

稲における土中出芽性の評価方法の開発と 土中出芽性に優れた品種の育成

太田 久稔

抄 録

水稲の湛水土中直播栽培において重要な特性である土中出芽性に関する検定方法として、25℃ 3日催芽の発芽種子播種、温度25℃、播種深度を2cmとする試験条件を設定した。深度2cmに播種できるシーダーテープを用いた圃場検定を開発した。室内検定と圃場検定の間に有意な相関を認めた。土中出芽率が高い品種においては室内検定と圃場検定の結果が異なる品種が認められたため、室内検定の条件を播種深度3cm、20℃とした。

国内外の約300品種を室内検定した結果、出芽率の変異が0-95%となり遺伝的な多様性が明らかとなった。圃場検定において最も土中出芽率が高い品種は、中国品種のTa Hung Kuであった。土中出芽性に優れた交配親としてTa Hung Kuを選定した。

土中出芽性に優れた遺伝資源として、赤米、Arroz da Terra、Dunghan Shali、Ta Hung Kuを用い、キヌヒカリ、どんとこいと交配後代を育成し、土中出芽検定による選抜・育成を行った。赤米、Ta Hung Kuの交配後代では、初期世代から土中出芽性検定による選抜を行い、土中出芽性に優れたいくつかの系統を選抜した。一方、Arroz da Terra、Dunghan Shaliの交配後代では、葉いもちが多発するなど、土中出芽性や農業特性に優れた系統を選抜できず、交配親の違いによる育成の難易の差が大であった。

Ta Hung Kuの交配後代であるF₃、F₄、B₁F₂、B₁F₃、B₁F₄系統の土中出芽性をみたところ土中出芽性は多数の遺伝子によっていると推定され、F₃系統と選抜したF₄系統の土中出芽率の間に高い相関関係が認められた。B₁F₄選抜系統で、Ta Hung Ku並の土中出芽率の有望系統を選抜できた。QTL解析において、第2、第5染色体上にいくつかのQTLと思われる箇所が認められた。

キーワード：イネ、直播、土中出芽、検定方法、遺伝資源、品種育成

Abstract

We studied rice seedling emergence in direct seeding in submerged soil to determine the degree of forced sprouting, temperature and seeding depth in 8 representative rice cultivars. We found germination in submerged soil was optimal at 25°C for 2-3 days, and that seedling emergence varied widely among cultivars seeded 2 or 3 cm deep at 25°C and 1 cm deep at 15°C.

We propose a new way of evaluating seedling emergence in field tests, placing seeds from 23 representative rice cultivars on seeder tape 20 mm deep in the soil. Results showed a positive correlation between the percentage of seedling emergence in growth chamber tests and that in field tests. We found that a new gene source, "Ta Hung Ku" from China, had the highest percentage of seedling emergence and could be used as a cross parent for high seedling emergence in submerged soil.

Rice cultivars screened as gene sources for high seedling emergence included Akamai, Arroz da Terra, Dunghan Shali and Ta Hung Ku. We then selected lines with high seedling emergence by repeated selection from early generations from progenies of crossing with Akamai or Ta Hung Ku.

In testing the seedling emergence of 347 F₃ lines of Dontokoi/Ta Hung Ku, 96 B₁F₂ lines and 96 B₁F₃ lines of Dontokoi//Dontokoi/Ta Hung Ku, we found that seedling emergence frequency tended to be a continuous distribution with a single peak, suggesting that many genes are involved in seedling emergence.

We also report several new QTLs of seedling emergence in B₁F₃ lines not previously recognized, insofar as we know.

Key words : rice, direct seeding, seedling emergence, genetic resource, breeding

目次

I	緒言	4
II	土中出芽性の評価方法の検討	6
1	催芽程度、温度、播種深度の各条件における土中出芽率の変動	6
2	テープシードによる圃場における土中出芽性の検定	10
3	土中出芽性に優れた遺伝資源を評価する条件	12
4	まとめ	13
III	土中出芽性の遺伝的多様性と遺伝資源探索	13
1	室内検定における遺伝的変異の評価および遺伝資源探索	13
2	圃場検定における遺伝資源探索	20
3	まとめ	21
IV	土中出芽性に優れた系統の育成	25
1	遺伝資源「赤米」の交配材料における選抜	25
2	遺伝資源「Arroz da Terra」の交配材料における選抜	26
3	遺伝資源「Dunghan Shali」の交配材料における選抜	28
4	遺伝資源「Ta Hung Ku」の単交配材料における選抜	29
5	遺伝資源「Ta Hung Ku」の戻し交配材料における選抜	31
6	土中出芽性に優れた選抜系統（和系375）の特性	33
7	まとめ	36
V	土中出芽性の遺伝様式及びQTL検出	36
1	「Ta Hung Ku」の土中出芽性の遺伝様式について	36
2	「Ta Hung Ku」のB ₁ F ₃ 系統における土中出芽性に関するQTL	40
3	まとめ	41
	摘要	41
	謝辞	43
	引用文献	43
	Summary	47

I 緒 言

我が国の水稻栽培は移植栽培を中心に技術が発展してきたが、米の輸入自由化、稲作農家の担い手の減少を背景として、稲作の大規模化による低コスト生産が課題となっている。移植栽培は育苗や移植作業に労力と資材を必要とし、低コスト生産に適さないなどの問題点があり、この課題に応える技術として直播栽培技術の確立が期待されている。直播栽培は、1960年代以降小雨温暖な地域の乾田直播を中心に栽培面積が多くなり、1974年に55,250haに達したが、田植機の開発や直播栽培における収量の不安定性の問題から1993年には7,184haまで減少した。その後、直播向き品種の育成（佐藤・酒井 2001、前田ら 1996、福井ら 1997、太田ら 2001、水沢ら 2001）、栽培方法の改善（澤村ら 1991、濱田ら 1994、大場 1994、富樫 2002、吉永 2002）、新規除草剤の開発（森田 2001）、圃場の整備などにより、湛水直播を中心に増加傾向に転じ、2002年には11,523haまで増加している。1970年頃は日本晴などが直播栽培に適していると考えられていたが、1988年育成の短強稈で良食味のキヌヒカリなど、倒伏性が改良された良食味品種が各地で育成され始め、きたいぶき、はえぬき、ハナエチゼン、味こだま、どんとこい、いただき、ミレニシキ、葵の風などの直播適性をもつ品種が育成された。しかし、価格面の不利などの問題から、直播栽培においても必ずしも直播適性を持つわけではないコシヒカリ、ひとめぼれ、ヒノヒカリ、あきたこまちの栽培面積が増加し、はえぬき以外は減少してきている。乾田直播においても、かつてはアケボノの栽培面積が50%以上であったが、ヒノヒカリ、コシヒカリなどの栽培面積の増加とともに減少してきている。湛水直播の場合、カルパー粉衣処理種子を土壤中に播種することが多いが、本来の目的である低コストを目指すために、カルパー粉衣を必要としない出芽苗立ちに優れた品種を育成することが今後も重要である。一般に、出芽は土表面から芽が出たことを意

味し、表面播種した場合にもわずかに埋伏するため、出芽苗立ちと表現することが多いが、土中出芽性は意図的に深く土中に播種した湛水土壌中直播の出芽性である。この土中出芽性は苗立ちに大きく影響する要因であり、安定した苗立ちを実現するには優れた土中出芽性をもつ品種を育成することがなによりも重要である。

乾田直播においては、中茎の伸長（井之上・穴山 1971）、播種深度、砕土、土壌水分（上山 1976）が出芽苗立ちに大きく影響するとされている。しかし、湛水直播における出芽性において、上林ら（1994）の報告では土中出芽率（苗立ち率）と中茎長の間有意な相関（相関係数は0.21）は認められていない。佐藤ら（1987）の報告では中茎長の長い水原258号、密陽29号の土中出芽率より中茎長の短かい日本晴、トヨミノリの土中出芽率が高い結果であった。また、白土ら（1997a、1997b）は乾燥土壌中における出芽性に優れた遺伝資源を探索したが、選ばれた品種のうちGhaiya、Laki jhotaを湛水条件で検定した結果では出芽不良であった。乾田直播において降雨による過湿条件の場合以外は、出芽性に関わる遺伝的背景は乾田直播と湛水土中直播では異なるものと考えられる。

湛水土中直播について、三石（1975）、荻原（1993）は詳細な栽培生理研究のなかで、溶存酸素濃度や土壌還元程度と出芽苗立ちの関連について報告し、特に種子近傍の土壌還元が出芽苗立ちに大きな影響があることを明らかにしている。土中出芽性の検定方法は、水田土壌を使用している検定としては、プラスチックバットなどの容器に代かき土壌や風乾砕土を詰め、ピンセットなどで播種深度を調節しながら乾籾やカルパーコーティング種子を播種し、常温で10日-35日後の出芽率や鞘葉や種子根の長さなどを調査する方法が多い（星野ら 1985、藤代ら 1988、猪谷 1991、佐藤ら 1987、藤井ら 1992、Saka and Izawa 1999）。他に、土壌にメチレンブルーを添加して土壌還元域を測定す

る方法（萩原 1993）も報告されている。土壌を使わない検定としては、窒素ガスで溶存酸素を減少させて嫌気状態を作り、発芽率や葉鞘、種子根の長さを調査する方法が用いられている（飯村ら 1995、1996、2000、八百板ら 1996、1997、Won and Yoshida 2000、Kato-Noguchi 2001）。また、圃場検定としてはピンセットで播種深度を調節する方法が行われており（藤井ら 1992、Sato and Maruyama 2002）、株播ポットに播種して圃場に設置する方法（Ogiwara and Terashima 2001）も報告されている。また、土中出芽性に優れた遺伝資源について、星野ら（1985）は日本稲約300品種、外国稲約100品種を供試し、日本在来稲の赤米に出芽極良の品種が多いことを報告している。藤代ら（1988）は国内外水稲39品種を供試し、Zenith、Arborio、Sesia、Romeo、庄内32号の苗立ち率が高いことを報告している。猪谷（1991）は国内外の香り米を中心に98品種を供試し、普通米（奨励品種）、日本産香り米に出芽率が高い品種が多いことを報告している。藤井ら（1992）は内外稲38品種を供試し、日本稲とアメリカ中粒種が出芽苗立ちが良好であることを報告している。萩原（1993）は内外稲7品種を供試し、17℃条件でItalica Livorno、20℃条件でKaeu N-17がそれぞれコシヒカリより有意に高い出芽率であったことを報告している。Yamauchiら（1993）はIRRIにおいて約1,000品種を供試し、北東インド、バングラディシュの品種に出芽苗立ちに優れた品種が多いことを報告している。山内・上野（1995）、Biswas and Yamauchi（1997）はインド原産の品種ASD 1が苗立ちに優れていることを報告している。上林ら（1994）は、外国稲144品種、日本稲145品種を供試し、早生統一、Binatanganの苗立ち率が高いことを報告している。Saka and Izawa（1999）は浮き稲品種を中心に18品種を供試し、浮き稲品種のAswinaの苗立ち率が最も高かったことを報告している。Ogiwara and Terashima（2001）はアメリカ・ヨーロッパ品種を中心に25品種供試し、Arroz da Terraが最も苗立ち率が高

い事を報告している。日本の栽培品種より有意に土中出芽率が高い品種としては、Italica Livorno、Kaeu N-17（萩原 1993）、Arroz da Terra（Ogiwara and Terashima 2001）などが報告されている。

このように直播に関する研究は多くあるが、多数の品種を用いた土中出芽性の遺伝変異に関する研究は少なく、土中出芽性に優れた品種育成に結びつけた研究はほとんどない。また、土中出芽性の遺伝様式についてさらに検討する必要があると考えられる。そこで本論文では、最初に土中出芽性に関する評価方法を催芽程度、温度、播種深度の面から検討し、テープシードによる圃場における土中出芽性の検定、土中出芽性に優れた遺伝資源を評価する条件を検討した。次に、設定した温度条件、播種深度で約300品種の遺伝資源を供試し、土中出芽性の遺伝的変異の評価と土中出芽性に優れた遺伝資源の探索を行い、さらに圃場検定において遺伝資源の評価を行った。

遺伝資源として、赤米、Arroz da Terra、Dunghan Shali、Ta Hung Kuを交配母本に用い、いもち病抵抗性、耐倒伏性に優れ、良質、良食味の品種を目標に、土中出芽性と農業的特性に優れた実用品種の育成を行った。Ta Hung Kuとの交配後代から有望な選抜系統が得られ、その特性について調査を行った。同時に、Ta Hung Kuとどんどこいにおける土中出芽性の遺伝様式について検討し、Ta Hung KuとどんどこいのB₁F₃系統における土中出芽性に関してQTL解析を試みた。

以上のように、本研究は安定した直播栽培を実現するため、土中出芽性に優れた実用品種を育成することを目的に行ったもので、土中出芽性の評価方法、遺伝資源の探索、優れた遺伝資源を用いた交配と選抜、さらに土中出芽性の遺伝様式など、総合的かつ包括的な研究であり、基礎から実際の品種育成までを含んだものとなっている。なお、すべての試験は2000年まで北陸農業試験場、2001年以後は作物研究所において実施した。

Ⅱ 土中出芽性の評価方法の検討

土中出芽率は温度条件、催芽程度、播種深度、採種条件、土壌条件、発芽条件など、さまざまな要因によって変動する特性である。これまで、さまざまな検定方法による土中出芽性の評価が報告されているが、検定方法の違いにより相互に参照できないことから、検定条件による土中出芽性の変動を検討する必要がある。飯村ら(1995、1996、2000)、八百板ら(1996、1997)、諏訪・川村(2000)、Won and Yoshida(2000)、Kato-Noguchi(2001)など土壌を使わない検定方法も報告されているが、検定品種数も少なく、嫌気条件における発芽性も含んだ評価方法であり、土中出芽性の検定方法かどうか判断できなかった。そこで、ここではまず水田土壌を用いた土中出芽性の検定方法を検討した。

1 催芽程度、温度、播種深度の各条件における土中出芽率の変動

土中出芽率は温度条件、催芽程度、播種深度によって変動する特性である。これらの条件による土中出芽率の変動についての報告は少ない。そこで、採種条件、土壌条件はほぼ同じ条件とし、温度条件、催芽程度、播種深度による土中出芽率の変動について検討する。

1) 材料及び方法

日本型品種としてキヌヒカリ、日本晴、アキヒカリ、印度型品種としてハバタキ、Kasalathの合計5品種を用いて、催芽日数と催芽長および品種の土中出芽率を調べた。また、日本型品種としてアキヒカリ、コシヒカリ、キヌヒカリの3品種、印度型品種としてハバタキ、土中出芽性に優れていることが報告(星野ら1985)された日本型在来品種から赤毛、赤米の2品種、直播用品種として、アメリカ品種Lemont、イタリア品種Arborioの合計8品種を用いて、播種深度および高・低の処理温度と土中出芽率の関係を調べた。前年に手刈り収穫し、乾燥した

のち室温で保存した種子を用いた。また被害の大きい褐変籾は出芽が遅延する(平野・千葉1982)ことから、褐変程度の大きい籾は除いた種子を用いた。催芽程度による変動試験は催芽程度を25℃で各1、2、3、4日間とし、播種深度2cm、温度25℃の一定条件とした。催芽長は10個体の平均値を用いた。温度、播種深度による変動試験は、催芽程度は25℃3日間と一定にし、播種深度を1cm、2cm、3cmの3水準とし、温度条件は、25℃(高温区)と15℃(低温区)の2水準とした。播種は育苗箱(30×21×7cm)に風乾した水田土壌を充填し、それに催芽日数1日の試験以外は発芽した籾のみを1品種100粒播種したのち、同じ風乾土壌(未代かき)を覆土した。水深は3cmに保った。人工気象室を用いて試験を行い、試験はすべて2反復で行った。出芽率の調査は25℃条件では播種後5日目から5日ごと、15℃条件では播種後10日後から10日ごとに行った。出芽率は25℃条件では第1葉まで出葉して緑色を呈した個体の割合、15℃条件では緑色を呈した個体がなく、土中から鞘葉が出芽した個体の割合とした。

2) 結果及び考察

催芽程度の変動の影響について、播種後15日までは播種後日数が経過するほど土中出芽率が高くなる傾向が認められたが、15日以降ではほとんど変わらなかった。また、催芽3日までは、催芽日数が長いほど出芽する時期が早い傾向にあった(図1)。催芽日数と最終調査である播種後20日目における出芽率の関係をみると、印度型品種のハバタキとKasalathは催芽日数1日では出芽率が10%以下、催芽日数2、3日では出芽率が20-30%程度となった。一方日本型品種のキヌヒカリ、日本晴、アキヒカリは催芽日数1、2、3日とも出芽率が70-80%程度でほぼ同じであった。催芽日数4日の場合には全品種とも出芽率がやや低くなる傾向が認められ、ハバタキを除き、有意に出芽率が低かった。こ

れは催芽4日目では催芽長が約4mmとなり、播種時に芽を傷つける割合が高くなったためと思われる。以上の結果から、最適催芽日数は25℃

で2-3日、催芽長は0.4-1.4mm程度と考えられた(表1)。

藤井ら(1992)は、催芽程度と土中出芽率の

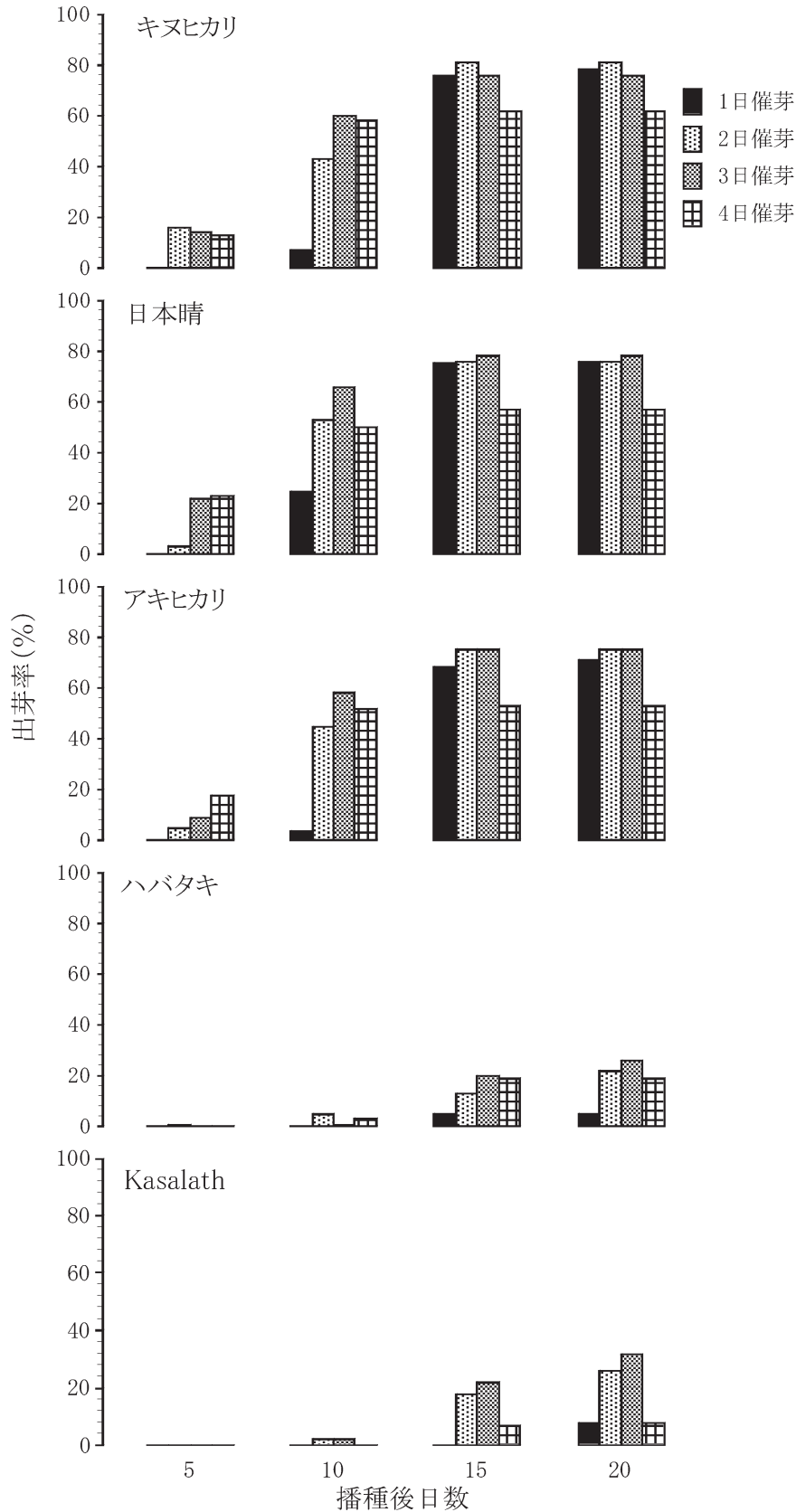


図1 催芽日数の違いによる出芽率の影響

表 1 催芽日数の違いによる出芽率の影響

品種名	催芽日数 (日)	催芽長 (mm)	播種20日後出芽率 (%)
キヌヒカリ	1	0.0	78 a
	2	0.4	81 a
	3	1.2	76 a
	4	4.9	62 b
日本晴	1	0.0	76 a
	2	0.5	76 a
	3	1.0	78 a
	4	3.3	57 b
アキヒカリ	1	0.0	71 a
	2	0.4	75 a
	3	0.9	75 a
	4	4.5	53 b
ハバタキ	1	0.0	5 a
	2	0.7	22 b
	3	1.1	26 b
	4	4.2	19 b
Kasalath	1	0.0	8 a
	2	0.7	26 b
	3	1.4	32 b
	4	5.1	8 a

同一英字の付いた品種値間には5%水準での有意差がない(ダンカン法)。

関係について、催芽すればするほど出芽率が低下し、催芽長1 mm以上になると著しく出芽率が低い結果になることを報告している。これは、催芽種子をカルパーコーティングして圃場に播種する試験条件のため、芽が傷つきやすかったためと考えられた。本実験のように芽を傷つけないように播種すれば、催芽長が1 mm以上であっても出芽にはそれほど影響がないと考えられる。

25℃の高温区における播種深度別の出芽率は、播種後20日以降ではほとんど変わらなかった。また、日本型品種およびArborioは出芽が早く、Lemontおよび印度型品種のハバタキは遅い傾向を示し、品種による出芽速度の違いがみられた。

播種後20日の出芽率をみると、播種深度が1 cmでは全体的に出芽率が高く、ハバタキとArborio、Lemontの品種間差異がみられないことから、25℃の高温下での土中出芽性の品種間差異を評価するには播種深度が2 - 3 cmでの試験が適していると考えられた。

15℃の低温区における播種深度の影響について、鞘葉出芽率は播種後40日以降ではほとんど変わらなかった。また、キヌヒカリ、赤米、Arborioは出芽速度が早い傾向がみられ、特にArborioは出芽率は低いものの、高温、低温いずれの温度条件においても出芽速度が早く、遺伝的な差異が考えられた。

播種後40日における鞘葉出芽率をみると、播種深度が3 cmではほとんど出芽せず、播種深度2 cmではハバタキとアキヒカリ、コシヒカリ、キヌヒカリの品種間差異がみられないことから、15℃の低温下で土中出芽性の品種間差異を評価するには播種深度1 cmでの試験が適していると考えられた(図2、表2)。温度と播種深度の違う条件での出芽率の間の相関をみると、ほとんど出芽していない低温・播種深度3 cm区を除き、すべての試験区間において有意な相関が認められた(表3)。

出芽率の品種間差異の傾向は、温度15℃ - 25℃、播種深度1 cm - 3 cmの条件においては大きく異なることはなく、出芽の良し悪しをこの条件内で検定することで品種間差異は把握できると考えられた。赤毛、赤米が低温条件で出芽率が高い傾向があり、温度条件によって傾向が異なる品種が探索されることも考えられるが、多数の品種を検定することを目的として、検定期間が短い25℃、播種深度2 cmの検定条件を遺伝資源の土中出芽性の評価方法とした(以後、室内検定と呼ぶ)。

星野ら(1985)は代かき土壌を用いて、乾籾播種した結果を報告している。代かき土壌では正確に播種深度を調節することは難しく、催芽籾の播種の場合には、芽を痛める可能性も高いため、ここでは風乾土壌を用いた。また、現実の直播栽培では、催芽種子を用いることが想定されるため催芽種子を用いた。乾籾については、土中発芽性と土中出芽性の関連などより複雑な要因を評価することになり、今後の検討が必要と思われる。

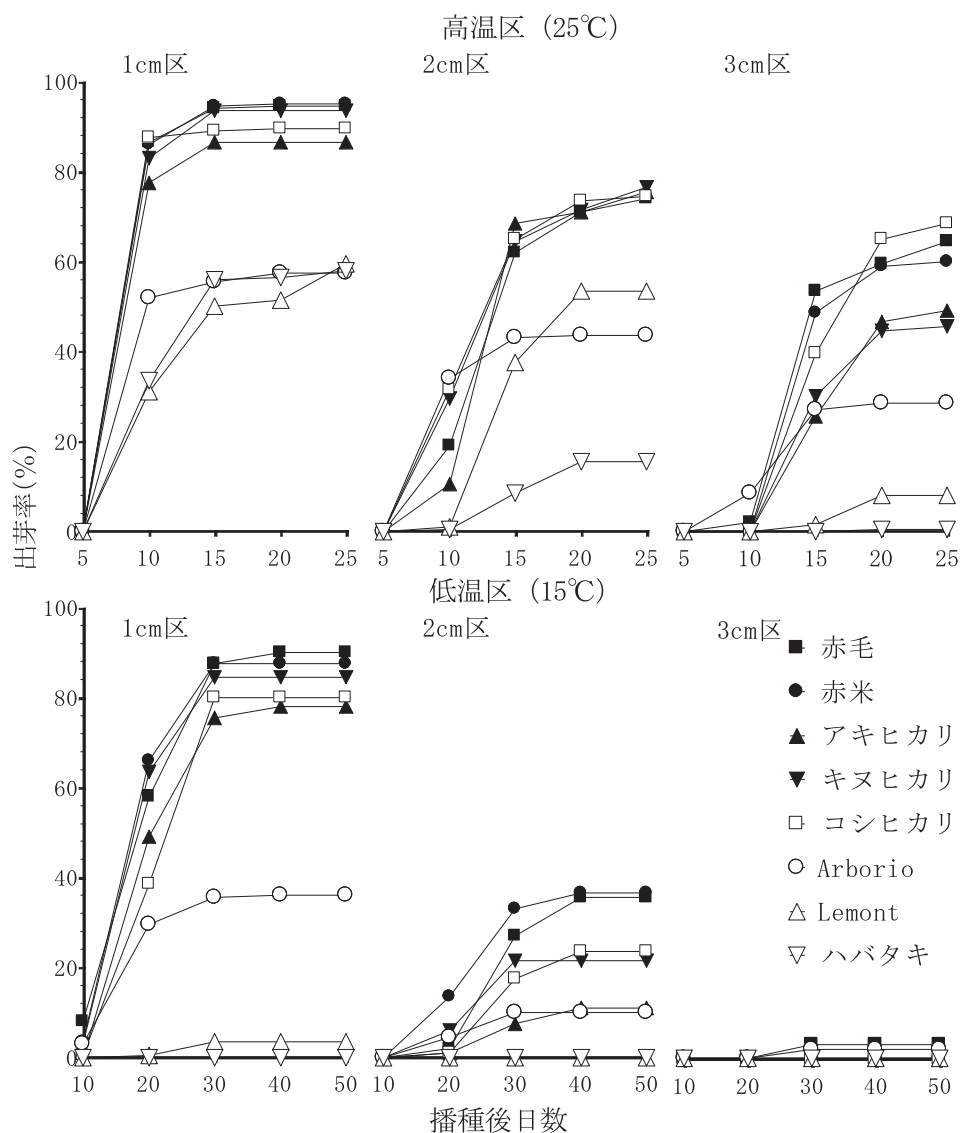


図2 高温区および低温区における播種深度別の出芽率の推移

表2 温度と播種深度の違いによる出芽率の影響

品種名	高温区 (25°C) における 播種後20日の出芽率 (%)			低温区 (15°C) における 播種後40日後の鞘葉出芽率 (%)		
	播種深度 (cm)			播種深度 (cm)		
	1	2	3	1	2	3
赤毛	95 a	71 a	60 a	90 a	36 a	3 a
赤米	95 a	—	59 a	88 a	37 a	0 a
アキヒカリ	87 a	71 a	47 ab	78 a	11 ab	0 a
キヌヒカリ	94 a	72 a	45 ab	85 a	22 ab	0 a
コシヒカリ	90 a	74 a	65 a	80 a	24 ab	0 a
Arborio	58 b	44 b	29 b	36 b	10 ab	2 a
Lemont	52 b	54 b	8 bc	4 c	0 b	0 a
ハバタキ	57 b	16 c	1 c	0 c	0 b	0 a

同一英字の付いた値間には5%水準での有意差がない (ダンカン法)。

表 3 温度および播種深度条件の異なる出芽率間の相関係数

播種深度		高温区 (25℃)			低温区 (15℃)	
		1cm	2cm	3cm	1cm	2cm
高温区	1 cm					
	2 cm	+0.81 *				
	3 cm	+0.91 **	+0.86 **			
低温区	1 cm	+0.97 **	+0.86 **	+0.96 **		
	2 cm	+0.87 **	+0.71 *	+0.89 **	+0.87 **	

ほとんど出芽していない低温、播種深 3 cm 区は除く。

*, **: それぞれ 5%, 1% 水準で有意。

2 テープシーダによる圃場における土中出芽性の検定

土中出芽性を評価する上で、最終的に圃場においてどのような変動があるのかを検討し、前節で行った試験条件が実際の圃場における土中出芽率とどのような関係になるのかを確認する必要がある。また、品種育成を行う上で、多数の検定材料を供試する圃場検定方法が必要である。シーダテープに封入して播種する方法は主に畑作物で行われ、畑用のテープシーダは市販されている。圃場において均一な播種深度で多数の検定材料を播種する方法として、日本プラントシーダ社と協力して代かき水田用テープシーダを試作して検討する。

1) 材料及び方法

星野ら (1985)、萩原 (1993)、Yamauchiら (1993)、Ogiwara and Terashima (2001) において出芽・苗立ちに優れていると報告されている品種を中心に、日本稲在来種の赤米、赤毛、Kibi、中国品種のTa Hung Ku、Hei Chiao Chui Li Hsiang Keng、攀農 1 号、麗江新団黒谷、アメリカ品種のKokuhorose、M401、イタリア品種のArborio、Italica Livorno、ハンガリー品種のDunghan Shali、ポルトガル品種のArroz da Terra、旧ユーゴスラビア品種のMaratteli、ネパール品種のJumula 2、ベトナム品種のTam Cau 9 A、マダガスカル品種のRojofotsy 73B、インド品種のFR13A、ASD 1、バングラディッシュ品種のDA23および比較品種

として日本稲のコシヒカリ、キヌヒカリ、どんとこい、印度型品種のハバタキ、IR36の計25品種を用いた。供試した種子は前節と同じ栽培法で栽培、採種し、乾燥したのち室温で保存したものである。

1 品種100粒をシーダーマシンで 1 粒ずつ等間隔に封入したシーダータープを25℃で2日間催芽し、1 日間陰干しした後に播種した。土中播種は直径約 1 cm、長さ約30cmの円筒を曲げたものを均平板に固定し、テープが均一に土中に埋まるように加工したもの（代かき水田用テープシーダ：日本プラントシーダ社試作）を用いた（図3）。播種深度は約 2 cmで、調査まで水深約 5 cmの湛水とした。旧北陸農業試験場圃場において、代かきから3日後の1996年4月26日に落水し、同日播種、その後湛水した。播種後から1時間間隔で地表面の水温を2カ所、気温を1カ所で測定した。播種後30日後に落水し、出芽率の調査を行った。試験はすべて2反復で行った。以後この検定方法を圃場検定とする。

室内検定は、1 品種20粒の催芽初（25℃3日間；発芽した初のみ使用）を深度 2 cmにII-1で述べたのと同様な方法で播種した。播種後は人工気象室内で25℃に保ち、20日後の土中出芽率を調査した。試験はすべて2反復で行った。

2) 結果及び考察

室内検定の出芽率は0-93%、うち日本稲のコシヒカリは65%、キヌヒカリは70%、どんとこいは75%となった。また、Hei Chiao Chui Li Hsiang Kengが93%、Kibi、Ta Hung Ku

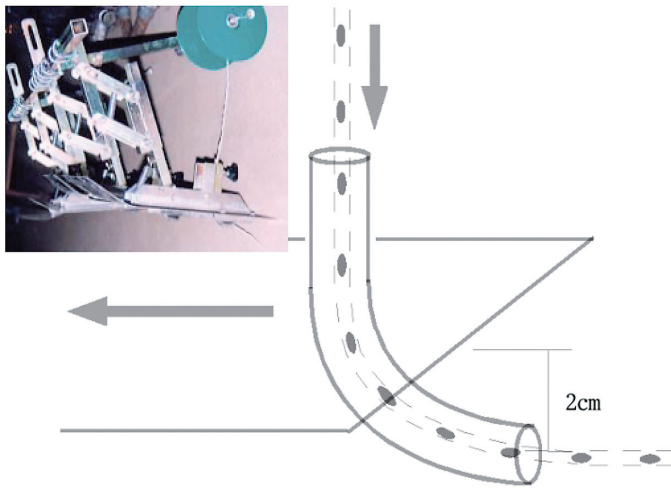


図3 テープシーダーの播種部分の概略

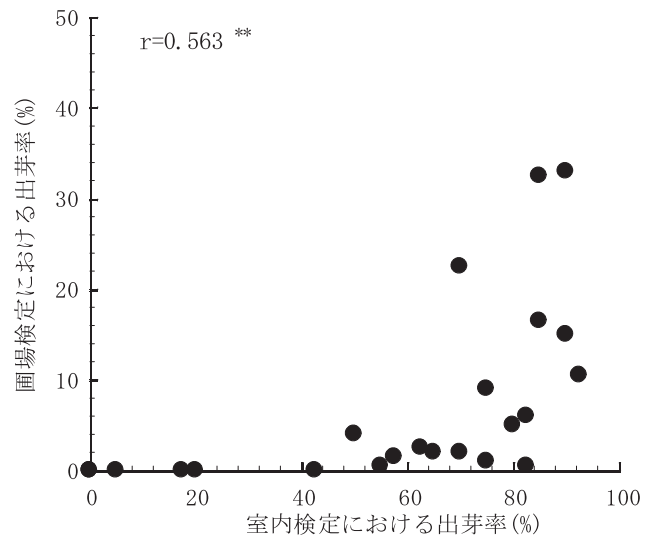


図4 圃場検定と室内検定における出芽率の相関 (1996年).

** : 1%水準で有意

が90%と高い出芽率であった。同じ品種を用いた圃場検定の結果をみると、0-33%となり出芽率は全体的に低い結果となった。また、土中出芽率が高い品種はTa Hung Ku、Dunghan Shaliであった (表4)。室内検定と圃場検定の相関係数は0.563となり、1%水準で有意な正の相関関係が認められた。しかし、室内検定で50%未満の品種は圃場検定においてはすべて出芽率0%であることから、室内検定で50%以上の品種に限った場合の相関もみたところ、5%水準で有意な相関が認められ、室内検定で圃場の土中出芽性を概ね評価できると考えられた (図4)。しかし、室内検定においては出芽率が比較的高くても、圃場においてはほとんど出芽していない品種も認められたことから、II-1に

おいて設定した室内検定だけでは土中出芽性の評価することは不十分であった。II-1において設定した条件では供試した品種より土中出芽性に優れた遺伝資源は評価できていないことが原因と考えられ、室内検定の試験条件を再度検討することが必要と考えられた。

圃場検定は、ピンセットで播種深度を調節する方法 (藤井ら 1992、Sato and Maruyama 2002)、株播ポットに播種して圃場に設置する方法 (Ogiwara and Terashima 2001) などが報告されているが、圃場で播種深度を調節しながら播種するのは難しく、多数の検定材料を供試するのは困難である。シーダーテープによる方法は、封入する労力は大きいが従来法に比べ数段に効率的と考えられた。

表 4 圃場検定と室内検定の出芽率

品種名	圃場 出芽率 (%)	室内 出芽率 (%)
Ta Hung Ku	33 a	90 abc
Dunghan Shali	33 a	85 abc
Italica Livorno	23 b	70 abcdef
Arroz da Terra	17 bc	85 abc
Kibi	15 bcd	90 abc
Hei Chiao Chui Li Hsiang Keng	11 cde	93 ab
Maratteli	9 cdef	75 abcdef
赤米	6 def	83 abcd
攀農1号	5 ef	80 abcde
Jumula 2	4 ef	50 fg
麗江新団黒谷	3 ef	63 cdefg
キヌヒカリ	2 ef	70 abcdef
コシヒカリ	2 ef	65 bcdefg
Arborio	2 ef	58 defg
赤毛	1 f	83 abcde
どんとこい	1 f	75 abcdef
Kokuhorose	1 f	55 efg
M401	0 f	43 gh
Rojofotsy 738	0 f	20 hi
DA23	0 f	18 hi
Tam Cau 9A	0 f	5 i
FR13A	0 f	0 i
ハバタキ	0 f	0 i
ASD1	-	0 i
IR36	-	0 i

同一英字の付いた値間には5%水準での有意差がない(ダンカン法)。

3 土中出芽性に優れた遺伝資源を評価する条件

品種育成では優れた遺伝資源の土中出芽性を栽培品種に導入することになるが、栽培品種の土中出芽率と遺伝資源の土中出芽率の差異を検出できる検定方法が必要である。II-2までの結果から土中出芽性に優れた遺伝資源が探索されているので、その遺伝資源との土中出芽率の差異が大きい室内検定の試験条件を検討する。

1) 材料及び方法

土中出芽性に優れた遺伝資源としてArroz da Terra、Italica Livorno、Ta Hung Ku、比較品種としてどんとこいの計4品種を用いた。種子は前年に採種し乾燥したのち室温で保存した種子を用いた。播種はバット(45×30×6cm)に風乾した水田土壌を充填し、それに発芽した

籾のみを1品種20粒で播種したのち、同じ風乾土壌(未代かき)を覆土した。水深は3cmに保った。人工気象室を用いて試験を行い、温度条件を20℃、25℃の2水準、播種深度を2cm、3cmの2水準で出芽率を調査した。25℃条件は播種20日後、20℃条件は播種25日後に土中出芽率を調査した。試験はすべて2反復で行った。

2) 結果及び考察

播種深度2cm条件では25℃、20℃条件とも、どんとこいと遺伝資源の出芽率の差が小さく、どんとこいより土中出芽性に優れているかどうかの評価はできなかった。25℃、播種深度3cm条件では全体に出芽率が低く、Ta Hung Kuとどんとこいとの差異は大きい。Arroz da Terraはどんとこいとの差がほとんど無かった。20℃、播種深度3cmの条件では、25℃条件よりどんとこいとの差が大きいため、土中出芽性に

優れた遺伝資源を評価する条件として適当と考えられた（表5）。

25℃、播種深度2 cmの条件は幅広い遺伝変異を評価する上では有効であったが、土中出芽性に優れた遺伝資源と日本の栽培品種の差異を検出することは困難であった。土中出芽性に優れた品種を育成する上で、日本の栽培品種との差異を検出することが重要であり、土中出芽性の選抜は20℃、3 cmの条件で行うことが適当と考えられ、1999年以降の室内検定は、20℃、3 cmの条件で行うこととした。

25℃、播種深度3 cm条件の出芽率はII-2のデータと比較すると全体的に低い結果であった。使用する土壌は風乾碎土にして可能な限り均一な条件にしているが、採取地が異なる場合や風乾程度の違いが土壌還元条件に影響し、それが出芽率にも影響している可能性が高いと考えられる。土壌条件の中で、土中出芽性に影響する要因として分かっているものは還元状態の違いがあるが、それ以外の土壌条件の違いを把握することや土壌を用いない土中出芽性の評価方法を今後も検討する必要があると考えられた。

表5 土中出芽性に優れた遺伝資源の検定条件

品種名	25℃における 出芽率(%)		20℃における 出芽率(%)	
	播種深度 (cm)		播種深度 (cm)	
	2	3	2	3
Italica Livorno	70 ± 10	28 ± 13	85 ± 15	28 ± 13
Arroz da Terra	85 ± 5	10 ± 10	90 ± 0	13 ± 3
Ta Hung Ku	90 ± 10	40 ± 5	90 ± 10	33 ± 8
どんとこい	75 ± 10	5 ± 5	75 ± 15	3 ± 3

平均値 ± 標準誤差

4 まとめ

催芽程度、温度、播種深度と土中出芽率との関係では、催芽程度は鳩胸状態が、温度は高い方が、播種深度は浅い方が土中出芽率が高かった。土中出芽率の品種間差を効率よく評価するために、催芽長約1 mm程度になる25℃で3日間

の催芽処理を行い、温度25℃、播種深度を2 cmとする試験条件を設定した。深度2 cmに播種できるシーダーテープを用いた圃場検定を行い、室内検定と比較検討した結果、室内検定と圃場検定の間に1%水準で有意な相関が認められた。室内検定は、試験条件を播種深度3 cm、20℃とすることで、圃場検定に近い評価ができた。

Ⅲ 土中出芽性の遺伝的多様性と遺伝資源探索

確立した検定法を用いてまず室内検定で遺伝的変異を評価し、次に圃場検定において最終的に交配親として利用できる遺伝資源の探索を行った。

1 室内検定における遺伝的変異の評価および遺伝資源探索

II-1において設定した室内検定を用いて、国内外の品種を供試することで土中出芽性の遺伝的変異を評価し、原産地毎に土中出芽性の傾

向を評価し、土中出芽性に優れた遺伝資源の探索を行う。また、粒形とフェノール反応を調査することで、日本型と印度型の土中出芽性の傾向を検討する。

1) 材料及び方法

供試材料は日本品種については改良品種58、在来品種106、計164品種を用いた。また外国品種では138品種（韓国37、中国37、台湾3、アメリカ13、イタリア22、ロシア4、インド11、スリランカ2、バングラディッシュ1、他8）を用いた。種子は前年に採種し、乾燥したのち室温で保存した。1品種当たり催芽粉（25℃で3日間浸種し発芽した粉）20粒を播種深度2cm、水深3cmの条件下に播種した。人工気象室を用いて試験を行い、温度を25℃とした。各品種とも2反復で播種後20日における土中出芽率を調査した。また、玄米粒形は1品種10粒の平均値、フェノール反応は1.7%のフェノール溶液に1日浸し、ふの色が着色した場合には+（反応有）、着色しない場合には-（反応無）で評価した。

2) 結果及び考察

土中出芽率の調査の結果、0% - 95%までの幅広い変異が認められた。出芽率が高かった品種は大国早生、中生白毛1号（GB整理番号00007991）、上総（GB整理番号00008185）、奈良錦（GB整理番号00008255）、Krasznodarc 5001（GB整理番号00015526）などであった。

日本原産では出芽率50 - 80%の品種が多く認められた。また、改良品種と在来品種を比較すると、在来品種に出芽率の高い品種が多く認められた。日本原産以外では、イタリア・ロシアの大粒品種やアメリカの品種の中に出芽率の高いものが認められた。一方、中国、韓国、インド・スリランカ・バングラディッシュの品種には出芽率20%以下の品種が多く、特にインド・スリランカ・バングラディッシュの品種には出芽率50%以上の品種は全く認められなかった（表6、図5）。

稲の生態型を分類する方法として、松尾（1952）は粒形により稲の生態型を分類し、短粒は

日本型、長粒は印度型としている。岡（1953）はフェノール反応、塩素酸カリ感受性、ふ毛により分類し、粒形は生態型を間違える可能性が高いとしている。Morishima and Oka（1981）はさらに低温感受性による分類も追加して、ほぼ分類が可能としている。本研究では厳密に生態型を分類することが目的ではないので、フェノール反応と粒形を調査し、典型的な日本型はフェノール反応はなく短粒で、典型的な印度型はフェノール反応があり長粒とし、おおよその分類で土中出芽性との関連を検討した。フェノール反応と土中出芽率との関係では、フェノール反応が+の集団の土中出芽率は低く、-の集団の土中出芽率は高い傾向を示した。両集団の土中出芽率の平均値間に1%水準で有意な差が認められた。玄米粒形と出芽率との関係では、玄米長幅比との間に1%水準で有意な相関が認められた。また、供試品種中の印度型品種集団と思われるインド・スリランカ・バングラディッシュ品種群と日本型品種集団と思われる日本改良品種群において、両集団の土中出芽率の平均値間に1%水準で有意な差が認められた（図6）。

星野ら（1985）は室温、播種深度2cm、乾粉播種の土中出芽率を調査し、日本在来品種に土中出芽が優れる品種が多く、特に赤米に土中出芽が優れる品種が多いという報告をしている。本研究においても日本在来品種に土中出芽率の高い品種が多い結果が得られているが、この報告にあった赤米を取り寄せて試験に供試した結果では、日本型の栽培品種のアキヒカリ、コシヒカリ、キヌヒカリと比較して出芽が難しい2条件下（25℃で播種深度3cm、15℃で播種深度2cm）において高い傾向がみられたが、有意な差は認められなかった。星野ら（1985）は、試験に乾粉を用いていることから、土中における発芽の影響があったと考えられた。

藤代ら（1988）は催芽種子を播種深度の異なる条件に播種した場合の土中出芽（苗立ち）を調査し、アメリカ・イタリア品種群に苗立ち率の高い品種があり、半矮性印度型品種群は土中出芽率が著しく劣っていることを報告している。本研究においてもイタリア・ロシアの品種群、

表6 室内検定による遺伝資源の評価

原産地	品種名	玄米長幅比	フェノール反応	出芽率(%)	原産地	品種名	玄米長幅比	フェノール反応	出芽率(%)
A	中生白毛1号	1.74	無	95	B	むさしこがね	1.72	無	75
B	大国早生	1.55	無	93	C	NAMPUNG	2.24	無	75
A	奈良錦	1.66	無	90	A	六日早生	1.77	無	73
A	上総	1.67	無	90	A	染分-2	1.65	無	73
F	Krasznodarec5001	2.11	無	90	A	女洪	1.66	無	73
A	藪撰	1.50	無	88	B	アキニシキ	1.82	無	73
A	北川	1.58	無	88	F	Lido	2.23	無	73
A	早生愛国30号	1.58	無	88	A	畝傍	1.74	無	70
A	真珠	1.69	無	88	A	愛国6号	1.53	無	70
A	信濃糯1号	1.81	無	88	B	愛知旭	1.74	無	70
A	上総コボレ	1.55	無	88	B	コシヒカリ	1.72	無	70
B	日本晴	1.83	無	88	F	Monticelli	1.87	無	70
B	大空	1.76	無	88	A	苗栗37号	1.81	無	68
B	トドロキワセ	1.76	無	88	A	晩稲旭	1.77	無	68
C	ODAE	1.67	無	88	A	小田珍光	1.67	無	68
C	水原300号	1.90	無	88	A	伊予千石4号	1.57	無	68
A	酒田早生	1.68	無	85	B	サチミノリ	1.86	無	68
A	音選	1.68	無	85	E	TexasFortuna	2.30	無	68
B	北陸148号	1.76	無	85	A	福坊主-2	1.71	無	65
C	SEOLAG	1.75	無	85	A	美濃旭	1.68	無	65
H	オオチカラ	2.19	無	85	A	大和3号	1.68	無	65
A	白藤	1.59	無	83	A	大和1号	1.73	無	65
A	二合半	1.70	無	83	A	五家	1.86	無	65
A	岩手亀ノ尾1号	1.59	無	83	A	銀坊主88号	1.63	無	65
A	寒気不和	1.59	無	83	B	初星	1.82	無	65
A	カラスモチ	1.63	無	83	B	ひとめぼれ	1.76	無	65
F	Ardito	1.61	無	83	B	はやまさり	1.85	無	65
F	Wzbeuskij	2.11	無	83	C	CHIAG	1.59	無	65
A	耐寒性梗	1.71	無	80	F	Romeo	1.91	無	65
A	秋試2号	1.53	無	80	A	早生赤穂76号	1.77	無	63
A	縞坊主27号	1.68	無	80	A	早生関取	1.78	無	63
A	紫糯	1.55	無	80	A	早生愛国96号	1.55	無	63
A	栗柄糯	1.72	無	80	A	初光	1.71	無	63
A	関山	1.59	無	80	A	山崎糯	1.56	無	63
B	初まさり		無	80	B	サオトメ	1.75	無	63
B	イナバワセ	1.82	無	80	C	DOBONG	1.76	無	63
E	M401	2.21	無	80	A	善光寺もち	1.55	無	60
F	Cigaron	1.83	無	80	A	ヒエリ	2.12	無	60
A	太田錦	1.83	無	78	B	ミネアサヒ	1.68	無	60
B	新2号	1.72	無	78	B	コチヒビキ	1.72	無	60
B	ギンマサリ	1.70	無	78	C	水原295号	1.82	無	60
B	キヌヒカリ	1.70	無	78	F	Ticinese	1.83	無	60
F	Belozernij	1.81	無	78	A	北陸12号	1.81	無	58
F	ItalicaLivorno	2.11	無	78	A	小腹30号	1.86	無	58
A	北海道もち	1.83	無	75	A	京都旭	1.69	無	58
A	中もち(モチ)	1.86	無	75	A	宮神力	1.71	無	58
A	京都神力	1.71	無	75	A	愛国-2	1.63	無	58
A	一尺穂	1.56	無	75	A	愛亀	1.68	無	58
B	農林1号	1.69	無	75	B	ヤマビコ	1.83	無	58
B	石狩白毛	1.58	無	75	B	フジミノリ	1.89	無	58
B	青い空		無	58	B	ハナエチゼン		無	45
C	DONGJIN	1.69	無	58	D	新青矮1号	2.31	有	45
F	Ringo	2.39	無	58	A	雄町3号	1.75	無	43
A	無葉舌稲	1.67	無	55	A	田中錦	1.44	無	43
A	北光	1.69	無	55	A	中生神力	1.65	無	43

表 6 室内検定による遺伝資源の評価 (つづき)

原産地	品種名	玄米長幅比	フェノール反応	出芽率 (%)	原産地	品種名	玄米長幅比	フェノール反応	出芽率 (%)
A	豊国	1.71	無	55	B	レイホウ	1.76	無	43
A	日の出選	1.78	無	55	A	宝	1.68	無	40
A	早生愛国3号	1.63	無	55	A	道後早生-2	1.77	無	40
A	染分-1	1.65	無	55	A	撰一	1.59	無	40
A	志太糯	1.56	無	55	A	銀坊主151号	1.57	無	40
A	愛媛水稻	1.66	無	55	B	農林22号	1.80	無	40
B	フクヒカリ	1.83	無	55	B	北陸149号		無	40
B	はなの舞	1.75	無	55	C	密陽30号	2.04	有	40
B	トヨニシキ	1.82	無	55	F	Arborio	2.21	無	40
B	あきたこまち	1.82	無	55	B	越路早生	1.86	無	38
C	SEONJIN	1.85	有	55	B	ニホンマサリ	1.86	無	38
D	吉粳60	1.73	無	55	C	SAEGWANG	1.86	無	38
D	墾農6号	1.71	無	55	D	珍新矮4号	2.07	有	38
F	Anseatico	2.48	無	55	D	矮脚南特	2.07	有	38
F	Roma	2.33	無	55	G	PTB29-2	2.38	有	38
A	病班稲	1.73	無	53	G	Silewah	2.43	有	38
A	奈良錦石1号	1.67	無	53	A	奈良雄町1号	1.58	無	35
A	中生銀坊主38号	1.58	無	53	B	ササシグレ	1.73	無	35
A	金作糯	1.56	無	53	C	水原295号	1.82	無	35
A	畿内早生91号	1.58	無	53	D	Ragasu	1.93	有	35
B	アキチカラ		無	53	A	雄町撰立	1.96	無	33
D	工国7号	1.56	無	53	A	栃木撰一1号	1.81	無	33
E	M201	2.23	無	53	A	相西31号	1.44	無	33
A	福坊主-1	1.71	無	50	A	早生銀坊主	1.67	無	33
A	福島糯	1.58	無	50	B	藤坂5号	1.70	無	33
A	短銀坊主	1.66	無	50	D	大理早秈	2.30	無	33
A	神徳	1.66	無	50	D	青二矮	2.19	有	33
A	畿内神力2号	1.68	無	50	E	S201		無	33
B	農林29号	1.83	無	50	A	道後早生-1	1.77	無	30
B	農林22号	1.80	無	50	A	竹芳	1.74	無	30
B	農林1号	1.69	無	50	A	大和錦18号	1.74	無	30
B	アキヒカリ	1.79	無	50	A	黄笹	1.58	無	30
A	富士	1.60	無	48	A	黄稲	1.65	無	30
A	黒いね	1.50	無	48	B	陸羽132号	1.78	無	30
A	高農35号	1.63	無	48	B	レイメイ	1.76	無	30
A	畿内中生4号	1.66	無	48	C	水原251号	2.28	有	30
B	農林29号	1.83	無	48	D	農桂4号	2.11	有	30
B	はなひかり		無	48	D	紅410	2.62	有	30
B	ササニシキ	1.82	無	48	D	広場矮6号	2.07	有	30
D	工国7号	1.55	無	48	D	青二矮	2.19	有	30
E	M202	2.15	無	48	F	Arlorio	2.27	無	30
F	Cigalon	1.83	無	48	A	農林3号	1.81	無	28
A	明德	1.71	無	45	B	ハマアサヒ	1.79	無	28
A	愛国-1	1.63	無	45	B	コガネマサリ	1.86	無	28
B	農林8号	1.96	無	45	D	桂朝2号	1.89	有	28
B	上育395号		無	45	A	滋賀寿8号	1.69	無	25
B	マンゲツモチ	1.66	無	45	A	紫矮型稲	1.91	無	25
A	銀坊主	1.86	無	25	C	密陽22号	3.00	有	5
A	関東6号	1.92	無	25	C	裡里327号	2.46	有	5
B	ヨネシロ		無	25	C	裡里338号	2.38	有	5
D	紅梅早3号	2.00	有	25	D	IR661	3.04	無	5
E	TexasBlueBonnet	3.33	無	25	D	台中育204号	3.27	有	5
E	Lemont	3.00	無	25	D	桂朝2号	1.89	有	5
F	CH-D			25	E	Bonnet73	3.50	有	5
F	Sessia			25	F	Europa	2.32	有	5

表6 室内検定による遺伝資源の評価 (つづき)

原産地	品種名	玄米長幅比	フェノール反応	出芽率 (%)	原産地	品種名	玄米長幅比	フェノール反応	出芽率 (%)
B	熱研1号		無	23	H	戦捷	1.84	有	5
C	密陽20号	1.96	有	23	C	水原262号	2.19	有	3
D	江陽矮	2.23	有	23	C	裡里347号	2.15	有	3
D	珍新矮4号	2.07	有	23	D	珍江矮13号	2.07	有	3
E	Vista	2.24	無	23	D	青稈黄	2.12	有	3
G	ChinsurhBoro II	2.28	有	23	E	CPSLO-17	3.00	無	3
A	神力もち	1.39	無	20	F	Alorio		無	3
A	恵比寿	2.04	無	20	F	Ballila	1.77	無	3
B	ヒノヒカリ	1.72	無	20	C	密陽49号	2.52	有	0
C	来敬	2.32	有	20	C	水原287号	2.61	有	0
C	密陽21号	2.07	有	20	C	水原299号	2.20	有	0
F	Wzbeuskij			20	C	密陽30号	2.04	有	0
A	奈良錦石	1.67	無	18	C	水原251号	2.28	有	0
B	熱研2号		無	18	C	来敬	2.32	有	0
C	密陽54号	2.35	有	18	C	密陽21号	2.07	有	0
F	Duborskij	1.81	無	18	C	魯豊	2.68	有	0
G	PTB29-1	2.38	有	18	C	密陽46号	2.19	有	0
G	Kasalath		有	18	C	BAEGYANGBYEO	2.07	有	0
D	脚南特	2.07	有	17	C	水原258号	2.07	有	0
A	竹成17号	1.67	無	15	D	南京11号	2.04	有	0
B	ユメヒカリ	1.75	無	15	D	建梅	2.00	有	0
C	密陽42号	1.93	有	15	D	建梅矮	2.00	有	0
D	江陽矮	2.23	有	15	D	二九矮4号	1.89	有	0
D	七一早	2.15	有	15	D	珍江3号	2.07	有	0
D	竹菲10号	2.84	有	15	E	Saturn	2.27	有	0
H	ワラベハタモチ	1.80	有	15	F	Ribe			0
C	密陽23号	2.46	有	13	F	Balilla		無	0
D	広場6号	2.07	有	13	G	LakhiJhota	1.67	無	0
D	二九青	2.07	有	13	G	Dular	2.48	無	0
E	Starbonnet	3.24	無	13	G	Kalchani		無	0
E	Bonnet	3.50	有	13	G	N22	2.25	無	0
H	KinandangPuti	2.62	有	13	G	Mudo			0
C	太白	2.61	有	10	G	Phulchali			0
D	K選4号	2.19	有	10	G	Surjankhi	2.67	無	0
D	柳州包芽早	2.10	有	10	H	ハッサクモチ	1.76	有	0
D	台中在来1号	2.07	有	10	H	IR36	3.04	有	0
D	二九4号	1.89	有	10	H	ハタフサモチ	1.80	有	0
G	RassolpurDesi	3.30	無	10	H	ハバタキ	2.20	有	0
G	Chitta	1.74	有	10					
C	水原299号	2.20	有	8					
D	紅410	2.62	有	8					
D	竹菲10号	2.84	有	8					
F	Delta			8					
A	銀坊主15号	1.57	無	5					

原産地分類は以下のように分類した。
A：日本在来種 B：日本栽培種
C：韓国 D：中国
E：アメリカ F：イタリア・ロシア
G：インド・スリランカ・バングラディシュ
H：その他

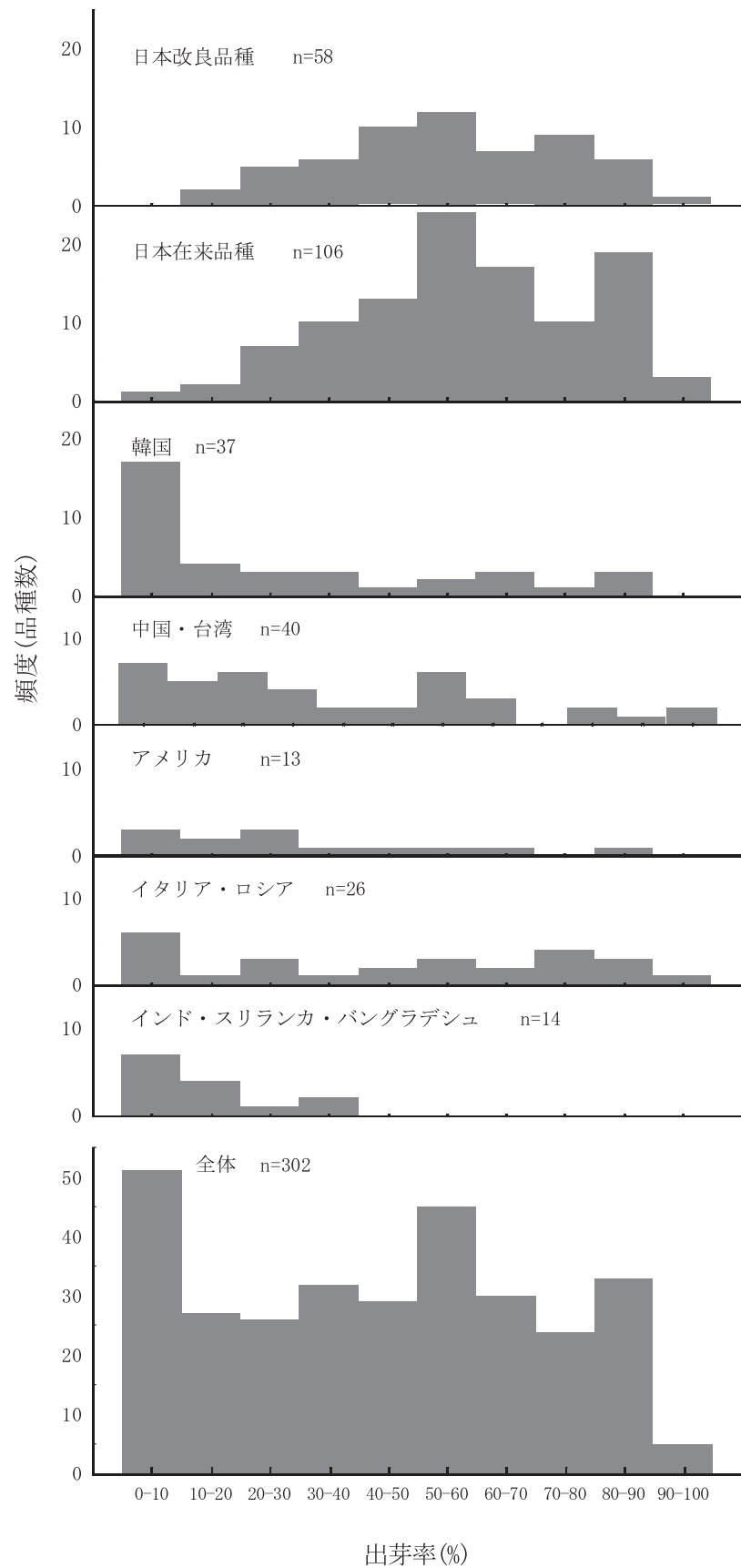


図5 遺伝資源の出芽率の遺伝的多様性.

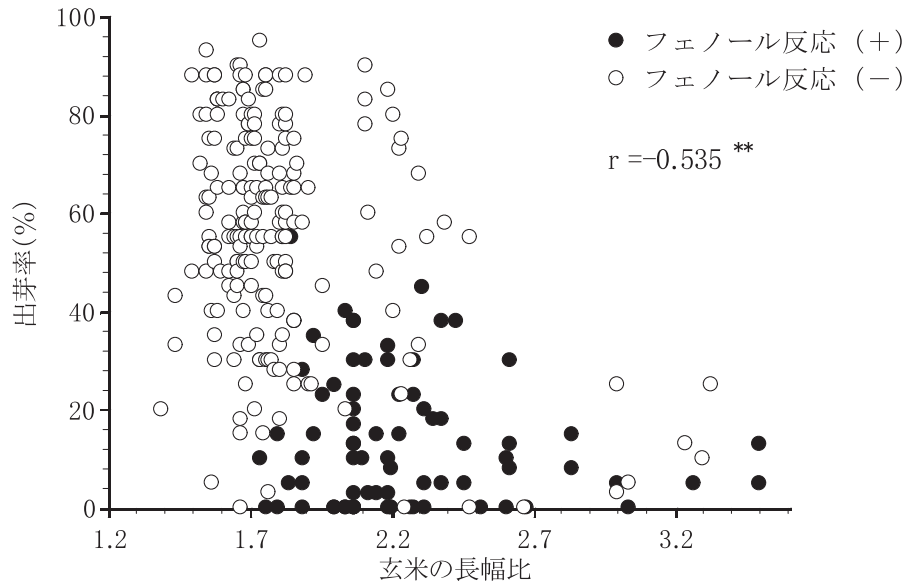


図6 玄米の長幅比、フェノール反応と出芽率との関係。

**：1%水準で有意

アメリカの品種群に土中出芽率の高い品種がみられたが、土中出芽率の低い品種も多数みられ、この報告にあるような品種群による大きな違いは認められなかった。藤代ら（1988）は、試験に供試した品種数が少ないため、品種群の傾向に違いが生じているためと考えられた。

猪谷（1991）は催芽程度を鳩胸状態とし、播種深度の異なる条件で試験を行い、日本産品種が土中出芽率の高いことを報告しているが、香り米の評価を主な目的としているため、遺伝的な多様性を評価するにはいたっていない。

上林ら（1994）は催芽種子を2cmの深さに播種し、土中出芽率（苗立ち率）を調査している。粳の長さと同幅により印度型、ジャワ型、日本型を分類し、印度型の土中出芽率が優れているという結果になっているが、この検定は播種後10日に調査し、試験期間の日平均気温が27.9℃になっている点から、本実験2の高温2cm播種深区に当たると考えられ、温度条件の違いによる苗立ち率の相違が考えられた。また、粳の長さと同幅で生態型をはっきりと区別することは難しく、生態型別に言及している品種のいくつかは生態型の異なる品種と推測でき、その点からも生態型の考察に違いが生じたと考えられる。

Yamauchiら（1993）は北東インド、バングラディッシュの品種に出芽苗立ちに優れた品種が多いことを報告し、山内・上野（1995）は嫌気土中直播で苗立ちと鞘葉の出芽する速さはインド原産の品種ASD 1が最も優れているとしている。本研究で、そのうちのN22、DA23、FR13A、ASD 1を供試した結果では、土中出芽率が低い結果であった。フィリピンと日本では、土壌条件、環境条件がかなり異なっていることが影響していると考えられる。Saka and Izawa（1999）は、浮き稲品種のAswinaの土中出芽性が優れていると報告しているが、Aswinaは極晩生で採種できず、検定は行えなかった。飯村ら（1995）の報告では、供試品種が少ないが日本稲の還元抵抗性が高い結果であった。以上のことから、Aswinaの結果は不明であるが、日本型品種の方が印度型品種に比べ高い土中出芽性を持つと考えられた。

また、遺伝資源の評価の結果から土中出芽性に幅広い変異があることは、福田ら（1997）の報告において13カ所のQTLが検出されていることからわかるように、遺伝的に複雑な要因に支配されていることが推測された。

2 圃場検定における遺伝資源探索

室内検定において、高い出芽率を示した品種群や、土中出芽性に優れていると報告されている品種について、さらに交配親として利用可能なものを選定するために圃場検定で探索した。

1) 材料及び方法

Ⅲ-1の結果から土中出芽率の高い遺伝資源が期待されるロシア原産の遺伝資源と、これまでほとんど検定されていないネパール原産の遺伝資源および土中出芽率が高かったTa Hung Ku、Arozz da Terra、Dunghan Shali、Italica Livornoを供試した。農業生物資源研究所のジーンバンク貯蔵種子からロシア原産の品種47、ネパール原産の品種50の計97品種を導入して用いた。また、比較品種としてキヌヒカリ、ハバタキの2品種を供試した。種子は前年に採種し、乾燥したのち室温で保存した。室内検定には全品種を供試し、圃場検定には室内検定で50%以上の土中出芽率を示した品種および比較品種のキヌヒカリ、ハバタキを供試した。試験方法はⅡ-1,2で述べた方法で、圃場検定は1997年4月28日に播種した。室内検定は2反復、圃場検定は3反復とした。

2) 結果及び考察

ロシアおよびネパール原産の遺伝資源の室内検定の結果、土中出芽率が低い品種が多く、土中出芽率が50%以上の品種は28品種であった。室内検定で98%と高い土中出芽率を示した品種はAMBARBU BELYI、KAEU N 16、UZ ROSZ 2691であった(表7)。圃場検定には室内検定で選抜された28品種とTa Hung Ku、Arozz da Terra、Dunghan Shali、Italica Livornoおよび比較の2品種を供試した。

圃場検定の結果、1996年、1997年の両年で供試した6品種をみると、1996年の結果より全体に高い土中出芽率を示した。これは、1996年より1997年の水温が高めに推移しているため、気象条件の違いによるものと考えられた(図7、表8)。

圃場検定で高い土中出芽率を示した品種はTa Hung Ku、KAEU N 16、KAEU N 17などであった(図8)。室内検定における土中出芽率と圃場検定における土中出芽率の間の相関係数は0.668となり、1%水準で有意な相関が認められた(図9)。

Arroz da Terra、Italica Livornoは土中出芽性および苗立ち性に優れていることが知られている。近年では、Ogiwaraら(2001)が播種深度約4mmの条件において試験を行いArroz da Terraが最も出芽率が高い結果となっている。また、萩原(1993)は播種深度2cmの試験の結果を報告しているが、17℃条件においてはArroz da Terra、KAEU N 17とコシヒカリの差は認められず、Italica Livornoはコシヒカリより有意に土中出芽率が高い結果となり、20℃条件においてはArroz da Terra、Italica Livornoとコシヒカリの間に有意な差が認められず、逆にKAEU N 17はコシヒカリより有意に土中出芽率が高い結果となっている。本実験における播種後10日間の平均水温は16.4℃(1996年)、18.2℃(1997年)であった。試験条件が異なるが、コシヒカリとキヌヒカリがほぼ同じ土中出芽率とすると、Arroz da Terra、Italica Livornoとコシヒカリについては、萩原(1993)の結果とほぼ同様の結果になっていると考えられた。

温度条件の違う土中出芽率の間に高い相関関係が認められ、本試験における土中出芽率の評価は、温度条件の違いによる土中出芽率の違いを考慮していないが、温度条件の違いによって土中出芽率が異なる傾向を示した品種も認められたことから、土中出芽性の評価は、温度条件も考慮する必要があると考えられた。

Ta Hung Kuは気象条件の異なる2年間の圃場検定の結果において、Arroz da Terra、Italica LivornoおよびKAEU N 17より高い土中出芽率であり、温度条件の違いによらず日本栽培稲のキヌヒカリより有意に高いため、これまでに報告されている土中出芽性の遺伝資源より優れていると考えられた。

3 まとめ

土中出芽性および苗立ち性の遺伝資源についての報告は数多くあるが、土中出芽性の評価方法が異なるため、直接の比較は不可能である。そこで遺伝的変異を室内検定で評価し、世界の原産地ごとの傾向を明らかにした。また、粒形とフェノール反応の調査の結果もあわせ、日本型品種は印度型品種より土中出芽性が優れてい

ると考えられた。

Ta Hung Kuは気象条件の異なる2年間の圃場検定の結果においてArroz da Terra、Itálica LivornoおよびKAEU N 17より高い土中出芽率であり、温度条件の違いによらず、日本栽培稲のキヌヒカリより有意に高いため、これまでに報告されている土中出芽性の遺伝資源より優れていると考えられ、有望な交配親として選定した。

表7 ロシアおよびネパール原産地の遺伝資源の室内検定による評価

原産地	品 種 名	出芽率 (%)	原産地	品 種 名	出芽率 (%)
ロシア	AMBARBU BELYI	98 ±3	ロシア	KAEU N 751	10 ±10
ロシア	KAEU N 16	98 ±3	ロシア	PRIMORSKIJ 10	10 ±5
ロシア	UZ ROSZ 269	98 ±3	ネパール	BUNGDANGE	8 ±8
ロシア	UZROS 9	95 ±5	ネパール	PARWANIPUR 1	8 ±8
ロシア	AL KYLCYK	93 ±3	ネパール	COL/NEPAL/7	8 ±8
ロシア	KAEU N 101	93 ±3	ネパール	COL/NEPAL/843-15 (NEPAL 19)	8 ±8
ロシア	KAEU N 1273	93 ±3	ネパール	COL/NEPAL/843-4 (NEPAL 18)	8 ±8
ロシア	KAEU N 632	93 ±8	ネパール	JENA 027	8 ±8
ロシア	KAEU N 635	90 ±10	ネパール	JENA 031	8 ±8
ロシア	KRASNODARSKIJ 424	90 ±5	ネパール	JENA 035	8 ±8
ロシア	US TOBINSKIJ (3948)	90 ±10	ロシア	KAEU N 1272	5 ±5
ロシア	DOUSKIJ 2	88 ±8	ネパール	GAIYA DHAN TOSAR	5 ±5
ロシア	DONSZKOJ 2	83 ±13	ネパール	GHAIYA	5 ±5
ロシア	ALAKULSKIJ	80 ±5	ネパール	JAYA	5 ±5
ロシア	KAEU N 17	80 ±5	ネパール	TAULI (WHITE)	5 ±5
ロシア	KARATAISKII	80 ±5	ネパール	COL/NEPAL/12	5 ±5
ロシア	GNOM	80 ±10	ネパール	COL/NEPAL/794-1 (NEPAL 13)	5 ±5
ロシア	USTOBISKIJ	80 ±10	ネパール	COL/NEPAL/796-13 (NEPAL 15)	5 ±5
ロシア	UZROS 269	78 ±13	ネパール	JENA 026	5 ±5
ロシア	KAEU N 1255	70 ±10	ネパール	JENA 030	5 ±5
ロシア	KAEU N 648B	70 ±5	ネパール	JENA 034	5 ±5
ロシア	DUBOVSKIJ 129	68 ±8	ネパール	JENA 036	5 ±5
ロシア	KYRNIYZY	63 ±8	ネパール	JENA 038	5 ±5
ロシア	KAEU N 651	60 ±10	ロシア	AKULA	3 ±3
ロシア	KAEU N 1260	53 ±8	ネパール	DVDH RAJ (RED)	3 ±3
ロシア	BELYI SKOUS	50 ±10	ネパール	DVDH RAJ (WHITE)	3 ±3
ロシア	DUBOVSKIJ	50 ±5	ネパール	GAIYA RATE BHASUNAMATHE	3 ±3
ロシア	UZROS 59	50 ±5	ネパール	TAULI (RED)	3 ±3
ロシア	NAHODKA	48 ±13	ネパール	BOTE TAULI	3 ±3
ロシア	SKOROSPELYJ 8 (4429)	48 ±13	ネパール	COL/NEPAL/796-2 (NEPAL 14)	3 ±3
ロシア	SPUTNIK (4573)	40 ±10	ネパール	COL/NEPAL/9	3 ±3
ロシア	WZROS 245	40 ±10	ネパール	JENA 015	3 ±3
ネパール	ATTE	38 ±13	ネパール	JENA 024	3 ±3
ロシア	AZROS 637	33 ±13	ネパール	JENA 039	3 ±3
ロシア	WZBEUSKIJ 2	30 ±15	ネパール	JENA 042	3 ±3
ロシア	DONSZKOJ 63	30 ±10	ネパール	COL/NEPAL/10	0 ±0
ロシア	UZROS 770 (3765)	30 ±15	ネパール	COL/NEPAL/11	0 ±0
ネパール	JUMALI	30 ±10	ネパール	COL/NEPAL/2	0 ±0
ロシア	JAHANOV	28 ±13	ネパール	COL/NEPAL/3	0 ±0
ネパール	BHUI DHAN	28 ±13	ネパール	COL/NEPAL/6	0 ±0

表 7 ロシアおよびネパール原産地の遺伝資源の室内検定による評価 (つづき)

原産地	品 種 名	出芽率 (%)	原産地	品 種 名	出芽率 (%)
ロシア	DALNEVOSTOCNYI 5 (3812)	23 ±13	ネパール	COL/NEPAL/796-14 (NEPAL 16)	0 ±0
ロシア	KUBAN 3	20 ±15	ネパール	COL/NEPAL/8	0 ±0
ネパール	COL/NEPAL/1	20 ±10	ネパール	COL/NEPAL/FUMEI (NEPAL 22)	0 ±0
ネパール	JENA 021	20 ±10	ネパール	JENA 028	0 ±0
ネパール	THAPACHINIYA	18 ±13	ネパール	JENA 032	0 ±0
ロシア	CHAMPO	13 ±13	ネパール	JENA 033	0 ±0
ロシア	TCHELAI	13 ±13	ネパール	JENA 037	0 ±0
ロシア	SANTCHEZSKIJ 52	13 ±13	ネパール	JENA 041	0 ±0
ロシア	KAEU N 1261	10 ±5			

平均値 ± 標準誤差

表 8 遺伝資源の圃場検定による評価

品種名	農業生物資源 研究所 ジーンバンク 保存番号	出芽率 (%)	
		1996	1997
Ta Hung Ku	-	33 a	48 a
KAEU N 16	00015465		42 ab
KAEU N 17	00015429		42 ab
KAEU N 648B	00015496		38 abc
ALAKULSKIJ	00015474		38 abc
Arroz da Terra	-	17 bc	38 abc
KAEU N 1255	00015452		37 abc
AL KYLCYK	00015476		37 abc
UZROS 269	00015512		34 bcd
KAEU N 101	00015456		34 bcd
UZROS 9	00015506		33 bcde
Dunghan Shali	-	33 a	32 bcdef
Italica Livorno	-	23 b	31 bcdefg
KAEU N 632	00015461		30 cdefgh
KAEU N 635	00015462		30 cdefgh
DOUSKIJ 2	00015473		29 cdefgh
Kibi	-	15 bcd	
Hei Chiao Chui Li Hsiang Keng	-	11 cde	
Maratteli	-	9 cdef	
赤米	-	6 def	
攀農 1 号	-	5 ef	
Jumula 2	-	4 ef	
麗江新団黒谷	-	3 ef	
Arborio	-	2 ef	
コシヒカリ	-	2 ef	
キヌヒカリ	-	2 ef	28 cdefghi
USTOBISKIJ	00015503		27 cdefghij
KARATAISKII	00015436		27 cdefghij
KYRNIZY	00015475		24 defghijk
AMBARBU BELYI	00015433		23 defghijk
US TOBINSKIJ (3948)	00015447		22 efghijk
DONSZKOJ 2	00015523		21 fghijk
KAEU N 1273	00015460		20 ghijkl
KRASNODARSKIJ 424	00015522		19 hijklm
UZ ROSZ 269	00015435		17 ijklm
KAEU N 651	00015453		16 jklm
KAEU N 1260	00015454		15 klm
GNOM	00015529		13 klm

表8 遺伝資源の圃場検定による評価（つづき）

品種名	農業生物資源	出芽率 (%)	
	研究所		
	ジーンバンク	1996	1997
	保存番号		
DUBOVSKIJ 129	00015455		9 lmn
BELIYI SKOUS	00015434		8 mn
DUBOVSKIJ	00015515		1 n
UZROS 59	00015510		0 n
どんとこい	-	1 f	
Kokuhorose	-	1 f	
赤毛	-	1 f	
M401	-	0 f	
Tam Cau 9A	-	0 f	
Rojofotsy 738	-	0 f	
FR13A	-	0 f	
DA23	-	0 f	
ハバタキ	-	0 f	0 n

同一英字の付いた値間には5%水準での有意差がない（ダンカン法）。
 ジーンバンク配付種子以外の品種は、保存番号を記載していない。

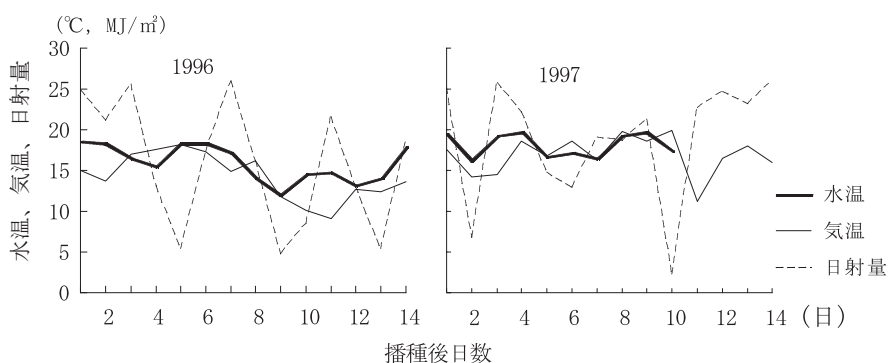


図7 1996, 1997年の気象条件
 日射量は、旧北陸農試気象研のデータ



図 8 圃場検定の様子(1997年).

品種 : Ta Hung Ku(1)、Arroz da Terra(3)、キヌヒカリ(4)、KAEU N 16(6)
落水して調査した後

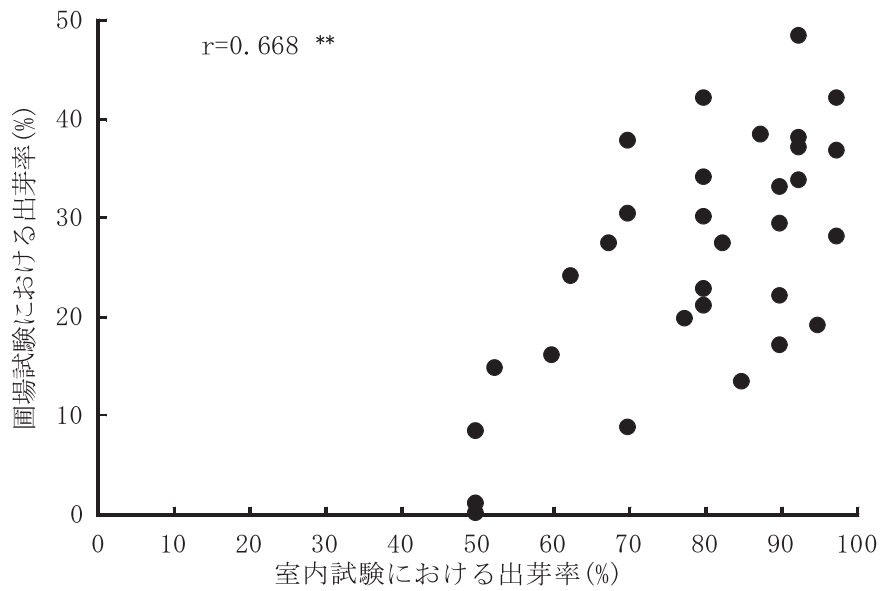


図 9 圃場検定と室内検定における出芽率の相関(1997年).

** : 1%水準で有意

IV 土中出芽性に優れた系統の育成

土中出芽性に優れた遺伝資源を探索できたことから、ここでは土中出芽性に優れた実用品種の育成を目的に、これらの各遺伝資源と日本の栽培品種で直播栽培向きの品種を母本として交配を行い、その交配後代を選抜し、土中出芽性とその他農業特性の優れた品種の育成を試みた。

1 遺伝資源「赤米」の交配材料における選抜

1992年当時に、土中出芽性に優れた遺伝資源として考えられていたものは赤米などの在来日本稲であった（星野ら 1985）。そこで、1992年に倒伏などの点から直播向きと考えられていたキヌヒカリを母本に、星野ら（1985）の報告においてももっとも有望であった赤米との交配後代から品種育成を試みた。

1) 材料及び方法

土中出芽性に優れた遺伝資源として、日本の在来品種である赤米（赤米No.4、ジーンバンク整理番号00010718と思われる）、強稈で良食味の実用品種キヌヒカリを用いた。

1992年にキヌヒカリ／赤米の交配を行い、1993年に圃場でF₁を養成した。1994年、F₂約500個体から立毛選抜し、以後、1系統約50個体の系統栽培を行い、選抜・固定をはかった。1998年にF₆選抜系統を生産力検定試験に供試した。

土中出芽性の評価は、II-1,2の方法で行った。圃場検定の播種は1997年1998年とも4月下旬に行った。生産力検定試験は、湛水土中直播栽培では苗立ちの良否により収量性が大きく変動することから、表面散播湛水直播栽培で行った。1998年5月2日に1区11m²に200粒/m²の播種量で播種し、施肥は基肥チッ素5kg/10a、穂肥チッ素2kg/10aで行った。これは移植栽培での標準施肥量とほぼ同一量である。ボーダーを除き1区約4m²を地際から刈り取り収量調査

を行った。試験はすべて2反復で行った。

2) 結果及び考察

赤米は極長稈で穂発芽しやすく脱粒しやすい特性をもつ。1994年に、F₂約500個体から短稈の10個体を選抜した。1995年の室内検定の結果、10系統から土中出芽率85%の2系統、75%の2系統を選抜し、他に玄米品質が優れていた2系統とあわせて計6系統を選抜した。1996年には圃場での選抜で分離が大きい2系統群を棄却し、4系統群8系統を室内検定に供試した。その結果から、キヌヒカリより出芽率が高い5系統を選抜した。1997年に再度圃場検定を行い、5系統群中3系統群から固定した4系統を選抜し、収6357、収6358、収6359、収6360の系統名を付し、次年度の試験に供試した。これらはいずれも、1995年の検定において最も高い出芽率を示した2個体に由来していた（表9）。

1998年、表面散播湛水直播による生産力検定試験に上記の4系統を供試した。4系統とも立毛調査において特に収量が劣ったが、圃場検定の結果から土中出芽率の高い収6357と収6358を選抜した。苗立ち率はキヌヒカリが85%、収6357が93%、収6358が76%となり、稈長はキヌヒカリ並の短稈であるが、キヌヒカリ対比の収量が68%、76%とかなり収量が低いことから、さらに改良を行う必要があると考えられた（表10）。

交配開始当時、初期伸長が重要との考えから、長稈品種が土中出芽では有利であり、短稈で優れた土中出芽性をもつ系統を選抜することは難しいと考えていた。しかし、個体選抜から系統選抜において、一貫してキヌヒカリ並の稈長の個体を選抜した結果、2回の土中出芽性の検定において比較的高い確率で土中出芽率が高い系統を選抜できた。

選抜した収6357と収6358は収量性の問題はあるが、遺伝資源の赤米より短稈で脱粒性が改良されていることから、土中出芽性に優れた交配

母本として用いられている。今後、その交配後 種が育成される可能性がある。
代から農業特性に優れ、土中出芽性に優れた品

表9 キヌヒカリ/赤米の交配後代における選抜経過

1995年	F ₃		1996年	F ₄		1997年	F ₅		1998年	F ₆
系統 番号	室内 検定 (%)		系統 番号	室内 検定 (%)		系統 番号	圃場 検定 (%)		系統名	圃場 検定 (%)
1992	70	棄却								
1994	75	選抜	分離		棄却					
1995	63	棄却								
1996	85	選抜	1906	70	選抜	5002~5008	68±4	選抜	収6357	12±5
			1908	57	選抜	5009~5015	57±7	選抜	収6358	12±8
									収6359	9±3
1997	85	選抜	1910	67	選抜	5017~5023	62±7	棄却		
			1912	70	選抜	5024~5030	60±10	棄却		
			1913	80	選抜	5032~5038	72±7	選抜	収6360	3±0
1998	75	選抜	1916	37	棄却					
			1918	17	棄却					
1999	63	棄却								
2000	53	棄却								
2001	68	選抜	1925	40	棄却					
2002	70	選抜	分離		棄却					
赤米	80		赤米	63		赤米	67±8		赤米	—
キヌヒカリ	65		キヌヒカリ	40		キヌヒカリ	55±7		キヌヒカリ	3±2

1997年の圃場検定は播種深度約1cmのデータ、選抜個体の混合種子を供試。出芽率は平均値±標準誤差。

表10 直播栽培生産力検定試験結果 (1998年、キヌヒカリ/赤米の交配後代)

品種名	苗立ち 率 (%)	出穂期 (月.日)	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本/m ²)	玄米重 (kg/a)	標準 比率	倒伏 程度 (0~5)	脱粒性
収6357	93	8.14	76	19.2	502	34.9	68	1.5	難
収6358	76	8.06	77	16.6	550	39.4	76	2.0	難
キヌヒカリ	85	8.06	76	16.1	598	51.6	100	3.0	難

倒伏程度は0(無)~5(甚)の6段階。

2 遺伝資源「Arroz da Terra」の交配材料 における選抜

小高・安部(1989)が低温条件下で苗立ちに最も優れた品種としてArroz da Terraを探索したことから、1994年からこの品種を用いて交配を開始した。1996年に土中出芽性に優れた遺伝資源と評価し、強稈で良食味であるどんとこ

いを母本に、交配後代から土中出芽性に優れた品種育成を試みた。

1) 材料及び方法

土中出芽性に優れた遺伝資源として、ポルトガル品種であるArroz da Terra、強稈で良食味の実用品種どんとこいを用いた。

1995年にどんとこいと北陸148号(後のどん

とこい) / Arroz da TerraのF₁との交配を行った(以降、交配組合せはどんとこい/北陸148号 / Arroz da Terraと記述する)。温室でB₁F₁を28個体、B₁F₂約360個体を養成したのち、1996年に苗代放置栽培でB₁F₃約2,000個体を養成した。1997年、B₁F₄約3,800個体から立毛選抜し、以後、1系統約50個体の系統栽培を行い、選抜・固定をはかった。2000年にB₁F₇選抜系統を生産力検定試験に供試した。

土中出芽性の評価はII-2の方法で行い、5月上旬に播種した。生産力検定試験は表面散播湛水直播栽培で行った。2000年4月26日に1区11m²に160粒/m²の播種量で播種し、施肥は基肥チッ素5kg/10a、穂肥チッ素2kg/10aで行った。ボーダーを除き1区約4m²を地際から刈り取り収量調査を行った。試験はすべて2反復で行った。

2) 結果及び考察

Arroz da Terraは極早生で、短稈、穂発芽しやすく、脱粒しやすいという特性をもつ。どんとこい/北陸148号 / Arroz da Terraの交配後代B₁F₄約3,800個体から124個体を選抜した。以後、主に葉いもち圃場抵抗性、玄米品質、倒

伏程度による選抜を行い、4系統を選抜し、収6470、収6471、収6475、収6477の系統名を付し、次年度の試験に供試した(表11)。

圃場において多くの後代系統に葉いもちが多発し、Arroz da Terraはいもち病に問題がある遺伝資源であることが分かった。また、玄米品質がかなり劣り、交配後代系統間系統内における分離も大きく、良質で固定した系統を選抜するのは困難であった。また、大粒赤米の個体・系統が多いことが問題であった。

2000年の圃場検定の結果、いずれの選抜系統もどんとこいやキヌヒカリと出芽率に差がない結果であり、直播生産力検定では赤米を母本にした後代と同様にすべての選抜系統が少収であった(表12)。

キヌヒカリ/赤米の組合せの場合は、F₂集団から選抜した10個の短稈個体の中に出芽率が高い2個体があり、固定化を進めて出芽性に優れた短稈系統を選抜できた。しかし、Arroz da Terraの交配後代においては分離が多く、圃場でいもち病が多発し、出芽性に優れた系統を選抜できなかった。そのため、雑種集団の規模を大きくし出芽率の高い個体の数を多くすることが必要と考えられた。

表11 どんとこい/北陸148号 / Arroz da Terraの交配後代における選抜経過

	1997年	1998年	1999年	2000年	
	B ₁ F ₄ 個体選抜	B ₁ F ₅ 系統選抜	B ₁ F ₆ 系統選抜	B ₁ F ₇	
供試数	3800	124	35	選抜系統	圃場検定(%)
				収6471	53 ± 10
				収6475	58 ± 1
				収6470	51 ± 6
				収6477	60 ± 17
選抜数	124	7	4	どんとこい	57 ± 1

出芽率は平均値 ± 標準誤差。

表12 直播栽培生産力検定試験結果 (2000年、どんとこい／北陸148号／Arroz da Terraの交配後代)

品種名	苗立ち率 (%)	出穂期 (月.日)	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本/㎡)	玄米重 (kg/a)	標準比率	倒伏程度 (0～5)	脱粒性
収6471	53	7.28	62	15.8	436	52.2	90	1.0	難
収6475	50	7.29	55	16.7	592	49.8	86	2.5	難
はえぬき	54	7.31	65	17.0	558	57.8	100	2.0	難
収6470	70	7.31	62	17.5	480	40.6	92	0.0	難
収6477	76	8.01	58	17.1	464	39.1	89	0.0	難
キヌヒカリ	65	8.01	63	17.0	424	44.2	100	0.0	難
どんとこい	75	8.02	59	16.8	470	55.8	126	0.0	難

倒伏程度は0(無)～5(甚)の6段階。

3 遺伝資源「Dunghan Shali」の交配材料における選抜

小高・安部(1989)は低温条件下で苗立ちに優れた品種の一つとしてDunghan Shaliを探索し、北海道クリーンバイオ(株)において、GB式苗立ち検定器(景浦・新橋 1989、景浦 1990a、b)と冷水掛け流し水田を用いて再探索した結果や、田中ら(1990)の報告においてDunghan Shaliの苗立ちが優れている結果があることから、1994年から交配を開始した。1996年に土中出芽性に優れた遺伝資源と評価し(太田ら 2003)、強稈で良食味であるどんとこいを母本に、交配後代から土中出芽性に優れた品種育成を試みた。

1) 材料及び方法

土中出芽性に優れた遺伝資源として、ハンガリー品種であるDunghan Shali、強稈で良食味の実用品種どんとこいを用いた。

1995年にどんとこいと北陸148号(後のどんとこい)/Dunghan ShaliのF₁との交配を行った(以降、交配組合せはどんとこい／北陸148号／Dunghan Shaliと記述する)。1996年にB₁F₁を1個体圃場で養成した後、1997年にB₁F₂約1,600個体とB₁F₃約4,000個体を国際農林水産業研究センター沖縄支所(沖縄県石垣市)で世代促進栽培した。1998年北陸農試でB₁F₄約3,800個体から立毛選抜し、以後、1系統約50個体の系統栽培を行い、選抜・固定をはかった。

2000年にB₁F₆選抜系統を生産力検定試験に供試した。

土中出芽性の評価は、II-2の方法で行い、5月上旬に播種した。生産力検定試験は表面散播湛水直播栽培で行った。2000年4月26日に1区11㎡に160粒/㎡の播種量で播種し、施肥は基肥チッ素5kg/10a、穂肥チッ素2kg/10aで行った。ボーダーを除き1区約4㎡を地際から刈り取り収量調査を行った。試験はすべて2反復で行った。

2) 結果及び考察

Dunghan Shaliは極早生で、短稈、穂発芽しやすく、脱粒しやすいという特性をもつ。どんとこい／北陸148号／Dunghan Shaliの交配後代B₁F₄約3,800個体から19個体を選抜した。以後、主に葉いもち圃場抵抗性、玄米品質、倒伏程度による選抜を行い、2系統を選抜し、収6559、収6620の系統名を付し、次年度の試験に供試した(表13)。

圃場において後代系統に葉いもちが多発し、Dunghan Shaliはいもち病に問題がある遺伝資源であることがわかった。また、玄米品質がかなり劣り、後代系統間系統内における分離も大きく、良質で固定した系統を選抜するのは困難であった。また、短稈でも倒伏しやすい個体・系統が多いことが問題であった。

2000年の圃場検定の結果、いずれの選抜系統もどんとこいやキヌヒカリと土中出芽率に差がない結果であり、直播生産力検定では赤米や

Arroz da Terraを母本にした後代と同様にすべての選抜系統が少収であった(表14)。

B₁F₁交配種子数が少なかったことから、土中出芽性に関する遺伝子を後代に残せなかった。また、交配後代において分離が多く、圃場でい

もち病が多発し、倒伏個体が多かったことから、出芽性に優れた系統を選抜できなかった。そのため、Arroz da Terraの組合せと同様に雑種集団の規模を大きくし土中出芽率の高い個体の数を多くすることが必要と考えられた。

表13 どんとこい/北陸148号/Dunghan Shaliの交配後代における選抜経過

	1998年	1999年	2000年	
	B ₁ F ₄ 個体選抜	B ₁ F ₅ 系統選抜	B ₁ F ₇	
供試数	3800	19	選抜系統	圃場検定(%)
			収6569	52±6
選抜数	19	2	収6620	49±11
			どんとこい	57±1

出芽率は平均値±標準誤差。

表14 直播栽培生産力検定試験結果(2000年、どんとこい/北陸148号/Dunghan Shaliの交配後代)

品種名	苗立ち率 (%)	出穂期 (月・日)	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本/m ²)	玄米重 (kg/a)	標準比率	倒伏程度 (0~5)	脱粒性
収6569	78	7.29	57	17.2	506	45.3	81	0.0	難
はえぬき	69	7.29	63	16.9	608	56.2	100	0.0	難
収6620	68	8.01	67	15.7	646	43.9	94	0.0	難
キノヒカリ	60	8.04	75	17.0	494	46.7	100	1.0	難
どんとこい	68	8.04	68	17.0	552	60.8	130	2.0	難

倒伏程度は0(無)~5(甚)の6段階。

4 遺伝資源「Ta Hung Ku」の単交配材料における選抜

土中出芽性に最も優れた遺伝資源として本研究で選抜したTa Hung Kuと、強稈で良食味であるどんとこいを母本に、交配後代から土中出芽性に優れた品種育成を試みた。

1) 材料及び方法

土中出芽性に優れた遺伝資源として、中国品種であるTa Hung Kuを用いた。片親には強稈で良食味の実用品種どんとこいを用いた。

1996年にどんとこい/Ta Hung Kuの交配を行い、同年温室でF₁を27個体養成した。1997年にF₂を579個体養成し、F₃以後は1系統約50

個体の系統栽培を行い選抜・固定をはかった。2000年にF₅選抜系統を生産力検定試験に供試した。

土中出芽性の評価は、II-2, 3の方法で行った。圃場検定は、1998年、1999年は4月下旬、2000年は5月上旬に播種した。生産力検定試験は表面散播湛水直播栽培で行った。2000年4月26日に1区11m²に160粒/m²の播種量で播種し、施肥は基肥チッ素5kg/10a、穂肥チッ素2kg/10aで行った。ボーダーを除き1区約4m²を地際から刈り取り収量調査を行った。試験はすべて2反復で行った。

2) 結果及び考察

Ta Hung Kuは極早生で長稈、長芒を多数

有し、穂発芽しやすく、脱粒しやすいという劣悪な特性をもつが、2003年の葉いもち特性検定試験から葉いもちに強いという優れた特性をもっていることがわかった。1997年にF₂集団539個体から、穂発芽個体、極晩生個体、不稔個体、弱勢で種子量が少ない個体を除いた371個体を選抜した。1998年に371系統 (F₃) を養成すると同時に、種子量が少ない系統を除く347系統を圃場検定に供試した。圃場検定で出芽率の高い33系統を選抜し、さらにその中から固定度が高い7系統を選抜した。1999年に7系統群35系統 (F₄) を栽培するとともに圃場検定に供試した。その結果、F₃では土中出芽率が高く評価されたものの、F₄では必ずしも高くない系統があった。そこで、2年間ともに土中出芽率の高い2系統を選抜し、収6570、収6621の系統名を付し、次年度の試験に供試した (表15)。

圃場検定では播種深度を制御するのが難しく、播種深度が浅いと出芽性を高く評価する場合がある。F₃世代の圃場検定においても播種深度が浅くなり出芽性を高く評価した系統が選抜された可能性が高い。したがって、今後Ta Hung

Ku並の高出芽系統を選抜するには選抜系統数を多くし、複数年の選抜をする必要があると考えられた。

F₅世代で選抜された2系統、収6570と収6621の土中出芽率は、Ta Hung Kuが74%、どんとこいが57%の時に、それぞれ72、52%となった。また、収6621については土中出芽率に関して分離がみられた。生産力検定の結果、収6570はどんとこい並の短稈で脱粒は難であったが、芒が多く大粒で品質が不良であり、収量はキヌヒカリより少収であった。収6621も収6570とほぼ同様の特性であるが、品質が収6570より優れていた (表16)。

収6570はその後も調査が続けられ、2004年に土中出芽性に優れる中間母本新配付系統北陸P L 3と命名された。北陸P L 3は短稈で脱粒難、強稈で転び型倒伏にも強く、いもち病抵抗性が優れている。穂発芽性は中程度で、玄米品質、食味は不良である (注：平成16年度北陸研究センター水稻育成新配付に関する参考成績書)。したがって、玄米品質、食味、芒についてさらに改良する必要がある。

表15 どんとこい / Ta Hung Kuの交配後代における選抜経過

1998年		F ₃		1999年		F ₄		2000年		F ₅	
系統番号	圃場検定 (%)	系統番号	圃場検定 (%)	室内検定 (%)		系統名	圃場検定 (%)			圃場検定 (%)	
7013	26 ± 11	7111~7115	18 ± 7	60 ± 0	選抜	収6570	72 ± 5				
7338	30 ± 16	7172~7176	13 ± 4	48 ± 22	棄却						
7309	31 ± 20	7166~7170	9 ± 4	40 ± 25	棄却						
7405	34 ± 21	7188~7192	8 ± 3	48 ± 13	棄却						
7203	35 ± 20	7150~7154	10 ± 2	50 ± 12	棄却						
7163	41 ± 21	7128~7132	12 ± 1	40 ± 15	棄却						
7187	45 ± 25	7139~7143	16 ± 5	40 ± 15	選抜	収6621	52 ± 1				
Ta Hung Ku	27 ± 3	Ta Hung Ku	13 ± 4	63 ± 7		Ta Hung Ku	74 ± 3				
どんとこい	6 ± 3	どんとこい	0 ± 0	13 ± 3		どんとこい	57 ± 1				

1999年の検定は選抜個体の混合種子を供試。平均値 ± 標準誤差。

表16 直播栽培生産力検定試験結果（2000年、どんとこい／Ta Hung Kuの交配後代）

品種名	苗立ち率 (%)	出穂期 (月.日)	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本/m ²)	玄米重 (kg/a)	標準比率	玄米品質 (1～9)	倒伏程度 (0～5)	脱粒性
収6570	69	7.30	69	19.6	330	42.3	79	8.0	1.0	難
はえぬき	69	7.29	63	16.9	608	56.2	100	4.5	0.0	難
キヌヒカリ	63	8.03	69	16.7	494	48.5	91	5.5	0.0	難
収6621	63	8.01	66	19.5	386	42.5	91	6.0	0.0	難
キヌヒカリ	60	8.04	75	17.0	494	46.7	100	5.0	1.0	難
どんとこい	68	8.04	68	17.0	552	60.8	130	4.5	2.0	難

倒伏程度は0(無)～5(甚)の6段階。玄米品質は1(上上)～9(下下)の9段階。

5 遺伝資源「Ta Hung Ku」の戻し交配材料における選抜

日本の栽培品種に不良形質の多い遺伝資源から特定の形質を導入する際には戻し交配を行うことが多い。1、2の少数の遺伝子に支配されている形質であれば複数回の戻し交配を行うが、土中出芽性は関与する遺伝子が不明で、そのすべてを確実に選抜して交配を繰り返すことは困難である。そのため、戻し交配を行うことで遺伝変異を少なくし、小規模で優良個体の選抜を可能にする目的で1回だけ戻し交配を行った。Arroz da Terra、Dunghan Shaliを交配に用いた場合には、戻し交配を行ったB₁F₁種子が少なく、不良形質が多いため、土中出芽性に優れた系統を選抜することはできなかった。そのため、B₁F₁種子を多くし、初期世代から土中出芽性の選抜を行い、交配後代から土中出芽性に優れた品種育成を試みた。

1) 材料及び方法

土中出芽性に優れた遺伝資源として、中国品種であるTa Hung Kuを用いた。戻し親には強稈で良食味の実用品種どんとこいを用いた。

1997年にどんとこいとどんとこい／Ta Hung KuのF₁との交配を行った（以降、交配組合せはどんとこい／どんとこい／Ta Hung Kuと記述する）。1998年にB₁F₁を96個体養成した。B₁F₂以後は1系統約50個体の系統栽培を行い、選抜・固定をはかった。2003年にB₁F₆選抜系統を生産力検定試験に供試した。

土中出芽性の評価、生産力検定は単交配の場合と同様に行った。圃場検定は1999年は4月下旬、2000年、2001年は5月上旬に播種した。表面散播湛水直播栽培は緩効性肥料チッ素8kg／10aを施肥し、2003年5月8日に1区約6m²に約7kg／10aの播種量で播種した。ボーダーを除き1区約3m²を地際から刈り取り収量調査を行った。試験はすべて2反復で行った。

2) 結果及び考察

1998年にB₁F₁個体96個体を栽培し、すべての個体を採種した。1999年に96系統(B₁F₂)を栽培、残りの種子で土中出芽性の圃場検定に供試した。1999年は播種後の低温のため土中出芽率は全体的に低い結果であったが、その中からTa Hung Kuより土中出芽率が高かった4系統を選抜した。2000年に4系統群132系統を栽培し、同時に圃場検定に供試した。その結果から7系統を選抜した。2001年に7系統群79系統を栽培し、6系統を選抜した。選抜した6系統のうちほぼ固定した2系統を和系264、和系265と系統名を付し、次年度の試験に供試した。2002年に室内検定でどんとこい10%、Ta Hung Kuが40%の時に、和系264が20%、和系265が33%であった。このため、出芽率の低かった和系264は棄却した。和系265は芒がやや多く少収で品質に問題はあったが選抜した。他に分離系統群から固定した4系統を選抜し、和系373、和系374、和系375、和系376と系統名を付し、次年度の試験に供試した。和系375、和系376については、2000年の圃場検定においてTa Hung Kuよ

り出芽率が高い 1 系統の後代であった (表17)。2003年に和系265、和系373、和系374、和系375、和系376を生産力検定試験に供試した。和系265は少収で芒が多く、土中出芽率も Ta Hung Ku 並に高くはないため棄却した。和系373、和系374もやや少収で、土中出芽率も Ta Hung Ku 並に高くはないため棄却した。

選抜した和系375、和系376は日本晴より出穂期がやや遅く、稈長は長く、穂長は長く、穂数はやや少ない。草型は中間型で、耐倒伏性は中

程度で、脱粒性は難である。日本晴より千粒重はやや重く、大粒で、やや少収である。玄米品質はやや不良の中下である。これら 2 系統は 2000年の圃場検定において、もっとも出芽率が高い系統の後代系統であり、2002年、2003年の室内検定において Ta Hung Ku 並の土中出芽率であった (表18)。したがって、和系375、和系376は Ta Hung Ku の土中出芽性を取り込みながら、脱粒性、稈長 (倒伏)、芒、品質、食味を改良した系統と考えられた。

表17 どんとこい//どんとこい/ Ta Hung Kuの交配後代における選抜経過

1999年		2000年		2001年			2002年		2003年	
系統 番号	B ₁ F ₂ 圃場 検定 (%)	系統 番号	B ₁ F ₃ 圃場 検定 (%)	系統 番号	B ₁ F ₄ 圃場 検定 (%)	室内 検定 (%)	系統 番号	B ₁ F ₅ 室内 検定 (%)	系統名	B ₁ F ₆ 室内 検定 (%)
7014	13±10	7005	72±2	4036	35±14	40±13				
		7006	71±14	4039	45±9	50±10	3727	20±10	和系373	28±8
7015	17±13	高出芽系統なし		棄却						
7070	13±3	7100	71±4	4044	45±3	17±3	3731	33±3	和系265	40±6
				4049	47±9	23±3	3733	20±5	和系374	20±10
				4050	51±14	17±10				
		7107	72±11	棄却						
7072	17±7	7133	75±3	棄却						
		7144	81±3	4075	59±6	57±3	3746	85±5	和系375	60±8
		7147	74±2	棄却			3749	70±0	和系376	58±4
Ta Hung Ku	10±3	Ta Hung Ku	72±3	Ta Hung Ku	65±4	67±7	Ta Hung Ku	40±10	Ta Hung Ku	60±4
どんとこい	1±1	どんとこい	51±8	どんとこい	30±3	3±3	どんとこい	10±10	どんとこい	13±9

出芽率は平均値±標準誤差。

表18 直播栽培生産力検定試験結果 (2003年、どんとこい//どんとこい/ Ta Hung Kuの交配後代)

品種名	苗立ち 率 (%)	出穂期 (月.日)	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本/m ²)	玄米重 (kg/a)	標準 比率	玄米 千粒重 (g)	玄米 品質 (1~9)	倒伏 程度 (0~9)
和系265	58	8.08	69	17.7	392	42.7	88	22.0	5.5	0.0
和系373	58	8.11	70	16.1	443	47.7	98	20.5	5.5	0.0
和系374	61	8.08	66	17.2	356	46.0	94	21.5	5.5	0.0
どんとこい	66	8.16	64	16.8	419	48.7	100	21.7	4.5	0.0
和系375	69	8.27	82	19.2	445	55.5	93	25.0	6.0	4.0
和系376	74	8.26	80	18.9	410	56.0	94	25.0	6.0	5.0
日本晴	66	8.24	75	18.1	556	59.8	100	22.0	4.0	4.0

倒伏程度は 0 (無) ~ 9 (甚) の 10 段階。玄米品質は 1 (上上) ~ 9 (下下) の 9 段階。

6 土中出芽性に優れた選抜系統（和系375）の特性

前節までで、どんとこい／どんとこい／Ta Hung Kuの組合せから、土中出芽性に優れた系統（和系375、和系376）を選抜できた。そこで、食味など各種特性について検定を行い、選抜系統の特性について明らかにする。

1) 材料及び方法

選抜系統とその比較品種を供試して、食味、いもち病抵抗性、縞葉枯病抵抗性、穂発芽耐性、直播関係形質として、低温発芽性、低温出芽性、土中出芽性、転び型倒伏抵抗性について調査した。

食味試験（吉川 1961）は、日本穀物検定協会の食味試験法に準じた方法で行った。試料は2003年の移植栽培を用いた。約90%搗精した精白米500gを米重量に対して1.4倍の加水量で約35分浸漬し、電気炊飯器（ナショナルSR-ULH10）で炊飯した。基準品種は別に収穫したコシヒカリ、比較品種は日本晴を用いた。総合評価、外観、うま味は11段階、粘り、硬さは7段階で評価した。

いもち真性抵抗性遺伝子の推定にはレース番号007、033、035、037の4菌系と判別品種として新2号（+）、愛知旭（*Pia*）、藤坂5号（*Pii*）、関東51号（*Pik*）を用いた。幼苗噴霧接種（後藤・山中 1968）を行い、病斑により抵抗性と罹病性を判定した。

葉いもち圃場抵抗性は畑圃場に6月上旬に晩播後、037レース菌をスプレッドに接種し、いもち病の感染が広がる時期に発病程度0（無発病）-10（全葉枯死）の11段階の達観調査（浅賀 1976）を3回行った。黄金錦（+）、ヤマビコ（*Pia*）、トドロキワセ（*Pii*）、タツミモチ（*Pik*）の4品種を強の基準品種、日本晴（+）、金南風（*Pia*）、藤坂5号（*Pii*）、マンゲツモチ（*Pik*）の4品種を中の基準品種、農林29号（+）、愛知旭（*Pia*）、イナバワセ（*Pii*）、クサブエ（*Pik*）の4品種を弱の基準品種とした。基準品種の発病程度の平均値を用いて葉いもち圃場抵抗性を

判定した。

縞葉枯病抵抗性は幼苗に保毒虫を放飼し、発病株率を調査した。罹病性品種として日本晴、抵抗性品種として青い空、あさひの夢を用いて、発病株率で縞葉枯病抵抗性を判定した（鷺尾ら 1968）。作物研と愛知県農総試において調査した。

穂発芽特性は成熟期に収穫した穂を28℃で7日間過湿処理し、発芽程度を調査した。発芽程度は発芽率と鞘葉の長さにより、2（極難）-8（極易）までの7段階で分類した。比較品種として難のヒノヒカリ、やや易の日本晴と比較して穂発芽性を判定した。

転び型倒伏抵抗性は、湛水表面条播し、出穂期後約15日に押し倒し抵抗測定器で、押し倒し抵抗値を測定した（寺島ら 1992）。地表面から20cmの部分、幅10cmで45℃まで押し倒し、その応力を測定し、押し倒した穂数で割った数値を押し倒し抵抗値とした。

低温発芽性は15℃で6日後の発芽率を調査した。基準品種は、あきたこまち（中）、愛知旭（やや高い）を用いて判定した。茨城県生工研において調査した。

低温出芽性は粒状培土に播種深度2cmで播種し、15℃で播種後14、18日に発芽率を調査した。基準品種として、きたいぶき（やや低い2003、中2004）、Italica Livorno（高い2003、やや高い2004）、Arroz da Terra（高い）を用いて判定した。茨城県生工研において調査した。

土中出芽性は水田土壌に播種深度3cmで播種、20℃で播種25日後に土中出芽率を調査した。比較品種としてどんとこい、Italica Livorno、Arroz da Terra、Ta Hung Kuを用いて判定した。

2) 結果及び考察

和系375の食味は外観、うま味、粘り、硬さについてはコシヒカリと有意差が認められないが、総合評価でやや劣っているため、コシヒカリに近い良食味であると考えられた（表19）。和系375のいもち真性抵抗性遺伝子は033、035レースの反応が抵抗性を示したので、*Pia*、*Pii*を持つと推定した（第20表）。和系375の葉いも

ち圃場抵抗性は日本晴より明らかに強く、トドロキワセ、ヤマビコより発病程度が少ないため、葉いもち圃場抵抗性は強と考えられた(表21、図10)。和系375の縞葉枯病抵抗性は日本晴より発病株率が高いため、罹病性と推定された(表22)。和系375の穂発芽性は日本晴よりやや発芽し易いと考えられた(表23)。和系375の転び型倒伏抵抗性は日本晴、どんとこいより明らかに押し倒し抵抗値が高く、日本晴、どんとこいより転び型倒伏性は強いと判断した(表24)。和系375の土中出芽率はTa Hung Ku並かやや高く、土中出芽性は極良と考えられた。低温出芽

率はArroz da Terra、Italica Livorno並の出芽率であり、低温条件においても土中出芽率が高い系統であった。低温発芽率は、愛知旭並の高い系統であった(表25)。

以上のことより、和系375は良食味でいもち病に強く、転び型倒伏に強く、低温発芽性、低温出芽性、土中出芽性に優れた系統として中間母本新配付系統関東P L 13と命名された。今後は、良質多収を目指し、短稈化と難穂発芽を目標とした選抜をさらに行うことで、土中出芽性に優れ、農業特性にも優れた品種を育成できると考えられた。

表19 和系375の食味(パネル26名)

品 種 名	官能評価試験平均値				
	総合評価	外観	うま味	粘り	硬さ
和系375	-0.50 **	-0.23	-0.23	-0.19	0.27
和系376	-1.04 **	-0.58 **	-0.62 **	-0.62 **	0.65 **
日本晴	-1.73 **	-0.81 **	-1.04 **	-1.31 **	1.08 **
コシヒカリ	-0.35 **	-0.12	-0.15	0.15	-0.35

**は1%水準で基準として用いたコシヒカリと有意差がある。

表20 和系375のいもち真性抵抗性遺伝子推定

品 種 名	レース反応				推定 遺伝子型
	007	033	035	037	
和系375	S	R	MR	S	<i>Pia,Pii</i>
和系376	S	R	MR	S	<i>Pia,Pii</i>
新2号	S	S	S	S	+
愛知旭	S	S	R	S	<i>Pia</i>
藤坂5号	S	R	S	S	<i>Pii</i>
関東51号	R	S	S	S	<i>Pik</i>

Rは抵抗性、Sは罹病性を示す。

表21 和系375の葉いもち圃場抵抗性

品 種 名	いもち 真性抵抗性 推定遺伝子	2003年	2004年	発病 程度 平均	判定
		発病 程度	発病 程度		
和系375	<i>Pia,Pii</i>	2.2	3.2	2.7	強
和系376	<i>Pia,Pii</i>	2.0	2.7	2.4	強
日本晴	+	4.6	4.8	4.7	中
ヒノヒカリ	<i>Pia,Pii</i>	7.2	7.5	7.4	弱
トドロキワセ	<i>Pii</i>	2.3	3.4	2.9	強
藤坂5号	<i>Pii</i>	4.4	5.2	4.8	中
イナバワセ	<i>Pii</i>	5.9	6.6	6.3	弱
ヤマビコ	<i>Pia</i>	2.9	3.0	3.0	強
金南風	<i>Pia</i>	3.7	4.5	4.1	中
愛知旭	<i>Pia</i>	5.3	6.0	5.7	弱

表22 和系375の縞葉枯病抵抗性

品 種 名	作物研調査		愛知県農総試調査	
	発病 株率(%)	判定	発病 株率(%)	判定
和系375	86	罹病性	63	罹病性
和系376	100	罹病性	25	罹病性
日本晴	47	罹病性	35	罹病性
青い空	7	抵抗性	—	—
あさひの夢	—	—	0	抵抗性

表23 和系375の穂発芽性

品 種 名	2003年		2004年		総合 判定
	程度	判定	程度	判定	
和系375	6.0	やや易	7.0	易	易
和系376	7.5	極易	7.0	易	易
日本晴	5.5	やや易	5.5	やや易	やや易
ヒノヒカリ	4.0	やや難	3.0	難	難~やや難

表24 和系375の押し倒し抵抗性

品種名	2003年		2004年		判定
	押し倒し抵抗値 (g/本)	出穂期	押し倒し抵抗値 (g/本)		
和系375	78	8.25	86		やや強
和系376	80	8.24	81		やや強
どんとこい	62	8.08	61		中
日本晴	48	8.19	50		やや弱
ヒノヒカリ	-	8.25	44		やや弱

表25 和系375の土中出芽性、低温発芽性、低温出芽性

品種名	作物研調査			茨城生工研調査						茨城生工研調査			
	土中出芽率(%)			低温出芽率(%)						低温発芽率(%)			
	2003年	2004年	判定	2003年		2004年		2003年		2004年		判定	
			14日後	18日後	評価	12日後	14日後	評価	2003年	2004年	評価	評価	
和系375	60	55	極良	42	75	高	17	38	極高	78	やや高	86	やや高
和系376	58	35	極良	71	79	極高	33	54	極高	86	高	82	やや高
Ta Hung Ku	60	33	極良										
どんとこい	13	3	中										
Arroz da Terra		13	やや良	38	75	高	0	29	高				
Italica Livorno		28	良	63	79	高	8	21	やや高				
きたいぶき				0	0	やや低	0	0	中				
愛知旭										68	やや高	86	やや高
あきたこまち										34	中	48	中

土中出芽：水田土壌に播種深度 3 cm で播種。20℃ 条件、播種 25 日後調査。

低温出芽：粒状培土に播種深度 2 cm で播種。15℃、播種 12、14、18 日後調査。

低温発芽：15℃、6 日後の発芽率。



やや弱

和系375

和系376

図10 和系375、和系376の葉いもち発病程度。

7 まとめ

赤米、Arroz da Terra、Dunghan Shali、Ta Hung Kuを土中出芽性に優れた遺伝資源として交配母本にし、その後代から土中出芽性に優れた系統を選抜した。赤米、Ta Hung Kuの交配後代では F_3 系統や B_1F_2 系統から土中出芽の選抜を行い、赤米の交配後代から収6357、Ta Hung Kuの交配後代から収6570（北陸PL3）、和系375（関東PL13）、和系376を土中出芽性に優れた系統として選抜できた。一方、Arroz da Terra、Dunghan Shaliの交配後代からは土中出芽性に優れた系統は選抜できなかつた。これは、雑種集団の規模が小さいことと、交配後代において葉いもちが多発し、稈が弱い個体が多かつたことが原因と思われる。そのため、雑種集団の規模を大きくし、土中出芽率の高い個体の数を多くすることや、初期世代から土中出芽率の高い個体を選抜し、分離後代から葉いもちに強い系統や強稈の系統を選抜するなどの対処が必要であると考えられた。

このように交配親による組合せ能力の差は大

きかつたが、ここで優れた親として選定した Ta Hung Kuはいもち病にも強く、その交配後代から選抜された和系375（関東PL13）、和系376は日本晴より葉いもちに強いという結果が得られた。また、和系375（関東PL13）はコシヒカリ並とはいえないまでも、日本晴よりは明らかに食味が優れていると考えられた。Ta Hung Kuを交配親とする組合せの後代から土中出芽性に優れ、いもち病に強く、良食味である有望系統や中間母本を選抜することができた。選抜系統を交配母本にして、今後実用品種として栽培される品種を育成することも可能と考えられた。

選抜された土中出芽性に優れた系統はいまだ収量性と玄米品質に問題があり、優れた土中出芽性を持つ実用品種を育成していくためには、得られた中間母本系統の品質と収量性をさらに改良することが今後の主な課題になると考えられた。また、土中出芽率は試験条件による変動が大きいので、数世代にわたり評価を繰り返して確実に土中出芽率が高い系統を残していくことも必要である。

V 土中出芽性の遺伝様式及びQTL検出

土中出芽性に優れた品種を効率よく育成していく上で、土中出芽性の遺伝様式の情報が必要である。

土中出芽性の遺伝様式についての報告はほとんどないが、星野（1989）が赤米／ツクバハタモチの交配後代の土中出芽率を調査した結果から、1対の不完全優性遺伝子の存在を推定している。また、福田ら（1997）は密陽23号／アキヒカリのリコンビナントインブレッッドライン（ F_5 ）について、RFLPマーカーで土中出芽性に関するQTL（Quantitative Trait Loci：量的形質遺伝子座）を第2染色体以外のすべての染色体で13カ所報告している。

土中出芽性に優れた遺伝資源であるTa Hung Kuについてはその遺伝様式はよく分かって

いないため、どんとこいの交配後代を用いて、遺伝様式の解明を試みた。

1 「Ta Hung Ku」の土中出芽性の遺伝様式について

どんとこい／Ta Hung Kuの F_3 、 F_4 系統、どんとこい／どんとこい／Ta Hung Kuの B_1F_2 、 B_1F_3 、 B_1F_4 系統について土中出芽率を調査し、土中出芽率の頻度分布を明らかにすることで、土中出芽性に関わる遺伝の分離を把握し、土中出芽性の遺伝様式の推定を試みた。

1) 材料及び方法

どんとこい／Ta Hung Kuの F_3 347系統、 F_4

14系統、どんとこい//どんとこい/Ta Hung Kuの B_1F_2 96系統、 B_1F_3 94系統、 B_1F_4 173系統を用いた。室内検定および圃場検定はII-2, 3に述べた方法で行った。 F_4 系統は高出芽7系統、低出芽7系統、 B_1F_4 系統は B_1F_3 の高出芽8系統を選抜して調査した。

2) 結果及び考察

F_3 、 F_4 (選抜系統)、 B_1F_2 、 B_1F_3 、 B_1F_4 (選抜系統)の土中出芽率を調査した結果、 F_3 は両親の中間値をピークとした連続の頻度分布を示し、いくつかの遺伝子の関与を示した(図11)。

B_1F_2 系統は、どんとこいの値に近いところにピークがある連続の頻度分布を示し、 B_1F_3 系統の頻度分布も同様であった(図12、図13)。 F_3 と選抜した F_4 の土中出芽率の間に高い相関関係が認められた(図14)。同時に玄米品質について調査した結果、土中出芽率が高い系統はほとんど品質が劣ることが認められ、土中出芽性と品質に関する遺伝子の連鎖が示唆された(図15)。

B_1F_4 選抜系統ではTa Hung Ku並の土中出芽率を示した個体の割合は、 B_1F_3 系統のより多かったが、 B_1F_3 と同様の分布を示した4系統と、より高い出芽率の個体の頻度が多い分布を示した4系統に大別された。 B_1F_3 系統から高出芽8系統を選抜した後代からどんとこい並に低い土中出芽率の個体が認められた(図16)。

IVにおいて、高い土中出芽率であった系統を選抜しても、次年の土中出芽率が低い結果になる系統がいくつか認められ、複数年(複数年)の選抜の必要性を述べた。検定の精度の問題の他に、このような低出芽率の個体が分離していることも影響していると考えられた。

星野(1989)は赤米/ツクバハタモチの交配後代の土中出芽率を調査した結果から、1対の不完全優性遺伝子を推定しているが、Ta Hung Kuとどんとこいの交配後代における土中出芽率の頻度分布をみると、数世代にわたる分離を想定することが妥当であり、1対の遺伝子のみで分離についての説明はできないと思われた。

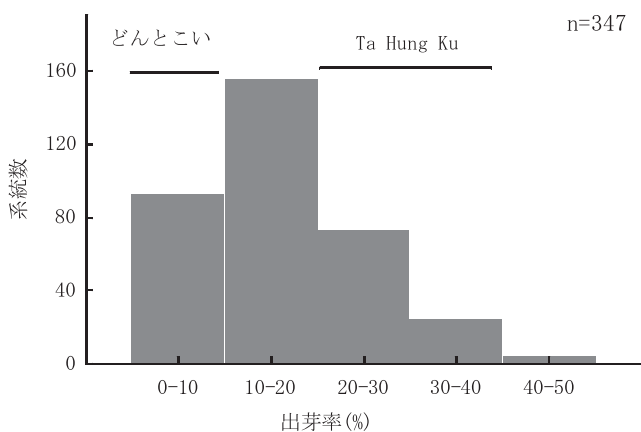


図11 F_3 系統における出芽率の頻度分布.

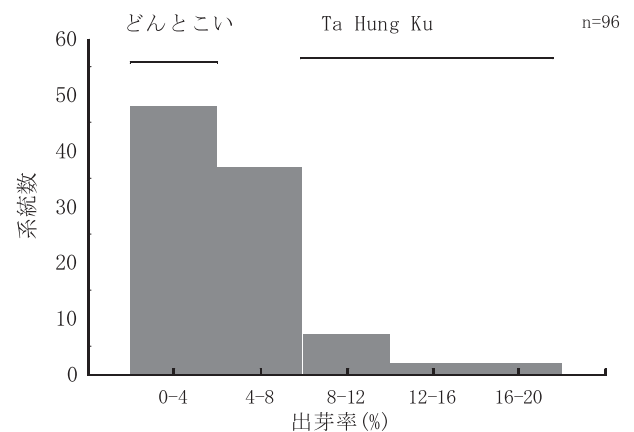


図12 B_1F_2 系統における出芽率の頻度分布.

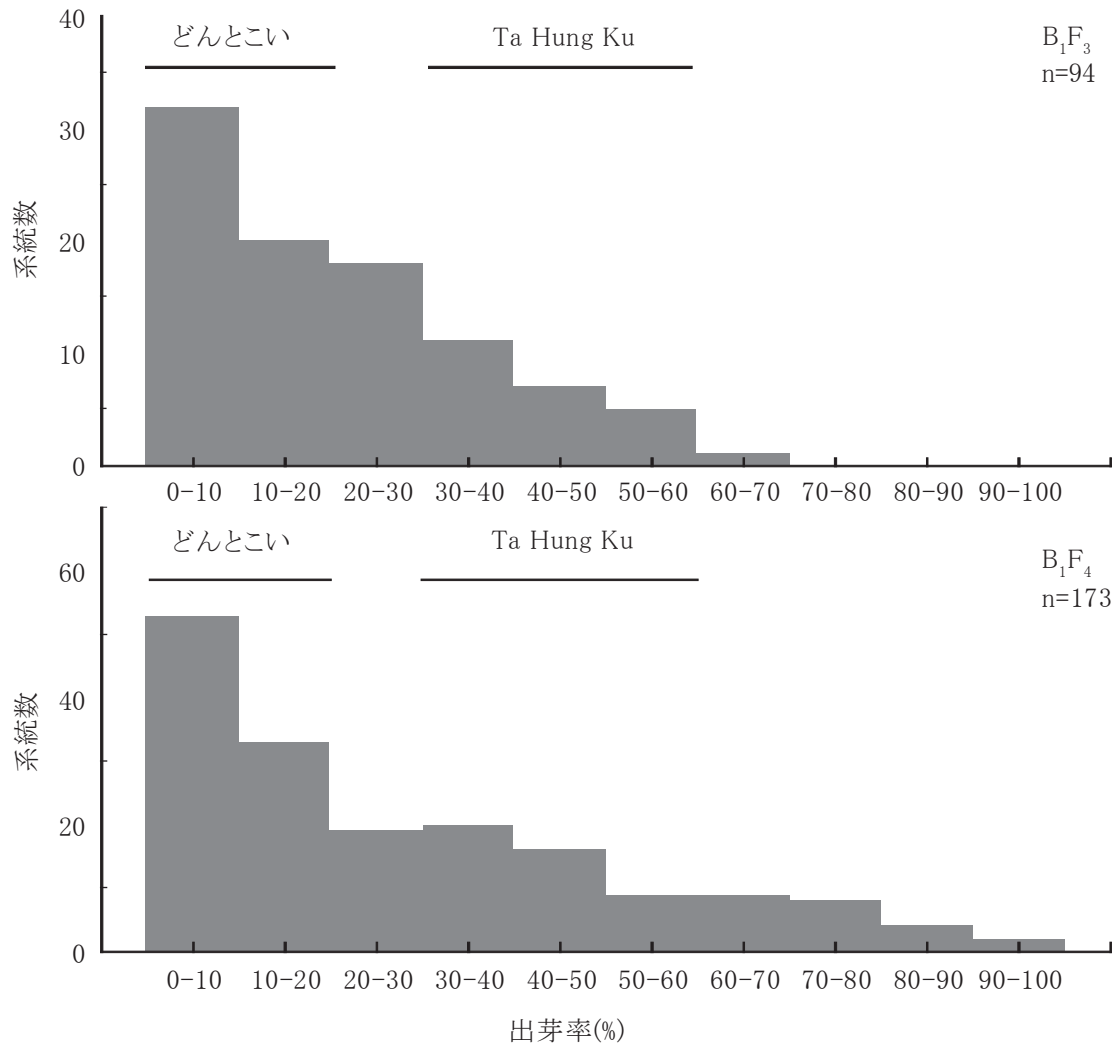


図13 B₁F₃および選抜B₁F₄系統の出芽率の頻度.

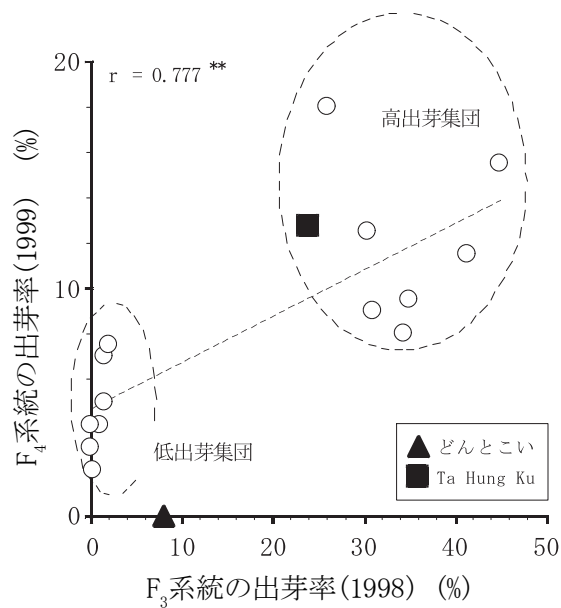


図14 F₃系統F₄系統間の出芽率.

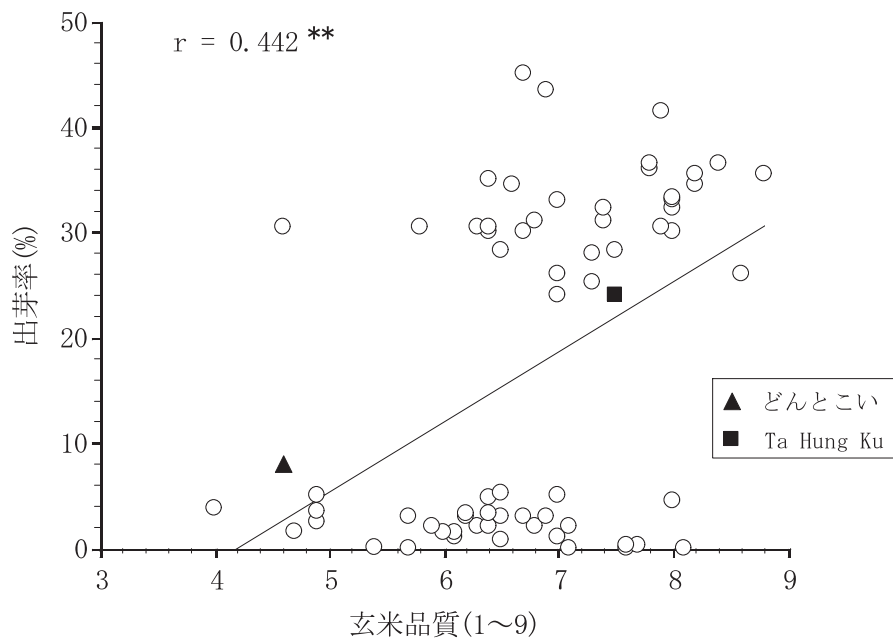


図15 F₄系統における出芽率と玄米品質の相関.

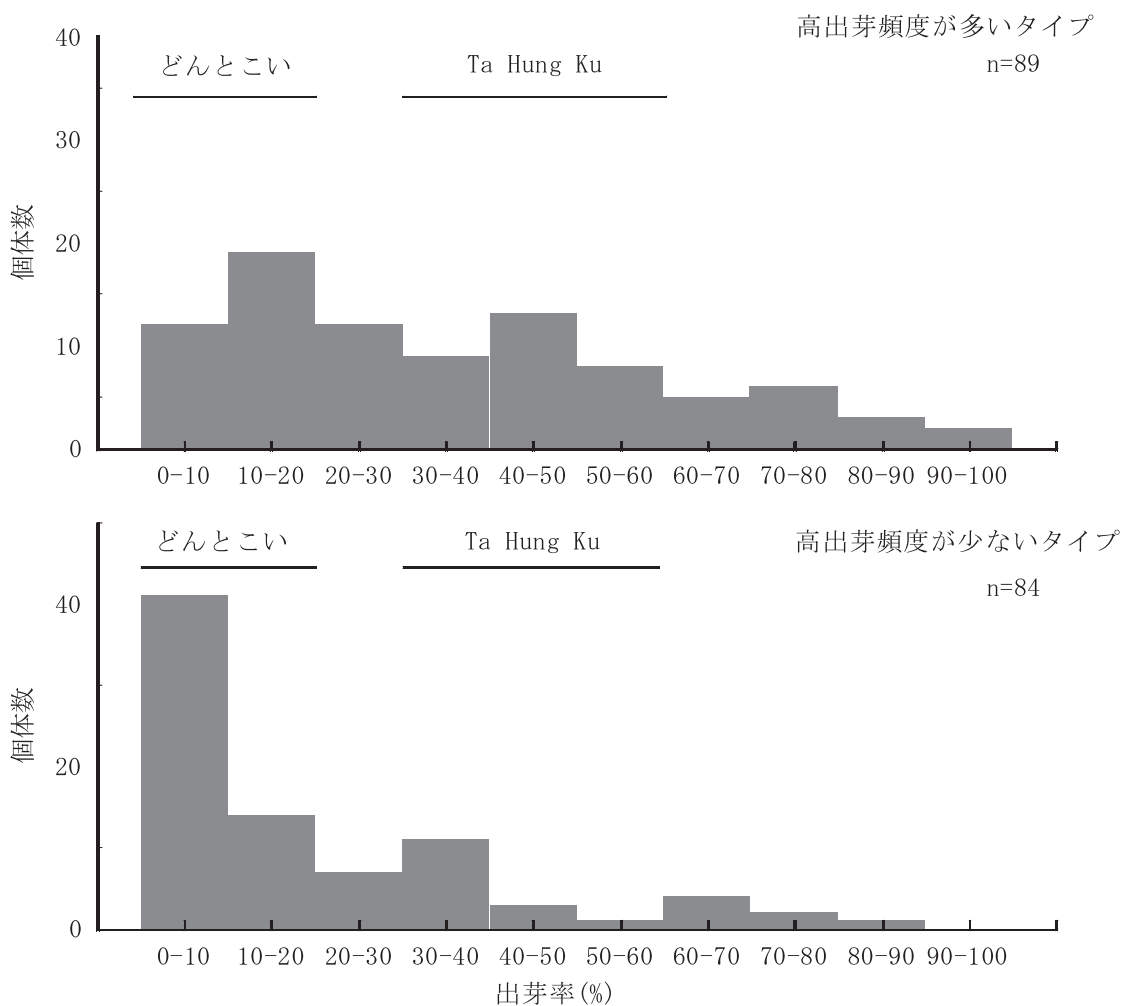


図16 B₁F₃系統別の後代個体出芽率の頻度分布.

2 「Ta Hung Ku」の B_1F_3 系統における土中出芽性に関するQTL

どんとこいとTa Hung Kuの交配後代において、土中出芽率の頻度分布の調査と選抜育成を行った結果、複雑な遺伝様式に支配されていることが推測できた。複数の遺伝子が関与する形質は量的形質と呼ばれ、量的形質に関与する個々の遺伝子座は量的形質遺伝子座 (QTL) と呼ばれる。DNAマーカーを使わない場合でも遺伝様式が明瞭な標識形質を利用した解析が可能ではあるが、染色体全体に分散する標識形質を用いることは実際にはかなり困難である。DNAマーカーを利用したQTL解析は雑種集団の各個体をDNAマーカーの遺伝子型グループに分類し、それらの平均値を比較することである。もし仮に用いたDNAマーカーに解析対象形質に関与する遺伝子の一つが連鎖していれば、遺伝子型グループの平均値に有意差が生じる。連鎖していなければそれらの差はなくなる。解析対象の生物種の染色体全体に分散するDNAマーカーを用いてこの解析を繰り返すと、関与する染色体領域が明らかになってくる。そのため量的形質と思われる土中出芽性に関し、DNAマーカーを用いて解析することが重要と考えられた (Soller and Beckmann 1983、矢野 1991)。

1) 材料及び方法

どんとこい//どんとこい/Ta Hung Kuの B_1F_3 種子 (B_1F_2 系統から無作為に1個体採種)を用いて、室内検定で土中出芽率を調査した。どんとこい、Ta Hung Ku、 B_1F_3 系統 (95系統)を約20個体ずつ圃場に養成し、全個体から均等に生葉をサンプリングし、CTAB法 (Murray and Thompson 1980)によりDNAの抽出を行った。抽出したDNAは分光光度計でDNA濃度を測定し一定の濃度に調製した。まず、両親であるどんとこい、Ta Hung KuのDNAにプライマー (SSRマーカー)を鋳型としてPCR反応 (Williamsら 1990)で増幅させ、アガロースゲル泳動後、エチジウムブロマイド溶液で

染色し、PCR産物の分子量の違いを調査した (McCouchら 1997、Kashiら 1997)。SSRマーカーは既存の384マーカーを用いた (McCouchら 2002)。両親で多型を生じ遺伝距離が離れた45マーカーを選び、そのうち27マーカーを用いて、95系統 (各系統20個体)の遺伝子型を調査した。調査した遺伝子型と B_1F_3 の土中出芽率と照らし合わせて解析した。第1染色体から第6染色体について検討した。マーカー毎に、どんとこい型とTa Hung Ku型の系統群の土中出芽率平均値の有意差をt検定し、土中出芽性に関する遺伝子座が存在するかどうかを判断した。

2) 結果及び考察

供試したマーカーのうち、4マーカーにおいて有意差を認めた (図17)。4マーカーともTa Hung Ku型の集団の土中出芽性が高い結果であった。4マーカーのうち、3マーカーは第2染色体のマーカーで、連鎖地図第2染色体の中央部から長腕側に位置するマーカーであった。他の1マーカーは第5染色体のマーカーの短腕側に位置するマーカーであった。

福田ら (1997)は密陽23号/アキヒカリのリコンビナントインブレッドライン (F_5)について、RFLPマーカーで土中出芽性に関するQTLを13カ所報告している。しかし、第2染色体と第5染色体の短腕側にQTLは報告されていない。そのため、アキヒカリ、密陽23号とは異なるTa Hung KuのQTLの可能性が高いと考えられた。

勝田ら (1996)は第3染色体長腕末端近傍に大きなイネの中茎伸長性のQTLが検出されたことを報告しているが、これに近いマーカーの結果では有意差は認められなかった。本解析においても中茎長と土中出芽性は関連性が低く、QTLは検出されなかった。

今後は第7染色体から第12染色体に有意差が認められるマーカーを探し、有望な第2染色体長腕部と第5染色体短腕部については両親で多型を生じるマーカーを新たにスクリーニングし、土中出芽率との関連性について細部を検討していく予定である。

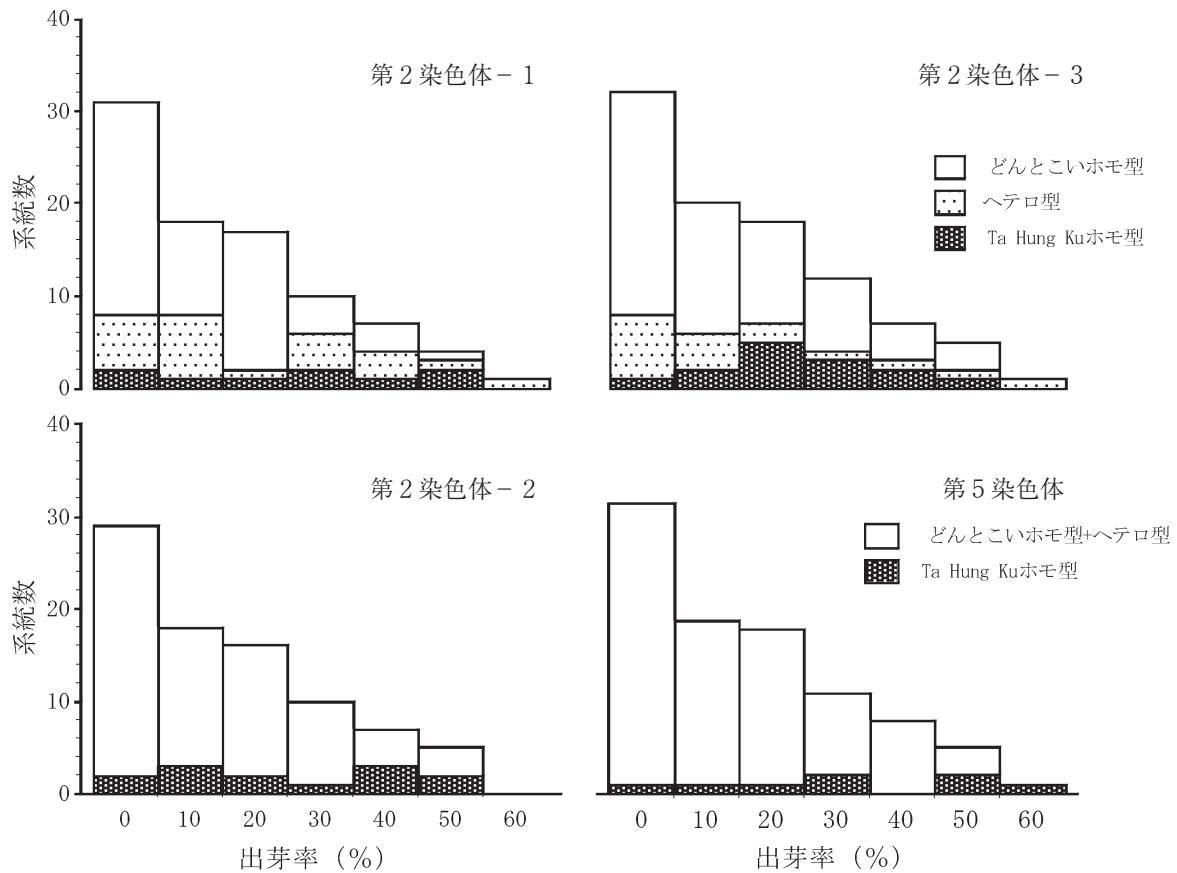


図17 B₁F₃集団での出芽率の遺伝子型別頻度分布.

3 まとめ

土中出芽性に関与する遺伝子は多数あると推定され、Ta Hung Kuとどんとこいの交配後代ではF₃、B₁F₂、B₁F₃系統とも連続した頻度分布を示した。F₃と選抜したF₄の土中出芽率の間に高い相関関係が認められた。B₁F₄選抜系統で

はB₁F₃と同様の頻度分布を示した系統と、Ta Hung Kuの土中出芽率を中心とした正規分布に近い頻度分布を示した系統が認められた。

B₁F₃の土中出芽率のQTL解析において、今まで報告されていない有望なQTL領域が認められた。

摘 要

1 水稻の直播栽培は生産コストを低下させる有効な方法であるが、出芽および苗立ちの問題がある。土中出芽性は出芽および苗立ちに大きく影響する要因で、直播栽培技術の安定化に大きく関わっている。そのため、土中出芽性の評価方法を確立し、優れた遺伝資源を探索して土中出芽性に関する品種改良を試みた。

2 鳩胸状態で土中出芽率が最も高く、催芽長が長くなると土中出芽率は低くなった。温度は高い方が、播種深度は浅い方が土中出芽率が高くなった。室内検定として、土中出芽率の変異が大きく、検定期間が短い25℃、播種深度2 cmの条件で評価することにした。

3 代かき水田用テープシダを試作し、圃場

- において深度 2 cm に播種した場合の土中出芽率と室内検定との間に有意な相関が認められた。しかし、室内検定の土中出芽率が高い品種においては室内検定と圃場検定の結果が異なる品種が認められた。
- 4 圃場検定と室内検定において評価が異なる品種間の差異は、室内検定の条件を播種深度 3 cm、20℃ とすることで、圃場検定に近い土中出芽率の差が検出できた。
- 5 国内外の約 300 品種を室内検定した結果、出芽率の変異が 0% - 95% と遺伝的な多様性が明らかとなった。玄米の長幅比、フェノール反応、原産地による傾向の違いから、印度型品種は日本型品種より土中出芽性が劣ると考えられた。
- 6 最も土中出芽率が高い品種は中国品種の Ta Hung Ku であった。Ta Hung Ku は日本の栽培品種であるコシヒカリ、キヌヒカリ、どんとこいより有意に土中出芽率が高く、圃場検定によって土中出芽性に関する新たな遺伝資源を得ることができた。
- 7 キヌヒカリ / 赤米の交配後代から土中出芽性に優れた系統を選抜した。F₂ 約 500 個体から土中出芽率 85% の 2 系統を選抜し、F₃ で再度圃場検定を行い、固定した 4 系統を表面散播湛水直播による生産力検定試験に供試した。土中出芽率の高い収 6357 を選抜したが、キヌヒカリ対比の収量が 68% と少収であった。
- 8 北陸 148 号 / Arroz da Terra、北陸 148 号 / Dunghan Shali にさらにどんとこいを交配した後代からは土中出芽性に優れた系統を選抜できなかつた。葉いもちが多発し、玄米品質がかなり劣り、分離も大きく、良質で固定した系統を選抜するのは困難であった。
- 9 どんとこい / Ta Hung Ku の交配後代から土中出芽性に優れた系統を選抜した。F₃ 系統を圃場検定に供試し、土中出芽率が高く、固定度が高い 7 系統を選抜した。F₄ においても土中出芽率が高い収 6570 を選抜したが、芒が多く大粒で品質が不良であり、キヌヒカリ対比の収量が 87% と少収であった。収 6570 は土中出芽性に優れる中間母本新配付系統北陸 PL3 と命名された。
- 10 どんとこい / Ta Hung Ku にさらにどんとこいを交配した後代から土中出芽性に優れた系統を選抜した。B₁F₂ 系統を圃場検定に供試し、Ta Hung Ku より土中出芽率が高かつた 4 系統を選抜した。B₁F₃、B₁F₄ で再度圃場検定を行い、和系 375、和系 376 の 2 系統を選抜した。
- 11 和系 376、和系 375 は、芒がほとんど認められず、脱粒せず、稈長はやや長く、耐倒伏性は中程度であった。品質については、粒厚が薄いためやや不良であったが、いもち病に強く、日本晴より良食味であった。和系 375 は土中出芽性に優れる中間母本新配付系統関東 PL13 と命名された。
- 12 土中出芽性は多数の遺伝子によって制御されており、Ta Hung Ku とどんとこいの交配後代の土中出芽率は F₃、B₁F₂、B₁F₃ 系統ともポアソン分布に近い頻度分布を示した。F₃ と選抜した F₄ の土中出芽率の間に高い相関関係が認められた。B₁F₄ 選抜系統では B₁F₃ と同様の頻度分布を示した系統と、Ta Hung Ku 並の土中出芽率からどんとこい並の土中出芽率までだいたい同じ頻度の分布を示した系統が認められた。
- 13 どんとこい // どんとこい / Ta Hung Ku の B₁F₃ の土中出芽率の QTL 解析において、第 2 染色体と第 5 染色体に新しい QTL と思われる領域が認められた。
- 14 土中出芽性を評価する事を可能とし、優れた遺伝資源を探索し、多くの反復検定により土中出芽性に優れたいくつかの有望系統や中間母本を育成できた。交配親の違いによる有望系統選抜効率の差が大きく、適切な親を選ぶことが大切であった。
- 15 このように、本研究では直播栽培の安定化に必須である優れた土中出芽性を持つ品種育成を試みた。これらの成果は今後の直播栽培に大きく寄与するものと考えられる。

謝 辞

本研究を行うにあたり、宇都宮大学農学部 吉田智彦 教授の懇切丁寧なご指導を賜りました。心からお礼申し上げます。東京農工大学農学部 平沢正教授、茨城大学農学部 松田智明教授、宇都宮大学農学部 本條均教授、同 和田義春助教授には、ご指導をいただきました。

北陸農業試験場においては、小林陽室長、上原泰樹室長、作物研究所においては、井辺時雄部長、安東郁男室長のご指導をいただきました。(なお、組織名、所属は本研究を実施した当時のもの。以下同様)

福田善通博士、佐藤宏之博士、竹内善信研究員には、実験の遂行にあたり多大な協力と助言をいただきました。

北陸農業試験場においては、福井清美主任研究官、清水博之研究員、小牧有三主任研究官、笹原英樹研究員、大槻寛研究員には、選抜育成にあたり多大な協力をいただきました。作物研究所においては、平山正賢主任研究官、根本博室長、加藤浩室長、出田収主任研究官、平林秀介主任研究官には、選抜育成にあたり多大な協力をいただきました。

また、業務科職員および非常勤職員の方々には、実験の遂行にあたり多大な協力をいただきました。

ここに記して深く感謝いたします。

貴重な種子をご分譲いただきました星野孝文、山内稔両氏に心から感謝の意を表します。

引用文献

- 浅賀宏一 (1976) 畑苗代における葉いもちの調査基準, 農業技術, 31, 156-159.
- Biswas, J.K. and M.Yamauchi (1997) Mechanism of seedling establishment of direct-seeded rice (*Oryza sativa* L.) under lowland conditions. Bot.Bull.Acad.Sin, 38, 29-32.
- 藤井潔・久保田重正・小松勝夫・朱宮昭男・工藤悟 (1992) 水稲湛水直播における出芽・苗立ちの生態種及び品種間差異と最適催芽程度の解明, 愛知農総試研報, 24, 1-10.
- 藤代淳・羽田丈夫・中根晃 (1988) 湛水条件下における水稲の出芽・苗立ち性の品種間差異. 日作関東支部会報, 3, 23-24.
- 福井清美・清水博之・太田久稔・大槻寛・上原泰樹 (1997) 水稲新品種「どんとこい」の直播栽培適性, 北陸作物学会報, 32, 45-48.
- 福田善通・太田久稔・田村克徳・笹原英樹・福山利範・芦川郁夫・上原泰樹・八木忠之 (1997) 土中出芽性に関するQTL (計量形質遺伝子座) 解析. 日作紀, 66 (別1), 24, 2-243.
- 後藤和夫・山中達 (1968) イモチ病菌のRaceに関する研究. 宇都宮大農学報, 7 (2), 27-71.
- 萩原素之 (1993) 水稲の湛水土壌中直播における出芽・苗立ちに関する研究. 石川農短大特報, 20, 1-103.
- 濱田千裕・中島泰則・関稔・伊澤敏彦・澤田恭彦・井深武夫 (1994) 細粒黄色土地帯における水稲の不耕起乾田直播栽培について 1. 愛知農総試式播種機を用いた栽培技術. 日作東海支部報, 117, 15-19.
- 平野哲也・千葉和夫 (1982) 干拓地土壌における水稲直播栽培の発芽苗立の安定向上に関する研究 第4報 風害による褐変籾の低温発芽性. 日作東北支部報, 25, 9-10.
- 星野孝文・岡本正弘・篠田治躬 (1985) 湛水深播条件下における稲糶出芽性の品種間差異. 育雑, 35 (別2), 312-313.
- 星野孝文 (1989) 水稲直播栽培を中心とした先進的技術の開発-強還元条件下における出芽

- の生理生態的解析－. 農林水産技術会議事務局編, 研究成果, 229, 30-34.
- 飯村敬二・阿部利徳・笹原健夫 (1995) 水稻の発芽時の還元抵抗性の選抜方法と品種間差異. 育雑, 45 (別 2), 98.
- 飯村敬二・阿部利徳・笹原健夫 (1996) 水稻の発芽時の還元抵抗性の選抜方法と品種間差異 II. 育雑, 46 (別 1), 212.
- 飯村敬二・阿部利徳・笹原健夫 (2000) 還元処理した場合の水稻幼苗期の生育特性の品種間差異. 育種学研究, 2 (別 1), 294.
- 井之上準・穴山彊 (1971) 水稻直播栽培における出芽に関する研究 第 4 報 水稻幼芽の抽出力. 日作紀, 40(4), 415-419.
- 猪谷富雄 (1991) 日本産および外国産香り米品種にみられる種子の低温発芽性と土中出芽性の変異. 育雑, 41 (別 2), 398-399.
- 景浦強・新橋登 (1989) 寒冷地湛水直播用水稻品種の室内簡易苗立検定法の開発. 日作紀, 58 (別 2), 199-200.
- 景浦強 (1990a) 寒冷地湛水直播用水稻品種の室内簡易苗立検定法の開発－第 2 報. G B. 式検定装置の有効性について－. 日作紀, 59 (別 1), 72-73.
- 景浦強 (1990b) 寒冷地湛水直播用水稻品種の室内簡易苗立検定法の開発－第 3 報. 温度条件及び苗腐敗病耐病性の検討－. 日作紀, 59 (別 2), 5-6.
- 上林美保子・遠藤正昭・鶴見功 (1994) 外国稲の還元抵抗性の品種間差異. 日作東北支部報, 37, 41-45.
- 上山泰 (1976) 乾田直播水稻の出芽および種もみのジベレリン処理による出芽促進効果におよぼす土壤水分の影響. 神戸大農研報, 12(1), 5-13.
- Kashi, Y., D. King and M. Soller (1997) Simple sequence repeats as a source of quantitative genetic variation. Trends in Genetics Volumes 13, Issue 2, 74-78.
- Kato-Noguchi, H. (2001). Submergence tolerance and ethanolic fermentation in rice coleoptiles. Plant Prod. Sci, 4, 62-65.
- 勝田真澄・江花薫子・奥野員敏 (1996) RFLP マーカーによるイネ中茎伸長性のQTL解析. 育雑, 46 (別 1), 154.
- 小高真一・安部信行 (1989) 水稻直播栽培を中心とした先進的技術の開発－低温条件下における高出芽性品種の検索－. 農林水産技術会議事務局編, 研究成果, 229, 8-23.
- 前田博・相川宗巖・柳川忠男・佐々木一男・田緑勝洋・丹野久・菅原圭一・吉田昌幸・菊池治己 (1996) 水稻品種「きたいぶき」の育成について. 北海道立農試集報, 71, 49-63.
- 松尾孝嶺 (1952) 栽培稲に関する種生態学的研究. 農業技術研究所報告, D3, 1-112.
- McCouch, S.R., X. Chen, O. Panaud, S. Temnykh, Y. Xu, Y.G. Cho, N. Huang, T. Ishii and M. Blair (1997) Microsatellite marker development, mapping and applications in rice genetics and breeding. Plant Mol. Biol, 35, 89-99.
- McCouch, S.R., L. Teytelman, Y. Xu, K. B. Lobos, K. Clare, M. Walton, B. Fu, R. Maghirang, Z. Li, Y. Xing, Q. Zhang, I. Kono, M. Yano, R. Fjellstrom, G. DeClerck, D. Schneider, S. Cartinhour, D. Ware and L. Stein (2002) Development and mapping of 2240 new SSR markers for rice (*Oryza sativa* L.). DNA Research, 9, 199-207.
- 三石昭三 (1975) 水稻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. 石川農短大特報, 4, 1-59.
- 水沢誠一・有坂通展・佐藤徹 (2001) 水稻湛水散播直播栽培における「味こだま」の栽培特性 第 1 報 施肥量及び気象条件が生育, 収量および品質に及ぼす影響. 北陸作物学会報, 35, 4-6.
- Morishima, H. and H. Oka (1981) Phylogenetic differentiation of cultivated rice, XXII. numerical evaluation of the Indica-Japonica differentiation, Japan. J. Breed, 31 (4), 402-413.
- 森田弘彦 (2001) 直播栽培に使用可能な除草剤. 農業技術体系, 第 2 ①巻, 追録 23 号, 技 402 の 1.

- 農文協, 東京, 14-22.
- 諸橋準之助・田村隆夫・金子均 (1988) 水稻の湛水溝付直播法の出芽・苗立ちに関する研究 第4報 種子粉の採種方法と出芽・苗立ち. 日作紀, 57 (別1), 277-278.
- Murray, M.G. and W.F.Thompson (1980) Rapid isolation of high molecular weight plant DNA. Nucleic Acids Research, Vol.8, No.19, 4321-4325.
- 中山正義・加藤明治・増渕隆一・下坪訓次・小川修 (1988) 湛水土中直播におけるコンバイン収穫粉の出芽について. 日作紀, 57 (別1), 275-276.
- 大場茂明 (1994) 無人ヘリによる水稻湛水土壤中直播栽培と雑草防除. 今月の農業 5月号, 30-34.
- Ogiwara, H. and K. Terashima (2001) A varietal difference in coleoptile growth is correlated with seedling establishment of direct seeded rice in submerged field under low temperature conditions. Plant Prod. Sci., 4, 166-172.
- 太田久稔・小牧有三・笹原英樹・上原泰樹 (2001) 水稻新品種「いただき」の直播特性. 北陸作物学会報, 36, 10-12.
- 太田久稔・上原泰樹・井辺時雄・吉田智彦 (2003) 水稻の湛水土中直播栽培における土中出芽性の新たな検定方法と土中出芽性の新たな遺伝資源. 日作紀, 72, 295-300.
- 岡彦一 (1953) 栽培稲の系統発生的分化 第1報 稲品種間の各種形質の変異とその組合せ. 育雑, 3(2), 33-43.
- 大隅光善・土居健一・柴田義弘 (1987) 湛水土壤中直播栽培における 2, 3の問題点 第4報 品種, 収穫方法等の違いが出芽・苗立に及ぼす影響. 九州農業研究, 49, 36.
- 斉藤邦行・佐藤貴之・黒田俊郎 (1995) 深水下における水稻種子の出芽・苗立ち性の品種間差. 日作紀, 64 (別2), 37-38.
- Saka, N. and T. Izawa (1999) Varietal differences in the survival rate of sprouting rice seed (*Oryza sativa* L.) under highly reduced soil conditions. Plant Prod. Sci., 2, 136-137.
- Sato, T. and S. Maruyama (2002) Seedling emergence and establishment under drained conditions in rice direct-sown into puddled and leveled soil-effect of calcium peroxide seed coating and sowing depth-. Plant Prod. Sci, 5, 71-76.
- 佐藤勉・酒井究 (2001) 水稻の湛水直播栽培に関する研究 第1報 直播適性品種の選定. 福井県農業試験場研究報告, 38, 11-15.
- 佐藤亨・堀内悦夫・玉木真由美・杉本秀樹・雨宮昭 (1987) 水稻の湛水土壤中直播栽培における苗立ちについて. 愛媛大農紀要, 32, 19-33.
- 澤村宣志・大黒正道・佐々木豊 (1991) 水稻の潤土直播作業技術. 北陸農業研究成果情報, 7, 165-166.
- 白土宏之・森田敏・高梨純一 (1997a) イネ種子の乾燥土壤中出芽性のスクリーニング. 日作紀, 66(1), 10-11.
- 白土宏之・森田敏・高梨純一 (1997b) 乾燥土壤中におけるイネ幼植物の吸水特性の品種間差. 日作紀, 66(1), 12-13.
- Soller, M. and J. S. Beckmann (1983) Genetic polymorphism in varietal identification and genetic improvement. Theor. Appl. Genet, 67, 25-33.
- 諏訪充・川村陽一 (2000) 水稻品種の低酸素発芽性及び低温発芽性. 日作東北支部報, 43, 17-18.
- 田中秀彦・田中文夫・山崎信弘 (1990) 湛水直播水稻における土壤還元処理とPythium属菌の接種による苗立ち率低下の品種間差異. 日作紀, 59 (別2), 3-4.
- 寺島一男・秋田重誠・酒井長雄 (1992) 直播水稻の耐倒伏性に関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. 日作紀, 61, 380-387.
- 富樫辰志 (2002) 水稻の打込み式代かき同時土中点播技術の開発. 九州沖縄農業研究センター報告, 41, 1-51.

- 鷲尾養・江塚昭典・鳥山國士・桜井義郎 (1968) イネ縞葉枯病の簡易検定法ならびに抵抗性品種の育成に関する研究. 中国農試報, A16, 39-197.
- Williams, J.G., A.R. Kubelik, K.J. Livak, J.A. Rafalski and S.V. Tingey (1990) DNA polymorphisms amplified by arbitrary primers are useful as genetic markers. *Nucleic Acids Research*, Vol18, Issue22, 6531-6535.
- Won, J.G. and T. Yoshida (2000) Screening cultivars at low dissolved oxygen level for water-seeded rice. *Plant Prod. Sci*, 3, 112-113.
- Yamauchi, M., A.M.Aguilar, D.A.Vaughan and D.V.Seshu (1993) Rice (*Oryza sativa* L.) germplasm suitable for direct sowing under flooded soil surface. *Euphytica*, 67, 177-184.
- 山内稔・上野秀人 (1995) 温暖地西部における水稲の「嫌気土中直播」による苗立ち. 平成7年度中国農業試験場研究成果情報, 105-106.
- 矢野昌裕 (1991) 遺伝子地図の作成と育種への利用. *農業技術*, 46(2), 42-46.
- 八百板正則・長谷川浩・山口弘道 (1996) 嫌気的水中におけるイネ発芽種子の成長. *日作紀*, 66 (別1), 132-133.
- 八百板正則・長谷川浩・山口弘道 (1997) 嫌気的条件におけるイネ種子の出芽・苗立ち性の検定方法. *日作紀*, 66 (別2), 1-2.
- 吉川誠次 (1961) 米の食味試験. *食糧*, 4, 29-38.
- 吉永悟志 (2002) 打込み式代かき同時土中点播機を用いた水稲の湛水直播栽培における生産性の向上および安定化に関する研究. *九州沖縄農研七報告*, 41, 53-116.

New Evaluation of Seedling Emergence in Direct Seeding in Submerged Soil and Breeding Rice for High Seedling Emergence

Hisatoshi OHTA

Summary

We studied rice seedling emergence in direct seeding in submerged soil to determine the degree of forced sprouting, temperature, and seedling depth in 8 representative rice cultivars, i.e., Akihikari, Koshihikari, Kinuhikari, Akage, Akamai, Arborio, Lemont and Habataki. We found that germination in submerged soil was optimal at 25 °C for 2-3 days. Germinated seeds with 0.4-1.4 mm coleoptiles were placed 1 cm, 2 cm and 3 cm deep in submerged soil in a growth chamber at 15°C and 25°C. Seedling emergence varied widely among cultivars seeded 2 cm or 3 cm deep at 25°C and 1 cm deep at 15°C. We then compared the emergence of 302 rice cultivars seeded 2 cm deep at 25°C, including 58 (modern) and 106 (native) cultivars from Japan, 37 from China, 37 from Korea, 22 from Italy, 13 from America, 10 from India, 4 from Russia and 11 from other countries. Rice cultivars from India, Sri Lanka and Bangladesh showed a significantly lower percentage of emergences than those from Japan, suggesting that Indica cultivar seedlings emerged poorly from submerged soil.

We propose a new way of evaluating seedling emergence in field tests using seeds on seeder-tape placed 20 mm deep in soil with a tape seeder. Results of a preliminary test for seedling emergence using 23 representative rice cultivars showed a positive correlation between the percentage of seedlings emerging in growth chamber and field tests. To confirm this correlation, we repeated tests using 103 rice cultivars, 47 from Russia and 50 from Nepal. Results showed a significant correlation between values in growth chamber and field tests. We found that a new gene source, "Ta Hung Ku" from China, had the highest percentage of seedling emergence and could be used as a cross parent for high seedling emergence in submerged soil.

We screened rice lines with high seedling emergence by sowing seeds 20 or 30 mm deep in soil at 20°C or 25°C in a growth chamber or placing seeder-tape 20 mm deep in soil in the field. We used Akamai from Japan, Arroz da Terra from Portugal, Dunghan Shali from Hungary, and Ta Hung Ku from China, but found that these cultivars had many inferior agronomic properties. To breed cultivars with good agronomic properties plus high seedling emergence, we crossed these cultivars with Japanese cultivars, Dontokoi and Kinuhikari. Due to poor properties and frequent leaf blast, however, we did not find any lines with high seedling emergence from progenies of crossing with Arroz da Terra or Dunghan Shali. We found that selection should be repeated from early generations

for selecting our desired lines and that further attempts will be necessary to select high yield and good grain quality among inferior lines.

Based on repeated selection from early generations of progenies of crossing with Akamai or Ta Hung Ku, we succeeded to select lines with high seedling emergence and good agronomic properties.

We tested seedling emergence for 347 F_3 lines of Dontokoi/Ta Hung Ku, 96 B_1F_2 lines and 96 B_1F_3 lines of Dontokoi//Dontokoi/Ta Hung Ku, finding that the frequency of seedling emergence for F_3 lines tended to be a continuous distribution with a single peak, which suggests that many genes are involved in seedling emergence. B_1F_2 and B_1F_3 lines also showed a single peak at low emergence.

We also recognized several new QTLs of seedling emergence in B_1F_3 lines not previously reported before, insofar as we know.

