

多變量 解釋法에 의한 울무의 品種群 分類

權炳善* · 朴熙填**

Varietal Classification by Multivariate Analysis in Job's Tears (*Coix lachryma-jobi* L. var. *mayuen* STAFF)

Byung Sun Kwon* and Hi Jin Park**

ABSTRACT : Sixty two Job's Tear cultivars were largely classified into ten varietal groups and every varieties, except for Group V forming the Group by one variety, uniformly formed the Groups.

From Group I to Group X respectively contained three (5%), eighteen(29%), five(8%), thirteen (21%), one(2%), five(8%), seven(11%), four(7%), two(3%) and four (7%) varieties.

Group II and Group IV showed considerably large variation whereas Group VIII, IV and X showed low variation and inferiority in vigorosity and yield components.

Most of the varietal Group were not associated with their geographical origin. Days to flowering and plant height among the nine characters were the largest contributors to the D² in both inter- and inter groups.

울무 育種에서 有望한 系統을 選拔하려면 遺傳的 變異가 높은 廣範圍한 遺傳資源의 蒐集이 必要하게 된다. 그러나 많은 遺傳資源을 蒐集하고 이들에 대한 特性을 正確히 評價하여 兩親選定의 基礎資料로 提供하는데는 많은 品種과 特性을 同時에 考慮해야 하기 때문에 상당한 어려움이 있다. 따라서 蒐集된 遺傳子源의 特性을 基準으로 하여 體系的인 分類를 함으로써 兩親選定에 效率的인 利用이 될 수 있도록 할 必要가 있다.

多變量 解析法에는 Mahalanobis's distance analysis^{7,8)}, Discriminant function analysis¹²⁾, Factor analysis^{4,9,14)}, Principle component analysis⁵⁾ 등의 分析方法이 適用되고 있으나 울무에 대한 이러한 分類報告는 아직 없었다. 本 研究은 우리나라에서 蒐集된 울무 地方在來種과 導入品種을 對象으로 Mahalanobis Distance(D²)에 의하여 이들 品種間의 遺傳的 變異의 綜合 特性值에 따라 品種分類를 實施했던 바 몇가지 結果를 얻었기에 이를 간추려 報告하는 바이다.

本 試驗成績을 統計分析함에 있어 本大學 林俊澤 教授에게 진심으로 感謝드리며 試驗遂行에 많은

도움을 준 本大學 家政教育科 崔銀姬 嬢에게도 謝意를 表하는 바이다.

材料 및 方法

本 試驗은 1985年 5月부터 11월까지 順天大學 試驗圃場에서 實施하였다. 供試品種으로는 國內蒐集種 50品種, 外國導入品種 12品種, 合計 62品種이었다(表 1).

播種期는 5月 10日이었고 栽植密度는 60×10cm로 하였으며 施肥量은 成分量으로 10 a當 N-P₂O₅-K₂O=9-6-6 kg이었다. 其他는 作物試驗場 울무 標準栽培法에 準하였고 試驗區配置는 亂塊法 3反復으로 實施하였다. 特性調査는 區當 畦兩端의 2株를 除한 20個體를 株別로 農村振興廳 作物試驗場 調査 基準에 따라 調査하였다. 多變量 分析은 Wilk's λ test에 의하여

$$L = \frac{|W|}{|T|}, \quad x^2 = -[\sum n_i - 1 - \frac{1}{2}(k+p)] \ln L,$$

$$d. f. = P(k-1)$$

* 順天大學 (Suncheon National University, Suncheon 540-070, Korea)

** 朝鮮大學校 (Chosun University, Kwangju 501-759, Korea) <'89. 12. 4. 接受>

Table 1. Job's Tear varieties used as material.

No.	Varieties	No.	Varieties	No.	Varieties	No.	Varieties
1.	Kwangju local	17.	Jangseong local	33.	Jinyang local	49.	Iri local
2.	Mokpo local	18.	Yeongsanpo local	34.	Euiryeong local	50.	Gunsan local
3.	Yeosu local	19.	Nampyeong local	35.	Tongyeong local	51.	Sunchang local
4.	Suncheon local	20.	Neungju local	36.	Geoje local	52.	Heuksuk local
5.	Gangjin local	21.	Hwasun local	37.	Goseong local	53.	Musaeng local
6.	Haenam local	22.	Hadong local	38.	Namhae local	54.	Jungri local
7.	Yeongam local	23.	Jinju local	39.	Milyang local	55.	Gangsan local
8.	Muan local	24.	Hamyang local	40.	Kimhae local	56.	Eaeweon local
9.	Jindo local	25.	Sancheong local	41.	Haman local	57.	Dukjun local
10.	Gwangyang local	26.	Habcheon local	42.	Gimje local	58.	Chujun local
11.	Wando local	27.	Geochang local	43.	Igsan local	59.	Gungsung local
12.	Goheung local	28.	Sacheon local	44.	Namweon local	60.	Ewhataek local
13.	Boseong local	29.	Samcheonpo local	45.	Jeonju local	61.	Mato
14.	Gurye local	30.	Jinhae local	46.	Muju local	62.	Rio
15.	Gogseong local	31.	Changweon local	47.	Buan local		
16.	Naju local	32.	Masan local	48.	Jeongeub local		

|T| ; 全體分散, 共分散行列의 行列式
 |W| ; 殘差分散, 共分散行列의 行列式
 k ; 品種數
 p ; 形質數
 n ; 反復數

Mahalanobis's D^2 은 $D^2 = d'W^{-1}d$

W^{-1} ; 殘差分散, 共分散行列의 行列式

d ; 두 品種의 各 形質間의 Vector

D^2 의 계산은 Rao¹⁾의 方法에 의하여 各 形質의 殘差分散을 1로 하는 無相關平均으로 變換하고 變換된 形質間의 差의 자승의 總으로 62 個 品種의 全 比較組合 1091 個를 計算하였다.

Cluster analysis는 Single link cluster 方法에 의하여 62×62 가 $\sqrt{D^2}$ 行列에서 가장 最少인 D_{ij} 를 찾아 i 번째 品種을 第一 cluster로 하고 $(D_{ik} + D_{jk})/2$ 로서 두 行과 列을 合하여 새로운 行과 列을 만들었다. 이러한 과정을 61 회 되풀이 함으로써 61 개의 Cluster가 되었다. 이를 Dendrogram

으로 나타낸 후 品種群으로 Clustering 하면서 群內平均 D^2 值를 群間平均 D^2 值보다 항상 낮게 維持토록 하였다. 資料의 統計分析은 本大學 電子計算所에서 實施하였다.

結果 및 方法

1. 品種群 分類

供試된 62 個 品種間의 變異程度를 알기 위하여 各 形質別로 分散分析을 한 結果 表 2에서 보는 바와 같이 모든 形質이 高度의 有意差가 認定되었고 그 중 登熟率과 種實收量에서 가장 큰 F 值를 나타내었다.

多變量에 의한 品種群의 分類를 위하여 Mahalanobis's D^2 는 分散分析에서의 殘差의 分散, 共分散行列을 利用하여 Rao¹⁾의 方法에 따라 計算하였다. 따라서 D^2 值는 두 品種間의 形態의 類似性을 나타내는 것으로 D^2 值가 적을수록 서로 비슷하다

Table 2. Variation of the 9 characters in 62 varieties of Job's Tear.

Parameter	Flowering date	Maturing date	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	No. of stems	No. of grains	Rate of ripeness (%)	100 grains wt. (g)	Grain yield (kg/10a)
Mean	July 3	Sep. 4	176	1.04	10.4	62	64	9.53	212
Minimum	July 19	Sep. 7	122	0.74	8.1	52	52	7.25	158
Maximum	Aug. 12	Oct. 4	197	1.60	12.5	75	77	10.40	266
Range	24	27	75	0.86	4.4	23	25	3.15	108
Standard deviation	0.1	0.1	41.5	0.2	1.8	9.7	11.7	1.2	57.0
C.V. (%)	1.4	1.3	23.6	19.2	17.3	15.6	18.3	12.6	26.9
F	9.7**	13.4**	146.9**	6.0**	53.2**	150.6**	167.7**	0.0	167.1**

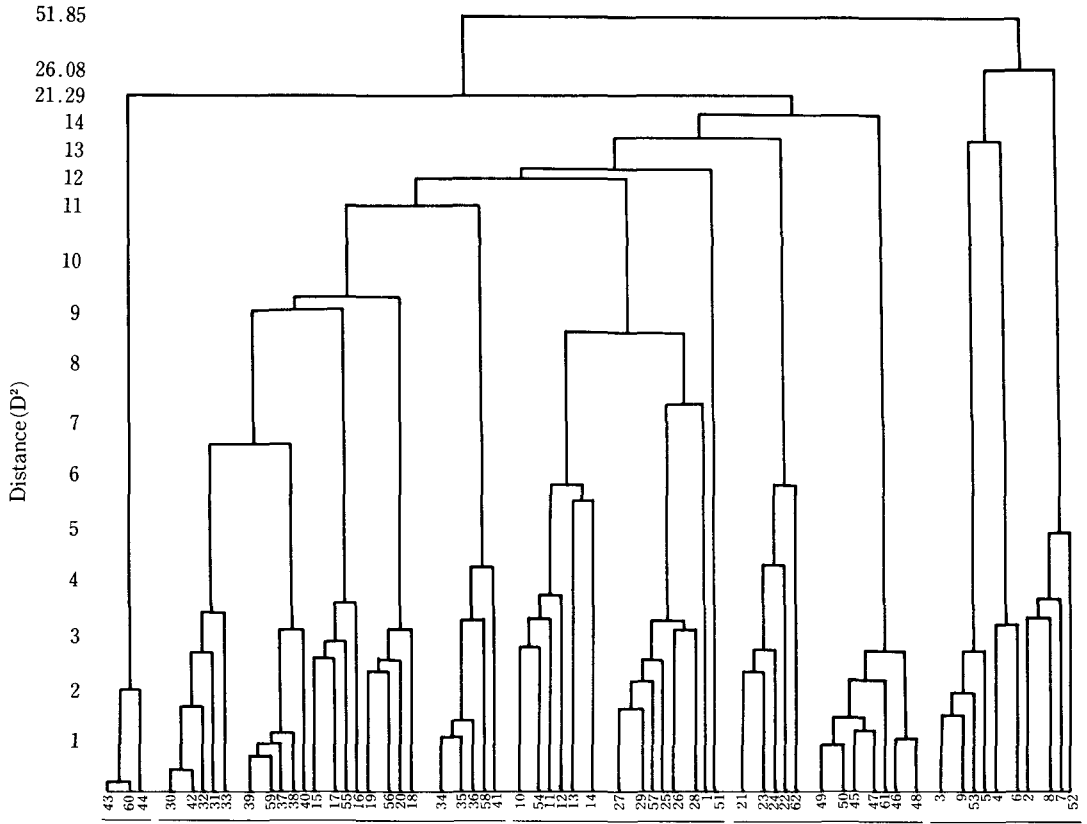


Fig. 1. Dendrogram of Sixty two varieties based on the D^2 Computed in nine Characters.

는 것을 알 수 있다.

D^2 値를 計算함에 있어 對象形質은 分類目的에 適合한 關聯形質을 많이 包含시킴이 妥當하겠으나 本研究에서는 收量과 關聯이 크고 品種區分의 特性으로 重要視되는 前述한 9 個 形質로 하였으며 62 個 全 品種間의 比較組合 1091 個의 D^2 를 計算하고 이를 Single link cluster 方法에 의하여 Dendrogram 으로 그린 것이 그림 1 이다.

그림 1에서 보는 바와 같이 品種間의 連結 樣狀에 따라 區分의 基準值 D^2 를 10.0 程度로 보아 크게 10 個群으로 區分하여 表 3 과 같이 정리하였다.

이로 미루어 보아 울무는 遺傳的 變異程度는 有意하고 그 幅은 他 作物에 비해 작지 않음을 알 수 있었다. 또한 한개 品種으로 品種群을 이루었던 51 番 品種(Sunchang)은 높은 D^2 를 가진 것으로 個 個品種을 品種群으로 볼 수도 있었다. 그리고 供試한 62 個 品種들이 同一 Group 에 集結됨을 볼 수 없었던 바 이는 Chandra²⁾, Bhatt¹⁾, Somayajulu³⁾ 이指摘했던 바와 같이 地理的 分布와 遺傳的 變異가 반드시 어떤 直接的 연계성을 가질 수

Table 3. Number of varieties of each group based on the D square.

Group No.	Varietal group by nine characters
I	3 *43, 60, 44.
II	18 30, 42, 32, 31, 33, 39, 59, 37, 38, 40, 15, 17, 55, 16, 19, 56, 20, 18.
III	5 34, 35, 36, 58, 41.
IV	13 10, 54, 11, 12, 13, 14, 27, 29, 57, 25, 26, 28, 1.
V	1 51.
VI	5 21, 23, 24, 22, 62.
VII	7 49, 50, 45, 47, 61, 46, 48.
VIII	4 3, 9, 53, 5.
IX	2 4, 6.
X	4 2, 8, 7, 52.

* Numbers indicate the variety numbers in table 1.

있는 것으로 보기는 어려운 것 같다.

2. 品種群別 特徵 및 群間・群內的 寄與度

9 個 形質의 品種群內 및 品種群間 D^2 의 平均値를 나타낸 것이 表 4 로서 對角線上的 數值가 品種群內的 平均値로 第V群은 한個 品種으로 이루어진 群이므로 $D^2 = 0.0$ 으로 變異가 없었고 第I群이 D^2

Table 4. Average D square of intra and inter group.

Varietal group	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
I	2.5	1155.1	1562.5	678.7	1003.2	718.3	2137.6	3885.8	2764.6	3879.0
II		140.7	257.1	438.5	243.8	428.1	446.7	5152.0	4255.8	5152.2
III			13.2	374.5	292.1	642.4	484.5	5963.5	5012.7	6111.5
IV				101.4	366.6	417.0	907.4	4635.5	3568.6	4866.5
V					0.0	604.7	871.5	4992.8	4128.3	4817.7
VI						25.3	495.3	4907.0	3858.5	5149.1
VII							5.7	6174.5	5238.4	6678.7
VIII								6.7	183.9	1191.9
IX									10.0	1140.4
X										19.9

= 2.5 로 群内變異가 가장 적었으며 第II群은 $D^2 = 140.7$ 로서 群内變異가 컸다. 群間에는 II群과 V群, VIII群과 IX群이 각각 $D^2 = 243.8, 183.9$ 로 가장 낮았다. 反面 第X群은 어느 群보다도 높은 D^2 値를 보였다.

品種群別 形質別 平均値를 나타낸 것이 表 5 인데 開花期를 보면 第VIII, IX, X群이 7月 2日로 빨랐고 第II, III, V, VII群이 7月 4日로 多少 늦은 편이었으며 나머지 第I, IV, VI群은 7月 3日로 中間程度였다. 成熟期에 있어서 第I, II, III, IV, V, VI, VII群은 9月 3日로 빨랐고 第VIII, IV, V群은 9月 6~7日로 늦었다.

草長은 VIII, IX, X群이 126.6 cm, 128.3 cm, 127.3 cm로 短稈이었고 나머지 群은 167.7 cm~194.4 cm로 長稈이었다. 여러 群 中에서도 第I群과 第V群은 草長, 莖太, 莖數, 粒數, 登熟率 等의 全形質이 모두 우수한 品種들이었다.

D^2 은 두 品種間 各 形質間 差의 자승의 합으로 各 品種群內의 D^2 를 形質別로 나누어 그 크기를 表 6에 나타내고 形質別로 D^2 에 대한 寄與度를 比較하였다. 第I, II, VII, VIII, IX群은 開花期가, 第

X群은 成熟期가 가장 크게 影響을 미치고 있으나 第III群은 草長이 第IV群은 登熟率이 第V群은 粒數가 D^2 에 크게 影響을 미치는 것으로 보아 大體로 群內는 開花期, 成熟期, 草長, 登熟率, 粒數가 가장 큰 變異를 보였다. 한편 品種群間 D^2 를 크게 한 形質을 알아보기 위해 10個 品種群間 62個 品種全 比較組合의 D^2 를 構成하는 各 形質에 順位를 부여하여 度數分布로 나타내고 全體에 대한 百分率을 나타낸 것이 表 7이다.

各 形質이 골고루 分布하고 있기는 하나 第1位는 開花期(51.0%), 第2位는 成熟期(22.0%)로 가장 큰 比重을 차지하고 있으며 3位 以後부터는 寄與한 形質別로 큰 差異를 보이지 않았다. 이 表에서 보아 알 수 있듯이 品種群의 區分은 주로 開花期와 成熟期 差異에 의하여 가장 크게 影響을 받았으며 이 두 形質이 비슷한 경우에는 다른 形質의 差異에 의하여 區分된 것으로 미루어 알 수 있다.

品種群間의 D^2 에 寄與한 程度가 開花期에서 가장 컸는데 이는 Ram 等¹⁰⁾, Das 等³⁾의 結果와 一致하며 다른 作物에서도 開花期^{6,7,13)}가 가장 寄與度가 컸던 것으로 報告되고 있다.

Table 5. Group mean of each characters.

Varietal group	No. of varieties	Flowering date	Maturing date	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	No. of stems	No. of grains	Rate of ripeness (%)	100 grains wt. (g)	Grain yield (Kg/10a)
I	3	July 3	Sep. 3	192.4	1.0	9.7	64.8	63.0	9.6	243.8
II	18	July 4	Sep. 3	186.7	1.1	11.1	67.7	62.6	9.8	230.8
III	5	July 4	Sep. 3	192.5	1.1	9.3	59.7	58.6	9.8	174.1
IV	13	July 3	Sep. 3	173.5	1.2	9.0	60.0	63.2	9.6	174.1
V	1	July 4	Sep. 3	167.7	1.2	9.4	74.0	53.0	9.8	221.3
VI	5	July 3	Sep. 3	194.4	1.2	9.4	68.5	75.1	9.6	258.5
VII	7	July 4	Sep. 3	188.1	1.1	10.7	61.3	76.0	9.4	239.4
VIII	4	July 2	Sep. 7	126.6	0.8	11.4	53.5	66.7	7.4	184.7
IX	2	July 2	Sep. 6	128.3	0.8	11.4	53.8	68.2	7.4	178.3
X	4	July 2	Sep. 7	127.3	0.8	11.7	56.7	66.4	9.6	190.7

Table 6. Components of intra-group D square.

Varietal group	Flowering date	Maturing date	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	No. of stems	No. of grains	Rate of ripeness (%)	100 grains wt. (g)	Grain yield (Kg/10a)	D ²
I	1.92 (76.80)	0.54 (21.60)	0.02 (0.80)	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.1 (4.00)	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	2.5
II	51.06 (36.29)	1.10 (0.78)	3.67 (2.61)	0.74 (0.53)	10.75 (7.64)	8.15 (5.79)	5.32 (3.78)	30.00 (21.32)	29.86 (20.65)	140.7
III	1.92 (14.55)	0.05 (0.38)	5.67 (42.95)	0.00 (0.00)	0.03 (0.23)	0.05 (0.38)	5.44 (41.21)	0.06 (0.45)	0.01 (0.08)	13.2
IV	14.09 (13.89)	5.06 (4.99)	2.17 (2.14)	0.88 (0.87)	17.29 (17.05)	1.32 (1.30)	45.34 (44.71)	7.08 (6.98)	8.14 (8.03)	101.4
V	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.00
VI	2.60 (10.28)	2.08 (8.22)	0.97 (3.83)	2.57 (0.06)	2.15 (8.50)	9.53 (37.67)	1.65 (6.52)	3.30 (13.04)	0.42 (1.66)	25.3
VII	3.04 (53.33)	0.54 (9.47)	0.25 (4.39)	0.01 (0.18)	0.20 (3.51)	0.07 (1.22)	0.63 (11.05)	0.79 (13.86)	0.17 (0.29)	5.7
VIII	3.11 (46.42)	0.00 (0.00)	1.30 (19.40)	0.03 (0.45)	0.28 (4.18)	0.15 (2.24)	0.08 (1.19)	0.47 (7.01)	1.31 (19.55)	6.7
IX	5.60 (56.00)	0.00 (0.00)	0.02 (0.20)	0.00 (0.00)	0.29 (2.90)	0.80 (8.00)	0.11 (1.10)	1.34 (13.40)	1.34 (18.70)	10.0
X	0.00 (0.00)	8.64 (43.42)	0.18 (0.90)	-0.3 (-1.51)	3.00 (15.08)	0.86 (4.32)	1.81 (9.09)	4.78 (24.02)	0.69 (3.47)	19.9

Table 7. Percentage of contribution of each character.

Character Rank	Flowering date	Maturing date	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	No. of stems	No. of grains	Rate of ripeness (%)	100 grains wt. (g)	Grain yield (Kg/10a)
1	817.00 (51.0)	240.00 (15.0)	0.00 (0.0)	0.00 (0.0)	74.00 (5.0)	0.00 (0.0)	211.00 (13.0)	48.00 (3.0)	213.00 (13.0)
2	419.00 (26.0)	345.00 (22.0)	64.00 (4.0)	0.00 (0.0)	153.00 (10.0)	29.00 (2.0)	266.00 (17.0)	66.00 (4.0)	261.00 (16.0)
3	123.00 (8.0)	119.00 (7.0)	367.00 (23.0)	2.00 (0.0)	297.00 (19.0)	20.00 (1.0)	96.00 (6.0)	408.00 (25.0)	171.00 (11.0)
4	73.00 (5.0)	138.00 (9.0)	343.00 (21.0)	29.00 (2.0)	344.00 (21.0)	90.00 (6.0)	158.00 (10.0)	239.00 (15.0)	189.00 (12.0)
5	46.00 (3.0)	206.00 (13.0)	250.00 (16.0)	83.00 (5.0)	235.00 (10.0)	159.00 (10.0)	176.00 (11.0)	215.00 (13.0)	233.00 (15.0)
6	52.00 (3.0)	192.00 (12.0)	153.00 (10.0)	238.00 (15.0)	155.00 (10.0)	285.00 (18.0)	188.00 (12.0)	162.00 (10.0)	186.00 (12.0)
7	35.00 (2.0)	120.00 (7.0)	167.00 (10.0)	426.00 (27.0)	107.00 (7.0)	399.00 (25.0)	125.00 (8.0)	110.00 (7.0)	121.00 (8.0)
8	24.00 (1.0)	130.00 (8.0)	171.00 (11.0)	351.00 (22.0)	49.00 (3.0)	415.00 (26.0)	226.00 (14.0)	127.00 (8.0)	98.00 (6.0)
9	14.00 (1.0)	113.00 (7.0)	88.00 (5.0)	474.00 (30.0)	189.00 (12.0)	206.00 (13.0)	157.00 (10.0)	228.00 (14.0)	131.00 (8.0)

以上에서 多變量解析法 即 量的形質을 中心으로 한 數理學의 方法에 의해 粟米品種의 分類를 試圖해 보았으나 特히 粟米의 量的形質은 環境에 따라 變異가 크게 作用함과 同時에 環境變異가 작고 遺傳變異가 큰 形質일수록 分類에 미치는 寄與度가 높다는 事實을 고려할 때 本 研究은 特定地域에서의 特定形質에 대한 調査成績을 分析對象으로 한 關係로 보편성이 결여됐다고는 생각되지만 同一環境條件 下에서 品種의 能力評價나 母本 選定에 있어서는 本

研究 結果가 하나의 參考資料가 될 수 있으리라 생각된다.

摘 要

量的 形質을 中心으로 多變量 解析法에 의해 粟米 品種들 間의 遺傳的 距離를 推定하고 이에 基礎한 Cluster analysis를 實施하여 品種을 分類한 結果는 다음과 같다.

1. Mahalanobis's distance(D^2)에 의하여 供試한 62個 品種을 10個群으로 大別해 볼 수 있었는데 1個 品種만으로 群을 形成한 第V群을 除外하고는 모든 品種이 큰群을 形成하였다.

2. 第I群에 3品種(5%), 第II群에 18品種(29%), 第III群에 5品種(8%), 第IV群에 13品種(21%), 第V群에 1品種(2%), 第VI群에 5品種(8%), 第VII群에 7品種(11%), 第VIII群에 4品種(7%), 第IX群에 2品種(3%) 그리고 第X群에 4品種(7%)이 所屬되어 있으며 第II群과 IV群은 餘他 形質面에 相當한 變異幅을 가진 反面 第VIII~X群은 短稈種으로 草勢나 收量形質面에서 變異幅이 좁고 多少 劣勢인 傾向이었다.

3. 地理的 分布와 遺傳的 變異는 直接關聯이 없는 것으로 評價되었다.

4. 品種群內, 品種群間의 D^2 에 가장 큰 影響을 미친 形質은 開花期, 成熟期, 草長, 登熟率, 粒數이었다.

引用 文 獻

1. Bhatt, G.M. 1970. Multivariate analysis approach to selection of parents for hybridization aiming at yield improvement in self-pollinated crops. Aust. J. Agr. Res. 21 : 1-7.
2. Chandra, S. 1977. Comparison of Mahalanobis's method and metroglyph technique in the study of genetic divergence in *Linum usitatissimum* L. germ plasm collection. Euphytica. 26 : 141-148.
3. Das, G.R. and D.N. Borthakur. 1973. Genetic divergence in rice Ind. J.Gen. and Pl. Breed. 33 : 436-443.
4. Davis, M.D. and J.N. Rutger, 1976. Yield of F_1 and F_2 and F_3 hybrids of rice (*Oriza sativa* L.). Euphytica. 25 : 587-595.
5. Hussaini, S.H., M.M. Goodman and D.H. Timothy. 1977. Multivariate analysis and the geographical distribution of the world collection of finger millet. Crop Sci. 17 : 257-263.
6. Lee, J. and P.J. Kaltsikes. 1973. The application of Mahalanobis's generalized distance to measure genetic divergence in durum wheat. Euphytica. 22 : 124-131.
7. Murty, B.R. and V. Arunachalam. 1966. The nature of divergence in relation to breeding system in some crop plants. Ind. J. Gen. and Pl. Breed. 26 A : 188-198.
8. Murty, B.R. and V. Arunachalam. 1967. Computer programmes for some problems in biometrical genetics. I. use of Mahalanobis D^2 in classificatory problems. Ind. J. Gen. and Pl. Breed. 27 : 60-69.
9. Murty, B.R. and M.I. Qadri. 1966. Analysis of divergence in some self-compatible forms of *Brassica campestris* var. Brown sarson. Ind. J.Gen. and Pl. Breed. 26 : 45-58.
10. Ram, J. and D.V.S. Panwar. 1970. Intraspecific divergence in rice. Ind. J.Gen. and Pl. Breed. 30 : 1-10.
11. Rao, C.R. 1952. Advanced statistical methods in biometric research. John Wiley and Sons, London.
12. Smith, H. Fair field. 1936. A discriminant function for plant selection. Ann. Eug. 7 : 240-250.
13. Somayajulu, P.I.N., A.I. Joshi, and B.R. Murty, 1970. Genetic divergence in wheat. Ind. J.
14. Webster, O.J. 1976. Sorghum vulnerability and germ resources. Crop Sci. 16 : 553-556.