

EFFETS DE LA FERTILISATION À BASE DE LA BIOMASSE VERMICOMPOSTÉE SUR LES PERFORMANCES AGRONOMIQUES DU HARICOT VERT (*PHASEOLUS VULGARIS* L.) EN CULTURE IRRIGUÉE

GUERMACHE Lamis^{1*} et DJAZOULI Zahr-Eddine¹

1. Laboratoire de Biotechnologie des Productions Végétales, Département de Biotechnologie, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Université de Blida 1, B.P. 270, route de Soumaa, Blida, Algérie.

Reçu le JJ/MM/AA, Révisé le JJ/MM/AA, Accepté le JJ/MM/AA

Résumé

Description du sujet : Les méthodes de production biologique encouragent l'utilisation de matières organiques comme substituts aux engrais chimiques. Actuellement, plusieurs sources organiques de nutriments sont étudiées afin de trouver de bonnes alternatives à bas prix qui fourniront des éléments nutritifs aux cultures biologiques sans risque de perdre leur intégrité organique. L'utilisation du vermicompost en agriculture permet une meilleure durabilité et productivité des cultures en améliorant la qualité des productions végétales.

Objectifs : L'objectif de ce projet était d'évaluer l'impact du vermicompost obtenu à partir de trois types de substrats biologiques sur les paramètres physiologiques et l'expression végétative du haricot vert *Phaseolus vulgaris* L.

Méthodes : L'essai a concerné trois types de biofertilisant : Le thé de vermicompost fermenté, le thé de vermicompost de marc de café et le jus de vermicompost de déchets ménagers. Les traitements sont appliqués par voie foliaire. L'apport est renouvelé chaque 15 jour durant tout le cycle végétatif du haricot. A chaque palier d'apport des biofertilisants, les traits morfo-physiologiques et biochimiques ont été mesurés.

Résultats : Les résultats ont montré que l'amendement au thé de vermicompost de marc de café et au thé de vermicompost fermenté ont générés une meilleure croissance des plantes et une augmentation de la capacité de production. Nos résultats ont montré que les mesures en termes du mode de fonctionnement et de la biosynthèse des métabolites primaires impliquent les trois types de vermicompost.

Conclusion : L'interdépendance des différents paramètres, explique le chevauchement observé entre l'effet des différents types de vermicompost. Ceci est lié à la qualité des nutriments qui peuvent coexister dans les biomasses considérées. Somme toute, l'amendement en vermicompost des substrats biologiques a amélioré la durabilité de la culture.

Mots clés : Acides aminés, Paramètres de production ; Paramètres de croissance, Photosynthèse, Vermicompost

EFFECTS OF VERMICOMPOSTED BIOMASS FERTILIZATION ON THE AGRONOMIC OF GREEN BEANS (*PHASEOLUS VULGARIS* L.) IN IRRIGATED CORPS

Abstract

Topic Description: Organic production methods encourage the use of organic materials as a substitute for chemical fertilizers. Currently, several organic sources of nutrients are being tested to find good low-cost alternatives that will provide nutrients to organic crops without the risk of losing their organic integrity. The use of compost in agriculture allows a better sustainability and productivity of crops by improving the quality of crop production.

Objectives: The objective of this project was to assess the impact of vermicompost obtained from three types of biological substrates on the physiological parameters and vegetative expression of the green bean *Phaseolus vulgaris* L.

Methods: The trial involved three types of biofertilizer: Fermented vermicompost tea, coffee marc vermicompost tea and vermicompost juice from household waste. The treatments are applied by foliar route. The intake is renewed every 15 days during the whole growing cycle of the bean. Morpho-physiological and biochemical traits were measured at each stage of biofertiliser intake.

Results: The results showed that the authored vermicompost amendment of coffee grounds and fermented vermicompost tea have generated better plant growth and increased production capacity. Our results showed that measurements in terms of the mode of operation and biosynthesis of primate metabolites involve all three types of vermicompost.

Conclusion: The interdependence of the different parameters explains the observed overlap between the effect of the different types of vermicompost. This is related to the quality of nutrients that can coexist in the biomass considered. All in all, the vermicompost amendment of organic substrates has improved crop sustainability.

Keywords: Amino acids, Production parameters; Growth parameters, Photosynthesis, Vermicompost

* Auteur correspondant: GUERMACHE Lamis. E-mail: lamissguermache13@gmail.com

INTRODUCTION

Le passage de l'agriculture traditionnelle vers l'agriculture conventionnelle est considéré comme la première solution à cette préoccupation de satisfaire les besoins alimentaires des populations, ou les traitements sont réalisés grâce à des produits chimiques apportés au sol plus ou moins nocifs. Ceux-ci sont appliqués pour prévenir des maladies et des insectes nuisibles des cultures [1 et 2]. Il est prouvé que ces produits influent négativement sur la santé humaine et induisent la perte de la biodiversité du sol. Pour cette raison les biologistes conditionnent la fertilisation par l'interdiction des produits chimiques et définissent collectivement les règles principales de ce mode de production agricole pour préserver la biodiversité et respecter l'humanité [3]. Les agriculteurs s'orientent vers l'agriculture biologique comme une solution agricole respectueuse de l'environnement, de la biodiversité ainsi que des cycles naturels ; c'est un mode de production qui a pour objectif de rapprocher au maximum des conditions naturelles de vie des animaux et des plantes [4]. La gestion de la nutrition végétale est une face de l'agriculture biologique qui permet aux végétaux d'absorber dans le milieu ambiant et d'assimiler les éléments nutritifs nécessaires à leurs différentes fonctions physiologiques. La production maraîchère a connu une évolution grâce aux nouvelles techniques et modes d'intervention, parmi ces techniques, la fertilisation qui permet d'assurer les besoins nutritionnels des plantes qui agissent sur le rendement du point de vue quantitatif et qualitatif, et maximise la productivité dans le secteur agricole [5 et 6].

Le vermicompostage est un processus biologique et écologique complexe de biooxydation et de stabilisation de la matière organique. L'utilisation du vermicompost procure un effet biofertilisant, biostimulant et biopesticide [7]. Le vermicompost est un produit dérivé de la biodégradation des déchets organiques par les micro-organismes et les vers de terre. Ces derniers consomment et fragmentent les déchets organiques en particules plus fines en les passant à travers le tube digestif [8]. Le processus accélère la décomposition de la matière organique [9]. Dans le cadre de la recherche sur des nouveaux procédés en biotechnologie végétale et d'autres approches, faisant appel à l'utilisation des molécules naturelles appelées Biofertilisants, notre travail vise le développement de biofertilisants à base de différentes matières organiques pour juguler les problèmes liés à la durabilité des productions végétales.

L'objectif de notre travail est d'évaluer l'efficacité de biofertilisants issus du vermicompostage des déchets ménagers, de mac de café et de substrat lignocellulosique de résidus agricoles sur les paramètres biochimiques, de croissance, et de production du haricot vert (*Phaseolus vulgaris L.*). Dans cette optique, nous avons dégagé les questions hypothèses suivantes : (i) Les biofertilisants appliqués peuvent-ils apporter une meilleure nutrition aux plantes ? (ii) Quel serait le degré d'influence de ces biofertilisants sur les paramètres morpho-physiologiques du haricot vert ? (iii) Quelle serait la stratégie de combiner l'apport des différents biofertilisants dans un programme de nutrition organique ?

MATÉRIEL ET MÉTHODES

1. Conduite de la culture

L'expérimentation a été menée sur des plantules du haricot vert *Phaseolus vulgaris L.* variété Alex. Cette dernière est une variété naine de type mangetout à grain unicolore, à port demi-dressé. Elle se caractérise par de longues feuilles de couleur verte claire, des fleurs à couleur violettes qui produisent des gousses charnues sans fil. L'expérimentation a été réalisée dans une serre en polycarbonate de 382,5 m² de surface (Département de Biotechnologie, Université de Blida 1) sous des conditions semi-contrôlées, d'exposition nord-sud. L'éclairage est celui du jour, la température varie au cours de la journée et d'une saison à l'autre, elle est mesurée par un thermomètre placé au milieu de la serre. Un système de chauffage thermostatique permet de réguler la température durant les journées les plus froides, l'aération est assurée par plusieurs fenêtres placées latéralement de part et d'autre de la serre sur une longueur de 17 mètres. La prégermination des graines a été réalisée dans des boîtes de pétris contenant du coton imbibé d'eau, jusqu'à émergence de la radicule. Les graines germées sont semées dans des alvéoles contenant de la tourbe noire et arrosées en abondance. Les arrosages ont été effectués selon les besoins des plantules. Dès l'apparition des feuilles cotylédonaire, les plantules ont été repiquées dans des pots en plastique remplis de terre ayant une capacité de 1 kg. Les pots sont tapissés par une couche fine de gravier pour assurer un bon drainage. 20 jours après le repiquage, nous avons procédé à l'application des différents traitements.

2. Présentation des biofertilisants

-*Le thé de vermicompost fermenté* : Le thé de vermicompost est obtenu selon le procédé de la fermentation solide.

Le protocole prévoit l'inoculation du substrat lignocellulosique de résidus agricoles, entre autres la paille de blé à partir d'une suspension de spores provenant du vermicompost brut. Le pathosystème microbien renfermé dans le vermicompost brut impliquera la dégradation du substrat jusqu'à l'obtention d'un substrat en mélasse. Après la phase de fermentation, le substrat solide fermenté est additionné à de l'eau de ville. Après agitation et filtration, la phase liquide obtenue constitue le thé de lombricompost fermenté [10]. Il a été utilisé après dilution V : 10V (Thé de vermicompost fermenté : Eau de ville) [10].

-Le thé de vermicompost de marc de café : L'obtention du thé de vermicompost à base de marc de café est précédée par un vermicompostage de marc de café, enrichie par des proportions de broyat de coquille d'œuf, de carton, de chapelure de pain et de tourbe professionnelle [11]. Le vermicompost de marc de café obtenue est macéré dans l'eau de ville à raison de 200 g/litre, sous agitation magnétique [10]. Le thé de vermicompost de marc de café est obtenu par filtration du macérât. Il a été utilisé après dilution V : 10V (Thé de vermicompost de marc de café : Eau de ville) [10].

-Le jus de vermicompost de déchets ménagers : est un liquide provenant essentiellement de la dégradation des déchets ménagers par un ver de terre anécique *Eisenia foetida*. En plus de l'eau chargée de nutriments minéraux et d'oligo-éléments assimilés contenue dans les déchets, il renferme le mucus intestinal riche en protéines, en polysaccharides, en matières organiques et minérales, en acides aminés et en symbiontes microbiens (bactéries, protozoaires et micro-fungis) [12, 13, 14, 15]. Il a été utilisé après dilution V : 10V (Jus de vermicompost de déchets ménagers : Eau de ville) [10].

3. Dispositif expérimental et conduite de l'essai

L'essai est réalisé en bloc aléatoire complet, le dispositif composé de 4 blocs à raison de 28 plantes par traitement (112 plantes = unité expérimentale) à savoir : TM : Témoin (eau de ville), JVDM : Jus de vermicompost de déchets ménagers, TVF : Thé de vermicompost fermenté, TVMC : Thé de vermicompost de marc de café. Les blocs sont distants de 50 cm les uns des autres. Les plantules sont irriguées régulièrement selon leur besoin en eau de ville. 7 apports foliaires à l'aide d'un pulvérisateur manuel ont été apportés durant le cycle végétatif du haricot. Les repères phénologiques ou phases de développement du haricot ont été considérées lors des apports des biofertilisants et au moment de l'échantillonnage

(L: Stade levée, V3: déploiement du 1er trifolié, V4: déploiement de la 3^{ème} trifoliée, R5: préfloraison, R6: floraison, R7: formation des gousses, R8: remplissage des gousses).

4. Paramètres étudiés

-Mesure de la croissance en longueur de la partie aérienne et souterraine : La croissance en longueur de la partie aérienne et racinaire a été évaluée pour chaque plante après chaque prélèvement. La longueur de la partie aérienne et des racines ont été mesurées à l'aide d'un pied à coulisse à lecture digitale (SYLVAC).

-Mesure de l'évolution du poids frais de la partie aérienne et souterraine : La biomasse fraîche de la partie aérienne et souterraine exprimée en gramme. Après la récolte des plantes. Les racines sont brièvement rincées dans de l'eau déminéralisée à froid durant 30 secondes et séchées en surface. Les racines et les parties aériennes sont ensuite séparées et pesées avec une balance de précision (PCE-BS 6000).

-Nombre et poids des nodosités : Le nombre de nodosité a été comptabilisé pour chaque plante pour chaque traitement. Après sélection des nodosités pour chaque plantes, leur poids est estimé par pesée à l'aide d'une balance de précision (PCE-BS 6000). Il est exprimé en milligramme

-Nombre et longueur des gousses : Le nombre de gousse a été comptabilisé pour chaque traitement. Le poids des gousses par traitements a été estimé par pesée avec une balance de précision (PCE-BS 6000). Il est exprimé en milligramme

-Quantification chlorophylle total : La méthode proposée par Lichtenthaler [16], a été utilisé pour quantifier la chlorophylle et les caroténoïdes. 0,1 g. de feuille fraîche a été additionné à 4 ml d'acétone 80%, puis centrifugée à 3000 tr/min pendant 10 min. L'absorbance du surnageant a été lu respectivement à 647, 664, et 470 nm à l'aide d'un spectrophotomètre UV visible (Jenway 6300). La chlorophylle a, la chlorophylle b, le contenu en chlorophylle totale et les caroténoïdes exprimés en mg/g. M.S., ont été déterminés comme suit: $Chla = 12,21 (A_{664}) - 2,79(A_{647})$, $Chlb = 21,21 (A_{647}) - 5,1 (A_{664})$, $ChIT = Chla + Chlb$, $Carotenoide = (1000 \times A_{470} - 1,8 \times Chla - 85,02 \times Chlb) / 198$.

-Quantification des acides aminés : L'extraction a été réalisée selon la méthode décrite par Saladin et al. [17]. Cent mg de MS ont été broyés au mortier avec 1 mL d'acide 5-sulfosalicylique à 5 % (p/v) puis le mélange a été centrifugé à 10 000 g et à 4°C pendant 15 min afin d'éliminer le culot.

Un volume de 200 µL a été mélangé avec 100 µL de tampon citrate 0,2 M à pH 4,6 et 200 µL de réactif à la ninhydrine. Le réactif est composé d'acide ascorbique à 0,003 % (p/v) et de ninhydrine à 0,96 % (p/v) dans de l'éthylène glycol monométhyl éther. Après une incubation de 20 min à 95°C et un refroidissement à température ambiante, 600 µL d'éthanol à 60 % ont été rajoutés. L'absorbance a été mesurée à 570 nm au spectrophotomètre (Jenway 6300). La teneur en acides aminés a été exprimée en µmol. /g MS à partir d'une gamme étalon de leucine.

-Quantification des sucres totaux : Les solubles totaux sont dosés par la méthode de Dubois et al. [18]. Elle consiste à additionner 3ml d'éthanol à 80 % à 100mg de matière végétale fraîche. Le mélange a été mis à température ambiante pendant 48 heures. Au moment du dosage, l'éthanol a été évaporé par passage à l'étuve à 80°C. L'extrait obtenu a été additionné à 10 ml d'eau distillée. Une prise d'essai de 0,5 ml de la solution à analyser a été mélangée à 0,5 ml de phénol 5 %, dont on ajoute rapidement 2,5 ml d'acides sulfurique concentré 96%. Le mélange vire en couleur jaune orange, après homogénéisation au vortex, l'échantillon a été placé au bain-marie pendant 10 à 20 min à une température de 30°C. La couleur de la solution est stable pendant plusieurs heures. L'absorbance a été mesurée à 485nm au spectrophotomètre (Jenway 6300). Les valeurs obtenues sont reportés sur la gamme étalon, à l'aide de l'équation suivante : $AB=4,3918 ST-0,1946$, Avec : AB : Absorbance, ST : Quantité des sucres totaux exprimée en mg/g.M.F.

5. Analyses statistiques

L'ensemble des mesures ont été réalisées en 6 répétitions. Les analyses de la variance sont faites sur des moyennes homogènes adoptées sur la base d'un coefficient de variance (C.V. <15%). La signification des comparaisons des moyennes a été confirmée par un test de comparaison par paire (Test Student-Newman-Keuls). Les contributions significatives retenues sont au seuil d'une probabilité de 5%, les calculs ont été déroulés par le logiciel XLSTAT vers. 9 [21].

RÉSULTATS

1. Effets de différents types de vermicompost sur les paramètres de croissance

La fluctuation temporelle des traits de croissance du haricot a été étudiée sous l'effet des différents types de vermicompost. Nous avons considéré la croissance et la biomasse de la partie aérienne et souterraine comme paramètres ayant la capacité de dévoiler l'aptitude du vermicompost à stimuler la croissance du haricot vert. Les résultats de l'évolution hebdomadaire des paramètres de croissance sont reportés dans le tableau 1. Holistiquement, il ressort que la croissance des plantes traitées avec le thé de vermicompost de marc de café (TVMC), le thé de vermicompost fermenté (TVF) et le jus de vermicompost de déchets ménagers (JVDM) est plus importante que celle enregistrée chez les plantes témoin ($p < 1\%$). Les résultats, montrent une similarité d'effet des trois biofertilisants sur la croissance en longueur de la partie aérienne, atteignant ainsi les mêmes indices phénologiques. La variation de la croissance en longueur de la partie souterraine, ainsi que le nombre de nodosités au niveau des racines et le poids frais de la partie aérienne, sont sous la dépendance du thé de vermicompost fermenté. Ils enregistrent des valeurs significativement différentes à chaque indice phénologique par rapport à l'effet du thé de vermicompost de marc de café et du jus de vermicompost de déchets ménagers. Les plantes traitées, affichent les meilleures moyennes arithmétique par comparaison au témoin. En revanche, le poids frais de la partie souterraine, semble dépendre de l'apport du jus de vermicompost de déchets ménagers et du thé de vermicompost fermenté. Les fluctuations enregistrées dépassent significativement celles enregistrées chez les plantes traitées au thé de vermicompost de marc de café et celles du témoin. Les résultats reportés, montrent l'existence d'une gradation positive sur les paramètres de croissance suivant le gradient : témoin (TM) < thé de vermicompost de marc de café (TVMC) < jus de vermicompost de déchets ménagers (JVDM) < thé de vermicompost fermenté (TVF).

Tableau 1 : Moyennes arithmétique (+ coefficient de variation en %) des paramètres de croissance

Traitements	Stades phénologiques	Paramètres de croissance				
		LPA	LPS	PFFA	PFFS	NNOD
JVDM	L	09,86(0,005)a	05,13(0,011)ab	01,72(0,055)ab	00,87(0,066)a	0(00)ab
	V3	12,60(0,006)a	07,26(0,007)ab	02,25(0,023)ab	01,69(0,050)a	0(00)ab
	V4	15,86(0,003)a	12,13(0,004)ab	04,08(0,011)ab	01,82(0,052)a	0(00)ab
	V5	21,23(0,002)a	15,03(0,003)ab	04,58(0,010)ab	03,13(0,006)a	12,75(0,119)ab
	R6	25,13(0,002)a	16,50(0,004)ab	06,49(0,010)ab	05,22(0,007)a	13,33(0,114)ab
	R7	27,36(0,002)a	20,13(0,002)ab	14,05(0,004)ab	06,09(0,010)a	20,50(0,103)ab
	R8	30,15(0,001)a	23,47(0,004)ab	16,12(0,006)ab	08,12(0,015)a	61,33(0,009)ab
	TVMC	L	09,86(0,005)a	05,86(0,009)ab	01,76(0,041)ab	01,14(0,018)ab
V3		12,23(0,004)a	07,80(0,012)ab	02,03(0,026)ab	01,52(0,049)ab	0(00)ab
V4		15,86(0,003)a	12,80(0,006)ab	02,70(0,025)ab	02,55(0,026)ab	0(00)ab
V5		24,06(0,002)a	14,36(0,004)ab	05,15(0,023)ab	02,58(0,025)ab	10,33(0,147)ab
R6		25,12(0,001)a	16,46(0,003)ab	07,91(0,007)ab	03,72(0,010)ab	20,00(0,050)ab
R7		27,43(0,002)a	21,83(0,002)ab	13,61(0,005)ab	06,10(0,006)ab	42,66(0,048)ab
R8		30,15(0,001)a	23,47(0,004)ab	16,32(0,005)ab	07,88(0,007)ab	52,00(0,050)ab
TVF		L	10,63(0,005)a	07,83(0,007)a	01,72(0,055)a	01,16(0,039)a
	V3	17,43(0,003)a	10,23(0,005)a	02,25(0,023)a	01,81(0,030)a	0(00)a
	V4	22,86(0,002)a	12,13(0,004)a	04,16(0,023)a	01,89(0,019)a	0(00)a
	V5	24,25(0,002)a	15,86(0,003)a	04,58(0,010)a	03,31(0,030)a	22,50(0,157)a
	R6	25,60(0,003)a	17,53(0,003)a	06,49(0,010)a	05,06(0,008)a	31,00(0,045)a
	R7	29,26(0,001)a	22,83(0,002)a	16,66(0,006)a	06,15(0,009)a	67,25(0,008)a
	R8	30,66(0,001)a	23,65(0,008)a	17,37(0,004)a	08,38(0,007)a	117,33(0,048)a
	TM	L	07,53(0,008)b	5,93(0,009)b	01,12(0,070)b	01,00(0,012)b
V3		09,96(0,005)b	06,10(0,016)b	01,91(0,038)b	01,04(0,041)b	0(00)b
V4		12,70(0,007)b	11,62(0,010)b	02,16(0,018)b	01,94(0,031)b	0(00)b
V5		17,75(0,009)b	13,66(0,015)b	03,17(0,014)b	02,47(0,011)b	04,00(0,007)b
R6		19,16(0,003)b	15,00(0,011)b	05,42(0,005)b	03,41(0,041)b	11,33(0,134)b
R7		21,46(0,002)b	18,73(0,003)b	11,41(0,003)b	04,18(0,006)b	15,33(0,229)b
R8		24,55(0,008)b	19,53(0,002)b	13,50(0,005)b	05,65(0,007)b	23,66(0,159)b
<i>F-ratio</i>		7,194	6,6	3,5	8,5	2,941
<i>p</i>	0,0001**	0,001**	0,016**	0,001**	0,035**	

JVDM: jus de vermicompost de déchets ménagers, TVF: thé de vermicompost fermenté, TVMC: thé de vermicompost de marc de café, TM: témoin, LPA : Longueur partie aérienne, LPS : Longueur partie souterraine, PFFA : Poids frais partie aérienne, PFFS : Poids frais partie souterraine, NNOD : Nombre de nodosités, L : Stade levée, V3: déploiement du 1er trifolié, V4: déploiement de la 3er trifoliée, R5: préfloraison, R6: floraison, R7: formation des gousses, R8: remplissage des gousses, Les lettres indiquent les différences significatives à $p < 0,05$ selon le test Student-Newman-Keuls.

2. Effets de différents types de vermicompost sur les paramètres de production

L'évaluation temporelle des traits de production du haricot a été étudiée sous l'effet de différents types de vermicompost. L'induction florale, et la fructification ont été estimées. Les résultats consignés dans le tableau 2, montrent que les différents types de vermicompost améliorent significativement les paramètres de production par référence au témoin ($p < 1\%$). La lecture des résultats, montre que le thé de vermicompost de marc de café (TVMC) affiche un effet significatif sur l'ensemble des paramètres étudiés (nombre de fleurs, nombre de gousses, longueur des gousses, poids des gousses, et le nombre de graines par gousse) par rapport au jus de vermicompost de déchets ménagers (JVDM) et au thé de vermicompost fermenté (TVF).

L'apport du thé de vermicompost de marc de café (TVMC), a induit une précocité dans l'induction florale.

L'indice phénologique (V4), relatif au déploiement de la 3^{ème} trifoliée a été enregistrée comme plage temporelle de l'apparition des premières fleurs. Cependant, sous l'effet du jus de vermicompost de déchets ménagers (JVDM) et au thé de vermicompost fermenté (TVF), l'induction florale n'a été signalée qu'à partir du stade de préfloraison (R5). Alors que l'induction florale n'a été induite qu'au stade de floraison (R6) chez le témoin. Les plus fortes mesures de la fructification (nombre des gousses, longueur des gousses, poids des gousses et le nombre de graines par gousse) ont été observées chez les plantes traitées au jus de vermicompost de déchets ménagers (JVDM),

dépassant significativement l'effet jus de vermicompost de déchets ménagers (JVDM) et du thé de vermicompost fermenté (TVF) sur les paramètres de fructification (Tableau 2). Pareillement, les paramètres de production,

montrent l'existence d'une gradation positive suivant le gradient : témoin (TM) < jus de vermicompost de déchets ménagers (JVDM) < thé de vermicompost fermenté (TVF) < thé de vermicompost de marc de café (TVMC).

Tableau 2 : Moyennes arithmétique (+ coefficient de variation en %) des paramètres de production

Traitements	Stades phénologiques	Paramètres de production				
		NBF	NBG	LGS	PGS	NGR/GS
JVDM	L	0(00)ab	0(00)ab	0(00)ab	0(00)ab	0(00)ab
	V3	0(00)ab	0(00)ab	0(00)ab	0(00)ab	0(00)ab
	V4	0(00)ab	0(00)ab	0(00)ab	0(00)ab	0(00)ab
	V5	02,00(00)ab	0(00)ab	0(00)ab	0(00)ab	0(00)ab
	R6	0(00)ab	02,00(00)ab	02,66(0,033)ab	01,77(0,035)ab	02,50(0,219)ab
	R7	0(00)ab	02,33(0,247)ab	03,43(0,060)ab	02,05(0,027)ab	04,75(0,105)ab
	R8	0(00)ab	02,75(0,181)ab	04,73(0,032)ab	02,92(0,018)ab	05,00(00)ab
	TVMC	L	0(00)a	0(00)a	0(00)a	0(00)a
V3		0(00)a	0(00)a	0(00)a	0(00)a	0(00)a
V4		00,75(0,002)a	0(00)a	0(00)a	0(00)a	0(00)a
V5		03,00(00)a	01,00(00)a	02,33(0,024)a	01,72(0,052)a	03,00(00)a
R6		0(00)a	03,66(0,157)a	04,23(0,013)a	02,01(0,043)a	03,83(0,106)a
R7		0(00)a	04,00(00)a	05,11(0,025)a	02,70(0,068)a	05,00(0,126)a
R8		0(00)a	04,25(0,117)a	05,38(0,027)a	03,67(0,015)a	05,66(0,091)a
TVF		L	0(00)ab	0(00)ab	0(00)ab	0(00)ab
	V3	0(00)ab	0(00)ab	0(00)ab	0(00)ab	0(00)ab
	V4	0(00)ab	0(00)ab	0(00)ab	0(00)ab	0(00)ab
	V5	03,00(00)ab	0(00)ab	0(00)ab	0(00)ab	0(00)ab
	R6	0(00)ab	02,00(00)ab	02,86(0,072)ab	01,90(0,044)ab	02,66(0,216)ab
	R7	0(00)ab	03,50(0,164)ab	04,50(0,038)ab	02,07(0,024)ab	03,83(0,106)ab
	R8	0(00)ab	04,00(00)ab	05,20(00)ab	03,04(0,019)ab	04,50(0,121)ab
	TM	L	0(00)b	0(00)b	0(00)b	0(00)b
V3		0(00)b	0(00)b	0(00)b	0(00)b	0(00)b
V4		0(00)b	0(00)b	0(00)b	0(00)b	0(00)b
V5		0(00)b	0(00)b	0(00)b	0(00)b	0(00)b
R6		02,33(0,247)b	0(00)b	0(00)b	0(00)b	0(00)b
R7		0(00)b	02,00(00)b	02,70(0,037)b	01,24(0,042)b	02,33(0,247)b
R8		0(00)b	03,33(0,173)b	03,00(0,033)b	01,66(0,028)b	03,66(0,140)b
<i>F-ratio</i>		6,02	3,862	3,413	4,465	3,54
<i>p</i>	0,006**	0,011**	0,019**	0,005**	0,002***	

JVDM: jus de vermicompost de déchets ménagers, TVF: thé de vermicompost fermenté, TVMC: thé de vermicompost de marc de café, TM: témoin, NBF : Nombre de fleurs, NBG : Nombre de gousses, LGS :Longueur des gousses, PGS : Poids des gousses, NGR/GS : Nombre de graines par gousse, L : Stade levée, V3: déploiement du 1er trifolié, V4: déploiement de la 3^{ème} trifoliée, R5: préfloraison, R6: floraison, R7: formation des gousses, R8: remplissage des gousses, Les lettres indiquent les différences significatives à p < 0,05 selon le test Student-Newman-Keuls.

3. Effets de différents types de vermicompost sur les paramètres physiologiques

L'apport des trois type de vermicompost augmente significativement aussi bien l'expression de la chlorophylle a et b que la chlorophylle totale par rapport au contrôle. Seulement l'application du jus de vermicompost de déchets ménagers (JVDM)

comme prétraitement permet d'accroître d'une manière significative les quantités de caroténoïdes par rapport au thé de vermicompost fermenté (TVF) et au thé de vermicompost de marc de café (TVMC) et en second lieu au témoin (TM).

Les mêmes résultats renseignent que le thé de vermicompost fermenté (TVF) et au thé de vermicompost de marc de café (TVMC) expriment un effet significatif sur les valeurs de la concentration en acides aminés chez les plantes traitées, alors que le jus de vermicompost de déchets ménagers (JVDM), réduit significativement ce paramètre. Chez les plantes du haricot vert, l'application exogène du thé de vermicompost fermenté (TVF) augmente la concentration en sucres totaux au niveau des feuilles.

Les quantités accumulées sont significativement importantes que celles enregistrées chez les plantes traitées au jus de vermicompost de déchets ménagers (JVDM) et au thé de vermicompost de marc de café (TVMC). Pour apprécier l'implication des différents types de vermicompost dans la physiologie, la lecture horizontale des mesures en termes du mode de fonctionnement et de la biosynthèse des métabolites primaires, nous signalons la performance du thé de vermicompost fermenté (TVF).

Tableau 3 : Moyennes arithmétique (+ coefficient de variation en %) des paramètres physiologiques

Traitements	Stades phénologiques	Paramètres physiologiques					
		Chla	Chlb	carot	ChlT	AA	ST
JVDM	L	02,62(0,067)a	00,61(0,407)a	00,19(0,551)a	03,23(0,069)a	00,05(0,548)ab	00,07(0,006)ab
	V3	03,53(0,014)a	00,64(0,208)a	00,16(0,480)a	04,17(0,026)a	00,15(0,194)ab	00,07(0,019)ab
	V4	03,99(0,068)a	00,76(0,181)a	00,17(0,408)a	04,78(0,038)a	00,26(0,167)ab	00,08(0,008)ab
	V5	04,73(0,021)a	01,18(0,084)a	00,17(0,190)a	05,92(0,002)a	00,34(0,143)ab	00,08(0,007)ab
	R6	05,78(0,007)a	02,10(0,026)a	00,18(0,285)a	07,89(0,012)a	00,62(0,073)ab	00,09(0,007)ab
	R7	06,26(0,007)a	03,20(0,059)a	00,07(0,619)a	09,46(0,018)a	01,57(0,046)ab	00,10(0,006)ab
	R8	08,65(0,007)a	04,10(0,028)a	00,58(0,170)a	12,75(0,006)a	02,56(0,012)ab	00,13(0,004)ab
	TVMC	L	02,27(0,057)a	00,26(0,434)a	00,12(0,401)b	02,54(0,007)a	00,14(0,176)a
V3		02,63(0,012)a	00,64(0,083)a	00,07(0,265)b	03,27(0,025)a	00,40(0,075)a	00,07(0,014)ab
V4		04,33(0,018)a	01,39(0,053)a	00,08(0,419)b	05,70(0,025)a	00,64(0,049)a	00,08(0,007)ab
V5		04,90(0,029)a	01,77(0,089)a	00,05(0,001)b	06,67(0,010)a	00,98(0,024)a	00,08(0,011)ab
R6		05,82(0,011)a	02,46(0,009)a	00,09(0,467)b	08,29(0,010)a	01,35(0,023)a	00,10(0,005)ab
R7		06,55(0,005)a	03,27(0,016)a	00,12(0,202)b	09,83(0,008)a	02,15(0,022)a	00,11(0,006)ab
R8		08,60(0,006)a	04,33(0,016)a	00,08(0,374)b	12,94(0,002)a	03,54(0,009)a	00,14(0,009)ab
TVF		L	02,93(0,052)a	00,87(0,150)a	00,08(0,434)b	03,80(0,026)a	00,07(0,220)a
	V3	03,65(0,019)a	01,07(0,067)a	00,06(0,511)b	04,73(0,022)a	00,28(0,083)a	00,08(0,007)a
	V4	04,56(0,009)a	02,01(0,028)a	00,09(0,272)b	06,56(0,009)a	00,48(0,074)a	00,08(0,005)a
	V5	05,40(0,008)a	02,31(0,028)a	00,05(0,389)b	07,72(0,009)a	00,65(0,062)a	00,09(0,006)a
	R6	06,11(0,007)a	02,50(0,019)a	00,16(0,373)b	08,62(0,010)a	00,99(0,049)a	00,10(0,005)a
	R7	06,63(0,003)a	03,34(0,039)a	00,09(0,373)b	09,97(0,005)a	01,78(0,033)a	00,11(0,006)a
	R8	08,80(0,003)a	04,67(0,015)a	00,46(0,309)b	13,47(0,005)a	02,81(0,008)a	00,14(0,005)a
	TM	L	01,63(0,038)b	00,65(0,090)b	00,04(0,355)b	02,28(0,026)b	00,04(0,409)b
V3		01,97(0,023)b	01,21(0,028)b	00,07(0,446)b	03,19(0,022)b	00,06(0,847)b	00,06(0,014)b
V4		02,35(0,012)b	01,55(0,028)b	00,09(0,227)b	03,91(0,008)b	00,22(0,156)b	00,07(0,014)b
V5		02,86(0,018)b	02,72(0,029)b	00,16(0,396)b	05,58(0,007)b	00,40(0,069)b	00,07(0,006)b
R6		04,23(0,016)b	03,13(0,019)b	00,04(0,727)b	07,36(0,009)b	00,53(0,066)b	00,09(0,018)b
R7		04,70(0,006)b	04,06(0,017)b	00,03(0,778)b	08,77(0,009)b	00,75(0,037)b	00,11(0,007)b
R8		06,64(0,004)b	04,36(0,011)b	00,05(0,596)b	11,01(0,006)b	01,12(0,047)b	00,12(0,004)b
<i>F- ratio</i>			7,343	2,281	10,395	5,944	6,289
<i>p</i>		0,0001**	0,082*	0,0001**	0,012**	0,0001**	0,087*

JVDM: jus de vermicompost de déchets ménagers, TVF: thé de vermicompost fermenté, TVMC: thé de vermicompost de marc de café, TM: témoin, ChlT : Chlorophylle totale, Chla : Chlorophylle a, Chlb : Chlorophylle b, Carot : Caroténoïde, AA : Acides aminés, ST : Sucres totaux, L : Stade levée, V3: déploiement du 1er trifolié, V4: déploiement de la 3er trifoliée, R5: préfloraison, R6: floraison, R7: formation des gousses, R8: remplissage des gousse, Les lettres indiquent les différences significatives à $p < 0,05$ selon le test Student-Newman-Keuls.

4. Relation entre le métabolisme basal et les paramètres agronomiques sous l'effet des différents types de vermicompost

Chez les plantes traitées, l'application exogène des différents types de vermicompost améliore significativement le métabolisme basal ainsi que les paramètres de croissance et de production par rapport aux plantes contrôles (Tableaux 1, 2 et 3). Afin de comprendre l'effet du prétraitement au différents types de

vermicompost sur l'amélioration des performances agronomiques du haricot vert en tenant compte séparément du métabolisme basal et des paramètres de croissance et de reproduction, des corrélations de Pearson (intensité de la liaison entre différents paramètres) ont été réalisées (Tableau 4). Les résultats montrent que l'activité photosynthétique et le métabolisme basal énergétique augmentent l'expression des paramètres de croissance et de reproduction,

notamment sous l'effet du thé de vermicompost fermenté (TVF) et du thé de vermicompost de marc de café (TVMC). Par ailleurs, nous avons montré des corrélations interparamètres positives et significatives (Tableau 4), ce qui explique le chevauchement observé entre l'effet des différents types de vermicompost. Ceci est lié à la qualité des nutriments qui peuvent coexister dans les biomasses considérées.

L'apport du vermicompost sous ses différentes formes induit un accroissement significatif de la chlorophylle, des caroténoïdes, des acides aminés et des sucres totaux. L'amélioration du métabolisme basal des plantes traitées, affecte dans la quasi-totalité des cas positivement les différents paramètres de croissance et de reproduction (Traité et contrôle).

Tableau 4 : Corrélations (r de Pearson) entre l'activité physiologique et l'expression des paramètres agronomiques sous l'effet des différents types de vermicompost

		LPA		LPS		NNOD		NBF		NBG		NGR/GS	
		CC	p	CC	p	CC	p	CC	p	CC	p	CC	p
JVDM	Chl a	0,948	0,0011**	0,942	0,0014**	0,953	0,0008**	-0,077	0,8681 ^{NS}	0,916	0,0037**	0,895	0,0064**
	Chl b	0,926	0,0026**	0,933	0,0021**	0,917	0,0035**	-0,194	0,6765 ^{NS}	0,968	0,0003**	0,981	0,00008**
	Carot	0,462	0,2957 ^{NS}	0,467	0,2898 ^{NS}	0,832	0,0202*	-0,134	0,7743 ^{NS}	0,543	0,2069 ^{NS}	0,491	0,2622 ^{NS}
	AA	0,849	0,0154**	0,88	0,0076**	0,955	0,0007**	-0,215	0,6425 ^{NS}	0,904	0,0050**	0,933	0,0021**
	ST	0,895	0,0064**	0,913	0,0040**	0,977	0,0001**	-0,141	0,7626 ^{NS}	0,909	0,0045**	0,91	0,0043**
TVF	Chl a	0,921	0,0031	0,957	0,0006	0,965	0,0004	-0,008	0,9858 ^{NS}	0,889	0,0073	0,89	0,0071
	Chl b	0,911	0,0042	0,953	0,0008	0,952	0,0009	-0,027	0,9534 ^{NS}	0,892	0,0069	0,883	0,0083
	Carot	0,551	0,1997 ^{NS}	0,63	0,1290 ^{NS}	0,759	0,0477*	-0,275	0,5496 ^{NS}	0,728	0,0634	0,731	0,0615
	AA	0,834	0,0194**	0,929	0,0024**	0,956	0,0007**	-0,164	0,7244 ^{NS}	0,942	0,0014**	0,93	0,0023**
	ST	0,824	0,0224*	0,914	0,0039**	0,954	0,0008**	-0,173	0,7103 ^{NS}	0,932	0,0021**	0,925	0,0027**
TVMC	Chl a	0,97	0,0002**	0,96	0,0005**	0,952	0,0009**	-0,057	0,9032 ^{NS}	0,896	0,0062**	0,928	0,0024**
	Chl b	0,971	0,0002**	0,982	0,00007**	0,959	0,0006**	-0,125	0,7882 ^{NS}	0,921	0,0031**	0,942	0,0014**
	Carot	0,07	0,8809 ^{NS}	0,215	0,6433 ^{NS}	0,088	0,8504 ^{NS}	-0,657	0,1087 ^{NS}	0,321	0,4823 ^{NS}	0,158	0,7349 ^{NS}
	AA	0,906	0,0048**	0,953	0,0008**	0,957	0,0007**	-0,187	0,6875 ^{NS}	0,873	0,0102**	0,901	0,0055**
	ST	0,95	0,0010**	0,959	0,0006**	0,951	0,0009**	-0,212	0,6466 ^{NS}	0,93	0,0023**	0,923	0,0029**
TM	Chl a	0,940	0,0016**	0,921	0,0006**	0,985	0,00005**	0,182	0,6955 ^{NS}	0,875	0,0100**	0,883	0,0083**
	Chl b	0,992	0,00001**	0,973	0,0048**	0,925	0,0028**	0,186	0,6896 ^{NS}	0,800	0,0306*	0,792	0,0337*
	Carot	-0,078	0,8684 ^{NS}	-0,155	0,3896 ^{NS}	-0,449	0,3116 ^{NS}	-0,273	0,5529 ^{NS}	-0,400	0,3736 ^{NS}	-0,384	0,3951 ^{NS}
	AA	0,960	0,0006**	0,946	0,0003**	0,963	0,0004**	0,094	0,8399 ^{NS}	0,890	0,0072**	0,896	0,0063**
	ST	0,956	0,0007**	0,954	0,0001**	0,967	0,0003**	0,097	0,8349 ^{NS}	0,905	0,0051**	0,900	0,0057**

JVDM: jus de vermicompost de déchets ménagers, TVF: thé de vermicompost fermenté, TVMC: thé de vermicompost de marc de café, TM: témoin, ChlT : Chlorophylle totale, Chla : Chlorophylle a, Chlb : Chlorophylle b, Carot : Caroténoïde, AA : Acides aminés, ST : Sucres totaux, LPA : Longueur partie aérienne, LPS : Longueur partie souterraine, NBF : Nombre de fleurs, NBG : Nombre de gousses, NGR/GS : Nombre de graines par gousse, NNOD : Nombre de nodosités, C.C. : Coefficient de corrélation de Pearson, p : Probabilité associée NS : Non significative, * : Significative à 5-8%, ** : Significative à 1%.

DISCUSSION

1. Effets sur les paramètres physiologiques du haricot

L'amélioration de l'activité photosynthétique enregistrée après l'apport des biofertilisants est un vrai challenge pour les agriculteurs. En tant que sous-produit respectueux de l'environnement et issu de la digestion de la matière organique par des vers de terre, le vermicompost et son lixiviat (jus et thé) de possèdent des propriétés intéressantes pour cet effet. L'étude montre que les trois biomasses vermicompostées sont particulièrement efficace sur l'expression de la chlorophylle a et b, avec un degré moins sur les caroténoïdes. Par ailleurs, ses effets varient selon le type de la biomasse vermicompostée. En plus, les biofertilisants à base de vermicompost semble être des composés de stimulation intéressant capable de performer le métabolisme basal des plantes.

L'hypothèse avancée, rejoint les travaux d'Uma et Malathi [22], où ils ont signalé un effet positif sur la chlorophylle des feuilles des plantes d'*Amarthus* traités par le vermicompost. Ils signalent une augmentation de 2, 3 fois la quantité initiale durant les 27 jours après la germination. Ceci est en accord avec l'effet rapporté par Atiyeh et al. [23], qui l'attribue l'augmentation de l'efficacité photosynthétique à la présence du vermicompost dans la nutrition organique des plantes de tomate. Cruz et al. [24], ont indiqué que l'utilisation de marc de café dans une proportion de 20 % à 30 % intensifie la couleur des feuilles de laitues [24]. Dans la présente étude, l'application exogène d'un cocktail de composés biologiquement actifs présents dans les biomasse vermicompostées a permis l'amélioration de l'accumulation des acides aminés et des sucres totaux au niveau des plantes traitées.

À ce stade, il est difficile de déterminer le rôle ainsi que la contribution de chaque composé présente dans le vermicompost. Nos résultats suggèrent que le changement de l'activité physiologique de la plante après l'application des vermicomposts résulte soit de la modulation de la biosynthèse, la quantité et les ratios des métabolites primaires produites de manière endogène, soit de l'utilisation des métabolites présentes dans les vermicomposts et absorbées par la plante, soit par les deux processus. Le mécanisme de stimulation de la biosynthèse des métabolites primaires dans les plantes traitées aux vermicomposts est probable. On se basant sur l'hypothèse avancée, nous pouvons l'accorder avec les résultats antérieurs d'Uprety et Yadava [25], qui avancent que les forts taux d'accumulation des sucres totaux solubles dans les feuilles des plantes cultivées et traités par le compost, a une relation avec les changements d'hydrates de carbone qui sont liés très particulièrement en raison de leur relation directe avec des processus physiologiques tels que la photosynthèse et la respiration. Des rapports antérieurs ont souligné que l'ajout du thé de vermicompost entraîne une accumulation plus élevée en sucres solubles [26]. L'accroissement des sucres dans les feuilles de moutarde dans des parcelles traitées au compost pourrait être dû à un taux de photosynthèse plus élevé [27]. Les travaux de plusieurs chercheurs font référence à l'effet stimulateur du vermicompost sur la synthèse des métabolites secondaires qui serait tributaire à l'amélioration de la nutrition minérale ou l'amélioration de l'activité photosynthétique [28].

2. Effets sur la croissance du haricot

L'avantage du vermicompost est très évident sur l'amélioration des paramètres de croissances. La croissance des plantes traitées avec le thé de vermicompost de marc de café, le thé de vermicompost fermenté et le jus de vermicompost de déchets ménagers est plus importante que les plantes contrôles. En effet, le thé de vermicompost fermenté a eu un effet appréciable sur les valeurs de la longueur de la partie souterraine et a même augmenté le nombre de nodosités au niveau des racines comparativement au témoin. Les résultats avancés suggèrent une large variabilité dans la composition du vermicompost en fonction de la nature des déchets organiques utilisés pour le vermicompostage, ce qui peut avoir différents impacts sur la croissance du haricot. Ces résultats sont conformes à beaucoup de travaux relatifs à l'effet du vermicompost sur la croissance des plantes.

Des résultats similaires utilisant du vermicompost en tant que substrat (forme solide) ou de pulvérisation foliaire (forme liquide) ont été signalés sur les céréales, les fruits et les légumineuses [29, 30-35]. Ils ont démontré que le vermicompost a un potentiel considérable pour améliorer significativement la croissance des plantes. Les plantes traitées avec le vermicompost avaient un système racinaire étendu avec un plus grand volume racinaire et un diamètre de collet très élevé. Ce qui confirme que le vermicompost est riche en éléments minéraux et organiques qui stimulent la multiplication cellulaire tels que les cellules méristématique primaires et secondaires qui permettent le développement des méristèmes apicales racinaires et les méristèmes médullaires de la tige. D'après Zarei *et al.* [36] et Luo *et al.* [37], le thé de vermicompost est plus efficace pour améliorer les conditions de croissance des plantes en raison de sa riche en macro et micronutriments nécessaires aux plantes. Les effets positifs des amendements organiques comme le vermicompost sur la croissance des plantes ont été rapportés chez de nombreuses espèces [38]. Les différents substrats de vermicompost sont capable de stimuler la croissance de la partie souterraine et même la production de la biomasse des plantes de tomate, non seulement à travers leur contenu nutritif, mais aussi via des effets indirects touchant l'inhibition de l'infection par des agents phytopathogènes [39, 40]. D'après Edwards *et al.* [41], la richesse du vermicompost en azote, en hormones et en substances humiques agit sur l'élongation et l'élasticité des cellules et par conséquent participent significativement dans la croissance des plantes [42]. Shafique *et al.* [43] et Zarei *et al.* [36], l'augmentation significative de la croissance des plantes est due à la texture très poreuse du vermicompost, riche en nutriments et minéraux tels que le N, P, K qui jouent un rôle important dans l'amélioration des propriétés physicochimiques du sol, impactant positivement le mouvement des nutriments, de l'eau, de l'air et l'efficacité d'absorption. L'ajout de vermicompost au sol a entraîné une augmentation des teneurs en minéraux dans le substrat dont le P, Ca, Mg, Cu, Mn, Zn, favorisant ainsi la croissance d'une large gamme de céréales et légumes [6]. Ndegwa et Thompson [44], déclarent que l'azote participe dans la synthèse de la matière vivante et même aux développements des feuilles, tiges, racines. De même, le traitement du chou chinois par le thé de vermicompost, a participé dans l'accroissement des surfaces foliaires, des parties aériennes fraîches et l'augmentation du poids sec des plantes [45].

Selon Al-Chammaa et al. [46] la stimulation de la formation des nodosités par l'apport du vermicompost est due principalement à son contenu en nutriments nécessaire au processus de nodulation. Il permet la multiplication du rhizobium et par conséquent, il favorise le développement de cylindre central et le tissu conducteur qui relie la nodosité au xylème et au phloème. Ce tissu conducteur apporte à la nodosité les éléments nécessaires au métabolisme cellulaire.

3. Effets sur la production du haricot

Les plantes exposées aux différents types de vermicompost arrivent à déclencher le processus de floraison et de fructification par rapport aux plantes témoins. Il a été signalé que le vermicompost issu de la dégradation des déchets ménagers contient plusieurs phytohormones ou des molécules qui présentent un effet similaire aux phytohormones ; ce qui explique la précocité de l'induction florale [26]. Muhammed et al. [47], Bhandari et al. [48] et Coulibaly et al. [49], ont signalé une forte corrélation entre l'effet du vermicompost de déchets ménagers et nombre de feuilles, la hauteur des plantes, le nombre de fleurs et de gousses sur différents types de sols. Venkatakrishnan et Balasubramanian [50], ont enregistré une augmentation des paramètres de rendement du soja due à l'application du vermicompost. Maynard [51], déclare que le rendement en tomate dans les sols traités par le compost est significativement supérieur à celui des parcelles non traitées. Le vermicompostage a été utilisé avec succès pour composter différents types de déchets, qui avaient un effet sur la croissance et la production des cultures sous serre [52, 14]. Le vermicompost a noté un impact sur les rendements de la tomate et sur la qualité des fruits lorsque les plantes ont été transplantés sur le terrain traité [53, 54]. L'intérêt du marc de café vermicomposté réside d'abord dans sa teneur importante en potassium, magnésium, phosphore immédiatement assimilable et de cuivre qui est pour moitié assimilable. Il représente une source importante de matière organique (220kg/m³) à court et à long terme [55].

CONCLUSION

Somme toute, le vermicompostage des substrats biologiques de la présente étude a conduit à l'obtention de biofertilisants prometteurs. L'apport des différents types de vermicomposts a eu un effet visible sur la croissance des plantes du haricot et une performance sur l'induction florale et le rendement en gousses.

Par ailleurs, étant donné que les résultats ont été similaires pour les trois vermicomposts, le jus de vermicompost de déchets ménagers et le thé de vermicompost fermenté semble bien répondre bien aux défis environnementaux et économiques d'une culture durable.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1]. Weill A. & Duval J. (2009). Guide de gestion globale de la ferme maraîchère biologique et diversifiée. Equiterre, Module 7, Chapitre 12, 19 p.
- [2]. Sundararasu K. (2019). Growth and Yield Effects of Vermicompost and Vermicompost Rubbish on Selected Vegetable Crop. *Int.J.Curr.Microbiol.App.Sci.* 8(02): 975-984.
- [3]. Silguy C. (1998). *L'agriculture biologique*. Edition Tuf, paris, 125p
- [4]. Costa J., (1990). Agricultura sostenible. El Campo. *Boletín de Información Agraria*, 117 :5-9.
- [5]. Kaho F., Yemefack M., Feujoy-Teguefouet P. & Tchanchaouang J.C. (2011). Effet combiné des feuilles de *Tithonia diversifolia* et des engrais inorganiques sur les rendements du maïs et les propriétés d'un sol ferrallitique au Centre Cameroun. *Tropicultura* 29: 39-45.
- [6]. Michel H., Pierre G., Sabi Bira Joseph T., Julien B. & Michée Iboukoun E. (2016). Effet des engrais organiques sur la croissance et le rendement de deux variétés de tomate (*Lycopersicon esculentum*) dans la commune de Parakou (Nord Bénin). *International Journal of Innovation and Scientific Research* 24: 86-94.
- [7]. Guermache L., Kobbi S., Aroun M.E.F., Merah O. & Djazouli Z.E. (2018). Évaluation des changements induits par différents types de vermicompost sur les traits morpho-physiologique et biochimique du haricot vert. *Revue Agrobiologia* 8(2):1066-1077.
- [8]. Bewuket G. (2019). Plants Response to the Application of Vermicompost: A Review. *Journal of Natural Sciences Research.*, 9(3):47-52. <https://doi:10.7176/JNSR/9-3-06>
- [9]. Orozco S.H., Cegarra J., Trujillo L.M. & Roig A. (1996). Vermicomposting of coffee pulp using the earthworm *Eisenia fetida*: effects on C and N contents and the availability of nutrients. *Biol FertilSoils*, 22:162-166.
- [10]. Chaichi W. & Djazouli Z.E. (2017). Impact du thé de vermicompost sur la qualité phytochimique de la fève et sur la réduction des populations du puceron noir de la fève *Aphis fabae*. *Revue Agrobiologia*, 7(1): 247-262.
- [11]. Aroun M.E.F., Benhammouda B., Djazouli Z.E. (2018). Physicochemical evaluation of the composting of different types of organic matter on some biological parameters of the manure worm (*Eiseniafetida*). *J. Fundam. Appl. Sci.*, 10 (5S):16-31.
- [12]. Nagavallema K.P., Wani S.P., Lacroix S., Padmaja V.V., Vineela C., Babu Rao M. & Sahrawat K.L. (2004). Vermicomposting: Recycling wastes into valuable organic fertilizer. Global Theme on Agroecosystems Report no. 8. International Crops Research Institute for Semi-Arid Tropics, Andhra Pradesh (India). 20p.
- [13]. Pajot E. (2010). Les Stimulateurs des défenses naturelles en production végétale : Mythe ou Réalité ?, XVI Rencontres Professionnelles. EP Valinov-VEGEPOLYS. Rittmo. Colmar.

- [14]. Arancon N.Q., Clive A., Edward S. & Norman Q. (2004). Interactions among Organic Matter, Earthworms, and Microorganisms in Promoting Plant Growth. In *Functions and Management of Soil Organic Matter in Agroecosystems*. Ed. C.A. Edwards, F. Magdoff, and R. Weil, 327-376. CRP Press, Boca Raton, FL
- [15]. Ndegwa P.M. & Thompson S.A. (2001). Integrating composting and vermicomposting in the treatment and bioconversion of biosolids. *Biores. Technol.*, 76: 107–112.
- [16]. Lichtenthaler H.K. (1987). Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in Enzymology*, 148:350-382.
- [17]. Saladin G., Magne C. & Clement C. (2003). Stress reactions in *Vitis vinifera* L. following soil application of the herbicide flumioxazin, *Chemosphere* 53 : 199–206
- [18]. Dubois M., Gilles K.A., Hamilton J.K., Rebers P.A. & Smith F. (1956). Colorimetric Method for Determination of Sugars and Related Substances. *Anal. Chem.*, 28(3) : 350–356.
- [19]. Lapornik B., Posek M. & GolcWondra A. (2005). Coparison of extracts prepared from plant by-products using different solvents and extraction time. *Journal of food Engineering*. 71: 214- 222.
- [20]. Velioglu Y.S., Mazza G., Gao L. & Oomah B.D. (1998). Antioxidant Activity and Total Phenolics in Selected Fruits, Vegetables, and Grain Products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46: 4113-4117.
- [21]. SPSS, Inc. (2016) –SYSTAT 4.00 for windows, statistics and graphics.
- [22]. Uma B. & Malathi M. (2009). Vermicompost as a soil supplement to improve growth and yield of *Amaranthus* species. *Research Journal of Agriculture and Biological Science* 5:1054–60.
- [23]. Atiyeh R.M., Arancon N., Edwards C.A. & Metzger J.D. (2000). Influence of earthworm-processed pig manure on the growth and yield of greenhouse tomatoes. *Bioresource Technology* 75. 175-180.
- [24]. Cruz R., Mendes E., Torrinha A., Morais S., Pereira J.A., Baptista P. & Casal S. (2015). Revalorization of spent coffee residues by a direct agronomic approach. *Food Research International*, 73 : 190-196.
- [25]. Uprety M. & Yadava R.B.R. (1985). Effect of CCC on lodging, yield, and grain quality of Oat (*Avena sativa*) cultivar Kent *Indian Journal Plant Physiol* 28(1): 103-106.
- [26]. Chaich W. (2018). Effets des biofertilisants sur la bio- fourniture et la correction des stress. Thèse de doctorat, Univ. Blida 1, Algérie, 198 p.
- [27]. Ram Rao D.M., Kodandara Maiah J., Reddy R.S., Katiyar & Rahmathulla V.K. (2007). Effect of VAM fungi and bacterial biofertilizers on mulberry leaf quality and silkworm cocoon characteristics under semiarid condition Caspian. *Journal of Environmental Science* 5(2): 111-117.
- [28]. Amooghaie R. & Golmohammadi S. (2017). Effect of vermicompost on growth, essential oil, and health of *Thymus vulgaris*. *Compost Science and Utilization* 25(3):1-12
- [29]. Fernández-Luqueño F., Reyes-Varela V., Martínez-Suárez C., Salomón- Hernández G., Yáñez-Meneses J., Ceballos-Ramirez J. M. & Dendooven L. (2010). Effect of different nitrogen sources on plant characteristics and yield of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Bioresource technology*. 101(1): 396- 403.
- [30]. Zhang N., Ren Y., Shi Q., Wang X., Wei M. & Yang F., (2011). Effects of vermicompost on quality and yield of watermelon. *China vegetables*. 6: 76- 79.
- [31]. Khan K., Pankaj U., Verma S. K., Gupta A. K, Singh R. P. & Verma R.K. (2015). Bio-inoculants and vermicompost influence on yield, quality of *Andrographis paniculata*, and soil properties. *Industrial Crops and Products*., 70: 404- 409.
- [32]. Makkar C., Singh J. & Parkash C. (2017).Vermicompost et vermiwash comme supplément pour améliorer le semis, la croissance des plantes et le rendement en *Linum usitassimum* L. pour l'agriculture biologique. *Int J Recycl Org Waste Agricultural*, 6 : 203-218. <https://doi.org/10.1007/s40093-017-0168-4>.
- [33]. Blouin M., Barrere J., Meyer N., Lartigue S., Barot S. & Mathieu J. (2019). Vermicompost significantly affects plant growth. A meta-analysis. *Agronomy for Sustainable Development*, 39(4). <https://doi:10.1007/s13593-019-0579-x>
- [34]. Rani R. & Srivastava O.P. (1997).nt. *Rice Res. Notes*, 22(3) :30-31.
- [35]. Zarei M., JahandidehMahjenAbadi V.A. & Moridi A. (2018). Comparaison des propriétés du vermiwash et du vermicompost proposé à partir de différents lits organiques dans des conditions de serre chaude. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 7: 25-32. <https://doi.org/10.1007/s40093-017-0186-2>.
- [36]. Luo H.W., He L.X., Du B., Wang Z.M., Zheng A.X., Lai R.F. & Tang X.R. (2019). Foliar application of selenium (Se) at heading stage induces regulation of photosynthesis, yield formation, and quality characteristics in fragrant rice. *Photosynthetica*, 57(4):1007–1014. <https://doi:10.32615/ps.2019.114>.
- [37]. Aguiar N.O., Olivares F.L., Novotny E.H., Dobbss L.B., Balmori D.M., Santos-Júnior L.G., Chagas J.G. & Façanha A.R. (2012). Bioactivity of humic acids isolated from vermicomposts at different maturation stages. *Plant and Soil*, 362(1-2): 161–174. <https://doi:10.1007/s11104-012-1277-5>
- [38].Szczeczek M. (1999). Suppressiveness of vermicompost against *Fusarium* Wilt of tomato. *Phytopathology*, 147 p155e161.
- [39]. Zaller J.G. (2006). Foliar spraying of vermicompost extracts: effects on fruit quality and indications for late-blight suppression of field-grown tomatoes. *Biol. Agric. Hortic*. 24 p165e180.
- [40]. Edwards C.A. & Arancon N., (2004). The use of earthworms in the breakdown of organic wastes to produce. In: Edwards C.A., ed. *Earthworm ecology*. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 345-371.
- [41]. Benazzouk S., Djazouli Z.E. and Lutts S. (2018). Assessment of the preventive effect of vermicompost on salinity resistance in tomato (*Solanum lycopersicum*cv. Ailsa Craig). *Acta Physiologiae Plantarum*, 40:121.
- [42]. ShaFique I., Andleeb S., Afta M.S., Naeem F., Ali C.S., Yahya S., Ahmed F., TauseefTabasum D., Tariq D., Shahid B., Khan E.A.H. & Al Islamus G. (2021). La croissance des semences sur Shaukatold (AliCold). *Helion* 7 e05895 p. 11.
- [43]. Ndegwa P.M. & Thompson S.A. (2001). Integrating composting and vermicomposting in the treatment and bioconversion of biosolids. *Bioresource Technology* 76:107-112.

- [44]. Archana P., Theodore J.K., Radovich L., Ngyuen V., Stephen T. & Kristen A. (2009). Vermicompost extracts influence growth, mineral nutrients, phytonutrients and antioxidant activity in pakchoi (*Brassica rapa* cv. Bonsai, Chinensis group) grown under vermicompost and chemical fertilizer. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 89:2383–92.
- [45]. Al-Chammaa M., Al-Ain F., & Khalifa K. (2014). Growth and Nitrogen Fixation in Soybean as Affected by Phosphorus Fertilizer and Sheep Manure using N Isotopic Dilution. *Commun. Soil Sci. Plan.* 45(4):487-497.
- [46]. Iqbal M., Raja N.I., Mashwani Z.-U.-R., Hussain M., Ejaz M. & Yasmeen F. (2017). Effect of Silver Nanoparticles on Growth of Wheat Under Heat Stress. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions A: Science*. <https://doi.org/10.1007/s40995-017-0417-4>
- [47]. Bhandari S., Pandey S.R., Giri K., Wagle P., Bhattarai S. & Neupane R.B. (2019). Effects of Different Fertilizers on the Growth and Yield of Okra (*Abelmoschus esculentus* L.) in Summer Season in Chitwan, Nepal. *Archives of Agriculture and Environmental Science*, 4:396-403. <https://doi.org/10.26832/24566632.2019.040405>.
- [48]. Coulibaly S.S., Ndegwa P.M., Soro S.Y., Koné S., Amoin E., Kouamé A.E. & Zoro Bi I.A. (2020). Vermicompost Application Rate and Timing for Optimum Productivity of Onion (*Allium cepa*). *International Journal of Agriculture and Agricultural Research*, 16:38-52.
- [49]. Venkatakrishnan A.S. & Balasubramanian N. (1996). Yield maximization in sunflower. *Madras Agric. J.*, 83(12): 791-792.
- [50]. Maynard A.A. (1995). Cumulative effects of annual addition of MSW compost on the yield of field-grown tomatoes. *Compost Science & Utilization* 3(2):47-54.
- [51]. Arancon N.Q., Edwards Clive A., Bierman P., Metzger J.D. & Lucht C. (2005). Effects of vermicomposts produced from cattle manure, food waste and paper waste on the growth and yield of peppers in the field. *Pedobiologia*, 49(4):297-306.
- [52]. Zaller J.G. (2007). Vermicompost in seedling potting media can affect germination, biomass allocation, yields and fruit quality of three tomato varieties. *European Journal of Soil Biology*, 43:332-336
- [53]. Ankomah A.B., Zapata F., Hardarson G. & Danso S.K.A. (1996). Yield, nodulation, and N fixation by cowpea cultivars at different phosphorus levels. *Biol. Fert. Soils*, 22:10–15.
- [54]. Bravo J., Juárez L., Monente C., Caemmerer B., Kroh L.W., De Peña M.P. & Cid C. (2012). Evaluation of Spent Coffee Obtained from the Most Common Coffeemakers as a Source of Hydrophilic Bioactive Compounds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(51) :12565–12573. <https://doi.org/10.1021/jf3040594>
- [55]. Adi A.J. & Noor, Z.M. (2009). Waste recycling: Utilization of coffee grounds and kitchen waste in vermicomposting. *Bioresource Technology*, 100: 1027-1030.