

Available online at <http://www.ifgdg.org>

Int. J. Biol. Chem. Sci. 13(7): 3009-3022, December 2019

ISSN 1997-342X (Online), ISSN 1991-8631 (Print)

**International Journal
of Biological and
Chemical Sciences**

Original Paper<http://ajol.info/index.php/ijbcs><http://indexmedicus.afro.who.int>

Evaluation des paramètres productifs et quantification d'aflatoxine de sept variétés de maïs (*Zea mays* L.) testées en Haïti

Pietro DE MARINIS^{1*}, Alberto SPADA¹ et Junior ARISTIL²

¹ *Dipartimento di Scienze Agrarie e Ambientali, Produzione, Territorio, Agroenergia, Università degli Studi di Milano, Via G. Celoria 2, 20133 Milano, Italy.*

² *Centre de Recherche Interdisciplinaire pour la Vulgarisation Agricole et le Développement Local (CREIVADEL), Université Notre Dame d'Haïti, Faculté d'Agronomie, BP: HT 8110, Redon, Torbeck, Sud d'Haïti.*

*Auteur correspondant ; E-mail: pietro.demarinis@unimi.it

RESUME

Le maïs est la deuxième céréale la plus consommée en Haïti après le riz. Mais, le rendement (Rdt) national reste faible avec de risque élevé de contamination d'aflatoxines (AF). L'objectif de cette étude est d'évaluer les paramètres productifs de 7 variétés de maïs testées dans une approche participative à Torbeck et quantifier les AF. Deux des variétés proviennent de l'Université des Etudes de Milan (UNIMI), 2 de la Faculté d'Agronomie de l'Université Notre Dame d'Haïti et les 3 autres auprès des planteurs de Torbeck. Les résultats ont révélé que les Rdt maximal (4,36 t/ha) et minimal (3,14 t/ha) ont été détectés sur Tilevy, fournie par les producteurs et R4865, provenant d'UNIMI ($p < 0,05$). La corrélation maximale du Rdt a été notée avec la masse des 100 grains ($\rho = 0,485$) suivie du nombre grains par rang ($\rho = 0,477$). Les concentrations d'AF varient de Comayagua (Max : 7,6 ; moyenne : $5,6 \pm 1,8$ ppb) à Maquina (Max : 151 ; moyenne : $79,65 \pm 72,56$ ppb). R4865 provenant d'UNIMI a révélé des taux d'AF < 20 ppb, fixé par la législation américaine. Ainsi, la variété R4865 d'UNIMI peut être donneuse de pollen à Tilevy dans des programmes ayant pour but de produire de grandes quantités de grains de qualité en Haïti.

© 2019 International Formulae Group. All rights reserved

Mots clés: Variétés, maïs, rendement, aflatoxine, Haïti.

Yield evaluation and aflatoxin quantification of seven maize varieties (*Zea mays* L.) tested in Haiti

ABSTRACT

Maize is the second most consumed cereal in Haiti after rice. Even so national maize yield is low (0.84 t/ha) with high aflatoxin (AF) risk exposure. The main objective of the present study is to evaluate the yield parameters of seven maize varieties tested in a participative approach at Torbeck plain and quantify the aflatoxin content. Two maize varieties are from University of Milan (UNIMI), two from Agriculture College of University Notre Dame of Haiti (UNDH), and the other three, from local farmers of Torbeck. Results revealed that maximal (4.36 t/ha) and minimal (3.14 t/ha) maize grain yield were noted for Tilevy, provided by local farmers and for R4865, from UNIMI ($p < 0.05$), respectively. The maximal correlation was found between maize grain yield and mass of 100 grains ($\rho = 0.485$) followed by the correlation with the number of grains per row

© 2019 International Formulae Group. All rights reserved.

8288-IJBSC

DOI: <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v13i7.3>

($p=0.477$). AF contamination of tested materials varied from Comayagua (Max: 7.6; average: 5.6 ± 1.8 ppb) to Maquina (Max: 151; average: 79.65 ± 72.56 ppb). The material R4865, provided by UNIMI showed AF concentration < 20 ppb fixed by US Food and Drugs Administration limits. Therefore, R4865 from UNIMI could be used as the donor of pollen to Tilevy in programs with aim to produce large maize grain quality in Haiti.

© 2019 International Formulae Group. All rights reserved

Keywords: Varieties, maize, yield, aflatoxin, Haiti.

INTRODUCTION

Haïti est le seul pays de l'Amérique Latine et des Caraïbes en situation d'insécurité alimentaire sévère. La situation actuelle est le résultat de plusieurs facteurs sociaux géopolitiques, économiques et environnementaux (FAO, 2019). Près d'1,32 million de personnes nécessitent l'assistance alimentaire en Haïti (Cohen, 2013 ; Steckley, 2016).

Les cultures céréalières et vivrières en Haïti les plus utilisées contre l'insécurité alimentaire sont le riz, le maïs, le sorgho, le haricot, le pois, le manioc, la patate douce, la banane et la banane plantain. À ces cultures, en tant que produit alimentaire de base, s'ajoutent la farine de blé et l'huile. La majorité de ces produits alimentaires sont importés. La population garde une forte dépendance du marché en s'approvisionnant pour 85% de ses besoins alimentaires auprès du marché d'importation (USAID-FEWS NET, 2018). La production de maïs 2018/2019 a été estimée à 335 000 tonnes et la quantité importé à 15 000 tonnes (USDA, 2018).

Environ 734 000 producteurs de maïs existent en Haïti, soit 75% des producteurs existant, cultivant environ 395 000 hectares, soit 25% de la superficie agricole utilisée (SAU) à l'échelle nationale (Pressoir et al., 2016). Le rendement moyen national est de 0,84 t/ha (USDA, 2018). Même si le maïs constitue la culture la plus répandue en Haïti, la filière souffre de graves problèmes en ce qui concerne le rendement et la qualité finale des produits commercialisés (Pressoir et al., 2016).

Le faible rendement enregistré peut être dû à la faible intensification du système de production et au manque d'assistance

technique qui entraîne une gestion agronomique non-optimale des cultures vis-à-vis de la perte graduelle de fertilité des sols (USAID - FEWS NET, 2005). La faible qualité du maïs commercialisé localement est principalement due à la présence de contamination de mycotoxines (Broutin et al., 2017).

Les mycotoxines sont des contaminants naturels de différents aliments, particulièrement des céréales, produites par diverses espèces de champignons microscopiques telles que les moisissures (*Aspergillus sp.*, *Fusarium sp.*, *Stachybotrys sp.*, *Penicillium sp.*) (Jestoi, 2008). Les mycotoxines ont une grande diversité d'effets toxiques sur les animaux et les êtres humains. Leur résistance à la chaleur et à tous traitements physiques détermine un fort risque sanitaire dans la consommation de céréales contaminées (Méndez-Albore et Moreno-Matínez, 2009). L'effet hautement toxique peut être aigu ou chroniques selon la modalité d'absorption qui peut se produire par l'ingestion des aliments contaminés, mais aussi par inhalation ou exposition cutanée (FAO, 2004 ; Soriano et al, 2007 ; Methelus, 2013).

La contamination par les mycotoxines en Haïti est un grave problème car le régime alimentaire haïtien actuel est caractérisé par le rôle pivot des céréales comme le riz (18% des calories consommées en moyenne) suivis du maïs (9%) et des produits à base de blé (6%) (Pressoir et al., 2016).

Nombreuses sont les études concernant le contrôle des moisissures toxigènes. Parmi les stratégies mises au point figurent l'utilisation des variétés résistantes aux champignons pathogènes, la gestion

agronomique de la culture, l'utilisation d'agents biologiques dégradants les toxines, la gestion de la récolte et post-récolte à travers des bonnes conditions de séchage et de stockage, ainsi que l'utilisation des agents anticryptogamiques, chimiques et naturels et l'irradiation (Milićević et al., 2010).

Les études portant sur la détection, la mesure et le contrôle des mycotoxines dans les produits alimentaires humain et animal sont nombreuses (Shanakhat et al., 2018 ; Berthiller et al., 2018 ; FAO, 2019).

En Haïti, les études conduites sur les mycotoxines et notamment sur les aflatoxines (AF) restent peu documentées. Parmi les recherches conduites sur les AF, on compte celle conduite sur l'évaluation de la présence de champignons toxiques dans les produits alimentaires haïtiens pour définir le risque de mycotoxines associé aux cultures haïtiennes (Aristil et al., 2017, Huertas-Pérez et al., 2018), l'évaluation de la contamination d'aflatoxine dans les aliments pour bébés vendus sur les marchés haïtiens (Aristil, 2019a), la recherche comparative de stratégies pour la réduction de la contamination du beurre d'arachide en Haïti et au Kenya (Filbert et al., 2012 ; Schwartzbord et al., 2015), l'étude comparative de la contamination de mycotoxines dans les excréments urinaires humaines au Bangladesh, en Allemagne et en Haïti (Schwartz et al., 2013 ; Gerdin et al., 2015 ; Schwartzbord et al., 2017).

De recherches portant sur l'introduction de nouvelles variétés et d'accompagnement des agriculteurs dans la production de maïs de qualité restent très rares en Haïti. De plus, dans la littérature consultée, nous n'avons pas trouvé des références à l'utilisation d'une approche participative à la recherche de solutions pour la réduction de la contamination d'aflatoxines en Haïti. Une approche participative consiste pour une personne en charge de résoudre un problème ou de concevoir une innovation à impliquer dans sa démarche les acteurs directement concernés par le résultat de son travail (INRA, 2019). En tenant compte du fait que les aflatoxines sont produites pendant toutes les phases de la

filière céréalière (de la production à la consommation), une approche participative permettant d'impliquer de plus en plus d'acteurs (producteurs, universitaires, transformateurs, vendeurs/commerçants et consommateurs) responsables de la bonne performance de la filière en termes de lutte contre les aflatoxines, devient capitale.

Ainsi cette étude se donne pour objectifs (i) d'évaluer les paramètres productifs de sept variétés de maïs testées dans une approche participative incluant producteurs et universitaires (agronomes) dans la commune de Torbeck et (ii) de quantifier les AF.

MATERIEL ET METHODES

Site de l'étude

Cette étude a été réalisée dans la commune de Torbeck. Elle a été conduite durant la période allant de janvier à mai 2018. Quatre sites ont été choisis pour la mise en place des dispositifs expérimentaux. Ces sites ont été : Redon (18°9'35.32"N, 73°49'33.95"O); ferme expérimentale de la Faculté d'Agronomie de l'Université Notre Dame d'Haïti (UNDH) (18°9'55"N, 73°50'1"O); Perrien (18°11'30"N, 73°50'42"O) et Durcis (18°13'17"N, 73°52'27"O). Les sites sont pratiquement distancés de 8 à 20 km les uns des autres. Maïs a été la culture précédente des sites comme la ferme expérimentale d'UNDH ainsi que celui de Redon. Patate douce et sorgho ont été les cultures précédentes des parcelles expérimentales de Durcis et de Perrien. Par ailleurs, la parcelle expérimentale de Durcis a accès à l'irrigation alors que les autres non (même si dans le cadre de cette recherche seule l'agriculture pluviale a été privilégiée).

Variétés testées

Sept variétés de maïs ont été testées au cours de ces expérimentations. Deux des sept variétés ont été fournies par le Département de la Génétique de la Faculté d'Agronomie de l'Université des Etudes de Milan et ces matériels ont été préalablement testés dans des zones présentant les mêmes caractéristiques

qu'Haiti (Lago et al., 2014). Ces variétés ont été : R4865, R4172x4185. La dernière a été formée par le croisement de deux autres variétés. Les traits pris en compte lors de la préparation de cette variété ont été la capacité productive et la richesse en β -carotène (provitamine A) des parents (Cantaluppi et al., 2017).

La variété Maquina et Chicken corn UNDH ont été fournies par le département de la Génétique de la Faculté d'Agronomie de l'Université Notre Dame d'Haiti (Aristil, 2018). Ces variétés ont été sélectionnées sur la base de leurs performances agronomiques comme la productivité (Maquina) et tolérance à la sécheresse (Chicken corn). Les variétés Tilevy, Comayagua et Chicken corn paysanne ont été fournies par les agriculteurs bénéficiaires du projet *Imparare e Fare Ad Haiti* (IFAH) exécuté dans la commune de Torbeck.

Dispositifs expérimentaux et pratiques agricoles

Quatre dispositifs expérimentaux ont été réalisés pour tester ces variétés. Un dispositif en bloc de Fisher (4 x 7: blocs x variétés) a été mis en place dans chacune de ces zones. Chaque unité expérimentale (UE) comptait 49 plantules (7 x 7: ligne x colonnes). La distance de plantation entre les plantes ont été 50 cm x 50 cm, entre et sur les lignes. Ce qui correspond à une densité de 40 000 plantes/ha. Les blocs et les traitements ont été espacés d'1m (bloc-bloc x variété-variété : 1m x 1m). La superficie totale de l'expérimentation est de 518,5 m².

Tous les 4 sites ont été soumis à une même pratique agricole. Les variétés ont été semées à raison de 2 grains par poquet. Une semaine après la levée, une plante a été arrachée pour laisser une par poquet. Deux opérations de fertilisation ont été réalisées 7 jours après la levée des plantules et 15 jours avant le début de la floraison. Les principales formules d'engrais utilisées ont été d'Urée (N-P-K, 46-0-0) et le composé (N-P-K, 20-20-10). Un total de 5,20 kg (N-P-K, 46-0-0) plus

2,26 Kg (N-P-K, 20-20-10) et 5,15 kg (N-P-K, 20-20-10) ont été appliquées respectivement durant la première et la deuxième opération de fertilisation sur les 518,5 m² emblavés en maïs. De ce fait, un total de 60, 40 et 20 Kg d'azote, de phosphore et de potassium respectivement a été appliqué par ha (Muliele et al., 2017 ; Kitabala et al., 2016). Deux opérations de sarclage manuel ont été réalisées. Une a été faite, 15 jours après levée et 15 jours avant la floraison de 50% des unités expérimentales (Koné et al., 2010). Pour réduire les attaques des bioagresseurs, l'insecticide chimique Tricel 480 EC a été appliqué. Les applications ont été faites suivant l'évolution des bioagresseurs dans l'aire expérimentale (Halilou et al., 2017 ; Sane et al., 2018). La récolte a été faite quand toutes les variétés ont atteint la maturité (quand les plantes commencent à jaunir et sécher). Les épis ont été séchés au soleil une semaine avant la prise des paramètres du rendement.

Collecte des données

Un total de 6 traits relatifs à la productivité des variétés testées a été enregistré. Ces données productives ont été collectées au moment de la récolte. Les données productives enregistrées ont été : masse épi par plante (MEP), nombre de rangs par épi (NRE), nombre de grains par rang (NGR), masse des 100 grains (MCG), masse des 1000 grains (MMG) et le rendement (Rdt). La MEP (g) a été évaluée à 12% d'humidité. Une balance de marque Fisher a été utilisée pour évaluer la MEP. Le rendement de chaque UE a été calculé via la formule: $Rdt (t/ha) = 0,04 \times MEP (g)$. Toutes ces données ont été collectées sur un échantillon de 7 plantes par UE (Aristil, 2019c).

Quantification d'aflatoxine

La quantification d'aflatoxine (AF) des variétés a été faite en suivant la méthode mise en place par la compagnie fournisseuse des kits (Neogen, REVEAL AFLATOXIN Q+).

Le test a été réalisé sur un échantillon de 20 grammes de maïs par variété par UE. Chaque variété a été testée 4 fois. La moyenne obtenue a été utilisée pour estimer la contamination d'AF de la variété considérée (Aristil, 2019a).

Analyse statistique

Les données collectées ont été soumises à des analyses de variances combinées. Les sites et les variétés ont été utilisés comme fixes et les paramètres productifs comme variables. Le test Welsch et Gabriel a été utilisé pour évaluer le niveau d'homogénéité entre les moyennes de chaque variable. Ces tests ont été réalisés à $p < 0,05$ (Assa et al., 2012). La contamination d'AF des variétés a été soumise à des analyses descriptives. Maximum, minimum, moyenne arithmétique et écart types ont été calculés pour compléter les informations de contamination d'AF. Une analyse de corrélation de Pearson (ρ) a été réalisée avec tous les paramètres productifs des variétés. Les résultats obtenus pour les corrélations de Pearson ont été utilisés pour réaliser une matrice de corrélation (MC). Toutes ces analyses ont été réalisées en utilisant le logiciel IBM SPSS, version 22.0 (Corp, 2013).

RESULTATS

Effets des sites sur les variétés

Tous les six traits enregistrés sur les 7 variétés de maïs ont été soumis à des analyses de variance combinée pour voir si les conditions des zones expérimentales (S), des variétés (V) et l'action combinée des sites x des variétés (SV) ont un impact sur ces caractéristiques. Les résultats des carrés moyens de ces variables sont sur le Tableau 1. La totalité (100%) des traits enregistrés a été affectée par l'action des V. Les V ont plus d'action sur les paramètres enregistrés que les S. Quatre des six traits enregistrés ont été affectés par les V à $p < 0,001$. Ces traits sont MEP, NRE, MMG et Rdt. Par contre 50% des traits n'ont pas été affectés par les S. Près de 34% des traits agronomiques enregistrés ont

été affectés par l'action simultanée des SV. Les actions combinées des SV n'ont aucun effet sur le NRE et NGR ($p > 0,05$). Par contre, plus de 33% (2/6) des traits agronomiques enregistrés ont été affectés simultanément par le S, les V et SV à $p < 0,001$.

Variance

Les résultats de l'ANOVA d'une seule voie obtenus à partir de la moyenne arithmétique des paramètres productifs sont présentés sur le Tableau 2. Tous les traits ont été significativement affectés par les variétés ($p < 0,05$). Le NRE varie de 10 à 13 rangs. Cinq des 7 variétés ont un NRE < 12 . Les NRE maximal (13,7) et minimal (10,30) ont été enregistrés respectivement et sur Tilevy et Chicken corn UNDH.

Toutes les variétés testées ont un NGR > 25 . Près de 29% des variétés ont un NGR > 30 . Les NGR maximal et minimal ont été notés sur Comayagua et Tilevy respectivement.

Par contre, plus de 85% des variétés ont une MCG < 30 g. R4865 et R4271X4185 ont été enregistrés comme les matériels les moins importants parmi les variétés testées. Maquina, matériel local, a été noté comme la variété la plus productive avec une MCG équivalent à 32,76 g.

Très peu de variations ont été enregistrées pour la MMG des variétés testées. La MMG varie de 256 à 281 g. Les variétés locales Maquina et Chicken corn paysan ont révélé des MMG quasi égales avec respectivement 273,99 et 272,53 ($p > 0,05$). De même la Comayagua, révèle une MMG presque similaire aux deux autres variétés citées précédemment.

De même que les autres paramètres enregistrés, la MEP tourne autour de 57 à 83 g. Plus de 85% des matériels ont révélé plus de 60 g comme MEP. Trois des 7 variétés ont admis plus 70 g comme MEP. La MEP maximale a été notée sur la variété Tilevy avec 82,96 g. Celle la plus faible a été notée sur

R4865 avec une MEP équivalent à presque 58 g.

De significatives variations ont été observées aussi entre les variétés testées en prenant en considération le Rdt. Toutes les variétés ont révélé un Rdt > 2,5 t/ha. Le Rdt des matériels varie de 3,14 à 4,39 t/ha. Trois des 7 variétés testées ont un Rdt > 4 t/ha. Le Rdt maximal a été enregistré sur la variété Tilevy. Le Rdt le plus faible a été noté sur une variété importée, R4865 avec 3,14 t/ha. La variété Chicken corn paysan a été plus productive que la variété Chicken corn UNDH. Près de 0,60 t/ha sépare ces deux variétés.

Corrélation

Le Tableau 3 présente les résultats obtenus pour les corrélations existant entre les traits productifs enregistrés. Près de 67% des traits ont été liés entre eux. La valeur de corrélation entre les variables varie de 0,089 à 0,485. Parmi les variables liées entre elles, près de 90% ont été positivement corrélées. L'unique corrélation négative a été notée entre NGR et MMG ($\rho=-0,089$; $p<0,05$). Les paramètres les plus corrélés ont été respectivement le Rdt et MEP qui sont liés avec 100% et 80% des variables enregistrées. La plus forte corrélation a été notée entre le Rdt et MCG ($\rho=0,485$; $p<0,001$), suivie de

Rdt et NGR ($\rho=0,472$; $p<0,001$). Le NRE a été positivement lié uniquement avec MEP ($\rho=0,371$; $p<0,001$) et Rdt ($\rho=0,394$; $p<0,001$). Par contre aucune corrélation n'a été détectée entre le NRE et NGR.

Aflatoxine

Sur le Tableau 4 sont notés les résultats de la contamination d'AF des variétés testées. La contamination d'AF des matériels testés varie de 3,2 à 151 ppb. La contamination maximale représente plus de 48 fois celle de la plus faible. La moyenne d'AF des matériels testés varie de 5,6 à 79 ppb. La contamination d'AF maximale a été enregistrée sur la variété Maquina. De même, la plus forte variation concernant la contamination d'AF a été aussi notée sur la Maquina. Les moins contaminées des variétés ont été R4865 et Comayagua avec des concentrations d'AF (ppb) variant respectivement [4,5 ; 7,8] et [3,2 ; 7,6]. Les deux variétés les plus contaminées ont été Maquina et Tilevy. Près de 43% (3/7) des variétés testées ont révélé des taux moyens d'AF > 20 ppb, fixée par les Etats-Unis d'Amérique. Par contre, Chicken corn UNDH et Chicken corn paysan ont révélé des concentrations d'AF presque similaires. Toutes deux ont affiché des concentrations d'AF < 20 ppb.

Table 1 : Carrés moyens des résultats des traits enregistrés.

Variables	Variétés	Sites	Variétés x Sites
MEP(g)	9146,40***	235 674,39***	2206,30***
NRE(u)	188,57***	27***	5,09 ^{NS}
NGR(u)	152,28**	31,46 ^{NS}	29,07 ^{NS}
MCG(g)	541,64**	449,02 ^{NS}	388,62**
MMG(g)	13561,92***	25648,99***	14 437,71***
Rdt(t/ha)	23,42***	2,72 ^{NS}	7,79***

*** : $p<0,001$; * : $p<0,05$; ** : $p<0,01$ et NS: non significatif à $p<0,05$

Table 2: Moyenne des paramètres productifs enregistrés durant l'étude.

Variétés	NRE (g)	NGR (u)	MCG (g)	MMG (g)	MEP (g)	Rdt (t/ha)
Maquina	11,86b	29,05abc	32,76b	273,99ab	67,75abc	4,02b
Chicken-corn(UNDH)	10,30a	29,93bc	28,01ab	272,53ab	61,98ab	3,42a
R4865	10,73a	28,80abc	25,68a	256,91a	57,92a	3,14a
R4271x4185	10,39a	30,05bc	27,48a	269,66a	62,94abc	3,36a
Tilevy	13,70d	27,27a	29,53ab	292,68b	82,96d	4,39b
Comayagua	11,63b	30,39c	28,52ab	271,36ab	73,04bcd	3,98b
Chicken-corn (Paysan)	12,93c	27,89ab	27,75ab	281,57ab	77,28cd	4,04b

NRE : nombre de rangs par épi ; NGR : nombre de grains par rang ; MCG : masse des 100 grains ; MMG : masse des 1000 grains ; MEP : masse épi par plante ; Rdt : rendement. Les nombres de lettres différentes pour un même trait sont significativement différents à $p < 0,05$.

Table 3: Matrice de corrélation de Pearson des traits enregistrés.

	NRE	NGR	MCG	MMG	MEP	Rdt
NRE	1	-0,025 ^{NS}	-0,063 ^{NS}	-0,014 ^{NS}	0,371 ^{***}	0,394 ^{***}
NGR		1	0,038 ^{NS}	-0,089 [*]	0,292 ^{***}	0,472 ^{***}
MCG			1	0,155 ^{***}	0,04 ^{NS}	0,485 ^{***}
MMG				1	0,150 ^{***}	0,283 ^{***}
MEP					1	0,422 ^{***}
Rdt						1

NRE : nombre de rangs par épi ; NGR : nombre de grains par rang ; MCG : masse des 100 grains ; MMG : masse des 1000 grains ; MEP : masse épi par plante ; Rdt : rendement. *** : $p < 0,001$; * : $p < 0,05$ et NS: non significatif à $p < 0,05$

Tableau 1: Aflatoxine (ppb) des matériels de maïs.

Variables	Aflatoxines (ppb)			
	Maximum	Moyenne ± écart type	Minimum	(%)> 20 ppb
Maquina	151	79,65 ± 72,56	9,4	75
Chicken corn UNDH	19,2	8,525 ± 7,12	4,5	0
R4685	7,8	6,375 ± 1,52	4,5	0
R4172 x 4185	118,5	35,325 ± 55,47	6,4	25
Tilevy	118,3	78,85 ± 49,72	11	75
Comayagua	7,6	5,6 ± 1,88	3,2	0
Chicken corn Paysan	18,1	10,65 ± 5,97	5,3	0

DISCUSSION

Le maïs reste de loin l'une des céréales les plus cultivées et consommées en Haïti. Haïti est le deuxième consommateur de maïs dans la zone caribéenne, mais le rendement national reste très faible par rapport à celui de l'international. L'introduction de nouvelles variétés pourrait aider à atténuer ce problème. Pour cela, un total de 7 variétés de maïs a été testé dans les conditions paysannes de Torbeck pour évaluer le développement de leurs paramètres productifs et des aflatoxines contenus. Ces résultats ont révélé que la totalité des traits enregistrés a été affectée par l'action des variétés (V). De pareilles retrouvailles supposent de large diversité génétique entre les matériels testés. Ces variétés sont différentes dues aux faits qu'elles proviennent de souches très diverses (UNIMI, UNDH et producteurs locaux) et d'environnements assez divers aussi. Toutes ces conditions supposent qu'elles pourraient avoir pas mal de gènes différents. En comparant l'effet des sites et de la diversité variétale, cette dernière a un effet plus significatif sur les résultats par rapport aux premiers (sites). Ces résultats étaient pratiquement attendus puisque toutes les zones d'expérimentations ont été localisées dans une même commune (Torbeck). Les conditions de température et précipitation (même si elles n'ont pas été enregistrées au cours de l'expérimentation) sont relativement les mêmes dans la commune. Ces résultats sont différents d'une étude précédente conduite en Haïti par (Aristil et al., 2019b). Cette différence peut être due aux faits que dans l'étude précédente, Aristil et ses collègues ont travaillé sur 5 variétés de maïs mais dans deux zones agr-écologiques différentes (plaine de Torbeck et Morne Brillée) avec des précipitations et des températures maximale et minimale relativement diverses. Près de 34% des traits agronomiques enregistrés ont été affectés par l'action simultanée des SV, ce qui pourrait être due aux faits que les sites ont été pratiquement différents par leurs cultures précédentes. Dans les sites de Redon et de la

Ferme UNDH, le maïs a été la culture précédente alors que sur les autres sites, la culture de patate douce et de sorgho ont précédé l'expérimentation. Les cultures précédentes peuvent jouer sur la disponibilité en éléments minéraux des sols. Les légumineuses et les céréales se comportent différemment sur les parcelles en prenant en compte l'azote : les premières (légumineuses) apportent de l'azote via leurs nodules alors que les autres (céréales) contribuent à l'appauvrissement du sol en azote. Par contre, plus de 43% traits ont été indifférents à l'action des sites ($p>0,05$). De pareilles retrouvailles suggèrent que certains traits agronomiques des 7 variétés testées conservent leur rang dans les conditions de culture des matériels en Haïti. Ces résultats sont en ligne avec (Seyoum et al., 2012; Anjorin et al., 2018 ; Afriyie-Debrah et al., 2018).

Pareilles divergences entre les génétiques ont été également notées sur les traits agronomiques relatifs à la production enregistrée. Le NRE varie de 10 à 13 rangs obtenus pour l'ensemble des variétés testées est en relation avec ceux de Testa et al. (2016). Les NGR maximal et minimal ont été notés sur Tilevy et Comayagua, toutes deux des variétés cultivées dans la zone d'étude et fournies par les agriculteurs de Torbeck. Cela suggère aussi de grandes diversités génétiques existant entre les matériels cultivés dans la commune pour ce trait. Cela suppose aussi que Comayagua peut être utilisée comme parent (donneuse de pollen) dans un programme agricole visant à améliorer la performance du nombre de grains par rang. Le nombre de grains par rang est un trait largement recherché par des planteurs dont la finalité de la production est d'assurer la vente des grains immatures pour être consommés sous la forme de *Mayi boukannen* en Haïti. La prédominance de Comayagua sur les autres variétés peut être due à sa capacité d'adaptation environnementale (Setimela et al., 2016 ; Sserumaga et al., 2016).

Pareillement, en prenant en considération la MMG, les pires résultats ont été obtenus sur les 2 variétés données par le département de la Génétiques de l'Université des Etudes de Milan, R4865 et R4271X4185. Maquina, matériel local est noté comme la variété la plus productive avec une MCG équivalent à 32,76 g. Les variétés locales Maquina et Chicken corn paysan ont révélé des MMG quasi égales avec respectivement 273,99 et 272,53 ($p>0,05$), suggérant que très peu de variabilités sont existées entre ces deux matériels. Ces résultats étaient aussi attendus car les variétés Chicken corn et Maquina sont les plus cultivées. Plus des échanges de gènes (matériels génétiques) sont aussi possibles entre ces 2 matériels car souvent, elles sont cultivées sur une même parcelle sans aucune mesure de protection. De même la Comayagua, révèle une MMG presque similaire aux deux précédentes variétés, en accord avec Akume et al. (2015) et Verma et al. (2017).

La MEP tourne autour de 57 à 83 g. Plus de 90% des matériels ont révélé plus de 60 g comme MEP. Trois de 7 variétés ont enregistré plus de 70 g comme MEP. La MEP maximale a été notée sur la variété Tilevy avec 82,96 g pourtant la plus faible a été notée sur R4865, accentuant davantage la divergence existant entre les variétés importées et les matériels localement cultivés. Les variétés importées peuvent avoir de traits importants mais ils restent les moins cultivés localement par les planteurs. Ces retrouvailles supportent les données de Makanza et al. (2018) et Katavetin et al. (2016).

Le rendement (t/ha) en grains des variétés est le trait le plus demandé par les agriculteurs visant à réduire le risque d'insécurité alimentaire dans des pays dont les grains sont particulièrement dédiés à la consommation humaine. Comme le maïs succède le riz en termes de céréales les plus consommées, l'augmentation du Rdt des matériels cultivés est d'une importance capitale pour tous programmes visant à atténuer l'insécurité alimentaire en Haïti. Par

ailleurs, toutes les variétés ont révélé un Rdt variant de 3,14 à 4,39 t/ha. Le Rdt maximal a été enregistré sur la variété Tilevy, fournie par les agriculteurs de la zone, qui est une très bonne nouvelle pour l'avancement du programme. Ces informations suggèrent qu'il est incontournable de prendre en compte les variétés localement cultivées par les agriculteurs dans des programmes visant à augmenter le rendement du maïs en Haïti. Le Rdt le plus faible a été noté sur une variété importée, R4865 avec 3,14 t/ha, ce qui est largement supérieur à celui national qui est estimé à 0,84 t/ha. Cette performance des matériels testés peut être aussi, dans une certaines mesures, le résultat des pratiques agricoles conduites sur les matériels testés. La variété Chicken corn paysan a été plus productive que la variété Chicken corn UNDH. Une différence d'environ 0,60 t/ha sépare ces deux variétés, en accord avec la littérature existante (Omoyo et al., 2015 ; Beyene et al., 2016).

Environ 90% des traits relatifs à la production des 7 variétés testées ont été directement liés. Cela suppose que l'augmentation ou la diminution de l'un des traits correspond à une variation de l'autre dans la même direction. Par contre, tous les traits ont été faiblement corrélés ($p<0,87$). Par conséquent, il y a une très faible probabilité de trouver l'un des traits en le prédisant via un autre. L'unique corrélation négative a été notée entre NGR et MMG, qui suggère qu'une augmentation de l'une de ces 2 variables correspond à une diminution de l'autre. Ces résultats sont en accord avec ceux de Bajya et al. (2011) et Mena et al. (2018). La plus forte corrélation a été notée entre le Rdt et MCG ($\rho=0,485$), suivie de Rdt et NGR ($\rho=0,472$), ce qui suggère que le meilleur trait à utiliser pour prédire le Rdt a été la MCG avec une précision de ($\rho^2=23,52\%$). Des études supplémentaires sur la relation entre le Rdt et les autres traits doivent être conduites. Alors que la majorité de maïs est consommée sous forme de grain, de semoule et de farine, le rendement, fonction de la production, est l'un des traits les plus

importants pour les agriculteurs. Mais la meilleure précision (23,52%) des traits utilisés pour prédire le Rdt est relativement trop faible. Peut-être, ce caractère (Rdt) est beaucoup plus lié à des paramètres de végétation (traits végétatifs) qui n'ont pas été pris en compte dans cette recherche. Ainsi, des études sur la relation du Rdt avec les paramètres végétatifs comme le cycle de production et la période de floraison mâle et femelle peuvent être aussi très importantes. En effet, dans des pays à faible revenu comme Haïti, un cycle de production relativement court ainsi qu'un Rdt élevé sont les plus importants traits demandés par les agriculteurs.

Les aflatoxines sont des métabolites secondaires produites par des champignons d'*Aspergillus* Section *Flavi* qui incluent *Aspergillus flavus*, *A. nomius* et *A. parasiticus*. Les aflatoxines peuvent avoir de sérieuses conséquences sur les enfants, adultes et vieillards en favorisant des problèmes comme retard de croissance, cancer du foie et des reins et, affaiblissement de systèmes de défense, respectivement. Haïti détient un des plus hauts taux de cancer du foie dans la région caribéenne. Les aflatoxines ont été préalablement documentés en Haïti (Schwartzbord and Brown, 2015 ; Schwartzbord et al., 2016). La contamination d'aflatoxines des matériels testés dans cette présente étude, dans les conditions paysannes, varie 3,2 à 151 ppb. Ces résultats sont totalement différents des données obtenues par Aristil et al. (2019b). Dans cette étude conduite sur 5 variétés de maïs dont trois importées, dans les mêmes conditions d'Haïti, Aristil et ses collègues ont rapporté avoir obtenus des taux d'aflatoxines variant de 2,0 à 2,7 ppb (inférieur à la limite fixée par l'Union Européenne qui est de 5 ppb). Cette différence pourrait être expliquée par la différente période de conduite des expérimentations.

La moyenne d'AF des matériels testés varie de 5,6 à 79 ppb. Ces résultats sont en accord avec Schwartzbord et al. (2016) et Aristil et al. (2017). La contamination d'AF maximale a été enregistrée sur la variété

Maquina. De même, la plus forte variation concernant la contamination d'AF a été aussi notée sur cette même variété. Cela présente de sérieux risques car Maquina est l'une des variétés les plus cultivées dans le département du Sud et plus particulièrement dans la commune de Torbeck. Ainsi il est impérieux de continuer à contrôler la multiplication de cette variété pour réduire les risques d'aflatoxicose dans le département du Sud. Par contre, les moins contaminées des variétés testées ont été R4865 et Comayagua qui ont révélé toutes des taux d'AF < 10 ppb. Ces résultats sont très intéressants due au fait que l'un de ces 2 variétés a été fournie par les producteurs locaux. De pareilles variétés peuvent être utilisées comme parents dans des programmes ayant pour objectif principal d'assurer des produits libres de toute contamination d'aflatoxine. De plus, ces différentes variations (maximales et minimales) notées entre les matériels testés peuvent être dues à la résistance conférée par ces gènes par rapport à la sensibilité aux champignons producteurs d'AF. Chicken corn UNDH et Chicken corn paysan ont révélé des concentrations d'AF presque similaires. Toutes deux, de même que R4865, provenant d'UNIMI, ont affiché des concentrations d'AF < 20 ppb, fixée par les Etats-Unis d'Amérique. Les résultats de cette recherche suggèrent que les grains cette dernière variété (R4865) peuvent être facilement exportés sur les marchés régionaux (américains et caribéens). Elles peuvent être aussi utilisées dans des programmes ayant pour but principal d'assurer l'exportation des grains de bonne qualité sur le marché commun de pays de la Caraïbe (Caricom) dont Haïti est membre.

Conclusion

Le maïs est la deuxième céréale la plus consommée en Haïti. L'objectif de cette étude est d'évaluer l'AF et les paramètres enregistrés dans 7 variétés de maïs dans le Sud d'Haïti. Les résultats ont révélé que le Rdt des matériels varie de 3,14 à 4,39 t/ha. Le Rdt des matériels est positivement corrélé à tous les

traits enregistrés. La contamination moyenne d'AF des matériels testés varie de [5,6 ; 79] ppb. Près de 43% des variétés testées ont révélé des taux d'AF>20 ppb, fixée par les Etats-Unis d'Amérique. Pourtant, R4865 fournie par l'Université des Etudes de Milan (UNIMI) a révélé des taux d'AF< 20 ppb. Par ailleurs, les matériels les plus performants en termes de production de grains ont été d'origine paysanne et locale comme Tilevy. De pareilles retrouvailles suggèrent que R4865 provenant d'UNIMI peut être utilisée comme donneuse de pollen aux variétés localement cultivées dont Tilevy dans des programmes ayant pour but principal d'assurer la promotion des grandes quantités de grains de qualités en Haïti. Des études supplémentaires devraient garder toujours l'approche participative afin de continuer l'action de rapprochement entre domaine de la recherche académique (UNIMI et UNDH) et monde de la pratique agricole (agriculteurs locaux).

CONFLITS D'INTERETS

Les auteurs déclarent qu'il n'y a aucun conflit d'intérêt.

CONTRIBUTIONS DES AUTEURS

La mise en place des dispositifs expérimentaux, collecte et traitement des données, présentations des résultats et discussions ont été complétés par Junior Aristil. L'introduction et le résumé ont été réalisés par Pietro De Marinis et la conclusion a été faite par les deux auteurs. Prof Alberto Spada contribue dans la révision totale du manuscrite.

REMERCIEMENTS

Cette recherche a été complétée dans le cadre du projet IFAH : « Imparare e Fare ad Haiti », financé par l'Eglise Vaudoise, « 8x1000 2017-2018 ». Profond remerciement aux étudiants de la Faculté d'Agronomie de l'Université Notre Dame d'Haïti, bénéficiaires du projet IFAH (58 agriculteurs et 20 étudiants en Agronomie de la Faculté d'Agronomie d'UNDH) qui ont participé à la mise en place

des dispositifs expérimentaux particulièrement Cherestal Dalingda, Dominique Lordé, Badette Romique.

REFERENCES

- Afriyie-Debrah C, Addo JS, Berchie JN, Ribeiro PF, Yeboah EO. 2018. Determine the Relationship between the Performance of the Maize Varieties and Their Multi-Environment Status. *Asian Journal of Research in Crop Science*, 1-9. DOI: 10.9734/AJRCS/2018/42047
- Akume ND, Christopher S, Manga MA, Francis NAS, Yaya FV, Venasius L. 2015. Effect of Tree Hedgerow Pruning on Maize Yield in Santa, Cameroon. *International Journal of Agriculture Innovations and Research*, 3(6): 1750-1756.
- Anjorin FB, Adejumo SA, Adediran JA, Adebayo A K, Ogunniyan DJ, Olanipekun SO. 2018. Influence of different fertilizer application rates on growth and yield components of two maize varieties in a forest-savannah-transition agro-ecology zone. *African Journal of Agriculture Technology and Environment*, 7(1) : 109-122.
- Aristil J. 2019. Aflatoxin contamination of baby food flour sold on Haitian markets. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 13(3): 1821-1825. DOI: <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v13i3.49>
- Aristil J, Pilu R, Spada A. 2019. Morphological diversity among local and introduced maize (*Zea mays* L.) varieties in Haiti for yield improvement. *Maydica*, 64(1) : 7.
- Aristil J, Venturini G, Spada A. 2017. Occurrence of Toxigenic Fungi and Aflatoxin Potential of *Aspergillus* spp. Strains Associated with Subsistence Farmed Crops in Haiti. *J. Food Prot.*, 80(4): 626-631.
- Aristil J. 2018. Integrated approaches to agriculture in developing country: Haiti. PhD thesis, University of Milan, Milan, p 174.

- Aristil J. 2019. Effets de trois types de fertilisants sur les paramètres végétatifs et productifs du sorgho en Haïti. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **13**(2): 720-726. DOI: <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v13i2.12>
- Assa RR, Konan JL, Prades A, Nemlin J. 2012. Caractéristiques gustatives de l'eau des fruits de quatre cultivars du cocotier (*Cocos nucifera* L.). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **6**(6): 3045-3054.
- Bajya M, Kakralya BL, Bajaya T, Choudhary M. 2017. Correlation coefficient of different Morpho-physiological Parameters related to yield in coriander (*Coriandrum sativum* L.). *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, **6**(4): 664-665.
- Berthiller F, Cramer B, Iha MH, Krska R, Lattanzio VMT, MacDonald S, Tittlemier SA. 2018. Developments in mycotoxin analysis: an update for 2016-2017. *World Mycotoxin J.*, **11**(1): 5-32. DOI: doi.org/10.3920/wmj2017.2250
- Beyene Y, Semagn K, Crossa J, Mugo S, Atlin GN, Tarekegne A, Alvarado G. 2016. Improving maize grain yield under drought stress and non-stress environments in sub-Saharan Africa using marker-assisted recurrent selection. *Crop Sci.*, **56**(1) : 344-353.
- Broutin C, Dumazert P, Methelus J, Ernest J. 2017. Etude - Diagnostic de l'aval de la filière maïs et de son environnement de services dans le département du Sud. Available at: <https://www.gret.org/wp-content/uploads/Rapport-final-etude-aval-MAis-VF.pdf>
- Cantaluppi E, Manzi S, Egal AA, Puglisi D, Cassani E, Toschi I, Cesari V T, Landoni M, Scapin A, Pilu R. 2017. Nutritional and phenotypical characterization of two South African maize (*Zea mays* L.) varieties sampled in the Qwa-Qwa region. *Maydica.*, **62** :1-10
- Cohen MJ. 2013. Diri Nasyonal ou Diri Miami? Food, agriculture and US-Haiti relations. *Food Secur.*, **5**(4): 597-606. DOI: 10.1007/s12571-013-0283-7
- Corp IBM. 2013. IBM SPSS statistics for windows, version 22.0. Armonk, NY: IBM Corp.
- FAO. 2004. Reglamento a nivel mundial para las micotoxinas en los alimentos y en los raciones en el año 2003. Available at: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/007/y5499s/y5499s00.pdf>
- FAO. 2018. Available at: <http://www.fao.org/haiti/actualites/detail-events/fr/c/1072824/>
- FAO. 2019. The Future of Food Safety - There is no food security without food safety. Rome.
- Filbert ME, Brown DL. 2012. Aflatoxin Contamination in Haitian and Kenyan Peanut Butter and Two Solutions for Reducing Such Contamination. *Journal of Hunger and Environmental Nutrition*, **7**(2-3): 321-332. DOI: 10.1080/19320248.2012.707109
- Halilou H, Kadri A, Karimou I. 2017. Gestion intégrée du mildiou du mil en station au centre régional de recherche agronomique de Maradi (CERRA/Maradi) au Niger. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **11**(6): 2704-2712. DOI: <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v11i6.12>
- Huertas-Pérez JF, Arroyo-Manzanares N, Hitzler D, Castro-Guerrero F G, Gámiz-Gracia L, García-Campaña AM. 2018. Simple determination of aflatoxins in rice by ultra-high performance liquid chromatography coupled to chemical post-column derivatization and fluorescence detection. *Food Chem.*, **245**: 189-195.
- INRA. 2019. Dictionnaire d'agroécologie. Retrieved from <https://dicoagroecologie.fr/encyclopedie/approche-participative/>
- Jestoi M. 2008. Emerging fusarium-mycotoxins fusaproliferin, beauvericin, enniatins, and moniliformin - A review. *Crit Rev Food Sci.*, **48**(1): 21-49. DOI: 10.1080/10408390601062021
- Katavetin P, Watanatorn S, Townamchai N, Avihingsanon Y, Praditpornsilpa K.

2016. Ear length and kidney function decline after kidney donation. *Nephrology*, **21**(11): 975-978. DOI: <https://doi.org/10.1111/nep.12794>
- Kitabala MA, Tshala UJ, Kalenda MA, Tshijika IM, Mufind KM. 2016. Effets de différentes doses de compost sur la production et la rentabilité de la tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) dans la ville de Kolwezi, Province du Lualaba (RD Congo). *Journal of Applied Biosciences*, **102**(1): 9669-9679. DOI: <http://dx.doi.org/10.4314/jab.v102i1.1>
- Koné B, Yao-Kouamé A, Sorho F, Diatta S, Sié M, Ogunbayo A. 2010. Long-term effect of Mali phosphate rock on the grain yield of interspecifics and salt-tolerant rice cultivars on acid soil in a humid forest zone of Côte d'Ivoire. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **4**(3): 563-570.
- Lago C, Cassani E, Zanzi C, Landoni M, Trovato R, Pilu R. 2014. Development and study of a maize cultivar rich in anthocyanins: coloured polenta, a new functional food. *Plant Breeding*, **133**(2): 210-217. DOI:10.1111/pbr.12153
- Makanza R, Zaman-Allah M, Cairns JE, Eyre J, Burgueño J, Pacheco Á, Prasanna BM. 2018. High-throughput method for ear phenotyping and kernel weight estimation in maize using ear digital imaging. *Plant methods*, **14**(1): 49. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13007-018-0317-4>
- Méndez-Albores A, Moreno-Martínez E. 2009. Las micotoxinas : Contaminantes naturales de los alimentos. available at : <http://www.revistaciencia.amc.edu.mx/online/619->
- Méthelus J. 2013. Estudio del contenido de micotoxinas en pasta. evolución por tratamientos tecnológicos. Trabajo de fin de master, Universidad de Valencia, Facultad de Farmacia, Valencia, p 117.
- Milicevic DR, Škrinjar M, Baltic T. 2010. Real and perceived risks for mycotoxin contamination in foods and feeds: Challenges for food safety control. *Toxins*, **2**(4): 572-592. DOI: 10.3390/toxins2040572
- Muliele TM, Nsombo BM, Kapalay OM, Mafuka PM. 2017. Amendements organiques et dynamique de l'azote minéral dans le sol sableux de Kinshasa (RD Congo). *Journal of Animal and Plant Sciences*, **32**(2): 5156-5167.
- Omoyo NN, Wakhungu J, Oteng'i S. 2015. Effects of climate variability on maize yield in the arid and semi-arid lands of lower eastern Kenya. *Agriculture & Food Security*, **4**(1): 8. DOI: 10.1186/s40066-015-0028-2
- Pressoir G, Fréguin Gresh S, Lamure Tardieu FX, Lançon F. 2016. Les filières agricoles Haïtiennes : un marché intérieur à reconquérir. In CIRAD (Ed.), Une étude exhaustive et stratégique du secteur agricole/rural haïtien et des investissements publics requis pour son développement.
- Sane B, Badiane D, Gueye MT, Faye O. 2018. Évaluation de l'efficacité biologique d'extrait de neem (*Azadirachta indica* Juss.) comme alternatif aux pyréthrinoides pour le contrôle des principaux ravageurs du cotonnier (*Gossypium hirsutum* L.) au Sénégal. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **12**(1): 157-167. DOI: <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v12i1.12>
- Schwartzbord J, Severe L, Brown D. 2017. Detection of trace aflatoxin M1 in human urine using a commercial ELISA followed by HPLC. *Biomarkers*, **22**(1): 1-4. DOI: <https://doi.org/10.1080/1354750X.2016.1203998>
- Schwartzbord JR, Emmanuel E, Brown DL. 2013. Haiti's food and drinking water: A review of toxicological health risks. *Clin Toxicol.*, **51**(9): 828-833. DOI: <https://doi.org/10.3109/15563650.2013.849350>
- Schwartzbord JR, Leroy JL, Severe L, Brown DL. 2016. Urinary aflatoxin M1 in Port-au-Prince and a rural community in north-east Haiti. *Food Addit Contam:*

- Part A., **33**(6): 1036-1042. DOI: <https://doi.org/10.1080/19440049.2016.1185899>
- Schwartzbord, J. R, Brown DL. 2015. Aflatoxin contamination in Haitian peanut products and maize and the safety of oil processed from contaminated peanuts. *Food Control*, **56**: 114–118. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.03.014>
- Setimela, PS, Lunduka R, Zaman-Allah M, Ndoro O, Cairns JE. 2016. Performance of elite drought tolerant maize varieties: across eastern and southern Africa, season 2015-16.
- Seyoum M, Alamerew S, Bantte K. 2012. Genetic variability, heritability, correlation coefficient and path analysis for yield and yield related traits in upland rice (*Oryza sativa* L.). *Journal of Plant Sciences*, **7**(1): 13-22. DOI: [10.3923/jps.2012](https://doi.org/10.3923/jps.2012)
- Shanakhat H, Sorrentino A, Raiola A, Romano A, Masi P, Cavella S. 2018. Current methods for mycotoxins analysis and innovative strategies for their reduction in cereals: an overview. *J Sci Food Agr.*, **98**(11): 4003–4013. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.8933>.
- Soriano del Castillo JM. 2007. *Micotoxinas en Alimentos*. Díaz de Santos, S.A : Madrid.
- Sserumaga JP, Oikeh SO, Mugo S, Asea G, Otim M, Beyene Y, Kikafunda J. 2016. Genotype by environment interactions and agronomic performance of doubled haploids testcross maize (*Zea mays* L.) hybrids. *Euphytica*, **207**(2): 353-365. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10681-018-2250-z>.
- Steckley M. 2016. Eating up the social ladder: the problem of dietary aspirations for food sovereignty. *Agr Hum Values.*, **33**(3): 549–562. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10460-015-9622-y>
- Testa G, Reyneri A, Blandino M. 2016. Maize grain yield enhancement through high plant density cultivation with different inter-row and intra-row spacings. *Eur J Agron.*, **72**: 28-37. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.eja.2015.09.006>
- USAID - FEWS NET. 2005. Livelihood Profiles in Haiti: September 2005, (September), 8. Available at: <http://www.fews.net/Pages/default.aspx>
- USAID - FEWS NET. 2018. HAITI Staple Food Market Fundamentals, (March), 1–68. Available at: <http://www.fews.net>
- USDA. 2018. Haiti Grain and Feed Annual - GAIN report (Vol. HA1801). Available at: [https://gain.fas.usda.gov/Recent GAIN Publications/Grain and Feed Annual_Port-au-Prince_Haiti_8-29-2018.pdf](https://gain.fas.usda.gov/Recent%20GAIN%20Publications/Grain%20and%20Feed%20Annual_Port-au-Prince_Haiti_8-29-2018.pdf)
- Verma I, Parihar NN, Sanjay DH, Rai PK. 2017. Effect of biologicals and chemicals seed treatments on growth, yield and yield attributing traits in maize (*Zea mays* L.). *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, **6**(6) : 1955-1959.