
Soumis le: 23/05/2020

Forme révisée acceptée le: 29/07/2020

Correspondant: nawel.belalia@yahoo.fr



Revue
Nature et Technologie

<http://www.univ-chlef.dz/revuenatec>

ISSN : 1112-9778 – EISSN : 2437-0312

Évaluation de la diversité agro-morphologique des accessions de maïs (*Zea mays* L.) originaires des Oasis Sahariennes

Nawel BELALIA^{a,b,*}, Majda KHELIFI-SLAOUI^a, Lakhdar KHELIFI^a

^a École Nationale Supérieure d'Agronomie (ENSA), Avenue Hassan Badi - 2 Rue des Frères OUDEK El Harrach, Algérie

^b Université M'Hamed Bougara de Boumerdès, Avenue de l'indépendance, Boumerdès 35 000, Algérie

Résumé

En vue de valoriser le germoplasme du maïs autochtone algérien, un ensemble de 60 accessions originaires des Oasis Sahariennes a été caractérisé à l'aide de 17 descripteurs quantitatifs. L'analyse de la variance a montré une différence significative ($p < 0.05$) entre les accessions pour huit caractères quantitatifs qui ont expliqué la plus grande part de la variabilité observée. La comparaison des moyennes par le test LSD (Least significant difference) au seuil de 5 % a permis de répartir les accessions en plusieurs groupes homogènes. L'analyse en composante principale (ACP) a permis de connaître la relation qui existe entre les descripteurs considérés et de faire ressortir ceux qui discriminent le plus nos accessions de maïs. L'ACP a réparti les accessions de maïs sahariennes, indépendamment de leur origine géographique, en trois groupes contrastés identiques à ceux identifiés suite à une classification ascendante hiérarchique (CAH). La caractérisation de l'ensemble de la collection a révélé une grande variabilité phénotypique au sein des accessions et a fait apparaître celles ayant des traits d'intérêt agronomique. Les accessions les plus précoces, adaptées à des saisons de pluie courte, fourniraient aux sélectionneurs un outil simple pour échapper au stress hydrique. De même, les génotypes caractérisés par de courts ASI (Anthesis Silking Interval) peuvent également servir pour la tolérance à la sécheresse.

Mots-clefs : *Zea mays* L.; Oasis Sahariennes; Descripteurs agro-morphologiques

Evaluation of the agro-morphological diversity of maize (*Zea mays* L.) accessions originating from Saharan oases

Abstract

In order to evaluate the native Algerian maize germplasm, 60 accessions originating from the South of Algeria were characterized using 17 quantitative descriptors. The analysis of variance showed a significant difference ($p < 0.05$) between the accessions for eight quantitative characters which explained most of the observed variability. The comparison of means by the LSD (Least significant difference) test at 5 % level of significance allowed us to separate the 60 accessions into several homogeneous groups. The principal component analysis (PCA) allowed us to know the relationship between the descriptors considered and to bring out those which discriminate our accessions of maize. The PCA partitioned the Saharan accessions, regardless of their geographic origin, into three contrasting groups identical to those identified following an ascending hierarchical classification (CAH). The characterization of the entire collection revealed a great phenotypic variability within the accessions and showed those that have traits of agronomic interest. The earliest accessions, adapted to short rainy seasons, would provide breeders with a simple tool to escape water stress. Likewise, genotypes characterized by short ASI (Anthesis Silking Interval) can also be used for drought tolerance.

Keywords: *Zea mays* L.; Saharan Oases; Agro-morphological descriptors

1. Introduction

Le maïs (*Zea mays* L.) est l'une des espèces cultivées les plus diversifiées [1]. Sa grande diversité, qui résulte d'une longue période d'amélioration

pratiquée par les amérindiens [2], a fortement contribué à son adaptation relativement rapide à d'autres continents [3]. Son introduction au continent africain s'est effectuée au sixième siècle [4], sa culture s'est étendue aux quatre coins du continent en une période

courte de 500 ans ; il est maintenant la culture céréalière la plus importante [5]. En Algérie, la culture du maïs remonte au 16^{ème} siècle [6] suite à son introduction par les Arabes et les Maures [5]. Après sa culture dans les Oasis Sahariennes pendant des siècles [7], il s'est adapté aux conditions extrêmes qui caractérisent le climat Saharien et qui sont favorables à la sélection de gènes d'intérêt [8].

Le maïs fait partie des céréales et des cultures fourragères qui constituent le patrimoine génétique du Sahara algérien, et sont, par conséquent, considérées comme propre à la région [9]. Ce germoplasme autochtone mérite donc d'être évalué et conservé en vue d'être utilisé dans les programmes d'amélioration du maïs. En effet, toute stratégie d'amélioration ou de gestion des ressources génétiques nécessite la description et la mesure préalable de la diversité de ces ressources [10]. La caractérisation morphologique constitue la première étape incontournable pour l'évaluation, la description et la classification du germoplasme du maïs [11,12]. Elle permet une identification des accessions spécifiques et révèle généralement d'importants traits d'intérêts pour les sélectionneurs [13]. En outre, les caractères morphologiques présentent l'avantage d'être facilement perceptibles et constituent un niveau de diversité auquel les agriculteurs ont un accès immédiat [14].

Une première caractérisation du germoplasme autochtone du maïs saharien a porté sur la description agro-morphologique de 10 accessions originaire du sud algérien [15] ; l'étude a révélé un large éventail de variabilité pour l'adaptation du maïs aux conditions tempérées. Plus récemment, une autre étude a porté sur l'évaluation du maïs algérien dans des conditions de sécheresse [16]. Les auteurs ont suggéré que les populations évaluées peuvent être considérées comme une nouvelle source d'allèles favorables pour la tolérance à la sécheresse.

L'objectif de cette étude est d'évaluer la diversité agro- morphologique d'un ensemble d'accessions de maïs originaires des Oasis Sahariennes, notamment ceux de la région de Touat et du Tidikelt, et de déterminer leur degré de similitude ou de différence par rapport à leur répartition géographique.

2. Matériel et méthodes

2.1. Matériel végétal

La caractérisation phénotypique a porté sur 60 accessions de maïs (*Zea mays* L.) représentatives de la variabilité existante dans certaines Oasis du Sahara Algérien (Figure1, Tableau 1). Ces accessions ont été collectées principalement dans la région du Touat et du Tidikelt qui sont rattachées à la wilaya¹ d'Adrar et de Tamanrasset, respectivement. Ces deux régions, avec leur analogue le Gourara, couvrent un cinquième du Sahara Algérien et près d'un sixième du territoire national [17]. Cet ensemble régional, le Touat, le Tidikelt et le Gourara, qui s'étale jusqu'aux confins de l'Erg oriental à l'Est, couvre en grande partie l'Erg occidental au Nord et s'ouvre sur un immense Erg au Sud, le Tanezrouft [18] ; il figure parmi les régions les plus arides au monde [19].



Figure 1. Présentation des zones de prospection et de collecte des accessions de maïs.

¹ Circonscription administrative

Tableau 1

Présentation des 60 accessions Algériennes de maïs ayant fait objet de la présente étude, leur origine ainsi que leurs coordonnées géographiques.

Code	Site de collecte	Village (Daïra)	Région	Latitude	Longitude	Numéro
TGN	Timoghten	Aoulef	Adrar	27° 01' 00,70"N	1° 00' 23,50"E	1
MRG	El Mergueb	Aoulef	Adrar	26° 58' 26,90"N	1° 05' 01,08"E	2
BMR	Bled Moulay Rechid	Aoulef	Adrar	26° 58' 26,96"N	1° 05' 01,08"E	3
GAG	Gaougaou	Aoulef	Adrar	26° 58' 26,96"N	1° 05' 01,08"E	4
ZOI	Zaouia	Aoulef	Adrar	26° 58' 26,96"N	1° 05' 01,08"E	5
EGC	Erg chich	Aoulef	Adrar	25° 49' 09,70"N	0° 54' 09,00"O	6
RGN	Reggane	Reggane	Adrar	26° 42' 56,70"N	0° 10' 17,00"E	7
ZRG	Zaouit - Reggani	Reggane	Adrar	26° 42' 56,70"N	0° 10' 17,00"E	8
IZG	Inzeqlouf	Reggane	Adrar	26° 52' 55,10"N	0° 01' 04,90"O	9
TMD2	Timadanine	Reggane	Adrar	26° 41' 56,00"N	0° 06' 37,00" E	10
TNR	Tinourt	Reggane	Adrar	26° 42' 56,70"N	0° 10' 17,00"E	11
BAH	Boura	Reggane	Adrar	26° 13' 43,90"N	0° 32' 26,00"O	12
ALL	Allouchia	Reggane	Adrar	27° 39' 01,30"N	0° 18' 54,30"O	13
MHZ	El Maharza	Reggane	Adrar	26° 42' 56,70"N	0° 10' 17,00"E	14
GNJ	Gasbet Nadjar	Reggane	Adrar	26° 42' 56,70"N	0° 10' 17,00"E	15
BAL	Bab Allah	Reggane	Adrar	26° 42' 56,70"N	0° 10' 17,00"E	16
MHF	Mahfoud	Reggane	Adrar	26° 42' 56,70"N	0° 10' 17,00"E	17
TAO	Taurirt	Reggane	Adrar	26° 42' 14,60"N	0° 13' 01,90"E	18
TMR	Tiouliline	Zaouiet kounta	Adrar	27° 02' 20,80"N	0° 05' 38,30"O	19
BAJ	Bouaj	Zaouiet kounta	Adrar	27° 52' 21,13" N	0° 17' 13,47" E	20
TLC	Tittauine ech cheurfa	Zaouiet kounta	Adrar	27° 04' 00,90" N	0° 06' 17,00"O	21
TTW	Titawine	Zaouiet kounta	Adrar	27° 13' 27,21"N	0° 12' 00,20"O	22
TDM1	Tidmaine	Zaouiet kounta	Adrar	27° 05' 37,80"N	0° 07' 14,20"O	23
IZM	Inzegmir	Zaouiet kounta	Adrar	27° 05' 47,70"N	0° 08' 23,70"O	24
AZA	Azoua	Zaouiet kounta	Adrar	27° 06' 49,70"N	0° 08' 15,10"O	25
TWR	Tiwirine	Zaouiet kounta	Adrar	27° 19' 37,30"N	0° 13' 21,70"O	26
DRR	Adrour	Zaouiet kounta	Adrar	27° 52' 27,40"N	0° 17' 38,00"O	27
AGL	Arhil	Zaouiet kounta	Adrar	27° 21' 09,40"N	0° 13' 55,30"O	28
TMT	Timassekh	Zaouiet kounta	Adrar	27° 22' 37,30"N	0° 15' 27,40"O	29
IKS	Ikkas	Zaouiet kounta	Adrar	27° 24' 23,10"N	0° 15' 37,80"O	30
LHM	El ahmar	Zaouiet kounta	Adrar	27° 25' 20,80"N	0° 15' 05,60"O	31
EDD	El Djedid	Zaouiet kounta	Adrar	27° 27' 35,40"N	0° 16' 21,20"O	32
BYY	Oulad bou yahia	Zaouiet kounta	Adrar	27° 28' 01,90"N	0° 16' 28,80"O	33
ANT	Ouled antar	Zaouiet kounta	Adrar	27° 26' 49,60"N	0° 16' 02,80"O	34
TBR	Taberkant	Zaouit kounta	Adrar	27° 13' 50,20"N	0° 12' 31,50"O	35
AMR1	Bahmer	Fenoughil	Adrar	27° 29' 38,30"N	0° 17' 12,30"O	36
AMR2	Bahmer	Fenoughil	Adrar	27° 29' 38,30"N	0° 17' 12,30"O	37
SDY	Bour Sidi Youssef	Fenoughil	Adrar	27° 33' 39,20"N	0° 18' 34,00"O	38
FNG	Fenoughil	Fenoughil	Adrar	27° 40' 27,66"N	0° 18' 00,30"O	39
BFD	Bouffaddi	Fenoughil	Adrar	27° 42' 44,40"N	0° 16' 22,70"O	40

Code	Site de collecte	Village (Daïra)	Region	Latitude	Longitude	Numéro
TMN	Tamentit	Fenoughil	Adrar	27° 45' 37,80"N	0° 15' 35,90"O	41
SBK	Zaouia Sidi Bekri	Fenoughil	Adrar	27° 47' 32,90"N	0° 14' 48,40"O	42
BNT	Beni tamer	Adrar	Adrar	27° 49' 41,30"N	0° 16' 13,50"O	43
MSR	El mansour	Adrar	Adrar	27° 37' 20,30"N	0° 18' 24,80"O	44
TLL	Tililane	Adrar	Adrar	27° 53' 52,90"N	0° 14' 54,10"O	45
AGH	Adgha	Adrar	Adrar	27° 52' 06,12"N	0° 18' 06,09" O	46
AAS	Ouled Aroussa	Adrar	Adrar	27° 47' 46,80"N	0° 17' 07,50"O	47
IGS	Igostenne	In salah	Tamanrasset	27° 15' 02,60"N	2° 38' 05,70" E	48
FEZ	Foggaret ez zoua	In salah	Tamanrasset	27° 21' 33,28"N	2° 50' 42,87" E	49
INS1- INS6	In Salah	In salah	Tamanrasset	27° 11' 48,40"N	2° 28' 44,90" E	50-55
IGR1-IGR5	In Ghar	In Ghar	Tamanrasset	27° 06' 27,87"N	1° 54' 18,13" E	56-60

2.2. Dispositif expérimental

L'essai a été conduit suivant un dispositif de type Augmented Randomized Complete Block Design (ARCBD) tel que décrit par Federer [20] ; un dispositif dans lequel seuls les témoins, ayant des quantités suffisantes de semence, sont répétés dans chaque bloc. La parcelle expérimentale, ayant une superficie de 903 m² (43×21) comprenait trois blocs espacés de 2 m. Au niveau de chaque bloc, sept témoins dont trois sont originaires des Etats-Unis (BS17, BSL and Longfellow) et quatre d'Espagne (Norteno, Rastrojero, Tuy and Tremesino) ont été distribués de façon aléatoire. Les 60 accessions à caractériser ont également été réparties aléatoirement dans l'ensemble des blocs mais sans répétition. Au final, chaque bloc contenait 20 populations, qui diffèrent d'un bloc à un autre, et 7 témoins répétés au niveau de chaque bloc. Chaque témoin et accession a été représenté par une seule ligne de 6 m de long qui comportait 30 graines.

2.3. Caractérisation des accessions

Le choix et l'évaluation des descripteurs ont été effectués en suivant le Manuel de descripteurs de maïs publié par le Conseil International des Ressources Phylogénétiques [21]. Les données ont été collectées sur 10 plants par accessions choisis aléatoirement. Un total 17 variables quantitatives ont été évaluées à différents stades de développement et suivant la nature de chaque trait (Tableau 2).

2.4. Analyses statistiques

Dans un premier temps, une analyse de la variance ANOVA (niveau de signification, $p < 0,05$) selon le model ARCBD a été effectuée à l'aide du logiciel ACBD-R développé par le CYMMYT (International Maize and Wheat Improvement Center), avec comme source de variation bloc, témoin, accession, accession x témoin. Cette analyse a permis tout d'abord d'identifier les variables pour lesquelles il y a effet bloc. Les moyennes de ces variables sont par la suite ajustées pour toutes les accessions afin d'être utilisées pour le reste des analyses. Concernant l'effet accession, lorsqu'une différence significative est révélée entre les accessions pour un caractère donné, l'ANOVA est complétée par le test de comparaison des moyennes LSD (Least Significant Difference) effectué à l'aide du logiciel R version 3.4.1 au seuil de 5 %.

Le test de corrélation de Pearson a pris en charge tous les traits quantitatifs afin d'estimer les corrélations entre paires de caractères à un seuil de 5 %. L'Analyse en Composante Principale (ACP), appliquée aux variables ayant montré une différence significative entre les accessions, a permis d'identifier les traits qui différencient efficacement les accessions du Sahara algérien. Une Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) a ensuite permis de classer les accessions en clusters ou groupes homogènes selon la méthode d'agrégation de Ward [22] et en employant le logiciel [XLSTAT](#) version 2014.

Tableau 2.
Récapitulatif des marqueurs agro-morphologiques évalués

Caractères	Description	Unité	Abréviation
Levée	Nombre de jours entre le semis et le jour où 50 % des plantes ont germé.	Jours	G50
Pourcentage de plantes émergées	Pourcentage de plantes émergées par rapport au nombre total semé.	%	MRG
Floraison mâle	Nombre de jours entre le semis et le jour où 50 % des plantes produisent du pollen.	Jours	FM
Floraison femelle	Nombre de jours entre le semis et le jour où 50 % des plantes produisent des soies	Jours	FF
Intervalle entre la FM et FF	Les jours à 50 % de floraison mâle – les jours à 50 % de floraison femelle.	Jours	ASI
Hauteur de la plante (cm)	Après stade grain laiteux. Du niveau du sol à la base de la panicule mâle.	cm	HP
Hauteur de l'épi (cm)	Après stade grain laiteux. Du niveau du sol au nœud d'insertion de l'épi le plus haut.	cm	HE
Longueur de l'épi (cm)	/	cm	LE
Diamètre de l'épi (cm)	Mesuré dans la partie médiane de l'épi le plus haut.	cm	DE
Diamètre de la rafle (cm)	/	cm	DRF
Diamètre du rachis (cm)	/	cm	DRC
Nombre de ligne par épi	/	/	NLE
Nombre de grain par ligne	/	/	NGL
Nombre d'épi par plant	/	/	NEP
Poids de 100 grains	/	kg	PCG
Rendement	/	Quintal.h ⁻¹	RD
Humidité à la récolte	/	%	HMR

3. Résultats et discussion

3.1. Analyse des variables quantitatives

L'analyse de la variance ANOVA effectuée sur les 17 variables quantitatives a indiqué que la variabilité introduite par les blocs n'a été observée que pour la hauteur du plant, la hauteur de l'épi, le diamètre de la rafle, le diamètre du rachis, le poids de 100 grains et le rendement. Les résultats de l'ANOVA ont également révélé une différence significative entre les accessions pour huit traits qui sont la floraison mâle et femelle, la hauteur du plant, le diamètre du rachis, le nombre de ligne par épi, le nombre d'épi par plant, le poids de 100 grains et le rendement (Tableau 3). La comparaison des moyennes effectuées par le test LSD pour les variables ayant montré une différence significative entre les accessions nous a permis de les classer en différents groupes homogènes (Tableau 4).

Les variables quantitatives étudiées ont révélé des écarts importants entre les valeurs minimales et maximales avec des coefficients de variation qui

varieront de 7 % (FM et FF) à 50,08 % (ASI). Les dates de floraison varient entre 63 et 96 Jours Après Semis (JAS) pour la floraison mâle et 68 à 98 JAS pour la floraison femelle. La population AGL s'est révélée la plus précoce contrairement à IGR2 qui a fleuri tardivement. L'intervalle (ASI) entre la FM et FF varie entre 1 et 4 jours pour plus de 60 % des populations étudiées ; le reste des populations ont présenté un ASI compris entre 5 à 11 jours. Il est important de signaler que la date de floraison est considérée comme un caractère complexe qui joue un rôle crucial dans l'adaptation du maïs aux diverses conditions environnementales [23,24]. Cette adaptation est, en effet, possible en impliquant des signaux environnementaux et endogènes qui contrôlent le moment optimal pour la transition de la phase végétative à la phase reproductive [25].

Tableau 3.

Analyse de la variance des variables quantitatives étudiées.

Source de variation	ddl	G50	MRG	FM	FF	ASI	HP	HE	LE	
Blocs	2	0,79	103,06	23,10	22,30	1,71	953,35*	646,71*	3,61	
Témoins (T)	6	9,26**	994,74**	145,70**	154,80**	22,82**	1070,07**	831,09**	3,96	
Accessions (A)	59	2,31	121,81	38,20**	43,80**	4,27	523,88**	254,17	3,45	
T vs A	1	169,91**	11407,1**	1137,00 *	1719,80**	55,09**	44013,56**	10056,01**	135,88**	
Erreur	12	1,53	117,20	8,88	7,63	3,39	145,95	122,31	2,16	
	ddl	DE	DRF	DRC	NLE	NGL	NEP	PCG	RD	HMR
Blocs	2	0,29	1,15**	0,20**	0,72	7,89	0,46	0,0003**	196,57*	7,049
Témoins (T)	6	0,18	0,39	0,03*	9,39**	27,63	0,25	0,0001**	308,93**	10,484
Accessions (A)	59	0,07	0,13	0,04**	1,63**	11,89	1,16**	0,0005**	137,09*	5,019
T vs A	1	3,73	1,01*	0,28**	0,44	229,69**	6,94**	0,0003**	60,12 **	9,475
Erreur	12	0,1	0,14	0,01	0,23	10,06	0,16	5,75E-06	45,63	4,3855

G₅₀ : nombre de jours pour atteindre 50 % de germination ; MRG : pourcentage de plantes émergées ; FF : floraison femelle ; FM : floraison mâle ; ASI : intervalle entre la floraison mâle et femelle ; HP : hauteur du plant ; HE : hauteur de l'épi ; DRF : diamètre de la rafle ; DE : diamètre de l'épi ; LE : longueur de l'épi ; DRC : diamètre du rachis ; NGL : nombre de grain par ligne ; NLE : nombre de ligne par épi ; NEP : nombre d'épi par plant ; PCG : poids de 100 grains ; RD : rendement ; HMR : humidité à la récolte . (* = 0.01 < p < 0.05; ** = 0.001 < p < 0.01).

Les valeurs maximales de la hauteur du plant et celle de l'épi (132,12 et 79,46 cm, respectivement) ont été enregistrées chez les populations TLC et FEZ, respectivement, alors que les valeurs minimales (45,79 et 14,47 cm) ont caractérisé AGL et TWR, respectivement. En effet la population la plus haute (TLC) a enregistré le rendement le plus élevé (62,46 qt.ha⁻¹), l'ASI le plus court (2 jours) et s'est révélée tardive (85 et 87 JAS pour la FF et FM, respectivement) ce qui a été déjà constaté par d'autres auteurs [26-29].

Sur le plan morphologique, la hauteur des plants est fortement associée à la date de floraison du moment que la formation des entre nœuds s'arrête à l'initiation de la floraison, ce qui signifie que les génotypes les plus précoces sont généralement les plus courts [30-32].

Une corrélation similaire a été rapportée entre la hauteur du plant et le rendement [33,31] suggérant que les plantes hautes possèdent un nombre élevé de feuilles qui accumulent un maximum de matière sèche, ce qui est à l'origine de l'augmentation des rendements [32].

L'ASI, qui mesure la synchronisation entre la floraison mâle et femelle [34], contribue également à augmenter le rendement d'où son importance dans les programmes d'amélioration [35]. En effet, sous conditions normales, la floraison mâle débute 2 à 4 jours avant la floraison femelle [36] ; une réduction de cet intervalle (ASI) augmente la synchronisation entre

les deux types de floraison conduisant ainsi à une augmentation des rendements, alors qu'une asynchronie peut entraîner des pertes de rendement [37].

Une forte corrélation positive (0,95) à un seuil de 5 % a été mise en évidence entre la floraison mâle et la floraison femelle (Tableau 5). Chacun de ces descripteurs a montré une corrélation forte avec la hauteur du plant (HP) et la hauteur de l'épi (HE) et moyenne avec le diamètre de l'épi (DE), la longueur de l'épi (LE), le nombre de grains par ligne (NGL) et le nombre de ligne par épi (NEP). Une corrélation similaire (0,95) a été révélée entre les descripteurs hauteur du plant (HP) et hauteur de l'épi (HE) qui sont en association positive avec DRF, DE, LE, NGL, NLE, RD et HMR ; un résultat similaire avait déjà été constaté par d'autres auteurs [37-40]. La détermination des corrélations entre les caractères d'intérêt est très utile dans les programmes d'amélioration et devrait être prise en compte par les sélectionneurs. Cependant, la sélection des traits appropriés doit être accomplie et vérifiée dans différentes conditions agro-climatiques, car en dépit des facteurs génétiques, d'autres facteurs probablement environnementaux peuvent influencer les corrélations entre les caractères [41].

Tableau 4.

Valeurs minimales, maximales, moyennes, écart-types et coefficient de variation des 17 traits quantitatifs.

Traits	Code	Moyenne	Minimum		Maximum		Ecart-type	Coefficient de variation	Nombre de groupes homogènes
			Valeur	Accession	Valeur	Accession			
Levée	G50 %	76,61	50,00	TMD2	100,00	MHF	11,24	14,67	/
Pourcentage de plantes émergées	MRG	11,607	8,0	IKS	15,0	TTW	1,49	12,90	/
Floraison femelle	FF	77,16	68,0	AGL	98,0	IGR2	6,06	7,861	17
Floraison mâle	FM	73,21	63,0	AGL	96,0	IGR2	5,74	7,850	12
Intervalle entre la FM et FF	ASI	3,94	1,0	MRG/INS5	11,0	IZM	1,97	50,08	/
Hauteur de la plante (cm)	HP	75,16	45,79	AGL	132,12	TLC	22,31	29,68	21
Hauteur de l'épi (cm)	HE	33,02	14,47	TWR	79,46	FEZ	14,56	44,10	/
Diamètre de la rafle (cm)	DRF	2,13	1,50	LHM	3,23	EDD	,357	16,74	/
Diamètre de l'épi (cm)	DE	3,25	2,70	BAJ	3,7100	IGR2	,261	8,038	/
Diamètre du rachis (cm)	DRC	,832	0,49	ZOI	1,86	INS2	,212	25,51	15
Longueur de l'épi (cm)	LE	11,65	8,18	BNT	16,25	IZM	1,74	15,01	/
Nombre de grain par ligne	NGL	19,96	13,90	BNT	26,30	IGR4	3,12	15,65	/
Nombre de ligne par épi	NLE	10,052	7,9	INS6	13,1	IGR2	1,17	11,71	18
Nombre d'épi par plant	NEP	2,25	1,40	AZA	3,10	TMD2	,411	18,24	12
Poids de 100 grains	PCG	,026	0,016	IGR3	0,036	RGN	,0023	14,70	10
Rendement en grain	RD	31,14	13,72	TWR	62,46	TLC	11,96	38,41	11
Humidité à la récolte	HMR	14,67	8,9	TWR	18,3	IGR4	2,196	14,97	/

Tableau 5

Les corrélations phénotypiques des descripteurs quantitatifs mesurés pour les 60 accessions de maïs

Variables	MRG	G50	FF	FM	ASI	HP	HE	DRF	DE	DRC	LE	NGL	NLE	NEP	PCG	RD	HMR
MRG	1																
G50	-0,132	1															
FF	0,039	0,351	1														
FM	0,024	0,348	0,950	1													
ASI	0,052	0,084	0,360	0,051	1												
HP	0,047	0,203	0,819	0,866	0,033	1											
HE	-0,029	0,203	0,820	0,890	-0,034	0,952	1										
DRF	-0,202	0,369	0,211	0,197	0,086	0,287	0,322	1									
DE	-0,249	0,295	0,457	0,488	0,004	0,547	0,537	0,468	1								
DRC	-0,195	-0,114	0,095	0,099	0,008	0,076	0,071	-0,112	0,071	1							
LE	-0,154	0,073	0,580	0,595	0,077	0,661	0,668	0,250	0,622	0,155	1						
NGL	-0,090	0,067	0,495	0,539	-0,026	0,664	0,645	0,253	0,564	0,155	0,858	1					
NLE	-0,162	0,170	0,540	0,571	0,023	0,563	0,603	0,297	0,718	0,274	0,563	0,575	1				
NEP	-0,323	-0,313	-0,204	-0,139	-0,237	-0,031	0,023	-0,105	0,010	0,061	0,050	0,095	-0,134	1			
PCG	-0,208	-0,133	0,062	0,071	-0,014	0,112	0,098	0,043	0,244	-0,088	0,093	0,025	-0,100	0,328	1		
RD	0,045	-0,209	0,322	0,357	-0,036	0,580	0,509	0,098	0,400	0,102	0,515	0,720	0,322	0,315	0,320	1	
HMR	0,112	-0,222	0,160	0,201	-0,086	0,433	0,348	0,012	0,299	0,012	0,348	0,469	0,168	0,370	0,284	0,710	1

Les valeurs en gras sont significativement différentes de 0 à un niveau de signification alpha =0.05

3.2. Structuration de la diversité à partir des variables quantitatives

Les deux premiers axes de l'ACP (Figure 2) qui ont expliqué 63,95 % de la variabilité totale ont été retenus pour l'analyse. Près de 43,65 % de cette variabilité est associé à l'axe I (F1) avec une forte contribution positive des variables précocité à la floraison mâle (FM) et femelle (FF), la hauteur du plant (HP) et le nombre de ligne par épi (NLE). Cet axe peut être décrit comme l'axe de la précocité et du développement végétatif. L'axe II (F2) qui a expliqué 20,30 % de la variabilité est positivement associé aux variables nombre d'épi par plant (NEP), poids de 100 grains (PCG) et le rendement en grain (RD) d'où son appellation axe du rendement.

La projection des 60 populations sur le plan formé par les deux premiers axes de l'ACP a mis en évidence trois groupes. Le groupe 1 comprend 17 accessions caractérisées par une floraison tardive, une hauteur élevée des plants et un rendement moyen à élever. Le deuxième groupe est composé de 10 accessions caractérisées par une floraison normale, une hauteur moyenne et les composantes du rendement (PCG et NEP) les plus élevées. Au niveau du troisième groupe se positionnent les 33 accessions les plus précoces, les plus petites de taille avec une productivité moyenne à faible (Figure 2).

Les principaux traits ayant servi à répartir les accessions sahariennes font partie des caractères morphologiques et agronomiques les plus héréditaires et les plus discriminants pour la classification du maïs [42]. Ils ont contribué également à séparer les populations Ethiopiennes [43], Italiennes [44] et Indiennes [45]. De même, [38,46] ont indiqué que la hauteur des plants et des épis sont les critères les plus discriminants pour identifier les populations de maïs originaires de Serbie et du Mexique, respectivement.

Le dendrogramme généré suite à une CAH a permis d'identifier trois clusters homogènes (Figure 3, Tableau 6). La répartition des accessions au sein de ces clusters rejoint celle établie par l'ACP. Le premier cluster est composé des 16 accessions les plus tardives (81,37 et 85,62 jours pour la FM et FF, respectivement), montrant les hauteurs des plants (105,91cm) et les diamètres du rachis (0,87 cm) les plus élevées, un nombre maximal de lignes de grains par épi (11,51), un faible nombre d'épi par plant (2,08) et un rendement moyen (39,27 qt.ha⁻¹). Le cluster II comporte 11 accessions caractérisées par des floraisons normales (72,36 et 76,72 jours pour la FM et FF, respectivement) et des hauteurs moyennes des plants (75,96 cm). Un nombre maximal d'épis sont produits par plant (2,8) avec un nombre moyen de lignes de grains par épi (9,92), un rachis de faible diamètre (0,8 cm), un poids de 100 grains le plus élevé (0,027 g) ainsi qu'un rendement maximal (40,38 qt.ha⁻¹). Le dernier cluster rassemble les 33 accessions les plus précoces (70,48 et 74,30 jours pour la FM et FF, respectivement), caractérisées par les plus petites hauteurs de la plantes (61,50 cm), un nombre minimal de ligne de grains par épi (9,48), un faible poids de 100 grains (0,022) et un rendement en grain le plus faible (23,27 qt.ha⁻¹). En se basant sur les descripteurs quantitatifs évalués, les accessions collectées dans la même région ont été réparties dans des clusters ou groupes différents indiquant que la classification de ces génotypes s'est faite selon leur performance pour les traits évalués et indépendamment de leur origine géographique. L'absence de relation entre la structuration des accessions et leur origine géographique avait déjà été constatée lors de la classification des populations Italiennes [44] et Indiennes [47]. Elle est attribuée aux flux géniques ayant conduit à un mélange extensif du germoplasme entre les champs voisins, d'une part, et à l'échange des semences entre agriculteurs de régions distinctes, d'autre part [39].

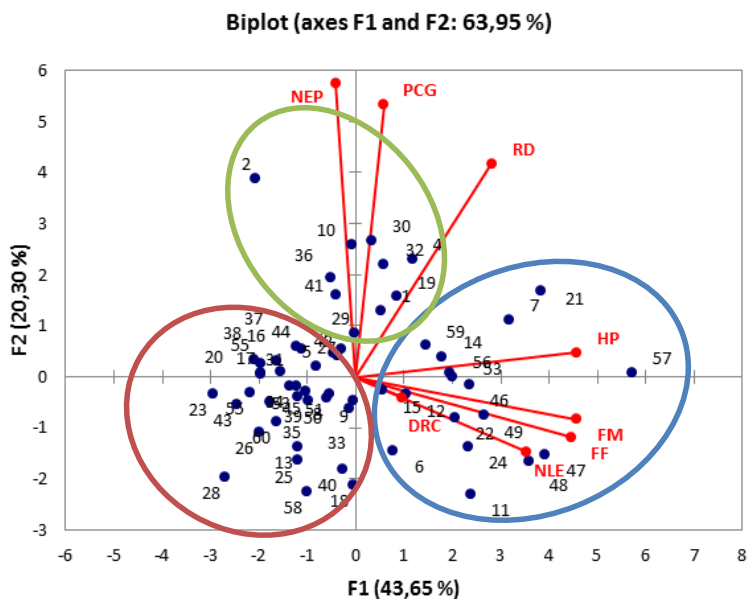


Figure 2. Projection des 60 accessions de maïs sur les deux premiers axes de l'ACP

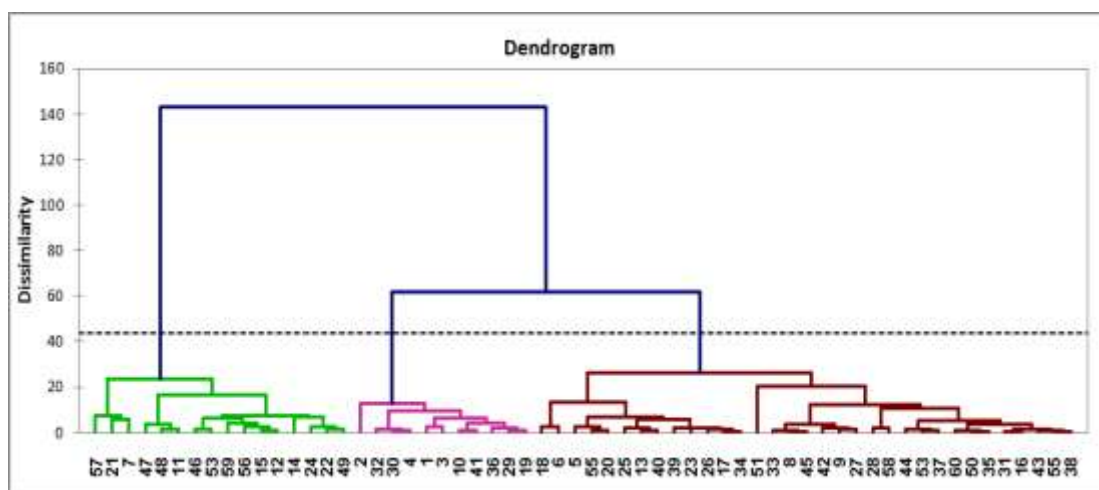


Figure 3. Classification ascendante hiérarchiques des accessions de maïs sahariennes

Tableau 6

Valeurs moyennes des caractères agro-morphologiques pour les trois clusters générés par la CAH

Cluster	FF	FM	HP	DRC	PCG	NLE	NEP	RD
1	85,625	81,375	105,911	0,8720	0,0230	11,519	2,0870	39,2740
2	76,727	72,364	75,968	0,8000	0,0274	9,927	2,8000	40,3850
3	74,303	70,484	61,507	0,823	0,0221	9,484	2,1212	23,2761

4. Conclusion

La présente étude, qui traite le polymorphisme phénotypique du maïs originaire des Oasis Sahariennes a révélé une grande variabilité phénotypique au sein des accessions et a fait apparaître celles ayant des traits d'intérêt agronomique. En effet, le rendement et les critères d'adaptation au climat tel que la date de floraison sont les principaux traits recherchés dans les programmes d'amélioration du maïs. En premier lieu, il est important de citer l'intérêt des accessions du cluster 2 qui se sont révélées les plus productives. En outre, les accessions étudiées ont présenté une grande variabilité pour la date de floraison ce qui confirme leur potentialité adaptative aux divers conditions environnementales. Les accessions les plus précoces, adaptées à des saisons de pluie courte, fourniraient aux sélectionneurs un outil simple pour échapper au stress hydrique. De même, les génotypes caractérisés par de courts ASI peuvent également servir pour la tolérance à la sécheresse.

Références

- [1] Whitt SR., Wilson M., Tenaillon MI., Gaut BS., Genetic BS. Diversity and selection in the maize starch pathway Proc Natl Acad. Sci. U S A. 99 (2002): 12959–62. <https://doi.org/10.1073/pnas.202476999>
- [2] Mangelsdorf P.C., Corn Its Origin, Evolution, and Improvement. Harvard University Press, Cambridge, (U.S.A): 1974.
- [3] Edmeades GO., Trevisan W., Prasanna BM., Campos H. (2017): In: H. Campos, Tropical Maize (Zea mays L.): PDS Caligari (eds): Springer, New York, 2017, Cha.3.
- [4] Portères R., L'Introduction du Maïs en Afrique. Journal d'agriculture traditionnelle et de botanique appliquée, 2 (1955): 221-231. [Version HTML]. https://www.persee.fr/doc/jatba_0021-7662_1955_num_2_5_2221
- [5] McCann JC., 2005. Maize and Africa's encounter with a new world crop. Harvard University Press, Cambridge, pp 1500–2000.
- [6] Chevalier A. Les Productions végétales du Sahara et de ses confins Nord et Sud. Passé-Présent-Avenir. Revue de Botanique Appliquée & d'Agriculture Tropicale. 1932 ;12 :669–924. Bulletin 133-134. [Version HTML]. https://www.persee.fr/doc/jatba_0370-3681_1932_num_12_133_5282
- [7] Laumont P. et Laby H., Le maïs et sa culture en Algérie, Doc et Rens agricoles, 155 (1950).
- [8] Hawtin G., Iwanaga M., T. Hodgkin, Genetic resources in breeding for adaptation. Euphytica, 92 (1996): 255-266. <https://doi.org/10.1007/BF00022853>
- [9] Rahel-Bouziane H., Fourrages cultivés des oasis du Touat, Gourara et Tidikelt : caractéristiques ethnobotaniques, morphologiques et valeur alimentaire. INRAA, 2006.
- [10] Lefort-Buson M., Hebert Y. et Damerval C., Les outils d'évaluation de la diversité génétique et phénotypique. Agronomie, EDP Sciences, 8 (1988) : 173-178. Disponible en ligne : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00885086/document>
- [11] Prasanna BM and Lata Sharma 2005 The landraces of maize (Zea mays L.): Diversity and utility. Indian J. Plant Genet. Res. 18 155–168.
- [12] Wasala S K., Guleria S K., Sekhar J C., Mahajan V., Srinivasan K., Parsad R. and Prasanna B M. Analysis of yield performance and genotype × environment effects on selected maize (Zea mays): landrace accessions of India. Prasanna. Indian Journal of Agricultural Sciences 83 (2013): 287-923. Disponible en ligne : <https://scholar.google.com/citations?user=8wi1HSIAAAAJ&hl=en>
- [13] Franco J., Crossa J., Ribaut J.M., Betran J., Warburton M.L., Khairallah M., A method for combining molecular markers and phenotypic attributes for classifying plant genotypes. Theor. Appl. Genet 103 (2001): 944 - 952. <https://doi.org/10.1007/s001220100641>
- [14] Bellon MR, Berthaud J., Traditional Mexican agricultural systems and the potential impacts of transgenic varieties on maize diversity. Agr. Hum. Values 23 (2006): 3-14. <https://doi.org/10.1007/s10460-004-5861-z>
- [15] Djemel A., Revilla P., Hanifi-Mekliche L., Malvar RA, Alvarez A., Khelifi L., Maize (Zea mays L.): from the Saharan oasis: adaptation to temperate areas and agronomic performance. Genet. Resour. Crop. Ev., 59 (2011): 1493-1504. <https://doi.org/10.1007/s10722-011-9778-2>
- [16] Djemel A., Cherchali FZ., Benchikh-Le-Hocine M., Malvar RA., Revilla P., Assessment of drought tolerance among Algerian maize populations from oases of the Saharan. Euphytica, 214 (2018): 149. <https://doi.org/10.1007/s10681-018-2225-0>
- [17] Otmane T., Kouzmine Y., Bilan spatialisé de la mise en valeur agricole au Sahara algérien », cybergeo : European Journal of Geography. Espace, Société, Territoire 632 ,2013. <https://doi.org/10.4000/cybergeo.25732>
- [18] Lakhdari F., Guide des techniques de lutte contre l'ensablement au Sahara Algérien. Edition CRSTRA, 2015.
- [19] Gaillermou Y., Survie et ordre social au Sahara. Les oasis du Touat-Gourara-Tidikelt en Algérie. Cah. Sci. Hum., 29 (1993) : 121-138. Disponible en ligne : <https://core.ac.uk/download/pdf/39858100.pdf>
- [20] Federer WT. Augmented (or *hoonuiaku*): designs. Hawaiian Plant Records, 55(1956): 191-128.
- [21] IBPGR, International Maize and Wheat Improvement Center, Mexico City/International Board for Plant Genetic Resources, Rome, 1991.
- [22] Ward JH., Hierarchical grouping to optimize an objective function. Journal of the American Statistical Association, 58 (1963) : 236-244. Disponible sur URL: <https://ecommons.cornell.edu/handle/1813/32841>
- [23] Chardon F., Virlon B., Moreau L., Falque M., Joets J, Decousset L., Murigneux A. and Charcosset A., Genetic architecture of flowering time in maize as inferred from QTL meta-analysis and synteny conservation with the rice genome. Genetics 168 (2004): 2169-2185. <https://doi.org/10.1534/genetics.104.032375>
- [24] Buckler E.S., Holland JB., Bradbury PJ., Acharya CB., Brown PJ., Browne C. *et al.*, The genetic architecture of maize flowering time. Science 325 (2009): 714-718. <https://doi.org/10.1126/science.1174276>
- [25] Bouchet S., Servin B., Bertin P., Madur D., Combes V., Dumas F., Brunel D., Laborde J., Charcosset A., Nicolas S., Adaptation of maize to temperate climates: mid-density genome-wide association genetics and diversity patterns reveal key genomic regions, with a major contribution of the Vgt2 (ZCN8): locus. PLoS ONE 8(2013): e71377. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0071377>

- [26] Shi ZS., Zhang SH., Li FH., Wang ZP., Zhang XH., Zhang YL., Zhu M., Comparison and analysis on maize yield performance of mid-maturing, mid-late maturing and late maturing varieties in Liaoning areas. *Maize Sci.*, 16 (2008): 6-10.
- [27] Khan K., Sher H., Iqbal M. and Al-Qurainy F., Development and release of indigenous maize hybrids to enhance maize yield in Khyber-Pakhtoonkhwa province of Pakistan. *Afr. J. Agric. Res.* 6(2011): 3789-3792. <https://doi.org/10.5897/AJAR10.792>
- [28] Wang X., Chang J., Qin G., Zhang S., Cheng X. and Li C., Analysis on yield components of elite maize variety Xundan 20 with super high yield potential. *Afr. J. Agric. Res.* 6(2011): 5490-5495. <https://doi.org/10.5897/AJAR11.675>
- [29] Bello O. B., Abdulmalik S. Y., Ige S. A., Mahmood J., Oluleye F., Azeez M. A., Afolabi M. S., Evaluation of early and late/intermediate maize varieties for grain yield potential and adaptation to a southern guinea savanna agro-ecology of Nigeria. *Intern. J. Plant Res.* 2 (2012) : 14-21. Disponible en ligne : <http://eprints.lmu.edu.ng/2663/>
- [30] Troyer A. F., Larkins J. R., Selection for early flowering in corn: 10 late synthetics. *Crop Sci.* 25(1985): 695-697. <https://doi.org/10.2135/cropsci1985.0011183X002500040029x>
- [31] Nazir H., Zaman Q., Amjad M. and Aziz NA., Response of maize varieties under agro-ecological conditions of Dera Ismail Khan. *J. Agric. Res.*, 48 (2010): 59-63. Disponible en ligne : https://apply.jar.punjab.gov.pk/upload/1374660262_81_34_59P_aper-No.7.pdf
- [32] Nzuve F., Githiri S., Mukunya M. and Goethi J., Genetic variability and correlation studies of grain yield and related agronomic traits in maize. *Journal of Agricultural Science* 6 (2014): 166-176. <https://doi.org/10.5539/jas.v6n9p166>
- [33] Bello OB., Abdulmalik SY., Afolabi MS and Ige SA., Correlation and path coefficient analysis of yield and agronomic characters among open pollinated maize varieties and their F1 hybrids in a diallel cross. *Afri. J. Biotech.*, 9 (2010): 2633-2639. <https://doi.org/10.5897/AJB10.1360>
- [34] Bello OB and Olaoye G., Combining ability for maize grain yield and other agronomic characters in a typical southern guinea savanna ecology of Nigeria. *Afr. J. Biotech.*, 8(2009): 2518-2522. <https://doi.org/10.5897/AJB09.296>
- [35] Ngugi K., Cheserek J., Muchira C., Chemining'wa G., Anthesis to Silking Interval Usefulness in Developing Drought Tolerant Maize. *Journal of Renewable Agriculture*, 1(2013): 84-90. DOI: [10.12966/jra.08.03.2013](https://doi.org/10.12966/jra.08.03.2013)
- [36] Aslam M., Maqbool MA., Cengiz R., Drought stress in Maize (*Zea mays* L.): Resistance Mechanisms, Global Achievement and Biological Strategies for Improvement. *Springer Briefs Agric, Swetlan* (2015): 1-74
- [37] Bolaños J., Edmeades GO., The importance of the anthesis-silking interval in breeding for drought tolerance in tropical maize. *Field Crop Res* 48(1996): 65-80. [https://doi.org/10.1016/0378-4290\(96\):00036-6](https://doi.org/10.1016/0378-4290(96):00036-6)
- [38] Mijangos-Cortés JO., Corona-Torresv, Espinosa- Victoria D., Muñoz-Orozco A., Romero-Peñaloza J., Santacruz-Varela A., Differentiation among maize (*Zea mays* L.): landraces from the Tarasca Mountain Chain, Michoacan, Mexico and the Chalqueno complex. *Genet. Resour. Crop. Ev.* 54(2007): 309-325. <https://doi.org/10.1007/s10722-005-4775-y>
- [39] Cömertpay G., Baloch FS., Kilian B., Ülger AC., Özkan H., Inter-primer binding site retrotransposon and inter-simple sequence repeat diversity among wild *Lens* species. *Plant. Mol. Biol. Rep* 30 (2012): 261-274. <https://doi.org/10.1016/j.bse.2014.12.002>
- [40] Iqbal J., Shinwari ZK., Rabbani MA. Maize (*Zea mays* L.): germplasm agro-morphological characterization based on descriptive, cluster and principal component analysis. *Pak J Bot.* 47 (2015) : 255-264. Disponible en ligne : [https://www.pakbs.org/pjbot/PDFs/47\(SI\)/33.pdf](https://www.pakbs.org/pjbot/PDFs/47(SI)/33.pdf)
- [41] Yücel C., Hizli H., Firincioglu HK., Cil A., Anlarsal AE., Forage yield stability of common vetch (*Vicia sativa* L.): genotypes in the Cukurova and GAP Regions of Turkey. *Turk. J. Agric. For.* 33 (2009): 119-125.
- [42] Sanchez J.J., Goodman M. M., and Rawlings J. O., Appropriate characters for racial classification in maize. *Econ. Bot.* 47 (1993): 44-59. <https://doi.org/10.1007/BF02862205>
- [43] Beyene Y., Botha AM., Myburg AA., phenotypic diversity for morphological and agronomic traits in traditional Ethiopian highland maize accessions. *South Afr. J. Plant Soil*, 22 (2005): 100-105. <https://doi.org/10.1080/02571862.2005.10634689>
- [44] Hartings H., Berardo N., Mazzinelli G.F., Valoti P., Verderio A., Motto M., Assessment of genetic diversity and relationship among maize (*Zea mays* L.): Italian landraces by morphological traits and AFLP profiling. *Theor Appl Genet* 117 (2008): 831-842. <https://doi.org/10.1007/s00122-008-0823-2>
- [45] Kumari J., Kumar A., Singh TP., Bhatt KC., Mishra AK., Semwal DP., Sharma RK., Rana JC., Collection, evaluation and phenotypic diversity assessment of maize (*Zea mays*): germplasm from North Eastern Himalayan region. *Indian J. Agr. Sci.* 87 (2017): 727-733.
- [46] Jaric JK., Prodanovic S., Iwarsson M., Minina A., Diversity of maize (*Zea mays* L.): landraces in Eastern Serbia: Morphological and storage protein characterization, *Maydica*, 55 (2010): 231-238. Disponible en ligne : <https://www.slu.se/globalassets/ew/org/centrb/cbm/dokument/publikationer-cbm/masteruppsatser/knezevic-jaric-et-al-2010.pdf>
- [47] Sharma L., Prasanna BM., Ramesh B., Analysis of phenotypic and microsatellite-based diversity and population genetic structure of maize landraces in India, especially from the North East Himalayan region, *Genetica*, 138 (2010): 619-631.