

Évaluation des caractéristiques fonctionnelles et rhéologiques des farines d'igname pilée instantanées (*Dioscorea rotundata*) obtenues à partir des tubercules des cultivars utilisés comme parents dans un programme de sélection au Bénin

Jeannette Fakorede ⁽¹⁾, Marius Eric Badoussi ⁽¹⁾, Yêyinou Laura Estelle Loko ⁽²⁾, Faouziath Sanoussi ⁽¹⁾, Gbèblonoudo Anicet Dassou ⁽¹⁾, Célestin Tchekessi ⁽³⁾, Innocent Bokossa Yahou ⁽³⁾, Anagonou Alexandre Dansi ⁽¹⁾

⁽¹⁾ École Nationale Supérieure des Biosciences et Biotechnologies Appliquées. Laboratoire des Biotechnologies, Ressources Génétiques et Amélioration des Espèces Animales et Végétales. BP 143 Dassa-Zoume (Bénin).

⁽²⁾ École Nationale Supérieure des Biosciences et Biotechnologies Appliquées. Laboratoire d'Entomologie Appliquée. BP 143 Dassa-Zoume (Bénin). E-mail : lokoestelle@yahoo.fr

⁽³⁾ Université d'Abomey-Calavi (UAC). Unité de Recherche de Sécurité Alimentaire. 04 BP 1107 Cotonou (Bénin).

Reçu le 29 mars 2020, accepté le 26 mars 2021, mis en ligne le 21 avril 2021.

Cet article est distribué suivant les termes et les conditions de la licence CC-BY (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.fr>)

Description du sujet. En Afrique de l'Ouest, les tubercules d'igname sont principalement consommés sous forme pilée. Cependant, vu la forte périssabilité des tubercules frais, la consommation de l'igname pilée tout le long de l'année est une préoccupation majeure. La transformation des tubercules en produits stables tels que la farine instantanée et pouvant donner une pâte ayant des caractéristiques similaires à celles de l'igname pilée est devenue une priorité.

Objectifs. Évaluer les propriétés fonctionnelles et rhéologiques des farines d'igname pilée instantanées (InstAgoun) produites à partir de 48 cultivars utilisés comme parents dans un programme de sélection sur les ignames au Bénin.

Méthode. Les farines issues des 48 cultivars d'igname ont été caractérisées par rapport à leur couleur et leurs propriétés fonctionnelles et rhéologiques en utilisant des méthodes standardisées.

Résultats. Les résultats ont montré que le rendement de production en farine (14,7–27,9 %), la couleur (L* : 70,1–83,9 ; a* : -1,2–1,6 ; b* : 0,8–13,6), la solubilité (6,4–11,9 %), la viscosité au pic (1 048–4 376 cPs), la viscosité finale (1 568–6 251 cPs), la viscosité de maintien (875–4 004 cPs), la rupture de viscosité (14–592 cPs), le recul de viscosité (395–2 418 cPs), le temps au pic de viscosité (5–8 min) et la température de gélatinisation de l'amidon (73–93 °C) des farines produites ont varié significativement en fonction des cultivars d'igname. Cependant, aucune différence significative n'a été observée au niveau du pouvoir de gonflement des farines dérivées des différents cultivars qui a varié de 3,2 à 5,1 g·g⁻¹. Au regard des caractéristiques fonctionnelles et rhéologiques, huit cultivars prometteurs (Singor, Parayobou, Agbaobé, Portchahabim, Tarayè, Tchée, Anklouman, Kpagninan) ont été identifiés comme les plus aptes à la production de la farine d'igname pilée instantanée.

Conclusions. Une introduction effective de ces huit cultivars prometteurs dans des programmes d'amélioration variétale pourrait permettre de générer des variétés qui répondront aux exigences de qualité des différents acteurs, à savoir les producteurs, les transformateurs et les consommateurs pour l'amélioration de la chaîne de valeur de l'igname en République du Bénin

Mots-clés. Indice de solubilité, luminance, pouvoir de gonflement, propriétés d'empâtage, rendement en farine.

Assessment of the functional and rheological characteristics of instant pounded yam (*Dioscorea rotundata*) flour obtained from the tubers of cultivars used as parents in a breeding program in Benin

Description of the subject. In West Africa, yam tubers are mainly consumed in the pounded form. However, in view of the high perishability of fresh tubers, the consumption of pounded yam throughout the year is becoming a major concern. The

transformation of tubers into stable products, such as instant flour that can give a dough with characteristics similar to that of pounded yam, has become a priority.

Objectives. To evaluate the functional and rheological properties of instant pounded yam flour (InstAgoun) produced from 48 cultivars used as parents in a selection program on yams in Benin.

Method. The flours from the 48 yam cultivars were characterized in terms of their color and their functional and rheological properties, using standardized methods.

Results. The results showed that the flour yield (14.7–27.9%), color (L^* : 70.1–83.9; a^* : -1.2–1.6; b^* : 0.8–13.6), solubility (6.4–11.9%), peak viscosity (1,048–4,376 cPs), final viscosity (1,568–6,251 cPs), holding strength viscosity (875–4,004 cPs), viscosity breakdown (14–592 cPs), viscosity setback (395–2,418 cPs), peak time (5–8 min) and the starch pasting temperature (73–93 °C) of the flours produced varied significantly depending on the yam cultivars. However, no significant difference was observed in the swelling power of the flours derived from the different cultivars, which varied from 3.2 to 5.1 g·g⁻¹. In terms of functional and rheological characteristics, eight promising cultivars (Singor, Parayobou, Agbaobé, Portchahabim, Tarayè, Tchée, Ankouman, and Kpagninan) were identified as the most suitable for producing instant pounded yam flour.

Conclusions. An effective introduction of these eight promising cultivars into breeding programs could generate varieties that will meet the quality requirements of the various program participants for the improvement of the yam value chain in the Republic of Benin.

Keywords. Flour yield, luminance, pasting properties, solubility index, swelling power.

1. INTRODUCTION

L'igname est un aliment de base de grande importance en Afrique de l'Ouest (Ogunlade et al., 2011 ; Amoo et al., 2014). Au Bénin, la production moyenne annuelle d'igname sur les dix dernières campagnes est de 2 730 000 t, ce qui classe le Bénin au quatrième rang des pays producteurs d'igname après le Nigeria (70 % de la production mondiale), la Côte d'Ivoire (9 %) et le Ghana (7 %) (FAO, 2018). L'igname est considérée comme l'un des produits stratégiques pour la sécurité alimentaire au Bénin puisque le Bénin vient en tête en termes de consommation d'igname (418 kcal) par habitant et par jour (FAO, 2018). Les départements favorables à sa production sont les Collines, le Borgou, la Donga, l'Atacora, l'Alibori, le Zou et le Plateau (Adifon et al., 2019).

Plusieurs espèces d'igname sont en culture au Bénin, mais l'espèce *Dioscorea rotundata* Poir. est la plus cultivée et occupe plus de 95 % des superficies emblavées, avec une production moyenne annuelle qui s'élève à 2 366 000 t (FAO, 2018). L'igname constitue une bonne source d'éléments nutritifs (glucides, fibres, protéines, minéraux et vitamines) et est le plus riche en protéines de tous les tubercules (Nwakaudu et al., 2017 ; Muluaem et al., 2018). La consommation sous forme pilée, appelée « tchokourou » en bariba et « agou » en fon, plus connue dans la sous-région d'Afrique de l'Ouest sous le nom de « foutou », est la forme la plus appréciée des populations du Bénin (Adifon et al., 2019). Les autres formes de consommation à partir des tubercules frais sont la purée d'igname et l'igname frite, surtout commercialisée avec le beignet de niébé. Traditionnellement, l'igname pilée est fabriquée en battant vigoureusement l'igname bouillie dans des mortiers avec des pilons par une ou plusieurs

personnes, selon la quantité. Cette méthode prend du temps, est fastidieuse, insalubre et nécessite un travail considérable, ce qui augmente le coût de la préparation. Aussi, les ignames fraîches étant saisonnières et hautement périssables du fait de leur teneur en eau élevée, la consommation de l'igname pilée tout au long de l'année devient une préoccupation majeure (Olayemi, 2012 ; Nwakaudu et al., 2017) aussi bien pour les transformatrices que pour les consommateurs.

Les pertes lors du stockage sont connues pour être importantes et, selon les espèces et l'environnement de stockage, peuvent être de l'ordre de 30 à 60 % en trois à six mois (Amusa et al., 2003 ; Ogunleye & Ayansola, 2014). Ces limites ont fait naître le besoin d'une méthode moins ardue et moins coûteuse de fabrication de l'igname pilée. Récemment, la farine d'igname pilée instantanée est devenue une alternative émergente au pilage de l'igname bouillie, car elle peut facilement être transformée en igname pilée en dissolvant simplement une masse mesurée de farine dans un volume quantifié d'eau bouillie et en remuant soigneusement le mélange jusqu'à ce que la consistance souhaitée soit atteinte (Otunola & Ogunbiyi, 2005). La production de la farine d'igname pilée instantanée comprend six étapes, à savoir : le lavage, le pelage, le tranchage, la précuisson, le séchage, le broyage et le tamisage (Babajide et al., 2007). Selon Oke & Workneh (2013), la production de farine d'igname pilée instantanée réduit les pertes de stockage, les coûts de commercialisation et de transport. Cette technologie permet également une transformation rapide et à grande échelle (industrielle ou semi-industrielle) de l'igname, rend l'igname pilée disponible en toute saison et, finalement, offre aux ménages et aux restaurants un mode de préparation plus facile (Oluwamokumi & Adeyemi, 2015). Les variétés d'ignames de l'espèce *D. rotundata* présentent

des différences dans leurs aptitudes à la production de produits alimentaires spécifiques (Otegbayo et al., 2006).

Au Bénin, 48 cultivars d'igname de l'espèce *D. rotundata* ayant des caractéristiques morphologiques et agronomiques variées et une bonne valeur marchande sont utilisés comme parents dans un programme de sélection pour la création de variétés élites. Considérant que la bonne aptitude technologique des tubercules pour les plats à base d'igname est un critère essentiel pour l'acceptation de nouvelles variétés par les agriculteurs, les transformateurs et les consommateurs, les sélectionneurs d'ignames se doivent d'en tenir rigoureusement compte lors du processus de sélection (Otegbayo et al., 2006 ; Kanu et al., 2018 ; Otegbayo et al., 2018). Les parents doivent être donc bien caractérisés sur le plan technologique pour une meilleure orientation des croisements. Chez les plantes à racines et tubercules, la qualité des produits de transformation est généralement déterminée par les propriétés fonctionnelles et rhéologiques de leur amidon (Rosida et al., 2017). L'acceptabilité globale de la farine d'igname pilée instantanée est accessible par l'évaluation subjective des attributs sensoriels (sensation en bouche, capacité d'étirement, arôme et goût) et texturaux (l'élasticité, la dureté de la cohésion, l'adhésivité) de la pâte dérivée de cette farine par le consommateur (Olagunju-Yusuf et al., 2019). Ces types de farines instantanées d'igname pilée sont très demandés sur le marché par les consommateurs et transformateurs urbains (Olagunju-Yusuf et al., 2019). Les caractéristiques rhéologiques et fonctionnelles des farines issues des tubercules des différents cultivars d'igname sont un indicateur potentiel de la qualité de la texture de l'igname pilée et peuvent contribuer à la sélection de variétés d'igname pour la transformation commerciale. L'objectif de cette étude est double. Il s'agit :

- d'évaluer les propriétés fonctionnelles et rhéologiques des farines instantanées produites à partir des tubercules de 48 variétés d'igname utilisées comme parents dans un programme de sélection au Bénin en vue d'une meilleure orientation des croisements ;
- d'identifier, au regard des caractéristiques fonctionnelles et rhéologiques des cultivars examinés, ceux qui sont les plus aptes à la production de la farine d'igname pilée instantanée (InstAgoun).

2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1. Matériel utilisé et sa transformation en farine

Le matériel utilisé a été constitué de tubercules matures de 48 cultivars d'igname de l'espèce *D. rotundata* (44 cultivars locaux et 4 hybrides OP) utilisés comme

parents dans le programme de sélection sur les ignames au Bénin. Ces cultivars ont été maintenus au champ sur la ferme expérimentale du Laboratoire des Biotechnologies, Ressources Génétiques et Amélioration des Espèces Animales et Végétales (BIORAVE) sise à Hlagba Lonhmè dans la commune de Zogbodomey au sud du Bénin.

Les tubercules récoltés par variété ont été utilisés pour la production de farines d'igname pilée instantanées (InstAgoun) suivant la méthode décrite par Olaoye & Oyewole (2012). Les tubercules correctement lavés à l'eau du robinet sont épluchés et découpés en de petites tranches à l'aide d'un couteau de cuisine en acier inox. Les petites tranches de tubercules obtenues sont précuites à une température de 100 °C pendant 10 min et laissées à refroidir pendant 5 à 10 min, puis émiettées au mortier. Les miettes d'ignames précuites ont été séchées, sur des plateaux de séchage dans un séchoir hybride de marque GeHO, à une température variant entre 60 °C et 65 °C pendant 24 h. Les miettes d'ignames précuites séchées ont été moulues en farine à l'aide d'un broyeur à marteaux de marque IMEX, puis tamisées à travers un tamis de 250 µm de diamètre (Tortoe et al., 2014). Pour chacun des cultivars d'ignames, le rendement en farine a été déterminé en faisant le ratio entre le poids de farine obtenu après mouture (Pm) et le poids de matières premières après épluchage (Pmp). Les farines d'igname pilée « agoun » instantanées obtenues ont été enfin emballées dans des sacs en polypropylène hermétiquement scellés pour être conservées à 4 °C pour les analyses appropriées (couleur, propriétés fonctionnelles et rhéologiques).

2.2. Détermination de la couleur des farines instantanées d'igname

La couleur des 48 échantillons de farines instantanées d'igname a été déterminée en utilisant un chromomètre Minolta (CR-310 Minolta, Japon) selon la méthodologie décrite par Kolsi et al. (2017). Le dispositif a été calibré avec la céramique blanche de référence ($L^* = 97,8$; $a^* = 0,3$ et $b^* = 1,5$) avant les déterminations. La couleur des farines a été décrite dans la notation $L^* a^* b^*$, où L^* est une mesure de la luminance ou clarté, a^* définit les composants sur l'axe rouge-vert ou la saturation en rouge et b^* les composants sur l'axe jaune-bleu ou la saturation en jaune. Toutes les mesures ont été effectuées en trois répétitions.

2.3. Détermination des caractéristiques fonctionnelles des farines instantanées d'igname

La méthode décrite par Afiukwa et al. (2013) a été utilisée pour déterminer le pouvoir de gonflement (PG) et l'indice de solubilité (IS) des différentes farines produites. PG et IS ont été respectivement calculés comme suit :

$$IS(\%) = \frac{PSS}{\text{Poids sec de la farine prélevée}} \times 100$$

$$IG(\text{g} \cdot \text{g}^{-1}) = \frac{PHC - PSC}{PSC} \times 100$$

avec IS = indices de solubilité, PSS = poids sec surnageant, IG = pouvoir de gonflement, PHC = poids humide culot et PSC = poids sec culot.

2.4. Détermination des caractéristiques rhéologiques des farines instantanées d'igname

Les profils de viscosité de suspensions des farines instantanées d'igname ont été obtenus en utilisant le viscosimètre : *Rapid Visco Analyzer* (RVA Super 3, Newport Scientific Pty Ltd, Australie ; tel que recommandé par Newport Scientific, 1998). À 3,5 g (base humide) d'échantillon de farine de chaque cultivar, a été ajoutée de l'eau distillée de manière à obtenir une suspension à 12 % pour les différents essais. Le profil de 12 min a été utilisé, avec le régime temps-température suivant : température à vide 50 °C pendant 1 min, chauffée de 50 à 95 °C en 3 min 45 s, puis maintenue à 95 °C pendant 2 min 30 s. L'échantillon a ensuite été refroidi à 50 °C en une période de 3 min 45 s, suivi d'une période de 2 min où la température a été maintenue à 50 °C (Otegbayo et al., 2006). Les indices de profil de viscosité enregistrés ont été :

- la température de gélification : c'est la température à laquelle les granules d'amidon commencent à gonfler, perdant leur cristallinité et démarrant la viscosité du milieu de cuisson (Shimelis, et al., 2006) ;
- la viscosité au pic : ce paramètre indique le point auquel les amidons atteignent la viscosité maximale au cours de la gélatinisation (Limpisut & Jindal, 2002) ;
- la viscosité finale : c'est le paramètre le plus communément utilisé pour caractériser la capacité d'un matériel à gélifier après cuisson (Shimelis et al., 2006 ; Onitilo et al., 2007 ; Osungbaro et al., 2012) ;
- la viscosité de maintien correspond à la plus faible viscosité de la pâte chaude ;
- la rupture de viscosité indique la chute de viscosité en fin de cuisson (Limpisut & Jindal, 2002) et reflète l'affaiblissement de la structure des granules d'amidon après leur gonflement au cours de la gélatinisation (Lawal, 2004) ;
- le recul de viscosité est un indicateur de la rétrogradation de l'amylose (Betancur et al., 2001).

2.5. Analyses statistiques

Les mesures des propriétés fonctionnelles, rhéologiques et des couleurs ont été prises en trois répétitions et

les données générées ont été analysées à l'aide d'une ANOVA (analyse de variance) avec le logiciel IBM SPSS Statistics version 25. La normalité des données a été testée avant l'ANOVA, les données ne remplissant pas cette condition ont été log-transformées pour homogénéiser les variances. Les différentes moyennes présentant des différences significatives ont été séparées à l'aide du test de Student Newman Keuls (SNK). La significativité statistique a été fixée à un niveau d'intervalle de confiance de 95 %. Afin d'évaluer la relation existante entre les différents paramètres utilisés pour évaluer les propriétés rhéologiques des farines obtenues, un test de corrélation de Spearman a été fait à l'aide du logiciel Minitab version 14. Un dendrogramme a été réalisé pour classer les cultivars suivant les caractéristiques rhéologiques. Le choix de la hauteur de coupe du dendrogramme a été effectué en se basant sur la partition présentant une grande variation d'inerties. Une analyse en composante principale (ACP) a été faite pour décrire les relations entre les variables étudiées. Les logiciels R 3.4.0 et Minitab 2017 ont été utilisés pour les analyses statistiques. La fonction PCA du package FactoMineR (Lê et al., 2008) a été utilisée pour la réalisation des différentes analyses en composante principale (ACP). Des boîtes à moustache (Boxplot) ont été construites à l'aide du logiciel R pour décrire la variation des valeurs prises par les groupes de cultivars pour chaque variable étudiée.

3. RÉSULTATS

3.1. Variation du rendement de production et de la couleur des farines instantanées (InstAgoun) produites en fonction des cultivars d'igname

Le rendement en farines de « agoun » instantanées (InstAgoun) des cultivars d'igname a varié de 14,7 à 27,9 % avec une moyenne de $22,1 \pm 0,3$ %. Le rendement en farines a été influencé significativement ($p < 0,05$) par les cultivars d'igname utilisés pour la production de farine. Les cultivars Bakarou et Kagourou ont donné les rendements en farine les plus élevés, tandis que les cultivars Singor et Soussouka ont présenté le plus faible rendement en farine instantanée (**Tableau 1**).

Les paramètres de la couleur des différentes farines « InstAgoun » obtenues à partir de chacun des cultivars d'ignames ont montré que ceux-ci ont un effet significatif ($p < 0,05$) sur les valeurs de l'indice de la saturation en rouge (a^*), l'indice de saturation en jaune (b^*) et la luminance ou clarté (L^*). Les indices de saturation en rouge et de saturation en jaune ont varié respectivement de -1,2 à 1,6 et de 0,8 à 13,6. Les farines instantanées d'agoun issues des cultivars

Tableau 1. Rendement de production et couleur des farines instantanées d'agoun (InstAgoun) des cultivars d'igname *Dioscorea rotundata* — Production yield and color of instant flour of agoun (InstAgoun) of yam cultivars *Dioscorea rotundata*.

Code	Cultivar	Rendement de production en farine (%)	Couleur des farines instantanées produites		
			L*	a*	b*
Kag	Kagourou	27,9 ± 0,4 ^s	83,9 ± 0,7 ^{def}	0,07 ± 0,0 ^{defghij}	9,2 ± 0,0 ^{bc}
Bak	Bakarou	27,8 ± 0,6 ^s	75,6 ± 0,6 ^{abcdef}	1,5 ± 0,0 ^m	13,6 ± 2,4 ^c
Bon	Boniakpa	27,6 ± 0,0 ^{rs}	73,5 ± 1,5 ^{abcde}	0,8 ± 0,0 ^{hijklm}	9,6 ± 0,4 ^{bc}
Bak	Babetei	27,4 ± 0,7 ^{rs}	73,6 ± 0,8 ^{abcde}	-0,1 ± 0,0 ^{defgh}	6,3 ± 2,8 ^{abc}
Am	Amoula	27,3 ± 0,3 ^{rs}	77,8 ± 0,2 ^{bcdef}	0,27 ± 0,0 ^{efghijkl}	10,6 ± 0,2 ^{bc}
Ban	Banourée	26,8 ± 0,2 ^{qrs}	81,1 ± 1,8 ^{def}	-0,54 ± 0,0 ^{cd}	10,0 ± 0,1 ^{bc}
Por	Portchahabim	26,6 ± 0,0 ^{pqrs}	82,7 ± 0,8 ^f	-0,8 ± 0,0 ^{bc}	10,7 ± 0,0 ^{bc}
Do	Dodo	25,7 ± 0,7 ^{opqrs}	76,9 ± 4,4 ^{abcdef}	-28,6 ± 0,4 ^{defgh}	10,8 ± 0,6 ^{bc}
Dan	Dambani	25,7 ± 0,0 ^{opqrs}	72,3 ± 2,2 ^{ab}	1,1 ± 0,2 ^{ijklm}	9,6 ± 0,3 ^{bc}
AS	Assina	25,3 ± 0,8 ^{nopqrs}	70,1 ± 4,9 ^a	-0,3 ± 0,4 ^{cde}	7,2 ± 3,1 ^{abc}
Wo	Wokourou	25,3 ± 0,1 ^{nopqrs}	82,8 ± 0,2 ^f	-0,2 ± 0,0 ^{defg}	9,5 ± 0,1 ^{bc}
Ah	Ahimon	25,1 ± 0,3 ^{klmnopqrs}	83,5 ± 0,2 ^f	-0,3 ± 0,1 ^{defg}	9,4 ± 0,0 ^{bc}
Ad	Adaani	24,7 ± 0,5 ^{klmnopqrs}	73,2 ± 2,6 ^{abcd}	0,5 ± 0,0 ^{ghijklm}	10,0 ± 0,3 ^{bc}
Dj	Djilaadja	24,3 ± 1,0 ^{klmnopqrs}	78,1 ± 0,9 ^{bcdef}	-0,17 ± 0,0 ^{defgh}	10,7 ± 0,0 ^c
Gn	Gnidou	24,1 ± 0,6 ^{klmnopqrs}	78,3 ± 0,2 ^{bcdef}	0,4 ± 0,0 ^{fghijklm}	11,1 ± 0,0 ^{bc}
Kpa	Kpagninan	23,7 ± 1,1 ^{ijklmnopqrs}	77,0 ± 0,5 ^{bcdef}	-0,1 ± 0,3 ^{defg}	6,5 ± 2,7 ^{abc}
De	Déba	23,2 ± 1,0 ^{ijklmnopqr}	78,5 ± 0,9 ^{bcdef}	0,08 ± 0,0 ^{defghijk}	10,9 ± 0,4 ^{bc}
Wo	Wouroutani	23,0 ± 1,0 ^{hijklmnopq}	80,6 ± 0,1 ^{cdef}	0,4 ± 0,0 ^{fghijklm}	10,4 ± 0,1 ^{bc}
Ag	Agbaobé	22,8 ± 1,1 ^{ghijklmnop}	83,5 ± 0,2 ^f	-0,3 ± 0,1 ^{defg}	9,4 ± 0,0 ^{bc}
Ch	Chrachi	22,5 ± 1,7 ^{fghijklmno}	78,9 ± 1,9 ^{bcdef}	-0,4 ± 0,0 ^{cdef}	10,7 ± 0,1 ^{bc}
We	Wété	22,4 ± 0,4 ^{fghijklmno}	79,2 ± 0,2 ^{bcdef}	0,2 ± 0,0 ^{efghijk}	8,5 ± 0,1 ^{bc}
Kpo	Kpounan	22,0 ± 0,4 ^{fghijklmno}	80,5 ± 0,9 ^{bcdef}	-0,4 ± 0,0 ^{fghijklm}	10,1 ± 0,1 ^{bc}
Lab	Laboko	21,7 ± 0,5 ^{efghijklmn}	79,1 ± 0,8 ^{bcdef}	0,04 ± 0,0 ^{defghijk}	9,7 ± 0,0 ^{bc}
Héa	Héapala	21,6 ± 0,3 ^{efghijklmn}	81,6 ± 0,0 ^{def}	0,01 ± 0,0 ^{defghij}	3,1 ± 2,7 ^{ab}
Ido	Idoro	21,4 ± 0,6 ^{efghijklm}	75,6 ± 1,4 ^{abcdef}	0,9 ± 0,0 ^{ijklm}	10,6 ± 0,4 ^{bc}
Zam	Zambe	21,1 ± 0,0 ^{efghijklm}	80,0 ± 0,2 ^{bcdef}	0,24 ± 0,0 ^{efghijk}	10,2 ± 0,1 ^{bc}
Kpa	kpakara	21,0 ± 0,4 ^{efghijkl}	81,7 ± 0,8 ^{cdef}	-0,3 ± 0,0 ^{defg}	10,3 ± 0,1 ^{bc}
Tch	Tchéé	20,7 ± 0,0 ^{defghijkl}	83,9 ± 0,1 ^f	-0,9 ± 0,1 ^b	10,1 ± 0,0 ^{bc}
Bo	Bobotchinga	20,6 ± 1,0 ^{defghijk}	81,5 ± 0,0 ^{cdef}	-0,02 ± 0,0 ^{defghi}	10,3 ± 0,1 ^{bc}
Eff	Effourou	20,6 ± 0,7 ^{defghijk}	79,9 ± 0,4 ^{bcdef}	1,3 ± 0,0 ^{lm}	10,4 ± 0,0 ^{bc}
Gon	Gominan	20,3 ± 0,8 ^{defghij}	77,1 ± 0,9 ^{bcdef}	0,1 ± 0,3 ^{defghijk}	9,7 ± 0,2 ^{bc}
Als	Alsoura	20,1 ± 0,0 ^{defghij}	76,6 ± 1,7 ^{bcdef}	1,1 ± 0,0 ^{klm}	11,6 ± 0,1 ^c
Ank	Anklouman	19,7 ± 3,7 ^{efdefghi}	83,2 ± 1,6 ^f	-1,2 ± 0,0 ^a	9,7 ± 0,1 ^{bc}
DrA65	DrA65-2003	19,7 ± 0,6 ^{defghi}	77,1 ± 1,3 ^{bcdef}	1,4 ± 0,0 ^m	11,6 ± 0,1 ^c
Ta	Tarayè	19,5 ± 0,1 ^{defgh}	79,2 ± 0,2 ^{bcdef}	0,2 ± 0,0 ^{efghijk}	8,4 ± 0,1 ^{bc}
Môr	Môrôkorou	19,4 ± 3,4 ^{defg}	77,4 ± 0,6 ^{bcdef}	1,4 ± 0,0 ^m	10,7 ± 0,1 ^{bc}
DrA5	DrA5-2003	19,4 ± 0,2 ^{defgh}	79,5 ± 0,9 ^{bcdef}	-0,5 ± 0,0 ^{cdef}	10,5 ± 0,1 ^{bc}
Yak	Yakounougo	19,4 ± 0,0 ^{defgh}	72,9 ± 1,7 ^{abc}	-0,2 ± 0,1 ^{defg}	9,4 ± 1,1 ^{bc}

Tableau 1 (suite). Rendement de production et couleur des farines instantanées d'agoun (InstAgoun) des cultivars d'igname *Dioscorea rotundata* — Production yield and color of instant flour of agoun (InstAgoun) of yam cultivars *Dioscorea rotundata*.

Code	Cultivar	Rendement de production en farine (%)	Couleur des farines instantanées produites		
			L*	a*	b*
Yon	Yonouan	19,3 ± 0,0 ^{defg}	77,4 ± 0,4 ^{bcdef}	0,05 ± 0,0 ^{defghijk}	9,8 ± 0,2 ^{bc}
Ya	Yaassi	19,2 ± 0,0 ^{cdef}	76,2 ± 2,1 ^{abcdef}	0,1 ± 0,0 ^{defghijk}	0,8 ± 0,0 ^a
Wo	Wokiri	19,0 ± 0,5 ^{cdef}	78,7 ± 0,5 ^{bcdef}	-0,1 ± 0,0 ^{defgh}	6,3 ± 3,0 ^{abc}
Kat	Katala	18,6 ± 0,1 ^{cde}	83,4 ± 2,7 ^f	0,2 ± 0,0 ^{efghijk}	9,9 ± 0,1 ^{bc}
DrA39	DrA39-2003	18,4 ± 0,6 ^{cde}	73,6 ± 0,3 ^{abcde}	1,5 ± 0,0 ^m	6,9 ± 3,0 ^{abc}
DrA21	DrA21-2003	18,3 ± 0,5 ^{cde}	80,1 ± 0,9 ^{bcdef}	0,3 ± 0,0 ^{efghijk}	10,7 ± 0,2 ^{bc}
Par	Paroyobou	17,7 ± 1,3 ^{bc}	81,9 ± 0,9 ^{ef}	-0,2 ± 0,0 ^{defg}	3,3 ± 3,0 ^a
Gab	Gaboubaba	16,6 ± 0,7 ^{bc}	81,2 ± 0,2 ^{cdef}	-0,03 ± 0,0 ^{defghi}	6,8 ± 3 ^{abc}
Tar	Soussouka	16,2 ± 0,0 ^b	79,4 ± 0,8 ^{bcdef}	-0,03 ± 0,0 ^{defghi}	11,3 ± 0,1 ^{bc}
Sin	Singor	14,7 ± 0,0 ^a	82,2 ± 0,3 ^{ef}	0,4 ± 0,0 ^{fghijklm}	9,8 ± 0,0 ^{bc}
	Probabilité	22,322 ^{***}	4,778 ^{***}	17,148 ^{***}	2,619 ^{***}

L* : luminance — *luminance* ; a* : indice de saturation en rouge — *saturation index in red* ; b* : indice de saturation en jaune — *saturation index in yellow* ; les moyennes affectées de lettres différentes sont significativement différentes au seuil de $p = 0,05$ par le test de Student Newman Keuls — *the means assigned with different letters are significantly different at $p = 0.05$ by the Student Newman Keuls test* ; ***: très hautement significatif ($p < 0,001$) — *very highly significant ($p < 0.001$)*.

Bakarou et DrA65-2003 ont présenté un indice de luminance significativement réduit par des saturations en rouge et en jaune, par rapport à celles des farines issues des autres cultivars d'igname (**Tableau 1**).

La luminance a varié de 70,1 à 83,9 avec une moyenne de $78,7 \pm 0,3$. Les farines instantanées d'agoun issues des cultivars Kagourou, Anklouman, Katala, Tchée et Wokourou apparaissent comme les plus blanches avec des luminances supérieures à 80.

Le cultivar Kagourou, présentant la plus forte luminance, a également révélé une forte rentabilité à la transformation en farine, alors que le cultivar Katala, malgré la forte clarté, a présenté de faibles rendements à la transformation (**Tableau 1**).

3.2. Caractéristiques fonctionnelles des farines dérivées des cultivars de *Dioscorea rotundata* produits au Bénin

Le pouvoir de gonflement des farines instantanées n'a pas varié significativement ($p > 0,05$) en fonction des cultivars d'ignames évalués. Sa valeur a été comprise entre 3,2 et 5,1 g.g⁻¹ avec une moyenne de $4,1 \pm 0,1$ g.g⁻¹ (**Tableau 2**). Les cultivars Portchabim, Singor et Dambani ont présenté les pouvoirs de gonflement les plus élevés en comparaison avec les autres cultivars évalués. Une différence significative ($p < 0,05$) a été observée entre les farines instantanées issues des différents cultivars en ce qui concerne leur indice de solubilité qui a varié de 6,4 à 11,9 % avec une moyenne

de $9,8 \pm 0,1$ %. La farine instantanée issue du cultivar Singor a présenté l'indice de solubilité moyenne le plus élevé, tandis que celle du cultivar Wouroutani a présenté l'indice de solubilité le plus faible (**Tableau 2**).

3.3. Propriétés rhéologiques des farines instantanées dérivées des cultivars d'igname *Dioscorea rotundata* produits au Bénin

Le **tableau 3** présente les résultats des propriétés rhéologiques des 48 cultivars d'ignames mis en évaluation. La viscosité au pic et de maintien des farines issues des 48 cultivars a varié respectivement de 1048 à 4376 cPs et 875 à 4004 cPs, avec une moyenne de 2257 ± 63 cPs et de 2128 ± 60 cPs respectivement, alors que les valeurs obtenues pour la viscosité finale ont fluctué entre 1568 et 6251 cPs avec une moyenne de 3048 ± 89 cPs. L'analyse des variances des valeurs des paramètres rhéologiques des farines issues de différents cultivars d'igname étudiés ont montré qu'il existe une différence hautement significative entre la viscosité au pic, la viscosité finale, la tendance de rupture, la viscosité de maintien, le recul de la viscosité, le temps au pic de viscosité et la température de gélatinisation de l'amidon au seuil de 5 %. La farine instantanée issue du cultivar Anklouman a présenté les valeurs les plus élevées de la viscosité au pic et de la viscosité de maintien après refroidissement, comparativement à celles des autres cultivars d'igname. La majorité des farines issues des

Tableau 2. Pouvoir de gonflement et indice de solubilité des farines instantanées d'agoun dérivées des cultivars d'igname évalués — *Swelling power and solubility index of agoun instant flours derived from the yam cultivars evaluated.*

Cultivar	Indice de solubilité (%)	Pouvoir de gonflement (g H ₂ O·g ⁻¹)
Singor	11,9 ± 1,1 ^b	4,7 ± 0,4 ^a
Gaboubaba	11,0 ± 1,1 ^{ab}	3,5 ± 0,5 ^a
Kpagninan	10,9 ± 0,5 ^{ab}	4,7 ± 0,5 ^a
Djilaadja	10,8 ± 1,2 ^{ab}	4,4 ± 0,6 ^a
Dodo	10,8 ± 1,1 ^{ab}	3,7 ± 0,5 ^a
DrA5-2003	10,8 ± 0,1 ^{ab}	4,5 ± 0,5 ^a
Gominan	10,7 ± 0,6 ^{ab}	4,6 ± 0,3 ^a
Adaani	10,7 ± 0,1 ^{ab}	4,1 ± 0,7 ^a
Paroyobou	10,6 ± 0,7 ^{ab}	3,8 ± 0,2 ^a
Bakarou	10,5 ± 1,6 ^{ab}	4,3 ± 0,3 ^a
Kpakara	10,4 ± 1,6 ^{ab}	3,5 ± 0,2 ^a
Soussouka	10,4 ± 0,7 ^{ab}	3,1 ± 0,1 ^a
Effourou	10,3 ± 1,4 ^{ab}	4,0 ± 0,6 ^a
Kratchi	10,3 ± 0,7 ^{ab}	4,4 ± 0,2 ^a
Dambani	10,2 ± 0,8 ^{ab}	4,7 ± 0,0 ^a
Wokourou	10,2 ± 0,4 ^{ab}	3,8 ± 0,1 ^a
Labôkô	10,2 ± 0,3 ^{ab}	4,4 ± 0,4 ^a
Yakounougo	10,2 ± 0,3 ^{ab}	4,0 ± 0,6 ^a
Alsoura	10,1 ± 0,5 ^{ab}	4,0 ± 0,6 ^a
Katala	10,0 ± 0,9 ^{ab}	3,4 ± 0,4 ^a
Anklouman	10,0 ± 2,0 ^{ab}	4,1 ± 0,2 ^a
DrA21-2003	9,9 ± 0,7 ^{ab}	5,1 ± 0,8 ^a
Ahimon	9,8 ± 1,2 ^{ab}	4,4 ± 0,2 ^a
yaassi	9,8 ± 0,8 ^{ab}	4,0 ± 0,2 ^a
Portchahabim	9,7 ± 1,3 ^{ab}	4,8 ± 0,0 ^a
Wété	9,7 ± 1,3 ^{ab}	3,1 ± 0,0 ^a
Héapala	9,6 ± 0,8 ^{ab}	3,5 ± 0,3 ^a
Tchée	9,6 ± 0,4 ^{ab}	4,2 ± 0,0 ^a
Babétéi	9,6 ± 0,4 ^{ab}	4,3 ± 0,6 ^a
Kpouna	9,5 ± 1,1 ^{ab}	3,7 ± 0,2 ^a
Idoro	9,5 ± 1,3 ^{ab}	3,4 ± 0,4 ^a
Assina	9,5 ± 0,9 ^{ab}	3,8 ± 0,9 ^a
Agbaobé	9,5 ± 0,7 ^{ab}	3,8 ± 0,9 ^a
yaassi	9,2 ± 0,6 ^{ab}	4,0 ± 0,2 ^a
Zembè	9,2 ± 0,5 ^{ab}	3,9 ± 0,0 ^a
Soussouka	9,0 ± 1,9 ^{ab}	3,1 ± 0,1 ^a
Yonouan	9,0 ± 0,4 ^{ab}	4,0 ± 0,4 ^a

Tableau 2 (suite). Pouvoir de gonflement et indice de solubilité des farines instantanées d'agoun dérivées des cultivars d'igname évalués — *Swelling power and solubility index of agoun instant flours derived from the yam cultivars evaluated.*

Cultivar	Indice de solubilité (%)	Pouvoir de gonflement (g H ₂ O·g ⁻¹)
DrA39-2003	9,0 ± 0,2 ^{ab}	4,1 ± 0,1 ^a
Môrôkorou	8,9 ± 0,7 ^{ab}	4,3 ± 0,5 ^a
Wokiri	8,9 ± 0,3 ^{ab}	3,5 ± 0,4 ^a
Gnidou	8,9 ± 0,2 ^{ab}	3,8 ± 0,5 ^a
Kagourou	8,8 ± 0,5 ^{ab}	4,2 ± 0,1 ^a
DrA65-2003	8,6 ± 1,1 ^{ab}	4,5 ± 0,1 ^a
Baniouré	8,4 ± 0,2 ^{ab}	4,6 ± 0,1 ^a
Bobotching	8,3 ± 0,6 ^{ab}	3,2 ± 0,5 ^a
Amoula	8,0 ± 2,1 ^{ab}	3,1 ± 0,4 ^a
Boniakpa	7,2 ± 1,6 ^{ab}	4,2 ± 0,1 ^a
Wouroutani	6,4 ± 1,1 ^a	4,4 ± 0,3 ^a
<i>p</i> -value	0,668	0,044

cultivars d'igname étudiés ont présenté des valeurs de viscosité élevées, à l'exception du cultivar Gaboubaba (**Tableau 3**). La valeur de rupture de viscosité des différentes farines instantanées étudiées a varié de 14 à 592 cPs, avec une moyenne de 131 ± 8 cPs. Les farines instantanées issues des cultivars Kpagninan (**Figure 1**) et de l'hybride DrA65-2003 ont révélé une tendance de rupture supérieure aux autres farines étudiées, tandis que les cultivars Dodo et Baniouré ont révélé une rupture de viscosité plus faible (**Tableau 3**). La rupture de viscosité a été le paramètre présentant la plus grande variabilité (CV = 65,39 %).

Les valeurs de recul ou dureté du collage après refroidissement ont varié entre 395 à 2418 cPs, avec une moyenne de 925 ± 32 cPs. Les farines instantanées issues des cultivars Kpagninan et Tchée ont présenté les valeurs de recul de viscosité les plus élevées, alors que celle issue du cultivar Bakarou a présenté le recul de viscosité le plus faible. La durée maximale de viscosité ou temps au pic de viscosité a varié de 5 à 8 min avec un temps moyen de 6 min. La farine d'agoun instantanée obtenue à partir du cultivar Kpagninan a présenté la plus courte durée de temps au pic de viscosité. La température de gélatinisation de l'amidon des différentes farines a varié de 73 à 93 °C, avec une moyenne de 84 °C. Les farines issues du cultivar Gaboubaba et Zembè ont présenté les températures de gélatinisation de l'amidon les plus élevées, comparativement aux farines issues des autres cultivars.

Tableau 3. Propriétés d'empâtage des farines des cultivars de *Dioscorea rotundata* analysées — Pasting properties of the cultivars of *Dioscorea rotundata* flour analyzed.

Cultivar	Viscosité au pic (cWP/s)	Viscosité de maintien (cPs)	Viscosité finale (cPs)	Rupture de viscosité (cPs)	Recul de viscosité	Temps au pic de viscosité (min)	Température de gélatinisation de l'amidon (°C)
Adaani	1 908 ± 26 ^{bij}	1 771 ± 64 ^{def}	2 560 ± 154 ^{defg}	137 ± 37 ^{efghijk}	789 ± 17,03 ^{efghij}	6,5 ± 0,21 ^b	81,1 ± 3,9 ^{alefgh}
Agbaobé	2 750 ± 121 ^{noqr}	2 643 ± 120 ^{mnpq}	3 651 ± 153 ^{kl}	106 ± 1 ^{efghijk}	955 ± 3 ^{bijklmnop}	6,2 ± 0,0 ^b	78,2 ± 0 ^{bcdef}
Ahimon	1 296 ± 7 ^b	1 185 ± 19 ^b	1 821 ± 9 ^{bc}	111 ± 12 ^{efghijk}	637 ± 10 ^{def}	7,0 ± 0,0 ^{bc}	90,8 ± 0,2 ^{mn}
Alssoura	1 919 ± 42 ^{bij}	1 795 ± 61 ^{ghi}	2 611 ± 89 ^{defg}	123 ± 18 ^{efghijk}	817 ± 28 ^{efghijk}	6,6 ± 0,1 ^{bc}	77,4 ± 0,4 ^{bc}
Amoula	1 215 ± 7 ^b	1 178 ± 7 ^v	1 601 ± 10 ^{ab}	37 ± 0 ^{bcd}	423 ± 3 ^b	7,0 ± 0,0 ^{bc}	88,0 ± 0 ^{klmn}
Anklouman	4 089 ± 178 ^{vw}	4 004 ± 148 ^o	5 523 ± 257 ^o	85 ± 30 ^{defgh}	1 519 ± 109 st	6,3 ± 0,0 ^b	82,7 ± 0,7 ^{efhij}
Assina	2 775 ± 113 ^{noqr}	2 591 ± 143 ^{mnpq}	3 564 ± 160 ^{jkl}	184 ± 30 ^{ijkl}	973 ± 16 ^{bijklmnop}	6,7 ± 0,0 ^b	80,3 ± 0,6 ^{alefg}
Babéti	3 041 ± 127 ^s	2 789 ± 106 ^{klm}	3 933 ± 168 ^{klm}	252 ± 20 ^{kl}	1 144 ± 62 ^{lmnopqr}	6,4 ± 0,0 ^b	85,2 ± 0,6 ^{bijkl}
Bakarou	3 288 ± 6 st	3 158 ± 92 ^{rs}	4 343 ± 15 ^m	130 ± 6 ^{efghijk}	1 185 ± 3 ^{noqr}	7,1 ± 0,0 ^{bc}	85,6 ± 0 ^{bijkl}
Baniouré	2 260 ± 87 ^{klm}	2 235 ± 306 ^{ijklm}	2 824 ± 133 ^{gh}	26 ± 5 ^b	590 ± 41 ^{cd}	7 ± 0,0 ^b	91 ± 0,5 ^{mn}
Bobotchinga	1 468 ± 26 ^{cde}	1 320 ± 3 ^{bc}	2 474 ± 92 ^{defg}	115 ± 4 ^{efghijk}	514 ± 8 ^{bed}	6,0 ± 0,0 ^b	80,2 ± 0 ^{bed}
Boniakpa	2 552 ± 0 ^{mnpq}	2 453 ± 4 ^{mnpq}	3 435 ± 21 ^{kl}	98 ± 5 ^{efghij}	982 ± 17 ^{bijklmnopq}	7,0 ± 0,0 ^{bc}	85,9 ± 2,5 ^{jkl}
Dambani	2 802 ± 47 ^{noqr}	2 595 ± 13 ^{mnpq}	3 753 ± 13 ^{kl}	207 ± 34 ^{ijkl}	1 159 ± 1 ^{mnoqr}	6,4 ± 0,1 ^b	78,3 ± 0 ^{bed}
Déba	3 541 ± 149 ^u	3 382 ± 130 st	4 969 ± 218 ⁿ	158 ± 19 ^{bijkl}	1 587 ± 89 ^t	7,0 ± 0,0 ^{bc}	86,4 ± 0 ^{klmn}
Djilaadja	1 395 ± 71 ^{cd}	1 319 ± 62 ^{bc}	1 925 ± 81 ^c	77 ± 9 ^{defghi}	607 ± 19 ^{cde}	6,7 ± 0,1 ^{bc}	88,0 ± 1,0 ^{klmn}
Dodo	1 851 ± 46 ^{ghij}	1 837 ± 43 ^{ghi}	2 558 ± 63 ^{defg}	14 ± 3 ^a	722 ± 19 ^{efgh}	6,6 ± 0 ^{bc}	73,8 ± 0,2 ^{lmn}
DrA21-2003	2 461 ± 22 ^{lmn}	2 68 ± 6 ^{klmn}	3 320 ± 25 ^{ijk}	194 ± 16 ^{ijkl}	1 052 ± 20 ^{klmnopq}	7,0 ± 0,0 ^{bc}	88,4 ± 0,2 ^{lmn}
DrA39-2003	1 918 ± 20 ^{bij}	1 838 ± 25 ^{ghj}	2 591 ± 29 ^{defg}	80 ± 5 ^{defghi}	753 ± 4 ^{efghi}	7,0 ± 0,0 ^{bc}	88,4 ± 0,2 ^{def}
DrA5-2003	1 320 ± 0 ^{bc}	1 165 ± 0 ^b	1 725 ± 0 ^{abc}	155 ± 0 ^{bijkl}	560 ± 0 ^c	7 ± 0,0 ^{bc}	83,1 ± 0 ^{efghij}
DrA65-2003	2 639 ± 150 ^{mnpq}	2 303 ± 122 ^{ijklmno}	3 782 ± 168 ^{klm}	336 ± 29 ^{lm}	1 479 ± 47 st	7,0 ± 0,0 ^{bc}	88,0 ± 0 ^{klmn}
Efffourou	1 567 ± 63 ^{def}	1 505 ± 35 ^{bcde}	1 568 ± 121 ^a	98 ± 0 ^{efghij}	666 ± 121 ^{def}	7,0 ± 0,0 ^{bc}	83,5 ± 2,5 ^{efghijk}
Gaboubaba	1 048 ± 67 ^a	875 ± 51 ^a	1 593 ± 84 ^{ab}	172 ± 16 ^{bijkl}	718 ± 33 ^{efgh}	7,0 ± 0,0 ^{bc}	93 ± 0 ⁿ
Gnidou	1 854 ± 77 ^{ghij}	1 709 ± 76 ^{gh}	2 436 ± 90 ^{defg}	146 ± 1 ^{efghijk}	728 ± 14 ^{efgh}	7,0 ± 0,0 ^{bc}	87,9 ± 0,2 ^{klmn}
Gominan	1 940 ± 3 ^{bij}	1 872 ± 14 ^{ghi}	2 587 ± 3 ^{defg}	68 ± 16 ^{defg}	715 ± 16 ^{efgh}	6,9 ± 0,0 ^b	78,6 ± 0,6 ^{bcde}
Héapala	2 357 ± 130 ^{ijkl}	2 282 ± 136 ^{bij}	3 137 ± 17 ^{gh}	114 ± 19 ^{efghij}	855 ± 40 ^{efghijk}	8,4 ± 1,0 ^c	83,9 ± 0,1 ^{ghijk}
Idoro	1 951 ± 54 ^{efghi}	1 799 ± 70 ^{ef}	2 579 ± 13 ^{efghi}	112 ± 25 ^{bcde}	780 ± 33 ^{efgh}	7,0 ± 0,0 ^b	83,6 ± 0,6 ^{efghijk}
Kagourou	2 413 ± 11 ^{lmn}	2 300 ± 14 ^{klmno}	3 094 ± 14 ^{bi}	139 ± 8 ^{efghijk}	794 ± 28 ^{efghij}	6,5 ± 0,0 ^b	88,4 ± 0,1 ^{lmn}
Katala	1 777 ± 13 ^{efghi}	1 638 ± 6 ^{efg}	2 389 ± 12 ^{def}	149 ± 7 ^{efghijk}	752 ± 5 ^{efghi}	7,0 ± 0,0 ^{bc}	83,1 ± 0 ^{efghijk}

/..

Tableau 3 (suite). Propriétés d'empâtage des farines des cultivars de *Dioscorea rotundata* analysées — *Pasting properties of the cultivars of Dioscorea rotundata flour analyzed.*

Cultivar	Viscosité au pic (cWP)	Viscosité de maintien (cPs)	Viscosité finale (cPs)	Rupture de viscosité (cPs)	Recul de viscosité	Temps au pic de viscosité (min)	Température de gélatinisation de l'amidon (°C)
Kpagninan	3 837 ± 217 ^w	2 803 ± 37 ^{uv}	5 787 ± 63 ^p	592 ± 17 ^m	2 417 ± 3 ^u	5,0 ± 0,0 ^{jkl}	85,7 ± 0 ^{bcdef}
Kpakara	1 932 ± 41 ^{hij}	1 729 ± 40 ^{gh}	2 530 ± 30 ^{defg}	204 ± 1 ^{jkl}	1 251 ± 250 ^{opqr}	6,1 ± 0,1 ^b	75,0 ± 0,4 ^{ab}
Kpounan	1 833 ± 834 ^{ghij}	1 776 ± 83 ^{ghi}	2 280 ± 113 ^{cd}	58 ± 0 ^{cdef}	505 ± 30 ^{bc}	6,4 ± 0,1 ^b	77,5 ± 0,4 ^{bc}
Kratchi	3 629 ± 60 ^{efg}	1 413 ± 73 ^{bcde}	2 294 ± 75 ^d	216,5 ± 13,5 ^{kl}	881 ± 2 ^{ghijklmnop}	7,0 ± 0,0 ^{bc}	91,6 ± 0,6 ^b
Labokô	1 699 ± 141 ^{fgh}	1 604 ± 10 ^{defg}	2 271 ± 12 ^d	95 ± 4 ^{efghij}	667 ± 2 ^{efg}	7,0 ± 0,0 ^{bc}	81,1 ± 0,1 ^{cdefgh}
Môrókorou	2 384 ± 114 ^{lmn}	2 289 ± 96 ^{klmno}	3 156 ± 156 ^{bij}	95 ± 8 ^{efghij}	867 ± 60 ^{fghijklmno}	6,4 ± 0,0 ^b	90,9 ± 0,2 ^{mn}
Paroyobou	2 767 ± 123 ^{opqrs}	2 663 ± 136 ^{wopq}	3 677 ± 161 ^{kl}	94 ± 7 ^{efghij}	1 004 ± 30 ^{ijklmnopq}	6,9 ± 0,0 ^{bc}	79,5 ± 0,7 ^{cdef}
Portchabim	2 849 ± 71 ^{opq}	2 685 ± 74 ^{klm}	3 506 ± 61 ^{ijk}	164 ± 2 ^{hijkl}	821 ± 12 ^{efghijk}	6,5 ± 0,1 ^{bc}	78,3 ± 0 ^{bcd}
Singor	2 704 ± 23 ^{opqrs}	2 708 ± 36 ^{klm}	3 798 ± 68 ^{klm}	95 ± 0 ^{efghij}	1 089 ± 33 ^{klmnopq}	6,1 ± 0,0 ^b	79,1 ± 0 ^{cdefg}
Soussouka	1 413 ± 81 ^c	1 384 ± 79 ^{9bcd}	1 779 ± 100 ^{abc}	29 ± 1 ^b	395 ± 20 ^b	6,6 ± 0,1 ^{bc}	79,5 ± 0,7 ^{cdefg}
Tarai	2 061 ± 14 ^{ijk}	2 002 ± 35,7 ^{hij}	2 856 ± 4 ^{gh}	60 ± 22 ^{bcde}	854 ± 32 ^{fghijklmn}	6,8 ± 0,1 ^{bc}	83,1 ± 0 ^{fghijk}
Tchéé	3 836 ± 53 ^{pq}	3 637 ± 49,3 ^{uv}	5 616 ± 100,1 ^o	199 ± 3 ^{kl}	1 979 ± 51 ^u	5,8 ± 0,0 ^b	81,1 ± 0,2 ^{bcdef}
Wété	2 543 ± 2 ^{lmno}	2 417 ± 7 ^{klmnop}	3 467 ± 2 ^{ijk}	125 ± 8 ^{fghijk}	1 050 ± 4 ^{klmnopq}	6,9 ± 0,0 ^{bc}	90,5 ± 0 ^{mn}
Wokiri	2 938 ± 63 ^{lmn}	2 904 ± 54 ^{qr}	4 168 ± 75 ^{lm}	35 ± 8 ^{bc}	1 265 ± 21 ^{pqrst}	6,7 ± 0,0 ^{bc}	88,0 ± 0 ^{klmn}
Wokourou	1 940 ± 55 ^{hij}	1 865 ± 70 ^{ghi}	2 757 ± 81 ^{fgh}	7 ± 15 ^{defgh}	893 ± 10 ^{ghijklmno}	6,8 ± 0,1 ^{bc}	79,5 ± 0,7 ^{cdefg}
Wouroutani	2 649 ± 5 ^{opqrs}	2 466 ± 8 ^{lmnop}	3 769 ± 167 ^{klm}	183 ± 33 ^{ijkl}	1 304 ± 79 ^{pqrst}	6,9 ± 0,0 ^{bc}	81,9 ± 0,6 ^{defghi}
Yaassi	2 154 ± 62 ^{kl}	2 095 ± 70 ^{ijkl}	2 833 ± 90 ^{fgh}	59 ± 9 ^{cdef}	738 ± 20 ^{efghi}	7,0 ± 0,0 ^{bc}	85,2 ± 0,7 ^{ijkl}
Yakounougo	1 451 ± 37 ^{cd}	1 399 ± 28 ^{bcd}	1 885 ± 41 ^c	52 ± 9 ^{bcde}	486 ± 14 ^{bc}	6,6 ± 0,2 ^{bc}	88,8 ± 0 ^{lmn}
Yonouan	2 131 ± 21 ^{ijkl}	2 066 ± 12 ^{ijk}	2 742 ± 26 ^{efgh}	65 ± 9 ^{cdefg}	627 ± 67 ^{cde}	6,7 ± 0,1 ^{bc}	77,8 ± 0,6 ^{bcd}
Zambè	1 654 ± 49 ^{efgh}	1 440 ± 36 ^{cde}	2 323 ± 60 ^{de}	214 ± 13 ^{ijkl}	883 ± 25 ^{ghijklmnop}	7,0 ± 0,0 ^{bc}	92,0 ± 0,4 ^{mn}
Probabilité	88,951 ^{***}	85,213 ^{***}	86,976 ^{***}	17,226 ^{***}	46,714 ^{***}	3,810	

Les moyennes suivies de lettres différentes sont significativement différentes au seuil $p = 0,05$ par le test de SNK — *the means followed by different letters are significantly different at $p = 0,05$ by the SNK test.*

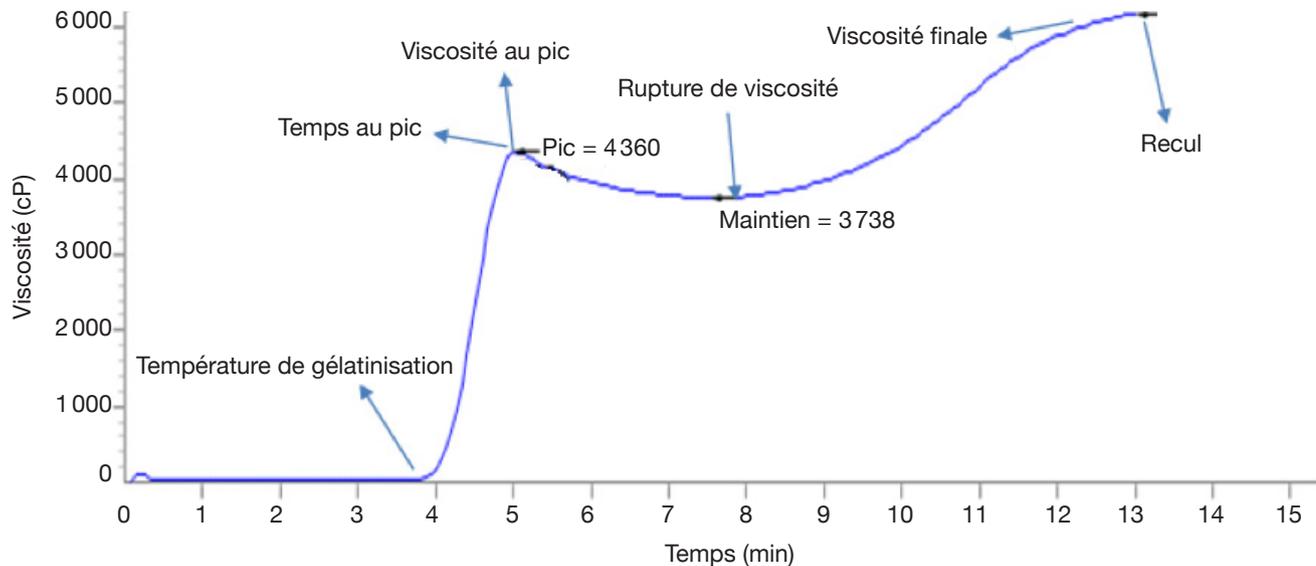


Figure 1. Profil de viscosité RVA typique montrant les points significatifs pendant le chauffage et le refroidissement d'un échantillon de farine (cultivar Kpagninan) — *Typical RVA viscosity profile showing significant points during heating and cooling a sample of flour (cultivar Kpagninan).*

3.4. Corrélation de Pearson entre les caractéristiques rhéologiques, fonctionnelles et de couleur des farines

L'analyse de corrélation de Pearson a révélé qu'il existe une corrélation positive entre le gonflement ($r = -0,325$), la viscosité de maintien ($r = 0,444$), la rupture de viscosité ($r = 0,332$), le recul de viscosité ($r = 0,446$), la viscosité au pic ($r = 0,990$) et la viscosité finale ($r = 0,991$). Cependant, une corrélation négative a été observée entre la solubilité et le gonflement, et entre la luminance et le rendement (**Tableau 4**).

3.5. Classification des cultivars en fonction des propriétés rhéologiques des farines instantanées d'ignames (InstAgoun) issues de différents cultivars

Les résultats de la classification ascendante hiérarchique réalisée à partir de moyennes des variables étudiées ont permis de visualiser trois groupes de cultivars en se basant sur la partition de la plus grande inertie (**Figure 2**).

Les 28 cultivars (Labôkô, Idoro, Katala, Alssoura, Gominan, Wokourou, Bobotchinga, Dodo, Soussouka, Kpounan, Amoula, Yonouan, Kpakara, Effourou, Ahimon, DrA5-2003, Gaboubaba, Kratchi, Zambè, Parayobou, Héapala, Djilaadja, Yakanougo, Tarayè, Yaassi, DrA39-2003, Gnidou, Adaani) constituant le groupe 1 (G1) ont donné des farines ayant des caractéristiques rhéologiques significativement différentes de celles des autres cultivars (**Tableau 5**). En effet, les farines issues des cultivars de ce groupe ont présenté

les plus faibles valeurs de viscosité au pic, viscosité finale, viscosité de maintien et recul de viscosité. Le groupe 2 (G2) constitué de 14 cultivars (Wokiri, Wété, Kagourou, Môrôkourou, DrA65-2003, DrA21-2003, Baniouré, Boniakpa, Wouroutani, Dambani, Assina, Babetéi, Bakarou, Déba) a présenté des farines ayant significativement des températures de gélatinisation les plus élevées. Quant aux farines instantanées issues des 6 cultivars (Agbaobé, Singor, Portchahabim, Kpagninan, Anklouman, Tchée) constituant le groupe 3 (G3), elles ont présenté les plus fortes valeurs de viscosité au pic, viscosité finale, viscosité de maintien, rupture de viscosité et recul de viscosité.

3.6. Variations des propriétés rhéologiques et fonctionnelles des farines instantanées d'ignames (InstAgoun) issues de différents cultivars

L'analyse en composante principale (ACP) réalisée pour décrire les variations des propriétés rhéologiques, fonctionnelles et de couleur des farines instantanées d'ignames (InstAgoun) issues de différents cultivars a montré que 15,90 % des informations de départ sont expliquées par la première composante et les deux premières composantes expliquent 60,55 % (> 50 %) de la variabilité totale des farines suivant les variables discriminantes (**Tableau 6**). Ces deux composantes ont donc été suffisantes pour résumer l'essentiel des informations liées à la performance des cultivars d'igname vis-à-vis des propriétés rhéologiques, fonctionnelles et de couleur des farines.

Le cercle de corrélation (**Figure 3a**) a montré que le premier axe a un lien positif avec la viscosité

Tableau 4. Corrélation de Pearson entre les caractéristiques rhéologiques, fonctionnelles et de couleur des farines d'igname — Pearson correlation between the rheological, functional and color characteristics of yam flours.

Variable	Luminance	Rendement	Gonflement	Solubilité	Viscosité au pic	Viscosité de maintien	Rupture de viscosité	Viscosité finale	Recul de viscosité	Temps au pic	T (°C)
Rendement	-0,296*	1									
Gonflement	0,12	0,149	1								
Solubilité	0,153	-0,064	-0,325**	1							
Viscosité au pic	0,027	0,163	0,990***	-0,203	1						
Viscosité de maintien	-0,081	0,104	0,444**	-0,173	0,975***	1					
Rupture	0,054	0,129	0,332*	-0,261	0,408	0,254	1				
Viscosité finale	0,408	0,21	0,991***	-0,24	0,979***	0,951***	0,464**	1			
Recul de viscosité	0,054	0,129	0,446**	-0,234	0,808***	0,771***	0,649**	0,881***	1		
Temps au pic	-0,035	0,116	-0,133	-0,176	-0,021	0,029	-0,213	-0,068	-0,124	1	
T (°C)	0,12	0,03	0,043	-0,127	0,036	0,046	-0,024	0,013	-0,037	-0,033	1

*** : significatif à 0,001 — significant at 0,001 ; ** : significatif à 0,01 — significant at 0,01 ; * : significatif à 0,05 — significant at 0,05 ; T (°C) : température de gélatinisation — gelatinization temperature.

au pic, la viscosité de maintien, la viscosité finale, la rupture de viscosité et la viscosité de recul, puis un lien négatif avec le temps au pic. Quant au second axe, il a également montré un lien positif avec la température de gélatinisation et le rendement, puis un lien négatif avec la luminance et la solubilité. La projection des cultivars étudiés dans ces deux premiers axes a révélé 4 groupes (**Figure 3b**). Le groupe 1 inclut 31 cultivars d'igname, tandis que les groupes 2, 3 et 4 comprennent respectivement 9, 5 et 3 cultivars d'igname.

La **figure 4** illustre les distributions en boîtes à moustaches des caractéristiques rhéologiques, fonctionnelles et de couleur des cultivars d'ignames au sein des 4 groupes obtenus. Le groupe 4 a présenté une viscosité au pic (4100 ± 156 cPs), viscosité de maintien (3809 ± 107 cPs), viscosité finale (5797 ± 229 cPs), rupture de viscosité (292 ± 154 cPs) et viscosité de recul (1972 ± 260 cPs) significativement ($p \leq 0,05$) plus élevées que celles des autres groupes. Cependant, le temps au pic de viscosité ($5,7 \pm 0,4$ min) a été significativement ($p \leq 0,000$) plus faible chez le groupe G4. Aucune différence significative ($p > 0,05$) n'a été observée entre les 4 groupes en ce qui concerne le rendement et le pouvoir de gonflement. Le groupe 3 ($82,4 \pm 0,3$) a présenté une luminance significativement ($p \leq 0,000$) plus élevée que celle du groupe 2 ($75,5 \pm 1,1$), mais similaire à celle du groupe 1 ($78,7 \pm 0,5$). De plus, le groupe 2 a présenté une solubilité ($8,9 \pm 0,5$) significativement ($p \leq 0,05$) inférieure à celle du groupe 3 ($10,4 \pm 0,4$) et 4 ($10,2 \pm 0,4$), mais similaire à celle du groupe 1 ($9,7 \pm 0,1$). Quant à la température de gélification, le groupe 3 a présenté significativement ($p \leq 0,05$) la valeur la plus basse ($78 \pm 0,8$ °C), comparativement aux autres groupes.

4. DISCUSSION

La variation du rendement de production en farine observée au niveau des cultivars de *D. rotundata* pourrait être liée aux caractères spécifiques des cultivars et surtout à leurs paramètres physicochimiques. En effet, les cultivars Bakarou et Kagourou, ayant des rendements élevés en farine, sont des cultivars à récolte tardive, riches en matières sèches, en amidons et présentant une faible teneur en eau (Fakorede et al., 2020a). Ce résultat atteste les perceptions des transformateurs selon lesquelles l'augmentation de la matière sèche est proportionnelle à l'augmentation de la rentabilité du produit fini. Sachant que le rendement en farine est potentiellement lié à la qualité de mouture, il pourrait donc être amélioré en réduisant les pertes au cours de la mouture par l'utilisation d'un moulin amélioré et par la standardisation de l'opération d'épluchage et ce, en fonction des spécificités de chaque cultivar. De par leur rendement en farine,



Figure 2. Classification ascendante hiérarchique des 48 cultivars d'igname suivant les caractéristiques rhéologiques des farines obtenues — *Ascending hierarchical classification of 48 yam cultivars according to the rheological characteristics of the flours obtained.*

Tableau 5. Caractéristiques rhéologiques des farines instantanées de chaque groupe de cultivars — *Rheological characteristics of instant flours from each cultivar group.*

Variable	Groupes de cultivars d'igname			Probabilité
	G1	G2	G3	
Viscosité au pic	1766 ± 70 ^a	2735 ± 97 ^b	3434 ± 307 ^c	44,114***
Viscosité finale	2370 ± 94 ^a	3684 ± 149 ^b	4724 ± 492 ^c	40,990***
Viscosité de maintien	1661 ± 72 ^a	2582 ± 95 ^b	3243 ± 257 ^c	40,127***
Rupture de viscosité	104 ± 10 ^a	152 ± 22 ^a	207 ± 79 ^a	2,641 ^{ns}
Recul de viscosité	722 ± 34 ^a	1102 ± 71 ^b	1463 ± 258 ^b	19,626***
Temps au pic	6,8 ± 0,0 ^b	6,8 ± 0,0 ^b	6,0 ± 0,2 ^a	17,292***
Température de gélatinisation	83 ± 1,0 ^{ab}	87 ± 1,0 ^b	81 ± 1,2 ^a	3,551*-

Les moyennes suivies de lettres différentes sont significativement différentes au seuil $p = 0,05$ par le test de SNK — *the means followed by different letters are significantly different at $p = 0.05$ by the SNK test*; *** : significatif à 0,001 — *significant at 0.001*; *: significatif à 0,05 — *significant at 0.05*; ns : non significatif — *not significant*.

Tableau 6. Valeurs propres et proportions d'informations sur les axes — *Eigenvalues and proportions of information on the axes.*

Composante	Valeur propre	Pourcentage de variance	Pourcentage cumulatif de variance
Composante 1	4,6	44,13	44,65
Composante 2	1,6	15,90	60,55
Composante 3	1,18	10,7	71,52
Composante 4	1	9,8	81,39

Propriétés technologiques des farines d'igname pilée

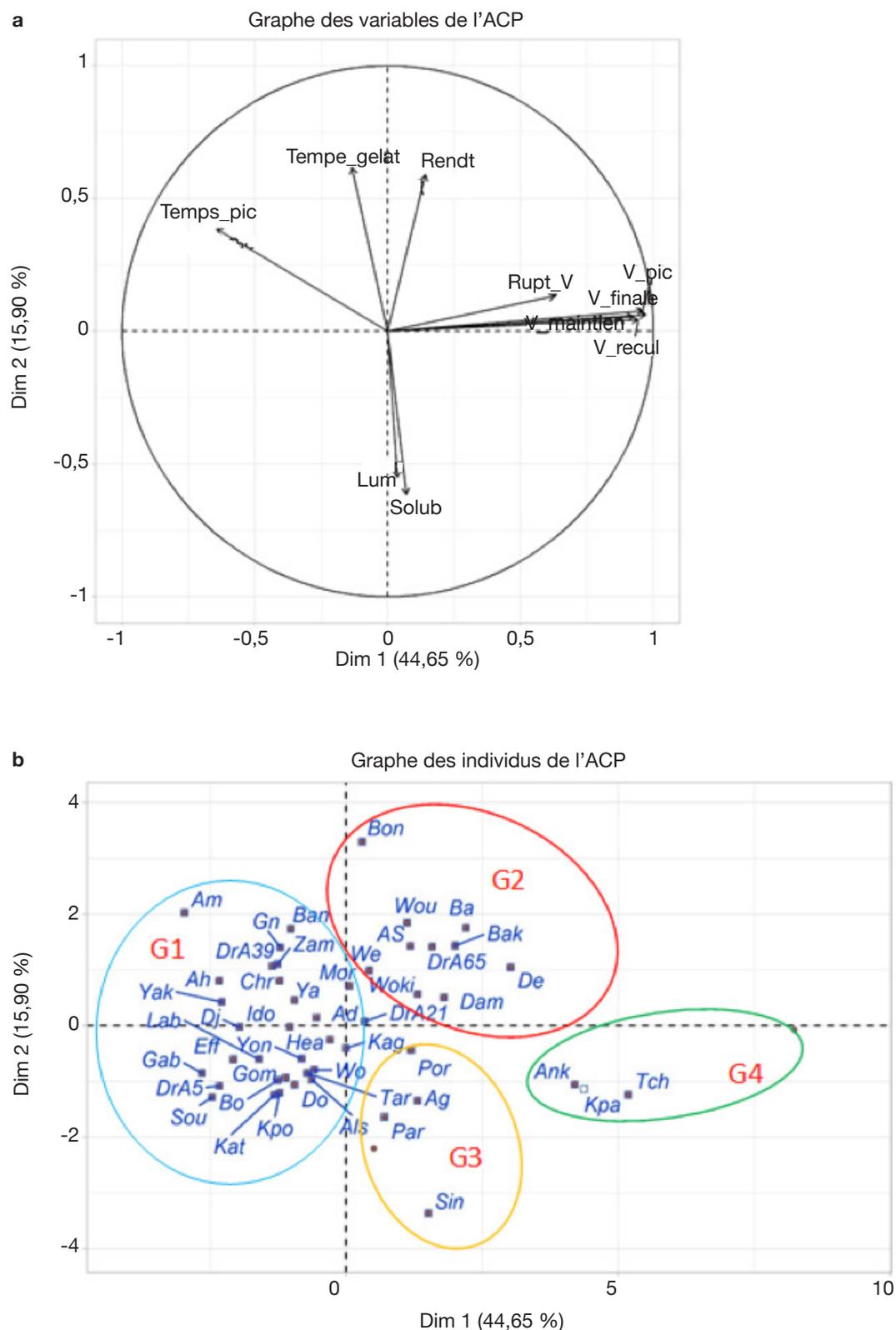


Figure 3. a. Cercle de corrélation des paramètres des propriétés rhéologiques des farines avec les deux premiers axes (1 et 2) — *Correlation circle of the parameters of the rheological properties of flours with the first two axes (1 and 2)*; **b.** Projection des cultivars dans le premier plan factoriel formé par les axes (1 et 2) — *Projection of cultivars in the first factorial plane formed by the axes (1 and 2)*.

Lum : luminance — *luminance* ; Solub : solubilité — *solubility* ; Rendt : rendement — *yield* ; V : viscosité — *viscosity* ; Tempe-gelat : température de gélatinisation — *gelatinization temperature* ; Rupt-V : rupture de viscosité — *viscosity rupture*.

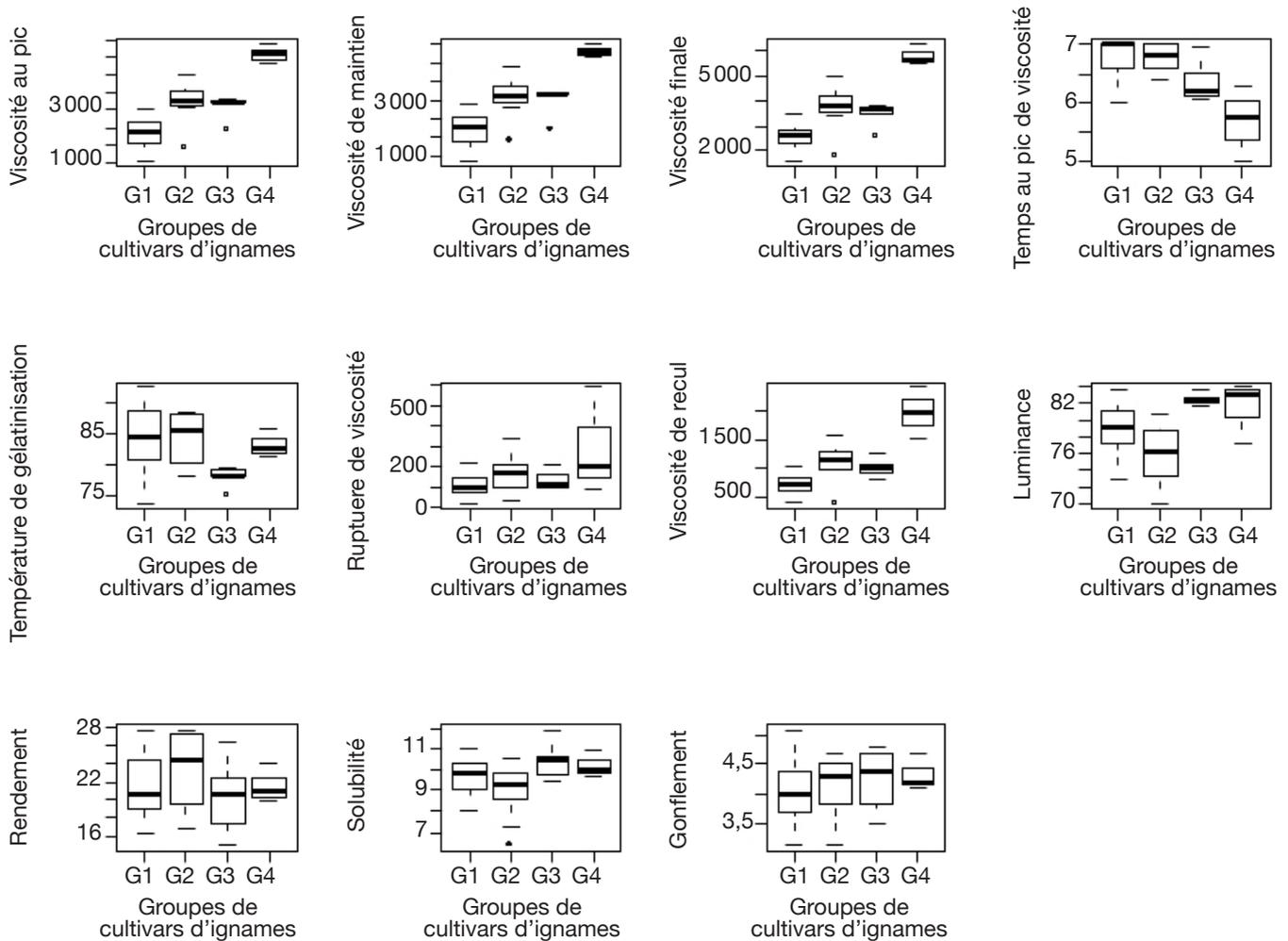


Figure 4. Distributions en boîtes à moustaches des caractéristiques rhéologiques, fonctionnelles et de couleur des cultivars d'ignames au sein des quatre groupes — *Boxplot distributions of the functional and rheological characteristics, and colors of yam cultivars within the four groups.*

ces deux cultivars peuvent être recommandés aux industries agro-alimentaires. Cependant, il est à noter que le désir des transformateurs et des consommateurs est d'avoir non seulement une quantité importante de farine, mais surtout des farines dont les pâtes dérivées présentent d'excellentes caractéristiques texturales et organoleptiques (Fakorede et al., 2020b).

La couleur est un attribut important de la qualité des farines d'ignames qui affecte la commercialisation de la farine et l'acceptabilité des produits alimentaires fabriqués à partir de ces farines. Les consommateurs béninois préfèrent l'igname pilée de couleur blanche ou jaune (Fakorede et al., 2020b). La luminance ou clarté des farines produites, même si elle est relativement élevée, est inférieure à celle rapportée sur des cultivars de *D. rotundata* produits au Ghana (Tortoe et al., 2014 ; Tortoe et al., 2017). En effet, la clarté des farines est affectée par des réactions de brunissement qui se produisent au cours de la transformation (Van Hal,

2000). Outre les pigments de couleur inhérents aux ignames, la couleur jaune des farines d'ignames a été également liée à la teneur totale en phénol (Adejumo et al., 2013). Les tests organoleptiques ont montré que les cultivars Amoula, Effourou, Labôkô et Zambè présentaient des couleurs appréciables (Fakorede et al., 2020b). Ainsi, les farines ayant au moins un degré de luminance de 77,8 et une saturation en jaune de 9,7 devraient satisfaire les exigences des consommateurs et des transformateurs en termes de couleur.

Les propriétés fonctionnelles des farines d'ignames sont importantes car elles affectent l'utilisation finale des farines (Oluwamukomi & Adeyemi, 2015). Les farines d'agoun instantanées obtenues des 48 cultivars d'igname ont présenté un faible pouvoir de gonflement, comparativement à des cultivars (Pona, Lariboko, Dente, Mutwumudoo et Serwah) de la même espèce cultivés au Ghana (Tortoe et al., 2017). Cette différence de pouvoir de gonflement au niveau

des cultivars de l'espèce *D. rotundata* pourrait être attribuée à leur teneur en amidon et à la présence de lipides, qui forment un complexe avec l'amylose et inhibent le gonflement (Zheng et al., 1997). Les cultivars présentant les pouvoirs de gonflement élevés comme Portchabim, Kpagninan, Tchée, Anklouman sont ceux qui ont des teneurs élevées en amidon et une forte élasticité (Fakorede et al., 2020a ; Fakorede et al., 2020b). Quant à l'indice de solubilité, nos résultats ont été inférieurs à ceux présentés par Malomo et al. (2012) sur les farines instantanées d'igname enrichies au soja. En effet, l'indice de solubilité est lié au degré de lixiviation de l'amylose dans des granules d'amidon lors du gonflement et affecté par des forces intermoléculaires (Moorthy, 2002). Les études de Moorthy & Ramanujam (1986) ont montré que le pouvoir de gonflement et l'indice de solubilité sont des indicateurs de la présence d'amylase qui influencent la quantité d'amylose et d'amylopectine présentes dans les farines d'ignames.

Les propriétés d'empâtage de l'amidon des farines sont des caractéristiques rhéologiques utilisées pour évaluer l'aptitude de son utilisation comme ingrédient dans des farines et autres produits industriels. Les viscosités au pic enregistrées pour les farines instantanées d'agoun issues des cultivars de *D. rotundata* évalués, bien que supérieures à celles rapportées par Oluwamukumi & Adeyemi (2015) (377 à 905 cPs), sont dans la fourchette de celles publiées par Abiodun et al. (2014) (3 180 à 3 298 cPs). La viscosité est souvent en relation avec la qualité d'empâtage du produit fini et de la capacité à l'amidon à être texturant ou pas (Ozéochoa & Okafor, 2016). Adako et al. (2016) ont estimé que les cultivars caractérisés par la viscosité au pic relativement plus élevée sont les cultivars dont les forces de gélification et d'élasticité sont les plus élevées. Par ailleurs, les études réalisées par Christianson et al. (1981), puis Baah (2009) ont montré que la diminution de la viscosité au pic est causée par la distorsion de l'hydrogène intermoléculaire et par l'activité alpha-amylasique. Ainsi, les farines instantanées issues des cultivars Kpagninan, Tchée et Anklouman, de par leurs viscosités au pic plus élevées, montrent non seulement leur forte capacité de gélification par rapport aux autres farines, mais aussi la résistance de leurs granules d'amidon aux différents traitements qui leur ont été appliqués. Les valeurs des viscosités finales des farines produites dans notre étude sont similaires à celles publiées par Olumurewa et al. (2019) (1 409 à 3 430 RVA) pour cinq échantillons de farines d'ignames instantanées. Les plus hautes valeurs de la viscosité finale obtenues sur ces farines sont liées à l'agrégation de l'amylose dans la molécule de pâte produite par les farines (Zaidul et al., 2007 ; Kiin-Kabari et al., 2015). La faible viscosité finale des farines issues des cultivars DrA5-2003 et Gaboubaba

pourrait être due, d'une part, à une activité alpha-amylasique qui pourrait se produire au cours de la phase de chauffage, et qui provoquerait la réduction de l'agrégation des molécules d'amyloses issues de la suspension chauffée ou, d'autre part, aux caractères phénotypiques des cultivars (Fakorede et al., 2020a).

Quant à la viscosité de maintien, les valeurs enregistrées sont supérieures à celles enregistrées par Jimoh & Olatidoye (2009) sur les farines instantanées d'igname enrichies au soja. Selon Amoo et al. (2014) et Oluwamukumi & Adeyemi (2015), les viscosités de maintien représentent l'état de la dégradation du gel d'amidon à une période au cours de laquelle les échantillons ont été soumis à une température constante. La farine des cultivars ayant des viscosités de maintien plus élevées peuvent fournir des pâtes dont l'élasticité résiste dans le temps après refroidissement. Par ailleurs, la tendance de rupture de viscosité enregistrée sur ces farines est inférieure à celle publiée par Abiodun et al. (2014) sur les farines d'igname. Les pâtes issues des cultivars Dodo et Soussouka, dont les farines révèlent une faible tendance de rupture, auront tendance à maintenir leur gélification à haute température et sont donc plus résistantes à la chaleur et aux forces de cisaillement tel que rapporté par Tangsrianugul et al. (2019).

En ce qui concerne le recul de viscosité, les valeurs obtenues sont similaires à celles rapportées par Olumurewa et al. (2019) (567 à 742 cPs) pour cinq échantillons de farines d'ignames instantanées poudro. Le recul de viscosité mesure la dureté de la pâte au cours du refroidissement (Huang et al., 2006 ; Tangsrianugul et al., 2019). Les reculs de viscosité les plus faibles sont observés au niveau des farines de certains cultivars comme Bakarou, Yonouan, DrA5-2003, DrA65-2003, Gnidou et peuvent être attribués à une dextrinisation partielle de molécule d'amidon de ces farines. Bolade et al. (2009) ont rapporté que les enzymes stimulées pendant le trempage ou le blanchiment sont capables de causer des pertes partielles ou l'hydrolyse des molécules d'amidon en réduisant ainsi la quantité d'amidon à gélifier. Ainsi, le recul peut être utilisé pour prédire le stockage d'un aliment préparé à partir des farines comme les pâtes d'igname (Zaidul et al., 2007). La température d'empâtage plus basse de certains cultivars implique une faible température de gélification et, par conséquent, une durée de cuisson plus courte (Otegbayo et al., 2006). L'étude de l'évaluation sensorielle et l'acceptabilité des consommateurs de la forme pilée des cultivars évalués réalisée par Fakorede et al. (2020b) a montré que les cultivars Ahimon, Gaboubaba, DrA65-2003 et Kratchi du groupe G2, dont les farines ont révélé les températures de gélification plus élevées, ont été qualifiés de très durs par les consommateurs après leur évaluation sensorielle, avec une longue durée de

cuisson. Nous pouvons alors estimer que la texture influence la température de gélification.

Fakorede et al. (2020b) ont également montré que les cultivars Kpagninan, Déba, Babétéi, Tchée, Bakarou, Dambani et Portchahabim, qui présentent ici de fortes viscosités, avaient montré des scores d'élasticité élevés, et leurs formes pilées sont plus appréciées par les consommateurs. Cependant, certains cultivars comme Assinan et Babétéi, malgré leurs scores d'élasticité élevés, ont été rejetés par les consommateurs. Les raisons de rejet de ces cultivars sont, entre autres, le goût amer, la formation de grumeaux et la texture dure. L'élasticité, la couleur et le goût font donc partie des traits caractéristiques pour une meilleure acceptabilité de l'agoun. Otegbayo et al. (2001) et Abulude et al. (2018) ont également rapporté que ces attributs font partie non seulement des traits caractéristiques très importants, mais aussi sont à l'origine de la préférence et surtout de la cherté de la plupart des tubercules aptes à produire du bon agoun sur le marché. Pour assurer un bon marché de consommation, de transformation et de commercialisation d'agoun instantané, l'élasticité, la couleur et le rendement sont donc les critères d'acceptabilité à promouvoir à travers la sélection. De plus, les sélectionneurs devront tenir compte des corrélations entre les caractéristiques rhéologiques, fonctionnelles et de couleur des farines identifiées pour tout programme de sélection d'igname ayant pour visée la fabrication de farines instantanées.

Les quatre groupes obtenus après classification hiérarchique ainsi que l'analyse en composante principale ont permis de détecter les points de similarités, non seulement entre les cultivars, mais aussi entre les groupes de cultivars. Les cultivars du groupe 4, malgré les fortes viscosités et luminances et le pouvoir de gonflement élevé présenté, sont moins rentables à la production en farine, à l'exception de Kpagninan. Les cultivars du groupe 3 présentent quelques faiblesses en ce qui concerne les viscosités et le gonflement des farines malgré leur forte clarté. Par contre, les cultivars du groupe 2 sont très rentables à la transformation avec une viscosité non négligeable, mais moins claire. Eu égard à toutes ces caractéristiques, le classement par ordre de priorité en tenant compte des principaux critères pour la reconstitution d'une pâte de qualité pouvant répondre aux exigences du marché de consommation, nous retenons les cultivars Kpagninan, Tchée, Anklouman du groupe 4, suivis de Singor, Parayobou, Agbaobé, Portchahabim, Tarayè du groupe 3 et finalement de Bakarou, Boniakpa, Babétéi, Déba, Dambani, DrA65, Wokourou, Assina du groupe 2 comme les meilleurs parents. Dans le cadre de programmes d'amélioration variétale de cultivars d'igname donnant des farines instantanées de bonne qualité, des hybridations entre les cinq cultivars du groupe 3 ayant présenté une forte luminance et les trois

cultivars du groupe 4 ainsi que les huit du groupe 2 sont fortement recommandés. Cependant, d'autres investigations doivent être réalisées pour prendre en compte les critères commerciaux de préférence (acceptabilité du consommateur, qualités nutritionnelle et sensorielle) des cultivars d'igname.

5. CONCLUSIONS

La présente étude a permis d'évaluer 48 cultivars d'ignames (*D. rotundata*) utilisés comme parents dans un programme de sélection au Bénin pour leurs aptitudes à la production de farines d'agoun instantanées en vue d'améliorer la chaîne de valeur de l'igname. Les résultats obtenus montrent que le rendement de production en farine, la couleur et les principales caractéristiques fonctionnelles et rhéologiques de la farine instantanée d'agoun varient en fonction du cultivar utilisé pour sa production. Au regard des exigences de qualité des consommateurs en lien avec les caractéristiques rhéologiques des farines des 48 cultivars étudiés, huit cultivars (Singor, Parayobou, Agbaobé, Portchahabim, Tarayè, Tchée, Anklouman, Kpagninan) ont été identifiés comme étant plus aptes à la production de farines instantanées d'igname pilée. Une introduction de ces cultivars dans le programme d'amélioration s'avère nécessaire pour l'obtention de variétés résistantes aux influences technologiques et permettant d'obtenir des farines répondant aux aspirations économiques et industrielles des producteurs et des transformateurs.

Remerciements

Cette étude a été financièrement soutenue par le projet Africayam financé par la Fondation Bill et Melinda Gates. Nous remercions très sincèrement Dr Innocent Dossou Aminon pour son appui technique et sa sincère collaboration. Nous remercions également toutes les personnes ayant contribué d'une manière ou d'une autre à la réalisation de ce travail.

Bibliographie

- Abiodun O.A., Akinoso R. & Oluoti O., 2014. Changes in functional and pasting properties of trifoliate yam flour during storage. *Appl. Sci. Environ. Manage.*, **18**, 337-334, doi.org/10.4314/jasem.v18i2.26
- Abulude F.O., Elemide A.O., Oladipupo O.K. & Ale T.A., 2018. Sensory analysis test of pounded yam made from a pounding machine designed and fabricated in Nigeria. *Preprints*, 1-8, doi.org/10.20944/preprints201810.0195.v1
- Adako P. et al., 2016. Evaluation of yam-cow pea flour fortification on the physicochemical, rheological

- characteristics, microbiological and acceptability of yam flour paste (amala). *EC Nutr.*, **4**, 885-904.
- Adejumo B.A., Okundare R.O., Afolayan O.I. & Balogun S.A., 2013. Quality attributes of yam flour (elubo) as affected by blanching water temperature and soaking time. *Int. J. Eng. Sci.*, **2**, 216-221.
- Adifon F.H. et al., 2019. Écologie, systèmes de culture et utilisations alimentaires des ignames en Afrique tropicale : synthèse bibliographique. *Cah. Agric.*, **28**, 22, doi.org/10.1051/cagri/2019022
- Afiukwa C.A. et al., 2013. Nutritional and antinutritional characterization of two wild yam species from Abakaliki, Southeast Nigeria. *Res. J. Pharm. Biol. Chem. Sci.*, **4**(2), 840-848.
- Amoo A.R.N., Dufie W.-M.F. & Ibok O., 2014. Physicochemical and pasting properties of starch extracted from four yam varieties. *J. Food Nutr. Sci.*, **2**, 262-269, doi.org/10.11648/j.jfns.20140206.14
- Amusa N.A., Adegbite A.A., Muhammed S. & Baiyewu R.A., 2003. Yam diseases and its management in Nigeria. *Afr. J. Biotechnol.*, **2**(12), 497-502, doi.org/10.5897/ajb2003.000-1099
- Baah F.D., 2009. *Characterization of water yam (Dioscorea alata) for existing and potential food products*. PhD thesis: Kwame Nkrumah University of Science and Technology, Kumasi (Ghana).
- Babajide J.M., Babajide S.O. & Oyewole O.B., 2007. Survey of traditional dry-yam slices (gbodo) processing operations in southwest Nigeria. *American-Eurasian J. Sustainable Agric.*, **1**, 45-49.
- Betancur D.A. et al., 2001. Physicochemical and functional characterization of baby lima bean (*Phaseolus lunatus*) starch. *Starch/Stärke*, **53**(5), 219-226, doi.org/10.1002/1521-379X(200105)53:5%3C219::AID-STAR219%3E3.0.CO;2-R
- Bolade K.M., Adeyemia I. & Ogunsuao A., 2009. Influence of particle size fractions on the physicochemical properties of maize flour and textural characteristics of a maize-based non fermented food gel. *Int. J. Food Sci. Technol.*, **44**, 646-655, doi.org/10.1111/j.1365-2621.2008.01903.x
- Christianson D.D., Hodge J.E., Osborne D. & Detroy R.W., 1981. Gelatinization of wheat starch as modified by xanthan gum, guar gum, and cellulose gum. *Cereal Chem.*, **58**, 513-517.
- Fakorede J. et al., 2020a. Sensory evaluation and consumers acceptability of some yam (*Dioscorea rotundata*) cultivars used as parents in a yam varietal development program in Benin. *Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci.*, **9**(3), 2083-2100, doi.org/10.20546/ijcmas.2020.903.239
- Fakorede J. et al., 2020b. Evaluation of proximate, sugars and mineral compositions of 48 yam (*Dioscorea rotundata*) cultivars used as parents in a breeding program in Republic of Benin. *Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci.*, **9**, 1663-1682, doi: https://doi.org/10.20546/ijcmas.2020.903.195
- FAO, 2018. *FAOSTAT crops database*, www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize, (02/04/2021).
- Huang C.C., Lin M.C. & Wang C., 2006. Changes in morphological, thermal and pasting properties of yam (*Dioscorea alata*) starch during growth. *Carbohydr. Polym.*, **64**(4), 524-531, doi.org/10.1016/j.carbpol.2005.11.009
- Jimoh K.O. & Olatidoye O.P., 2009. Evaluation of physicochemical and rheological characteristics of soybean fortified yam flour. *J. Appl. Biosci.*, **13**, 703-706.
- Kanu A.N., Ezeocha C.V. & Ogunka N.P., 2018. A review on bioactive compounds of yam varieties for human disease management. *Asian Food Sci. J.*, **1**(4), 1-10, doi.org/10.9734/AFSJ/2018/40473
- Kiin-Kabari D.B., Ejiofor J. & Giami S.Y., 2015. Functional and pasting properties of wheat/plantain flours enriched with bambara groundnut protein concentrate. *Int. J. Food Sci. Nutr. Eng.*, **5**, 75-81.
- Kolsi R.B.A. et al., 2017. Sulphated polysaccharide isolated from *Sargassum vulgare*: characterization and hypolipidemic effects. *Carbohydr. Polym.*, **170**, 148-159, doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.04.083
- Lawal O.S., 2004. Composition, physicochemical properties and retrogradation characteristics of native, oxidised, acetylated and acid-thinned new cocoyam (*Xanthosoma sagittifolium*) starch. *Food Chem.*, **87**(2), 205-218, doi.org/10.1016/j.foodchem.2003.11.013
- Lê S., Josse J. & Husson F., 2008. FactoMineR: an R package for multivariate analysis. *J. Stat. Software*, **25**(1), 1-18.
- Limpisut P. & Jindal V.K., 2002. Comparison of rice flour pasting properties using Brabender viscoamylograph and rapid visco analyser for evaluating cooked rice texture. *Starch/Stärke*, **54**(8), 350-357, doi:10.1002/1521-379X(200208)54:8<350::AIDSTAR350>3.0.CO;2-R
- Malomo O. et al., 2012. Rheological and functional properties of soy-pounded yam flour. *Int. J. Food Sci. Nutr. Eng.*, **2**, 101-107, doi.org/10.5923/j.food.20120206.01
- Moorthy S.N. & Ramanujam T., 1986. Variation in properties of starch in cassava varieties in relation to age of the crop. *Starch*, **38**, 58-61, doi.org/10.1002/star.19860380206
- Moorthy S.N., 2002. Physicochemical and functional properties of tropical tuber starches: a review. *Starch*, **54**, 559-592, doi.org/10.1002/1521-379X(200212)54:12<559::AID-STAR2222559>3.0.CO;2-F
- Muluaem T., Mekbib F., Hussein S. & Gebre E., 2018. Analysis of biochemical composition of yams (*Dioscorea* spp.) landraces from Southwest Ethiopia. *Agrotechnology*, **7**, 1-8, doi.org/10.4172/2168-9881.1000177
- Newport Scientific, 1998. *Applications manual for the rapid Visco analyzer using thermocline for Windows*. Warriewood, Australia: Newport Scientific Pty Ltd., 2-26.
- Nwakaudu A.A. et al., 2017. Effect of carboxymethylcellulose incorporation on the functional, pasting and sensory

- properties of water yam (*D. alata*) flour. *Eur. J. Food Sci. Technol.*, **5**, 1-12.
- Ogunlade I., Olaifa O., Adeniran O.A. & Ogunlade A.O., 2011. Effect of domestic processing on the amino acid profile of *Dioscorea rotundata* (white yam). *Afr. J. Food Sci.*, **5**, 36-39.
- Ogunleye A. O. & Ayansola O.T., 2014. Studies of some isolated rot-causing mycoflora of yams. *Am. J. Microbiol. Biotechnol.*, **1**(1), 9-20.
- Oke M.O. & Workneh T.S., 2013. A review on sweet potato postharvest processing and preservation technology. *Afr. J. Agric. Res.*, **8**, 4990-5003, doi.org/10.5897/AJAR2013.6841
- Olagunju-Yusuf O.F., Adebowale A.-R., Sobukola O. & Sanni L., 2019. The optimization of production of instant pounded yam flour using cultivars of white yam (*Dioscorea rotundata*). *Asian Food Sci. J.*, **13**(4), 1-9, doi.org/10.9734/afsj/2019/v13i430113
- Olaoye J.O. & Oyewole S.N., 2012. Optimization of some "poundo" yam production parameters. *Agric. Eng. Int.: CIGR J.*, **14**(2), 58-67
- Olayemi A.O., 2012. Effects of family size on household food security in Osun State, Nigeria. *Asian J. Agric. Rural Dev.*, **2**, 136-141, doi.org/10.22004/ag.econ.197951
- Olumurewa J.A.V., Ibidapo P.O. & Adebileje J.F., 2019. Evaluation of functional and pasting properties of instant pounded yam/plantain flour. *Adv. Obesity Weight Manage. Control*, **9**, 1-6, doi.org/10.15406/aowmc.2019.09.00265
- Oluwamukomi M.O. & Adeyemi A.O., 2015. Physico-chemical, pasting, and sensory properties of poundoyam enriched with defatted soy flour. *Appl. Trop. Agric.*, **20**, 89-95.
- Onitilo M.O., Sanni L.O., Oyewole O.B. & Maziya-Dixon B., 2007. Physicochemical and functional properties of sour starches from different cassava varieties. *Int. J. Food Prop.*, **10**(3), 607-620, doi:10.1080/10942910601048994
- Osungbaro T.O., Jimoh D. & Osundeyi E., 2012. Functional and pasting properties of composite cassava-sorghum flour meals. *Agric. Biol. J. North Am.*, **1**(4), 715-720.
- Otegbayo B., Sakyi-Dawson E., Bokanga M. & Robert A., 2001. Sensory texture profiling and development of standard rating scales for pounded yam. *J. Texture Stud.*, **36**, 478-488.
- Otegbayo B., Aina J., Asiedu R. & Bokanga M., 2006. Pasting characteristics of fresh yams (*Dioscorea* spp.) as indicators of textural quality in a major food product 'pounded yam'. *Food Chem.*, **99**, 663-669, doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.08.041
- Otegbayo B.O. et al., 2018. Characterizing genotypic variation in biochemical composition, anti-nutritional and mineral bioavailability of some Nigerian yam (*Dioscorea* spp.) land races. *J. Food Sci. Technol.*, **55**, 205-216, doi.org/10.1007/s13197-017-2913-0
- Otunola E.T. & Ogunbiyi R.S., 2005. Preliminary studies on the microbiological and physico-chemical characteristics of fermented pounded yam. *J. Nutr. Food Sci.*, **35**(3), 135-142, doi:10.1108/00346650510594877.
- Ozeocha C.V. & Okafor J.C., 2016. Evaluation of the chemical, functional and pasting properties of starch from trifoliate yam (*Dioscorea dumetorum*) landraces. *Eur. J. Adv. Res. Biol. Life Sci.*, **4**, 53-62.
- Rosida R.H., Estiasih T. & Sriwahyuni E., 2017. Functional and pasting characteristics of modified water yam flour. *Int. Food Res. J.*, **24**, 1880-1888.
- Shimelis E.A., Meaza M. & Rakshit S., 2006. Physico-chemical properties, pasting behavior and functional characteristics of flours and starches from improved bean (*Phaseolus vulgaris* L.) varieties grown in East Africa. *Agric. Eng.*, **8**, 1-18.
- Tangsrianugul N., Wongsagonsup R. & Suphantharika M., 2019. Physicochemical and rheological properties of flour and starch from Thai pigmented rice cultivars. *Int. J. Biol. Macromol.*, **137**, 666-675, doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.06.196
- Tortoe C. et al., 2014. Sensory attributes and consumer preference of precooked vacuum-packaged yam from two varieties of Ghanaian yam (*Dioscorea rotundata*) in the Accra metropolitan area. *Adv. Res.*, **2**, 40-51, doi.org/10.9734/AIR/2014/7502
- Tortoe C., Dowuona S., Akonor P.T. & Dziedzoave N.T., 2017. Examining the physicochemical, functional and rheological properties in flours of farmers' 7 key yam (*Dioscorea* spp.) varieties in Ghana to enhance yam production. *Cogent Food Agric.*, **3**:1, 1371564, doi.org/10.1080/23311932.2017.1371564
- Van Hal M., 2000. Quality of sweetpotato flour during processing and storage. *Food Rev. Int.*, **16**, 1-37, doi.org/10.1081/FRI-100100280
- Zaidul I.S.M. et al., 2007. Correlation between the compositional and pasting properties of various potato starches. *Food Chem.*, **105**, 164-172, doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.03.061
- Zheng G.H., Sosulski F.W. & Tyler R.T., 1997. Wet-milling, composition and functional properties of starch and protein isolated from buckwheat groats. *Food Res. Int.*, **30**, 493-502, doi.org/10.1016/S0963-9969(98)00021-0