

寒地における直播水稻の品種別生育・倒伏特性

岡田佳菜子*、笹原我斗**、若松泰成**

Growth and lodging characteristics of rice varieties under direct seeding in Hokkaido

Kanako Okada, Kaito Sasahara, Taisei Wakamatsu

概要：北海道の水稲湛水直播栽培における品種別の乾物生産および倒伏特性を明らかにした。「そらゆたか」は他の品種と比べ一穂重が大きく、高いシンク容量を持つことが明らかとなった。また「そらゆたか」は出穂期以降も窒素吸収速度が高く維持され、葉色が高まったことにより、登熟期の個体群生長速度が高かった。これらの結果から「そらゆたか」では高いシンク容量と、登熟期の旺盛な乾物生産能力により多収性を示すことが明らかとなった。「そらゆたか」の押し倒し抵抗値は大きい傾向にあり、これは一穂当たりの押し倒し抵抗値が大きいためであった。「そらゆたか」では登熟期に窒素吸収速度を高く維持していたことから、出穂後の根系の活性が高く、押し倒し抵抗値が大きくなったと推察した。

キーワード：多収水稻、乾物生産、収穫指数、窒素吸収量、転び型倒伏

1. はじめに

水稻の直播栽培は育苗を省略できることから、春先の労働力不足を解消でき、複合経営および規模拡大を行うための有効な栽培方法である。北海道は寒地のため圃場における作付け期間が限られ、直播に適した早生の品種の育種が行われてきた。

国内では食料自給率の向上を目指し（農林水産省 2015）、飼料米をはじめとする戦略作物の生産拡大を図ることになっている。2015 年から始められた水田活用の直接支払交付金により、水田を活用して飼料用米及び米粉用の米を生産した農業者は、生産数量に応じて交付金を受けられるようになった。このため水稻における多収栽培技術が改めて見直されている。一方、北海道において主食用米として直播栽培を行った場合、同一品種を移植栽培したときと比べ収量は 1 割少なくなるといわれている。したがって、主食用米を栽培する生産者は、より多くの収量を得るため、標準より多くの窒素を施肥する傾向にある。

寒地において水稻品種の多収性は、籾数を多くすることと同時に、穂への高い乾物分配率により収穫指数を高めることも重要な要因であるといわれている（黒田ら 1999；林 2021）。品種の耐倒伏性は多収品種に必要な特性の一つである。直播栽培では移植栽培と比較して、種子の出芽本数を安定的に確保するため播種深度が浅く、転び型倒伏を生じやすい。また、北海道の直播栽培では移植栽培と比べ収量を穂数により確保するため密植となりやすく、稈が軟弱となり、挫折の恐れがある。

本試験では、北海道内において水稻直播栽培に使用されている非主食用米品種と主食用

*：農学ビジネス学科 連絡先：kokada@takushoku-hc.ac.jp、**：農学ビジネス学科 2021 年卒業生

米品種を使い、湛水直播栽培における乾物生産特性および倒伏特性を明らかにすることを目的とした。

2. 試験方法

試験は 2020 年に拓殖大学北海道短期大学内の水稻直播連作圃場で実施した。基肥は窒素 7.5~11.5、リン酸 8.0、カリ 4.0g/m²を、リン酸とカリは耕起前に、窒素は 2 回目の代掻きの前に施用し混和した。播種は 5 月 9 日にヤンマーの直播専用点播播種機を使用して、催芽籾を乾籾換算 10 kg/10a、栽植密度 42.0 株/m²で行った。播種後は出芽まで落水状態を保ち、出芽を確認後は湛水状態とした。品種は「えみまる」（主食用、やや早生、偏穂数型）、「ほしまる」（主食用、早生、穂数型）、「そらゆたか」（非主食用、やや早生、偏穂数型）の 3 品種を使用し、1 区面積を 130 m²として品種ごとに窒素施肥量の異なる 3 区（少肥、標準、多肥（基肥+追肥）=7.5+0.0, 9.5+1.0, 11.5+4.0 Ng/m²）を設けた。成熟期は「えみまる」、「ほしまる」は 10 月 1 日、「そらゆたか」は 10 月 5 日となった。本試験は窒素施肥量の異なる区を反復として、品種ごとの生育の違いを解析した。

生育調査は、苗立ち本数を 188 本/m²にそろえた 2 条×2 株の調査区を処理区ごとに複数設け、生育時期ごとに一処理区当たり 3 ヶ所の調査区から稲株を根ごと回収し根を切除後、茎数と完全展開第 2 葉の葉色（SPAD502, ミノルタ社）を計測し、葉、茎、穂に分け 70℃で 72 時間乾燥後、乾物重を計測した。乾物重に使用したサンプルは、粉碎し、窒素含有率を SUMIGRAPH NC-TRINITY(SCAS 株式会社)で計測し、これを乾物重と掛け合わせて窒素吸収量を求めた。

倒伏調査は、9 月 14 日と 15 日（出穂 41、42 日後）に行った。倒伏度は目視で 5 段階評価とした。押し倒し抵抗値は、立毛状態の稲の地際から 10 cm 高さにデジタルフォースゲージ（FG-5000A、Lutron 社）を押し当て計測した。地上部モーメントは地上部生重×稈長により求めた。挫折重は茎稈挫折強度試験機（木屋製作所）を使用して第Ⅲ節間長の挫折時最大荷重を計測し、支点間距離を 4 cm として、(1/4)×挫折時最大荷重×支点間距離により算出した。倒伏指数は、地上部モーメント(gcm)÷押し倒し抵抗値(g/本)×地際からの高さ(cm)×100 により算出した。これらの計測は上述の苗立ちをそろえた調査区を 1 処理区あたり 3 ヶ所使用し、それぞれから 3 株選定して行った。統計処理は、統計解析ソフト JMP14.0 を使用した。

3. 結果と考察

1) 品種ごとの乾物生産特性

「そらゆたか」は成熟期の穂乾物重が最も重い傾向にあり、「えみまる」の 1.4 倍、「ほしまる」の 1.3 倍であった（表 1）。「そらゆたか」で重くなったのは、他の 2 品種と比べ乾物重が多く、穂への乾物分配率が高い傾向にあるためであった。そこで「そらゆたか」において穂乾物重の重くなる理由を、個体群生長速度とシンク容量に分けて考察した。

表1 成熟期における品種ごとの乾物特性および窒素吸収量

品種	倒伏	穂乾物重	全乾物重	穂への 分配率	穂数 (本/㎡)	1穂重 (g/本)	窒素吸収量 (g/㎡)
		(g/㎡)	(g/㎡)				
えみまる	無	593	1222	48 b	716	0.83 a	10.3
ほしまる	無	651	1172	55 a	713	0.90 b	9.9
そらゆたか	無	836	1487	59 a	639	1.32 b	12.5

異なる文字間には有意差あり (Tukeyの多重検定, $p < 0.05$)

表2 品種ごとの期間別個体群生長速度および窒素吸収速度

品種	個体群成長速度(g/㎡/d)			窒素吸収速度(g/㎡/d)		
	I	II	III	I	II	III
えみまる	1.7	21.0	11.1	5.1	18.4	4.2
ほしまる	1.2	18.2	12.3	4.1	23.1	1.9
そらゆたか	1.4	21.7	16.5	4.4	23.5	6.7

I：播種から幼穂形成期、II：幼穂形成期から出穂期、III：出穂期から成熟期

「そらゆたか」の個体群生長速度をみると、播種から幼穂形成期までは「えみまる」の次に大きい、幼穂形成期から出穂期は「えみまる」と同等になり、出穂期から成熟期はどの品種よりも大きく、登熟期にソース能力の高いことが明らかとなった (表 2)。一方、窒素の吸収から「そらゆたか」の多収性を解析すると、成熟期の窒素吸収量は「そらゆたか」で最も多い傾向となり、施肥窒素の吸収利用効率が高くなると推察された (表 1)。これは「そらゆたか」において出穂期以降の窒素吸収速度がどの品種よりも大きくなるためであった (表 2)。そこで、品種ごとに生育期間中の葉色の推移をみると、どの品種も幼穂形成期以降に低下し始めるが、「そらゆたか」は出穂期後の低下が緩やかで他の 2 品種と比べ成熟期は有意に高く保たれていた (図 1)。これらのことから、「そらゆたか」は出穂期以降の窒素吸収能力が高く、葉色を高く維持できたことにより、登熟期の光合成速度が高く、乾物重が増大したと考えられる。また、「そらゆたか」は穂数が比較的少ないことから、登熟期の草型を良好に保つことができたことも、高い光合成能力を維持できた理由の一つと推察される。

一方、シンク容量 (総粒数×千粒重/1000) は、本試験では調査を行っていないが、佐藤ら (2021) の収量データを使用して計算すると、「ほしまる」743 kg/10a に対して「そらゆたか」は 936 kg/10a となり、「そらゆたか」は「ほしまる」の 1.26 倍であった。本試験の「そらゆたか」では、他品種と比べ穂数は少ないが、一穂重は有意に重かったことから ($p < 0.05$, 表 1)、玄米千粒重と一穂粒数によりシンク容量を確保してると考えられる (佐藤ら、2021)。

以上のことから、「そらゆたか」は他品種と比べ高いシンク容量を持ち、さらに登熟期

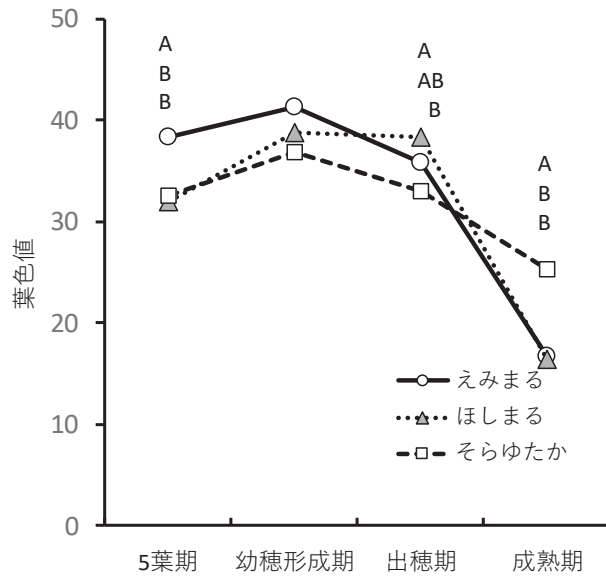


図1 品種ごとの葉色値の推移
異なる文字間には水準差あり (Tukeyの多重比較検定, $p < 0.05$) .

の窒素吸収速度が高く、葉色が高く維持されるためソース能力が高くなり、これらの結果として高い穂の乾物生産能力を示すことが明らかとなった。

「えみまる」の成熟期の穂の乾物重は、「ほしまる」と比べ $58\text{g}/\text{m}^2$ 軽い傾向にあった。これは「えみまる」の穂への乾物分配率が低いためであった ($p < 0.05$ 、表1)。「えみまる」の個体群生長速度は、幼穂形成期までは最も大きくなり、窒素吸収速度および葉色の高い傾向が認められた (表2、図1)。このことから「えみまる」は生育初期において多くの窒素を吸収し、葉色が高かったことから、個体群生長速度が大きくなり優れた初期生育を示したと考えられる。「えみまる」は低温苗立ち性の高い性質をもつことから、生育初期の低温条件下において高い生育能力を持つことが推察される。一方、幼穂形成期以降の個体群生長速度は「ほしまる」とほぼ変わらなかった。「えみまる」の穂数と一穂乾物重を見ると、穂数は「ほしまる」と同等であるが、一穂重が軽い傾向にあった。「えみまる」は「ほしまる」よりも一穂粒数はやや多いが玄米千粒重が小さい品種であることから (北海道立総合研究機構 2018)、一穂重が小さくなったと考えられる。これらのことから、「えみまる」は初期の乾物生産能力は優れているが、中後期は「ほしまる」と変わらず、さらにシンク容量が小さいため穂への乾物分配が少なく、穂乾物重が少なくなったと考えられる。

2) 品種ごとの倒伏特性

一般的に、地上部モーメントが大きいと降雨により穂からたわみを生じ倒伏につながる。その後、風により根株ごと揺さぶられ、稲株が転ぶ「転び型倒伏」、もしくは稈のたわみから挫折する、「挫折型倒伏」を生じる。本試験では、転び型倒伏に対する稲株の抵抗値を押し倒し抵抗値、挫折型倒伏に対する抵抗値を挫折重により評価した。北海道の「ゆきひかり」の移植栽培では、倒伏に対する安全指標が設けられている。地上部モーメントは 450 から 530gcm 、挫折重は 530 から 630gcm である (北海道 1986)。押し倒し抵抗値に関して北海道の例はないが、府県の移植水稻において株あたりの値が 950g 以下

表3 品種ごとの倒伏特性

品種	地上部	稈長 (cm)	押し倒し抵抗値		挫折重 (gcm)	曲げ応力 (g mm ⁻²)	断面係数 (mm ³)
	モーメント (gcm)		(g/株)	(g/本)			
えみまる	449	66.7	1516	80 b	755	1197 ab	7 b
ほしまる	337	65.5	1424	73 b	729	1408 ab	5 b
そらゆたか	494	68.7	1710	96 a	793	886 b	10 a

地上部モーメントと挫折重は一穂当たりの値を示す。

異なる文字間には有意差あり (Tukeyの多重検定, $p < 0.05$)

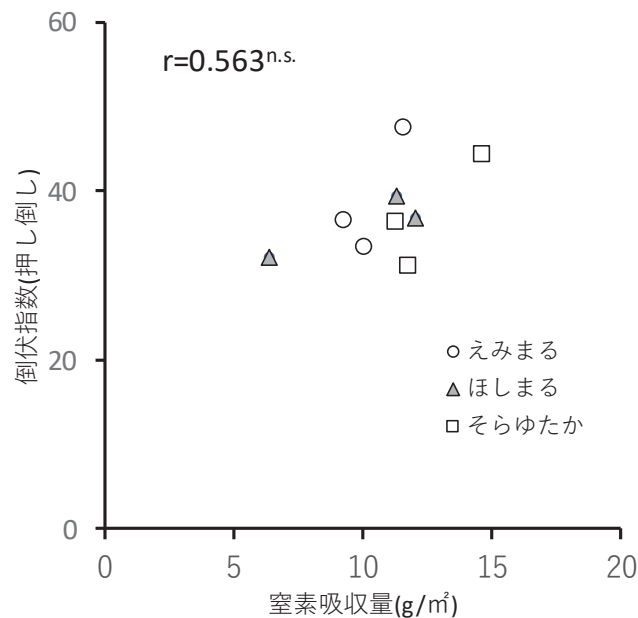


図2 窒素吸収量と倒伏指数の関係
n.s. : 有意差無し ($p < 0.05$, $n = 9$)

になると転び型倒伏を示すといわれている (寺島ら 1992)。本試験は直播栽培であり、品種も異なることから直接これらの指標値を当てはめることはできないが、本試験の地上部モーメントはいずれも指標値より小さく、挫折重と押し倒し抵抗値はいずれも指標値より大きくなり、倒伏は認められなかった (表 3)。

品種ごとに倒伏に関わる要因を比較すると、「そらゆたか」は地上部モーメントが最も大きかったが、押し倒し抵抗値および挫折重も大きい傾向にあった。「そらゆたか」の1株当たりの押し倒し抵抗値が大きいのは、穂数が多いためではなく、一穂当たりの押し倒し抵抗値が大きいことによるものであった ($p < 0.05$)。このことから、一穂当たりの押し倒しには品種間差異のあることが明らかとなった。押し倒し抵抗値は根の発達がよいと大きくなると報告されている (寺島ら 1994)。本試験では登熟期に「そらゆたか」の窒素吸収速度が高くなる結果が得られ、出穂後の根系の活力が高く維持されていた可能性がある。

一方、「そらゆたか」において挫折重が大きいのは断面係数が大きいためであった。北海道（2021）によると、「そらゆたか」の稈の太さと剛柔性はやや太く、やや剛であるのに対して、「ほしまる」はやや細く、中である。このことから「そらゆたか」は稈が太いことにより挫折重が大きかったと考えられる。

「えみまる」の地上部モーメントは「ほしまる」よりもやや大きく、このとき挫折重および押し倒し抵抗値も大きい傾向にあった。そこで押し倒し抵抗値に対する地上部モーメントの割合（倒伏指数）をもとめ、成熟期の窒素吸収量との関係を見た（図 2）。両者の間には明確な関係は認められなかったが、「ほしまる」は窒素吸収量が増加しても倒伏指数は高まらないのに対して、「そらゆたか」と「えみまる」は、標準(N10.5g/m²)より多肥(N10.5g/m²)条件下で倒伏指数が急激に高まる傾向にあった。特に「えみまる」では、多施肥のとき「ほしまる」と同程度の窒素吸収量にも関わらず倒伏指数が高い傾向にあることから、窒素の多施用により転び型倒伏の危険性が高まる可能性があると考えられる。栽培現場では、一般米向け用の直播栽培においても、窒素の多施用により増収を目指す傾向にあり、成熟期の窒素吸収量は 10g/m²以上となることが多い。本試験では転び型倒伏を生じる原因を議論しなかったが、水稻直播用の新規品種を育成するうえで、多窒素条件になるとどのような要因により転び型倒伏を生じるかを明らかにすることは重要なことと考えられる。

4. 引用文献

- 林 怜史 2014. 北海道向け多収水稻品種「きたあおば」の多収要因と収量性. 北農, 81, 2-7.
- 北海道農政部 1986. 窒素吸収特性からみた「ゆきひかり」の耐倒伏性について, 北海道指導参考事項.
- 北海道立総合研究機構 2018. 水稻新品種候補「上育 471 号」の概要.
- 黒田 栄喜, 東 直邦, 岡田 貴, 阿部 進, 平野 貢, 村田 孝雄 1999. 寒冷地を対象とした新規育成品種における収量性, 各収量構成要素および収穫指数の比較. 日本作物学会紀事, 68, 235-244.
- 農林水産省 2015. 食料・農業・農村基本計画, 45.
- 佐藤 博一, 尾崎 洋人, 木下 雅文, 丸田 泰史, 其田 達也, 平山 裕治, 田中 一生, 菅原 彰, 手塚 光明 2021. 水稻新品種「そらゆたか」の育成. 北海道立総合研究機構農業試験場集報, 105, 13-25.
- 寺島 一男, 秋田 重誠, 酒井 長雄 1992. 水管理条件が湛水直播水稻の耐ころび型倒伏性と収量に及ぼす影響 直播水稻の耐倒伏性に関与する生理生態的形質 第 1 報 押し倒し抵抗測定による耐ころび型倒伏性の品種間比較. 日本作物学会紀事, 61, 380-387.
- 寺島 一男, 尾形 武文, 秋田 重誠 1994. 直播水稻の耐倒伏性に関与する生理生態的形質 第 2 報 耐ころび型倒伏性品種の根の生育特性. 日本作物学会紀事, 63, 34-41.
- 付記：本報告の一部は 2020 年度日本育種学会・日本作物学会 北海道談話会において発表した。