

# **Influence Du Mode De Culture Du Maïs [*Zea Mays* (L.) (Poaceae)] Et Du Niébé [*Vigna Unguiculata* (L.) Walp (Fabaceae)] Sur La Masse Et La Qualité Nutritionnelle Des Graines Des Deux Espèces**

***Kimou Serge Hervé***

Laboratoire de Biologie et Amélioration des Productions Végétales, UFR Sciences de la Nature, Université Nangui Abrogoua, Côte d'Ivoire

***Coulibaly Lacina Fanlégué***

Département de Biologie Végétale, UFR des Sciences Biologiques, Université Péléforo Gon Coulibaly, Korhogo, Côte d'Ivoire

***Soumahoro André Brahima***

Ecole Normale Supérieure d'Abidjan (ENS) Abidjan, Côte d'Ivoire

***Koné Tchoa***

***Koné Mongomaké***

Laboratoire de Biologie et Amélioration des Productions Végétales, UFR Sciences de la Nature, Université Nangui Abrogoua, Côte d'Ivoire

Doi: 10.19044/esj.2018.v14n36p501 [URL:http://dx.doi.org/10.19044/esj.2018.v14n36p501](http://dx.doi.org/10.19044/esj.2018.v14n36p501)

---

## **Abstract**

Cowpea cultivars C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub> and C<sub>3</sub> were intercropped with maize in intra-line pattern (MND); inter-line pattern (1M1C) and strip-intercropping (2M4C) to determine influence of the cultivation method on the mass of 100 seeds and the nutritional quality of the seeds. Pure maize and cowpea crops were used as control plots. One hundred (100) seeds mass and nutrient content of maize and cowpea seed was determined. The results showed that 100 seeds mass (22,59g in 2015 and 21,03g in 2016) and the highest level of protein (9,87g in 2015 and 11,13g in 2016) maize seeds have been obtained with MC<sub>1</sub>I. Phosphorus levels were higher with maize seeds from sole maize fertilized M<sub>v</sub>+P (0,27g in 2015 and 0,25g in 2016). However the 2M4C<sub>1</sub> intercropping 2M4C<sub>1</sub> (0,24g in 2015 and 0,23 in 2016), 2M4N<sub>3</sub> (0,24g in 2015 and 0,25g in 2016) and 1M1C<sub>3</sub> (0,24g in 2015 and 0,24g in 2016) may be recommended for their phosphorus content in maize seeds. The 2M4C<sub>1</sub> intercropping (12,29g in 2015 et 13,05g in 2016) expressed the highest mass of 100 seeds of cowpea. Intercropping using 2M4C<sub>3</sub> can be recommended for improved fat content (1,27g in 2015 and 1,38g in 2016) and phosphorus (200,36g in 2015 and 200,33g in 2016) in cowpea seeds.

---

**Keywords:** Intercropping, seeds, maize, cowpea

---

### **Resume**

Les niébés N<sub>1</sub>, N<sub>2</sub> et N<sub>3</sub> ont été associées au maïs en damier (MND) ; en simples interlignes (1M1N) et en bandes (2M4N) en vue de déterminer l'influence du mode de culture sur la masse de 100 graines et la qualité nutritionnelle des graines. Des cultures pures de maïs et de niébé ont servi de parcelles témoins. La masse de 100 graines et la teneur en nutriments des graines de maïs et de niébé ont été déterminées. Les masses de 100 graines (22,59g en 2015 et 21,03g en 2016) et la teneur en protéines les plus élevées (9,87g en 2015 et 11,13g en 2016) ont été obtenues avec MN<sub>1</sub>D. Les teneurs en phosphore étaient plus élevées avec les graines de maïs fertilisées M<sub>V</sub>+P (0,27 g en 2015 et 0,25 g en 2016). Cependant, les associations 2M4N<sub>1</sub> (0,24g en 2015 et 0,23 en 2016), 2M4N<sub>3</sub> (0,24g en 2015 et 0,25g en 2016) et 1M1N<sub>3</sub> (0,24g en 2015 et 0,24g en 2016) peuvent être recommandées pour leurs teneurs en phosphore dans les graines de maïs. L'association 2M4N<sub>1</sub> (12,29g en 2015 et 13,05g en 2016) a exprimé la plus forte masse de 100 graines de niébé. L'association 2M4N<sub>3</sub> peut être recommandée pour une amélioration de la teneur en matière grasse (1,27g en 2015 et 1,38g en 2016) et en phosphore (200,36g en 2015 et 200,33g en 2016) dans les graines de niébé.

---

**Mots-clés:** Association culturale, graines, maïs, niébé

---

### **Introduction**

Les besoins alimentaires ont augmenté de manière exponentielle avec la croissance démographique alors que la disponibilité des terres cultivables a considérablement diminué (FAO, 2018). Ainsi, l'augmentation du rendement par unité de surface reste la principale stratégie pour augmenter la production agricole. L'agriculture est de plus en plus intensive avec des intrants coûteux (graines améliorées, produits chimiques, matériel d'irrigation...). Cette intensification de l'agriculture a un impact négatif sur l'environnement (Zhang *et al.*, 2004) en termes de pollution des eaux souterraines par le nitrate piégé dans les sols (Ju *et al.*, 2006), d'émission de gaz à effet de serre dans l'air (Zhang *et al.*, 2012), et de l'acidification du sol (Blumenberg *et al.*, 2013). Pour assurer la sécurité alimentaire et environnementale, il convient de rechercher les meilleures pratiques de gestion des terres. Ainsi, les systèmes de culture qui utilisent efficacement les ressources du sol et améliorent la productivité et la qualité nutritionnelle des produits récoltés occupent une place de choix. L'association culturale, qui est un système composé de deux ou plusieurs espèces cultivées sur une même surface pendant une certaine période (Ofori *et Stern*, 1987), est recommandée pour les productions

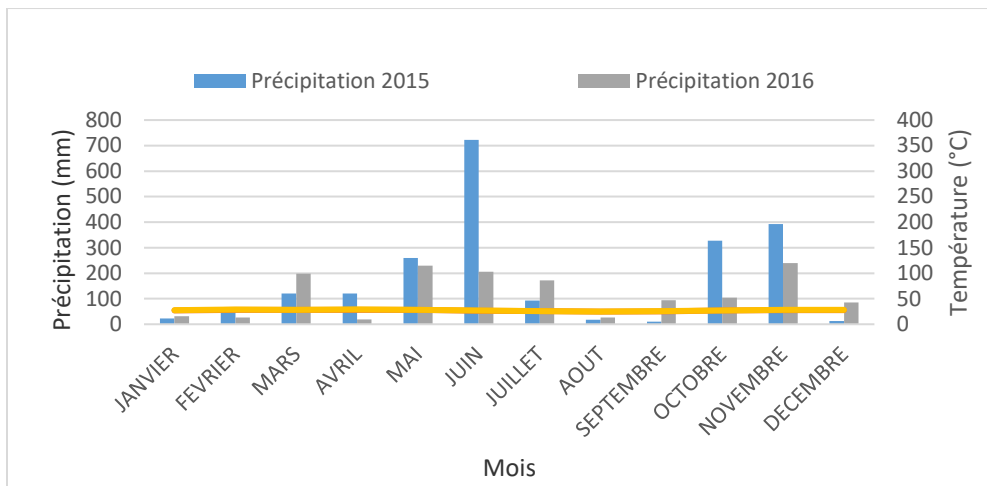
alimentaires ou de fibres dans diverses régions du monde. En effet, cette pratique culturelle lorsqu'elle est bien menée, assure une productivité élevée des espèces associée, un contrôle efficace des ravageurs et des maladies, de bons services écologiques et donc une rentabilité économique élevée (Thierfelder *et al.*, 2012 ; Wu *et Wu*, 2014 ; Midega *et al.*, 2014). Traditionnellement, les petits agriculteurs pratiquent l'association des cultures pour diversifier la production agricole. L'association des cultures de céréales aux légumineuses est une pratique courante (Akanvou *et al.*, 2006 ; Bedoussac 2009). Dans ce type de système de culture, les légumineuses qui ont la capacité de fixer l'azote atmosphérique, peuvent améliorer la fertilité du sol notamment son statut azoté (Azontondé, 1993 ; Bado, 2002 ; Carsky *et al.*, 2003). La plupart des études relatives à l'évaluation de la performance des associations céréales/légumineuses, ont essentiellement porté sur les effets des dates et des densités de semis sur le rendement des différentes cultures associées et le calcul des indices de récolte (Bedoussac 2009 ; Li *et al.*, 2011 ; Kouassi *et al.*, 2016 ; Djè Bi, 2018). Au niveau des différentes études réalisées en Côte d'Ivoire, l'incidence de l'association sur la qualité des graines n'a généralement pas été prise en compte dans l'étude des associations culturelles. Aussi, la présente étude vise à adopter les modèles d'arrangement de l'association culturelle maïs-niébé pour améliorer la productivité et la qualité nutritionnelle des graines des deux espèces.

## **Matériel et méthodes**

### **Site d'étude**

Les études ont été réalisées sur une parcelle expérimentale de l'Université Nangui Abrogoua (5°23 latitude Nord, 4°11 longitude Ouest et 100 m d'altitude) à Abidjan (Côte d'Ivoire) de mars à juillet en 2015 et en 2016. Le sol du site est de type ferrallitique fortement désaturé. Le pH du sol est plus acide en surface qu'en profondeur, et la teneur en matière organique varie de 2 à 3 % (Dabin, 1985 ; Yao-Kouamé et Alou, 2008).

La pluviométrie totale a été de 2161,86 mm et 1433,34 mm de pluies et la température moyenne, de 26,7°C et 27 °C respectivement en 2015 et en 2016 (Figure 1).



**Figure 1 :** Diagramme ombrothermique du district d'Abidjan établi pour l'année 2015 et 2016 (Source : [www.tutiempo.net](http://www.tutiempo.net))

### Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé a été constitué d'une variété de maïs (*Zea mays*) appelée EV8728 aux graines cornés, semis-dentés, de couleur jaune et de trois cultivars locaux de *Vigna unguiculata*. Les cultivars de niébé, tous à cycle court, sont décrits dans le tableau 1. Les graines utilisées ont été fournies par le Centre National de Recherche Agronomique (CNRA) de Korhogo (Côte d'Ivoire).

**Tableau 2 :** Quelques caractéristiques des cultivars de niébé étudiées

Codes	Provenance	Couleur	Aspect	Forme	Taille	Type de cycle
N <sub>1</sub>	Touba	rouge	Lisse	ovoïde	Moyenne	érigé Court
N <sub>2</sub>	Korhogo	blanche	Lisse	ovoïde	Petite	rampant Court
N <sub>3</sub>	Korhogo	rouge	Lisse	rhomboédrique	Moyenne	Semi Court

### Dispositif expérimental et systèmes de culture

Le dispositif expérimental utilisé a été composé de trois blocs complets aléatoires, avec 15 systèmes de culture et trois répétitions. Chaque parcelle élémentaire mesurant 5m de longueur et 3,25 m de largeur (soit une superficie de 16,25 m<sup>2</sup>). Les poquets de semis ont été espacés de 0,5 m sur une même ligne et la distance entre deux lignes contiguës a été de 0,75 m pour les associations culturales et de 0,5 m pour les cultures pures de maïs et de niébé. Un espace de 1 m a été laissé entre les parcelles élémentaires. Les 15 systèmes de culture étudiés sont décrits dans le tableau 2.

**Tableau 2 : Système de cultures adoptés pour l'expérimentation**

Nombre de Système de culture	Description
1	culture pure de maïs non fertilisé (M <sub>0</sub> P)
1	culture pure de maïs fertilisé avec engrais minéral (M <sub>+</sub> P)
1	culture pure de maïs fertilisé avec engrais organique (M <sub>v</sub> +P)
3	cultures pure de chacune des trois variétés de niébé (N <sub>1</sub> P, N <sub>2</sub> P, N <sub>3</sub> P)
3	cultures de maïs associé à chaque variété de niébé en association intra-lignes ou en damier avec poquets alternés sur une même ligne (MN <sub>1</sub> D ; MN <sub>2</sub> D ; MN <sub>3</sub> D)
3	cultures de maïs associé à chaque variété de niébé en simples interlignes avec une ligne de maïs alternée avec une ligne de niébé (1M1N <sub>1</sub> ; 1M1N <sub>2</sub> ; 1M1N <sub>3</sub> )
3	cultures de maïs associé à chaque variété de niébé en bandes composées, à raison de deux lignes de maïs alternées avec quatre lignes de niébé (2M4N <sub>1</sub> ; 2M4N <sub>2</sub> ; 2M4N <sub>3</sub> )

**M<sub>0</sub>P** : maïs en culture pure non fertilisé ; **M<sub>+</sub>P** : maïs fertilisé au NPK en culture pure ; **M<sub>v</sub>+P** : maïs fertilisé avec engrais organique en culture pure ; **N<sub>1</sub>P, N<sub>2</sub>P, N<sub>3</sub>P** : Trois variétés de niébé en culture pure ; **MN<sub>1</sub>D, MN<sub>2</sub>D, MN<sub>3</sub>D** : associations en intra-lignes ou en damier ; **1M1N<sub>1</sub>, 1M1N<sub>2</sub>, 1M1N<sub>3</sub>** : associations en simple interlignes ; **2M4N<sub>1</sub>, 2M4N<sub>2</sub>, 2M4N<sub>3</sub>** : associations en bandes ; **DT** : Diamètre de la tige

### Conduite de l'essai :

Pour chaque cycle de culture (2015 et 2016), les graines de maïs et de niébé ont été semées à raison de 3 graines par poquet à une profondeur de 3 cm. Le semis du niébé a été effectué deux semaines après celui du maïs. Pour chacune des deux espèces un démariage a été effectué 15 jours après la levée. Le démariage des plants de maïs et celui des plants de niébé ont été effectués de sorte à en conserver que deux, les plus vigoureux, par poquet afin d'obtenir les densités recherchées. La densité de maïs et de niébé par hectare a été enregistré dans le tableau 2, pour chacun des systèmes de cultures testés.

**Tableau 2 : Densités de maïs et de niébé des systèmes de cultures**

Système de culture	Densité de Maïs (plants / ha)	Densité de Niébé (plants / ha)
Cultures pures	49231	49231
Association en intra-lignes	24615	24615
Association en bandes	19692	29538
Association en simples interlignes	24615	24615

### Paramètres mesurés

#### Masse de 100 graines

Après la récolte des épis de maïs et des gousses de niébé des différents systèmes de culture, les graines de maïs et les graines de niébé ont été séchées pendant une semaine à la température ambiante du laboratoire jusqu'à l'obtention d'une masse constante. Une balance de précision 0,01 g a été utilisée pour les pesées. Les masses de 100 graines de chaque culture ont été déterminées à l'aide d'une balance électronique (10<sup>-3</sup> g). La masse de 100

graines de maïs ou de niébé a été obtenue sur 5 échantillons prélevés de manière aléatoire au sein de la récolte en graines de chaque système de culture.

### **Evaluation de la qualité nutritionnelle des graines de maïs et de niébé, Préparation des farines des graines**

Les graines ont été triées, lavées puis trempées pendant 24 heures dans de l'eau distillée. Les semences hydratées ont ensuite été broyées dans une broyeuse mécanique préalablement bien nettoyée. Le broyat est séché à l'étuve pendant 24 heures à 45 °C.

#### ***Dosage des protéines***

La méthode de Kjeldahl (AOAC, 1990) a été utilisée pour le dosage des protéines. Trois gouttes de sulfate de cuivre II et 20 ml d'acide sulfurique 95-97 % ont été ajoutés à 1g de poudre de semence. Le mélange a été dissout dans 20 ml d'acide borique pendant 10 min puis le dosage a été réalisé avec l'acide sulfurique 0,1N. La teneur en azote a été ensuite déterminée suivant la formule :

$$\% N = V(H_2SO_4) \times N(H_2SO_4) \times 14,007$$

Avec  $V(H_2SO_4)$  = Volume d'acide sulfurique versé pour le dosage ;  $N(H_2SO_4)$  = Normalité de  $H_2SO_4$  = 0,1 ; 14,007 = Masse atomique de l'azote

Le taux d'azote ainsi calculé a permis d'évaluer la teneur en protéines grâce à la relation :

$$\% \text{Protéines} = \% N \times 6,25$$

Avec 6,25 = coefficient de conversion

#### ***Dosage des glucides***

Le dosage des glucides a été fait selon la méthode de Dubois (1956). A 0,2 ml de phénol 5 % a été ajouté à 0,2 ml d'extrait. Ce mélange a été complété à 1 ml avec de l'eau distillée auquel a été ajouté 1 ml d'acide sulfurique concentré ( $H_2SO_4$ ). Après une incubation de 5 min dans un bain bouillant, le milieu réactionnel a été refroidi à l'obscurité pendant 30 min. L'intensité de la coloration produite par la réaction a été mesurée au spectrophotomètre à la longueur d'onde de 480 nm contre un témoin ne contenant pas d'extrait.

La quantité de glucides estimée en milligramme par gramme de matière fraîche (mg de sucres / gMF), a été déterminée à l'aide d'une courbe étalon réalisée avec une solution de glucose (200  $\mu$ g / ml).

***Dosage de la matière grasse***

Le dosage de la matière grasse a été effectué selon la méthode de Soxhlet (AOAC, 1990). Cinq (5) g de poudre de semence obtenue après broyage dans un mortier ont été introduits dans une cartouche de Whatman, soit  $M_e$  cette masse. La masse à vide  $M_1$ , du ballon d'extraction est préalablement déterminée. L'extraction a été réalisée à la température de 60 °C pendant 6 heures avec un solvant, l'hexane. Le solvant a été évaporé à l'aide d'un évaporateur rotatif au cours de l'extraction. Le ballon est ensuite placé dans un dessiccateur puis pesé avec les matières grasses. Soit  $M_2$  cette masse. La formule suivante permet de calculer le taux de matière grasse :

$$TMG = \frac{M_2 - M_1}{M_e} \times 100$$

$TMG$  = taux de matière grasse (%) ;  $M_1$  = masse du ballon à vide (g) ;  $M_2$  = masse du ballon après extraction de la matière grasse (g) ;  $M_e$  = masse de l'échantillon analysé (g)

***Dosage du potassium***

Le dosage du potassium et du phosphore a été effectué selon la méthode d'Anderson et Ingram (1993). Les semences ont été incinérées dans un creuset en porcelaine sur une plaque chauffante. La cendre obtenue a été solubilisée pendant 24 heures dans du HCl (0,6%) puis filtrée. Le volume de l'échantillon a été noté et les solutions standard ont ensuite été préparées (100 µg/ml). Un volume de 20 ml d'acétate d'ammonium a été introduit dans des fioles contenant respectivement 1, 2, 3, 4 et 5 ml de solution standard. Ces solutions ont été ajustées à 100 ml avec de l'eau distillée puis les absorbances ont été lues au spectrophotomètre à flamme, à la longueur d'onde de 880 nm, contre un témoin ne contenant pas de solution standard. La quantité d'ions estimée en g/100 g de matière sèche a été déterminée à l'aide d'une courbe étalon réalisée avec les solutions standard.

***Dosage du phosphore***

Le phosphore a été dosé par le réactif vanado-molybdique par la méthode de Taussky et Shorr adaptée par Adingra (2018). Les farines ont été incinérées dans un creuset en porcelaine sur une plaque chauffante. A un échantillon de cendre (1 g) a été ajouté 10 ml du mélange acide chlorhydrique-eau (1 :3, v/v). L'extrait a été incubé dans un bain de vapeur pendant 1 heure. Ensuite 10 ml du mélange acide chlorhydrique-eau (1 :3, v/v) ont été ajoutés et l'extrait a été complété à 100 ml avec de l'eau distillée. La lecture de la densité optique a été effectuée à 410 nm au spectrophotomètre. La teneur en phosphore (P) a été déterminée par comparaison avec une solution étalon

(0,136 g de dihydrogénophosphate de potassium dissous dans une solution diluée contenant 0,1 ml d'acide nitrique et 50 ml d'eau distillée.

$$P = \frac{C \times M_P}{M_e} \times 0,05$$

$P$  : quantité de phosphore en mg/100 g ;  $C$  : concentration en phosphore ;  $M_P$  : Masse molaire du phosphore ;  $M_e$  : Masse masse de l'échantillon

### Analyses statistiques des données expérimentales

Pour toutes les expériences réalisées, le logiciel Statistica 7.1 a été utilisé pour les analyses statistiques. Une analyse de variance (Anova) à deux critères de classification, a été effectuée. Lorsqu'une différence a été observée, le test des rangs multiples de Newman-Keuls, au seuil de 5 %, a été adopté pour séparer les moyennes.

### Résultats

#### Masse de 100 graines de maïs et de niébé récoltées

Le tableau 3 présente la masse de 100 graines de maïs et de niébé récoltées au cours de chaque cycle de culture (2015 et 2016). Pour le maïs, les valeurs ont varié selon les systèmes de culture. La culture pure du maïs fertilisée avec l'engrais organique ( $M_{v+P}$ ) a produit la masse de 100 graines la plus élevée en 2015 (26,34g) et en 2016 (23,92g). Comparativement à la monoculture du maïs sans fertilisant, tous les systèmes d'association de cultures (maïs-niébé) ont significativement amélioré la masse de 100 graines de maïs. Parmi ces systèmes de cultures associées, la masse de 100 graines, la plus importante a été produite avec les systèmes  $MN_2D$  (23,188g) et  $MN_3D$  (22,97g).

Pour l'année 2015, la monoculture du cultivar 1 de niébé ( $N_1$ ) sans fertilisant, a exprimé une masse de 100 graines de niébé  $N_1$  qui a été statistiquement identique à celle des associations du maïs avec le niébé 1. Par contre, les masses obtenues avec 100 graines de niébé dans les associations culturales impliquant le maïs avec le niébé 2 ou le niébé 3 ont significativement été plus élevées que celle du niébé en culture pure. Pour l'année 2016, par rapport à la culture pure de niébé 2 une diminution significative de la masse de 100 graines de niébé a été notée dans tous les systèmes de culture associant le niébé 2 ( $N_2$ ) au maïs. En revanche, aucune différence significative n'a été observée entre la masse de 100 graines du niébé 3 ( $N_3$ ) en culture pure et celles des associations culturales de ce cultivar ( $N_3$ ) au maïs. Seule l'association en bandes du maïs avec le niébé 1 ( $N_1$ ) a favorisé une augmentation significative de la masse de 100 graines de niébé 1 ( $N_1$ ). La masse de 100 graines de maïs ( $M_{100}$ ), la plus élevée, a été révélée chez la



culture pure  $M_{V+P}$  (26,34 g en 2015 et 23,92 g en 2016). La masse de 100 graines de niébé  $N_1$  a été plus élevée dans l'association en bande  $2M4N_1$  durant les deux campagnes de culture.

**Tableau 3** : Masse de 100 graines de maïs et de niébé dans les différents systèmes de culture au cours des cycles de culture 2015 et 2016

SC	Masse de 100 graines ( g )			
	Maïs		Niébé	
	2015	2016	2015	2016
$M_0P$	18,84±3,6f	18,25±4,1d	-	-
$M_{V+P}$	26,34±5,3a	23,92±4,8a	-	-
$M+P$	21,34±0,9d	20,12±5,9c	-	-
$N_1P$	-	-	12,60±1,7a	12,82±1,4b
$N_2P$	-	-	8,39±1,1f	13,10±2,0a
$N_3P$	-	-	9,83±1,3c	10,72±0,8c
$MN_1D$	22,59±3,8c	21,03±4,4c	12,84±1,8a	11,73±0,8c
$2M4N_1$	20,55±2,8d	19,50±4,0c	12,29±1,3a	13,05±1,7a
$1M1N_1$	19,65±3,6d	20,29±4,5c	12,84±1,8a	12,63±0,8b
$MN_2D$	23,18±5,2b	19,07±4,9d	9,17±1,8d	10,80±0,4c
$2M4N_2$	19,18±1,2e	20,06±2,3c	9,37±1,7d	10,35±1,0d
$1M1N_2$	21,65±4,5d	20,96±3,0c	8,63±0,9e	9,70±0,5e
$MN_3D$	22,97±3,5b	20,64±3,2c	10,18±1,1b	10,80±1,1c
$2M4N_3$	19,72±1,5d	22,36±4,2b	10,24±1,7b	10,91±0,9c
$1M1N_3$	20,07±1,9d	20,60±3,2c	10,22±1,4b	10,93±0,8c
	P	P < 0,001	P < 0,05	

P < 0,001 : Probabilité très hautement significative ; P < 0,01 : Probabilité hautement significative ; P < 0,05 : Probabilité significative ; ns : probabilité non significative ; **SC** : Système de culture ; **MN<sub>1D</sub>**, **MN<sub>2D</sub>**, **MN<sub>3D</sub>** : associations en intra-lignes ou en damier ; **1M1N<sub>1</sub>**, **1M1N<sub>2</sub>**, **1M1N<sub>3</sub>** : associations en simple interlignes ; **2M4N<sub>1</sub>**, **2M4N<sub>2</sub>**, **2M4N<sub>3</sub>** : associations en bandes ; Pour chaque colonne, les chiffres suivis d'une même lettre sont statistiquement identiques au seuil de 5 % (test Newman-keuls) ; Moyenne ± écart type, Valeurs obtenues pour 100 g de matière sèche

### Teneurs de quelques composés biochimiques et d'éléments minéraux des grains de maïs

Les taux de protéines, de matière grasse, de glucides, de potassium et de phosphore ont été estimés dans les grains de maïs (pour 100 g de matière sèche (% MS)) pour chaque système de culture. Les résultats obtenus sont regroupés dans le **tableau 4**. En 2015, le taux de protéines des graines de maïs a été statistiquement identique aussi bien dans les associations que dans les cultures pures. Au contraire, à la deuxième année de culture (2016), la quantité de protéines des graines de maïs a varié selon le système de culture. Les associations culturales  $MN_1D$ ,  $2M4N_1$  et  $1M1N_1$  ont exprimé des taux de protéines des graines de maïs statistiquement supérieurs aux valeurs obtenues avec les cultures pures fertilisées ou non, ainsi que les autres systèmes de

culture. La meilleure quantité de protéines a été obtenue avec les grains de maïs de l'association culturale MN<sub>1</sub>D (11,13g).

En 2015, les teneurs en phosphore du maïs ont été significativement plus élevées dans tous les systèmes d'associations culturales impliquant le cultivar N<sub>3</sub> de niébé. Une augmentation de la teneur de cet élément minéral a aussi été observée dans les systèmes d'association de culture dénommés MN<sub>2</sub>D ; 2M4N<sub>2</sub> ; M1N<sub>1</sub> et 2M4N<sub>1</sub>.

La qualité nutritionnelle des graines de maïs a été statistiquement stable entre 2015 et 2016.

### **Teneurs de quelques composés biochimiques d'éléments minéraux des graines de niébé**

Dans cette expérimentation, les teneurs en protéines, matière grasse, glucides, potassium et phosphore des graines sèches de niébé issues des différents systèmes de cultures associées ont été quantifiées. Les résultats expérimentaux sont consignés dans **le tableau 5**. L'analyse des valeurs montre que les taux de protéines et de glucides et les teneurs en potassium des graines de niébé ont été statistiquement identiques dans tous les systèmes de culture en 2015 comme en 2016. Aucune différence significative n'a été observée au niveau des taux de matière grasse des graines de niébé au cours de l'année 2015, quels que soient le cultivar de niébé et le type d'association culturale. Toutefois, en 2016, les taux de matière grasse des graines de niébé des systèmes 2M4N<sub>1</sub> ; 2M4N<sub>2</sub> ; 2M4N<sub>3</sub> et M1N<sub>3</sub> ont été significativement plus élevés que ceux des monocultures des cultivars de niébé N<sub>1</sub>, N<sub>2</sub> et N<sub>3</sub>. En 2015, Le taux de phosphore dans les graines de niébé a été le plus élevé dans les associations en bandes 2M4N<sub>2</sub> et 2M4N<sub>3</sub>. En 2016, le taux de phosphore le plus élevé a été enregistré dans les associations en bandes 2M4N<sub>2</sub>, 2M4N<sub>3</sub> et dans la culture pure N<sub>3</sub>P. Les taux de protéines, de matière grasse, de glucide et de potassium des graines de niébé ont été statistiquement stable entre 2015 et 2016. En 2015 comme en 2016 les associations 2M4N<sub>2</sub>, 2M4N<sub>3</sub> ont induit le taux de phosphore le plus élevé.

**Tableau 4** : Qualité nutritionnelle des graines de maïs selon les systèmes de culture sur deux années successives 2015 et 2016

Année SC	Protéine (g)		Matière grasse (g)		Glucide (g)		Potassium (g)		Phosphore (g)	
	2015	2016	2015	2016	2015	2016	2015	2016	2015	2016
<b>M<sub>0</sub>P</b>	9,71±1,27a	10,72±0,20c	4,14±0,39a	4,41±0,49a	66,04±2,37a	66,91±1,53a	0,02±0,01a	0,03±0,01a	0,2±0,00d	0,25±0,02a
<b>M<sub>+</sub>P</b>	9,83±1,18a	10,68±0,23c	4,35±0,55a	4,16±0,44a	66,10±2,41a	66,96±1,30a	0,02±0,00a	0,03±0,00a	0,25±0,03b	0,25±0,03a
<b>M<sub>V</sub>+P</b>	9,79±1,21a	10,87±0,02b	4,21±0,38a	4,28±0,24a	66,04±2,32a	67,03±1,29a	0,03±0,00a	0,02±0,00a	0,27±0,03a	0,25±0,02a
<b>MN<sub>1</sub>D</b>	9,87±1,08a	11,23±0,07a	4,22±0,15a	4,33±0,63a	66,12±1,90a	66,90±1,65a	0,03±0,01a	0,02±0,00a	0,2±0,01d	0,24±0,01a
<b>2M4N<sub>1</sub></b>	10,08±1,10a	10,82±0,28b	4,55±0,33a	4,18±0,74a	66,25±2,30a	67,33±1,12a	0,03±0,01a	0,03±0,01a	0,25±0,03b	0,23±0,02a
<b>1M1N<sub>1</sub></b>	9,93±1,39a	10,96±0,12b	4,38±0,58a	4,16±0,21a	66,25±2,19a	67,49±0,39a	0,03±0,01a	0,02±0,00a	0,23±0,02c	0,22±0,02a
<b>MN<sub>2</sub>D</b>	9,77±1,09a	10,61±0,15c	4,12±0,19a	4,45±0,50a	65,90±1,59a	67,36±0,87a	0,03±0,01a	0,02±0,01a	0,22±0,01c	0,23±0,04a
<b>2M4N<sub>2</sub></b>	10,04±1,10a	10,72±0,35c	4,49±0,44a	4,51±0,42a	66,23±2,22a	67,17±1,18a	0,03±0,00a	0,02±0,01a	0,23±0,01c	0,25±0,02a
<b>1M1N<sub>2</sub></b>	9,72±1,13a	10,67±0,10c	4,40±0,66a	4,12±0,19a	66,18±2,16a	66,81±0,59a	0,03±0,01a	0,02±0,00a	0,20±0,01d	0,24±0,02a
<b>MN<sub>3</sub>D</b>	9,93±1,09a	10,63±0,40c	4,20±0,31a	4,41±0,38a	66,23±1,89a	66,72±1,50a	0,03±0,00a	0,02±0,01a	0,22±0,01c	0,24±0,02a
<b>2M4N<sub>3</sub></b>	9,88±1,23a	10,74±0,29c	4,31±0,28a	4,25±0,35a	66,28±2,16a	67,31±1,03a	0,03±0,01a	0,03±0,01a	0,25±0,02b	0,25±0,01a
<b>1M1N<sub>3</sub></b>	9,88±1,23a	10,70±0,25c	4,28±0,52a	4,29±0,21a	66,22±2,04a	67,02±1,02a	0,02±0,01a	0,03±0,00a	0,25±0,03b	0,24±0,01a
<b>P</b>	P < 0,05		P = 0,63 ns		P = 0,9 ns		P = 0,037 ns		P < 0,05	

P < 0,001 : Probabilité très hautement significative ; P < 0,01 : Probabilité hautement significative ; P < 0,05 : Probabilité significative ; ns : probabilité non significative ; SC : Système de culture ; MN<sub>1</sub>D, MN<sub>2</sub>D, MN<sub>3</sub>D : associations en intra-lignes ou en damier ; 1M1N<sub>1</sub>, 1M1N<sub>2</sub>, 1M1N<sub>3</sub> : associations en simple interlignes ; 2M4N<sub>1</sub>, 2M4N<sub>2</sub>, 2M4N<sub>3</sub> : associations en bandes ; Pour chaque colonne, les chiffres suivis d'une même lettre sont statistiquement identiques au seuil de 5 % (test Newman-keuls) ; Moyenne ± écart type, Valeurs obtenues pour 100 g de matière sèche

**Tableau 5 :** Qualité nutritionnelle des graines de niébé selon les systèmes de culture sur deux années successives 2015 et 2016

Année SC	Protéine (g)		Matière grasse (g)		Glucide (g)		Potassium (g)		Phosphore (g)	
	2015	2016	2015	2016	2015	2016	2015	2016	2015	2016
<b>N<sub>1</sub>P</b>	19,18±0,21a	19,13±0,17a	1,38±0,09a	1,33±0,04b	59,45±0,79a	59,42±0,76a	0,96±0,15a	0,96±0,15a	199,83±0,68b	199,82±0,67b
<b>N<sub>2</sub>P</b>	19,21±0,07a	19,18±0,06a	1,33±0,11a	1,24±0,01c	59,54±0,60a	59,55±0,61a	0,96±0,13a	0,97±0,14a	199,90±0,61b	199,90±0,61b
<b>N<sub>3</sub>P</b>	19,11±0,27a	19,06±0,22a	1,34±0,13a	1,24±0,02c	59,53±0,75a	59,65±0,88a	0,98±0,10a	1,02±0,14a	200,21±0,10b	200,60±0,52a
<b>MN<sub>1</sub>D</b>	19,13±0,13a	19,13±0,13a	1,23±0,02a	1,25±0,04c	59,45±1,10a	59,40±1,04a	0,98±0,19a	0,97±0,18a	199,94±1,25b	198,83±0,04c
<b>2M4N<sub>1</sub></b>	19,25±0,11a	19,35±0,03a	1,31±0,05a	1,36±0,11a	59,49±0,73a	59,49±0,73a	1,02±0,09a	1,02±0,09a	198,26±2,34c	198,29±2,37d
<b>1M1N<sub>1</sub></b>	19,18±0,12a	19,14±0,07a	1,28±0,09a	1,30±0,07b	59,51±0,81a	59,53±0,82a	0,98±0,12a	0,98±0,12a	199,01±1,22b	199,24±0,97c
<b>MN<sub>2</sub>D</b>	19,15±0,11a	19,14±0,09a	1,26±0,02a	1,25±0,01c	59,70±0,71a	59,73±0,74a	0,95±0,20a	0,96±0,21a	198,86±0,01b	197,90±1,06e
<b>2M4N<sub>2</sub></b>	19,07±0,20a	19,07±0,20a	1,29±0,08a	1,32±0,01b	59,59±0,55a	59,59±0,54a	1,06±0,04a	1,05±0,03a	200,35±0,16a	200,31±0,15a
<b>1M1N<sub>2</sub></b>	19,07±0,25a	19,10±0,28a	1,21±0,02a	1,22±0,03c	59,50±0,86a	59,51±0,87a	0,99±0,10a	1,00±0,12a	198,70±0,38b	199,45±0,44c
<b>MN<sub>3</sub>D</b>	18,83±0,38a	19,03±0,27a	1,26±0,01a	1,23±0,04c	59,56±0,93a	59,48±0,84a	0,97±0,19a	0,94±0,16a	198,53±1,75b	199,01±1,22c
<b>2M4N<sub>3</sub></b>	19,18±0,03a	19,25±0,11a	1,27±0,02a	1,38±0,09a	60,06±0,04a	60,12±0,11a	1,01±0,10a	0,99±0,08a	200,36±0,02a	200,33±0,04a
<b>1M1N<sub>3</sub></b>	19,06±0,32a	18,96±0,21a	1,36±0,12a	1,41±0,06a	59,57±0,80a	59,49±0,72a	0,99±0,13a	0,99±0,13a	198,96±0,98b	199,23±1,28c
<b>P</b>	P = 0,78 ns		P < 0,01		P = 0,95 ns		P = 0,99 ns		P < 0,05	

P < 0,001 : Probabilité très hautement significative ; P < 0,01 : Probabilité hautement significative ; P < 0,05 : Probabilité significative ; ns : probabilité non significative ; **SC** : Système de culture ; **MN<sub>1</sub>D**, **MN<sub>2</sub>D**, **MN<sub>3</sub>D** : associations en intra-lignes ou en damier ; **1M1N<sub>1</sub>**, **1M1N<sub>2</sub>**, **1M1N<sub>3</sub>** : associations en simple interlignes ; **2M4N<sub>1</sub>**, **2M4N<sub>2</sub>**, **2M4N<sub>3</sub>** : associations en bandes ; Pour chaque colonne, les chiffres suivis d'une même lettre sont statistiquement identiques au seuil de 5 % (test Newman-keuls) ; Moyenne ± écart type, Valeurs obtenues pour 100 g de matière sèche

## Discussion

L'association culturale est l'une des pratiques les plus courantes dans le système agricole durable. Elle joue un rôle important dans l'augmentation de la productivité, la stabilité du rendement, l'amélioration de l'utilisation des ressources naturelles du sol et des facteurs environnementaux (Qin *et al.*, 2013). La masse de 100 graines et la qualité nutritionnelle des semences ont été estimées, selon les systèmes de culture constitués de maïs et de niébé en cultures pures ou associés. Trois types d'association maïs-niébé, en intralignes, en interlignes et en bandes ont été adoptés pour chacun des trois cultivars de niébé  $N_1$ ,  $N_2$ ,  $N_3$ .

### Effet des systèmes de culture sur la masse de 100 graines du maïs et du niébé

La masse de 100 graines de maïs a varié selon les systèmes de culture. Cette masse a généralement augmenté au niveau des systèmes d'association par rapport à la culture pure non fertilisée. Ce résultat pourrait s'expliquer par une compétition pour les ressources du milieu entre le maïs et le niébé. Dans les cultures associées de maïs et de niébé le maïs est la culture la plus dominante. Son agressivité influencerait donc sur la répartition équitable des ressources environnementales en lumière, en eau et en nutriments. Singh *et al.* (2000) ont rapporté que la masse de 100 grains de maïs a également été augmentée en cultures associées avec le pois. En 2015 et en 2016 les associations en damier  $MN_1D$  et  $MN_3D$ , ont exprimé les masses de 100 graines, les plus élevées, avec respectivement les cultivars 1 ( $N_1$ ) et 3 ( $N_3$ ) de niébé. Ces résultats pourraient s'expliquer par une meilleure valorisation des ressources du milieu par le maïs en cultures associées en damier  $MN_1D$  et  $MN_3D$  par rapport aux cultures pures non fertilisées. Par ailleurs, il faut noter que la masse de 100 graines de maïs a subi une diminution significative en association en bande  $2M4N_1$  alors que cette dernière a favorisé une augmentation significative de la masse de 100 graines de niébé 1 ( $N_1$ ). La chute de la masse de 100 graines de maïs dans l'association en bande  $2M4N_1$ , à forte densité de niébé, s'explique par une plus grande compétition entre les deux espèces (compétition intraspécifique) pour les ressources environnementales disponibles.

Par ailleurs, Le maïs fertilisé avec l'engrais organique vital a exprimé la masse de 100 graines la plus élevée. Cette performance de l'engrais organique vital plus pourrait s'expliquer par la nature biologique de cet engrais. Cette formulation d'engrais se décomposerait lentement pour enrichir progressivement le sol en éléments nutritifs nécessaires au bon développement des plantes. La fourniture progressive de nutriments au sol permet une utilisation efficiente de ceux-ci par la plante et éviterait une consommation de luxe constatée en situation de surabondance.

### **Taux de protéines et de phosphore des graines de maïs et de niébé**

Le taux de protéines dans les grains de maïs des associations MN<sub>1</sub>D, 2M4N<sub>1</sub> et 1M1N<sub>1</sub> en 2015 et en 2016 a augmenté de façon significative par rapport à celui des grains de maïs des cultures pures non fertilisées. Le gain de protéines obtenu avec un apport d'azote organique ou minéral dans les grains de maïs est inférieur à celui obtenu grâce à la culture en association MN<sub>1</sub>D. Ces résultats corroborent ceux de Bedoussac et Justes (2010) sur l'association du blé au pois. En effet, les travaux de ces auteurs ont établi que la fixation symbiotique de l'azote de l'air par la légumineuse augmente la disponibilité en azote pour la céréale. Cette plus grande disponibilité de l'azote permet également d'améliorer la qualité des semences par rapport à une fertilisation organique ou minérale. L'association du maïs en damier avec le niébé N<sub>1</sub> a présenté le meilleur taux de protéines. Des résultats similaires ont déjà été obtenus par Juste *et al.* (2009) dans l'association blé-pois. En effet, les travaux de ces auteurs ont montré que l'association culturale céréale-légumineuse réduisait le nombre d'épis par plante. Cependant, les grains des épis formés étaient plus riches en protéines.

Un taux élevé de phosphore dans les graines de niébé a été noté avec les associations en bandes. L'augmentation du taux de phosphore dans les graines de niébé des associations en bandes 2M4N<sub>2</sub> et 2M4N<sub>3</sub> par rapport aux cultures pures pourrait être lié à une modification de certains facteurs du milieu en faveur de la légumineuse à cause de la présence du maïs ou vice-versa. De tels résultats ont déjà été rapportés par Bruno *et al.* (2003) qui qualifie ce phénomène de « facilitation ». En effet, le terme de facilitation regroupe les processus directs ou indirects liés à la présence d'une espèce qui modifient de manière positive les conditions du milieu pour l'autre espèce associée. Hinsinger *et al.* (2011) ont également rapporté que le relargage de protons via la fixation symbiotique de l'azote atmosphérique par la légumineuse permettait d'augmenter la disponibilité en nutriments comme le phosphore pour la céréale. En effet, les légumineuses assimilent moins de nitrates (anions) en extrudant des protons pour un équilibre électrique (Alkama *et al.*, 2009). Ce relargage de protons a pour effet local de faire baisser le pH de la rhizosphère et de provoquer une solubilisation des ions phosphates qui ne sont pas disponibles à pH neutre. Ce phénomène qui est spécifique aux légumineuses permet une plus grande disponibilité du phosphore pour celles-ci et la culture associée (Smith *et al.*, 2000). C'est ce qui semble expliquer l'augmentation du taux de phosphore dans les graines de niébé tout comme celles du maïs en association culturale. Le taux de phosphore le plus élevé des grains de maïs en culture pure et fertilisée (M<sub>v+P</sub>) pourrait être lié à une teneur plus importante ou une facilitation de la libération de l'absorption et l'assimilation de cet élément minéral contenu dans l'engrais biologique vital plus.

## **Stabilité de la qualité nutritionnelle des graines de niébé et de maïs**

La qualité nutritionnelle des graines de maïs et de niébé a été statistiquement stable entre 2015 et 2016. Cette stabilité de la qualité nutritionnelle des graines de maïs et de niébé selon le mode de culture durant ces années pourrait être due à l'interaction entre le potentiel génétique des graines et les facteurs environnementaux (température, eau...).

## **Conclusion**

L'objectif de cette étude a été de déterminer le meilleur mode d'association du niébé (*Vigna unguiculata* L. Walp) au maïs (*Zea mays* L.) pour l'amélioration de la productivité des cultures et de la qualité des graines. Les associations en bandes 2M4N<sub>1</sub> ont exprimé la masse de 100 graines de niébé la plus élevée. En revanche, c'est l'association en damier MN<sub>1</sub>D qui a amélioré, le plus, la masse de 100 graines de maïs par rapport aux cultures pures fertilisées ou non. L'association maïs-niébé en damier MN<sub>1</sub>D a permis d'augmenter la teneur en protéines des graines de maïs sans apport de fertilisation. Aussi, la culture du maïs en association avec le niébé a permis d'augmenter le taux de protéines dans les graines de maïs plus efficacement qu'une fertilisation organique ou minéral. Le taux de phosphore le plus élevé a été obtenu avec les graines de maïs des cultures pures fertilisées M<sub>v</sub>+P. Cependant, les associations en bandes 2M4N<sub>1</sub>, 2M4N<sub>3</sub> et en simples interlignes 1M1N<sub>3</sub> peuvent être recommandées en vue de la production de maïs qui soit riche en phosphore. Les associations en bandes 2M4N<sub>3</sub> peuvent être recommandées pour une amélioration du taux de matière grasse et de phosphore dans les graines de niébé. Parmi les trois modes d'association maïs-niébé, les associations en damier et en bandes ont été les plus performantes chez le maïs. Chez le niébé, c'est seulement l'association en bandes qui a été plus approprié.

## **References:**

1. Adingra K.M-H. (2018). Potentialités alimentaires et technologiques de l'épicarpe du fruit du papayer (*Carica papaya* cv Solo 8): Caractérisation biochimique et application de ses enzymes pectinolytiques. Thèse de doctorat, Université Nangui Abrogoua, Abidjan Côte d'Ivoire, 120 p.
2. Akanvou L., Akanvou R. & Toto K. (2006). Effets des variétés de maïs et de légumineuses dans la lutte contre *Striga hermontica* en zone de savane en Côte d'Ivoire. *Agronomie Africaine* 18 (1) : 13-21.
3. Alkama N., Bolou Bi B.E., Vailhe H., Roger L., Oumane S.M., Drevon J.J. (2009). Genotypic variability in P use efficiency for symbiotic nitrogen fixation is associated with variation of proton efflux in cowpea rhizosphere. *Soil Biology Biochemistry*, 41 : 1814-1823.

4. Anderson J.M. & Ingram J. (1993). Tropical soil biology and fertility programme: A handbook of methods. C.A.B. International, Oxford, 221p
5. Azontondé A. (1993). Dégradation et restauration des terres de barre (sols ferrallitiques faiblement désaturés argilo-sableux) au Bénin. *Cahiers ORSTOM. Série Pédologie* 28 :217-226.
6. Bado B.V. (2002). Rôle des légumineuses sur la fertilité des sols ferrugineux tropicaux des zones guinéenne et soudanienne du Burkina Faso. Thèse de doctorat : Université Laval-Québec. 176p
7. Bedoussac L. (2009). Analyse du fonctionnement des performances des associations blé dur-pois d'hiver et blé dur-féverole d'hiver pour la conception d'itinéraires techniques adaptés à différents objectifs de production en systèmes bas-intrants. Thèse de doctorat, INP-Toulouse, France, 220 p.
8. Bedoussac L. & Justes E. (2010). The efficiency of a durum wheat-winter pea intercrop to improve yield and wheat grain protein concentration depends on N availability during early growth. *Plant Soil* 330 :19 – 35.
9. Blumenberg M., Berndmeyer C., Moros M., Muschalla M., Schmale O. & Thiel V. (2013). Bacterioplanoplyols record stratification, nitrogen fixation and other biogeochemical perturbations in Holocene sediments of the central Baltic Sea. *Biogeosciences* 10 :2725-2735.
10. Carsky R.J., Douthwaite B., Manyong V.M., Sanginga N., Schulz S., Vanlauwe B., Diels J. & Keatinge J.D.H. (2003). Amélioration de la gestion des sols par l'introduction de légumineuses dans les systèmes céréaliers des savanes africaines. *Cahiers Agriculture* 12, 227-233.
11. Djè Bi I.R. (2018). Évaluation de l'aptitude de la gourde oléagineuse *Lagenaria siceraria* (Molina) Standley à l'association culturale avec le manioc *Manihot esculenta* Crantz. Thèse de doctorat, Université Nangui Abrogoua, Abidjan Côte d'Ivoire, 117p.
12. Dubois M., Gilles K. A, Hamilton J. K, Rebers P. A & Smitth F. (1956). Colorimetric method for determination of sugars and related substances, *Annalical Chemistry*, 28: 350-356.
13. FAO (2018). La situation des marchés des produits agricoles. Commerce agricole, changement climatique et sécurité alimentaire. Rome, 93p.
14. Hinsinger P., Betencourt E., Bernard L., Brauman A., Plassard C., Shen J., Tang X. & Zhang F. (2011). Phosphorus for two, sharing a scarce resource: Soil phosphorus acquisition in the rhizosphere of intercropped species. *Plant physiology*, 156:1078-1086.
15. Ju X.T., Kou C.L., Zhang F.S. & Christie P. (2006). Nitrogen balance and groundwater nitrate contamination: Comparison among three



- intensive cropping systems on the North China Plain. *Environmental Pollution* 143:117-125.
16. Juste E., Bedoussac L. & Prieur L. (2009). Est-il possible d'améliorer le rendement et la teneur en protéine du blé en Agriculture Biologique au moyen de culture intermédiaire ou de cultures associées ? *Innovations Agronomiques*, 4 : 165-176.
  17. Kouassi N.J., Tonessia D.C., Gogbeu S.J., Soko D.F. & Ayolié K. (2016). Influence du décalage de semis du maïs (*Zea mays* L.) et du voandzou (*Vigna subterranea* (L.) Verdc.) sur leur production en zone savanicole de la Côte d'Ivoire. *Journal of Applied Biosciences* 102 :9745 – 9755.
  18. Li L., Sun J.H. & Zhang F.S. (2011). Intercropping with wheat leads to greater root weight density and larger below-ground space of irrigated maize at late growth stages. *Journal of Soil and Science Plant Nutrition* 57:61– 67
  19. Midega C.A.O., Salifu D., Bruce T.J., Pittchar J., Pickett J.A. & Khan Z.R. (2014). Cumulative effects and economic benefits of intercropping maize with food legumes on *Striga hermonthica* infestation. *Field Crops Research*. 155 :144-152.
  20. Ofori F. & Stern W.R. (1987). Cereal-legume intercropping systems *Advances in Agronomy* 41:41-90.
  21. Qin A.Z., Huang G.B., Chai Q., Yu A.Z. & Huang P. (2013). Grain yield and soil respiratory response to intercropping systems on arid land. *Field Crops Research*. 144:1-10.
  22. Singh D.P., Rana N.S. & Singh R.P. (2000). Growth and yield of winter maize as influenced by intercrops and nitrogen application. *Indian Journal of Agronomy* 45(3):515-519.
  23. Thierfelder C., Cheesman S. & Rusinamhodzi L. (2012). Benefits and challenges of crop rotations in maize-based conservation agriculture (CA) cropping systems of Southern Africa. *International Journal of Agricultural Sustainability* 11(2):108–124.
  24. Wu K.X. & Wu B.Z. (2014). Potential environmental benefits of intercropping annual with leguminous perennial crops in Chinese agriculture. *Agriculture Ecosystems & Environment* 188:147-149.
  25. Zhang F., Shen J., Li L. & Liu X. (2004). An overview of rhizosphere processes related with plant nutrition in major cropping systems in China. *Plant Soil*. 260 :89-99.
  26. Zhang Y.Y., Liu J.F., Mu Y.J., Xu Z., Pei S.W. & Lun X.X. (2012). Nitrous oxide emissions from a maize field during two consecutive growing seasons in the North China Plain. *Journal of Environmental Science-China* 24:160-168.