を 600 t/10a、かり濃度を 2.5 mg/L とすると 1 作あたりの供給量は 1.5 kg/10a となります。

⑥ かり施肥量 : +3 kg/10a

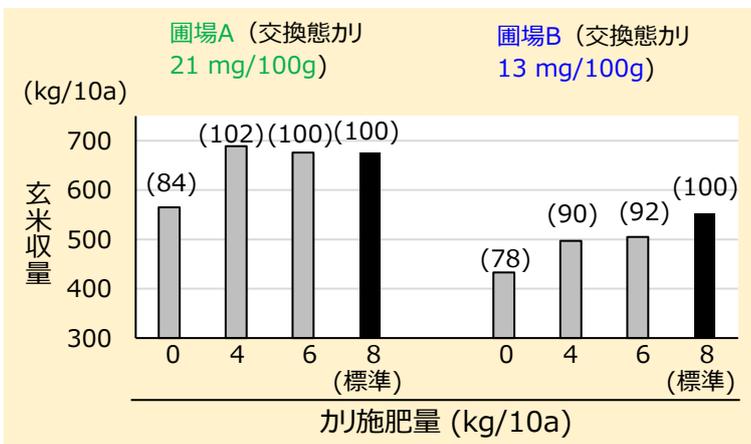
上記①から⑤を合計すると 3 kg/10a のマイナスとなるので、これを施肥で補えば水田のかり収支は均衡になります。都道府県の水稲のかり施肥基準は 8～11 kg/10a とされている場合が多いですが、これを半量にしても 3 kg/10a 以上の施肥がなされるため、収支はプラスになります。

⑦ 堆肥からの供給 : +10 kg/10a 以上（牛ふん堆肥 1 t/10a 施用の場合）

堆肥の成分はばらつきが大きいです。既存のデータからは牛ふん堆肥のかり濃度の平均値（乾物あたり）は 30 g/kg 程度、含水率は 50 %程度です。かり濃度を低めに 20 g/kg と見ても 1 t/10a の施用で 10 kg/10a のかりが投入されます。各県の試験でも、牛ふん堆肥 1 t/10a の施用で 20 kg/10a 程度のかりが投入されました。

3) 水稻の収量とカリ吸収量が確保できる交換態カリ（20 mg/100g）を減肥の条件とする。

従来から水田土壌の交換態カリの適正域は 15～20 mg/100 g 以上とされてきました。本プロジェクトでも、交換態カリが 21 mg/100 g ある山形県の圃場（図 3-2 の圃場 A）ではカリ施肥を標準の半量（4 kg/10a）にしても収量は減らなかったのに対し、13 mg/100 g と低い圃場（同、圃場 B）では減肥により収量低下が見られました。そこで収量確保の観点から、堆肥が施用されていない水田での減肥は交換態カリが 20 mg/100 g 以上の場合に限定することとしました。



交換態カリの少ない圃場 B で減肥を行うと収量減。

図 3-2 交換態カリ量の異なる 2 圃場での減肥栽培実証試験結果（山形県）

※カッコ内の数字は収量指数（標準施肥区を 100）。2019 年の調査。

また新潟県と三重県では水稻が吸収する交換態カリ量を踏まえ、交換態カリが 15～22 mg/100 g 以上の場合に減肥可能とする指針案を提示しました（表 3-1）。この考え方に照らしても、20 mg/100 g は基準値として妥当と考えられます。これより低い場合は交換態カリを増やす必要があるため減肥の対象外とします。20 mg/100 g を減肥可能の指標とする考え方は新良ら（2014）の手引きでも提示されていますが、本プロジェクトでは現地実証試験結果やカリ収支からその妥当性を示しました。

図 3-1 に示したカリ収支の均衡が成立していれば交換態カリ量は維持されますが、粃による持ち出し量や溶脱量は圃場や年次によって異なるので、数年に一度は土壌診断を行い、交換態カリ量を把握することが推奨されます。

表 3-1 各県から示された、標準の半量に減肥するための交換態カリ基準値と設定の根拠

県	交換態カリの基準	設定の根拠
山形県	20 mg/100 g	この基準を満たせばカリ施肥を半減しても収量が維持できる（現地実証試験で確認された）。
新潟県	15 mg/100 g	収量維持に必要な水稻のカリ吸収量（15 kg/10a）を算出し、それを確保する交換態カリを圃場試験結果から 12.4 mg/100 g と算定して、カリ欠乏回避のため余裕を見て 15 mg/100g に設定。
三重県	22 mg/100 g	水稻の最大カリ吸収量（20 kg/10a）から、標準の半量施肥で供給されるカリ（3.5 kg/10a）を差し引き、残りを交換態カリで補うとした。作土深を 10 cm、仮比重を 1.0、交換態カリの利用率を 75%とすると 22 mg/100 g が必要。

水稻のカリ吸収量等から算定された交換態カリの基準は 15～22 mg/100g。
本指針では高い側の 20 mg/100g を基準値とする。

4) 粗粒質で CEC が低い土壌は減肥の対象外とする。

本指針の策定に至る論議の中で、扇状地の粗粒質土壌などではカリの溶脱による交換態カリレベルの低さが問題となっており、減肥に対する懸念があることが指摘されました。また山形県の現地実証圃場（CEC（陽イオン交換容量）が 10 me/100 g、交換態カリが 13 mg/100 g）で、カリを基肥 4 kg/10a のみに減肥した場合に収量が慣行区（基肥 6 kg + 追肥 2 kg/10a）の 90%に減少したため、同県では CEC が 12 me/100 g 以下の場合には追肥 2 kg/10a を追加する指針案としました。これらを踏まえ、粗粒質（扇状地などに広く見られる SL（砂壤土）と、さらに粗い砂土（S）、壤質砂土（LS））で CEC が 12 me/100 g 以下の土壌は減肥の対象外としました。

5) 以上から、減肥可能の条件にある水田で稲わら還元がなされていればカリ施肥を基準量の半分にできる。さらに堆肥施用がなされている場合は、当分のカリ施肥を省略できる。

3)の交換態カリと 4)の土性および CEC が「減肥可能」の条件にある土壌で稲わら還元がなされていれば、2)の⑥に示したようにカリ施肥量を基準の半分に減らしてもカリ収支はプラスになります。さらに、牛ふん堆肥が 1 t/10a 施用されていれば 2)の⑦に示したように 10 kg/10a 以上のカリが投入され、堆肥に含まれるカリの肥効は化学肥料に近いいため当分は無カリで栽培できます。実際には堆肥の施用量がこれより少なくても減肥可能と考えられますが、堆肥のカリ濃度が低い場合を想定して指針上は 1 t/10a とします。以上が本指針の考え方です。

4. 本指針の適用面積とコスト削減効果

1) カリ減肥指針の適用面積

本指針を用いると、土壌診断で交換態カリが適正域（下限が 15～20 mg/100 g、上限が 30～40 mg/100 g）にある土壌でも減肥が可能となります。

土壌機能モニタリング調査の 1 巡目（1999～2003 年）の結果では、全国の低地土の水田における交換態カリの中央値は 20 mg /100 g 程度です（農林水産省 2008）。また、ある 2 県（A 県、B 県）における同調査の 8 巡目（2015～2018 年）では、中央値が 15～20 mg/100 g の範囲にあります（図 4-1）。粗粒で CEC が低い土壌は減肥の対象外ですが、その多くは交換態カリが少なく指針が適用されない土壌に含まれると考えられます。また減肥の前提となる稲わら還元は大多数の水田で行われています。以上から、**低地土の水田（国内の水田 240 万 ha の 7 割として約 170 万 ha）の半数近くで本指針による半量減肥が可能**と推定されます。

低地土の水田の半数近くは交換態カリが 20 mg/100 g 以上で、「汎用の指針」による半量減肥の対象となる。

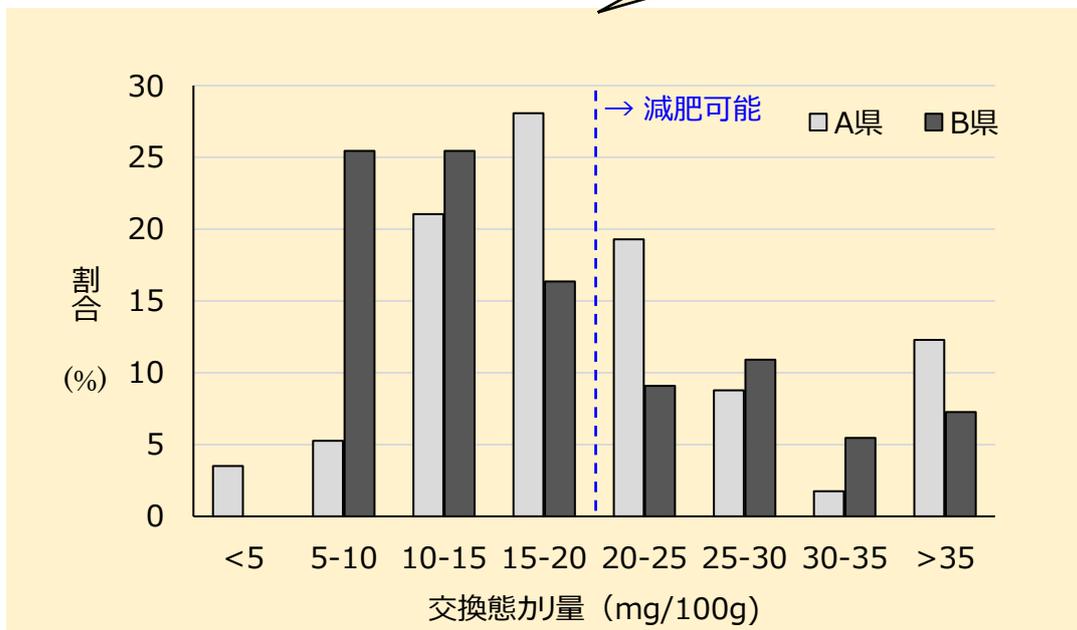


図 4-1 A 県、B 県における水田土壌の交換態カリのヒストグラム

※ 2015～2018 年の調査。

2) 施肥コスト削減効果

本指針を適用してカリ施肥量を半減した場合、表 4-1 のように肥料費は 10a あたり 3,150 円から 2,094 円に低減され、1,056 円/10a (34%) の施肥コスト削減が見込めます (高度化成肥料を半減し、窒素の減少を尿素で補った場合。計算の詳細および他の試算事例は別冊参照)。これは 2018 年の肥料価格に基づく試算ですが、肥料高騰時にはコスト削減効果がさらに大きくなります。また、ここではカリ標準施肥量を少なめの 6 kg/10a と見ていますが、カリ標準施肥量が多い場合は半減によるコスト削減効果がさらに大きくなります。

表 4-1 本指針を適用して標準施肥 (高度化成による 6-6-6) をリン酸およびカリ半量 (6-3-3) に削減した場合の 10a あたり施肥コスト削減額

施肥	肥料	成分(%)	成分投入量			現物量 (kg/10a)	価格 (円/10a)	肥料費計		削減額 (円/10a)
			N	P	K			(円/10a)	慣行比 (%)	
慣行	高度化成 14-14-14	14-14-14	6	6	6	42.9	3,150	3,150	-	-
カリ 半減	高度化成 14-14-14	14-14-14	3	3	3	21.4	1,575	2,094	66	1,056
	尿素	46-0-0	3			6.5	519			

※ 基肥として高度化成で 3-3-3 を施用、窒素補給のため尿素で 3-0-0 を基肥または追肥で施用。

※ カリ減肥に伴ってリン酸施用量も半減するためリン酸減肥可能な水田が対象となる。新良・伊藤 (2016) によると有効態リン酸 15 mg/100 g 以上の場合にリン酸半減が可能であり、小原・中井 (2004) によると国内の水田の 6 割以上がこれに該当すると考えられる。

※ 高度化成を低 PK 型の化成に替えてリン酸、カリを半減した場合も同程度のコスト減が可能。

5. Q&A

Q：この指針を用いる場合、減肥は何年継続可能ですか？

A：稲わら還元をしていれば2～3年程度可能と考えられますが、土壌診断による交換態カリの確認に努めましょう。

Q：この指針は低地土の水田に適用できるとのことですが、低地土の見分け方は？

A：低地土は主に川が運んで堆積した土です。平野や扇状地に広く分布しますが、このような地形でも火山の近くでは低地土ではなく、火山灰からできた「黒ボク土」のこともあります。迷う場合は、農研機構がWebで公開している「日本土壌インベントリー」やスマートフォンなどのアプリ「e-土壌図Ⅱ」で閲覧できる土壌図が参考になります。

Q：本冊子の指針と、各県が個別に出した指針案はどちらが優先しますか？

A：別冊の参考資料に示した個別の指針案は、研究に参画した各県が県内の代表的な土壌や品種を用いて5年間の試験により提示したものです。参画県では個別の指針案を参考にするのが良いでしょう。本冊子の指針は各地の低地土の水田へ普遍的に適用できるものとしてまとめました。

Q：放射性セシウム対策としてのカリ施肥が行われている場合にも、本冊子の指針や各県の指針案は適用できますか？

A：本研究で示された各指針は、セシウム対策の効果を担保していません。

Q：二毛作の場合も減肥指針は適用可能ですか？

A：二毛作や田畑輪換での調査は行っていません。ただし水稻作前の土壌診断値があれば、当分については本冊子の指針を適用できると考えられます。

Q：溶脱によるカリの損失はどの程度ですか？

A：低地土の水田では多くの場合、溶脱による損失は投入したカリの数%程度と見込まれます（各県の試験結果参照）。「汎用の指針」では用水による供給量の1/3が溶脱するとしました。砂質の土壌、黒ボク土、カルシウムなどが少なく交換性塩基の主体をカリが占める、堆肥の施用により土壌中のカリが多い、などの条件では溶脱が比較的大きくなります。

Q：灌漑水中カリ濃度の季節変動はありますか？

A：水稻栽培期間中であれば大きな変動はありません。

Q：灌漑水中カリの利用率は浸透速度によって変わりますか？

A：浸透速度が遅いほど利用率は高まると考えられますが、1日あたり10mm抜ける場合でも7割程度の利用率があります。

Q：水田でのカリの供給と持ち出しは、図3-1の①～⑦が全てですか？

A：図3-1には示していませんが、土壌中の鉱物からもカリが供給されます。このカリは、交換態カリ（酢酸アンモニウムで抽出）ではありませんが、酸抽出などの処理で抽出され「非交換態カリ」と呼ばれます。本プロジェクトでは非交換態カリを当作でのカリ供給量には含めませんでした。潜在的・長期的なカリの供給源と見ることができます。非交換態カリについて本プロジェクトで得られた成果を参考資料に掲載しました。

引用文献

新良力也ら 2014. 土壌診断評価法の改良とリン酸・カリウムの減肥指針. 土壌診断、施肥法改善、土壌養分利用によるリン酸等の施肥量削減にむけた技術導入の手引き、p7-8. 農研機構中央農業総合研究センター.

新良力也・伊藤豊彰 2016. 水稻作におけるリン酸減肥基本指針の策定. 土肥誌、87、462-466.

農耕地土壌分類委員会 1995. 農耕地土壌分類第3次改訂版. 農業環境技術研究所資料17.

農林水産省 2008. 地力増進基本指針.

農林水産省生産局 2008. 土壌保全調査事業成績書、p460.

小原 洋・中井 信 2004. 農耕地土壌の可給態リン酸の全国的変動 農耕地土壌の特性変動(Ⅱ). 土肥誌、75、59-67.

小原 洋・大倉利明・高田裕介・神山和則・前島勇治・浜崎忠雄 2011. 包括的土壌分類第1次試案. 農業環境技術研究所報告29.

本資料について

本指針は、農林水産省委託プロジェクト研究「生産コストの削減に向けた効率的かつ効果的な施肥技術の開発」（2015～2019）の成果の一部を利用し、適正施肥技術コンソーシアム小課題4「水田におけるカリウムの適正施肥指針の策定」研究グループの責任において作成したものです。

本資料に掲載されている情報へのご指摘、ご意見等、あるいは、本資料の複製・転載のご希望がありましたら、下記発行元までご連絡いただきますようお願いいたします。

執筆者

プロジェクトリーダー・編集責任	農研機構中央農業研究センター	大谷 卓
編集代表・執筆	農研機構中央農業研究センター	久保寺 秀夫
編集・執筆	山形県農業総合研究センター	相澤 直樹
	新潟県農業総合研究所	水野 貴文
	三重県農業研究所	水谷 嘉之
	宮崎県総合農業試験場	永井 浩幸
	鹿児島県農業開発総合センター	中川路 光庸、上園 一郎

関連情報

本指針に関連する参考資料「水稻カリ減肥指針の策定に関する資料集」のPDFを以下のサイトからダウンロード可能です。併せてご参照ください。

http://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/publication/pamphlet/tech-amph/137697.html

免責事項

本指針の内容には十分な注意を払っておりますが、本指針を利用することによって生じるいかなる損害等について、理由の如何に関わらず、農研機構および上記機関は一切の責任を負いません。

発行元

国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 中央農業研究センター
〒305-8666 茨城県つくば市観音台 2-1-18
電話：029-838-8481（代）
電子メール：koho-carc@ml.affrc.go.jp

（2021年1月14日発行）

水田土壌のかり収支を踏まえた水稻のかり適正施用指針
～ 低地土の水田に広く適用できるかり減肥の指針 ～
(2021年1月発行)



発行 国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 中央農業研究センター
〒305-8666 茨城県つくば市観音台 2-1-18
電話：029-838-8481 (代)