Technique de fertilisation microdose sur les légumes feuilles traditionnels au Bénin en Afrique de l'Ouest : performances et recommandations

André ADJOGBOTO^{1*}, Dagnon Didier LIKPETE¹, P. B. Irénikatché AKPONIKPE^{1,2},
Mariama Boubou DIALLO¹, G. Esaïe KPADONOU¹, André Jonas DJENONTIN², Mohamed
Nasser BACO³, Carole N. A. SOSSA-VIHOTOGBE⁴, Dougbedji FATONDJI⁵

¹ Laboratoire d'Hydraulique et de Modélisation Environnementale (HydroModE Lab),
Université de Parakou, Bénin

² Département d'Aménagement et Gestion des Ressources Naturelles (AGRN), Faculté d'agronomie,
Université de Parakou

³ Laboratoire Environnement & Société, Département d'Economie et Sociologie Rurales (ESR),
Faculté d'Agronomie, Université de Parakou

⁴ Département de Nutrition et Sciences Agro-Alimentaires (DNSAA), Faculté d'Agronomie,
Université de Parakou

⁵ International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics (ICRISAT), Niamey, Niger

Reçu le 10 Juillet 2019 - Accepté le 2 Novembre 2019

Fertilizer micro-dosing technique on traditional leafy vegetables in Benin, West Africa: performances and recommendations

Abstract: The development of microdose fertilization in West Africa on indigenous leafy vegetables (ILVs) is an alternative to nutrient management constraints. To overcome nutrient inefficiency, various application methods of urea (per hill, band/strip or uniform spreading of fertilizer dissolved in water) were tested on-station from 2015 to 2017 to identify the easiest and least time-consuming method of application. Several mineral fertilizers doses: 0, 10, 20, 30, 40, 60 with an incorporation of 5 t/ha manure (dry basis), and 40, 80 kg urea-N/ha without manure (half and full recommended rates, respectively) and farmers' practice (FP, 100 to 120 kg/ha of NPK fertilizer and urea) were tested to determine the optimal microdose to be applied for sustainable production of ILVs. Two timings of application for the mineral fertilizer (at transplantation and 14 days after transplanting) were tested to identify the best timing. The methods of mineral fertilizer application by micro-dosing under *Amaranthus cruentus* L. showed similar performance in terms of fresh yield (FY), water productivity (WP) and economic gain. The early application of urea recorded a performance equivalent to the late one, giving market gardeners a sufficient time for effective application. Fertilizer micro-dosing application at 40 urea-N/ha with manure improved significantly FY and WP compared to the control without mineral fertilizer and the recommended rate in contrast to *Occimum gratissimum* L. In farmer fields, the microdose at 60 kg/ha of urea gave similar performance in terms of FY yield compared to farmers' practice for *S. macrocarpon* and *O. gratissimum*. Fertilization micro-dosing resulted twice in reduction of fertilizer application by producers in ILVs production. It is therefore necessary to widely disseminate this technique for the production of ILVs in Africa.

Keywords: *Amaranthus cruentus* L., Fertilizer micro-dosing, *Occimum gratissimum* L., *Solanum macrocarpon* L., West Africa.

Résumé : Le développement de la fertilisation microdose en Afrique de l'Ouest sur les légumes feuilles traditionnels (LFTs) constitue une alternative aux contraintes de gestion des nutriments. Afin de relever ce défi, diverses méthodes d'application

de l'engrais minéral, l'urée (par poquet, bande/strie ou épandage uniforme de l'urée dissoute dans l'eau) ont été testées en station de 2015 à 2017 en vue d'identifier la méthode d'application la plus facile et la moins exigeante en temps de travail. Plusieurs doses d'urée : 0, 10, 20, 30, 40, 60 avec une incorporation de 5 t/ha matière sèche de fumier /ha, et 40, 80 kg urée-N/ha sans fumure (moitié et dose complète recommandée) et la pratique paysanne (PP, 100 à 120 kg/ha de NPK et d'urée) ont été testées afin de déterminer la microdose optimale à appliquer pour une production durable des LFTs. Deux dates d'application de l'urée (au repiquage et 14 jours après) ont été expérimentées pour identifier la période idéale d'apport. Les méthodes d'application de l'urée par microdosage sous *Amaranthus cruentus* L. (AC) ont présenté des performances similaires en termes de rendement, productivité de l'eau (PE) et gain économique. L'application précoce de l'urée a enregistré une performance équivalente à celle tardive. La microdose à 40 kg urée-N/ha a substantiellement amélioré le rendement et la PE de AC et de *Solanum macrocarpon* L. comparativement au témoin sans engrais minéral et la dose recommandée, contrairement à *Occimum gratissimum* L. En milieu réel, la microdose à 60 kg/ha d'urée a enregistré des rendements similaires comparativement à PP pour *S. macrocarpon* et *O. gratissimum*. La microdose a permis de réduire près de deux fois les doses d'engrais appliquées par les producteurs pour la production des LFTs. Il s'avère donc nécessaire de diffuser à grande échelle cette technique de fertilisation pour la production des LFTs au Bénin et dans toute l'Afrique en général.

Mots clés: *Amaranthus cruentus* L., Fertilisation microdose, *Occimum gratissimum* L., *Solanum macrocarpon* L., Afrique de l'Ouest.

1. Introduction

Les légumes feuilles traditionnels (LFTs) sont la base de la sécurité alimentaire mondiale et jouent un rôle crucial dans le développement économique, social et culturel de l'Afrique de l'Ouest. Ils font partie du régime alimentaire quotidien de nombreuses familles africaines, principalement en accompagnement des sources d'amidon (Dansi et al., 2008). Ils constituent des aliments très nutritifs qui peuvent contribuer à la prévention de maladies chroniques graves telles que les maladies cardiovasculaires et certains cancers (Tirilly et Bourgeois, 1999). Ils représentent également d'importantes sources de vitamines (notamment A, B, C), d'oligo-éléments, de protéines, de fibres et de glucides (Stevens, 1990) et sont bien adaptés aux conditions agro-écologiques africaines et faciles à produire avec peu d'intrants. De plus, l'amarante (*Amaranthus cruentus* L.) est cultivée pour ses feuilles riches en bêta-carotène, en lipides, en glucides, en calcium, en fer, en protéines et en vitamine C (James et al., 2010; Olaniyi et al., 2008). Aussi, la grande morelle (*Solanum macrocarpon* L.), est cultivée pour ses feuilles douces, succulentes et ses fruits amers. Ses parties comestibles sont nutritives et fournissent des glucides, de la cellulose, du calcium, des lipides, des protéines et de l'eau (James et al., 2010). Quant au basilic africain (*Ocimum gratissimum* L.), il constitue une plante aromatique et médicinale utilisée en thérapie traditionnelle grâce à son activité antimicrobienne (Adebolu and Oladimeji, 2005). Ses feuilles fraîches ou sèches sont largement utilisées

comme légume pour ses propriétés antalgiques et antibiotiques (Aïdam et al., 2008). Elles constituent également une source importante d'huiles essentielles antimicrobiennes, antifongiques et antiseptiques (Chau-mont et al., 2001; Oboh et al., 2009). De plus, les biopesticides contenus dans les huiles essentielles extraites de *O. Gratissimum* sont utiles pour lutter contre les ravageurs des cultures (Maria et al., 2016). Au Bénin, ses feuilles sont largement utilisées dans la préparation de sauces pour le renforcement du système immunitaire des nourrices et stimulent la sécrétion de lait. Malheureusement, la production de ces légumes est limitée à petite échelle et à faible productivité (Diogo et al., 2010; Sossa-Vihotogbe et al., 2013). L'itinéraire technique, la dose appropriée d'engrais requise ne sont pas bien connues. Dans la production de légumes traditionnels (par exemple au Bénin et au Nigéria), les plantes ne sont pas fertilisées ou reçoivent carrément une quantité insuffisante ou excédante d'engrais (Assogba-Komlan et al., 2007; Diogo et al., 2010). Cette utilisation inadéquate est due à plusieurs facteurs, notamment la faible disponibilité d'engrais, la faible capacité d'achat de l'agriculteur et les risques économiques (Dugué, 1993; Témé et al., 1996).

Cependant, la technologie de microdosage des engrais est basée sur l'application localisée de petites doses d'engrais minéraux (NPK ou urée) ou organique (déjection de ruminants ou fientes de volaille) dans le poquet de semis (céréales) ou à la base de la plante peu après la levée (ICRISAT, 2009). Les engrais utilisés représentent environ le tiers ou le quart de la dose habituellement recommandée par les services de recherche ou de conseil agricole (Camara et al., 2013). Le développement de cette technologie repose sur l'idée de maximiser le retour sur investissement et non de maximiser les rendements (ICRISAT, 2009). Cette approche

* Auteur Correspondant : adjogbotoandr@yahoo.fr
Copyright © 2019 Université de Parakou, Bénin

est particulièrement prometteuse en termes d'utilisation rationnelle des engrais par la réduction des investissements dans le système de production. Il permet un apport direct d'éléments nutritifs dans la zone racinaire, stimulant la croissance précoce de la racine, la croissance et la floraison et favorise une plus grande assimilation des éléments nutritifs initialement présents dans le sol (Buerkert, 1995). Ce qui entraîne l'amélioration des rendements, l'efficacité d'utilisation des engrais et le retour sur investissement (Abdoulaye et al., 2014; Camara et al., 2013). S'appuyant sur les résultats précédents en matière de microdosage, le projet de gestion intégrée des éléments nutritifs et de l'eau pour la sécurité alimentaire au Sahel (InuWaM project, 2014), conduit dans la région de Boukoubé (Nord-Ouest du Bénin), a testé l'utilisation combinée du microdosage des engrais avec la gestion de l'humidité du sol, afin de déterminer les augmentations de l'efficacité d'utilisation des engrais sur le maïs et le sorgho (Abdoulaye et al., 2014). Ces études étaient basées sur l'évaluation de la performance de cette technologie sous la production des céréales. Les études sur son application sur les cultures maraîchères en général et des légumes feuilles traditionnels en particulier sont rares. L'application optimale de la technologie microdose à la production maraîchère serait une innovation intéressante pratique pour l'intensification durable de l'agriculture en Afrique de l'Ouest. Son adoption dans la production des LFTs serait-elle plus performante que les pratiques des producteurs ou les recommandations courantes ? Cette étude a pour objectif d'évaluer les performances agronomiques et économiques de l'application de la fertilisation microdose sur trois légumes feuilles traditionnels (*Amaranthus cruentus* L., *Solanum macrocarpon* L. et *Ocimum gratissimum* L.) au Bénin, Afrique de l'Ouest.

2. Matériel et méthodes

2.1. Approche utilisée

2.1.1. Tests agronomiques en station et en milieu réel

Des essais en station (saison sèche et humide de 2015-2017) ont eu pour objectif de lever les contraintes liées à l'application de la technologie de fertilisation microdose sur les LFTs comme : la contrainte de main d'œuvre supplémentaire qu'aurait engendré l'application de l'engrais minéral au poquet, les périodes idéales d'apport, les méthodes de quantification des engrais à appliquer. A cet effet, l'une des parcelles expérimentales du Centre de Recherches Agricoles Nord, Ina (CRA-Nord-Ina) et la parcelle expérimentale du Complexe de l'Innovation de l'Université de Parakou ont été exploitées. Deux essais en milieu réel ou démonstrations ont été installés dans onze communes du Bénin (Grand-Popo, Abomey-Calavi, Bohicon, Djidja,

Tchaourou, Parakou, Bembèrèkè, Djougou, Ouaké, Natitingou, Boukoubé) sur des sites maraîchers où les différentes espèces de légumes testées dans cette étude sont produites. Des clubs de jeunes scientifiques sur les LFTs ont été également installés dans diverses écoles (primaires, secondaire et universités) et gérés par des techniciens recrutés par le projet Micro-Veg Bénin. Ces démonstrations ont eu pour objectif de confirmer les résultats issus des essais en station (milieu contrôlé), dans les conditions des producteurs et rapprocher la technologie de fertilisation microdose de ces derniers pour une évaluation participative afin de faciliter sa diffusion à grande échelle.

2.1.2. Espèces de légumes feuilles traditionnels considérées et leurs itinéraires techniques

Trois espèces de légumes feuilles traditionnels ont été considérées : l'amarante (*Amaranthus cruentus* L.), la grande morelle (*Solanum macrocarpon* L.), le basilic africain (*Ocimum gratissimum* L.), du fait de leur valeur économique et leur grande consommation dans la sous-région (Assogba-Komlan et al., 2007; Dansi et al., 2008; Grubben et Denton, 2004). L'itinéraire technique de production est similaire pour toutes les espèces (Tableau 1).

2.1.3. Type d'engrais, méthodes, doses, périodes et emplacement d'application

Le processus de développement de la microdose sur les légumes feuilles a pris en compte les engrais organiques (déjection de ruminants notamment la bouse de vache, les fientes de volaille) et les engrais minéraux (l'urée et l'engrais composé NPK).

Afin d'identifier les méthodes, les doses et les périodes d'application les plus appropriées, c'est-à-dire, les plus productives, économiquement rentables et moins contraignantes en temps d'application, les considérations suivantes ont été opérées. Différentes méthodes d'application des engrais (premier facteur) ont été testées dans un premier essai en station (Centre de recherches Agricoles Nord Ina) sur l'amarante. Il s'agit de :

- (i) Application directe uniforme de l'engrais organique et minéral sur toute la surface du sol (planche), suivi de l'incorporation dans le sol (engrais organique) ou le rinçage des feuilles des plants avec l'eau simple (engrais minéral, Fig. 6 & 9) ;
- (ii) Application par strie ou bande consistant à ouvrir une bande entre les interlignes de culture, appliquer l'engrais concerné suivi de la fermeture de la bande avec du sable (Fig. 7 & 10);
- (iii) Application au poquet qui consiste à réaliser de petits poquets ou des bandes discontinues au pied de chaque plant suivi de l'application de l'engrais et la fermeture des poquets (Fig. 8 & 11).

Tableau 1: Itinéraires techniques de production des LFTs étudiés

Table 1: Technical itinerary of the studied Indigenous Leafy vegetables production (ILVs)

Opérations	<i>A. cruentus</i>	<i>S. macrocarpon</i>	<i>O. gratissimum</i>
Confection des planches et application de l'engrais organique	Uniforme pour toutes les espèces		
Semis en pépinière et entretien (arrosage désherbage)	Uniforme pour toutes les espèces		
Durée de la pépinière	3 à 4 semaines suivant le développement des plantules	6 à 7 semaines suivant le développement des plantules	
Densité de transplantation	20 cm x 20 cm ou 250 000 plants/ha	30 cm x 30 m ou 111 111plants/ha	
Application de l'engrais minéral	5 à 10 jours après le repiquage		
Irrigation	Uniforme pour toutes les espèces (10 mm/jour)		
Sarclage et sarclo-binage	Uniforme pour toutes les espèces en cas d'enherbement		
Traitement phytosanitaire	Uniforme pour toutes les espèces en cas d'attaque et au moins deux semaines avant la récolte		
Première récolte	4 semaines après le repiquage	6 semaines après le repiquage	
Deuxième et troisième récolte	Deux semaines d'intervalle	Quatre à cinq semaines d'intervalle suivant la régénération des plants coupés	

Les applications ont ciblé le plus proche possible des plantules (5 à 10 cm du plant/bande ou poquet) ou de façon uniforme sur toute la surface du sol de la planche (Adjogboto et al., 2019).

Le deuxième facteur dans cet essai constitue les microdoses d'apport à cinq variantes dont : 0, 20, 40, et 60 kg urée-N/ha + 5 t/ha de fumier en fumure de fond et 80 kg urée-N/ha sans fumure de fond. Le temps d'application de l'engrais minéral à deux modalités (0 et 14 jours après repiquage, JAR) représente le troisième facteur de l'essai d'évaluation des méthodes d'application. Ce qui fait 30 traitements répétés quatre fois pour un total de 120 traitements.

Le deuxième essai en station (CRA-Nord-Ina et site d'expérimentation du Complexe de l'Innovation de l'Université de Parakou) a évalué l'effet de différentes options microdose et le temps d'application sur les trois espèces végétales considérées dans cette étude (*A. cruentus*, *S. macrocarpon* et *O. gratissimum*). Le premier facteur de cet essai constitue les microdoses d'apport à huit modalités : 0, 10, 20, 30, 40, 60 kg urée-N/ha + 5 t/ha de fumier en fumure de fond et 40, 80 kg urée-N/ha (moitié et complète de la dose recommandée, respectivement) sans fumure de fond. Les périodes d'apport de l'engrais minéral à 0 et 14 jours après repiquage (JAR) ont été également testées afin de déterminer la période idéale d'apport.

En milieu réel (démonstration), seules les doses d'apport d'engrais comprenant six modalités dont : 0, 10, 20, 30 kg urée-N/ha + 5 t/ha de fumier en fumure de fond, les pratiques paysannes ou « producteurs » (PP,

100 à 120 kg de NPK + urée) et un témoin sans aucun apport ont été testées.

Un dispositif en blocs aléatoires complets avec quatre répétitions de chaque traitement a été adopté pour les différents essais mis en œuvre en station ou en milieu paysan.

2.2. Collecte et analyse des données

2.2.1. Collecte des données de rendement

Les rendements en légumes frais ont été évalués après trois récoltes échelonnées pour chacune des espèces végétales à 4, 6 et 8 semaines après le repiquage pour *A. cruentus* puis 6, 10 et 14 semaines après le repiquage pour *S. macrocarpon* et *O. gratissimum*. Des échantillons de légume frais (tige plus feuilles) ont été collectés à chaque récolte, pesés à l'aide d'une balance (de précision 0,01 g), séchés à l'étuve à 60°C pendant 72 heures afin de déterminer la teneur en matière sèche des légumes récoltés (Adjogboto et al., 2019; Kpadonou et al., 2019; Likpè et al., 2019).

2.2.2. Coûts de production et calcul des indicateurs économiques

Les coûts de production (de la mise en place de la pépinière à la dernière récolte), les coûts des intrants (semences, engrais, produits phytosanitaires), des matériels agricoles (daba, houes, machettes, arrosoirs, râteliers, perles, binettes, bassines, couteaux, appareil de traitement phytosanitaire, etc.), l'équipement d'irrigation, son entretien et les coûts de l'énergie électrique pour la mobilisation de l'eau ont été collectés. La marge

nette a été calculée par la différence entre les coûts de production totaux (somme des coûts fixes et coûts variables) et les recettes totales générées par la vente des légumes (Diogo et al., 2011; Hayashi et al., 2008). A cet effet, les prix de vente des légumes ont été régulièrement collectés sur les marchés de la zone d'étude. Le ratio bénéfice-coût ou retour sur investissement a été déterminé par le rapport de la marge nette par les coûts totaux de production (Diogo et al., 2011; Hayashi et al., 2008).

2.2.3. Bilan hydrique et productivité de l'eau

L'humidité du sol a été suivie par la méthode gravimétrique qui consiste à prélever par intervalle de temps d'une semaine, des échantillons de sol sur chaque parcelle, peser frais, sécher à l'étuve à 105°C pendant 72 heures afin d'établir le bilan hydrique et d'en déduire la consommation en eau des plantes (quantité d'eau évapotranspirée). Les pertes d'eau par drainage sous les racines des cultures au-delà de 40 cm ont été collectées grâce à des micro-lysimètres installés à cette profondeur sous les planches à raison de deux par planche (Likpèté et al., 2019).

Le bilan hydrique a été établi par l'équation suivante :

$$ET = (P + I) - D - R \pm \Delta S$$

Où ET, P, I, D, R, ΔS représentent la consommation en eau de la plante, la quantité d'eau de pluie, l'irrigation, le drainage, le ruissellement et la variation du stock d'eau du sol entre le repiquage et la date de la dernière récolte, respectivement. Compte tenu des aménagements réalisés sur la planche (le relèvement des bords), le ruissellement a été négligé et l'équation du bilan devient :

$$ET = (P + I) - D \pm \Delta S$$

La productivité de l'eau (base fraise) a été déterminée par le rapport du rendement en légume frais par la quantité d'eau consommée par la plante (Sangare et al., 2012).

2.2.4. Analyse statistique des données collectées

Les données de rendements, productivité de l'eau, marge nette, ratio bénéfice-coût de l'ensemble des essais en station ont été soumises à une analyse de variance sous le logiciel GenStat 12^{ème} édition suivant le dispositif adopté après la vérification de la distribution normale. Les moyennes significativement différentes ont été séparées par le test de la plus petite différence significative (LSD, en anglais). Une synthèse quantitative est faite ici par le calcul des moyennes des traitements de microdose, du témoin sans apport et la dose recommandée. Seule, la dose la plus performante de microdose entre espèces est présentée ici.

3. Résultats

3.1. Performance des innovations de microdose sur les LFTs au CRA-Nord-Ina

3.1.1. Effet de la méthode et de la date d'application du microdosage de l'engrais minéral sur le rendement de l'amarante

Les résultats du test d'évaluation de l'effet des différentes méthodes d'application (épandage uniforme sur toute la surface du sol, bande ou au poquet) de l'engrais minéral par microdosage sous une culture d'amarante ont indiqué des performances productives similaires (Fig. 1a). Il en est de même pour les dates d'application de l'engrais (Fig. 1b), donnant ainsi la possibilité aux producteurs d'appliquer l'engrais minéral dans l'intervalle de deux semaines sans compromettre les rendements des cultures. Toutes les méthodes et les dates d'application de l'engrais minéral ont permis de produire en moyenne 1,63 ($\pm 0,72$) kg de légume frais par m² (avec 14% de matière sèche -MS). Cette égalité de performance observée entre les différentes méthodes d'application de l'engrais a été attribuée à la possibilité des racines des plantes à explorer les nutriments jusqu'à 10 cm de part et d'autre de la ligne de culture (Adjoboto et al., 2019).

Figure 1: Rendement moyen en légume frais de *A. cruentus* en fonction de la méthode (a) et la date d'application de l'engrais minéral (b). Les barres d'erreur représentent la plus petite différence significative (LSD).

Figure 1: Average fresh vegetable yield of *A. cruentus* following method (a) and mineral fertilizer application timing (b). Error bars denoted the least significant difference value (LSD).

3.1.2. Effet de la microdose sur le rendement des LFTs au CRA-Nord Ina

Les résultats des essais en station ont montré des différences significatives entre la fertilisation microdose et le témoin (sans engrais minéral) et la dose recommandée pour le rendement en légume frais de l'amarante (*A. cruentus*) et de la grande morelle (*S. macrocarpon*). La microdose à 40 kg urée-N/ha avec matière organique a permis de produire en moyenne 0,70 ($\pm 0,21$ avec 14% MS) et 0,61 ($\pm 0,15$ avec 16% MS) kg/m² de légume frais respectivement de plus que le témoin sans apport d'engrais minéral pour l'amarante et la grande morelle, soit une amélioration significative de

65 et 26% du rendement en légume frais (Fig. 2 a, b). De même, une amélioration de 83 et 13% du rendement en légume frais a été obtenue par la fertilisation microdose à 40 kg urée-N/ha par rapport à la dose recommandée (80 kg urée-N/ha) pour l'amarante et la grande morelle, respectivement. Contrairement à ces deux espèces, la microdose a présenté des performances productives similaires aux autres traitements pour le basilic africain (Fig. 2c). Toutes les doses ont permis de produire en moyenne $1,5 (\pm 0,39)$ kg/m² de légume frais avec 16% de matière sèche (MS). Ces résultats suggèrent que les doses d'engrais organiques et minéraux appliquées pour la production des légumes feuilles traditionnels peuvent être significativement réduites sans compromettre les rendements (Adjogboto et al., 2019; Likpè et al., 2019).

Figure 2: Rendement en légume frais de *A. cruentus* (a), *S. macrocarpon* (b) et *O. gratissimum* (c) en fonction de la technique de fertilisation. MD_40: fertilisation microdose à 40 kg urée-N/ha avec 5 t/ha de fumier en fumure de fond, DR: Dose recommandée à 80 kg urée-N/ha sans apport de fumier, Témoin : sans engrais minéral mais avec 5 t/ha de fumier en fumure de fond. Les barres d'erreur représentent la plus petite différence significative (LSD).

Figure 2: Average fresh vegetable yield of *A. cruentus* (a), *S. macrocarpon* (b) and *O. gratissimum* (c) following the technique of fertilization. MD_40: microdose at 40 kg urea-N/ha with 5 tons/ha of manure, DR: Recommended rate at 80 kg urea-N/ha without manure, Témoin : control without mineral fertilizer but with 5 tons/ha of manure. Error bars denoted the least significant difference value (LSD).

3.1.3. Effet de la méthode et de la date d'application du microdosage de l'engrais minéral sur la productivité en eau de l'amarante au CRAN-Nord-Ina

Comme dans le cas du rendement en légume frais, la productivité en eau a été similaire entre les différentes méthodes (épandage uniforme sur toute la surface du sol, bande et poquet) et les dates d'application (précoce ou à 14 JAR) du microdosage de l'engrais minéral (Fig.

3). Toutes les méthodes d'application de l'engrais minéral ont produit en moyenne $2,78 (\pm 1,22)$ g de légume frais par m² (avec 41% de MS) et par mm d'eau consommée (évapotranspirée). En d'autres termes, la consommation de 1 Litre d'eau par les plantes a permis de produire $2,78 (\pm 1,22)$ g de légume frais par mètre carré. Ce qui suggère que la consommation en eau des plantes est la même quelle que soit la méthode et la date d'application de l'engrais minéral (Likpè et al., 2019).

Figure 3: Productivité de l'eau de *A. cruentus* en fonction de la méthode (a) et la date d'application de l'engrais minéral (b). Les barres d'erreur représentent la plus petite différence significative (LSD).

Figure 3: Water productivity of *A. cruentus* following method (a) and mineral fertilizer application timing (b). Error bars denoted the least significant difference value (LSD).

3.1.4. Effet de la microdose sur la productivité de l'eau des LFTs au CRA-Nord-Ina

Les résultats ont montré que le microdosage de l'engrais minéral (urée) a eu un effet significatif sur la productivité de l'eau de l'amarante et de la grande morelle. La microdose à 40 kg N/ha a enregistré la productivité de l'eau la plus élevée comparativement aux témoins sans engrais minéral ou sans matière organique (Fig. 4 a, b). La microdose a permis de produire en moyenne 1,36 et 1,57 g (*A. cruentus*, avec 14% MS) et 0,74 et 0,35 g (*S. macrocarpon*, avec 16% MS) de légume frais par mm d'eau consommée de plus que le témoin sans engrais minéral et l'application exclusive d'urée à 80 kg N/ha, respectivement. Cette différence correspond à une amélioration de la productivité de l'eau de 68 ; 88% (*A. cruentus*) et 29 ; 12% (*S. macrocarpon*). Par contre, les productivités de l'eau s'équivalent pour tous les traitements considérés dans le cas de *O. gratissimum* (Fig. 4 c). Tous les traitements ont enregistré en moyenne $1,63 (\pm 0,48)$ g de légume frais (avec 16% MS) par mm d'eau consommée.

Figure 4: Productivité de l'eau de *A. cruentus* (a), *S. macrocarpon* (b) et *O. gratissimum* (c) en fonction de la technique de fertilisation. MD: fertilisation microdose à 40 kg urée-N/ha avec 5 t/ha de fumier en fumure de fond, DR: Dose recommandée à 80 kg urée-N/ha sans apport de fumier, Témoin : sans engrais minéral mais avec 5 tonnes de fumier en fumure de fond. Les barres d'erreur représentent la plus petite différence significative (LSD).

Figure 4: Water productivity of *A. cruentus* (a), *S. macrocarpon* (b) and *O. gratissimum* (c) following the technique of fertilization. MD_40: microdose at 40 kg urea-N/ha with 5 tons/ha of manure, DR: Recommended rate at 80 kg urea-N/ha without manure, Témoin : control without mineral fertilizer but with 5 tons/ha of manure. Error bars denoted the least significant difference value (LSD).

3.1.5. Effet de la méthode d'application de la microdose sur le temps de travaux et la rentabilité de la production

Le test d'évaluation de l'effet des différentes méthodes d'application d'engrais minéral par microdosage a montré que l'application du microdosage de l'engrais minéral par poquet a été la plus contraignante en termes de temps et de facilité d'application comparativement aux méthodes. En effet, le temps nécessaire pour l'application de l'engrais minéral par poquet représente deux fois celui de l'application par bande et trois fois celui nécessaire pour l'épandage uniforme de l'engrais dissout dans l'eau (Tableau 2). Malgré les coûts supplémentaires qu'engendrerait cet écart de temps de travail, la différence entre les marges nettes et les ratios bénéfice-coûts n'est pas statistiquement significative. Pour la microdose à 40 kg urée-N/ha, la marge nette la plus élevée a été observée sous la méthode d'application de l'engrais minéral par épandage uniforme (241,64 F CFA/m²/cycle de 3 mois) suivi de l'application au poquet (225,96 F CFA/m²/cycle de 3 mois) et 209,73 F CFA/m²/cycle de 3 mois, pour l'application par bande. Les ratios bénéfice-coûts suivent la même tendance et il en ressort que 1 F investi dans la production de l'amarante (environ 3 mois) a généré 1,29 F sous la microdose à 40 kg urée-N/ha avec l'épandage

uniforme, 1,16 F pour l'application au poquet et 1,10 F pour l'application par bande contre seulement 0,53 F pour le témoin sans apport d'engrais minéral. Cependant, la production de l'amarante sous l'application exclusive de l'engrais minéral à forte dose (80 kg urée-N/ha) n'a pas été rentable quelle que soit la méthode d'application, les marges nettes étant négatives, les recettes issues de la vente des récoltes de légume n'arrivaient pas à couvrir les coûts totaux engendrés par la production.

Tableau 2: Temps d'application de l'engrais minéral et la rentabilité de la production de l'amarante sous diverses méthodes d'application de l'engrais minéral en microdose à 40 kg urée-N/ha au CRA-Nord-Ina.

Table 2: Mineral fertilizer application time and profitability of amaranth production under various methods of application of mineral fertilizer micro-dosing at 40 kg urea-N/ha CRA-Nord-Ina.

Méthodes d'application de l'engrais minéral	Temps d'application (jours/ha)	Marge nette (FCFA/m ² /cycle de 3 mois)	Ratio bénéfice-coût (-)
Application par poquet	23,1	225,96	1,16
Application par bande	11,6	209,73	1,10
Application uniforme de l'urée dissoute dans l'eau	5,8	241,64	1,29

3.2. Performance des innovations microdose sur les LFTs en milieu réel : cas de la commune de Djidja

Les rendements en légume frais diffèrent significativement entre les différentes doses d'engrais appliquées pour la grande morelle à Agbohountogon et pour le basilic africain à Bookou (commune de Djidja, Département du Zou). La microdose à 60 kg d'urée (environ 30 kg d'azote) par hectare (MD) a résulté en des performances similaires comparativement à la pratique des producteurs (PP) mais significativement améliorées par rapport au témoin sans aucun apport pour toutes les espèces considérées (Fig. 5). La microdose et la technique des producteurs ont produit en moyenne 0,99 kg par m² de légume frais, soit le double du rendement enregistré sous le témoin sans aucun apport de fertilisant. De façon similaire, dans le cas du basilic africain, elles ont permis de produire en moyenne 0,19 kg par m² de légume frais de plus que le témoin, correspondant à une amélioration de 70%.

Figure 5: Rendement en légume frais de *Solanum macrocarpon* L. (a) et *Ocimum gratissimum* L. (b) en fonction de la technique de fertilisation. MD: fertilisation microdose à 60 kg urée/ha avec 5 tonnes de fumier en fumure de fond, Témoin : sans aucun apport. Les barres d'erreur représentent la plus petite différence significative (LSD).

Figure 5 : Average fresh vegetable yield of *Solanum macrocarpon* L. (a) and *Ocimum gratissimum* L. (b) following the technique of fertilization. MD : microdose at 60 kg urea/ha with 5 tons/ha of manure, Témoin : control without input. Error bars denoted the least significant difference value (LSD).

4. Recommandations sur les pratiques innovantes optimisées de microdose sur les LFTs et variantes

4.1. Microdosage des engrais organiques

La dose optimale de fumier est comprise entre 2,5 - 5,0 tonnes par ha. Pour la bouse de vache par exemple,

cette quantité correspond à 0,25 - 0,5 kg/m², soit 4-7 poignées de fumier par mètre carré pour la plupart des légumes feuilles traditionnels étudiés comme *Ocimum gratissimum* L., *Amaranthus* sp. et *Solanum macrocarpon* L. L'apport de fumier par microdosage peut être fait à environ cinq jours après le repiquage et s'effectue une seule fois pendant le cycle végétatif de la culture, soit pendant la préparation des planches par épandage uniforme et incorporation du fumier dans le sol ou quelques jours après le repiquage en bande entre les lignes de culture ou par poquet.

4.1.1. Microdosage de fumier par épandage

Afin de renforcer la capacité de rétention des nutriments et de l'eau du sol, il est recommandé d'épandre du fumier en fumure de fond pour les sols pauvres avant le repiquage ou quelques jours après (environ 5 jours). Cette méthode d'apport de fumier par microdosage consiste à épandre uniformément du fumier bien décomposé (séché à l'air) sur les parcelles, retourner avec le sol et arroser jusqu'à la date de repiquage. Il est recommandé d'appliquer 5 tonnes de fumier (bovins) par hectare correspondant à 0,5 kg/m² ou environ 4-7 poignées de fumier par m² (une poignée de fumier sec bien décomposé contient en moyenne 70 g de fumier ; Micro-Veg project, 2018).

Fumure de fond avant repiquage des plants. Source : Micro-Veg Project

Microdosage de fumier 5 jours après repiquage des plants d'amarante. Source : Micro-Veg Project

Figure 6: Processus de microdosage de l'engrais organique par épandage uniforme et incorporation dans le sol.

Figure 6: Process of manure micro-dosing application through uniform broadcast and incorporation into the soil.

4.1.2. Microdosage de fumier par bande

L'application du fumier par microdosage par bande consiste à ouvrir près des plantes (environ 5 - 10 cm), des bandes entre deux lignes consécutives. Pour une parcelle abritant 6 lignes de plantes par exemple, on n'aurait besoin que de trois bandes pour l'application du fumier. La quantité de fumier requise (4-7 poignées de

fumier par mètre carré) est divisée en conséquence et uniformément répartie dans les bandes ouvertes et enfin ces dernières sont fermées avec du sable et sont ensuite irriguées. L'application de microdose en bande permet une économie du temps de travail par rapport à une application au poquet.

Ouverture des bandes entre deux lignes successives de plants d'amarante. Source: IRDC/Bartay

Application du fumier dans les bandes ouvertes. Source: IRDC/Bartay

Fermeture des bandes après application du fumier. Source: IRDC/Bartay

Figure 7: Processus de microdosage de l'engrais organique par bande

Figure 7: Process of manure micro-dosing application by strip

Ouverture des poquets près de chaque plant. Source : Micro-Veg Project

Prélèvement d'une demi-poignée de fumier. Source : Micro-Veg Project

Application du fumier dans les poquets ouverts puis fermeture. Source : Micro-Veg Project

Figure 8: Processus de microdosage de l'engrais organique par poquet

Figure 8: Process of manure micro-dosing application per hill

4.1.3. Microdosage de fumier par poquet

L'application du fumier par microdosage au poquet consiste à ouvrir à proximité des plantes (environ 5 - 10 cm), un poquet dans lequel est appliquée la quantité requise de fumier prélevée à l'aide d'un récipient calibré (petite boîte de tomate ou équivalence de poignée), suivie de la fermeture avec la terre et irrigation (Fig. 8). L'utilisation d'une demi-poignée de fumier sec bien décomposé est suffisante par poquet pour l'amarante. L'application au poquet est plus fastidieuse et n'est recommandée que pour un nombre très limité de planche à fertiliser.

4.2. Microdosage des engrais minéraux

L'urée (46% d'azote) constitue l'engrais minéral le plus adapté pour sa forte teneur en azote qui représente l'élément majeur le plus important pour le développement des feuilles. Elle est apportée une seule fois durant le cycle cultural des espèces à cycle court (*A. cruentus* et *S. macrocarpon*), 5 à 10 jours après le repiquage ou après la levée afin d'éviter la brûlure des jeunes plantes.

Pour les espèces à cycle long voire pérennes (*O. gratissimum*), il est recommandé de renouveler les apports d'urée après les deux premières récoltes afin de stimuler la régénération et le développement optimal des jeunes feuilles. La dose optimale d'azote est d'environ 20-40 kg/ha (4,4 - 8,7 g d'urée/m²) pour *O. gratissimum* et 40 - 60 kg/ha (8,7 - 13,0 g d'urée/m²) pour la plupart des légumes feuilles traditionnels (*Amaranthus* sp., *S. macrocarpon*). Pour les mesures pratiques, un bouchon de bouteille de bière ou une petite boîte de tomate de 70 g remplis à ras bord contiennent en moyenne 3,0 et 56,0 g d'urée, respectivement, de même qu'une poignée d'urée contient environ 40,0 g d'urée. Comme dans le cas du microdosage du fumier, trois méthodes ont été développées pour l'application du microdosage de l'engrais minéral. En vue d'assurer une uniformité d'application de l'engrais, il est recommandé que l'urée soit d'abord dissoute dans l'eau avant l'application. Cependant, les méthodes d'application illustrées ci-après sont toutes aussi réalisables avec la forme en granulés. Pour l'application en granulé, l'arrosage se fait après l'application.

4.2.1. Microdosage de l'engrais minéral par épandage uniforme après dilution dans l'eau

La quantité d'urée requise pour une parcelle de surface donnée est dissoute dans la moitié de la quantité d'eau arrosage dans un arrosoir à maille uniforme, puis distribuée uniformément sur la parcelle suivie du rin-

çage des feuilles avec la deuxième moitié de l'eau d'arrosage (Fig. 9). Le microdosage de l'engrais minéral par épandage uniforme après dissolution dans l'eau est plus facile à appliquer, fait gagner du temps et réduit le temps de travail par rapport aux autres méthodes (application par bande et application par poquet).

Mesure de la quantité d'urée *.
Source: IRDC/Bartay

Application directe sur les feuilles après dilution de l'urée dans l'eau. Source: IRDC/Bartay

Rinçage des des feuilles des plants après application foliaire de l'engrais. Source: IRDC/Bartay

Figure 9: Processus de microdosage de l'engrais minéral par épandage uniforme après dilution dans l'eau. * = quantité d'urée (52 g) pour une parcelle de 6 m² dans une boîte de tomate de 70 g, équivalent de 40 kg d'azote par ha (13.0 g d'urée/m²).

Figure 9: Process of mineral fertilizer micro-dosing by uniform broadcast after urea water dilution. * = quantity of urea (52 g) for a 6 m² plot in a 70-g-tomato-can, equivalent to 40 kg of nitrogen per ha (13.0 g of urea / m²).

Dissolution de l'urée dans l'eau dans une boîte. Source : Micro-Veg Project

Application de la solution l'urée dans les bandes à l'aide d'une boîte à bouchon perforé. Source : Micro-Veg Project

Figure 10: Processus de microdosage de l'engrais minéral par bande

Figure 10: Process of mineral fertilizer micro-dosing by strip

4.2.2. Microdosage de l'engrais minéral par bande

Comme dans le cas de la méthode d'épandage uniforme, le microdosage de l'engrais minéral par bande sur les LFTs consiste à dissoudre la quantité d'urée requise par parcelle dans une grande bouteille d'eau minérale à bouchon perforé et répartie ensuite dans les bandes ouvertes entre les lignes de plantes (environ 5 – 10 cm). Chaque bande couvre deux lignes consécutives de plants qui l'encadrent. Une parcelle de 6 lignes de

plants par exemple, n'aura besoin que de trois bandes. La quantité d'engrais requise pour une parcelle de surface donnée est divisée par le nombre de bandes et distribuée par une pression continue sur la bouteille compressible à capuchon perforé en vue de permettre la libération uniforme de la quantité égale de solution dans toutes les bandes (Fig. 10). Cette option prend moins de temps d'application comparativement à l'application par poquet.

4.2.3. Microdosage de l'engrais minéral par poquet

Le microdosage de l'engrais minéral par poquet des LFTs consiste en une dissolution de l'urée dans l'eau dans une petite bouteille perforée et répartie par poquet ou des bandes discontinues ouvertes près de chaque plante (environ 5 cm). La quantité d'engrais requise pour une parcelle de surface donnée est divisée par les

lignes de plantes et distribuée par une légère pression sur la bouteille compressible à capuchon perforé afin de permettre la libération de la quantité égale par plante (Fig. 11). Cette option est laborieuse et demande plus de temps de travail comparativement aux autres méthodes, mais faisable sur un nombre limité de planches.

Ouverture des poquets/bandes discontinues pour l'application de l'urée dissoute dans l'eau. Source: IRDC/Bartay

Dissolution de l'urée dans l'eau dans une boîte. Source: IRDC/Bartay

Application de la solution d'urée par poquet/bandes discontinues. Source: IRDC/Bartay

Fermeture des poquets/bandes discontinues. Source: IRDC/Bartay

Figure 11: Processus de microdosage de l'engrais minéral par poquet.

Figure 11: Process of mineral fertilizer micro-dosing per hill.

5. Conclusion et perspectives

Cette étude vise à évaluer les performances de la technique de microdosage des engrais sur les légumes feuilles traditionnels (LFTs) au Bénin (Afrique de l'Ouest) par le projet Micro-Veg. Le processus a consisté à des tests sur plusieurs années de performance agronomique de la fertilisation microdose sous les légumes feuilles traditionnels en Afrique de l'Ouest en adaptant de façon itérative les contraintes majeures de la technique microdose (dose, date, lieu, type d'engrais) et celles du producteur (temps, méthode, facilité et forme d'application). Ces tests en station et en milieu réel ont permis d'identifier la méthode d'application de l'engrais minéral/organique la plus adaptée aux LFTs,

souvent plantés à forte densité, la période idéale d'application et la dose optimale d'engrais (organique et minéral). Les résultats ont montré que l'application uniforme de l'engrais minéral dissout dans l'eau est non seulement, la plus adaptée pour sa facilité d'application mais également résulte en des performances (agronomique et économique) similaires comparativement à l'application par bande ou par poquet qui est plus contraignante. La période idéale d'application de l'engrais est de 5 à 10 jours après repiquage pour les espèces qui nécessitent la réalisation d'une pépinière et 0 à 10 jours après semis pour celles qui peuvent être directement semées. Les résultats des essais en station ont montré qu'une microdose à 40-60 kg d'urée-N par hectare a enregistré les meilleures performances en termes de

rendement en légume frais, de marge nette et de ratio bénéfice-coût comparativement au témoin sans engrais minéral et l'application exclusive de 80 kg d'urée-N/ha sans apport de fumier pour *A. cruentus* (Amarante), *S. macrocarpon* (grande morelle) et *O. gratissimum* (basilic africain). Ainsi, la fertilisation microdose réduit près de deux fois les doses d'engrais appliquées lors de la production des LFTs et les producteurs peuvent améliorer leur revenu en réduisant les coûts de production. Cette technique de fertilisation doit donc être mise à échelle afin de diversifier les sources de nutriments des producteurs ainsi que leurs sources de revenus. La faible performance enregistrée par l'application exclusive d'engrais minéral même à une dose relativement élevée a montré la nécessité de combiner l'application de fumier et l'engrais minéral en vue d'optimiser non seulement les rendements des légumes feuilles mais aussi d'assurer une gestion optimale des nutriments du sol. Bien que ces techniques innovantes de microdose aient été testées sur trois LFTs (*Amaranthus* sp., *S. macrocarpon* et *O. gratissimum*) au Bénin, elles peuvent être efficacement appliquées à d'autres légumes feuilles traditionnels (LFTs) similaires en Afrique de l'Ouest.

Vu les résultats de l'application de la fertilisation microdose à la production des LFTs, le défi à relever constitue la diffusion à grande échelle par l'amplification des démonstrations dans les zones non couvertes par le projet Micro-Veg Bénin et des séances de sensibilisation dans les zones de forte production maraîchère incluant les LFTs. Des études futures doivent être orientées vers la mécanisation de l'application de l'engrais par microdosage afin de libérer la force humaine.

REMERCIEMENTS

Cette recherche a été financée par le Centre de Recherches pour le Développement International (CRDI) et Affaires Mondiales Canada, par le biais du Fonds Canadien de Recherche sur la Sécurité Alimentaire Internationale (FCRSI), Projet no 107983 [Don du CRDI : 107983-005, MicroVeg Project]. Les auteurs remercient également les partenaires : Adebayo O. Clement de Osun State University (Nigéria), Durodoluwa J. Oyedele de Obafemi Awolowo University (OAU, Nigéria), Derek Peak de University of Saskatchewan (UofS, Canada) et Rotimi Aluko de University of Manitoba (UofM, Canada) pour leur collaboration dans la formulation et la mise en œuvre dudit projet.

CONFLIT D'INTERET

Les auteurs n'ont déclaré aucun conflit d'intérêt.

REFERENCES

- Abdoulaye, I., Nasser, B.M., Ouatarra, B., Diakalia, S., Sabiou, M., 2014. Fertilizer micro-dosing: a profitable innovation for Sahelian women. *Stories Change*.
- Adebolu, T.T., Oladimeji, S.A., 2005. Antimicrobial activity of leaf extracts of *Ocimum gratissimum* on selected diarrhoea causing bacteria in southwestern Nigeria. *Afr. J. Biotechnol.* 4, 682–684.
- Adjogboto, A., Likpè, D.D., Akponikpe, P.B.I., Djenontin, A.J., Baco, M.N., Sossa-Vihotogbe, C.N.A., Agbossou, E.K., 2019. What application method would be appropriate in fertilizer micro-dosing of traditional leafy vegetables in West Africa? *Acta Hort.* 11–20. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2019.1238.2>
- Aïdam, A., Etse, K.D., Koba, K., Raynaud, C., Sanda, K., Chaumont, J.-P., Trémouillaux-Guiller, J., 2008. Capacités morphogénétiques in vitro, performance au champ et production d'huiles essentielles chez *Ocimum gratissimum* L. *Acta Bot. Gallica* 155, 341–354.
- Assogba-Komlan, F., Anihouvi, P., Achigan, E., Sikiro, R., Boko, A., Adje, C., Ahle, V., Vodouhe, R., Assa, A., 2007. Pratiques culturales et teneur en éléments anti nutritionnels (nitrates et pesticides) du *Solanum macrocarpum* au sud du Bénin. *Afr. J. Food Agric. Nutr. Dev.* 7, 1–21.
- Buerkert, A., 1995. Effects of crop residues, phosphorus, and spatial soil variability on yield and nutrient uptake of pearl millet (*Pennisetum glaucum* L.) in southwest Niger. Verlag Ulrich E. Grauer.
- Camara, B.S., Camara, F., Berthe, A., Oswald, A., 2013. Micro-dosing of fertilizer-a technology for farmers' needs and resources. *Int. J. AgriScience* 3, 387–399.
- Chaumont, J.-P., Mandin, D., Sanda, K., Koba, K., de Souza, C.A., 2001. Activités antimicrobiennes in vitro de cinq huiles essentielles de Lamiacées togolaises vis-à-vis de germes représentatifs de la microflore cutanée. *Acta Bot. Gallica* 148, 93–101.
- Dansi, A., Adjatin, A., Adoukonou-Sagbadja, H., Faladé, V., Yedomonhan, H., Odou, D., Dossou, B., 2008. Traditional leafy vegetables and their use in the Benin Republic. *Genet. Resour. Crop Evol.* 55, 1239–1256.
- Diogo, R.V., Buerkert, A., Schlecht, E., 2010. Horizontal nutrient fluxes and food safety in urban and peri-urban vegetable and millet cultivation of Niamey, Niger. *Nutr. Cycl. Agroecosystems* 87, 81–102.
- Diogo, R.V.C., Buerkert, A., Schlecht, E., 2011. Economic Benefit to Gardeners and Retailers from Cultivating and Marketing Vegetables in Niamey, Niger. *Outlook Agric.* 40, 71–78. <https://doi.org/10.5367/oa.2011.0027>
- Dugué, P., 1993. La gestion de la fertilité et l'utilisation des ressources naturelles dans les systèmes agropastoraux soudano-sahéliens. Quelques éléments de réflexion à partir des situations du Yatenga

- (Burkina Faso) et du Sine Saloum (Sénégal). Communication. CIRAD-SAR.
- Grubben, G.J.H., Denton, O.A., 2004. Plant resources of tropical Africa 2. Vegetables. Plant Resour. Trop. Afr. 2 Veg.
- Hayashi, K., Abdoulaye, T., Gerard, B., Bationo, A., 2008. Evaluation of application timing in fertilizer micro-dosing technology on millet production in Niger, West Africa. Nutr. Cycl. Agroecosystems 80, 257–265.
- ICRISAT, -, 2009. Fertilizer Microdosing: Boosting Production in unproductive lands [WWW Document]. URL <http://oar.icrisat.org/5666/> (accessed 7.4.19).
- InuWam project, 2014. Integrated nutrient and water management for sustainable food production in the Sahel (Final Technical Report). Parakou, Benin.
- James, B., Atcha-Ahowé, C., Godonou, I., Baimey, H., Goergen, H., Sikirou, R., Toko, M., 2010. Integrated pest management in vegetable production: A guide for extension workers in West Africa. IITA.
- Kpadonou, G.E., Adjogboto, A., Likpè, D.D., Dasigili, Z.P., Akponikpe, P.B.I., Djenontin, A.J., 2019. Improving traditional leafy vegetables production through water use efficiency and fertilizer microdosing technology in Benin Republic. Acta Hort. 55–64. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2019.1238.7>
- Likpè, D.D., Adjogboto, A., Akponikpe, P.B.I., Djenontin, A.J., Baco, M.N., Sossa-Vihotogbe, C.N.A., Agbossou, E.K., 2019. Water use efficiency of local amaranth as affected by timing and application methods of fertilizer micro-dosing. Acta Hort. 45–54. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2019.1238.6>
- Maria, I. G. M., Antonio, E. G. S. A., Felipe, M. T. V., Wbyratan, L. S., Liziane, M. L., Reginaldo, C., ... Roseane, C. S. (2016). Bioactivity of basil (*Ocimum basicilum* L.) on control of the spider mite (*Tetranychus urticae* Koch.) in peanut. African Journal of Biotechnology, 15(30), 1597-1607. <https://doi.org/10.5897/AJB2015.15078>
- Micro-Veg project, 2018. Fertilizer micro-dosing on traditional leafy vegetables in West Africa, Bulletin, Nigeria and Benin Republic. Nigeria and Benin Republic.
- Oboh, F.O., Masodje, H.I., Enabulele, S.A., 2009. Nutritional and antimicrobial properties of *Ocimum gratissimum* leaves. J Biol Sci. 9, 377–380.
- Olaniyi, J.O., Adelasoye, K.A., Jegede, C.O., 2008. Influence of nitrogen fertilizer on the growth, yield and quality of grain amaranth varieties. World J. Agric. Sci. 4, 506–513.
- Sangare, S.K., Compaore, E., Buerkert, A., Vanclooster, M., Sedogo, M.P., Biélders, C.L., 2012. Field-scale analysis of water and nutrient use efficiency for vegetable production in a West African urban agricultural system. Nutr. Cycl. Agroecosystems 92, 207–224.
- Sossa-Vihotogbe, A.N.C., Anihouvi, B.V., Akissoe, H.N., Amadji, L.G., Hounhouigan, D.J., 2013. Effect of organic and mineral fertilization on proximate composition of three leafy vegetables harvested at different periods. Int. J. Biol. Chem. Sci. 7, 271–286.
- Stevens, J.M.C., 1990. Légumes traditionnels du Cameroun, une étude agro-botanique. Agricultural University.
- Témé, B., Breman, H., Sissoko, K., 1996. Intensification agricole au Sahel: Mythe ou Réalité? AB-DLO [etc.].
- Tirilly, Y., Bourgeois, C.M., 1999. Technologie des légumes [WWW Document]. Libr. Lavoisier. URL <https://www.lavoisier.fr/livre/agro-alimentaire/technologie-des-legumes/tirilly/descriptif-9782743002992> (accessed 7.4.19).