# 風向および風速が稲株内の位置を異にする稈の傾斜角度に及ぼす影響


| | |
|---|---|
| 誌名 | 日本作物學會紀事 |
| ISSN | 00111848 |
| 著者名 | 池田,武 |
| 発行元 | 日本作物學會 |
| 巻/号 | 57巻2号 |
| 掲載ページ | p. 276-280 |
| 発行年月 | 1988年6月 |



農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council Secretariat

日作紀 (Japan. Jour. Crop Sci.) 57(2) : 276—280 (1988)

# 風向および風速が稲株内の位置を異にする稈の傾斜角度に及ぼす影響*

池田　武
(新潟大学農学部)

昭和62年4月27日受理

**要　旨**：本実験は，1本植えないし比較的疎植に育てた稲の株を構成する稈が，上からみるとほとんど扁円形をしていることに着目して行われた．コシヒカリを1/2000 a ポットに1本植えし，基肥窒素量を3段階にして，まず稲株の長軸方向を風と平行にした場合の稲株内の位置を異にする稈の傾斜角度に及ぼす風速の影響を検討し，次に株の長軸方向を風と直角にして，主稈の傾斜角度に及ぼす影響を検討した．風速は，3～13 m/s の範囲であった．結果は以下の通りである．

1. 株の長軸を風向と平行にした時，稲株を構成している稈は，稈の位置によって風速に対する反応が異なった．稈の傾斜角度は，風上で大きく，風下で小さかった．また，基肥窒素量を異にすると，窒素量が多いほど傾斜角度が大きくなる傾向にあることが認められた．

2. 株の長軸を風向と直角にした時，主稈の傾斜角度は，株の長軸が平行の場合より大きくなった．また，基肥窒素量を異にしても，主稈の傾斜角度にほとんど差がみられなかった．

以上より，稲株の長軸に対して，風の吹く方向が異なれば，稈の傾斜角度に違いがみられ，風に対する反応の異なることが示唆された．

**キーワード**：稲株の長軸方向，稈，基肥窒素，傾斜角度，挫折重，倒伏指数，風速，風洞．

**The Effect of Wind Directions and Speeds on Bending Angles of Culms at the Different Positions in a Rice Hill**: Takeshi IKEDA (*Faculty of Agriculture, Niigata University, Niigata 950—21, Japan*)

**Abstract**: This experiment started from the observation that a rice hill planted alone or sparsely has an ellipse-shaped cross-section. The rice plant cv. Koshihikari was planted in 1/2000 are pot and was dressed at three levels. Bending angles of culms at the different positions in a hill were measured in both cases of wind direction parallel to the major axis of a hill (PL) and at right angles to that axis (TR). Wind speed ranged from 3 to 13m/s. The results are summarised as follows:

1. In PL, the bending angles of each culm at different positions in a hill were different even at the same wind speed. The angle of the most windward culm was larger than that of the most leeward one. It was shown that the bending angles of culms tended to be larger with increasing nitrogen doses.

2. In TR, the bending angle of the main culm was larger than that of the main culm when wind was in the parallel direction. The main culms with different nitrogen doses showed not always typical tendancy.

**Key words**: Bending angle, Breaking resistance, Culm, Lodging index, Major axis of a hill, Nitrogen dose of basal dressing, Wind speed, Wind tunnel.

新潟県においては，刈取りの季節になるとほとんどのコシヒカリが一面に倒伏している情景がみられる．特に，かかる倒伏は雨を伴った風が吹く時に著しい．昭和30年代，施肥量の増加につれて，倒伏面積が多くなり，かって新潟県農試によって倒伏の調査とその対策がなされた[3]が，現状はなお同じである．

さて，稲の倒伏についての研究は多方面からなされているが，風洞を用いた稲の倒伏についての報告[2]と，短稈の品種とコシヒカリとを交互に植えて倒伏軽減をはかった報告[5]に著者は注目した．

本報告は，1本植えないし比較的疎植に育てた稲株を構成する稈が，上からみるとほぼ扁円形をしていることに着目した[1]．まず，稲株の長軸が風向と平行になるように置いた場合について，次に稲株の長軸が風向と直角になるように置いた場合とについてそれぞれ風による稲株内の稈の反応を調べ，風向に対して稲株の長軸方向をいろいろ変えることによって，少しでも風に対する抵抗が小さくなり，倒伏軽減につながるような要因があるかどうかを捜す目的で行った．

## 材料と方法

コシヒカリを供試し，1985年4月10日に塩水選した種子を畑苗代に播種した．5月29日，7葉で2本の分げつをもつ均一な苗を，1/2000 a ポットに1

* 大要は，第182回講演会（昭和61年10月）において発表．

本植えとして移植した．施肥量は第1表の如くで，基肥窒素（N）量を3段階とした．穂揃期後，ほぼ12日毎に3回，稲株を風洞の吹出口の正面におき，一定方向の風による稈の傾き（傾斜角度）を1処理3ポットずつ調べた．調査は，まず稲株を上からみて，稈の広がりの長軸が第1図Bの如く，風の流れと平行になった場合についてである．傾斜角度を，主稈（ほぼ中央と仮定）と，最も風上の稈および最も風下の稈について測定した．なお，傾斜角度は，氷高の方法[2]と同様に，稈の地際部と穂首節（赤いビニールテープで結び目をつくる）を結ぶ直線が垂線となす角度で示した．

ポットを風洞の吹出口の正面においた時，自然状態では，風洞の吹出口側の稈，すなわち風上の稈は風上側に傾いており，一方，吹出口から離れている稈，すなわち風下の稈は風下側に傾いていた．そのために，各々の稈の傾斜角度に，一定の傾きを加えたり減じたりして，初期の状態が直立しているもの（第3図の自然状態での傾きが0°になるようにした）と仮定して傾斜角度を計算した．

風速は，3, 5, 7, 9, 11および12.5〜13 m/sで，順次（各風速での測定に約5分を要した）に速めていった．次に，同じポットを用いて，稲株を90°回転して，第1図Cの如く，風向に対して株の長軸が直角になった場合について，主稈の傾斜角度のみ調べた．

調査後，稈長・穂長・地上部生体重・穂重・地際より約5 cmの稈径（長径と短径）を調べ，さらにその部分の挫折重（支点間距離3 cm）をバネ測りで調べた．倒伏指数は，小田らの方法[4]に従って次式で算出した．

Table 1. Method of fertilization (1/2000a pot).

| Treat-ment | Basal dressing[1] | Top dressing[2] |
|---|---|---|
| ×1 | 1.7g | 1.7g |
| ×2 | 3.4 | 1.7 |
| ×3 | 5.1 | 1.7 |
| Superphosphate of lime 2.4g | | |
| Potassium chloride 0.6g | | |

1) May 28, 2) July 18-19.
Application with ammonium sulfate.
Date.
Transplanting May 29, Heading August 6—9, Ripening August 18—22, Maturing August 30—September 2.

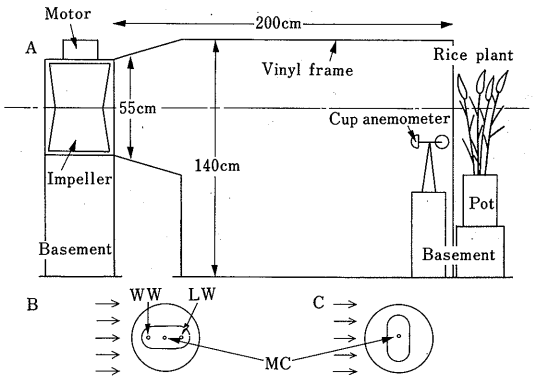


Fig. 1. Experimental instrument (A), ellipse-like arrangement of a rice hill cross-section (B,C) and wind direction (→). MC: main culm located almost in center. WW: culm located at the most windward. LW: culm located at the most leeward.

倒伏指数

$$=\frac{(\text{稈長})^2\times(\text{1茎当たりの地上部生体重})}{(\text{1茎当たりの乾物重})\times(\text{挫折時曲げモーメント})}$$

挫折時曲げモーメント

＝(挫折荷重)×(支点間距離)/4

稈と葉鞘については，60°C で2日間通風乾燥後，まず乾物重を計り，粉砕後にN含有率をセミ・ミクロケルダール法にて測定した．

## 結果と考察

**1. 生育状況**　草丈は，出穂期まで経時的に高まり，また基肥N量の多い区ほど高かった．茎数は，7月9日頃に最高を示し，以後減少した（第2図）．葉齢には処理間差がほとんどみられなかった．穂揃期は，N量の多くなるにつれて1〜2日遅くなった．

**2. 倒伏要因**　各要因を第2表に示した．主稈が両端の稈の各値より大きな倒伏要因として，稈長，稈長＋穂長，穂の生体重，地上部生体重，挫折重，倒伏指数および稈の断面積があげられる．また，主稈および両端の稈の各値が，N量の多くなるにつれて大きくなる倒伏要因として，稈長，稈長＋穂長，倒伏指数，稈のN%があげられ，生体重については，×2の風上の値を除くと，またN%については，葉鞘の値を除くとそれぞれこの傾向にあった．

**3. 出穂後12日目毎の傾斜角度**　穂揃期，登熟期，成熟期において，風による稈の傾斜角度は，風

速3 m/s 以上では各処理間で風速の増加につれて直線的に大きくなり，風上の稈＞主稈＞風下の稈の順で，風上ほどその傾きが大きかった（第3図，第3表）．風速3 m/s 以下では，吹出口にポットを置いたため，稲株は平均4 m/s の自然の風の影響を受けて，本来，風下側に傾くものが，時に風上側に押しやられ，そのために稈の傾斜角度がうまく直線上にのらなかったものと思われ，今後この点は検討したい．

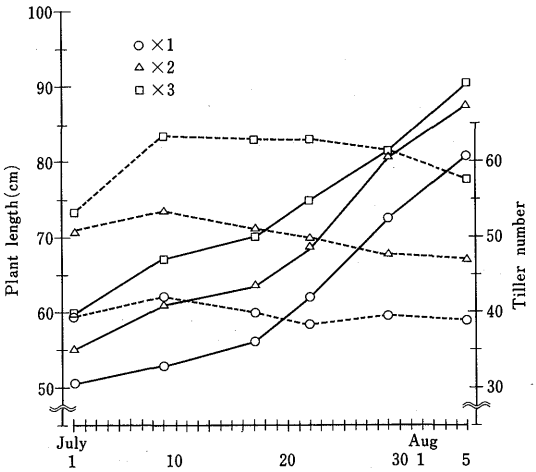


Fig. 2. Changes of plant length (—) and tiller number per hill (---).

また，成熟期の×1区の風上の稈の傾きを除いて，基肥 N 量が増えるほど傾きが大きくなる傾向がみられた．これは×1区の風上の稈の断面積が他区に比べて細いために，その稈が他の稈と一体となって傾くのでなく，その稈のみ株の横から風下に押しやられるように，すなわち回り込むようにし大きく傾いたためであった．

稲株を90°回転して，風向に対して株の長軸を直角においた場合，主稈の風による傾斜角度は回転前に比べて，風速7 m/s 以上で常に大きく，×1, ×3区ではその差が7～11°, ×2区で5～6°であった．しかし，各処理間での有意差はなかった．また，90°回転した場合，基肥 N 量による主稈の傾斜角度への差は，ほとんど認められなかった．株の長軸が風向と平行になるようにした場合について，各稈の傾斜角度を測定し，その後，稈の疲労をみるために，測定後の自然状態での傾斜角度と測定前のものとを比較した．主稈については，自然の風によってもとの状態にもどってしまった．このため，同じポットで2実験をしても，ほとんど稈の疲労を考えなくてもよいものとして実験を行った．

**4. 稈の傾斜角度と倒伏要因との相関**　成熟期における，風上の稈・主稈・風下の稈について，各風速での基肥 N 量の違いによる傾斜角度と倒伏に関

Table 2. Lodging factors at maturity of a rice plant.

| Treat[1)]-ment | Culm[1)] position | Culm length (cm) | Culm + ear length (cm) | Ear FW[2)] (g) | FW above the ground (g) | Internodal[3)] length (cm) III | IV | V | N% Culm | Leaf sheath | Break[4)]-ing resis-tance (g) | Lodg[5)]-ing index | Cross[6)] area (mm²) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | WW | 48.5 | 59.3[c] | 1.4 | 4.9[b] | 7.8 | 5.4 | 0 | 0.32 | 0.37 | 1133[b] | 44.6[c] | 4.9[d] |
| ×1 | MC | 61.1 | 80.6[ab] | 2.4 | 8.8[ab] | 9.8 | 7.3 | 0.9 | 0.36 | 0.39 | 2200[ab] | 61.0[bc] | 11.2[abd] |
| | LW | 51.6 | 67.3[c] | 1.3 | 5.0[b] | 8.4 | 6.3 | 1.8 | 0.34 | 0.39 | 1433[ab] | 38.0[c] | 7.5[cd] |
| | WW | 55.8 | 72.9[abc] | 2.0 | 8.0[ab] | 8.4 | 6.8 | 2.2 | 0.41 | 0.54 | 1767[ab] | 46.7[c] | 9.5[abcd] |
| ×2 | MC | 69.5 | 87.7[ab] | 2.7 | 11.4[a] | 11.6 | 9.9 | 7.2 | 0.36 | 0.35 | 2633[a] | 90.0[ab] | 12.6[ab] |
| | LW | 54.7 | 70.9[bc] | 1.7 | 7.0[ab] | 9.6 | 6.7 | 1.3 | 0.33 | 0.45 | 1333[b] | 62.7[bc] | 10.5[abcd] |
| | WW | 56.8 | 70.8[bc] | 1.8 | 7.3[ab] | 9.2 | 8.3 | 3.5 | 0.47 | 0.73 | 1433[ab] | 45.4[c] | 9.1[bcd] |
| ×3 | MC | 72.1 | 90.4[a] | 3.0 | 11.8[a] | 11.6 | 9.9 | 5.6 | 0.50 | 0.38 | 2000[ab] | 105.0[a] | 14.9[a] |
| | LW | 65.1 | 81.5[ab] | 1.8 | 8.6[ab] | 11.0 | 9.5 | 4.7 | 0.39 | 0.46 | 1967[ab] | 72.8[abc] | 12.0[abc] |

1) Symbols are the same as Table 1 and Fig.1.
2) FW : Fresh weight.
3) Internodes were counted from the upper internode.
4) Breaking resistance was measured by spring balance. Distance between fulcrums was 3cm apart.
5) Lodging index = (culm length)$^2$ × (FW of a culm) / (Dry weight of a culm) × (Bending moment at the breaking), Bending moment at the breaking = (Breaking weight) × (Distance between fulcrums) / 4.
6) Cross area of internode at 5cm above the ground was calculated as an ellipse.

Means within each column followed by the same letter do not differ significantly at the 5% level according to Duncan's Multiple Range Test.

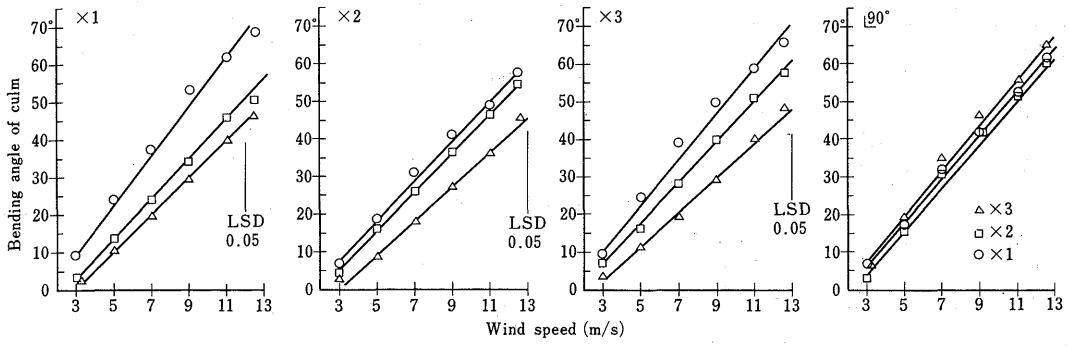


Fig. 3. Bending angles of culms in different wind speeds at maturity stage of rice. The right-end figure shows the values of only main culm in case of turning the pot at 90 degrees (⌊90°). Symbols in ×1, ×2 and ×3 are shown as follows: ○WW, □MC, △LW.

Table 3. Regression equations calculated from bending angles of culms (y) and wind speed (x) at heading, ripening and maturity stages.

| | | Heading | Ripening | Maturity | Maturity (⌊90°)* |
|---|---|---|---|---|---|
| | WW | y=3.89x−5.81 | y=4.82x−11.50 | y=6.39x−8.28 | |
| ×1 | MC | y=3.57x−5.94 | y=3.88x−10.90 | y=5.13x−11.96 | y=5.82x−10.59 |
| | LW | y=3.04x−7.58 | y=3.31x−11.05 | y=4.74x−13.21 | |
| | WW | y=3.55x−1.95 | y=3.31x−11.05 | y=4.74x−13.21 | |
| ×2 | MC | y=4.02x−9.17 | y=4.89x−11.40 | y=5.25x−10.58 | y=6.07x−13.90 |
| | LW | y=3.31x−8.05 | y=3.96x−13.36 | y=4.47x−12.23 | |
| | WW | y=4.51x−6.89 | y=5.69x−9.40 | y=5.84x−4.75 | |
| ×3 | MC | y=4.50x−15.14 | y=5.06x−17.58 | y=5.52x−10.39 | y=6.20x−10.77 |
| | LW | y=4.22x−15.75 | y=4.63x−15.67 | y=4.69x−11.98 | |

*：Symbol is the same as Fig. 3.

係していると思われる主要因，すなわち倒伏指数，挫折重，穂重，茎重（葉身重＋葉鞘重），稈長＋穂長および稈の断面積との相関を調べ，第4表に示した．その結果，倒伏要因中の倒伏指数を除いて，風上の稈の傾斜角度との間には有意な負の相関が示されたのに対して，風下の稈では正の相関が，また主稈では，稈長＋穂長を除いて，r=0に近い負または正の相関が示された．これに対して，倒伏指数は風上の稈との間に正の，風下の稈との間に負の相関が得られた．

これらの内，各風速での傾斜角度と各倒伏要因間との相関係数に有意性が多く認められたのは，主に風上の稈とであり，倒伏要因中では倒伏指数，挫折重，穂重，茎葉重および稈の断面積が含まれた．

また，稲株を90°回転した場合，主稈の傾斜角度は，稈長（11 m/s で r=0.668*），稈長＋穂長（9,11 m/s で，順次 r=0.670*, 0.726*），穂重（11 m/s で r=0.754*），倒伏指数（9,13 m/s で，順次 r=0.807**, 0.683*）との各要因間で，主に風速9〜11 m/s にて高い正の相関が認められた．

なお，成熟期における稈の傾斜角度と倒伏指数との間の相関係数を調べた結果，両者間に有意性は認められなかった．

高屋・宮坂[5]は，短稈の稲とコシヒカリとを交互に植えて，前者が後者の支柱となり，倒伏軽減につながるとしている．しかし，機械刈りの際には，両品種が混じったりして選別に大変手間がかかるものと思われる．そこで，コシヒカリのみで，倒伏軽減ができないものかと思い，移植する際，株の長軸の方向が，その地方の風の主方向と何らかの角度をなすようにした場合を考え，まずポット1本植えの場合について検討を行ってみた．その結果，株の長軸が風向と平行になるようにした場合，稲株を構成している稈は，風上・風下というように稈の位置によ

Table 4. Correlation coefficients between bending angle of culm and lodging factors.

| m/s | 3 | 5 | 7 | 9 | 11 | 12.5 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Lodging index | | | |
| WW | 0.699* | 0.615 | 0.630 | 0.666* | 0.594 | 0.591 |
| MC | 0.547 | 0.447 | 0.641 | 0.571 | 0.481 | 0.480 |
| LW | 0.526 | −0.051 | −0.027 | 0.098 | 0.024 | −0.200 |
| | | | Breaking resistance | | | |
| WW | −0.767* | −0.809** | −0.806** | −0.846** | −0.867** | −0.751* |
| MC | −0.121 | 0.206 | −0.244 | −0.095 | −0.262 | 0.071 |
| LW | 0.129 | 0.523 | 0.399 | 0.243 | 0.370 | 0.300 |
| | | | Ear weight | | | |
| WW | −0.413 | −0.681* | −0.572 | −0.658* | −0.657 | −0.529 |
| MC | 0.546 | 0.314 | 0.447 | 0.397 | 0.167 | 0.275 |
| LW | 0.577 | 0.225 | 0.239 | 0.193 | 0.403 | 0.514 |
| | | | Leaf+Leaf sheath+Culm weight | | | |
| WW | −0.530 | −0.694* | −0.599 | −0.700* | −0.728* | −0.626 |
| MC | 0.420 | −0.096 | 0.110 | 0.194 | −0.054 | 0.036 |
| LW | 0.498 | 0.116 | 0.146 | 0.188 | 0.336 | 0.338 |
| | | | Culm+Ear length | | | |
| WW | −0.283 | −0.448 | −0.478 | −0.578 | −0.620 | −0.537 |
| MC | 0.539 | 0.705* | 0.604 | 0.579 | 0.443 | 0.626 |
| LW | 0.505 | 0.214 | 0.278 | 0.346 | 0.466 | 0.414 |
| | | | Cross area of internode | | | |
| WW | −0.502 | −0.713* | −0.500 | −0.661* | −0.636 | −0.533 |
| MC | 0.388 | −0.032 | −0.091 | 0.178 | 0.154 | 0.283 |
| LW | 0.553 | 0.402 | 0.425 | 0.518 | 0.489 | 0.435 |

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

って風速に対する反応が異なることが認められた．さらに，株の長軸が風向と直角になった場合は，主稈が大きく傾斜し，株の長軸が風向と平行になった場合は，あまり影響を受けないことがわかった．前者の場合は，基肥 N 量を違えても，主稈の傾斜角度にほとんど差がみられなかった．今後，栽植方法を考慮しながら，群落の場合についても検討したい．

**謝辞**：本実験の遂行にあたり，助言をいただいた元法政大学工学部教授　池田弘氏に深謝します．

## 引用文献

1. 川島長治・ラージャカルナ ドルウィーラ・石原 邦・小倉忠治 1973. 水稲における分げつ茎相互の葉の配列について．日作紀 42 : 539—546.
2. 氷高信雄 1968. 水稲の倒伏と被害の発生機構に関する実験的研究．農技研報 A 15 : 1—175.
3. 新潟県農業試験場作物第一研究室 1959. 新潟県における稲の倒伏とその対策．農及園 34 : 465—470.
4. 小田桂三郎・鈴木守・宇田川武俊 1966. 麦類品種の倒伏に関与する形質ならびに倒伏指数に関する研究．農技研報 D 15 : 55—91.
5. 高屋武彦・宮坂昭 1981. 水稲品種の混作による倒伏防止に関する研究．第1報　数種の条交互作による倒伏防止と増収効果．日作紀 50 : 357—364.