

DIVERSITÉ MORPHOLOGIQUE ET TENEUR EN HYOSCYAMINE/SCOPOLAMINE
DE DOUZE PROVENANCES ALGÉRIENNES DE *DATURA STRAMONIUM* L.

Abdelkader MORSLI¹, Arezki DERRIDJ², Majda KHELIFI-SLAOUI¹, Nouara BAKIRI¹,
Ryad AMDOUN¹ & Lakhdar KHELIFI^{1*}

SUMMARY. — *Morphological diversity and hyoscyamine/scopolamine contents in twelve Algerian samples of Datura stramonium L. of different origin.* — Morphological diversity was estimated on 15 phenotypic characters of *Datura stramonium* from twelve samples of different origin; the Algerian distribution of that species extends from Nedroma (extreme western Algeria : semi-arid bioclimatic stage) to El Kala (at the Algerian-Tunisian border: humid bioclimatic stage). Seeds from these twelve samples were collected and then grown in similar pedoclimatic conditions. Measurements were carried out 60 days after sowing. Results show that these twelve samples were significantly different for the measured traits (leaf area, length of the flowers, number of ramifications, number and biometrics of the capsules and height of the plants). Principal component analysis (PCA) and Factorial discriminant analysis (FDA) were used to discriminate the origins of the samples from their studied characters. The canonical averages of the twelve samples were significantly different, especially in the biometric traits including mature plants, capsules and seeds. The alkaloid content (hyoscyamine and scopolamine) of the twelve samples seems to be influenced by the geographical and bioclimatic distribution. In addition, the most alkaloid productive samples were generally those that invest more in biomass production (leaf area, height and collar diameter of plants).

RÉSUMÉ. — La diversité morphologique a été estimée sur 15 caractères phénotypiques de douze provenances de *Datura stramonium* L. dont la répartition s'étend de Nedroma (extrême Ouest algérien : étage bioclimatique semi-aride) jusqu'à El Kala (à la frontière algéro-tunisienne : étage bioclimatique humide). Pour ce faire, les graines des 12 provenances ont été récoltées puis cultivées dans des conditions pédoclimatiques similaires. Le suivi a ensuite été fait depuis la germination de la graine jusqu'à la maturité des capsules. Les résultats obtenus montrent que les douze provenances sont significativement différentes pour les caractères mesurés (surface foliaire, longueur des fleurs, nombre de ramifications, nombre de capsules par plant, biométrie des capsules, hauteur et diamètre au collet des plantes). L'analyse en composantes principales (ACP) et l'analyse factorielle discriminante (AFD) ont été appliquées pour discriminer les provenances à partir des caractères étudiés. Les moyennes canoniques des douze provenances sont significativement différentes notamment pour les caractères biométriques des capsules, des graines et des plantes matures. La teneur en alcaloïdes (hyoscyamine et scopolamine) des 12 provenances semble être influencée par la répartition géographique et bioclimatique. Par ailleurs, les provenances les plus productrices en alcaloïdes sont généralement celles qui investissent le plus dans la production de biomasse (surface foliaire, hauteur et diamètre au collet des plantes).

¹ Laboratoire des Ressources Génétiques et Biotechnologies, École Nationale Supérieure Agronomique (LRGB-ENSA), 16200 El Harrach - Alger (Algérie).

² Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques, Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou (Algérie).

* Auteur correspondant : fax : +213 (0) 21 822 729 ; e-mail : khelifi.lakhdar@gmail.com

Le *Datura stramonium* est une plante annuelle principalement autogame (Weaver *et al.*, 1985). C'est une espèce cosmopolite que l'on rencontre dans de nombreuses régions du globe (Mairura & Setshog, 2008). En Algérie, *D. stramonium* pousse à l'état spontané, on le retrouve du littoral jusqu'au Sahara central (Quézel & Santa, 1962). Cette plante pousse dans les terrains vagues, dans les friches et ravins (Baba Aissa, 1991), dans les terrains de décharge, en bordure de chemins et sur les terrains vagues riches en azote (Pélikan, 1986 ; Shonle & Bergelson, 2000).

Cette espèce trouve de nombreuses applications dans de multiples domaines tels que l'ornementation, l'environnement (dépollution des eaux et des sols), la lutte biologique contre des ravageurs tels que les acariens et les aleurodes (Béliard *et al.*, 2002), et en pharmacologie (Quétin Leclercq, 2001) puisqu'elle figure parmi les plantes possédant des propriétés thérapeutiques avérées (Felidj & Houmani, 2006).

Le caractère cosmopolite du genre *Datura* et sa présence dans des biotopes très variés ont attiré l'attention des biologistes qui se sont intéressés à la diversité phénotypique des populations sauvages ainsi qu'à leurs teneurs en alcaloïdes (Weaver *et al.*, 1985 ; Doncheva *et al.*, 2006 ; Mairura & Setshog, 2008). En Algérie, hormis les travaux de Houmani *et al.*, (1994) et Houmani & Cosson (2000), qui ont porté sur les inventaires spécifiques du genre *Datura* et sa teneur en alcaloïdes, la diversité morphologique et biochimique (variation des teneurs en alcaloïdes) en fonction de l'origine géographique demeure encore méconnue.

Par ailleurs, la réussite de tout programme d'amélioration et de valorisation du genre *Datura* (pour la production d'alcaloïdes) repose fondamentalement sur la caractérisation des populations naturelles. Ce type de travaux fait malheureusement défaut rendant alors difficile la sélection puis la création de génotypes améliorés directement utilisables. Ainsi, la présente étude porte sur la caractérisation de la diversité morphologique et biochimique de 12 provenances algériennes de *Datura stramonium* afin d'évaluer leurs performances en dehors de leur milieu d'origine.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

MATÉRIEL VÉGÉTAL

Les capsules de 12 provenances de *Datura stramonium* ont été collectées durant l'été 2006 dans la partie Nord de l'Algérie (Fig. 1). Les stations prospectées sont localisées dans 3 étages biogéographiques, humide (Lac Tonga : LET ; Frine : FET ; Kennar : KJJ), subhumide (Ain Taya : ATA ; Meftah : MFB ; Ténès : TNS) et semi aride (Boukadir : BKC ; Mascara : MMM ; Tifrit : TFS ; Melah : MAT ; Tlemcen : TTT ; Nedroma : NDT).

La collecte a consisté à prélever 10 à 15 capsules mûres sur 3 plants repérés dans les champs agricoles, en lisière de forêts, sur sols dégradés ou en bord de routes. Au total au moins 30 capsules par provenance ont été collectées. Les caractéristiques écologiques des provenances collectées sont résumées dans le tableau I.

Les graines destinées à être semées ont été préalablement scarifiées mécaniquement à l'aide de papier-verre (point 80) selon la méthode préconisée par Khelifi-Slaoui (2005). L'objectif de cette opération était d'obtenir des germinations groupées et homogènes par élimination de la dormance tégumentaire qui caractérise les graines de *Datura*. Le semis a été réalisé manuellement en plein champ les 5 et 6 mai 2007, à raison de 3 à 5 graines par potée. La profondeur de semis était de 1 à 2 cm. Après la levée, on a procédé à l'opération de démariage pour ne garder que 15 plants par provenance.

La parcelle expérimentale d'une superficie de 407 m² est située dans l'étage bioclimatique subhumide (630 mm). Cette parcelle, de coordonnées géographiques : 36°75'28"N et 3°04'20"E et légèrement en pente (moins de 1 %), est exposée plein Sud. Son sol est de type argilo-sablo-limoneux.

Les parcelles élémentaires de l'essai correspondant aux différentes provenances ont été réparties aléatoirement sur le terrain selon un dispositif en randomisation totale avec 15 répétitions par provenance.

Les mesures morphologiques ont été effectuées sur les 15 plants de chaque provenance cultivés en conditions expérimentales similaires (en dehors de leurs aires d'origine). Les paramètres pris en considération furent mesurés en pleine floraison (60 jours après le semis = JAS). Il s'agissait de la hauteur du plant (HP), du diamètre au collet (DC), du nombre de ramifications par plant (NRP), du nombre de capsules par plant (NCP), de la surface foliaire (SF), de la longueur de la fleur (LOF), de la longueur de la capsule (LOC), de la largeur de la capsule (LAC). Les mesures (en mm) ayant porté sur la longueur et la largeur des capsules, graines et épines, furent effectuées à l'aide d'un pied à coulisse électronique, et les poids (en g) des capsules et des graines furent mesurés à l'aide d'une balance de précision (0.1 mg).

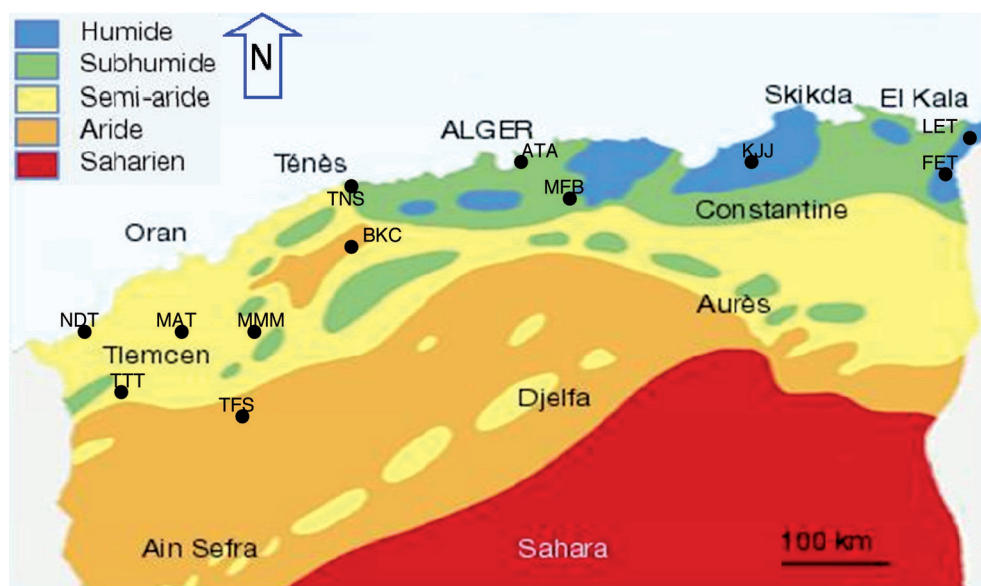


Figure 1.— Carte de localisation des provenances algériennes de *Datura stramonium* ayant fait l'objet de l'étude (selon la carte de répartition des secteurs biogéographiques de Quézel & Santa, 1962).

Location map of Algerian origins of studied *Datura stramonium* samples (according to the map of biogeographic areas by Quézel & Santa, 1962).

TABLEAU I

Caractéristiques climatiques des lieux de prélèvements
Climatic characteristics of sampling sites

Provenances	Localisation	Codes	Pluviométrie (mm/an)	Altitude (m)	Étage Bioclimatique	Type de Station
Kennar	Jijel	KJJ	1200	220	Humide	Champ cultivé
Lac Tonga	El-Tarf	LET	1000	2	Humide	Lisière de forêt
Frine	El-Tarf	FET	950	14	Humide	Champ cultivé
Ain-Taya	Alger	ATA	700	36	Sub humide	Champ cultivé
Meftah	Blida	MFB	600	99	Sub humide	Champ cultivé
Ténès	Ténès	TNS	580	83	Sub humide	Champ cultivé
Tlemcen	Tlemcen	TTT	550	552	Semi aride	Bord de route
Boukadir	Chlef	BKC	500	105	Semi aride	Champ cultivé
Nedroma	Tlemcen	NDT	500	302	Semi aride	Champ cultivé
Melah	Ain Temouchent	MAT	450	63	Semi aride	Sol dégradé
Mascara	Mascara	MMM	400	476	Semi aride	Champ cultivé
Tifrit	Saida	TFS	250	979	Semi aride	Champ cultivé

EXTRACTION DES ALCALOÏDES

L'extraction des alcaloïdes a été faite selon la méthode décrite par Amdoun *et al.* (2009). Cent mg de poudre de feuilles séchées à 60° C pendant 48 heures sont traités par une solution acide d'HCl (0,1N). Après filtration, la solution est alcalinisée par du NH₄OH (28 %) jusqu'à atteindre le pH 10. La solution aqueuse est ensuite filtrée puis épuisée trois fois par du CHCl₃ à volumes égaux (v/v). Un séchage du triple volume de CHCl₃ récupéré est effectué par du Na₂SO₄ anhydre. Après filtration, la solution de CHCl₃ est évaporée à sec dans un rotavapor.

DOSAGE DES ALCALOÏDES

Le dosage des alcaloïdes (hyoscyamine et scopolamine) a été réalisé, pour les 12 provenances, à partir des poudres de feuilles prélevées au niveau intermédiaire des plantes car ces alcaloïdes se concentrent davantage dans les feuilles et les fleurs qu'au niveau des racines (Witte *et al.*, 1987). Le prélèvement est effectué au stade de pleine floraison (60 JAS). Le résidu sec est repris dans 5 ml de dichlorométhane puis filtré. Le filtrat est ensuite analysé par GC-MS selon le protocole de Kartal *et al.* (2003). L'identification des différents constituants de l'extrait est effectuée sur la base des spectres de masse et des étalons.

ANALYSE STATISTIQUE

L'analyse des données a été faite à l'aide du logiciel Statgraphics version 15.2.05. Les variables étudiées ont d'abord été soumises à une analyse de la variance à un critère de classification (ANOVA) ajusté sur le modèle MLG (Modèle linéaire général). Si le test de l'ANOVA était significatif, l'étude était complétée par le test de la plus petite différence significative (PPDS) de Student. S'ensuivaient des analyses multivariées : analyse en composantes principales (ACP), analyse factorielle discriminante (AFD). Ces deux dernières analyses ont été réalisées à l'aide du logiciel Xstat Pro version 7.1.

RÉSULTATS

Les analyses de la variance montrent des effets très hautement significatifs pour l'ensemble des caractères étudiés (Tab. II). Ceci indique la présence d'une forte diversité inter-provenance, synonyme d'une adaptation des provenances de *Datura stramonium* étudiées à leurs milieux d'origine. Les tests de la pds permettent, d'une part, de classer les différentes provenances en groupes homogènes et, d'autre part, de donner plus d'informations sur l'importance de la diversité caractérisant les provenances étudiées (Tab. III & IV).

CARACTÉRISATION DE LA MORPHOLOGIE DES PLANTES

Le facteur provenance exerce un effet très hautement significatif pour l'ensemble des caractères liés à la morphologie des plantes de *Datura stramonium* (Tab. II). Les tests de la pds (Tab. III) confirment ce résultat. La plus grande diversité morphologique se trouve au

TABLEAU II

Analyse de la variance des caractères biométriques des 12 provenances
Variance Analysis of the biometric characters of the 12 studied samples

Matériel végétal	Caractères	CM	ddl	Fobs	P	Signification
Plants	<i>Surface foliaire (SF)</i>	136,10	11 : 168	10,74	0.0000	***
	<i>Longueur des fleurs (LOF)</i>	1,85	11 : 168	24,18	0.0000	***
	<i>Nombre de capsules par plant (NCP)</i>	35,53	11 : 168	35,70	0.0000	***
	<i>Nombre de ramifications par plant (NRP)</i>	37,00	11 : 168	10,91	0.0000	***
	<i>Hauteur du plant (HP)</i>	11,72	11 : 168	21,48	0.0000	***
	<i>Diamètre au collet (DC)</i>	5,48	11 : 168	20,22	0.0000	***
Capsules	<i>Longueur des capsules (LOC)</i>	1,26	11 : 168	104,09	0.0000	***
	<i>Largueur des capsules (LAC)</i>	0,41	11 : 168	29,02	0.0000	***
	<i>Longueur des épines (LOE)</i>	1,03	11 : 168	122,24	0.0000	***
	<i>Poids secs des capsules vides (PSCV)</i>	0,05	11 : 168	7,73	0.0000	***
Graines	<i>Longueur des graines (LOG)</i>	0,05	11 : 168	77,79	0.0000	***
	<i>Largueur des graines (LAG)</i>	0,04	11 : 168	27,85	0.0000	***

*** Très hautement significatif ; *** *Very highly significant.* Leaf area (SF) ; Flower length (LOF) ; Number of capsules per plant (NCP) ; Number of branches per plant (NRP) ; Plant height (HP) ; Collar diameter (DC) ; Capsule length (LOC) ; Capsule width (LAC) ; Spine length (LOE) ; Dry weight of empty capsule (PSCV) ; Seed length (LOG) ; Seed width (LAG).

TABLEAU III
Caractérisation morphologique des plantes
Morphological characterization of the plants

Provenances	Morphologie des organes de la plante					
	Surface foliaire (SF)	Longueur des fleurs (LOF)	Nombre de capsules par plant (NCP)	Nombre de ramifications par plant (NRP)	Hauteur du plant (HP)	Diamètre au collet (DC)
LET	140,68 ^{bcde}	98,91 ^{fg}	20,60 ^d	82,40 ^{bc}	110,60 ^d	35,68 ^{de}
FET	145,66 ^{de}	101,26 ^{fgh}	10,80 ^c	123,80 ^e	108,40 ^d	35,94 ^{de}
KJJ	124,23 ^{abcde}	102,93 ^{gh}	1,40 ^a	118,20 ^e	76,40 ^b	27,89 ^c
ATA	75,68 ^a	95,33 ^{cd}	21,00 ^d	48,80 ^a	62,20 ^a	20,66 ^a
MFB	90,27 ^{abcd}	103,45 ^{hi}	28,60 ^e	111,80 ^{de}	106,40 ^d	26,16 ^{bc}
TNS	181,35 ^e	107,19 ⁱ	3,80 ^a	89,00 ^{bcd}	95,20 ^c	34,05 ^d
BKC	138,89 ^{ede}	97,38 ^{df}	3,60 ^a	73,80 ^b	82,00 ^b	32,97 ^d
MMM	85,04 ^{abc}	88,97 ^{ab}	31,60 ^e	118,20 ^e	94,60 ^c	23,32 ^{ab}
TFS	107,48 ^{abcd}	111,34 ^j	6,40 ^b	52,80 ^a	78,40 ^b	23,35 ^{ab}
MAT	78,29 ^{ab}	88,05 ^a	24,80 ^{de}	104,40 ^{ede}	92,00 ^c	25,39 ^{bc}
TTT	172,62 ^e	92,79 ^{bc}	10,60 ^c	111,00 ^{de}	110,60 ^d	38,71 ^f
NDT	377,85 ^f	99,03 ^{fg}	8,00 ^{bc}	125,00 ^e	114,00 ^d	38,87 ^f
Nombre de groupes homogènes	6	10	5	5	4	6

Les lettres à côté des nombres représentent les groupes homogènes. Les valeurs ayant des lettres différentes sont statistiquement différentes à 5 %. The letters beside the figures designate the homogeneous groups. Values with different letters are statistically different at 5 %.

niveau de la longueur des fleurs montrant 10 groupes homogènes. Ainsi, la provenance TFS vient en tête du classement avec les plus grandes fleurs (111,4 mm) suivie par les provenances TNS et MFB (107,19 mm et 103,45 mm respectivement) puis KJJ et FÉT (102,93 mm et 101,26 mm respectivement). La provenance MAT est caractérisée par les plus petites fleurs (88 mm). Le diamètre au collet et la surface des feuilles montrent chacun 6 groupes homogènes. Ces deux derniers caractères expriment assez bien la diversité inter-provenance. Les provenances TTT (38,71 mm et 172,62 cm²) et NDT (38,87 mm et 377 cm²) occupent le premier rang. Par ailleurs, le nombre de capsules (NRC) et le nombre de ramifications (NRP), caractérisent moyennement la diversité inter-provenance avec 5 groupes homogènes. Enfin, la hauteur de la plante est le caractère qui présente le moins de groupes homogènes, seulement 4. Ce dernier caractère ne semble pas être un bon critère pour la caractérisation morphologique des provenances de *Datura stramonium*.

CARACTÉRISATION MORPHOLOGIQUE DES CAPSULES ET DES GRAINES

L'analyse de la variance des données biométriques des capsules met en évidence des effets provenance très hautement significatifs. En effet, sur les 4 caractères liés à la biométrie des capsules, seulement 2 se montrent assez bien discriminants des provenances étudiées (Tab. IV). Il s'agit de la largeur des capsules avec 8 groupes homogènes et la longueur des épines avec 6 groupes homogènes. Les provenances de MFB et MAT sont caractérisées par les plus grandes largeurs de capsules (32,31 mm et 31,77 mm respectivement) alors que celles de NDT et d'ATA sont caractérisées par les plus petites largeurs de capsules (29,93 mm et 26,82 mm respectivement). Par ailleurs, la provenance MFB est dotée de capsules avec les plus grandes épines (7,85 mm) alors que la provenance NDT porte les plus petites épines (3,35 mm). Les autres provenances sont intermédiaires.

TABLEAU IV
Caractérisation morphologique des capsules et des graines
 Morphological characterization of capsules and seeds

Provenances	Morphologie					
	Capsules				Graines	
	Longueur des capsules (LOC)	Largeur des capsules (LAC)	Longueur des épines (LOE)	Poids secs des capsules vides (PSCV)	Longueur des graines (LOG)	Largeur des graines (LAG)
LET	38,11 ^{ab}	28,00 ^{bc}	3,76 ^b	1,33 ^{abc}	3,81 ^f	2,80 ^{fg}
FET	38,03 ^{ab}	28,85 ^{cd}	3,99 ^{bc}	1,64 ^e	3,18 ^a	2,46 ^a
KJJ	39,03 ^{bc}	30,08 ^{ef}	3,98 ^{bc}	1,25 ^a	3,39 ^c	2,81 ^g
ATA	38,73 ^{abc}	26,82 ^a	4,90 ^d	1,35 ^{abc}	3,40 ^c	2,71 ^{def}
MFB	51,14 ^f	32,31 ^h	7,85 ^f	1,57 ^{de}	3,57 ^d	2,78 ^{fg}
TNS	41,60 ^d	30,94 ^{fg}	4,75 ^d	1,65 ^e	3,30 ^b	2,67 ^{cde}
BKC	39,19 ^c	28,44 ^c	4,14 ^c	1,32 ^{ab}	3,15 ^a	2,51 ^{ab}
MMM	42,53 ^d	29,97 ^e	5,39 ^e	1,29 ^{ab}	3,45 ^c	2,75 ^{efg}
TFS	41,93 ^d	29,68 ^{de}	5,50 ^e	1,35 ^{abc}	3,66 ^e	2,94 ^h
MAT	43,80 ^e	31,77 ^{gh}	5,35 ^e	1,42 ^{bc}	3,86 ^f	3,08 ⁱ
TTT	37,91 ^a	27,51 ^{ab}	3,93 ^{bc}	1,47 ^{cd}	3,29 ^b	2,63 ^{cd}
NDT	37,79 ^a	26,93 ^a	3,35 ^a	1,22 ^a	3,27 ^b	2,59 ^{bc}
Nombre de groupes homogènes	4	8	6	5	6	9

Les lettres à côté des nombres représentent les groupes homogènes. Les provenances ayant des lettres différentes sont statistiquement différentes à 5 %. The letters beside the figures designate the homogeneous groups. Values with different letters are statistically different at 5 %.

En ce qui concerne les graines, le facteur provenance semble exercer un effet très hautement significatif pour les 2 caractères liés à la biométrie des graines de *Datura stramonium* (Tab. IV). La largeur des graines est hautement discriminante des différentes provenances. Le test de la ppps montre pour ce caractère 9 groupes homogènes. Les graines issues de MAT présentent les largeurs les plus élevées (3,08 mm). Elles sont suivies par celles de TFS (2,94 mm). Ces deux provenances sont issues des zones semi-arides. Les graines de FET présentent les plus faibles largeurs (2,46 mm), Elles sont issues d'une zone humide. Par ailleurs, la longueur des graines (6 groupes homogènes) discrimine assez bien la diversité des provenances de *D. stramonium* étudiées. La biométrie des graines se présente donc comme un bon marqueur morphologique pour l'étude de la diversité inter-provenance chez *D. stramonium* (Tab. IV).

CARACTÉRISATION BIOCHIMIQUE : TENEURS EN ALCALOÏDES

La production alcaloïdique moyenne, toutes provenances confondues, des feuilles de *Datura stramonium* est de $1 \pm 0,17 \text{ mg.g}^{-1}$ de matière sèche (MS). La teneur moyenne en hyoscyamine (HS) est supérieure à celle de la scopolamine (SC) avec respectivement $0,723 \pm 0,11 \text{ mg.g}^{-1}$ et $0,277 \pm 0,04 \text{ mg.g}^{-1}$ MS. La teneur la plus élevée est enregistrée chez la provenance TTT de Tlemcen avec une moyenne de $1,324 \text{ mg.g}^{-1}$ MS, répartie en $0,957 \text{ mg}$ d'HS et $0,367 \text{ mg}$ de SC. La plus faible teneur en alcaloïdes totaux est enregistrée chez la provenance ATA, avec $0,803 \text{ mg.g}^{-1}$ MS répartie en $0,58 \text{ mg}$ d'HS et $0,223 \text{ mg}$ de SC (Tab.V).

À l'issu de cette première partie de l'étude, nous ne retiendrons que les caractères morphologiques (SF, LOF, LAC, LAG, LOG, LOE, DC,) ayant présenté 6 groupes homogènes et

TABLEAU V

Variation des teneurs moyennes en alcaloïdes (hyoscyamine, scopolamine et totaux) en fonction des provenances de *Datura stramonium* étudiées

Variation of the average alkaloids contents (hyoscyamine, scopolamine and total) according to the origin of the studied *Datura stramonium*

Provenances	hyoscyamine (mg.g ⁻¹ MS)	scopolamine (mg.g ⁻¹ MS)	alcaloïdes totaux (mg.g ⁻¹ MS)
ATA	0,58	0,223	0,803
BKC	0,613	0,236	0,849
MMM	0,613	0,236	0,849
TFS	0,62	0,231	0,851
MAT	0,634	0,243	0,877
KJJ	0,704	0,269	0,973
NDT	0,714	0,274	0,988
MFB	0,723	0,279	1,002
TNS	0,727	0,279	1,006
LET	0,887	0,341	1,228
FET	0,891	0,341	1,232
TTT	0,957	0,367	1,324

plus (synonyme d'une bonne diversité morphologique) ainsi que les teneurs en HS et SC pour réaliser les analyses multivariées.

ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES

Pour comprendre la structure de leurs différents caractères biométriques, les provenances de *Datura stramonium* cultivées en conditions expérimentales similaires sont réparties dans un système d'axes définis par différents plans. Cette analyse a porté sur les 12 provenances, les 7 variables quantitatives (SF, LOF, LAC, LAG, LOG, LOE, DC) et les deux variables écologiques (pluviométrie et altitude) des milieux d'origine de ces provenances, en plus des teneurs en hyoscyamine et scopolamine.

En tenant compte des pourcentages de variation donnés par les quatre premiers axes, nous ne retiendrons que le plan 1-2 qui se caractérise par les valeurs propres 4,923 pour l'axe F1 et 1,739 pour l'axe F2, axes qui expliquent respectivement 44,75 % et 15,81 % de la diversité soit 60,56 % de l'information totale (Fig. 2).

Ainsi, la partie positive de la première composante principale (F1) est déterminée par le diamètre au collet, la surface foliaire, la production alcaloïdique et la pluviométrie, variables positivement et significativement corrélés entre elles à l'exception de la pluviométrie. Ces variables caractérisent les provenances LET, FET, KJJ (Est Algérien) et TTT de Tlemcen (Ouest Algérien). La production alcaloïdique est corrélée avec le diamètre au collet, la surface foliaire et la pluviométrie. En effet, la provenance TTT produit en moyenne 0,957 mg.g⁻¹ MS d'hyoscyamine et 0,367 mg.g⁻¹ MS de scopolamine. La matrice des corrélations révèle que les provenances ayant les teneurs les plus élevées en alcaloïdes (FET, LET, TNS, NDT et KJJ) sont celles qui ont les plus grandes surfaces foliaires et les diamètres au collet les plus élevés.

En revanche, la partie négative de cette même composante est représentée par la largeur des capsules, la longueur des épines, la longueur et la largeur des graines qui sont positivement et significativement corrélées entre elles. Ces variables caractérisent bien les provenances MAT (semi-aride) et MFB (subhumide). Dans ce cas, il semblerait que les plants ayant une faible biomasse végétative développent de petites capsules portant de courtes épines et de petites graines.

La deuxième composante principale (F2) est déterminée positivement par les provenances BKC, TNS et NDT (semi-aride) caractérisées par des plants ayant des surfaces foliaires et des

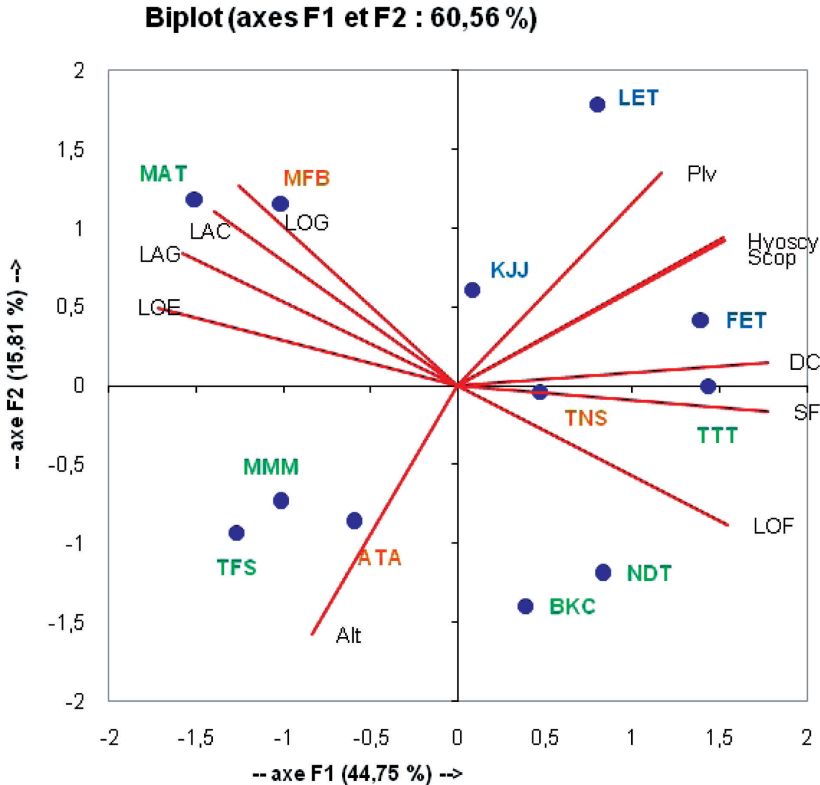


Figure 2.— Analyse en composantes principales des 12 provenances de *Datura stramonium* (axes 1-2). Alt : Altitude ; Plv : Pluviométrie.

Principal Component Analysis of the 12 Datura stramonium samples (axes 1-2). Alt: altitude; Plv: rainfall.

fleurs de plus grande dimension. Ces provenances produisent en moyenne (0,76 mg.g⁻¹ MS pour l'hyoscyamine et 0,24 mg.g⁻¹ MS pour la scopolamine). Par ailleurs, la partie négative de cet axe est représentée par les provenances MMM, TFS (semi-aride) et ATA (subhumide) formant un groupe isolé de l'ensemble des provenances prospectées. La plus faible teneur en alcaloïdes est observée chez la provenance ATA (0,58 mg.g⁻¹ MS pour l'hyoscyamine et 0,223 mg.g⁻¹ MS pour la scopolamine).

ANALYSE FACTORIELLE DISCRIMINANTE

L'analyse des fonctions discriminantes en se basant sur les variables quantitatives de 180 observations est utilisée pour bâtir le modèle permettant de discriminer les 12 provenances. Neuf fonctions discriminantes présentent des probabilités inférieures à 0,05. Elles sont donc statistiquement significatives au niveau de confiance de 95 %.

Quatre groupes de populations sont nettement bien discriminés (Fig. 3) ; le premier axe permet déjà de les isoler convenablement. Ainsi, le premier groupe se distingue par la provenance du lac Tonga LET (humide), qui se trouve en pleine forêt près d'un lac. Le second groupe est caractérisé par les provenances MAT, TFS et MMM (semi-aride) en mélange avec l'unique provenance ATA de l'étage subhumide. Le troisième groupe est caractérisé par les provenances de MFB (subhumide) qui s'isole à part. Quant au quatrième groupe, il réunit trois provenances du semi aride (BKC, TTT et NDT) et trois provenances de l'étage humide (FET, KJJ et TNS).

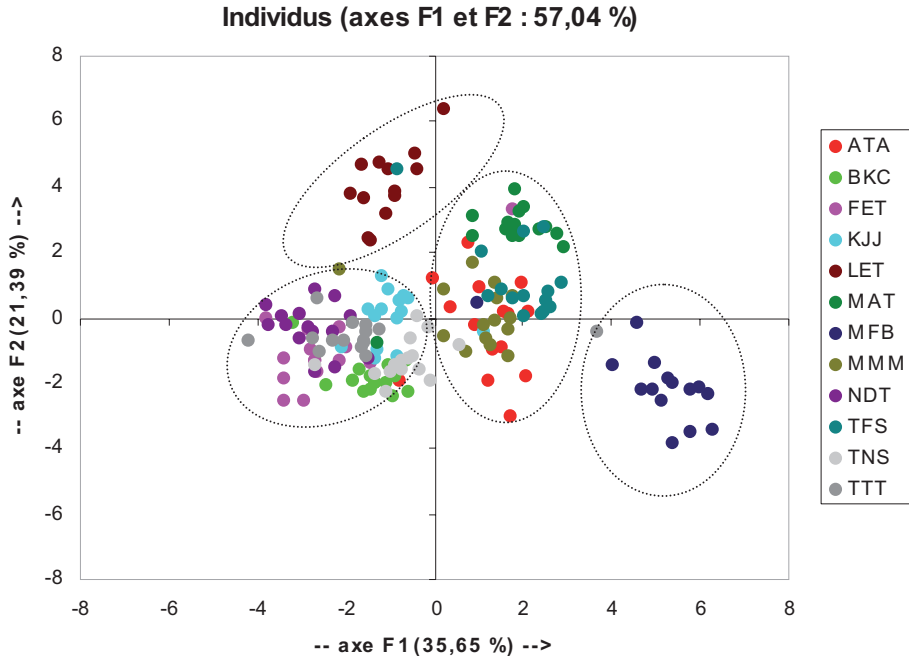


Figure 3.— Analyse factorielle discriminante des 12 provenances de *D. stramonium*.
Factorial Discriminant Analysis of the 12 D. stramonium samples.

Au vu de ces résultats, l'étage bioclimatique ne semble pas jouer un rôle décisif dans la discrimination des provenances étudiées. Ce serait la station pédoclimatique d'origine dans son ensemble qui jouerait un effet prépondérant dans la discrimination des provenances étudiées.

DISCUSSION

La diversité spécifique des daturas à l'échelle mondiale est très importante (Evans, 1979 ; Yousaf *et al.*, 2008). Il en résulte que leur identification, basée sur des caractères morphologiques, est difficile (Yousaf *et al.*, 2008). Armstrong (1980) admet que les caractéristiques morphologiques sont sujettes à des variations et dépendent bien de plusieurs paramètres bioclimatiques et écologiques. En effet, l'étude de 12 provenances algériennes de *Datura stramonium* issues de différents étages bioclimatiques et de différents milieux (forestiers ou agricoles) confirme l'existence d'une grande diversité morphologique pour la majorité des caractères considérés. Nos résultats corroborent ceux de Weaver *et al.* (1985) sur l'adaptation des différentes populations de *Datura stramonium* aux climats canadiens. Par ailleurs, l'étude de la diversité génétique de 246 accessions de *Pisum sativum* L., prélevées dans différentes régions du monde, a montré que le degré élevé de la variation allélique, qui est à l'origine de la variation morphologique, est présent dans la couleur et la forme des semences (Nisar *et al.*, 2008). Ceci serait également vrai pour les provenances de *Datura* qui reflètent bien elles aussi la pression exercée par le milieu d'origine dans lequel elles se sont développées.

La longueur des fleurs est le caractère qui a présenté le plus grand nombre de groupes homogènes, il est synonyme d'une grande diversité des provenances étudiées. Blakeslee (1937) a démontré que la taille des fleurs ainsi que le diamètre du pollen chez *D. stramonium* sont proportionnels à son niveau de ploïdie. Les plantes diploïdes (2n) sont celles qui présentent les plus petites fleurs ainsi que les plus faibles diamètres de pollen. Le *D. stramonium* semble développer une stratégie de survie en allouant plus de ressources à la reproduction, produisant

ainsi de longues fleurs et de nombreuses capsules par l'ajustement de son niveau de ploïdie. La provenance TFS, issue de l'étage bioclimatique du semi-aride de haute altitude, est celle qui présente les plus grandes fleurs parallèlement à une surface foliaire et des teneurs en alcaloïdes réduites. Fabbro & Körner (2004) suggèrent que les pollinisateurs sont rares en haute altitude et pensent que les espèces végétales dans ce type de milieu allouent trois fois plus d'énergie vers les structures florales que les plantes se trouvant en basse altitude.

Les tailles des capsules et des épines caractérisent assez bien la diversité des 12 provenances au niveau morphologique. Ces deux caractères sont influencés par le phénomène de trisomie observé chez *D. stramonium* où les plantes trisomiques sont viables, cependant la morphologie de leurs capsules et épines se trouve affectée. Selon Blakeslee (1934), douze trisomies sont possibles et des exemples de chacune d'elles ont été observés. Par ailleurs, chaque type de trisomie entraîne un type de capsule et/ou d'épines particulier.

Par ailleurs, il est possible que des provenances très proches géographiquement mais subissant des contraintes environnementales différentes expriment des formes différentes. Inversement, les provenances très distantes les unes des autres, mais soumises à des conditions d'environnement similaires, montrent des formes assez proches. Notre étude a montré que les 12 provenances gardaient globalement en mémoire les mêmes comportements que ceux exprimés dans leurs milieux d'origine. Ceci a été démontré par les effets provenance sur l'ensemble des caractères étudiés dans le milieu expérimental homogène. Ce phénomène a été mis en évidence chez *Arabidopsis* qui garde en mémoire les événements stressants en transmettant à sa descendance la capacité de s'adapter aux conditions difficiles. C'est le phénomène des recombinaisons homologues qui serait à l'origine, permettant aux plantes de réajuster leur niveau d'adaptation aux nouvelles conditions du milieu. La même étude a montré aussi que cette capacité de réarrangement est susceptible de persister sur plusieurs générations. Ce type de comportement ne résulte pas de mutations ayant porté sur des chromosomes, mais relève plus d'un phénomène épigénétique (Molinier *et al.*, 2006).

Comme pour les caractères morphologiques, la teneur en alcaloïdes est la résultante d'autres facteurs difficiles à contrôler. En effet, l'éclairement (durée et intensité), les fortes humidités relatives de l'air (Cosson *et al.*, 1966 ; Cosson, 1972) ainsi que la composition chimique du sol notamment en CaCO₃ et en matière organique (Houmani, 1999) favorisent une augmentation des teneurs en hyoscyamine et en scopolamine. L'ensemble de ces paramètres pourrait expliquer l'existence d'une relation étroite entre les caractères morphologiques, l'effet du milieu et la production alcaloïdique des provenances prospectées.

Nos résultats montrent également que la surface foliaire, le diamètre au collet et les teneurs en hyoscyamine et scopolamine sont positivement et significativement corrélés. Ces trois caractères caractérisent les provenances de basse altitude (LET, FET, TNS et MFB) des étages bioclimatiques humide et subhumide ainsi que deux provenances de moyenne altitude de l'étage semi-aride (TTT et NDT).

De nombreux auteurs (Karnick & Saxena, 1970 ; Gupta & Madan, 1975 ; Stecka *et al.*, 1975 ; Chandra & Purohit, 1980 ; Brachet & Cosson, 1986 ; Van de Velde *et al.*, 1988 ; Shonle & Bergelson, 2000) considèrent que la production alcaloïdique est une réponse adaptative vis-à-vis de certains paramètres écologiques tels que le climat et l'altitude. Andola *et al.* (2010) estiment que la production de la berbérine (alcaloïde) produite par *Berberis pseudumbellata* est étroitement liée aux habitats et concluent que les populations se trouvant à faible altitude produisent plus de berbérine que les populations se trouvant à des altitudes plus élevées.

Sur la base des résultats précédents, deux provenances de basse altitude de l'étage bioclimatique humide (FET et LET) ainsi que la provenance TTT de l'étage bioclimatique semi-aride de moyenne altitude peuvent être retenues pour améliorer la production alcaloïdique chez *Datura stramonium*. Ces provenances peuvent être utilisées comme matériel végétal de base pour mener des programmes d'amélioration par voie classique (Blakeslee & Satina, 1944 ; Schieder, 1978) et/ou par voie biotechnologique (Saenz-Carbonel & Loyola-Vargas, 1996 ; Amdoun *et al.*, 2009, 2010).

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier M. Lellouchi Mohamed, Ingénieur au laboratoire de recherche sur les écosystèmes forestiers (ENSA) pour sa collaboration dans les prospections sur le terrain ainsi que les deux relecteurs anonymes qui ont commenté une première version de ce texte.

RÉFÉRENCES

- AMDOUN, R., KHELIFI, L., KHELIFI-SLAOUI, M., AMROUNE, S., BENYOUSSEF, E.H., THI, D.V., ASSAF-DUCROCQ, C. & GONTIER, E. (2009). — Influence of minerals and elicitation on *Datura stramonium* L. tropane alkaloid production : Modelization of the *in vitro* biochemical response. *Plant Science*, 177 : 81-87.
- AMDOUN, R., KHELIFI, L., KHELIFI-SLAOUI, M., AMROUNE, S., ASCH, M., ASSAF-DUCROCQ, C. & GONTIER, E. (2010). — Optimization of the culture medium composition to improve the production of hyoscyamine in elicited *Datura stramonium* L. hairy roots using the response surface methodology (RSM). *Int. J. Mol. Sci.*, 11 : 4726-4740.
- ANDOLA, H.C., RAWAL, R.S., RAWAT, M.S.M., BHATT, I.D. & PUROHIT, V.K. (2010). — Habitat-dependent variations in berberine content of *Berberis asiatica* ROXB. ex. DC. in Kumaon, Western Himalaya. *Chem. & Biodiv.*, 7 : 415-420.
- ARMSTRONG, W.P. (1980). — The curious names of our wildflowers. *Desert Magazine*, 43 (10) : 10-11.
- BABA AISSA, F. (1991). — *Les plantes médicinales en Algérie*. Coéd. Bouchane & Ad. Diwan, Alger.
- BÉLIARD, E., MET, C. & MOREL-KRAUSE, E. (2002). — Protection alternative des cultures ornementales sous serre. *Phytoma. La défense des végétaux*, 546 : 42-44.
- BLAKESLEE, A.F. (1934). — New Jimson weeds from old chromosomes. *J. Heredity*, 25 : 80-108.
- BLAKESLEE, A.F. (1937). — Dédoublément du nombre de chromosomes chez les plantes par traitement chimique. *CR Acad. Sci. Paris*, 205 : 476-479.
- BLAKESLEE, A.F. & SATINA, S. (1944). — New hybrids from incompatible crosses in *Datura* through culture of excised embryos on malt media. *Science*, 99 (2574) : 331-334.
- BRACHET, J. & COSSON, L. (1986). — Changes in the total content of *Datura innoxia* Mill. subjected to salt stress. *J. Exp. Bot.*, 37 : 650-656.
- CHANDRA, P. & PUROHIT, A.N. (1980). — Berberine contents and alkaloid profile of *Berberis* species from different altitudes. *Biochem. Syst. and Ecol.*, 8 : 379-380.
- COSSON, L. (1972). — *Influence de l'éclairement sur la teneur en alcaloïdes tropaniques des Datura : Analyse des processus pouvant en expliquer les effets*. Thèse de Doctorat d'État en Sciences Naturelles, Université Paris VI.
- COSSON, L., CHOUARD, P. & PARIS, R.R. (1966). — Influence de l'éclairement sur la variation ontogénique des alcaloïdes de *Datura tatula*. *Lloydia*, 29 : 19-25.
- EVANS, W.C. (1979). — Tropane alkaloids of the *Solanaceae*. Pp 241-254 in J.G. Hawkes, R.N. Lester & A.D. Skelding (eds.), *The biology and taxonomy of the Solanaceae*. Linnean Society Symposium Series 7. Academic Press, London.
- FABBRO, T. & KÖRNER, C. (2004). — Altitudinal differences in flower traits and reproductive allocation. *Flora*, 199 : 70-81.
- FELIDJ, M. & HOUMANI, Z. (2006). — *Domestication de Datura stramonium sous stress hydrique pour l'optimisation de la production en alcaloïdes d'intérêt thérapeutique*. International Symposium on Perfume, Aromatic and Medicinal Plants : from production to valorization.
- GUPTA, S. & MADAN, C.L. (1975). — Effect of growth retardants on growth and alkaloid formation in *Datura metel* var. *fastuosa*. *Planta Medica*, 28 : 193-200.
- HOUMANI, Z. (1999). — *Quelques plantes algériennes à alcaloïdes tropaniques, effet du stress salin et hydrique sur la production d'alcaloïdes, variation de leurs teneurs au cours du stockage*. Thèse de Doctorat. I.N.A, El-Har-rach, Alger.
- HOUMANI, Z. & COSSON, L. (2000). — Quelques espèces algériennes à alcaloïdes tropaniques. *Ethnopharmacology. Edit-Erga* : 205-219.
- HOUMANI, Z., COSSON, L., CORBINEAU, F. & COM, D. (1994). — Étude de la teneur en hyoscyamine et en scopolamine d'une population sauvage de *Datura stramonium* L en Algérie. *Acta. Bot. Gallica*, 141 : 61-66.
- KARNICK, C.R & SAXENA, M.D. (1970). — On the variability of alkaloid production in *Datura* species. *Planta Medica*, 19 : 266-269.
- KARTAL, M., KURUCU, S., ALTUN, L., CEYHAN, T., SAYAR, E., CEVHEROOLU, S. & YETKIN, Y. (2003). — Quantitative analysis of l-hyoscyamine in *Hyoscyamus reticulatus* L. by GC-MS. *Turk. J. Chem.*, 27 : 565-569.
- KHELIFI-SLAOUI, M., REZINE, R., AMROUN, S., AMDOUN, R. & KHELIFI, L. (2005). — Embryons somatiques et bourgeons néoformés induits sur explants issus de vitrosemis de *Datura stramonium* L. d'origine algérienne. *Actes du séminaire international sur l'amélioration des productions végétales*. Alger, Ed. Khelifi : 114-118.
- MAIRURA, F.S. & SETSHOGO, M.P. (2008). — *Datura stramonium* L. In : G.H. Schmelzer & A. Gurib-Fakim (eds). *Protas* 11(1) : Medicinal plants/Plantes médicinales 1. [CD-Rom]. PROTAS, Wageningen, Pays Bas.

- MOLINIER, J., RIES, G., ZIPFEL, C. & HOHN, B. (2006). — Transgeneration memory of stress in plants, *Nature*, 442 : 1046-1049.
- NISAR, M., GHAFOR, A., HABIB AHMAD KHAN, M.R., QURESHI, A.S., HAIDER, A. & ISLAM, M. (2008). — Evaluation of genetic diversity of *Pea* germplasm through phenotypic trait analysis. *Pak. J. Bot.*, 40 : 2081-2086.
- PÉLIKAN, W. (1986). — *L'homme et les plantes médicinales. Tome I.* Centre Triades, Paris.
- QUÉTIN LECLERCQ, J. (2001). — Le voyage insolite de la plante au médicament. *J. Pharm. Belgique*, 56 : 95-104.
- QUÉZEL, P. & SANTA, S. (1962). — *Nouvelle flore d'Algérie et des zones désertiques méridionales. Tome II.* Éditions du C.N.R.S., Paris.
- SAENZ-CARBONELL, L. & LOYOLA-VARGAS, V.M. (1996). — *Datura stramonium* hairy roots tropane alkaloid content as a response to changes in Gamborg's B5 medium. *Appl. Biochem. Biotechnol.*, 3 : 321-337.
- SCHIEDER, O. (1978). — Somatic hybrids of *Datura innoxia* Mill. + *Datura discolor* Bernh. and of *Datura innoxia* Mill. + *Datura stramonium* L. var *tatula* L. *Mol. Genet. Genom.*, 162 : 113-119.
- SHONLE, I. & BERGELSON, J. (2000). — Evolutionary ecology of the tropane alkaloids of *Datura stramonium* L. (*Solanaceae*). *Evolution*, 54 : 778-788.
- STECKA, L., MRUK-LUCZKIEWICZ, A. & WILK, S. (1975). — Output and composition of oil from seeds and total alkaloid content in leaves of *Datura stramonium* L. var. *tatula* (L.) from own cultivations. *Herba Polonica*, 21 : 17-23.
- VAN DER VELDE, H., DEMEYER, K. & DEJAEGERE, R. (1988). — Influence of IAA and DMAA on hyoscyamine and scopolamine production in *Datura stramonium* var *tatula*. *Acta Agron. Hungarica*, 37 : 55-63.
- WEAVER, S.E., DIRKS, V.A. & WARWICK, S.I. (1985). — Variation and climatic adaptation in Northern populations of *Datura stramonium*. *Can. J. Bot.*, 63 : 1303-1308.
- YOUSAF, Z., MASOOD, S., SHINWARI, Z., KHAN, M.A. & RABANI, A. (2008). — Evaluation of taxonomic status of medicinal species of the genus *Hyoscyamos*, *Withania*, *Atropa* and *Datura* based on polyacrylamide gel electrophoresis. *Pak. J. Bot.*, 40 : 2289-2297.