

벼 倒伏에 關與하는 形質 分析

林俊澤* · 李洪宰* · 曹光石* · 宋東錫*

Analysis of Lodging Related Characteristics in Rice Plants

June Taeg Lim*, Hong Jae Lee*, Kwang Seog Cho*, and Dong Seog Song*

ABSTRACT : This experiment was carried out to investigate the heritabilities, phenotypic correlation, genetic correlation and path-coefficients for desirable characters on the lodging related traits.

Characters, that had high relation degree with field lodging degree, were rice-straw length, Wl/P , W/I , Wl/d , L , Wl/A , W/l , P , Ws^2/l^4 etc. Breaking strength appear negative correlation having an intention to field lodging. The second inertia moment of culm diameter trunk(branch), cross section area, rice-straw thickness and trunk cross section didn't appear negative coefficient with field lodging. It is considered that rice-straw length, leaf dry weight and lodging index, because of high heritability, become selection index of characters for breeding. In direct, indirect effect, and right rice-straw wall thickness appear largest ($P_{7y}=0.6904$), the next is the order of leaf dry weight ($P_{3y}=0.2848$), root dry weight ($P_{1y}=0.2658$), culm diameter ($P_{6y}=-0.2280$), and negative relation appear the order of rice-straw length ($P_{5y}=-0.9640$) and stem dry weight ($P_{2y}=-0.7072$), therefore, the smaller culm length and stem dry weight, the stronger to lodging.

최근 우리나라는 미곡의 생산과잉 및 소비양상 변화에 의한 양곡의 적체현상과 이에 따른 양곡정책의 전환 등에 의해 統一型 品種의 재배면적이 급속한 감소 추세에 있으며, 良質米에 대한 선호도가 높아짐에 따라 농가에서는 日本型 品種의 재배면적이 현저히 증가하고 있다.¹⁴⁾ 日本型 品種은 統一型 品種에 비해 節稈長이 길고 稈長도 크지만, 지상부 생육량이 적기때문에 倒伏低抗性이 클 것이나 稈의 強度, 즉 挫折重으로 나타난 특성면으로 보아 稈이 매우 약하다.⁸⁾ 하지만 대부분의 농가에서는 수량증대를 위하여 早植多肥 및 密植을 하는 경우가 많으며, 더우기 벼 생육기 중 기상과 연관시켜 보면 7-8월의 高溫寡照한 기상은 벼의 생리상 消耗徒長效果가 커서 冬化· 호흡의 균형

을 악화시켜 생육이 충실하지 못하며, 8월 하순-9월 상순에 태풍의 빈도가 높기 때문에 등숙기에 倒伏이 우려 되고 있다.⁴⁾ 倒伏을 유발시키는 직접적인 원인은 기상조건, 즉 강풍을 동반한 강우로서 우리나라 남부지방에서는 농작물의 치명적인 피해를 주는 풍수해가 매년 몇 차례씩 발생하며, 倒伏 피해는 기계수확시 작업능률의 25% 정도를 감소시키고 종실의 손실을 배가시킨다고 하였으며,¹⁶⁾ 간접적인 원인으로 재배품종,^{7,9)} 시비량 및 방법,^{6,7,9,15)} 재식밀도^{6,10,11)} 등의 재배법에 따라서 많은 영향을 받는다고 한다. 또한 벼의 형질 특성을 조합에 의해 倒伏低抗性의 강약을 객관적으로 표현하려고 하는 시도, 즉 倒伏指數의 연구가 진행되고 있으나^{3,12,20)} 倒伏에 영향을 미치는 여러가

* 順天大學校 農科大學(Coll. of Agri., Suncheon Nat'l Univ., Suncheon 540-070, Korea)

<접수일자 : '92. 1. 8>

지 형질에 대한 분석 보고는 미흡한 실정이다. 이에 본 연구는 倒伏에 관련있는 형질들을 조사하고, 유용형질의 분산정도, 제형질의 유전력, 표현형상관과 유전상관, 직접·간접효과에 의한 경로계수 분석 등의 관련정도를 밝혀 耐倒伏性 品種 육종의 기초자료를 제공하는데 그 목적이 있다.

材料 및 方法

본 실험은 1990년에 順天大學校 畚作圃場에서 실시하였으며, 供試品種은 1900년에서 1980년대 품종 중 10품종, 즉 조동지, 다마급, 중생은방주, 진흥, 팔달, 낙동, 화성, 동진, 서해 그리고 대청을 5월 21일 보온절충못자리에 파종하여 6월 21일에 본답에 재식거리 25×15cm로 1주 3본식으로 이앙하였다.

實驗區 配置는 난괴법 3반복으로 하였으며 실험 단위(experimental unit) 면적은 5평으로 하였다. 施肥量은 요소, 용과린, 염화가리를 $N-P_2O_5-K_2O=11-7-8kg/10a$ 수준으로 사용하였으며 인산질과 가리질 비료는 이앙직전 전량기비로 하였고, 질소비료는 이앙시, 7월 2일, 7월 20일에 4:3:3으로 분시하였다.

調查形質은 倒伏 발생 2일후 倒伏 발생정도, 근중, 엽중, 지상부 건물중, 간중, 이삭건물중, 稈長을 조사하였으며, 稈直徑은 줄기의 稈基部에서 지상 10cm 부위에서 15cm길이의 줄기를 자른 다음 각 반복당 6개체의 모든 줄기의 長軸과 短軸의 직경을 평균하였고, 挫折荷重(S)은 줄기를 지점간 거리를 10cm로 하여 그 줄기의 중앙부에 직각방향으로 힘을 가하여 줄기가 굴절할때까지 최대 하중이 strain gauge 荷重變換器(UT : 1Kg)와 增幅器를 거쳐 computer에 입력되도록 하여 측정하였고, 稈壁의 두께는 반복당 대략 20개의 줄기를 현미경을 이용하여 조사하였다. 圃場倒伏程度는 0-9등급으로 표시하였고, (수치가 높을수록 倒伏이 심함) 줄기의 斷面積(A)은 $A=\pi ab$ 로 계산하였으며 이때 a는 장축의 반경이고 b는 단축의 반경이다.

줄기의 휨하중 (P : bending load)¹³⁾은 Euler의 식 ; $P=\pi^2/4 \times IE/l^2$ 에 의해 측정하였으며, 이때 a는 상수이고 I는 줄기단면의 2차 관성모멘트(second inertia moment)이며, l은 稈長이고 E는 Young의 계수이다. 2차 관성모멘트 I는 $I=\pi(d_1^4-d_2^4)/64$ 에 의해 측정할 수 있으며 이 때 d_1

: 외직경, d_2 : 내직경이다.

倒伏指數(lodging index)는 $L=M/S$ 또는 Wl/S 에 의해 계산하였으며, 이때 M은 줄기에 실려 있는 힘(bending moment) 즉 稈長과 지상부 생체중을 곱한 값이며, S는 좌절하중(breaking strength)이고, l은 稈長이며, W는 지상부 무게이다.

遺傳力은 광의의 유전력으로 각 시험구의 평균치를 사용하여 분산분석법에 의하여 유전분산(σ^2_G)과 환경분산(σ^2_E)을 산출하고

$$h^2 = \frac{\sigma^2_G}{\sigma^2_G + \sigma^2_E}$$

表現型相關과 遺傳相關은 공분산분석법에 의하여 각 분산 및 공분산을 산출하여 이들을 다음식에 대비하여 상관계수를 구하고 표현형상관의 유의성을 검정하였다.

$$\text{표현형상관 } r_{Ph} = \text{Cov.}XY / \sqrt{\sigma^2X \cdot \sigma^2Y}$$

$$\text{유전상관 } r_G = \text{Cov.}XY_G / \sqrt{\sigma^2X_G \cdot \sigma^2Y_G}$$

단, Cov.XY, Cov.XY_G는 형질 X와 형질 Y와의 표현형공분산, 유전공분산이고, $\sigma^2X_G \cdot \sigma^2Y_G$ 는 형질 X와 형질 Y의 유전분산이다.

經路係數는 Wright의 분석법¹⁹⁾을 이용하였으며 다음 공식에 의하여 계산하였다.

$$\begin{array}{l} \text{倒伏}(Y) \\ \text{형질(1)} \\ \text{형질(2)} \end{array} \left. \begin{array}{c} \text{———} \\ \text{———} \\ \text{———} \\ \text{———} \end{array} \right\} r_{12}$$

$$r_{1y} = P_{1y} + r_{12}P_{2y}, \quad r_{2y} = P_{2y} + r_{12}P_{1y}$$

이때 r_{12} 는 형질 ①, ② 유전상관의 값과 r_{1y} , r_{2y} 는 형질 ①, ②와 Y와의 유전상관의 값을 대입하여 P_{1y} , P_{2y} 즉 형질 ①, ②의 경로계수 값을 얻어 직접효과를 추정하고, 또한 $r_{12}P_{2y}$, $r_{12}P_{1y}$ 의 간접효과 정도를 추정하였다.

結果 및 考察

1. 倒伏에 關여하는 形質比較 및 相關係數
供試된 품종들 중에서 倒伏性 品種 즉 조동지,

다마금, 중생은방주, 팔달 그리고 耐倒伏性 品種 진흥, 서해, 낙동, 동진, 대청, 화성 등의 품종에 대한 각종 형질의 변이정도를 알기위하여 조사된 평균치를 계산한 결과는 表1에서 보는 바와 같이 全調査形質 중 고도의 유의차를 보였던 稈長은 倒伏性 品種이 99.2cm, 耐倒伏性 品種이 77.3cm를 보였으며, W/l (지상부 건물중(稈重+葉重+穗重)을 稈長으로 나눈것으로 單位稈乾物荷重이라 함)는 倒伏性 品種 0.328g/cm, 耐倒伏性 品種 418g/cm, Wl 는 倒伏性 品種 3,212g/cm, 耐倒伏性 品種, 2,498g/cm, Wl/d (지상부 건물중에 稈長을 곱한 것으로 휨모멘트(bending moment)이며, 이것을 稈直徑(d)으로 나눈 것으로 單位稈휨모멘트라고 함)는 倒伏性 品種 866.2g cm/mm, 耐倒伏性 品種 677.3g cm/mm, L (倒伏指數)은 倒伏性 品種 16.6cm/mm, 耐倒伏性 品種 10.5cm/mm, P (臨界倒伏荷重:critical lodging load)는 倒伏性 品種 13.55g²/cm⁴, 耐倒伏性 品種 22.60g²/cm⁴, Wl/P (휨모멘트를 臨界倒伏荷重으로 나눈 것으로 荷重比라고 함)는 倒伏性 品種 270.58cm⁵/g, 耐倒伏性 品種114.58cm⁵/g 등을 보였다.

圃場倒伏程度와 상관관계가 높은 형질들은 表2에서 보는 바와 같이 稈長($r=0.7607^{**}$), Wl/P ($r=0.7205^{**}$), Wl ($r=0.5794^{**}$), Wl/d ($r=0.6421^{**}$), L ($r=0.6850^{**}$), Wl/A ($r=0.6351^{**}$)는 倒伏程度와 고도의 正의 상관관계를 보였으며, 이 값은(表1) 각각 稈長(99.2), Wl/P (270.58), Wl (3,212), Wl/d (886.2), L (16.6), Wl/A (7,810)에서 圃場倒伏을 보였다. W/l ($r=-0.6222^{**}$), P ($r=-0.6808^{**}$), Ws^2/l^4 ($r=-0.7133^{**}$)는 圃場倒伏指數과 고도로 유의한 負의 상관관계를 보였으며, 이 값이(表1) 각각 W/l (0.328), P (13.55), Ws^2/l^4 (1.40)일때 圃場倒伏을 보였다. 좌절하중(S)는 倒伏정도에 관해서는 미흡하지만 圃場倒伏과 유의한 負의 상관관계($r=-0.3986^*$)를 보였으며, 稈莖, 줄기 斷面積, 稈壁 두께, 줄기 斷面의 2차 관성모멘트는 圃場倒伏과 유의성은 없었으나 負의 關係를 보였다. 또한 稈長은 莖重, 葉重, Axis, Wl , Wl/d , L , Wl/A , Wl/P 와 高度의 正의 相關이, 穗重, W/l , Ws^2/l^4 와는 高度의 負의 相關을 보였으며, 倒伏指數는 倒伏程度, 稈長, Wl , Wl/d , Wl/P 와 高度의 正의 相關이, S, P, Ws^2/l^4 와는 高度의 負의 相關이 認定되었으며, W/l 는 穗重, W, P, Ws^2/l^4 와 高度의 正의 相關이, 倒伏程度, 稈長과는 高度의 負의 相關이 認定

되었으며, P는 d, A, W/l , I, Ws^2/l^4 와 高度의 正의 相關이, 倒伏程度, Wl/d , L, Wl/A , Wl/P 와는 高度의 負의 相關이 認定되었다.

결과적으로 耐倒伏性 品種 품종 육성을 위해서는, 稈長, Wl , Wl/d , L, Wl/A , Wl/P 의 값이 작은 것과 W/l , P의 값이 클수록 유리하다고 사료되었는데, 이는 Tateno와 Bae¹⁸⁾는 P가 클수록 그 식물은 倒伏低抗性이 크다고 한 보고와 일치하는 경향이였다.

2. 表現型相關 및 遺傳相關

주요 형질 상호간의 상관의 정도를 알기 위하여 형질간의 공변이에 대하여 공분산 분석을 하여 표현형 상관과 유전상관을 산출한 결과는 표 3과 같다.

대체로 상관관계는 표현형상관에 비해 유전상관의 값이 높은 경향을 보였으며 각 형질과 倒伏과의 상관관계를 보면 稈長은 고도의 유의성을 가진 負의 상관($rPh=-0.7594^{**}$, $rG=0.7942^{**}$)을 나타냈으므로 耐倒伏性 品種 품종을 육성하기 위해서 稈長이 짧아야 하며, 莖重($rPh=-0.2360$, $rG=-0.3042$)과 葉重($rPh=-0.2676$, $rG=-0.2886$)은 유의성은 없으나 負의 상관을 보였으므로 莖重과 葉重이 가벼워야 될것으로 사료된다. 반면에 根重($rPh=0.2048$, $rG=0.3328$)과 稈壁두께($rPh=0.1463$, $rG=0.3085$)는 유의성이 없었으나 正의 상관이나 나타나 根重이 무겁고 稈壁 두께가 두꺼운 것이 耐倒伏性 品種인 것으로 나타났다. 이와같이 유전상관과 표현형상관을 아는 것은 어떤 형질이 도복에 크게 영향을 주는지를 하는데 매우 중요하다고 본다.

3. 遺傳力 推定

育種에 있어서 품종 육성의 가장 큰 목표가 비록 수량이라 하더라도 수량만을 선발 형질 대상으로 할 수 없다는 사실은 量의形質을 지배하는 유전자의 효과가 환경에 많은 영향을 받으므로 대상형질의 변이성을 어떻게 파악하느냐 하는 어려움이 있다. 따라서 이들 변이 성분중 圃場倒伏에 관여하는 형질들의 변이의 실체를 분석하여 선발의 지표로 선정하는 일이 매우 중요하다고 생각되므로 이를 위해 분산성분을 유전적분산과 표현형분산으로 전분산량에서 유전분산량을 산출한 遺傳力의 값이 형질에 따라 큰 차이를 보였는데, 각 형질간의 遺傳力은 表4에서 보는 바와 같이 稈長

Table 1. Variation of the 21 characters in 10 varieties of rice plants.

Variety	Root dry weight (g)	Leaf dry weight (g)	Shoot dry weight (g)	Stem dry weight (g)	Panicle dry weight (g)	Culm length (cm)	Culm diameter (mm)	A (cm ²)	Thickness of culm wall (mm)	Axis (mm)
Mean	3.55	10.56	21.74	11.18	20.53	99.2	3.64	0.42	0.497	0.66
SD	1.02	3.84	4.87	1.59	21.84	12.6	0.411	0.79	0.024	0.05
CV(%)	28.73	36.40	22.39	14.25	106.39	12.7	11.34	18.67	4.98	8.24
Mean	4.10	9.26	19.79	10.53	12.37	77.3	3.68	0.44	0.507	0.55
SD	0.76	1.73	2.39	0.96	2.58	7.2	0.30	0.07	0.029	0.10
CV(%)	18.59	18.68	12.10	9.14	20.86	9.3	8.13	16.75	5.69	18.38
T-test value	1.248	1.068	1.234	1.175	1.349	5.098**	0.263	0.403	0.853**	2.280**

Variety	S (g)	W (g)	W/l (g/cm)	Wl (g/cm)	Wl/d (g-cm/mm)	L (cm)	Wl/A (g/cm)	I (mm ⁴)	P (×10 ³) (g ² /cm ⁴)	Wl/P (×10 ³) (cm ⁵ /g)	Ws ² /l ⁴ (×10 ⁻⁶) (g ² /cm ⁴)
Mean	200.77	32.25	0.33	3,211.9	886.2	16.60	7,810.5	134.80	13.55	270.58	1.40
SD	48.73	2.35	0.03	578.5	128.4	1.96	1,002.1	55.95	5.78	105.55	0.50
CV(%)	24.27	7.29	8.03	18.0	14.0	11.83	12.8	45.51	38.95	39.01	35.48
Mean	254.97	32.17	0.41	2,497.5	677.3	10.47	5,812.7	137.97	22.60	114.58	3.24
SD	55.62	1.65	0.04	273.9	53.8	1.54	701.5	41.07	3.62	20.12	0.78
CV(%)	21.82	5.14	9.12	11.0	8.0	14.67	12.1	29.77	16.01	17.56	24.12
T-test value	0.096	5.858**	3.848**	5.225**	8.028**	5.402**	0.116	4.689**	4.699**	5.240**	1.407

A : Cross sectional area of culm, S : Breaking strength, Axis : Line of apsides - Mionr axis.
W : Total dry weight of plant above ground (shoot dry weight + panicle dry weight), l : Culm length,
I : The second inertia moment, Wl : Product of W and l, P : ²(Which is proportional to bending load from Euler's equation), d : Culm diameter, L : Lodging index, Ws : Shoot dry weight.

** : Significant at the 5%, 1% levels, respectively.

l/ : No. of varieties.

Table 2. Correlation coefficients between lodging and some characters in rice plants.

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)	(22)	
Lodging	Root dry	Shoot dry	Stem dry	Leaf dry	Panicle	l	d	s	A	Thickness of	Axis	W	W/l	WI	WI/d	L	WI/A	I	P	WI/P	Ws ² /l ⁴	
(0-9)	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(cm)	(mm)	(g)	(cm ²)	(mm)	(mm)	(g)	(g/cm)	(g·cm)	(g·cm/fmm)	(g/cm)	(g/cm)	(mm ⁴)	(g ² /cm ³)	(cm ² /g)	(x10 ⁶)	(g ² /cm ⁴)
1																						
2	-0.204																					
3	0.281	-0.134																				
4	0.236	0.251	0.848*																			
5	0.267	-0.045	0.948*	0.637*																		
6	-0.278	-0.326	-0.407	-0.096	-0.535*																	
7	0.767*	-0.001	0.579*	0.414	0.585*	-0.513*																
8	-0.075	-0.019	0.406	0.476*	0.306	-0.239	0.331															
9	-0.398*	0.247	-0.023	0.123	-0.108	0.012	-0.083	0.2631														
10	-0.110	0.015	0.331	0.344	0.276	-0.239	0.334	0.970*	0.213													
11	-0.151	0.139	0.259	0.377	0.140	-0.062	0.204	0.412	0.363	0.376												
12	0.417	-0.409	0.369	0.515	0.273	0.095	0.506*	0.182	0.059	0.133	0.179											
13	0.062	-0.365	0.690*	0.783*	0.535*	0.380	0.179	0.222	-0.015	0.147	0.206	0.480*										
14	-0.622*	-0.279	-0.002	0.164	-0.102	0.669*	-0.725*	-0.128	0.062	-0.180	-0.039	-0.141	0.525*									
15	0.579*	-0.220	0.820*	0.753*	-0.136	0.804*	0.333	-0.061	0.290	0.235	0.642*	0.721*	-0.195									
16	0.642*	-0.229	0.671*	0.563*	0.639*	-0.032	0.701*	0.103	-0.184	-0.125	0.0546	0.597*	0.652*	-0.1580	0.9012*							
17	0.683*	-0.351	0.423	0.335	0.416	0.051	0.501*	-0.075	-0.747*	-0.059	-0.217	0.376	0.440	-0.139	0.613*	0.688*						
18	0.633*	-0.241	0.483*	0.427	0.453*	0.072	0.516*	-0.401*	-0.230	-0.446	-0.067	0.067	0.543*	-0.078	0.716*	0.939*	0.639*					
19	-0.052	-0.008	0.377	0.469*	0.267	-0.209	0.345	0.983*	0.255	0.956*	0.491*	0.228	0.216	-0.149	0.339	-0.092	-0.070	-0.377				
20	-0.680*	-0.064	0.010	0.175	-0.090	0.140	-0.445	0.674*	0.360	0.647*	0.3143	-0.209	0.123	0.469*	-0.282	-0.588*	-0.473*	-0.729*	0.653*			
21	0.720*	-0.132	0.483*	0.266	0.544*	-0.224	0.714*	-0.310	-0.226	-0.290	-0.136	0.465*	0.309	-0.397*	0.719*	0.909*	0.6207*	0.889*	-0.304	-0.7836*		
22	-0.713*	-0.127	-0.111	0.057	-0.197	0.389	-0.828*	-0.092	0.186	-0.158	-0.014	0.197	0.876*	-0.464*	-0.462*	-0.404*	-0.404*	-0.359	-0.119	0.599*	-0.602*	

A : Cross sectional area of culm S : Breaking strength Axis : Line of apices - Minor axis

W : Total dry weight of plant above ground (shoot dry weight + panicle dry weight)

l : culm length I : the second inertia moment WI : product of W and l

P : I/l², which is proportional to bending load from Euler's equation

d : culm diameter L : Lodging index Ws : Shoot dry weight

** : Significant at the 5%, 1% levels, respectively.

Table 3. Phenotypic(rPh), and genotypic(rG) correlation coefficients in the lodging related characters.

1) Root dry weight(g)	rPh	-0.2633	-0.0283	-0.2998	0.0068	0.1585	0.1482	0.2048
	rG	0.6916**	0.50800*	-0.5315**	0.1559	0.6518**	0.4292*	0.3328
2) Stem dry weight(g)	rPh		0.6373**	-0.0974	0.4134*	0.4194*	0.3820*	-0.2360
	rG		0.5880**	-0.6866**	0.8090**	0.8906**	0.7052**	-0.3042
3) Leaf dry weight(g)	rPh			-0.5353**	0.5963**	0.2376	0.1482	-0.2676
	rG			-0.8832**	0.7093**	0.3847*	0.3057	-0.2886
4) Panicle dry weight(g)	rPh				-0.5104**	-0.2807	-0.1757	0.2781
	rG				-0.7498**	-0.4021	-0.0503	0.4028
5) Culm length(mm)	rPh					0.4497*	0.2609	-0.7942**
	rG						0.6834**	0.1463
6) Culm diameter(mm)	rPh							0.1463
	rG							0.1463
7) Thickness of culm wall(mm)	rPh							0.3085
8) Lodging (0-9)	rG							

*,** : Significant at the 5%, 1% levels, respectively

Table 4. Heritability of 8 characters in 10 varieties of rice plants. (%)

Root dry weight(g)	36.4754	Culm length(cm)	93.6349
Stem dry weight(g)	28.6936	Culm diameter(cm)	45.2706
Leaf dry weight(g)	76.3804	Thickness of culm wall(mm)	22.6407
Panicle dry weight(g)	62.14547	Lodging (0-9)	97.5633

(93.6349%), 葉重(76.3804%), 倒伏指數(97.5633%)는 遺傳力이 높아서 육종을 위한 선발형질로서 지표가 될 수 있으리라 생각되었으며, 여러 형질들 중에서 이들 유전력이 높게 평가된 것은 형질발현에 환경적 영향이 비교적 적게 작용한다는 사실을 나타내는 것으로서 이것은 생육특성과 지역 또는 재배조건에 따라 倒伏이 심하지 않고 기상조건에 의해 생육이 좌우되는 점이 적다는 사실을 뒷받침 할 수 있다. 이와같이 稈長의 遺傳力이 높은 것은 기존 연구자들의 결과와 같은 경향이었다. ^{1,2,17)} 이는 실제 선발을 효율적으로 하기 위해서는 환경의 변동이 적으면서 유전력이 높은

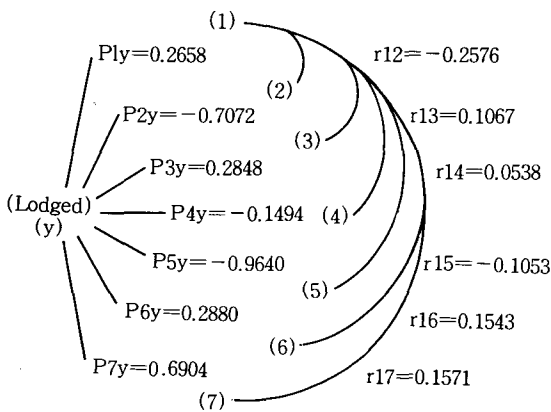
형질을 대상으로 선발을 계속하는 것이 중요하다고 본다. 한편重(36.4753%), 莖重(28.6936%), 稈直徑(45.2706%), 稈壁 두께(22.6407%)는 유전력이 낮아서 환경적인 영향을 많이 받게됨으로 기상 조건과 재배조건에 따라 변이가 심하리라 생각된다.

4. 經路係數 分析

倒伏은 여러 형질들이 동시에 관여하여 복합된 완성형질로서 환경의 영향을 많이 받으며, 육종을 위한 선발과정에서는 일반적으로 표현형들만을 보고 선발하는 경우가 대부분이므로 각 형질들의 발현이 倒伏에 어떤 유전적 효과를 미치는가 하는 해석은 선발지침으로서 매우 중요하다고 할 수 있다. 경로계수 분석법으로 倒伏指數와 이들 형질들 간의 직접, 간접효과를 산출해 본 결과는 表5 및 그림 1과 같다. 表5에서 보는 바와 같이 이들 7개 형질 중 倒伏에 가장 크게 正의 방향으로 직접적 영향을 준것은 稈壁의 두께($P_{7y}=0.6904$)였고, 다음은 葉重($P_{3y}=0.2848$), 根重($P_{1y}=0.2658$), 稈徑($P_{6y}=0.2280$)의 순으로 나타났으며, 負의 방향으로 稈長($P_{5y}=-0.9640$), 莖重($P_{2y}=-0.7072$), 이삭중($P_{4y}=-0.1494$) 순이었다. 이들 직접효과의 크기는 그림 1에서 언급된 倒伏指數와 타형질

Table 5. Path coefficients analysis of the direct and indirect effect of each characters influencing lodging.

1) Root dry weight (g)	2) Stem dry weight (g)	3) Leaf dry weight (g)	4) Panicle dry weight (g)	5) Culm length (cm)	6) Culm diameter (mm)	7) Thickness of culm wall (mm)
r1y=0.275	r2y=-0.260	r3y=-0.280	r4y=0.360	r5y=-0.784	r6y=0.123	r7y=0.206
P1y=0.265	P2y=-0.707	P3y=0.284	P4y=-0.149	P5y=-0.964	P6y=0.228	P7y=0.690
r12P2y=-0.257	r12P1y=0.096	r13P1y=0.099	r14P1y=-0.095	r15P2y=0.029	r16P2y=0.063	r17P1y=0.060
r13P3y=0.109	r23P3y=0.161	r23P2y=-0.402	r24P2y=0.353	r25P3y=-0.373	r26P2y=-0.476	r27P2y=-0.566
r14P4y=0.053	r24P4y=0.074	r34P4y=0.136	r34P3y=-0.260	r35P4y=0.191	r36P3y=0.100	r37P3y=0.695
r15P5y=-0.105	r25P5y=-0.508	r35P5y=-0.647	r45P5y=0.647	r46P6y=0.100	r46P4y=0.044	r47P4y=0.014
r16P6y=0.054	r26P6y=0.153	r36P6y=0.080	r46P6y=-0.068	r56P7y=0.076	r56P5y=-0.324	r57P5y=-0.217
r17P7y=0.157	r27P7y=0.553	r37P7y=0.168	r47P7y=-0.067	r57P7y=0.155	r67P7y=0.477	r67P6y=0.157



- (1) : Root dry weight (g) (2) : Stem dry weight (g)
 (3) : Leaf dry weight (g) (4) : Panicle dry weight (g)
 (5) : Culm length (cm) (6) : Culm diameter (mm)
 (7) : Thickness of culm wall (mm)

Fig. 1. Path coefficients between lodging index and some characters in rice plants.

들과의 상관에서 보여준 경향과 대체로 일치하였다. 각 형질들간의 간접효과를 보면 正의 방향으로 根重($r_{17}P_{7y}=0.1575$), 莖重($r_{27}P_{7y}=0.5532$), 稈徑($r_{67}P_{7y}=0.4774$), 稈壁두께($r_{37}P_{3y}=0.6956$)에서 간접효과가 컸었다.

한편 여러 형질에서 負의 방향으로 간접적 영향을 준 것을 葉重($r_{35}P_{5y}=-0.6475$), 稈壁두께($r_{37}P_{3y}$

$y=0.5665$), 莖重($r_{25}P_{5y}=-0.5087$)의 순으로 나타났다. 직접, 간접효과를 상호관련시켜 보면 稈壁의 두께와 稈長이 倒伏指數에 큰 영향을 미치는 것으로 나타나 稈壁이 두껍고, 稈長이 짧은 단간 품종이 倒伏 抑制效果가 있다고 생각된다. 이는 曹⁵⁾의 보고와 같은 경향을 보였다.

摘 要

倒伏에 관여하는 유용형질들을 조사하고 이들과 관련정도를 밝히기 위하여 형질간의 상호비교, 유전력, 표현형 상관과 유전상관, 경로계수를 분석한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 圃場倒伏程度의 관련정도가 높은 형질들은 稈長, 荷重比(WI/P), WI, 單位稈 직경휨모멘트(WI/d), 倒伏指數(L), WI/A, 單位稈 荷重(W/l), P(臨界倒伏荷重), 臨界倒伏荷重指數(Ws^2/l^4) 등이었다.
2. 挫折荷重(S)은 圃場倒伏과 유의한 負의 상관을 보였다. ($r=-0.3986^*$)
3. 稈徑, 줄기斷面積, 稈壁 두께, 줄기 단면의 2차 관성모멘트는 圃場倒伏과 상관을 보이지 않았다.
4. 稈長, 葉重, 倒伏指數는 유전력이 높아서 육종을 위한 선발형질로서 지표가 될 수 있으리라 생각된다.
5. 直接, 間接效果는 正의 상관으로 稈壁의 두께($P_{7y}=0.6904$), 葉重($P_{3y}=0.2848$), 根重($P_{1y}=0.2658$), 稈徑($P_{6y}=0.2288$)의 순이었으며, 負

의 상관은 稈長 ($P_{5y} = -0.9640$), 莖重 ($P_{2y} = -0.7072$)의 순으로 나타나서, 稈壁 두께가 두껍고 稈長과 莖重이 적을수록 倒伏에 강한 것으로 나타났다.

引用文獻

1. Aar, A.R., and A.R. Chowdry. 1969. Heritability and inheritance of plant height, heading date, and grain yield in four spring wheat crosses. *Crop Sci.* 9(6) : 760-762.
2. Bhatt, G.M. 1972. Inheritance of heading date, plant height, and kernel weight in two spring wheat crosses. *Crop Sci.* 12 : 95-98.
3. Chang, T.T. 1964. Varietal differences in lodging resistance. *Int. Rice Comm. Newsl.* 13 : 1-11.
4. 崔忠淳 · 金純哲 · 李壽寬. 1990. KIM-112 處理가 벼 倒伏關聯形質에 미치는 影響. 韓作誌 35(3) : 218-223.
5. 曹章煥. 1972. 麥類의 倒伏에 關與하는 有用形質의 分析에 關한 研究. 韓作誌 11 : 105-117.
6. 戶刈判義次 · 天辰克己. 1967. 稻作診斷法(下卷). 農業技術協會. 東京. 艾刈
7. 佐本啓智. 1958. 稻作と倒伏の防ぎ方. 地球出版社. 東京.
8. 姜良淳. 1989. 韓國의 稻作과 風水害. 韓作誌 (災害生理研究 1號) : 45-65.
9. _____ · 朴啓淵 · 鄭鍊泰 · 朴來敬. 1983. 벼 多收 新品種 “曙光”에 대한 이삭거름이 倒伏 및 收量形質에 미치는 影響. 農研報告 25 (作物篇) : 118-123.
10. 瀨古秀生 · 佐本啓智 · 鈴木壽一郎. 1957. 水稻の倒伏に及ぼはす二, 三の栽培 條件の影響 (I). *日作紀* 26 : 90-92.
11. _____ . 1958. 水稻の倒伏に及ぼはす二, 三の 栽培條件の影響 (II). *日作紀* 27 : 173-176.
12. _____ . 1962. 水稻の倒伏に關する研究. 九州農試果報 7 : 419-499.
13. Nishiyama, Iwao. 1985. Lodging of rice plants and countermeasures against it. *International seminar on plant growth regulators in agriculture.* 1-20.
14. 朴俊一 · 崔元烈 · 宋東錫 · 陳日斗. 1991. 統一型 벼 品種들의 脫粒性과 枝梗強度와의 關係. 韓作誌 36(2) : 147-153.
15. 朴래경 · 박진구 · 이계홍. 1973. 이앙답에서 벼품종 및 재배법이 도복저항성에 미치는 영향. *농연보고* 15(작물편) : 45-54.
16. Pinthus, M.J. 1973. Lodging in wheat, barley, and oats: The phenomenon, its causes, and preventive measures. *Advances in Agronomy* 25 : 209-263.
17. Schlehuber, A. M., D.C. Abbott., and B.C. Curtis. 1967. Correlated inheritance of maturity and quality factors in hard red winter wheat cross. *Crop. Sci.* 7(1) : 13-17.
18. Tateno, M.J. and K.Bae. 1990. Comparison of lodging safety factor of untreated and succinic acid 2,2-dimethylhydrazide-treated shoots of mulberry tree. *Plant Physiol.* 92 : 12-16.
19. Wright, S. 1921. Correlation and causation. *J. Agr. Res.* 20 : 557-585.
20. 永高信雄. 1968. 水稻の倒伏と被害の發生機構に關する 實驗的研究. 農技研報 A15 : 1-175.