

低地土の水田を対象とする 土壌のかり収支を踏まえた 水稲のかり適正施用指針 標準作業手順書

－公開版－



改訂履歴

版数	発行日	改訂者	改訂内容
第1版	2020年12月14日	松村 正哉	初版発行

目次

はじめに	1
I 技術の概要 低地土水田のカリ減肥指針と適用条件	3
(1) 低地土水田に広く適用できるカリ減肥の指針	3
(2) カリ減肥が可能になる条件	3
II 減肥指針策定の考え方	4
(1) 水稻のカリ欠乏による生育不良の回避を最重視	4
(2) 水田のかり収支をマイナスにしない	5
(3) 土壌の交換態カリが 20 mg/100g あることを減肥の条件とする	7
(4) 粗粒質で CEC が低い土壌は減肥の対象外	8
(5) 以上の総括	8
III 減肥指針の適用可能範囲と施肥コスト削減効果	10
(1) 本指針が適用できる水田は	10
(2) コスト削減効果の試算	10
IV 技術導入の手順	12
(1) 土壌種の確認	12
(2) 土性の確認	12
(3) 稲わら還元および堆肥の施用	14
(4) 土壌診断値	14
(5) その他	14
V 想定質問集	15
VI 用語の解説	16
参考資料	17
担当窓口、連絡先	17

はじめに

本資料は低地土^{*}水田に広く適用できる**カリの減肥指針**の手順書です。この減肥指針は、**公設機関等の普及担当者や研究者を主なユーザー**と想定しています。

肥料三要素の一つであるカリは、日本では鉍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努めることは**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基肥と追肥の合計で8～11 (kg K₂O /10 a) 程度に設定されています。また土壌診断では交換態カリ^{*}を指標に、適正域の下限が15～20、上限が30～40 (各 mg K₂O /100g) 程度に設定されており、上限を越えると減肥が可能と判断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が、カリレベルが低い土壌でも水稻収量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。

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」において、**農研機構と山形県、新潟県、三重県、宮崎県および鹿児島県**が連携して低地土の水田のカリ収支を詳細に調査し、それに基づいて水稻のカリ減肥指針を提示しました。その骨子は、**一定の条件を満たす低地土の水田ではカリ施肥を標準の半量またはゼロにできる**というものです。本作業手順書ではこの指針と根拠（策定の考え方）ならびに技術導入の手順を示しました。

※ 文中で*をつけた語には「VI 用語の解説」で説明を加えました。

■ 免責事項

- 農研機構は、利用者が本手順書に記載された技術を利用したこと、あるいは技術を利用できないことによる結果について、一切責任を負いません。
- 本手順書に記載されたカリ施用指針は低地土^{*}水田における水稻の生育と収量を確保するための指標です。低地土以外の水田や、二毛作、田畑輪換における水稻以外の作物は対象外であり、また放射性セシウム対策としてカリ施用が行われている水田は減肥の対象としていないことにご留意ください。
- 本手順書に示した施肥コスト削減効果は、2018年時点の肥料価格に基づく試算値であることにご留意ください。試算には「国内外における農業資材の供給の状況に関する調査について」（平成30年8月 農林水産省、表3-7-1）の値を用いました。
- 本手順書に記載の図表は全て農研機構が著作権を有する技術マニュアルから転載（一部改変を含む）されたものです。転載などを行う場合は必ず農研機構にご連絡ください。

I. 技術の概要 低地土水田のカリ減肥指針と適用条件

(1) 低地土水田に広く適用できるカリ減肥の指針

稲わらが還元されており土壤中の交換態カリが 20 mg/100 g 以上の低地土の水田では、カリ施肥を標準の半量にできます。稲わら還元と併せて牛ふん堆肥が 1 t/10a 以上施用される場合、当分のカリ施肥を省略できます。

(2) カリ減肥が可能になる条件

(1) の減肥指針が適用できるのは、下記の条件すべてに該当する水田です。

- 低地土^{*}の水田である。(黒ボク土、赤黄色土などは対象外)
- 土性^{*}が砂土(S)、壤質砂土(LS)、砂壤土(SL)以外である、または土壌のCEC^{*}(陽イオン交換容量)が12 me/100g以上である。

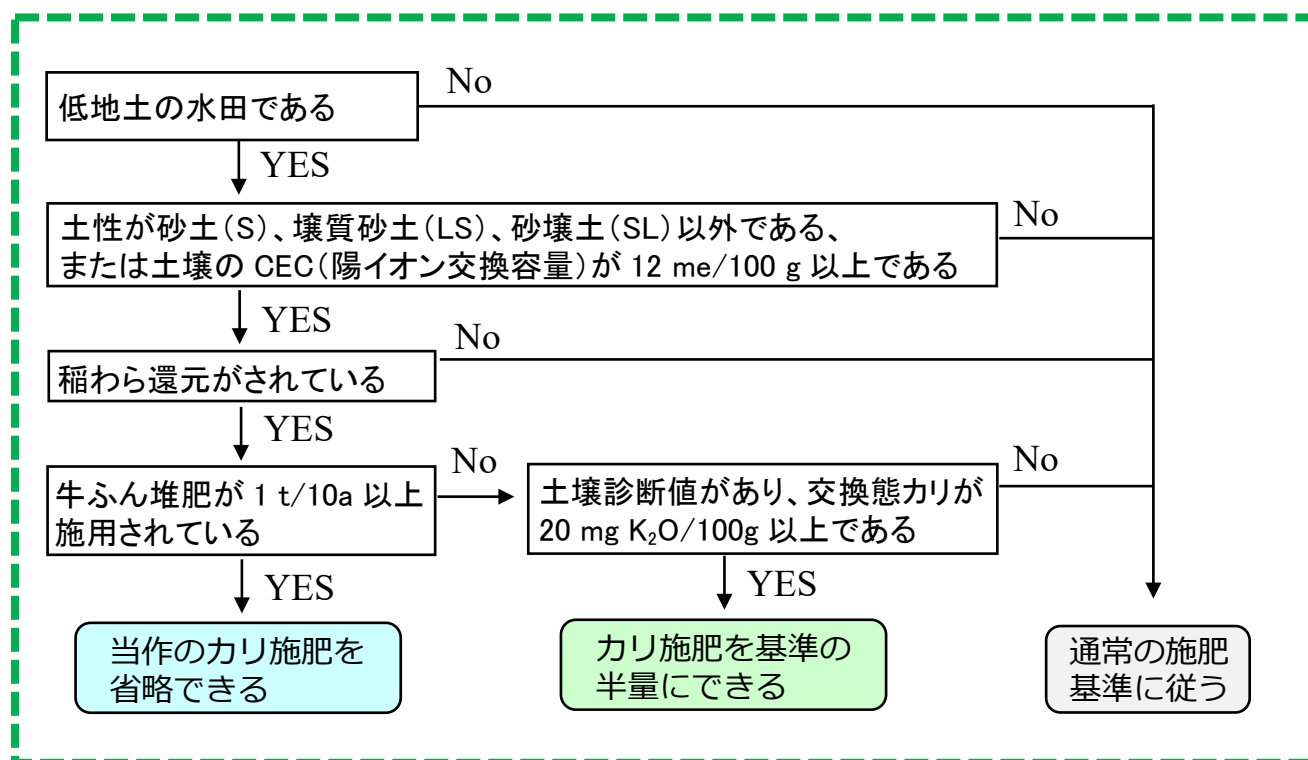


図 I - 1 カリ減肥可能性判定のフローチャート

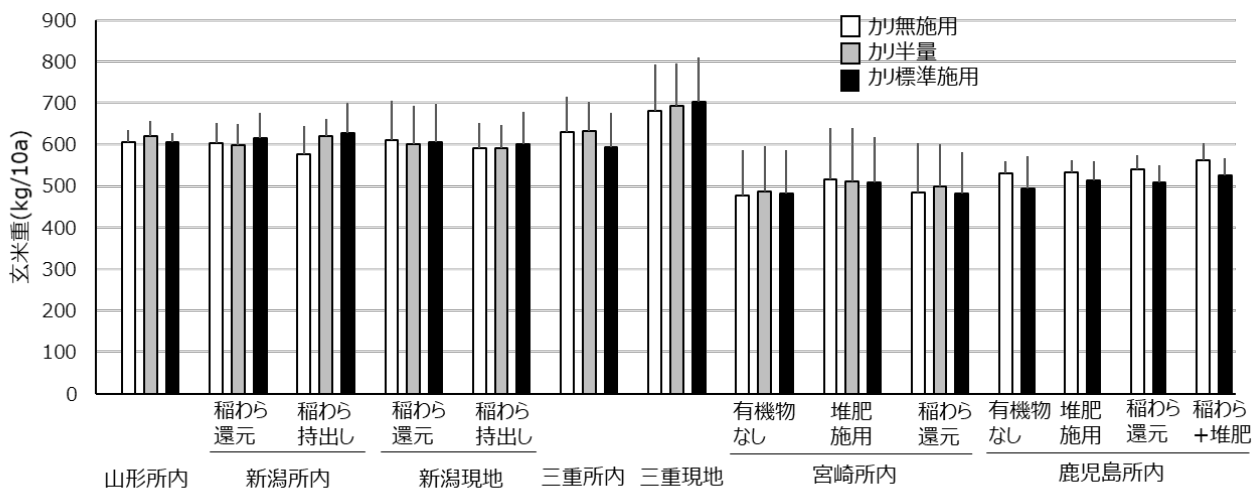
II. 減肥指針策定の考え方

以下の(1)～(5)の考え方に基づいて指針を策定しました。

(1) 水稲のかり欠乏による生育不良の回避を最重視

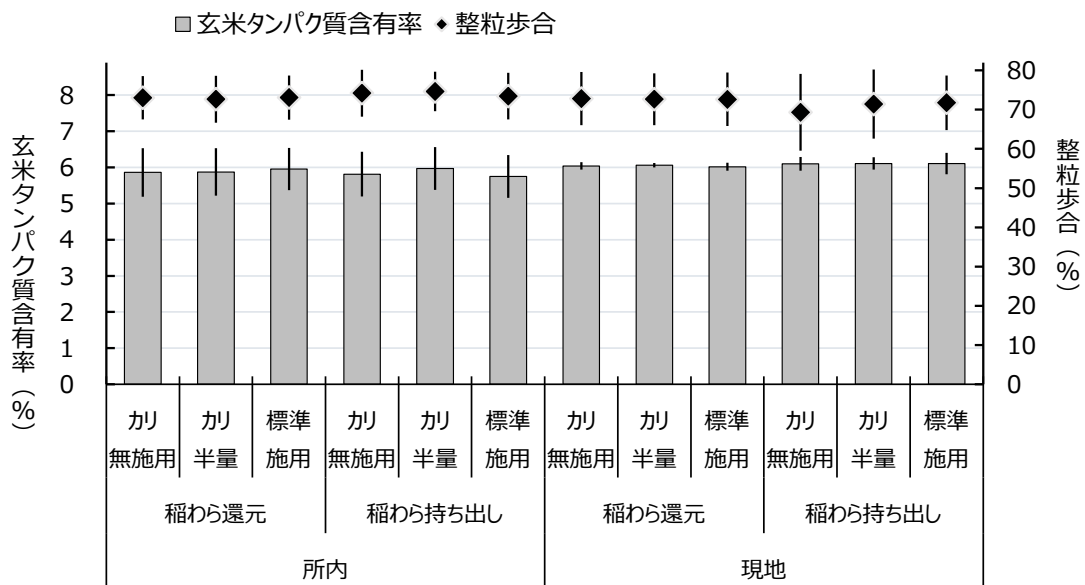
かりを無施肥または大幅に減肥して水稲を栽培しても、生育に問題がない場合が多く見られます。本プロジェクトで行われた減肥栽培試験でも、かり無施肥を3～4年継続してもほとんどの水田で収量（図Ⅱ-1）や品質（整粒歩合や玄米タンパク質含有率、図Ⅱ-2）に影響はありませんでした。

しかし、本減肥指針は低地土^{*}の水田で広く活用されることを想定し、かり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、最大限の減肥を図る指針ではありません。以下に示す水田のかり収支計算や交換態かり基準値なども、かり欠乏の回避を最重視したものにしています。



図Ⅱ-1 各県の水田におけるかり減肥試験での水稲収量

3作ないし4作の平均値。エラーバーは標準偏差。



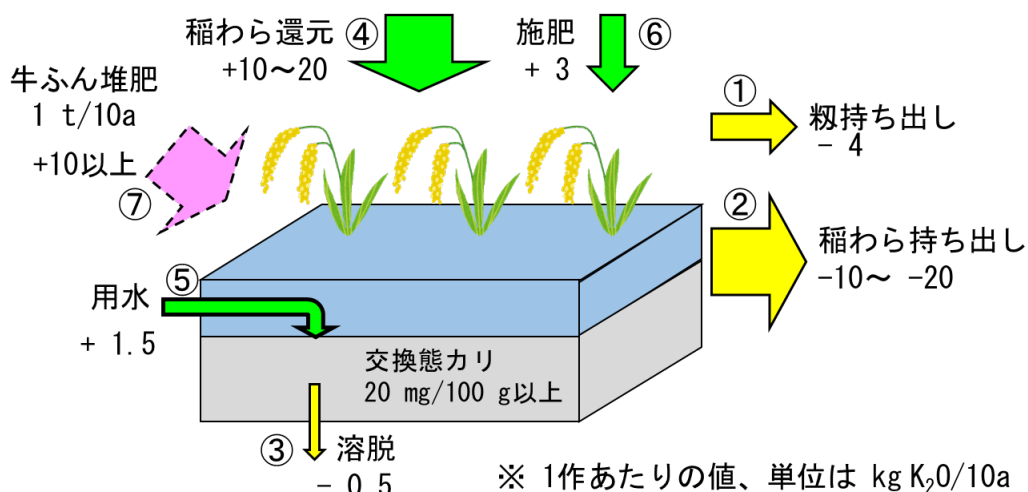
図Ⅱ-2 カリ減肥試験での水稻の品質（整粒歩合と玄米タンパク質含有率）

新潟県の事例、4作の平均値。エラーバーは標準偏差。

(2) 水田のカリ収支をマイナスにしない

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Ⅱ-3）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、糞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Ⅱ-3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。牛ふん堆肥1 t/10aが施用されれば、10 kg/10a以上のカリが投入され収支は大幅なプラスになります。



図Ⅱ-3 水田のカリ収支の模式図

稲わらを水田に還元し、標準量の半量（ここでは 3 kg/10a を想定）を施肥することで、①～⑥のようにカリの収支は±0 となります（① + ② + ③ = ④ + ⑤ + ⑥）。さらに牛ふん堆肥を 1 t/10a 施用する場合（⑦）、収支は 10 kg/10a 以上のプラスになります。①～⑦を詳しく見ると以下ようになります。

① 籾の持ち出し： -4 kg/10a

籾によるカリ持ち出し量は概ね 2.5～4 kg/10a なので、高めの数値である 4 kg/10a としました。

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**

調査を行った各県の用水のカリ濃度は概ね 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、土壌へのカリ供給源とは見なさない）でした。下方浸透水量を 600 t/10a、カリ濃度を 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 カリ施肥量：**+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カリ収支は均衡になります。都道府県の水稲のカリ施肥基準は 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が、既存のデータからは牛ふん堆肥のカリ濃度の平均値（乾物あたり）は 30 g/kg 程度、含水率は 50 %程度です。カリ濃度を低めに 20 g/kg と見ても 1 t/10a の施用で 10 kg/10a のカリが投入されます。各県の試験でも、牛ふん堆肥 1 t/10a の施用で 20 kg/10a 程度のカリが投入されました。

(3) 土壌の交換態カリが 20 mg/100g あること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、山形県の試験でカリ施肥を標準の半量（4 kg/10a）とし

た場合、交換態カリが 21 mg/100 g ある圃場では収量に影響はなかったのに対し、13 mg/100 g と低い圃場では収量が標準施肥区の 90%に減少しました。また新潟県と三重県では水稻が吸収する交換態カリの量に基づき、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。これらを踏まえ、本指針では 20 mg/100 g 以上の交換態カリがあることを減肥の条件としました。交換態カリが 20 mg/100 g 以上ある場合、カリ施肥を半量とした栽培を 3 年程度継続しても、交換態カリは 15 mg/100 g 程度は残存すると考えられます（表Ⅱ-1）。

(4) 粗粒質で CEC が低い土壌は減肥の対象外

土性*が粗粒質（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*（Cation Exchange Capacity、陽イオン交換容量）が 12 me/100 g 未満の土壌は減肥の対象外としました。その理由は、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指摘されたこと、また CEC が 10 me/100 g、交換態カリ* が 13 mg/100 g と低い現地圃場（山形県）では減肥区の収量が標準施肥区の 90%に減少したことです。

(5) 以上の総括

(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、図Ⅱ-3 の①～⑥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。水田土壌の交換態カリは年次変動が大きいです。表Ⅱ-1 に示した新潟県の例では稲わら還元を行った処理区の交換態カリは作付年数に伴う明瞭な減少が見られず、カリ施肥を半量としても収量には影響しません。さらに、牛ふん堆肥が 1 t/10a 施用されれば図Ⅱ-3 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。ため当分は無カリで栽培

できます。実際には堆肥の施肥量がこれより少なくても減肥可能と考えられますが、堆肥のかり濃度が低い場合を想定し、(1)の安全性の観点から指針上は1 t/10aとします。以上が本指針の根拠となる考え方です。

表Ⅱ-1 新潟県の試験圃場における交換態カリおよび収量の経時変化

交換態カリ量は年次変動が大きいですが、稲わら還元を行った処理区では明確な経年減少が見られないのに対し、稲わらを持ち出した処理区では交換態カリが顕著に減少する。カリ施肥を半量としても収量に明確な影響はない。

試験場所	稲わら	カリ施肥	交換態カリ (mg/100g)				
			2015春	2016春	2017春	2018春	
所内	還元	無施用	19.0	17.8	11.8	13.8	
		半量	23.1	16.5	12.3	18.1	
		標準	10.5	15.9	12.4	14.2	
	持ち出し	無施用	28.5	8.2	10.2	10.3	
		半量	21.6	8.0	10.0	9.2	
		標準	15.9	5.9	9.5	9.0	
	現地	還元	無施用	18.5	14.8	9.8	10.5
			半量	13.4	15.3	10.3	11.3
			標準	17.5	16.5	10.8	16.5
持ち出し		無施用	13.7	9.3	8.0	7.5	
		半量	11.7	9.0	9.1	8.8	
		標準	17.0	8.3	9.1	10.2	

※稲わらの持ち出しは2015秋に開始。カリ施肥量(kg/10a)は標準が6、半量が3、無施用が0。

試験場所	稲わら	カリ施肥	2015		2016		2017		2018	
			収量 (kg/10a)	収量 指数	収量 (kg/10a)	収量 指数	収量 (kg/10a)	収量 指数	収量 (kg/10a)	収量 指数
所内	還元	無施用	666	97	612	95	559	98	572	102
		半量	662	96	616	96	541	95	570	101
		標準	687	100	643	100	569	100	562	100
	持ち出し	無施用	633	94	626	93	490	94	562	88
		半量	642	95	628	93	560	107	653	102
		標準	674	100	676	100	522	100	639	100
現地	還元	無施用	571	97	752	102	570	103	553	102
		半量	589	100	734	99	542	98	541	100
		標準	588	100	740	100	553	100	540	100
	持ち出し	無施用	555	97	682	95	569	102	556	100
		半量	566	99	673	94	544	97	576	104
		標準	573	100	717	100	560	100	557	100

※稲わらの持ち出しは2015秋に開始。カリ施肥量(kg/10a)は標準が6、半量が3、無施用が0。

収量指数は各年のカリ標準施用区の収量を100として計算した。

Ⅲ. 減肥指針の適用可能範囲と施肥コスト削減効果

(1) 本指針が適用できる水田は

本指針では、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。また、本プロジェクトに参画した県のうちの 2 県における同調査の 8 巡目（2015～2018 年）でも、中央値が 15～20 mg/100 g の範囲にありました。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。

(2) コスト削減効果の試算

本指針を適用してカリ施肥量を半減した場合、表Ⅲ-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）。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Ⅲ-1 本指針を適用して標準施肥をリン酸およびカリ半量に削減した場合の10aあたり施肥コスト削減額

施肥	肥料	成分 (N-P-K %)	成分投入量 (kg/10a)			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			

※カリ半減の場合、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としました。肥料価格は「国内外における農業資材の供給の状況に関する調査について」（平成 30 年 8 月 農林水産省、表 3-7-1）を元にしています。

※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（有効態リン酸が 15 mg/100 g 以上の水田（新良・伊藤、2016）が対象となります。国内の水田の 6 割以上がこれに該当すると考えられます（小原・中井、2004）。

※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となります。

IV. 技術導入の手順

本技術の導入自体は、施肥量を減ずるだけなので特段の作業は不要です。ただし導入を図る水田において、3 ページに示した本指針の適用条件が満たされていることが前提となります。各適用条件は以下のように判定します。根拠となるデータ等については「Ⅱ. 減肥指針策定の考え方」をご参照ください。

(1) 土壌種の確認

本指針は低地土^{*} に対して適用できます。減肥を行おうとする水田が低地土であるかを判定する上で、農研機構が Web 公開しているデジタル土壌図の「インベントリー土壌図」 (<https://soil-inventory.dc.affrc.go.jp/figure.html>) や「e-土壌図Ⅱ」 (スマートフォン等のアプリ) が参考になります (図Ⅳ-1)。これらのデジタル土壌図で、「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」のいずれかの分類名であればその土壌は低地土です。インベントリー土壌図は検索語「土壌インベントリー」で、e-土壌図Ⅱは「土壌図」で検索してください。リンクの QR コードを下に示しました。



インベントリー
土壌図



e-土壌図Ⅱ
(Android)



e-土壌図Ⅱ
(iOS)

(2) 土性の確認

土性^{*} (土壌の粒の細かさ) が SL (砂壤土)、壤質砂土 (LS)、砂土 (S) といった粗い土壌は、CEC^{*} (陽イオン交換容量) が 12 me/100 g 以上の場合を除き、減肥の対象外です。土壌を湿らせて指の間でこねた時、砂ばかりでねばりを感じなければこれらの土性です。この場合、土壌診断値の CEC が 12 以上でなければ減肥対象としません。

土性の判断にもデジタル土壌図が参考になります。土壌分類名に「粗粒質」（中粗粒質ではなく）が付く場合、上記の粗い土性に該当することが多いです。一方、図IV-1の例のように「細粒質」が付く場合は上記の土性以外の可能性が強いと考えられます。



図IV-1 デジタル土壌図に示された土壌種と土性
インベントリー土壌図。この例の土壌は分類名が「細粒質普通灰色低地土」なので、土壌種と土性に関しては減肥指針の適用範囲です。

(3) 稲わら還元および堆肥の施用

生産者から聞き取りで調査します。

(4) 土壌診断値

交換態カリ^{*}、および CEC^{*}（陽イオン交換容量、土性^{*}が粗い場合の判断基準となる）の土壌診断値を生産者から得ます。導入する圃場の診断値がない場合、同じ管理をしている隣接の圃場の値などから推定します。

(5) その他

放射性セシウム対策などカリの増施を必要とする事情がないことを確認します。

V. 想定質問集

Q：本指針を用いる場合、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：本指針は低地土^{*}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：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、本指針は適用できますか？

A：セシウム対策のための施肥が行われている場合、本指針は適用できません。

Q：二毛作の場合も減肥指針は適用可能ですか？

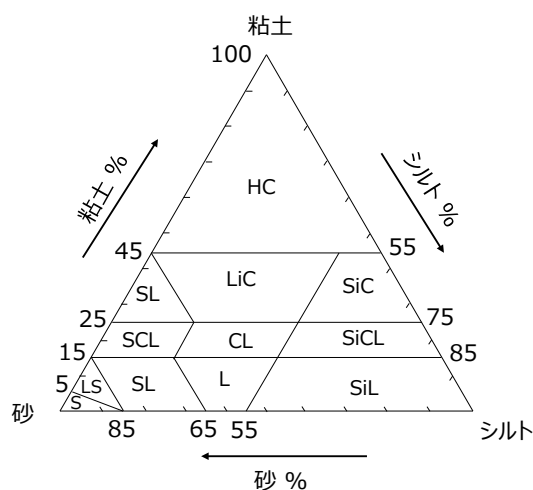
A：二毛作や田畑輪換での検証は行っていません。ただし水稻作前の土壌診断値があれば、当作については本冊子の指針を適用できると考えられます。

VI. 用語の解説

交換態カリ：土壤診断で測定されるカリで、土壤から 1 mol/L の酢酸アンモニウム溶液で抽出される。交換態カリは鉱物や腐植の持つマイナスの荷電によって土壤中に保持されており、作物が容易に利用できる。

低地土：河川に運ばれて堆積した土砂などからできた土壤で、平野や三角州などに広く分布し、土色は灰色から灰褐色のことが多い。国内の水田の約 7 割が低地土である。低地土は水分状況などから「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」の 6 つの土壤群に分けられる。

土性：土性とは砂（径 0.02 mm 以上）、シルト（0.02-0.002 mm）、粘土（0.002 mm 以下）の割合に基づく土壤の区分である。土性には最も粗い S（砂土、ほとんどが砂）から最も細かい HC（重埴土、45%以上が粘土）までの 14 種類がある。野外では土を指でこねた感触で土性を判定する。砂が多ければざらつく感触となり、粘土が多ければ粘りを感じる。土壤分類では、次表層（作土の下）の土性によって「細粒質」「中粒質」「中粗粒質」「粗粒質」などの分類がされる。



土性の三角図表

CEC：Cation Exchange Capacity（陽イオン交換容量）の略。上記のように鉱物や腐植はマイナスの荷電を持ち、カリなどの陽イオンを保持する能力を持つ。CEC は土壤の持つマイナス荷電の量を表す指標である。CEC は細粒質や腐植の多い土壤で大きい値を示し、このような土壤は陽イオンの保持能力が高いとされる。

参考資料

1. 水田土壌のかり収支を踏まえた水稲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 ～ (農研機構中央農業研究センター刊、2021年1月)
http://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/publication/pamphlet/tech-pamph/137697.html からダウンロード可能
2. 水田土壌のかり収支を踏まえた水稲のかり適正施用指針 別冊：水稲かり減肥指針の策定に関する資料集 (農研機構中央農業研究センター刊、2021年1月)
http://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/publication/pamphlet/tech-pamph/137697.html からダウンロード可能
3. 水田土壌のかり収支を踏まえた水稲のかり適正施用指針 (2019年度農研機構普及成果情報)
<http://www.naro.affrc.go.jp/project/results/popular/result130/2019/index.html> からダウンロード可能
4. 新良力也・伊藤豊彰 2016. 水稲作におけるリン酸減肥基本指針の策定. 土肥誌、87、462-466.
5. 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.

担当窓口、連絡先

外部からの受付窓口：

農研機構 中央農業研究センター 地域戦略部 研究推進室 広報チーム
029-838-8481 (代表) koho-carc@ml.affrc.go.jp



「農研機構」は、国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構のコミュニケーションネーム（通称）です。