

平成 24 年 12 月 17 日

専門家業務完了報告書



専門家氏名 : 山口 淳一
プロジェクト名: 中央高地コメ生産性向上プロジェクト
任 国 : マダガスカル共和国
在 勤 地 : アンチラベ, アンタナナリボ
配 属 機 関 : マダガスカル共和国・農業省
指 導 分 野 : 水稻肥培管理
派 遣 期 間 : 平成 24 年 8 月 23 日～平成 24 年 12 月 08 日

目 次

1. ポット試験による土壌肥沃度の評価	1
2. 硫安試験（2011-2012 雨季作）結果	1
3. その他	
3-1. FOFIFA-PAPRiz 共同試験	2
3-2. Ambatovy project, IRM への硫安試験・ポット試験結果紹介	6
3-3. PHRD	6
3-4. Morondava 灌漑地区での稲作	7
3-5. FOFIFA 分析センター設備・機器	7
3-6. 施肥基準に関する資料	7
3-7. 堆厩肥試料の収集	8
3-8. イネ栽培暦の追加情報	8
3-9. バレイシヨ青枯れ病	8
あ と が き	9
補 遺 (添付文書)	
1) ポット試験による土壌肥沃度の評価 (和文報告書)	22 p.
2) ポット試験による土壌肥沃度の評価 (同上の英文プレゼン資料)	9 p.
3) ポット試験による土壌肥沃度の評価 (同上の仏文プレゼン資料)	15 p.
4) 硫安試験 (2011-2012 雨季作) 結果 (英文報告書)	17 p.
5) 硫安試験 (2011-2012 雨季作) 結果 (仏文報告書)	18 p.
6) FOFIFA 共同試験へのコメント (英文プレゼン資料)	3 p.
7) JICA 事務所、大使館への報告書 (和文)	7 p.

省 略 語

CALA	Complexe Agricoles du Lac Alaotra, FOFIFA
CFAMA	Centre de Formation et d'Application du Machinisme Agricole
FIFAMANOR	Fiompiana Fambolena Malagasy Norveziana (Centre de Recherche Malgacho- Norvegien pour le développement de l'élevage et de l'agriculture)
FOFIFA	Foibem-pirenena momba ny Fikarohana ampiarina amin ny Ambanivohitra Fampandrosoanany (Centre National de la Recherche Appliquée au Développement Rural)
IRM	International Raw Materials
PAPRiz	Projet d'Amélioration de la Productivité Rizicole sur les Hautes Terres Centrales
PHRD	Policy and Human Resources Development Fund
RTMC	Regional Technical Management Committee

活 動 内 容

1. ポット試験による土壌肥沃度の評価

- 1) 報告書として取りまとめた(補遺 1)ので、以下、要点のみを記す。
- 2) 目的: 各種土壌における(a) 養分欠乏程度を量的に評価し、(b) 同一条件下でイネを栽培し、生産性を対等に比較する。
- 3) 栽培概要: PAPRiz が対象とする5県における 12 土壌 を対象に、各種養分について添加・欠除処理し、ビニールハウス (DRDR-Vakinankaratra) 内において湛水・ポット栽培した。栽培期間は 40 日間 (2012/10/01 - 11/10) である。
- 4) 主な結果: 欠乏養分として、リンで最も顕著で、ついで窒素、イオウであり、亜鉛欠乏は局所的に認められた。施肥区における乾物生産量は施肥反応性に依存する割合が大きかったが、無施肥区における乾物生産能も少なからず寄与した。これら3要因間の関係に基づいて、供試土壌を生産性の観点から4分類した。なお、無施肥区において生産性の小さかった土壌では、無施肥区に対する施肥区の乾物生産量増加割合が 20-40 倍に達し、適切な肥培管理によって生産性の大幅な向上が期待できる。
- 5) 今後の展開として、(a) ポット試験結果の圃場栽培による確認試験、(b) 適切な肥培管理技術の構築にあたり、施肥量を異にした栽培試験、(c) 生産性・施肥反応性の差異をもたらす要因解明のためには土壌分析、(d) さらに変異に富んだ土壌を対象とする試験、などが必須である。
- 6) 試験開始にあたり、FOFIFA-PAPRiz 共同試験検討会議 (2012/09/03)、RTMC - Vakinankaratra (2012/09/20)、専門家会議 (2012/10/18) において、実験目的、予想される成果を紹介した (パワーポイントによる紹介、資料配付。添付省略)。2012/10/18 には RTMC 出席者、2012/10/18 には Ambatovy project、新田氏ら、また、2012/11/08 には新井専門家が引率した Sahalombo 農民が、栽培中の養分欠乏状態などを視察した。
- 7) 試験結果は、FOFIFA-PAPRiz 共同試験検討会 (2012/11/26)、および、PAPRiz 専門家会議 (2012/11/27)、IRM との硫安検討会議 (2012/12/06) において紹介した (補遺 2)。また、Antsirabe で開催したワークショップ (2012/11/13-15) で、植物栄養の基礎知識とともに提示、説明した (補遺 3)。

2. 硫安試験 (2011-2012 雨季作) 結果

- 1) 試験結果を英文報告書として取りまとめ (補遺 4)、仏文に訳した (補遺 5)。
- 2) 試験の概要: 水稻栽培を4カ所、陸稲栽培を2カ所に設定し、基肥として NPK 化成肥料、追肥として尿素・硫安を施与し、硫安の効果について検討した。
- 3) 主な結果: イネの単収は硫安・尿素間で一般に (14 事例のうち 10 例で) 差異はなかったが、硫安施与によって特定の場所・条件下で正・負の効果を与える例が存在した。
- 4) 硫安の有効利用を図るために、基本施肥設計を同一として、2012-2013 年次においても試験を継続する。

3. その他

3-1. FOFIFA-PAPRiz 共同試験

- 1) 会議開催日: 2011-2012 雨季作試験成績会議 (2012/09/03) および 2012-2013 試験設計会議 (2012/11/26)。
- 2) 2012/09/03 には、ポット試験による土壌肥沃度評価について過去の事例と今後の計画を紹介 (プレゼン資料を本報告書には添付省略した - 要望があれば随時提出可)、また、2012/11/26 には、FOFIFA 研究に対する問題点の指摘をした (補遺 6)。
- 3) 一般的感想: 研究をするのにあたって必要な基礎的訓練がなく、同時に、斯界の知識もなく、見よう見まねで実験を思いつきの繰り返している。このことは、過去の実験結果との照合もなく、当該の実験結果に対する十分な考察をしない結果となり、さらに、マ国人の気質と結びついて、負のスパイラルに陥っている。長期的展望をもって、抜本的な改革が必要である。
- 4) 試験設計会議 (2012/11/26) において、試験結果から数例の根本的問題を指摘し、今後役に立ててもらうように指摘した (補遺 6)。
- 5) 2012-2013 雨季作 (一部、2012 乾期作を含む) に関する試験計画一覧とコメント (C)・疑問 (Q) を以下に列記する (機関名のアルファベット順)。なお、題名にファイル名を引用したが、全ファイルは PAPRiz 事務室に保管されている。

注) 10 月上旬に全提案を受領、2012/10/17 に以下の意見を柁木アドバイザーに提出した。PAPRiz 提案の試験を含み、それらの経緯が不明であるので、山口が研究者に直接の連絡をすることはしなかった (山口が Antsirabe に滞在していたため、地元である CFAMA と FIFAMANOR を除く)。

@1. FOFIFA-Antsirabe

File: Principales contraintes sont les maladies et le froid.pptx

@1-1. Essai de fertilisation en riz irrigue

Q1: 表題・序言で、高地における稲作では病害や霜害が問題であると提示しておきながら、実験内容とは直接に関係ない。実験設定では目的・方法を一致させる。

Q2: P 施与効果がどこまであるか不明 (リン施与量の範囲が少ない) ながら、3 年間継続して経済的評価をしようとしているので、実施はヤムを得ない? そもそも、当初から設定すべき試験に該当しない。

@1-2. Production semenciere - Selection Pedigree

Q: 複数の場所で GO 種子生産をしてよいのであろうかと多大の疑問がある。異なる品種を選抜・育成することになる。

@2. FOFIFA-CALA by Arsene

@2-1. Essai Dates de Semis

Q: 毎年、数品種ずつテストしているが、pot で実施せずに、また、12 品種でなく、100 品種くらいを圃場 (1 m x 1 列植) で一気に実施する。pot 購入費、栽培の手間が大きすぎる。

@2-2. demande d'appro G1

Q: G0 をしっかり選抜してからのことである。中止か、品種数を大幅に制限する。

@2-3. Dose d'azote pour le SITES DE DEMO au PC 23

Q: 2011-2012 で結果が出ている？ 中止相当。

@2-4. Essai de confirmation (ex. essai comparatif)

Q1: 研究題目として意味が不明であり、Identifier les varétes de riz productives et adaptées e la courte durée de saison de pluie などとする。

Q2: témoin Soamalandy 2787 などは、実験方法である。

Q3: 2010-2012, 2011-2012 で結果が出ているのでは、いつまで同様の試験を継続させるのか。

Q4: 降雨量を観測すると記しているが、これまで一切の報告がない。

@2-5. Essai en milieu paysan_PC23/Essai de Demonstration en milieu paysan (Essai multilocal)

Q1: 題名にある (Essai multilocal) は何の意味を持っているか。

Q2: PC23 内のどの位置 (maille) かの明記がない (必須) が、農民圃場での展示ということで、何人の農民が見学するのであろうか。2年ほど以前に、SCAA がすばらしい展示圃場を展開していた (数十品種を、各 1,000 m² 規模)。中止が適切。

@2-6. Essai de Sulfate d'ammoniaque

Q: 収量構成要素を測定しても、2011-2012 での結果では、坪刈り調査での単収と 2-3 倍の差異があり、意味がない。

@2-7. Protocole PL G0-G1

Q: 上記と同様に、まず G0 をしっかり純系化する。G1 栽培で 1-2 brins par touffe はあり得ない。

@2-8. SD_Sec/Semis Direct a Sec (Confirmation)

Q1: 6 反復も必要ない。

Q2: 一株に何粒播種するか明記がないが、全面積にわたって 2 個体/株に間引するなど試験設計として妥当でない。播種量を規定すること必須であり、直播の栽培方法を検討する資格がない。

@2-9. Systeme de culture : Vesce-Riz

Q1: N 肥料の節約としているが、N 施肥量は 1 処理のみであり、比較にならない。

Q2: イネ6品種を供試するとしているが、大きな品種間差異があるとは考え難い。1品種で施肥量を変えることで、実験結果が有効に生きるし、同様の試験は数十年間にわたって実施されてきた。中止が妥当。

@3. FOFIFA-CALA by Hanja

@3-1. Protocole PL, G0, G1.docx

Q: 全窒素施与量は 91 kg/ha に達し、多すぎる。登熟歩合を高め、粒重の増大をはかるために、種子生産では無窒素、または、低窒素栽培が標準である。

@4. FOFIFA-CALA by Richard

@4-1. Protocole en Saison 2013.docx

Q1: 例年にわたって品種選定の基準・背景が不明である。また、前段で雨季が短くなり4ヶ月間となっているのに、供試品種はいずれもそれ以上の可能性が大きい。

Q2: 降雨量測定とあるが、いずれの年次ともほうこくがない。

@4-2. Protocole Essai de Demonstration 13.docx

Q: PC 23 の展示圃というが、どの範囲の農民を対象とするか。また、何が特異点か。

@4-3. Protocole Essai de Demonstration 2013.docx

Q: 上記と同一

@5. CFAMA 2012-13p

@5-1. Sulfate d'AM Anosiboribory.pptx

C: 大規模 (22.1 ha) 栽培で、昨年と同一の試験である。なお、陸稲種子生産圃場での硫安試験の提案があったが、種子生産では異型を抜き取るので、生産量を評価しなければならないので、適切でないと説明し、対象から外してもらった。

@6. FIFAMANOR

@6-1. essai de sulfate d'ammonium pour le riz pluvial

Q1: 2カ所 (Antsoantany et Andranomanelatra) で実施するとの提案である。FIFAMANOR のみで、管理、測定・観察を十分にすることが肝要である。Antsoantany は 10 数 km も離れており、technician 任せでは困る。本人が直接に、そして、毎日観察できる場所に限定する。ただし、担当者に実施する気もあるようなので、状況を見守ることにする。

Q2: 経費算出も大切であるが、実験計画の内容を明示することが必須。

@7. FOFIFA-Kianjasoa

@7A. VARY ALOHA 2012

@7A-1. Essai de periode d'apport de fertilisation de couverture (AS)

C: bas-fond 試験で、追肥を2回。

@7A-2. Etude comparative de deux sources de N de couverture

Q: bas-fond で dolomie を使用、また、尿素施与をせず、硫安のみの分追肥試験となっており、当初の計画と大きく異なる(尿素と代替えができると決定したわけではない)。

@7A-3. production de semences de riz de bas-fond

7B. VARY BE 2012/2013

7B-1. Irrigee

7B-1-1. purification varietale par Selection pedigree

Q: 品種の純系化を各所で実施することの問題がある。

@7B-1-2. identification de varietes cycle court

Q: 短期品種の成育期間が不明。

@7B-1-3. Production de semences de base de Riz irrigue

@7B-2. Riz pluvial

7B-2-1. Etude comparative de deux sources de N de couverture/AS

Q1: 陸稲を対象としているのに、試験場所は低湿地である? 単純ミスと思われるが、試験計画提出時には、真剣に検討する。

@7B-2-2. Test de periode d'apport de couverture de Sulfate d'Ammonium sur deux types de varietes de riz pluvial (B22 vs Nerica 4 ou 3737)

Q2: 気象データを測定するとしつつ、これまで観測データが提出されたことがない。

@7B-2-3. Culture de mucuna pruriens pour rotation culturale

7B-2-4. 試験内容の記載がない。

@8. FOFIFA-Mahitsy by Xavier

@8-1. Test preliminaire varietal en semis direct precoce

Q: 早期直播によって深水耐性の品種間差異を明らかにすることが目的と思われるが、品種の選択基準が不明である。深水耐性に関する何らかの基礎資料が存在するならば、示すべきである。また、早期直播というが、時期の明示がない。

@8-2. Multiplication des G0 et des G1

Q: 各所で G0 種子生産することは、抜本的育種システムの変更を引き起こすことが問題。

@8-3. Conduite de trois parcelles pilotes en milieu paysan aux alentours de la station

Q: 2育成品種と農民(在来)品種の生産性を比較しようとしているが、品種を認定する前に在来品種との優劣がされていないことが理解できない。もし、在来品種が優れていたら、登録品種を抹消するのであろうか。中止に該当。

3-2. Ambatovy project, IRM への硫安試験・ポット試験結果紹介

2012/10/20-21 に新田氏(Ambatovy project)と北川氏(住友商事)が羽原調整員とともに Antsirabe(山口が実験のために滞在中)へ来訪、硫安試験結果の報告をした。また、実施中のポット試験を見学してもらった。この際にマ国における硫安の有効利用について双方で意見交換した。Ambatovy project としては長期的展望をもっていろいろの状況判断をしている。

2012/12/06 に IRM の Tim Mahoney 氏と JICA 事務所において会談した。硫安流通に関して現在の肥料取り扱い業者に販売する方針である旨が伝えられた。これは我々が当初か提案していることであって、賛意を表した。販売価格は FOB 価格とし、現在は US\$280.00/トンである。尿素価格と比較して妥当な価格であろう。ただし、格安ということではなく、これによって急激に肥料消費量が増加することはないであろうが、イオウ欠乏地帯では窒素価格の2倍の価値があるので、特定の地域では農民がその効果を認識し、ひょっとすると大きく伸びる可能性はある。なお、販売単位量は 1 トンということであり、かなり小口である。販売体制はトアマシナにおいて数ヶ月以内に完備するとのことであった。

この際にポット試験結果を紹介したが、農学出身であるだけに内容をよく理解してくれた。

3-3. PHRD

JICA 事務所(糟谷企画調整員)と世銀、FOFIFA との間で数回のやり取りがあり、2012/11/26 に JICA、PAPRiz、FOFIFA (Lala 所長、Jacqueline 研究部長)との3者会談を持った。

化学分析専門家は何とか目処が付いたが、育種専門家は未定である。さらに育種の本拠地(Mahitsy)は排水設備不良のために例年のように洪水(約2ヶ月間)が発生し、また、現在の首都から遠距離であり、とうてい正常な育種・採種圃場とはなり得ない。首都近郊には水田があるので、借り上げを提案したが、FOFIFA 側としては Mahitsy に固執しており、もの分かれに終わった。

前農業省アドバイザー・月井氏の言「FOFIFA には2人の癌がある」を思い出した。一人は当該の Jacqueline 研究部長であり、研究者としての能力に欠け、また、Lala 所長は年長者である部長に対して意見を言えない。もう一人は会計担当者(女性)であり、このために前硫安試験の経理が精算されなかった。本件に関しては、稲作部長の Mr. Rabeson にも重大な責任がある。彼は、FOFIFA-PAPRiz 共同試験検討会には出席していたが、理由は不明ながら最近では欠席続きである。

3-4. Morondava 灌漑地区での稲作

PAPRiz 活動地間での交換訪問の一貫として、Alaotra 地区関係者は Morondava 灌漑地区を訪問した(現地滞在期間: 2012/10/30-31)。西海岸における大規模灌漑地区であるので、この企画に便乗して実態を視察した。灌漑地区の状況は PAPRiz 専門家による報告に期待する。

灌漑面積は雨季で 13,000 ha、乾期で 4,000 ha、1次灌漑水路の総延長が 50 km に及ぶ細長い灌漑地区である。いずれの大規模灌漑地区とも抱える管理・維持問題が深刻で、現状ではなんとか対処しているものの、いずれ消滅する可能性を含んでいるであろう。

西海岸地帯の土壌は堆積岩を基盤とし、沖積地が広がっているため、一般的な土壌肥沃度は中央高地に比べると高いとみなすことができよう。ただし、一般農民圃場における単収は約 1.5 ton/ha であり、両地帯における単収の大差を認めることはできなかった。

ポット栽培による土壌肥沃度評価のため、本地区で多収 (8 ton/ha) を得たという圃場と、一般圃場で土壌を採取した。どのような結果が得られるか楽しみである。

3-5. FOFIFA 分析センター設備・機器

PHRD による分析専門家に資するため、また、最近、Africa Rice (旧名 WARDA, ADRAO) から機材供与を受けたとのことで、現在の分析機器の状況を調査した (2012/11/29)。2年振りの訪問であったが、分析責任者 (Mr. James) と分析担当者 (Mr. Thomas, 技官) の入替、増員はなかった。

Africa Rice からは原子吸光・分光光度計・窒素分解・蒸留器が搬入されており、稼働していた。ただし、それぞれに問題を抱えている。

PHRD 専門家が決定後に、機器の選定・設置がされることになっているので、よい手順であろう。ただし、時間的な遅れが発生することが問題であろう(発注から搬入までには少なくとも半年はかかり、また、PHRD による予算執行遅れも想像できる)。なお、世銀は適切な排水処理について言及しており、この対処は容易ではない。

3-6. 施肥基準に関する資料

地域別の標準施肥量は、何らかの試験結果に基づいて提案されている筈であり、それらは当然のように当該地域の土壌肥沃度を反映している。したがって、肥沃度の差異を理解するにあたって有効な情報である。マ国においても標準施肥量は存在すると理解し、これまで数人の研究者・DRDR 職員などから数県の情報を得た。ただし、これらがどの程度公式かは不明である。一方、ポット試験結果から、これら標準施肥量に対する疑義も発生している。

Dr. Lala (FOFIFA 所長) によると、現在の標準施肥量は 1980 年代中頃に FAO による Programme Engais Malagasy (PEM) による一連の試験で決定され、FAO に資料があるとのことであった。FAO を訪問したが担当者が在室せず、その後、資料(注)を Ms. Tatamo を通じて入手した。しかし、この資料は 2009/12 に FOFIFA-Tsinbazaza で目を通した資料と同一であった。

注) Programme Engrais Malagache (Phases I et II), Madagascar, Rapport Interimaire. Rome, pp.74, 1986.

本資料は、水稻・陸稻・トウモロコシ・オオムギ・ラッカセイを対象作物として 1,000-2,000 カ所(主に中央高地)で施肥試験を実施した最終のとりまとめ報告書である。水稻については、

一定の施肥量 (60-60-45) での増収を記録しているが、N, P, K 施与量試験はなく、施肥基準決定の経過を明らかにする試験は含まれていない。

FAO 担当者によると FAO には資料はなく、CIDST に全資料を提供してあるとのことで訪問した。しかし、一般的参考書が多く、PEM 関係の資料は在庫せず、蔵書検索によると、PEM に在庫しているとのこと。図書司書に PEM 所在地を問うたところ、農業省内というのみで正確な所在は不明であった。PEM が現存する組織であるかどうか不明である。

なお、標準施肥量が存在するならば、農業省発行の正式文書が存在する筈であり、帰国にあたり PAPRiz 農業書出向者に入手を依頼した (あまり期待せずに待つことにする)。

3-7. 堆厩肥試料の収集

堆厩肥は、現行の農業体系下で重要な養分源である。これまでの訪問で合計 15 点 (内、5 点は牛糞) を収集したが、変異に富むので、今回の滞在期間中に、5 点を収集した。一部は、タナ大学分析センターへ分析依頼し、一部は国内へ持ち帰り、タナ大学で不可の項目を分析する。

3-8. イネ栽培暦の追加情報

Morondava 灌漑地区および Betsiboka 県のイネ栽培暦の情報を新たに入手した。先に取りまとめた全国各地の栽培暦と一括して別個に取りまとめる。

3-9. バレイショ青枯れ病

水田裏作である野菜作では、有機・無機肥料を施用することが一般的である。PAPRiz では雨季作 (主作) であるイネの単収が、裏作の有無で影響を受けることを確かめるために、2012 年にはモデル農家を中心にバレイショ種イモ (FIFAMANOR 生産) を配布した。しかし、多くの場所で地上部が枯れ上がる個体が発生し、原因が不明であった。すなわち、発生源として虫害・病害、または、種イモ・土壌伝染が不明で、適切な対処ができなかった。

山口は病理学専門家ではないが、北海道で研究対象作物としてバレイショを取り扱った経験があり、現地での発生状況の観察と周辺の状況を聞き取りし、病害であることを疑い、ネット検索、日本国内のバレイショ関係者から情報を得、この病害がバレイショ青枯れ病であることを特定した。ただし、病害個体を FIFAMANOR 担当者に持ち込んだが、確認はできていない。バレイショ青枯れ病は、土壌伝染性の病害であり、菌は *Ralstonia* (*Pseudomonas*) *solanacearum*) である。

発生部位は地際の茎部で、症状として外部の病変はなく、維管束鞘/木部組織/導管部が害を受けて、地上部への水輸送が制限され、先端葉での急なしおれ、次第に下位葉が萎凋し、枯死に至る。発生時期としては萌芽後まもなくから塊茎が形成され 4-5 cm 大になっても認められ、収穫期近くでも発生していた。根部は地上部が枯死しても、しばらくの期間は健全である。

病害発生割合は、20-80% (平均は 30% 程度) であり、成育初期に発生して欠株になっている例が多い。中央高地、アロチャ地域 (標高は 700-1,500 m) など、広域での発生を認めることができる。遠目には立派な群落に見えても、圃場内で観察すれば、青枯れ病が発生していない圃場は皆無である。バレイショの生育状態そのものは、緑色が濃く、分枝も出て良好な生育を示す例から、生育がかなり貧弱な例まで存在した。山口がこれまで農民から得た情報では、堆厩肥の施与量の差異が成育に大きな影響を与えている (生育状況と青枯れ病発生率

との関係はないとみなした)。バレイショ産地のヴァキナンカラチャ県で深刻な問題になっている(被害面積などのデータは存在しない)。

インターネットには本病に関する情報が溢れており、熱帯圏において極めて制御が困難な病気であり、最近では温帯圏にまで広がっているとのことである(北海道でも発生が認められている)。日本国内では九州で春・秋作バレイショが栽培されており、本病には土壌薫蒸(クロルピクリン)と総合的な防除体制を実施して著しい発生を防いでいる。土壌薫蒸は、実験系における対照区として設定されることが一般的で、最も有効な対処法である。

しかし、土壌薫蒸は後進国では対応できず、最近では種々の方法を組み合わせた総合防除で対応しようとしている。手っ取り早い防除法は病兆の株(葉が青いままで急にしおれる、局部的に発生するので、干ばつによるしおれとは判別が可能)を引き抜き、圃場外で処理する。蔓延を防止するためには、病気の出た場所(最初は数メートルの範囲)でのバレイショ栽培(ナス科もだめ)を数年間中止する。

中央高地(注)での多くのバレイショ栽培は水田での乾期作であり、雨期には湛水下のイネが栽培される。そして、乾期において水が確保できる場所は限定されるので、多くの場合において、同一圃場で、乾期・バレイショ - 雨期・イネが繰り返えされ、連作障害を防ぐのは困難な面がある。

FIFAMANOR では広大な圃場で各種作物を栽培し収入を得ており、なかでもバレイショの収益が最もよいとのこと。しかし、青枯れ病が著しく、2012年には栽培を中止した。また、マ国では1990年代に本病が報告されている。

品種間差異が知られている(ただし、限定的であるとの文献もあり)が、マダガスカルでのバレイショ栽培の歴史は短く、20-30年以上を遡らないが、導入品種はわずかに4品種であることが問題である。抗生物質は菌の変異をもたらし、恒久的でない可能性を持つ。処理するとなると、土壌伝染であるので、病徴が発生する前である。太陽光利用による殺菌(減菌)も試みられている。有機物施与などでの制御は実現性が小さいようである。

マ国でのバレイショ栽培時期は低温であるにもかかわらず青枯病がかなり広範囲に発生していることが疑問である。播種期が高地(1,000-1,400 m)の6月で、最も低温の時期で、平均気温は15度程度、最低気温の平均値は5度、場所によっては零下にさえなる。ただし、最高気温は20度近くなり、乾期のために日中は日射が強いので、土壌表面温度はさらに高温になることが影響しているよう。

バレイショ栽培は、水稲との年間内輪作が一般的で、イネ一作分の数ヶ月にわたる湛水期間を経過している。ただし、バレイショ栽培は乾期のために高畦の上で栽培しているが、畦間灌水をしており、青枯病対策には、この灌水方法が影響しているであろう。なお、圃場内でまとまって発生していることはなく、種々の文献に記されているように、あちらこちらでの株に散發している状況で、また、一株の中でも一茎のみに発生していることが多い(灌水による伝染は考え難い?)。なお、日本国内の西南暖地でのバレイショ栽培も水田裏作であり、湛水では除去できないとのこと。種イモ伝染はあり得る。

あとがき

文章表現の推敲は十分でなく、内容とともに、折を見て充実させたい。記述内容に関するご意見、助言は、マ国における農業、とくに稲作、また、本研究分野における発展を願って、大歓迎である。

補 遺 （ 添 付 文 書 ）

1) ポット試験による土壌肥沃度の評価（和文報告書）

ポット試験 1 の取りまとめ報告書（実施中・実施予定であるポット試験 2, 3 の紹介を含む）。PAPRiz 専門家へは Draft 1 を配布済み（2012/12/05）。現状は Draft 2 であり、さらに改訂が必要である。

2) ポット試験による土壌肥沃度の評価（同上の英文プレゼン資料）

FOFIFA-PAPRiz 共同試験検討会（2012/11/26）、および、PAPRiz 専門家会議（2012/11/27）、IRM との打ち合わせ会（2012/12/06）において、ポット試験 1 の結果と今後の計画を発表した。

3) ポット試験による土壌肥沃度の評価（同上の仏文プレゼン資料）

Antsirabe で開催したワークショップ（2012/11/13-15。約 120 名参加）において、ポット試験 1 の結果と作物栄養学に関する基礎的な知識の解説をした。

4) 硫安試験（2011-2012 雨季作）結果（英文報告書）

2011-2012 雨季作に実施した硫安試験結果を取りまとめた。要約版（補遺に含めず）も作成した。Ambatovy project と PAPRiz 内に配布した。

5) 硫安試験（2011-2012 雨季作）結果（仏文報告書）

上記した英文報告書の仏語版。農業省・総局長および関係者へ配布。農業省・総局長へは、離任にあたり、硫安試験・仏文報告書とともに手渡し、内容を説明した。

6) FOFIFA 共同試験へのコメント（英文プレゼン資料）

2011-2012 試験結果および 2012-2013 試験計画に対するコメント。FOFIFA- PAPRiz 共同試験検討会（2012/11/26）において紹介した。

7) JICA 事務所、大使館への報告書（和文）

離任にあたり、在マダガスカル国日本大使館、および、JICA 事務所へ提出し、説明した。本報告書の要約版に相当する。

ポット試験による土壌肥沃度の評価

- ポット試験1の結果を中心として -

山口 淳一

要 約

PAPRiz が対象とする5県(中央高地・中央西部・アロチャ地域)における12土壌を対象に、養分を添加または欠除処理してイネを湛水ポット栽培し、土壌肥沃度を評価した。欠乏養分として、リンが最も顕著で、ついで窒素、イオウであり、亜鉛欠乏は局在していた。施肥区における乾物生産量は施肥反応性に依存する割合が大きかったが、無施肥区における乾物生産能も少なからず寄与した。乾物生産に関する要因間の関係に基づいて、供試土壌を生産性の観点から4分類した。なお、無施肥区において生産性が小さかった土壌では、乾物生産量の施肥区/無施肥区比は20-40に達し、適切な肥培管理によって生産性の多大な向上が期待できる。

今後、(a)圃場栽培による確認実験、(b)施肥量を異にしたポット試験、(c)土壌分析、(d)生産性が異なる土壌による追加実験、などが必須である。

序 言

マダガスカル国(マ国)における多くの土壌は地質学的に古く、風化が進んでおり、貧栄養である。この結果、栽培管理技術の向上のみで単収を増加させるには限界があり、適切な肥培管理を適用することが最重要である。

施肥によって作物の生長が旺盛になり増収することは多くの農民が熟知しており、作物栽培にあたっては可能な限り有機物資材を投入している。しかし、有機資源の量的な確保には限界があるため、雨季作(主作)では、畑作に、乾季作(裏作)では野菜作を中心に投入している。その理由としては、一般に水田に比べて畑地の方が貧栄養であり、施与効果が大きいこと、また、野菜は換金作物であることである。また、植え付け株のみに集中して施用するなど、施与効果の観点から合理的な方法を採用している。

一方、化学肥料の効果を多くの農民は理解しているが、一部の野菜栽培に化学肥料を施与することはあっても、現在の稲作体系下では経済的に見合わないため、水稲栽培に対して化学肥料を施与することはほとんどない。この結果、多くの水稲作では系外からの養分補給なしでの栽培が継続されており、全国的にみた水稲の単収は約1.5 ton/haと低迷している(注1)。

注1) マ国の公式統計は妥当性を欠いており、山口による観察結果。一部の研究者(Mr. Pierre, FOFIFA)とも見解は一致している。

化学肥料を有効に利用する限り、その施与は経済的に成立することが多くの国々において実証されている。マ国において化学肥料施与が経済的に成立しない要因として、試験研究機関(FOFIFA)による標準施肥量が不適切である可能性がある。地域の土壌肥沃度に応じた施肥基準(施用量そのものと、肥料種(元素間のバランス))が適切であれば、貧栄養土壌が卓越している現状から、その施与効果は明らかであり(経済的に成立するので)、農民は生産量の向上を目指して化学肥料を積極的に受け入れることは疑いがない。

PAPRiz は 2009 年以來、マ国において稲作技術の普及に努めてきたが、各県における農業事情に応じて施肥量を決めてきた。同時に、実証試験を進めていく過程で、生産性の異なる地域、圃場が存在することが明らかになってきた。コメはマ国にとって主食として重要であり、JICA は稲作技術の普及を全国的に展開することさえ視野に入れている。このような状況下で、各地域における土壌の肥沃度特性を明らかにすることは、生産性を効率的に向上させるための基礎情報として必須である。

土壌肥沃度を評価するには、圃場試験、化学分析、そしてポット試験による方法があり、それぞれに優劣がある。ポット試験の意義は他の2者の中間的位置を占めるが、再現性、迅速性、経済性、また実用性、効率性において優れている点が多い。

ポット試験 1 (Soil Fertility Status Evaluation Trial-1, FS1) は、PAPRiz が対象としている地域における土壌を対象に、(a) 養分欠乏程度を量的に評価し、(b) 同一環境条件下で栽培することによって、生産性を対等に比較することを目的として実施した。

実 験 方 法

概 要: 約 3 L の土壌に設定量の試薬を混合、5-L 容量ポットに詰め、苗を 2 個体/pot 移植し、湛水栽培した。

土 壤: PAPRiz によるイネ栽培技術の普及事業対象県 (Analamanga, Itasy, Vakinankaratra, Bongolava, Alaotra-Mangoro) におけるモデルサイトから、それぞれの県内でイネの生産性が異なると考えられる 12 土壌を採取した (Table 1)。採取日は 2012/08/29-09/21 であり、乾期後半に相当し、多くの場合には、前雨期の稲作後に放置、あるいは当期作に備えて耕起済み、または、裏作の野菜類 (バレイショ・トマト) が栽培されていたが、一個所のみ (BA) のみでは裏作のイネが栽培されていた。

土壌の調整: 圃場から採取した土壌は速やかに乾燥、粉碎、篩いをかけた。篩は 5-mm mesh を意図していたが、該当品がマ国市場になかったため、斜行した 10-mm mesh 網を逆交差させて 2重にして使用した。しかし、一部の土壌では 10 mm 大の土塊も混入した。

養分処理: これまでに各地で採取した土壌の化学分析結果、および既報の文献に基づいて、マダガスカル国において欠乏の可能性のある必須元素 (養分) として窒素 (N)・リン (P)・カリ (K)・イオウ (S)・亜鉛 (Zn) を選択した。N、P、K の3要素を与えた処理区を標準 (対照) とし、N、P、K それぞれの欠除処理区、S、Zn の添加処理区、また、養分を添加しない無施与処理区を設定した (Table 2)。

Table 1. Soils used for fertility evaluation by the pot trial 1

Ser. no.	Agro-climatic zone	Location			Information on rice productivity
		Region	Site	Abbr.	
1	Central	Analamanga	Andramasina	AD	Low
2	highland		Ankazobe	AK	Medium
3		Itasy	Ambatomanjaka	IB	High
4			Ambohitraivo	IH	2nd lowest
5			Ampahimanga	IP	Low
6		Vakinankaratra	Mahalavolona (L)	ML	Low
7			Mahalavolona (H)	MH	High
8			Sahalombo (L)	SL	Low
9			Sahalombo (H)	SH	High
10	Mid-west	Bongolava	Akompomboay	BA	Medium
11	Alaotra	Alaotra-Mangoro	Maille 4, PC23	P4	Medium
12			Maille 5, PC23	P5	Low

Mahalavolona (L) is the reference soil between Trials 1 and 2.

Table 2. Nutrient treatment in soil fertility evaluation trial

no.	Treatment		Nutrient				
		abbr.	N	P	K	S	Zn
1	None	0	-	-	-	-	-
2	PK	-N	-	+	+	-	-
3	NK	-P	+	-	+	-	-
4	NP	-K	+	+	-	-	-
5	NPK	NPK	+	+	+	-	-
6	NPK+S	+S	+	+	+	+	-
7	NPK+S+Zn	+Zn	+	+	+	+	+

- Not applied, + Applied. NPK: reference standard.

施与養分量は、N, P₂O₅, K₂O のそれぞれを 0.5 g/pot、S を 0.5 g/pot、Zn を 0.01 g/pot とし、分析用試薬、それぞれ尿素、リン酸2水素ナトリウム、塩化カリ、イオウ華、硫酸亜鉛を用いた。なお、生育末期に至り、複数の土壌での生育が旺盛な処理区において、P 欠乏症の徴候を認めたので、P 施与区に対して P₂O₅ 0.5 g/pot を追加施与した。

実験場所: Antsirabe 所在の DRDR-Vakinankaratra (農業省県支所) 敷地内のビニールハウス。生育初期には低温を避けるために夜間に全閉したが、その後、徒長を防止するため全日間開放した。実験期間の平均気温は 24.8 °C (最低温度は 14 °C、最高気温は 36 °C)、屋外の平均気温は 21.3 °C であった。ハウス内の位置による効果を軽減するためポットをランダム配置し、また、実験期間中、3回にわたってポット位置を全面的に入れ替えた。

実験期間: 2012/10/01-11/10 の 40 日間である。

苗の育成: 2012/09/13 に種子 (品種: FOFIFA 160。本地域における推奨水稲品種) を水浸漬、翌日に苗箱に播種、ハウス内で苗を育成した。床土として火山灰土壌を供試したが、無施肥処理

(養分処理したポットに養分の持ち込み量を最小限にすることを意図) したために、生育後期にはやや P 欠乏症状を呈した。移植時における葉令は本葉 1.8 枚であった。

反復数: 1。NPK 処理 (対照区) のみは2反復。

灌漑水: Antsirabe 市水 (EC: ca. 10 mS/m)

調査・測定: 実験期間中、分けつ数、草丈、葉令、pH、EC、緑藻と二価鉄被膜の発達程度を6回、土壌高さを4回にわたって測定した。実験開始時と終了時には地上部の風乾重を秤量した。風乾重の秤量にあたり、根部を切り離し、地上部下部を洗浄、ハウス内 (閉鎖使用により、晴天時の最高気温は 70 度) で、曇天日も多かったので約1週間にわたって風乾した。実験終了時における乾物重から苗重を差し引き、処理期間中の乾物生産量 (dry matter production, DMP) を算出、処理 (養分と土壌) の効果を解析した。

化学分析: 土壌および水の主要な化学成分の分析をタナ大学分析所に依頼した。

実験結果

1) 一般生育概況

移植直後には晴天が続いたが、水苗代であったためか、苗の活着は順調であった。徒長を防止するため、生育初期以外ではハウスをほぼ開放して栽培した結果、10月初旬～中旬においては夜間の低温のため初期生育は緩慢であったが、その後の気温の上昇とともに生育は旺盛となった。

極度に高い、あるいは低い pH や EC 測定値はなかったため、処理による酸性問題や塩害の影響はなかったと判断した。なお、各種測定値の詳細は、ここでは省略する。

無施肥区、P 欠除処理において生育が貧弱な土壌が多く、ついで N 欠乏が著しかった (Fig. 1)。生育後期に至り S 欠乏が目立ち始め、Zn 欠乏も確認できた。K 欠乏は顕著ではなかった。

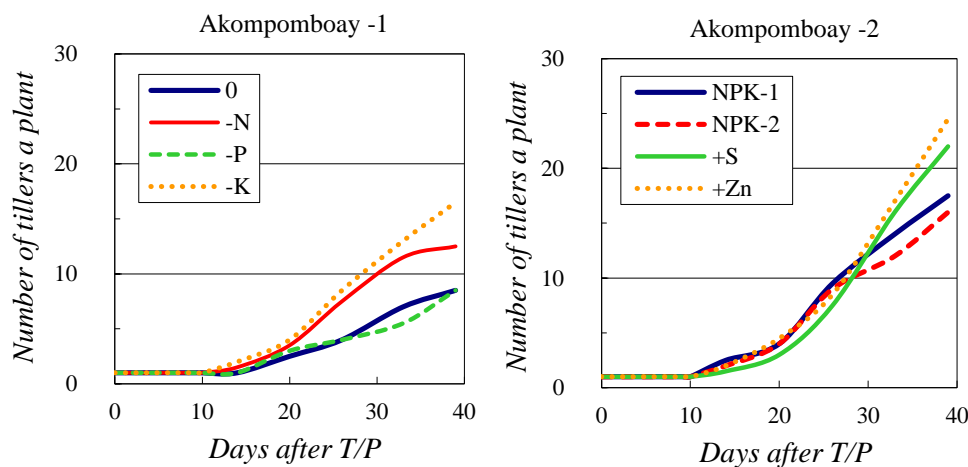


Fig. 1 An example of tiller number development at successive growth stages.
T/P: transplanting.

2) 乾物生産量

乾物生産量は、無施与 (0) 区で最も小さく、-P 区、-N 区でも同様に小さい例が存在した (Table 3)。各種養分処理のうちで最大乾物生産量をあげたのは、NPK 区で 2 土壌、+S 区と +Zn 区でそれぞれ 5 土壌であった。

Table 3. Dry matter production (DMP) (g/plant) during the growth

Ser. no.	Soil	Abbr.	Nutrient treatment						
			0	-N	-P	-K	NPK	+S	+Zn
1	Andramasina	AD	0.2	2.3	0.2	4.3	3.8	4.3	3.4
2	Ankazobe	AK	0.6	3.8	0.6	3.2	4.2	6.6	6.8
3	Ambatomanjaka	IB	0.3	3.6	0.3	4.5	4.5	4.1	7.9
4	Ambohitraivo	IH	3.1	3.1	4.3	5.8	6.2	8.9	8.1
5	Ampahimanga	IP	0.1	0.8	0.2	3.1	3.8	3.6	3.2
6	Mahalavolona (L)	ML	0.1	3.0	0.2	2.4	3.0	3.0	2.8
7	Mahalavolona (H)	MH	1.1	1.3	1.8	4.9	4.7	4.1	5.7
8	Sahalombo (L)	SL	2.4	3.4	3.2	3.0	3.1	6.4	6.4
9	Sahalombo (H)	SH	3.1	3.4	2.6	2.3	2.9	5.8	6.7
10	Akompomboay	BA	1.7	2.9	1.5	3.6	3.7	5.7	5.1
11	Maille 4, PC23	P4	0.2	1.3	0.2	3.9	4.0	4.0	3.8
12	Maille 5, PC23	P5	0.1	0.7	0.2	2.7	4.6	4.6	4.4

3) 分けつ数

実験終了期における分けつ数は、最小で 1 本/個体、最大で 37 本/個体であった (Table 4)。

Table 4 Number of tillers a plant at 39 days after transplanting

Soil	Abbr.	Treatment						
		0	-N	-P	-K	NPK	+S	+Zn
Andramasina	AD	1	11	1	23	19	23	20
Ankazobe	AK	5	18	4	18	19	33	31
Ambatomanjaka	IB	3	15	1	20	20	19	30
Ambohitraivo	IH	16	14	20	26	26	37	37
Ampahimanga	IP	1	4	1	16	16	17	15
Mahalavolona (L)	ML	1	13	1	13	14	17	15
Mahalavolona (H)	MH	7	7	11	25	23	21	28
Sahalombo (L)	SL	13	15	13	15	12	28	27
Sahalombo (H)	SH	15	14	13	11	11	24	23
Akompomboay	BA	9	13	9	17	17	22	25
Maille 4, PC23	P4	2	7	1	20	19	18	20
Maille 5, PC23	P5	1	5	1	17	21	21	22

考 察

1) 養分欠乏程度の定量化

養分の欠乏程度 (度合い) を定量化するため、NPK 区 (対照区) に対する各処理区における乾物生産量相対値を算出、対照区との差 (+Zn 区では +S 区との差) を、対象元素の欠乏程度 (deficient level) とした (Fig. 2) (注 2)。

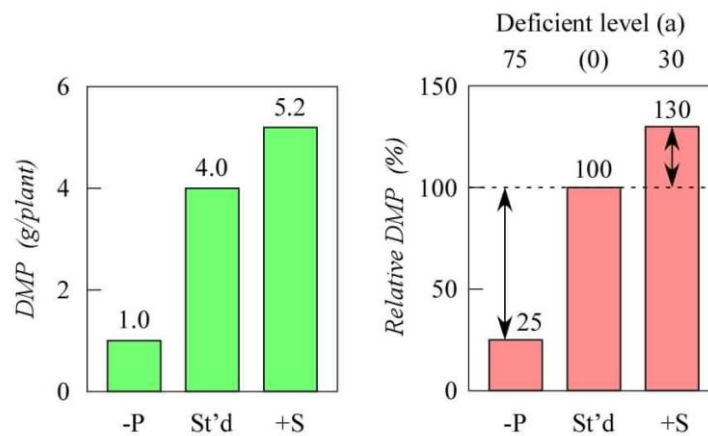


Fig. 2 An example of estimating a deficiency level based on dry matter production (DMP) and relative DMP. a) The balance of relative DMP between a respective nutrient treatment and the reference standard (NPK).

注 2) 上記による欠乏程度の定義は、養分の欠除・添加処理を本実験のように同時に設定した場合には、整合性を欠いていることに留意しなければならない。すなわち、対照 (NPK 施与) 区との差に基づく欠乏程度の変動幅は、養分欠除処理において 0-100 であり、添加処理では 0-∞ である。しかし、1元素による欠乏程度が N、P、K 3元素欠乏程度の合計値より著しく大きい土壌は稀であるので、添加処理においても欠乏程度の変動幅は一般的には 0-100 であると考えてよいであろう。

各土壌の欠乏程度を、極度に欠乏 (severely deficient)、欠乏 (highly)、やや欠乏 (fairly deficient)、ほぼ欠乏なし (less deficient) と4段階に分類し、それぞれの土壌の養分欠乏状態を診断した (Fig. 3)。

Ser. no.	Soil	Abbr.	Element					Legend	Deficiency category	Deficiency level	
			N	P	K	S	Zn			from	to
1	Andramasina	AD	Yellow	Red	Green	Green	Green	<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="width: 15px; height: 15px; background-color: red; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="width: 15px; height: 15px; background-color: lightcoral; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="width: 15px; height: 15px; background-color: yellow; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="width: 15px; height: 15px; background-color: lightgreen; margin-bottom: 5px;"></div> </div>	Severely	76	107
2	Ankazobe	AK	Green	Red	Green	Lightcoral	Green		Highly	51	75
3	Ambatomanjaka	IB	Green	Red	Green	Green	Red		Fairly	26	50
4	Ambohitraivo	IH	Yellow	Yellow	Green	Yellow	Green				
5	Ampahimanga	IP	Red	Red	Green	Green	Green		Less	-23	25
6	Mahalavolona (L)	ML	Green	Red	Green	Green	Green				
7	Mahalavolona (H)	MH	Lightcoral	Lightcoral	Green	Green	Yellow		Less	-23	25
8	Sahalombo (L)	SL	Green	Green	Green	Red	Green				
9	Sahalombo (H)	SH	Green	Green	Green	Red	Yellow		Less	-23	25
10	Akompomboay	BA	Green	Lightcoral	Green	Lightcoral	Green				
11	Maille 4, PC23	P4	Lightcoral	Red	Green	Green	Green		Less	-23	25
12	Maille 5, PC23	P5	Red	Red	Yellow	Green	Green				

Fig. 3 Categorized nutrient deficiency levels in soils used

欠乏程度が著しく、最も広範に分布していたのはリン (P) であり、ついで窒素 (N)、イオウ (S) で、亜鉛 (Zn) 欠乏は局在していた。土壌ごとにみると、複数の養分が極度に欠乏している例 (IB、IP、

P5)、特定の養分に欠乏している例 (ML、SL)、養分欠乏程度にも重度・軽度に欠乏している例などがあつた。供試土壌数が少ないので、本実験では地域差を特徴づけることはできなかったが、将来、明らかにするべき課題である。

本実験において K 欠乏は 1 土壌 (P5) のみで認められた。これまでに収集した各種土壌についての化学分析結果では、半数程度の土壌で交換性 K 濃度が欠乏限界 ($0.12 \text{ cmol}_c/\text{kg}$) 以下であつたので、欠乏が発現した土壌以外でも K 欠乏が存在していた可能性が大きい。本実験で使用した灌漑水の電気伝導度 (EC) は約 10 mS/m (イオン全濃度がやや高い) であつて、ある程度の K が含まれていたと考えられる (他の元素も含まれていた可能性は否定できないが、植物の養分欠乏程度から判断するとそれなりに低かつたと推測できる)。ポット試験開始にあたり、各所 (湖、河川、泉) の水質を調査したが、EC の低い水源を得ることができず、便宜上、アンチラベ市水を利用した。使用した水の分析結果によるが、今後、養分処理に関する本格的な試験を実施するにあたっては蒸留水を確保する算段が必要である。

ポット実験による欠乏程度に関する判定結果を圃場栽培へ適用するには、いくつかの留意事項がある。第1は根圏の大きさの差異である。たとえば、圃場における栽植密度を $20 \text{ 株}/\text{m}^2$ とし、イネの根は少なくとも 60 cm の深度には発達するので、一株の根が占める体積は 30 L 以上となる。一方、本ポット試験での土壌量は 3 L であり、10 倍以上の差異があり、土壌が植物体へ供給できる養分量には両者間で大差がある。この結果、ポット試験では養分欠乏の可能性を顕在化させていると言えよう。換言すれば、ポット試験では欠乏を誇張して表す利点があると同時に、当該養分の欠乏が圃場栽培ではそれほど強度には現れない側面を併せ持つ。

第2に、施与養分量の設定をどのようにするかである。圃場条件下でイネを正常に生育させるための施肥量として、一般に N, P_2O_5 , K_2O はそれぞれ約 $100 \text{ kg}/\text{ha}$ である。しかし、単純に土壌容量に基づいてポットあたり施与量を算出してイネを栽培すると、上記したように圃場栽培とは土壌量が大きく異なるので、養分供給量は著しく不足するので、今回のポット栽培においては、経験的に圃場施与量の 5 倍とした。しかし、供試した土壌の中にはイオン交換容量の小さい土壌が含まれていることが推測でき、当該量を施用すると塩害を発生させる恐れがある。また、生育期間も短いので、本実験では土壌量から換算した施与量の半分に設定した。

ポット試験の最大の利点は、各種土壌の養分状態を迅速に判定できることである。さらに、ポット試験は、有効態養分量を推測するための化学分析方法開発の判断基準にさえなっており、化学分析による診断基準に比べると著しく信頼性は高い。ただし、ポット試験の結果に基づいて、圃場における施肥量を求めるには、前述したように隔たりが大きいことに留意しなければならない。

2) 生産性の比較・分類

2-1) 乾物生産能による比較

得られた乾物生産量に基づいて各土壌の生産性の比較をした。施肥区における乾物生産量は、無施肥区における (養分の天然供給量に依存する) 乾物生産量と、施肥による乾物生産増加量とから成立していると考えることができる (Fig. 4)。

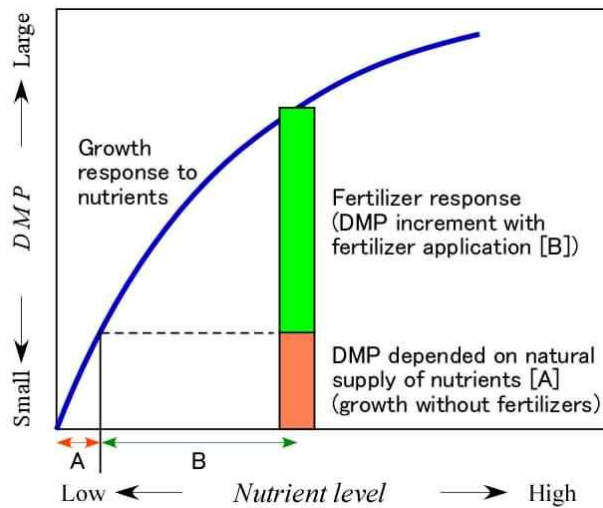


Fig. 4 Two components of dry matter production with fertilizer application

それら3要因の相互関係 (Fig. 5) から、施肥区 (最大の乾物生産量をあげた処理区) における乾物生産量は施肥反応性 (DMP response) に依存する割合が大きかった (Fig. 5, right) が、無施肥区における乾物生産能も少なからず寄与した。

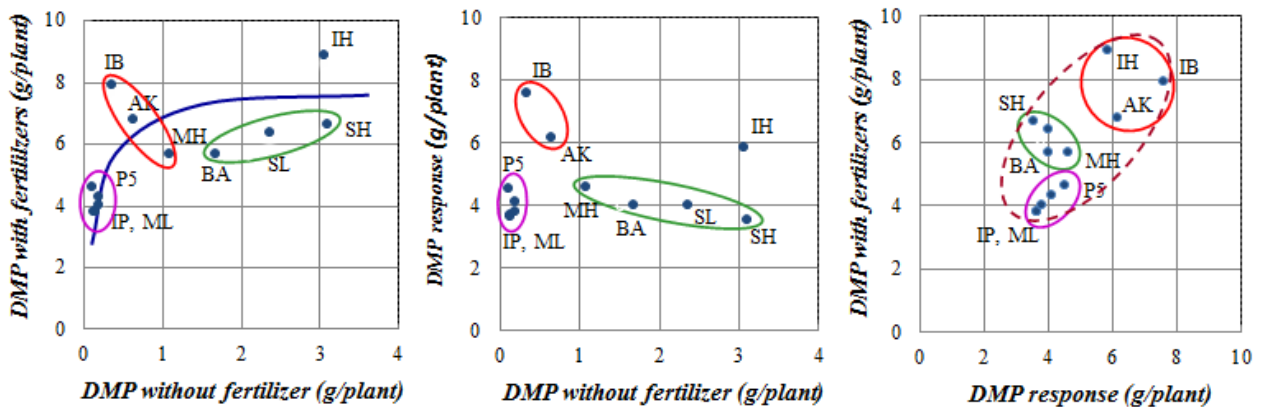


Fig. 5 Mutual relationship among DMP with and without fertilizer and DMP response (growth response to fertilizer application)

乾物生産に関わる要因間の関係に基づいて、供試土壌を生産性の観点から4分類した (Table 5)。たとえば、第 I 群は無施肥区での生産性が大きいため、施肥反応性が中であるが、施肥区での生産性が大きく、第 II 群は無施肥区での生産性は小さいが、施肥反応性が大であるために、施肥区での生産性が中～大であり、第 III 群は、無施肥区での生産性中～大であるが、施肥反応性が小であるために、施肥区での生産性が中であり、第 IV 群は、いずれの形質とも小さいために施肥区での生産性が小であった。

土壌群における生産性と養分欠乏程度との間に、単純な関係を見いだすことはできなかった。なお、施肥の有無にかかわらず生産性が最も高かった Ambohitraivo 土壌 (IH) は火山灰土壌である。

Table 5 Soil classification by productivity

Group	Productivity		Res- ponse	Soil	abbr.
	+F	-F			
I	L	L	M	Ambohitraivo	IH
II	M-L	S	L	Ankazobe	AK
				Ambatomanjaka	IB
				Mahalavolona (H)	MH
				Sahalombo (H)	SH
III	M	M-L	S	Sahalombo (L)	SL
				Akompomboay	BA
				Andramasina	AD
				Ampahimanga	IP
IV	S	S	S	Mahalavolona (L)	ML
				Mille 4, PC23	P4
				Mille 5, PC23	P5

+F and -F: with and without fertilizers.

L: large, M: medium, S: small.

2-2) 乾物生産量の施肥による増加割合

上記の生産性比較における第IV分類 (Group IV) 土壌では、無施肥区における乾物生産量、および施肥による乾物生産増加量はともに小さいため、施肥区における乾物生産量が小さかった。しかし、これら土壌では、施肥区/無施肥区比 (無施肥区に対する施肥区の乾物生産量増加割合) は 20-40 に達し (Fig. 6)、適切な肥培管理によって生産性の大幅な向上が期待できる。

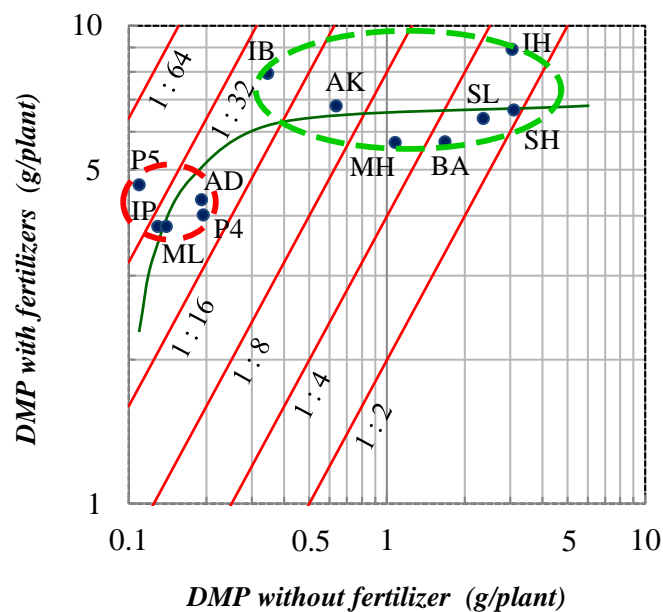


Fig. 6 Ratio of DMP with fertilizer to that without fertilizer. Soils in dotted red circle belong to Group IV.

2-3) 低生産性の要因

無施肥区における乾物生産量には大きな差異が存在していた。自然肥沃度、すなわち、養分の天然供給量は土壌によって異なることはよく知られており、土壌がおかれている自然環境（地質的、地形的、気象的条件）や人為的要因（肥培管理の来歴）によって差異が生じる。一方、無施肥下での生産性が異なる土壌であっても、養分を適切に施与すれば生産性はほぼ同等となると期待できる。しかし、本実験で認められたように施肥下における生産性には土壌間で大きな差が認められた。

土壌間で差異が生じた要因としてはいくつかの可能性が考えられる。第 1 に、十分な成長を上げるに必要として設定した施与養分量の不足とアンバランス、第 2 に、本実験で対象とした養分以外の元素不足・過剰、第 3 に、土壌に施与された元素（養分・肥料成分）は、すべてが植物に吸収されるのではなく、流亡、地下浸透、気散、土壌固定などによって無効化されるので、それらの差異、第 4 に、何らかの外的阻害要因（たとえば、成長阻害物質、病虫害）の存在、第 5 には、不適切な栽培管理（水欠損など）がある。

本実験では、ポット栽培したので施与養分の流亡、地下浸透はなく、また、顕著な病虫害の発生もなく、適切な栽培管理、とくに水管理には最大の努力を払ったので、これらの問題は考慮しなくてよい。したがって、施肥区における生産性の土壌間差は、それぞれの土壌で、(a) 施与養分の不足とバランスがとれていなかった、(b) 対象養分以外の要素の過不足（例：銅不足、ホウ素過剰）が存在した（注 4）、(c) 施与養分の気散・土壌固定量に差異があった、(d) 何らかの阻害物質が存在した、あるいは、(e) これら要因が重複して発生した、などの要因が考えられる。

注 4) 「養分欠乏程度の定量化」の項で記したように、圃場試験とポット試験とでは土壌容量が大きく異なる。したがって、圃場栽培では植物生育にとって不足とはならない養分であっても（自然条件下では地下水などからの養分供給もある）、ポット栽培では顕在化する可能性は大きい。ただし、欠乏判定のために設定した養分以外に植物の必須元素は多数存在するので、それらをポット試験で最初から網羅的に検定することは効率的ではない。まず、化学成分を分析し（必ずしも正鵠を射るとは限らないこともあるが）、不足する可能性のある元素を同定することが求められる。

阻害要因を推測するために栽培試験期間中に pH、電気伝導度（EC）、二価鉄被膜の発現程度や藻類発生程度を調査した。この結果、とくに問題となるような事例はなかった。

施肥反応性に及ぼす要因は土壌ごとに異なる可能性が大きく、原因の究明には、まず土壌の化学分析によって要因の可能性を探り、それに基づいて補完実験を実施する必要がある。とくに、多くの土壌でリン欠乏が著しく、同時に施与リンの大部分は土壌（粘土・有機物）に固定されることが一般的であるので、とくに粘土の含有量とその性質が土壌間で異なることが関与している可能性は大きい。ただし、土壌の化学・物理性を明らかにしても施肥反応性や pH の変動をもたらす要因を必ずしも特定できるとは限らないが、何らかの示唆は得られよう。

リン固定量に関しては、これまでに採取した土壌の分析結果ではかなり大きな値（リン吸収係数の最大値：10 P g/kg）が得られており、重要な検討課題である。土壌分析を依頼したタナ大学分析センターでは当該項目を分析しないので、いずれ日本に試料を持ち込んで分析する必要がある。

3) 分けつ数と乾物重との関係

分けつ数と乾物生産量との間には、高い正の相関が認められている (Fig. 7)。したがって、分けつの発生状況に基づいて養分欠除・添加処理などの経時的変化を適切に追跡することができる (詳細は別途)。

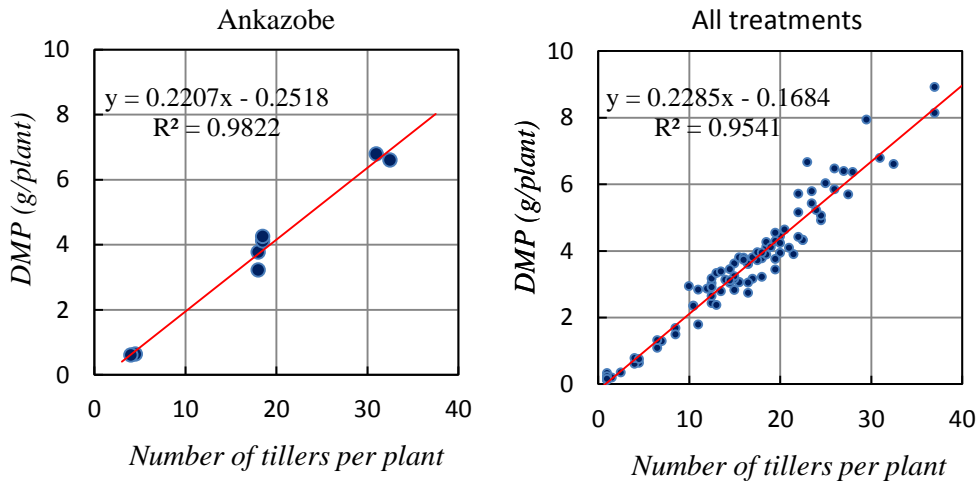


Fig. 7 Relationship between the number of tillers and dry matter production. Left: an example of a soil. Right: all combination of treatments (nutrient manipulation and soils).

4) 残された課題

ポット試験 1 によって中央高地・中央西部・アロチャ地域における土壌の肥沃度・生産性に関する概要を明らかにすることができた。これらの成果は、さらに以下の実験を実施することによって、成立要因を究明し、適用面を拡大することが期待できる。(a) ポット試験結果の圃場栽培による確認実験、(b) 適切な肥培管理技術の構築に向けて、施肥量を異にしたポット試験、(c) 生産性・施肥反応性の差異をもたらす要因を解明するための手がかりを得るため、土壌分析、(d) 養分欠乏・生産性の地域的分布を明らかにするためには、さらに広域な変異に富んだ土壌を対象とする追加実験、などである。

5) 全体展望

5-1) マ国においてイネは全国で栽培されており、栽培条件は地域によって環境 (気象・水文・土壌など) 条件が大きく異なる。生産性に与える諸条件のなかで、肥培管理は適切な選択をする限り、増産に直結し、経済的に成立し得る。

適切な肥培管理にあたっては土壌肥沃度を的確に把握する必要がある。しかし、国土が極めて大きいことを前提にしなければならず、最も効率的な方法は、各地から 200-300 点の土壌を採取、化学分析、そこから約 20 点を選択してポット試験による土壌肥沃度の診断、そして、5-10 カ所での圃場における実証試験とすることであろう。必要な年数は少なくとも 2-3 年計画となる。

5-2) FOFIFA においては中途半端な圃場における施肥試験が繰り返されている。たとえば、リン欠乏土壌において窒素反応性を試験しても限定的な試験結果しか得られず、また、発展性も期待できない。同時に、提出されている標準施肥量にも多大の疑問がある。ポット試験による土壌肥沃度の評価は比較的、的確に実態を反映している。この種の試験は既に 50 年前に実施されているべきであり、そのことを提示してもその重要性を理解できる研究者がいない。植民地時代以来の研究協力の背景が窺える。

今後のポット試験の予定

1) ポット試験 2 (FS 2)

ポット試験 1 では PAPRiz のモデルサイトを対象としたが、イネは全国で栽培されており、また、生産性の異なる土壌が多数存在する。マダガスカル国におけるイネ栽培技術の普及、研究開発事業の将来への発展を見越して、これまでの調査結果や関係者からの各種情報に基づいて、肥沃度が大きく異なると考えられる土壌 (Table 6) を採取し、ポット試験 2 を開始した (移植日: 2012/11/27)。pH, EC の観点からは、ポット試験 1 に比べると、供試土壌の変異幅はやや大きかった (注 3)。また、移植後、数日目において、複数の土壌において養分欠乏の兆候が発現しており、これも土壌肥沃度の変異が大きい土壌を供試した結果の反映であろう。

Table 6. Soils used for the pot trial 2 (FS2)

Ser. no.	Agro-climatic zone	Location			Soil abbr.	Note
		Region	Site			
1	South-west	Manabe	Soanafindra	MS	High productive field	
2			Miandrivazo	MV		
3	Mid-west	Bongolava	Ankompomboay	BP		
4	Central highland	Vakinankaratra	Antsoantany	VA	Upland (Oxisols)	
5			Mahalavolona (L)	ML	Low fertility	
6			Sahalombo (L)	SL2	Low fertility	
7			Sambaina	VS	Flood plain, high fertility	
8			Tsitsiva	TV	Volcanic ash soil, upland	
9	East	Antsinanana	Toamasina II	TE		

Mahalavolona (L) is the reference soil between FS1 and FS2.

All soils are from lowland rice fields unless specified.

注 3) たとえば、湛水開始後数日目 (還元の影響は小さい) での 無施肥区における pH は、ポット試験 1 とポット試験 2 とでそれぞれ 5.5-7.1 と 4.9-6.9、EC は 7-17 と 5-25 mS/m であった。

養分施与処理として、ポット試験 1 における +Zn 処理の内容は NPK+S+Zn であったが、ポット試験 2 では単純に NPK+Zn とした (Table 7)。また、ポット試験 1 において生育後期に生育が旺盛な処理区では P 欠乏の可能性を認めたので、本試験での P 施与量をポット試験 1 での 1.5 倍とし、P₂O₅ 0.75 g/pot とした。

Table 7. Nutrient treatment in the pot trial 2 (FS2)

no.	Treatment		Nutrient				
		abbr.	N	P	K	S	Zn
1	None	0	-	-	-	-	-
2	PK	-N	-	+	+	-	-
3	NK	-P	+	-	+	-	-
4	NP	-K	+	+	-	-	-
5	NPK	NPK	+	+	+	-	-
6	NPK+S	+S	+	+	+	+	-
7	NPK+Zn	+Zn	+	+	+	-	+

- Not applied, + Applied. NPK: reference standard.

追加実験として、ポット試験 1 において養分欠乏が認められた土壌の中から、残存量のある土壌を選択して、本実験に施用量試験を組み込んだ (Table 8)。この実験結果によって、将来の本格的な施用量試験における養分量設定の情報を得ることができる。また、SL2 土壌については、SL 土壌によるポット試験 1 の施肥反応性が圃場における観察結果とは異なるとの情報があつたので、SL 土壌を採取した同一圃場から土壌試料を再度採取し、確認のために再設定した。

Table 8. Preliminary trial on the plant response to graded nutrient rates

Element	Soil	abbr.	Nutrient rate (unity)				
			0	0.5	1	2	4
N	Mahalavolona (H)	MH	*	*	*	*	-
	Ampahimanga	IP	*	*	*	*	-
P	Mahalavolona (L)	ML	*	*	*	*	-
	Maille 5, PC23	P6	*	-	*	*	-
S	Ankazobe	AK	*	*	*	-	-
	Sahalombo (L)	SL2	*	-	*	*	*
Zn	Ambatomanjaka	IB	*	-	*	*	-

Unity (1): the standard rate.

2) ポット試験 3 (FS 3)

各地域においては、生産性が異なる土壌が存在し、また、施設の有効利用を図る意味もあり、さらに変異に富んだ土壌を収集し、ポット試験 3 を計画中である。土壌の選択と収集を各専門家に依頼した。

供試土壌としては、可能な限り大きな変異（生産性が著しく大きい、小さい）を含めるようにすれば、実験結果の応用範囲が大きいと考える。ただし、変異が大きいといっても、土壌肥沃度に直接には関係ない要因（水不足・洪水など、また、明らかな人為的行為）は対象外とする。栽培環境を整えても、生産性が低く、その理由が不明、反対に、十分な管理もしないのに、なぜか生産性が高いなどは、興味ある対象であろう。

3) ポット試験の日程

当面のポット試験の日程を Table 9 に示した。

上記の3ポット試験が予定通りに完了した段階で、供試土壌の合計数は約 30 点になるので、養分欠乏・生産性のおおよその分布図を描くことが可能となるか、養分欠乏が極度に局所的であるかの推測が可能となる。

Table 9. Schedule of 3 pot trials (net period of seedling raising and pot culture)

Year Month Decade	2012												2013									
	Sept			Oct			Nov			Dec			Jan			Feb			Mar			
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
Pot trial 1 (completed)	Seedling	■			■																	
	Pot culture										■											
Pot trial 2 (going-on)	Seedling										■											
	Pot culture										■											
Pot trial 3 (projected)	Seedling										■											
	Pot culture										■											

あとがき

1) 養分が欠乏する場合には、当該養分を外部から補給することが生産性の改善に必須であり、投入資材としては有機質・無機質を問わない。しかし、有機質資源の確保には制限があることから、やはり化学肥料に依存せざるを得ない側面が大きい。マ国ではすべての化学肥料を輸入に依存しているが、窒素およびイオウ源として貴重な硫酸は国内生産が開始されており、硫酸の有効利用を図った施肥試験を、別途に継続中である。

2) ポット試験 1 における全情報（採取土壌の詳細、調査・測定データ）の記録原本、入力ファイルとも PAPRiz Antsirabe office 内に保管している。また、ポット試験 2、3 に関するデータもすべて同事務所内パソコンに逐次入力されることになっている。

3) ポット試験 2、3 の結果は各試験が終了後、データを入手次第に、とりまとめ、その結果を関係者に報告する。

4) 本報告書は素稿であって、文章表現の推敲は十分でない。ただし、論理的文脈の主要点（養分欠乏の程度、生産性の比較など）は、今後とも変更はないであろう。なお、土壌と水分析の結果（2013/02 に入手予定）、および、ポット試験 2、3 の結果によって、総合的な考察が可能となることを期待している。

5) ポット試験 1 の設定から終了まで、また、試験 2 の設定から成育初期まで、実験補助員である Ms. Rakotoarison Hoby とともに栽培管理・生育調査にあたったので、今後のポット栽培においても継続して実施できるであろう。

6) 本報告書の内容に関する質問・助言、また、ポット試験による土壌肥沃度評価に対する一般的要望・意見などを寄せられることを期待している。

省 略 語

DRDR: Direction Régionale du Développement Rural

FOFIFA: Foibem-pirenena momba ny Fikarohana ampiarina amin ny Fampanandrosoana ny Ambanivohitra (Centre National de la Recherche Appliquée au Développement Rural)

JICA : Japan International Cooperation Agency

PAPRiz: Projet d'Amélioration de la Productivité Rizicole sur les Hautes Terres Centrales.

付 録 (写 真)

処理 (養分 x 土壌) によるイネの生育反応 (注 5)

1) 養分処理間比較 (12 土壌)

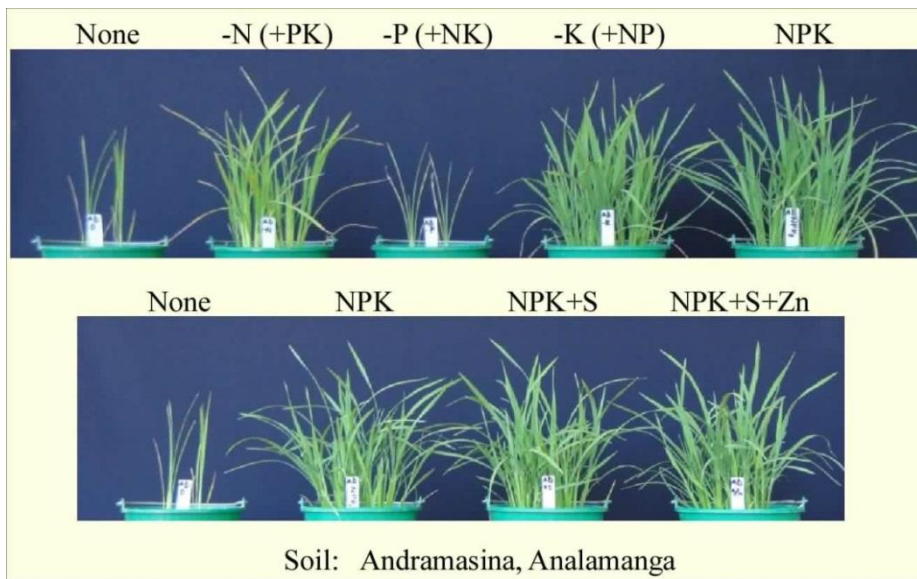
それぞれの土壌の写真右側に、目視観察によって判定した養分欠乏程度の順序 (大 → 小) を示した。この順序は、本文中での乾物生産による養分欠乏程度の判定と一部において異なる。

2) 土壌間比較 (7 養分処理)

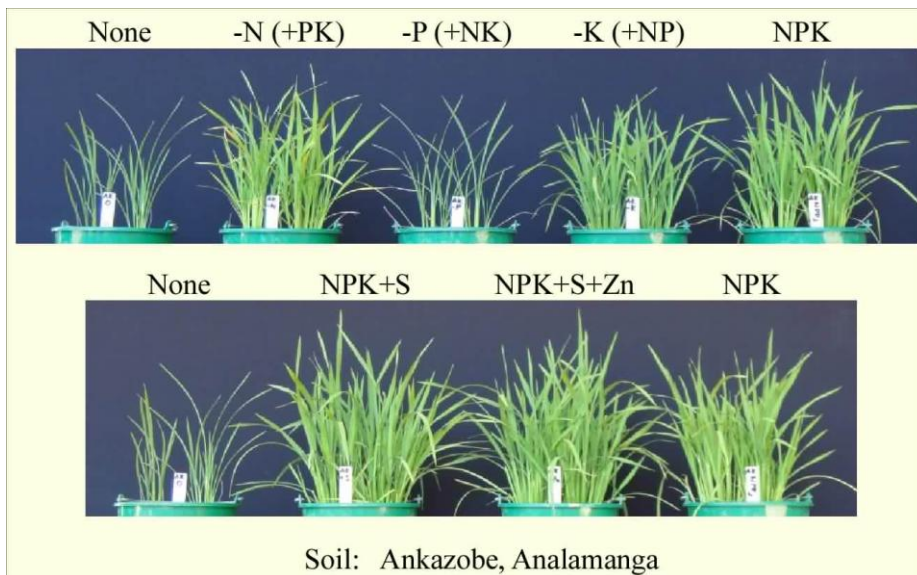
左端のポットは生育が最も貧弱な例、右端は生育が最も旺盛な例。

注 5) PAPRiz 専門家へは 2012/12/04 付けで Draft 1 を配付した。ただし、写真を添付すると、ファイルサイズが大きくなるため省略した。写真内容は 2012/11/27 付け専門家会議における配布資料と同一である。

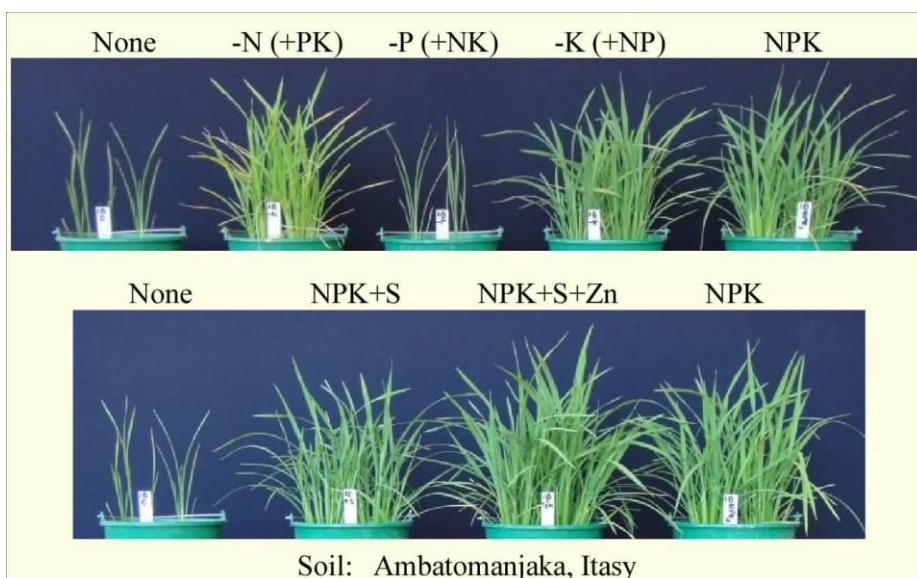
1) 養分処理間比較 (12 土壌)



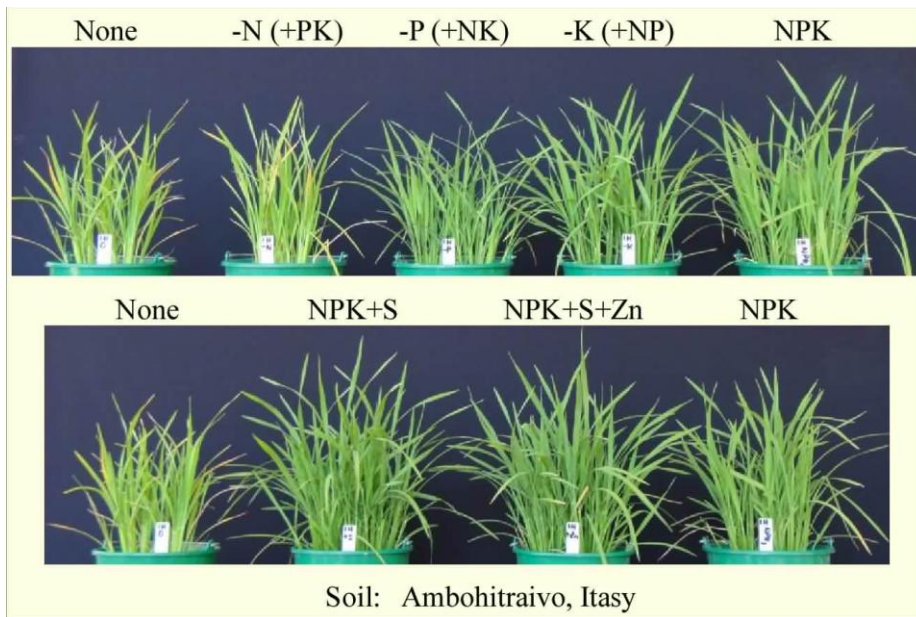
P >> N >> K, S, Zn



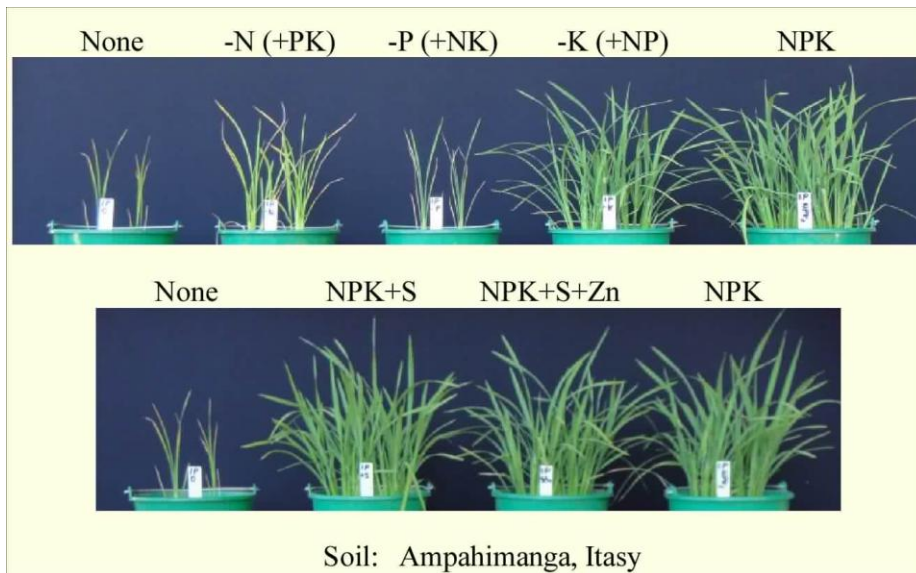
P, S >> N, K, Zn



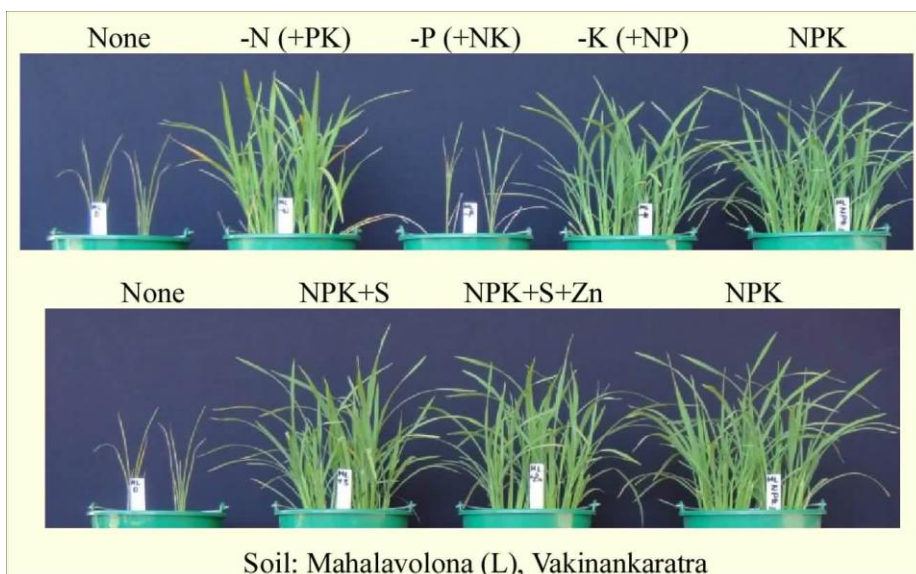
P > Zn > N >> K, S



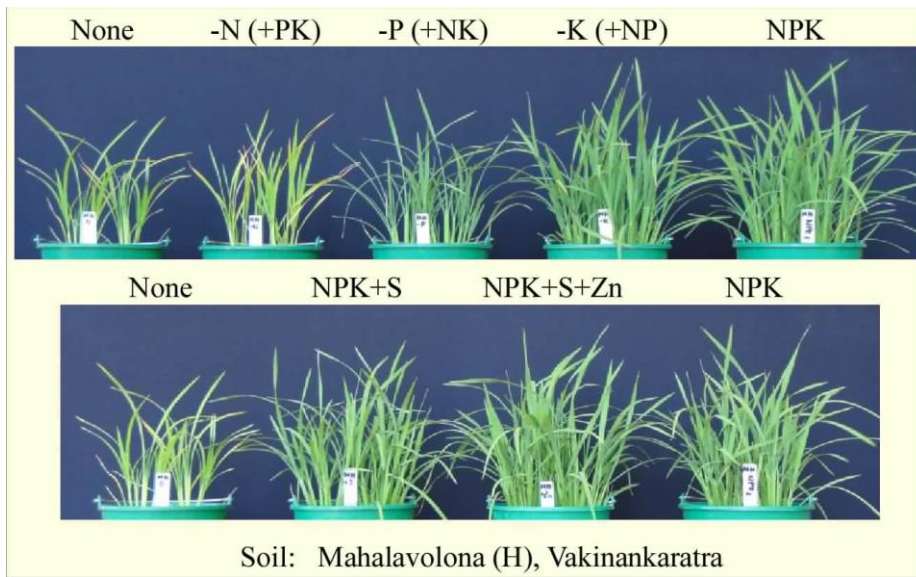
$N, S > P > K, Zn$



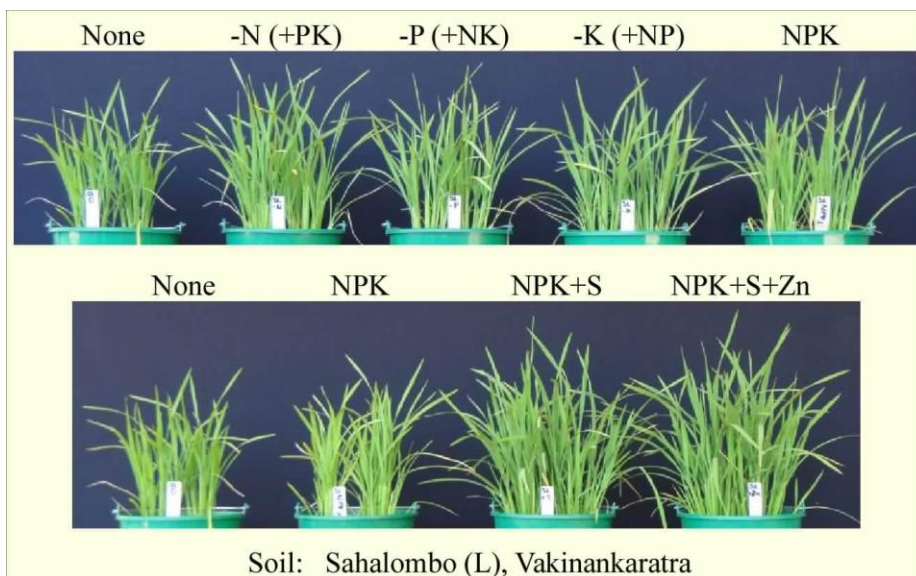
$P > N > K > S, Zn$



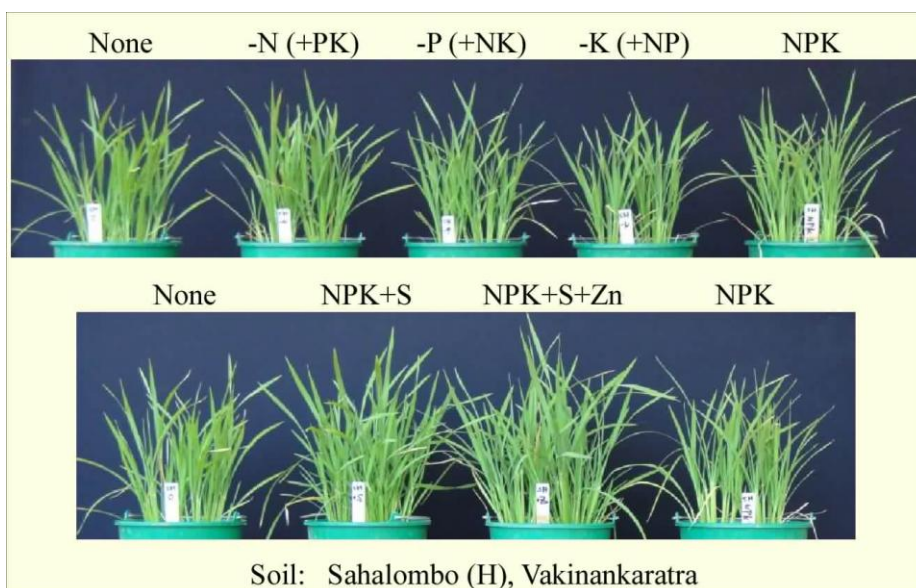
$P > N, S > K, Zn$



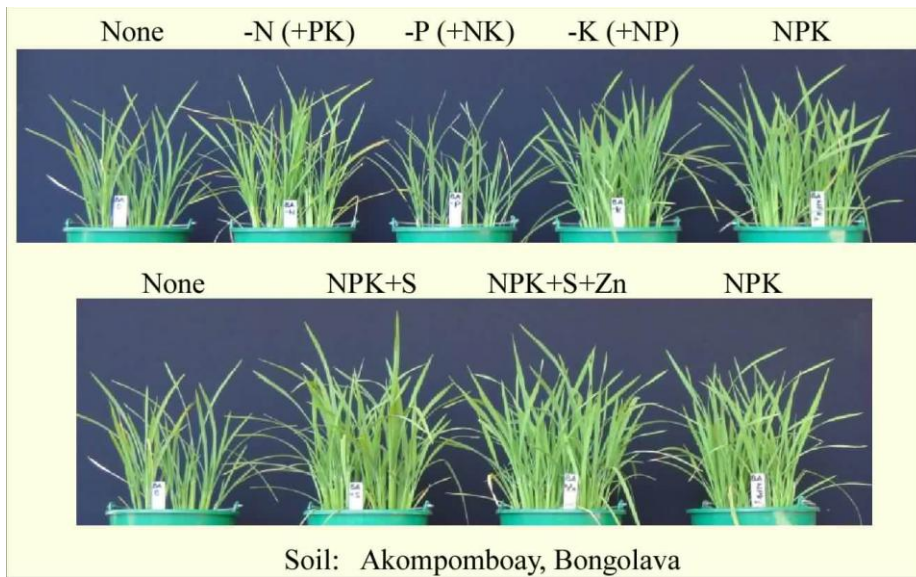
N, P > Zn > K, S



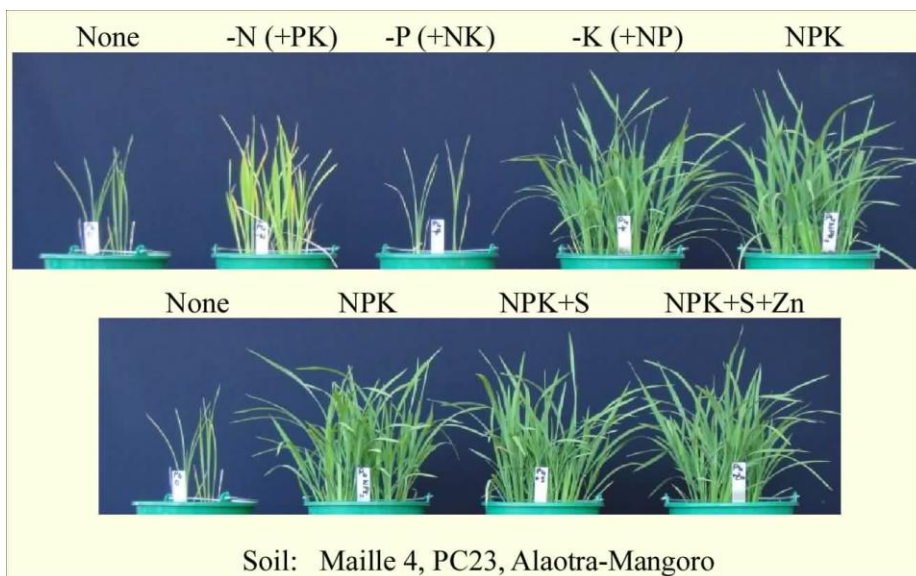
S >> N, P, K, Zn



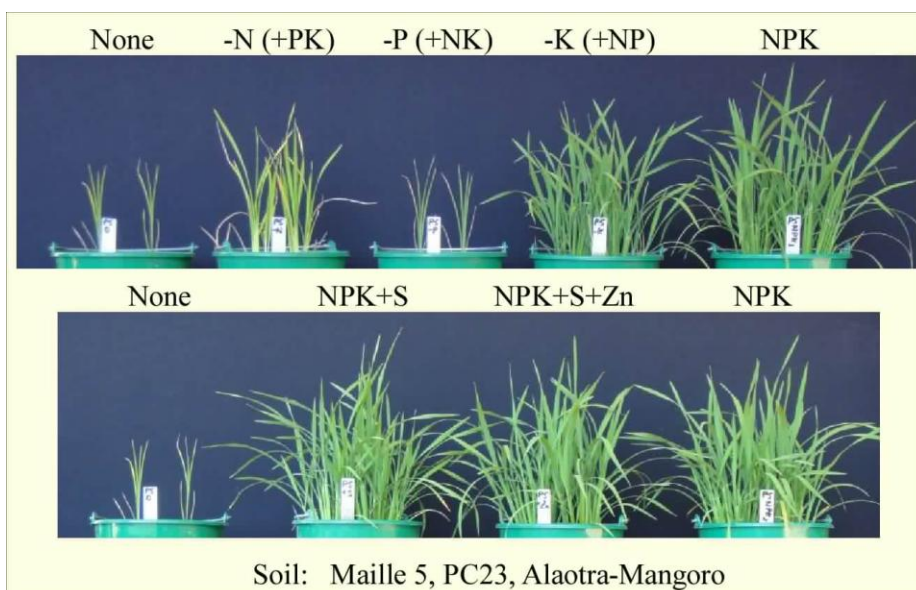
S > Zn > K > N, P



$P, S \gg N, K, Zn$

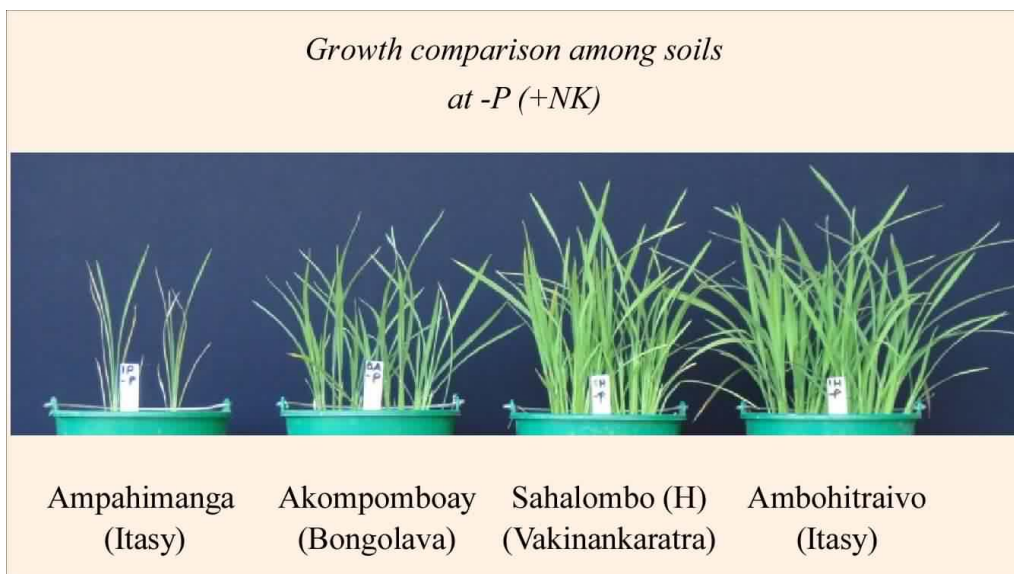
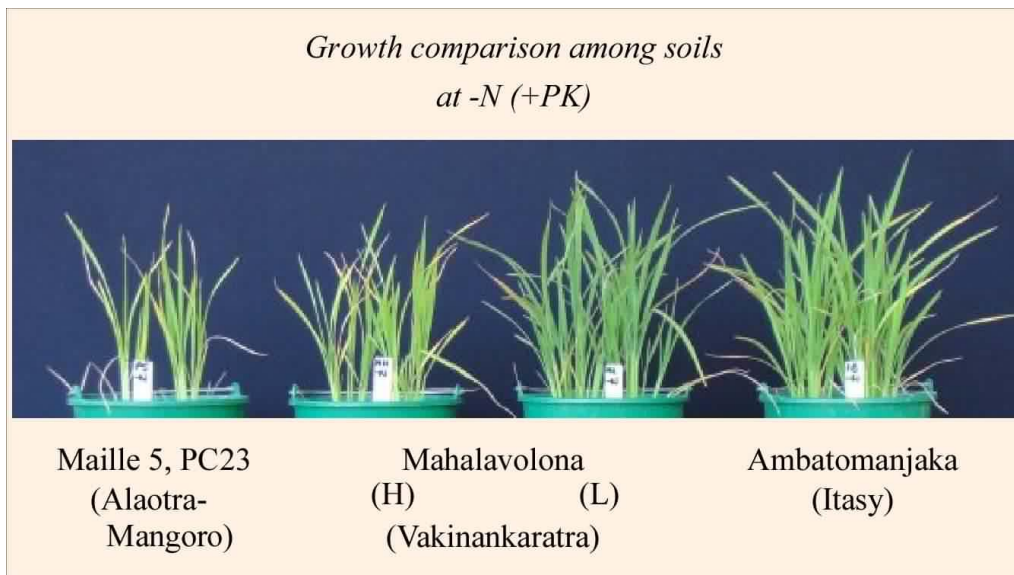
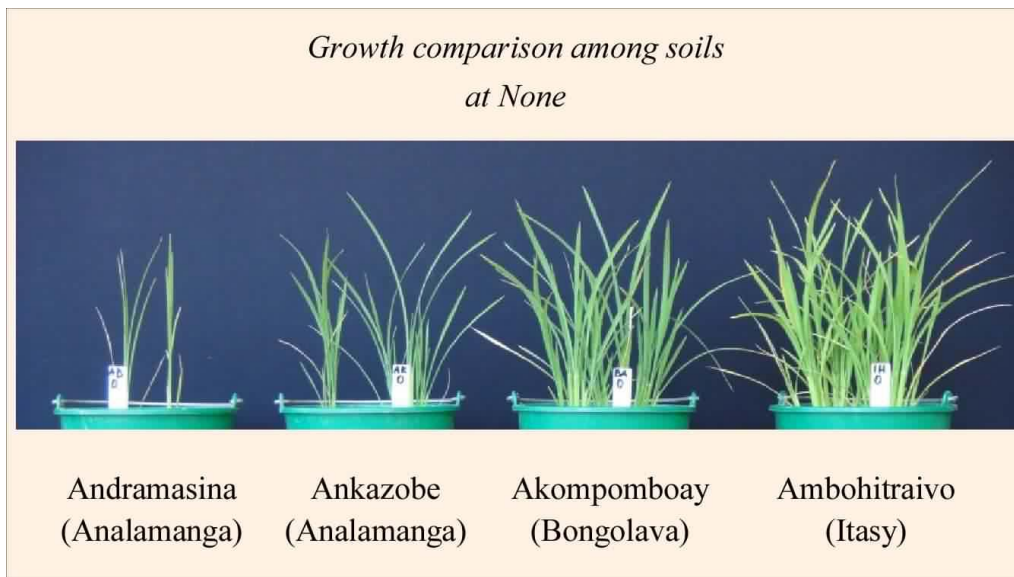


$P > N \gg K, S, Zn$



$P > N > K, S, Zn$

2) 土壌間比較 (7 養分処理)



*Growth comparison among soils
at -K (+NP)*



Mahalavolona (L) Sahalombo (L) Andramasina Ambohitraivo
(Vakinankaratra) (Vakinankaratra) (Analamanga) (Itasy)

*Growth comparison among soils
at NPK*

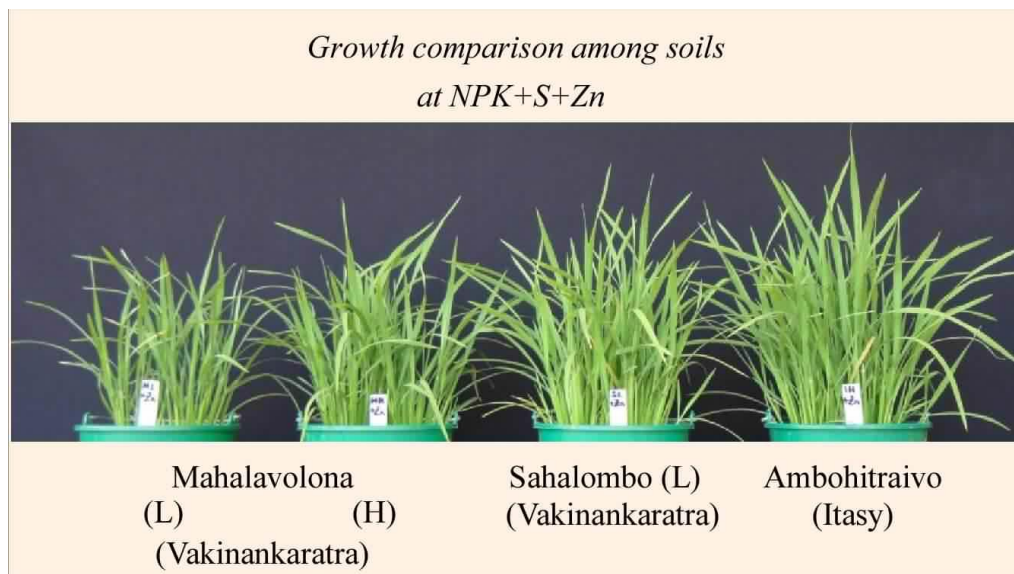


Andramasina Akompomboay Ankazobe Ambohitraivo
(Analamanga) (Bongolava) (Analamanga) (Itasy)

*Growth comparison among soils
at NPK+S*



Ampahimanga Akompomboay Sahalombo (L) Ambohitraivo
(Itasy) (Bongolava) (Vakinankaratra) (Itasy)

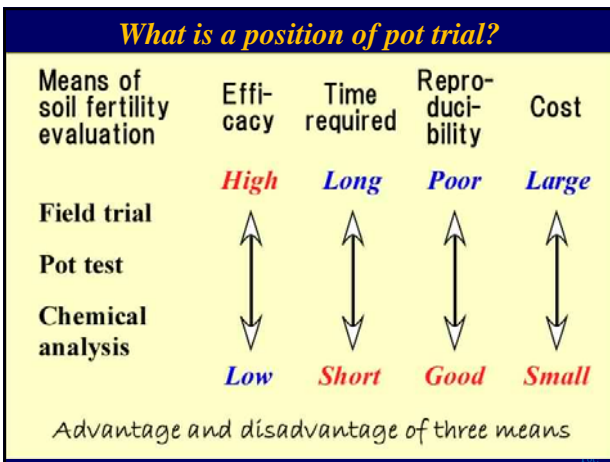




Objectives are:

- 1) To estimate nutrient deficiency levels in each respective soil, and
- 2) To fairly compare the fertility (productivity) among soils (regions).

Our approach is how efficiently we can achieve high crop yield by finding the most limiting factor in plant growth.



Nutrient treatment in soil fertility evaluation trial

no.	Treatment		Nutrient				
		abbr.	N	P	K	S	Zn
1	None	0	-	-	-	-	-
2	PK	-N	-	+	+	-	-
3	NK	-P	+	-	+	-	-
4	NP	-K	+	+	-	-	-
5	NPK	NPK	+	+	+	-	-
6	NPK+S	+S	+	+	+	+	-
7	NPK+S+Zn	+Zn	+	+	+	+	+

- Not applied, + Applied. NPK: reference standard.

Compromised results due to experiment efficiency - maximum output with minimum input.

Soils selected

Trial 1: Soils of high- and low-productivity fields at PAPRiz model sites in 5 regions - completed

Trial 2: Soils with a wide variation of fertility to judge the status in broad perspective - going on

Soils used for fertility evaluation by the pot trial 1					
Ser. no.	Agro-climatic zone	Location		Information on crop productivity	
		Region	Site		
1	Central highland	Analamanga	Andramasina	Low	
2			Ankazoabe	Medium	
3		Itasy	Ambatomanjaka	High	
4			Ambohitraivo	2nd lowest	
5			Ampahimanga	Low	
6		Vakinankaratra	Mahalavolona (L)	Mahalavolona (L)	Low
7				Mahalavolona (H)	High
8			Sahalombo (L)	Low	
9			Sahalombo (H)	High	
10	Mid-west	Bongolava	Akompomboay	Medium	
11	Alaotra	Alaotra-Mangoro	Maille 4, PC23	Medium	
12			Maille 5, PC23	Low	

Mahalavolona (L) is the reference soil between Trials 1 and 2.

Nutrient dose: Equivalent to 100 kg/ha each of N, P₂O₅ and K₂O, 10 S kg/ha and 2 Zn kg/ha.

Soil volume : ca. 3 L/pot (5-L pot)

Replication : One with duplication of the reference standard

Growing condition: Submergence

Irrigation: Tap water at Antsirabe (EC: ca. 10 mS/m)

Number of plants a pot : Two (transplanted)

Growing period: Oct. 1 to Nov. 10, 2012 (40 days)

Variety: FOFIFA 160

Place: Plastics house at Antsirabe, DRDR-Vakinankaratra compound

Position movement: 3 times

Mean temperature : 24.8 °C [21.3 °C outside] (min. 14 °C & max. 36 °C)

Measurements

During the growth

6 times: the number of tillers, leaf age, plant height, pH, EC, and alga and Fe²⁺ development

4 times: soil depth

At transplanting and harvest

Dry weight

Chemical analyses: soils and water

The result of Trial 1

1. Deficiency symptom

2. Deficiency level

2-1. Growth comparison among

Part I: Nutrient treatments

Part II: Soils

2-2. Quantification of deficiency levels

3. Fair comparison of soil productivity

1. Deficiency symptom

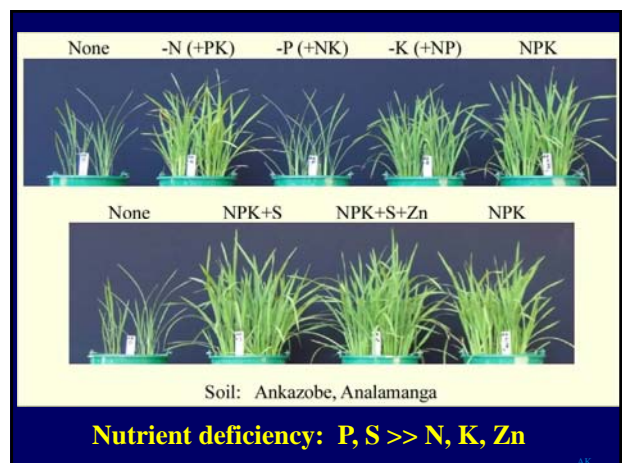
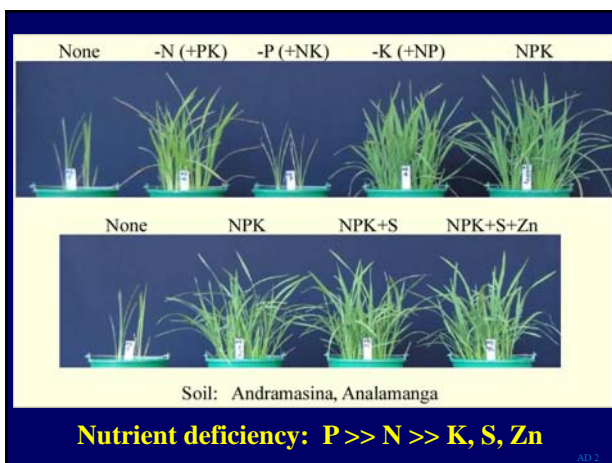
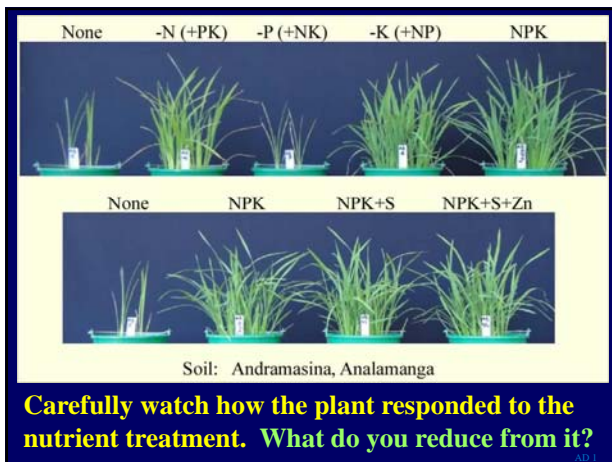
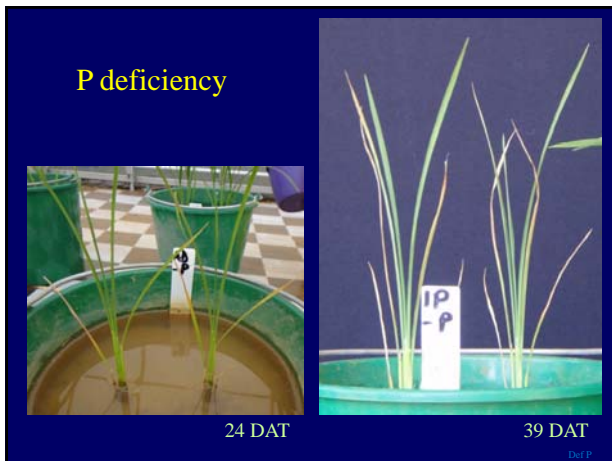
N deficiency

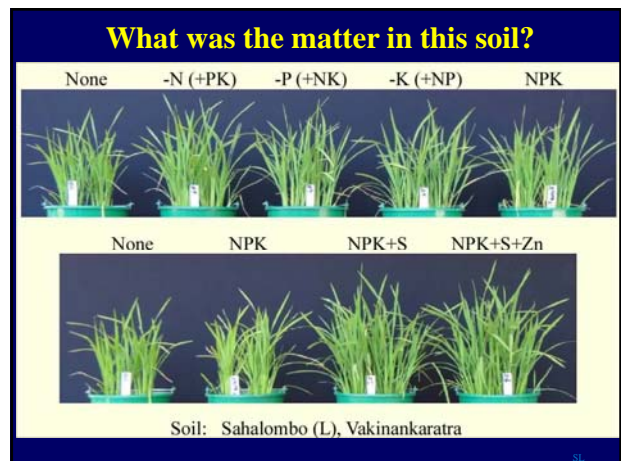
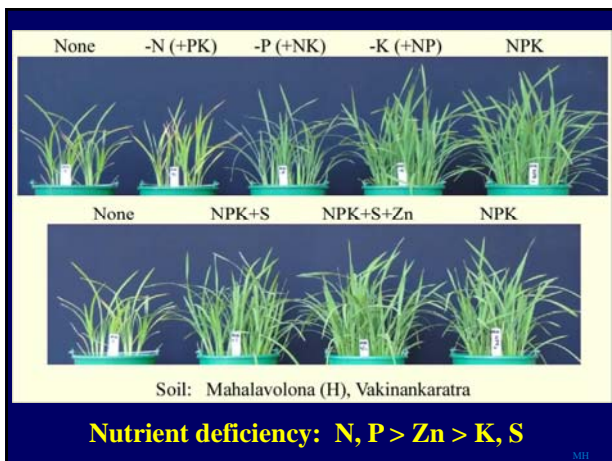
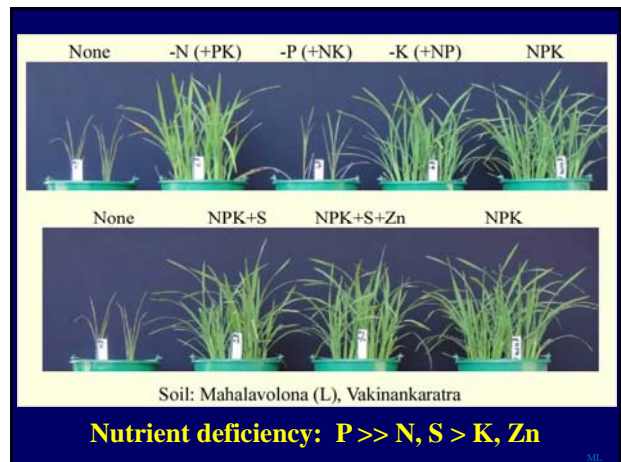
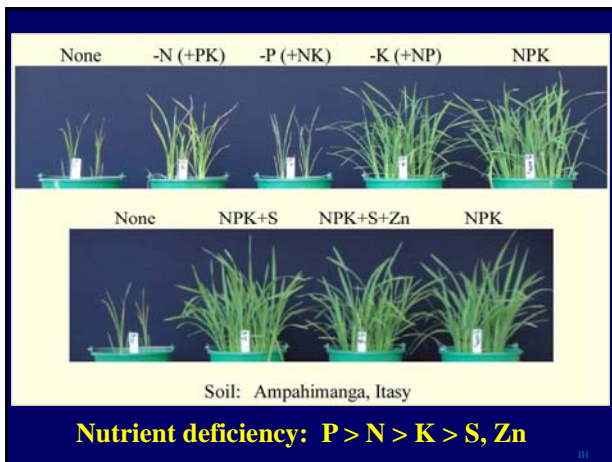
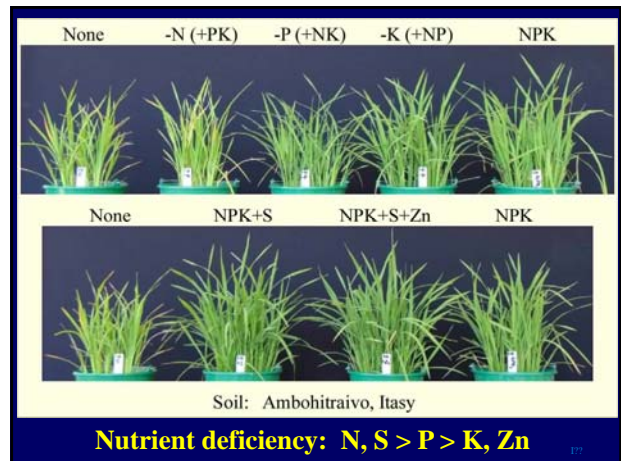
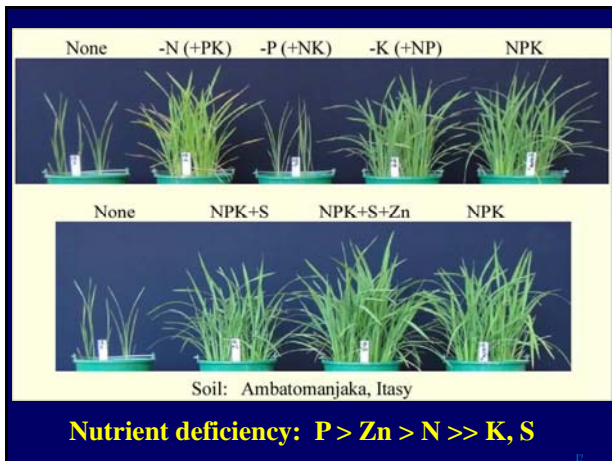


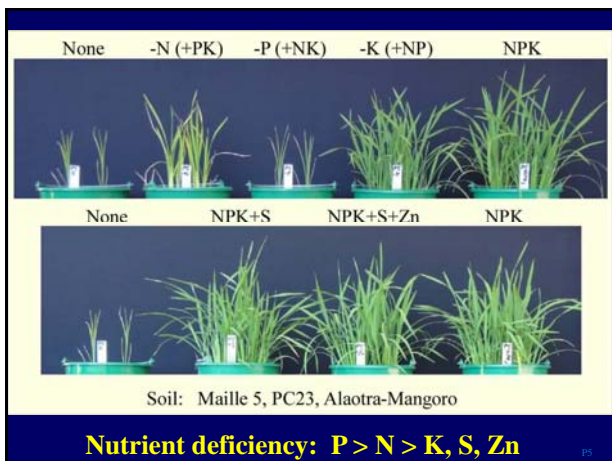
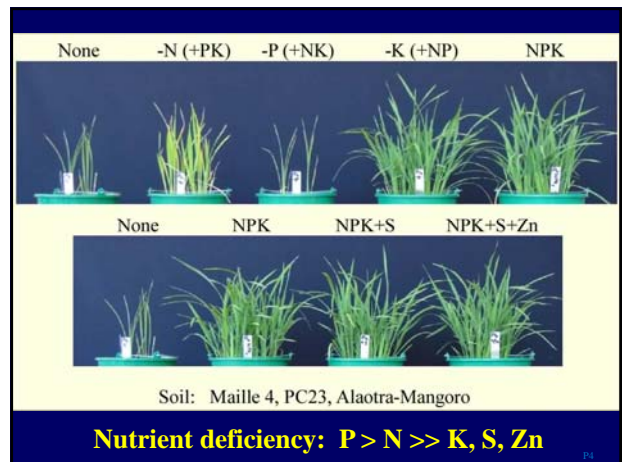
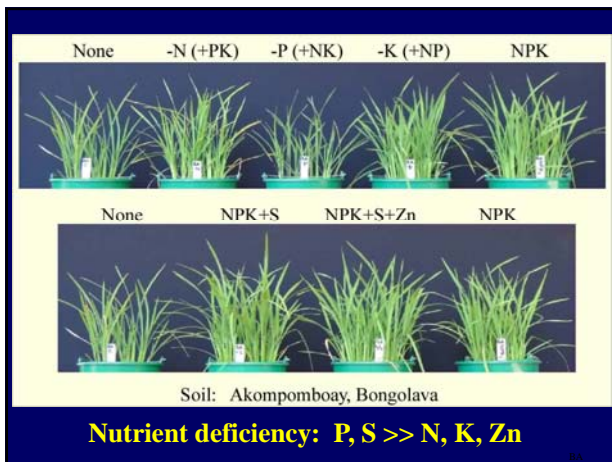
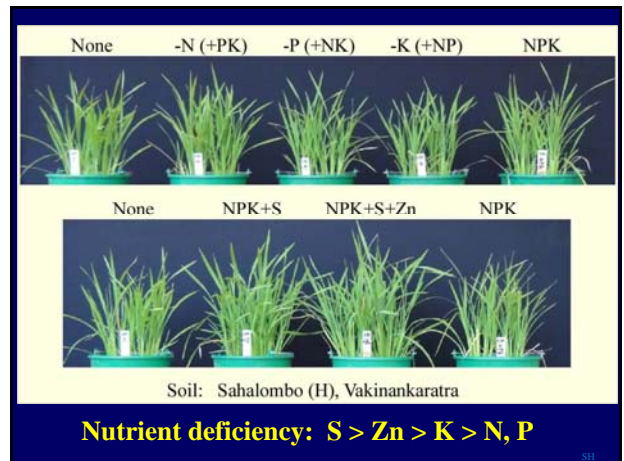
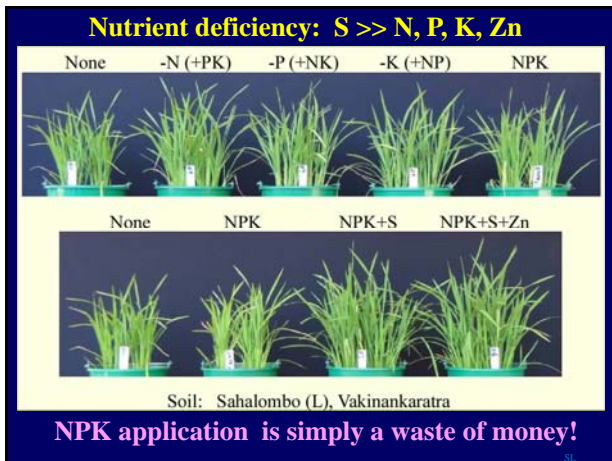
36 DAT

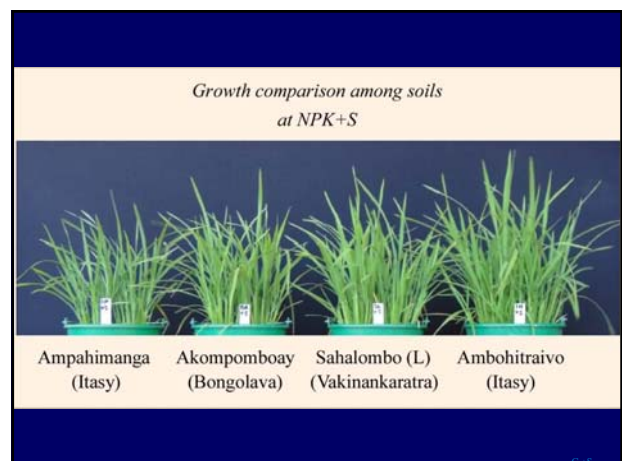
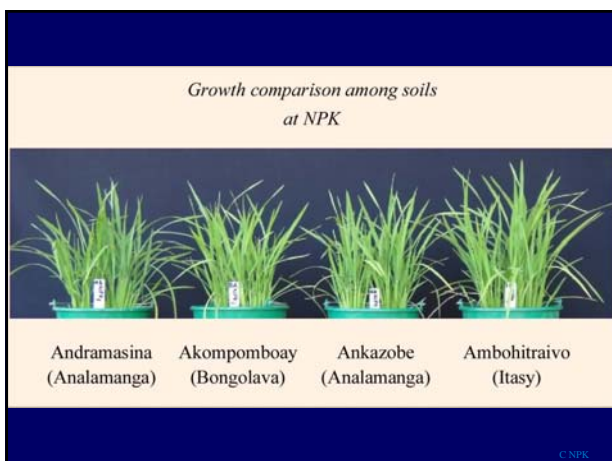
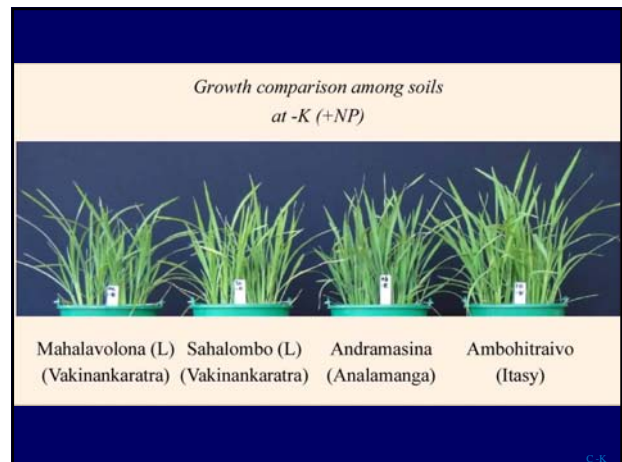
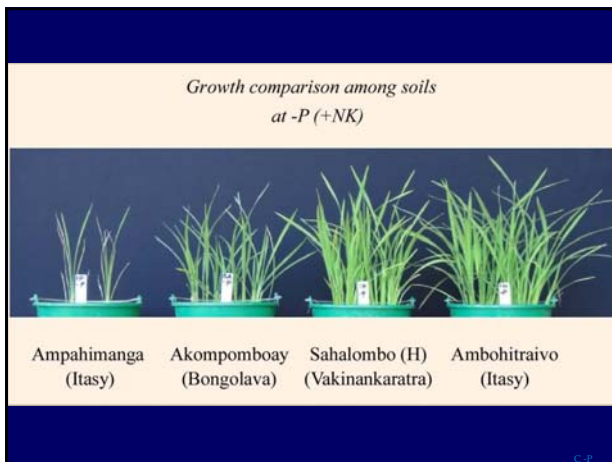
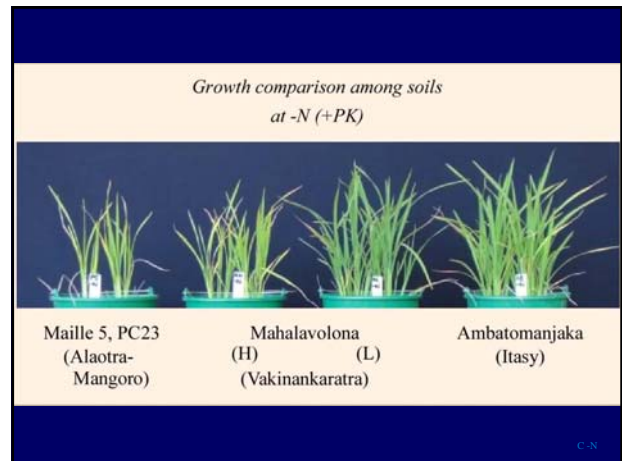
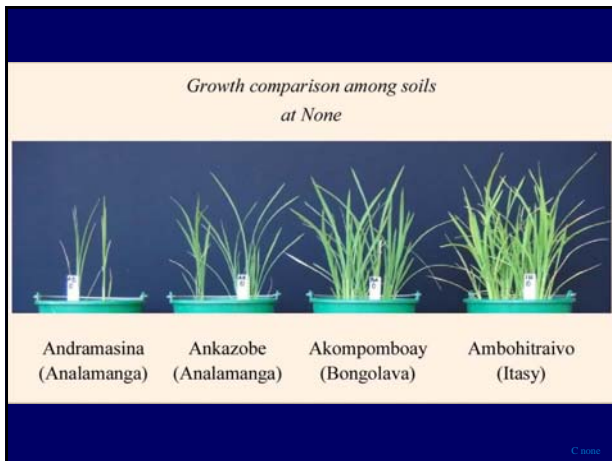


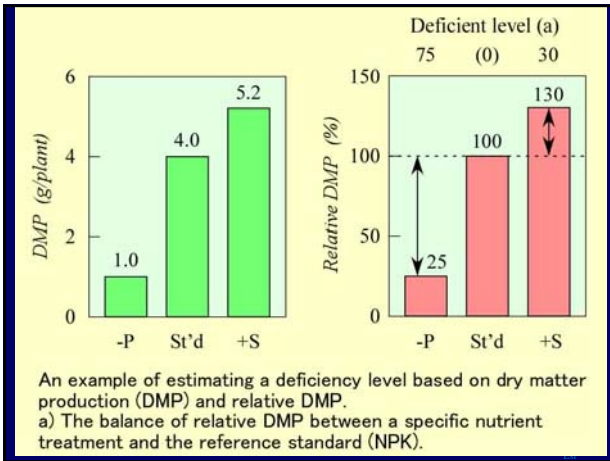
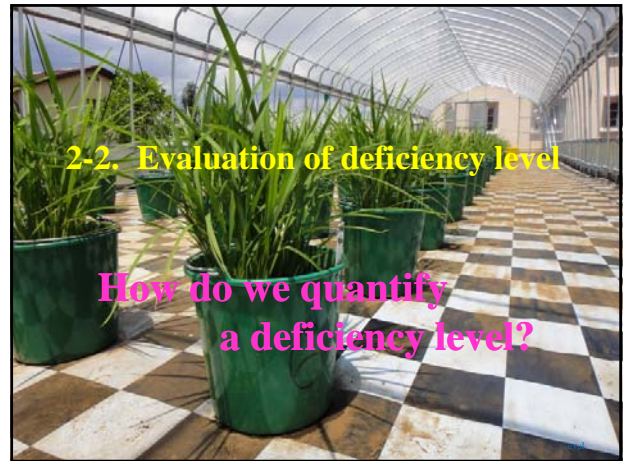
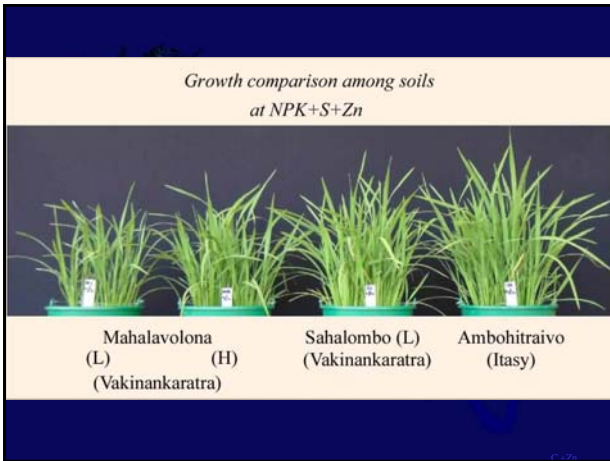
39 DAT







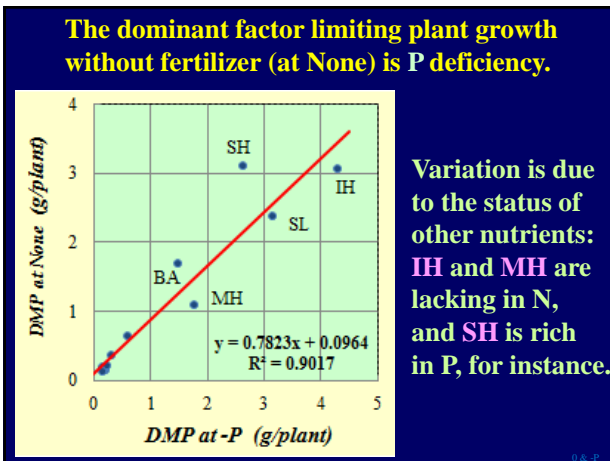




Categorized deficiency level

Ser. no.	Abbr.	Soil	Element					Legend	Deficiency category	Deficiency level from to
			N	P	K	S	Zn			
1	AD	Andramasina	Yellow	Red	Green	Green	Green	Red: Severely Pink: Highly Yellow: Fairly Green: Less	76 107	
2	AK	Ankazobe	Green	Red	Green	Green	Pink			
3	IB	Ambatomanjaka	Green	Red	Green	Green	Green			
4	IH	Ambohitraivo	Green	Red	Green	Green	Green			
5	IP	Ampahimanga	Green	Red	Green	Green	Green			
6	ML	Mahalavolona (L)	Green	Red	Green	Green	Green			
7	MH	Mahalavolona (H)	Green	Red	Green	Green	Yellow			
8	SL	Sahalombo (L)	Green	Red	Green	Green	Red			
9	SH	Sahalombo (H)	Green	Red	Green	Green	Yellow			
10	BA	Akompomboay	Green	Red	Green	Green	Pink			
11	P4	Maille 4, PC23	Green	Red	Green	Green	Green			
12	P5	Maille 5, PC23	Green	Red	Green	Green	Green			

* K deficiency evaluation will be unreliable.

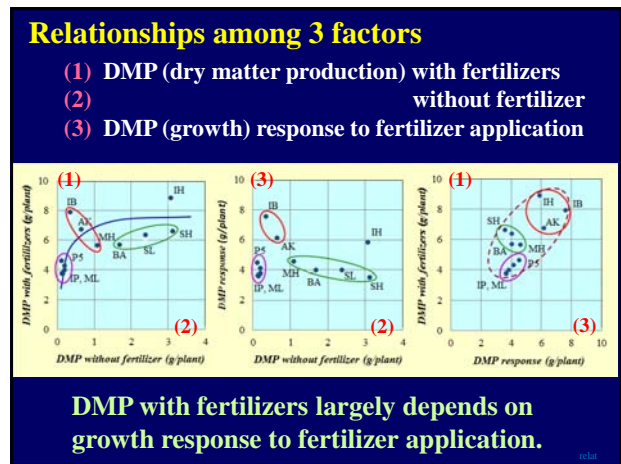
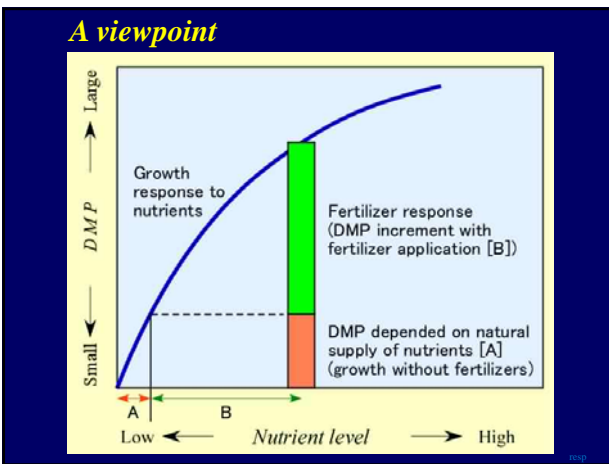
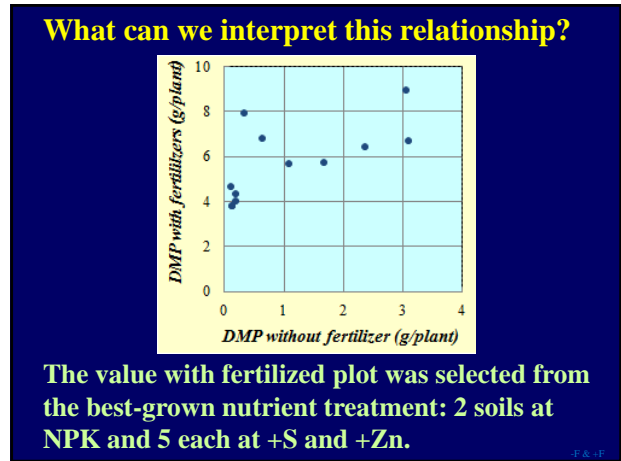


A question has arisen.

Table Recommended fertilizer rate for lowland rice at various regions or locations (FOFIFA)

Agro-climatic zone	Region (Location)	Fertilizer rate (kg/ha)		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Alaoatra	Alaoatra Mangoro	90	45	45
Highland	Vakinankaratra	33	66	48
	Mahitsy	45	45	45
Mid-west	Bongolava	60	45	45
Northwest	Marovoay	45	0	0
Southwest	Atsimo Atsinanana	90	60	0

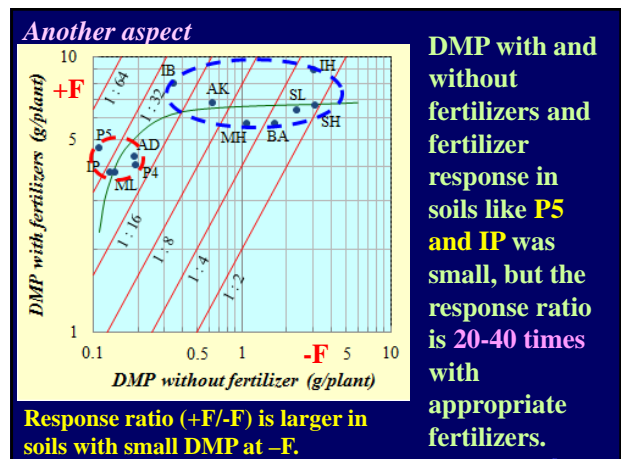
Is the rate appropriate?



Soil classification by productivity				
Group	Soil	Productivity		Response
		+F	-F	
I	Ambohitraivo	L	L	M
II	Ankazobe	M-L	S	L
	Ambatomanjaka			
III	Mahalavolona (H)	M	M-L	S
	Sahalombo (H)			
	Sahalombo (L)			
IV	Akompomboay			
	Andramasina	S	S	S
	Ampahimanga			
	Mille 4, PC23			
	Mille 5, PC23			

-F: without fertilizer, +F: with fertilizers.
L: large, M: medium, S: small.

Is the Group IV soils hopeless?



Perspective

- a) One should verify the pot result by field trials.
- b) Plants must be grown at graded nutrient rates to establish proper fertilizer manipulation.
- c) Soil chemical analyses are essential to find a cause of the differences in soil fertility: e.g., P adsorption coefficient.

Table 2. Soils used for fertility evaluation trial 2

Ser. no.	Agro-climatic zone	Location		Note
		Region	Site	
1	South-west	Manabe	Soanafindra	High productive field
2			Miandrivazo	
3	Mid-west	Bongolava	Ankompomboay	
4	Central highland	Vakinankaratra	Antsoantany	Upland
5			Mahalavolona (L)	Low fertility
6			Sahalombo (L)	Low fertility
7			Sambaina	Flood plain, high fertility
8			Tsitsiva	Volcanic ash soil, upland
9	East	Antsinanana	Toamasina II	

Mahalavolona (L) is the reference soil between Trials 1 and 2.
All soils are from lowland rice fields unless specified.

Trial 2 included:

Preliminary trial at graded nutrient rates

Element	Soil	Nutrient rate (unity)				
		0	0.5	1	2	4
N	Mahalavolona (H)	*	*	*	*	-
	Ampahimanga	*	*	*	*	-
P	Mahalavolona (L)	*	*	*	*	-
	PC23, Maille 5	*	-	*	*	-
S	Ankazobe	*	*	*	-	-
	Sahalombo (L)	*	-	*	*	*
Zn	Ambatomanjaka	*	-	*	*	-

Unity (1): the standard rate.

MISAOTRA TOMPOKO

*Thank you very much
for your attention*



Thèmes

1. Evaluation de la fertilité des sols par la culture en pot
2. Nutrition des plantes
3. Contexte général

1. Evaluation de la fertilité des sols par la culture en pot

Les objectifs sont:

- 1) Trouver le niveau de carence des éléments pour chaque sol, et
- 2) Comparer de façon équitable la fertilité des différents sols.

Méthodologie

Choix:

Eléments, Dose, Source d'eau, Sols, Volume du sol, Nombre de plantes par pot, Durée, Variété, et Nombre de répétition, par exemple.

Ces différents points sont en interaction.

Les éléments à étudier

Fréquence (%) de carence en éléments dans la zone d'Alaoatra et sur les hautes-terres (a)

Agro-écologie	Région	n	Eléments en carence					B
			N	P	K	S	Zn	
Bas-fonds	Alaoatra Mangoro	7	43	14	100	29	57	0
	Bongolava	7	29	29	100	29	14	14
	Vakinankaratra	8	25	0	50	25	0	13
Plateaux	Bongolava	4	100	50	100	75	0	0
	Vakinankaratra	3	100	67	67	100	0	0
	Itasy	2	100	0	50	100	0	0

Source: J. Yamaguchi, Madagascar rapport JICA, 2011.

a) Constaté après analyses chimiques du sol.

Le nombre d'échantillons (n) n'était pas suffisant pour confirmer une tendance générale. Aucune carence apparente en Mn et Si n'a été détectée.

Traitements fertilisants pour l'essai d'évaluation de la fertilité du sol

no.	Traitement		Eléments nutritifs				
	abr.		N	P	K	S	Zn
1	Aucun	0	-	-	-	-	-
2	PK	-N	-	+	+	-	-
3	NK	-P	+	-	+	-	-
4	NP	-K	+	+	-	-	-
5	NPK	NPK	+	+	+	-	-
6	NPK+S	+S	+	+	+	+	-
7	NPK+S+Zn	+Zn	+	+	+	+	+

- Pas d'apport, + Apport.

NPK: Traitement de référence.

Compte tenu de l'efficience – maximum de production avec minimum de dépenses.

Sols

Essai n° 1: Sols des parcelles à haute et basse production des sites modèles du PAPRiz dans les 5 régions.

Essai n° 2: Sols à large variation de fertilité.

Sols utilisés pour l'évaluation de la fertilité essais 1

Ser. no.	Zone agro-climatique	Emplacement		Information concernant la fertilité du sol
		Région	Site	
1	Hautes terres	Analamanga	Andramasina	Faible
2			Ankazobe	
3	Itasy		Ambatomanjaka	Elevée
4			Ambohitraivo	Faible 2
5			Ampahimanga	Faible
6	Vakinankaratra		Mahalavolona (L)	Faible
7			Mahalavolona (H)	Elevée
8			Sahalombo (L)	Faible
9			Sahalombo (H)	Elevée
10	Moyen-Ouest Bongolava		Akompomboay	
11	Alaoatra	Alaoatra-Mangoro	Maille 4, PC23	Moyenne
12			Maille 5, PC23	Faible

Mahalavolona (L) est le sol de référence entre les essais 1 et 2.

Dose des éléments: Equivalent de 100 kg/ha de N, P₂O₅ et K₂O, 10 kg/ha de S et 2 kg/ha de Zn.

Volume du sol: env. 3 L/pot (pot de 5 L)

Variété: FOFIFA 160 (2 plantules par pot)

Eau: Eau de robinet (EC: env. 10 mS/m)

Répétition: Un et duplication pour le traitement de référence

Durée: 40 jours après repiquage

Place: Serre à Antsirabe, DRDR-Vakinankaratra

Les résultats de l'essai n° 1

Symptômes de carence

Comparaison entre

Part I: Traitements fertilisants

Part II: Sols

Carence en N



36 DAT



39 DAT

Carence en P



24 DAT

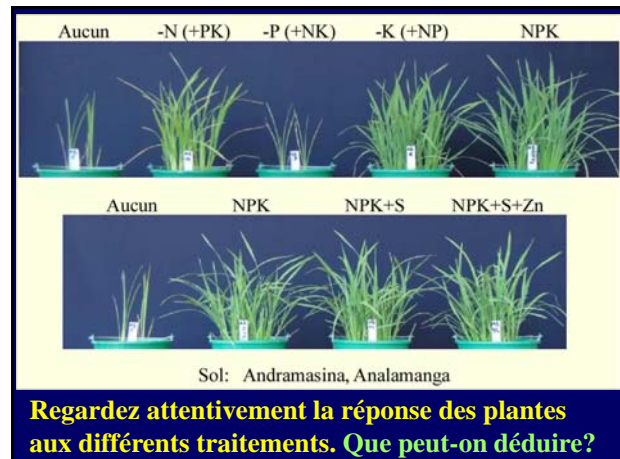


39 DAT

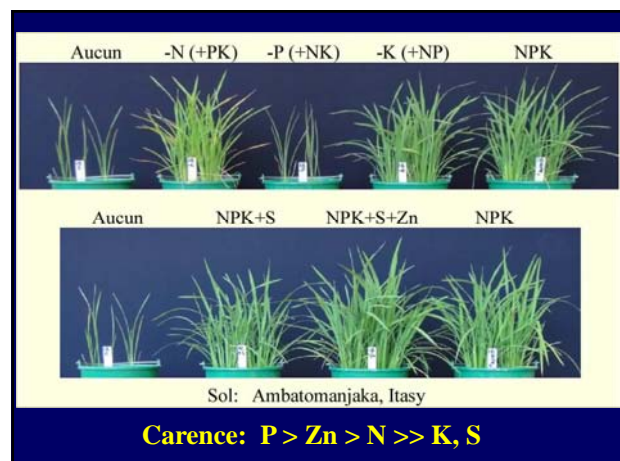
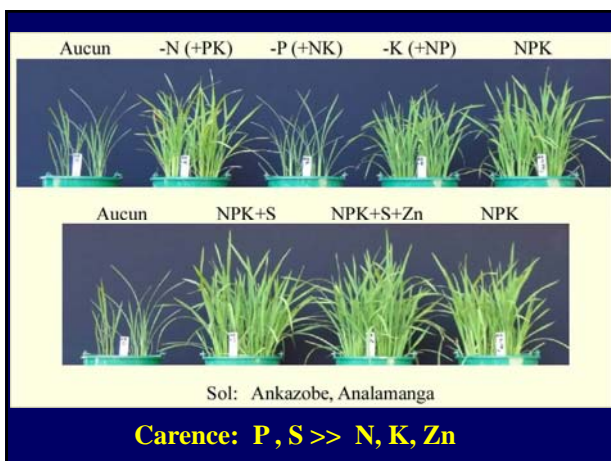
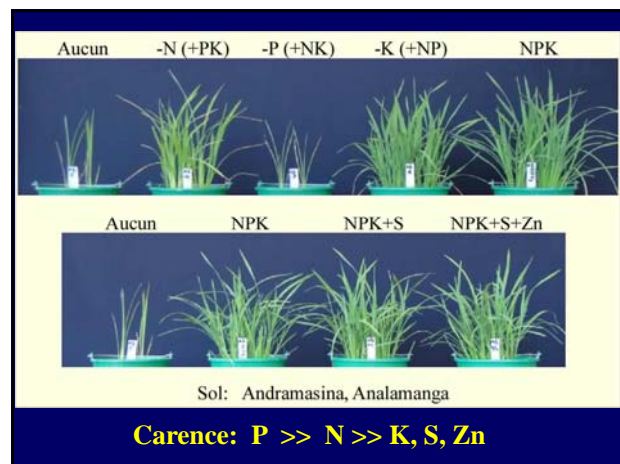
Comparaison

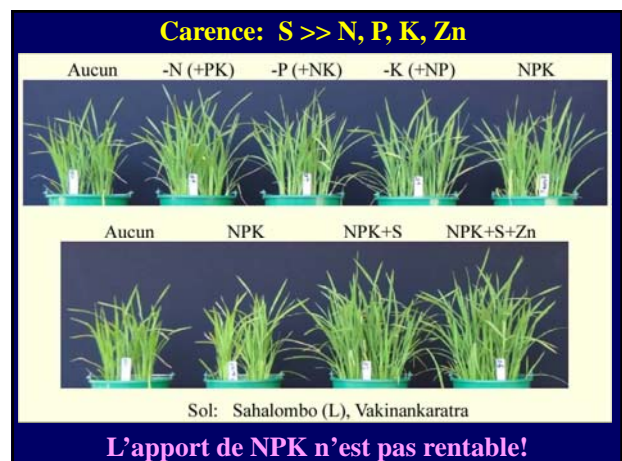
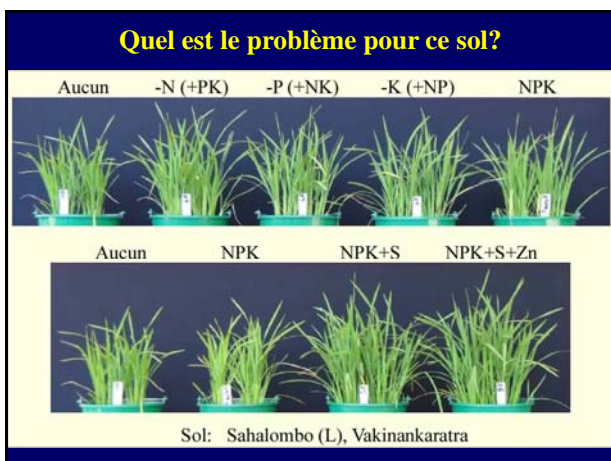
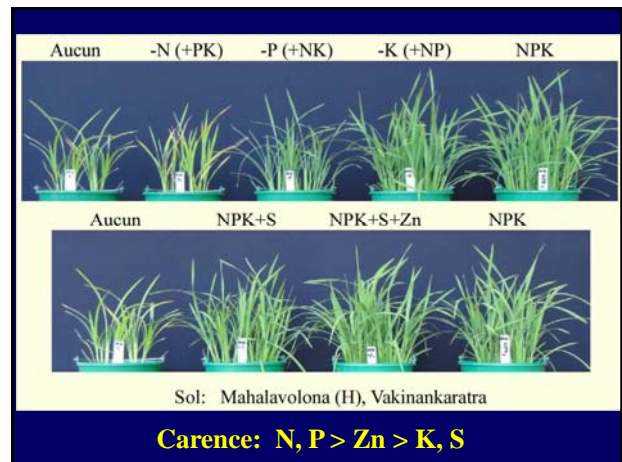
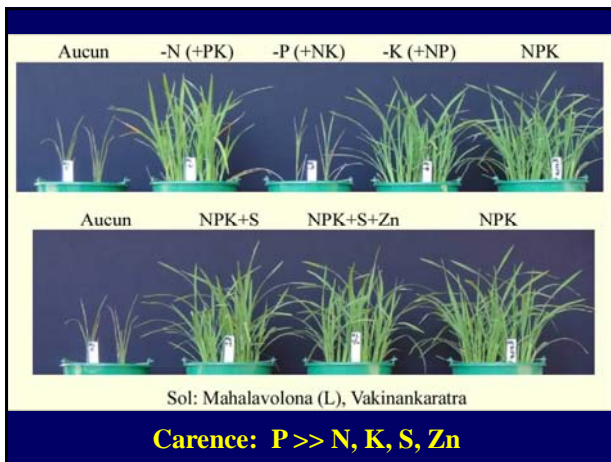
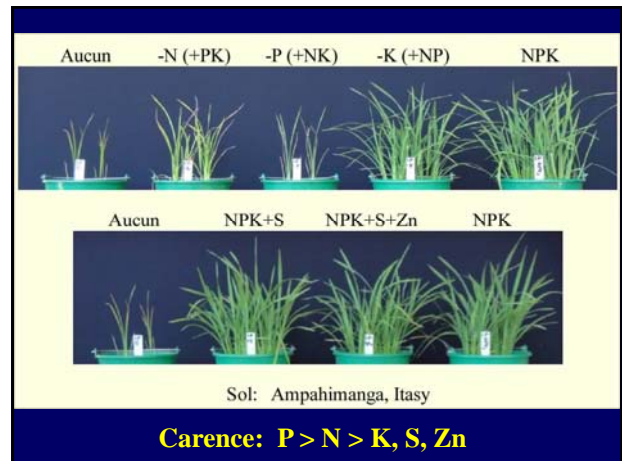
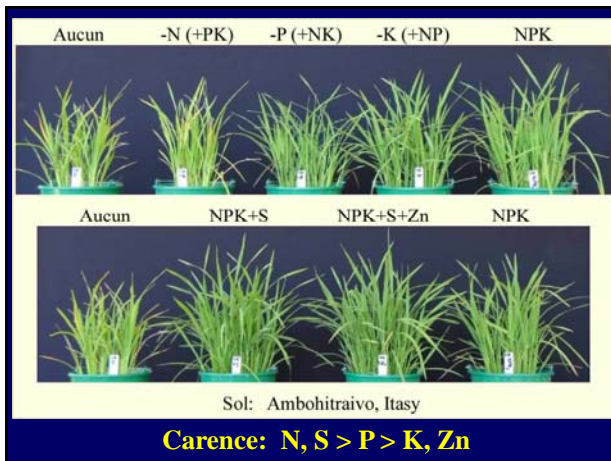
Partie I

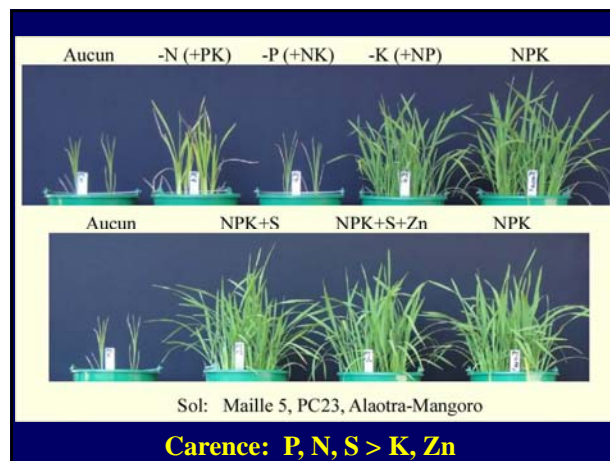
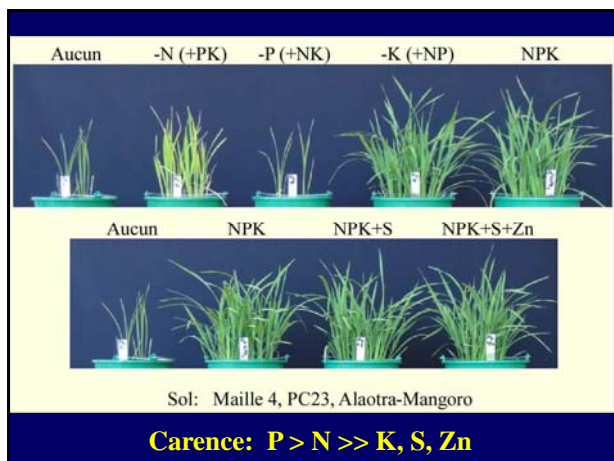
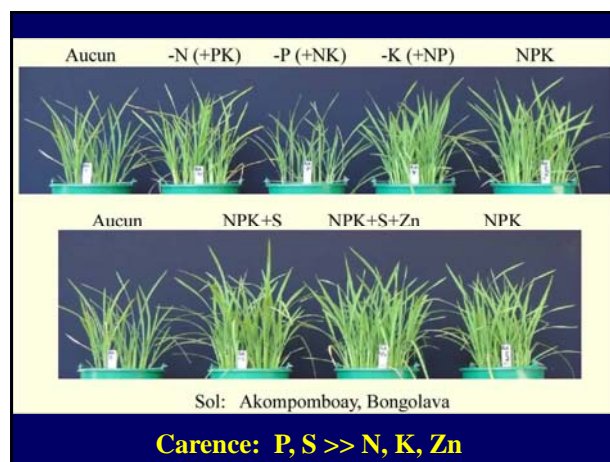
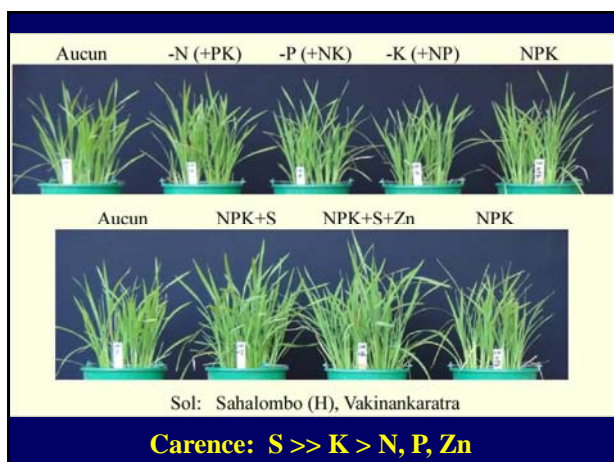
Entre les différents traitements
pour chaque sol



Premièrement, les plantes ajustent
leur taille (réduction du nombre
de talles) pour survivre.



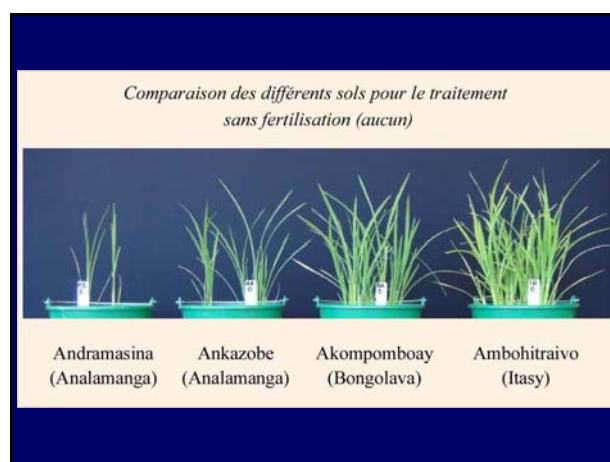


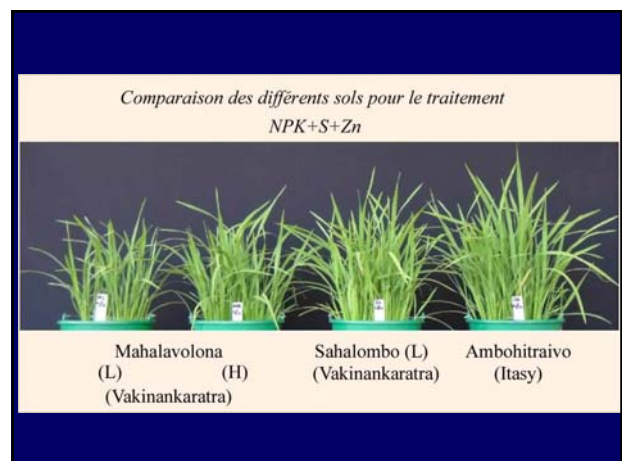
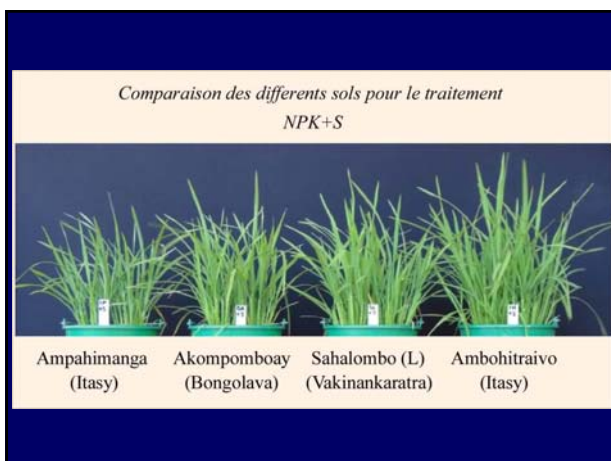
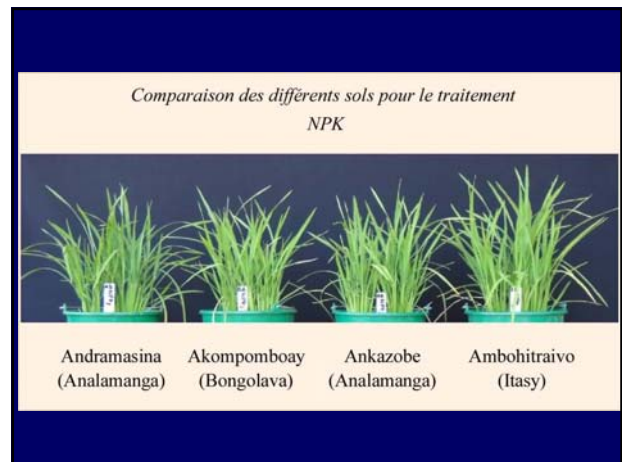
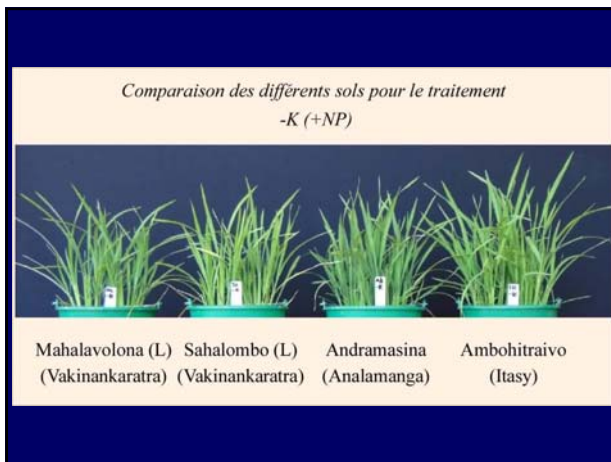
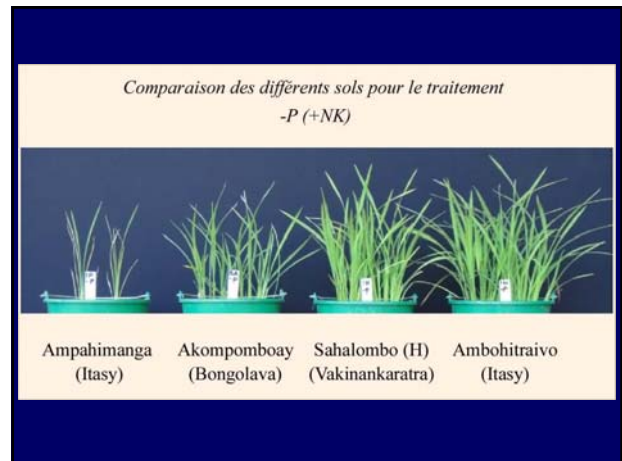
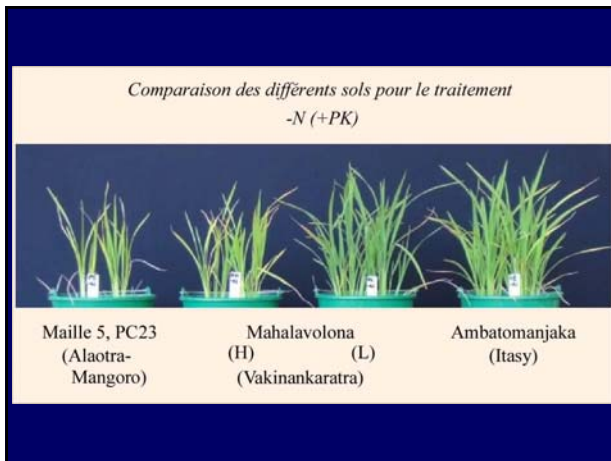


Comparaison

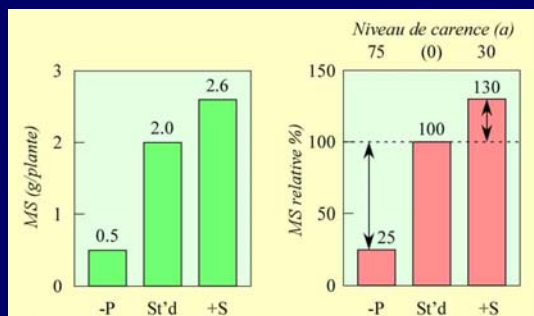
Partie II

Entre les différents sols pour chaque traitement

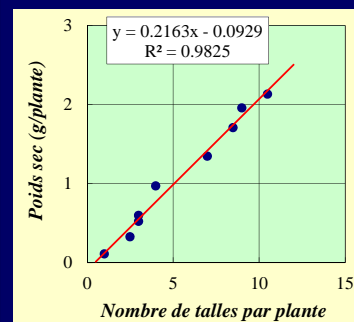




Comment déterminer le niveau de carence?



Un exemple d'évaluation du niveau de carence basée sur le poids de matière sèche
 a) La différence de MS relative entre certains traitements et la référence (NPK)



Il y a une forte corrélation entre le nombre de tiges et la biomasse aérienne.

Le niveau de carence a été évalué à base du nombre de tiges au lieu de la biomasse à cause du temps nuageux après échantillonnage.

Niveau de carence (basé sur le nombre de tiges)

Soil	Element				
	N	P	K	S	Zn
Andramasina	43	95	-22	22	-16
Ankazobe	3	78	3	76	-8
Ambatomanjaka	26	95	4	-6	52
Ambohitraivo	45	24	-2	45	0
Ampahimanga	75	94	2	5	-10
Mahalavolona (L)	12	93	12	16	-11
Mahalavolona (H)	69	51	-9	-7	29
Sahalombo (L)	-21	-4	-21	133	-8
Sahalombo (H)	-23	-14	5	114	-5
Akompomboay	25	49	1	31	15
PC23, Maille 4	65	95	-8	-5	11
PC23, Maille 5	79	95	21	-2	7
mean	38	66	-1	29	7

Classification des niveaux de carence

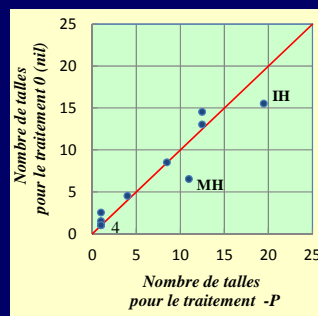
De	à	Carence	Légende
101	133	Sévère	[Red]
76	100	Elevé	[Light Red]
51	75	Moyen	[Pink]
26	50	Faible	[Yellow]
-23	25	Léger	[Light Green]

Niveau de carence (basé sur le nombre de tiges)

Sol	Elément					Carence
	N	P	K	S	Zn	
Andramasina	[Yellow]	[Light Red]	[Light Green]	[Light Green]	[Light Green]	Sévère Elevé Moyen Faible Léger
Ankazobe	[Light Green]	[Light Red]	[Light Green]	[Light Green]	[Light Green]	
Ambatomanjaka	[Yellow]	[Light Green]	[Light Green]	[Light Green]	[Light Green]	
Ambohitraivo	[Light Green]	[Light Green]	[Light Green]	[Light Green]	[Light Green]	
Ampahimanga	[Light Green]	[Light Red]	[Light Green]	[Light Green]	[Light Green]	
Mahalavolona (L)	[Light Green]	[Light Red]	[Light Green]	[Light Green]	[Light Green]	
Mahalavolona (H)	[Light Green]	[Light Red]	[Light Green]	[Light Green]	[Light Green]	
Sahalombo (L)	[Light Green]	[Light Green]	[Light Green]	[Light Green]	[Light Green]	
Sahalombo (H)	[Light Green]	[Light Green]	[Light Green]	[Light Green]	[Light Green]	
Akompomboay	[Light Green]	[Light Green]	[Light Green]	[Light Green]	[Light Green]	
Maille 4, PC23	[Light Green]	[Light Red]	[Light Green]	[Light Green]	[Light Green]	
Maille 5, PC23	[Light Green]	[Light Red]	[Light Green]	[Light Green]	[Light Green]	

Le niveau de carence en K est un peu douteux.

Le principal facteur limitant la croissance des plantes sans fertilisation est la carence en P.



Les sols d'Ambohitraivo (IH) et de Mahalavolona (H) (MH) manquent aussi de N.

Une question se pose:

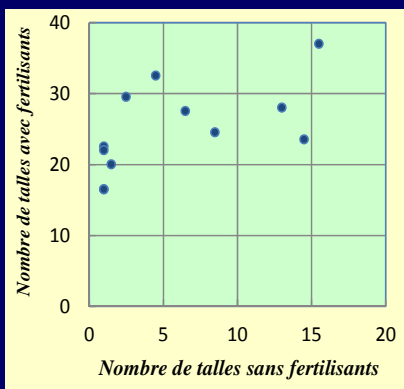
Dose recommandée au niveau des régions (FOFIFA)

Région	Dose recommandée (kg/ha)		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Alaoatra Mangoro	90	45	45
Bongolava	60	45	45
Vakinankaratra	33	66	48
Mahitsy	45	45	45
Marovoay	45	0	0
Atsimo Atsinanana	90	60	0

Est-ce la dose appropriée?

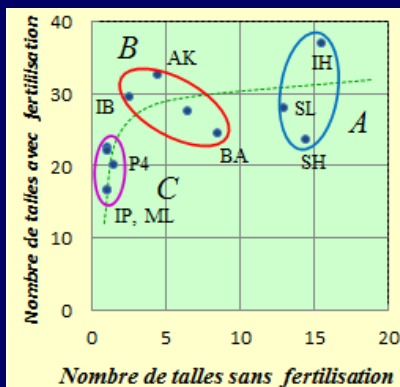
2) Comparaison équitable de la fertilité des sols

Que pouvez-vous constater sur ce graphe?



Un autre point de vue

La capacité de tallage en fonction des sols peut être classée en 3 groupes.



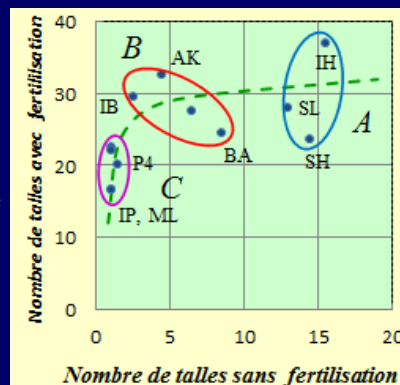
Classification des sols en fonction de leur productivité

Groupe	Sol	abr.	Nombre de talles		Note
			-F	+F	
A	Ambohitraivo	IH	16	37	Nombre de talles élevé pour -F et +F
	Sahalombo (L)	SL	13	28	
	Sahalombo (H)	SH	15	24	
B	Ankazobe	AK	5	33	Moyen et faible nombre de talles pour -F et nombre de talles élevé pour +F
	Ambatomanjaka	IB	3	30	
	Mahalavolona (H)	MH	7	28	
	Akompomboay	BA	9	25	
C	Andramasina	AD	1	23	Faible nombre de talles pour -F et +F
	PC23, Maille 5	P5	1	22	
	PC23, Maille 4	P4	2	20	
	Ampahimanga	IP	1	17	
	Mahalavolona (L)	ML	1	17	

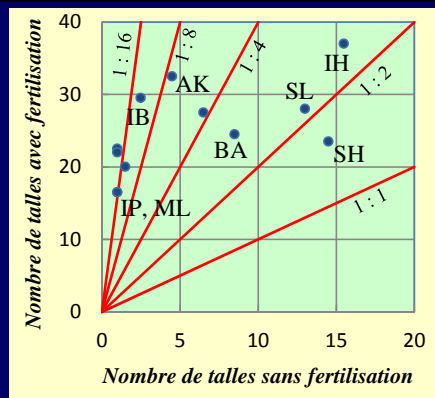
-F: sans fertilisation, +F avec fertilisation

Brainstorming

Pourquoi les sols du groupe 'C' n'ont pas donné une production élevée?



Autre aspect



Réponse à l'apport de fertilisants

Méthodes d'évaluer la fertilité du sol

	Réalité	Temps nécessaire	Reproductibilité	Coût
Essai aux champs	Forte	Long	Difficile	Elevé
Culture en pot				
Analyses chimiques	Faible	Court	Facile	Bas

Avantages et inconvénients des trois méthodes

Perspectives

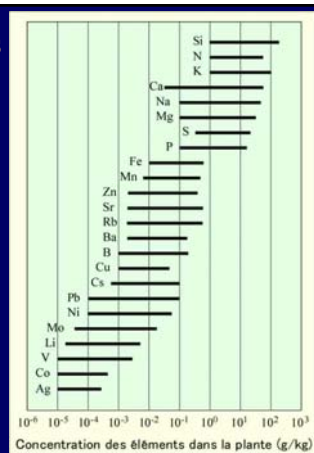
- Les résultats doivent être vérifiés par des essais aux champs.
- Un autre essai d'apport de doses croissantes est indispensable pour évaluer la dose optimum.
- Des analyses chimiques sont nécessaires pour expliquer les différences de fertilité des sols: ex., coefficient d'adsorption du P.

2. Nutrition des plantes

- Éléments essentiels
- Les deux lois
- Disponibilité des éléments nutritifs et croissance
- Matière organique vs. Engrais chimiques

a) Éléments essentiels

Tous les éléments dans les plantes (ou tous les éléments absorbés par les plantes) ne sont pas nécessairement essentiels.



Que signifie 'essentialité' ?

Définition des éléments essentiels

1. Nécessité
2. Irremplacabilité
3. Effet direct
4. Fonction unique
5. Universalité

Les éléments essentiels doivent répondre aux critères [(1+2+3) ou 4] et 5.

Voir prospectus pour plus de détails

Eléments essentiels aux végétaux supérieurs et les animaux

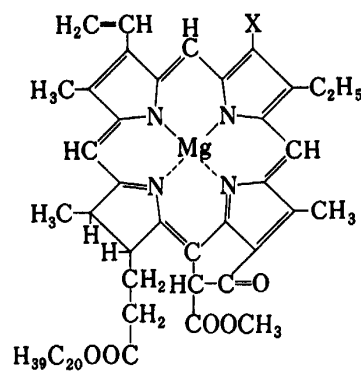
	Plante	Animal
Macro-élément	C, H, O, N, P, S K, Ca, Mg	C, H, O, N, P, S K, Ca, Mg Na, Cl
Micro-élément	Fe, Mn, Cu, Zn Mo B, Cl, (Ni ?)	Fe, Mn, Cu, Zn Mo, I, Co, Se, Cr, As, etc.

Eléments bénéfiques aux plantes: Si, Na, Al, Co, Ni, Se

Majeures fonctions physiologiques de quelques macro éléments

Azote (N)	<ol style="list-style-type: none"> 1 . Constituant des protéines 2 . Constituant du chlorophylle, des enzymes, des hormones, des acides nucléiques, etc
Phosphorus (P)	<ol style="list-style-type: none"> 1 . Produits intermédiaires de la photosynthèse, de la respiration, etc. 2 . Transmission de l'énergie sous-forme d' ATP et d' ADP 3 . Constituant des acides nucléiques et des enzymes
Potassium (K)	<ol style="list-style-type: none"> 1 . Contrôle de l'eau (Pression osmotique dans la cellule) 2 . Implication dans l'absorption et réduction du nitrate et dans la synthèse des protéines 3 . Résistance aux maladies et aux insectes

Voir le prospectus pour les autres éléments



Chlorophylle

Exemple des constituants d'un élément

Mg est un élément clé du chlorophylle.

b) Les deux lois de la nutrition des plantes

La loi du minimum

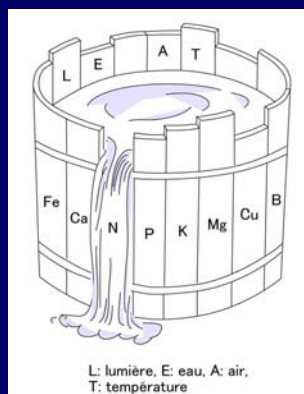
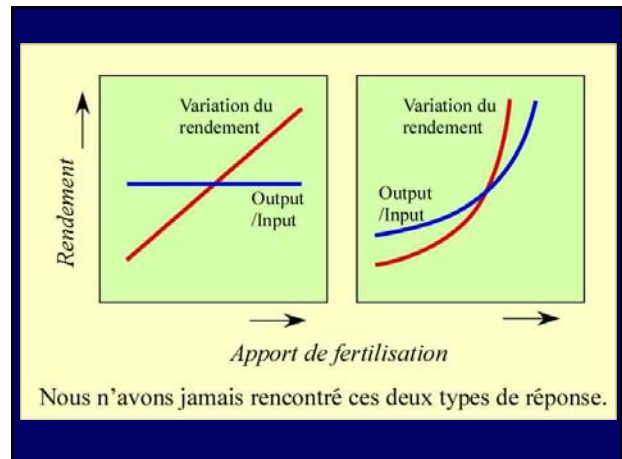
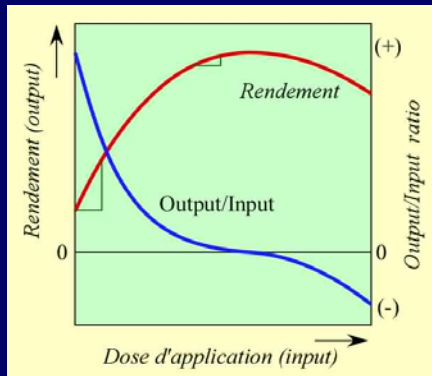


Illustration de la loi de Donebek

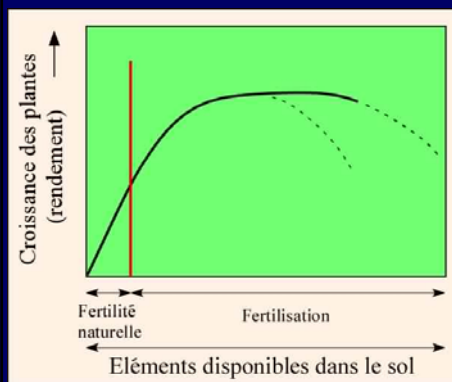
Lois des accroissements moins que proportionnels (Mitscherlich)



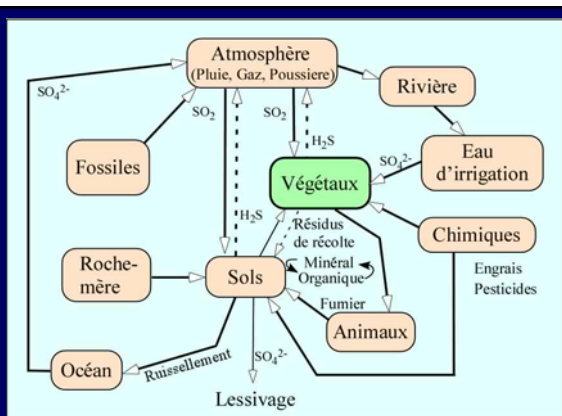
c) Disponibilité des éléments et croissance des plantes

- (1) Sources naturelles des éléments
- (2) Concentration critique
- (3) Symptômes des carences et croissance
- (4) Les éléments en carence pour la production végétale
- (5) Relation avec l'apparition des maladies

(1) Sources naturelles des éléments

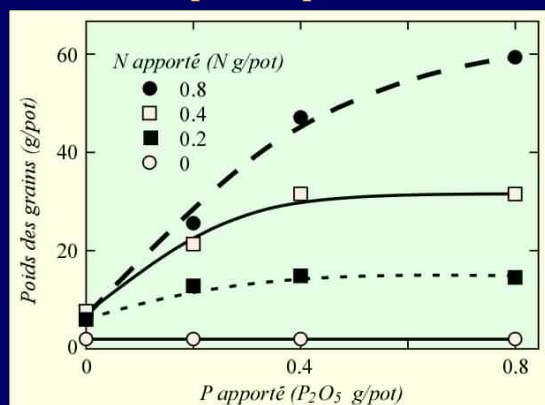


L'excès entraîne aussi la diminution du rendement.

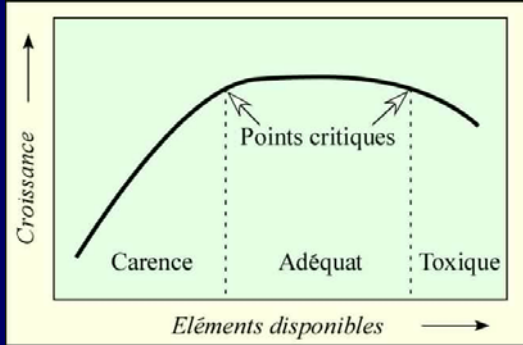


Sources naturelles dans le cycle du S

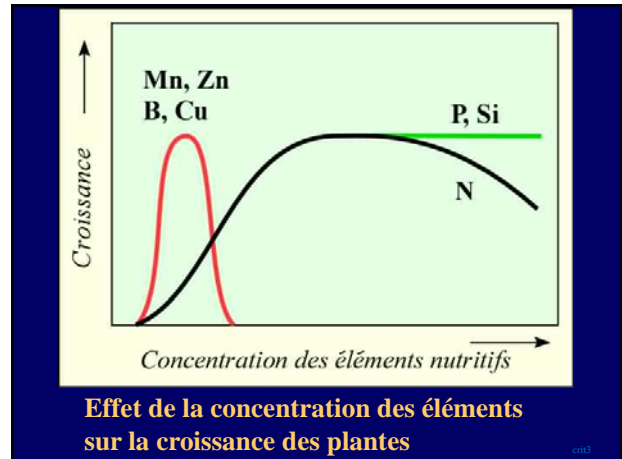
Les deux lois pour les plantes de riz



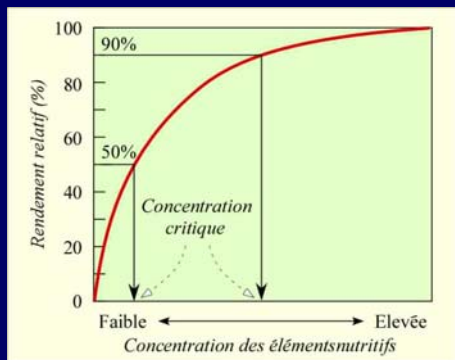
(2) Concentration critique



Relation entre éléments disponible et croissance des plantes

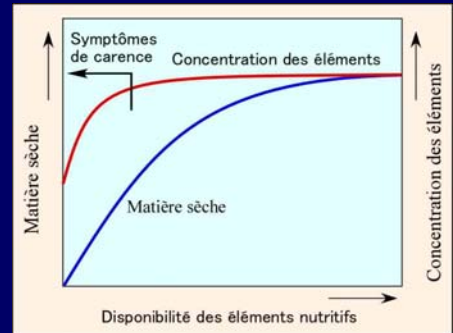


Effet de la concentration des éléments sur la croissance des plantes



La concentration critique dépend des conditions socio-économique.

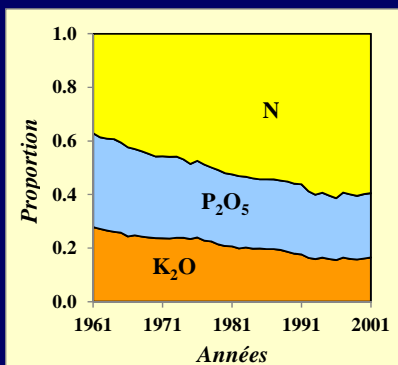
(3) Symptômes des carences et croissance



Relation entre la disponibilité des éléments nutritifs et le poids de matière sèche ou la concentration en éléments.

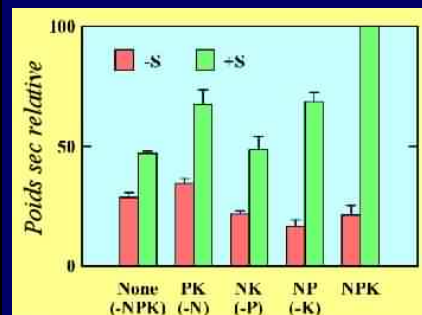
(4) Les éléments en carence pour la production végétale

Variation de la consommation mondiale en fertilisants



Que signifie cette variation?

La concentration des éléments diffère d'un sol à un autre.

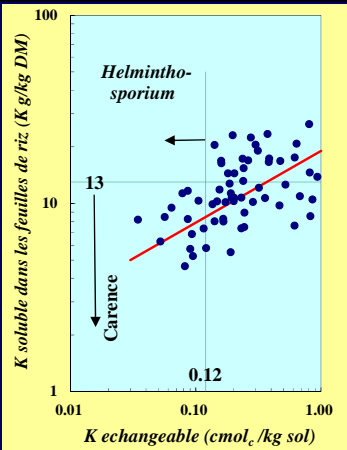


Exemple de réponse des plantes de riz aux traitements N, P, K et S (Sol à Astuare, Ghana).

Carence: S >> P > K, N

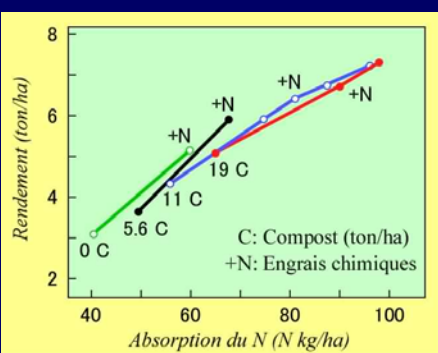
(5) Relation avec l'apparition des maladies

Il y a une étroite relation entre la carence en K et l'apparition de l'*Helminthosporium* (tâche brune)



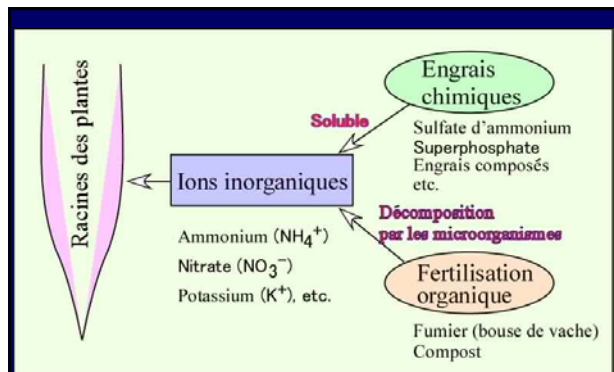
d) Matière organique vs. Engrais chimiques

Il y a des similitudes et des différences entre les deux sources d'éléments nutritifs.

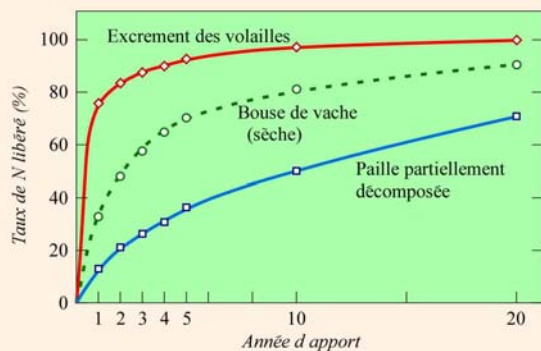


La matière organique est aussi efficace que les engrais chimiques.

Rendement obtenu avec la fumure organique et les engrais chimiques.



Les plantes absorbent des ions minéraux quelque soit le type de fertilisants.



Les éléments nutritifs dans les matières organiques sont libérés lentement.

Quantité des éléments contenus dans les matières organiques

Etude de cas à Madagascar

Concentration en éléments nutritifs des engrais organique (a) et chimique

	Concentration (% en poids sec)			
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ash
Matière organique (b)	0.6	0.5	0.5	82
Bouse de vache	1.6	0.8	1.3	17
Engrais ternaire NPK	11.0	22.0	16.0	0

a) Collecté en 2010-2011.

b) Fumier, compost et compost de 7 jours

Trouvez la différence!

Eléments apportés par 300 kg/ha d'engrais ternaire NPK (11-22-16)

	Eléments apportés (kg/ha)		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Engrais ternaire NPK	33	66	48

Quantité de matières organiques (a) nécessaire pour avoir les quantités d'éléments apportés par 300 kg/ha d'engrais NPK

	Quantité (MF ton/ha)		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Matière organique	11	29	19
Bouse de vache	4	16	7

MF: matière fraîche.

a) En supposant que le taux d'humidité des matières organiques est de 50% (variant de 20-80%).

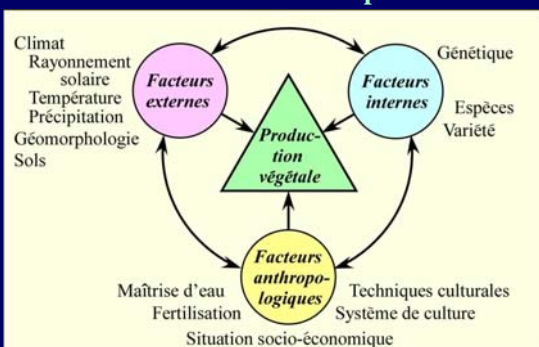
3. Contexte général

Quelques connaissances de base

Notre objectif est:

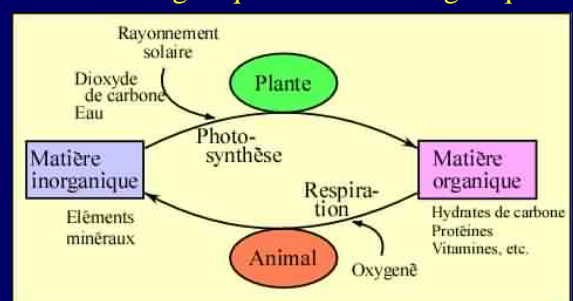
Augmenter le rendement en identifiant et en corrigeant le facteur limitant.

Les facteurs contrôlant la production

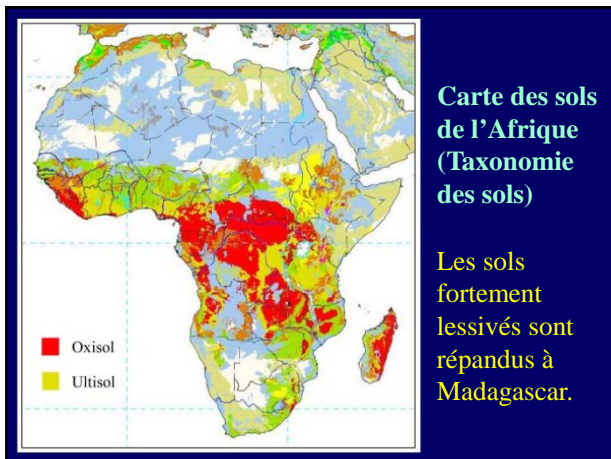


Nous devons estimer la part de chaque facteur sur la production.

Matière inorganique vs. matière organique



La croissance des plantes est indépendante de la matière organique, mais dépend des matières minérales: la vie des animaux dépend des plantes.



Evaluation of Ammonium Sulfate Effect
on Rice Production in Madagascar
(Main season, 2011-2012)



October 20, 2012

Project for Rice Productivity Improvement in the Central Highland of Madagascar
(PAPRiz: Projet d'Amélioration de la Productivité Rizicole sur les Hautes Terres
Centrales) in collaboration with FOFIFA, FIFAMANOR and CFAMA

Content

Abstract	1
Introduction	1
Materials and Methods	2
Results	7
Discussion	8
Acknowledgments	12
Notes	13
References	14

Abbreviations

CALA	Complexe Agricoles du Lac Alaotra, FOFIFA
CFAMA	Centre de Formation et d'Application du Machinisme Agricole
FIFAMANOR	Fiompiana Fambolena Malagasy Norveziana (Centre de Recherche Malgacho-Norvegien pour le développement de l'élevage et de l'agriculture)
FOFIFA	Foibem-pirenena momba ny Fikarohana ampiharina amin ny Fampandrosoana ny Ambanivohitra (Centre National de la Recherche Appliquée au Développement Rural)
PAPRiz	Projet d'Amélioration de la Productivité Rizicole sur les Hautes Terres Centrales

Evaluation of Ammonium Sulfate Effect on Rice Production in Madagascar

(Main season, 2011-2012)

Abstract

Field trials were carried out in various agro-climatic zones of Madagascar to evaluate the use of ammonium sulfate (AS) on rice production. High-analysis NPK compound fertilizer was used as a base application and either urea or AS was top-dressed. AS was generally as effective in producing grain yield as urea. Yet, AS fairly affected rice production in several lowlands when it was applied without organic matter, whereas its positive effect was obvious at specific sites in upland fields. The latter shows an advantage of AS in sulfur deficient areas. Further trials are needed to establish an appropriate use of AS to boost rice yield in Madagascar where highly weathered soils are prevalent.

Introduction

Chemical fertilizers are essential to promote crop production, especially in low fertile soils, which occupy an extensive area in Madagascar. The country, like many other developing countries, imports all chemical fertilizers. Recently, the Ambatovy project in Toamasina started to produce ammonium sulfate (AS) as a by-product in the refining process of nickel and cobalt.

There are similarities and differences between AS and other nitrogenous fertilizers. First, AS was a dominant nitrogenous fertilizer in the world before urea was mass-produced. Its effectiveness as a nitrogen (N) source in crop production is well known. Second, AS contains both N and sulfur (S): S is an essential element in plant growth as much as N. In general, N deficient soils are widely distributed, whereas S deficient soils exist at specific sites. Yet, about a half of the rice fields in Madagascar lack S (Velly, et al. 1966, and Notes 1 and 2). Third, AS is chemically neutral, but it is physiologically acidic so that its application might induce an acidity problem in certain conditions. In lowlands, the problem is minimal because soils are often neutralized with submergence. Fourth, AS is less absorbent than urea: i.e., storage and application are easier with AS. Fifth, N concentration is lower in AS than in urea, a widely-used nitrogenous fertilizer, so that transportation and labor costs are higher with the former.

The Ambatovy project once provided an opportunity for FOFIFA to conduct an experiment of AS utilization on rice production, but it was suspended due to insufficient scientific and financial results. Considering the situation, PAPRIZ made a decision to start an experiment on the evaluation of AS in collaboration with various organizations in Madagascar.

This study aims to find an efficient use of AS in the rice fields of Madagascar as a source of N and S. To fulfill this objective, rice plants were grown with either urea or AS, both in lowlands and uplands (highlands or drylands). The growing period was the main (rainy) season from 2011 to 2012.

Materials and Methods

1. Site selection and collaborating organizations

Five experiment sites were selected in three agro-climatic zones: two in the central highland and Lac Alaotra zone and one in the middle-west (Table 1 and Fig.1). Two rice agro-ecologies, lowland and upland culture, were included at four and two sites respectively. Three organizations collaborated for the experiment: FOFIFA, FIFAMANOR and CFAMA.

Table 1. Locations of the ammonium sulfate trials in two agro-ecologies (2011-2012)

Agro-climatic zone	Region	Location (site)	Direction	
			Organization	Person
Lowland				
Middle west	Bongolava	Kianjasoa (a)	FOFIFA Kianjasoa	Pierre Rasolofo
Highland	Analamanga	Mahitsy	FOFIFA Antananarivo	Joseph Randrianampy
Lac Alaotra	Alaotra-Mangoro	Ambohitsilaozana	FOFIFA CALA	Arsène Randrianantenaina
		Anosiboribory (PC23)	CFAMA	Lalanekenarisoa Nénée Tolojanahary
Upland				
Middle west	Bongolava	Kianjasoa	FOFIFA Kianjasoa	Pierre Rasolofo
Highland	Vakinankaratra	Mimosa (b)	FIFAMANOR	Noroseheno Ralisoa

a) Lowland at Ambalavao. b) Andranomanelatra, Antsirabe II district.

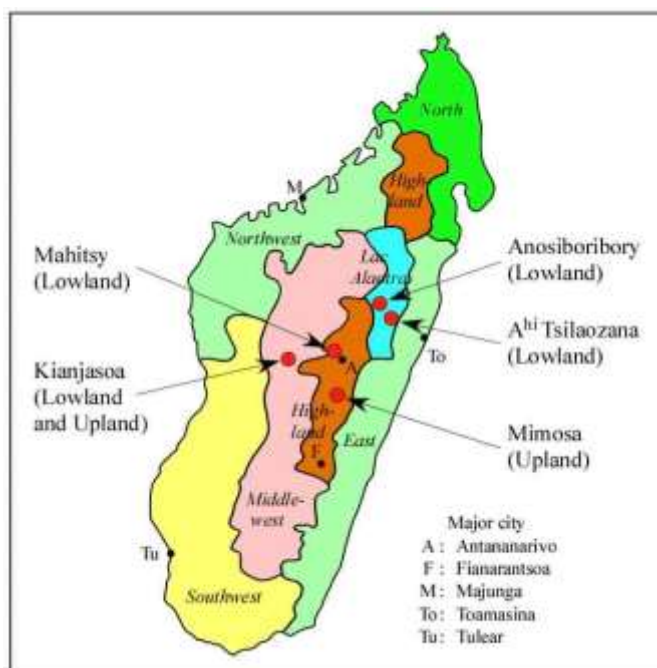


Fig.1 Location of AS trials

2. Experiments at research stations

Experiments were conducted at four sites: Kianjasoa (FOFIFA-Kianjasoa), Mahitsy (FOFIFA -Antananarivo), Ambohitsilaozana (FOFIFA-CALA), and Mimosa (FIFAMANOR). Both lowland and upland rice at Kianjasoa, upland rice at Mimosa, and lowland rice at the other

two sites were grown (Table 1). Cultivars (varieties) used were the leading (or recommended) ones and planting density was the standard in each respective location (Table 2).

Table 2. Cultivar used, plant density and plot size

Location (site)	Variety	Hill density		Seedlings per hill	Plot size (m ²)		Replica- tion	Harvested area (a)
		(cm x cm)	(hill/m ²)		Sub-plot	Total		
Lowland								
Kianjasoa	Mailaka (X265)	20 x 25	20	3-5	15	ca. 500	3	A
Mahitsy	FOFIFA 160	20 x 20	25	2	40	960	4	A
A ^{hi} Tsilaozana	X1648 (c)	20 x 20	25	-	25	300	2	B
Anosiboribory	Makalioka 34	20 x 15	33	2	17,500	122,500	3-4	B
	Tsemaka (4012)	20 x 15	33	2	15,500-17,000	98,200	3	B
Upland								
Kianjasoa	Fotsiambo (B22)	20 x 20	25	3-5	60	2,000	3	A
Mimosa (b)	FOFIFA 161	20 x 20 (d)	25	4-5	1.8	ca. 50	3	B

Abbr.: A^{hi} Tsilaozana: Ambohitsilaozana.

a) A: excluded border, B: whole plot harvest (included border). b) Previous crop: sweet potato.

c) IR15569-22-2-3-2-3-1-1-3. d) Seed rate at 60 kg/ha.

Fertilizer treatment in the lowland trial was a combination of chemical fertilizers and organic matter application (Table 3). An application rate of chemical fertilizers was at 200 kg/ha of high-analysis compound fertilizer (11% N, 22% P₂O₅ and 16% K₂O) as a base application, and 83 kg/ha of urea (46% N) or 181 kg/ha of AS (21% N and 24% S) as top-dressing. The total quantity of N, P₂O₅ and K₂O was identical among treatments with the chemical fertilizer application at 60, 44 and 32 kg/ha respectively. The AS treatment added 43 S kg/ha. The rate of organic matter application was at 5 ton/ha.

Table 3. Fertilizer treatment in lowlands

Treat- ment no.	OM (ton /ha)	Chemical fertilizer (kg/ha)			Nutrient added with chemical fertilizers (N-P ₂ O ₅ -K ₂ O-S kg/ha)					
		Base application (NPK)	Top dressing		Base application		Top- dressing		Total	
			Urea	AS	Urea	AS	Urea	AS	Urea	AS
T1	0	0	0	0	0- 0- 0- 0	0- 0- 0- 0	0- 0- 0- 0	0- 0- 0- 0	0- 0- 0- 0	
T2	0	200	83	0	22-44-32- 0	38- 0- 0- 0	60-44-32- 0			
T3	0	200	0	181	22-44-32- 0	38- 0- 0-43	60-44-32-43			
T4	5	0	0	0	0- 0- 0- 0	0- 0- 0- 0	0- 0- 0- 0			
T5	5	200	83	0	22-44-32- 0	38- 0- 0- 0	60-44-32- 0			
T6	5	200	0	181	22-44-32- 0	38- 0- 0-43	60-44-32-43			

OM: organic matter. Ingredient (N-P₂O₅-K₂O-S %): 11-22-16-0 in NPK compound fertilizer, 46-0-0-0 in urea, and 21-0-0-24 in ammonium sulfate (AS).

Fertilizer treatment in the upland trial was a combination of those in lowlands and with and without dolomite application (Table 4). Dolomite (36% CaO and 16% MgO) application rate was at 300 kg/ha. At Mimosa, the total number of treatments was 6: none, organic matter application without chemical fertilizer, and urea and AS application with and without dolomite under the condition of organic matter application.

Table 4. Fertilizer treatment in uplands (standard)

Treat- ment no.	Dolo- mite (kg /ha)	OM (ton /ha)	Chemical fertilizer (kg/ha)			Nutrient added with chemical fertilizers (N-P ₂ O ₅ -K ₂ O-S kg/ha)								
			Base application (NPK)	Top dressing		Base application			Top- dressing			Total		
				Urea	AS									
T1	0	0	0	0	0	0- 0- 0- 0	0- 0- 0- 0	0- 0- 0- 0	0- 0- 0- 0	0- 0- 0- 0	0- 0- 0- 0	0- 0- 0- 0	0- 0- 0- 0	
T2	0	0	200	83	0	22-44-32- 0	38- 0- 0- 0	60-44-32- 0						
T3	0	0	200	0	181	22-44-32- 0	38- 0- 0-43	60-44-32-43						
T4	0	5	0	0	0	0- 0- 0- 0	0- 0- 0- 0	0- 0- 0- 0						
T5	0	5	200	83	0	22-44-32- 0	38- 0- 0- 0	60-44-32- 0						
T6	0	5	200	0	181	22-44-32- 0	38- 0- 0-43	60-44-32-43						
T7	300	0	0	0	0	0- 0- 0- 0	0- 0- 0- 0	0- 0- 0- 0						
T8	300	0	200	83	0	22-44-32- 0	38- 0- 0- 0	60-44-32- 0						
T9	300	0	200	0	181	22-44-32- 0	38- 0- 0-43	60-44-32-43						
T10	300	5	0	0	0	0- 0- 0- 0	0- 0- 0- 0	0- 0- 0- 0						
T11	300	5	200	83	0	22-44-32- 0	38- 0- 0- 0	60-44-32- 0						
T12	300	5	200	0	181	22-44-32- 0	38- 0- 0-43	60-44-32-43						

Dolomite contains 36% CaO and 16% MgO. See footnotes in Table 3.

Sub-plot size of each treatment was according to each station's convenience: 1.8-60 m² (Table 2). The number of replications was 2-4, and the treatment was laid out the complete randomized block design or the split-plot design.

Sowing date was November 2011 to January 2012 and the harvest was April to June 2012 according to varieties used and environmental condition (Table 5).

Table 5. Growth stage of rice plants in the ammonium sulfate trial (Nov. 2011- June 2012).

Location	Cultivar	Growth stage			
		Sowing	Transplanting	Flowering	Harvest
Lowland					
Kianjasoa	Mailaka (X265)	Jan. 9, 2012	Jan. 27, 2012	-	May 25, 2012
Mahitsy	FOFIFA 160	Nov. 30, 2011	Jan. 12, 2012	Apr.27 - May 3, 2012	May 22 & June 22, 2012 a)
A ^{hi} Tsilaozana	X1648	Jan. 11, 2012	Feb. 11, 2012	Apr.9-15, 2012	June 07, 2012 b)
Anosiboribory	Makalioka 34	Nov. 14 & 19, 2012	Dec. 14-16, 2011	Started Mar. 26, 2012	May 18-21, 2012
	Tsemaka	Nov. 14 & 19, 2012	Dec. 16-30, 2011	Started Mar. 26, 2012	May 22-26, 2012
Upland					
Kianjasoa	Fotsiambo (B22)	Dec. 30, 2011	-	-	Apr. 15 & 22, 2012 c)
Mimosa	FOFIFA 161	Nov. 28, 2011	-	Mar 6, 2012	May 2, 2012

a) Harvest was delayed by about 1 month with AS application: Details are unknown. b) Irrigated when necessary.

c) 1 week delayed in none treatment.

Experiment fields were managed with each station's routine methods: herbicides and insecticides were applied at several stations (Tables 6-1 to 6-3). Rice plants encountered several problems during growth (Table 7), but the responsible stations somehow fought to mitigate their damages.

Table 6-1. Dates of fertilizer application and farm management activities

Agro-ecology	Location	Fertilizer application		Plowing	
		Base application	Top-dress	1st	2nd
Lowland	Kianjasoa	Jan. 27, 2012			
	Mahitsy	Jan. 9, 2012 (a)		Mid Nov, 2011	Jan. 2, 2012
	A ^{hi} Tsilaozana	Feb. 10, 2012	March 10, 2012	Dec. 20, 2011	
	Anosiboribory	Dec. 15-21, 2011	Feb. 6-11, 2012	Oct.15-Nov.17, 2012	-
Upland	Kianjasoa				
	Mimosa	Dec. 19, 2011	Jan. 27, 2012	- (b)	Nov. 20, 2011

a) Fertilizers were incorporated into soils due to avoid expected flood. b) Used a part of 83 ha.

Table 6-2. (continued)

Agro-ecology	Location	Rotary weeder		Manual weeding	
		1st	2nd	1st	2nd
Lowland	Kianjasoa	-	-	-	-
	Mahitsy	Jan. 26, 2012	Feb. 13, 2012	Jan. 26, 2012	Feb. 13, 2012
	A ^{hi} Tsilaozana (a)	Feb. 27, 2012	Mar. 12, 2012	Feb. 24, 2012	Mar. 9, 2012
	Anosiboribory	Jan. 23-Feb.10, 2012		Feb.8-11, 2012	-
Upland	Kianjasoa	-	-	-	-
	Mimosa	-	-	Dec. 19, 2011	Jan. 27, 2012

a) Sequence of rotary and manual weeding was reversal of the routine method. Weeds were manually cleaned before top-dressing and top-dressed fertilizers were well incorporated into soils by rotary weeding.

Table 6-3. (continued)

Agro-ecology	Location	Chemical application		
		Herbicide	Insecticide	
			1st	2nd
Lowland	Kianjasoa	-	-	-
	Mahitsy (d)	-	Feb. 23 & 27, 2012 (b)	Mar. 7 & 12, 2012 (b)
	A ^{hi} Tsilaozana	-	-	-
	Anosiboribory	Jan. 1-28, 2012 (a)	Jan. 14 & 21, 2012 (b)	
Upland	Kianjasoa	(c)	-	-
	Mimosa	-	Nov. 28, 2011 and ? (b)	

a) Mahabanky (deshormone). b) Cigogne (Matiée active = cyperméhrine 240 g/L).
c) 2,4-D at 1.5 L/ha. d) Insects attacks after cyclones.

Table 7. Problems encountered with rice plants

Agro-ecology	Location	Problems
Lowland	Kianjasoa	-
	Mahitsy	Seedlings were under water for 10 d by 2 cyclone-floods in Dec. 2011, coldness
	A ^{hi} Tsilaozana	Lodging at dough stage
	Anosiboribory	Retransplanted in sub-plot no. 12-13 on Jan. 1-6, 2012 due to flooding
Upland	Kianjasoa	-
	Mimosa	Insect damage, blast at T5 and T6 (Dolomite+OM+Urea and AS)

3. Large-scale trial

A large-scale AS trial was conducted at Anosiboribory (Plot no. 204 in Maille 2 in PC23 (Périmètre de Colonisation 23), in the Lac Alaotra area (Table 1). Total plot size was 22.07 ha, and divided into 13 sub-plots (1.55-1.75 ha each). Seven and six sub-plots were allotted into two cultivars, Makalioka 34 and Tsemaka (4012) respectively (Table 2 and Fig. 2).

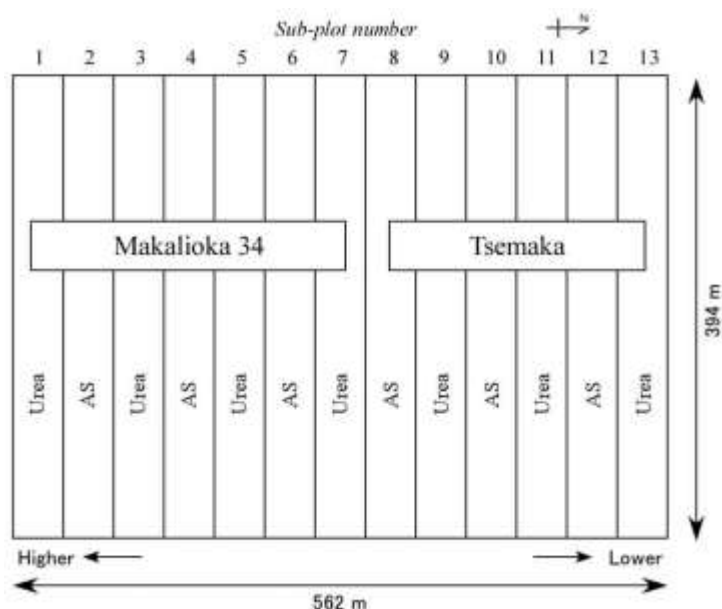


Fig. 2 Field layout of large-scale ammonium sulfate trial at Anosiboribory, PC23 in the Lac Alaotra area (Total acreage: ca. 22 ha).

The application rate of chemical fertilizers was 50 kg/ha of NPK compound fertilizer (11-22-16) as a base application, and 50 kg/ha of urea or 110 kg/ha of AS as top dressing (Table 8). Total nutrient rate was at 34 N, 22 P₂O₅ and 16 K₂O kg/ha with both fertilizer sources, and AS plots received an additional 26 S kg/ha. No organic matter was applied.

Table 8 Fertilizer treatment in a large-scale trial at Anosiboribory, PC23, Lac Alaotra area (a)

Treat- ment	Chemical fertilizer (kg/ha)			Nutrient added (N-P ₂ O ₅ -K ₂ O-S kg/ha)		
	Base (NPK)	Top dressing		Base application	Top- dressing	Total
		Urea	AS			
T1	100	50	0	11-22-16-0	23-0-0-0	34-22-16-0
T2	100	0	110	11-22-16-0	23-0-0-0	34-22-16-26

a) No farmyard manure was applied. NPK: compound fertilizer (11-22-16).

CFAMA, the responsible organization, had successful field management during their long cultivation experience in upland fields (Tables 6 and 7), although this trial was a first time for them to grow lowland rice on such a large-scale. Harvesting was May 18-26, 2012 (Table 5).

4. Measurements

Plant growth at successive growth stages was monitored at several stations (Table 9). At full maturity, grain yield was determined at all stations, and yield components were measured at selected sites.

Table 9. Growth monitoring and yield component measurement

Agro-ecology	Location	Plant height		Tiller number (Gr. Stage)	Leaf color (Gr. Stage)	Straw wt. (Harvest)	Yield components (Harvest)
		(Gr. Stage)	(Harvest)				
Lowland	Kianjasoa	*	-	*	*	-	*
	Mahitsy	-	*	-	-	*	* (a)
	A ^{hi} Tsilaozana	-	*	-	-	-	*
	Anosiboribory	-	-	-	-	-	-
Upland	Kianjasoa	*	-	*	*	-	*
	Mimosa	-	-	-	-	*	* (a)

* recorded, - no measurement. (Gr. Stage): at successive growth stages. (a) Incomplete.

Soil samples from the lowland field (0-20 and 20-40 cm depth) and the upland field (0-20, 20-40 and 40-60 cm) at Kianjasoa were taken at transplanting or sowing and at harvesting. The sample was a mixture of soils collected from three holes in each sub-plot over triplication, and routine chemical and physical properties were analyzed at the FOFIFA analytical laboratory.

Results

1. Grain yield

Grain yield (GY) varied greatly among locations (Table 10). It was 1.4-4.9 ton/ha in lowlands and 1.7-2.4 ton/ha in uplands when neither organic matter nor chemical fertilizer was applied: rice growth totally depended on natural soil fertility. With chemical fertilizer application, GY increased to 2.2-6.0 ton/ha in lowlands and to 2.1-4.1 ton/ha in uplands. Grain yield with AS was generally similar to that with urea. It was smaller or larger than that with urea at several locations.

Table 10. Grain yield (GY) of rice plants grown with urea and AS application at various locations.

Agro-ecology	Location	Cultivar	Dolo- mite (kg/ha)	Grain yield (ton/ha)							
				Without OM			With OM				
				0	Urea	AS	0	Urea	AS		
Lowland	Kianjasoa	Mailaka	-	2.8	3.2	3.2	2.8	3.3	3.2	a	
	Mahitsy	FOFIFA 160	-	1.4	3.1	2.5	2.2	3.4	3.4	a	
	A ^{hi} Tsilaozana	X1648	-	4.9	5.9	4.8	5.3	5.8	6.0	a	
	Anosiboribory	Makalioka	34	-	-	3.4	3.3	-	-	-	
			Tsemaka	-	-	2.3	2.2	-	-	-	
Upland	Kianjasoa	Fotsiambo	0	1.8	3.9	3.5	2.4	4.1	4.1	a	
			300	2.4	3.5	3.6	2.4	3.4	3.6		
	Mimosa	FOFIFA 161	0	1.7	-	-	2.1	2.1	2.5		
			300	-	-	-	-	2.6	3.7		

OM: organic matter. a) Adjusted to 14% moisture.

2. Soil analyses

Physical texture of the lowland soil at Kianjasoa was classified as a clayey loam (CL) and its chemical properties were characterized by low available P (Table 11). pH with AS application and without organic matter decreased to a critically low point, indicated by low pH(KCl).

Table 11. Chemical and physical properties of lowland soils affected with fertilizer treatments at Kianjasoa (tentative data)

no.	Treatment		Soil depth (cm)	pH (H ₂ O)	pH (KCl)	Δ pH	Total			Exchangeable cation (cmol _c /kg)				CEC (cmol _c /kg)	Avail. P (mg/kg)	Particle size (%)		
	OM (ton/ha)	Chem. fert.					C (g/kg)	N (g/kg)	C/N	Ca	Mg	K	Na			Sand	Silt	Clay
At transplanting																		
			0-20	5.5	-	-	19	1.5	13	1.3	0.81	0.24	0.2	10	0.1	50	23	27
At harvesting																		
T1	0	0	0-20	4.8	4.2	-0.6	12	1.1	11	1.0	0.23	0.06	0.2	19	1.4	51	21	28
			20-40	5.1	4.4	-0.6	5	0.4	11	1.4	0.34	0.06	0.2	9	3.1	49	21	30
T2	0	Urea	0-20	5.0	4.2	-0.8	18	1.8	10	0.9	0.10	0.07	0.2	10	1.7	53	25	22
			20-40	5.7	4.5	-1.2	10	0.9	11	0.5	0.67	0.16	0.5	8	1.9	51	21	28
T3	0	AS	0-20	4.7	3.8	-0.9	17	1.5	11	1.2	0.83	0.07	0.2	11	0.9	49	23	28
			20-40	4.1	3.5	-0.6	11	0.9	11	1.7	0.13	0.08	0.5	11	1.9	53	19	28
T5	5	Urea	0-20	4.9	4.1	-0.7	21	2.0	11	1.6	0.83	0.05	0.2	10	1.2	53	23	24
			20-40	5.0	4.1	-0.9	17	2.0	9	1.0	0.67	0.03	0.1	6	1.3	45	27	28
T6	5	AS	0-20	5.0	4.3	-0.7	21	2.1	10	1.2	0.92	0.95	0.4	9	1.3	51	23	26
			20-40	5.7	4.5	-1.2	13	1.2	11	1.4	0.10	0.17	0.5	9	2.1	50	22	28

Abbr.: T/P: transplanting, OM: oraganic matter, T-C: total C, T-N: total N, C/N: T-C/T-N ratio, CEC: cation exchange capacity, and Avail.P: available P by the Bray-2 method. Chem. fert. (chemical fertilizer treatment): 0 signifies no chemical fertilizer was applied, and nutrients (N-P₂O₅-K₂O-S kg/ha) added was 60-44-32-0 with Urea and 60-44-32-43 with ammonium sulfate (AS).

The upland soil at Kianjasoa was low in available P and exchangeable K, and slightly acidic (Table 12). Yet, its physical property, light clay (LiC), is favorable. The soil receiving AS tended to decrease pH compared to that with urea, where organic matter had no apparent effect on pH.

Discussion

1. Relative grain yield affected with AS

Relative GY increments by the AS application over urea were calculated for a fair comparison of the two N sources (Table 13), because the yield level varied greatly among locations (Table 10). The increment was negligible in many cases, but it was negatively or positively large in several cases. The minor increments signify that GY is similar with urea and AS, whereas negative or positive values show that GY with AS was smaller or larger than that with urea respectively.

Table 12. Chemical and physical properties of upland soils affected with fertilizer treatments at Kianjasoa (tentative data)

Treatment			Soil depth (cm)	pH (H ₂ O)	pH (KCl)	Δ pH	Total C (g/kg)	Total N (g/kg)	C/N	Exchangeable cation (cmol _c /kg)				CEC (cmol _c /kg)	Avail. P (mg/kg)	Particle size (%)			
Dol. (kg/ha)	OM (ton/ha)	Chem. fert.								Ca	Mg	K	Na			Sand	Silt	Clay	
<i>At sowing</i>																			
-	-	-	0-20	4.6	-	-	16	1.2	13	0.7	0.4	0.28	-	9	6	42	24	34	
<i>At harvesting</i>																			
T1	0	0	0	0-20	4.6	4.1	-0.5	15	1.2	13	1.4	0.5	0.07	0.1	9	7	43	23	34
				20-40	4.7	4.2	-0.5	12	1.2	10	1.1	0.2	0.05	0.1	8	4	43	19	38
				40-60	5.3	5.2	-0.1	5	0.5	12	1.5	0.2	0.03	0.2	6	3	40	22	38
T2	0	0	Urea	0-20	4.8	4.2	-0.6	16	1.8	9	1.3	0.3	0.10	0.1	10	6	48	18	34
T3	0	0	AS	0-20	4.6	4.0	-0.6	15	1.1	13	1.4	0.2	0.07	0.1	10	6	46	20	34
				20-40	4.8	4.3	-0.5	13	1.2	11	1.3	0.3	0.07	0.2	10	5	44	18	38
				40-60	5.6	5.0	-0.5	6	0.6	11	0.9	0.2	0.04	0.1	6	4	40	24	36
T4	0	5	0	0-20	4.7	4.2	-0.5	16	1.6	10	0.7	0.2	0.07	0.1	17	3	41	21	38
				20-40	4.9	4.7	-0.2	8	0.8	10	0.9	0.1	0.10	0.1	16	2	40	22	38
				40-60	5.0	5.0	0.0	6	0.6	10	1.1	0.1	0.04	0.1	11	2	40	22	38
T5	0	5	Urea	0-20	4.5	4.1	-0.4	17	1.6	11	0.9	0.2	0.11	0.2	18	5	42	22	36
T6	0	5	AS	0-20	4.4	4.0	-0.4	18	1.9	9	1.0	0.8	0.21	0.3	15	5	41	23	36
				20-40	4.6	4.5	-0.1	12	1.1	11	1.1	0.9	0.07	0.3	19	2	40	22	38
				40-60	5.5	5.2	-0.3	7	0.6	12	0.6	0.1	0.04	0.1	6	2	43	23	34
T7	300	0	0	0-20	4.5	4.1	-0.4	15	1.5	10	0.5	0.3	0.10	0.2	12	5	42	24	34
				20-40	5.0	4.6	-0.4	8	0.8	10	0.8	0.2	0.04	0.1	7	3	42	20	38
				40-60	5.3	5.2	-0.1	5	0.5	11	1.0	0.2	0.05	0.1	12	3	40	22	38
T8	300	0	Urea	0-20	4.6	4.1	-0.4	16	1.5	11	0.9	0.4	0.14	0.2	11	6	40	22	38
T9	300	0	AS	0-20	4.5	4.0	-0.5	15	1.5	11	0.9	0.3	0.10	0.1	11	7	41	23	36
				20-40	4.8	4.3	-0.5	10	1.0	10	0.8	0.2	0.07	0.1	9	4	42	24	34
				40-60	5.0	4.9	-0.1	7	0.7	11	1.3	0.1	0.11	0.2	6	2	44	18	38
T10	300	5	0	0-20	4.8	4.2	-0.7	14	1.6	9	1.2	0.3	0.07	0.1	10	5	41	23	36
				20-40	5.0	4.8	-0.3	8	0.7	10	0.6	0.2	0.04	0.1	7	3	39	24	37
				40-60	5.3	5.3	-0.1	6	0.5	10	1.1	0.2	0.04	0.1	8	3	40	22	38
T11	300	5	Urea	0-20	4.6	4.1	-0.6	16	1.9	9	0.7	0.2	0.15	0.2	12	7	39	24	37
T12	300	5	AS	0-20	4.5	4.0	-0.4	16	1.1	14	0.9	0.2	0.07	0.1	15	6	40	22	38
				20-40	4.6	4.4	-0.1	9	0.9	11	0.7	0.2	0.06	0.3	10	4	40	23	37
				40-60	5.2	5.2	0.0	6	0.5	12	1.2	0.2	0.04	0.12	6	3	40	22	38
<i>Mean at harvesting</i>																			
	0			0-20	4.6	4.1	-0.5	16	1.5	11	1.1	0.4	0.11	0.2	13	5	44	21	35
	300			0-20	4.6	4.1	-0.5	15	1.5	11	0.8	0.3	0.10	0.2	12	6	41	23	37
	0			0-20	4.6	4.1	-0.5	15	1.4	11	1.1	0.3	0.10	0.2	11	6	43	22	35
	5			0-20	4.6	4.1	-0.5	16	1.6	10	0.9	0.3	0.11	0.2	15	5	41	23	37
	0			0-20	4.6	4.1	-0.5	15	1.5	11	0.9	0.3	0.08	0.1	12	5	42	23	36
		Urea		0-20	4.6	4.1	-0.5	16	1.7	10	1.0	0.3	0.13	0.2	13	6	42	22	36
		AS		0-20	4.5	4.0	-0.5	16	1.4	12	1.0	0.4	0.11	0.2	13	6	42	22	36

Abbr.; Dol.: dolomite. See footnotes in Table 11 for others.

AS induced a lower GY than urea when it was applied without organic matter in lowlands at Mahitsy and Ambohitsilaozana. For the AS application, organic matter would be essential to secure comparable yields with urea in those areas. Instead, in upland conditions at Mimosa, the large positive increment signifies an advantage of AS over urea, likely due to S addition. Unfortunately, there is no S status datum of the soil.

AS was as effective as urea and there was no negative effect on rice production in large-scale farming at Anosiboribory in the Lac Alaotra area (Tables 10 and 13). GY with AS was comparable to that with urea.

Table 13. Relative increment by ammonium sulfate application and the effects of organic matter and chemical fertilizer application on grain yield (GY), and N efficiency.

Agro-ecology	Location	Cultivar	Dolo- mite (kg/ha)	Relative increment by AS (%)		Effect on GY (ton/ha)				N efficiency (%)	
				-OM	+OM	OM	Chemical fertilizer				
							-OM	+OM	mean		
Lowland	Kianjasoa	Mailaka	-	1	-1	0.1	0.4	0.4	0.4	15	
	Mahitsy	FOFIFA 160	-	-18	2	0.8	1.4	1.2	1.3	48	
	A ^{hi} Tsilaozana	X1648	-	-18	3	0.4	0.5	0.6	0.5	19	
	Anosiboribory	Makalioka 34	Tsemaka	-	-4	-	-	-	-	-	-
			Tsemaka	-	-6	-	-	-	-	-	-
Upland	Kianjasoa	Fotsiambo	0	-10	-2	0.6	1.9	1.7	1.8	65	
			300	2	6	-0.1	1.2	1.2	1.2	43	
	Mimosa	FOFIFA 161	0	-	19	-	-	0.1	-	4 *	
			300	-	41	-	-	-	-	-	

+OM and -OM: with and without organic matter (OM).

Calculations:

- 1) Increment of GY by AS (%): GY increment by AS application over urea application
 $= (B - A) * 100 / A$, where A is GY with urea and B is GY with AS
- 2) Effect of OM application on GY = GY with OM - GY without OM
- 3) Effect of chemical fertilizer application on GY: the balance of GY with and without chemical fertilizers (average of urea and AS)
- 4) N efficiency: absorption efficiency of chemical N fertilizers by rice plants based on the mean GY, assuming that 22 N kg/ha is required to produce 1 ton/ha of grain production (assuming that N concentration of grain and straw is 10 N mg/kg and harvest index is 0.45). Total N application is 60 N kg/ha. * based on with OM.

	fairly negative
	fairly positive
	largely positive

GY of Makalioka 34 is not necessarily larger than that of Tsemaka. GY tended to decrease with the advance of sub-plot number: sub-plot 13 is located on a lower slope (although the gradient might be less than 1/1,000), being close to the drainage canal (Fig. 3). Larger GY at higher level was apparently related to earlier transplanting (Table 5). Yet, the result suggests that there must be a gradual change in soil fertility over the whole plot, likely deriving from the difference in sediment depth, materials, watering regime, etc.

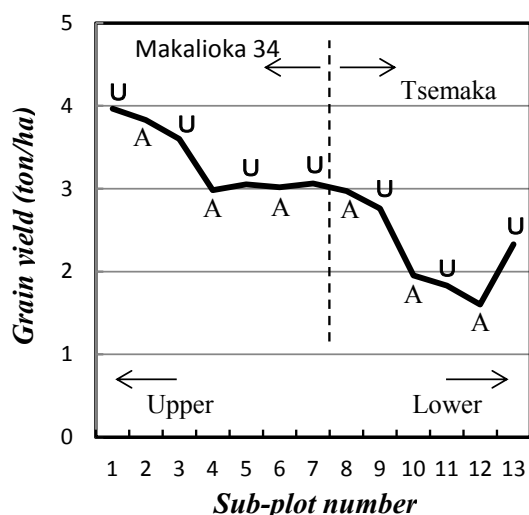


Fig. 3 Grain yield of 2 varieties affected by the sub-plot location at Anosiboribory in PC23, in the Lac Aloatra area. U and A signify urea and ammonium sulfate respectively.

In the present study, NPK compound fertilizer was used to supply two elements, phosphorus (P) and potassium (K), so it is not a direct comparison of AS to urea, because the NPK compound fertilizer contained N. Provided that urea or AS were a sole N source, pronounced contrast would be expected. Such a comparison was not applicable simply because single element fertilizer of P and K, such as triple superphosphate and potassium chloride, was currently unavailable in the domestic market.

There was no apparent difference in the effect of chemical fertilizer application with and without organic matter application (Table 13). The result suggests that organic matter additively contributes to grain production in a simple manner. The effect of organic matter itself on GY largely differed among locations: -0.1 to 0.8 ton/ha. The organic matter used was composed of farmyard manure, grass, twigs, garbage, soils, etc. and its composition greatly differed among locations. Neither chemical and physical properties nor moisture concentration of organic matter used was known, although the rate was at 5 ton/ha.

2. N use efficiency

N use efficiency (absorption efficiency of chemical N fertilizer by rice plants) was large in the lowland at Mahitsy and in the upland at Kianjasoa (43-65%), whereas it was small in lowlands at Kianjasoa and Ambohitsilaozana (15-19%) (Table 13). N application must not be beneficial at all in the latter cases. Such a low efficiency would be derived from an incorrect balance of nutrients, poor crop management, or else because N rate itself was not necessarily large (60 N kg/ha). When one assumes that the average yield at farmers' fields in the Alaotra area is 1.5-2 ton/ha, N absorption efficiency at Anosiboribory (the large-scale trial) could be considered to be high, especially in Makalioka 34 (nearly 100%), because GY increment was 1.3-1.8 ton/ha and N application rate was small (34 N kg/ha), probably owing to a proper timing of top-dressing.

3. Soil reaction to fertilizer application

pH at T3 (AS application without organic matter) in the lowland at Kianjasoa was low enough to cause an acidity problem (Table 11), although GY was not affected (Tables 10 and 13). The submergence generally neutralizes pH, whether pH at the beginning was low or high, so that pH in situ (under submergence) should be measured to discover the real situation. Besides, it is interesting to find a residual effect on pH and GY with and without fertilizer application.

In the upland soils, it is difficult to understand why pH and exchangeable Ca and Mg did not very much change with dolomite application. Several results like high exchangeable K at T6 and very low values of available P in the lowland (Table 11) and small Δ pH in the upland (Table 12) must be verified by re-analyses.

4. Unusual plant response to fertilizer treatment

Several unexpected phenomena were observed. For example, at Mahitsy, harvest with AS application was delayed by about 1 month compared to that with urea application: in Kianjasoa upland, harvest was delayed for 1 week without fertilizers: in Mimosa upland, blast was observed at T5 and T6 (urea and AS plots with dolomite). These occurrences must be carefully monitored in future trials.

5. Necessity of measurement improvement

Measurements of yield components and straw dry weight at harvest were not presented in the text. The reason is due to unrealistic or uncoordinated data obtained, although they are important components for analyzing plant growth and the structure of yield.

Calculated yield based on yield components should be identical to the plot-wise grain yield within a 10% error or 20% at the maximum. Otherwise, meaningful analysis is unlikely. Several results showed 100% or larger error. Plant sampling for yield component measurement must not be random, but systematic to avoid human error.

Plant growth analysis with the concept of dry matter production has greatly contributed to the varietal improvement (Tanaka, et. al., 1966). Harvest index is the proportion of grain weight to total dry matter production, which signifies the biological efficiency of plants to produce grains. It is nearly 0.5 in modern, high-yielding varieties and about 0.3 in many traditional varieties. Yet, some of the obtained values were 0.15, for instance. Measurement method, including all processes from plant sampling to drying, would have been inappropriate.

6. Conclusion and future plan

Results obtained in this study are promising ones for future use of AS in Madagascar. AS was as effective as urea in many cases. Yet, the results showed a risk of AS use on several occasions: possible acidification of soils. On the other hand, an advantage of AS was observed as an S source. Nutrient supply through chemical fertilizers should be the first priority to promote rice production in the country, because nutrient deficiency prevails in many crop fields. We must further verify the result in the coming main season, 2012-2013.

The experiment framework in the next season will be identical to that in present trial. Nevertheless, several experiments must be modified; at Mimosa, sub-plot size must be increased to 20 m² at least, including organic matter treatment to establish a full set of fertilizer combinations at the upland: at Mahitsy, a trial plot needs to be moved to a nearby field to avoid the prevailing flooding problem due to the poor drainage system: in all stations, yield component measurement can be improved to obtain a calculated result of the plot-wise GY.

Further, AS trials will be valuable to the country, if they are carried out in other areas like coastal regions where other soil types with different geological backgrounds exist (Note 3).

Acknowledgments

PAPRiz is deeply grateful to the Ambatovy project for the provision of AS. We also thank all of the researchers, officials and staff at FOFIFAs, FIFAMANOR and CFAMA for conducting the AS trials.

Dr. N. Kabaki, a chief advisor of PAPRiz, coordinated the trials. Dr. J. Yamaguchi, a JICA short-term expert (ex-professor of Hokkaido University, Japan) established the experiment framework and compiled the results.

Notes

1. Nutritional status of soils in Madagascar evaluated with pot culture (Table n1)

Table n1. Relative growth (%), a) of rice plant with various fertilizer treatments (b)

No.	Soil type	Site (c)	Province	Fertilizer treatment (d)						
				FC	FC-P	FC-K	FC-Ca	FC-Mg	FC-S	FC-Me
S1	Peaty	Alaotra (e)	Tamatave	100	21	62	97	92	99	104
S2	hydromorphics	Alaotra (e)	Tamatave	100	29	68	100	100	99	103
S3	Humiferes a gley	Mahitsy	Tananarive	100	14	31	90	98	42	98
S4		Ivoloina	Tananarive	100	21	39	88	101	63	97
S5		Ambila	Manakara	100	20	32	35	75	54	89
S6		Antsirabe	Tananarive	100	38	73	94	79	30	59
S7		Matsiatra	Fianarantsoa	100	20	24	97	80	87	103
S8		Anjozoro	Tamatave	100	21	41	88	91	62	91
S9	Argileux taches-	Ambatobe	Tananarive	100	23	43	92	95	47	96
S10	hydromorphic	Andramasina	Tananarive	100	19	48	93	96	56	95
S11	to pseudo-gley	Fenerive	Tamatave	100	11	48	65	112	67	100
S14	Alluvium	Ampangabe	Tananarive	100	31	50	97	84	61	101
S15		Lac Alaotra (f)	Tamatave	100	55	79	93	106	98	97
S16		Marovoay	Majunga	100	18	90	100	91	99	96
S17	Ferrous (red sandy)	Taheza	Tulear	100	63	87	104	101	51	100
	Mean			100	27	54	89	93	68	95

a) Relative growth in percentages as 100 at FC in the pot trial. b) Pot trial. c) Included the major rice growing area all over the country. d) FC, complete dose of nutrients (elements: N+P+K+Ca+Mg+S+Me); Me, micro-elements (Zn, B, etc.). e) PC23, Less developed. f) PC23, Developed, at Station Alaotra.

Data source: J. Velly, et al. (The above table is modified by J. Yamaguchi).

Note that the experiment has a scientifically basic defect of the design: there is no treatment of the control (none, or a treatment without nutrient addition) and N depletion from the complete (FC-N).

2. Nutritional status of soils (Table n2)

Table n2. Frequency (%) of nutrient deficiencies in Alaotra area and the central highland (a)

Agro-ecology	Region	n	Deficient nutrient					
			N	P	K	S	Zn	B
Lowland	Alaotra Mangoro	7	43	14	100	29	57	0
	Bongolava	7	29	29	100	29	14	14
	Vakinankaratra	8	25	0	50	25	0	13
Upland	Bongolava	4	100	50	100	75	0	0
	Vakinankaratra	3	100	67	67	100	0	0
	Itasy	2	100	0	50	100	0	0

Data source: J. Yamaguchi, Madagascar report to JICA, 2011.

a) Diagnosed with the chemical analyses of soils.

Note that the number of samples (n) was not enough to generalize the tendency. No apparent deficiency of Mn and Si was detected.

3. Geological background (Fig. n1)

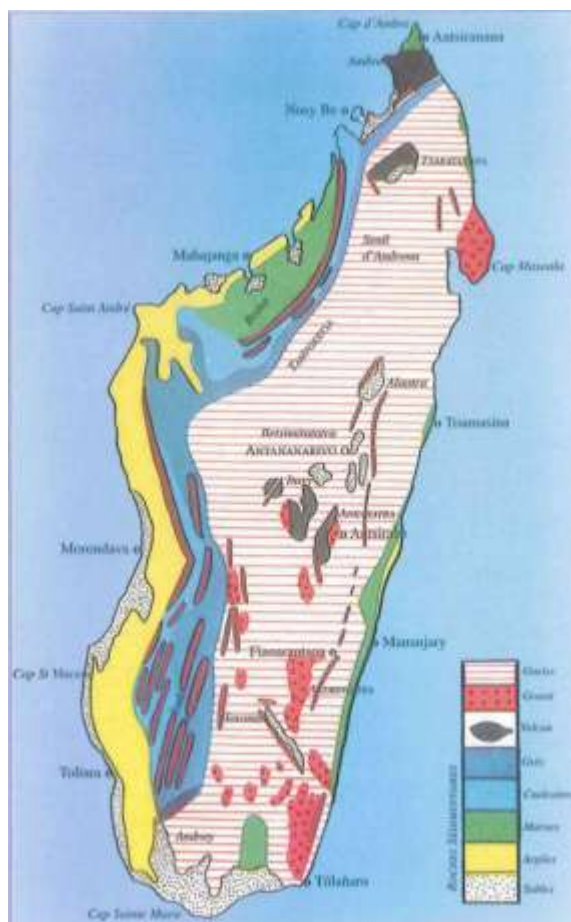


Fig. n1 Geological map of Madagascar

4. Possible revision of the report

The present report is the first version due to some insufficient records, and will be revised in future by collecting further information.

5. Stations' report

Reports from each station are not attached to the present report. Some other detailed data would provide additional information. It is available at the PAPRiz office upon request (pap.riz@moov.mg).

References

Tanaka, A., Kawano, K. and Yamaguchi, J., 1966: Photosynthesis, respiration, and plant type of the tropical rice plant. Technical Bulletin 7, 46pp. International Rice Research Institute, Los Baños, Philippines.

Velly, J., Celton, J. and Roche, P., 1966: Fertilisation de Fond en Rizière à Madagascar - Redressement de la Fertilité Résultats 1964-1966. Institut de Recherches Agronomiques à Madagascar. pp.87. IRAT, Document no. 103.

L'évaluation de l'effet du Sulfate d'Ammonium sur la Production de Riz à Madagascar

(Grande Saison, 2011-2012)



17 Novembre 2012

Projet d'Amélioration de la Productivité Rizicole sur les Hautes Terres Centrales
(PAPRiz) en collaboration avec FOFIFA, FIFAMANOR et CFAMA

Table des matières

Résumé	1
Introduction	1
Matériels et Méthodes	2
Résultats	8
Discussion	9
Remerciements	14
Remarques	15
Références	16

Abréviations

CALA	Complexe Agricoles du Lac Alaotra, FOFIFA
CFAMA	Centre de Formation et d'Application du Machinisme Agricole
FIFAMANOR	Fiompiana Fambolena Malagasy Norveziana (Centre de Recherche et de développement rural en agriculture et en élevage)
FOFIFA	Foibem-pirenena momba ny Fikarohana ampiharina amin ny Fampandrosoana ny Ambanivohitra (Centre National de la Recherche Appliquée au Développement Rural)
PAPRiz	Projet d'Amélioration de la Productivité Rizicole sur les Hautes Terres Centrales

L'évaluation de l'effet du Sulfate d'Ammonium sur la Production de Riz à Madagascar

(Grande Saison, 2011-2012)

Résumé

Des essais aux champs dans diverses zones agro-climatiques de Madagascar ont été effectués pour évaluer l'effet de l'utilisation du sulfate d'ammonium (SA) sur la production de riz. L'engrais ternaire NPK à forte concentration, était utilisé comme engrais de base et soit de l'Urée ou du Sulfate d'Ammonium (SA) comme engrais de couverture. Le SA était généralement efficace pour la production de rendement en grains que l'Urée. Cependant, le SA a peu impacté la production de riz sans apport de matière organique dans plusieurs sites où il a été appliqué mais son effet positif a été quand même évident dans des sites spécifiques. Cette dernière montre une supériorité sur les terrains carencés en soufre. D'autres essais sont nécessaires pour établir une utilisation appropriée du SA afin de booster le rendement rizicole à Madagascar, où les sols fortement lessivés prévalent.

Introduction

Les engrais chimiques sont essentiels pour promouvoir la production agricole, en particulier pour les sols moins fertiles, qui occupent une grande partie de Madagascar. Le pays, comme beaucoup d'autres pays en développement, importe tous les engrais chimiques. Dernièrement, le projet Ambatovy de Toamasina a commencé à produire du sulfate d'ammonium (SA) comme un sous-produit du processus de raffinage du nickel et du cobalt.

Il y a des similitudes et des différences entre SA et autres engrais azotés. En premier lieu, avant la production en masse de l'urée, le SA était le principal engrais azoté utilisé dans le monde. Son efficacité en tant que source d'azote (N) pour la production agricole est bien connue. Deuxièmement, le SA contient à la fois du (N) et du Soufre (S) un élément essentiel pour la croissance des plantes autant que le (N). En général, les sols carencés en N sont largement distribués, tandis que les sols pauvres en S existent aux endroits spécifiques. Cependant, près de la moitié des rizières à Madagascar sont carencées en S (Velly, et al. 1966, et notes 1 et 2). Troisièmement, le SA est aussi chimiquement neutre, mais il est physiologiquement acide de sorte que son application pourrait entraîner un problème d'acidité dans certaines conditions. Sous condition submergée, le problème est minime parce que les sols sont souvent neutralisés. Quatrièmement, le SA est moins hygroscopique contrairement à l'urée : c.-à.-d. Le stockage et l'application sont plus faciles avec le SA. Cinquièmement, le SA contient moins de N contrairement à l'urée, qui est l'engrais azoté largement utilisé, donc les coûts de transport et de main d'œuvre sont plus élevés par rapport au précédent.

Le Sherritt, a offert une opportunité à FOFIFA de mener une expérience sur l'effet de l'utilisation du SA sur la production de riz en 2008, mais il a été suspendu en raison des résultats scientifiques et financiers insuffisants. Compte tenu de la situation, en collaboration avec le Projet Ambatovy, PAPRiz a conduit des expérimentations sur l'évaluation du SA, en collaboration avec diverses organisations à Madagascar.

Cette étude vise à trouver une utilisation efficace du SA en tant que source de N et du S dans les rizières de Madagascar. Pour atteindre cet objectif, les plants de riz ont été cultivés soit avec de l'urée ou du SA. La période de culture était la grande saison (saison de pluie) 2011-2012.

Matériels et Méthodes

1. Le choix du site et les organisations collaboratrices

Cinq sites expérimentaux ont été choisis dans trois zones agro-climatiques: deux sur les hautes terres centrales et dans la zone du Lac Alaotra et un dans le Moyen-ouest (tableau 1 et figure 1). Deux systèmes hydrologiques de culture de riz, riziculture irriguée et riziculture pluviale ont été inclus dans quatre et deux sites respectivement. Ici, 'la riziculture irriguée' indique un emplacement où les plantes de riz sont en submersion durant la majeure partie de leur phase végétative, et 'la riziculture pluviale' sur un terrain à drainage libre où les plants de riz sont cultivés sans submersion dans l'eau et dont la croissance dépend uniquement de la pluviométrie. Trois organisations ont collaboré pour la réalisation de ces essais: le FOFIFA, le FIFAMANOR et le CFAMA.

Tableau 1. Localisation des essais de sulfate d'ammonium dans deux zones agro-écologiques (2011-2012)

Zone agro-climatique	Région	Emplacement (site)	Direction	
			Organisation	Personne
Riz irrigué				
Moyen-ouest	Bongolava	Kianjasoa (a)	FOFIFA Kianjasoa	Pierre Rasolofo
Hautes Terres	Analamanga	Mahitsy	FOFIFA Antananarivo	Joseph Randrianampy
Lac Alaotra	Alaotra-Mangoro	Ambohitsilaozana	FOFIFA CALA	Arsène Randrianantenaina
		Anosiboribory	CFAMA	Lalanekenarisoa Nénée Tolojanahary
Riz pluvial				
Moyen-ouest	Bongolava	Kianjasoa	FOFIFA Kianjasoa	Pierre Rasolofo
Hautes Terres	Vakinankaratra	Mimosa (b)	FIFAMANOR	Noroseheno Ralisoa

a) Bas-fonds d'Ambalavao. b) Andranomanelatra, district d'Antsirabe II.

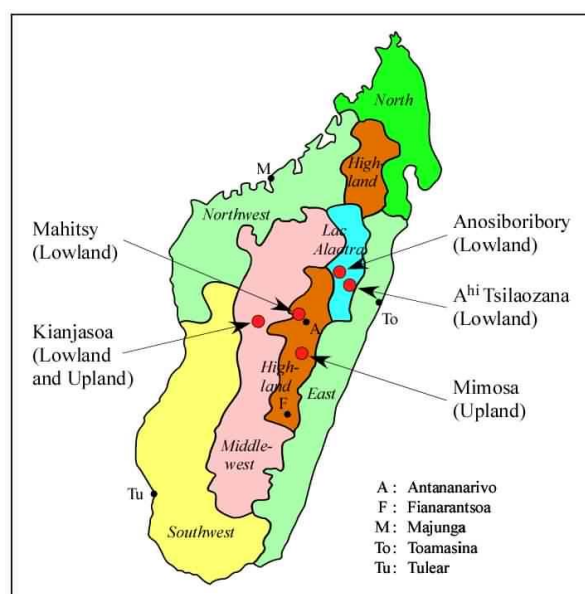


Figure1. Localisation des essais SA

2. Les expérimentations dans les stations de recherche

Des expérimentations ont été conduites dans quatre sites: à KIANJASOA (FOFIFA-Kianjasoa), à Mahitsy (FOFIFA-Antananarivo) Ambohitsilaozana (FOFIFA-CALA) et à Mimosa (FIFAMANOR). A Kianjasoa, culture de riz irrigué et de riz pluvial, à Mimosa, culture de riz pluvial et de riz irriguée dans deux autres sites (tableau 1). Les cultivars (variétés) utilisés étaient ceux qui sont dominantes (ou recommandées) et l'espacement était la norme au niveau de chaque station respectivement (tableau 2).

Tableau 2. Variétés utilisées, densité des plantes et dimension parcellaire

Site	Variété	Densité des touffes		Brins par touffes	Dimension parcellaire(m ²)		Répétition	Surface récoltée (a)
		(cm x cm)	(touffes /m ²)		sous-parcelle	Total		
Riz irrigué								
Kianjasoa	Mailaka (X265)	20 x 25	20	2	15	ca. 500	3	A
Mahitsy	FOFIFA 160	20 x 20	25	2	40	960	4	A
A ^{hi} Tsilaozana	X1648 (c)	20 x 20	25	-	25	300	2	B
Anosiboribory	Makalioka 34	20 x 15	33	2	17,500	122,500	3-4	B
	Tsemaka (4012)	20 x 15	33	2	15,500-17,000	98,200	3	B
Riz pluvial								
Kianjasoa	Fotsiambo (B22)	20 x 20	25	3-5	60	2,000	3	A
Mimosa (b)	FOFIFA 161	20 x 20 (d)	25	4-5	1.8	ca. 50	3	B

Abr.: A^{hi} Tsilaozana: Ambohitsilaozana.

a) A: bordure exclue, B: récolte sur toute la parcelle (bordure incluse). b) culture antérieure: patate douce.

c) IR15569-22-2-3-2-3-1-1-3. d) Dose de semis: 60 kg/ha.

La fertilisation appliquée pour l'essai en riziculture irriguée était une combinaison d'engrais chimiques et de matières organiques (tableau 3). Le taux d'engrais chimique ternaire NPK à teneur élevé était de 200kg/ha (11% de N, 22% P₂O₅ et 16% K₂O) en application de base, 83kg/ha d'urée (46% N) ou 181 kg/ha de SA (21% N et 24% S) en tant qu'engrais de couverture. La quantité totale des unités fertilisantes N, P₂O₅ et K₂O était respectivement égale à 60, 44 et 32 kg/ha. Pour les traitements avec fertilisation chimique. Dans les traitements avec SA, l'unité fertilisante S ajouté est de 43 kg/ha. La quantité de matière organique et de 5 tonnes/ha.

Tableau 3. Fertilisation appliquée en riziculture irriguée

Traite- ment no.	MO (tonnes /ha)	Engrais chimiques (kg/ha)			Unités fertilisantes apportées (N-P ₂ O ₅ -K ₂ O-S kg/ha)										
		Basal (NPK)	Apport de couverture		Basal			Apport de couverture			Total				
			Urée	AS	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S	N	P ₂ O ₅		K ₂ O			
T1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
T2	0	200	83	0	22	44	32	0	38	0	0	0	60	44	32
T3	0	200	0	181	22	44	32	0	38	0	0	43	60	44	32
T4	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T5	5	200	83	0	22	44	32	0	38	0	0	0	60	44	32
T6	5	200	0	181	22	44	32	0	38	0	0	43	60	44	32

MO: matière organique. Formule (N-P₂O₅-K₂O-S %): 11-22-16-0 pour l'engrais ternaire NPK, 46-0-0-0 pour l'urée, et 21-0-0-24 pour le sulfate d'ammonium.

La fertilisation appliquée en riziculture pluviale était la même combinaison que dans la riziculture irriguée avec et sans application de dolomie (tableau 4). La dose d'application de la dolomie (36% de CaO et 16% MgO) est de 300kg/ha. A Mimosa, le nombre total de traitements était de 6: sans fertilisation, apport de matière organique sans engrais chimiques, et apport d'urée et du SA avec et sans dolomie avec apport de matière organique.

Tableau 4. Fertilisation appliquée en riziculture pluviale

Traite- ment no.	Dolo- mie (kg /ha)	MO (tonnes /ha)	Engrais chimiques (kg/ha)			Unités fertilisantes apportées (N-P ₂ O ₅ -K ₂ O-S kg/ha)						
			Basal (NPK)	Apport de couverture		Basal			Apport de couverture			Total
				Urée	AS							
T1	0	0	0	0	0	0- 0- 0- 0	0- 0- 0- 0	0- 0- 0- 0	0- 0- 0- 0	0- 0- 0- 0	0- 0- 0- 0	
T2	0	0	200	83	0	22-44-32- 0	38- 0- 0- 0	60-44-32- 0				
T3	0	0	200	0	181	22-44-32- 0	38- 0- 0-43	60-44-32-43				
T4	0	5	0	0	0	0- 0- 0- 0	0- 0- 0- 0	0- 0- 0- 0				
T5	0	5	200	83	0	22-44-32- 0	38- 0- 0- 0	60-44-32- 0				
T6	0	5	200	0	181	22-44-32- 0	38- 0- 0-43	60-44-32-43				
T7	300	0	0	0	0	0- 0- 0- 0	0- 0- 0- 0	0- 0- 0- 0				
T8	300	0	200	83	0	22-44-32- 0	38- 0- 0- 0	60-44-32- 0				
T9	300	0	200	0	181	22-44-32- 0	38- 0- 0-43	60-44-32-43				
T10	300	5	0	0	0	0- 0- 0- 0	0- 0- 0- 0	0- 0- 0- 0				
T11	300	5	200	83	0	22-44-32- 0	38- 0- 0- 0	60-44-32- 0				
T12	300	5	200	0	181	22-44-32- 0	38- 0- 0-43	60-44-32-43				

Dolomie contient 36% CaO et 16% MgO. Voir note Tableau 3.

La dimension des sous-parcelles pour chaque traitement était différente selon les stations et varie de 1,8 à 60m² (tableau 2). Le nombre de répétitions était de 2 à 4, et le dispositif expérimental utilisé était soit le Split-plot soit le bloc complètement randomisé.

La date de semis s'étalait de novembre 2011 au janvier 2012 et la récolte était en Avril jusqu' au mois de juin 2012 Selon la variété et les conditions du milieu (tableau 5).

Tableau 5. Stades de croissance des plantes de riz pendant l'essai AS (Nov. 2011- Juin 2012).

Sites	Variété	Stade de croissance			
		Semis	Repiquage	Floraison	Récolte
Riz irrigué					
Kianjasoa	Mailaka (X265)	Jan. 9, 2012	Jan. 27, 2012	-	Mai 25, 2012
Mahitsy	FOFIFA 160	Nov. 30, 2011	Jan. 12, 2012	Avr.27 - Mai 3, 2012	Mai 22 & Juin 22, 2012 a)
A ^{hi} Tsilaozana	X1648	Jan. 11, 2012	Fev. 11, 2012	Avr.9-15, 2012	Juin 07, 2012 b)
Anosiboribory	Makalioka 34	Nov. 14 & 19, 2012	Dec. 14-16, 2011	A partir de Mar. 26, 2012	Mai 18-21, 2012
	Tsemaka	Nov. 14 & 19, 2012	Dec. 16-30, 2011	A partir de Mar. 26, 2012	Mai 22-26, 2012
Riz pluvial					
Kianjasoa	Fotsiambo (B22)	Dec. 30, 2011	-	-	Avr. 15 & 22, 2012 c)
Mimosa	FOFIFA 161	Nov. 28, 2011	-	Mar 6, 2012	Mai 2, 2012

a) La récolte sur les parcelles avec SA a été retardée d'environ 1 mois : Détails inconnus. b) Irrigué si nécessaire.

c) Retard de 1 semaine pour les parcelles non fertilisées.

Les champs d'expérimentation ont été gérés avec les méthodes classiques de chaque station. Plusieurs stations ont utilisé des herbicides et des insecticides (tableaux 6-1 à 6-3). Les plants de riz ont rencontré plusieurs problèmes pendant la phase de croissance (tableau 7), mais les responsables au niveau de chaque station ont en quelque sorte pu atténuer les dégâts.

Tableau 6-1. Dates d'apport des fertilisants et conduite de culture

Type	Sites	Apport d'engrais		Labour	
		Basal	Apport de couverture	1er	2nd
Riz irrigué	Kianjasoa	Jan. 27, 2012			
	Mahitsy	Jan. 9, 2012 (a)		MiNov, 2011	Jan. 2, 2012
	A ^{hi} Tsilaozana	Fev. 10, 2012	Mars 10, 2012	Dec. 20, 2011	
	Anosiboribory	Dec. 15-21, 2011	Fev. 6-11, 2012	Oct.15-Nov.17, 2012	-
Riz pluvial	Kianjasoa				
	Mimosa	Dec. 19, 2011	Jan. 27, 2012	- (b)	Nov. 20, 2011

a) A cause des inondations fréquentes, les engrais étaient incorporés dans le sol. b) Une partie d'un terrain de 83 ha a été utilisée.

Tableau 6-2. (suite)

Type	Sites	Sarclage mécanique		Sarclage manuel	
		1er	2nd	1er	2nd
Riz irrigué	Kianjasoa	Fev. 09, 2012	Mar.02, 2012	Fev. 10, 2012	Mar.05, 2012
	Mahitsy	Jan. 26, 2012	Fev. 13, 2012	Jan. 26, 2012	Fev. 13, 2012
	A ^{hi} Tsilaozana (a)	Fev. 27, 2012	Mar. 12, 2012	Fev. 24, 2012	Mar. 9, 2012
	Anosiboribory	Jan. 23-Fev.10, 2012	-	Fev.8-11, 2012	-
Riz pluvial	Kianjasoa	-	-	Jan 19, 2012	Fev. 08, 2012
	Mimosa	-	-	Dec. 19, 2011	Jan. 27, 2012

a) L'ordre de succession des sarclages mécanique et manuel était l'inverse de la méthode classique. Le sarclage manuel était effectué avant l'apport de couverture et le sarclage mécanique assure l'incorporation des engrais de couverture.

Tableau 6-3. (suite)

Type	Sites	Traitement chimique			
		Herbicide	Insecticide		
			1er	2nd	
Riz irrigué	Kianjasoa	-	-	-	
	Mahitsy (d)	-	Fev. 23 & 27, 2012 (b)	Mar. 7 & 12, 2012 (b)	
	A ^{hi} Tsilaozana	-	-	-	
	Anosiboribory	Jan. 1-28, 2012 (a)	Jan. 14 & 21, 2012 (b)	-	
Riz pluvial	Kianjasoa	(c)	-	-	
	Mimosa	-	Nov. 28, 2011 et ? (b)	-	

a) Mahabanky (deshormone). b) Cigogne (Matière active = cyperméthrine 240 g/L). c) 2,4-D à raison de 1.5 L/ha. d) Attaque des insectes après passage des cyclones.

Tableau 7. Problèmes rencontrés

Type	Sites	Problèmes
Riz irrigué	Kianjasoa	Aucun
	Mahitsy	Les plantules étaient immergées dans l'eau pendant 10 jours à cause de l'inondation après passage de cyclone en Dec. 2011, froid
	A ^{hi} Tsilaozana	Verse au stade pâteux
	Anosiboribory	2nd repiquage pour les sous-parcelles no. 12-13 en 1-6Jan 2012 à cause de l'inondation
Riz pluvial	Kianjasoa	Adventices (<i>Borreria</i> ; <i>Eleusine indica</i>)
	Mimosa	Dégâts causés par les insectes, Pyriculariose en T5 and T6 (Dolomie+MO+Urée et SA)

3. Essai à grande échelle

Un essai de SA à grande échelle a été conduite à Anosiboribory (Parcelle no. 204 de la Maille 2 du PC23 (Périmètre de Colonisation 23), dans la région d'Alaotra-Mangoro (tableau 1). La surface totale du terrain était 22,07 ha, et divisé en 13 sous-parcelles (de 1,55 à 1,75 ha chacune). Sept et six sous-parcelles ont été attribuées à deux variétés, respectivement Makalioka 34 et Tsemaka (4012) (Tableau 2 et Fig. 2).

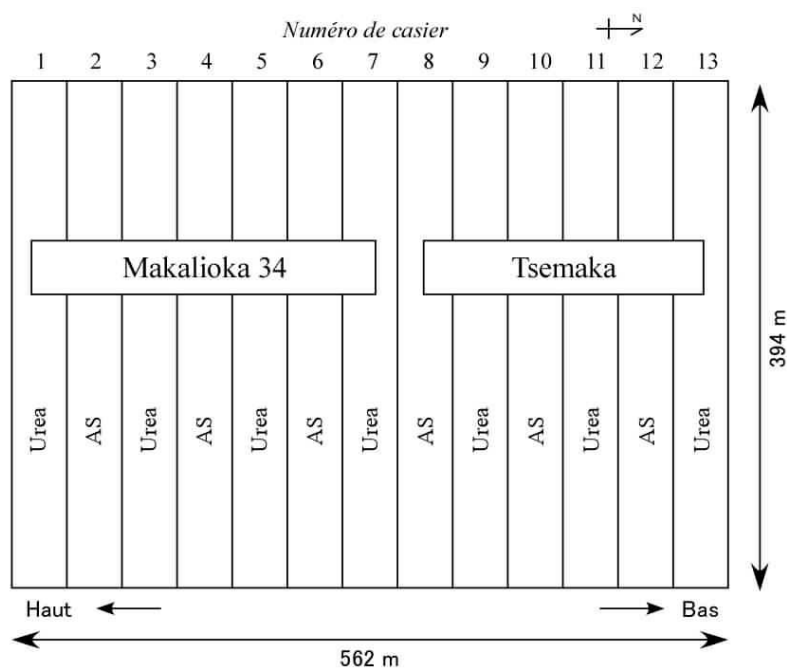


Figure 2. Dispositif expérimental de l'essai SA à grande échelle à Anosiboribory, PC23 dans la région d'Alaotra-Mangoro (superficie totale: environ 22 ha).

La dose d'application des engrais chimiques était de 50 kg/ha d'engrais ternaire NPK (11-22-16) comme application de base, et de 50 kg/ha d'urée ou 110 kg/ha de SA comme engrais de couverture (tableau 8). Avec les deux sources d'engrais la quantité totale des unités fertilisantes était égale à 34 N, 22 P₂O₅ et 16 K₂O kg/ha, et les parcelles à SA ont reçu en plus 26 de S kg/ha. Pas de matière organique appliquée.

Tableau 8 Fertilisation appliquée pour l'essai à grande échelle à Anosiboribory, PC23, région du Lac Alaotra (a)

Traite- ment no.	Fertilisation chimique (kg/ha)			Unités fertilisantes apportées (N-P ₂ O ₅ -K ₂ O-S kg/ha)		
	Basal NPK	Apport de couverture		Basal	Apport de couverture	Total
		Urée	SA			
T1	100	50	0	11-22-16- 0	23- 0- 0- 0	34-22-16- 0
T2	100	0	110	11-22-16- 0	23- 0- 0- 0	34-22-16-26

a) Pas d'apport de fumier. NPK: engrais ternaire (11-22-16).

Le CFAMA, l'organisme responsable, qui a des réussites en gestion de culture au cours de leur longue expérience en riziculture pluviale (tableau 6 et 7) a pu gérer avec succès la riziculture irriguée d'une telle envergure même si c'était la première fois. (Tableaux 5, 6 et 7). La récolte a eu lieu le 18-26 Mai 2012 (tableau 5).

4. Mesures

La croissance des plantes à chaque stade successive de croissance était suivie dans plusieurs stations (tableau 9). À pleine maturité, le rendement en grains a été déterminé dans toutes les stations, et les composants de rendement ont été mesurés dans des sites choisis.

Tableau 9. Suivie de la croissance et mesure des composantes de rendement

Type	Sites	Hauteur des plantes		Nombre de talles (St. crois)	Couleur des feuilles (St. crois)	Poids des pailles (Récolte)	Composantes de rendement (Récolte)
		(St. crois)	(Récolte)				
Riz irrigué	Kianjasoa	*	*	*	*	-	*
	Mahitsy	-	*	-	-	*	* (a)
	A ^{hi} Tsilaozana	-	*	-	-	-	*
	Anosiboribory	-	-	-	-	-	-
Riz pluvial	Kianjasoa	*	*	*	*	-	*
	Mimosa	-	-	-	-	*	* (a)

* mesuré, - pas de mesure. (St. crois): à chaque stade de croissance. (a) Incomplet.

A Kianjasoa des échantillons ont été prélevés sur des parcelles destinées à la riziculture irriguée (à une profondeur de 0-20 cm et 20-40) et sur des parcelles destinées à la riziculture pluviale (0-20, 20-40 et 40-60 cm) au moment du repiquage ou du semis et à la récolte. L'échantillon était un mélange de sols prélevés dans trois trous pour chaque sous-parcelle dans toutes les répétitions, et les propriétés chimiques et physiques routiniers ont été analysés au laboratoire d'analyse FOFIFA.

Résultats

1. Le rendement

Le rendement variait considérablement d'un site à un autre (tableau 10). Sans apport de matière organique ni d'engrais chimiques, il varie de 1.4 à 4.9 tonnes/ha pour la riziculture irriguée et de 1.7 à 2.4 tonnes/ha pour la riziculture pluviale: la croissance du riz dépendait totalement de la fertilité naturelle des sols. Avec apport d'engrais chimique, le rendement a augmenté de 2,2 à 6,0 tonnes/ha pour la riziculture irriguée et de 2.1 à 4.1 tonnes/ha pour la riziculture pluviale. En général, le rendement obtenu avec le SA était généralement semblable à celui de l'urée mais dans certains cas il était plus petit ou plus grand que celui de l'urée.

Tableau 10. Rendement obtenu avec l'urée et SA dans différents sites

Type	Sites	Variété	Dolomie (kg/ha)	Rendement (ton/ha)							
				Sans MO			Avec MO				
				0	Urée	AS	0	Urée	AS		
Riz irrigué	Kianjasoa	Mailaka	-	2.8	3.2	3.2	2.8	3.3	3.2	a	
		Mahitsy	FOFIFA 160	-	1.4	3.1	2.5	2.2	3.4	3.4	a
	Ahi Tsilaozana	X1648	-	4.9	5.9	4.8	5.3	5.8	6.0	a	
	Anosiboribory	Makalioka 34	-	-	3.4	3.3	-	-	-	-	
		Tsemaka	-	-	2.3	2.2	-	-	-	-	
Riz pluvial	Kianjasoa	Fotsiambo	0	1.8	3.9	3.5	2.4	4.1	4.1	a	
			300	2.4	3.5	3.6	2.4	3.4	3.6		
	Mimosa	FOFIFA 161	0	1.7	-	-	2.1	2.1	2.5		
			300	-	-	-	-	2.6	3.7		

MO: matière organique. a) Ajusté à 14% d'humidité.

2. Les analyses de sol

Les parcelles destinées à la riziculture irriguée à Kianjasoa ont une texture classifiée comme limono-argileuse et ses propriétés chimiques ont été caractérisées par une faible quantité de P assimilable (tableau 11). Le pH des sols avec apport de SA et sans apport de matières organiques a diminué à un point extrêmement faible, indiqué par un faible pH (KCl).

Les parcelles destinées à la riziculture pluviale à Kianjasoa avaient une faible quantité en P assimilable et en K échangeable, et sont légèrement acides (tableau 12). Pourtant, sa propriété physique, légèrement argileuse (LiC), est favorable. Le sol ayant reçu du SA a tendance à décroître le pH comparé à l'urée, la où les matières organiques n'ont pas d'effet apparent sur le pH.

Tableau 11. Propriétés physique et chimique des parcelles destinées à la riziculture irriguée à Kianjasoa affectées aux différents traitements fertilisants (données provisoires)

Traitement MO Fert. no. (ton chim. /ha)	Profon- deur du sol (cm)	pH (H ₂ O)	pH (KCl)	ΔpH	C total (g /kg)	N total (g /kg)	C N	Cation échangeable (cmol _c /kg)				CEC (cmol _c /kg)	P assimil (mg /kg)	Taille des particules (%)				
								Ca	Mg	K	Na			Sable	Li-	Argi-		
Au repiquage																		
	0-20	5.5	-	-	19	1.5	13	1.3	0.8	0.24	0.2	10	0.1	50	23	27		
A la récolte																		
T1	0	0	0-20	4.8	4.2	-0.6	12	1.1	11	1.0	0.2	0.06	0.2	19	1.4	51	21	28
			20-40	5.1	4.4	-0.6	5	0.4	11	1.4	0.3	0.06	0.2	9	3.1	49	21	30
T2	0	Urée	0-20	5.0	4.2	-0.8	18	1.8	10	0.9	0.1	0.07	0.2	10	1.7	53	25	22
			20-40	5.7	4.5	-1.2	10	0.9	11	0.5	0.7	0.16	0.5	8	1.9	51	21	28
T3	0	AS	0-20	4.7	3.8	-0.9	17	1.5	11	1.2	0.8	0.07	0.2	11	0.9	49	23	28
			20-40	4.1	3.5	-0.6	11	0.9	11	1.7	0.1	0.08	0.5	11	1.9	53	19	28
T5	5	Urée	0-20	4.9	4.1	-0.7	21	2.0	11	1.6	0.8	0.05	0.2	10	1.2	53	23	24
			20-40	5.0	4.1	-0.9	17	2.0	9	1.0	0.7	0.03	0.1	6	1.3	45	27	28
T6	5	AS	0-20	5.0	4.3	-0.7	21	2.1	10	1.2	0.9	0.95	0.4	9	1.3	51	23	26
			20-40	5.7	4.5	-1.2	13	1.2	11	1.4	0.1	0.17	0.5	9	2.1	50	22	28

Abr.; MO: matière organique, C-T: C total, N-T: N total, C/N: ratio C-T/N-T, CEC: capacité d'échange cationique, P assimil: P assimilable(méthode de Bray-2). Fert. Chim. (fertilisation chimique): 0 signifie pas d'engrais chimique les unités fertilisantes apportées (N-P₂O₅-K₂O-S kg/ha) étaient 60-44-32-0 avec l'urée et 60-44-32-43 avec le sulfate d'ammonium (SA).

Discussion

1. Le rendement relatif au SA

L'augmentation du rendement relative à l'apport de SA par rapport à l'urée a été calculée pour une comparaison équitable des deux sources de N (tableau 13 et figure 3), parce que le niveau de rendement variait considérablement d'un site à un autre (tableau 10). En général, l'augmentation est négligeable mais dans certains cas elle était négativement ou positivement importante. Les faibles augmentations signifient que le rendement obtenu avec le SA est similaire à celui de l'urée, tandis que les valeurs négatives ou positives montrent que le rendement avec le SA était respectivement plus petit ou plus grand que celui de l'urée.

Pour le cas de la riziculture irriguée de Mahitsy et d'Ambohitsilaozana, sans apport de matières organiques, le SA donnait un faible rendement en grains par rapport à l'urée. Dans ces sites, pour obtenir des rendements comparables à l'urée, l'apport de SA avec matières organiques est essentiel. Dans le cas de la riziculture pluviale à Mimosa, la large augmentation du rendement signifie la supériorité du SA par rapport à l'urée, probablement due à l'addition de S. Malheureusement, il n'existe aucune donnée concernant l'état du S dans les parcelles du site de Mimosa.

Dans les grandes exploitations à Anosiboribory, dans la zone du lac Alaotra le SA était aussi efficace que l'urée et il n'y avait pas d'effet négatif sur la production de riz (tableaux 10 et 13). Le rendement en grain avec SA était comparable à celui de l'urée.

Tableau 12. Propriétés physique et chimique des parcelles destinés à la riziculture pluviale de Kianjasoa affectées aux différents traitements fertilisants (données provisoires)

Traitement no.	Dol. (kg /ha)	MO (ton chim. /ha)	Fert. (ton chim. /ha)	Profon- deur du sol (cm)	pH (H ₂ O)	pH (KCl)	Δ pH	C total (g /kg)	N total (g /kg)	C N	Cation échangeable (cmol _c /kg)				CEC (cmol _c /kg)	P assimil (mg /kg)	Taille des particules (%)		
											Ca	Mg	K	Na			Sable	Li-	Argi-
<i>Au semis</i>																			
-	-	-	-	0-20	4.6	-	-	16	1.2	13	0.7	0.4	0.28	-	9	6	42	24	34
<i>A la récolte</i>																			
T1	0	0	0	0-20	4.6	4.1	-0.5	15	1.2	13	1.4	0.5	0.07	0.1	9	7	43	23	34
				20-40	4.7	4.2	-0.5	12	1.2	10	1.1	0.2	0.05	0.1	8	4	43	19	38
				40-60	5.3	5.2	-0.1	5	0.5	12	1.5	0.2	0.03	0.2	6	3	40	22	38
T2	0	0	Urée	0-20	4.8	4.2	-0.6	16	1.8	9	1.3	0.3	0.10	0.1	10	6	48	18	34
T3	0	0	AS	0-20	4.6	4.0	-0.6	15	1.1	13	1.4	0.2	0.07	0.1	10	6	46	20	34
				20-40	4.8	4.3	-0.5	13	1.2	11	1.3	0.3	0.07	0.2	10	5	44	18	38
				40-60	5.6	5.0	-0.5	6	0.6	11	0.9	0.2	0.04	0.1	6	4	40	24	36
T4	0	5	0	0-20	4.7	4.2	-0.5	16	1.6	10	0.7	0.2	0.07	0.1	17	3	41	21	38
				20-40	4.9	4.7	-0.2	8	0.8	10	0.9	0.1	0.10	0.1	16	2	40	22	38
				40-60	5.0	5.0	0.0	6	0.6	10	1.1	0.1	0.04	0.1	11	2	40	22	38
T5	0	5	Urée	0-20	4.5	4.1	-0.4	17	1.6	11	0.9	0.2	0.11	0.2	18	5	42	22	36
T6	0	5	AS	0-20	4.4	4.0	-0.4	18	1.9	9	1.0	0.8	0.21	0.3	15	5	41	23	36
				20-40	4.6	4.5	-0.1	12	1.1	11	1.1	0.9	0.07	0.3	19	2	40	22	38
				40-60	5.5	5.2	-0.3	7	0.6	12	0.6	0.1	0.04	0.1	6	2	43	23	34
T7	300	0	0	0-20	4.5	4.1	-0.4	15	1.5	10	0.5	0.3	0.10	0.2	12	5	42	24	34
				20-40	5.0	4.6	-0.4	8	0.8	10	0.8	0.2	0.04	0.1	7	3	42	20	38
				40-60	5.3	5.2	-0.1	5	0.5	11	1.0	0.2	0.05	0.1	12	3	40	22	38
T8	300	0	Urée	0-20	4.6	4.1	-0.4	16	1.5	11	0.9	0.4	0.14	0.2	11	6	40	22	38
T9	300	0	AS	0-20	4.5	4.0	-0.5	15	1.5	11	0.9	0.3	0.10	0.1	11	7	41	23	36
				20-40	4.8	4.3	-0.5	10	1.0	10	0.8	0.2	0.07	0.1	9	4	42	24	34
				40-60	5.0	4.9	-0.1	7	0.7	11	1.3	0.1	0.11	0.2	6	2	44	18	38
T10	300	5	0	0-20	4.8	4.2	-0.7	14	1.6	9	1.2	0.3	0.07	0.1	10	5	41	23	36
				20-40	5.0	4.8	-0.3	8	0.7	10	0.6	0.2	0.04	0.1	7	3	39	24	37
				40-60	5.3	5.3	-0.1	6	0.5	10	1.1	0.2	0.04	0.1	8	3	40	22	38
T11	300	5	Urée	0-20	4.6	4.1	-0.6	16	1.9	9	0.7	0.2	0.15	0.2	12	7	39	24	37
T12	300	5	AS	0-20	4.5	4.0	-0.4	16	1.1	14	0.9	0.2	0.07	0.1	15	6	40	22	38
				20-40	4.6	4.4	-0.1	9	0.9	11	0.7	0.2	0.06	0.3	10	4	40	23	37
				40-60	5.2	5.2	0.0	6	0.5	12	1.2	0.2	0.04	0.1	6	3	40	22	38
<i>Moyenne à la récolte</i>																			
0				0-20	4.6	4.1	-0.5	16	1.5	11	1.1	0.4	0.11	0.2	13	5	44	21	35
300				0-20	4.6	4.1	-0.5	15	1.5	11	0.8	0.3	0.10	0.2	12	6	41	23	37
0				0-20	4.6	4.1	-0.5	15	1.4	11	1.1	0.3	0.10	0.2	11	6	43	22	35
5				0-20	4.6	4.1	-0.5	16	1.6	10	0.9	0.3	0.11	0.2	15	5	41	23	37
	0			0-20	4.6	4.1	-0.5	15	1.5	11	0.9	0.3	0.08	0.1	12	5	42	23	36
	Urée			0-20	4.6	4.1	-0.5	16	1.7	10	1.0	0.3	0.13	0.2	13	6	42	22	36
	AS			0-20	4.5	4.0	-0.5	16	1.4	12	1.0	0.4	0.11	0.2	13	6	42	22	36

Abr.; Dol.: dolomie. Voir notes tableau 11

Tableau 13. Augmentation relative à l'apport de sulfate d'ammonium, l'effet de l'apport de matière organique et d'engrais chimique au rendement et l'efficacité de l'azote.

Type	Sites	Variété	Dolo- mie (kg/ha)	Augmenta- tion relative au SA (%)		Effet sur le rendement (ton/ha)				Efficacité du N (%)	
				-MO	+MO	OM	Engrais chimiques				
							-MO	+MO	Mo- yenne		
Riz irrigué	Kianjasoa	Mailaka	-	1	-1	0.1	0.4	0.4	0.4	15	
	Mahitsy	FOFIFA 160	-	-18	2	0.8	1.4	1.2	1.3	48	
	A ^{hi} Tsilaozana	X1648	-	-18	3	0.4	0.5	0.6	0.5	19	
	Anosiboribory	Makalioka 34	Tsemaka	-	-4	-	-	-	-	-	-
			Tsemaka	-	-6	-	-	-	-	-	-
Riz pluvial	Kianjasoa	Fotsiambo	0	-10	-2	0.6	1.9	1.7	1.8	65	
			300	2	6	-0.1	1.2	1.2	1.2	43	
	Mimosa	FOFIFA 161	0	-	19	-	-	0.1	-	4	
			300	-	41	-	-	-	-	-	

+MO and -MO: avec et sans apport de matière organique(MO).

Calcul:

- 1) Augmentation du rendement relative au SA (%) = $(B - A) * 100 / A$,
où A est le rendement avec l'urée et B le rendement avec le SA
- 2) Effet de l'apport de MO sur le rendement = Rendement avec MO - Rendement sans MO
- 3) Effet de l'apport d'engrais chimique sur le rendement: la différence entre les rendements obtenus avec et sans apport d'engrais chimique (moyenne urée et SA)
- 4) Efficacité du N: efficacité de l'absorption du N par les plantes de riz basée sur le rendement moyen en supposant que 22 N kg/ha est nécessaire pour obtenir 1 tonne de grains (en supposant que la concentration en N des grains et de la paille est de 10 N mg/kg et que l'indice de récolte est de 0.45). La dose d'apport de N est de 60 N kg/ha. * Basée sur le traitement avec MO.

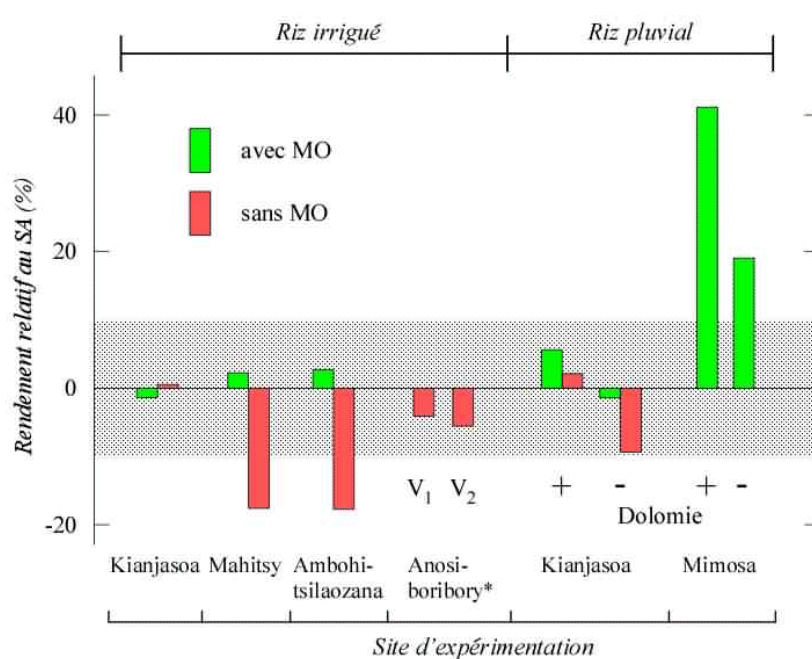


Figure 3. Rendement relatif au SA par rapport à l'urée.

MO : matière organique

+, - : respectivement avec et sans dolomie

V1 et V2 : respectivement Makalioka et Tsemaka

* : essai à grande échelle

Région en foncé signifie des erreurs

Le rendement de Makalioka 34 n'est pas nécessairement plus grand que celui de Tsemaka. Plus le numéro de la parcelle augmente, plus le rendement tend à diminuer: la parcelle 13 est située sur une pente plus faible (bien que le degré peut être inférieur à 1/1.000), et est à proximité du canal de drainage (Fig. 4). Le rendement élevé des parcelles à niveau supérieur était apparemment lié au repiquage précoce (tableau 5). Pourtant, le résultat donne à penser qu'il doit y avoir un changement progressif de la fertilité du sol sur toute la parcelle, probablement résultant de la différence de profondeur des sédiments, des matériaux, du régime hydrique, etc.

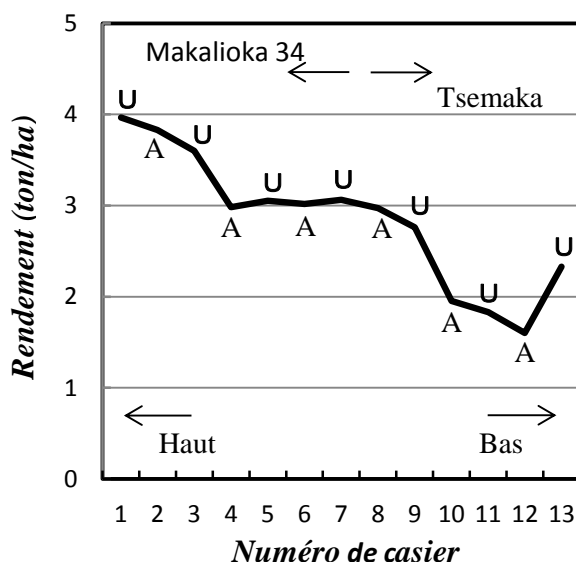


Figure 4. Rendement des deux variétés affecté par la localisation des parcelles à Anosiboribory dans la zone du lac Alaotra. U et A signifient respectivement urée et sulfate d'ammonium

Dans la présente étude, l'engrais ternaire NPK qui a été utilisé comme source de phosphore (P) et de potassium (K) contient aussi du N, ce n'est donc pas une comparaison directe du SA avec l'urée. Si l'urée ou SA ont été l'unique source de N, des différences plus marquées auraient été obtenues. Une telle comparaison n'était pas applicable tout simplement parce que l'engrais simple en P et en K, tel que le triple superphosphate et le chlorure de potassium n'étaient pas disponible sur le marché local.

Aucune différence apparente n'a été constatée entre l'effet de l'application d'engrais chimique avec et sans apport de matière organique (tableau 13). Le résultat donne à penser que d'une manière simple la matière organique contribue de façon additive à la production de grains. L'effet de la matière organique elle-même sur le rendement en grains diffère largement selon les endroits: -0,1 à 0,8 tonne/ha. La matière organique utilisée était composée de fumier, de l'herbe, des brindilles, des déchets, des sols, etc., et la composition était largement différente d'une station à une autre. Ni les propriétés physique et chimique, ni le taux d'humidité de la matière organique utilisée n'étaient connus, bien que la dose d'apport fût de 5 tonnes/ha.

2. Efficacité de l'utilisation du N

L'efficacité de l'utilisation du N (capacité d'absorption des engrais azotés des plantes de riz) était grande pour le riz irrigué de Mahitsy et pour le riz pluvial à Kianjasoa (43-65%), alors qu'elle était faible pour le riz irrigué de Kianjasoa et Ambohitsilaozana (15-19%) (Tableau 13). Dans ces derniers cas, l'apport de N n'est pas du tout rentable. De telle faible efficacité

pourrait être due à une combinaison inadéquate des unités fertilisantes, une mauvaise gestion des cultures, ou bien parce que la dose de N elle-même n'était pas suffisante (60 N kg/ha). Lorsque l'on suppose que le rendement rizicole moyen dans la région Alaotra est de 1,5 à 2 tonnes/ha, la capacité d'absorption de N à Anosiboribory (essai à grande échelle) pourrait être considérée comme élevée, en particulier pour le cas du Makalioka 34 (près de 100%), parce que l'augmentation du rendement y était de 1.3 à 1.8 tonnes/ha avec une faible dose d'application N (34 N kg/ha). Cela est probablement dû à l'apport de couverture au moment opportun.

3. La réponse du sol aux différents traitements fertilisants

Pour l'essai riz irrigué à Kianjasoa, le pH pour le traitement T3 (apport de SA sans matière organique) était assez bas pour causer un problème d'acidité (tableau 11), bien que le rendement n'était pas affecté (tableaux 10 et 13). Généralement, la submersion neutralise le pH, qu'il soit faible ou élevé au départ, et que le pH en submersion devrait être mesuré pour connaître la situation réelle. Par ailleurs, il est intéressant de trouver l'effet résiduel des traitements sur le pH et le rendement avec et sans apport d'engrais.

Dans le cas de la riziculture pluviale, il est difficile de comprendre pourquoi le pH, le Ca et le Mg échangeables n'ont pas beaucoup changé après l'application de dolomie. Nombreux résultats comme le K échangeable élevé à T6 et la très faible valeur de P assimilable dans le cas de la riziculture irriguée (tableau 11) et la faible variation de Δ pH pour le cas de la riziculture pluviale (tableau 12) doivent être vérifiés.

4. Réponse inhabituelle de la plante à un traitement fertilisant

Plusieurs phénomènes inattendus ont été observés. Par exemple, à Mahitsy, la récolte sur les parcelles avec SA a été retardée d'environ un mois par rapport à celles avec urée, à Kianjasoa en riziculture pluviale la récolte a été retardée d'une semaine dans le traitement sans engrais; pour le riz pluvial à Mimosa, des symptômes de pyriculariose ont été observés dans T5 et T6 (traitement urée et SA avec dolomie). Ces événements doivent être strictement surveillés durant les prochains essais.

5. Nécessité d'améliorer la méthode de mesure

Les mesures des composantes du rendement et le poids des pailles secs à la récolte n'ont pas été présentées dans le texte parce que les données obtenues sont irréalistes ou manquent de coordination, même si elles sont des éléments importants pour l'analyse de la croissance des plantes et de la structure de rendement.

Le rendement calculé sur la base des composantes du rendement devrait coïncider au rendement réel avec une marge d'erreur de 10% à 20% au maximum. Dans le cas contraire, une analyse significative est peu probable. Plusieurs résultats ont montré 100% ou d'erreur plus grande. L'échantillonnage des plantes pour la mesure des composantes de rendement ne doit pas être aléatoire, mais systématique pour éviter l'erreur humaine

L'analyse de la croissance des plantes en utilisant le concept de production de matière sèche a grandement contribué à l'amélioration variétale (Tanaka, et al. 1966). L'indice de récolte est

le rapport entre le poids des grains et le poids total de matière sèche (poids des grains+poids des pailles), ce qui signifie le potentiel biologique des plantes pour produire des graines. Sa valeur est à peu près égale à 0,5 pour les variétés modernes et à haut rendement et d'environ 0,3 pour les variétés traditionnelles. Pourtant, quelques valeurs obtenues étaient égales à 0,15 par exemple. La méthode de mesure, y compris tous les processus d'échantillonnage des plantes jusqu'au séchage, aurait pu être inappropriée.

6. Conclusion et perspectives

Les résultats obtenus dans cette étude sont prometteurs pour une utilisation ultérieure du SA à Madagascar. Dans de nombreux cas, le SA était aussi efficace que l'urée. Pourtant, les résultats ont montré un risque d'utilisation à plusieurs reprises du SA: possibilité d'acidification des sols. D'autre part, la supériorité du SA comme source de S a été observée. L'apport nutritif à l'aide d'engrais chimiques devrait être la première priorité pour promouvoir la production de riz dans le pays, parce que la carence en éléments nutritifs est dominant dans de nombreux champs de culture. Les résultats obtenus doivent être vérifié davantage pour la prochaine campagne 2012-2013.

Le cadre de l'expérimentation de la saison prochaine serait identique à celui du présent essai. Néanmoins, plusieurs expérimentations doivent être modifiées; pour la riziculture pluviale à Mimosa, la dimension du sous-parcelle doit être augmentée à au moins 20m² y compris l'établissement d'une série complète de traitements fertilisants; à Mahitsy la parcelle d'essai doit être déplacée vers un champ voisin pour éviter le problème d'inondations dû au mauvais système de drainage; dans toutes les stations, la mesure des composantes de rendement peut être améliorée afin d'obtenir un résultat fiable pour le calcul de rendement.

De plus, les essais SA seront très utiles pour le pays, s'ils sont réalisés dans d'autres zones comme les régions côtières où autres types de sols de différentes origines géologiques existent (note 3).

Remerciements

PAPRiz est profondément reconnaissant envers le projet Ambatovy pour la fourniture de 3,5 tonnes de SA qui était totalement utilisé durant cette expérimentation. Nous remercions également tous les chercheurs, les responsables et le personnel de FOFIFAs, FIFAMANOR et CFAMA pour la conduite des essais.

Dr N. Kabaki, conseiller en chef de PAPRiz, a coordonné les essais. Dr J.Yamaguchi, un expert à court terme du JICA (ex-professeur de l'Université d'Hokkaido, Japon) a établi le cadre de l'expérimentation et compilé les résultats. Rakotoarison Hoby a traduit le texte anglais en français. Randrianandrianina Rado Narison Tahina, Consultant de PAPRiz, a révisé le rapport en entier.

Remarques

1. L'état nutritionnel des sols à Madagascar évalué par la culture en pot (tableau n°1)

Tableau n1. Croissance des plantes de riz (% , a) en fonction des traitements fertilisants (b)

No.	Type de sol	Site (c)	Province	Traitements fertilisants							
				FC	FC-P	FC-K	FC-Ca	FC-Mg	FC-S	FC-Me	
S1	Tourbeux peu évolués	Alaotra (e)	Tamatave	100	21	62	97	92	99	104	
S2	Tourbeux évolués	Alaotra (e)	Tamatave	100	29	68	100	100	99	103	
S3	Humifères à gley	Mahitsy	Tananarive	100	14	31	90	98	42	98	
S4		Ivoloina	Tananarive	100	21	39	88	101	63	97	
S5		Ambila	Manakara	100	20	32	35	75	54	89	
S6		Antsirabe	Tananarive	100	38	73	94	79	30	59	
S7		Matsiatra	Fianarantsoa	100	20	24	97	80	87	103	
S8		Anjozororo	Tamatave	100	21	41	88	91	62	91	
S9		Argileux tachetés- hydromorphique à pseudo-gley	Ambatobe	Tananarive	100	23	43	92	95	47	96
S10			Andramasina	Tananarive	100	19	48	93	96	56	95
S11	Fenerive		Tamatave	100	11	48	65	112	67	100	
S14	Alluvion	Ampangabe	Tananarive	100	31	50	97	84	61	101	
S15		Lac Alaotra (f)	Tamatave	100	55	79	93	106	98	97	
S16		Marovoay	Majunga	100	18	90	100	91	99	96	
S17	Ferrugineux tropical	Taheza	Tulear	100	63	87	104	101	51	100	
Moyenne				100	27	54	89	93	68	95	

a) La croissance des plantes en pourcentage est 100 en FC pour l'essai en pot . b) Culture en pot. c) Incluant la plupart des zones productives de riz de Madagascar. d) FC, dose complète des éléments nutritifs (N+P+K +Ca+Mg+S+Me); Me, micro-éléments (Zn, B, etc.?). e) PC23, moins développés. f) PC23, développé, dans la Station Alaotra.

Source: J. Velly, et al. (Le tableau ci-dessus est modifié par J. Yamaguchi).

2. L'état nutritionnel des sols

Tableau n2. Fréquence (%) des carences en éléments nutritifs dans la région d' Alaotra et les hautes-terres (a)

Agro- écologie	Région	n	Eléments nutritifs					
			N	P	K	S	Zn	B
Bas-fonds	Alaotra Mangoro	7	43	14	100	29	57	0
	Bongolava	7	29	29	100	29	14	14
	Vakinankaratra	8	25	0	50	25	0	13
Plateaux	Bongolava	4	100	50	100	75	0	0
	Vakinankaratra	3	100	67	67	100	0	0
	Itasy	2	100	0	50	100	0	0

Source: J. Yamaguchi, Madagascar report to JICA, 2011.

a) Constaté après analyse chimique du sol.

Le nombre d'échantillons(n) n'est pas suffisant pour déterminer une tendance générale. Aucune carence apparente en Mn et Si n'a été détectée.

3. Contexte géologique (figure n1)

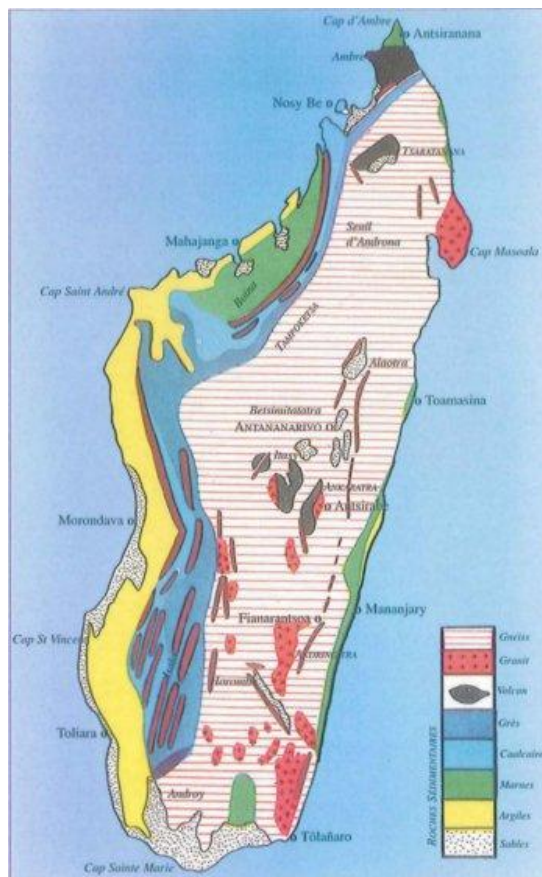


Figure n1. Carte géologique de Madagascar

4. Révision éventuelle du rapport

La première version préparée le 20 Oct. 2012 a été révisée après la collecte des données qui étaient insuffisants.

5. Rapport en provenance des stations

Les rapports de chaque station ne sont pas joints au présent rapport. D'autres données détaillées fourniraient des informations complémentaires. Elles sont disponibles au bureau PAPRiz sur demande (pap.riz @ moov.mg).

Références

Tanaka, A., Kawano, K. and Yamaguchi, J., 1966: Photosynthesis, respiration, and plant type of the tropical rice plant. Technical Bulletin 7, 46pp. International Rice Research Institute, Los Baños, Philippines.

Velly, J., Celton, J. and Roche, P., 1966: Fertilisation de Fond en Rizière à Madagascar - Redressement de la Fertilité Résultats 1964-1966. Institut de Recherches Agronomiques à Madagascar. pp.87. IRAT, Document no. 103.



Topics

1. Yield components
2. Grain yield response to fertilizers
3. Harvest index
4. Flowering date

Several examples are cited in the presentation.

Yet, all those are examples: similar examples are prevalent in your experiment procedures and results.

1. Yield components

The object of yield component analysis is to find:

1. the most limiting component, and
2. how we can improve it.

An example of grain yield and yield components

Treat-ment (N kg /ha)	No. of hills per m ²	No. of panicles per hill	No. of grains per panicle	1,000-grain weight (g)	Grain yield (ton/ha)
0	20	14	60	26	2.0
60	20	15	90	25	6.2

Treatment can be applicable to any comparison like varietal difference.

What do you reduce from the result?

Misleading data!

Examples of grain yield and yield components

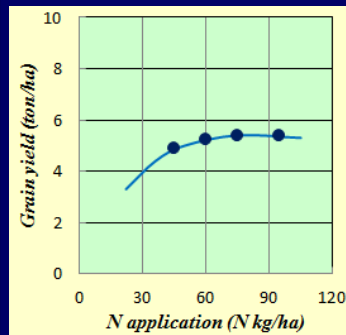
Treat-ment (N kg /ha)	No. of hills per m ²	No. of panicles per hill	No. of grains per panicle	1,000-grain weight (g)	Grain yield (ton/ha)		
					Calcu-lated	Actual	Ratio
Accepted	0	20	7	60	2.2	2.0	1.1
	60	20	14	80	5.6	6.2	0.9
Not-accepted	0	20	14	60	4.4	2.0	2.2
	60	20	15	90	6.8	6.2	1.1

Withhold the publication of such a result.

When the calculated result is beyond an scientific allowance, modify your measurement method.

Only the systematic sample selection (not by visual sampling) can avoid such an error.

2. Grain yield (GY) response to fertilizers



$P_2O_5 : K_2O$
= 45 : 0 kg/ha

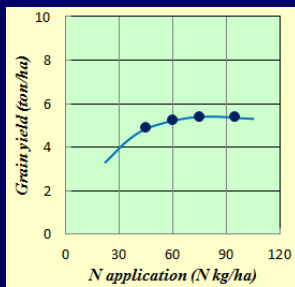
Variety: unknown

At PC23, 2011-12.

Result:
Maximum grain yield (5.4 ton/ha) at 75 N kg/ha.

Effect of N application on GY

Are you satisfied with the result?



Q1: Maximum?

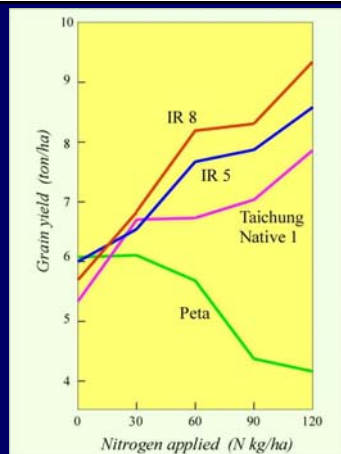
Q2: Significant difference among N rates?

Q3: P & K rate?

Neither citation of background information, nor reference with others.

Two possible interpretations of the result:

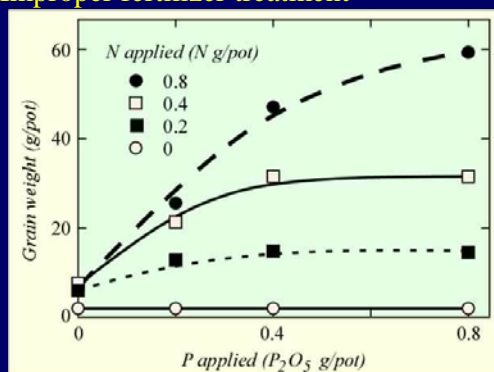
1. Poor variety characteristics
2. Control by the minimum law (improper fertilizer treatment)



(1) Variety

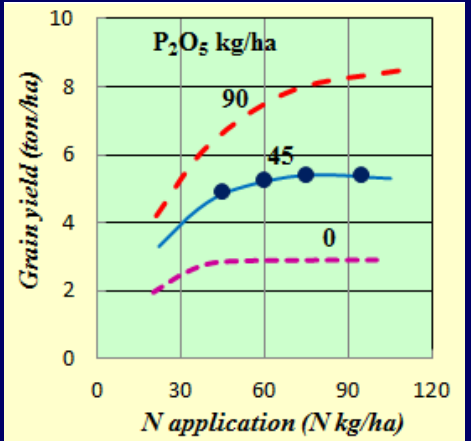
Varietal difference in N response (Los Banos in dry season, 1967)

(2) Improper fertilizer treatment



Interaction between the two elements

Another feasible fact



1. Describe the background information, including varietal selection, in proposal.
2. Critically analyze your data by referring another results in the result.

3. Harvest index (HI)

$$HI = \frac{GW}{TDW} = \frac{GW}{(GW+SW)}$$

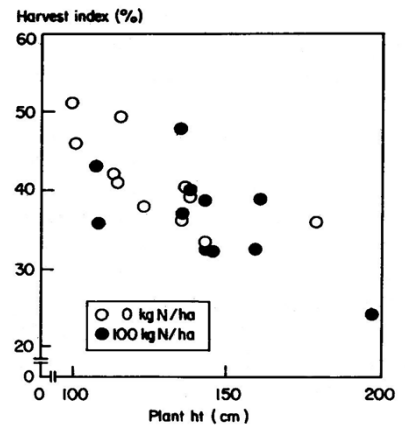
Where,

GW: grain wt.,
SW: straw wt.,
TDW: total dry wt.

An example of HI reported

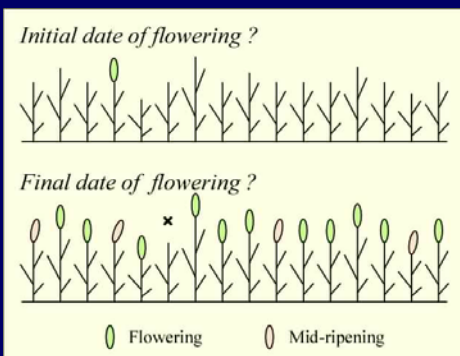
N treat.	DW (kg/m ²)		HI
	grain	straw	
T1	0.31	0.71	0.30
T2	0.38	0.98	0.28
T3	0.37	2.06	0.15
T4	0.44	2.18	0.17
T5	0.47	1.80	0.21
T6	0.67	1.88	0.26

Unrealistic result !



HI of various varieties (IRRI, 1966)

4. Flowering date



How can we record them with impure seeds?

The End

平成 24 年 12 月 05-06 日

専門家業務完了報告書

在マダガスカル国 日本大使館
JICA マダガスカル事務所

- 報 告 版 -



専門家氏名 : 山口 淳一
プロジェクト名: 中央高地コメ生産性向上プロジェクト
任 国 : マダガスカル共和国
在 勤 地 : アンチラベ, アンタナナリボ
配 属 機 関 : マダガスカル共和国・農業省
指 導 分 野 : 水稻肥培管理
派 遣 期 間 : 平成 24 年 8 月 23 日～平成 24 年 12 月 08 日

活動内容の概略

1. ポット試験による土壌肥沃度の評価
2. 硫安試験 (2011-2012 雨季作) 結果
3. その他：バレイシヨ青枯れ病、Morondava 灌漑地区での稲作、FOFIFA 委託試験、FOFIFA 分析センター設備・機器、資料収集、堆厩肥の収集、イネ栽培暦の情報収集、など - 省略

1. ポット試験による土壌肥沃度の評価

要約：PAPRiz が対象とする5県における 12 土壌を対象にして、ポット栽培によって土壌肥沃度を評価した。欠乏養分として、リンで最も顕著で、ついで窒素、イオウであり、亜鉛欠乏は局所的に認められた。施肥区における乾物生産量は施肥反応性に依存する割合が大きかったが、無施肥区における乾物生産能も少なからず寄与した。これら3要因間の関係に基づいて、供試土壌を生産性の観点から4分類した。なお、無施肥区において生産性の小さかった土壌では、無施肥区に対する施肥区の乾物生産量増加割合が 20-40 倍に達し、適切な肥培管理によって生産性の大幅な向上が期待できる。

今後、(a) ポット試験結果の圃場栽培による確認試験、(b) 適切な肥培管理技術の構築にあたり、施肥量を異にした栽培試験、(c) 生産性・施肥反応性の差異をもたらす要因解明のためには土壌分析、(d) さらに変異に富んだ土壌を対象とする試験、などが必須である。

注) 土壌生産性が大きく異なると考えられる土壌を供試して、肥沃度評価のための第2ポット試験を開始した。

1) 目的: 各種土壌における (a) 養分欠乏程度を量的に評価し、(b) 同一条件下でイネを栽培することによって生産性を対等に比較する。

2) 実験方法

栽培方法: ビニールハウス (DRDR-Vakinankaratra) における湛水・ポット栽培。

Table 1. Nutrient treatment in soil fertility evaluation trial

no.	Treatment		Nutrient				
	abbr.		N	P	K	S	Zn
1	None	0	-	-	-	-	-
2	PK	-N	-	+	+	-	-
3	NK	-P	+	-	+	-	-
4	NP	-K	+	+	-	-	-
5	NPK	NPK	+	+	+	-	-
6	NPK+S	+S	+	+	+	+	-
7	NPK+S+Zn	+Zn	+	+	+	+	+

- Not applied, + Applied. NPK: reference standard.

栽培期間: 40 日間 (2012/10/01 - 11/10)

Table 2. Soils used for fertility evaluation by the pot trial 1

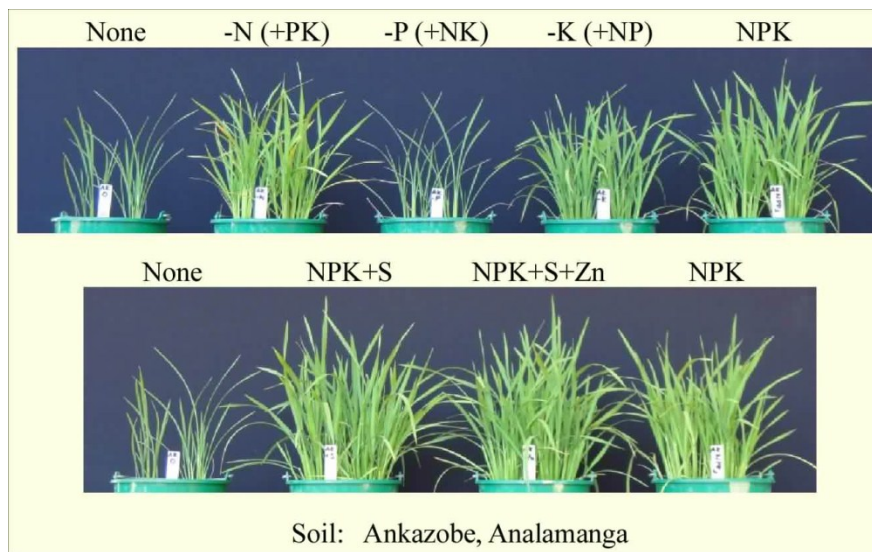
Ser. no.	Agro-climatic zone	Location		Information on crop productivity
		Region	Site	
1	Central	Analamanga	Andramasina	Low
2	highland		Ankazobe	Medium
3		Itasy	Ambatomanjaka	High
4			Ambohitraivo	2nd lowest
5			Ampahimanga	Low
6		Vakinankaratra	Mahalavolona (L)	Low
7			Mahalavolona (H)	High
8			Sahalombo (L)	Low
9			Sahalombo (H)	High
10	Mid-west	Bongolava	Akompomboay	Medium
11	Alaoatra	Alaoatra-Mangoro	Maille 4, PC23	Medium
12			Maille 5, PC23	Low

Mahalavolona (L) is the reference soil between Trials 1 and 2.

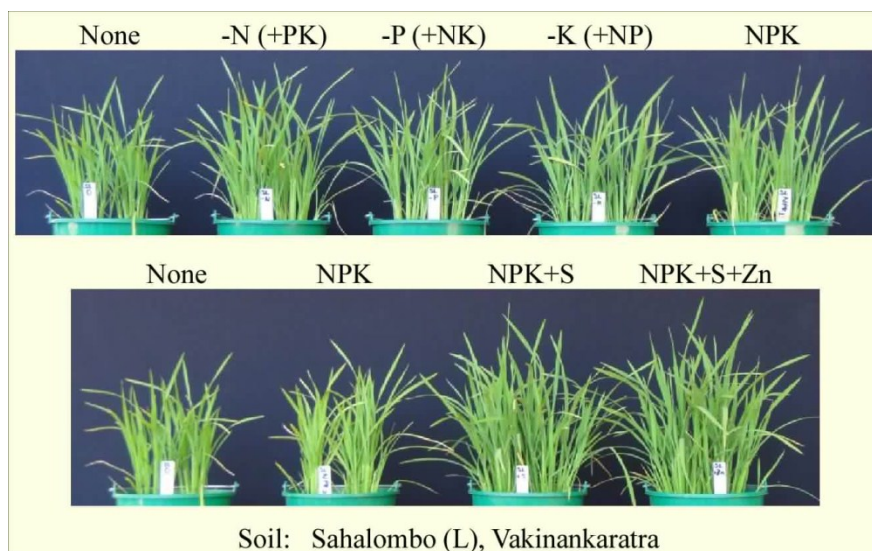
3) 実験結果

a) 処理(養分 x 土壌)によるイネの生育反応

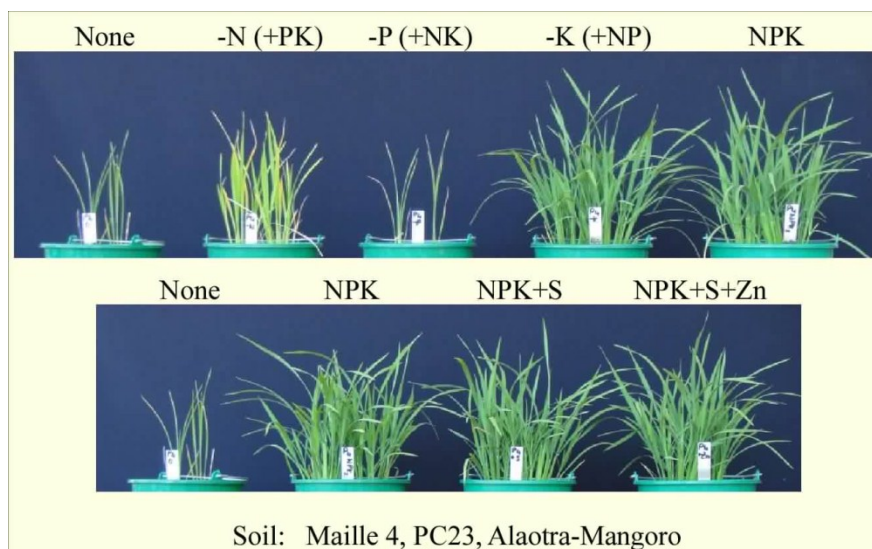
a-1: 養分処理間比較(例示)



P, S >> N, K, Zn

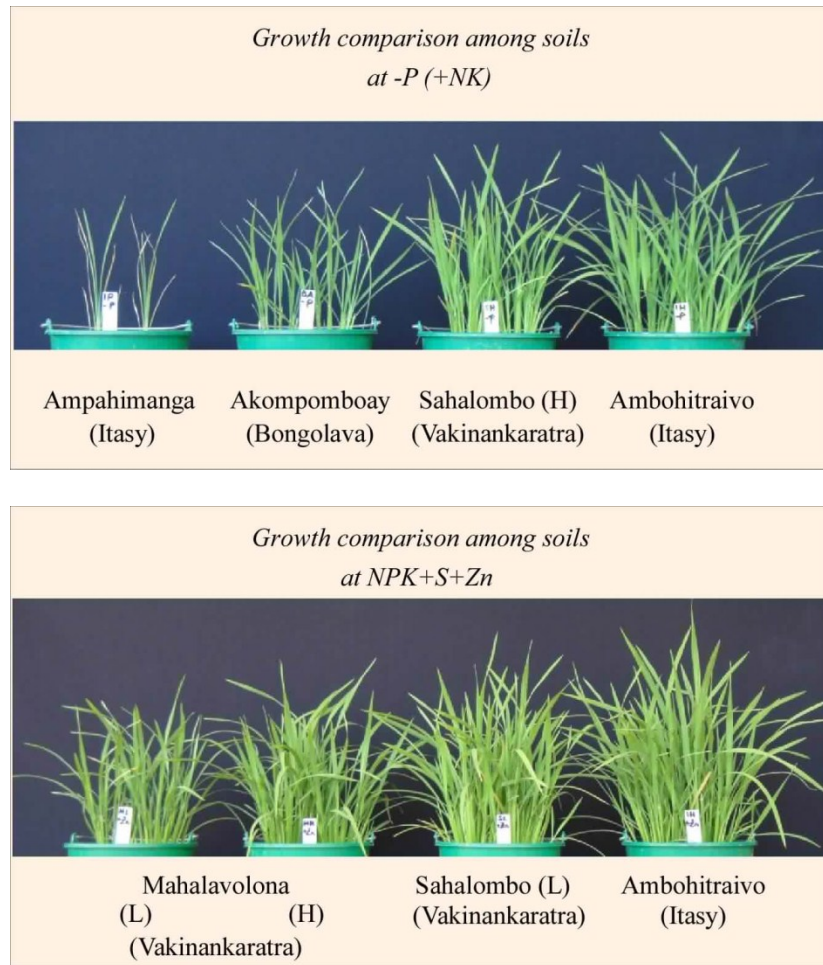


S >> N, P, K, Zn

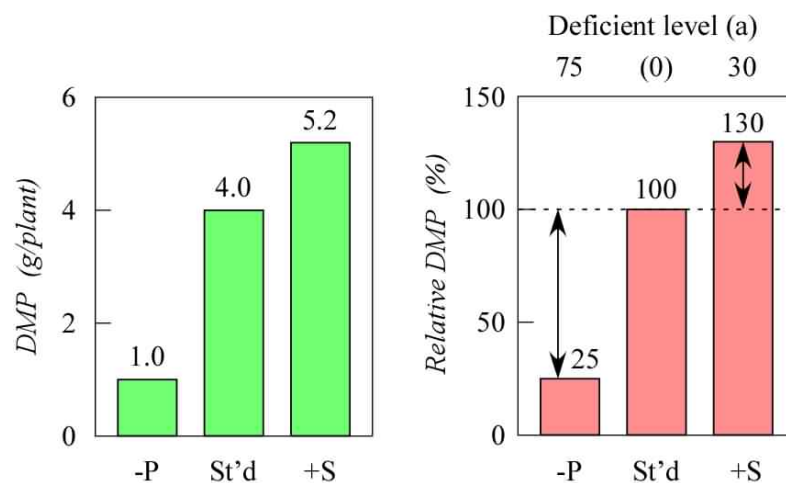


P > N >> K, S, Zn

a-2: 土壤間比較 (例示)



a-3: 養分欠乏程度の定量化



An example of estimating a deficiency level based on dry matter production (DMP) and relative DMP.

a) The balance of relative DMP between a specific nutrient treatment and the reference standard (NPK).

Fig.1 養分欠乏レベルの算出

Categorized deficiency level

Ser. no.	Abbr.	Soil	Element					Legend	Deficiency category	Deficiency level																															
			N	P	K	S	Zn			from	to																														
1	AD	Andramasina	Yellow	Red	Green	Green	Green		Severely	76	107																														
2	AK	Ankazobe	Green	Red	Green	Green	Pink					Highly	51	75																											
3	IB	Ambatomanjaka	Green	Red	Green	Green	Red								Fairly	26	50																								
4	IH	Ambohitraivo	Yellow	Yellow	Green	Yellow	Green											Less	-23	25																					
5	IP	Ampahimanga	Red	Red	Green	Green	Green														Less	-23	25																		
6	ML	Mahalavolona (L)	Green	Red	Green	Green	Green																	Less	-23	25															
7	MH	Mahalavolona (H)	Pink	Pink	Green	Green	Yellow																				Less	-23	25												
8	SL	Sahalombo (L)	Green	Green	Green	Red	Green																							Less	-23	25									
9	SH	Sahalombo (H)	Green	Green	Green	Red	Yellow																										Less	-23	25						
10	BA	Akompomboay	Green	Pink	Green	Pink	Green																													Less	-23	25			
11	P4	Maille 4, PC23	Pink	Red	Green	Green	Green																																Less	-23	25
12	P5	Maille 5, PC23	Red	Red	Yellow	Green	Green																																		

Fig. 4 各種土壌における養分欠乏の状況

b) 生産性の土壌間比較

Fig. 5 施肥時における乾物生産の成立要因

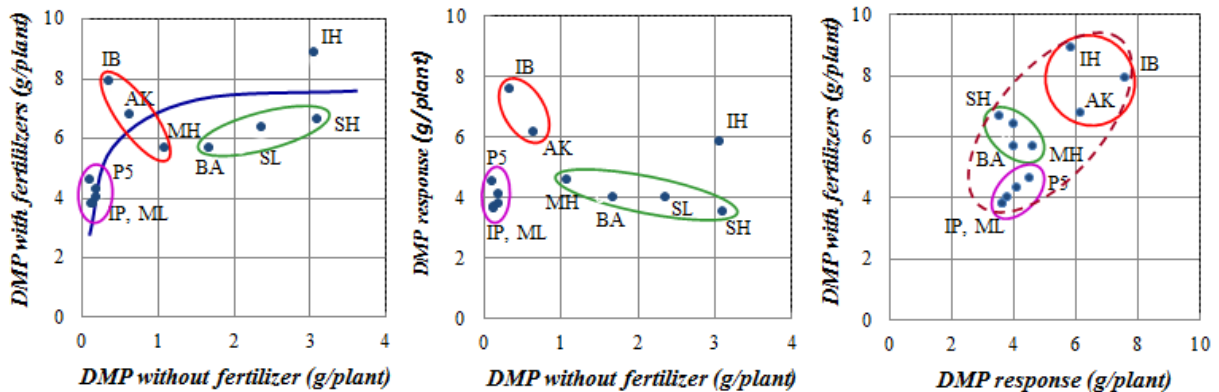
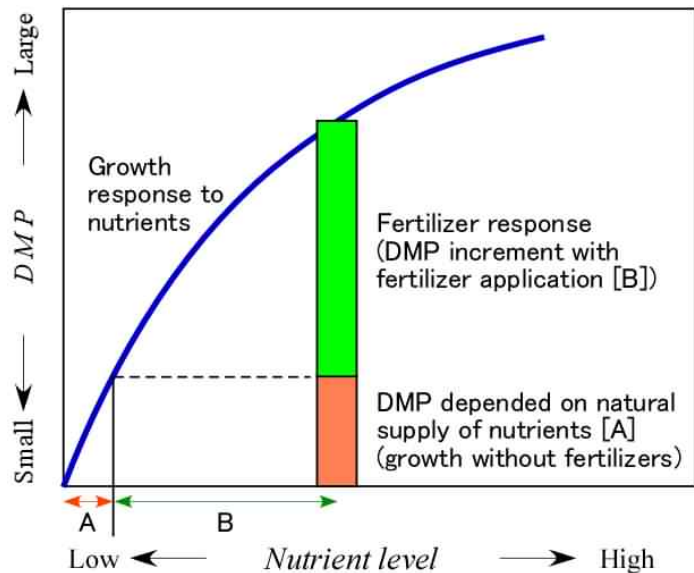


Fig. 6 (i) 無施肥区における乾物生産量、(ii) 施肥区における乾物生産量、(iii) 施肥による乾物生産増加量の相互関係。

Table 3. Soil classification by productivity

Group	Soil	Productivity		Response
		+F	-F	
I	Ambohitraivo	L	L	M
II	Ankazobe	M-L	S	L
	Ambatomanjaka			
III	Mahalavolona (H)	M	M-L	S
	Sahalombo (H)			
	Sahalombo (L)			
	Akompomboay			
IV	Andramasina	S	S	S
	Ampahimanga			
	Mahalavolona (L)			
	Mille 4, PC23			
	Mille 5, PC23			

-F: without fertilizer, +F: with fertilizers.
L: large, M: medium, S: small.

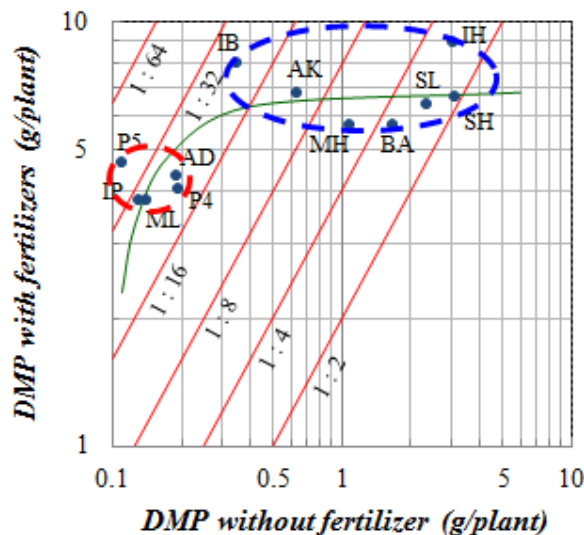


Fig. 7 施肥による増加割合
赤点線内は Group IV.

2. 硫安試験 (2011-2012 雨季作) 結果

要約：硫安肥料の施用効果について、水稲栽培を4カ所、陸稲栽培を2カ所で実施し、検討した。イネの単収は硫安・尿素間で一般に (14 事例のうち 10 例で) 差異はなかったが、硫安施用によって特定の場所・条件下で正・負の効果を与える例が存在した。硫安の有効利用を図るために、試験を継続する。

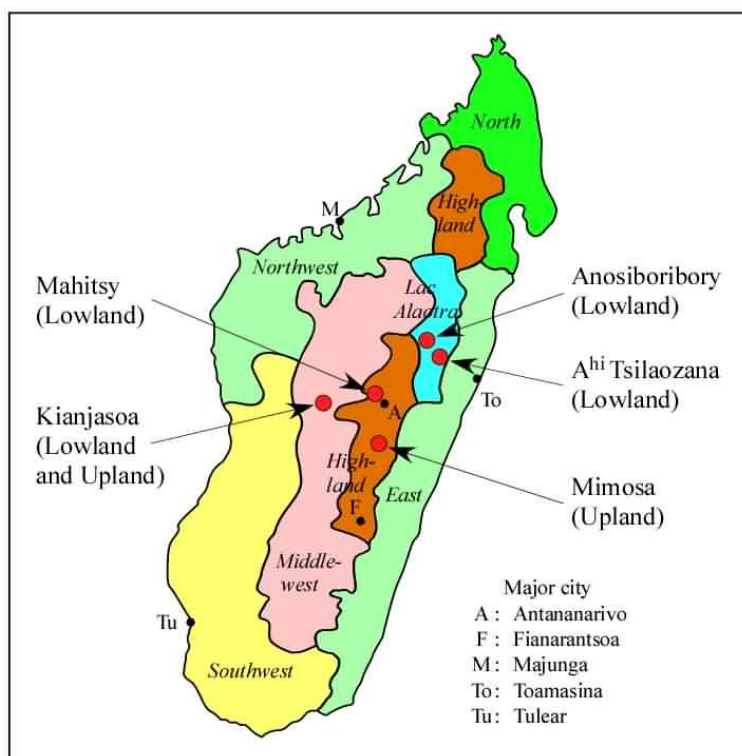


Fig. 8 各種の農業気象地帯における硫安試験の位置

Table 4. Grain yield (GY) of rice plants grown with urea and AS application at various locations.

Agro-ecology	Location	Cultivar	Dolo- mite (kg/ha)	Grain yield (ton/ha)							
				Without OM			With OM				
				0	Urea	AS	0	Urea	AS		
Lowland	Kianjasoa	Mailaka	-	2.8	3.2	3.2	2.8	3.3	3.2	a	
	Mahitsy	FOFIFA 160	-	1.4	3.1	2.5	2.2	3.4	3.4	a	
	A ^{hi} Tsilaozana	X1648	-	4.9	5.9	4.8	5.3	5.8	6.0	a	
	Anosiboribory	Makalioka 34	Tsemaka	-	-	3.4	3.3	-	-	-	
			Tsemaka	-	-	2.3	2.2	-	-	-	
Upland	Kianjasoa	Fotsiambo	0	1.8	3.9	3.5	2.4	4.1	4.1	a	
			300	2.4	3.5	3.6	2.4	3.4	3.6		
	Mimosa	FOFIFA 161	0	1.7	-	-	2.1	2.1	2.5		
			300	-	-	-	-	2.6	3.7		

OM: organic matter. a) Adjusted to 14% moisture.

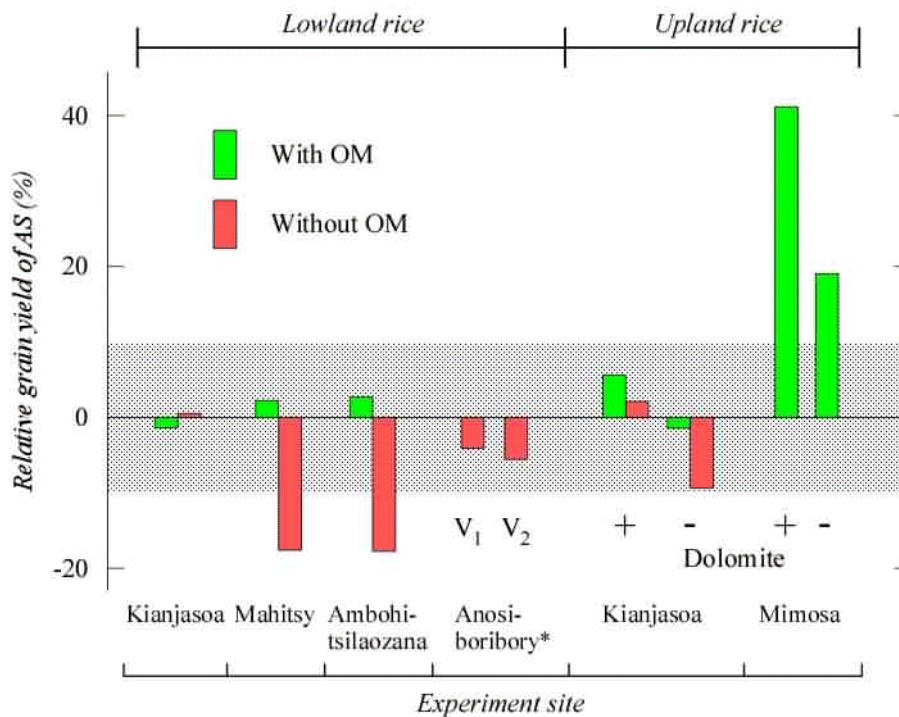


Fig. 9 尿素施与に対する硫安施与時における相対単収

$$\text{硫安の相対単収} = (\text{AS} - \text{U}) * 100 / \text{U}$$

AS: 硫安施与時の単収、U: 尿素施与時の単収

注) ± 10% 以内は圃場栽培試験における一般的誤差範囲

* 大規模栽培 (約 22 ha)