

第Ⅱ章 各種有機資材の施用効果調査

パート1: サバンナ帯の稲作における有機資材の施用効果調査

サバンナ帯に位置するノーザン州においては、これまでに、現地で土壌肥沃度改善に利用可能な有機資材として、稲作において最も容易に得られる有機資材である稲わらが最も有望であると判断された。稲わらの優位性については、前年度報告書に詳しく述べたが、圃場内で産出されることにより、収集及び輸送などの労働コストがほぼゼロになることが大きい(JIRCAS、2013)。また、その肥料効果についても、2010年度の結果によれば、牛糞や人糞と比較しても遜色ない水準の収穫量を示している(JIRCAS、2011)。これらのことから、ノーザン州の稲作においては、稲わらを主体とした有機資材施用方法を確立することが重要であると判断された。

さらに、この結果をふまえて実施した2011年度の試験では、稲わら施用と化学肥料の組み合わせが特に有効であることが示された(JIRCAS、2012)。稲わら施用は、無施用区に比べて約1.2倍の収量が得られたが、化学肥料との組み合わせでは、無施用区の約1.5倍の収量が得られた。しかしながら、これまでに議論してきたように化学肥料は高価で、推奨量を施用するのは小規模農家には困難であると考えられた。

そこで、前年度試験においては、稲わら直接施用時に組み合わせる化学肥料の適正施用量を明らかにすることを目的として、化学肥料の施用水準を4水準に設定し、イネ生産量を評価した。しかしながら、前年度試験においては、イネ収量に特段の傾向が認められず、化学肥料の適正施用量の決定には至らなかった。

そこで本試験では前年度試験と同様の試験区を設定し、再試験を実施することで、調査地におけるイネ施用時に適切な窒素施用量を明らかにすることを目的とした。

方法

調査地

ノーザン州タマレ市開発研究大学内圃場

試験設計

調査地域において、稲わら(RS)は、0 t、1.5 tおよび3.0 t/haの水準で施用した。これら三水準の稲わら施用区において、窒素肥料を、0、15、30、60 kg N/haの四水準になるように施用し(N0、N15、N30、N60)、各処理6反復で試験を実施した。なお、全ての処理区において、カリ肥料として塩化カリを30 kg K₂O/haの水準で、リン肥料としてはリン鉱石(PR)を135 kg P₂O₅/haで施用した。

試験で用いたイネ品種はこれまでと同様にGR18を用いた。GR18はGhana Seed Company (1988)によって、ガーナ北部における最も利用されている改良品種として

紹介されている。現地踏査の結果でも、GR18 はノーザン州を含むガーナ北部地域において、人気の高い品種であることが示されている。各処理区における栽植密度は条間、株間ともに 20cm とした。

分析方法

土壌分析： 調査地の各プロットにおいて、表層 0-20 cm 深の土壌を採取し、風乾後、2 mm 径の篩で篩別した。この風乾細土試料を、以下の各項目の分析に供試した。土壌 pH は、風乾細土試料 1 g あたりに 2.5 ml の蒸留水を加え、一時間振とうしたものを、3000 rpm で 5 分間遠心分離し、得られた上澄みについてガラス電極法により pH を測定した。全炭素及び全窒素については Sumigraph NC220F を用いて乾式燃焼法により定量した。有効態リン含量は Bray and Kurtz (1945) に従って抽出後、モリブデン青法により発色し、紫外可視分光光度計 (Shimadzu UV2400PC) により定量した。交換性塩基類は、亀和田・柴田 (1997) に従って、1M の酢酸アンモニウム溶液でバッチ法により抽出した。得られた抽出液の各元素について、ICP-AES (Shimadzu) を用いて、プラズマ発光分光分析法によって定量した。交換性水素並びに交換性アルミニウムは、McLean (1965) に従って、滴定法で定量した。また、得られた交換性塩基類と交換酸度の当量の総和を、有効陽イオン交換容量 (eCEC) とした。

収量調査： 各プロットにおいて、坪刈りにより単位面積あたりのイネ籾収量、イネ茎葉部バイオマス量、千粒重、を測定した。また栽培期間中、有効分げつ数および草丈を三週間に一度測定した。クロロフィル含量を葉緑素計 (SPAD-502Plus、コニカミノルタ、日本) を使用して測定した。

統計解析： 得られた収量データについて、Kyplot ver 4.0 (KyenceLab, Inc.) を使用して、二元配置分散分析を実施した。また、収量データ及び生育調査の結果は 6 反復の平均値を示すとともに、標準誤差を示した。

結果

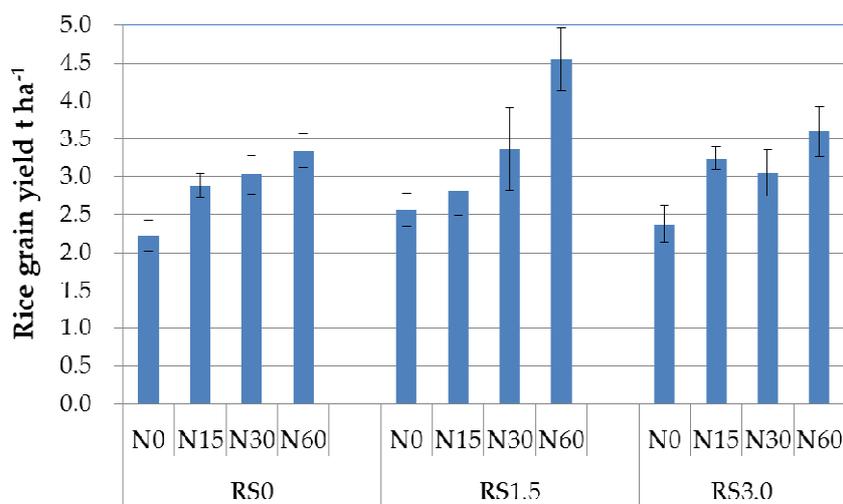
各処理区のイネ収量を図 II-1 に示した。前年度の試験においては、N30 処理区において、有意に収量が低い傾向を示したが、その理由が不明であり、稲わら施用時に必要な窒素施用量の決定に至っていなかった。

本年度の試験結果では、稲わらの施用量に関わらず、窒素施用量の増加にともない、イネ収量が増加する傾向を示した。また、稲わら施用量に関わらず、調査地における窒素施用の推奨量である N60 処理で最大収量を示したことから、稲わら施用の有無に関わらず、窒素施用は 60 kg N ha^{-1} が望ましいと考えられる。なお、得られたイネ収量についての二元配置分散分析では、稲わら施用量と窒素施用量の間に有意な

交互作用は認められなかった(表 II-1)。

稲わらのみの施用では、稲わら無施用(RS0)時の 2.22 t ha⁻¹に比べて、RS1.5 では 2.57 t ha⁻¹、RS3.0 では 2.38 t ha⁻¹と高い収量を示した。稲わら施用量を 3 t ha⁻¹に増量してもイネ収量が増加しないことから、稲わら施用量は 1.5 t ha⁻¹で十分量であると考えられる。稲わらの施用効果は、稲わらに含まれる各種栄養塩の給源としての効果に加え、土壌物理性および土壌生物性の改善効果が期待される。一方で難分解性有機物が多く、水田等の還元土壌環境下における多量施用は、窒素飢餓、もしくは芳香族カルボン酸等の土壌微生物の代謝産物の生成により、水稻の生育が阻害される事例が多く報告されている。本試験地においては、比較的好氣的条件であることから、多量施用による生育阻害は考え難いものの、多量施用の必要性は低いと考える。

また、化学肥料との複合施用時の窒素施肥量については、調査地における推奨施用量である 60 kg N ha⁻¹で最も高い値を示したことから、推奨施用量の施用が最適である。しかしながら、稲わら無施用時(RS0)における N60 の収量が 3.35 t ha⁻¹であるのに対し、稲わら 1.5 t ha⁻¹施用時(RS1.5)における N30 処理の収量が 3.37 t ha⁻¹と、



ほぼ同水準の収量を示したことから、稲わら 1.5 t ha⁻¹施用の場合、窒素肥料を 50%削減することが可能であると言える。ただし、推奨施用量の窒素肥料が施用可能である場合は、前述した通り、稲わら施用の有無に関わらず、推奨施用量の施用が適正であると考え

図 II-1. 稲わら施用と窒素肥料の組み合わせがイネ収量に及ぼす影響
エラーバーは標準誤差(n=6)

表 II-1. 稲わら施用と窒素肥料の組み合わせ試験結果の二元配置分散分析結果

因子	平方和 (SS)	自由度 (DF)	平均平方 (Ms)	F	P値 (有意確率)	F (0.05)
N施用量	19.14	3	6.38	11.57	0.00	2.76
RS施用量	2.50	2	1.25	2.27	0.11	3.15
NxRS (交互作用)	3.79	6	0.63	1.15	0.35	2.25
誤差	33.08	60	0.55			
計	58.51	71				

図 II-2 にそれぞれ収穫時点の各処理区における有効分げつ数(A)、クロロフィル含量(B)、草丈(C)、および千粒重(D)を示した。

有効分げつ数は、窒素施用量にともなって増加する傾向を示した。また、RS1.5 及びRS3.0は、有効分げつ数がRS0に比べて高い値を示した。また、クロロフィル含量の指標となる SPAD 値についても、同様の結果を示した(図 II-2B)。クロロフィル含量は土壌中の窒素含量を反映して高くなることが示されており、本試験においても、窒素施肥によってクロロフィル含量が高まったものと考えられる。また、RS1.5 及び RS3.0 のクロロフィル含量がRS0に比べて高い値を示したことから、稲わらに含まれる窒素の効果が得られたものと考えられる。しかしながら、N60 施用時のRS1.5とRS3.0の間に有意な差異が認められないことから、窒素が十分量施用されている場合、稲わら施用量の差異は、更なるイネの窒素栄養状態の改善に至らないと考えられる。

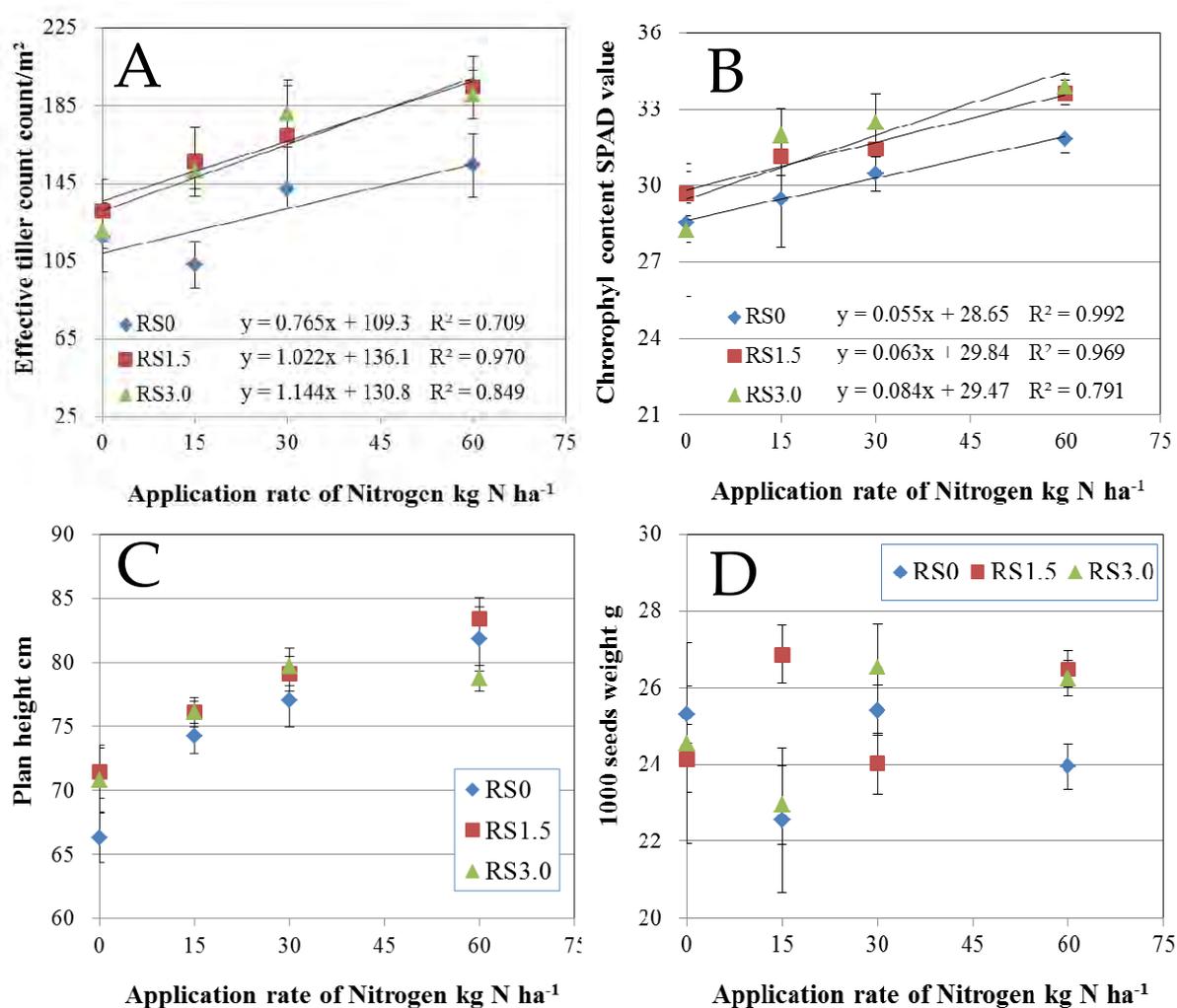


図 II-2. 稲わら施用と窒素肥料の組み合わせが有効分げつ数(A)、クロロフィル含量(B)、草丈(C)および千粒重(D)に及ぼす影響
エラーバーは標準誤差(n=6)

草丈は、窒素施用量の増加にともなって、高くなる傾向を示したが、稲わら施用量の大小は、窒素無施用時を除いて、草丈に影響しないことが示された(図 II-2C)。また、千粒重については、窒素施用、稲わら施用ともに明確な有効性を示さなかった(図 II-2D)。このことから、窒素施用により、イネの窒素栄養状態が改善され、分けつ数および草丈が増加すると考えられ、更に稲わらを施用することで、特に分けつ数が増加するため、イネ収量が向上すると考えられる。しかしながら、稲わらの施用量が 1.5 t ha^{-1} から 3.0 t ha^{-1} に増加しても、明確な差異は認められない。

まとめ

これまでに実施された各種試験において、ギニアサバンナ帯の稲作において、土壌肥沃度改善に最も有効と思われる有機資材は、圃場内で生産される稲わらであることが明らかになった。さらに、稲わらの施用時に化学肥料を複合施用することで、イネ収量を更に向上出来ることが示唆された。しかしながら、化学肥料の複合施用時に必要な適正施用量については、前年度試験において検証されながら、結論が得られていなかった。その為、本年度試験で再試験を実施し、稲わらと化学肥料の複合施用の効果の検証と、複合施用時の適正な化学肥料施用量を明らかにすることとした。

その結果、前年度までの結果と同様に、稲わらの施用により、イネ収量は増加した。稲わらのみの施用では、稲わら 1.5 t ha^{-1} 施用の場合、無施用に比べて1.16倍の収量が得られた。また、稲わら 3.0 t ha^{-1} 施用の場合、1.07倍の収量が得られた。これらの稲わら施用によるイネ増収効果は、昨年度までに示された結果と概ね合致する。このことから、サバンナ帯における稲わら直接施用の有効性は、再現性が高い技術であると言える。

さらに、稲わらと化学肥料の複合施用時の適正施用量については、稲わらの施用量に関わらず、推奨施用量である 60 kg N ha^{-1} で最も高い値を示したことから、推奨施用量の施用が最適であると考えられる。他方、稲わら無施用時(RS0)における N60 の収量と、稲わら 1.5 t ha^{-1} 施用時(RS1.5)における N30 処理の収量が、ほぼ同水準の収量を示したことから、稲わら 1.5 t ha^{-1} 施用の場合、窒素肥料を50%削減することが可能であると考えられる。

ただし、推奨施用量の窒素肥料が施用可能である場合は、前述した通り、稲わら施用の有無に関わらず、推奨施用量の施用が適正であると考えられる。

パート II. 農家圃場における在来有機資源施用技術の実証

これまでに得られた知見から、サバンナ帯及び赤道森林帯において、各地域における有機資材施用は、在来有機資源の賦存量、社会的受容性、施用効果等から、適した有機資材を選択・利用する必要があると考えられ、サバンナ帯における有用な在来有機資源は、稲わらを主体とした有機資源施用が、赤道森林帯においては、鶏糞及びオガクズの施用が有効であると考えられた。

しかしながら、これらの技術の普及には、各技術8の普遍性と再現性、農家による実践可能性や受容性等を、農家自身により判断する過程が必要であると考えられる。その為、2011年度からサバンナ帯および赤道森林帯の農家圃場において、各種の技術オプションの実証試験を実施している。これまでに、両調査地域において提案された技術オプションは、いずれも再現性が高く、農家による実践も可能であると考えられ、最終年度では、各農家圃場に技術の内容を記載した立て看板を設け、展示圃場としての普及活動としても位置付けた。一方、技術導入の効果には、年次変動があると考えられたため、2011年度、2012年度に実施した農家実証試験を継続し、各技術オプション導入にともなうイネの増収効果について、年次変動を含めた収量データを得て、技術の普遍性についても考察する。

調査地

調査対象としたサバンナ帯および赤道森林帯における調査地点の位置図をそれぞれ図 II-3A 及び図 II-3B に示す。サバンナ帯においてはタマレ市近郊の計 10 地点の農家圃場において、赤道森林帯においてはクマシ市近郊の計 9 地点の農家圃場

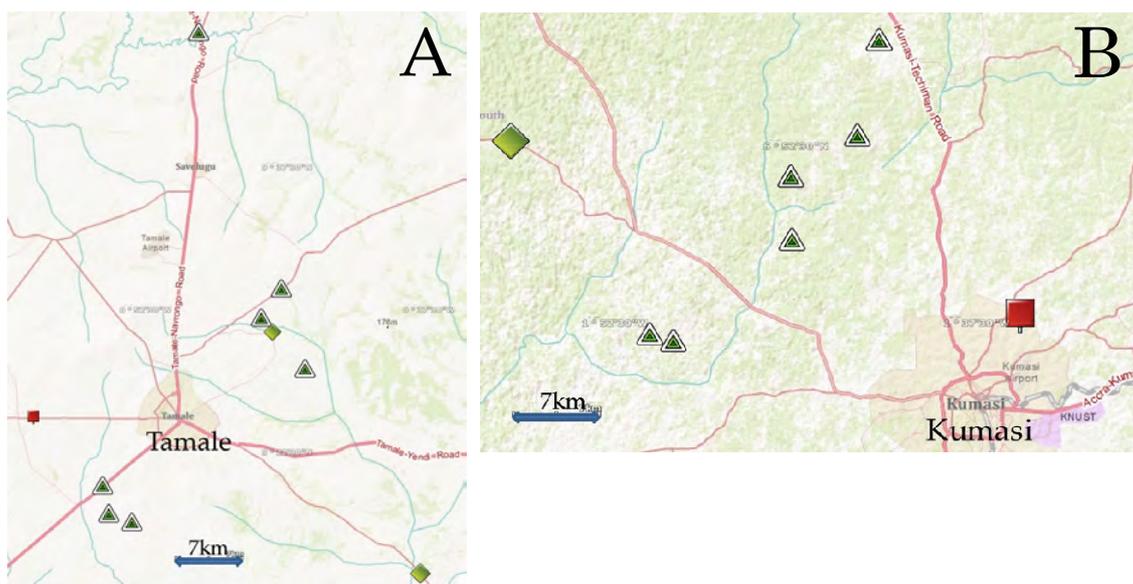


図 II-3. サバンナ帯(A)及び赤道森林帯(B)における農家技術実証圃場の位置図 (緑△:農家技術実証圃場)

において、これまでに提案された有機資材施用等の技術を現地農家による栽培で実践した。なお、サバンナ帯においてはタマレ市街地から、赤道森林帯においてはクマシ市街地からおよそ 50km 圏内にある農家圃場を、農家実証圃場とした。

農家技術実証圃における試験設計

各調査地において、稲わら直接施用を主体とした有機物施用試験区とリン鉱石直接施用効果試験区を組み合わせた 8 処理区を設定した。また、リン鉱石及び TSP 施用区については、処理区を分割し、残効試験区と連続施用区を設定した。これらリン鉱石直接施用試験結果については後述することとし、本章では、有機物施用試験区の結果について述べる。

サバンナ帯における処理区は、稲わら施用を主体とし、化学肥料との組み合わせや堆肥化等の処理の影響を評価するための処理区を設定した。各処理区の詳細については表 II-2 に示した。完全無施肥区である Control 区は農家慣行と考えられる。稲わら直接施用効果については、稲わらのみ (RS 区)、化学肥料のみ (NK 区)、化学肥料併用時稲わら施用 (NK+RS) を設定し、これらの比較検討によって評価することにした。また、ノーザン州に特有な有用有機資源である牛糞及び人糞を利用した、稲わら牛糞堆肥区 (CD/RS+NK+PR 区) および稲わら人糞堆肥区 (HE/RS+NK+PR 区) を設定した。稲わら牛糞堆肥区ならびに稲わら人糞堆肥区は、集約的土壌管理が可能な農家を想定し、窒素及びカリウムの化学肥料とリン鉱石を同時施用した。

赤道森林帯における処理区は、リン鉱石直接施用効果試験区の他に、鶏糞施用およびオガクズ燻炭を主体として、表 II-4 のように設定した。サバンナ帯とは異なり、全ての処理区に窒素およびカリウムを施用した。鶏糞施用区である PM 区では、化学肥料に加え、 2t ha^{-1} の鶏糞を施用した。さらにリン鉱石を施用した PM+PR+NK 区を設定し、NK 区との比較により鶏糞の施用効果を検証する。また、オガクズ燻炭を 2t ha^{-1} 施用した CHSD+NK 区を設定し、オガクズ燻炭施用の効果を検証することにした。一方で、後述するリン鉱石可溶化技術の一つである燻炭化過程を利用したリン鉱石可溶化の効果を検証するため、オガクズ燻炭にリン鉱石を添加したもの (CHSD+PR+NK) と、燻炭前のオガクズにリン鉱石を添加し燻炭化したもの (P-rich CHSD+NK) をそれぞれ施用し、イネ収量におよぼす影響を評価するとともに、燻炭によるリン鉱石可溶化を検証した。なお、CHSD+PR と P-rich CHSD はいずれも添加したリン鉱石とオガクズの比率が重量比で 1:1 とした。

なお、NK+RP 区並びに NK+TSP 区については、Control 区及び NK 区との比較から、リン鉱石直接施用効果を検証するための試験区であり、第 III 章で詳述する。なお、赤道森林帯での栽培品種は Jasmin を供試し、サバンナ帯では栽培品種は GR18 を選択した。栽植密度は株間、条間ともに 20cm とした。

表 II-2. サバンナ帯における農家技術実証圃場における試験設計概要

Plot ID	化学肥料 (kg ha ⁻¹)			有機物
	N	K ₂ O	P ₂ O ₅	
Control	0	0	0	0
NK	60	30	0	0
NK+PR	60	30	135	0
NK+TSP	60	30	135	0
RS	0	0	0	稲わら 2t ha ⁻¹
RS+NK	60	30	0	稲わら 2t ha ⁻¹
CD/RS+NK+PR	60	30	135	稲わら牛糞堆肥 2t ha ⁻¹
HE/RS+NK+PR	60	30	135	稲わら人糞堆肥 2t ha ⁻¹

表 II-3. 赤道森林帯における農家技術実証圃場における試験設計概要

Plot ID	化学肥料 (kg ha ⁻¹)			有機物
	N	K ₂ O	P ₂ O ₅	
NK	90	60	0	0
NK+PR	90	60	135	0
NK+TSP	90	60	135	0
PM+NK	90	60	0	鶏糞 2t ha ⁻¹
PM+PR+NK	90	60	135	鶏糞 2t ha ⁻¹
CHSD+NK	90	60	0	オガクズ燻炭 2t ha ⁻¹
CHSD+PR+NK	90	60	135	オガクズ燻炭 2t ha ⁻¹
P-rich CHSD+NK	90	60	0	リン付加オガクズ燻炭 2t ha ⁻¹

結果

図 II-4 にサバンナ帯における各種資材の施用効果を示す。稲わらのみを施用した RS 区を含むいずれの処理区も、完全無施用区である Zero 区と比較して高い収量を示した。稲わらの施用効果については、RS 区が Zero 区に比べて高い値を示したことから、サバンナ帯における稲わら直接施用が有効であることを示している。一方で、NK 区との比較では稲わら直接施用は NK 区には及ばない結果となった。稲わら施用では、肥料成分換算で、窒素として 10kg、カリとして 30kg が施用されていると仮定している。NK 区の施肥量は、それぞれ 60 kg N/ha および 30 kg K₂O/ha であり、施肥窒素量の差異がイネ収量を規定していると考えられる。また、NK 区における窒素肥料は硫酸アンモニウムを利用しているため、硫黄欠乏が顕在している調査地の土壌条件では、硫酸アンモニウムに含まれる硫酸イオンが、イネ生育に有効に働き、対して稲わ

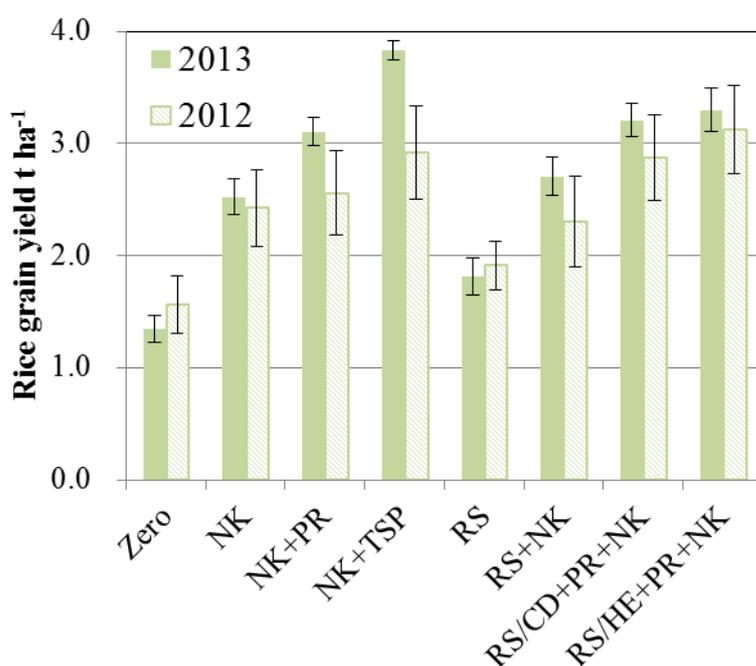


図 II-4. サバンナ帯における農家技術実証圃場における各種在来資源の施用がイネ収量に及ぼす影響
エラーバーは標準誤差

らには十分な硫酸イオンが含まれないために、生育を制限した可能性がある。

RS+NK 区の収量は NK 区よりも高い値を示しているものの、顕著な差異は認められなかった。試験圃場での稲わら施用試験においては、稲わらの施用は、化学肥料との複合が有効であると報告したが、農家圃場における稲わらと化学肥料の併用は、有効性が確認出来なかった。この結果は、2013 年度及び 2012 年度

の試験結果に共通して認められ、稲わらの施用により、無施用に比べてイネ収量は増加するものの、化学肥料を推奨量施用出来る場合においては、化学肥料の施用効果が強いために、稲わらの施用効果は判然としない。

稲わら牛糞堆肥区および稲わら人糞堆肥区の収量は、それぞれ 3.21t/ha、3.30t/ha と高い収量を示したものの、前年度の結果とは異なり、NK+TSP 区の収量には至らなかった。

2012 年度と 2013 年度の試験結果を比較すると、2013 年度の収量は Zero 区を除いて、いずれも 2013 年度試験における収量の方が高い値を示した。

前年度と同様に、サバンナ帯の 10 調査地点の収量の地点間変動および各有機資材の施用効果の地点間変動を表 II-4 に示した。各有機資材の施用効果は、対象資材の正味の施用効果を示すため、NK 区および RS 区では Zero 区収量を、RS+NK 区、NK+RP 区および NK+TSP 区では NK 区収量を対照とし、さらに CD/RS+NK+RP 区および HE/RS+NK+RP 区では NK+RP 区を対照として、対照に対する各種資材施用時の収量比として算出した。

前年度の結果と同様に、イネ収量は地点間で大きく変動した。こうしたイネ収量の地点間変動は、土壌有機物量を主とした土壌環境の差異に起因すると考えられる。

各処理の効果は、NK 施用が最も高く、無施用に比べて 1.97 倍の収量を示した。RS については、化学肥料無しの場合、無施用に比べて、1.35 倍の収量を示した。また、

化学肥料との組み合わせにおいても、RSを施用することで、NKに比較して、1.11倍の収量を示した。

対照であるZero区のイネ収量は、変動係数で28.5%と高い変動を示しており、無施用の農家圃場では、圃場の土壌環境の影響を強く受け、収量が大きく変動するものと考えられた。一方、NK+TSP区では、収量が高いだけでなく、地点間の変動も小さくなった(7.0%)。このことから、NPK三要素を十分量施用することで、土壌環境による影響を小さくし、土壌環境にかかわらず、高い収量が得られるものと考えられる。なお、稲わら施用では、収量の増加は認められたものの、地点間変動は、Zero区の場合と変化が無く、収量の変動は大きかった。

表 II-4. サバンナ帯における各種有機資材の施用効果の変動

	n	Average	Std	C.V.(%)	Max	Min
各処理区収量の地点間変動						
Zero	10	1.35	0.38	28.5	2.34	0.95
NK	10	2.52	0.51	20.2	3.25	1.70
NK+RP	10	3.10	0.38	12.4	3.92	2.63
NK+TSP	10	3.83	0.27	7.0	4.43	3.56
RS	10	1.81	0.52	28.9	2.90	1.14
RS+NK	10	2.70	0.54	19.8	3.68	1.79
CD/RS+NK+PR	10	3.21	0.47	14.8	4.24	2.32
HE/RS+NK+PR	10	3.30	0.61	18.6	4.17	2.21
各処理の効果の地点間変動						
NKの効果	10	1.97	0.61	31.0	3.09	1.11
PRの効果	10	1.26	0.21	16.8	1.64	1.04
TSPの効果	10	1.57	0.27	17.1	2.11	1.29
RSの効果(NK無)	10	1.35	0.23	16.8	1.58	0.85
RSの効果(NK有)	10	1.11	0.32	28.4	1.85	0.64
CD/RSの効果	10	1.03	0.10	9.3	1.20	0.87
HE/RSの効果	10	1.07	0.18	16.8	1.26	0.65

図 II-5 に赤道森林帯における各種在来有機資源の施用効果を示す。NK+PM区の収量はNK区に比べて約1.54倍の収量を示しており、PM施用の高い肥効を示している。NK+PMにさらにPRを施用した条件では、収量の増加が認められないことから、PMを2t/ha施用することでリン酸施用は十分量に達していると考えられる。オガクズ燻炭(CHSD)の施用効果についても、前年度同様に高い肥効を示す結果と

なった。本試験においては、NK を推奨量施用している。このことから、CHSD の施用によるイネ収量の向上は、主として土壤中の植物可給態リン酸量が増加したためと推察される。しかしながら、一般的にオガクズ燻炭のリン酸含量は低く、リン酸肥料としての肥効はあまり期待されて

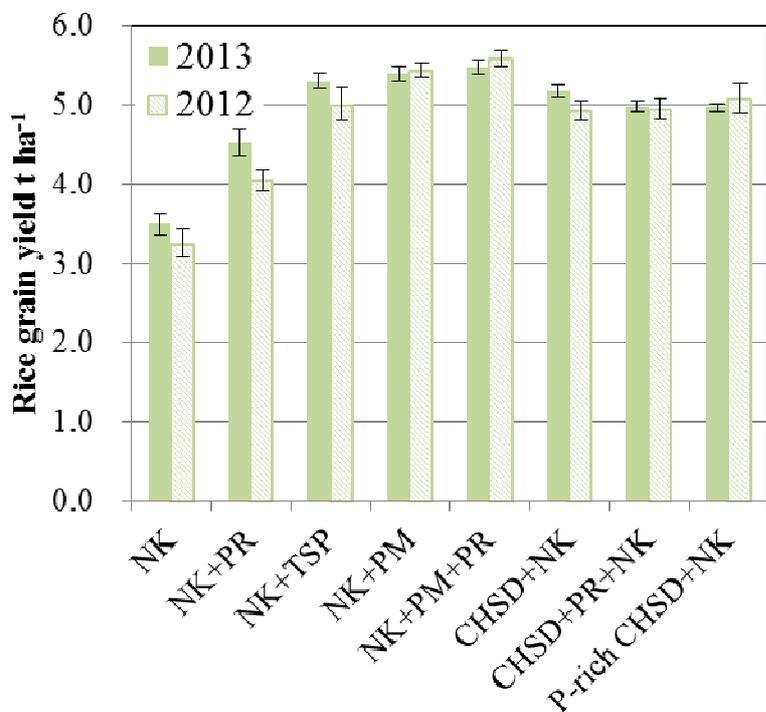


図 II-5. 赤道森林帯の農家技術実証圃場における各種
 在来資源の施用がイネ収量に及ぼす影響
 エラーバーは標準誤差

の肥効はあまり期待されていない。このことから、CHSDの施用によるイネ収量の向上は、CHSD を施用することで、土壤の物理性及び生物性が改善し、土壤中の難溶性リン酸が可給化したことによるものと推察される。

なお、リン付加オガクズ燻炭(P-rich CHSD)は、燻炭化過程を利用してPRを低温焼成し、その可溶性を高める技術として検証しているが、前年度同様、リン鉱石の低温焼成による可溶化、及びそれに伴うイネ収量の向上は確認出来なかった。

赤道森林帯の試験地における各種有機資材の施用効果について、サバンナ帯の結果と同様に、収量及び施用効果の地域変動を表 II-5 に示した。イネ収量の地点間差異はサバンナ帯の結果に比べて小さかった。表 II-5 に赤道森林帯における 9 調査地点の収量の地点間変動および各有機資材の施用効果の地点間変動を示す。前年度の試験結果同様に、赤道森林帯の各処理区における収量の地点間変動は、サバンナ帯に比較して小さく、変動係数は 3.0~11.6%だった。サバンナ帯の稲作が天水稲作であり、土壤特性だけでなく、地点間の降水量の変動に影響されるのに対し、赤道森林帯においては、灌漑稲作が実施されており、比較的、地点間の収量差が少ないものと推測される。

各種有機資材施用による増収効果について、サバンナ帯と同様、各種資材の施用効果は NK 区もしくは NK+PR 区を対照として、収量比として示すことにした。すなわち、NK+PR 区、NK+TSP 区、PM+NK 区、CHSD+NK 区は NK 区を対照とし、PM+PR+NK 区および CHSD+PR+NK 区は、PR+NK 区を

対照として、その増収効果を評価した。なお P-rich CHSD+NK 区は、CHSD+PR+NK 区と全く同量の PR を利用しているため、CHSD+PR+NK 区と同様に PR+NK 区を対照として評価した。なお、赤道森林帯では NK 区を対照としたため、NK の正味の施用効果については評価出来ない。

表 II-5. 赤道森林帯における各種有機資材の施用効果の変動

	n	Average	Std	C.V.(%)	Max	Min
各処理区収量の地点間変動						
NK	9	3.50	0.40	11.4	4.33	2.90
RP+NK	9	4.53	0.53	11.6	5.33	3.70
TSP+NK	9	5.29	0.31	5.8	5.60	4.65
PM+NK	9	5.39	0.29	5.3	5.67	4.80
PM+RP+NK	9	5.48	0.28	5.2	5.87	4.90
CHSD+NK	9	5.17	0.23	4.4	5.53	4.77
CHSD+RP+NK	9	4.98	0.19	3.8	5.20	4.67
P-rich CHSD+NK	9	4.97	0.15	3.0	5.20	4.70
各処理の効果の地点間変動						
PRの効果	9	1.30	0.09	6.7	1.44	1.15
TSPの効果	9	1.52	0.11	7.3	1.70	1.29
PMの効果 (PR無)	9	1.56	0.15	9.8	1.81	1.31
PMの効果 (PR有)	9	1.22	0.12	10.1	1.47	1.06
CHSDの効果 (PR無)	9	1.49	0.17	11.1	1.83	1.28
CHSDの効果 (PR有)	9	1.11	0.12	11.1	1.30	0.93
P-rich CHSDの効果	9	1.43	0.14	10.0	1.62	1.13

各種資材の施用効果の地点間変動は、標準偏差が 0.09~0.17 と非常に小さく、各種資材の施用効果は、赤道森林帯においては土壌特性の影響を受けず、ほぼ同様の肥効を示していると考えられた。

この結果は前年度と同様であり、赤道森林帯における、各技術のイネ収量に及ぼす有効性が、再現性及び普遍性を有することの証左であると言える。

まとめ

本事業においては、調査地であるガーナ稲作の土壌肥沃度改善に有用な有機資材の利活用において、その地域性を考慮した適用可能性に注目してきた。その結果、ギニアサバンナ帯においては稲わらが、赤道森林帯においては鶏糞が特に有効であると考えられた。さらにオガクズ等の直接施用での利活用が困難な資材についても、堆肥化もしくは燻炭化することで、イネ収量の増加に寄与出来ることが示された。

ギニアサバンナ帯の稲作では、化学肥料の施用が困難な際には、稲わらを施用することでイネ収量の増加が期待できる。その施用効果は、年によって、また場所によって変動するものの、平均して 10~30%の増収が期待できる。施用量は多量施用である必要はなく、およそ 1.5 t ha^{-1} の施用でイネ収量の増加が認められたことから、イネ収穫後、稲わらを土壌に還元することで、十分に増収が可能と考えられる。窒素肥料に代表される化学肥料の施用が可能になった場合には、稲わらに加えて化学肥料を施用することが望ましいが、稲わらを施用することで、窒素施肥量を半量程度削減しても、窒素推奨施用量の場合と同程度の収量が期待できる。

赤道森林帯の稲作においては、稲わらの直接施用に顕著な有効性は認められなかった。赤道森林帯の水田圃場は灌漑水田であり、土壌環境が還元状態にあるためと考えられた。一方で、鶏糞の施用はイネの増収に特に効果的に作用した。直接施用でも無施用の場合に比べて、1.5 倍の収量を示した。その施用量は $1\sim 2\text{ t ha}^{-1}$ が良いと考えられた。 4 t ha^{-1} 、 6 t ha^{-1} の施用では、イネ収量の減少傾向も認められ、適切な施用が必要である。さらに、当該地域において廃棄物として焼却処理されていたオガクズについても、燻炭化し圃場に還元することで、イネ収量の増加に寄与できることが明らかになった。2012 年度、2013 年度の試験結果によれば、およそ 1.5 倍の収量が期待できる。

引用文献

- Bray RH, Kurtz LT (1945) Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. *Soil Sci.* 59:39-45.
- Ghana Seed Company (1988): Regional Branch Annual Report, Tamale. Issaka RN, Buri MM. Wakatsuki T. 2009: Effect of soil and water management practices on the growth and yield of rice in the forest agro-ecology of Ghana. *Journal of Food, Agriculture & Environment* Vol.7 (1) : 214-218.
- Issaka, RN, Buri, M., Tobita, S, Nakamura, S, Owusu-Adjei (2011): Indigenous fertilizing materials to enhance soil productivity in Ghana, In "Soil Fertility", pp. 199-134, InTech Press, Rijeka, Croatia
- 亀和田邦彦、柴田和幸 (1997): 陽イオン交換容量の測定を要さない土壌試料のための簡易な交換性陽イオンの浸出法, *日本土壌肥科学雑誌*, **68**, 61-64.
- McLean EO (1965): Aluminium. In *Methods of Soil Analysis* (ed. C.A. Black), pp.978-998. *Agronomy No.9, Part 2.* Amer. Soc. Agronomy, Madison, Wisconsin.
- JIRCAS (2011): アフリカにおける土壌肥沃度改善検討調査 平成 23 年度業務報告書、国際農林水産業研究センター。

JIRCAS (2012): アフリカにおける土壌肥沃度改善検討調査 平成 24 年度業務報告書、国際農林水産業研究センター.

JIRCAS (2013): アフリカにおける土壌肥沃度改善検討調査 平成 25 年度業務報告書、国際農林水産業研究センター.