

벼 倒伏 發生要因과 被害輕減 對策

李文熙 · 吳潤鎮 · 朴來敬*

Lodging Mechanisms and Reducing Damage of Rice Plant

Moon Hee Lee, Yun Jin Oh, and Rae Kyeong Park*

ABSTRACT : Lodging of rice plant is the most important damage by unfavourable weather conditions in rice cultivation. High levels of nitrogen application and growing of Japonica rice variety is one factor to increase the lodging damage. Lodging of rice plant decreasing grain yield ; 34% at milky, 21% at dough, 20% at yellow stage, decreasing grain quality, increasing green rice, and increasing labor cost to harvest. To decrease lodging damage, the lodging resistant varieties will be selected and cultural practices such as amount and time of nitrogen application, planting density, water management, and disease and pest control methods have to be study for the short and strong culm, and good rooting system. Also, application methods such amount and time of plant growth regulators and new types of chemicals will be develop for the reducing lodging of rice plant. To decrease the lodging damage in direct seeding cultivation, first identifying the differences of lodging mechanisms between hand transplanting and direct seeding, second establish the suitable direct seeding methods such as seedling establishment, fertilization, and water management.

벼의 倒伏은 다른 作物과 같이 收量과 品質에 미치는 影響은 대단히 크다. 한여름 땀흘려 잘지어 놓은 벼農事는 出穗後 登熟이 되어가는 過程에서 降雨나 颱風에 의해서 倒伏되면 收量에 큰 影響을 미치게 된다. 특히 生育이 良好한 벼일수록 倒伏이 되기 쉽고 그 被害도 크다.

근년 우리나라 벼農事に 있어서 1970년에 短稈이며 耐肥성이 큰 다수성 品種이 育成되어 農家に 普及되면서 벼의 倒伏에 대한 問題는 農民이나 研究者 모두 안심할 수 있었다. 그러나 1980年度의 극심한 冷害는 統一型 品種에 치명적인 타격을 주어 統一型品種의 栽培面積이 점차 減少하고 品種의 農家自律 選擇에 의한 適地適品種 栽培가 積極 勸奨됨에 따라서 長稈이며 稈이 弱한 一般型品種의 栽培面積이 增加하게되며 倒伏 被害面積이 차츰 增加하고 있는 實情이다.

벼 倒伏은 그해 그해의 氣象條件에 크게 影響을 받고있으나 品種, 施肥量, 施肥時期, 分施方法, 栽植密度, 물管理 및 病蟲害 被害, 耐倒伏性

品種의 混合播種등 벼品種 또는 栽培方法에 따라서 큰 差異가 있다고 보고하고 있다.^{3,7,13,16,18,25)} 그러나 倒伏被害를 輕減시키기 위하여 現在까지 多方面으로 研究檢討되어 왔으나 아직도 未洽한 實情이다.

또 最近 우리는 國際市場 開放壓力이 強하게 물러와 쌀에 대한 開放壓力이 加重되어오고 있으므로 이에 積極 對應하기 위해서 生産費節減과 良質米生産 技術開發에 重點을 두고 있다. 生産費節減을 위해서 直播栽培를 할 경우 가장 큰 問題로 대두되는 것은 倒伏被害이며, 또 良質米生産이란 側面에서 보아도 倒伏은 良質米 生産에 致命的인 沮害要因으로 作用하고 있다. 이와 같이 벼倒伏은 輸入開放 對應技術 體系確立에 逆行하는 要素로 되어있다.

따라서 본 報告에서는 現在 우리나라에서 發生하는 倒伏被害의 現況과 倒伏의 發生原因, 機作 및 被害程度와 그 對策을 綜合定理 體系化하여 향후 쌀의 安全栽培 및 國際競爭力을 높이기 위

* 作物試驗場 (Crop Experiment Station, RDA, Suwon 441-100, Korea)

한 直播栽培의 安定化와 良質米生産을 위한 倒伏 없는 벼栽培技術 開發研究에 다소의 도움이 되었으면 한다.

1. 벼 倒伏被害의 現況

가. 氣象環境

우리나라는 溫帶 몬순 大陸性 氣候地帶에 속하여 있으므로 여름철은 무덥고 비가 많이오는 장마철이 存在하며 年間 平均 降雨量은 1200mm이나 6월부터 8월에 걸쳐 集中되어 있는 것이 特徵이다.²²⁾ 특히 南太平洋地域에서 發生하여 불어오는 颱風은 매우 잦은 頻度로 우리나라에 掩襲하여 農作物 뿐 아니라 住宅 및 各種 産業施設에도 莫大한 被害를 주고있다. 過去 1904년부터 1989년까지 85년간의 우리나라를 直接 또는 間接으로 通過한 颱風의 進路와 頻度를 그림 1과 표 1에서 보면 우리나라를 正面으로 通過하여 直接 影響을 준 II, III型은 總 257의 颱風中 49%인 126회에 달하였고, 또 우리나라 벼栽培에서 倒伏이 가장 쉽게 일어나며 被害가 가장 큰 登熟初期인 8월이 38.5%, 登熟 後期인 9월에는 25.3%로 登熟期間에만 64%를 차지하고 있다.

나. 벼 倒伏 被害 現況

앞에서 記述한 것과 같이 우리나라의 벼農事에서 氣象災害는 여러가지 類型으로 發生한다. 특히 降雨나 颱風에 의해서 일어나는 浸冠水 被害와 倒伏被害를 보면 표 2와 같다. 이 중에서 倒伏에 의한 被害面積은 風水害 被害 面積에 속해있으며 다른 氣象災害 보다 面積이 많고 1984年以後에 急激히 增加하고있다. 이와 같이 우리나라

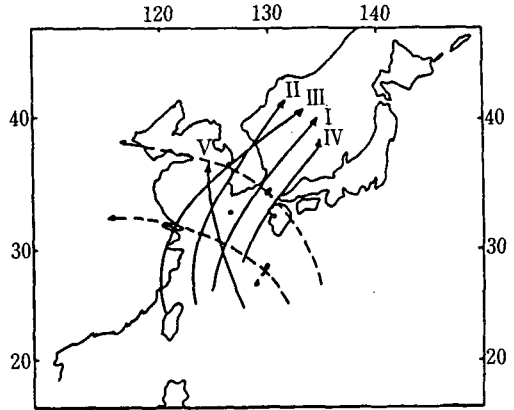


Fig. 1. Courses of Typhoon passed to Korea peninsula.²²⁾

Table 1. Number of typhoon passed korea peninsula from 1904 to 1989.²²⁾

Types of course */	Number of typhoon					Total (Ratio)
	June	July	August	Sept.	Oct.	
I	3	6	16	7	2	34 (13.2)
II	2	20	29	7	1	59 (25.0)
III	5	16	25	20	1	67 (26.0)
IV	3	12	16	27	1	60 (23.3)
V	-	15	7	2	-	24 (9.0)
Other	-	5	6	2	-	13 (5.0)
Total	13	74	99	65	6	257
(Ratio)	(5.0)	(28.7)	(38.5)	(25.3)	(2.3)	(100)

*/ : same as Fig. 1.

Table 2. Damaged area of abnormal weather condition in different years.¹⁷⁾ (unit : ha)

Year	Total	Drought	Wind and flooding	Cold injury	Otheres
1981	123,900	7,030	116,079	-	835
1982	96,749	54,225	34,956	-	7,538
1983	49,795	2,107	11,127	1,196	5,365
1984	157,757	5,895	149,883	-	5,365
1985	113,969	173	110,700	-	2,823
1986	155,730	-	101,628	-	54,102
1987	400,282	-	398,758	-	1,524
1988	32,505	1,022	18,881	11,710	897
1989	107,691	71	105,421	-	2,200
1990	122,714	-	121,204	-	1,510

Table 3. Effect of typhoon on the flooding and lodging of rice.¹⁷⁾

Year	Name of typhoon	Area of damaged (ha)		
		Flooding	Lodging	Others
1984	Holly	76	11,242	-
1985	Kit	803	488	-
1985	Lee	17,940	2,203	-
1985	Brenda	102	17,000	-
1986	Nancy	46,646	-	100
1986	Vera	10,922	7,836	41,828
1987	Thelma	85,209	-	3,261
1987	Dinah	12,908	91,030	819

라의 氣象條件에서는 倒伏이 많이 發生하며 그被害 또한 크다는 것을 立證해주고 있다.

또 1980年代에 우리나라에 掩襲해온 颱風에 의한 倒伏被害를 표 3에서 보면 1984년 홀리, 1985년 10월의 브랜드등은 10,000ha 이상의 倒伏被害面積을 發生시켰으며, 1987년의 다이어나는 91,000ha의 막대한 倒伏被害를 發生시켰다.

2. 벼 倒伏 發生 原因과 機作

가. 벼는 왜 倒伏 하는가

벼 倒伏 原因을 分析하여 그림 2에서 보면, 벼 自體의 倒伏形質에 미치는 要因을 크게 管理可能 要因과 管理不可能 要因들 두가지로 區分할 수 있고, 管理可能 技術은 栽培 技術, 品種 選擇, 病蟲害 防除 등이며, 管理不可能 技術 要因으로는 氣象 條件, 土壤 條件, 品種의 遺傳 特性으로 다시 區分하여 볼 수 있다. 따라서 이러한 要因들이 벼의 모

든 形質을 倒伏되기 쉬운 狀態에 있을때 集中豪雨나 颱風에 의해서 倒伏이 發生한다.

벼의 耐倒伏性이 弱해서 倒伏이 쉽게 되는 벼의 特徵은 稈長은 길고 가늘며, 下位節間長이 過度하게 伸長되어있고, 上位 葉身은 길고 늘어져있으며, 出穗後에 葉초가 쉽게 老化되고, 이삭의 무게가 무겁고, 地下部의 뿌리는 軟弱하며 直根性이며 根腐現象이 심한 벼는 쉽게 倒伏이 된다. 또 自然的인 現象으로 出穗後 登熟過程에서 倒伏形質의 變化를 가져와 內倒伏性이 減少되며 이들 相互關係를 나타내보면 그림 3과 같다. 벼는 出穗後 登熟이 進展됨에 따라서 稈과 葉초는 老化되어 稈細胞 組織이 軟弱하여 倒伏抵抗力이 減少된다.⁴⁾ 또 뿌리의 老化現狀도 뿌리의 支持 強度가 낮아져서 결국 倒伏抵抗이 減少된다.

벼 倒伏에 關係 하는 氣象 要因의 影響은 우선 生育期間中의 氣溫, 濕度, 日射量, 降雨量 등에

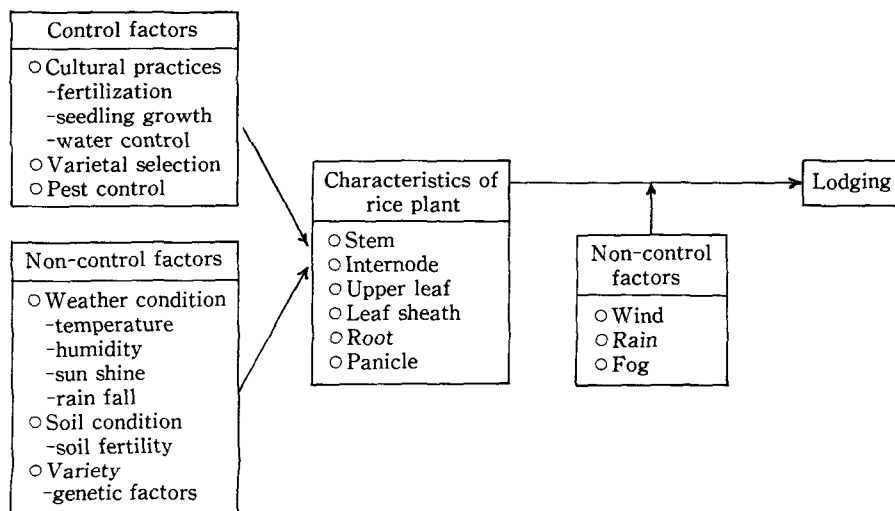


Fig. 2. Lodging mechanisms of rice plant.²¹⁾

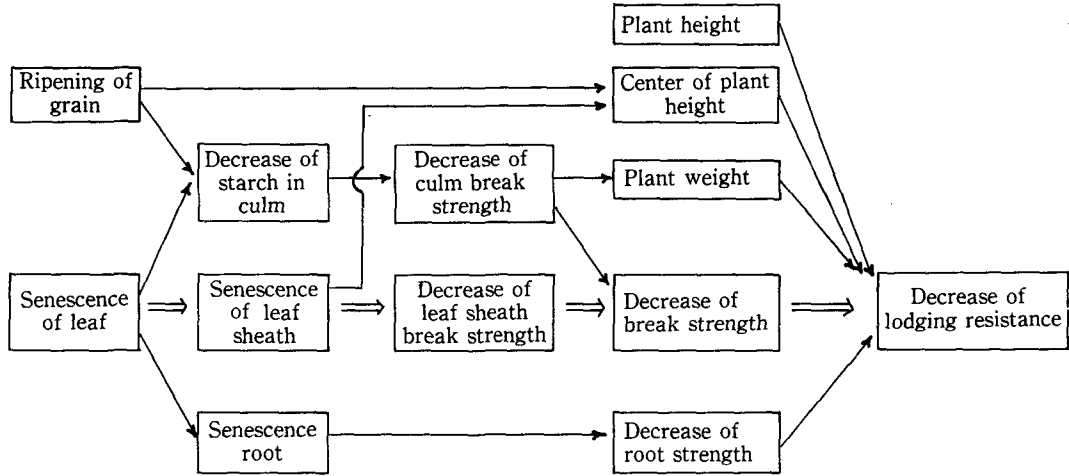


Fig. 3. Effects of agronomic characteristics changes after heading on the lodging of rice plant.²⁴⁾

Table 4. Increasing ratio of plant weight after rain.¹⁶⁾ (unit : %)

Organ	Dough stage		Ripening stage	
	A	B	A	B
Panicle	22	13	27	16
Stem	43	38	44	37
Leaf blade	134	56	147	77
Flag leaf	128	35	142	54
2nd leaf	113	43	122	58
3rd leaf	119	49	134	64
4th leaf	188	108	247	187

A : After rain, B : Shake 10 minute after rain

의해서 벼가 얼마나 健全하게 生育하였나 하는 것과 關係가 되며 生育後期, 즉 出穗後에는 集中豪雨나 颱風에 의하여 倒伏이 發生한다. 특히 降雨에 의한 倒伏의 誘發은 빗방울이 植物體에 부딪치는 外壓과 비온 뒤 빗물이 植物體에 부착되어 地上部의 무게를 加重시켜 倒伏을 誘發시킨다. 표 4에서 보면 비온 뒤의 地上部 무게증가율은 糊熟期나 完熟期 같은 傾向으로 葉신>줄기>이삭의 순으로 증가하였으며 葉의 위치에 따라서는 下位 葉일수록 무게가 增加되는 傾向을 나타내고 있다.

颱風에 의한 倒伏 誘發은 위에서 記述한 것과 같이 降雨에 의한 地上部의 무게가 增加하는 반면 强風에 의한 被害가 加重되고 그 結果를 그림 4에서 보면 風俗이 初速 10m 以上 5時間 程度의 颱風이 불면 倒伏率이 急激히 增加되며 20m 以上 이 되면 100% 倒伏이 된다. 또 颱風의 風速뿐 아니라 風向과의 關係도 크다고 報告하고 있다.⁵⁾

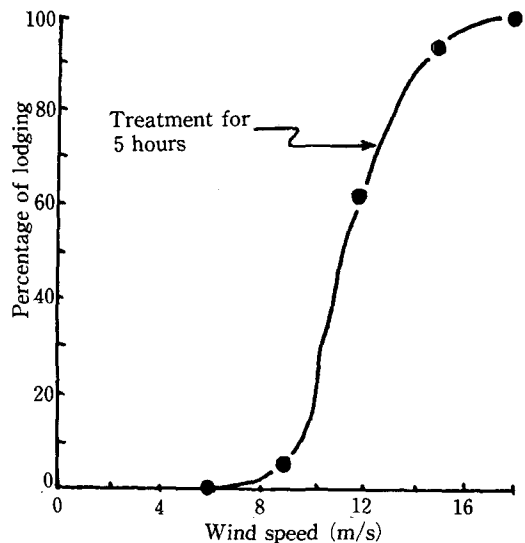


Fig. 4. Effect of wind speed on the breaking-type lodging.¹⁶⁾

나. 벼 倒伏의 樣相

벼의 倒伏은 出穗後 登熟期間에 颱風이나 集中豪雨 등에 의하여 일어나는 것이 一般의이나 栽培되어지는 品種, 栽培方法, 栽培管理法, 倒伏時間 등에 따라서 그 樣相이 다르게 나타난다. 따라서 벼의 倒伏 樣相을 區分하여 보면 挫折型, 彎曲型, 轉伏型(뿌리도복), 開張型(분얼도복) 등 4가지로 區分할 수 있다. 그 중 우리나라에서 가장 많이 나타나는 것은 挫折型 倒伏으로 下位節間에서 節間 사이가 부러져서 倒伏되는 形態로 한번 倒伏이 되면 回復이 어렵고 養, 水分의 移動이 斷絶되어 登熟과 米質에 큰 影響을 주며 收量에 가장 큰 影響을 주는 倒伏 形態이다. 挫折은 比較的 稈이 강한 品種이나 下位 節間長이 긴 벼에서 강한 外壓에 의해서 일어나는 경우가 많다. 彎曲型 倒伏은 稈이 가늘고 강한 特性을 가진 벼에서 일어나는 形態로 下位 節間이 만곡되어 이삭이 지체부에 닿는 형태의 도복이다. 彎曲倒伏은 生育 初期에 倒伏이 되면 어느 程度 回復되는 것이 特徵으로 다른 倒伏 形態에 비하여 收量에 미치는 影響은 크지 않다. 轉伏倒伏 즉 뿌리倒伏은 稈이 挫折되거나 만곡되는 것이 아니고 뿌리 부분이 軟弱하여 지체부에서 倒伏이 되는 形態로 土壤의 還元이 심하여 根腐 現象이甚한 곳이나 直播栽培에서 흔히 볼 수 있는 倒伏이다. 開張型 倒伏은 분얼수가 많거나, 品種에 따라서는 分蘖 角度가 심하여 登熟이 進展됨에 따라서 이삭이 무거워져 일어나는 倒伏 形態로 우리나라에서는 잘 나타나지 않는다.

다. 벼 直播栽培과 倒伏

우리나라의 벼栽培는 生産費節減 技術開發이 크게 要求되기 때문에 과거의 손移秧에서 現在의 機械移秧栽培 또 앞으로는 直播栽培로 점차 轉換되어가야 하나 直播栽培에서는 倒伏에 의한 被害가 問題가 되고있다. 따라서 直播栽培에서 倒伏 被害를 輕減시키는 技術開發이 切實하게 要求된다.

표 5에서 벼栽培 方法에 따른 耐倒伏性 程度를 보면 直播栽培는 移秧栽培에 비하여 相對的으로 弱하게 나타나고 있다.

특히 直播栽培에서 일어나는 倒伏의 形態는 뿌리의 支持力이 弱하여 일어나는 轉伏型 倒伏으로 Ramiah, 佐佐木, 西尾, 新田, 宮坂, 江戶 Rodger 등에 의한 많은 研究報告가 있다.³⁾ 벼倒伏과 關聯된 뿌리의 特性을 보면 첫째 뿌리의 수가 많을 것이며, 둘째로는 뿌리의 굵기가 굵어서 引張強度가 크고, 셋째로는 뿌리의 分布角度가 크고, 마지막으로 生育後期까지 뿌리의 活力이 높을수록 倒伏抵抗力이 크다.

直播栽培에 있어서 倒伏은 播種深度, 立毛數에 따라 다소 差異가 있으나 뿌리의 支持力 低下와 과번무에 의한 下位節間長의 伸張과 軟弱화가 주된 原因으로 되어있다. 특히 表面湛水直播栽培는 地表面에 種子가 播種되므로 줄기가 地面에 埋沒되지 못하여 倒伏에 매우 銳敏하다. 따라서 直播栽培에서는 뿌리의 強度와 分布가 重要하므로 이들과 倒伏과의 關係를 그림 5에 나타내보면

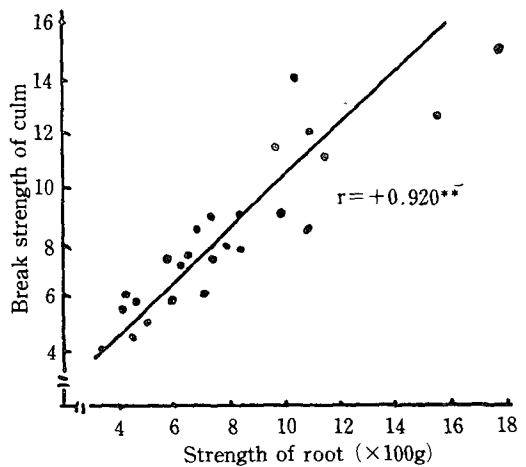


Fig. 5. Relationship between strength of root and weight of break strength of rice plant.³⁾

Table 5. Lodging resistance of rice plant in different transplanting methods.¹⁹⁾

Transplanting method	Wt. of bending (g)	Break strength (g.cm)	Wt. of break (g)	
			Wind	Rain
Hand transplanting	4.21	730	2.0	4.2
Direct seeding				
Drill seeding	2.74	678	2.1	3.7
Broadcasting	-	423	0.2	0.4

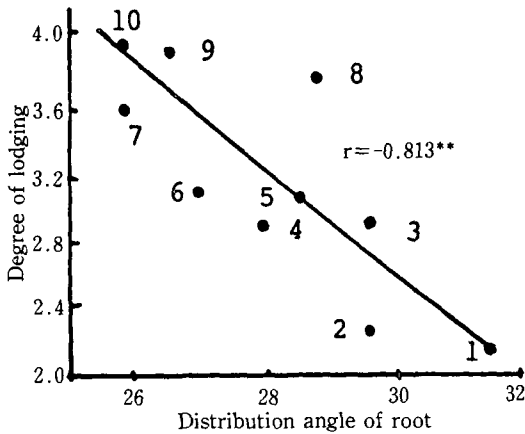


Fig. 6. Relationship between root angle and degree of lodging.³⁾

根의 強度가 強할수록 줄기의 挫折重이 增加하여 正의 相關關係를 나타내고 있으며, 根의 分布 角度와 倒伏程度와의 關係도 그림 6에서와 같이 根의 展開角度가 넓으면 倒伏程度가 減少하는 傾向을 나타내고 있다.

3. 벼 倒伏 被害程度

벼 倒伏被害는 收量減少, 品質低下, 收穫作業 能率의 低下 등으로 區分하여 이들에 關한 研究調查는 많이 되어 있으나, 벼倒伏의 時期, 程度, 樣 相等에 따라서 크게 다르기 때문에 一律의 測定하기는 매우 힘들다. 우선 倒伏에 의해서 受光態勢가 허트리지고 群落의 微細氣象 狀態가 變化하기 때문에 光合成能力이 급격히 低下하고 呼吸作用이 增加하여 光合成生産物이 부족되어 이삭으로의 轉流가 阻害되어 收量減少에 影響을 준다. 특히 挫折倒伏에서 그 被害는 더욱 甚하게 나타난다고 報告하고 있다.^{3,6)} 아울러 挫折倒伏은 土壤으로부터 養水分의 吸收에 障害를 가져와 登熟에도 크게 影響을 준다. 倒伏이 光合成이나 養水分의 吸收에 미치는 影響은 倒伏된 角度에 따라서 크게 다르다고 報告하고 있다.^{3,6)}

倒伏時期에 따른 收量 減收率을 표 6에서 보면, 乳熟期의 倒伏이 34%, 糊熟期가 21%, 黃熟期의 倒伏이 20%로 出穗後 倒伏되는 時期가 빠르면 빠를수록 收量에 미치는 影響은 크게 나타나고, 이러한 結果는 많은 研究者들에 의해서 報告되고 있다.

收量構成要素中에서 登熟比率과 粒重은 倒伏에

Table 6. Decreasing of grain yield affected by lodging at different stage of grain development after heading.¹³⁾

Stage	Milky stage	Dough stage	Yellow stage	Normal stage
Decreased ratio of yield (%)	34	21	20	0
Ripening ratio (%)	47	61	70	82
Grain wt. (g/1000g.)	17.2	18.9	18.9	19.0

의해서 크게 影響을 받으며, 표 6에서 보면 無倒伏의 登熟比率이 82%인데 比하여 乳熟期는 47%, 糊熟期는 61%, 黃熟期는 70%로 減少하여 倒伏時期가 빠를수록 크게 減少하는 傾向이었다. 이러한 傾向은 1000립중에서도 같은 結果를 나타내고 있다.

다음으로 倒伏程度에 따른 減收率을 표 7에서 보면 全倒伏이 30%, 半倒伏이 10% 程度의 收量 減少를 나타내어 倒伏時期와 마찬가지로 倒伏程度에 따라서도 差異가 큼을 알수있다. 그러나 倒伏된 狀態에 따라서도 큰 差異를 보여준다.

한편 쌀의 品質에 미치는 倒伏의 影響을 표 8에서 보면 乳熟期와 糊熟期의 倒伏은 完全米比率이 減少하는 反面에 靑米比率이 크게 增加하는 傾向이나, 黃熟期 倒伏은 靑米比率보다는 死米比率이 減少하는 傾向이었다. 以上과 같은 結果는 그림 7에서도 같은 傾向으로 倒伏時期가 出穗後 빠를수록 完全米比率이 減少하는 反面에, 屑米나 粃粒比率이 증가하였다.

出穗後 20-30일 程度 經過한 벼가 倒伏되면 穗發芽가 되며 高溫期에 出穗되는 早生種이 倒伏되면 穗發芽 被害는 더욱 크다. 이는 收量減少 뿐 아니라 쌀의 品質에도 크게 影響을 준다.

以上의 結果로 보면 降雨나 颱風에 의해서 倒伏이 되면 養水分의 移動이 遮斷되고, 光合成能力이 低下되어 米粒의 發達이 不良하여 米質이 低下되고 登熟比率, 1000립중이 減少되어 最終의 收量이 크게 減少한다.

Table 7. Decreasing ratio of grain yield affected by degree of lodging.²¹⁾

Degree of lodging (%)	100	75	50	25
Yield decrease ratio (%)	30	25	10	5

Table 8. Effect of lodging stage on the rice grain quality.¹⁶⁾

(unit : %)

Lodging stage	Head rice	Green rice	Dead rice	Notched rice
Control	85.5	7.2	4.5	3.0
Milky stage	53.2	37.6	5.3	2.8
Dough stage	77.2	17.6	7.9	2.0
Yellow stage	82.4	3.5	11.5	2.6

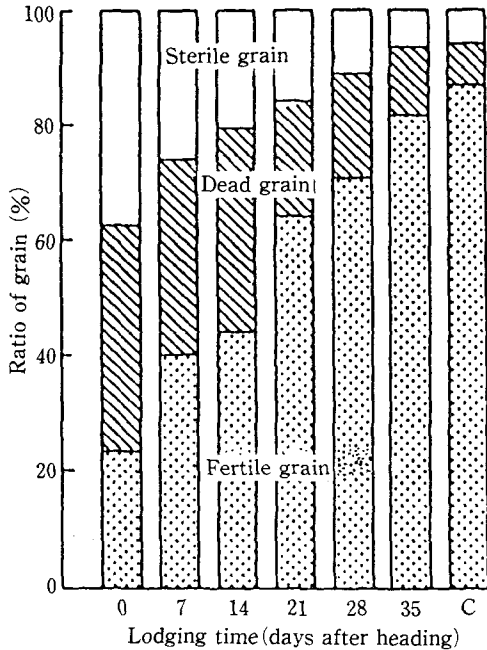


Fig. 7. Effect of lodging stage on the ripening of rice.¹⁴⁾

C : control

4. 벼 倒伏輕減 對策

가. 品種育成

벼 倒伏防止技術 對策에서 가장 중요한 것은 品種의 選擇으로 耐倒伏性的 品種間差異가 매우 크며, 耐倒伏性 品種의 特性은 短稈이며 굵고 稈壁이 두꺼운 特徵을 가지고 있다. 우리나라의 新品種 育成過程을 보면 1960年代에는 키가 크고 耐肥性이 弱한 品種들이 育成되어 氣象條件이 不良할 境遇에는 倒伏에 의한 被害가 甚하였으나 1970年

代에 와서는 短稈이면서 耐肥性이 강한 統一型 品種이 開發普及되어 倒伏에 대한 問題는 決定되었었다. 그러나 最近에 여러가지 社會的인 與件에 의하여 一般型品種의 栽培面積이 增加되어 品種 育成普及도 耐倒伏性을 나타낸 것으로 주로 早生種에서 耐倒伏性이 强하며 中晚生種쪽으로는 大部分의 品種이 弱한 傾向을 나타내고 있다. 그러나 總 44品種中 强 또는 中强으로 되는 品種이 22品種으로 50%以上을 차지하고 있으며, 이는 育種面에서도 耐倒伏性 品種이 育成되어 있음을 나타내고 있다.

最近에는 省力化를 위하여 直播栽培適應品種을 選拔함에 있어서 耐倒伏性이 강한 品種을 選拔하기 위한 方法으로 단간이면서 뿌리의 활력이나 분포의 차이 등이 선발기준으로 되고 있으며 이러한 뿌리의 分布 差異를 보면 粍 10과 같이 耐倒伏性이 강한 品種은 뿌리가 廣範圍하게 分布하고 있는 것이 特徵이다.

나. 栽培法 改善

지금까지 벼의 倒伏과 關係되는 栽培法에 관한 研究는 많았다. 특히 施肥量, 施肥方法, 栽植密度, 물관리방법 등에 의해 下位節間이나 稈長의 伸長을 抑制하여 倒伏을 輕減시키는 研究가 많이 되어왔다.^{8,9,10)}

施肥量과의 關係에서 보면 窒素 施肥量과 施肥方法이 倒伏에 미치는 影響이 크다. 粍 11에서 窒素施肥量에 따른 倒伏比率을 보면 品種에 따라서도 다소 差異는 있으나 窒素 15kg/10a 以上에서는 倒伏이 甚하게 發生하는 傾向을 보여 주고 있다.

Table 9. Number of newly developed lodging rice varieties.

Classification	Crop maturity			Total
	Early	Medium	Late	
Resistance	13	7	22	
Moderate	2	4	5	11
Susceptible	5	3	3	11
Total	20	14	10	44

Table 10. Varietal differences of root distribution of rice plant.

Method of seeding	Variety	Wt. of root in different soil depth (g/box)				
		0-10	11-20	21-30	31-40	Total
Direct Seeding in dry soil	Daekwanbyeo	2.21	0.93	0.46	0.35	3.95
	Daeseongbyeo	1.50	0.63	0.31	0.05	2.49
	Hwajinbyeo	1.55	0.53	0.23	0.05	2.36
	Seohaebyeo	1.42	0.66	0.57	0.31	2.96
	Namyangbyeo	2.05	0.78	0.36	0.14	3.64
Direct seeding in wet soil	Janganbyeo	1.67	0.78	0.36	0.14	2.95
	Daekwanbyeo	3.35	1.19	0.65	0.49	5.68
	Daeseongbyeo	2.64	0.98	0.59	0.32	4.53
	Hwajinbyeo	2.38	1.03	0.63	0.34	4.38
	Seohaebyeo	2.27	1.03	0.56	0.31	4.17
	Namyangbyeo	2.30	0.69	0.40	0.24	3.63
	Janganbyeo	1.99	0.69	0.32	0.14	3.14

Table 11. Effect of nitrogen levels on the lodging rate of rice.

Variety	N. level(kg/10a)	Rate of lodging (%)			
		12	15	18	21
Gihobyeo	0	50	83	100	
Daeseongbyeo	0	17	17	67	
Seomjinbyeo	0	0	67	100	
Average	0	23	67	92	

또 窒素 施肥方法에 따라서는 穗肥時期가 가장 크게 影響을 하여 표 12에서 보면 穗肥施用時間가 出穗前 25日보다 빠르면 下位節間長을 伸長시켜 倒伏을 誘發한다고 報告하고 있다. 따라서 벼 栽培에서 倒伏輕減과 米質을 높이기 위해서는 穗肥施用 時期와 施用量은 適期에 適量을 하여야 한다. 窒素 이외에도 加里나 硅酸質肥料의 施用은 細胞의 強度를 단단하게 하여 挫折強度를 높여 耐倒伏性을 增加시킨다는 보고도 있다.^{1,4,9)}

栽植密度 또한 耐倒伏性和 關聯이 크며 過多한

密植이나 한포기의 栽植 苗數가 過多하게 많은 경우에는 下位節間이 軟弱하여 耐倒伏性이 弱하게 되기 때문에 過多한 密植은 피하여야한다. 표 13은 이러한 여러가지 栽培方法이 倒伏과 어떤 關聯性이 있는가 綜合的으로 檢討한 結果로 多肥, 密植, 早期 穗肥施用時期 등은 耐倒伏性을 크게 하는 結果를 나타내고 있다.

벼栽培에서 適切한 물관리는 倒伏防止 뿐 아니라 다른 면에서도 매우 重要한 作業이다. 따라서 適切한 時期에 간단관수나 중간관수를 하여 地上部의 生育을 調節함은 물론 뿌리의 生長을 튼튼하게 하여 주어야 한다. 특히 倒伏이 잘되는 直播栽培에서는 물관리를 철저히 하여 뿌리의 活力을 높여주며 地上部의 生育을 튼튼하게 해주는 것이 倒伏防止에 效果의일 것이다.

以上에서 살펴 본 것과 같이 栽培方法에 의한 倒伏輕減 效果는 限界가 있기 때문에 좀더 積極的인 方法으로 收量을 減少시키지 않는 範圍內에

Table 12. Effect of top dressing time on the lodging of rice plant.⁶⁾

Top dressing (DBH)	Lodging index	Moment (g.cm)	3rd internode			
			Break strength (g)	Length (cm)	diameter (cm)	Thickness of culm (mm)
35	156.9	847.8	594	12.7	4.4	0.59
30	136.2	831.0	655	10.2	4.7	0.63
25	120.8	872.8	818	9.3	4.4	0.71
20	101.4	870.9	819	9.4	4.6	0.70
15	124.9	834.7	733	10.1	4.3	0.67
10	120.2	836.4	724	10.2	4.4	0.69

* DBH : Days before heading

Table 13. Effect of cultural practices of rice on the lodging.²²⁾

N. level (N-P ₂ O ₅ -K ₂ O) (kg/10a)	Planting density (cm)	Time of top dress (DBH)	Lodging (0-9)
13-8-9	30×15	-35	6
	30×15	-25	3
	27×12	-35	8
	27×12	-25	3
18-11-13	30×15	-35	9
	30×15	-25	9
	27×12	-35	9
	27×12	-25	9

Table 14. Effect of growth retardant on the lodging of rice plants in a direct-seeding cultivation.¹⁹⁾

Classification		Control	CGR811
Degree of lodging		2.7	0.0
Length of internode (cm)	N-0	39.0	26.9(94.6)
	N-1	24.1	22.3(92.5)
	N-2	21.7	20.1(92.6)
	N-3	16.4	10.2(62.2)
	N-4	7.3	2.4(32.9)
	N-5	0.6	0.1(17.7)
Culm length (cm)		108.6	96.7(89.0)
Panicle length (cm)		19.4	19.8(102.1)
Leaf blade length (cm)	B-1	30.9	27.4(72.3)
	B-2	45.1	38.7(85.8)
	B-3	56.4	48.5(86.0)
Breaking loading (g)		1,530.6	1,520.0(99.3)
Plant height (cm)		126.0	111.0(88.1)
Total weight (g/plant)		18.8	16.1(85.6)
Moment (cm.g)		2,370.0	1,780.0(75.1)
Lodging index		156.0	119.0(76.3)
Yield (t/ha)		4.2	5.0(119.0)

서 生長調整劑 處理로 節間長 및 稈長을 短縮시키며 稈壁을 두껍게 하여 倒伏을 減少시키는 技術開發이 研究되고 있다.^{2,8,11,13,14,16,20)}

最近 이러한 生長調整劑의 開發이 活潑하게 進行되고 있고 또 使用方法에 대하여 多방면으로 검토되고 있다. 이제까지 檢討되었던 藥劑로는 2,4-D, PCP, B-9, Ethephon 등이 있고, 最近에 開發되어 벼의 倒伏輕減劑로 檢討中에 있는 藥劑로는 KIM-112, S-327D, NTN-821, PP-333, BAS-106 등으로 이들 藥劑의 使用時期, 使用藥量 등이 檢討되고 있으며, 우리나라에서는 1991년부터 inabenfide(CGR-811)가 세리다드로 命名登錄되어 良質米의 倒伏輕減劑로 市販되고 있다. 세리다드의 處理效果를 표 14에서 보면 제 3, 4, 5 節間長이 顯著하게 減少되어 稈長이 줄어드는 한편 moment나 倒伏指數가 減少하여 倒伏이 되

지 않았으며 收量도 增加하는 傾向을 나타내었다. 앞으로 이러한 生長調整劑들이 開發普及된다면 良質米의 安定生産에 큰 奇蹟을 할 것으로 思料된다.

5. 今後의 研究 方向

現在 實生産 技術開發의 目標을 輸入開放 對應 技術의인 面에서 生産費節減과 良質米 生産이라는 두가지 큰 課題로 볼때, 벼의 倒伏被害輕減 栽培技術確立은 이 두가지 目標을 同時에 滿足시킬 수 있을 것이다. 먼저 倒伏과 省力化의 關係에서 보면 省力化를 위해서는 移秧栽培에서 直播栽培로 轉換되어야 하는데 直播栽培에서는 倒伏이 問題가 되므로 빠른 時日內에 倒伏輕減技術을 確立하여야 하겠다. 특히 지금까지의 倒伏에 관한 研究는 移秧栽培를 中心으로 하여왔으나 直播栽

배에서는 倒伏 發生 機作이 다를 것으로 생각되므로 이를 분명하게 하고 거기에 알맞는 倒伏防止 技術이 確立되어져야한다고 본다.

良質米生産技術과 倒伏과의 關係를 보면, 倒伏에 의해서 米質이 떨어지는 것은 이미 많은 研究 結果에서 立證되었고 또 施肥量과 米質, 施肥量과 倒伏 發生과의 關係에 있어서도 施肥量の 增加 및 早期 總肥施用은 쌀의 蛋白質含量 增加에 의해서 米質을 低下시키는 同時에 倒伏을 發生시켜 米質을 더욱 低下시키는 境遇가 있으므로 多肥는 止揚하고 適期 適量施用法을 강구하여야 하겠다. 따라서 化學肥料의 施用보다는 有機物을 施用하여 地力을 높여 倒伏防止는 물론 米質向上面에서도 有利하게 하여야한다.

이외에도 물관리를 철저히 하여 下位節間長을 強하게 함은 물론 뿌리의 活力을 튼튼하게 하여주어야 한다. 특히 直播栽培에서 일어나는 뿌리倒伏은 適期에 適切한 간단관수와 중간낙수로 뿌리의 分布를 넓게하고 튼튼하게 하여 주고, 適正栽植密度로 줄기를 強하게 하여야 한다.

倒伏輕減을 위한 生長調整劑의 利用은 지금까지 많이 研究되어 왔으나 實用面에서는 아직 不足하기 때문에 보다 積極的인 研究가 되어져야한다고 본다. 倒伏輕減劑는 주로 生長抑制劑가 使用되고 있으므로 處理時期에 따라서 收量減少에 큰 影響을 주는 境遇가 있으므로 收量이 減少되지 않는 時期에 또 倒伏의 可能性이 쉽게 判斷되는 時期에 處理할 수 있는 方法 등이 研究檢討되어야한다. 특히 生長調整劑는 農業的으로 品質向上, 省力化, 生産性向上 등 廣範圍하게 利用되므로 積極 開發하여 그 利用性이 檢討되어야 한다고 본다.

摘 要

벼 倒伏은 輸入開放 對應技術 開發의 目標인 生産費節減 및 米質向上面에서 매우 重要하게 다루어져야 하는 氣象災害라고 본다. 특히 生産費節減을 위한 直播栽培法 研究에서는 倒伏에 관한 問題가 解決되지 않으면 直播栽培가 普及될 수 없을 정도로 重要하게 여겨진다.

따라서 本 論文에서는 우리나라에서 發生되는 倒伏의 現況을 살펴보고 이에 따른 倒伏의 樣相,

原因, 機作 등을 分析하여 보고, 또 이제까지 研究되었던 結果를 檢討하여 倒伏없는 省力 安全性이 높은 良質米 生産技術體系確立의 基礎資料로 利用코자 要約해 보면 다음과 같다.

1. 벼 倒伏은 集中暴雨 및 颱風의 氣象條件 要因과 倒伏에 弱한 一般 벼 品種의 栽培面積의 增加와 多肥栽培로 점차 增加되어오는 趨勢이다.

2. 벼는 稈長과 葉長이 길고 葉의 角度가 벌어지며 葉초의 新鮮度가 떨어지고 節間의 數가 많고 下位節間長이 길며, 뿌리의 量이 적고 根腐現象에 의하여 뿌리의 活力이 떨어지면서 淺植性인 特性을 가지고 있는 벼는 倒伏에 弱하다.

3. 벼의 倒伏은 挫折型, 彎曲型, 開張型(分倒伏), 轉伏型(뿌리도복) 등으로 區分되나 우리나라에서는 挫折型이 많고 앞으로 直播栽培 面積이 增加된다면 轉伏型 倒伏이 問題될 것이다.

4. 直播栽培는 移秧栽培에 비하여 뿌리의 支持力이 弱하기 때문에 倒伏에 弱하므로 直播栽培에서 倒伏被害를 輕減시킬 수 있는 栽培法의 確立이 必要하다.

5. 出穗後 倒伏되는 時期가 빠를수록 倒伏의 被害는 甚하게 나타나며, 주로 登熟比率과 粒重이 減少되고, 靑米와 死米의 比率이 增加되어 良質米 生産에 큰 障害要因이 된다.

6. 벼 倒伏防除를 위해서는 耐倒伏性品種 栽培, 施肥量 및 方法의 改善, 물관리 徹底, 健苗 育成, 栽植密度, 病蟲害 防除 등의 綜合技術 體系가 確立되어야 한다.

7. 生長調整劑를 利用한 倒伏輕減研究는 藥劑의 開發, 處理時期, 處理藥量, 倒伏性의 早期診斷 등에 대하여 細密하게 檢討되어야 한다.

以上에서 살펴 본 것과 같이 벼倒伏防除 技術確立에 관한 研究는 벼栽培의 省力化와 良質米生産 측면에서 重要한 技術要因으로 빠른 時日에 集中的인 研究가 必要하다고 본다.

引 用 文 獻

1. 張炳春·柳寅秀·許一鳳. 1984. 水稻品種別 倒伏 및 위조發生에 관한 生理學的 特性과 加里의 追肥效果. 農試研報(作物編) 26(2) : 16-22.
2. 原田哲夫·江仁義治. 1956. 水稻의 倒伏防止에 관한 研究. 第1報 2.4-D가水稻의 倒伏에

- あぼす影響. 日作紀 25 : 64-66.
3. 北條良夫・星川清親. 1976. 作物 -その形態- 下巻 農業技術協會. 東京.
 4. 星川清親・王善本. 1990. イネの倒伏に關する研究. 第1報 倒伏しちイネの稈についてこの觀察(英文). 日作紀 59(4) : 809-814.
 5. 池田 武. 1989. 稻株の配置, 風向および風速が稈の傾斜角度と倒伏程度におよぼす影響. 日作記 58(2) : 159-163.
 6. 姜良淳・朴啓淵・鄭鍊泰・朴來敬. 1983. 벼多收型新品種 “曙光”에 對한 이삭거름이 倒伏 및 收量形質에 미치는 影響. 農試研報(作物編) 25 : 118-123.
 7. 姜良淳. 1989. 韓國의 稻作과 風水害. 韓作誌 34 別號(II) : 45-65.
 8. 金丁坤・金尙洙・田炳泰・朴錫洪. 1990. 窒素水準이 다른 條件에서 Inabenfide와 uniconazol處理가 水稻生育 및 倒伏에 미치는 影響. 農試論文(水稻編) 32(2) : 42-48.
 9. 李德培・權泰午・朴建鎬. 1990. 窒素 및 珪酸施用이 水稻 收量 및 倒伏關聯形質에 미치는 影響. 農試論文(土壤) 32(2) : 15-23.
 10. 李德培・權泰午・任建帝・朴建鎬. 1989. 窒素 및 石灰施用이 水稻 收量 및 倒伏關聯形質에 미치는 影響. 農試論文(土壤肥料) 31(3) : 27-33.
 11. 李文熙・李鐘薰. 1986. 作物 生産性向上을 위한 生長調整劑 利用의 現況. 1986. 農業科學 심포지엄. 103-113.
 12. 李文熙・郭龍鎬・朴錫洪・朴來敬. 1986. 벼 倒伏이 收量 및 쌀의 品質에 미치는 影響. 農試論文(作物編) 28(1) : 63-67.
 13. 李相哲, S.K. De datta. 1990. 植物生長調整劑인 Hoe78784가 벼 倒伏에 미치는 影響(英文). 韓作誌 35(3) : 184-194.
 14. 李錫淳・金台柱. 1988. Paclobutrazol 處理時期가 벼의 倒伏形質과 收量에 미치는 影響. 韓作誌 33(4) : 336-342.
 15. 李殷雄・權容雄・蘇昌鎬. 1987. 밥맛이 좋은 japonica벼 品種들의 倒伏抵抗性과 倒伏輕減劑인 Paclobutrazol에 대한 反應. 韓作誌 32(2) : 224-233.
 16. 松尾 孝嶺. 1990. 稻學大成(生理編) 農文協. 東京
 17. 農林水産部. 1991. 農業災害對策 業務便覽.
 18. 農産漁村文化協會. 1975. 農業技術大系(作物編). 東京
 19. Nishiyama I. 1985. Lodging of rice plant and countmeasures against it. International Seminar on Plant Growth Regulators in Agriculture.
 20. 吳南起・鄭性熙・金奎泰・黃昌周・蘇在敦. 1988. Inabenfide(CGR811)處理가 벼 倒伏 關聯形質 및 收量에 미치는 影響. 農試論文(水稻編) 30(2) : 14-49.
 21. 太田保夫. 1987. 水稻倒伏輕減劑セリタド粒劑について. 農藥春秋 54 : 9-13.
 22. 朴來敬・朴根龍・裊聖浩. 1988. 作物栽培의 新技術(食糧作物編). 農振總書. 明倫堂. 85-85 pp.
 23. 佐本啓智. 1958. 稻作と倒伏の防ぎ方. 地球出版社. 東京.
 24. 高屋武彦・宮坂 昭. 1983. 乾番直播水稻における倒伏防止に關する研究, 第2報 出穂後における稻體諸形質の推移と倒伏抵抗性との關係. 日作紀 58(2) : 7-14.
 25. 高屋武彦・高橋 均・伊藤昌光. 1991. 水稻品種の混植による倒伏防止に關する研究. 第4報 混合條播栽培における倒伏防止と増收效果. 日作紀 56(3) : 322-328.