



Original Paper

<http://ajol.info/index.php/ijbcs>

<http://indexmedicus.afro.who.int>

Effet résiduel de l'inoculation rhizobienne du soja [*Glycine max* (L.) Merrill] sur la fertilité du sol et la productivité du maïs semé en rotation au Bénin

Mahougnon Charlotte Carmelle ZOUNDJI^{1,2,3*}, Herbert TOSSOU³,
Ibouraiman BALOGOUN^{1,2}, Tobi Moriaque AKPLO³, Sèmèvo Oslo GANGNON³,
Opportune TOSSOU⁴, Félix KOUELO ALLADASSI³ et Pascal HOUNGNANDAN³

¹ Laboratoire des Sciences Végétales, Horticoles et Forestières, Université Nationale d'Agriculture, BP 43 Kétou, Bénin.

² Ecole de Gestion et de Production Végétale et Semencière, Université Nationale d'Agriculture ; BP 43 Kétou, Bénin.

³ Unité de Recherche en Microbiologie, Écologie Microbienne, Conservation des eaux et des Sols (UR-MEMCES), Laboratoire des Sciences du Sol, Faculté des Sciences Agronomiques, Université d'Abomey-Calavi ; 01 BP 526, Cotonou, Bénin.

⁴ Université Catholique de l'Afrique de l'Ouest, 04 BP 928, Cotonou, Bénin.

*Corresponding author; E-mail: zoundjicharlotte@gmail.com

Received: 28-12-2023

Accepted: 26-03-2024

Published: 30-04-2024

RESUME

Le coût élevé de l'azote et le bilan environnemental de son processus industriel orientent les recherches vers des alternatives durables. Cette étude visait à évaluer l'arrière-effet du soja inoculé avec des souches de rhizobium sur la fertilité du sol et la productivité du maïs. L'inoculation (Témoin non inoculé, FA3 et STM 3043) et le phosphore (0 et 50 P.ha⁻¹) ont été les facteurs étudiés dans un dispositif expérimental en bloc de Fisher répété quatre fois. Les paramètres de croissance et de rendement ainsi que les exportations en azote et en phosphore ont été déterminés. Les résultats ont montré que les souches, l'apport du phosphore et leur interaction ont amélioré la croissance et le rendement du maïs. L'apport de 50 kg de phosphore a induit les meilleurs rendements quelle que soit la souche de rhizobium. Cependant, la souche STM3043 en combinaison avec le phosphore a induit les meilleurs rendements en grain (2448,99 ± 126 kg/ha) du maïs et le meilleur indice de récolte (0,38 ± 0,01) suivie de la souche FA3. De plus, les exportations d'azote et de phosphore sont significativement plus élevées au niveau de la souche STM3043 associée au phosphore. Cette technologie peut donc être utilisée pour améliorer la croissance et le rendement du maïs au Bénin.

© 2024 International Formulae Group. All rights reserved.

Mots clés : Légumineuses, Système de culture, Fixation de l'azote, Fertilité des sols, Bénin.

Residual effect of rhizobial inoculation of soybean [*Glycine max* (L.) Merrill] on the productivity of maize sown in rotation in Benin

ABSTRACT

The high cost of nitrogen and the environmental balance of its industrial process lead us to find other sources of nitrogen food to reduce the quantities from this industry. The aim of this study was to evaluate the residual effect of soybeans inoculated with rhizobium strains on corn productivity. Inoculation (non-inoculated

control, FA3 and STM 3043) and phosphorus (0 and 50 P.ha⁻¹) were the factors studied in a Fisher block design repeated four times. Growth and yield parameters as well as nitrogen and phosphorus uptake were determined. The results showed that the strains, phosphorus supply and their interaction improved maize growth and yield. The addition of 50 kg of phosphorus induced the best yields whatever the rhizobium strain. However, strain STM3043 in combination with phosphorus induced the highest grain yields (2448.99 ± 126.00 kg.ha⁻¹) of maize and the best harvest index (0.38 ± 0.01), followed by strain FA3. In addition, Nitrogen and phosphorus uptake were significantly (P < 0.05) higher for strain STM3043 combined with phosphorus. This technology can therefore be used to improve maize growth and yield in Benin.

© 2024 International Formulae Group. All rights reserved.

Keywords: Legumes, Cropping system, Nitrogen fixation, Soil fertility, Benin.

INTRODUCTION

Le maïs (*Zea mays*) est l'une des cultures les plus répandues dans le monde. C'est une importante source d'hydrates de carbone et il est consommé comme aliment de base par des millions de personnes sur tous les continents (Veljković et al., 2018 ; Bazongo et al., 2023). Au Bénin, le maïs (*Zea mays*), est la principale céréale largement cultivée pour ses grains riches en amidon. Il est cultivé sur toute l'étendue du territoire et occupe la première place avec près de 70% des superficies céréalières emblavées (MAEP, 2017). En effet, le maïs constitue l'aliment de base de nombreuses populations notamment au Sud du pays avec une diversité de formes de consommation : maïs frais, maïs grillé, pâte de maïs, galette (Aguegue et al., 2017 ; Sossou et al., 2023). Ses grains servent également dans la production animale car ils entrent dans la composition de provende et peuvent être utilisés en fourrage ou ensilage (Badou et al., 2013). Malgré l'importance irréfutable de la culture de maïs pour garantir la sécurité alimentaire, et les nombreuses recherches effectuées pour améliorer sa productivité, elle demeure en proie à de nombreuses contraintes parmi lesquelles figure le problème de la fertilité des sols.

En effet, la faible fertilité des sols est largement reconnue comme un facteur majeur contribuant à la faible productivité agricole en Afrique sub-saharienne (Saïdou et al., 2012 ; Ndiaye et al. 2023). Parmi les nutriments, la carence en azote est l'un des principaux facteurs limitant pour les céréales (Falconnier et al., 2023). L'application des engrais azotés est alors un élément essentiel et important pour

accroître la productivité du maïs au Bénin. L'utilisation des engrais minéraux demeure cependant problématique non seulement à cause de leurs coûts élevés comparativement aux faibles revenus des producteurs, mais aussi à cause de leurs indisponibilités en quantité et en qualité et leurs effets toxiques à long terme sur l'environnement (Tayoh, 2020). Dans ces conditions, par leur capacité à fixer l'azote de l'atmosphère grâce au processus de la fixation symbiotique, les cultures légumineuses fixatrices d'azote se présentent comme une alternative pour améliorer la nutrition azotée, augmenter les rendements des cultures, réduire la pression des adventices et augmenter la capacité à régénérer la fertilité du sol (Falconnier et al., 2023). Un système de cultures utilisant une légumineuse fixatrice d'azote en rotation ou en association, a un meilleur bilan en azote et une meilleure productivité qu'une monoculture de céréales par exemple (van Heerwaarden et al., 2018). De plus, la fixation de l'azote par les légumineuses peut être améliorée par l'inoculation qui consiste à introduire les souches de Rhizobium dans la rhizosphère de la plante hôte afin de s'assurer que la souche de Rhizobium la plus adaptée y soit présente en nombre suffisant et permettre une nodulation abondante alliée à une bonne fixation d'azote (Falconnier et al., 2023).

Cependant, la plupart des études qui ont quantifié la réponse des légumineuses à l'inoculation ont rapporté les effets uniquement sur la culture inoculée (Zoundji et al., 2015 ; van Heerwaarden et al., 2018 ; Hounngandan et al., 2020), sans évaluer les effets de cette pratique sur les cultures en rotation. Étant

donné que l'inoculation peut améliorer la nutrition azotée des légumineuses, on s'attend à ce que l'azote disponible pour la culture suivante augmente. L'adoption de cette technologie reste cependant encore faible et sans impact visible sur les exploitations agricoles au Bénin. Compte tenu du rôle que joue le soja dans la rotation des cultures et dans l'amélioration de la fertilité des sols, la présente étude s'est intéressée à voir la contribution de l'inoculation rhizobienne du soja à l'amélioration de la productivité des systèmes de culture au Bénin. L'objectif général de cette étude était alors d'évaluer l'arrière-effet de l'inoculation du soja avec différents souches de rhizobium sur la productivité du maïs et la fertilité du sol au Bénin.

MATERIEL ET METHODES

Milieu d'étude

La présente étude a été conduite à Ina dans la commune de Bembèrèkè, sur le site expérimental du Centre de Recherche Agricole (CRA-Nord) de l'Institut National des Recherches Agricoles de Bénin (INRAB). Ce site est situé à 70 km au Nord de Parakou et à une vingtaine de mètres de la voie inter-Etat Parakou-Niamey et caractérisé par les coordonnées géographiques suivantes : longitude E 2°43'55'' et latitude N 9°56'47''. La commune de Bembèrèkè se caractérise par un climat soudano-guinéen avec un régime pluviométrique s'étendant d'avril à octobre. La moyenne des précipitations oscille entre 1100 et 1200 mm répartie sur les mois de mars à octobre avec une légère diminution en août (Igue et al., 2000). Les principaux types de sols sont ferrugineux tropicaux ayant une profondeur plus ou moins importante avec une perméabilité et une porosité généralement bonnes.

Matériel

Le matériel végétal utilisé était constitué de la variété de maïs OBA TANPA fournie par le Centre de Recherche Agricole (CRA) Nord-Bénin. C'est une variété à pollinisation libre d'un cycle végétatif intermédiaire de 105 jours, (couleur des graines

: blanche ; recouvrement de l'épi : bon ; poids de 100 grains : 23 g ; texture du grain : corné denté ; Tolérante à la rouille et au MSV (Maize Streak Virus), Sensible au striga avec un rendement potentiel de 4 à 6 t.ha⁻¹. Le matériel microbien utilisé était l'inoculum à base de deux souches de rhizobium que sont : FA3 et STM 3043. Ces souches ont été obtenues du Laboratoire des Symbiotes Tropicales et Méditerranéennes de Montpellier en France. L'engrais phosphaté était apporté sous forme de Tri Super Phosphate (TSP) contenant 46% de P₂O₅.

Méthode

Dispositif expérimental

L'expérimentation a été installée sur des parcelles ayant abrité un essai d'inoculation du soja un an auparavant. Le dispositif expérimental était un Bloc Aléatoire Complet (BAC) à six traitements et quatre répétitions soit 24 unités expérimentales de 80 m² chacune. L'inoculation et le phosphore représentaient les facteurs d'étude. L'inoculation avait trois niveaux (non inoculé, inoculé avec STM 3043, inoculé avec FA3) tandis que le phosphore avait deux niveaux (0 et 50 kg P₂O₅ ha⁻¹) donnant ainsi un total de six traitements : témoin absolu (non inoculé) ; non inoculé + P₂O₅ ; inoculé avec FA3 ; inoculé avec STM 3043 ; inoculé avec FA3 + P₂O₅ ; inoculé avec STM 3043 + P₂O₅. L'arrière-effet de l'inoculation rhizobienne sur le maïs a été testé en année 2 sur les parcelles correspondantes. Après nettoyage du terrain, le piquetage a été refait en respectant les mêmes unités expérimentales de l'essai précédent (essai sur le soja). Ensuite un labour à plat a été réalisé sur toutes les unités expérimentales. Après avoir réalisé les lignes de semis suivant un écartement de 80 cm entre lignes, le semis a été fait à une densité de 62500 plant.ha⁻¹). Deux sarclages ont été nécessaires tout au long de l'expérimentation ; le premier est effectué à 30 Jours Après Semis (JAS), le second à 60 JAS.

Collecte des données

Paramètres de croissance

La hauteur des plants a été mesurée sur un échantillon de quatre plants sélectionnés de façon aléatoire au niveau de chaque unité

expérimentale. Les plants échantillonnés ont été sélectionnés au centre de la parcelle en laissant les plants de bordure de chaque côté. Ces plants ont été ensuite étiquetés afin de faciliter leur repérage lors des mesures suivantes. A l'aide d'un mètre ruban, la hauteur des plants a été mesurée du collet à la ligule de la dernière feuille la plus déployée à 25, 40, 55 puis 70 JAS (floraison). Ces différentes hauteurs ont servi à la détermination de la vitesse de croissance des plants de maïs dans le temps. Le diamètre des plants au collet a été mesuré à 70 JAS à l'aide d'un pied à coulisse.

Paramètres de rendements

A la maturité des graines à 120 JAS, des carrés de rendement de 10 m² ont été posés sur chaque parcelle. Les plants présents sur ces carrés de rendement ont été récoltés, découpés puis pesés afin de déterminer le poids total de la paille à la récolte. Des sous échantillons de 500 g ont également été prélevés, séchés à l'air et à l'étuve à 65°C pendant 72 heures, puis pesés afin de déterminer les poids secs des échantillons de paille. Quant au rendement en grains de maïs, les épis de maïs des plants de la surface utile ont été récoltés puis pesés. Après séchage des épis à l'étuve à 65°C pendant 72 heures, ces derniers ont été égrenés par unité expérimentale et le poids des grains et celui des rafles ont été relevés.

Les rendements en grains et en paille ainsi que l'indice de récolte ont été estimés à la récolte par la formule utilisée par Akplo et al. (2019).

$$\text{Rendement grain} = \frac{(P \times MS \times n) \times 10000}{SI}$$

Où P : Poids total des épis pesés au champ (kg) ; MS : Taux de matière sèche des épis ; SI : Surface Interprétable (m²) ; n : Rapport poids grains secs de l'échantillon après égrenage sur poids total des épis secs.

$$\text{Rendement paille} = \frac{(Pp \times MS) \times 10000}{SI}$$

Où Pp : Poids total de la paille pesée au champ (kg) ; MS : Taux de matière sèche de paille ; SI : Surface Interprétable (m²)

L'indice de récolte (IR) a été calculé à partir de la formule suivante :

$$IR = \frac{RG}{RG + RP}$$

Rg et Rp les rendements respectifs en grains et en paille.

Dynamique de l'azote et du phosphore dans le sol

Des échantillons de sol ont été prélevés au début et à la fin de l'essai soja ainsi qu'à la fin de l'essai sur le maïs pour déterminer la dynamique de l'azote et du phosphore dans le sol du site d'expérimentation. L'azote total a été mesuré par la méthode de Kjeldahl consistant en une digestion acide suivie d'une distillation de l'ammoniaque (NH₃) et de son dosage. Le sol a été traité par l'acide sulfurique (H₂SO₄) dans un rapport sol/solution 1/20 en présence d'un comprimé de catalyseur de sélénium. La distillation a été faite par entraînement de la vapeur en présence de 40 ml de NaOH 1 N. Le distillat a été recueilli dans un Erlenmeyer qui contenait 20 ml d'acide borique et 4 gouttes d'indicateur à base de rouge de méthyle. Le dosage a été fait avec l'acide sulfurique (H₂SO₄) 1/10 N. Le phosphore assimilable a été extrait suivant la méthode Bray I (solution d'extraction composée de fluorure d'ammonium et d'acide chlorhydrique à faible concentration NH₄F). Le filtrat a été coloré par le molybdate d'ammonium en présence de l'acide ascorbique et l'intensité de la coloration est déterminée par colorimétrie à la longueur d'onde de 660 nm.

Méthode de traitements et d'analyse statistique des données

Les données collectées ont été saisies avec le tableur Excel. Le logiciel Statistical Analysis System version 9.2 (SAS v. 9.2) a été ensuite utilisé pour les analyses statistiques. Ces analyses ont essentiellement consisté en des analyses de variance à deux facteurs à savoir souche de *Bradyrhizobium japonicum* et l'apport de phosphore. Les valeurs moyennes ont été ensuite séparées entre elles à l'aide du test de Student Newman-Keuls au seuil de 5%.

RESULTATS

Arrière-effet de l'inoculation du soja et du phosphore sur la croissance du maïs à 70 JAS

L'inoculation et le phosphore pris individuellement ainsi que leur interaction ont

eu un effet significatif ($P < 0,001$ à $P < 0,01$) sur le poids sec racinaire du maïs, la vitesse de croissance et le diamètre au collet des plants de maïs (Tableau 1). Le traitement STM 3043 + P_2O_5 qui a engendré un poids sec racinaire de $3,54 \text{ g.plant}^{-1}$, une vitesse de croissance de $3,13 \text{ cm.j}^{-1}$ et un diamètre au collet de $1,89 \text{ cm}$ présentait les meilleurs résultats (Tableau 2). Il a été suivi du traitement FA3+ P_2O_5 avec respectivement $3,53 \text{ g.plant}^{-1}$, $3,08 \text{ cm.j}^{-1}$ et $1,84 \text{ cm}$ pour les paramètres poids sec racinaire, vitesse de croissance et diamètre au collet des plants. Les valeurs les plus faibles ont été obtenues avec le traitement témoin qui présentait un poids sec racinaire de $2,57 \text{ g.plant}^{-1}$, une vitesse de croissance de $2,29 \text{ cm.j}^{-1}$ et un diamètre au collet des plants de $1,60 \text{ cm}$.

Arrière-effet de l'inoculation du soja et du phosphore sur les paramètres de rendement maïs

L'inoculation, le phosphore et l'interaction inoculation*phosphore ont eu un effet significatif ($P < 0,001$ à $P < 0,01$) sur les rendements grain, rafles, spathes, paille et l'indice de récolte du maïs (Tableau 3). Les résultats de l'effet combiné de l'inoculation et du phosphore sur les paramètres de rendement du maïs (Tableau 4) ont montré que l'apport de 50 kg de phosphore a induit les meilleurs rendements quelle que soit la souche de *Bradyrhizobium japonicum* associée. Le traitement STM 3043 + P_2O_5 a induit les meilleurs rendements en grains et paille ($2773,29 \text{ kg.ha}^{-1}$ et $4149,52 \text{ kg.ha}^{-1}$), les meilleurs rendements en rafles et spathes ($557,67 \text{ kg.ha}^{-1}$ et $658,58 \text{ kg.ha}^{-1}$) du maïs et le meilleur indice de récolte ($0,4$). Il a été suivi du traitement FA3 + P_2O_5 avec un rendement en grains et paille respectivement de $2522,02 \text{ kg.ha}^{-1}$ et $4095,56 \text{ kg.ha}^{-1}$, un rendement en rafles et spathes respectivement de $513,45 \text{ kg.ha}^{-1}$ et $611,13 \text{ kg.ha}^{-1}$ et un indice de récolte de $0,38$. Le traitement contrôle sans phosphore a engendré les plus faibles valeurs pour tous ces différents paramètres.

Arrière-effet de l'inoculation du soja et du phosphore sur la dynamique de l'azote et du phosphore dans le sol de la station d'expérimentation

Azote du sol

La teneur initiale en azote avant l'essai sur le soja au niveau du site d'expérimentation était de $0,13 \text{ g.kg}^{-1}$ (Tableau 5). A la fin de l'essai sur le soja, une augmentation très hautement significative ($P < 0,001$) de la teneur en azote au niveau de tous les traitements par rapport à la valeur initiale du sol en azote a été observée. Lorsqu'on considère les parcelles où le soja n'a reçu ni inoculum ni phosphore, la teneur en azote était passée de $0,13 \text{ g.kg}^{-1}$ en début d'essai soja à $0,15 \text{ g.kg}^{-1}$ en fin d'essai soja. Lorsque ces mêmes parcelles ont reçu un apport de phosphore, la teneur en azote est passée à $0,18 \text{ g.kg}^{-1}$ en fin d'essai soja. Des teneurs en azote de $0,18$ et de $0,19 \text{ g.kg}^{-1}$ respectivement pour les traitements FA3 et STM 3043 ont été notées au niveau des parcelles où le soja a été inoculé uniquement. Mais les valeurs les plus élevées en azote du sol ($0,20$ à $0,22 \text{ g.kg}^{-1}$) ont été obtenues respectivement pour les traitements FA3 + P_2O_5 et STM 3043 + P_2O_5 lorsque le soja a été inoculé avec un apport de phosphore. En fin d'essai maïs, une diminution globalement significative de la teneur en azote du sol a été observée au niveau de tous les traitements.

Phosphore assimilable du sol

La teneur initiale en phosphore assimilable au niveau du site d'expérimentation avant l'essai sur le soja était de $108,84 \text{ ppm}$ (Tableau 6). Il a été remarqué en fin d'essai soja que la teneur en phosphore assimilable du sol s'est améliorée significativement au niveau des parcelles où le soja a été inoculé avec ou sans apport de phosphore, comparativement à la teneur en phosphore assimilable initiale du sol. Lorsqu'on passe du traitement FA3 à FA3 + P_2O_5 par exemple, la teneur en phosphore assimilable au niveau du sol était de $124,93 \text{ ppm}$ à $134,89 \text{ ppm}$ respectivement. La même tendance a été notée au niveau de la souche STM 3043 où lorsqu'on passe du traitement

STM 3043 à STM 3043 + P₂O₅, la teneur en phosphore assimilable au niveau du sol varie respectivement de 129,65 ppm à 141,38 ppm. Cependant au niveau du traitement témoin n'ayant reçu ni inoculum ni phosphore, une diminution significative de la teneur en phosphore assimilable au niveau du sol (98,42 ppm) par rapport à la teneur initiale en phosphore au début de l'essai soja a été

observée. Mais le traitement P₂O₅ a connu une amélioration significative de la teneur en phosphore au niveau du sol comparativement au traitement témoin. En fin d'essai du maïs, une diminution générale de la teneur en phosphore du sol a été observée au niveau de tous les traitements par rapport aux teneurs en phosphore assimilable en fin d'essai soja.

Tableau 1 : Analyse de variance (valeur de Fisher) des paramètres de croissance du maïs.

Source de variation	Degré de Liberté	Valeur de F et probabilités		
		Poids sec des Racines	Vitesse de croissance	Diamètre au collet
Inoculation	2	36,19***	523,53***	7,10**
Phosphore	1	103,95***	951,20***	16,07***
Inoculation *phosphore	2	7,80*	187,67***	2,33ns

ns : non significatif (P > 0,05) ; * : significatif (P < 0,05) ; ** : hautement significatif (P < 0,01) ; *** : très hautement significatif (P < 0,001).

Tableau 2 : Arrière-effet combiné de l'inoculation et du phosphore sur le diamètre au collet et la vitesse de croissance du maïs.

Inoculation	Phosphore	Poids sec des racines (g.plant ⁻¹)	Vitesse de croissance (cm.j ⁻¹)	Diamètre au collet (cm)
Contrôle	P0	2,57 ± 0,06 _d	2,29 ± 0 _d	1,60 ± 0,05 _b
	P50	3,29 ± 0,06 _{bac}	2,95 ± 0,03 _b	1,80 ± 0,04 _a
FA3	P0	3,05 ± 0,07 _c	2,88 ± 0,01 _c	1,79 ± 0,06 _a
	P50	3,53 ± 0,24 _{ba}	3,08 ± 0,03 _a	1,84 ± 0,04 _a
STM 3043	P0	3,28 ± 0,05 _{bc}	2,94 ± 0,05 _{bc}	1,77 ± 0,09 _a
	P50	3,54 ± 0,06 _a	3,13 ± 0,01 _a	1,89 ± 0,004 _a
Moyenne		3,21	2,88	1,78
CV _R ²		3,52	0,91	4,23
		0,92	0,99	0,65

Les moyennes suivies de la même lettre alphabétique ne sont pas significativement différentes (P > 0,05) d'après le test de Student Newman-Keuls.

Tableau 3 : Analyse de variance (valeur de Fisher) des paramètres de rendement du maïs.

Source de variation	Degré de Liberté	Valeurs de F et probabilités				
		Rendement Grains	Rendement Rafles	Rendement Spathes	Rendement Paille	Indice de Récolte
Inoculation	2	224,62***	61,98***	19,22***	197,27***	33,04***
Phosphore	1	579,40***	183,77***	74,17***	279,49***	112,04***
Inoculation * Phosphore	2	18,14***	3,69*	2,05*	99,73***	015***

* : significatif (P < 0,05) ; ** : hautement significatif (P < 0,01) ; *** : très hautement significatif (P < 0,001).

Tableau 4 : Arrière-effet combiné de l'inoculation et du phosphore sur les paramètres de rendement du maïs.

Inoculation	Phosphore	Rendement Grain (kg.ha ⁻¹)	Rendement Rafles (kg.ha ⁻¹)	Rendement Spathes (kg.ha ⁻¹)	Rendement Paille (kg.ha ⁻¹)	Indice de Récolte
Contrôle	P0	1246,99 ± 70,82 _e	267,34 ± 5,21 _c	343,10 ± 6,64 _d	2772,22 ± 123,48 _d	0,31 ± 0,01 _c
	P50	2189,08 ± 71 _c	446,54 ± 17,51 _b	552,81 ± 18,88 _{bc}	3930,57 ± 85,08 _{bc}	0,36 ± 0,01 _b
FA3	P0	2000,64 ± 38,62 _d	400,13 ± 31,33 _b	492,49 ± 69,58 _c	3903,24 ± 66,75 _c	0,34 ± 0,01 _b
	P50	2522,02 ± 57,54 _b	513,45 ± 2,49 _a	611,13 ± 0,83 _{ba}	4095,56 ± 44,23 _{ba}	0,38 ± 0 _a
STM 3043	P0	2124,69 ± 113,98 _{dc}	429,03 ± 40,13 _b	506,74 ± 72,03 _c	3916,23 ± 39,62 _c	0,35 ± 0 _b
	P50	2773,29 ± 54,26 _a	557,67 ± 20,70 _a	658,58 ± 7,27 _a	4149,52 ± 73,76 _a	0,40 ± 0 _a
Moyenne		2142,785	435,69	527,48	3794,56	0,36
CV _R ²		3,34	5,43	7,92	2,04	2,56
		0,98	0,95	0,88	0,98	0,93

Les moyennes suivies de la même lettre alphabétique ne sont pas significativement différentes ($P > 0,05$) d'après le test de Student Newman-Keuls.

Tableau 5 : Effet combiné de l'inoculation et du phosphore sur la teneur en azote et phosphore du sol.

Inoculation	Phosphore	Azote du sol (g.kg ⁻¹)				
		Avant essai soja	Fin essai soja	Probabilité	Fin essai maïs	Probabilité
Contrôle	P0	0,13 _a	0,15 ± 0 _b	0,0***	0,12 ± 0 _c	0,0026**
	P50	0,13 _a	0,18 ± 0 _b	0,0006***	0,13 ± 0 _c	0,0046**
FA3	P0	0,13 _a	0,18 ± 0 _b	0,0005***	0,14 ± 0 _c	0,0006***
	P50	0,13 _a	0,20 ± 0 _b	0,0***	0,14 ± 0 _c	0,0***
STM 3043	P0	0,13 _a	0,19 ± 0 _b	0,0001***	0,14 ± 0 _c	0,0010**
	P50	0,13 _a	0,22 ± 0 _b	0,0***	0,15 ± 0 _c	0,0001***

Les moyennes suivies de la même lettre alphabétique ne sont pas significativement différentes ($P > 0,05$) d'après le test de Student Newman-Keuls. **: hautement significatif ($P < 0,01$) ; *** : très hautement significatif ($P < 0,001$).

Tableau 6 : Effet combiné de l'inoculation et du phosphore sur la teneur en azote et phosphore du sol.

Inoculation	Phosphore	Phosphore assimilable (ppm ⁻¹)				
		Avant essai soja	Fin essai soja	Probabilité	Fin essai maïs	Probabilité
Contrôle	P0	108,84 _a	98,42 ± 0,48 _b	0,0004***	81,29 ± 0,61 _c	0,0***
	P50	108,84 _a	125,56 ± 0,33 _b	0,0***	100,15 ± 0,42 _c	0,0***
FA3	P0	108,84 _a	124,93 ± 1,54 _b	0,0020**	115,99 ± 1,58 _c	0,0002***
	P50	108,84 _a	134,89 ± 0,63 _b	0,0002***	124,93 ± 1,33 _c	0,0056**
STM 3043	P0	108,84 _a	129,65 ± 0,19 _b	0,0***	120,34 ± 0,50 _c	0,0001***
	P50	108,84 _a	141,38 ± 1,45 _b	0,0***	131,99 ± 0,99 _c	0,0009***

Les moyennes suivies de la même lettre alphabétique ne sont pas significativement différentes ($P > 0,05$) d'après le test de Student Newman-Keuls. *** : très hautement significatif ($P < 0,001$).

DISCUSSION

Les résultats ont montré que les plants de maïs des parcelles ayant pour antécédent cultural le soja inoculé avec les souches FA3 et STM 3043 ont amélioré le diamètre au collet, la vitesse de croissance, le poids sec racinaire, les rendements moyens en grains, rafles, spathes, et paille et un indice de récolte

nettement supérieurs à ceux des plants témoins. Les souches FA3 et STM 3043 ont permis respectivement une amélioration de 60 et de 70% pour le rendement grain et de 41% pour le rendement en paille par rapport au témoin. On pourrait donc déduire de ces résultats que l'inoculation du soja avec les souches de *Bradyrhizobium* en précédent cultural a eu un

effet positif sur la culture de maïs semé en rotation. Les quantités d'azote fixées par la légumineuse inoculée ont significativement contribué à l'amélioration des rendements en grains, spathes, rafles et paille du maïs. Ces résultats corroborent ceux de Coulibaly et al. (2017) qui ont montré que les légumineuses à graines ont un arrière - effet bénéfique sur la culture du maïs semé en rotation. Vesterager et al. (2007) ont obtenu un accroissement significatif du rendement en grains du riz de 3603 à 3922 kg.ha⁻¹ (soit de 9%) et de la production de paille sèche de 4287 à 4695 kg.ha⁻¹ (soit de 9%) par l'incorporation des résidus de niébé au sol. Affokpon et al. (2013) ont démontré que la variété améliorée de niébé IT99K-491-7, a augmenté le rendement moyen du maïs semé en rotation sur les terres de barre dégradées respectivement de 31,64 et 77,59% sur les parcelles ayant abrité la variété IT99K-491-7 comparativement au rendement moyen du maïs sur les parcelles ayant abrité la culture du niébé au Sud-Bénin. Ces différentes études dénotent de l'importance capitale des légumineuses dans l'amélioration des rendements du maïs semé en rotation. Le niveau élevé des rendements pour les traitements FA3 + P2O5 et STM 3043 + P2O5 révélé par les essais serait plutôt lié à la disponibilité du phosphore et d'azote dans le sol après la culture du soja. Coulibaly et al. (2017) ont rapporté que l'azote du sol obtenu grâce à la fixation biologique par les souches de *Bradyrhizobium* est la principale source d'azote utilisable pour la production de céréales. En mettant alors l'accent sur la bonne application des itinéraires techniques (apports de fumures organiques et minérales, semis, sarclages et buttage), sur la bonne rotation (légumineuse/maïs) et sur l'utilisation des variétés performantes, les rendements des cultures peuvent être boostés de manière substantielle. L'utilisation de légumineuses dans divers systèmes de culture peut entraîner une augmentation significative et progressive du rendement des cultures ultérieures non légumineuses par rapport aux rotations avec des cultures non légumineuses (Kebede, 2020).

De nombreux facteurs sont supposés expliquer ces résultats, notamment la disponibilité accrue de l'azote après la légumineuse et d'autres effets de la rotation, tels que la diminution des maladies et autres ravageurs et l'augmentation du taux de colonisation et de la diversité des mycorhizes dans les sols. Murphy-Bokern et al. (2017) ont déclaré que la biomasse des racines, tiges et des feuilles des légumineuses riche en azote améliore la disponibilité de l'azote pour les plantes cultivées non légumineuses en association ou en rotation sous forme d'exsudats, et que les biomasses vivantes et sénescentes fournissent au sol un apport supplémentaire enrichi en azote sous le sol. En effet, la disponibilité et l'absorption des nutriments par les plantes dépendent principalement de la quantité, des concentrations et des activités qui ont lieu dans la zone racinaire des sols, ainsi que de la capacité des sols à remplacer les nutriments limitants dans la solution du sol (Makoi et al., 2013).

Par ailleurs, les parcelles sur lesquelles un apport de phosphore avait été appliqué ont permis d'avoir une amélioration des rendements grains, spathes et paille du maïs respectivement de 75%, 61% et de 42 % par rapport au témoin. De même les parcelles sur lesquelles, l'inoculation du soja avait été faite avec un apport de phosphore présent, pour le traitement STM 3043 + P2O5, une augmentation significative des rendements en grains et paille de maïs respectivement de 122% et de 50%. Ce même traitement a permis respectivement pour les paramètres de rendements rafles, spathes et l'indice de récolte, une augmentation de 108%, de 91% et de 29% par rapport au témoin. Il apparaît donc que l'inoculation du soja combinée au phosphore a un effet très positif sur le rendement du maïs semé en rotation. Ces résultats corroborent ceux de Rurangwa et al. (2018) qui ont montré que l'utilisation de l'inoculation du soja et du haricot combinée à l'apport du fumier et du phosphore améliore le rendement des légumineuses et aussi la productivité du maïs semé en rotation au

Rwanda. Kofi (2017) a également montré que le rendement en grains du maïs donne de meilleurs résultats en rotation avec le soja. En effet, l'utilisation de légumineuses dans divers systèmes de culture peut entraîner une augmentation significative et progressive du rendement des cultures non légumineuses en rotations (Kebede, 2021). Par ailleurs, il est noté de façon générale pour tous les traitements que plus les rendements en paille, rafles, spathes et l'indice de récolte s'améliorent, et plus le rendement en grains du maïs augmente davantage. Ces résultats sont conformes à ceux de Kouelo et al. (2017) qui ont trouvé que les rafles, les spathes, l'indice foliaire et l'indice de récolte participent directement à la formation du rendement en grains du maïs et que l'indice de récolte, le rendement en spathes et celui en paille expliquent à 95,34% le rendement en grains du maïs. Ces résultats peuvent s'expliquer par le fait que le rendement en grains revêt un caractère complexe résultant variables interdépendantes connues ou inconnues comme mentionné par Mbarek et al. (2013) De nombreuses études ont été menées pour identifier l'importance des rotations maïs-soja sur la fertilité des sols et le rendement des cultures au fil du temps (Franke et al., 2018 ; Yuan et al., 2022). L'inoculation du soja a contribué à l'amélioration de la teneur en azote et en phosphore assimilable du sol. Les parcelles ayant reçu le soja inoculé avec les souches de *Rhizobium* FA3 et STM 3043, présentent des teneurs en azote et phosphore du sol significativement plus élevées que les parcelles ayant reçu le soja non inoculé. Ces résultats sont conformes à ceux de Massawe et al. (2016) qui ont montré dans leur expérimentation en Tanzanie, une amélioration significative de la teneur en azote du sol après la culture des légumineuses *Phaseolus vulgaris* et *Dolichos lablab*. Par ailleurs, l'augmentation de la teneur en azote et en phosphore du sol est encore plus manifeste sur les parcelles ayant reçu les souches de *Rhizobium* FA3 et STM 3043 combinées au phosphore. L'inoculation du soja avec les souches de *Rhizobium* FA3 et STM 3043 combinée au phosphore améliore

plus la teneur en azote du sol comparativement à l'inoculation ou non. Ces résultats corroborent ceux de Kofi (2017) qui a trouvé dans ses travaux portant sur la réponse du soja à l'inoculation au *Rhizobium* et à l'apport du phosphore que la teneur en azote dans le sol s'améliore davantage avec l'inoculation au *Rhizobium* et l'apport de phosphore que le soja non inoculé. Des résultats similaires ont également été observés par Yuan et al. (2022) qui ont montré que la teneur en phosphore au niveau du sol était plus élevée lorsque le maïs est cultivé après une rotation de soja. De même, Whitehead et Isaac (2012) ont montré dans leur expérimentation que les cultures intercalaires de légumineuses peuvent augmenter l'apport en nutriments, par fixation et mobilisation du phosphore. Les impacts positifs de la rotation soja-maïs sur les propriétés du sol étaient attendus car les recherches ont montré que les légumineuses augmentent les paramètres du sol et que des paramètres du sol plus élevés dans les rotations soja-maïs par rapport à la culture continue pourraient être associés à la qualité de la biomasse produite par les légumineuses (Yuan et al., 2022). En effet, les systèmes de culture à base de légumineuses améliorent plusieurs aspects de la fertilité des sols, notamment la teneur en carbone organique et en humus, la disponibilité et l'absorption de l'azote et du phosphore, ainsi que le carbone et l'azote organiques, tout en libérant de l'hydrogène sous forme de sous-produit de la fixation biologique de l'azote, ce qui favorise le développement des nodules bactériens de légumineuses dans la rhizosphère (Stagnari et al., 2017). L'azote et le phosphore sont les principaux éléments disponibles en abondance dans le sol et l'atmosphère, respectivement, mais sous des formes inaccessibles aux plantes. Ces nutriments élémentaires sont généralement les facteurs limitants de la croissance et du développement des plantes (Mmbaga et al., 2014). Stagnari et al. (2017) ont divisé la contribution agricole des légumineuses à grains en deux : (1) la composante "effet azote", qui est due à la fourniture de nutriments par la fixation biologique de l'azote, qui est la plus

élevée dans les situations de faible fertilisation en azote pour les cycles de culture suivants, et (2) la composante "effet pause-culture", qui comprend des avantages non spécifiques aux légumineuses, tels que l'amélioration de la matière organique et de la structure du sol, la mobilisation du phosphore, la rétention et la disponibilité de l'eau dans le sol, et la réduction de la pression exercée par les maladies et les adventices. Par conséquent, les contributions des légumineuses sont les plus élevées lorsque les légumineuses sont incluses dans des systèmes de culture diversifiés.

En fin d'essai maïs, une diminution générale de la teneur en azote et en phosphore du sol a été observée au niveau de tous les traitements. Cela pourrait être dû à l'épuisement des éléments nutritifs des plantes dans le sol. En effet, l'azote du sol est un élément minéral qui est absorbé par le maïs tout au long de son cycle de développement. Ce déclin pourrait être attribué à l'absorption de l'azote et du phosphore par le maïs pour sa croissance et son développement tout au long de son cycle (Kebede, 2021).

Conclusion

Les rotations de cultures permettent de modifier considérablement l'écosystème du sol et jouent un rôle important dans l'obtention d'une production agricole durable. Les résultats de la présente étude ont montré que les traitements FA3 + P2O5 et STM 3043 + P2O5 ont induit un arrière-effet significatif en termes d'amélioration du rendement et des teneurs en azote et en phosphore du sol. Cependant la meilleure souche identifiée est la souche STM 3043 qui a donné de meilleures performances que la souche FA3. L'introduction de légumineuses inoculées avec une souche performante de rhizobium dans les systèmes de culture est essentielle pour améliorer le rendement du maïs et accroître la productivité durable des cultures au Bénin. Pour une réduction d'achat d'intrants minéraux et pour une gestion durable de la fertilité des sols, l'inoculation rhizobienne associée au phosphore est recommandée dans les systèmes

de rotation soja-maïs au Nord Bénin.

CONFLIT D'INTERETS

Les auteurs ne déclarent aucun conflit d'intérêts concernant la publication de cet article.

CONTRIBUTIONS DES AUTEURS

MCCZ, HT, IB, TMA, SOG, OT ont rédigé le protocole de recherche, mis en place le plan expérimental, collecté et analysé les données et produit la première ébauche de ce manuscrit. FKA a contribué à l'interprétation des résultats d'analyse. PH a révisé la version finale. Tous les auteurs ont lu et approuvé la version finale de ce manuscrit.

REMERCIEMENTS

Les recherches qui ont conduit à la réalisation de ce travail ont été matériellement et financièrement appuyées par le Projet « Productivité des Systèmes Agriculture-Elevage Intégrés » (PROSAEI) du Programme Fonds Compétitif de Recherche de l'Université d'Abomey-Calavi (UAC). Les auteurs remercient le Centre de Recherche Agricole (CRA-Nord) de l'Institut National de Recherches Agricoles du Bénin (INRAB) pour la mise à disposition du site expérimental et le suivi de l'essai.

REFERENCES

- Affokpon A, Djèntonin JAP, Zoffoun AG, Allagbé MC, Akondé TP, Aïhou K, Kpagbin G, Gotoechan-Hodonou H, Détongnon J, Mensah G. A. 2013. Effets des variétés de niébé à buts multiples comme précédent cultural sur le rendement du maïs cultivé sur terres de barre dégradées au Sud-Bénin. *Bull. Rech. Agron. Bénin.*, S : 54-64.
- Aguegue MR, Noumavo AP, Dagbenonbakin G, Agbodjato AN, Akpode C, Koda DA, Assogba S, Bade F, Adjanohoun A, Falcon Rodriguez A, de la Noval Pons Blanca M, Baba-Moussa L. 2017. Arbuscular Mycorrhizal Fertilization of Corn (*Zea mays* L.) Cultivated on Ferrous

- Soil in Southern Benin. *J. Agric. Stud.*, **5**(3): 95-115. DOI: <https://doi.org/10.5296/jas.v5i3.11881>
- Akplo TM, Kouelo AF, Azontonde HA, Houngnandan P, Benmansour M, Rabesiranana N, Mabit L. 2019. Effect of tillage and mulching on agronomics performances of maize and soil chemical properties in Linsinlin Watershed of Centre of Benin. *Afr. J. Agric. Res.*, **14**(31): 1421-1431. DOI: <https://doi.org/10.5897/AJPS2019.1927>
- Badou A, Akondé PT, Adjanohoun A, Adjé IT, Aïhou K, Igué AM. 2013. Effets de différents modes de gestion des résidus de soja sur le rendement du maïs dans deux zones agroécologiques du Centre-Bénin. *Bull. Rech. Agron. Bénin.*, **1** : 1840-7099.
- Bazongo P, Traore K, Kientore B, Da IAN, Coulibaly A, Traore O. 2023. Effets du compost de *Jatropha curcas* L. et de la fumure minérale vulgarisée sur les propriétés chimiques du sol et des rendements du maïs (*Zea mays*) à l'ouest du Burkina Faso. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **17**(5): 2025-2036. DOI: <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v17i5.20>
- Coulibaly K, Vall E, Autfray P, Nacro HB, Sedogo PM. 2017. Effets des associations maïs-légumineuses sur le rendement du maïs (*Zea mays* L.) et la fertilité d'un sol ferrugineux tropical à l'Ouest du Burkina Faso. *Afr. Sci.*, **13**(6) : 226 – 235.
- Falconnier GN, Cardinael R, Corbeels M, Baudron F, Chivenge P, Couëdel A, Ripoche A, Affholder F, Naudin K, Benaillon E, Rusinamhodzi L, Leroux L, Vanlauwe B, Giller KE. 2023. The input reduction principle of agroecology is wrong when it comes to mineral fertilizer use in sub-Saharan Africa. *Outlook on Agric.*, **52**(3). DOI: <https://doi.org/10.1177/00307270231199795>
- Franke AC, Van den Brand GJ, Vanlauwe B, Giller KE. 2018. Sustainable intensification through rotations with grain legumes in sub-Saharan Africa: A review. *Agric. Ecosyst. Environ.*, **261**: 172–185. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.09.029>
- van Heerwaarden J, Bajjukya F, Kyei-Boahen S, Adjei-Nsiah S, Ebanyat P, Kamai N, Giller K. 2018. Soyabean response to rhizobium inoculation across sub-Saharan Africa: Patterns of variation and the role of promiscuity. *Agric. Ecosyst. Environ.*, **261** : 211-218. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.08.016>
- Houngnandan HB, Adandonon A, Akplo TM, Zoundji CC, Kouelo AF, Zeze A, Akinochi J. 2020. Effect of rhizobial inoculation combined with phosphorus fertilizer on nitrogen accumulation, growth and yield of soybean in Benin. *J. Soil Sci. Environ.*, **11**(4) : 153-163. DOI: <https://doi.org/10.5897/JSSEM2020.0833>
- Igue M, Floquet A, Stahr K. 2000. Land use and farming systems in Benin. In *Adapted Farming in West Africa : Issues, Potentials and Perspectives*, Graef F, Lawrence P, von Oppen M (eds). Stuttgart : Verlag ; 227-238.
- Kebede E. 2021. Competency of rhizobial inoculation in sustainable agricultural production and biocontrol of plant diseases. *Front. Sustain. Food Syst.*, **5**: 728014. DOI: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.728014>
- Kebede E. 2020. Grain legumes production and productivity in Ethiopian smallholder agricultural system, contribution to livelihoods and the way forward. *Cogent Food Agric.*, **6**:1722353. DOI: <https://doi.org/10.1080/23311932.2020.1722353>
- Kofi SE. 2017. Response to Rhizobia inoculation of Soybean (*Glycine max* L.) and phosphorus fertilization in rotation with maize (*Zea mays* L.) Master Thesis, University for Development Studies, Ghana, p 157.

- Kouelo AF, Hounngandan P, Azontonde A, Benmansour M, Bekou J, Akplo T. 2017. Effet des pratiques de conservation du sol sur la croissance et les composantes du rendement du maïs dans le bassin versant de Lokogba au Bénin. *Agron. Afr.*, **29** (1): 65-78.
- MAEP. 2017. Recueil des technologies agricoles pr ometteuses développées par le Système National de Recherche Agricole (SNRA) de 1996 à 2015. Document Technique et d'Informations. ISBN : 978-99919-2-985-9 Dépôt légal n° 9433 du 12 juin 2017. Bibliothèque Nationale du Bénin, 2^{ème} trimestre. 288p.
- Mbarek KB, Boubaker M, Hannachi C. 2013. Modélisation du rendement grain du pois chiche (*Cicer arietinum* L.) du type «kabuli» sous les conditions édapho-climatiques du semi-aride supérieur Tunisien. *Rev. Maroc. Sci. Agron. Vétérinaires*, **1**(2) : 16-28.
- Massawel PI, Mtei KM, Munishi LK, Ndakidemi PA. 2016. Effect of Rhizobium and Intercropping Systems on Soil Nutrients and Biological Nitrogen Fixation as Influenced by Legumes (*Phaseolus vulgaris* and *Dolichos lablab*). *Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci.*, **5**(10): 135-149. DOI: <http://dx.doi.org/10.20546/ijcmas.2016.5.10.016>
- Makoi JH, Bambara S, Ndakidemi P. A. 2013. Rhizobium inoculation and the supply of Molybdenum and lime affect the uptake of macro elements in common bean (*P. vulgaris* L.) plants. *Aust. J. Crop Sci.*, **7** : 784–793. DOI: <https://search.informit.org/doi/epdf/10.316/informit.365376489416920>
- Mmbaga GW, Mtei KM, Ndakidemi PA. 2014. Extrapolations on the use of rhizobium inoculants supplemented with phosphorus (P) and potassium (K) on growth and nutrition of legumes. *Agric. Sci.*, **5** : 1207–1226. DOI: <https://doi.org/10.4236/as.2014.512130>
- Murphy-Bokern D, Stoddard FL, Watson CA. 2017. Legumes in Cropping Systems. CABI : Wallingford. DOI: <https://doi.org/10.1079/9781780644981.0000>
- Ndiaye S, Goudiaby AOK, Dieme I, Diagne ON, Ba M, Makanera K. 2023. Effets de la combinaison des biostimulants foliaires et racinaires sur la croissance et la production du poivron (*Capsicum annuum* L.) en Basse Casamance, Sénégal. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* **17**(5): 1960-1970. DOI: <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v17i5.15>
- Rurangwa E, Vanlauwe B, Giller KE. 2018. Benefits of inoculation, P fertilizer and manure on yields of common bean and soybean also increase yield of subsequent maize. *Agric. Ecosyst. Environ.*, **261**: 219–229. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.08.015>
- Saïdou A, Kossou D, Acakpo C, Richards P, Kuyper WT. 2012. Effects of farmers'practices of fertilizer application and land use types on subsequent maize yield and nutrient uptake in Central Benin. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **6**(1) : 363-376. DOI: <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v6i1.32>
- Stagnari F, Maggio A, Galieni A, Pisante M. 2017. Multiple benefits of legumes for agriculture sustainability: an overview. *Chem. Biol. Technol. Agric.*, **4** : 1-13. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40538-016-0085-1>
- Sossou HC, Ayedoun AAO, Dossouhoui S, Noukpozoukou DM, Sossou R, Koffi JP, Dansou V, Houssou PA. 2023. Assessment of post-harvest losses in the maize sector: case of the production link in Benin. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* **17**(4): 1392-1403. DOI: <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v17i4.9>
- Tayoh LN. 2020. Destruction of soil health and risk of food contamination by application of chemical fertilizer. In *Ecological and Practical Applications for Sustainable Agriculture*. Springer: Singapore; 53–64.

- DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-15-3372-3_3
- Uzoh IM, Igwe CA, Okebalama CB, Babalola OO. 2019. Legume-maize rotation effect on maize productivity and soil fertility parameters under selected agronomic practices in sandy loam soil. *Sci. Rep.*, **9**(1): 1-9. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-43679-5>
- Veljković VB, Biberdžić MO, Banković-Ilić I.B, Djalović IG, Tasić MB, Nježić ZB, Stamenković OS. 2018. Biodiesel production from corn oil: A review. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, **91**: 531–548. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.04.024>
- Vesterager JM, Nielsen NE, Høgh-Jensen H. 2007. Nitrogen budgets in crop sequences with or without phosphorus-fertilised cowpea in the maize-based cropping systems of semi- arid eastern Africa. *Afr. J. Agric. Res.*, **2**(6) : 261-268.
- Yuan M, Bi Y, Han D, Wang L, Wang L, Fan C, Lai Y. 2022. Long-term corn–soybean rotation and soil fertilization: Impacts on yield and agronomic traits. *Agronomy*, **12**(10): 2554. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy12102554>
- Zoundji CC, Houngnandan P, Amidou MH, Kouelo FA, Toukourou, F. 2015. Inoculation and phosphorus application effects on soybean [*Glycine max* (L.) Merrill] productivity grown in farmers'fields of Benin. *J. Anim. Plant Sci.*, **25**(5): 1384-1392. DOI: <https://www.thejaps.org.pk/docs/v-25-05/26.pdf>