水稻の倒伏に関する研究(5)*

一倒伏におよぼす雨滴打圧の影響一

水 高 信 雄

(農業技術研究所 気象科)

Studies on the Lodging of Rice Plant (5)

The effect of rain drop impact on lodging

Nobuo HITAKA

(Div. of Meteorology, National Institute of Agricultural Sciences, Nishigahara, Tokyo)

1. 緒 言

降雨が稲麦の倒伏を助長させることについては、広く認められており(13・14)、また実験的(1)あるいは統計的にも確かめられている(15)。水稻の倒伏におよぼす降雨の影響力としては、雨水の付着による地上部稲体重の増加と雨滴の打圧の両面が考えられる。前者すなわち、雨水の付着が倒伏におよぼす影響については1961年から1963年にわたって実験し、得られた結果は(3)および(4)報(1・2)の中に報告した。後者すなわち、雨滴の打圧が倒伏におよぼす影響については1964年に実験し、雨水の付着による影響度と比較したので報告する。

当実験を遂行するにあたっては、当時室長であつた坪井八十二博士ならびに久保祐雄現室長の両氏から御厚意ある激励と便宜を賜つた。また降雨装置の一部は、前気象科長三原義秋博士から借用した。各氏に対して深甚の謝意を表する。

2. 実験材料および方法

ポットに土耕栽培した水稻農林29号を使用し、黄熟期に次ぎのような降雨処理区を設けて、雨滴の打圧ならびに雨水の付着が倒伏に与える影響度を比較検討した。

- (1) S区：降雨処理前の標準区。
- (2) R区：Fig 1に示すような降雨装置を地上13.5mの所に設置して、粒径5mm(約70mg)の雨滴を1時間当たり60mmの降雨強度で処理する区(自然降雨のうち最大粒径の雨滴に相当し(4・6・8・11)、雨滴の落下終速度は約9m/sである(7)。また降雨強度は比較的強い部類に相当する(3・5・8・11))。
- (3) R-H区：R区の降雨を瞬間的に遮断して、雨滴の打圧を取り除いた区。
- (4) Rmax区：最大量の雨水が稲体に付着し、かつ雨滴の打圧がかからないように、地面に設置した噴霧器で霧状の雨を処理する区。

- (5) Rmin区：降雨を遮断した後、稲体を人工的に振動させて付着雨水を振り払つた区で稲体表面には最小量の雨水が付着しているが、雨滴の打圧は全然受けない区である。

Fig. 1. Rain simulator (upper) and measurement of bending angle of plant (lower).

S区ならびにR-H区を除いた他の区は、処理を開始してから5分を経過したときに彎曲角度の測定を行なつた。彎曲角度は稈基部と穂首部を結ぶ直線が垂線となす角度で表現することにし、稲体の後側に設置した大型角度盤を直接透視して角度を読みとるか、あるいは撮影しておいたフィルムから読みとつた。

処理は、S→Rmax→Rmin→R→R-H→Rmax→R→R-H→Rmin→Rmax→Rの順序で行ない、各処理区の稲について最大彎曲角度・最小彎曲角度および平均彎曲角度を調査した。

*昭和40年3月5日関東支部会で発表

一方、穂首部に種々な重さの錘りを吊り下げて、彎曲角度や稈の投影長の変化を調べた。そして、荷重量と彎曲角度および稈の投影長との関係を探り、その関係から稲体に付着した雨水と雨滴の打圧を稈基部に働く曲げモーメントに換算して比較検討した。

3. 実験結果および考察

実験用の稲は多数の材料の中から形態の揃ったものを選んだが、力学的には多少の差があると想像された。そこで、個体差による実験誤差を少なくする意味から、同一材料に対してすべての種類の降雨処理を行ない、彎曲角度を比較した。実験は7回(7個体)にわたって行なわれそれぞれの実験において最大・最小および平均彎曲角度を調査したが、そのうち平均彎曲角度に関する一部の値を示せば Table 1 のとおりである。

Table 1. Mean bending angle of rice plant under various artificial rain conditions in the yellow ripening stage.

Exp. No.	Mean bending angle						
	S	Rmax.	Rmin.	R	R-H	Rmax.	R
1	13°	40	26	36	35	43	38
2	16	48	33	43	42	53	50
3	27	62	53	63	62	78	74
4	25	52	45	57	58	65	63
5	22	52	47	50	49	59	56
6	13	35	26	31	31	38	34
7	12	37	31	39	39	43	39
Mean	18.3	45.1	37.3	45.6	45.1	54.1	50.6

Note, S; before rain treatment,

Rmax; plant exposed to a drizzle spouted from a sprayer and deposited maximum amount of rain water on its body,

Rmin; plant deposited minimum amount of rain water by waving after the rain treatment,

R ; plant exposed to an artificial rain falling from height of 13.5m (5mm in diameter and 9m/s in terminal velocity of rain drop and 60mm/hr in intensity)

R-H ; plant protected from impact pressure of rain drops for a moment during R-treatment.

この表の値から、同一個体・同一降雨条件でも、稲体の彎曲角度は始めの処理時に比べて第2回目の処理時によ

り大きくなっていることがわかる。これは稲体が一種の塑性体であるためにおこる現象で、一定量以上の荷重がかけられると稈および葉鞘部に組織構成物質の流動と疲労をおこすためと考えられる。このような現象を塑性力学では歪緩和と呼んでいる(10・12)。したがって、各種の降雨処理と彎曲角度との関係を正しく比較するためには、歪緩和量を補正しなければならない。一般に塑性体の歪みは時間に比例して増減するとされており、本実験における稲体でもその傾向が認められる。ここでは歪緩和量が単純に時間に比例するものとして補正し、補正してえられた最大・最小および平均彎曲角度のそれぞれの平均値を Fig. 2 に示した。

Fig. 2. Maximum, minimum and mean bending angles under various artificial rain conditions in yellow ripening stage.

(S, Rmin, R-H, R and Rmax are the same as in Table 1.).

黄熟期頃では、標準区の稲でも稲体自身の重みによって12~26度彎曲しており、各稈の彎曲角度の平均値は約18度であつた。降雨処理をされた稲は、例外なく彎曲角度を増加したけれども、増加の程度は稲体に付着する雨水の量と雨滴のもつ運動エネルギー(打圧)の大小によって違ってくる。

各種降雨処理区中最大の彎曲角度を示したのは、霧雨を処理したRmax区の稲であつて、その平均彎曲角度は約47度で標準区より30度近く大きかつた。この区は稲体表面に最大量の雨水を付着させているが、雨滴の打圧は殆んどなく、実際の圃場条件下においては細雨が無風下で降るばかりにみられるもので、いわゆる霖雨は倒伏に

対してこの処理区に似た響影を与えるものと想像される。

降雨処理後に稲体を人工的に振動させ、稲体表面に付着した雨水を振り落したRmin区の稲では、平均彎曲角度が約35度で各種降雨処理中最小であつたが、標準区の稲の彎曲角度に比べれば約17度大きい。この区は稲体表面に付着する雨水の量が最も少なく、かつ雨滴の打圧の影響は全然受けていない。したがつて、実際の圃場においては、降雨強度の弱い細雨が吹風下の稲が振動している条件下で降るときに、この区に似た影響をおよぼすものと考えられる。

大粒な雨を相当に強い強度で降らせたR区の稲では、平均彎曲角度が約40度であつて、標準区の稲より約22度大きかつた。この区の稲は雨滴の打圧を最大に受けるが、稲体に付着した雨水の一部は雨滴の衝撃によつて稲体が振動するために振り落される。したがつて雨水の付着量はRmin区よりは多いがRmax区よりは少なかつたと想像される。普通には大小さまざまな粒径の雨滴が中庸な強度で降るばあいが多く、一般的には降雨の倒伏に与える影響度はこの区の値かあるいはこれよりやや少なめであろうと考えられる。

降雨処理中に瞬間的に降雨を遮断して、雨滴の打圧がかからないようにしたR-H区の稲では、平均彎曲角度が雨滴の打圧をよける前(R)に比べて約0.5度程度減少した。この事実から、水稻の倒伏におよぼす雨滴打圧の影響は非常に少なく、殆んど無視できる程度である。この現象は、土壌侵蝕にはたす雨滴打圧の影響が著しく大きい(6・9)のと趣きが異なり興味深い。土壌のばあいには、雨滴のもつ衝撃力は土壌の表層を剥ぎ、それを飛散させるために使われるが、稲体に降りかかるばあいには、雨滴衝撃力の大部分は雨滴を細分しそれを飛散させるために使われ、残りの稲体を圧する力は稲体のもつ半弾性的性質によつて微振動の形に考えられて消失するものと考えられる。

以上は、降雨が稲の彎曲角度を増加させる事実について述べたのであるが、挫折型倒伏のばあいも考慮して、稈基部にはたらく力関係を検討することにした。

降雨によつて稲の彎曲角度が増加するばあいに、どの程度の荷重が付加されたことになり、稈基部にはどの程度の曲げモーメントがはたらいているかを知る必要がある。そこで穂首部に種々な重量の錘りを吊り下げて、稲の彎曲角度ならびに地際から穂首部までの稈の投影距離を測定した。

穂首部に吊した錘りの重量をWとし、稈の投影距離をLとすれば、 $W \cdot L$ は稈基部に付加される曲げモーメント量である。したがつて、各種降雨処理区の彎曲角度に対応する穂首部の荷重量を図上において求め、その値に投

影距離を乗ずれば、降雨処理によつて付加される曲げモーメント量が求められる。

稈基部にはたらく曲げモーメントは、降雨によるもの他に、稲体自身の重量によるものがある。後者は、生体重Wpと重心高Hおよび彎曲角度 θ がわかれば、近似的に $Wp \cdot H \cdot \sin \theta$ で求められる。したがつて、降雨を受けて稲が彎曲するばあいに、稲の稈基部には稲体自身の重量と降雨による曲げモーメントの両方がはたらいており、それらの値はFig. 3.に示すようになる。

Fig. 3. の下方の曲線は、当実験に使用した稈長80cm・重心高52cm・生体重10.5grの稲の体重による曲げモーメント量を示し、上方の曲線は降雨による曲げモーメント量を加えた値を示している。すなわち、標準区の稲では、稲体自身の重量によつて約18度彎曲しており、その際稈基部にはたらく曲げモーメントは約170gcmである。

Fig. 3. Relation between bending moment with respect to culm base and bending angle. (S, Rmin, R-H, R and Rmax are the same as in Table 1).

最少量の雨水を付着したRminの稲では、彎曲角度が35度程度であるが、その際の曲げモーメントは約470gcmとなる。470gcmのうち、稲体自身の重量による曲げモーメントは約310gcmであり、雨水の付着にもとづく曲げモーメントは約160gcmである。最大量の雨水を付着したRmaxの稲では、彎曲角度が46~47度となり、稈基部にはたらく曲げモーメントは約650gcmとなる。このうち、約400gcmは稲体自重により、そして250gcmは雨水の付着による曲げモーメント量である。大粒な雨が比較的強い強度で降つたRの稲では、彎曲角度が約40度程度であり、その際に稈基部にはたらく曲げモーメントは約550gcm

と推定される。550gcmのうち、稲体自身の重量による曲げモーメントは約350gcmであり、降雨にもとづく曲げモーメントは約200gcmである。一方、この実験から雨滴の打圧が曲げモーメントの増加におよぼす影響は非常に少なく、その値は10gcm以下であると推定された。

降雨によつて付加される曲げモーメント量は、稲体自身の重量による曲げモーメント量の約50～60%に相当し、前報で報告した30～50%の値に比べてやや大きい。この差は、当実験における降雨処理区の稲の彎曲角度が歪緩和の影響を消去したためにやや過小評価されたことに原因があると思う。歪緩和を考慮にいれるならば、一定角度を増加させるに要する雨水の付着量はより少なくてよく、したがつて稈基部にはたらく曲げモーメントのうち雨水の分担割合が減少して前報の値に近づくものと考えられる。

この実験に使用した農林29号は、稈基部の挫折強度(挫折抵抗力)が800～1000gcm程度である⁽²⁾。したがつて普通に栽培される限りにおいては、降雨に遭遇してもなお200～400gcmの余裕を残しているため、挫折型倒伏の発生はおこらない。しかし、多肥栽培を行なうことによつて稈長が著しく長くなつたり、地上部稲体重量が重くなるばあい、あるいは生育中の気象条件が悪くて稈の挫折強度が低下したばあいなどでは、降雨にさらされるだけで挫折型倒伏を発生する可能性がある。また普通に生育した稲でも、強風を伴つた降雨条件下にさらされると、稲体表面に付着する雨水の量はやや減少するけれども、風圧による荷重や風圧の変動による共振現象あるいは稈の疲労などが加わるので、挫折倒伏を発生させるであろう。

以上のような結果から、水稻の彎曲角度は降雨によつて増加するが、彎曲角度の増加の程度は稲体表面に付着する雨水の多少によつて違つてくるもので、雨滴のもつ打圧の影響は非常に少ない。したがつて、降雨が水稻の倒伏を助長させる主な理由は、雨水が稲体に付着することによつて体重を増し、稈部にかかる曲げモーメントが増加するためであつて、雨滴の打圧が倒伏におよぼす影響は無視できる程度であると結論できる。

4. 摘 要

降雨が水稻の倒伏を助長する理由を明らかにする目的で、稲体に付着する雨水と雨滴の打圧が稲体の彎曲角度ならびに稈基部の曲げモーメント量におよぼす影響を比較検討した。

1) 標準区(降雨処理前)の稲は、約18度彎曲しており、降雨処理によつて彎曲角度が増加した。彎曲角度の増加の程度は、稲体表面に付着する雨水の量と雨滴打圧の有無によつて違つてくる。

最少量の雨水を付着し、雨滴の打圧がかからなかつた稲の平均彎曲角度は約35度で、標準区の稲のそれより16～17度大きかつた。雨滴の打圧は殆んどかからないが最大量の雨水を付着した稲の平均彎曲角度は約47度で、標準区の稲に比べて30度近く大きかつた。自然降雨のうち、最大粒径と思われる大粒な雨を強い強度で処理したとき、稲の平均彎曲角度は約40度を示し、標準区の稲のそれより22度程度大きかつた。この種の降雨を瞬間的に遮えぎつて雨滴の打圧がかからないようにした稲では、彎曲角度が僅かに0.5～1.0度程度減少した。

2) 標準区の稲は、稲体自身の重量によつて稈基部に約170gcmの曲げモーメントがはたらいている。降雨処理をされた稲は、稲体自重の他に降雨の影響が加わるので、稈基部にはたらく曲げモーメントは470～650gcmに増加する。そのうち、稲体自重にもとづく曲げモーメント量は約60%を占め、雨水の付着にもとづく曲げモーメント量は40%弱であり、雨滴の打圧にもとづく量は僅かに2%程度であると推定された。

3) 稈基部の挫折抵抗力は降雨によつて荷重が増えたばあいの曲げモーメント量よりかなり大きい。したがつて、軟弱に育つた稲とか強風を伴うような条件下を除けば、降雨だけによつて挫折型倒伏を発生させることは殆んどないと想像された。

以上のような結果から、降雨は水稻の倒伏を助長させるが、その主な原因は雨水が付着することによつて、地上部稲体重が増え、稈にはたらく曲げモーメントが増加するためで、雨滴の打圧が倒伏におよぼす影響は極めて少ないといえる。

参 考 文 献

- 1) Hitaka N. and R. H. Krishnan (1963) : Studies on lodging in rice (3), the effect of rain on lodging, Rice News Tell.(India), 11, 38～40.
- 2) 水高信雄(1966) : 水稻の倒伏に関する研究(4), 倒伏におよぼす雨水付着の影響, 農業気象, 22, 59～64.
- 3) 伊藤彊自(1942) : 降雨強度に就て, 気象集誌, 20, 111～116.
- 4) 伊藤彊自・失野直・浜晃一・成瀬弘(1953) : 雷雨の雨滴観測, 気象集誌, 31, 336～347.
- 5) 吉良八郎(1957) : 土壤保全を対象とした危険降雨に関する研究(4), 危険降雨の地域並びに季節的分布について(2), 農及園, 32, 1657～1658.
- 6) 同(1959) : 危険降雨に関する研究(6), 降雨の性質と土壤侵蝕の関係, 農及園, 34, 665～666.
- 7) 三原義秋(1949) : 雨滴の落下速度について, 農業気象, 5, 29～31.

- 8) 同・矢吹萬寿(1950)：降雨の土壤侵蝕力に関する研究(2), 雨の強さと雨滴の構成との関係に就て, 同, 5, 121~125.
- 9) 同・谷信輝・矢吹萬寿・萩原美代子(1950)：同(4), 雨滴の土壤面破壊機構と飛沫について, 同, 6, 9~12
- 10) 中川鶴太郎(1964)：レオロジー, 岩波書店.
- 11) 大内浩(1957・1958)：雨滴の粒径分布について(1・2), 気象集誌, 35, 196~200・36, 156~160.
- 12) レオロジー委員会編(1965)：レオロジー測定法, 共立出版.
- 13) 関塚清蔵(1952)：麦類の倒伏を防ぐ諸方法, 農及園, 27, 455~458.
- 14) 谷信輝(1961)：稻・麦の倒伏と風, 農業気象, 16, 149~152.
- 15) 宇田川武俊・小田桂三郎(1964)：麦類の倒伏機構に関する研究(4), 風雨条件が倒伏におよぼす影響(講演要旨), 日作紀, 32, 373.

S u m m a r y

Studies were undertaken to compare the effect of rain water deposition with impact effect of rain drops on rice lodging. Paddy rice, Norin No. 29 cultured in pots, was used for the experiments. Plants in the yellow ripening stage were exposed to artificial rains under impact of rain drops or exclusive wetting condition for 5 minutes, and bending angle of the culms were measured before and after the rain treatments. On the other hand, the increase in bending angle of the culms in the rain treatment were expressed in terms of bending moment obtained from the loading test.

1) Standard plant (S) before the rain treatment had a bending of about 18° and the bending angle increased by rain treatments. The increase of the bending angles varied with conditions of rain water deposition and impact of rain drops.

In the plant exposed to a drizzle spouted from a sprayer on the ground and deposited a maximum amount of rain water (Rmax), the angle of the culms was about 47° and was 30° larger than that of standard plants. However, in the plant from which the rain water was waved off (Rmin), the angle was 35° and was 17° larger than that of standard plants. In the plants exposed to the strongest impact of rain drops (R) (5 mm in diameter and about 9m/s of the terminal velocity and 60 mm/hr. in intensity, which corresponded to a heavy rain and to the largest size of drop in the natural rain). the bending angle was 40° and was 22° larger than that of standard plants. The plants(R-H) kept out of the impact of rain drops in R-treatment was decreased the angle by 0.5 to 1.0° of R-plants. (Fig.2)

2) From load test, mean bending moments were supposed to be 170 g·cm for standard plants and 470 to 650 g·cm for treated plants. The former is due to fresh weight of the areal part of the plant. and the latter is mainly due to both weight of plant, and deposited rain water, the former contributing 60 percent of the total moment. Impact moment of rain drops results in 2 percent or less of the gross moment. (Fig.3)

3) Resistance to breaking of the culm with leaf sheath is larger than the gross moment in the plants exposed to rain, so that the breaking type lodging can not occur by rain except for storm attack and for the weak plants.

From the above results, a conclusion can be drawn that the rain water deposition has a great effect on increasing the bending angle of rice plants, but impact of rain drops has negligible effect on the lodging.