

Impact de la conservation post récolte sur la taille et la digestibilité *in vitro* des granules de l'amidon de *Dioscorea alata* cultivar «brazo».

SORH Souleymane¹, LIBRA Michel Archange^{2*}, DOSSO Mamadou², N'GUESSAN Kouadio Jean-Parfait¹, KOUAME Lucien Patrice¹

Résumé

L'amidon de tubercule de *Dioscorea alata* cultivar «brazo» a été extrait puis étudié pendant toute la période de conservation post récolte. Les résultats de cette étude montrent que la taille des granules des amidons varie de 10 à 60 μm . Pendant la période de conservation, une diminution voir une disparition des granules d'amidon de petite taille a été observée. L'hydrolyse des amidons natifs par l' α -amylase du suc digestif de l'escargot *Archachatina ventricosa*, indique une résistance de ceux-ci à l'action hydrolytique de cette enzyme. En revanche, les amidons gélatinisés libèrent en présence de cette même α -amylase, des sucres réducteurs dont la quantité est fonction du temps d'incubation. Les valeurs au début (mois 0) de la conservation, ont été de $431,00 \pm 17,87 \mu\text{g}$ après 10 min d'incubation et $967,25 \pm 40,09 \mu\text{g}$ après 2 h d'incubation. Au septième mois, les valeurs de sucres réducteurs libérés après 10 min d'incubation ont été de $418,32 \pm 12,37 \mu\text{g}$ et de $1030,18 \pm 30,47 \mu\text{g}$ après 2 h d'incubation. Pour la même durée d'incubation, la quantité de sucres réducteurs n'a pas variée significativement ($P \leq 0,05$) avec le temps de conservation post récolte. La durée de conservation post récolte a affecté les granules d'amidon de petite taille, par contre elle n'a pas eu d'impact sur la digestibilité *in vitro* des amidons des tubercules de *Dioscorea alata* cultivar «brazo».

Mots clés : Conservation post récolte, Digestibilité, Amidon ; *Dioscorea alata* ; cultivar brazo.

Abstract

Abstract

Starch of tubers of *Dioscorea alata* cultivar brazo was extracted and studied throughout the post-harvest storage period. The results of this study showed that starch granule size values ranged from 10 to 60 μm . During the post-harvest period, a decrease or a disappearance of small starch granules was observed. The hydrolysis of the raw starches by the α -amylase of the digestive juice of the snail *Archachatina ventricosa*, indicates their resistance to the hydrolytic action of this enzyme. In contrast, in the presence of the same enzyme, the gelatinized starches release reducing sugars whose amount is function of the incubation time. The values at the beginning of the post-harvest period (month 0), were $431.00 \pm 17.87 \mu\text{g}$ after 10 min of incubation and $967.25 \pm 40.09 \mu\text{g}$ after 2 h of incubation. At month 7, the values of reducing sugars released after 10 min of incubation were $418.32 \pm 12.37 \mu\text{g}$ and $1030.18 \pm 30.47 \mu\text{g}$ after 2 hours of incubation. For the same incubation period, the amount of reducing sugars did not significantly vary ($P \leq 0.05$) with the post-harvest storage time. The post-harvest storage time affected the small starch granules, but had no effect on the *in vitro* digestibility of the starches from *Dioscorea alata* cultivar brazo tubers.

Key words : Post-harvest storage, Digestibility, Starch, *Dioscorea alata*, cultivar brazo

1 : Laboratoire de Biocatalyse et des Bioprocédés, Université Nangui Abrogoua, 08 BP 801 Abidjan 08 (Côte d'Ivoire).

2 : Département de Biochimie-Génétique, Université Peleforo Gon

Coulibaly de Korhogo, BP 1328 Korhogo (Côte d'Ivoire).

*Adresse pour correspondance : e-mail, libra_michel_archange@yahoo.fr ;

Tel : +225 07 63 20 34

Introduction

L'amidon est une substance de réserve synthétisée par les végétaux supérieurs (Smith, 2001). Il est abondant dans les céréales, les racines, les tubercules et les légumes (Bertolini, 2010) et représente la proportion la plus élevée de l'apport énergétique alimentaire dans le monde. Il est également important dans les industries du papier et du textile. Sur le plan biochimique, l'amidon est constitué principalement de deux composants, l'amylose et l'amylopectine (Fuentes *et al.*, 2019). L'amylose, polymère linéaire constitué d'unités D-glucose liées entre elles par des liaisons de type α (1 \rightarrow 4) dont le taux compris entre 20 et 30 % varie d'une espèce végétale à l'autre. L'amylopectine est un polysaccharide ramifié. Il est constitué par des chaînes formées d'unités D-glucose reliées par des liaisons de type α (1 \rightarrow 4) ; ces chaînes sont unies entre elles par des liaisons de type α (1 \rightarrow 6) donnant ainsi à l'amylopectine qui représente 70 à 80 % de la masse pondérale de l'amidon,

une structure arborescente (Durrani *et* Donald, 1995 ; Smith, 2001 ; Singh *et* Kaur 2004 ; Tester *et al.*, 2004 ; Pérez *et* Bertoff, 2010). Un troisième composant, appelé matériau intermédiaire possédant une structure intermédiaire entre l'amylose et l'amylopectine est aussi retrouvé dans l'amidon (Seguchi *et* Kanenaga, 1997 ; Blaszezak *et al.*, 2003). La taille et la forme des granules d'amidon dépendent de l'origine botanique de la plante, du stade de maturité du matériel biologique qui le contient (Lindeboom *et al.*, 2004 ; Dhital *et al.*, 2011 ; Libra *et al.*, 2012). Ces caractéristiques des granules d'amidon confèrent aux tubercules leurs propriétés fonctionnelles, justifiant de ce fait leurs utilisations artisanale et industrielle. Par rapport à autres cultures vivrières l'amidon demeure une denrée périssable. Il se pose alors le problème de sa conservation post récolte. En effet, au cours de cette période, l'amidon subit des modifications physico-chimiques qui influencent ses propriétés fonctionnelles. L'objectif de ce travail est d'évaluer cette influence du temps de conservation post récolte sur la taille

et digestibilité *in vitro* des granules de l'amidon de *Dioscorea alata* cultivar «brazo».

I-Matériel et méthodes

I-1 Matériel

Le matériel biologique utilisé dans ce travail est constitué de tubercules de *Dioscorea alata*, cv «brazo» et du suc digestif de l'escargot géant africain *Archachatina ventricosa*. Les tubercules sont issus de la plantation réalisée à cet effet sur le site de l'Université Nangui Abrogoua (Abidjan, Côte d'Ivoire).

I-2 Méthodes

I-2-1 Extraction de l'amidon du tubercule de *Dioscorea alata* cv «brazo»

L'amidon a été extrait selon la méthode décrite par Archange *et al.* (2012). Les tubercules d'ignames ont été pesés, épluchés, découpés en petits morceaux puis trempés dans une solution de bisulfite de sodium à 1 % (p/v) afin d'inhiber les brunissements enzymatiques. Après 10 min de trempage, les cossettes fraîches sont broyées à l'aide d'un mixeur de type MOULINEX 2000 (France) en présence d'eau jusqu'à l'obtention un broyat suffisamment fin. Le broyat a été tamisé et lavé à l'eau. L'amidon est entraîné par l'eau à travers un tamis de différentes mailles (500 µm, 250 µm, 100 µm). La suspension obtenue après le tamisage a été décantée afin de permettre le dépôt de l'amidon au fond du récipient. Le surnageant a été séparé du culot contenant de l'amidon sous la forme d'une pâte visqueuse. Après plusieurs lavages et décantations successifs, le culot a été dispersé et agité dans une solution de chlorure de sodium (4 %, p/v) afin de le déprotéiner. Après de nouvelles séries de lavages, suivies de décantations, le culot a été étalé sur du papier aluminium puis séché à l'étuve ventilée à 45 °C pendant 48 h. L'amidon sec a été broyé finement par une broyeuse de type BLENDOR (Lyon-France) puis tamisé et conditionné.

I-2-2 Observation et détermination de la taille des granules d'amidon

La forme des granules d'amidon natif a été observée au microscope optique de marque CETI (Belgique). Il a été connecté à un ordinateur de marque COMECTA et un écran JVC (Japon). La forme a été observée à l'objectif (x 40) du microscope.

La taille des granules d'amidon natif a été déterminée à l'échelle microscopique au moyen des logiciels Kappa Image de Base et Kappa Image Contrôle. Le logiciel Kappa Image Contrôle donne, en micromètre, les diamètres minimum et maximum de chaque granule d'amidon. La distribution du diamètre moyen des granules a été déterminée sur un total de 1000 granules, après avoir fait séjourner des échantillons d'amidon dans une étuve ventilée, pendant 1 heure, à 45 °C. A partir des données obtenues, le diamètre moyen de chaque

granule a été calculé selon la méthode décrite par Rasper (1971).

I-2-3 Distribution des fréquences du diamètre moyen des granules d'amidon natif

La distribution des fréquences a été traduite sous forme d'histogrammes et réalisée selon la règle de Sturge (Scherrer, 1984) qui a permis de définir le nombre de classes attendues et l'amplitude associée.

I-2-4 Préparation de la solution enzymatique

La digestibilité *in vitro* de l'amidon a été déterminée par l'étude des cinétiques de son hydrolyse. L' α -amylase du suc digestif de l'escargot *Archachatina ventricosa* est l'enzyme utilisée. Elle présente le même mode d'action que l' α -amylase du suc pancréatique et de la flore intestinale de certains animaux.

Le suc digestif a été recueilli selon la méthode décrite par Colas *et Attias* (1975). Le prélèvement a été effectué sur un lot de dix (10) escargots gardés à jeun pendant 3 jours. La coquille des mollusques a été débarrassée avec précaution. Le tube digestif a été repéré et isolé de la masse viscérale à l'aide d'une pince puis placé au-dessus d'un entonnoir contenant de la gaze. L'extrait obtenu a été centrifugé à 6000 trs /min pendant 30 min à l'aide d'une centrifugeuse réfrigérée de marque ALESTRA (Espagne). Le surnageant constituant l'extrait enzymatique a été recueilli, conditionné dans des tubes eppendorfs qui sont conservés au congélateur.

I-2-5 Digestibilité *in vitro*

La digestibilité *in vitro* de l'amidon natif et gélatinisé a été déterminée par l'utilisation de l'alpha-amylase d'*Archachatina ventricosa*, qui est responsable de la transformation de l'amidon en glucose, maltose et dextrine limite. Elle présente certaines analogies d'action avec l'alpha-amylase salivaire et pancréatique du porc (Favier, 1969). Le milieu réactionnel constitué de 0,4 mL de tampon acétate 100 mM, pH 5, 4 mL d'amidon natif ou gélatinisé (4 %, p/v) et 0,2 mL de solution enzymatique a été incubé à 37 °C. A chaque intervalle de 10 min, une partie aliquote de 200 µL a été prélevée. La réaction a été arrêtée par addition de 200 µL de DNS (Acide 3,5 dinitro salicylique). Le mélange a été chauffé au bain marie bouillant pendant 5 min. Après addition de deux (2) mL d'eau distillée l'intensité de la coloration a été déterminée à 540 nm par la lecture de la densité optique (DO) au spectrophotomètre de marque GENESYS 5 (Espagne).

I-2-5 Analyses statistiques

Toutes les mesures ont été réalisées en triple. Pour étudier l'évolution des paramètres en fonction du temps de conservation, des analyses statistiques ont été effectuées à l'aide des logiciels STATISTICA 7 (Statsoft Inc, Tulsa-USA Headquarters) et XLSTAT-Pro 7.5.2 (Addinsoft Sarl, Paris-France). Elles ont permis de calculer les variances. Les comparaisons entre les variables dépendantes ont été déterminées au moyen de l'analyse des variances (ANOVA) à deux facteurs et du test de Duncan. La signification statistique a été définie à $P \leq 0,05$.

II- Résultats

II-1 Morphologie des granules d'amidon de *Dioscorea alata* cv «brazo»



Figure 1 : Photographie des granules d'amidon de *Dioscorea alata* cv «brazo» au microscope optique (grossissement x 400).

Les granules d'amidon du tubercule de *Dioscorea alata* cv «brazo» sont de forme cylindro-biconique.

II-2 Evolution de la taille des granules de l'amidon de *Dioscorea alata* cv «brazo» au cours de la conservation post-récolte

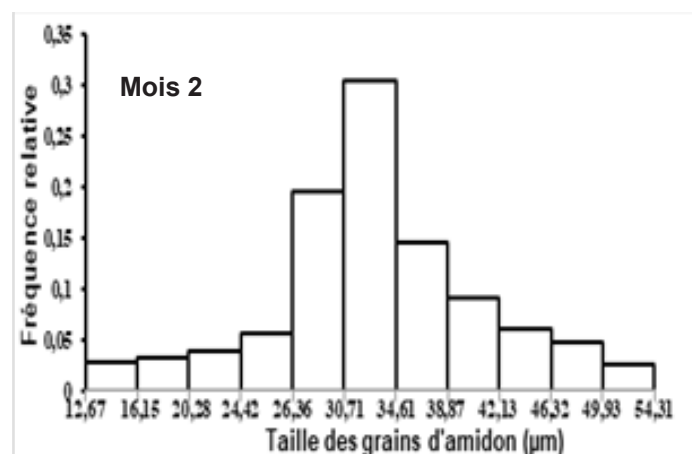
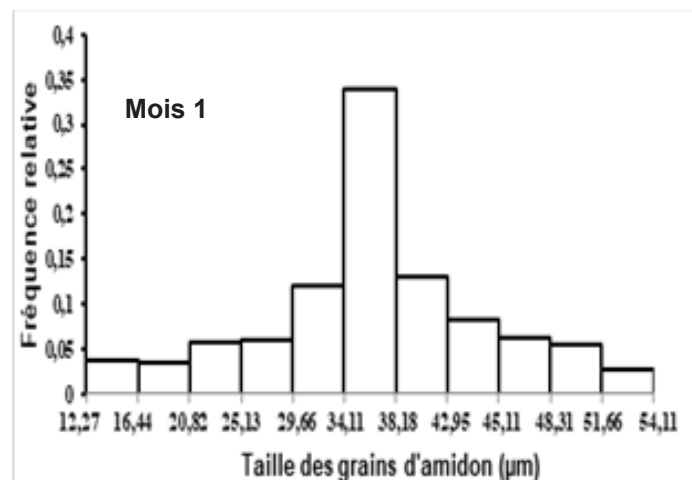
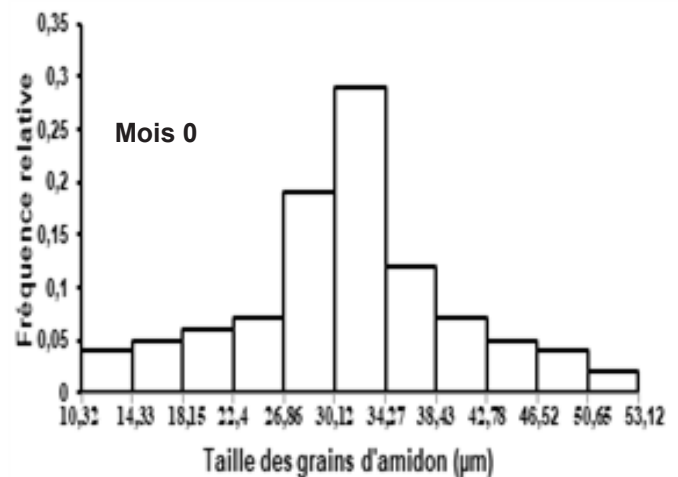
La distribution des fréquences de la taille des granules des amidons est unimodale. La taille des granules varie entre 10 et 60 μm . Le mode est atteint pour des granules dont les tailles appartenant à la classe [35 μm – 40 μm]. Celui-ci est resté constant durant toute la durée de l'expérience (Figures 2). En revanche, l'amplitude des classes appartenant aux granules de petite taille a diminué significativement ($P > 0,05$) au cours de la durée de conservation post-récolte. Du mois zéro au septième mois de conservation, les amplitudes des classes relatives aux granules de petites tailles ont été respectivement ([10,32 - 14,33[; 0,04) ; ([12,27 - 16,44[; 0,037) ; ([12,67 - 16,35[; 0,029) ; ([12,91 - 15,35[; 0,029) ; ([13,36 - 16,32[; 0,02) ; ([13,50 - 16,44[; 0,015) ; ([13,71 - 16,44[; 0,012) ; ([13,91 - 16,26[; 0,01).

II-3 Evolution de la digestibilité *in vitro* des granules d'amidons de *Dioscorea alata* cv «brazo» au cours de la conservation post-récolte

Le taux de sucres réducteurs issus de l'hydrolyse enzymatique de l'amidon natif du tubercule *Dioscorea alata* cv «brazo» à différents stades de la conservation post récolte, n'a pas varié de façon significative ($P \leq 0,05$) quel que soit le temps d'incubation (Tableau I). Les valeurs observées au début de la conservation ont été de $23,89 \pm 0,53 \mu\text{g}$ après 10 min d'incubation et $22,46 \pm 0,27 \mu\text{g}$ après 1h30 min d'incubation. Au septième mois de conservation, les valeurs ont été de $24,56 \pm 0,92 \mu\text{g}$ après 10 min d'incubation et $24,86 \pm 0,9327 \mu\text{g}$ après 1h30 min d'incubation.

Concernant les granules d'amidon gélatinisé, une augmentation significative ($P > 0,05$) du taux de sucres réducteurs issus de l'hydrolyse enzymatique a été observée en fonction de la durée d'incubation (Tableau II). Les valeurs

de sucres réducteurs au début de la conservation ont été de $431,00 \pm 17,87 \mu\text{g}$ après 10 min d'incubation et $967,25 \pm 40,09 \mu\text{g}$ après 2 h d'incubation. Au septième mois de la conservation post récolte, les valeurs de sucres réducteurs ont été après 10 min d'incubation de $24,56 \pm 0,92 \mu\text{g}$ et $1030,18 \pm 30,47 \mu\text{g}$ après 2 h d'incubation. Pour le même temps d'incubation, le taux de sucres réducteurs issus de l'hydrolyse enzymatique n'a pas varié significativement ($P \leq 0,05$) (Tableau II). Les valeurs du taux de sucres réducteurs oscillent entre $378,61 \pm 14,68 \mu\text{g}$ et $448,34 \pm 14,57 \mu\text{g}$ après 10 min d'incubation et entre $931,57 \pm 36,12 \mu\text{g}$ et $1030,18 \pm 30,47 \mu\text{g}$ après 2 h d'incubation.



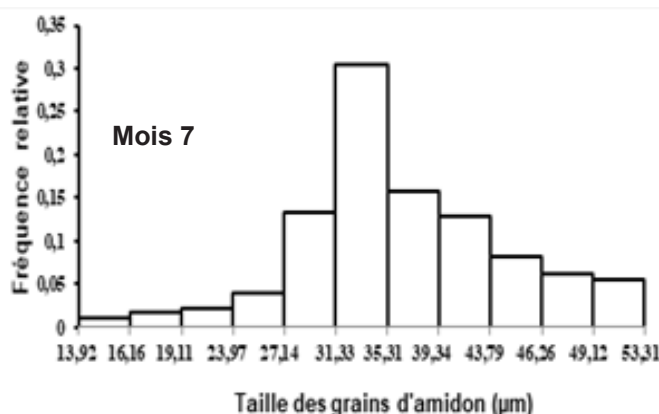
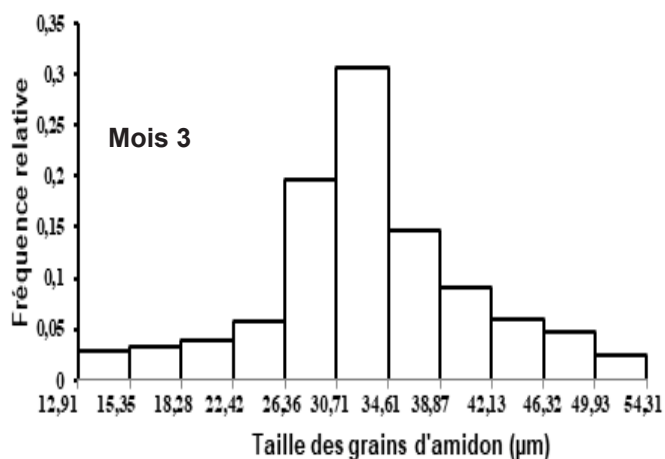


Figure 2 : Fréquence de distribution de la taille des granules des amidons natifs du tubercule de *Dioscorea alata* cv «brazo» au cours de la conservation post-récolte

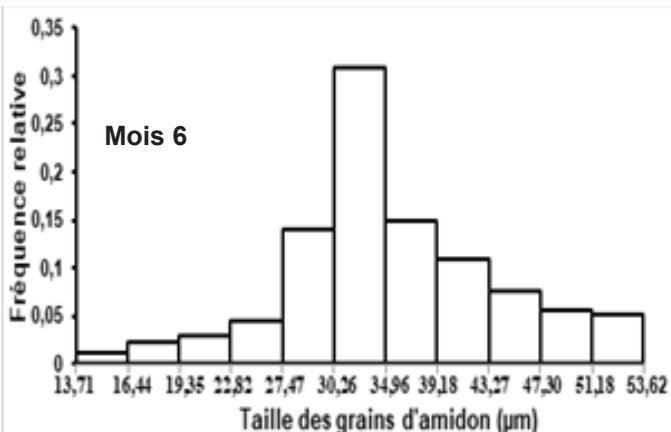
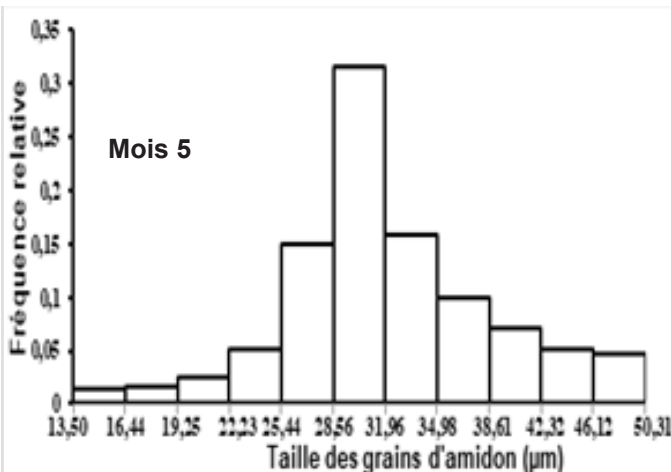
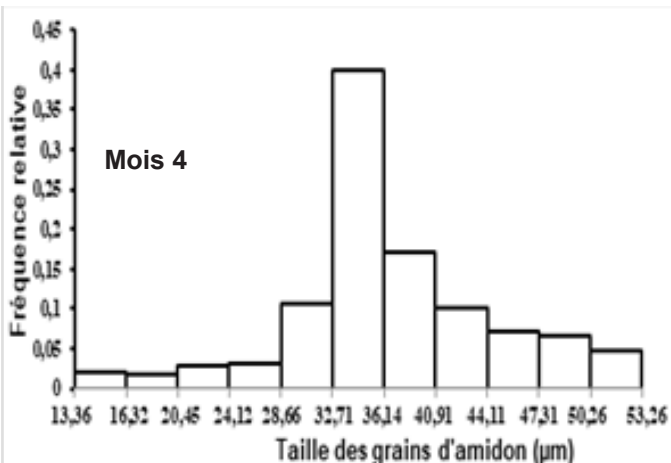


Tableau I : Hydrolyse enzymatique de l'amidon natif de *Dioscorea alata* cv «brazo»

Temps de conservation (Mois)	Quantité de sucres réducteurs libérée ((µg/g))									
	10	20	30	40	50	60	80	100		
0	23,89±0,60 ^a	19,85±0,38 ^a	26,14±0,99 ^a	25,01±0,36 ^a	26,14±0,99 ^a	25,24±0,80 ^a	26,02±0,36 ^a	22,46±0,27 ^a		
1	18,93±0,60 ^a	22,42±0,71 ^a	24,41±0,78 ^a	22,92±0,73 ^a	25,41±0,81 ^a	26,90±0,85 ^a	21,42±0,68 ^a	22,72±0,72 ^a		
2	22,92±0,85 ^a	19,73±0,73 ^a	21,44±0,65 ^a	22,43±0,84 ^a	27,11±1,01 ^a	25,32±0,94 ^a	24,52±0,91 ^a	26,01±0,97 ^a		
3	25,68±0,53 ^a	22,55±0,46 ^a	20,02±0,41 ^a	22,65±0,46 ^a	24,37±0,50 ^a	27,00±0,55 ^a	25,48±0,52 ^a	24,27±0,50 ^a		
4	22,77±0,33 ^a	27,55±0,40 ^a	25,82±0,37 ^a	27,15±0,39 ^a	24,91±0,36 ^a	20,03±0,29 ^a	23,89±0,35 ^a	22,77±0,33 ^a		
5	23,25±0,69 ^a	19,24±0,57 ^a	26,56±0,78 ^a	23,55±0,69 ^a	22,55±0,67 ^a	27,66±0,82 ^a	24,56±0,72 ^a	25,86±0,76 ^a		
6	23,43±0,94 ^a	21,83±0,87 ^a	22,53±0,78 ^a	22,53±0,90 ^a	26,34±1,05 ^a	24,43±0,98 ^a	26,03±1,04 ^a	26,74±1,07 ^a		
7	24,56±0,92 ^a	18,54±0,69 ^a	24,56±0,92 ^a	25,66±0,96 ^a	26,56±1,00 ^a	22,55±0,84 ^a	26,36±0,99 ^a	24,86±0,93 ^a		

Les moyennes affectées de lettre commune ne sont pas significativement différentes (P<0,05).

III- Discussion

La forme cylindro-biconique des granules d'amidon de *Dioscorea alata* cv «brazo» diffère de celle des granules d'amidon de *Dioscorea bulbifera* qui ont une forme ovo-triangulaire (Archange *et al.*, 2012).

La taille des granules d'amidon de *Dioscorea alata* cv «brazo» varie de 10,32 à 60 µm au cours de la conservation post-récolte. Les valeurs de la taille de ces granules restent supérieures à celles du tubercule du manioc (*Manihot esculenta* Crantz) 1,51 à 33,2 µm et proches de celles de l'amidon de *Dioscorea rotundata* (10,6 µm - 54,4 µm) selon Ehui *et al.* (2009). En revanche, la taille des granules d'amidon de notre étude est inférieure à celle de la pomme de terre (*Solanum tuberosum*) qui présente des valeurs de 15 µm à 100 µm (Tester *et al.*, 2006 ; Kowsik *et Mazumder*, 2018 ; Fuentes *et al.*, 2019). La conservation post-récolte a permis d'observer une diminution de la quantité des granules d'amidon de petites tailles. Ce qui suggère que les tubercules d'igname entrés en dormance, sont le siège d'intenses activités hydrolytiques induites par les enzymes amylolytiques notamment les α-amylases et phosphorylases, qui attaquent préférentiellement les granules d'amidon de petites en libérant le glucose, le maltose et des dextrines limites (Vasanthan *et al.* 1996).

L'α-amylase d'*Archachatina ventricosa* présente une sensibilité très faible sur les différents amidons natifs de *Dioscorea alata* cv «brazo», suggérant que ces molécules ne sont pas hydrolysées par l'α-amylase compte tenu de leur structure semi cristalline due à la présence de la croix de biréfringence (Builders *et al.*, 2010 ; Ma *et al.*, 2010 ; Afolabi *et al.*, 2016 ; Tian *et al.*, 2017 ; Zhang *et al.*, 2017). En effet, Favier (1969) a montré que les amidons crus d'ignames sont difficilement hydrolysés par l'α-amylase bactérienne (N. B. C). La présence d'une faible quantité de sucres réducteurs dans le milieu réactionnel proviendrait soit de l'hydrolyse amyliques des granules d'amidon qui a lieu au cours de la conservation post récolte, soit de l'hydrolyse des granules d'amidon endommagés au cours des opérations mécaniques d'extraction (Horseney, 1994). En revanche, les amidons gélatinisés de *Dioscorea alata* ont été très hydrolysés par l'α-amylase du suc digestif de l'escargot. Ce résultat est en accord avec celui obtenu par Bornet (1992) et Amani *et al.* (2004) sur l'hydrolyse enzymatique de l'amidon de gingembre. En effet, en présence d'un excès d'eau et à des températures supérieures à 70 °C, les granules d'amidon gélatinisent. Ce phénomène serait la conséquence de la destruction de la structure semi-cristalline entraînant le gonflement des granules d'amidon par rupture des liaisons hydrogènes et la solubilisation du contenu granulaire (Cook *et Gidley*, 1992 ; Tester *et Debon* ; 2000 ; Waigh *et al.*, 2000). Ce qui expose les granules d'amidon aux enzymes amylolytiques qui les hydrolysent en glucose, maltose et dextrine limite.

Conclusion

Les différents amidons extraits des tubercules de *Dioscorea alata* au cours de la conservation post récolte présentent des tailles variables (10 à 60 µm). Au cours de

Tableau II : Hydrolyse enzymatique de l'amidon gélatinisé *Dioscorea alata* cv «brazo»

Temps de conservation (Mois)	Quantité de sucres réducteurs libérée (µg/g)											
	10	20	30	40	50	60	80	100	120			
0	431,00±17,87 ^a	501,17±20,77 ^b	545,27±22,60 ^c	578,85±23,99 ^d	641,49±26,59 ^e	741,73±30,75 ^f	791,84±32,82 ^g	897,09±37,19 ^h	967,25±40,09 ⁱ			
1	378,61±14,68 ^a	468,28±18,16 ^b	572,8±22,219 ^c	594,81±23,06 ^d	607,76±23,56 ^e	677,51±26,27 ^f	737,29±28,59 ^g	858,84±33,30 ^h	931,57±36,12 ⁱ			
2	403,75±6,79 ^a	509,24±8,53 ^b	584,45±9,94 ^c	603,51±10,28 ^d	649,82±10,92 ^e	713,06±12,04 ^f	773,31±13,06 ^g	883,73±15,00 ^h	989,27±16,66 ⁱ			
3	448,34±14,57 ^a	523,57±17,02 ^b	559,67±18,19 ^c	603,81±19,63 ^d	673,01±21,88 ^e	730,18±23,74 ^f	804,91±26,16 ^g	877,63±28,53 ^h	954,86±31,04 ⁱ			
4	395,92±8,53 ^a	481,12±10,37 ^b	562,31±12,11 ^c	624,45±13,45 ^d	655,53±14,12 ^e	703,64±15,16 ^f	781,82±16,84 ^g	903,10±19,46 ^h	1002,33±21,59 ⁱ			
5	423,69±7,74 ^a	544,17±9,94 ^b	585,33±10,69 ^c	602,40±11,00 ^d	663,64±12,12 ^e	759,02±13,86 ^f	803,20±14,66 ^g	908,62±16,59 ^h	1000,99±18,28 ⁱ			
6	453,26±10,75 ^a	528,81±12,54 ^b	588,45±13,96 ^c	627,21±14,88 ^d	629,20±14,99 ^e	742,52±17,61 ^f	810,11±19,22 ^g	892,61±21,17 ^h	986,05±23,39 ⁱ			
7	418,32±12,37 ^a	501,98±14,85 ^b	551,38±16,75 ^c	586,66±17,35 ^d	637,06±18,84 ^e	739,87±21,89 ^f	803,38±23,76 ^g	924,34±27,34 ^h	1030,18±10,47 ⁱ			

Les moyennes affectées de lettre commune ne sont pas significativement différentes (P≤0,05)

cette période, les granules d'amidon de petite taille diminuent progressivement. Contrairement aux amidons natifs, les amidons gélatinisés sont hydrolysés par l' α -amylase du suc digestif d'*Archachatina ventricosa*. La durée de conservation post récolte n'a pas eu d'impact sur la digestibilité *in vitro* des amidons des tubercules de *Dioscorea alata*.

BIBLIOGRAPHIE

- Afolabi O.A., Osamudiamen P.M., Osundahusi O.F.** 2016. Chemical properties, *in vitro* digestibility and estimated glycemic index of water yam, cocoyam, sweet potato and cassava. *Applied Tropical Agriculture* 21, 3: 19-26.
- Archange L.M., Soumaila D., Siaka B., Tia G.J., Patrice K.L.** 2012. Physicochemical properties and digestibility of starch from bulbils of two cultivars of *Dioscorea bulbifera* during the growth. *International Journal of Agronomy and Agricultural Research* 2, 12: 34-42.
- Bertolini A.C.** 2010. Trends in starch applications. In starch Characterization, Properties and Applications (A. C. Bertolini Ed) CRC Press: 99p.
- Błaszczak W., Valverde S., Fornal J., Amarowicz R. Lewandowicz G., Borkowski K.** 2003. Changes in the microstructure of wheat, corn and potato starch granules during extraction of non-starch compounds with sodium dodecyl sulfate and mercaptoethanol. *Carbohydrate Polymers* 53: 63-73.
- Bornet F.** 1992. Technologie des amidons, digestibilité et effets métaboliques. *Cahiers de Nutrition et de Diététique* 27(3): 170-178.
- Builders P.F., Nnurum A., Mbah C.C., Attama A.A., Manek R.** 2010. The physicochemical and blinder of starches from *persea americana* Miller (Lauraceae). *Starch/Stärke* 62: 309-320.
- Colas B., Attias J.** 1975. Caractérisation de quelques activités hydrolasiques du suc digestif d'*Achatina balteata*. *Brochure* 53: 1019-1027.
- Cooke D., Gidley M.J.** 1992. Loss of crystalline and molecular order during starch gelatinization origin of enthalpy transtion. *Carbohydrate Research* 227: 103-112.
- Dhital S. Shrestha A.K., Hasjim J., Gidley M.J.** 2011. Physicochemical and structural properties of maize and potato starches as a function of granule size. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 59(18): 10151-10161.
- Durrani C.M., Donald A.M.** 1995. Physical characterization of amylopectin gels. *Polymer Gels and Network* 3(1): 1-27.
- Ehui F.H., Djedji C., Sako. A., Amani N.G.** 2009. Propriétés fonctionnelles des amidons de six variétés sélectionnées de manioc (*Manihot esculenta crantz*). *Agronomie Africaine* 21: 1015-2288.
- Favier J.C.** 1969. Etude de la digestibilité *in vitro* de l'amidon de diverses plantes alimentaires du Sud-Cameroun. *Industries Alimentaires et Agricoles* 77: 9-13.
- Fuentes C., Kang I., Lee J. Song D., Sjöo, Choi J., Lee S., Nilsson L.** 2019. Fractionation and characterization of starch granules using field-flow (FFF) and differential scanning calorimetry (DSC). *Analytical and Bioanalytical Chemistry* 411: 3665-3674.
- Hoseney C.** 1994. Principles of cereal. Congress Catalogue Card Number, Second edition, 378p.
- Kowsik P.V., Mazumder N.** 2018. Structural and chemical characterization of rice and potato starch granules using microscopy and spectroscopy. *Microscopy Research and Technique* 81(12): 1533-1540.
- Libra M.A, Gonnety J.T., Ahi A.P Dabonné S. Ahipo E.D., Kouamé L.P.** 2011. Physicochemical changes in bulbils of two cultivars of *Dioscorea bulbifera* during the ripening period. *Advance Journal of Food Science and Technology* 3(5): 327-331.
- Lindeboom N., Chang P.R., Tyler R.T.** 2004. Analytical, biochemical and physicochemical aspect of starch granule size, with emphasis on small granule straches. *A review. Starch* 56(3-4): 89-99.
- Ma X.C., Chang P.R., Zheng P., Yu J., Ma X.** 2010. Characterization of new starches separated from several traditional chinese medicines. *Carbohydrate Polymers* 82: 148-152.
- Pérez S., Bertoff E.** 2010. The molecular structures of starch components and their contribution to the architecture of starch granules : A comprehensive review. *Starch/ Stärke* 62: 389-420.
- Rasper V.** 1971. Investigations on starches from major starch crops grown in Ghana III. Particle size and particle size distribution. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 22: 572-580.
- Scherrer B.** 1994. Biostatistique, Chicoutimi, Quebec, Canada, Gaétan Morin, 850p.
- Seguchi M., Kanenaga K.** 1997. Study of three-dimensional structure of wheat starch granules stained with Remazolobriant Blue R dyed and extracted with aqueous sodium dodecyl sulphate and mercaptoethanol. *Cereal Chemistry* 72(6): 602-608.
- Singh N., Kaur L.** 2004. Morphological, thermal, rheological and retrogradation properties of potato starch fractions varying in granule size. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 84(10):1241-1252.
- Smith A.M.** 2001. The biosynthesis of starch granules. *Biomacromolécules* 2(2): 335-341.
- Tester R.F., Qi X., Karkalas J.** 2006. Hydrolysis of native starches with amykases. *Animals Feed Science and Technology* 130(1-2): 39-64.
- Tester R.F., Karkalas J., Qi X.** 2004. Composition finestructure and architecture. *Journal of Cereal Science* 39(2):151-165.

- Tester R.F., Debon S.J.J.** 2000. Annealing of starch-A review *International. Journal of Biological Macromolecules* 27: 1-12.
- Tian J., Chen S, Shi J., Chen J., Liu D., Cai Y., Ogawa Y., Ye X.** 2017. Microstructure and digestibility of potato strips produced by conventional frying and air-frying : An *in vitro* study. *Food structure* 14: 30-35.
- Vasanthan T., Bhatti R.S.** 1996. Physicochemical properties of small- and large granule starches of waxy, regular and high-amylose barleys. *Cereal Chemistry* 73: 199-207.
- Waigh T.A., Gidley M.J., Komanshek B.U., Donald A.M.** 2000. The phase transitions in starch during gelatinization : a liquid crystalline approach. *Carbohydrate Research* 328: 165-176.
- Zhang S., Fan X., Lin L., Zhao L., Liu A., Wei C.** 2017. Properties of starch from root tuber of *Stephania epigaea* in composition with potato and maize starches. *International Journal of Food Properties* 20: 1740-1750.