

水稲無カリ栽培が可能となる土壤中カリ蓄積水準*

高橋良学・島輝夫**・高橋好範・高橋正樹・小野剛志

摘 要

近年、コンバインの普及により、水稲収穫時に圃場に稲わらをすき込む農家が増えてきている。稲わらには、水稲によって吸収されたカリの大部分が含まれるため、稲わらのすき込みは、水稲が吸収したカリの多くを圃場に還元することになる。稲わらすき込み農家の増加に伴い、県内の水田土壤中の交換性カリ含量は高まってきている。

土壌蓄積養分の利用は、施肥コスト削減と環境負荷軽減のため、有効な技術であることから、筆者らは交換性カリ含量の異なる圃場でカリ施用量試験を実施した。その結果、土壌中の交換性カリ含量が 400mgkg^{-1} 以上であれば、水稲無カリ栽培が可能であることを明らかにした。現在、県内水田の 20% 以上が土壌中交換性カリ含量 400mgkg^{-1} のレベルを超えている。

キーワード：水稲、交換性カリ、無カリ栽培、土壌蓄積養分

緒 言

カリウム（以下、カリと略記）は窒素とならび水稲にもっとも多く吸収される養分の 1 つである。しかしながら、水稲体内におけるその挙動と分布は、窒素とは異なっている¹⁾。すなわち、窒素は出穂開花後、登熟が進むにつれて穂へ移行する割合が高いのに対し、カリは穂へ移行する割合が低い。したがって、成熟期においては、水稲によって吸収された窒素の多くが穂に含まれるのに対し、カリの多くは、茎葉（稲わら）に含まれる。

近年、コンバインの普及により、水稲収穫時に圃場に稲わらを施用する農家が増えてきている。このため、水稲によって吸収されたカリの大部分は、稲わら施用により圃場に還元されている。圃場への稲わら施用農家の増加傾向は、岩手県内における定点土壌調査結果からも明らかである。一方、たい肥施用農家は減少しており、たい肥施用がよりカリ含量の高い稲わら施用に置き換わっている傾向が認められる（図 1）。これによって、カリ施肥量が減少しているにもかかわらず、水田土壌中の交換性カリ含量は増加しており（表 1）、水田土壌へのカリの蓄積が認められる（図 2）。

施肥コストの削減と、環境に配慮した持続型農業の推進のためには、土壌中に蓄積した養分を有効活用することが重要である。これまで岩手県では、土壌中に蓄積し

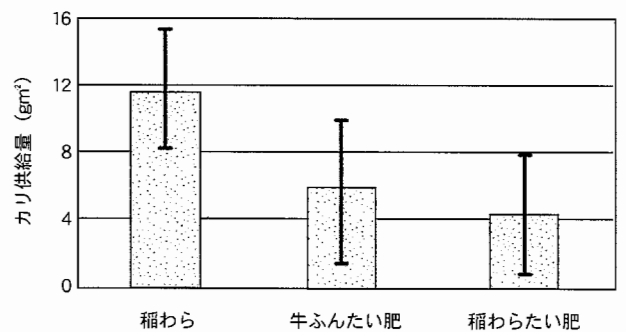


図 1 各種有機物施用による水田へのカリ供給量

稲わらによるカリ供給量は本試験結果より、牛ふんたい肥・稲わらたい肥によるカリ供給量は「岩手県土壌・施肥管理指針」¹⁾より算出した。

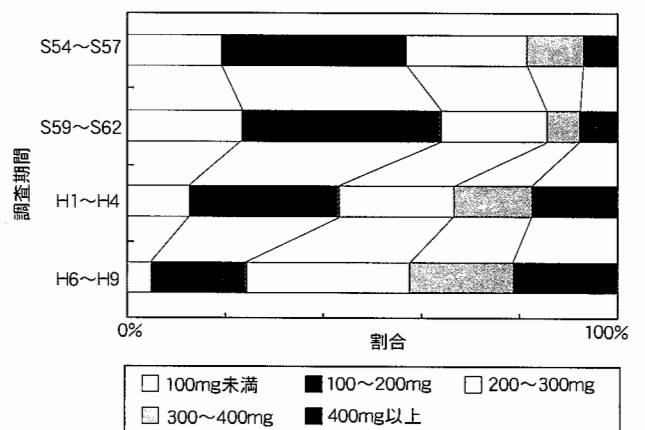


図 2 水田土壌中交換性カリ (K₂O) 含量分布の推移 (乾土 1kgあたり)

*本研究は土壌保全事業により行われた。 **岩手県農林水産部農業普及技術課

表1 稲わら施用農家割合とカリ (K₂O) 施肥量・土壌中交換性カリ (K₂O) 含量の推移

| 調査期間 | 稲わら施用農家割合 (%) | たい肥施用農家割合 (%) | カリ施肥量 (g m ⁻²) | 交換性カリ含量 (mg kg ⁻¹) |
|----------|---------------|---------------|----------------------------|--------------------------------|
| S54 ~ 57 | 20.7 | 68.5 | 10.6 | 212 |
| S59 ~ 62 | 22.6 | 66.7 | 11.4 | 200 |
| H1 ~ H4 | 32.7 | 59.1 | 10.2 | 305 |
| H6 ~ H9 | 46.3 | 41.7 | 9.7 | 348 |

定点土壌調査農家 (水田) の調査結果

たりン酸³⁾・カリの有効活用に関する研究を実施してきた。本報では、これまで実施してきたカリ施用試験の結果から、水稻無カリ栽培が可能となる土壌中カリの蓄積水準について明らかにしたので紹介する。

材料と方法

1 カリ施用試験

旧県立農業試験場 (岩手県滝沢村) 及び県農業研究センター (岩手県北上市) においてカリ施用量の試験を行った。試験区の基肥カリ施肥量は 0, 5, 10 g m⁻² の 3 段階、カリ追肥量は 0, 2 g m⁻² の 2 段階の計 6 区を設定した。軽米町高家、久慈市夏井、九戸村山根、花巻市太田および同市北湯口では、無カリ栽培の現地試験を行った。現地試験の基肥カリ量は 0, 10 g m⁻² の 2 段階、カリ追肥量は 0, 2 g m⁻² の 2 段階の計 4 区を設定した。すべての試験区において窒素、リン酸は慣行施肥とした。試験期間および試験条件は表 2 のとおりである。

2 土壌および稲体の分析

土壌試料の採取は、作付け前および作付け後に行った。採取した土壌は、風乾細土に調整した後、セミミクロ Schollenberger 法により陽イオン交換容量³⁾を測定した。また、陽イオン交換容量測定の際に得られた酢酸アンモニウム浸透液を用いて、炎光法¹⁾により交換性カリウム (K₂O) を定量した。稲体試料は、6 月中旬、7 月上旬、幼穂形成期、穂揃期、成熟期に各区より生育中庸な株を 3 株ずつ採取した。採取した稲体は風乾微粉碎し、硫酸一過酸化水素による湿式分解²⁾の後、炎光法¹⁾によりカリウム (K₂O) 含量を測定した。

結果および考察

1 カリ施用の有無が水稻の生育・収量に及ぼす影響

交換性カリ含量が異なる圃場の無カリ区およびカリ施用区の生育経過を表 3 に示す。土壌中交換性カリ含量が 58 mg kg⁻¹ と低い滝沢圃場では、草丈・茎数とも、慣行

区が無カリ区を上回って推移し、カリ基肥施用による生育促進効果が認められた。成熟期形質も同様の傾向を示し、 m^2 穂数は、無カリ区が慣行区を大きく下回った。一方、北上圃場、太田圃場では、草丈・茎数の推移にカリ基肥施用の有無による有意な差は認められず、成熟期形質は、無カリ区、慣行区とも同程度であった。

玄米収量は、滝沢圃場および北上圃場で無カリ区の玄米収量がカリ施用区の玄米収量を下回った (表 4)。滝沢圃場における無カリ区の玄米収量の減少には、成熟期の穂数不足が大きく影響した。一方、北上圃場における無カリ区の玄米収量の減少は、1 穂数減少によるものであった。北上圃場無カリ区の草丈・茎数は、慣行区と同程度に推移したことから、北上圃場における無カリ区と慣行区の 1 穂数の差は、幼穂形成期におけるカリ追肥の有無により生じたものと考えられた。木内ら⁶⁾の報告によれば、水稻の 1 穂数の確保には、幼穂形成期の稲体カリ (K) 濃度は 20 mg g⁻¹ (K₂O 濃度では 24 mg g⁻¹) 以上が望ましいとされている。北上圃場無カリ区の幼穂形成期における稲体茎葉カリ濃度は 36 mg g⁻¹ と木内らの報告した値を大きく上回っていた (表 5)。一方、太田圃場無カリ区の幼穂形成期における稲体茎葉カリ濃度は 27 mg g⁻¹ と北上圃場無カリ区よりも低い値であった。しかし、慣行区との間に 1 穂数の差は認められなかった。以上より、幼穂形成期における稲体茎葉カリ濃度が十分高くとも、土壌からのカリ供給が少ない圃場では、カリ追肥による増収効果があるものと考えられた。

以上の傾向をまとめると、①土壌中交換性カリ含量が 58 mg kg⁻¹ と低い滝沢圃場では、カリ施用による生育促進効果および増収効果が認められた。②土壌中交換性カリ含量が 260 mg kg⁻¹ である北上圃場では、カリ基肥施用による生育促進効果は認められなかったものの、カリ追肥による増収効果が認められた。③土壌中交換性カリ含量 430 mg kg⁻¹ である太田圃場では、カリ基肥施用による生育促進効果およびカリ追肥による増収効果のいずれも認められなかった。

「ひとめばれ」を供試した試験区において、 m^2 穂数の増加により、登熟歩合・玄米千粒重が減少する傾向が認

表2 試験期間および試験条件

| 調査地点 | 試験期間 | 土壌タイプ | 陽イオン 交換容量 (cmolckg^{-1}) | 交換性カリ (K_2O) 含量* (mgkg^{-1}) | 供試品種 |
|--------|---------|-------------|---|---|--------|
| 滝沢村砂込 | H4～H8 | 多湿黒ボク土 | 20.5 | 80 | あきたこまち |
| 北上市成田 | H9～H13 | 非アロフェン質黒ボク土 | 26.6 | 260 | ひとめぼれ |
| 軽米町高家 | H10～H12 | 多湿黒ボク土 | 19.8 | 200 | かけはし |
| 久慈市夏井 | H10～H12 | 褐色低地土 | 18.3 | 250 | かけはし |
| 九戸村山根 | H10～H12 | 多湿黒ボク土 | 26.1 | 200 | かけはし |
| 花巻市太田 | H13 | 黒ボクグライ土 | 30.2 | 430 | ひとめぼれ |
| 花巻市北湯口 | H13 | グライ台地土 | 23.1 | 700 | ひとめぼれ |

滝沢村砂込：旧岩手県立農業試験場内圃場

北上市成田：岩手県農業研究センター内圃場

* 交換性カリ含量は、各年次・各試験区の平均値

表3 無カリ区・カリ施用区における生育経過

| 試験区※ ()内は試験年度 | 草丈 (cm) | | | 莖数 (本 m^{-2}) | | | 成熟期形質 | | |
|-------------------|----------|-----------|-----------|-------------------------|-----------|-----------|------------|------------|----------------------------|
| | 6月 中旬 | 7月 月上旬 | 幼穂 形成期 | 6月 中旬 | 7月 月上旬 | 幼穂 形成期 | 稈長 (cm) | 穂長 (cm) | 穂数 (本 m^{-2}) |
| 滝沢無カリ区 (H7) | — | 30.5 | 47.0 | — | 337 | 391 | 66.7 | 17.5 | 334 |
| 滝沢慣行区 (H7) | — | 30.3 | 53.2 | — | 378 | 461 | 72.5 | 17.3 | 395 |
| 北上無カリ区 (H13) | 34.4 | 49.7 | 63.2 | 173 | 580 | 585 | 80.0 | 17.9 | 458 |
| 北上慣行区 (H13) | 34.4 | 49.9 | 62.1 | 182 | 592 | 566 | 80.2 | 18.0 | 445 |
| 太田無カリ区 (H13) | 33.6 | — | 60.4 | 623 | — | 782 | 81.1 | 17.6 | 577 |
| 太田慣行区 (H13) | 33.8 | — | 60.8 | 588 | — | 753 | 82.7 | 17.6 | 564 |

滝沢 (H7)：前作跡地交換性カリ含量 58mgkg^{-1} 北上 (H13)：前作跡地交換性カリ含量 260mgkg^{-1} 太田 (H13)：作付前交換性カリ含量 430mgkg^{-1} 慣行区カリ施用量：基肥 10g m^{-2} ，追肥 2g m^{-2}

表4 無カリ区・カリ施用区における収量・収量構成要素

| 試験区 | 精玄米重 (g m^{-2}) | 1 穂粒数 (粒) | m^2 粒数 (千粒) | 登熟歩合 (%) | 玄米千粒重 (g) |
|--------------|-------------------------------|--------------|-------------------------|-------------|--------------|
| 滝沢無カリ区 (H7) | 412 | 65.5 | 21.8 | 92.2 | 22.6 |
| 滝沢慣行区 (H7) | 459 | 67.6 | 26.7 | 90.5 | 22.6 |
| 北上無カリ区 (H13) | 470 | 50.7 | 23.2 | 83.3 | 23.0 |
| 北上慣行区 (H13) | 506 | 60.2 | 26.8 | 85.0 | 22.2 |
| 太田無カリ区 (H13) | 630 | 57.9 | 33.4 | 84.8 | 22.7 |
| 太田慣行区 (H13) | 586 | 61.7 | 34.8 | 76.4 | 22.3 |

滝沢 (H7)：前作跡地交換性カリ含量 58mgkg^{-1} 北上 (H13)：前作跡地交換性カリ含量 260mgkg^{-1} 太田 (H13)：作付前交換性カリ含量 430mgkg^{-1} 慣行区カリ施用量：基肥 10g m^{-2} ，追肥 2g m^{-2} 表5 無カリ区・カリ施用区における稲体カリ (K_2O) 濃度の推移 (mgg^{-1})

| 試験区 | 6月中旬 | 7月上旬 | 幼穂形成期 | 穂揃期 | | 成熟期 | |
|--------------|------|------|-------|-----|-----|-----|-----|
| | | | | 茎葉 | 穂 | 茎葉 | 穂 |
| 滝沢無カリ区 (H7) | 21 | 22 | 14 | 15 | 6.6 | 14 | 3.6 |
| 滝沢慣行区 (H7) | 25 | 29 | 24 | 19 | 6.9 | 18 | 3.6 |
| 北上無カリ区 (H13) | 38 | 48 | 36 | 18 | 6.6 | 15 | 2.4 |
| 北上慣行区 (H13) | 39 | 44 | 36 | 18 | 7.2 | 19 | 1.8 |
| 太田無カリ区 (H13) | 37 | 40 | 27 | 21 | 7.2 | 23 | 4.2 |
| 太田慣行区 (H13) | 39 | 38 | 26 | 25 | 7.2 | 18 | 5.4 |

滝沢 (H7)：前作跡地交換性カリ含量 58mgkg^{-1} 北上 (H13)：前作跡地交換性カリ含量 260mgkg^{-1} 太田 (H13)：作付前交換性カリ含量 430mgkg^{-1} 慣行区カリ施用量：基肥 10g m^{-2} ，追肥 2g m^{-2}

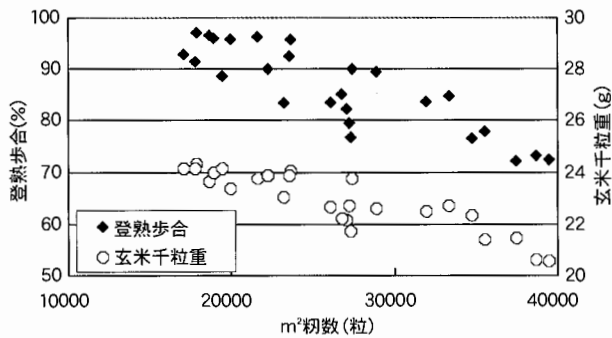


図3 「ひとめぼれ」供試試験区における m^2 籾数と登熟歩合・玄米千粒重との関係

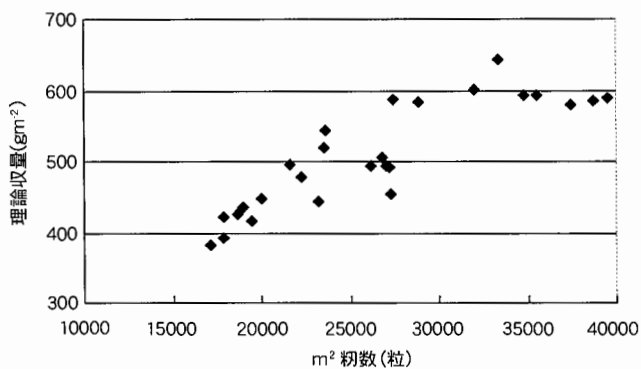


図4 「ひとめぼれ」供試試験区における m^2 籾数と理論収量との関係

められた(図3)。また、「ひとめぼれ」においては、 m^2 籾数が30,000粒までは、籾数の増加に従い理論収量(m^2 籾数×玄米千粒重×登熟歩合)が増加する傾向が認められたが、 m^2 籾数30,000粒以上では理論収量が横這いとなった。

2 稲体のカリ濃度およびカリ吸収量の推移

全試験区の稲体茎葉カリ濃度の推移を、図5に示す。稲体カリ濃度は7月上旬に最大となり、その後減少する傾向を示した。図6に示すように、土壌中の交換性カリ含量と、無カリ区の穂揃期における稲体茎葉カリ濃度との間には正の相関が認められた。長谷川ら²⁾は、「ササニシキ」を用いて、作物のカリとナトリウム濃度との相互関係から、出穂期から成熟期に必要な稲体茎葉カリ濃度を 20 mgg^{-1} と推定している。図6より、無カリ栽培でも、8月下旬(穂揃期頃)の稲体カリ濃度 20 mgg^{-1} 以上を確保しうる土壌中交換性カリ含量は、およそ 300 mgkg^{-1} 以上であると考えられる。

「ひとめぼれ」を供試した試験区において、穂揃期の稲体茎葉カリ濃度と m^2 籾数との間に、正の相関が認められた。図4より、「ひとめぼれ」の目標収量を 540 kg と設定した場合、必要となる m^2 籾数は30,000粒前後となる。

図7より m^2 籾数30,000粒を確保できる穂揃期の稲体茎葉カリ濃度は 20 mgg^{-1} 前後となり、前述の長谷川らが報告した値と同程度であった。以上より、「ひとめぼれ」においても、成熟期に必要な稲体茎葉カリ濃度は 20 mgg^{-1} 前後であると考えられる。

「ひとめぼれ」供試試験区における、各生育ステージ毎の稲体茎葉カリ濃度と窒素濃度との関係を図8に示す。稲体茎葉カリ濃度と窒素濃度との間には、正の相関が認められた。試験区の窒素施肥量は均一であることから、各試験区の稲体茎葉窒素濃度の差は、カリの窒素吸収促進効果によるものと考えられた。

カリ吸収量は、穂揃期頃に最大となり、成熟期にはやや減少する傾向を示した(図9)。全試験区の成熟期におけるカリ吸収量の平均値は 13.6 gm^{-2} であり、このうち穂による吸収量の平均値は 2.1 gm^{-2} であった。カリ吸収量は、既報の吸収量¹⁰⁾とほぼ同程度の値となった。本試験の成熟期における稲体のカリ吸収量平均値から考えると、コンバイン収穫により圃場に稲わらが還元された場合、 1 m^2 あたり 10 g 以上ものカリが圃場に還元されると思

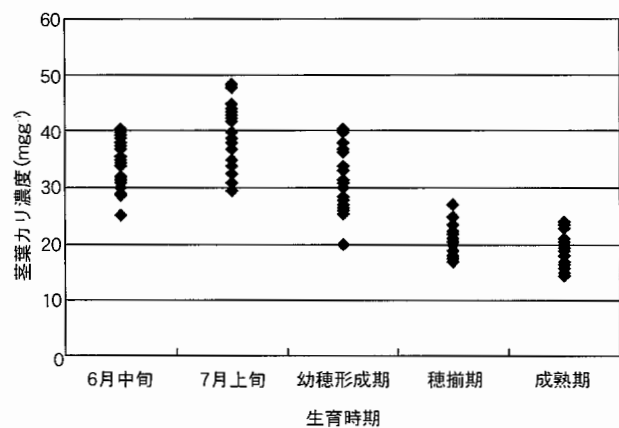


図5 全試験区の稲体茎葉カリ(K_2O)濃度の推移

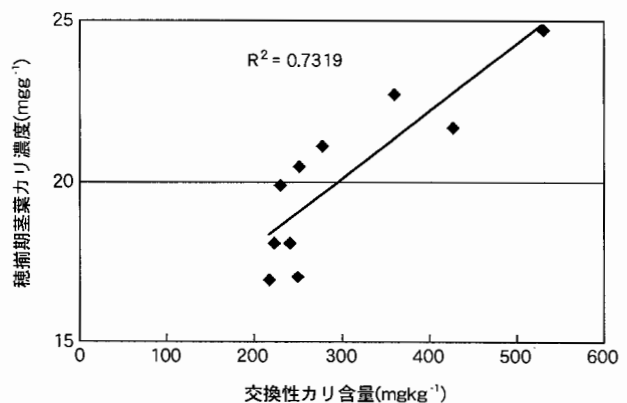


図6 土壌中交換性カリ(K_2O)含量と無カリ区の穂揃期茎葉カリ(K_2O)濃度

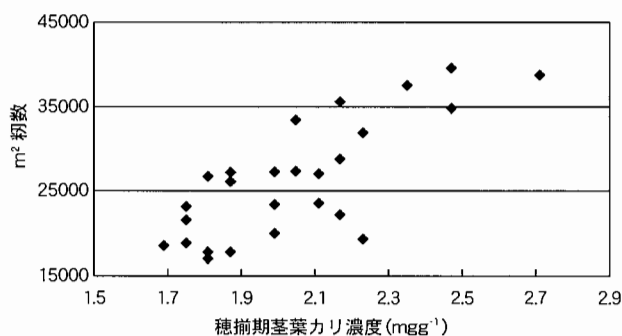


図7 「ひとめぼれ」供試試験区における穂揃期茎葉カリ濃度と m^2 穂数との関係

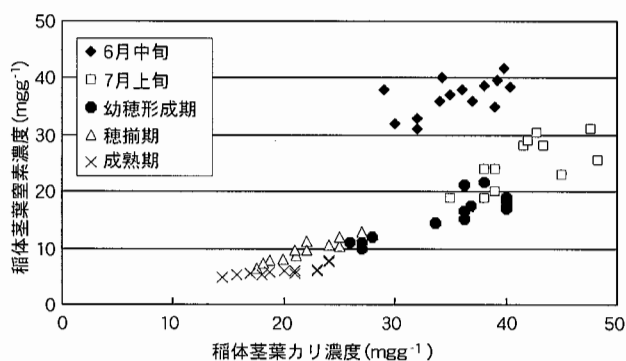


図8 各生育ステージにおける稲体茎葉カリ濃度と窒素濃度との関係

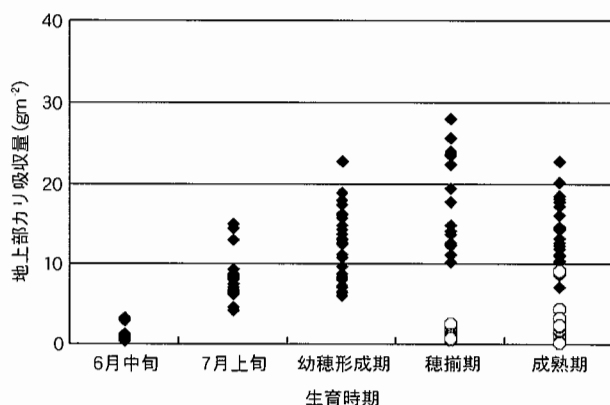


図9 全試験区の地上部カリ(K_2O)吸収量の推移 (図中○は穂のカリ吸収量を示す)

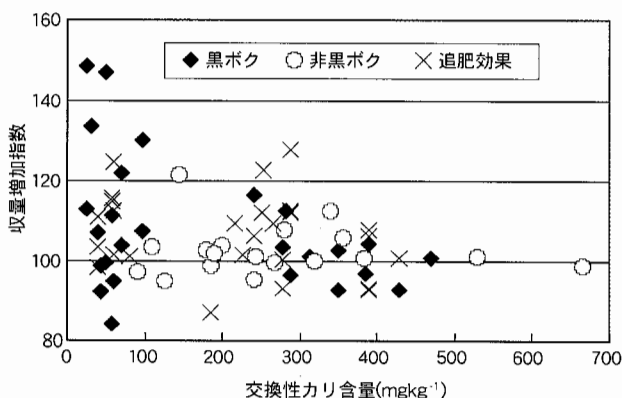


図10 交換性カリ(K_2O)含量と収量増加指数

られる。稲わら施用による土壌カリの蓄積傾向は、既報の稲わら連用試験^{11,12)}で確認されている。

3 カリ施用による玄米収量増加効果

土壌中交換性カリ含量とカリ施用による収量増加指数との関係を図10に示した。収量増加指数とは、無カリ区の玄米収量を100として、カリ施用区の収量を指数化したものである。図中の◆印および○印は、無カリ区に対するカリ基肥・追肥施用区の収量増加指数を示す。また、図中×印は、無カリ区に対するカリ追肥区およびカリ基肥施用区に対するカリ基肥・追肥施用区の収量増加指数を示す。図9中には、表2に示したカリ施用量試験の他、北上(非アロフェン質黒ボク土, H10~13)、滝沢(多湿黒ボク土, H2~7)、江刺(褐色低地土, H1~9)で実施した3要素試験の無カリ区に対する三要素区(カリ施用区)のデータもプロットしている。水稲品種・土壌タイプに関係なく、前作跡地の交換性カリ含量が低い圃場では、カリ施用による玄米収量の増加が期待できる。しかし、前作跡地の交換性カリ含量が高まるに従って、カリ施用による収量増加指数のふれは次第に小さくなり、 $400mgkg^{-1}$ 以上では玄米収量の増加は期待できなくなる。この傾向は追肥についても同様であった。また、本試験を実施した土壌条件では、カリ施用による玄米収量の増加が期待できなくなる土壌中カリ飽和度はおよそ3%以上であった(図11)。

4 無カリ栽培継続による土壌中カリ含量の推移

無カリ栽培の継続により、土壌中の交換性カリ含量は低下していくことが予想される。しかし、土壌中の交換性カリ含量の低下には、1次鉱物や粘土鉱物によるカリの供給・流亡程度の差異やかんがい水からのカリ供給^{5,9)}などの要因が関係しており、その低下量を見積もることは難しい。極端な事例として、岩手県農業研究センター(非アロフェン質黒ボク土)の新規造成の水田圃場で、たい肥無施用、稲わら持ちだしの条件で3年間無カリ栽培を行った圃場の交換性カリ含量推移を図12に示した。この条件での3年間無カリ栽培継続による交換性カリの減少は、およそ $150mgkg^{-1}$ であった。稲わらやたい肥が施用されている圃場では、無カリ栽培継続による土壌中の交換性カリ含量の減少は軽減されることが見込まれるため、カリが十分蓄積した水田圃場では、2~3年間の無カリ栽培の継続が可能であると考えられる。しかし、3年に1度は土壌診断を実施し、無カリ栽培の継続を検討する必要がある。

5 水稲無カリ栽培が可能となる土壤中カリの蓄積水準

コンバイン収穫による収穫時の稲わらすき込みは、現行のカリ施肥管理下では土壤中にカリを蓄積させる。土壤中カリが十分蓄積した場合、水稲生育・玄米収量に影響を及ぼすことなく、水稲無カリ栽培が可能となる。水稲無カリ栽培が可能となる土壤中カリの蓄積水準は、交換性カリ含量で 400mgkg^{-1} 以上である。土壤中カリ蓄積量が前述の基準値以上であり、かつ、稲わら・たい肥の施用が行われている圃場では、2～3年間の無カリ栽培の継続が可能であると考えられる。

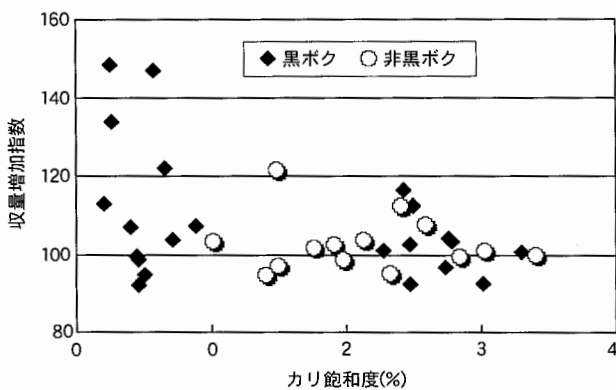


図11 カリ飽和度と収量増加指数

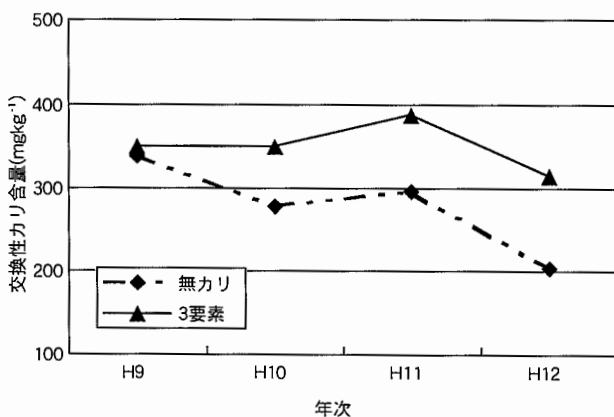


図12 無カリ栽培継続圃場の交換性カリ(K_2O)含量の推移

1998年より無カリ栽培を実施。データは各年の跡地土壌のもの

引用文献

- 1) 土壤養分測定法委員会, 1970, 土壤養分分析法, 養賢堂, 東京, p34～36.
- 2) 長谷川栄一・斉藤公夫・安井孝臣・久末勉・塩島光洲, 1987, 水稲のカリウム及びナトリウム吸収, 宮城農業センター研報, 55, 19～36
- 3) 伊藤公成, 1993, 岩手県における水稲リン酸施肥の実態とリン酸施用効果, 東北農業研究, 46, 73～74.
- 4) 岩手県, 1997, 地力・有機物施用を考慮した岩手県土壌・施肥管理指針, p.35
- 5) 岩手県立農業試験場, 1974, 岩手県におけるカリ肥料の肥効に関する研究の動向, p.1～37
- 6) 木内知美・大向信平・宇佐美昭宣・石阪英男・高橋紅, 1962, 水稲の肥培条件が水稲の収量形成過程に及ぼす影響, 東北農試研報, 24, 1～59
- 7) 前田乾一, 1997, 水田の施肥, 作物栄養・肥科学, 文永堂出版, 東京, p.188～217.
- 8) 水野直治・南松雄, 1980, 硫酸一過酸化水素による農作物中N, K, Mg, Ca, Fe, Mn定量のための迅速前処理法, 土肥誌, 51, 418～420
- 9) 水田一枝, 2001, 灌漑水による水田へのN, P, Kの流入量, 日作紀, 70, 595～598
- 10) 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, 320～323
- 11) 小野芳郎・平岡正夫・川中弘二, 1989, 岡山県南部水田における稲わら連用の効果, 岡山農試研報, 7, 18～24
- 12) 関稔・今泉諒俊・今井克彦・北村秀教・加藤保・塩田悠賀里, 1989 稲わら連用が水田土壌中の無機成分の変動に及ぼす影響, 愛知農総試研報, 21, 62-68

The exchangeable potassium level in soil which enables paddy rice cultivation without potassium fertilizer

Yoshinori TAKAHASHI, Teruo SHIMA, Yoshinori TAKAHASHI,
Masaki TAKAHASHI and Tsuyoshi ONO

Summary

Rice straw contains most of the potassium absorbed by a rice plant. The number of farmers incorporating rice straw in paddy fields at rice harvesting time has increased with the spread in the use of combine-harvester machines. Incorporating the rice straw returns most of its absorbed potassium to the paddy soil. Thus, the quantity of soil exchangeable potassium in paddy soil is increasing in Iwate prefecture.

We carried out potassium fertilizer application at different soil exchangeable potassium levels and found that the soil exchangeable potassium level which enables paddy rice cultivation without potassium fertilizer is 400mg(K₂O) per 1kg oven-dry soil. Today, more than 20 percent of paddy fields meet the soil exchangeable potassium level in Iwate prefecture. It is very important for cutting fertilizer application costs and for environmental conservation to use nutrients that are accumulated in the soil.

Key Words : paddy rice, exchangeable potassium, without potassium fertilizer, accumulated nutrients in the soil