

벼 倒伏 關聯形質과 圃場倒伏과의 關係

林俊澤* · 權炳善* · 鄭炳官*

Relationship Between Lodging-Related Characteristics and Field Lodging in Rice

June Taeg Lim* · Byung Sun Kwon* and Byung Gwan Jung*

ABSTRACT : To determine how closely related to field lodging for several characters affecting the field lodging for several characters affecting field lodging, and to obtain the basic information for selection of lodging resistance genotype, an experiment was conducted with 10 varieties from May to Oct., 1990 at the experimental field in Suncheon National University. Culm length, dry weight per unit culm length(W/l), bending moment per unit culm diameter(Wl/d), lodging index(L), bending load ratio(Wl/P), and index of critical lodging load(W_s^2/l^4) were the most closely related characters to field lodging. Culm length showed highly significant positive correlation coefficient with field lodging($r=0.7607$), but it may be undesirable to judge lodging resistance of genotype by culm length itself without consideration of culm stiffness. Considering the difficulty and time-consuming to measure the character, culm length, W/l, Wl/d, and W_s^2/l^4 were easy to measure and hence would be the most useful variables to judge the lodging resistance of genotype. Culm diameter, cross sectional area of culm, thickness of culm wall, and the second inertia moment of cross section of culm were not correlated with field lodging at all. Breaking strength of culm showed significantly negative correlation coefficient($r=-0.3986$) with field lodging.

벼의 直播栽培에 있어서 倒伏은 收量 不安定의 큰 要因中の 하나이며^{6,7,8} 機械收穫時 作業能率을 25%程度 減少시키며 種實損失을 倍加시킨다.¹⁰ 이것은 直播栽培時 育苗 및 移秧作業의 省略을 통한 勞動力 節減效果를 相殺시키는 것으로 直播栽培의 成功與否는 倒伏의 抑制에 좌우된다해도 過言이 아니다. 林 등⁹과 金 등⁹의 湛水直播栽培에 關한 研究結果에 의하면 湛水土中直播 條播의 경우 이랑의 立手個體數에 의해 倒伏發生程度가 달라졌으며 倒伏發生에 의해 登熟率과 千粒重이 減少됨으로서 收量도 크게 減少되었고, 湛水表面 直播栽培에서도 倒伏에 의해 收量이 減少되었다. 湛水表面直播의 경우 倒伏發生程度는 播種量, 生長抑制劑(PP333)의 處理, 그리고 N施肥水準에 따라서는 一定한 傾向이 없었고 局地的인 風速이나 바람의 進路에 따른 倒伏發生의 偶然性을 보여주어 栽培法을 통한 倒伏抑制는 상당히 어려울

것으로 생각된다. 그러나 金 등⁹에 의하면 直播栽培에 있어서도 品種에 따라 圃場倒伏程度에 많은 差異가 있었는데 이는 耐倒伏性 品種開發을 통한 倒伏抑制가 가능함을 말해준다.

벼나 맥류의 倒伏을 줄기가 높은형태(bending type)와 꺾이는 형태(breaking type)의 두가지로 크게 구분할 수 있는데 이러한 倒伏의 發生은 줄기에 실려있는 힘(bending moment)이 줄기의 彎抵抗力(bending resistance)이나 꺾임抵抗力(breaking resistance)보다 클때 일어난다. 줄기에 실려있는 힘은 降雨나 風速에 의해 影響받으며 植物體 地上部 生體重과 稈長에 의해, 彎抵抗力이나 꺾임抵抗力은 稈直徑, 稈壁의 두께, 그리고 줄기의 化學的 成分에 의해 決定된다.⁹ Nishiyama⁹에 의하면 줄기의 彎荷重(P: bending load)은 Euler의 식,

* 順天 大學校 農科大學 College of Agriculture, Suncheon National University, Suncheon 540-742, Korea

** 本 論文은 韓國 科學財團 研究支援金에 의해 研究遂行 되었음.

<91. 8. 16 接受>

$$P = a \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \frac{IE}{l^2}$$

에 의해推定할 수 있으며 이때 a는 常數이고 l은 줄기斷面の 2차 慣性 모멘트(Second inertia moment)이며 l은 稈長이고 E는 Young의 係數이다. 2차 慣性 모멘트(I)는

$I = \pi(d_1^4 - d_2^4)/64$, d_1 : 外直徑, d_2 : 內直徑, 에 의해 決定되며^{5,10} E는 줄기의 彈力性(Elasticity)의 指標로서 줄기의 化學的 成分(Lignin, Ca^{+2} , SiO_2 등의 含量)에 의해 決定된다. 줄기에 실려있는 荷重(bending load)이 그 植物의 P보다 크면 倒伏이 일어나므로 Tateno 등¹¹⁾은 P를 臨界倒伏荷重(critical lodging load)이라 하였으며 P가 클수록 그 植物은 倒伏抵抗性이 크다. 또한 Tateno 등¹¹⁾에 의하면 E와 줄기의 密度가 일정할 경우

$$P = Ws^2/l^4$$

이며 이때 Ws는 줄기의 무게이다. Pinthus¹⁰⁾에 의하면 植物의 地上部 一定部位의 挫折強度(breaking strength)는 倒伏抵抗性과의 相關係數에서 비록 많은 變異를 보이지만 倒伏抵抗性 品種의 挫折強度는 일반적으로 抵抗性이 약한 品種에 비해 높았다 하며 Seko⁶⁾는 挫折強度를 통하여 倒伏指數(L, lodging index)를 다음과 같이 定意하였다.

$$L = M/S, \text{ 또는 } L = Wl/S$$

이때 M은 줄기에 실려있는 힘(bending moment)이며 S는 挫折強度(breaking strength)이고 l은 稈이며 W는 地上部 무게이다. 本研究은 이러한 倒伏關聯形質들을 調査하고 이들과 倒伏과의 關聯程度를 밝혀 耐倒伏性 品種 育種의 基礎資料를 提供하는데 目的이 있다.

材料 및 方法

供試材料는 1900년대에서 1980년대에 栽培 또는 育成된 品種中 10品種, 즉 조동지, 다마금, 중생은방주, 진홍, 팔달, 낙동벼, 화성벼, 동진벼, 서해벼 그리고 대청벼를 1990년 5월 21일 保溫 鉢중못자리에 播種하여 6월 21일 本畝에 栽植 距離 25cm×15cm로 1株 3本으로 移秧하였다. 試驗區 配置는 난괴법 3反復으로 하였으며 實驗單位(Experimental unit) 面積은 5坪으로 하였다. 肥料水準은 요소, 용과린, 연화가리를 N-P₂

O₃-K₂O=11-7-8kg/10a水準으로 施用하였으며 磷酸質과 加里質 肥料는 移秧直前 全量基肥로 하였고 窒素質 肥料는 移秧時, 7월 2일, 7월 20일에 4:3:3으로 分施하였다. 倒伏發生 2일후 倒伏發生程度, 稈長, 地上部 乾物重, 이삭乾物重, 根重, 稈重을 調査하였으며 地上 10cm 部位에서 15cm길이의 줄기를 자른 다음 각 반복당 6개체의 모든 줄기에 대하여 稈直徑(長軸과 短軸의 直徑을 平均함)과 挫折測定器를 利用하여 支點間 距離를 10cm로 하여 挫折強度를 測定하였고 반복당 대략 20개의 줄기에 대하여 顯微鏡을 利用하여 稈壁의 두께를 調査하였다. 圃場倒伏程度는 0-9等級으로 표시하였고(수치가 높을수록 倒伏이 심함) 줄기의 斷面積(A)은

$$A = \pi ab$$

로 計算하였는데 이때 a는 長軸의 直徑이고 b는 短軸의 直徑이다.

結果 및 考察

供試된 品種들의 圃場倒伏程度, 倒伏에 關聯되는 形質들의 平均, 그리고 調査形質들과 圃場倒伏程度와의 相關係數들이 표 1에 제시되어 있다. 倒伏이 가장 심했던 品種은 팔달이었고 다마금, 중생은방주, 조동지 순으로 심했는데 그 외의 진홍 및 최근에 育成된 品種들은 전혀 倒伏되지 않았다. 따라서 10개의 品種들을 倒伏性品種과 耐倒伏性品種의 二群으로 나눌 수가 있는데 特定形質의 倒伏과의 關聯程度는 圃場倒伏과 相關係數 값이 높고 그 形質에 의한 品種分類가 倒伏에 의한 品種分類와 一致할 때 높다고 할 수 있다. 이러한 基準에 의하면 圃場倒伏程度와 關聯이 높은 形質들은 稈長, W/l, Wl/d, Wl/P, Ws²/l⁴ 등 이었다(표 1). 稈長은 倒伏程度와 高度의 有意한 正의 相關을($r=0.7607$) 보여 稈長이 클수록 높은 倒伏을 보였지만 중생은방주와 稈長이 비슷한 진홍은 전혀 倒伏을 보이지 않아 稈長만을 가지고 圃場의 倒伏程度를 判定하기는 미흡하였다. W/l은 地上部 乾物重(稈重+葉重+穗重)을 稈長으로 나눈 것으로 單位 稈 乾物重이라 할 수 있는데 이것은 圃場倒伏과 高度로 有意한 負의 相關($r=-0.6226$)을 보였으며 이 값이 0.35(g/cm)이하 일때 圃場倒伏을 보였다. 이러한 結果는 稈長이 길수록 倒伏은 심한 反面 單位 稈

Table 1. Mean values, Duncan's multiple range test, and correlation coefficient of characters with degree of field lodging.

Variables	Lodging (0-9)	Root dry weight (g)	Shoot dry weight (g)	Panicle dry weight (g)	Culm length (cm)	Culm diameter (mm)	A (cm ²)	Thickness of culm wall (mm)	S (g)	W (g)
Jodongji	7.3	3.62 ^{ab}	21.54 ^{bed}	12.43 ^{ab}	98.2 ^b	4.17 ^a	0.518 ^a	0.518 ^{abc}	236.3 ^{bc}	34.0
Damakeum	8.7	4.38 ^a	27.71 ^a	5.74 ^d	116.5 ^a	3.73 ^{abc}	0.449 ^{abc}	0.504 ^{abc}	247.1 ^{bc}	33.4
Joongsang unbangjoo	8.3	2.09 ^c	15.79 ^c	53.10 ^{ab}	86.6 ^c	3.20 ^a	0.336 ^d	0.461 ^{bc}	146.3 ^d	28.8
Paldal	9.0	4.10 ^b	21.90 ^{bed}	10.94 ^{bc}	95.4 ^b	3.47 ^{bcd}	0.386 ^{bcd}	0.504 ^{abc}	173.4 ^{cd}	32.8
Jinheung	0.0	4.53 ^a	19.94 ^{bcde}	11.47 ^{bc}	88.0 ^c	4.13 ^a	0.551 ^a	0.523 ^{ab}	290.4 ^{ab}	31.4
Suhaebyeo	0.0	3.87 ^{ab}	17.57 ^{abc}	12.29 ^{ab}	66.3 ^c	3.40 ^{bcd}	0.372 ^{cd}	0.455 ^c	177.4 ^{cd}	29.9
Nagdongbyeo	0.0	4.87 ^a	19.23 ^{bcde}	14.02 ^{ab}	76.3 ^d	3.50 ^{bcd}	0.389 ^{bcd}	0.492 ^{abc}	234.5 ^{bc}	33.3
Dongjinbyeo	0.0	5.12 ^a	22.82 ^b	8.31 ^{de}	81.5 ^{cd}	3.77 ^{abc}	0.447 ^{abc}	0.518 ^{abc}	258.4 ^{abc}	31.1
Daechungbyeo	0.0	2.49 ^{ab}	22.25 ^{bc}	12.14 ^{ab}	77.2 ^d	3.90 ^{ab}	0.486 ^{ab}	0.530 ^b	229.7 ^{bcd}	34.4
Hwasungbyeo	0.0	3.70 ^{ab}	16.93 ^{bc}	16.01 ^a	74.7 ^d	3.40 ^{cd}	0.369 ^{cd}	0.525 ^{ab}	339.4 ^a	32.9
correlation coefficient with field lodging		0.2048	0.2810	0.2781	0.7607 ^{**}	0.0750	0.1104	-0.1515	-0.3986 [*]	-0.0639

A : Cross sectional area of culm

W : Total dry weight of plant above ground

S : Breaking strength

Variables	W/l (g/cm)	Wl (g.cm)	Wl/d (g.cm/mm)	L (cm)	Wl/A (g/cm)	I (mm ⁴)	P (x 10 ⁻³) (g ² /cm ⁴)	Wl/P (x 10 ³) (cm ⁵ /g)	Ws ² /I* (x 10 ⁻⁶) (g ² /cm ⁴)
Jodongji	0.35 ^{bc}	3333.6 ^{ab}	798.7 ^{bc}	14.3 ^{abc}	6592.1 ^{bcd}	209.1 ^a	21.4 ^{ab}	156.9 ^{abcd}	1.80 ^{de}
Damakeum	0.29 ^c	3894.4 ^a	1060.0 ^a	15.9 ^{abc}	8951.5 ^a	142.5 ^{bcde}	10.5 ^c	411.4 ^k	1.70 ^e
Joongsang unbangjoo	0.33 ^{bc}	2493.6 ^{cd}	780.3 ^{bc}	17.3 ^{ab}	7516.0 ^{abc}	78.8 ^c	10.4 ^c	244.7 ^{bc}	1.40 ^e
Paldal	0.34 ^{bc}	3126.1 ^{bc}	905.8 ^{ab}	18.9 ^b	8183.8 ^{ab}	108.8 ^{cd}	11.9 ^c	269.3 ^b	0.70 ^e
Jinheung	0.36 ^{bc}	2770.6 ^{bc}	670.5 ^c	10.1 ^{cd}	5040.3 ^d	200.1 ^{ab}	25.9 ^a	107.8 ^d	1.95 ^{cd}
Suhaebyeo	0.45 ^a	1980.9 ^a	582.5 ^c	11.6 ^{bcd}	5357.1 ^{cd}	95.0 ^{de}	21.6 ^{ab}	92.4 ^d	4.13 ^a
Nagdongbyeo	0.44 ^a	2563.4 ^{cd}	728.8 ^{bc}	11.4 ^{bcd}	6560.8 ^{bcd}	112.2 ^{cd}	19.0 ^b	135.8 ^{cd}	3.02 ^{bc}
Dongjinbyeo	0.38 ^{ab}	2549.8 ^{bcd}	671.4 ^c	10.5 ^{cd}	5662.4 ^{cd}	149.3 ^{abcd}	22.1 ^{ab}	115.0 ^d	2.92 ^{bcd}
Daechungbyeo	0.44 ^a	2656.5 ^{bcd}	681.0 ^c	11.6 ^{bcd}	5466.0 ^{cd}	166.6 ^{abc}	27.9 ^a	95.8 ^d	3.80 ^{ab}
Hwasungbyeo	0.44 ^a	2463.5 ^{cd}	729.7 ^{bc}	7.6 ^e	6789.5 ^{abcd}	104.6 ^{cd}	19.1 ^b	140.7 ^{cd}	3.59 ^{ab}
correlation coefficient with field lodging	-0.6226 ^{**}	0.5794 ^{**}	0.6421 ^{**}	0.6849 ^{**}	0.6351 ^{**}	-0.0527	-0.6808 ^{**}	0.7205 ^{**}	-0.7134 ^{**}

l : culm length

Wl : product of W and l

d : culm diameter

L : lodging index

I : the second inertia moment

P : I/l², which is proportional to bending load

from Euler's equation

Ws : shoot dry weight

乾物重은 낮아지는 데서 起因한 것으로 생각된다.

Wl/d 는 Wl 이 地上部 乾物重에 稈長을 곱한 것으로 휨모멘트(bending moment)이며¹⁰⁾ 이것을 稈直徑(d)으로 나눈것이므로 單位 稈直徑 휨모멘트라 할 수 있다. 單位 稈直徑 휨모멘트는 圃場倒伏과 高度로 有意한 正의 相關($r=0.6421$)을 보였으며 이 값이 750(g) 이상에서는 圃場倒伏을 보였는데 특히 가장 심한 圃場倒伏을 보인 팔달이나 다마금의 경우 900이상의 값을 보여 品種의 倒伏性 判定에 有用한 形質로 생각된다. L 은 倒伏指數로서 圃場倒伏과는 高度로 有意한 正의 相關을 보였고($r=0.6849$) 이 값이 14(cm) 이상에서도 圃場倒伏을 보였으며 圃場倒伏이 가장 심한 팔달에서 가장 높은 값(18.9)을 보였다. Wl/P 는 臨界휨荷重(critical bending load)으로 휨모멘트(bending moment)를 나눈것으로 荷重比라 할 수 있는데 이것은 圃場倒伏과 高度로 有意한 正의 相關을 보였으며($r=0.7205$) 150이상에서 圃場倒伏을 보였다. Ws^2/l^4 은 臨界倒伏荷重에 비례하는 값으로 臨界倒伏荷重指數라 할 수 있는데 圃場倒伏과는 高度로 有意한 負의 相關을($r=-0.7134$)보였으며 $1.8 \times 10^{-6}(g^2/cm^4)$ 이하에서 倒伏을 보였고 圃場倒伏이 가장 심한 팔달에서 가장 낮은 값(0.76×10^{-6})을 보였다. 이들 變數中에서 作業의 難易도와 測定에 消耗되는 時間을 考察한다면 가장 容易하게 測定할 수 있는 稈長, W/l , Wl/d , Ws^2/l^4 등이 보다 有用한 形質이라 할 수 있다.

稈長, 줄기斷面積, 稈壁의 두께, 줄기斷面의 2차 慣性모멘트등은 圃場倒伏과의 相關係數에서 有意성을 보이지 못하였고 倒伏程度에 따라 分類된 두 群과의 品種들 사이에 一定한 傾向을 보이지 않아 이들 자체의 값을 가지고 品種의 倒伏程度를 判定하는 것은 問題가 있을 것으로 생각되었다. 挫折荷重(S)은 倒伏程度에 관한 品種分類에는 미흡하지만 圃場倒伏과 有意한 負의 相關을 보였는데($r=-0.3986$) 이러한 傾向은 Pinthus¹⁰⁾에 의해 報告된 바 있다.

摘 要

벼의 倒伏에 關聯하는 形質들의 圃場倒伏과의 關聯程度를 밝혀 벼의 耐倒伏性育種의 基礎資料

를 提供코져 1900년대에서 1980년대에 栽培 또는 育成된 10品種을 栽培하여 實驗한 結果를 要約하면 다음과 같다.

1. 圃場倒伏程度와 關聯程度가 높은 形質들은 稈長, 單位稈荷重(W/l), 單位 直徑휨모멘트(Wl/d), 倒伏指數(L), 荷重比(Wl/P), 臨界倒伏荷重指數(Ws^2/l^4)등 이었다.
2. 稈長은 圃場倒伏과 높은 相關($r=0.7607$)을 보이거나 稈長만으로 品種의 倒伏程度를 判定하기는 미흡하였다.
3. 測定의 難易도와 消耗되는 時間을 考察해 볼 때 倒伏抵抗性を 判定하는데 有用할 形質들은 稈長, W/l , Wl/d , Ws^2/l^4 이었다.
4. 稈徑, 줄기斷面積, 稈壁의 두께, 줄기斷面의 2차 慣性 모멘트는 圃場倒伏과 아무런 相關關係를 보이지 않았다.
5. 挫折強度(S)는 圃場倒伏과 有意한 負의 相關($r=-0.3986$)을 보였다.

引 用 文 獻

1. 김영호·김병현·김희동·김재철·이동우. 1987. 중부지방 벼 담수표면 직파재배에 관한 연구. 1. 담수표면직파에서의 수도 주요 품종들의 생육특성 및 수량. 농시논문집 29(1) : 92-98.
2. 김학진·임준택·권병선. 1991. 질수 수준, 도복 경감제, 그리고 파종량을 달리한 벼 담수 표면 직파에 관한 연구. 한국작물학회지 36(4) (in press).
3. Nishiyama, Iwao. 1985. Lodging of rice plants and countermeasures against it. International seminar on plant growth regulators in agriculture. 1-20.
4. 박성태·김순철·이수관·정근식. 1989. 남부지방에서 벼 직파재배양식에 따른 생육 및 수량. 농시논문집(수도편) 41(4) : 36-42.
5. Seko, H. 1962. Studies on lodging in rice plants. Bull. Kyushu Agric. Exp. Stat. 7, 419-499.
6. 서해영. 1976. 벼 담수직파재배의 문제점과 대책. 서울농약 2(4) : 4-9.
7. 이종훈·오운진·구연충. 1979. 수도 생력재배를 위한 담수직파 안정화에 관한 시험. 작

- 시 시험연구보고서(수도편). 474-475.
8. 임준택·권병선·감학진. 1991. 산소 발생제와 과중량을 달리한 벼 담수 토중적과 재배에 관한 연구. 한국박물학회지 36(4)(in press).
 9. 조장환. 1972. 맥류의 도복에 관여하는 유용형질의 분석에 관한 연구. 한작지 11 : 105-117.
 10. Pinthus, M. J. 1973. Lodging in wheat, barley, and oats : The phenomenon, its causes and preventive measures. *Advances in Agronomy* 25 : 209-263.
 11. Tateno, M. and K. Bae. 1990. Comparison of lodging safety factor of untreated and succinic acid 2, 2-dimethylhydrazide-treated shoot of mulberry tree. *Plant Physiol.* 92 : 12-16.