

イタリア型水稲湛水直播栽培技術の評価 —異なる品種と栽培型における出芽性, 乾物生産性, 耐倒伏性および収量性の解析—

古畑昌巳*・吉永悟志**・笹原和哉***

目 次

I はじめに	1	V 摘 要	12
II 材料と方法	2	VI 謝 辞	12
III 結 果	6	引用文献	12
IV 考 察	9	Summary	15

1. はじめに

近年、「攻めの農林水産業」⁽²⁶⁾が標榜される中、水稲作の大規模化によるコスト低減、省力化が重要な課題となっている。我が国の農業の生産規模については、耕地面積 20ha 以上の大規模経営体が耕作する農地面積が 2000 年に 21% を占めていたものが、2010 年には 32% を占め、認定農業者等の担い手が耕作する農地面積は全体の約 50% に達する⁽²⁵⁾など、近年、経営の大規模化の流れが顕著となっている。稲作における大規模化では、主に移植栽培体系において、品種や作期の分散、疎植栽培の導入などが図られているが、育苗施設の整備や作業競合がネックとなる。一方、育苗の省略による労働時間の短縮や、作業競合の回避が行える直播栽培の導入は、水稲の大規模化の達成において重要なポイントとなる。現在、我が国の移植栽培では育苗および田植え作業が稲作全労働時間の 1/4 を占めている⁽²⁷⁾ため、直播栽培導入による育苗の省略が稲作の省力・低コスト化につながるものと期待されている。

しかし、直播栽培は一部の先導的農家により行

われているのみで一般的な技術として普及しておらず、直播栽培の普及面積は水稲栽培面積全体の 1.5% である。その原因として、水田に直接播種するために出芽・苗立ちが不安定であること、移植に比較して登熟期に倒伏しやすいために収量が不安定であることなどがあげられる。また、全国の水稲の直播栽培面積⁽²⁸⁾は、2014 年に湛水直播栽培が約 17,812ha、乾田直播栽培約 8,835 ha となっており、湛水直播栽培が直播栽培全体の約 2/3 を占めているが、移植水稲栽培の普及面積に比べると非常に小さいことから、今後も直播栽培技術の開発や普及面積の拡大に向けて努力を続けていく必要がある。

海外では、アメリカ^(1,12)やイタリアでも湛水直播栽培が行われており、特にイタリアでの湛水直播栽培については多くの報告がある。イタリアの湛水直播栽培については、栽培および作業技術^(10,11,22,23,29,38)、品種および生育特性^(14,30)、雑草防除^(21,29)、農業経営^(30,31)それぞれの視点から報告が行われており、これらの報告から整理したイタリア湛

水直播栽培技術の特徴は、1) 1区画2 ha程度の圃場、2) 無代かき条件での播種、3) 浸種種子利用、4) 乾籾20 kg程度/10 a播種、5) 表面播種(散播)である。一方、日本でこれまで培われてきた湛水直播栽培技術の特徴は、1) 1区画30a程度の圃場⁽²⁴⁾、2) 代かき後播種、3) コーティング種子利用、4) 乾籾3 kg程度/10a播種、5) 土中播種(条播または点播)である(表1)。両者を比較した場合、イタリアの湛水直播栽培は、日本の湛水直播栽培に比べて「非常に省力的である」が、「非常に粗放的である」ため、日本で精密的な移植栽培を行っている農家がこの技術そのものを受け入れるの

は難しいと考えられる。一方、これらの特徴を組み合わせた栽培技術がイタリアでは成立していることから、イタリア品種にはこの栽培技術を成立させる品種特性があることが推測される。現在、日本では湛水直播栽培技術の更なる省力化・大規模化が求められており、イタリア型湛水直播栽培の特徴およびイタリア品種の生育特性を明らかにすることで、日本の直播栽培技術の更なる省力化・大規模化に資する情報が得られると考えられる。そこで、本研究では、イタリア型湛水直播栽培の特徴およびイタリア品種の生育特性を明らかにするため試験を行った。

II 材料と方法

1. 出芽・苗立ちおよび出芽関連形質の評価

1) 圃場試験

イタリアで近年育成された水稲品種「Luxor」、 「Opale」、日本の良食味品種「あきたこまち」、 「ハナエチゼン」、直播適性がある(耐倒伏性が高い)水稲品種「萌えみのり」、 「夢あおば」を供試した。供試した日本品種はいずれも「Luxor」、 「Opale」と出穂期が比較的近く、北陸研究センター(新潟県上越市)において5月下旬に移植すると、7月下旬～8月初旬に出穂する。また、圃場において日本型湛水直播栽培(以下日本型直播とする)とイタリア型湛水直播栽培(以下イタリア型直播とする)を以下の様にそれぞれ設定した。日本型直播、イタリア型直播ともに品種別に1試験区35 m²(10.0 m×3.5 m)の2反復設定して、播種を2012年4月19日、2013年4月17日に行った。日本型直播では、催芽種子(乾籾をテクリードCフロアブル・200倍濃度で24時間種子消毒後、10℃で5日間浸種した後に50%程度発芽するまで催芽した種子)に乾籾と等倍量の過酸化カルシウム資材と水をコーティングマシ

ン(ヤンマー製、YCT15)上で加えてコーティング種子を品種ごとに作成し、播種当日の代かき直後の圃場に乾籾3 kg/10 a相当のコーティング種子を区内に手播き散播した。また、イタリア型直播では、常温で極少量の水道かけ流し条件(水温10℃前後)で24時間浸種した後にテクリードCフロアブル・20倍濃度で10分間種子消毒した種子を品種ごとに準備し、播種1週間前の耕起直後から数日かけて入水し、湛水状態とした圃場に乾籾20 kg/10 a相当の浸種種子を区内に手播き散播した。播種後の種子の状況について、日本型直播では代かき直後に播種した結果、種子は代かき土壌表層に埋没している状態(播種深は数mm程度)となり、イタリア型直播では耕起後湛水条件で播種した結果、種子は土壌表面に置かれて、一部種子は圃場の凹部や土塊の間隙に入った。なお、播種後は田面が露出しない程度の浅水管理としたが、イタリア型直播の圃場は田面の凹凸が大きいため、田面が露出しない程度の水管理とした場合、全体的に日本型直播に比べて水深が深くなった。また、施肥量(窒素成分)を基肥3 g

表1 湛水直播栽培におけるイタリア型と日本型との比較

栽培型	イタリア型	日本型
圃場1区画の規模	2ha程度	30a程度
播種条件	耕起後湛水して、無代かき条件で播種	耕起後湛水して、代かきした後に播種
種子予措	常温で原則1～2日浸種した種子	浸種、催芽後にコーティングした種子
播種量(乾籾換算)	20kg/10a	3kg/10a
播種位置	表面	土中

／ m^2 (30日タイプ被覆尿素)，出穂前15日に穂肥 $2g/m^2$ (硫安)として施用した。調査は、2012年は播種後35日目、2013年は播種後40日めに区内で苗立ちが中庸な箇所に 50×50 cmの枠を1区内2箇所に設置した。第1葉 (不完全葉)の葉鞘頂部から緑化した第2葉を抽出した個体を苗立ち個体とし、枠内全ての苗立ち個体を対象に、 m^2 当たり苗立ち本数、草丈、葉齢、茎葉部乾物重を調査し、 m^2 当たり苗立ち本数を m^2 当たりの播種粒数で除して苗立ち率を算出し、楠谷の方法⁽¹⁷⁾に準じて、苗質指数 (個体当たりの茎葉部乾物重 \times 葉齢/草丈)を求めて、苗の充実度を評価した。さらに、1試験区内2箇所の平均値を2反復間で平均して各区の値とした。

2) イタリア型直播における出芽・苗立ちと関連形質の評価

圃場試験と同じ品種を供試し、コンテナ ($34 \times 19 \times 15$ cm)を利用して、日本型直播とイタリア型直播の出芽・苗立ちについて詳細に比較した。日本型直播では、風乾碎土した水田土壌 (細粒強グライ土)に2012年10月11日に入水して代かきを行った後にコンテナに充填して1日間野外で静置した。翌日コンテナの表面水を除去した後、圃場試験に準じて過酸化カルシウム等倍種子を作成し、コンテナ当たり1品種50粒を深さ1 cmにピンセットで播種、湛水深2 cmで管理した。イタリア型直播では、2012年10月12日までに数日かけて湛水条件とした水田土壌碎土 (細粒強グライ土)の入ったコンテナを用意した。事前に圃場試験に準じて浸種種子を作成し、コンテナ当たり1品種50粒を深さ0.5 cm (浸種種子表面の一部が見える状態)にピンセットで播種した。また、圃場試験の水深 (イタリア型直播 $>$ 日本型直播)に対応して、イタリア型直播の湛水深を日本型直播に比べて深い約4 cmとして管理した。調査は、栽培型別に各品種3コンテナ (3反復)設けて、調査期間 (播種後21日間)中、出芽個体数、苗立ち (第2葉抽出)個体数調査を毎日行った。また、出芽 (苗立ち)個体数のデータを使って1日当たりの平均出芽 (苗立ち)個体数を数量化するため、同じイネ科植物であるヒエ類の発芽の様相を数量化する手法⁽⁴³⁾を適用して、以下の解析を行った。すなわち、播種後日数を t 、日別

の出芽 (苗立ち)数を n として、平均出芽 (苗立ち)速度 (1日) = $\Sigma n / \Sigma (t \cdot n)$ を求めた。さらに、播種後21日目の地上部乾物重を測定した。

湿った濾紙を敷いたシャーレ内に各品種別に約100粒入れ、 15°C ^(15,34,37)・暗条件となる恒温器に置床した。置床後14日目まで毎日発芽率を3反復 (3シャーレ)調査し、上記と同様の手法を用いて、平均発芽速度を計算した。さらに、古畑らの方法⁽⁴⁾に準じて、事前にオートクレーブを用いて 120°C ・20分処理することによって脱気した後に密封状態で室温になるまで冷却した蒸留水を準備した。乾粳 (採種後、 10°C で保管していた種子)と催芽種子 (10°C で5日間浸種した後、50%程度発芽するまで 30°C で催芽した種子)を100 mLのフラン瓶に20粒ずつ入れた後に脱気した蒸留水を満たし、密封して 15°C ・暗条件となる恒温器に静置した。静置後14日めに取り出して鞘葉長を測定し、1瓶内の20個体の平均値を求め、さらにこれらの3反復 (3瓶)の平均値を算出して、各品種の鞘葉伸長速度 (1日あたりの伸長量)を求めた。

3) イタリア型直播における浮き苗程度と関連形質の評価

圃場試験と同じ品種を供試し、2011年5月1日までに数日かけて湛水条件とした水田土壌碎土 (細粒強グライ土)の入ったコンテナ (各品種3反復)内に品種別に乾粳20 kg/10 a相当の浸種種子を土壌表面に播種して、湛水深約4 cmで管理した。浮き苗程度の調査は、播種後30日めの出芽個体について周らの苗立ち型分類⁽⁴⁴⁾に準じて、土中型 (土壌中に埋没した種子から出芽した苗)、接地型 (種子と稈基部は比較的しっかりと固定されている苗)、浮き上がりI型 (露出根が比較的短く、個体が斜めになる、または揺れているが、稈基部は比較的しっかりと固定されている苗)、浮き上がりII型 (個体が完全に横転して水中に没している、または水面で大きく揺れている苗)に分類した。また、品種ごとに苗立ち率と茎葉部乾物重を調査した。

デイスポカップ (500 mL, 上径10 cm \times 下径8 cm \times 高さ11 cm)に風乾碎土した水田土壌 (細粒強グライ土)を充填して、播種前日に湛水して1日間室内に静置した。湛水条件 (湛水深3~4 cm)で

各品種の浸種種子を1カップに10粒ずつ土壌表面に6反復(6カップ)播種した。播種後のディスクカップは、明条件(約 $100 \mu \text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$)12時間、暗条件12時間、平均気温 15°C 、気温日較差(明条件の気温と暗条件の気温の差)が 10°C となるように設定した恒温器内に静置し、播種後20日めまで湛水深 $3\sim 4 \text{ cm}$ を維持した。調査は、播種後10、15、20日めに種子根長、冠根数を調査した後、地上部および地下部乾物重を測定した。

2. 乾物生産性, 耐倒伏性および収量性の評価

1で設定した圃場で調査を行った。苗立ち調査以降も浅水管理とし、6月下旬に2週間前後の落水(中干し)を行った後、収穫前まで間断灌漑して、病虫害防除は適宜行った。幼穂形成期、穂揃い期および成熟期に、各試験区内に生育が中庸な箇所に $50 \times 50 \text{ cm}$ の枠を設置して、計3回の抜き取り調査を2反復で行った。また、分けつ始期のデータは苗立ち調査時のサンプルを用いて求めた。抜き取り株は茎数を調査した後、代表株について葉身、葉鞘および稈、穂、枯死部に分解し 80°C で3日乾燥し、各器官別の乾物重、窒素含有率を測定した。なお、窒素分析は乾式燃焼法(エレメンタル社製, rapidN)により行った。

精玄米収量および収量構成要素の調査は以下の方法で行った。成熟期に各区中央で半径 1 m の円形坪刈り(刈り取り面積は 3.14 m^2)を行い、刈り取り株の穂数を調査した後に天日乾燥を行った。乾燥後、脱穀を行う際にしいなを含めた籾を全て回収し、均分したサンプルの籾数を調査して m^2 当たり籾数を算出した。1穂籾数は m^2 当たり籾数を m^2 当たり穂数で除して算出し、精玄米収量は粒厚 1.8 mm 以

上の精玄米重で示し、登熟歩合は m^2 当たり籾数と粒厚 1.8 mm 以上の精玄米数をもとに算出した。千粒重は精玄米約 20 g の粒数を調査することにより算出し、精玄米重と千粒重は水分含有率 15% となるように値を補正した。なお、苗立ち調査では区内の苗立ち程度が中庸と思われる箇所に枠を設置し、収量調査では区内中央で坪刈りを行っているため、圃場内で苗立ちムラ(空白部分)が多いイタリア型圃場では枠内での苗立ち本数の値に比べて坪刈りでの穂数の値が低めとなった。

耐倒伏性については、苗立ち本数が比較的揃った($74\sim 89 \text{ 本}/\text{m}^2$)日本型直播の「Luxor」, 「Opale」, 「あきたこまち」, 「ハナエチゼン」, 「萌えみのり」の5品種について調査を行った。出穂後2週間前後に穂数、個体の地上部重、稈長および地際から 15 cm の高さの押し倒し抵抗値を1区18個体(2反復)で調査し、これらの値から寺島らの方法⁽³⁹⁾に準じて、地上部モーメント(稈長×穂を含む地際までの茎1本当たりの生体重)、倒伏指数[地上部モーメント/(測定高×茎1本当たりの押し倒し抵抗値)]を算出して、耐倒伏性に関わる指標とした。さらに、成熟期に日本型およびイタリア型の各品種について、目視で倒伏程度を確認した。

なお、播種時期から成熟期に相当する4月から9月までの日平均気温および日射量は、北陸研究センター内の気象観測装置によって1時間毎の正時に計測された値から算出した。旬別および月別気象概況を表2に示した。日平均気温は、2012年では4月中旬、2013年では4月中下旬が平年に比べて低い以外、平年並みか平年より高く推移した。日射量は、2012年では4月中下旬、2013年は4月下旬と7月が平年に比べて少ない以外、平年並みか平年より多

表2 旬別および月別気象概況

	年次	4月		5月	6月	7月	8月	9月
		中旬	下旬					
日平均気温 ($^\circ\text{C}$)	2012	9.3	15.9	16.5	20.7	25.7	27.7	24.7
	2013	9.9	11.6	16.4	22.1	25.8	26.7	22.5
	平年値	11.2	13.1	16.4	20.4	24.2	25.7	21.9
日射量 ($\text{MJ}/\text{m}^2/\text{日}$)	2012	12.4	17.0	17.4	19.4	16.2	20.6	15.0
	2013	16.4	16.7	19.4	19.7	15.0	16.7	14.3
	平年値	16.0	17.4	17.3	16.0	16.0	16.8	11.9

日平均気温および日射量の平年値は1981~2010年までの平均値で表し、太字は平年値以上の値を示す

表3 圃場条件における出芽・苗立ちの比較

栽培型	品種	苗立ち本数 (本/m ²)	苗立ち率 (%)	草丈 (cm)	葉齢	茎葉部 乾物重 (g/m ²)	苗質 指数
日本	Luxor	80 ^a	87.4 ^a	16.3 ^a	5.5 ^a	5.4 ^a	22.8 ^a
	Opale	74 ^a	76.2 ^{ab}	14.1 ^{ab}	5.9 ^a	5.0 ^a	28.3 ^a
	あきたこまち	89 ^a	73.2 ^{ab}	13.7 ^{ab}	5.9 ^a	4.4 ^{ab}	21.3 ^a
	ハナエチゼン	79 ^a	72.0 ^{ab}	13.7 ^{ab}	5.9 ^a	4.4 ^{ab}	23.9 ^a
	萌えみのり	75 ^a	66.6 ^b	14.0 ^{ab}	5.6 ^a	3.5 ^{ab}	18.7 ^{ab}
	夢あおば	45 ^b	45.0 ^c	12.8 ^b	5.3 ^a	1.6 ^b	14.7 ^b
イタリア	Luxor	285 ^a	46.4 ^a	16.3 ^a	4.8 ^a	3.4 ^a	3.5 ^{ab}
	Opale	322 ^a	49.8 ^a	13.0 ^a	4.6 ^a	4.5 ^a	4.8 ^a
	あきたこまち	190 ^{ab}	23.7 ^{bc}	12.4 ^a	4.6 ^a	1.9 ^{ab}	3.7 ^{ab}
	ハナエチゼン	226 ^{ab}	31.2 ^{ab}	13.9 ^a	4.5 ^a	2.6 ^{ab}	3.7 ^{ab}
	萌えみのり	275 ^a	36.7 ^{ab}	14.2 ^a	4.6 ^a	2.5 ^{ab}	2.9 ^b
	夢あおば	88 ^b	13.1 ^c	12.2 ^a	4.2 ^a	0.6 ^b	2.3 ^c
日本型平均		73	70.1	14.1	5.7	4.1	21.6
イタリア型平均		231	33.5	13.7	4.6	2.6	3.5
有意差		**	**	ns	**	**	**

2カ年の平均値。2012年は播種後35日め、2013年は播種後40日めの値。日本：日本型直播，イタリア：イタリア型直播。苗質指数＝個体当たりの茎葉部乾物重(mg/個体)×葉齢/草丈。同一英文字は、同一栽培型の品種間で5%水準の有意差がないことを示す(Tukey法)。**：対応のあるt検定の結果、栽培型間に1%水準で有意差があることを示す。ns：有意差なし

表4 コンテナ播種条件における出芽・苗立ち関連形質の比較

栽培型	品種	出芽率 (%)	苗立ち率 (%)	茎葉部 乾物重 (mg/個体)	出芽速度 (/日)	苗立ち速 度(/日)
日本	Luxor	88.0 ^{ab}	80.0 ^{ab}	2.2 ^{ab}	0.13 ^b	0.08 ^a
	Opale	96.7 ^a	94.0 ^a	2.6 ^a	0.15 ^a	0.08 ^a
	あきたこまち	87.3 ^{ab}	82.7 ^{ab}	1.5 ^{bc}	0.13 ^b	0.08 ^a
	ハナエチゼン	89.3 ^{ab}	83.3 ^{ab}	1.2 ^c	0.13 ^b	0.07 ^b
	萌えみのり	92.0 ^{ab}	85.3 ^a	1.2 ^c	0.13 ^b	0.07 ^b
	夢あおば	82.0 ^b	67.3 ^b	0.5 ^d	0.11 ^c	0.07 ^b
イタリア	Luxor	92.7 ^a	89.3 ^a	1.4 ^a	0.16 ^a	0.08 ^a
	Opale	93.3 ^a	91.3 ^a	1.4 ^a	0.16 ^a	0.08 ^a
	あきたこまち	91.3 ^{ab}	78.7 ^a	0.5 ^b	0.12 ^b	0.06 ^b
	ハナエチゼン	92.0 ^{ab}	75.3 ^a	0.4 ^b	0.13 ^b	0.06 ^b
	萌えみのり	82.0 ^{bc}	68.0 ^a	0.6 ^b	0.11 ^b	0.06 ^b
	夢あおば	74.0 ^c	18.0 ^b	0.1 ^b	0.10 ^b	0.06 ^b
日本型平均		89.2	82.1	1.5	0.13	0.08
イタリア型平均		87.6	70.1	0.7	0.13	0.07
有意差		ns	ns	**	ns	ns

出芽率、苗立ち率および茎葉部乾物重は播種後21日めの値(調査期間の平均気温は15.1℃)。日本：日本型直播，イタリア：イタリア型直播。同一英文字は、同一栽培型の品種間において5%水準の有意差がないことを示す(Tukey法)。**：対応のあるt検定の結果、日本型直播およびイタリア型直播の平均値間で1%水準の有意差があることを示す。ns：有意差なし

めに推移した。

3. 統計解析

統計処理は統計解析ソフト（株式会社エスミ製、エクセル統計Ver.6.0）を用いて、2群の比較については対応のあるt検定、3群以上の比較についてはTukey法による多重検定を行った。なお、圃場試験の結果について統計処理を行った結果、年次間差が有意でないため、2カ年の平均値で示した。

III 結果

1. 出芽・苗立ちおよび出芽関連形質の評価

1) 圃場試験

苗立ち調査時の日本型直播、イタリア型直播の圃場の様子を写真1に示す。イタリア型直播は日本型直播に比べて田面の凹凸が大きいこと、水稻の生育量が少ないことがわかる。

圃場条件における出芽・苗立ちの比較を表3に示した。播種から苗立ち調査時までの平均気温は2012年（播種後35日間）が15.9℃、2013年（播種後40日間）が14.1℃であった。イタリア型直播は、日本型直播に比べて苗立ち率が有意に低い、播種量の多さによってm²当たり苗立ち本数が有意に多かった。また、イタリア型直播は、日本型直播に比べて葉令の進展は有意に遅れ、茎葉部乾物重



写真1 苗立ち調査時の生育状況

2012年5月24日（播種後35日目）撮影 品種：夢あおば
左側：日本型直播（耕起，代かき+コーティング種子
3kg/10a相当播種）
右側：イタリア型直播（耕起，湛水+浸種種子 20kg/10a
相当播種）

と苗質指数は有意に小さかった。また、「Luxor」、
「Opale」は、イタリア型直播で日本の供試品種に
比べて苗立ち率が高い傾向となり、m²当たり苗立
ち本数は多い傾向となり、茎葉部乾物重も大きい傾
向が認められた。

2) イタリア型直播における出芽・苗立ちと関連 形質の評価

コンテナ播種条件における出芽・苗立ち関連形質
の比較を表4に示した。播種後21日間の平均気温

表5 低温条件での発芽形質および低温・嫌気発芽条件での鞘
葉伸長速度の比較

品種	発芽率 (%)	平均発芽 速度 (/日)	鞘葉伸長速度 (mm/日)	
			乾籾	催芽
Luxor	98.0 ^a	0.18 ^a	0.42 ^a	0.80 ^a
Opale	98.3 ^a	0.16 ^b	0.48 ^a	1.14 ^a
あきたこまち	97.4 ^a	0.12 ^c	0.49 ^a	1.19 ^a
ハナエチゼン	97.1 ^a	0.11 ^c	0.23 ^a	0.94 ^a
萌えみのり	97.1 ^a	0.11 ^c	0.34 ^a	1.12 ^a
夢あおば	98.4 ^a	0.10 ^d	0.36 ^a	1.02 ^a

乾籾：種子予措を行っていない種子，催芽：浸種後、
50%程度発芽するまで催芽した種子。同一英文字は、
品種間において5%水準の有意差がないことを示す
(Tukey法)

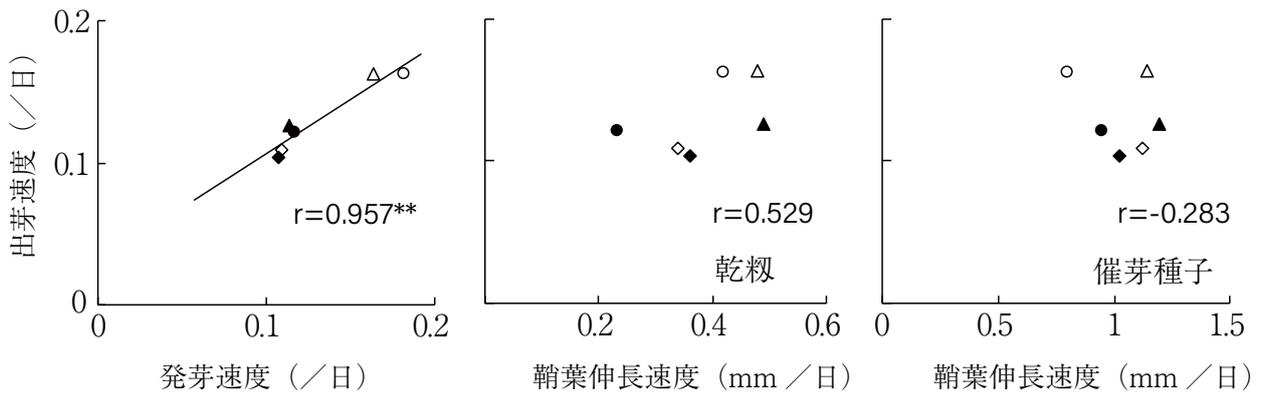


図1 低温条件での発芽速度，低温・嫌気発芽条件での鞘葉伸長速度とイタリア型直播での出芽速度との関係

○：Luxor △：Opale ●：あきたこまち ▲：ハナエチゼン ◇：萌えみのり ◆：夢あおば
 **は1%水準で有意であることを示す

は 15.1℃であった。日本型直播について「Opale」は、日本の供試品種に比べて出芽速度が有意に速く、茎葉部乾物重も有意に大きかった。また、「Luxor」は、日本の供試品種に比べて茎葉部乾物重が大きい傾向を示した。イタリア型直播について「Luxor」と「Opale」は、日本の供試品種に比べて出芽速度および苗立ち速度が有意に速く、茎葉部乾物重も有意に大きかった。

低温条件での発芽形質および低温・嫌気発芽条件での鞘葉伸長速度の比較を表5に示した。播種後14日目の発芽率では供試品種間でほとんど差が認められなかったが、「Luxor」, 「Opale」は日本の供試品種に比べて発芽速度が有意に速かった。また、低温・嫌気発芽条件での鞘葉伸長速度は、乾籾<催芽種子であった。さらに、乾籾条件、催芽種子条件ともに「Luxor」, 「Opale」の鞘葉伸長速度が日本

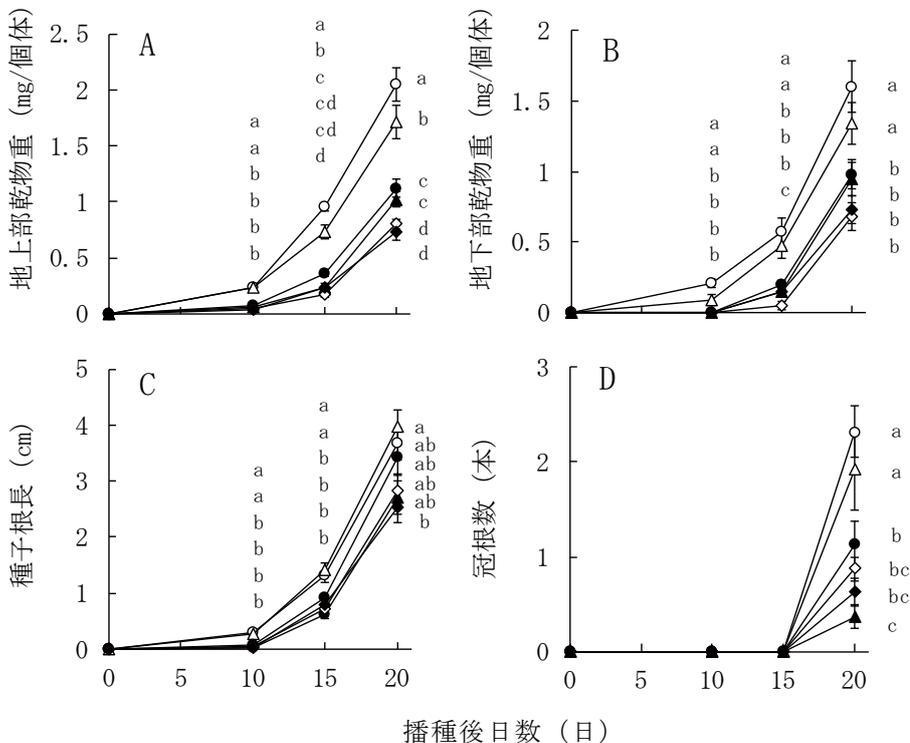


図2 イタリア型直播における初期生育の推移

○：Luxor, △：Opale, ●：あきたこまち, ▲：ハナエチゼン, ◇：萌えみのり, ◆：夢あおば。同一英文字は、品種間において5%水準の有意差がないことを示す (Tukey法)。エラーバーは標準誤差を示す。

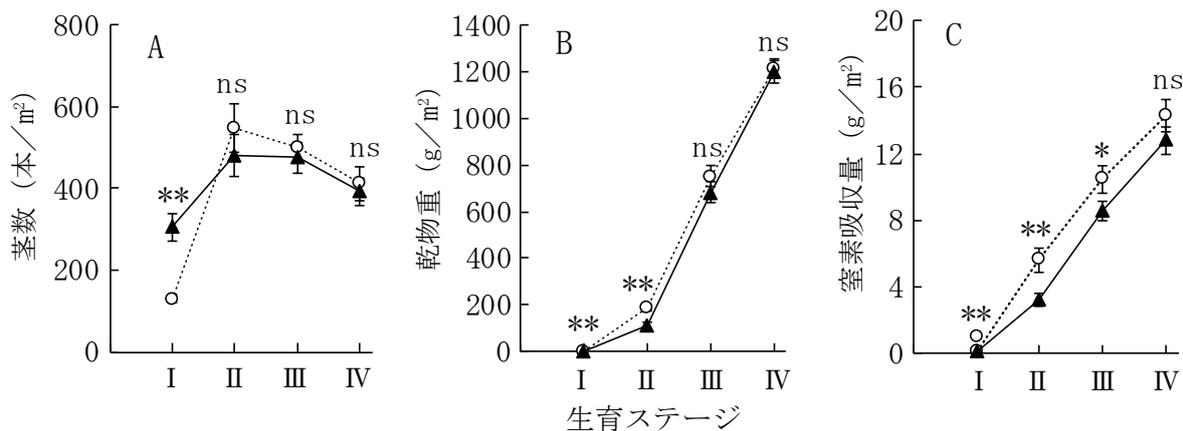


図3 イタリア型直播における茎数、地上部乾物重および窒素吸収量の推移

2カ年，6品種の平均値で示す．○：日本型直播 ▲：イタリア型直播 I：分けつ始期 II：幼穂形成期 III：穂揃い期 IV：成熟期 **：対応のあるt検定の結果，栽培型間に1%，5%水準で有意差があることを示す．ns：有意差なし．エラーバーは標準誤差を示す

の供試品種に比べて顕著に優れているという傾向はなかった。

低温条件での発芽速度，低温・嫌気発芽条件での鞘葉伸長速度とイタリア型直播での出芽速度との関係を図1に示した，低温条件での発芽速度とイタリア型直播での出芽速度との間には有意な正の相関関係が認められた．一方，低温・嫌気発芽条件での鞘葉伸長速度とイタリア型直播での出芽速度の間には，乾糶，催芽種子いずれの利用においても有意な相関関係は認められなかった。

3) イタリア型における浮き苗程度と関連形質の評価

コンテナ播種条件におけるイタリア型直播の苗

立ちと浮き苗程度の比較を表6に示した．播種後30日間の平均気温は16.5℃であり，供試6品種の苗立ち率は49.0～80.5%であった．「Luxor」，「Opale」は日本の供試品種に比べて接地型の割合が大きく，浮き上がり型（浮き上がりI型とII型の合計）の割合が小さい傾向を示した。

イタリア型直播における初期生育の推移を図2に示した．「Luxor」，「Opale」は，日本の供試品種に比べて，地上部乾物重（図2A）および地下部乾物重（図2B）は播種後20日めまで有意に大きく推移した．また，「Luxor」，「Opale」は，種子根長が日本の供試品種に比べて播種後15日めまで有意に長く推移して（図2C），播種後20日めの冠根数が有意に多かった（図2D）。

表6 イタリア型直播における苗立ちと浮き苗程度の比較（コンテナ試験）

品種	苗立ち率 (%)	茎葉部乾物重 (mg/個体)	苗立ち型 (%)				
			土中型	接地型	浮き上がり型合計	浮き上がりI型	浮き上がりII型
Luxor	80.5 ^a	10.7 ^a	0.0 ^a	72.8 ^a	27.2 ^c	17.0 ^a	10.2 ^b
Opale	75.7 ^a	10.4 ^a	0.0 ^a	64.9 ^a	35.1 ^c	19.0 ^a	16.1 ^b
あきたこまち	49.0 ^b	4.9 ^c	0.0 ^a	47.8 ^{ab}	52.2 ^{bc}	35.7 ^a	16.5 ^b
ハナエチゼン	77.2 ^a	9.5 ^{ab}	0.0 ^a	50.7 ^{ab}	49.3 ^{bc}	44.9 ^a	4.4 ^b
萌えみのり	77.5 ^a	6.4 ^{bc}	0.0 ^a	26.2 ^{bc}	73.8 ^{ab}	41.8 ^a	32.0 ^{ab}
夢あおば	60.9 ^a	4.9 ^c	0.0 ^a	1.6 ^c	98.4 ^a	40.0 ^a	58.4 ^a

播種後30日目の値（調査期間の平均気温は16.5℃）．各区の苗立ち個体を土中型，接地型，浮き上がりI型，浮き上がりII型のいずれかに分類して，各区の苗立ち個体数に占める各苗立ち型の個体数の割合を示す．同一英文字は，品種間で5%水準の有意差がないことを示す（Tukey法）．

2. 乾物生産性, 耐倒伏性および収量性の評価

1) 圃場試験

イタリア型直播における莖数, 地上部乾物重および窒素吸収量の推移を図3に示した. 莖数(図3A)について, イタリア型直播は分けつ始期には日本型直播に比べて有意に多かったが, その後の生育期間中では日本型直播に比べて少なく推移する傾向を示した. 地上部乾物重(図3B)について, イタリア型直播は日本型直播に比べて幼穂形成期まで有意に小さく, その後は有意ではないが小さく推移する傾向を示した. また, 窒素吸収量(図3C)について, イタリア型直播は日本型直播に比べて穂ぞろい期まで有意に少なく, 成熟期には有意ではないが少ない傾向を示した.

イタリア型直播における収量および収量構成要素を表7に示した. イタリア型直播は, 日本型直播に比べて出穂期は若干遅れ, 地上部乾物重, 粗玄米重, 精玄米重は有意に小さかった. また, 穂数と総

穂数は有意に少なく, 玄米窒素含有率は有意に低かった. 「Luxor」, 「Opale」は日本の供試品種に比べて穂数は少なく, 1穂穂数が多い傾向を示した. さらに, 「あきたこまち」, 「ハナエチゼン」, 「萌えみのり」, 「夢あおば」ではイタリア型直播が日本型直播に比べて穂数が大幅に減少し, 総穂数の減少に伴って大きく減収したが, 「Luxor」, 「Opale」の穂数, 総穂数の減少程度は小さく, 「Luxor」, 「Opale」のイタリア型での粗玄米収量は日本型とほぼ同等であった.

耐倒伏性の指標である倒伏指数について, 「Luxor」, 「Opale」は他の供試品種に比べて小さい傾向を示した. また, 成熟期に目視で比較評価した結果, イタリア型直播, 日本型直播ともになびき型倒伏が観察され, 倒伏程度はイタリア型直播>日本型直播であった. さらに, イタリア型直播の倒伏程度は, 「あきたこまち」>「ハナエチゼン」>「萌えみのり」>「Opale」>「Luxor」となり, イタリア型の「あきたこまち」は, 試験区がほぼ全面倒伏し, 「ハナエチゼン」は部分的に大きく倒伏した.

IV 考察

1. 出芽・苗立ちおよび出芽関連形質の評価
圃場試験の結果, 「Luxor」, 「Opale」は, イタリア

型直播で日本の供試品種に比べて苗立ち率が高い傾向を示し, 苗立ち本数は多い傾向となり, 茎葉部

表7 イタリア型直播における収量および収量構成要素

栽培法	品種	出穂期 (月・日)	地上部 乾物重 (g/m ²)	粗 玄米重 (g/m ²)	精 玄米重 (g/m ²)	穂数 (本/m ²)	1穂 穂数 (粒)(×千/m ²)	総 穂数 (×千/m ²)	登熟 歩合 (%)	千粒重 (g)	玄米窒素 含有率 (%)	倒伏 指数
日本	Luxor	7.24	1075 ^a	458 ^{ab}	430 ^{ab}	226 ^b	89 ^a	20.0 ^a	82.9 ^a	26.3 ^a	1.50 ^{ab}	0.46 ^a
	Opale	7.21	1076 ^a	457 ^{ab}	355 ^b	208 ^b	99 ^a	20.3 ^a	71.6 ^b	24.7 ^a	1.64 ^a	0.61 ^{ab}
	あきたこまち	7.23	1263 ^a	522 ^{ab}	503 ^a	448 ^a	58 ^b	26.2 ^a	86.9 ^a	22.2 ^a	1.41 ^b	1.23 ^c
	ハナエチゼン	7.22	1264 ^a	484 ^{ab}	456 ^a	434 ^a	57 ^b	24.5 ^a	84.0 ^a	22.1 ^a	1.48 ^b	0.93 ^c
	萌えみのり	7.28	1270 ^a	535 ^a	514 ^a	471 ^a	54 ^b	25.4 ^a	87.8 ^a	23.0 ^a	1.30 ^c	0.83 ^b
	夢あおば	7.29	1131 ^a	422 ^b	398 ^{ab}	229 ^b	93 ^a	21.0 ^a	81.1 ^a	23.7 ^a	1.25 ^c	-
イタリア	Luxor	7.30	1047 ^a	461 ^a	401 ^a	229 ^{bc}	88 ^a	19.5 ^a	81.4 ^{ab}	25.6 ^a	1.42 ^{ab}	-
	Opale	7.26	1042 ^a	443 ^a	320 ^a	200 ^c	93 ^a	18.6 ^a	70.0 ^b	24.7 ^a	1.58 ^a	-
	あきたこまち	7.28	1015 ^a	394 ^a	368 ^a	331 ^{ab}	58 ^b	19.3 ^a	88.0 ^a	21.9 ^a	1.35 ^b	-
	ハナエチゼン	7.28	1063 ^a	404 ^a	383 ^a	352 ^a	55 ^b	19.3 ^a	92.3 ^a	21.6 ^a	1.41 ^{ab}	-
	萌えみのり	8.10	1030 ^a	432 ^a	407 ^a	373 ^a	52 ^b	19.4 ^a	86.5 ^a	23.8 ^a	1.26 ^b	-
	夢あおば	8.30	879 ^a	346 ^a	309 ^a	178 ^c	88 ^a	15.9 ^a	86.8 ^a	21.9 ^a	1.12 ^c	-
日本型平均			1180	480	443	336	75	22.9	82.4	23.6	1.43	
イタリア型平均			1013	413	364	277	72	18.7	84.1	23.2	1.35	
有意差			*	*	*	**	ns	**	ns	ns	**	

2カ年の平均値 日本: 日本型直播, イタリア: イタリア型直播. 精玄米重は粒厚1.8 mm以上の玄米重を示し, いずれも水分15%換算. 玄米窒素含有率は乾物換算. 同一英文字は, 同一栽培型の品種間において5%水準の有意差がないことを示す(Tukey法) **, *: 対応のあるt検定の結果, 栽培型間に1%, 5%水準で有意差があることを示す. ns: 有意差なし

乾物重は大きい傾向を示した(表3)。このことから、「Luxor」、「Opale」がイタリア型直播で出芽・苗立ちを確保しやすく、かつ初期生育に優れる形質を保有していることが示唆されたため、この要因について以下で考察を行った。

野外コンテナ条件でイタリア型直播の出芽・苗立ちを詳細に調査した結果、「Luxor」、「Opale」は、日本の供試品種に比べて出芽・苗立ち速度が有意に速く、茎葉部乾物重が有意に大きかった(表4)。これに関して、湛水土中直播条件における出芽速度は最終的な出芽率、苗立ち率や生育初期の地上部乾物重と有意な正の相関関係があること^(4,5)が報告されており、湛水表面播種条件においても早期の出芽が出芽・苗立ちおよび初期生育量に大きく寄与していることが示唆された。

湛水土中直播栽培の出芽の遅速に関して、嫌気発芽条件における鞘葉伸長性の寄与程度が大きく^(4,5,7)、発芽形質の寄与程度は小さいこと^(5,7)が既に報告されている。本研究の「Luxor」、「Opale」について、低温・嫌気発芽条件での鞘葉伸長速度は他の供試品種とほぼ同等であったが、低温条件での発芽速度は日本の供試品種に比べて早かった(表5)。さらに、発芽速度とイタリア型直播での出芽速度との間には有意な正の相関関係が認められ、鞘葉伸長速度とイタリア型直播での出芽速度との間には有意な相関関係は認められなかった(図1)。これらの結果は、日本型直播の出芽・苗立ちで重要な形質とイタリア型直播の出芽・苗立ちで重要な形質は異なること、イタリア型直播での出芽の遅速に低温発芽性の寄与程度は大きく、鞘葉伸長性の寄与程度は小さいことを示唆している。なお、イタリアの稲作地帯はイタリア北部にあり、平均気温は東北北部と同程度である⁽²⁹⁾ことから、この地域で行われる水稻栽培に適應するのに必要な形質として低温発芽性がイタリア品種に付与された可能性も考えられた。

イタリア型直播において「Luxor」、「Opale」は、日本の供試品種に比べて接地型の割合が高く、浮き上がり型の割合が小さい傾向を示した(表6)。この要因として、「Luxor」、「Opale」は、地上部乾物重(図2A)および地下部乾物重(図2B)が他の供試品種に比べて有意に大きく推移すること、種子根の初期伸長が有意に速く(図2C)、冠根の抽出が有意に早いこと(図2D)など地下部の初期生育が

優れることによることが示唆された。これに関して、地上部・地下部乾物重と浮き苗を除いた苗立ち率との間には有意な正の相関関係があること⁽³⁵⁾、低温苗立ち率と初期発根性(種子根長+鞘葉節冠根の最長根長×根数)との間には正の相関関係があること⁽²⁾、種子根の出現に続く不定根の伸長が浮き苗抑制に寄与していること^(20,45)が報告されており、「Luxor」、「Opale」は日本の供試品種に比べてイタリア型直播で浮き苗になりにくい形質を保有していると考えられた。

以上の結果、イタリア品種である「Luxor」、「Opale」は低温発芽性に優れるため、イタリア型直播での出芽・苗立ちが早いこと、地上部・地下部の初期生育に優れ、種子根が早期に伸長するのに伴って冠根が早期に抽出することにより、浮き苗の発生を抑えることなどの複数の形質によってイタリア型直播に適應していると考えられた。さらに、日本の稲作の大規模化のためには、無代かき直播などの省力技術の導入も視野に入れる必要があるが、現有的日本品種は適性が低いため、これに対応した品種開発が重要であると考えられた。

2. 乾物生産性及び収量性の評価

分けつ始期の水稻を調査した結果、イタリア型直播は、日本型直播に比べて苗質指数が有意に小さく、初期生育量は有意に少なく(表3)、一部浮き苗も圃場で確認された。また、幼穂形成期以降のイタリア型直播の茎数(図3A)、地上部乾物重(図3B)、窒素吸収量(図3C)は日本型直播に比べて低く推移する傾向を示して、イタリア型直播の収量は日本型直播に比べて有意に少なかった(表7)。イタリア型直播の圃場では田面の凹凸が大きい(写真1)ため、田面露出しない程度の浅水管理を行った場合、日本型直播に比べて全体的に湛水深が深くなる傾向が観察されたが、田面が低く湛水深が深い場所で生育した直播水稻の草丈は長くなり、分けつ出現率は低下すること⁽³³⁾から、本研究でのイタリア型直播では日本型直播に比べて苗の徒長によって苗質が低下しやすく、その後の茎数も低く推移する一因になったと考えられた。さらに、移植水稻では苗質が移植後の活着、発根、乾物生産と関係していること^(3,17,32,36,42)、湛水直播栽培において初期生育量が顕著に少ない場合、その後の乾物生産および収量に影響

すること⁽⁶⁾, 浮き苗となった個体では乾物重や茎数が低く推移して1株穂数も減少すること⁽⁴⁴⁾が報告されており, 本研究でのイタリア型直播では初期生育量, 苗質, 浮き苗がその後の生育, 収量に影響して日本型直播に比べて減収した要因となったと考えられた。一方, 「Luxor」, 「Opale」は, イタリア型直播で日本の供試品種に比べて m^2 当たり苗立ち本数が多く, 茎葉部乾物重も大きい傾向を示し(表3), その後の生育も順調に進んで, 成熟期までに日本型直播と同等の地上部乾物重や m^2 当たり穂数を確保して, 粗玄米収量が日本型と同等になった(表7)と考えられた。また, イタリア現地の水管理は本研究と異なり, 播種後一週間程度の湛水の後に, 根の伸長を促すために一週間程度の落水期間を設けている⁽²⁹⁾。そのため, 本研究のイタリア型に比べてイタリア現地での栽培では, より浮き苗は少なく, 苗質もより良い条件となっている可能性が高い。さらに, 一般に表面散播では倒伏が生じやすいこと, 施肥量または播種量が多いと倒伏を助長することから, 本研究では移植水稲に比べて少なめの施肥量としたが, 日本型に比べてイタリア型で倒伏が顕著であった。一方, 「Luxor」と「Opale」の成熟期の倒伏程度は日本の供試品種に比べて小さく, イタリア品種をより多肥条件でイタリア型直播栽培を行った場合, 乾物生産性および収量性もより高まった可能性がある。

榎淵・伊藤は, 密播条件の直播栽培試験を行った結果, 直播栽培での m^2 当たり穂数と穂長との間には相関がなかったことから, 直播栽培では穂数の確保が収量の確保につながると結論づけている⁽¹⁶⁾。圃場試験における栽培型別の収量構成要素についてみると, 両栽培型間で1穂粒数の変動は小さかったが, m^2 当たり穂数はイタリア型直播が日本型直播に比べて大きく減少して, 総粒数の減少に伴って減収した。一方, イタリア品種である「Luxor」, 「Opale」の m^2 当たり穂数は, 両栽培型間で変動は小さく, 両栽培型においてほぼ同等の粗玄米収量を確保していた(表7)。また, 木村・藤巻は, 1977年に日本に導入されたイタリア品種が日本品種に比べて1株穂数が少なく, 1穂粒数が多い特性があることを報告している⁽¹⁴⁾が, 近年育成された「Luxor」, 「Opale」も同じ形質を保有していることから, この形質がイタリア型湛水直播栽培のような

密播栽培条件で m^2 当たり穂数の確保に寄与している可能性が考えられた。

本研究の結果, 「Luxor」, 「Opale」は他の供試品種に比べて1株穂数が少ないが, 稈基部が太いために茎が折れにくい形質を持つこと⁽⁸⁾, 成熟期の倒伏程度は小さく, 倒伏指数が小さいこと(表7)から, 耐倒伏性が強い品種であると考えられた。農水省が1977年に日本に導入したイタリア品種は, 長稈で穂数が少なく, 稈基部が太い形質を持っていることが報告されている⁽¹⁴⁾が, 現在イタリアで栽培されている品種は, 当時の品種に比べて短稈化が進んでいる⁽³⁰⁾ため, 本研究で供試した「Luxor」, 「Opale」は1997年に日本に導入された品種と比べて稈長が短くなった点では異なるが, 1株穂数が少なく, 稈基部が太い形質は共通していると考えられた。さらに, イタリア現地では, 実際に播種量が多いために m^2 当たり個体数も多く, 株当たり穂数が1.3~2.1本と少ないことが報告されており⁽³⁰⁾, 「Luxor」, 「Opale」のように1株穂数は少なく茎が太い形質を持っていることで耐倒伏性が強い品種が密播であるイタリア型直播に向いていると考えられた。

現在, 日本における湛水直播栽培では, 耕起, 代かき後にコーティング種子を播種する方法が一般的であり, 代かきの長所として, 圃場がより均平となり, 漏水を抑えて除草剤や肥料の効果を高めることなどがあげられる。一方, 代かきに伴って田植えなどの一連の作業が7~10日間に集中して⁽¹⁹⁾, 播種や移植作業の実施を大きく規定してしまい, 代かき作業が終了しないと次の作業に移行できないこと^(40,41)などの問題点が報告されている。また, 無代かき条件とした水稲栽培では, 水稲後の畑作物の生育・収量が優れること^(13,18)やシミュレーションの結果, 規模拡大につながる試算⁽⁹⁾などが報告されているが, 本研究実施において, イタリア型では乾田直播栽培で問題となるイボクサが繁茂し, 別途防除する必要があった。無代かき技術の導入については, 圃場の漏水対策, 除草体系も含めた適用条件を総合的に判断していく必要がある。さらに, 本研究で評価したイタリア型直播をそのまま日本に導入した場合, 種子代金は日本型の約7倍, 日本型のコーティング資材費を考慮しても初期費用が3倍以上となり, 無代かきで労働時間を削減しても, 種子代金でそのメリットが消えてしまうことも否定できな

い。今後、日本で従来型の栽培法と同程度の初期費用で無代かき・無コーティング種子を利用した栽培体系を構築する場合、播種量を5～6 kg / 10a程

度に抑え、無代かき体系で実現が可能か検討していく必要がある。

V 摘要

1. イタリアの水稲作では湛水直播栽培が最も多く行われ、主な特徴として圃場規模が日本に比べて非常に大きいこと、耕起後、湛水した無代かき圃場に浸種した種子を大量に散播する方式であることが挙げられる。一方、日本の湛水直播栽培の主な特徴として、代かきした圃場にコーティング種子を播種する方式であることが挙げられるが、日本の水稲作全体に占める直播栽培面積の割合は1.5%と非常に少ない。そのため、イタリア型直播で供試されている品種や生育特性を明らかにすることによって、日本における湛水直播栽培技術の向上や普及面積拡大につながる情報が得られることが期待される。

本研究においてイタリア型直播を想定して圃場試験を行った結果、イタリア品種である「Luxor」、**「Opale」**は他の品種に比べて苗立ち率が高く、苗立ち本数が多かった。この要因として、この2品種は低温条件での発芽が早く、イタリア型直播で出芽が早まるためであると考えられた。さらに、この2品種は、イタリア型直播で浮き苗になりにくい傾向

が認められ、この要因として、他の品種に比べて生育初期の種子根の伸長速度が速く、早期に冠根が抽出するなどの地下部形質が寄与していることが示唆された。以上の結果、「Luxor」、**「Opale」**はこれら複数の形質によってイタリア型直播に適応していると考えられた。

2. 圃場においてイタリア型直播および日本型直播を2ヵ年行って、イタリア型直播の乾物生産性、収量性を評価した。イタリア型直播の茎数、地上部乾物重、窒素吸収量は日本型直播に比べて低く推移した結果、穂数は少なくなり、総粒数の減少に伴って減収した。一方、1株穂数が少なく倒伏指数は小さい形質を持つ「Luxor」、**「Opale」**は、イタリア型直播での穂数、総粒数の減少程度は小さく、収量は日本型とほぼ同等となった。以上の結果、「Luxor」、**「Opale」**は穂重型で高い耐倒伏性を持つことによってイタリア型湛水直播栽培に適応していることが示唆された。

VI 謝辞

本研究の遂行に当たり、廣川誠氏、中川広行氏、横山雄司氏、小竹剛志氏および研究スタッフの渡辺梅子さんにご協力頂いた。また、坂田賢氏には圃場

の均平精度について、塩谷幸治氏には圃場区画や初期費用の評価について適切な助言を頂いた。ここに記して感謝の意を表する次第である。

引用文献

1. 秋田重誠 (1990) アメリカ合衆国の稲作を支える技術と研究 (2) —わが国稲作研究へインパクト—. 農業技術, 45, 392-399.
2. 天野高久・田中英彦・井上直人 (1993) イネ湛水直播における低温苗立ち性の品種間差異. 京都府立大学農学部附属農場報告, 16, 12-21.
3. 崔晶・楠谷彰人・豊田正範・浅沼興一郎 (2000) 多収性水稲の品種生態に関する研究. 日作紀, 69, 306-313.
4. 古畑昌巳・岩城雄飛・有馬進 (2007) 出芽速度および嫌気条件下における鞘葉の伸長速度が湛水直播水稲の出芽・苗立ちに及ぼす影響. 日作紀, 76, 10-17.
5. 古畑昌巳・帖佐直・大角壮弘・松村修 (2012) 寒冷地で湛水土中に播種された水稲の初期生育に関連した品種特性の評価. 日作紀, 81, 10-17.
6. 古畑昌巳・帖佐直・大角壮弘・松村修 (2012) 寒

- 冷地における酸化鉄コーティング種子を利用した湛水直播栽培の出芽・苗立ち、乾物生産および収量特性. 日作紀, 81, 33-38.
7. 古畑昌巳・田野井真・富田桂・小林麻子・関正裕 (2014) 北海道, 東北, 北陸地方の良食味水稲品種および「越南 242 号」の低温土中出芽性の評価. 日作紀, 83, 362-367.
 8. 古畑昌巳・吉永悟志・笹原和哉 (2014) イタリア型湛水直播栽培技術の評価—異なる品種と栽培型における耐倒伏性と乾物生産性の解析—. 日本作物学会第 238 回講演会要旨集, 4.
 9. 星野康人・守屋透・渡辺喜芳 (2000) 大規模稲作経営における水稲直播栽培の導入効果と定着条件. 新潟県農業総合研究所研究報告, 2, 19-26.
 10. 堀尾光弘 (1998) イタリアにおける稲作機械化の現状 (第 1 報) —イタリア稲作の概要—. 農業機械学会誌, 60, 135-138.
 11. 堀尾光弘 (1998) イタリアにおける稲作機械化の現状 (第 2 報) —作業体—. 農業機械学会誌, 60, 129-132.
 12. 岩田忠寿 (1994) アメリカ合衆国の稲作から学んだもの —根系調査を主体として—. 日作紀, 63, 377-382.
 13. 川口健太郎・安倍史高・小柳敦史 (2010) 水田転換畑での代かき処理によるコムギ湿害の解析と不定根の通気組織形成. 日作紀, 79 (別 2), 296-297.
 14. 木村健治・藤巻宏 (1982) イタリアから導入した稲品種の特性解析. 日作紀, 51, 136-137.
 15. 小高真一・安部信行 (1988) 低温条件下におけるイネの高出芽性品種の検索. 農業技術, 43, 21-24.
 16. 櫛淵欽也・伊藤隆二 (1968) 移植と直播栽培における水稲品種の生態. 農業技術, 23, 320-322.
 17. 楠谷彰人 (1986) 北限地帯における水稲の生産生態に関する研究 第 3 報 苗質が乾物生産と収量に及ぼす影響. 日作紀 55, 526-532.
 18. 松波寿典・佐藤健介・佐藤雄幸・進藤勇人・佐藤信和 (2012) グライ土壤の水田転換畑での大豆狭畦密植栽培は代かき栽培後よりも無代かき栽培後のほうが有効である. 日作紀, 81 (別 1), 64-65.
 19. 三原千加子 (2009) 無代かき栽培した水稲の生育・収量と出液速度. 日作紀, 78, 471-475.
 20. 三石昭三 (1975) 水稲の湛水直播における土壌中埋没播種に関する作物学的研究. 石川農業短大特別研究報告, 4, 1-57.
 21. 森田弘彦 (1998) イタリアとハンガリーにおける直播稲作の雑草の種類と雑草問題. 植調, 32, 85-93.
 22. 村井信仁・小澤良夫 (2001) イタリアの水稲直播栽培 (1). 農業技術, 56, 449-453.
 23. 村井信仁・小澤良夫 (2001) イタリアの水稲直播栽培 (2). 農業技術, 56, 516-519.
 24. 農水省 (2008) ほ場整備の効果と農家の負担について. (オンライン). 入手先 <http://www.maff.go.jp/j/study/kome_sys/11/pdf/data2.pdf>
 25. 農水省 (2013) 平成 24 年度 食料・農業・農村白書 農業構造の変化. (オンライン). 入手先 <http://www.maff.go.jp/j/wpaper/w_maff/h24_h/trend/part1/chap3/c3_1_01.html>
 26. 農林水産省 (2014) 「攻めの農林水産業」の実現に向けて. (オンライン). 入手先 <http://www.maff.go.jp/j/kanbo/saisei/honbu/pdf/shiryuu_zenkoku_5_2.pdf>
 27. 農林水産 (2015) 農業経営統計調査 平成 26 年産米生産費. (オンライン). 入手先 <http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/noukei/seisanhi_nousan/>
 28. 農林水産省 (2016) 最新の直播の状況 (26 年産). (オンライン). 入手先 <http://www.maff.go.jp/j/seisan/ryutu/zikamaki/z_genzyo/attach/pdf/index-3.pdf>
 29. 笹原和哉 (2014) イタリアの稲作について. 植調, 48, 109-114.
 30. 笹原和哉・吉永悟志 (2014) イタリア水稲生産における特徴と低生産費化へのポイント. 2013 年度日本農業経済学論文集, 289-296.
 31. 笹原和哉 (2015) イタリア水稲生産の省力化の

- 背景とその方法. 農業経営研究, 52, 19-24.
32. 佐々木良治・後藤克典 (1999) 葉齢および播種密度を異にする水稲乳苗の活着特性. 日作紀, 68, 194-198.
33. 佐々木良治・柴田洋一・鳥山和伸 (2002) 大区画水田における田面の高低が直播水稲の初期生育と分けつに及ぼす影響. 日作紀, 71, 308-316.
34. 佐々木多喜雄 (1968) 水稲品種の低温発芽性と初期生育との関係 1. 初期伸長性との関係. 北海道立農試集報 17: 34-45.
35. 佐々木多喜雄・山崎信弘 (1971) 水稲品種の低温発芽性と初期生育との関係 第4報 苗立性との関係. 日作紀, 40, 474-479.
36. 嶋貫和夫・鎌田金英治 (1975) 水稲機械移植における育苗法と苗生態. 東北農業研究, 17, 59-61.
37. 高橋萬右衛門 (1977) イネの低温障害に関する育種学的研究: 特に発芽期と生殖生長期における耐冷性の遺伝解析 (稲の交雑に関する研究 第LXV報). 北海道大学農学部農場研究報告, 20, 1-15.
38. 田坂幸平 (2009) イタリアの水稲直播. 農作業研究, 44 (別1), 63-64.
39. 寺島一男・酒井究・椛木信幸 (2002) 直播水稲における一株の生育量と耐ころび型倒伏性との関係. 日作紀, 71, 161-168.
40. 茅根敦夫・西村謙三・中嶋直美 (1999) 大規模水稲作経営の作業構造と経営発展の可能性. 農業経営研究, 37, 55-60.
41. 茅根敦夫 (2000) 移植水稲作の作業構造と生産性の向上に関する研究. (オンライン). 入手先 < <http://ir.iwate-u.ac.jp/dspace/bitstream/10140/3997/1/renken-no516-1.pdf> >
42. 山本由徳・池尻明彦・新田洋司 (1995) 葉齢を異にする水稲苗の活着, 初期生育および出穂特性. 日作紀, 64, 556-564.
43. 山末祐二 (2001) 雑草科学実験法 雑草の形態・生理・生態に関する調査 第1章 雑草の生物・生態に関する試験 第2節 雑草の形態・生理・生態に関する調査 第4項 種子の休眠・発芽調査法. ニッセイエブロ, 東京, 54-55.
44. 周紅・森田脩・江原宏 (2003) 湛初土壤中散播イネにおける苗立ち型別の生育と収量の特徴. 日作紀, 72, 177-184.
45. 周紅・劉改雲・江原宏・森田脩 (2003) 湛初直播したイネ品種における異なる苗立ち型の発生率とその生育形質. 日作紀, 72, 321-327.

Evaluation of Direct-seeded Rice under Submerged Conditions in Italian Cultivation: Analysis of Seedling Emergence, Lodging Resistance, Dry Matter Production, and Yield of Different Cultivars and Cultivation Practices of rice

Furuhata Masami*, Yoshinaga Satoshi** & Sasahara Kazuya***

Summary

1. In Italy, the direct seeding of rice is a conventional practice. Fields are much larger than those in Japan, and rice is planted as non-coated seeds in unpuddled fields after plowing. The major characteristics of Japanese direct seeding rice cultivation are; the average field size of 0.3 ha, use of coated seeds in puddled fields, and small field area of practice. Therefore, analyzing the characteristics of Italian rice cultivars and incorporating their direct seeding methods in Japan may lead to improving direct seeding technology and extending the direct-seeded planting area in Japan. The results of a field test suggest that the seedling establishment rates and seedling numbers of the Italian cultivars “Luxor” and “Opale” were higher than those of Japanese cultivars in Italian direct seeding culture. The germination speed of these two cultivars was faster in low temperature, and the seedling emergence of these cultivars happened earlier in Italian direct seeding culture than in the Japanese counterpart. Furthermore, the vigorous root growth of Italian cultivars led to the control of floating seedlings. As described above, it was suggested that “Luxor” and “Opale” had several characteristics that enabled the culture to be planted as non-coated seeds in unpuddled fields after plowing.
2. We established experimental field plots of Italian and Japanese direct seeding cultures for two years to investigate the lodging resistance of Italian cultivars and dry matter production and yield in Italian direct seeding culture. Tiller number, the dry weight of upper parts, and nitrogen absorption in Italian direct seeding culture were lower than those in Japanese direct seeding culture in each growing period, resulting in reduced panicle number, total kernel number, and yield. “Luxor” and “Opale” had fewer panicles per hill, and lower lodging index than the Japanese cultivars. In Italian direct seeding culture, the yields of the two Italian cultivars were similar to those in the Japanese direct seeding culture, owing to similar panicle numbers. As described above, it was suggested that “Luxor” and “Opale” were heavy-ear type and cultivars with high lodging resistance that enabled in Italian direct seeding culture.

Received 26 December 2016, Accepted 13 June 2017

* Division of Lowland Farming, National Agricultural Research Center, NARO (National Agriculture and Research Organization)

** Division of Crop Production Systems, National Agricultural Research Center, NARO

*** Division of Crop Production and Management Research, Tohoku Agricultural Research Center, NARO