

水稲・小麦二毛作体系ほ場における リン酸、カリ肥料の削減が収量・品質に及ぼす影響

石橋正文*・荒木雅登・黒柳直彦¹⁾・樋口俊輔・荒巻幸一郎²⁾

非火山灰土壌の水稲・小麦二毛作体系ほ場でワラを還元している条件において、リン酸またはカリを5年間継続して削減した場合の影響について検討した。リン酸の削減では、5年間の削減により、土壌中の可給態リン酸は14～26mg/100g乾土から7～9mg/100g乾土に減少した。小麦作では、作付け前の可給態リン酸のレベルが低い場合に、リン酸施用量を慣行から削減した栽培で減収となることが明らかになった。品質には影響が認められなかった。収量と可給態リン酸の関係から、作付け前の可給態リン酸が10mg/100g乾土を下回ると、リン酸を50～100%削減した小麦作では慣行より8～12%程度減収すると予測された。水稲および小麦の品質や水稲の収量には明確な影響がみられなかった。カリの削減では、小麦・水稲ともに、交換性カリが少ない場合にカリを100%削減するとカリの吸収量が少なくなった。収量・品質には明確な影響は見られなかった。慣行施肥では交換性カリの集積がみられ、最大で3mg/100g乾土から19mg/100g乾土へと増加した。リン酸、カリの施肥量を長期削減すると、土壌中の可給態リン酸や交換性カリ含量が変化することから、持続的な農業を展開するためには、3年に一度は土壌診断を行い、土壌中の養分動態を把握しておく必要がある。

[キーワード：水稲，小麦，減肥，可給態リン酸，交換性カリ]

Effects of Long-term Reduction of Phosphate and Potassium Fertilizer in Rice-wheat double Cropping System Field. ISHIBASHI Masafumi, Masato ARAKI, Naohiko KUROYANAGI, Syunsuke HIGUCHI and Koichiro ARAMAKI (Fukuoka Agriculture and Forestry Research Center, Chikushino, Fukuoka 818-8549, Japan) *Bull. Fukuoka Agric. For. Res. Cent.* 1:11-16(2015)

We examined the effect of long-term reduction in the amount of phosphate and potash fertilization on the rice-wheat double cropping system field condition with non-volcanic ash soil and a straw returning system. With phosphate reduction over five years, the amount of available phosphoric acid was reduced from 14 - 26mg/100g dry soil to 7 - 9mg/100g dry soil. Furthermore, the yield of wheat in a test field with low available phosphoric acid level before planting was lower than that of wheat cultivated using conventional fertilization methods. From the relationship of wheat yield and available phosphoric acid, when available phosphoric acid before planting is less than 10mg/100g dry soil, for wheat with 50% - 100% phosphate reduction, yield is forecast to decline by 8 - 12% as compared to the control group. When exchangeable potassium was low, the amount of potassium absorbed by crops was reduced by potassium fertilizer reduction. In this study, no clear effect on the yield of rice or on the quality of wheat or rice was observed. Fertilizer reduction affects the nutrient balance in the soil. Therefore corresponding measures such as use of a low component fertilizer, and implementation of a soil diagnosis every 3 years to understand the nutrient status of the soil, are necessary.

[Key words: rice, wheat, fertilizer reduction, available phosphoric acid, exchangeable potassium]

緒言

農業生産においてリン酸、カリの施肥は、窒素に比べて過剰害が起きにくい。このため、従来のリン酸、カリの施肥は、水稲、小麦作に関わらず、充分量を施用するという考え方から、天然供給量や土壌からの吸収効率等を大幅に過小評価して、植物が必要とする要求量よりも過剰に施用されてきた(小野ら 1999)。本県の水田作の生産現場では、リン酸、カリの含有量が窒素と同程度の化成肥料を基肥として用いてきた。一方、2008年のリン酸、カリ肥料の価格高騰以来、水田作においては作物の要求量の面からリン酸、カリ投入量の見直しが行われ、リン酸、カリ低成分肥料が流通し始めている。短期間の使用では、土壌改善目標値を満たす土壌条件であれば、収量、品質への影響が問題にならないことが認識されていることから、これらの低成分肥料が使用されている。しかし、長期間継続して使用した場合での、作物体や土

壌肥沃度への影響についてはまだ明らかになっていない。また、福岡県は2013年度の水稲栽培面積が38,100ha、小麦栽培面積が14,900haで、水田高度利用が進んでいる土地利用型農業の盛んな県である(農林水産大臣官房統計部 2014)。土地利用型作物において、肥料代は農業収支に係わる重要な項目の一つであることから、肥料代の変動は農家の経営上大きな問題である。さらに、水稲・小麦二毛作体系のような土地利用型農業にとって施肥体系の変更は、土壌により大きな影響を与えるものと考えられる。

そこで、今後の施肥技術改善のため、水稲・小麦二毛作体系において、ワラが全量ほ場に還元されている条件で、長期的なリン酸やカリの施肥量削減が、作物生産性や土壌へ及ぼす影響を検討した。

*連絡責任者(農産部:ms23@farc.pref.fukuoka.jp)

受付2014年7月31日;受理2014年11月17日

1) 現 資源活用研究センターバイオマス部

2) 現 福岡県筑後農林事務所

材料および方法

2008～2013年の期間において、小麦から試験を開始し、小麦 5作、水稲 5作を作付けした。小麦は11月下旬に播種し、6月上旬の収穫であった。水稲は6月下旬に移植し、10月中旬に収穫した。供試品種は小麦「チクゴイヅミ」、水稲「ヒノヒカリ」とし、供試ほ場は、中粗粒質灰色低地土(砂壤土)を作土に客土した福岡県農林業総合試験場内 1m×1mコンクリート枠ほ場にて実施した。試験開始前に、土壌のリン酸、カリ肥沃度水準を中肥沃度と低肥沃度の2水準設けるため、半数の枠ほ場において、過リン酸石灰と塩化カリを土壌に混和する処理を行った。その結果、試験開始時、2008年の麦播種前において、リン酸およびカリを中肥沃にした土壌(中肥沃土)は、可給態リン酸が26mg/100g乾土、交換性カリが22mg/100g乾土、リン酸およびカリを低肥沃にした土壌(低肥沃土)は、可給態リン酸が14mg/100g乾土、交換性カリが3mg/100g乾土となった。両土壌において、対照区(慣行施肥)、リン酸半減区(リン酸施用量を慣行施肥から50%削減)、リン酸全減区(リン酸施用量を慣行施肥から100%削減)、カリ半減区(カリ施用量を慣行施肥から50%削減)、カリ全減区(カリ施用量を慣行施肥から100%削減)の5つの施肥水準(3反復)で試験を実施した(第1表)。肥料には硫安(21-0-0)、熔燐(0-20-0)、塩化カリ(0-0-60)を単肥で配合して用いた。ただし、2009年の水稲作では、リン酸肥料に過リン酸石灰を用い、2010年の水稲作では、ワラ鋤込みの影響を考慮

し、基肥の窒素を2g/m²増肥した。麦ワラおよび稲ワラは収穫後裁断して、全量をほ場に鋤込んだ。

小麦および水稲は、収量、タンパク質含有率、検査等級および成熟期における作物体のリン酸、カリの吸収量について調査した。作物体のリン酸およびカリの吸収量のうち、麦穀および籾の分を持出量とし、施肥量から持出量を差し引いたものを、見かけの収支とした。作物体のリン酸およびカリは、試料を乾式灰化し、塩酸により抽出したものを測定した(福岡県農林水産部 2009a)。作付前土壌については、前作の収穫直後に深度0～15cmの部分よりルートオーガーを用いて5～6カ所より採土、混合縮分し、風乾後2mmの篩を通し分析試料とした。分析項目は、可給態リン酸、交換性カリおよび全リン酸とした。可給態リン酸は、トルオーグ法を用いて抽出し、モリブデンブルーにより発色させ、分光光度計(SHIMADZU UV-160A)を用いて比色法により測定した。交換性カリは、セミ・ミクロシヨールンベルガー法により抽出し、原子吸光分光光度計(SHIMADZU AA-6800)を用いて測定した。全リン酸は小宮山ら(2009)の方法に従い、乾式灰化-硫酸抽出法で得られた抽出液をモリブデンイエローにより発色させ、比色法により測定した。また、水稲作においては、灌漑水中のリン酸およびカリ含量について調査した。灌漑水の採取は、灌漑期間中に水路から行い、採取後すぐに、濾紙(No.6)にて濾過したものを適宜希釈し、比色法および原子吸光法により測定した。

第1表 試験区の構成

試験区名 ¹⁾	小麦作時の施肥量(g/m ²) ²⁾³⁾			水稲作時の施肥量(g/m ²) ²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
対照	5+4+2	5 +0+0	5 +4+2	6+3	6+0	6+3
リン酸半減	5+4+2	2.5+0+0	5 +4+2	6+3	3+0	6+3
リン酸全減	5+4+2	0 +0+0	5 +4+2	6+3	0+0	6+3
カリ半減	5+4+2	5 +0+0	2.5+2+1	6+3	6+0	3+1.5
カリ全減	5+4+2	5 +0+0	0 +0+0	6+3	6+0	0+0

- 1) 中肥沃土、低肥沃土それぞれに各試験区を設定
- 2) 施肥体系は小麦：基肥+追肥1+追肥2、水稲：基肥+追肥
- 3) 供試肥料には、硫安、ようりん、塩化加里を用いた
- 4) 2009年の水稲作では、リン酸肥料に過リン酸石灰を用いた
- 5) 2010年度の水稲作では、ワラ鋤込みの影響を考慮し、基肥の窒素を2g/m²増肥した

第2表 リン酸施肥量の長期削減が小麦と水稲の収量及び品質に及ぼす影響¹⁾

試験区名	収量(kg/10a) ²⁾		タンパク質含有率(%) ³⁾		検査等級 ⁴⁾	
	小麦	水稲	小麦	水稲	小麦	水稲
中肥沃土・対照	393(100)	476(100)	7.2	5.6	1.2	4.1
〃 ・リン酸半減	381(97)	465(98)	7.2	5.6	1.2	3.9
〃 ・リン酸全減	361(92)	476(100)	7.2	5.6	1.2	4.0
低肥沃土・対照	403(100)	487(100)	7.2	5.5	1.3	3.8
〃 ・リン酸半減	389(97)	492(101)	7.2	5.5	1.3	3.9
〃 ・リン酸全減	374(93)	474(97)	7.3	5.6	1.3	4.0

- 1) 値は全て5ヶ年の平均、()内の数値は各肥沃土の対照に対する指数値
- 2) 収量は、小麦は2.2mmで調整、水分12.5%、水稲は玄米、水分15%換算
- 3) タンパク質含有率は、小麦は水分13.5%、水稲は玄米、水分15%換算
- 4) 検査等級は、1等上を1.0、3等下を9.0として算出

結果

1 リン酸削減が収量・品質に及ぼす影響

リン酸の施肥量を5年間（小麦・水稻計10作）連続して50%および100%削減した試験（半減区および全減区）において、小麦では収量が減少した。中肥沃土、低肥沃土とも2作目までは影響が見られなかったが、全減区では3作目以降10~23%の減収が見られ、半減区では4作目以降6~27%の減収が見られた。リン酸削減区全体として4作目、5作目で有意な減収となった。5カ年平均の収量は、半減区では対照区と比較して3%、全減区では対照区と比較して7~8%減収となった。水稻では明確な減収傾向は認められなかった。品質には、小麦と水稻ともに影響が認められなかった（第2表、第3表）。作物体のリン酸吸収量は、小麦では全減区が3.0~3.1 kg/10a・年で対照区より約10%少なかった。水稻では減少は認められなかった。1年当たりの見かけのリン酸収支は、リン酸半減区で-1.2~-1.5kg/10a、全減区で-6.6~-6.7kg/10aでともにほ場からの持出量が多かった（第4表）。

2 カリ削減が収量・品質に及ぼす影響

カリの施肥量を5年間（小麦・水稻計10作）連続して

50%および100%削減した試験においては、小麦、水稻ともに収量・品質に顕著な影響が認められなかった（第5表）。作物体のカリ吸収量では、小麦は低肥沃土の全減区で6kg/10aと、対照区と比べて21%低下し、水稻は低肥沃土の全減区で9.5kg/10aと、対照区と比べて25%減少し、減肥の影響が認められた。1年当たりの見かけのカリ収支は、カリ半減区では+5.7kg/10a、カリ全減区では-4.1~-4.3kg/10aとなり、全減するとは場からの持出量が多くなるものの、半減ではカリは持出量の方が少なくなることが明らかとなった（第6表）。

3 リン酸、カリ削減による土壤中の可給態リン酸、交換性カリおよび全リン酸の動態

リン酸施肥量の全減を長期に継続すると、可給態リン酸含量の減少が認められた。リン酸を削減していない対照区では、中肥沃土と低肥沃土とも増減しながら約15mg/100g乾土の水準に収束した。全減区では低肥沃土と中肥沃土で10作後にはそれぞれ7~9mg/100g乾土と試験開始時より少なくなった。一方、交換性カリは低肥沃土では、カリ施肥量を全減しても試験開始時の3mg/100g乾土からほとんど低下しなかった。試験開始時に肥沃度を調整した中肥沃土では、1年目からすべての試験区で交換性カリ含量が急激に低下し、試験終了時には低肥沃

第3表 試験期間における小麦収量の推移¹⁾

試験区名	2009年	2010年	2011年	2012年	2013年
中肥沃土・対照	100	100	100	100	100
〃 ・リン酸半減	110	100	103	73	89
〃 ・リン酸全減	97	111	88	77	86
低肥沃土・対照	100	100	100	100	100
〃 ・リン酸半減	100	95	96	94	93
〃 ・リン酸全減	97	101	86	90	79
分散分析 ²⁾³⁾					
肥沃度 (A)	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.
リン酸削減 (B)	n. s.	n. s.	n. s.	*	*
(A) × (B)	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.

1) 値は各肥沃土の対照に対する指数値

2) 有意性は収量の実数で検定した

3) 二元配置分散分析にて、*は5%水準で有意差有り、n. s.は有意差無し

第4表 作物体のリン酸吸収量および圃場のリン酸収支

試験区名	年間の平均リン酸吸収量 (kg/10a)				1年間の 平均持出量 ¹⁾ (kg/10a)	1年当たりの 見かけの 平均収支 ²⁾ (kg/10a)
	小麦	うち麦穀	水稻	うち籾		
	中肥沃土・対照	3.5	3.0	5.8	3.9	6.9
〃 ・リン酸半減	3.3	2.9	5.8	3.8	6.7	-1.2
〃 ・リン酸全減	3.1	2.7	6.0	3.9	6.6	-6.6
低肥沃土・対照	3.4	3.1	5.8	4.0	7.1	3.9
〃 ・リン酸半減	3.2	2.9	6.0	4.1	7.0	-1.5
〃 ・リン酸全減	3.0	2.8	5.8	3.9	6.7	-6.7

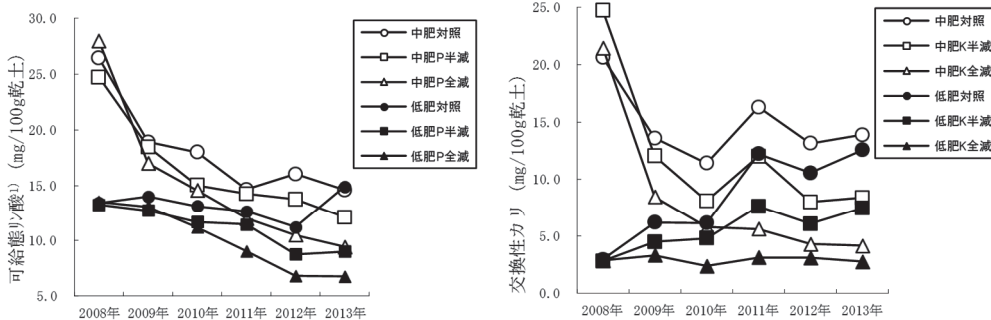
1) 前作のワラは鋤込み

2) 見かけの収支は施肥量から麦穀および籾分のリン酸吸収量を差し引いて算出している

第5表 カリ施肥量の長期削減が小麦と水稻の収量及び品質に及ぼす影響¹⁾

試験区名	収量 (kg/10a)		タンパク質含有率(%)		検査等級	
	小麦	水稻	小麦	水稻	小麦	水稻
中肥沃土・対照	393(100)	476(100)	7.2	5.6	1.2	4.1
〃 ・カリ半減	387(99)	482(101)	7.2	5.5	1.2	4.3
〃 ・カリ全減	409(104)	479(101)	7.2	5.6	1.2	4.3
低肥沃土・対照	403(100)	487(100)	7.2	5.5	1.3	3.8
〃 ・カリ半減	405(101)	477(98)	7.2	5.5	1.2	4.0
〃 ・カリ全減	397(99)	475(98)	7.2	5.8	1.3	4.0

1) 第2表に準じる



第1図 土壤中のリン及びカリの動態²⁾

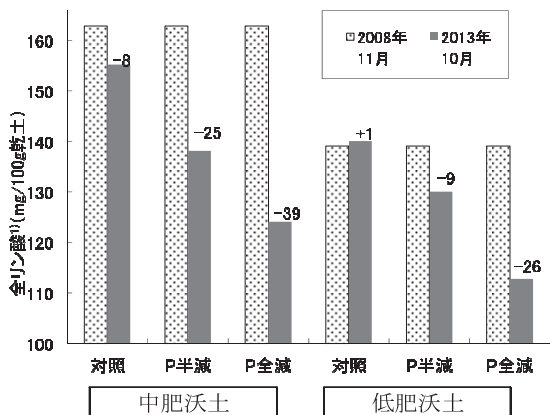
- 1) 可給態リン酸はトルオーグ法による
- 2) 調査時期は稲作直後

土とほぼ同じ水準となった。低肥沃土において、対照区では交換性カリの集積がみられ、試験開始時の 3mg/100g 乾土から13mg/100g 乾土へと増加した(第1図)。全リン酸は、含量で比較すると対照区では中肥沃土、低肥沃土ともにほとんど低下しなかったが、リン酸全減区ではそれぞれ、乾土 100g あたり39mg、26mgの減少が認められた(第2図)。水稻作付け期間中の灌漑水中の平均濃度は、リン酸が0.08mg/L、カリが1.82mg/Lであった。作付け中の灌漑水量から試算すると、リン酸とカリの灌漑水からの供給量は、それぞれ0.1kg/10a と2.5kg/10a にのぼると推定された(第7表)。

考 察

1 リン酸について

水田作においては、過去にN、P₂O₅、K₂Oの3要素を用いた試験があり、小麦では、リン酸の削減による減収の影響が指摘されていた(新良ら 2012)。本試験では、2年目までは、リン酸の全減区でも減収は認められなかったが、全減区では3年目から減収に転じ、半減区でも4年目から減収に転じた(第3表)。リン酸の持ち出し量と投入量から計算した見かけの収支は、リン酸の削減区では1年あたり-6.6~-6.7kg/10a とマイナスになっている(第4表)。これを反映して、試験開始時、リン酸全減区の可給態リン酸は中肥沃土で26mg/100g 乾土、低肥沃土は14mg/100g 乾土だったが、中肥沃土は試験開始4年後(2012年)に、低肥沃度は試験開始3年後(2011年)に10mg/100g 乾土を下回り、試験開始5年後(2013年、小麦、水稻計10作後)は、中肥沃土で9mg/100g 乾土、低肥沃土では7mg/100g 乾土まで低下した。このことから、本試験における小麦の収量低下の要因は、リン酸の削減を継続したことによる可給態リン酸含量の低下であると考えられる。多くの場合、1~2年での低リン酸肥料の使用で問題が出ていないのは、過剰なリン酸投入が行われてきたため、リン酸肥沃土の水準が比較的高く、短期間では深刻なレベルまで低下しないためと考えられる。福岡県では、麦類における土壤改善目標値として可給態リン酸は10~50mg/100g 乾土としている(福岡県農林水産部 2009b)。本試験では、可給態リン酸含量がこれを下回る水準となったため、減収に至ったと考え



第2図 試験開始前と試験後の全リン酸の変化²⁾

- 1) 全リン酸は乾式灰化-硫酸抽出法による
- 2) 棒グラフ上の数字は2009年から2013年にかけての変化量を表記

られる。このことから、リン酸削減を行うためには、作付け前土壌が改善目標値を満たしておく必要があると考えられる。

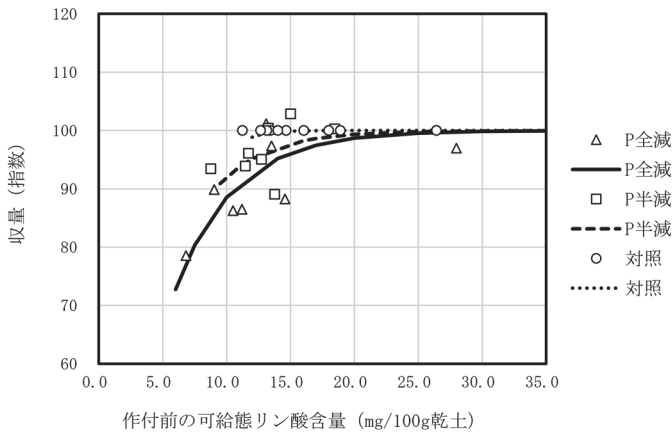
本試験で得られた、対照区と比較した収量指数と、小麦作付け前の可給態リン酸との関係から、収量の減少率を予測する近似曲線を作成した(第3図)。それによると、可給態リン酸が20mg/100g乾土程度になると、リン酸全減区の収量が、対照区の収量を1%程度下回り始め、作付け前の可給態リン酸が10mg/100g乾土程度になると、リン酸半減区の小麦作では収量が対照区より8%程度、全減区では12%程度減収することが予想される。これは、今後のリン酸減肥基準を策定する際の参考データとして活用できる。

一方、水稻ではリン酸施肥量の削減による減収はみられなかった。これは、湛水期間中に不可給態の鉄型リン酸が、還元化により可給化(久馬 1997)して水稻に利

用されやすくなったためと推察された。このため、リン酸を麦よりも効率的に利用でき、減収がみられなかったと考えられた。これは、水稻作ではリン酸が土壌からも供給されるということであるが、リン酸の全減区で、より多くの全リン酸が減少していたことも一致する。ここでは、土壌の流亡やリン酸の溶脱を測定していないため、正確な収支を明らかにするのは難しいが、仮に低肥沃土の流亡・溶脱量を1年あたり2kg/10a、中肥沃土を6kg/10aとすると、5年間の施肥投入量から持出量と流亡・溶脱量を除いた値は、作土深15cm、仮比重1.0で試算した全リン酸減少量とかなり近い値になった。このことから、リン酸については土壌からの供給も充分考慮する必要がある。

2 カリについて

本試験では、カリの肥沃度が3mg/100g乾土という、非常に低い水準の土壌においても、カリ全減区で小麦、水稻ともに対照区と比較して収量・品質の低下が見られなかった。高橋ら(2003)は、交換性カリが40mg/100g乾土以上ではカリ施用による増収効果がみられず、非火山灰土壌に限れば10~20mg/100g乾土でも増収効果はみられないと報告している。このことは、今回の3~22mg/100g乾土の範囲での試験において収量・品質に影響が認められなかったことと一致する。一方で、低肥沃土のカリ全減区では、小麦、水稻ともカリ吸収量の低下がみられた。水稻では、土壌中の交換性カリ含量が低下すると、茎葉中のカリ濃度が低下し、ナトリウムを代替吸収することが知られている(長谷川ら 1990)。本試験でも、交換性カリが3mg/100gと極端に低い低肥沃土のカリ全減区で、水稻のカリウム含有率の低下とナトリウム濃度が有意に上昇する現象が認められたため(データ略)、



第3図 小麦の作付け前土壌の可給態リン酸含量と収量の関係¹⁾

1) 図中の曲線は非線形最小二乗法により求めた近似曲線

第6表 作物体のカリ吸収量および圃場のカリ収支

試験区名	年間の平均カリ吸収量				1年間の 平均持出量 1) (kg/10a)	1年当たりの 見かけの 平均収支 ²⁾ (kg/10a)
	(kg/10a)					
	小麦	うち麦穀	水稻	うち稲		
中肥沃土・対照	7.8	2.0	12.6	2.3	4.3	15.7
〃・カリ半減	7.5	1.9	13.3	2.4	4.3	5.7
〃・カリ全減	7.4	2.0	11.7	2.3	4.3	-4.3
低肥沃土・対照	7.6	2.0	12.6	2.4	4.4	15.6
〃・カリ半減	7.3	1.9	11.8	2.3	4.3	5.7
〃・カリ全減	6.0	1.9	9.5	2.2	4.1	-4.1

1) 前作のワラは鋤込み

2) 見かけの収支は施肥量から麦穀および稲分のカリ吸収量を差し引いて算出している

第7表 灌漑水中のリン酸およびカリ濃度

	濃度 (mg/L) ¹⁾					1年当たりの供給量 (kg/10 a) ²⁾
	2009年	2011年	2012年	2013年	平均	
リン酸	0.07	0.18	0.02	0.03	0.08	0.1
カリ	2.35	1.55	1.56	1.81	1.82	2.5

1) 数値はそれぞれ、各年度の水稲作付け期間中の平均値

2) 供給量は、水稻 1作あたりの灌漑水量を1,400t/10aとして計算

収量・品質への影響は認められないものの、生理的な欠乏状態になっていると推察された。カリは成熟期においてワラに残留する部分が多いため、ワラを還元する耕種体系では土壌からの収奪量が少ない(小野ら 1999)。また、灌漑水にもカリが水稲作で持ち出される量を超えるほど含まれている(第 6表, 第 7表)。これは水田(2004)の報告と比較しても、過大に評価した量ではない。このため、本試験では、カリの持ち出し量が 1年に10 a 当たり 4kg以上あるにもかかわらず、交換性カリのレベルは 3mg/100g乾土で収束し、それ以下とはならなかったと考えられる。

3 リン酸、カリの施肥量削減について

本試験では、土壌中にリン酸やカリが十分含まれていても、施肥量を全減して作付けを続けると、小麦では減収することが示された。リン酸について、福岡県では可給態リン酸の土壌改善目標値は、下限値が小麦、水稲ともに 10mg/100g 乾土である。小麦では減収の危険性が示されたが、水稲では、この値より低い水準でも影響が認められなかった。このことから、減肥を可能とする水準や、減肥の程度については、水稲・小麦二毛作体系では、小麦を基準とするべきであると考えられた。小野ら(1999)は、水稲において、地力維持の面から、リン酸とカリは収奪量の補給、すなわち収支が 0 となるような投入量で十分という考えを示している。この考えに従えば、ワラを還元する場合、リン酸やカリをおおよそ従来の半量を施用すれば問題がないと考えられた。本試験では検討していないが、生産現場では飼料等による利用のためワラが持ち出されるケースが増えている。この場合は、収奪量が多くなるため、その分を収奪量に応じて堆肥などで補う必要がある。また、年次による収量水準の

変動により、養分収支は一定ではないこともあるため、3年に一度程度は土壌診断を行い、土壌の養分動態をチェックしておく必要がある。

引用文献

- 福岡県農林水産部(2009a) 主要作物の肥料節減指針. p. C-1-4-2 - p. C-1-5.
- 福岡県農林水産部(2009b) 主要作物の肥料節減指針. p. D-1-1 - p. D-5-18.
- 長谷川栄一・斉藤公夫・安井孝臣(1990) 水稲のナトリウム吸収から推定した水稲茎葉の最適カリウム含有率と施肥法についての一考察. 土肥誌61(6): 649-652.
- 小宮山鉄兵・新妻成一・藤澤英司・森國博全(2009) 土壌全リン酸含量簡易測定法. 土肥誌80(6): 616-620.
- 久馬一剛(編)(1997) 最新土壌学. 朝倉書店. 東京, p. 194.
- 水田一枝(2004) 福岡県における農業用水の水質実態と無機養分の流入および浄化が水稲栽培に及ぼす影響. 福岡農総試特別報告20: 1-64.
- 新良力也・山田一郎・伊藤豊彰・後藤英次・小河 甲・齋藤 寛・鳥山和伸(2012) 水田におけるリン酸施肥指針を再考する. 土肥誌83(2): 210-215.
- 農林水産大臣官房統計部(2014) 平成25年耕地及び作付面積統計. 農林統計協会. 東京, p37-39.
- 小野信一・雄川洋子・高橋 茂・大野智史(1999) 水稲栽培による水田土壌からのリン酸とカリの収奪量と水稲の適正施肥. 土肥誌70(3): 320-323.
- 高橋良学・島 輝夫・高橋好範・高橋正樹・小野剛志(2003) 水稲無カリ栽培が可能となる土壌中カリ蓄積水準. 土肥誌 74(3): 353-356.